



# 国土地理院時報

Journal of the Geospatial Information Authority of Japan

December, 2015

- 小特集：御嶽山噴火への対応
  - ・御嶽山噴火に関する国土地理院の対応
  - ・御嶽山噴火に対する空中写真の撮影と航空機SARによる観測
  - ・御嶽山噴火に関する地理空間情報部の対応
  - ・だいち2号SAR干渉解析による御嶽山噴火に伴う地表変位の検出
  - ・御嶽山噴火に対する測地観測センターの対応
- 相馬駿潮場の再建
- 電子レベルの器械特性に起因する水準測量誤差の調査
- だいち2号SAR干渉解析により捉えられた平成26年（2014年）長野県北部の地震に伴う地殻変動と地表変形
- 位置情報サービスの展開に寄与する場所情報コードの活用推進
- 防災地理情報の普及促進に向けた取り組み－防災アプリケーションの公募について－
- 地球規模の測地基準座標系に関する国連総会決議と国土地理院の貢献
- 火山防災地形調査「新潟焼山」について
- 地理院タイル目録を用いた地理院タイルの効率的な同期方法
- 公共測量のためのマルチGNSS測量マニュアル（案）の制定
- UAVによる空撮写真を用いた三次元モデリングソフトウェアの精度検証
- 過去の空中写真のタイル化
- 地点別浸水シミュレーション検索システム（浸水ナビ）の開発
- 主成分分析を用いた日本周辺の地磁気変化モデルの開発
- 日本の磁気図作成における地磁気値の空間補間手法の検証
- ヘリ画像処理システムの開発
- 新しい「全国都道府県市区町村別面積調」について
- 第28回国連地名専門家グループ会合報告

127

国土地理院

## 国土地理院時報 (2015, 127 集) 目次

|  |    |
|--|----|
| ○小特集：御嶽山噴火への対応   |    |
| ・御嶽山噴火に関する国土地理院の対応<br>Responses of GSI to the Eruption of Mt.Ontake Volcano<br>企画部 防災推進室 .....   | 1  |
| ・御嶽山噴火に対する空中写真の撮影と航空機 SAR による観測<br>Aerial Photography and Airborne SAR Observation in response to the Eruption of Mt. Ontake Volcano<br>基本図情報部 災害対策班 .....   | 3  |
| ・御嶽山噴火に関する地理空間情報部の対応<br>Responses of the Geospatial Information Dept. of GSI to the Eruption of Mt.Ontake Volcano<br>地理空間情報部 災害対策班 .....   | 7  |
| ・だいち 2 号 SAR 干渉解析による御嶽山噴火に伴う地表変位の検出<br>Detection of Deformation Triggered by Eruption of Mt.Ontake Volcano with InSAR Using ALOS-2 data<br>測地部 山田晋也・森下遊・和田弘人・吉川忠男・山中雅之・藤原 智<br>地理地殻活動研究センター 飛田幹男・矢来博司・小林知勝 .....   | 11 |
| ・御嶽山噴火に対する測地観測センターの対応<br>Response of Geodetic Observation Center to the Eruption of Mt.Ontake Volcano<br>測地観測センター 災害対策班 .....  | 17 |
| ○相馬駿潮場の再建<br>Reconstruction of Soma tide station, Fukushima Prefecture, Japan<br>測地観測センター 佐藤雄大・田邊壽男・中野博美 .....   | 19 |
| ○電子レベルの器械特性に起因する水準測量誤差の調査<br>Research of Leveling Error caused by mechanical characteristic of Electronic Level<br>測地部 澤田正典 .....  | 25 |
| ○だいち 2 号 SAR 干渉解析により捉えられた平成 26 年 (2014 年) 長野県北部の地震に伴う地殻変動と地表変形<br>Crustal and surface deformation of the northern Nagano earthquake in 2014 detected by InSAR using<br>ALOS-2 data<br>測地部 森下遊・山田晋也・山中雅之・吉川忠男・和田弘人<br>地理地殻活動研究センター 矢来博司・中埜貴元・飛田幹男・小林知勝・中島秀敏・神谷泉 ..... | 47 |

|  |     |
|--|-----|
| ○位置情報サービスの展開に寄与する場所情報コードの活用推進<br>Advancement of Utilizing Location information code for Location-Based Services<br>測地部 土井弘充・大滝修・小門研亮・豊福隆史 .....  | 57  |
| ○防災地理情報の普及促進に向けた取り組みー防災アプリケーションの公募についてー<br>An activity for the promotion of geospatial information for disaster prevention<br>- Public offering of portable application for personal use -<br>応用地理部 中澤尚・木村幸一・登坂昇 ..... | 65  |
| ○地球規模の測地基準座標系に関する国連総会決議と国土地理院の貢献<br>UN General Assembly Resolution on Global Geodetic Reference Frame and contributions of GSI<br>測地部 宮原伐折羅 .....  | 75  |
| ○火山防災地形調査「新潟焼山」について<br>Geomorphological Survey for Volcanic Disaster Mitigation "Mt. Niigata-Yakeyama"<br>応用地理部 坂井尚登・倉田憲 .....   | 79  |
| ○地理院タイル目録を用いた地理院タイルの効率的な同期方法<br>An effective synchronization method of GSI Tiles using a GSI Tile List<br>地理空間情報部 藤村 英範 .....  | 89  |
| ○公共測量のためのマルチ GNSS 測量マニュアル（案）の制定<br>Publication of a draft manual on Multi-GNSS Surveying<br>測地観測センター 山尾裕美・鎌苅裕紀・万所求・古屋智秋・辻宏道・後藤清 .....  | 99  |
| ○UAV による空撮写真を用いた三次元モデリングソフトウェアの精度検証<br>Evaluation of the image-based modeling software using photographs taken from UAV<br>基本図情報部 早坂寿人・大野裕幸・大塚力・関谷洋史・瀧繁幸 .....   | 107 |
| ○過去の空中写真のタイル化<br>Generating tile-based dataset from old aerial photo data.<br>地理空間情報部 高桑紀之 .....   | 117 |
| ○地点別浸水シミュレーション検索システム（浸水ナビ）の開発<br>Development of Web-Based Flood Simulation Search System at an Arbitrary Point<br>応用地理部 廣瀬勝・佐藤壮紀・稲澤容代・山本洋一 .....   | 123 |

|   |     |
|---|-----|
| ○主成分分析を用いた日本周辺の地磁気変化モデルの開発<br>Development of geomagnetic variation models around Japan by applying<br>Natural Orthogonal Component (NOC) method<br>測地部 阿部聡・宮原伐折羅 .....    | 129 |
| ○日本の磁気図作成における地磁気値の空間補間手法の検証<br>Evaluation of interpolation method for geomagnetic values applied for development of geomagnetic charts<br>of Japan<br>測地部 阿部聡・宮原伐折羅 ..... | 153 |
| ○ヘリ画像処理システムの開発<br>Development of heli-image processing system<br>基本図情報部 宮地邦英・大野裕幸 .....   | 171 |
| ○新しい「全国都道府県市区町村別面積調」について<br>Revision of “Planimetric reports on the land area by prefectures and municipalities in Japan”<br>基本図情報部 塩見和弘・梅沢武・服部武志・齋藤勲一 .....              | 181 |
| ○第28回国連地名専門家グループ会合報告<br>Report on the 28th United Nations Group of Experts of Geographical Names<br>基本図情報部 中村孝之・笹川啓・水越博子 .....  | 191 |

## 御嶽山噴火に関する国土地理院の対応 Responses of GSI to the Eruption of Mt.Ontake Volcano

### 企画部 防災推進室 Planning Department Disaster Management Office

#### 要 旨

国土地理院は、大規模自然災害の発生時において救命・救助活動及び復興に寄与するため、関係機関へ地理空間情報の提供を行っている。御嶽山噴火に関しても、国土交通本省をはじめとする関係行政機関（以下「関係機関」という。）へ地理空間情報を提供した。本稿ではその取り組みについて報告する。

#### 1. 御嶽山噴火の概要

御嶽山（標高3067m）は、長野県と岐阜県の県境に位置し（図-1）、これまで昭和54（1979）年、平成3（1991）年、平成19（2007）年に噴火が発生した活火山である。



図-1 御嶽山の位置図

平成26年9月27日11時52分頃に剣ヶ峰山頂南西側から噴火が発生し、火砕流が南西方向に3km以上流下するとともに、大きな噴石が火口列から1kmの範囲に飛散しているのが確認された（図-2）。また、噴煙は火口上7,000mまで上昇したと推定され、降灰は御嶽山西側の岐阜県下呂市萩原町から東側の山梨県甲府市飯田にかけての範囲で観測された。

この噴火には多くの登山者が巻き込まれ、死者57名、行方不明者6名の被害をもたらした（平成27年2月現在）。



図-2 平成26年9月28日11時撮影  
（左下図は撮影位置）

#### 2. 国土地理院の主な対応

国土地理院は、平成26年9月27日の噴火発生後の12時36分に火口周辺警戒の噴火警戒レベル1（平常）から3（入山規制）への引き上げに伴い、注意体制をとった。その後、重大な被害の発生へ対応するため、13時45分に非常体制に移行し、測量用航空機「くにかぜⅢ」（以下「くにかぜⅢ」という。）による緊急撮影（図-2）を実施するなどの情報収集、関係機関へ被災状況の把握や救命・救助活動等に必要の地理空間情報の提供を行った。

また、9月28日に政府の非常災害現地対策本部が長野県庁に設置され、国土地理院からリエゾンとして専門家7名（延べ25名）を派遣し、現地活動における地理空間情報の提供要望にこたえ、災害対応に貢献した（図-3）。



図-3 政府現地対策本部

## 2.1 各部の対応

御嶽山噴火に関する各部の主な対応は、以下のとおりとなる。

- 1) 基本図情報部  
「くにかぜⅢ」による御嶽山噴火周辺地域の斜め写真の撮影及び航空機 SAR 観測
  - 2) 地理空間情報部  
御嶽山噴火に関する各種地理空間情報をホームページ上で公開，立体地図及び3D模型の作成・提供
  - 3) 測地部及び地理地殻活動研究センター  
陸域観測技術衛星2号「だいち2号」(ALOS-2)のデータを用いて干渉 SAR により御嶽山噴火周辺地域の地表変位の検出
  - 4) 測地観測センター  
GNSS 連続観測による御嶽山周辺地域の地殻変動の把握
- なお，詳細な対応は次頁以降で各部から報告する。

## 3. まとめ

国土地理院は，災害対策基本法の指定行政機関としての責務を果たすべく，今回の火山活動はもとより今後発生が予想される東海地震や南海トラフ地震をはじめ，風水害に対しても万全な体制を備える所存である。

最後に本災害において被災された皆様方に心からお見舞い申し上げます。

(公開日：平成 27 年 3 月 12 日)

# 御嶽山噴火に対する空中写真の撮影と航空機 SAR による観測

## Aerial Photography and Airborne SAR Observation in response to the Eruption of Mt. Ontake Volcano

### 基本図情報部 災害対策班

#### National Mapping Department Countermeasures Group

#### 要 旨

平成26 (2014) 年9月27日の御嶽山噴火に対する国土地理院基本図情報部の災害対応について報告する。

#### 1. はじめに

国土地理院基本図情報部では、災害発生時に現地状況を迅速に把握するため、緊急対応として空中写真の撮影（以下「緊急撮影」という。）を実施し、写真画像や正射画像等を提供している。

9月27日の御嶽山の噴火についても緊急撮影を行った。風水害、地震災害とは異なり、噴煙が火口から3,000m以上まで達し、火口から4km程度の範囲で噴火に伴う大きな噴石の飛散があるとして、気象庁は噴火警戒レベルを1（平常）から3（入山規制）に引き上げるという悪条件の中での撮影を行うことになった。火山活動が活発な火山の火口周辺では噴煙等により航空機の安全な飛行に悪影響を与える可能性があることから、一般的に火口に近づいて空中写真撮影を行うことはできない。この状況下では垂直写真の撮影は不可能であるため、今年度から、迅速な画像提供を目指して本格的な取り組みを始めたデジタル一眼レフカメラを用いた斜め写真撮影を行った。また、雲や噴煙がある状況でも地表面の観測が可能な航空機搭載型合成開口レーダー（以下「航空機 SAR」という。）により山頂付近の観測を行った。撮影した斜め写真、斜め写真から作成した正射画像（簡易オルソ画像のことであるが、以下、「正射画像」という。）及び航空機 SAR で観測した反射強度画像をオルソ処理した画像（以下「SAR 画像」という。）について、直ちに関係機関に提供した。さらに、SAR 画像等から火口位置を推定し、その結果を関係機関に提供した。なお、これらの成果は、地理空間情報部の協力を得て地理院地図上で公開した。

#### 2. 斜め写真の撮影

9月27日11時53分頃に御嶽山が噴火、政府発表やマスコミ報道による情報から被害が明らかになるなか、13時45分に本災害に対する国土地理院の体制が非常体制になったことを受け、当部災害対策班は撮影チームほか関係職員が参集し、緊急撮影の実施準備に着手した。20時15分からの国土地理院災害対策本部

会議において、測量用航空機「くにかぜⅢ」（以下「くにかぜⅢ」という。）による緊急撮影の実施が決定された。くにかぜⅢは、噴火警戒レベル3となっていた鹿児島県口永良部島でのSAR観測を28日から予定していたため、飛行準備を整え調布飛行場に駐機していたが、急遽予定を変更し、御嶽山の撮影に向かうこととした。撮影実施にあたっては航空機運航の安全性を考慮し、噴火に伴う大きな噴石の飛散に警戒が必要とされている距離の2倍となる火口からの水平距離8km以上を確保しつつ、火口付近を視認できる条件の下で高度約5,000mから行う計画とした。

9月28日、くにかぜⅢは9時11分に東京都調布飛行場を離陸、10時36分から斜め写真撮影を開始した。撮影は後続の正射画像作成を考慮し、山頂部を中心に半径約8km～12kmの距離を保ちながら円形に飛行し（図-1）、オーバラップさせながら367枚（写真-1、2）の撮影を行い、12時9分に調布飛行場に着陸した。調布飛行場から直ちに斜め写真画像を国土地理院の大容量ファイル転送システムで伝送し、14時06分に本院で後続作業を完了させ、直ちに関係機関へ提供した。

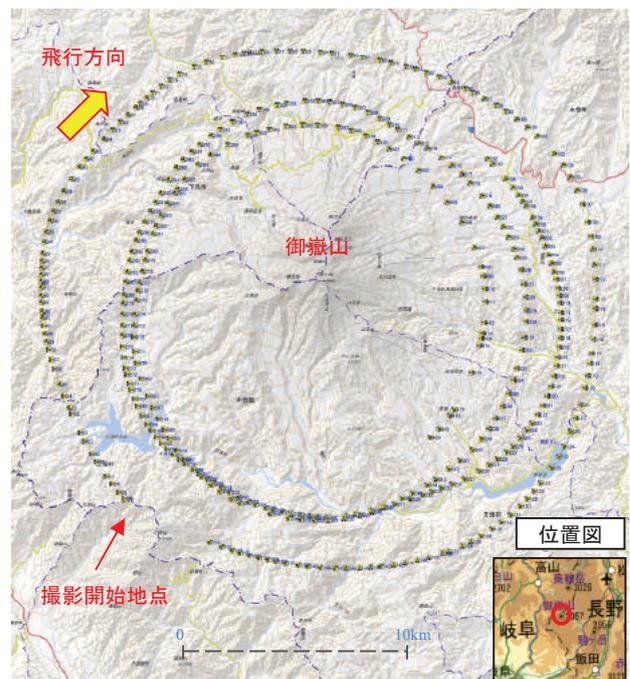


図-1 斜め写真の撮影位置 (9/28)

午前中に撮影した斜め写真画像には噴煙が火口から東南の方向にかかっていたため、この部分の再撮影を実施すべく、くにかぜⅢは15時13分に調布飛行場を再度離陸し現地上空に向かったが、午前中の状況と変わらなかったためこの日の撮影は断念し、御嶽山から距離が近く離陸から30分以内に上空到達可能な名古屋飛行場に16時59分に着陸した。



写真-1 斜め写真画像（南西方向から御嶽山遠景）



写真-2 斜め写真画像  
（山頂付近拡大：ズームレンズ使用、右下は御嶽神社付近）

さらに撮影した斜め写真画像から正射画像を作成した。正射画像とは空中写真画像を地図と重なるように歪みを補正したものをいい、地図に正射画像を重ね合わせると被災地の状況把握が一挙に容易となるものである。これまでの正射画像は、位置精度及び解像度の高い垂直写真から作成していたが、位置精度や解像度は若干低下するものの斜め写真画像からの正射画像作成も技術的に可能となり、当部災害対策班のリモセン・オルソチームにおいても災害に備えて訓練を繰り返し行っていた。この結果、斜め写真画像から御嶽山の周囲をカバーする正射画像

（図-2）が16時1分までに作成でき、斜め写真画像と同様に直ちに関係機関へ提供した。

これら斜め写真画像及び正射画像を地理院地図上で公開するための作業も順次実施し、一般公開用のデータを17時40分までに外部公開用サーバへ格納完了、公開作業は地理空間情報部に引き継いだ。

こうして、撮影当日夕刻までに作成した全ての画像を関係機関に提供するとともに、地理院地図上で一般に公開することができた。この斜め写真画像及び正射画像は、関係機関による救助その他の活動で利用されるとともに、報道番組でも現地の状況を説明する資料として使用された。

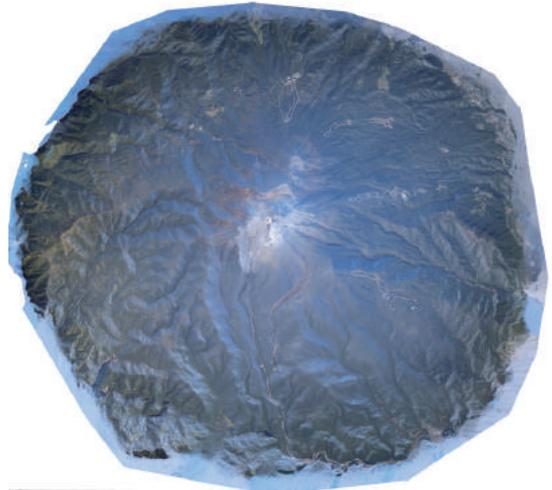


図-2 斜め写真画像から作成した正射画像（9/28撮影）

翌日29日も引き続き斜め写真の撮影を行った。

くにかぜⅢは9時10分に名古屋飛行場を離陸後、9時37分から撮影を開始し、斜め写真（261枚）を撮影の上、11時14分に調布飛行場に着陸した。

着陸後、調布飛行場から斜め写真画像の伝送を行い、12時45分には標定図作成等の後続作業まで完了、正射画像は14時37分までに作業を完了させ、それぞれを直ちに関係機関に提供した。

これら画像を地理院地図で公開するための作業も順次実施し、16時11分までに外部公開用サーバへの格納を完了し、公開作業は地理空間情報部に引き継いだ。

### 3. 航空機 SAR による観測

9月29日に関係機関とのSAR周波数帯の利用調整が整い、くにかぜⅢ搭載の航空機SAR（写真-3）の観測が実施可能となった。

航空機SARは、航空機に搭載されたアンテナから電波を照射し、地表の物体等にぶつかって反射、散乱された電波を受信することによって地表の状況を観測する能動センサである。航空機SARで使用され

る電波（マイクロ波）は雲や噴煙等を透過する性質を持っているため、曇や雨などの天候や噴煙等に左右されない観測が可能である。航空機SARでの火山観測は、平成23（2011）年の霧島山（新燃岳）での火口地形観測で実績があり、火口内容岩の解析により、今後の火山の噴火の見通しの検討に有効に活用されるなど成果があった。本災害においても火口周辺の地形判読、具体的には噴火口位置の特定が期待されていた。

施した。観測終了後名古屋飛行場へ移動する途中、南北及び東西方向に 10m 間隔で標高値を配置した DEM（Digital Elevation Model；地表面の高さデータからなる地表モデル）を用いて SAR 画像を生成した。

17 時 10 分に名古屋飛行場へ着陸後、空港において直ちに生成したコースごとの SAR 画像（図-4）を大容量ファイル転送システムにて本院へ伝送した。この SAR 画像をもとに、斜め写真画像も参考にしながら火口位置の推定に着手した。

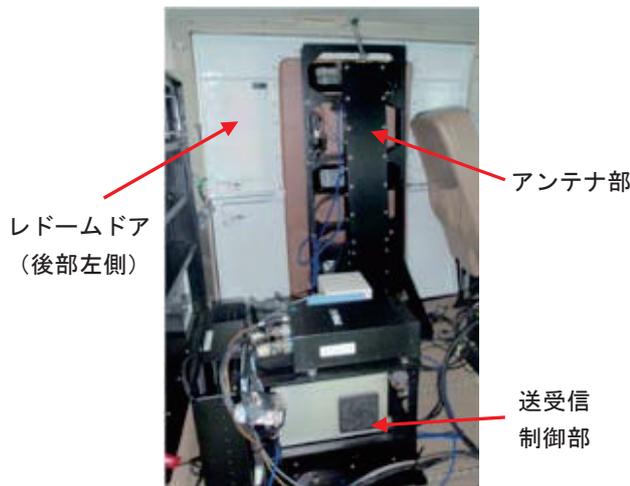


写真-3 航空機 SAR 装置（くにかぜⅢ機体内部から撮影）

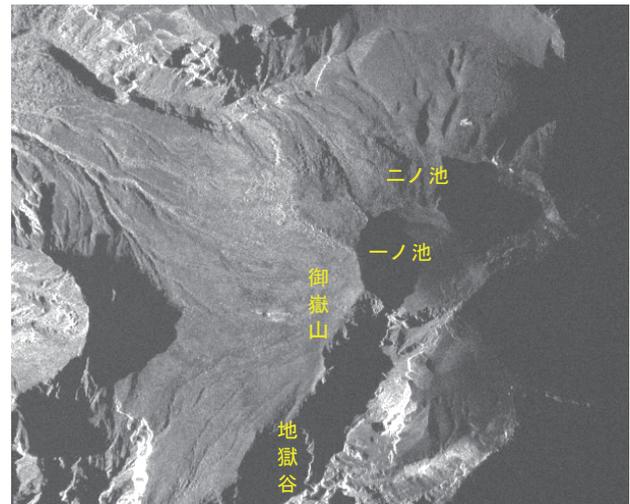


図-4 SAR 画像  
(9/29 観測 レーダーの照射方向は西から東)

29 日午前中に斜め写真撮影を実施した後、調布飛行場で待機していたくにかぜⅢは、一旦百里飛行場（茨城空港）に移動し、当部の航空機 SAR 観測要員を搭乗させて 14 時 53 分に百里飛行場を離陸、現地上空へ向かった。

30 日、くにかぜⅢは 29 日の SAR 画像を補完するため、再度航空機 SAR 観測を実施した。10 時に名古屋飛行場を離陸、高度 5,200m から 3 コース（図-3；C3S, C4S, C5S）の観測を行い、12 時 12 分に調布飛行場へ着陸した。前日と同様移動中に上空で SAR 画像を生成し、着陸後直ちに本院へ伝送した。

本院では火口位置の判読を進めていたが、新たに届いた 30 日の SAR 画像も使用し、少なくとも 5 箇所（図-5, 6）の火口及び 4 箇所の火口を推定した。

29 日の SAR 画像及び火口位置の推定結果は、地理空間情報部の協力を得て、30 日に地理院地図上で公開した。また、30 日の SAR 画像についても 31 日に公開した。公開した火口位置は 10 月 23 日に開催された火山噴火予知連絡会に提供され、今後の見通しの検討に活用された。

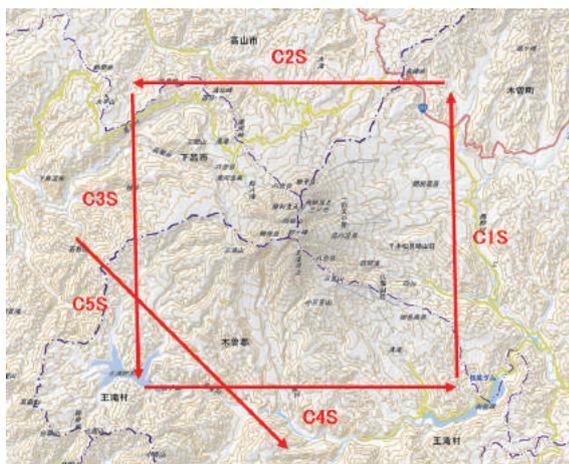


図-3 航空機 SAR 観測コース（9/29, 9/30）  
9/29；C1S, C2S, C3S, C4S の観測を実施  
9/30；C3S, C4S, C5S の観測を実施

16 時 8 分、高度 5,200m から計画した 4 コース（図-3；C1S, C2S, C3S, C4S）の航空機 SAR 観測を実

#### 4. 現況把握のための斜め写真の撮影

10 月 6 日午前 8 時過ぎ静岡県浜松市付近に上陸した台風 18 号は、各地に大雨を降らせ、特に静岡市清水区で浸水や土砂崩れの被害をもたらした。御嶽山周辺においても断続的に強い雨が降り、土石流の危険が高まることで捜索が中断するなど救出活動に影響が出ていた。

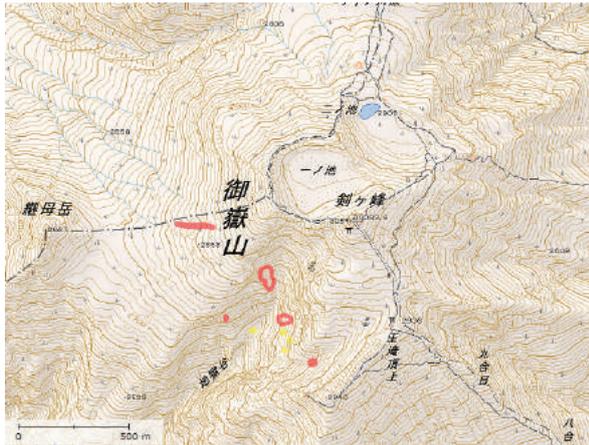


図-5 火口位置の推定結果（地理院地図）  
（赤：火口 黄色：推定される火口）

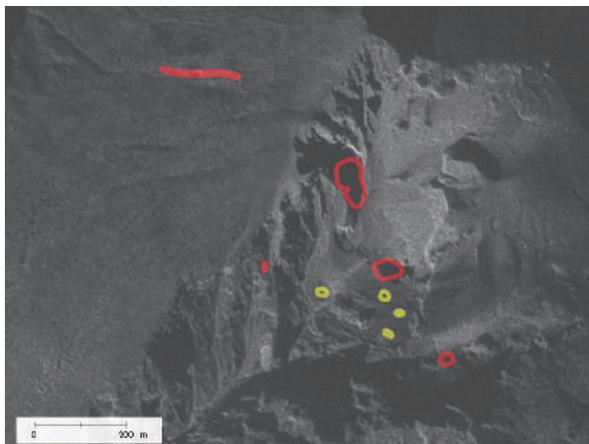


図-6 SAR 画像との重ね合わせ（地理院地図）  
（9/30 観測 レーダーの照射方向は南西から北東）

16時50分、静岡市清水区で被害が発生している地区と御嶽山の現況把握のため、緊急撮影実施を決定した。天候の回復した7日、くにかぜⅢは9時25分に調布飛行場を離陸、10時31分から静岡市清水区で浸水被害のあった地区の斜め写真（29枚）及びJR 東海道本線で土砂崩れのあった地区の斜め写真（66枚）及び垂直写真（5枚）を撮影した後、御嶽山の斜め写真撮影に向かった。11時36分から御嶽山の斜め写真撮影（220枚）を実施、13時52分に調布飛行場へ着陸した。

調布飛行場着陸後、御嶽山の斜め写真画像を最優先に伝送を行い、16時までに後続作業を終了させ、直ちに関係機関に提供した。同時に斜め写真からの

正射画像作成にも着手し、翌日の10時35分以後続作業まで完了させ、直ちに関係機関に提供した。

なお、静岡市清水区の斜め写真画像及び垂直写真の画像処理経過については本報告では触れないが、撮影当日中に斜め写真画像、翌日に垂直写真画像を関係機関に提供している。

### 5. 斜め写真画像提供までの所要時間

御嶽山の緊急撮影では、火口部上空の飛行が危険であったため、垂直写真の撮影を行わず山頂部を中心に斜め写真の撮影を行った。斜め写真画像は標定図作成等の後続作業を完了したのち、直ちに関係機関に提供を行っているが、くにかぜⅢが拠点空港へ着陸後、当部において関係機関に提供するデータを完成させるまでに要した時間を表-1に示す。

表-1 着陸から斜め写真画像の提供までの所要時間

| 地区名       | 枚数  | 空港 | 時間     |
|-----------|-----|----|--------|
| 御嶽山（9/28） | 367 | 調布 | 1時間57分 |
| 御嶽山（9/29） | 261 | 調布 | 1時間31分 |
| 御嶽山（10/7） | 220 | 調布 | 2時間8分  |

### 6. まとめ

当部では、今回の災害対応において、斜め写真画像及び正射画像その他の地理空間情報について、一部を除き撮影当日中に関係機関に提供するとともに、地理空間情報部の協力を得て地理院地図上で公開した。また、航空機 SAR 観測を実施し、SAR 画像とともに推定火口位置を地理院地図上で公開した。

本災害ではくにかぜⅢの飛行に制限があるなか、関係機関に迅速に地理空間情報を提供するため、可能な限りの対応を行った。今後も様々な自然災害に対して必要とされる地理空間情報を迅速に提供できるように訓練等を行っていく予定である。

（公開日：平成27年3月12日）

### 参考文献

下野隆洋，南 秀和，西井康郎，大野裕幸，渡部金一郎（2011）：航空機 SAR による霧島山（新燃岳）の火口地形観測，国土地理院時報

## 御嶽山噴火に関する地理空間情報部の対応 Responses of the Geospatial Information Dept. of GSI to the Eruption of Mt.Ontake Volcano

### 地理空間情報部 災害対策班 Geospatial information Department Disaster Countermeasures Group

#### 要旨

平成26年9月27日に発生した御嶽山噴火に関する地理空間情報部の災害対応について報告する。

#### 1. はじめに

地理空間情報部では、御嶽山周辺を撮影した空中写真等の各種地理空間情報を地理院地図から公開するとともに、関係機関に対する3Dモデルの提供等の対応を実施した。

#### 2. 地理院地図から公開した地理空間情報

9月28日より順次、各種地理空間情報を地理院地図に掲載・公開した。具体には地理院地図の左メニューの防災タブに「御嶽山噴火活動」を新規作成し、各種地理空間情報を追加した。

##### 2.1 9月28日・29日に公開した地理空間情報

##### 1) 斜め写真

9月28日・29日に撮影した斜め写真を、各々当日中に公開した。撮影した地点をカメラ方向のアイコンで表示し、そのアイコンをクリックすることにより斜め写真(28日撮影分:184枚,29日撮影分:130枚,計314枚)が表示される。(図-1)

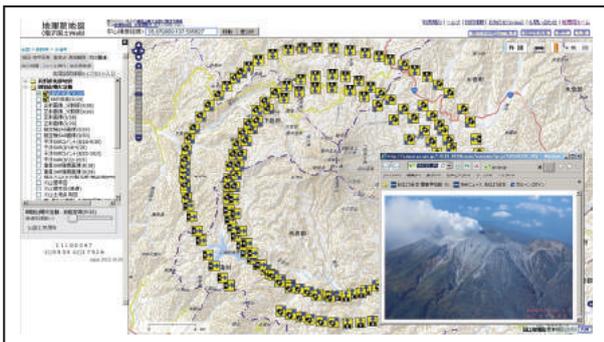


図-1 9月28日に撮影した斜め写真

##### 2) 斜め写真から作成した正射画像分割版

9月28日・29日に撮影した斜め写真から作成した正射画像分割版(28日撮影分:9枚,29日撮影分:9枚)を各々当日中に公開した。

図郭枠内をクリックすることで、斜め写真から作成した正射画像分割版が表示される。(図-2)

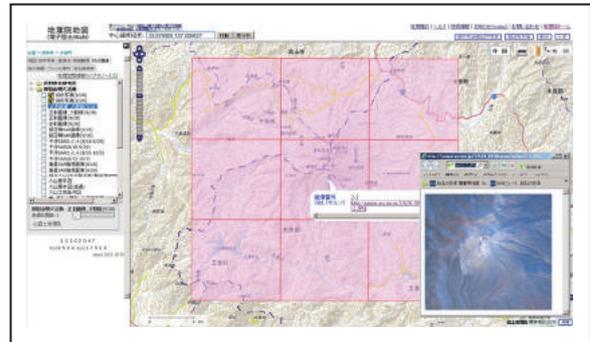


図-2 9月28日に撮影した斜め写真から作成した正射画像分割版

##### 3) 斜め写真から作成した正射画像タイル

9月28日・29日に撮影した斜め写真から作成した正射画像タイル(28日撮影分:1枚,29日撮影分:1枚)を各々当日中に公開した(図-3)。

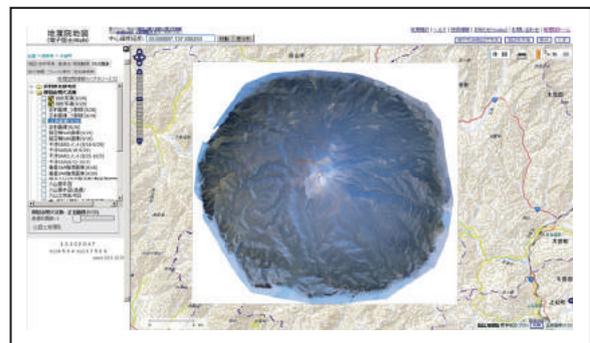


図-3 9月28日に撮影した斜め写真から作成した正射画像タイル

##### 2.2 9月30日・10月1日に公開した地理空間情報

##### 1) 航空機 SAR 画像

9月29日に撮影した航空機 SAR 画像を9月30日に公開した。また、9月30日に撮影した航空機 SAR 画像を10月1日に公開した。

##### 2) 推定火口

推定火口(9/30暫定版:航空機 SAR 画像判読)を9月30日に公開した。(図-4)

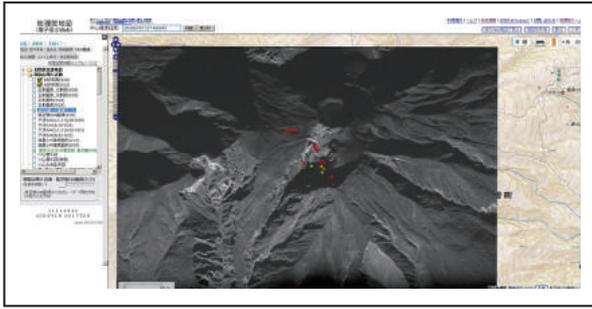


図-4 航空機 SAR 画像 (9/29) 及び推定火口

## 2.3 10月3日・6日に公開した地理空間情報

### 1) SAR 干渉画像

だいち 2 号による SAR 干渉画像 (8/18-9/29) を 10 月 3 日に公開した。(図-5) また、だいち 2 号による SAR 干渉画像 (8/22-10/3) を 10 月 6 日に公開した。

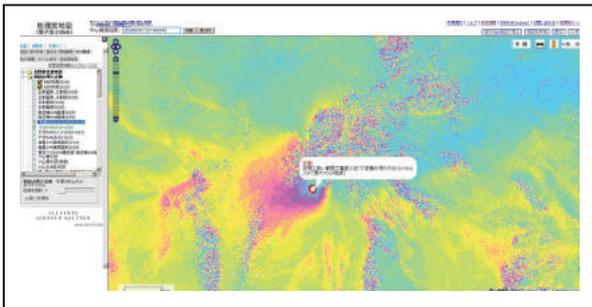


図-5 SAR 干渉画像 (8/18-9/29)

## 2.4 既存コンテンツの追加

地理院地図の既存コンテンツ「火山基本図」「火山土地条件図」「過去に撮影した空中写真(1991~2000年)・(1981~1990年)・(1971~1980年)」「過去の正射画像(1974年~1978年)」を 9 月 28 日に「御嶽山噴火活動」のメニューに追加した。なお、「火山基本図」については、他の情報と重ね合わせた際に見やすくなるように背景色を透明とした。

## 2.5 地理院地図へのアクセス状況等

地理院地図への総アクセス数は御嶽山噴火後、かなり増加した(平時約 4 万アクセスに対し、9 月 30 日には 8 万アクセス超)。(図-6)

また、タイルアクセス数は 9/29 に急激に増加した(平時約 2 千タイルに対し、9 月 29 日には 3 千超)。斜め写真について Web 上のニュースに取り上げられた影響と推測される。

9 月 27 日・29 日に地理院地図が繋がりにくい状態が断続的に発生した。その対応として、応急閲覧ページを設ける等して障害回避を図った結果、解消した。

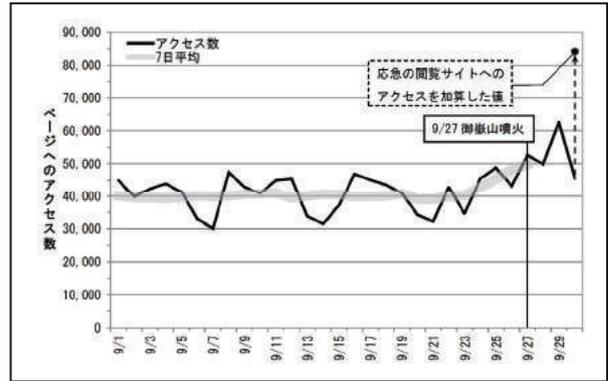


図-6 地理院地図へのアクセス数の推移

## 3. 地理院地図以外から公開した地理空間情報

地理院地図以外から公開した地理空間情報について述べる。

### 3.1 立体地図

#### 1) 9月29日に公開した立体地図

2 種類の立体地図(標準地図, 9 月 28 日に撮影した斜め写真による正射画像)を 9 月 29 日に公開した。

この立体地図は, Web ブラウザから 3 次元で見ることができるもので, マウスの左ドラッグで画像を回転, 右ドラッグで視点の位置を変更, マウスホイールで拡大・縮小の操作ができる。(図-7)



図-7 立体地図(標準地図)

#### 2) 10月3日に公開した立体地図

3 種類の立体地図(標準地図及び推定火口, 9 月 29 日に撮影した斜め写真による正射画像及び推定火口, 9 月 29 日に撮影した斜め写真による正射画像, 推定火口及び登山道)及び 3D プリンター用データ(VRML 形式, STL 形式)を 10 月 3 日に公開した。(図-8)

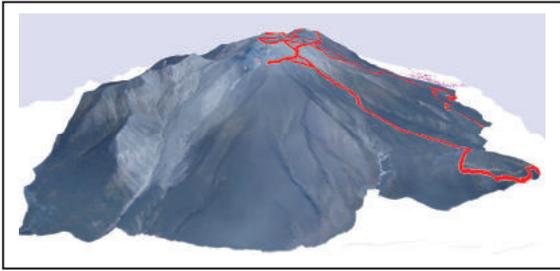


図-8 立体地図（正射画像,推定火口及び登山道）

### 3.2 3D動画

初めての試みとして、Webブラウザから見ることのできる3種類（9月28日に撮影した斜め写真による3D動画（遠景及び近景）、9月29日に撮影した斜め写真による3D動画（近景））の3D動画を9月29日に公開（図-9）した（Microsoft Photosynthを使用）。



図-9 3D動画（画面キャプチャ）

## 4. 関係機関への地理空間情報の提供

### 4.1 3D模型の提供

9月28日より順次、各種3D模型（図-10）を関係機関（現地対策本部ほか）へ提供した。

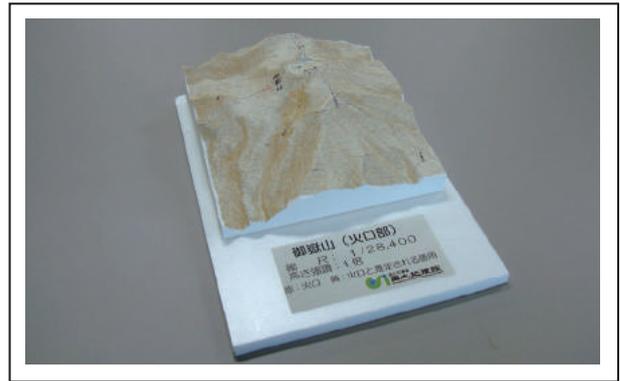


図-10 立体模型（火口部）

### 4.2 既存空中写真の提供

10月14日、国土地理院が過去に撮影した空中写真データ（4枚）を防災推進室から中部地方整備局に提供した。

### 5. 関係機関との情報共有

関係機関との災害情報の共有を図るため、専用サイトを構築し、「2.」と合わせ、解像度の異なる斜め写真、正射画像分割版、正射画像タイルを掲載した。

### 6. その他の対応

災害対応に必要な御嶽山近辺の地図の在庫調査を9月30日に実施し、市場に十分な在庫があることを確認した。

（公開日：平成27年3月12日）



## だいち 2 号 SAR 干渉解析による御嶽山噴火に伴う地表変位の検出 Detection of Deformation Triggered by Eruption of Mt. Ontake Volcano with InSAR Using ALOS-2 data

測地部 山田晋也・森下 遊・和田弘人・吉川忠男・山中雅之・藤原 智  
Geodetic Department Shinya YAMADA, Yu MORISHITA, Kozin WADA,  
Tadao KIKKAWA, Masayuki YAMANAKA and Satoshi FUJIWARA

地理地殻活動研究センター 飛田幹男・矢来博司・小林知勝  
Geography and Crustal Dynamics Research Center Mikio TOBITA, Hiroshi YARAI  
and Tomokazu KOBAYASHI

### 要 旨

国土地理院は、2006 年から 2011 年まで運用されていた陸域観測技術衛星「だいち」に搭載されている L バンド合成開口レーダーの観測データを用いて、全国の地盤沈下、地すべり及び火山地域を対象に定期的に SAR 干渉解析を実施してきた。また、災害発生時には災害状況の把握等を目的として、緊急観測を実施してきた。

2014 年 5 月に後継機である陸域観測技術衛星 2 号「だいち 2 号」が打ち上げられた。2014 年 9 月 27 日に発生した御嶽山の噴火に対して、定常運用前ではあったがだいち 2 号による緊急観測が実施され、この観測データを用いて地表変位を求める緊急解析を行った。解析結果は直ちに国土地理院の Web ページに掲載するとともに、地理院地図上に SAR 干渉画像を重ね合わせることができるデータを公開した。

### 1. はじめに

干渉 SAR とは、人工衛星などに搭載した合成開口レーダー (Synthetic Aperture Radar: SAR) を用いて、ある地域を 2 回以上観測し、反射波の位相差を計算することによって地表面の変動を求める宇宙測地技術である。一般には数 m から数十 m の空間分解能で数十 km から数百 km の範囲の地殻変動を数 mm から数 cm の精度で面的に捉えることができる特徴がある。

国土地理院では、2006 年から 2011 年までだいちによる SAR 観測データを用いて定期的に SAR 干渉解析を実施し、地盤沈下、地すべり、火山活動による地殻変動の監視に寄与してきた。また、地震の発生や火山の噴火といった緊急時には、緊急解析を実施した。例えば、地震では平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震 (雨貝ほか, 2008 年) や平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震 (山中ほか, 2011)、火山では平成 23 年 (2011 年) 霧島山 (新燃岳) の噴火 (小林ほか, 2011) において、緊急解析により広範囲の変動を面的に検出することに成功した。

2014 年 5 月 24 日にだいち 2 号が打ち上げられた。だいち 2 号は約半年の初期機能確認運用及び初期校正検証運用の期間を経て、11 月 25 日からデータの定常配布を開始している。だいち 2 号は、だいちに比べ同じ軌道に戻ってくる回帰日数が短くなり観測頻度も向上するとともに、衛星進行方向の左右両方向の観測ができるようになっている。また、2 回の干渉ペア観測の軌道位置のずれ量である基線長が常に短くなるように軌道制御が実施されているので、垂直基線長によって干渉ペアが制限されることが極めて少ない。観測モードは分解能と観測範囲に応じて 6 種類あり、必要に応じた観測ができる。

9 月 27 日に岐阜・長野県境の御嶽山の噴火が発生した。だいち 2 号は定常運用の状態ではなかったものの、緊急観測を実施し、国土地理院でもデータを入力・解析を行い、解析結果を公表した。SAR はマイクロ波を用いるので、雲や噴煙に遮られることなく観測できることも大きな特徴であり、火山噴火時の観測にも有用であることが改めて示された。

本稿では、御嶽山の噴火に際して国土地理院が行った、「だいち 2 号」の緊急観測要求の過程、データの緊急解析、得られた成果の公開及び変位源モデルの考察について報告する。

### 2. 観測要求

国土地理院は宇宙航空研究開発機構 (以下「JAXA」という。) が地球観測衛星を用いた防災利用実験の一環として実施している火山噴火予知連絡会衛星解析グループ (以下「火山 WG」という。) に PI (Principal Investigator, 研究責任者) 及び CI (Co-Investigator, 共同研究者) として参加している。火山 WG は 2006 年 11 月に JAXA の協力のもと気象庁を事務局として発足し、衛星観測データを用いた日本付近の主要火山の活動監視と、噴火時の状況把握を目的としている。PI は必要なデータの提供を受けることができる他、災害発生時には緊急観測を提案することができる。提供されたデータを用いた解析の成果は火山

噴火予知連絡会に報告し、火山活動の評価に利用されている。

9月27日11時52分頃の噴火発生当時、だいち2号は初期校正検証運用期間中であり、観測データの定常配布はされていなかったが、国土地理院では火山WGを通じて緊急観測要求を行い、9月27日23時17分頃に噴火後初の観測が行われた。この観測に対しては、噴火前に同条件で観測されたデータはなく、干渉解析には至らなかったが、9月29日23時58分頃に始めて噴火前の観測と併せて干渉解析を実施できるデータが観測された。10月3日23時44分頃には新たに干渉解析可能な観測が行われた。データ提供はオンラインを経由してどれも観測後24時間以内に行われた。

### 3. 緊急解析

#### 3.1 噴火前後の解析の概要

御嶽山噴火に際して表-1の通り2つの干渉ペアにおいて緊急解析を行った。干渉解析には国土地理院で開発したソフトウェア「新GSISAR」を用いた。地形縞を除去するのに必要なDEMとしてGSI10mDEHMJapan(飛田, 2009)を用いた。また、2回の衛星軌道の差である基線値の再推定を行って画像中の軌道による残存縞模様を除去し、標高の一次関数近似により大気による誤差の低減処理を行った。2つめの干渉解析ペアである(2)については気象モデルを用いた対流圏誤差低減処理(小林ほか, 2014)も併せて行った。初めにJAXAより配布された8月18日観測のデータには、強度画像に電波照射方向に平行な縞模様が地上電波源由来と考えられるノイズとして現れていたが、だいち2号のデータに適合したノイズ低減フィルタを開発し(飛田, 2015)、これを用いて強度画像中の縞模様を除去し、干渉性を改善させた。

表-1 御嶽山噴火における緊急解析ペア

|           | (1)        | (2)        |
|-----------|------------|------------|
| 観測日(マスター) | 2014年8月18日 | 2014年8月22日 |
| 観測日(スレーブ) | 2014年9月29日 | 2014年10月3日 |
| モード       | 高分解能(3m)   | 高分解能(3m)   |
| 衛星進行方向    | 北行         | 北行         |
| 電波照射方向    | 右          | 右          |
| オフナディア角   | 46.8°      | 32.4°      |
| 垂直基線長     | +97m       | -6m        |

### 3.2 得られた成果

#### 3.2.1 干渉画像と成果公開

表-1の(1)の解析で得られたSAR干渉画像を図-1に、(2)の解析で得られたSAR干渉画像を図-2に示す。それぞれに国土地理院の航空機SARの観測から推定された火口の位置を付け加えている。ペア

(1)の画像では、噴火口南西側の1km四方のごく狭い領域において位相変化が検出された。この位相変化の原因として、地表変位または堆積した火山灰の影響が考えられる。干渉解析において、干渉が得られるためには地形の起伏が保存される必要があり、火山灰が地形の起伏を保持したまま堆積する状況が考えられる。しかし、今回捉えられた位相変化の領域は噴火口に近く、噴火口近傍では火砕流による横方向からの堆積が想定されることから、地形の状態が保持されず、干渉性が失われる可能性が高い。したがって、この噴火口周辺の位相変化が火山灰の堆積による可能性は低いと考えられる。位相変化がすべて地表の変位によるものとする、衛星(観測地域の西南西上空から観測)に近づく方向に約10cmの地表変位となる。ペア(1)、(2)の画像ともに、山頂である剣ヶ峰とその周囲に非干渉の領域がみられた。非干渉とは、2回の観測間で地表面の状態が変わってしまったときによく観測されるもので、火山灰や噴石などの噴出物が堆積し、地表面の状態が大きく変わったためだと考えられる。また、空白域はオフナディア角(鉛直下方からの観測角度)が小さいために、レイオーバー(観測角度と地形の組み合わせによってデータが重なり合っただけで干渉画像ができなくなる現象)となってしまうと考えられる。

これら2つの干渉解析ペアについて、ペア(1)は10月3日に、ペア(2)は10月6日に国土地理院のWebページ(<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h26-ontake-index.html>)に掲載した。また、国土地理院が運用しているWeb地図である地理院地図(<http://maps.gsi.go.jp/>)を用い、地図上で干渉画像を重ね合わせることでデータを作成した。作成したデータは、電子基準点の配置や空中写真など、様々な地理空間情報とともに前述のWebページから地理院地図のページへリンクし、付したコメントを参照したり、干渉画像の透過率を変えて地形と比べたりしながら、誰でも自由に閲覧できるようにした。

#### 3.2.2 モデルの考察

ペア(1)の解析により検出された噴火口南西側の位相変化について、原因を考察し、地下の変位源による地表変位を推定してモデルを検証した。噴火口近傍で検出された位相変化は、1km程度のごく狭い領域に限られることから、原因が地下の変位源の場合、その変位源の深さは浅いと推定される。言い換えると、噴火前の約1か月間に地下深くのマグマの膨張を示すような顕著な地殻変動は見られない。

火山噴火に関する何らかの物質が地下から地上の火口に向かう際に、板状に周囲の岩石を押し開きながら上昇するものとして、半無限弾性体中に変位源

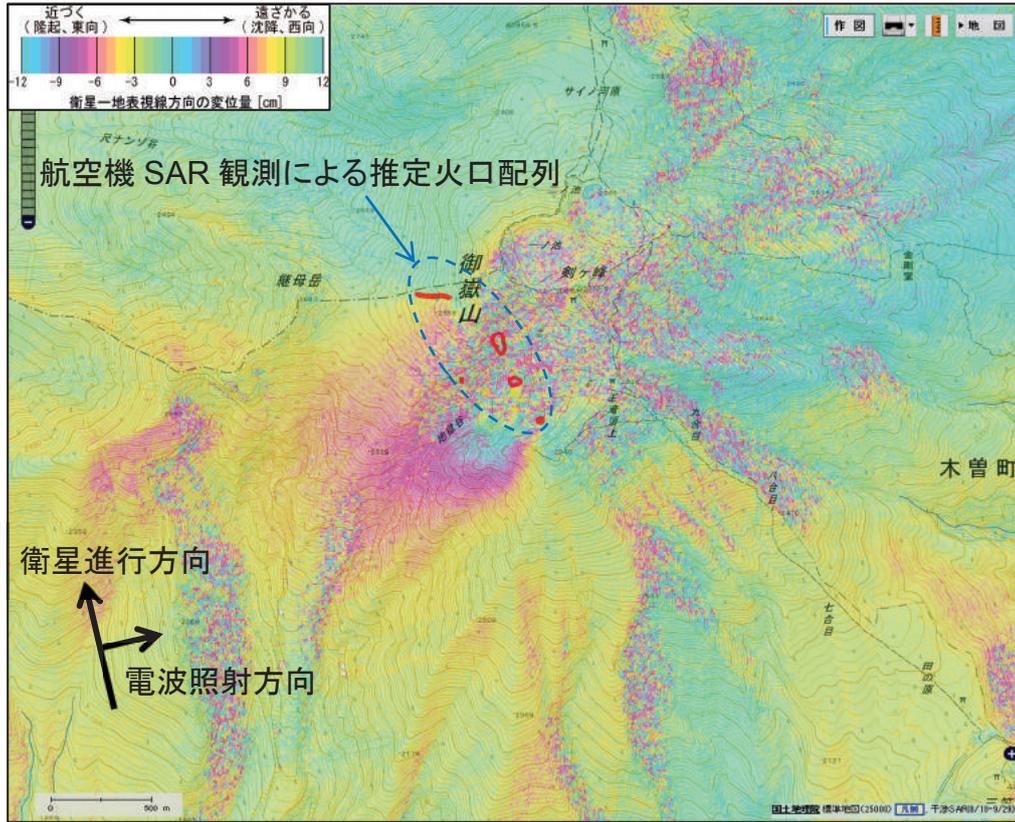


図-1 2014年8月18日-2014年9月29日の干渉画像（地理院地図使用）

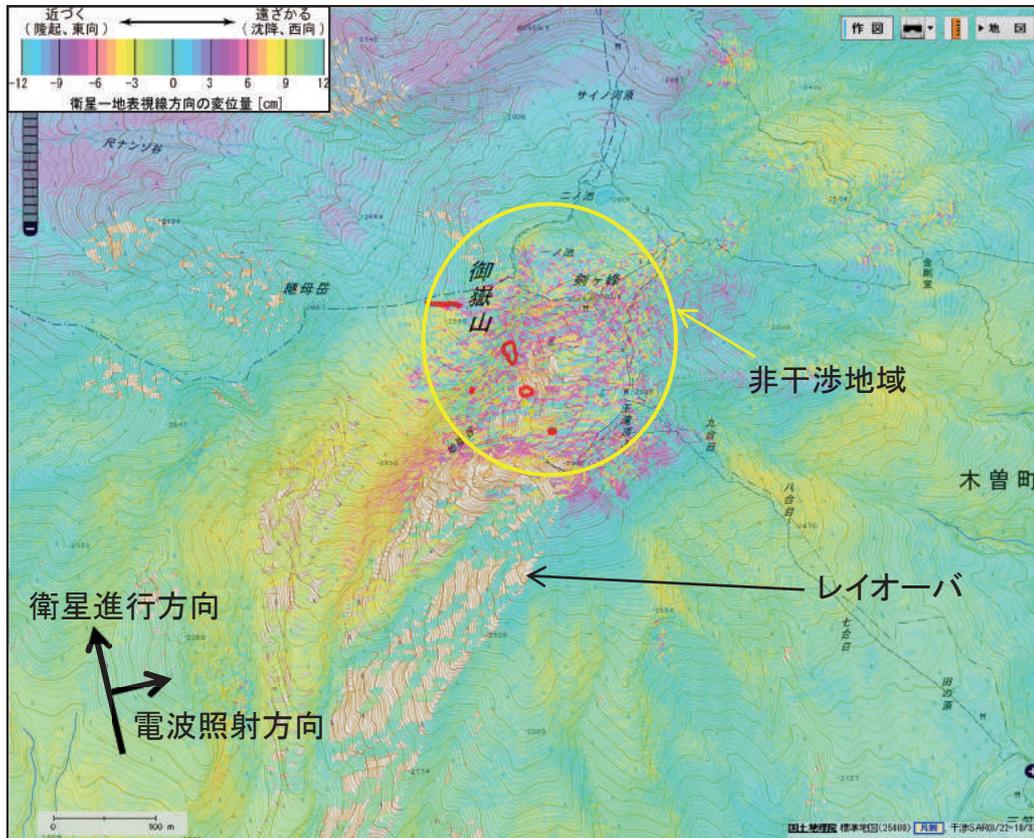


図-2 2014年8月22日-2014年10月3日の干渉画像（地理院地図使用）

として矩形の開口クラック 1 枚を仮定し、Simulated Annealing 法 (Kirkpatrick et al., 1983) により開口クラックモデルの大きさ等のパラメータを推定した。最適解は観測変位量と計算変化量の残差の二乗和が最小となる解とした。残差の二乗和の計算においては、変動域の変位の重みを大きくし、大気の影響や地形の影響を抑えることを目的に、山頂域から各計算点の距離の二乗の逆数を重みとした。開口クラックの位置は国土地理院の航空機 SAR 観測による火口配置から得られたものに強く拘束し、走向角  $140-150^\circ$ 、断層長  $0.3-0.5\text{km}$ 、傾斜角  $0-90^\circ$  (南東傾斜)、開口量  $0-2\text{m}$  の範囲で探索を行った。また、気象庁の傾斜計 (田の原) で観測された噴火前後の傾斜量を図から読み取り、推定に用いている。

表-2 のとおり、火口直下に北西-南東方向を走向とする開口クラックのパラメータが推定された。図-3 に開口クラックモデルによる変位から求めた計算位相 (左) 及び観測位相 (図-1) との残差 (右) を示す。噴火口南西側で位相変化が検出された領域について、残差の図ではほぼ全体で位相値が 0 付近 (緑

～黄緑) となっており、仮定したクラックモデルは噴火口南西側の位相変化をほぼ説明できていることが分かる。

このことから、SAR 干渉解析で検出された位相変化は、地下の非常に浅い位置の変位源による地殻変動である可能性が高いと考えられる。また、位相変化が確認された領域では、観測位相との残差がほとんど見られないことから、今回考察した領域以外で変動がなかったと考えられる。

以上については、第 130 回火山噴火予知連絡会に報告した。

表-2 推定された開口クラックのパラメータ

|    |                 |     |                |
|----|-----------------|-----|----------------|
| 経度 | $137.477^\circ$ | 幅   | $1.3\text{km}$ |
| 緯度 | $35.888^\circ$  | 走向  | $150^\circ$    |
| 深さ | $0.76\text{km}$ | 傾斜  | $84.6^\circ$   |
| 長さ | $0.5\text{km}$  | 開口量 | $0.45\text{m}$ |

(開口クラックの中央位置で定義、開口クラック上端の深さは  $0.1\text{km}$ )

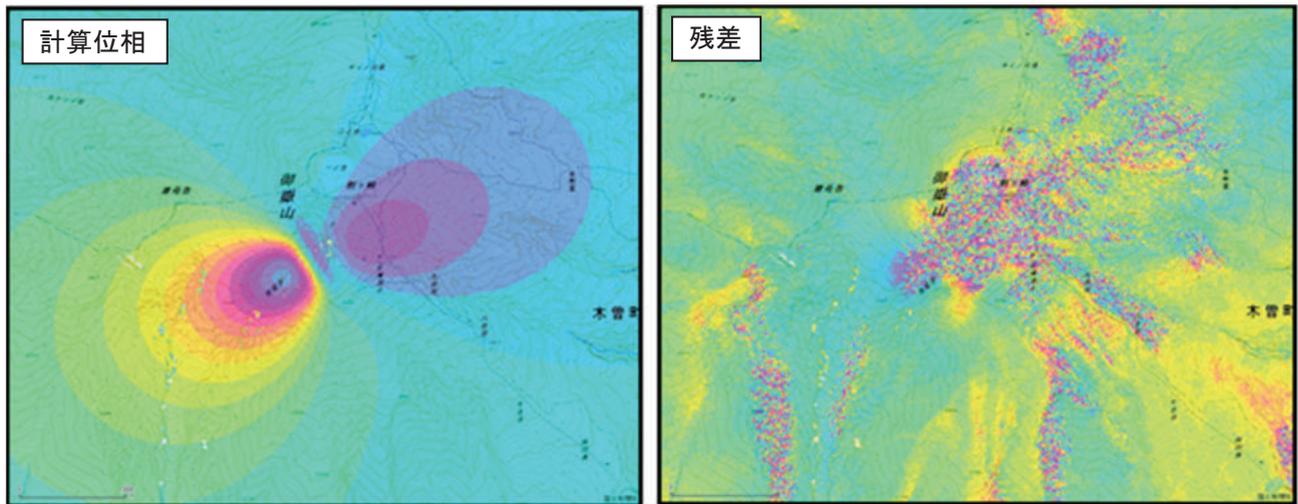


図-3 開口クラックモデルによる変位の計算位相と残差 (観測値-計算値)

#### 4. まとめと今後の課題

国土地理院では御嶽山噴火に際し、火山 WG を通じて JAXA に緊急観測要求を行い、提供された観測データを用いて緊急解析を行った。その結果、噴火口南西部で衛星方向に近づく位相変化が検出された。この位相変化の原因は地下の浅い位置の変位源による地殻変動である可能性が高いことが分かった。御嶽山の活動には依然として警戒が必要である。

だいち 2 号の定常運用が始まり、国土地理院では日本全国を対象にした定常解析を行う予定である。地域によっては最短で 1.5 か月に 1 度、最新の観測データを用いて解析を行う。また、緊急時にはだいち運用時より迅速な緊急観測及びデータ提供が可能

となる。今後も速やかな成果の公表ができるよう、効率的な対応を検討していく。

#### 謝 辞

ここで使用しただいち 2 号の原初データの所有権は、宇宙航空研究開発機構にあります。これらのデータは、火山噴火予知連絡会衛星解析グループを通じて提供されました。数値気象モデルは、「電子基準点等観測データ及び数値予報格子点データの交換に関する細部取り決め協議書」に基づき、気象庁から提供されました。この場を借りて、御礼申し上げます。

(公開日：平成 27 年 3 月 12 日)

## 参 考 文 献

- 雨貝知美, 鈴木啓, 和田弘人, 藤原みどり, 飛田幹男, 矢来博司 (2008) : 衛星合成開口レーダーを用いた平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震に伴う地殻変動の検出, 国土地理院時報, 117, 15-20.
- Kirkpatrick, S., C. D. Gelatt, and M. P. Vecchi (1983) : Optimization by Simulated Annealing, *Science*, 220, 671-680.
- 小林知勝, 石本正芳, 飛田幹男, 矢来博司 (2014) : SAR 干渉解析のための数値気象モデルを用いた大気遅延誤差の低減処理ツールの開発, 国土地理院時報, 125, 31-38.
- 小林知勝, 飛田幹男, 今給黎哲郎, 鈴木啓, 野口優子, 石原操 (2011) : 「だいち」 SAR 干渉解析により捉えられた霧島山 (新燃岳) の火山活動に伴う地殻変動とその圧力変動源の推定, 国土地理院時報, 121, 195-201.
- 飛田幹男 (2009) : 地殻変動計測のための SAR 画像分析の高度化に関する研究 (第 3 年次), 平成 21 年度国土地理院調査研究年報, <http://www.gsi.go.jp/common/000057644.pdf> (accessed 22 Jan 2015)
- 飛田幹男 (2015) : 地殻変動計測のための SAR 画像分析の高度化に関する研究 (第 7 年次), 平成 26 年度国土地理院調査研究年報 (準備中)
- 山中雅之, 野口優子, 鈴木啓, 宮原伐折羅, 石原操, 小林知勝, 飛田幹男 (2011) : 衛星合成開口レーダーを用いた平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動の検出, 国土地理院時報, 117, 15-20.

# 御嶽山噴火に対する測地観測センターの対応 Response of Geodetic Observation Center to the Eruption of Mt.Ontake Volcano

## 測地観測センター 災害対策班 Geodetic Observation Center Disaster Countermeasures Group

### 要 旨

測地観測センター災害対策班は平成26年9月の御嶽山噴火に際し、GEONET（電子基準点等）の緊急解析を行った。GEONET の解析結果は、メールやWeb ページで関係機関等へ情報提供した。また、御嶽山周辺で電子基準点現地調査を行い、観測点環境が良好であることを確認した。

### 1. はじめに

9月27日11時52分頃に御嶽山が噴火した。測地観測センターは、災害対策班を同日16時に設置しGEONET（電子基準点等）を用いて御嶽山の火山活動に伴う地殻変動を監視するとともに、解析結果は火山活動の監視・評価を行う関係者に迅速に提供した。

### 2. 緊急解析の実施

GEONET は日々の定常解析に加え緊急解析を実施できる。噴火に伴う地殻変動の検出を目的としてS3解析（緊急解析）を行った。

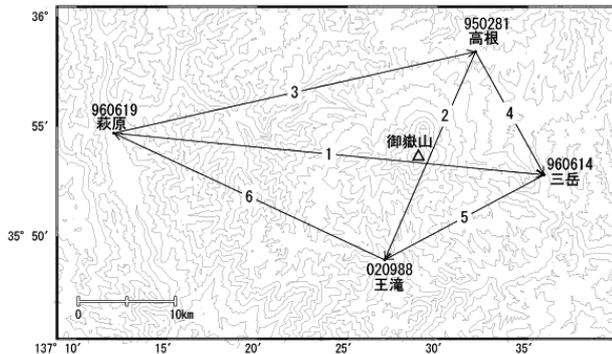


図-1 基線図

観測データは噴火前後でデータ伝送に断絶がないことを確認後、9月27日13:00~16:00 (JST) の3時間分のデータを使用した。軌道暦はIGS 超速報暦を使用した。16時30分に解析を開始し、約2時間後に解析値を得た。その後、図-1の御嶽山を囲む6基線について時系列グラフを作成し地殻の変動を確認したが、噴火の前後で顕著な変動は見られなかった。

また、GEONET では定常解析として表-1の解析を行っているが、9月27日12:00~18:00 (JST) のデータを用いた同日20時の定常解析であるQ3解析の

結果においても、S3解析と同様に噴火前後で顕著な地殻変動は見られなかった。なお、3章で述べる提供した解析結果は、すべて定常解析の結果である。

表-1 GEONET 定常解析設定

| 解析の種類 | 軌道暦      | 解析に用いるデータ | 解の間隔 | 解析結果   |
|-------|----------|-----------|------|--------|
| F3解   | IGS 最終暦  | 24時間分     | 1日   | 2~3週間後 |
| R3解   | IGS 速報暦  | 24時間分     | 1日   | 2日後    |
| Q3解   | IGS 超速報暦 | 6時間分      | 3時間  | 約3時間後  |

### 3. 解析結果の提供

#### 3.1 気象庁への提供

活動が高まっている火山は気象庁地震火山部火山課からの依頼により定時に国土地理院から気象庁へ時系列グラフを送信している。御嶽山についても、9月27日20時より図-1の6基線について過去1か月の時系列グラフをQ3解析終了後に自動メール送信している。

#### 3.2 火山噴火予知連絡会への資料提出

9月28日午後、火山噴火予知連絡会拡大幹事会が開催された。国土地理院から図-1の6基線の時系列グラフを提出した。さらに『国土地理院と気象庁とのオンラインによる防災情報の相互交換に関する協定』に基づく気象庁観測点データを統合解析し、変動ベクトル図を提出した。変動ベクトル図でも噴火前に顕著な地殻変動は見られなかった。これら資料は、気象庁火山噴火予知連絡会Web ページ及び次節で述べる国土地理院のWeb ページにも掲載した\*1。

#### 3.3 情報提供用Web ページの公開

3.2で述べた火山噴火予知連絡会提出資料及び最新の時系列グラフを掲載するWeb ページを9月29日12時に公開した\*1。

時系列グラフは図-1の6基線を掲載し、Q3解析終了後自動更新される。公開当初は直近1か月の時系列グラフを表示していたが、現在は長期間（2006年1月以降）、短期間（2014年9月以降）の時系列グラフを掲載している。

#### 4. 電子基準点現地調査の実施

図-1 の観測点のうち「高根」,「三岳」,「王滝」は近年現地調査が行われていなかった.そこで 10 月 20 日~22 日に電子基準点現地調査を実施し,上空視界や周辺障害物の調査,架台の傾斜測定を行った.いずれの点も上空や周囲に観測障害物はなかった.また,架台に傾斜は見られず,観測環境は良好であった.

#### 5. まとめ

御嶽山は現在も噴火警戒レベル 3 (入山規制) が継続し,火山活動は噴火以前の状態に戻っていない.

測地観測センターでは注意深く監視を継続し,今後も情報提供を継続していく.

\*1 御嶽山周辺の G N S S 連続観測結果のページ

[http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/ontake\\_kisen.html](http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/ontake_kisen.html)

9 月 28 日開催火山噴火予知連絡会拡大幹事会に提出資料は同ページ 2014 年 9 月 28 日火山噴火予知連絡会拡大幹事会資料である.時系列グラフ p1-13,変動ベクトル図 p14.

(公開日 : 平成 27 年 3 月 12 日)

## 相馬験潮場の再建 Reconstruction of Soma tide station, Fukushima Prefecture, Japan

測地観測センター 佐藤雄大・田邊壽男・中野博美  
Geodetic Observation Center  
Yudai SATO, Toshio TANABE and Hiromi NAKANO

### 要旨

福島県相馬港に昭和48年(1973)に開設された相馬験潮場は、長期にわたり潮位の連続観測を行ってきたことで、土地の高さの基準を与える役割を果たすとともに、その潮位データは防災、研究等の分野にも用いられてきた。しかし、相馬港は「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」により大きな被害を受け、特に襲来した巨大津波によって相馬験潮場は潮位観測設備を含む建屋全てが流失した。その後、国土地理院では潮位観測を速やかに再開すべく福島県相馬港検潮所において潮位観測装置を設置し、臨時的な潮位観測を開始した。その一方で相馬験潮場を再建するための準備を進め、平成26年11月に建屋が完成し、翌12月から試験観測を開始した。新しい相馬験潮場は、従前と比べ装置、電源及び通信が強化されており、災害時においても安定した観測及びデータ通信を行うことができる。

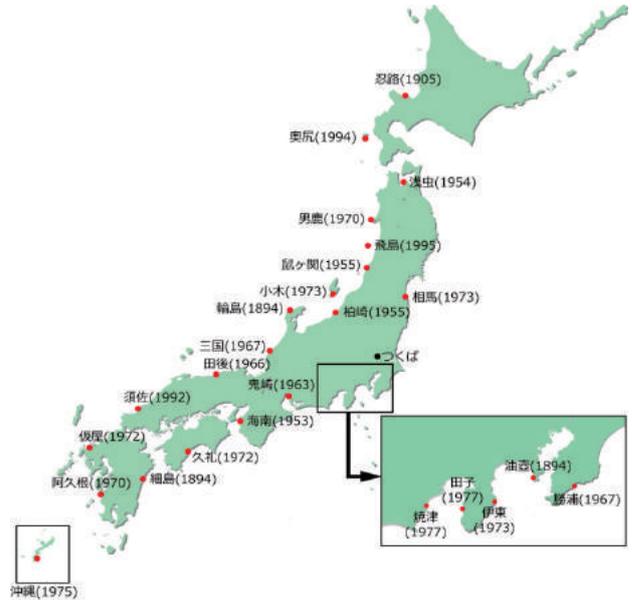


図-1 全国の験潮場位置図(括弧内は開設年)

### 1. はじめに

国土地理院の験潮場(以下「験潮場」という.)は、明治24年(1891)に最初の験潮場が建設されてから現在に至るまで25箇所に設置され、長期にわたって各地の潮位を記録し続けてきた(図-1)。現在、国土地理院が潮位観測を行っている験潮場の中には、北海道の忍路験潮場、神奈川県油壺験潮場、石川県の輪島験潮場、宮崎県の細島験潮場といった100年を超える観測の歴史を有するものもある。験潮場は、これまで高さの基準を与えるためや地殻変動を監視するために重要な役割を果たしてきたほか、近年では津波観測等の防災に関する情報(図-2)や津波、海水面変動等の研究(佐竹ほか, 2010; Sasaki et al., 2014; 津村, 1963)のためのデータ等を提供するといった役割も担っている。

相馬験潮場は、昭和48年(1973)に開設され、東北地方太平洋側の唯一の験潮場として約40年間潮位を観測し、水準測量に高さの基準を与えとともに地殻変動を監視するための日本周囲の海水面変動の監視に用いられてきた。しかし、「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」(以下「東北地方太平洋沖地震」という。)に伴い発生した巨大津波により、験潮場の基盤であった堤防が破壊され、それとともに建屋及び潮位観測設備の全てが流失した。国土地理院

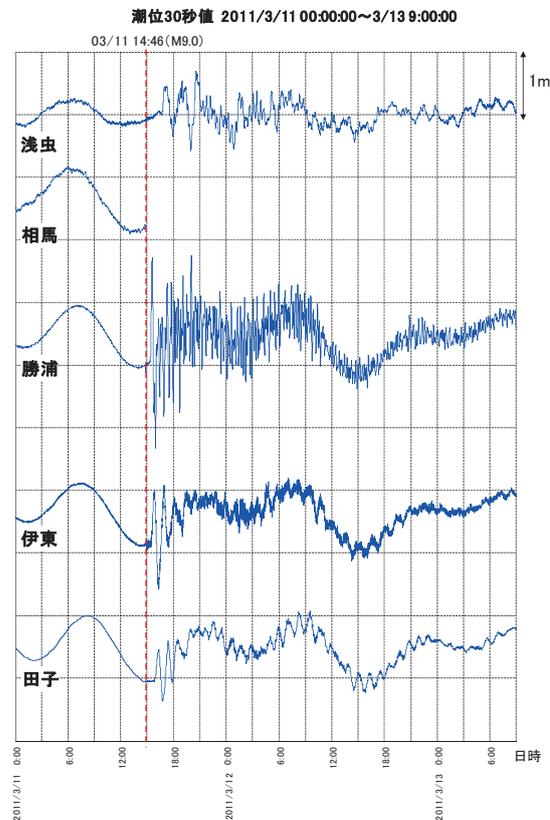


図-2 東北地方太平洋沖地震に伴う潮位データ

理院は相馬験潮場の再建を進めるとともに、再建までの間、福島県相馬港検潮所に観測機器を設置して臨時の潮位観測を実施している。本報告では、相馬験潮場のこれまでと再建された験潮場、そして今後の潮位観測について報告する。

## 2. 全国の験潮場と相馬験潮場

験潮場は、全国にバランスよく配置され、土地の高さの基準を与えることと地殻変動を監視することを目的として水準網を規正する役割を担ってきた。そのため、験潮場における潮位観測は、海面の上下変動を直接観測するのではなく、験潮場建屋内に地下水が流入しない井戸を設置し、導水管により海水を流入させることで、一旦井戸内に高周波成分を除去した海水面を生成し、その海水面の上下変動を観測している(図-3)。さらに、精度確保のために浮標を用いた潮位観測方式を採用しており、ミリメートル単位での観測を行っている。図-4は、験潮場とその最寄りに設置された防災を目的とした気象庁の検潮所の潮位観測結果の比較である。験潮場では高周波成分を除去した観測ができていることがわかる。また一方で、潮位観測のデータ処理についても高度化が進められ、平成7年(1995)には、全ての験潮場で潮位を1秒毎に測定し、リアルタイムで茨城県つくば市の国土地理院へ観測データを送信できるよう「験潮自動化集中管理システム」を改良した。さらに、験潮自動化集中管理システムでは、収集した1秒潮位データを30秒潮位、毎時潮位、満干潮位等の各種データに編集し、国土地理院のホームページ(<http://tide.gsi.go.jp/>)で提供している(大瀧ほか, 2000)。

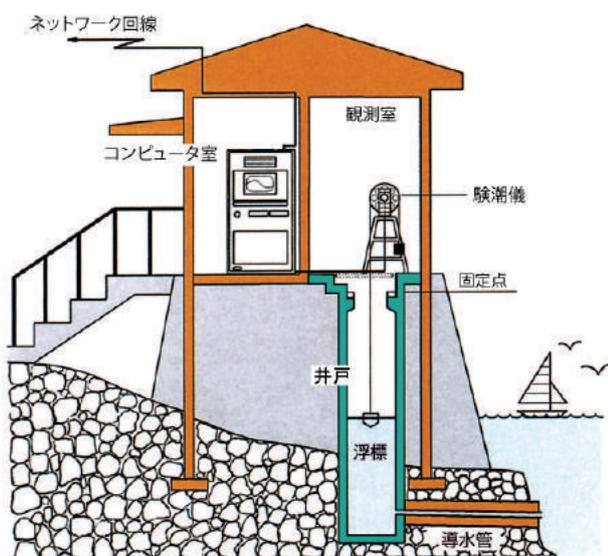


図-3 験潮場の構造図

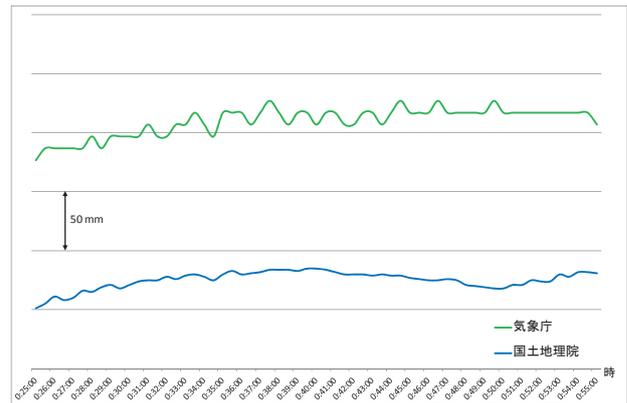


図-4 観測手法による潮位の違い

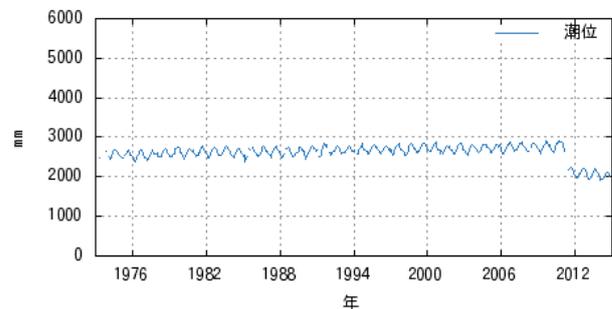


図-5 相馬験潮場の月平均潮位(2011年のずれは東北地方太平洋沖地震以降の臨時観測値)

相馬験潮場は、昭和48年(1973)に福島県相馬港に設置され、潮位観測が開始された。それから東北地方太平洋沖地震で被災するまでの約40年間、大きな欠測も無く潮位データを蓄積してきた(図-5)。この間における相馬験潮場で観測された最高潮位及び最低潮位はそれぞれ標高に換算して1.32m及び-1.24mを記録している。この最高潮位は平成18年(2006)10月7日の低気圧の到来により記録されたものとなっている(気象庁, 2014)。他の験潮場における最大・最低潮位の記録は表-1のとおりであり、全国で最大潮位を記録しているのは阿久根験潮場で、平成24年(2012)9月17日の台風16号により2.12mの潮位が観測された。

また、国土地理院では高さの監視として、験潮場の設置以降、一等水準点と験潮場固定点との間の水準測量を実施してきており、東京湾平均海面との相関関係の確認を行っている。流失した相馬験潮場では固定点の標高が水準測量により2.261mと決定された(平成14年4月1日時点)。それにより、潮位の標高換算が可能となり、各験潮場の平均海面を比較することができる。表-2は各験潮場の平均潮位を示しており、例えば油壺験潮場と相馬験潮場の平均潮位(海面)には9.1cmの差があることが計算できる。

表-1 各験潮場の過去の最大・最低潮位

| 験潮場 | 過去最高潮位    |             | 過去最低潮位    |             |
|-----|-----------|-------------|-----------|-------------|
|     | 標高換算 (cm) | 年月日         | 標高換算 (cm) | 年月日         |
| 忍路  | 107       | 1936年10月4日  | -46       | 1964年4月8日   |
| 奥尻  | 89        | 2004年9月8日   | -41       | 2006年2月28日  |
| 浅虫  | 101       | 1954年9月27日  | -60       | 1979年1月29日  |
| 相馬  | 132       | 2006年10月7日  | -124      | 2006年2月27日  |
| 男鹿  | 205       | 2004年8月20日  | -44       | 1985年3月16日  |
| 鼠ヶ関 | 102       | 2004年8月20日  | -58       | 1955年3月27日  |
| 飛島  | 60        | 1999年10月28日 | -56       | 2006年2月28日  |
| 勝浦  | 129       | 1979年10月19日 | -128      | 1990年12月3日  |
| 油壺  | 129       | 2006年10月8日  | -145      | 1943年12月28日 |
| 伊東  | 104       | 2006年10月8日  | -178      | 2000年1月21日  |
| 田子  | 133       | 2012年9月30日  | -127      | 1990年12月4日  |
| 焼津  | 138       | 1990年8月10日  | -125      | 1990年12月4日  |
| 鬼崎  | 192       | 2012年9月30日  | -184      | 1990年12月4日  |
| 柏崎  | 105       | 2004年8月20日  | -43       | 2006年2月28日  |
| 小木  | 68        | 1975年8月23日  | -58       | 2006年2月28日  |
| 輪島  | 108       | 1976年10月29日 | -44       | 1985年3月16日  |
| 三国  | 98        | 2005年12月6日  | -46       | 1985年4月13日  |
| 海南  | 157       | 2004年8月30日  | -156      | 2000年1月22日  |
| 田後  | 100       | 2012年9月18日  | -56       | 1979年1月29日  |
| 久礼  | 184       | 2014年8月10日  | -173      | 1988年1月20日  |
| 須佐  | 117       | 2004年8月19日  | -70       | 1979年1月30日  |
| 仮屋  | 175       | 2010年8月11日  | -188      | 1984年2月18日  |
| 細島  | 178       | 1954年9月13日  | -168      | 1990年12月4日  |
| 阿久根 | 212       | 2012年9月17日  | -218      | 1990年12月4日  |
| 沖縄  | 180       | 2014年10月11日 | -161      | 1992年1月20日  |

表-2 各験潮場の平均潮位（年平均潮位より算出）

| 験潮場 | 標高換算 (m) | 統計期間        |
|-----|----------|-------------|
| 忍路  | 0.173    | 1906年-2013年 |
| 奥尻  | 0.162    | 1995年-2013年 |
| 浅虫  | 0.161    | 1955年-2013年 |
| 相馬  | 0.074    | 1974年-2013年 |
| 男鹿  | 0.212    | 1970年-2013年 |
| 鼠ヶ関 | 0.247    | 1955年-2013年 |
| 飛島  | 0.028    | 1996年-2013年 |
| 勝浦  | -0.017   | 1968年-2013年 |
| 油壺  | -0.017   | 1924年-2013年 |
| 伊東  | -0.217   | 1974年-2013年 |
| 田子  | 0.110    | 1978年-2013年 |
| 焼津  | 0.193    | 1978年-2013年 |
| 鬼崎  | 0.005    | 1963年-2013年 |
| 柏崎  | 0.226    | 1956年-2013年 |
| 小木  | 0.042    | 1974年-2013年 |
| 輪島  | 0.227    | 1895年-2013年 |
| 三国  | 0.206    | 1968年-2013年 |
| 海南  | 0.046    | 1954年-2013年 |
| 田後  | 0.167    | 1966年-2013年 |
| 久礼  | -0.077   | 1973年-2013年 |
| 須佐  | 0.114    | 1971年-2013年 |
| 仮屋  | 0.055    | 1972年-2013年 |
| 細島  | -0.035   | 1894年-2013年 |
| 阿久根 | 0.028    | 1971年-2013年 |
| 沖縄  | -0.025   | 1976年-2013年 |

### 3. 東北地方太平洋沖地震の影響と対策

相馬験潮場において約 40 年もの間蓄積されてきた連続潮位観測データは、東北地方太平洋沖地震の発生により途絶えることとなった。図-2 に示すとおり、相馬験潮場の潮位データは地震の発生と同時に欠測している。これは、地震による震度 6 弱の激しい揺れによる通信ケーブルの断裂、機器の破損等が原因だと考えられる。その後、襲来した 9 m を超える巨大津波により、相馬験潮場は設置された堤防ごと破壊され流失することとなった。図-6 の下図は被災後の相馬験潮場の跡地であり、験潮場が設置されていた基盤は大きく崩れている。一方で、近隣に設置されていた福島県相馬港検潮所は建屋全体が津波により浸水し、全ての機器が使用不可能になったものの、建屋の大きな損壊は免れた。相馬験潮場の流失により津波や高潮の監視に支障がでていたことから、福島県の協力を得て福島県相馬検潮所に国土地理院の潮位観測機器を設置し、平成 23 年 6 月 15 日から臨時に潮位観測を再開した。この検潮所での潮位観測は暫定のものであること及び周辺のインフラの復旧には時間を要することから、潮位観測は 1 秒間隔で行うものの、電源はソーラーパネルによって確保し、通信は無線の携帯電話網を用いている。被災の状況及び暫定の潮位観測再開までの詳細については、大島ほか（2011）で報告がなされている。

この震災を受け、平成 24 年度に国土地理院は気象庁の津波観測点として津波警報・津波注意報の防災情報に活用されている 13 箇所の験潮場（相馬験潮場を除く）において、災害時のデータ収集機能を強化するため、有線回線のみだった通信網にケーブル破損時の対応策として携帯電話網を追加する通信の二重化、停電時にも 72 時間の観測を可能とする無停電電源装置の強化、観測機器の防水対策を実施した。

この対策により、例えば平成 26 年（2014）9 月に発生した台風により沖縄験潮場では 2 日半の停電に見舞われたが、無停電電源装置の強化により 1 秒潮位データに欠測が生じることは無かった。また、験潮場のルータ故障による有線回線の通信断の際にも、携帯電話網により観測を継続することができており、災害や想定外の障害に対する潮位観測強化の効果は確実に現れている。継続観測が重要な験潮場では、この観測強化は非常に大きな意味を持っている。

### 4. 相馬験潮場の再建

暫定的に福島県相馬港検潮所で潮位観測を実施するとともに、国土地理院では同時に相馬験潮場の再



図-6 震災前後の相馬験潮場

建を進めるため、福島県との調整の上、旧相馬験潮場から南西に約 100 m の地点で、震災により破壊された堤防が復旧された場所とすることとした(図-7)。建設は、国土交通省東北地方整備局、国土地理院及び福島県との協議の上、平成 26 年 7 月から着手された。本建設は、相馬験潮場の建屋については国土交通省東北地方整備局営繕部が建設を担当し、潮位観測機器一式及び電子基準点設備一式の設置は国土地理院が担当して実施された。新相馬験潮場の導水管は旧験潮場と同様に建屋の基盤の構造上、サイフォン式が採用された。導水管は旧験潮場より約 13 m 長く、管内を真空にして海水を吸い上げるためのポンプが建屋内に設置されている。サイフォン式の導



図-7 新旧相馬験潮場及び福島県相馬港検潮所の位置  
(背景は地理院地図：平成 27 年 1 月 5 日時点)



図-8 新相馬験潮場と電子基準点「P 相馬 A」

水管は、設置費用では水中に流入口をもつ通常の導水管より安価に設置できる利点があるが、メンテナンスの回数が多くなるといった欠点があるため、新旧相馬験潮場では建屋を設置する基盤の構造上、本方式を採用している。その他の潮位観測の機材は、全て前節で述べた観測の強化が図られた仕様のものを採用している。また、験潮場の建設とともに、測量の基準、地殻変動監視、絶対潮位の観測等のために重要な電子基準点「P相馬A」も6mのピラー型で建屋に隣接して設置された(図-8)。験潮場の建屋の建設が平成26年11月に終了した後、潮位観測設備及び電子基準点の設置作業が同年12月に実施され、それぞれの観測施設で試験観測が開始された。従来よりも観測機能が強化された新相馬験潮場は、電子基準点と連携していること及び東北地方太平洋側唯一の験潮場ということから、一層の潮位の監視業務及び防災、研究等の分野への貢献が期待できる。

再建された相馬験潮場は、一定期間福島県相馬港検潮所での暫定潮位観測と並行観測を行い、観測の継続に問題が見られないと判断でき次第、福島県相馬港検潮所での潮位観測を終了し、新相馬験潮場の観測データを正式な国土地理院の潮位データとして公表する予定である。

電子基準点「P相馬A」については、数ヶ月間変動をモニタリングし、安定を確認次第、測量成果を公表する予定である。

## 5. これからの験潮場

験潮場は、日本水準原点の原点数値の決定から始まり、水準測量網の規制及び地殻変動の監視を目的として全国に設置され潮位観測が続けられてきた。その蓄積されたデータは、験潮場によっては100年を超えるものもあり、観測開始から現在まで連続観測されているデータとして類を見ない貴重な資料となっている。一方、高さの基準を与えるための験潮場の役割については、水準路線の定期改測作業の現状、GNSS技術を用いた上下変動の監視、GNSS水準

測量の実現等により、その意義が設置当時から変化しつつある。このような背景を踏まえ、国土地理院技術協議会基準点体系分科会(V)(2014)では、これからの験潮場の役割及び必要性に応じた潮位観測を行っていくための今後の方針として、①潮位情報の利活用のさらなる推進、②コスト削減のための新技術の検討、③他機関の潮位観測施設との統合や移管の検討、④潮位データを直接的に高さの基準として利用することに向けた研究について、速やかに検討することとしている。

現在、電波式等の験潮儀の導入の可能性についての検討を進めるとともに、2013年より験潮場に隣接するか又は屋上に設置された電子基準点の解析結果から得られる上下変動量を用いて潮位データに補正を加えることで絶対潮位を算出し、その海面変動トレンドについてホームページで公開しており([http://tide.gsi.go.jp/sl\\_trend.html](http://tide.gsi.go.jp/sl_trend.html))、潮位データの利活用の推進を図っている。さらに、国土地理院の験潮に関するデータ(潮位観測データや験潮場についての情報)についても、より幅広い利用者に提供できるよう従来の海岸昇降検知センターに加え、日本海洋データセンター(JODC)等へのデータ登録についても調整を進めているところである。

今後も国土地理院では、験潮に関するデータの提供手法、利用者及びその目的が多様化していく中、それらに対応し、必要とされるデータを安定して提供していくため、基準点体系分科会の方針を踏まえながら潮位の観測に努めていきたい。

## 6. 謝辞

震災後の臨時潮位観測の継続と相馬験潮場の再建は、福島県及び国土交通省東北地方整備局の協力がなければ実現できなかった。この場を借りて御礼申し上げる。

(公開日：平成27年2月23日)

## 参考文献

- 国土地理院技術協議会基準点体系分科会(V)(2014)：スマートでコンパクトな基準点体系に向けて、基準点体系分科会(V)報告。 <http://www.gsi.go.jp/common/000093334.pdf>
- 大島健一、三浦優司、影山勇雄、古屋有希子、矢萩智裕、丸山一司(2011)：平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震によるGPS観測施設・験潮場の被災状況及び復旧対応、国土地理院時報、No.122, 113-125
- 大瀧茂、宮崎孝人、谷澤勝、金子英樹、吉川忠男、高原正勝(2000)：明治27年験潮場開設以来の潮位観測データベースの完成、国土地理院時報、No.94, 87-91
- 佐竹健治、行谷佑一、藤井雄士郎、岡田正実、阿部邦昭、今井健太郎、上野俊洋、山口和典、三和功喜、山本浩之(2010)：駿河湾沿岸の検潮井戸応答特性調査と2009年駿河湾地震津波波形の補正、地震研究所彙報、vol.85, 1-14
- 津村建四郎(1963)：日本沿岸の平均海面およびその変動の研究(I)―潮位変化の地域分布―、測地学会誌、

vol. 9, no. 2, 49-90

Yoshi N. Sasaki, Shoshiro Minobe, Yuji Miura (2014) : Decadal sea-level variability along the coast of Japan in response to ocean circulation changes, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 119, 266-275

# 電子レベルの器械特性に起因する水準測量誤差の調査

## Research of Leveling Error caused by mechanical characteristic of Electronic Level

測地部 澤田正典

Geodetic Department Masanori SAWADA

### 要 旨

水準測量における季節的な誤差要因の発生メカニズムを探る調査研究を実施したところ、電子レベルの温度特性、コンペンセータのヒステリシス特性、そして水準測量用三脚の直射日光による変形等に起因するこれまでに未発見の偶然誤差及び系統誤差の存在を確認したので報告する。

### 1. 水準測量と誤差

水準測量は高低差を測定するために行う、世界的に長い歴史を持つ測量技術である。日本国においては明治時代に近代的な水準測量を導入し、測量機器及び測量方法の改善を進めながら、現在においても当時の手法を引き継いだ形の水準測量を行っている。水準測量の原理は単純であり、高低差を測定したい二つの地点のそれぞれに水準測量用標尺を垂直に立て、その中間にレベルを設置し、同一の水平線上に位置するそれぞれの水準測量用標尺の目盛を読定することで高低差を求めている。水準測量用標尺をひとつずつ交互に目的の方向へ向かって移動させながら同様の読定作業を積み重ねれば、任意の距離だけ離れた二つの地点間の高低差を高精度に測定できる。

水準測量の原理は単純明解ではあるが、二つの地点間の距離が離れるほどに観測回数が増えるため、観測環境において極めて僅かな誤差要因が潜んでい

たとしても、誤差が累積することで最終的な測量成果に対し大きな影響をもたらすという警戒すべき特徴がある。

近年における宇宙測位技術と同様に、水準測量技術の改善の歴史とは、未発見の誤差要因の推理と特定、対策実施の歴史である。水準測量技術においてはこのプロセスが国内外を問わず百年以上の長期にわたって継続されていることから、現在においても高低差の測定手段として世界的に使用されている。

### 2. 季節的な要因をもつ水準測量誤差の疑い

測地部においては静岡県御前崎地区において年間複数回の精密基盤傾動測量、つまり一等水準測量よりもさらに厳しい精度基準を設定した高精度な水準測量を実施している。この測量成果においてはかねてより季節的な地殻の上下変動が長期的に観測されており(図-1)、それが実際の地殻変動である可能性はあるが、未発見の測量誤差である疑いも捨てきれず、測量成果をもとに学術的研究を進める場合において課題を抱えている。仮に季節的な地殻の上下変動が実在するとなれば測地学等幅広い学術分野を対象とした重要な新発見となり得るが、これまでに認められた季節的な変動の振幅は測量方法の改善や新しい測量機器の導入と同期して縮小していく傾向もあり、なんらかの未発見の測量誤差に起因する可能

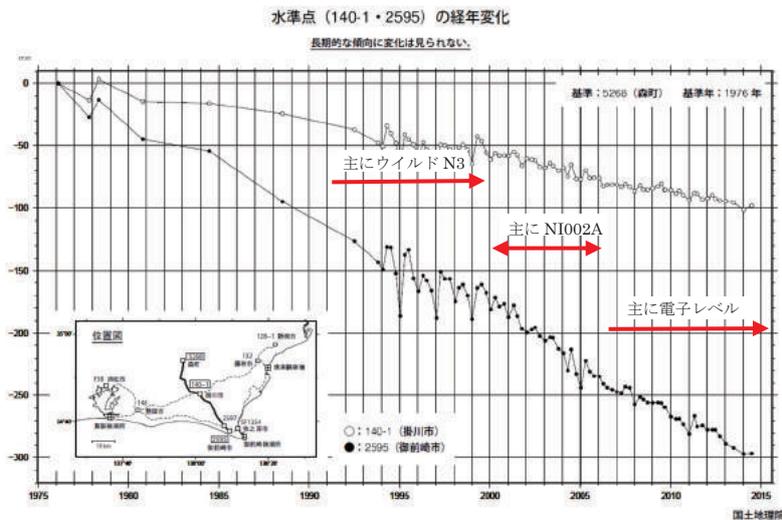


図-1 御前崎地区の水準測量結果に見られる周期的な上下変動の様子  
(第 204 回地震予知連絡会国土地理院資料に一部注記追加)

性も疑われた。

水準測量技術における誤差要因の発見と改善の歴史は、近年普及した宇宙測位技術などと比較すると非常に長く、未発見の測量誤差要因を新しく発見して証明するにあたっては困難が予想されたが、観測成果に対する信頼性を客観的に示す必要に迫られたことや、測量学上における貢献も見込まれたことから、測量作業を実施して観測データを研究者等へ提供する立場にある測地部としては、未発見の測量誤差の存在も含めて原因を調査することにした。

平成 21 年度以降、測地部機動観測課において、季節的な特徴を持つ誤差要因のうちの一つの候補として、水準測量作業中に発生する水準測量用標尺への直射日光の片照りという問題に着目し、太陽の高度角、水平角の季節的な変化に伴って、どの程度の測量誤差が発生するのかについて御前崎地区において試験観測を実施し定量化を試みた。結果、季節的な測量誤差が発生する事実を確認したが、線膨張係数が極めて小さいスーパーインバール合金で作られた水準測量用標尺においては、片照りが発生した場合においても測量誤差への影響が小さく限定されることが明らかになり、御前崎地区における水準測量成果に見られる季節的な変動量を説明するためには量的な面で難しいことがわかった。この結果を受けて、さらに別の測量誤差要因の究明を目的とした調査研究を進めることになり、平成 23 年度までの主に測量作業方法や水準測量用標尺を対象とした究明に続いて、平成 24 年度以降は電子レベルの器械特性と水準測量用三脚を調査対象に加えた。

### 3. 未発見の水準測量誤差の探索

#### 3.1 温度特性

電子レベルは高精度な光学機器と精密な機械構造を内蔵した高精度な電子機器であり、ブラックボックスとしての性質が非常に強く、器械内部の構造については、ごく概念的な内容までしか知ることができない。従って、電子レベルにおける器械特性の調査は、非常に手掛かりが少ない中で始めることになった。電子レベルにおける器械特性の調査の手掛かりとなったのは、平成 22 年度以前に発見された、電子レベルのパワーオンドリフトという現象であった。これは、ソキア(現トプコン)社製電子レベル SDLIX において、電源投入以降数時間の間、わずかながら視準線の傾斜が進行し続ける現象である。SDLIX においては使用中、電子回路と電子部品に電流が流れることでジュール熱が発生するので、その熱によって器械内部の部品がごくかすかに変形することで視準線が変動するメカニズムが推測されている。もし本当にジュール熱によって器械内部に熱的な不均衡が現れ、光学系部品や電子部品及びそれらの固定部

品等に力学的なひずみが現れて部品形状の変形や固定位置の変化が生じ、結果としてわずかながらも視準線の変動という現象に至るメカニズムが存在するのであれば、ジュール熱以外の熱源においても、同様の視準線の変動が起こり得ることになる。このことから、水準測量作業中における日中の気温変化によって、電子レベルにおける視準線の変動が発生している可能性が考えられた。これは電子レベルが抱える器械特性のうち温度特性と呼べるものである。

#### 3.2 コンペンセータのヒステリシス特性

精密基盤傾動測量で使用される電子レベルにはコンペンセータという光学部品が搭載されている。コンペンセータには反射プリズムと一体となった振り子が内蔵され、この振り子の静止位置が重力にしたがって変化し、振り子が静止したときには必ず視準線と水平線が一致する仕組みになっている。コンペンセータはその機械的な構造から、ヒステリシス特性という、測量誤差につながるおそれのある性質を持っていることが知られている。振り子の支点部分は機械的な軸と軸受けで構成されているため、振り子に対しては重力だけでなく、振り子の運動方向とは逆方向に摩擦力が働く。またコンペンセータには振り子が静止しやすくなるように振り子の運動エネルギーを吸収する制動機が組み込まれているが、この制動機によっても振り子には運動方向と逆方向の力が働く。このようにコンペンセータの振り子においては、重力の働きに対して逆方向に作用する幾つかの力が働くメカニズムを持っているため、結果としてヒステリシス特性が生じる。コンペンセータの制動機の性能に左右される要素はあるが、視準線が水平線に近づくほどに重力の働きと比較して他の力の作用の比率が次第に大きくなると想像されるので、ヒステリシス特性もより顕著に現れるおそれがある。

ヒステリシス特性によって、視準線は水平線と一致しにくくなる。コンペンセータに対して十分に静的な環境と時間が与えられるならば、視準線と水平線は確実に一致するので、測量誤差は発生しない。しかし、水準測量の現場においては振動条件、時間制限ともに大変厳しい環境に置かれるので、視準線と水平線が完全に一致することは少ない。

コンペンセータのヒステリシス特性に起因する測量誤差は、水準測量作業において、観測前に整準ねじを用いてレベルの円形気泡管を調整するときが発生する測量誤差と考えられてきた。各測点において三脚とレベルを設置する際、レベルの水平を得るために整準ねじを操作するが、このときレベルが傾斜変化するのでコンペンセータのヒステリシス特性が現れて、視準線と水平線が一時的にかい離する。この現象は整準ねじを操作する場合に避けることがで

きず、わずかながら測量誤差を生じさせる。これをゼロにすることは現実的に難しいため、かわりに各測点における整準ねじの操作手順を水準測量作業規程第21条運用基準3(12)に明記し、測点ごとに測量誤差の発生方向は逆に、大きさはおおむね同一になるように整準ねじを操作して、偶数回の測点においては測量誤差同士が打ち消し合って、理論的には測量誤差がほぼゼロとみなせるように工夫することで対応してきた。

ところが、コンペンセータのヒステリシス特性に起因する測量誤差は、整準ねじの操作に伴って発生するものだけでは済まない可能性がある。なぜなら整準ねじの操作以外の要因でもレベルが傾斜する場合が考えられるからである。

### 3.3 水準測量用三脚の天板の時間的な傾斜変化

水準測量用三脚は線膨張係数が  $2\text{ppm}/^\circ\text{C}$  程度とごく小さい良質の木材で作られている。水準測量用三脚における脚の長さは  $1.5\text{m}$  前後であり、温度変化によって脚材に伸縮が発生した場合でも  $1^\circ\text{C}$  当たり  $3\mu\text{m}$  程度の大きさであっては、水準測量における高低差の測定分解能である  $0.1\sim 1.0\text{mm}$  という大きさと比較して十分に小さく、測量誤差要因にはなり得ないとの考え方があった。ここでは、水準測量用三脚における天板の傾斜変化に対する懸念は見落とされていたようだ。

水準測量用三脚の天板とは、三脚の頂上部においてレベルを固定するために作られた平面状の台のことである。天板の大きさ及び形状はまちまちであるが、大体、一辺が  $10\sim 15\text{cm}$  程度の丸みを帯びた三角形か、もしくはその程度の直径を持つ円形をして

いる。水準測量作業中に直射日光が水準測量用三脚に照射した場合、日なた側の脚材は暖められ、日陰側の脚材は冷却されるが、このとき仮に日なた側の脚材の温度が  $1^\circ\text{C}$  上昇し、日陰側の脚材の温度が  $1^\circ\text{C}$  低下した場合、天板において日なた側の端が  $3\mu\text{m}$  程度浮き上がり、日陰側の端が  $3\mu\text{m}$  程度沈み込む計算になる。これは角度にして  $10''$  前後の傾斜変化となる。脚材は温度変化によって伸縮するだけでなく、1本の脚材においても日なた側と日陰側の温度差が生じることで反り返るように変形する作用も働くだらうから、天板の傾斜変化量はさらに大きくなるおそれがある。

このような直射日光による水準測量用三脚の変形に起因する三脚天板の時間的な傾斜変化と、コンペンセータのヒステリシス特性の二つが組み合わさることで、水準測量において測量誤差が発生している可能性がある(図-2)。この測量誤差は水準測量用三脚に対する直射日光の照射条件によって変化し、太陽に向かって沈み込む方向に発生する測量誤差となる。太陽の方角と高度は季節的な変化を伴うが水準路線の方向成分は季節によって変化しない。このことから、季節に依存した系統的な測量誤差が発生している疑いがある。

## 4. 水準測量誤差の検証

### 4.1 温度特性

電子レベルの視準線は、電子レベルの温度変化に伴って変動する可能性が考えられた。視準線は水平線と一致しない場合は測量誤差の原因になるため、通常は不等距離法(くい打ち法)を用いて視準線と水平線が等しくなるように調整してから実際の水準

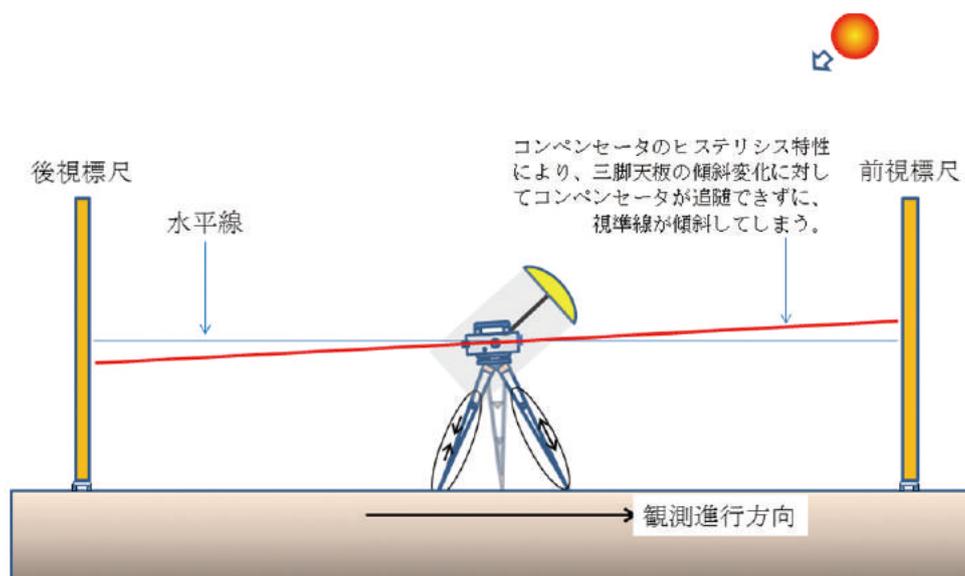


図-2 直射日光による水準測量用三脚の変形に起因する三脚天板の時間的な傾斜変化とコンペンセータのヒステリシス特性が複合して発生する測量誤差のメカニズム

測定の観測を行うことで、測量誤差の発生を防いでいる。ところが、もし水準測量作業中に日中の気温変化の影響を受けて視準線が変動してしまう場合、調整がなされていた場合においても視準線誤差が発生することになる。水準測量の観測時においては、基本的にレベルと後視標尺との間の距離と、レベルと前視標尺との間の距離の差が 1m 以内の範囲で一致することを確認してから観測を行うように定められているので、視準線の変動が直ちに制御不能な測量誤差となる可能性は低いが、水準測量作業規程第 20 条運用基準 4 においては視準線誤差の発生を抑える目的で視準線と水平線との較差の許容範囲を定めており、角度に換算すると  $2.06''$  (30m あたり 0.3mm) を許容範囲としている。

#### 4.1.1 温度特性の試験観測

電子レベルを対象とした温度特性の試験観測については前例が存在しないため、観測方法の策定から始めることになった。また、既存の施設を活用することで試験観測にかかるコストを最小限に抑える方針で臨んだ。

観測目的としては、

- 1) 電子レベルの視準線が、外気温の変動等による器械温度の変化に伴って変動するような現象が、実際に発生するかどうかを確認すること。
- 2) 1)が確認された場合、水準測量の誤差要因となっているかどうか調査すること。
- 3) 季節変化に伴う温度帯の違いによって、1), 2)が影響を受けるかどうか調査すること。

以上、三つの目的を立てることにした。

試験観測の対象とした電子レベルは、精密基盤傾動測量において使用されている電子レベルのうち、ニュースーパーインバール水準標尺が使用可能なツァイス社製「DiNi12」「DiNi0.3」及びソキア（現トプコン）社製「SDL1X」の三つの機種とした。また水準測量用標尺はツァイス社製「LD13」とソキア（現



写真-1 温度特性試験地（天文棟付近）

トプコン）社製「BIS30A」を用いた。どちらの水準測量用標尺も線膨張係数が  $1.0\text{ppm}/^\circ\text{C}$  を大きく下回るインバールテープ部を持つ、温度変化の影響を受けにくい性能を持っている。

電子レベルの温度変化に伴う視準線の変動を、電子レベルにおける水準標尺の読定値という形で測定・記録する方法を選んだ場合、温度特性以外の要因で水準標尺の読定値が変動する要素を排除できるかどうかが重要になる。そのため、電子レベル及び水準標尺の設置面における局所的な上下変動や、視準線に加わるレフレクション誤差の影響等を排除もしくは分離できることが必要になる。このような条件を満たすだけの観測方法が適用可能な場所を国土地理院の構内において探したところ、天文棟の玄関付近において良好な観測地を見つけることができた（写真-1）。

天文棟の玄関は頑丈なコンクリートでできた階段の上であり、玄関の床面は地面から 1.5m 程度の高さに位置している。玄関の床面には複数台の電子レベルを設置できるだけの十分なスペースがある。そして玄関から 25m 及び 35m ほど離れた地点それぞれにコンクリート製の基礎があり、どちらも複数の水準標尺を同時に設置できる。また電子レベルを設置する玄関周辺と、水準標尺を設置するコンクリート製基礎との間には、レフレクション誤差の原因となるような、長く続くなだらかな傾斜地形が存在しない（図-3）。

このような観測地の条件に加えて、

- 1) それぞれの季節において、ほぼ同様の天候条件下における複数日の試験観測を行う。
- 2) 観測日単位で、電子レベル及び水準標尺の設置位置についてローテーションを行う。
- 3) 各機種の電子レベルにおいて、基本的には同一機種における複数台の同時観測を行う。
- 4) 水準標尺はそれぞれの機種に対応したものを 1 本ずつ設置する。
- 5) 同一機種においては、複数台の電子レベルで同じ水準標尺を観測する。

これらの観測上の工夫を追加することで、電子レベルの温度特性を対象とした試験観測を行うために

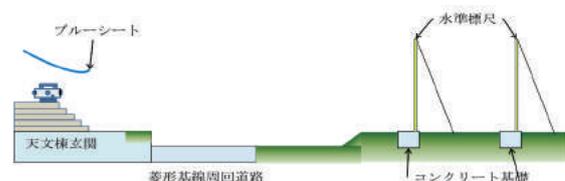


図-3 観測地断面図



写真-2 電子レベルの設置状況



写真-3 水準測量用標尺の設置状況

必要十分な条件を満たすことにした。

試験観測時における電子レベル(写真-2)及び水準測量用標尺(写真-3)の設置状況を示す。天文棟の玄関の床面に金属製の強固な基台を設置し、その基台に電子レベルを取り付けた。温度センサを用いて電子レベル本体の温度変化と周辺の気温の簡易なモニタリングを行った。水準測量用標尺のインバールテープ部には、望遠鏡の視野に含まれない位置において温度センサを取付けて、インバールテープ温度のモニタリングを行った。データ取得後に、インバールテープ温度の変化に伴う観測値への影響を算出したところ、水準測量用標尺の種類を問わず、全期間を通して最大でも  $14\mu\text{m}$  程度の上下変動量にとどまることが確認された。後ほど示すが、電子レベ

ルの温度特性に起因すると見られる標尺読定値の変動量はミリ単位に及んだため、インバールテープ温度の変化が測定値にもたらした影響は観測結果を評価する上で問題にならないほど小さいことがわかった。

試験観測の開始・終了時刻は、実際的水準測量の作業時間帯にあわせて朝の7時頃から日没時刻頃までとした。電子レベル本体の電源投入操作は機種を問わず、すべて観測開始10分前に行った。SDL1Xはオートフォーカス機能を持っており、実際的水準測量作業においてはこの機能を用いて観測を行うことがメーカーから推奨されている。そのため、この試験観測においてもオートフォーカス機能をオンにした。DiNi12及びDiNi0.3においては、手動による

表-1 温度特性試験観測日および観測条件の一覧表

| 観測日        | 観測開始<br>・終了時刻 | 器械～標尺<br>間距離 | 備考  | 図番号  |
|------------|---------------|--------------|---|------|
| 2012/5/21  | 7:00～18:00    | 25m          | DiNi12を3台, SDL1Xを3台で観測, 一部欠測あり                                    | 図-4  |
| 2012/5/23  | 7:00～18:00    | 25m          | DiNi12を3台, SDL1Xを3台で観測, 一部欠測あり                                    |      |
| 2012/5/24  | 7:00～18:00    | 25m          | DiNi12を3台, SDL1Xを3台で観測  | 図-5  |
| 2012/7/27  | 7:00～18:00    | 25m          | DiNi0.3を1台, DiNi12を3台, SDL1Xを3台で観測,<br>一部欠測あり                     | 図-6  |
| 2012/7/30  | 7:00～18:00    | 35m          | DiNi0.3を1台, DiNi12を3台, SDL1Xを3台で観測,<br>SDL1X_100001に一時的に直射日光照射    | 図-7  |
| 2012/7/31  | 7:00～18:00    | 35m          | DiNi0.3を1台, DiNi12を3台, SDL1Xを3台で観測,<br>VLBI32mアンテナ高頻度稼働による観測地の振動大 |      |
| 2012/8/1   | 7:00～18:00    | 35m          | DiNi0.3を1台, DiNi12を3台, SDL1Xを3台で観測                                |      |
| 2012/8/3   | 7:00～18:00    | 25m          | DiNi0.3を1台, DiNi12を3台, SDL1Xを3台で観測                                | 図-8  |
| 2012/12/17 | 7:00～16:30    | 35m          | DiNi12を3台, SDL1Xを2台で観測  | 図-9  |
| 2012/12/18 | 7:00～16:30    | 35m          | DiNi12を3台, SDL1Xを1台で観測  | 図-10 |
| 2013/1/31  | 7:00～16:30    | 35m          | DiNi12を1台, SDL1Xを3台で観測  | 図-11 |
| 2013/2/1   | 7:00～16:30    | 35m          | DiNi12を1台, SDL1Xを3台で観測  | 図-12 |
| 2013/2/12  | 7:00～16:30    | 35m          | DiNi12を2台, SDL1Xを2台で観測  |      |

ピント合わせを行うので、観測開始前に十分に水準測量用標尺のインバルテープ部に対してピント合わせを済ませてから、その状態のまま試験観測を継続した。観測中は電子レベルと基台設置床面全体を対象に、直射日光を防ぐ目的でブルーシートによる覆いを設けた。そして基本的には 30 秒に 1 回の間隔で、電子レベルによる水準測量用標尺の連続観測を行った。

連続観測の操作は、電子レベルとパソコンをシリアルケーブルで直結し、パソコンから測定コマンドを電子レベルに送り、電子レベルから返される測定データをパソコン内部にログングする方法で行った。1 台のパソコンで同時に合計 7 台の電子レベルをコントロールできたので、それぞれの観測データは時刻同期が得られている。

試験観測の実施時期としては、当初は春、夏、秋、冬の 4 期を予定していたが、他の測量作業による器械の運用スケジュールとの不整合や器械本体の故障による修理等により、試験観測に必要な電子レベルが確保できない期間が発生したため、結果として春期(5月末)、夏期(7月末～8月上旬)、冬期(12月末)、厳冬期(1月末～2月中旬)において試験観測を実施した。それぞれの観測日及び観測条件(表-1)と、電子レ

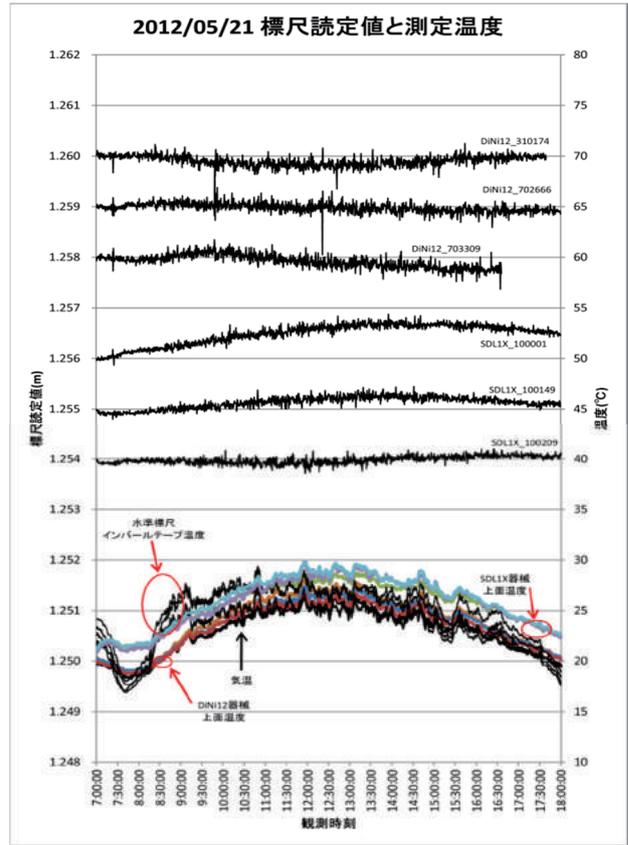


図-4 2012/05/21 の観測データ

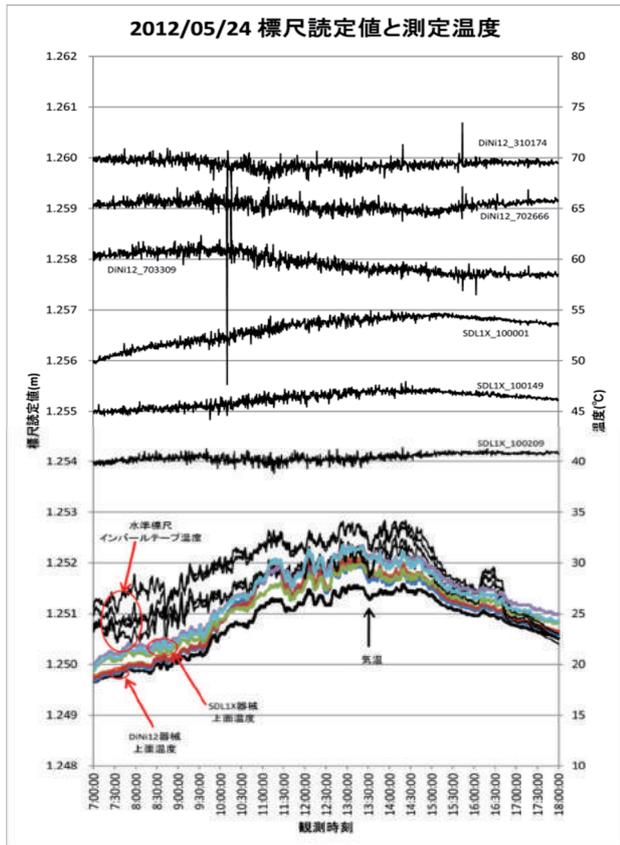


図-5 2012/05/24 の観測データ

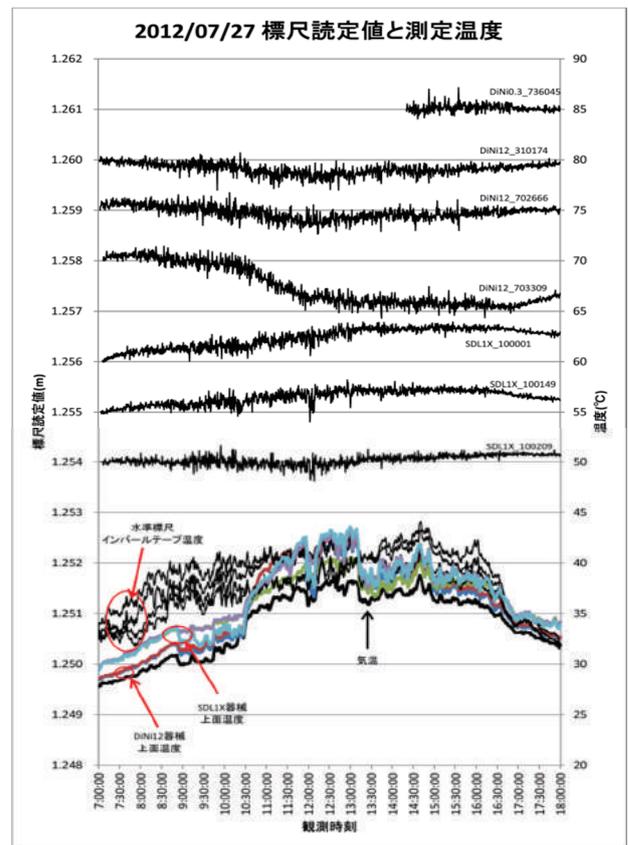


図-6 2012/07/27 の観測データ

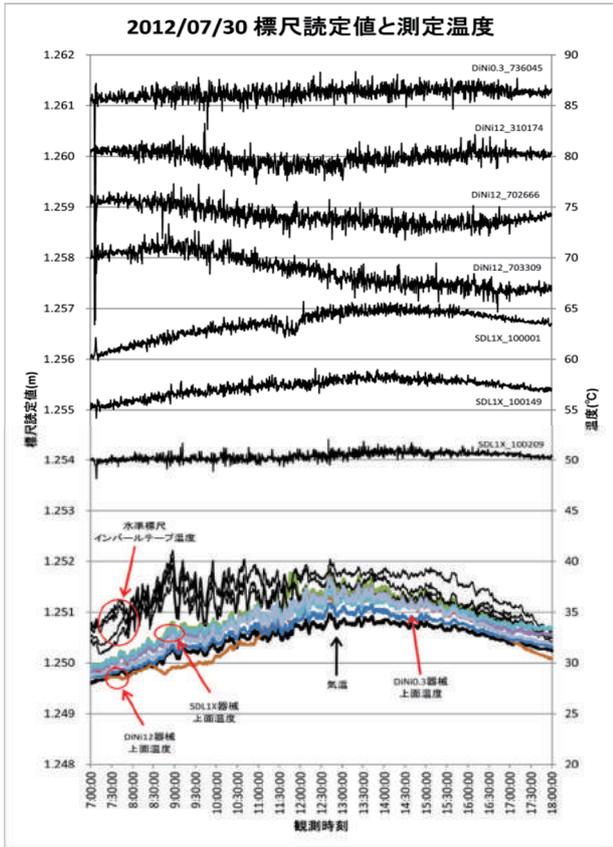


図-7 2012/07/30 の観測データ

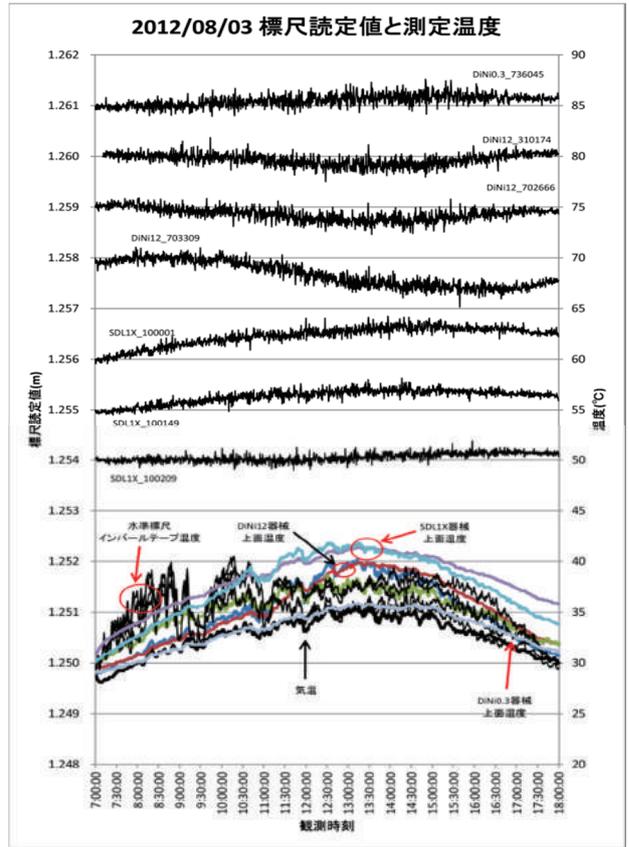


図-8 2012/08/03 の観測データ

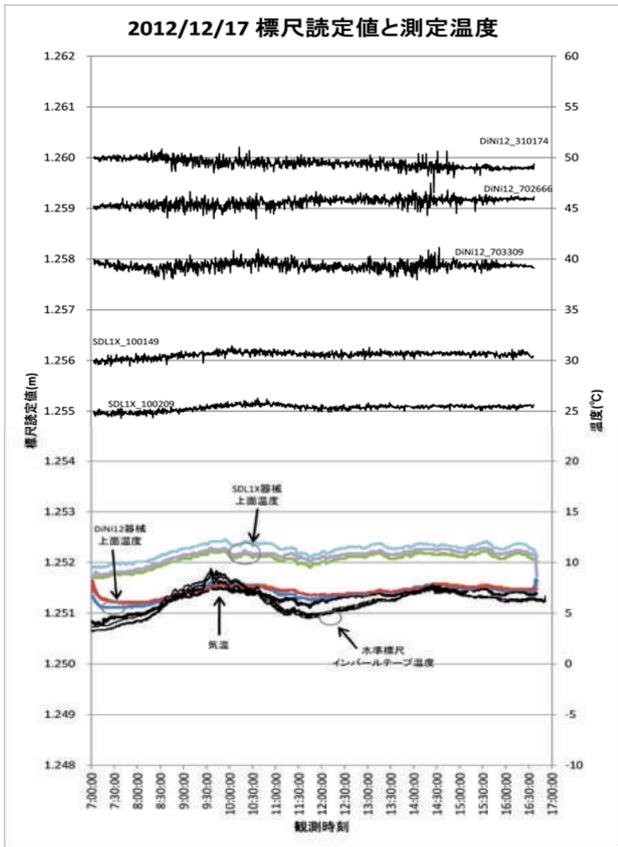


図-9 2012/12/17 の観測データ

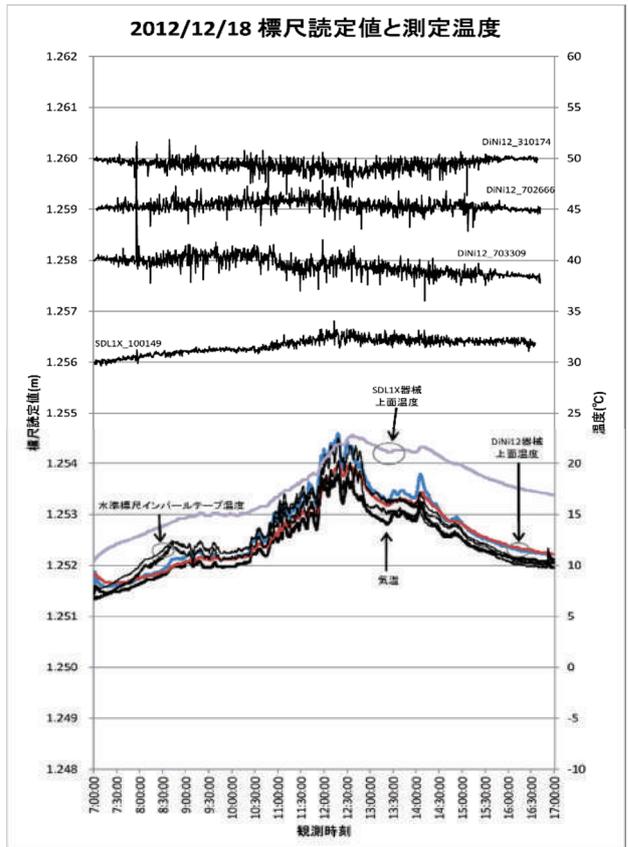


図-10 2012/12/18 の観測データ

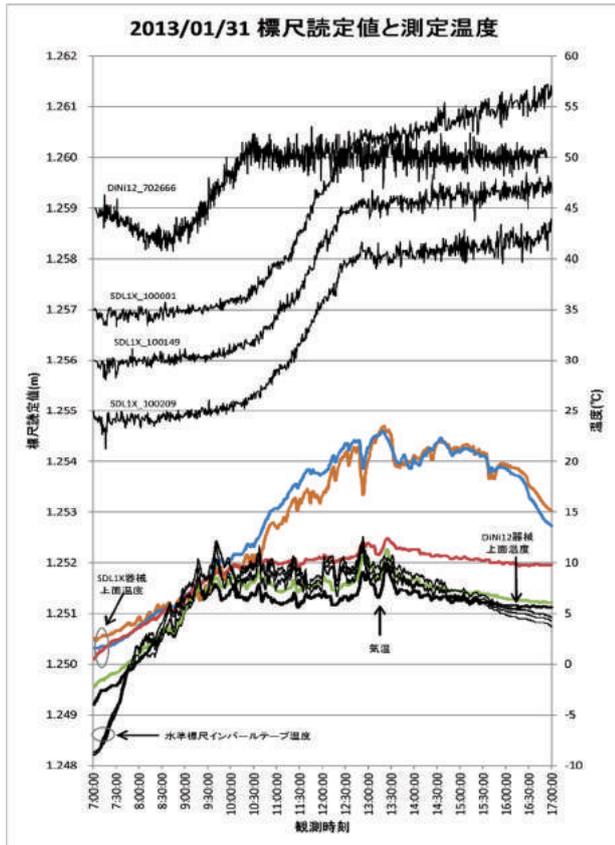


図-11 2013/01/31の観測データ

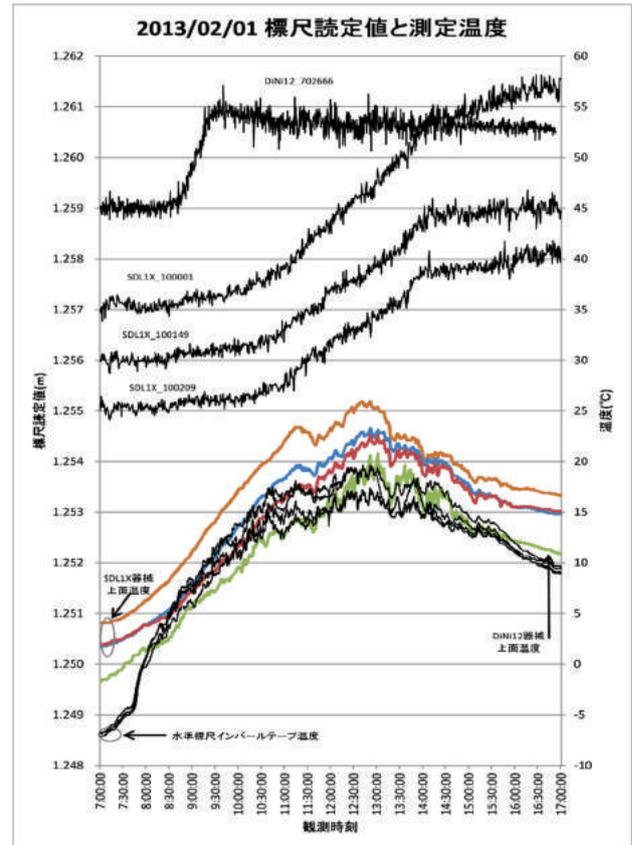


図-12 2013/02/01の観測データ

ベルによる水準測量用標尺の連続観測結果のうち各期における代表的な観測日のグラフについて示す(図-4)～(図-12)。

試験観測中、想定より早いバッテリーの消耗や、パソコンと電子レベル間のシリアル通信において発生したハングアップ等により、一部、観測データの欠測が発生した。また観測中は雲の動き等により日照環境が頻繁に変化することがあり、気温や標尺温度において極端な変動が記録されることがあった。

日中の温度変化が大きくなることを狙って、基本的に晴れの日が多くなるように天候を選んで試験観測を行ったつもりではあるが、観測開始後に天候が変化することがあったため、気象条件は一定していない。また地震等による振動が加わった時間帯においては標尺読定値において極端なパルス状のノイズが発生している。試験観測においては、ほとんど同じ高さに設置した複数台の電子レベルにおいて同一の水準測量用標尺を視準して観測したことにより、どの電子レベルからも、大体同じ数値の標尺読定値が出力された。これらの標尺読定値を一つのグラフに表示する目的で電子レベル毎に一定の大きさのオフセットを与えている。この数値操作によって標尺読定値に現れた視準線の変動の様子は変化しない。

#### 4.1.2 試験観測結果の評価

得られた観測結果をもとに考察を進めるにあたり、まずは、ここで示された標尺読定値の変動の中に電子レベル設置地点もしくは水準測量用標尺設置地点における局所的な上下変動が含まれているのかどうかについて検討する。

はじめに、日単位で設置位置を入れ替えながら同じ季節における複数日間の観測を行って得られた標尺読定値において、同一の電子レベルにおける標尺読定値を日単位で比較したところ、どの観測日の標尺読定値においても温度変化に伴う同様の標尺読定値の変動がみられたこと、そして、標尺読定値の変動パターンが電子レベルの個体によって大きく異なることが確認された。これにより、電子レベル設置地点における局所的な上下変動は存在しないか、もしくは存在したとしても、温度変化に伴う標尺読定値の変動量と比べて十分に小さいと判断した。

次に、一本の水準測量用標尺観測を同一機種の複数台の電子レベルによって同時観測する方法をとったので、仮に水準測量用標尺設置地点において局所的な上下変動が存在した場合は、その変動量がすべての電子レベルの観測データにおいて全く同時かつ同じ大きさで観測されるはずである。加えて観測日ごとに、二つのメーカーの電子レベルそれぞれに対

応する水準測量用標尺の設置地点を入れ替えたので、もし水準測量用標尺設置地点において局所的な上下変動が存在した場合には、観測日ごとにメーカー単位で交互に一律の上下変動が観測されるはずである。幸いにしてそのような傾向を持つ標尺読定値は確認されなかったことから、水準測量用標尺設置地点における局所的な上下変動についても存在しないか、もしくは存在したとしても、温度変化に伴う標尺読定値の変動量と比べて十分に小さいと判断した。

レフラクション誤差の混入に対する懸念についても、観測地における地形から考えてレフラクション誤差が発生する可能性は小さいと判断した。また、同時観測を行った複数台の電子レベルにおいて、空中における視準線の経路がほとんど同一であることから、仮にレフラクション誤差が発生した場合でも、同一観測日において異なる電子レベルによって測定された標尺読定値同士を相対的に評価する場合は、レフラクション誤差の影響を無視できると判断した。

以上により、(図-4)～(図-12)によって示す標尺読定値の変動は、電子レベルにおける温度特性に起因する視準線の変動が観測されたものと判断する。

視準線の変動は、電子レベルの内部において視準線が傾斜もしくは上下変動することで発生していると考えられる。2012年7月27日(図-6)及び2012年7月30日(図-7)に得られた観測結果を比較すると、前者の方が気温の変動幅は大きい、標尺読定値の変動幅は後者の方が全体を通して大きくなっている様子がみえる。前者においては器械～標尺間距離が25mであるのに対して、後者においては35mと長くなっている。視準線の傾斜によって標尺読定値に変動が現れるとすれば、距離が長くなるほど変動量は増幅されるはずである。電子レベルの内部において発生している現象は、基本的には視準線の傾斜であろう。ただ、上下変動が全く存在しないことが確認できているわけでもない。このことは、今後さらに誤差発生メカニズムを高精度に究明していく場合に備えて、念のため覚えておく必要があるかもしれない。

視準線の変動量は、日中における温度変化の幅が広がるほどに大きくなる様子がとらえられている。電子レベルの個体によっては温度特性の安定している様子が観測されているものがあつたが、機種単位で確認できるまでには至っていない。また同一機種であっても個体差が大きいことには注意を要する。そして、観測された視準線の変動を角度に換算したときに、水準測量作業規程第20条運用基準4の定める許容範囲である $2.06''$  (30mあたり0.3mm)という範囲に収まるような電子レベルは少ないことがわかった。個体によっては、視準線の傾斜角度は $5''$ を超える様子である。特に厳冬期においては $10''$ を

大きく超える視準線の傾斜変化が観測された。水準測量作業規程で定められた制限値に基づいて、今まで理論的に推測してきた視準線誤差よりも大きな誤差が、実際的水準測量においては発生していた可能性がある。また、温度変化に伴って視準線が変動するということは、水準測量作業において不等距離法(くい打ち法)を用いた電子レベルの点検調整を実施して、視準線と水平線が一致するように調整した場合においても、気温の変化に合わせて電子レベル本体の温度が変化すれば、たやすく視準線が傾斜してしまうことを意味している。結局、点検調整作業を実施するときの気温次第で、点検調整の結果が制限値に収まる場合もあれば制限値を超える場合もあるということである。このような状況は、これまでの水準測量における精度管理においては想定していなかったことである。

電子レベルの温度変化に伴う視準線の変動は、現時点においてはDiNi12、SDLIXの二つの機種において、個体に依存したかたちで確認されている。DiNi0.3においては温度変化に影響されない、非常に安定した視準線が得られていることがうかがえるが、そのかわり夏期の観測データのみであること、また試験観測に使用できた器械は1台のみであることから、DiNi0.3という機種全般における全季節を通した特徴とまでは判断できない。

水準測量における視準線誤差は、分類としては偶然誤差に入ると考えられており、また測量作業における観測時には、レベルと後視標尺との間の距離及びレベルと前視標尺との間の距離それぞれの差が1m以内の範囲で一致させることが義務づけられていることから、電子レベルにおける温度特性に起因する視準線の変動が発生していた場合においても、ただちに水準測量作業における決定的な精度劣化へとつながる懸念は幸いにして小さいが、水準測量における偶然誤差の発生要因になっている可能性は大きい。

電子レベルは複雑かつ高精度な光学部品、器械部品、電子部品から構成されている。特殊な金属を除いてほとんどの素材は温度の変化により膨張と収縮を発生させるため、電子レベルに限らず精密観測機器がある程度の温度特性を持つこと自体は避けがたいと思われる。将来的には電子レベルの性能向上に伴い、この誤差要因に対する懸念が解消されていく期待はあるが、それまでの間は運用面における工夫といった形で、必要に応じて対応することになりそうである。

特別に高精度を要求される水準測量を実施する場合、使用する電子レベルの個体を持つ温度特性を事前に把握しておく意味は大きい。水準測量の作業期間中において視準線の点検調整を行う際、その季節

における日中の視準線の変動パターンにおいて、最も視準線が安定かつ平均的な位置にある時間帯を狙って点検調整を実施することで、水準測量作業において発生する視準線誤差の発生を抑えやすくなるとともに、点検調整作業の効率化も図れるだろう。

電子レベルの個体によっては、温度変化に伴う視準線の変動が特に小さい様子がうかがえた。水準測量を行う際、観測精度に対する要求が特に高い場合は、このような個体を選んで使用することも工夫として考えられる。

#### 4.2 コンペンセータのヒステリシス特性

コンペンセータのヒステリシス特性が水準測量における誤差要因となる可能性については、アナログ式のオートレベルの登場にあわせて指摘され、この誤差要因の発生メカニズムに対する理論的な推測に基づいて、誤差を最小限に抑えるための水準測量における整準ねじの操作方法が定められた。ただし、さらに踏み込んでこの器械特性の直接的な計測を行うことまでは技術的に実現が難しかった様子である。

コンペンセータのヒステリシス特性に限ったことではないが、一般的にレベルの器械特性を検出、定量化する試みには数多くの観測データの取得が必要となる。レベルから測定される標尺読定値には、十分に外的な騒乱要因が取り除かれた環境下においても、ある程度の大きさのばらつきが含まれる。このばらつきがノイズとなるので、器械特性もしくは特定対象とする誤差要因によって発生する変化量が小さい場合、シグナル・ノイズ比が悪化しやすいのでノイズから信号を分離することが次第に難しくなる。コンペンセータのヒステリシス特性のように、ばらつきよりもはるかに小さい微弱な信号を検出するためには、観測データの数を大きく増やす必要にせまられる。幸い、電子レベルを対象とした試験観測においては観測作業を自動化しやすいため観測データを増やすことが容易であり、微弱な信号を検出する目的において有利である。観測作業の自動化は、手動操作と比較してノイズの混入を低減できる効果も期待できる。

コンペンセータのヒステリシス特性に起因する測量誤差は、水準測量の観測時において器械設置作業中の整準ねじの操作に伴い発生することが想定されてきたが、直射日光による水準測量用三脚の変形に起因する三脚天板の時間的な傾斜変化によっても発生することが懸念される。この測量誤差の存在を直接的に証明するための試験観測方法としては、直射日光による水準測量用三脚の変形に起因する三脚天板の時間的な傾斜変化と同等の傾斜変化を電子レベルに対して人為的に加えながら観測データを取得する方法が考えられる。



写真4 電子レベル自動傾動装置

コンペンセータには反射プリズムと一体となった一軸の振り子が組み込まれている。この振り子は電子レベルに仰角方向、もしくは伏角方向どちらかの傾斜変化が加わったときに、その傾斜変化とは反対の方向に動くことで、視準線と水平線を一致させるように機能する。

コンペンセータのヒステリシス特性は、基本的には振り子が動くときに発生する器械特性であるから、試験観測において電子レベルに与える傾斜変化も仰角方向もしくは伏角方向を中心に考えて良いと判断し、まずはそのような目的にあった試験観測環境を構築することにした。

ただし、コンペンセータのヒステリシス特性については定量化へ向けた試みが始まったばかりであるから、仰角方向や伏角方向の傾斜変化に限らず、電子レベルを右側もしくは左側へと傾ける方向に傾斜変化が加わったときに、コンペンセータのヒステリシス特性が影響を受ける可能性について排除されたわけではない。また構造から考えてコンペンセータのヒステリシス特性が外的な振動の周期や強度もしくは器械温度によって変化する可能性についても警戒を要する。今後、試験観測を更に充実させていくことも検討している。

##### 4.2.1 電子レベル自動傾動装置の構築

直射日光による水準測量用三脚の変形に起因する三脚天板の時間的な傾斜変化は、試験的に測定した実測値や三脚の脚部の温度変化の記録から推理して、角度にして1分間あたり数 $''$ ～数十 $''$ 程度の大きさが見積もられた。試験観測においては、このような小さな傾斜変化を電子レベルに対して連続的に与える必要がある。

観測中の電子レベル本体に対して機械的に正確な傾斜変化を与える装置として、傾動台という装置がある。傾動台には傾動ねじが備わっており、これを

回転させると電子レベルに仰角方向もしくは伏角方向の微小な傾斜変化を与えることができる。この傾動ねじを一定の速度で一定の時間だけ手動で動かすことは非常に難しかったため、傾動台にステッピングモーターを設置し、ステッピングモーターの回転力を傾動ねじに伝える構造を追加し、ステッピングモーターの回転方向と回転速度をパソコンから自動制御する電気回路を組み込んだ「電子レベル自動傾動装置」(写真-4)を構築した。電子レベルに対する自動観測の操作も同じパソコンから行うことで、どちらの操作もパソコンの時計を基準に同期できる仕組みとした。

#### 4.2.2 試験観測の方法

試験観測地はレーザー測距検定棟とした。室温はおおむね 20 度前後で一定に保たれている。建物の内部には、建物の構造体から独立したコンクリート製の基礎を持つピラーが多数設置されており、この基礎やピラーの上に設置した観測機器においては位置的安定が保たれる。試験観測に用いた電子レベル自動傾動装置及び水準測量用標尺はそれぞれピラー上及び、そのコンクリート基礎上に設置した(図-13)。電子レベルと水準測量用標尺の間の距離はほぼ 40m (実際は 39.6m) とした。40m という距離は、精密基盤傾動測量におけるレベルから水準測量用標尺までの距離の上限である。

試験観測は電子レベルに対して仰角負荷もしくは伏角負荷を与えている状態と、電子レベルを完全に静止させている状態を交互に繰り返しながら連続観測を行う方法で実施した。つまり、

- 1) 60 秒間の「傾斜変化なし」
- 2) 90 秒間の「仰角方向の傾斜変化」
- 3) 60 秒間の「傾斜変化なし」
- 4) 90 秒間の「伏角方向の傾斜変化」

という合計 300 秒間 (5 分間) のセット観測を繰

り返した。また、傾斜変化速度のパターンは、

- 1) 0" /分
- 2) 3" /分
- 3) 6" /分
- 4) 9" /分
- 5) 12" /分

の 5 パターンとし、一つのパターンにおいて約 8 時間、90 セット前後の連続観測を実施した。観測間隔は 15 秒間である。ここで、1) 0" /分は電子レベルを静止させたままの状態を観測したことを意味している。この観測データは傾斜変化を加えたときに得られた観測データとの比較対象を目的として確保したものである。また、どの傾斜変化速度のパターンにおいても仰角方向、伏角方向のそれぞれに同じ大きさの傾斜変化速度を与えている。

試験観測は平成 25 年 6 月 26 日から平成 26 年 1 月 10 日までの、のべ 35 日間ほど行った。外的な振動の条件を可能な範囲でそろえる目的で、すべて構内にある VLBI32m アンテナが停止している時に観測を実施した。

#### 4.2.3 試験観測データの分析と評価

得られた試験観測データに対する分析方法として、次に述べるような計算手順を用いた。

まず、セット開始直後の先頭 60 秒間の「傾斜変化なし」の間に測定された標尺読定値と、セット開始後 150 秒後から 60 秒間の「傾斜変化なし」の間に観測された標尺読定値すべてについての平均値 A を算出する。この二つの「傾斜変化なし」期間に挟まれて 90 秒間の「仰角方向の傾斜変化」期間が存在するので、その 90 秒間に観測された標尺読定値の平均値 B も算出する。こうして算出した二つの平均値について「平均値 B - 平均値 A」として差を求めた値を、「仰角方向の傾斜変化」を受けているときに電子レベルで発生する測量誤差 C と考えることにした。

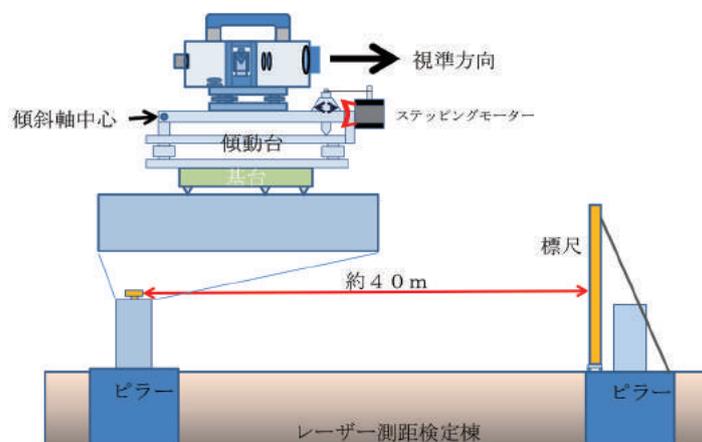


図-13 コンペンセータのヒステリシス特性計測試験観測模式図

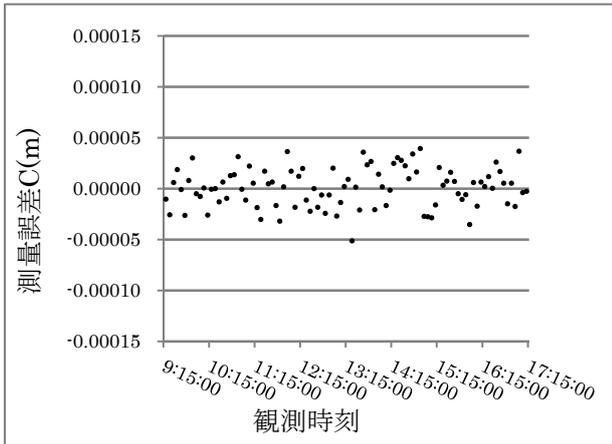


図-14 DiNi12(SN702666)へ9"/分の傾斜変化速度の負荷を与えたときの測量誤差 C の値

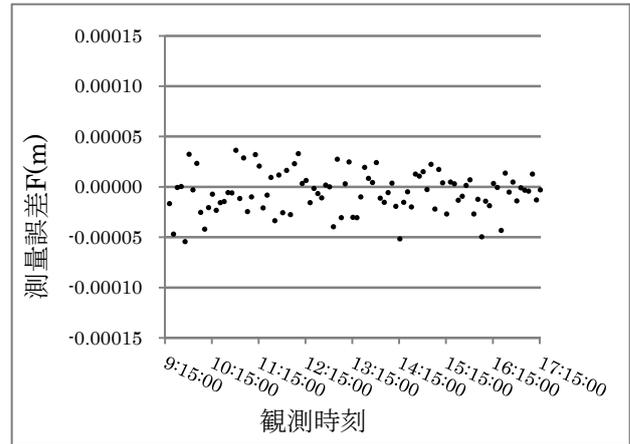


図-15 DiNi12(SN702666)へ9"/分の伏角方向の傾斜変化速度の負荷を与えたときの測量誤差 F の値

次に、セット開始後 150 秒後から 60 秒間の「傾斜変化なし」の間に観測された標尺読定値と、次のセットの開始直後の先頭 60 秒間の「傾斜変化なし」の間に測定された標尺読定値すべてについての平均値 D を算出する。この二つの「傾斜変化なし」期間に挟まれて 90 秒間の「伏角方向の傾斜変化」期間が存在するので、その 90 秒間に観測された標尺読定値の平均値 E も算出する。こうして算出した二つの平均値について「平均値 E - 平均値 D」として差を求めた値を、「伏角方向の傾斜変化」を受けているときに電子レベルで発生する測量誤差 F と考えることにした。

なお、「傾斜変化なし」と「仰角方向の傾斜変化」もしくは「伏角方向の傾斜変化」の切り替わりのタイミングである、セット開始後 0 秒、60 秒、150 秒、210 秒の各々の時点で得られた標尺読定値についてはすべて、計算対象から除外した。

もしコンペンセータのヒステリシス特性によって測量誤差が発生するならば、測量誤差 C はつねにプラスの値になると予想され、測量誤差 F はつねにマイナスの値になると予想される。だが、実際には元々の観測データのばらつきが検出対象となる測量誤差 C や測量誤差 F の値と比較して大きいため、個別のセットの結果だけを見ても測量誤差の存在はノイズの中に隠れてしまい全くわからない。そこで、なるべく多くのセット観測を行って測量誤差 C 及び測量誤差 F の標本数を増やし、標本の全体傾向から測量誤差の存在に対して判断を行うことにした。実際の試験観測結果に対して上記の計算処理を行った結果得られた測量誤差 C 及び測量誤差 F のグラフを示す(図-14) (図-15)。

検出された測量誤差は、ばらつきと比較すると非常に微弱である。(図-14)では一見するだけでは測

量誤差 C の値がプラス方向に偏っていることがはっきりしない結果となっているが、(図-15)では測量誤差 F の値がマイナス方向に偏っている様子が比較的認めやすい結果が得られている。このように仰角方向の傾斜変化を与えたとき、伏角方向の傾斜変化を与えた時のそれぞれの測量誤差を比較したとき、その大きさが一致しないケースは他の個体の観測結果においても確認された。コンペンセータのヒステリシス特性自体に仰角方向と伏角方向で異なる個体が存在する可能性が考えられる。

セット単位で測量誤差 C 及び測量誤差 F として算出された値の、全セット分の単純平均の値を元にして、

$$\begin{aligned} & \{ \text{測量誤差 C の全セット平均値} \} \\ & - \{ \text{測量誤差 F の全セット平均値} \} \\ & = \text{コンペンセータのヒステリシス特性に起因する測量誤差} \end{aligned}$$

という形で測量誤差を算出することにした。

電子レベルにおける観測については幾つかの消去不能なノイズ要因があるため、試験観測で得られた標尺読定値には、これから存在を証明しようとしているコンペンセータのヒステリシス特性に起因する測量誤差の大きさと比べて、かなり大きなばらつきが含まれている。このばらつきが、完全にホワイトノイズの性質を持っているならば、上式により算出された測量誤差の値をそのまま信用することが可能と考えられるが、本当にホワイトノイズだけで満たされているかどうか、現実には確認が難しく、系統的に発生するノイズ等が原因で算出された値をあたかも測量誤差であるかのように誤解するおそれがある。そこで、ノイズとの切り分けを行うため、電子レベルを固定したまま傾斜変化を与えずに観測したデータを用いて同様の計算処理を施し得られた集計

表-2 コンペンセータのヒステリシス特性に起因して発生した測量誤差

| 器械<br>SN          | 傾斜変化<br>速度 | ①<br>( $\mu\text{m}$ )   | ②<br>( $\mu\text{m}$ ) | ③<br>( $\mu\text{m}$ ) | ④<br>( $\mu\text{m}$ ) | ⑤<br>( $\mu\text{m}$ ) | ⑥<br>( $\mu\text{m}$ ) |
|-------------------|------------|--|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| SDL1X<br>100001   | 3" /分      | -3.64  | 36.47                  | -4.95                  | 37.16                  | 1.31                   | 1.35                   |
|                   | 6" /分      | -0.17  | 39.42                  | -6.27                  | 35.40                  | 6.10                   |                        |
|                   | 9" /分      | 9.19   | 37.77                  | -8.67                  | 41.03                  | 17.86                  |                        |
|                   | 12" /分     | -3.19  | 45.03                  | -15.64                 | 37.56                  | 12.45                  |                        |
| SDL1X<br>100149   | 3" /分      | -0.73  | 16.35                  | 0.14                   | 14.06                  | -0.87                  | 1.69                   |
|                   | 6" /分      | 0.03   | 11.43                  | -2.32                  | 11.45                  | 2.35                   |                        |
|                   | 9" /分      | 4.30   | 11.55                  | -3.90                  | 10.63                  | 8.20                   |                        |
|                   | 12" /分     | 3.31   | 9.03                   | -7.46                  | 8.86                   | 10.77                  |                        |
| SDL1X<br>100209   | 3" /分      | 0.28   | 13.57                  | -0.14                  | 14.01                  | 0.42                   | 1.45                   |
|                   | 6" /分      | 1.77   | 10.47                  | -3.55                  | 9.51                   | 5.32                   |                        |
|                   | 9" /分      | 3.86   | 10.82                  | -8.69                  | 11.47                  | 12.55                  |                        |
|                   | 12" /分     | 2.68   | 12.50                  | -11.47                 | 11.69                  | 14.15                  |                        |
| DiNi12<br>310172  | 3" /分      | -2.34  | 14.60                  | -0.48                  | 15.10                  | -1.86                  | 5.30                   |
|                   | 6" /分      | -1.45  | 15.95                  | 6.96                   | 106.50                 | -8.41                  |                        |
|                   | 9" /分      | 0.83   | 12.48                  | -4.44                  | 12.24                  | 5.27                   |                        |
|                   | 12" /分     | 4.94   | 11.19                  | -4.21                  | 12.23                  | 9.15                   |                        |
| DiNi12<br>702666  | 3" /分      | 1.34   | 12.16                  | 0.31                   | 11.22                  | 1.03                   | 0.91                   |
|                   | 6" /分      | 0.66   | 9.60                   | -1.09                  | 10.90                  | 1.75                   |                        |
|                   | 9" /分      | 0.73   | 19.05                  | -5.46                  | 20.07                  | 6.19                   |                        |
|                   | 12" /分     | 6.56   | 14.85                  | -1.34                  | 15.33                  | 7.90                   |                        |
| DiNi12<br>703309  | 3" /分      | -0.39  | 11.88                  | -1.28                  | 11.55                  | 0.89                   | 1.75                   |
|                   | 6" /分      | 2.01   | 14.80                  | -0.94                  | 15.98                  | 2.95                   |                        |
|                   | 9" /分      | 3.08   | 11.21                  | -1.26                  | 11.33                  | 4.34                   |                        |
|                   | 12" /分     | 5.28   | 12.99                  | -3.73                  | 11.44                  | 9.01                   |                        |
| DiNi0.3<br>730676 | 3" /分      | 0.12   | 12.92                  | 3.79                   | 16.65                  | -3.67                  | 1.40                   |
|                   | 6" /分      | -3.06  | 14.22                  | -1.90                  | 16.88                  | -1.16                  |                        |
|                   | 9" /分      | 2.42   | 11.89                  | -0.45                  | 11.75                  | 2.87                   |                        |
|                   | 12" /分     | 4.48   | 12.55                  | -1.01                  | 12.77                  | 5.49                   |                        |
| ①                 |            | 測量誤差Cの値の、全セット分の単純平均値.  |                        |                        |                        |                        |                        |
| ②                 |            | 測量誤差Cの値の、全セット分の標準偏差の値.   |                        |                        |                        |                        |                        |
| ③                 |            | 測量誤差Fの値の、全セット分の単純平均値.  |                        |                        |                        |                        |                        |
| ④                 |            | 測量誤差Fの値の、全セット分の標準偏差の値.   |                        |                        |                        |                        |                        |
| ⑤                 |            | コンペンセータのヒステリシス特性に起因する測量誤差の値. 「①-③」の解.  |                        |                        |                        |                        |                        |
| ⑥                 |            | ノイズのみに起因しながらも偶然に測量誤差であるかのように算出された値のうち、もっとも大きな絶対値を示した数値. これより小さな絶対値を持つ⑤の値はノイズに起因する値と区別できない. |                        |                        |                        |                        |                        |

結果を判断基準として用いることとした. この観測データは傾斜変化のようなイベントを含んでいないため, どの時刻に観測したデータであっても観測条件が一定であるから, 15秒間ずつ位相をずらして同様の計算処理を行うと, ノイズだけが原因で偶然にあたかも測量誤差として算出された値がどの程度の範囲に分布するのか, 調べることができた. もし,

傾斜変化を与えた条件下で観測したデータを元に算出された「コンペンセータのヒステリシス特性に起因する測量誤差」の値が, その範囲の中に納まってしまう場合には, 「コンペンセータのヒステリシス特性に起因する測量誤差」の存在を証明するには不十分と判断される. ここでは最終的な判断を誤らぬために, ノイズだけが原因で偶然にあたかも測量誤差

として算出された値のうち、もっとも絶対値の大きな値を判断基準として用いることにした。

以上のような計算処理によって算出された試験観測の分析結果を示す(表-2)。

結果を見ると、基本的には傾斜変化速度が大きくなるにつれて⑤で示した測量誤差の値も大きくなっていく傾向が見える。また①の値がおおむねプラスとなり、③の値がおおむねマイナスになることも、測量誤差発生メカニズムから予想されたとおりの結果が得られた。

②及び④で示した標準偏差の値については若干のばらつきが見られながらも一部を除いて全体的に同じような数値が得られた。これは、いずれの試験観測日における観測データにおいても、おおむね個々の観測値のばらつきが同じ程度であったことを意味している。ただ、幾つか例外的な数値の存在が散見され、②及び④で示した標準偏差の値が著しく大きく算出されたものなども一部含まれており、SDL1X(SN100001)と DiNi12(SN310172)については、試験観測中に外的な振動など想定外の要因が加わった可能性も考えられる。また振動等の要因によってコンペンセータのヒステリシス特性に起因する測量誤差が影響を受ける可能性も考えられる。

⑥の値については⑤の値と比較して、6"/分以上の傾斜変化速度を与えた場合にはおおむね、十分に小さな値が得られたことから、測量誤差の存在は確認できたと判断している。

#### 4.2.4 実際の水準測量における誤差の大きさ

電子レベルの個体によって差が見られるが、十分に静的な環境下にある場合には、6"/分以上の傾斜変化速度が加わった場合、電子レベルにおけるコンペンセータのヒステリシス特性に起因する測量誤差が少しずつ発生し始めることがわかった。

⑤で表示されている測量誤差の値は、器械～標尺間距離が40mであるときの大きさであり、

$$1000\text{m} \div (40\text{m} \times 2) = 12.5 \text{ 測点}$$

と単純に計算するならば、⑤の値に12.5の数値を乗じたものが、1kmあたりの水準測量の片道観測において発生する、コンペンセータのヒステリシス特性に起因する系統的な測量誤差となる。

ただし、電子レベルの個体及び傾斜変化速度によって⑤の値が異なるだけでなく、直射日光による水準測量用三脚の変形に起因する三脚天板の時間的な傾斜変化の大きさ次第で、最終的に水準測量において発生する測量誤差が試算されるため、⑤の値が明らかになっただけでは、まだ実際の水準測量で発生している測量誤差まで試算できない。外的な振動の大きさや器械の温度によって⑤の値が変わる可能性も考えられる。

コンペンセータのヒステリシス特性は解明への手がかりをようやくつかんだ段階にすぎず、全体像はこれから把握していくことになる。

#### 4.3 水準測量用三脚の天板の時間的な傾斜変化

直射日光による水準測量用三脚の変形に起因する三脚天板の時間的な傾斜変化の測定に着手した。この試験観測では極めて小さな傾斜変化を測定対象としたため、高精度な傾斜センサを用いて観測を行った。この傾斜センサの取り扱いには精度確保のために必要となる幾つかの注意点を要したので、実際の水準測量における水準測量用三脚の操作を完全に再現することが困難であったことから、近似的に測量作業時の環境を再現した条件下における試験観測を行った。

##### 4.3.1 傾斜センサ(チルトセンサ)

直射日光による水準測量用三脚の変形に起因する三脚天板の時間的な傾斜変化量は、三脚の脚材に用いられている材木の線膨張係数等から推測して、角度にして1"を超える大きさに達する可能性は十分に高いと判断し、安定して1"程度の精度で傾斜角を測定できる性能を持つ傾斜センサを選定した。

試験観測に用いた高精度な傾斜センサはJewell Instruments社の提供するTuff Tilt S P/N 98033-02である。この傾斜センサのスペックを示す(表-3)。

Tuff Tilt S P/N 98033-02は直方体の形状と平らな底面を持っており、水準測量用三脚の天板上に置くことで傾斜変化を測定できる。この傾斜センサは静的環境下においては非常に安定した傾斜角の数値が出力されるが、測定誤差につながる、データシートには記載されていない、非常に注意を要する器械特性が潜んでいた。

水準測量作業時においては水準測量用三脚の設置

表-3 Tuff Tilt S P/N 98033-02のスペック

| 項目          | 値                            |
|-------------|------------------------------|
| 測定可能な角度の範囲  | ±3°                          |
| 傾斜角測定値最小分解能 | 0.36"                        |
| 傾斜角測定値の再現性  | 1.08"                        |
| 傾斜角測定値の温度特性 | ±0.72"/°C                    |
| 出力値         | X軸傾斜角度,<br>Y軸傾斜角度,<br>器械内部温度 |
| 最小サンプリング間隔  | 0.1秒                         |
| サンプリング時刻誤差  | 0.15秒                        |
| サイズ(mm)     | 120×80×60                    |
| 本体重量        | 0.6kg                        |
| インターフェース    | RS232 ケーブル                   |

時に脚の踏み込みという動作を行う。これは脚先端にある石突きという金属製の爪を足で強く踏み込んで、三脚設置地点の地面（アスファルト面やコンクリート面）に食い込ませることで、観測作業中における三脚の沈み込みが発生することを防ぐために行う動作である。この踏み込むときの衝撃が傾斜センサに加わった場合、傾斜角の出力値において非常に大きなノイズが発生した。ノイズの継続時間は1分間を超える場合があった。

この器械特性は実際に試験観測を試みたときに初めて明らかとなり、水準測量用三脚の天板に傾斜センサを完全に固定した状態では、有効な傾斜角測定値を記録できなかった。やむをえず、傾斜センサを水準測量用三脚の天板に完全に固定せず、三脚の移動、反転、設置の動作を行うときには天板から傾斜センサを取り除き、一通りの動作が済んだ後に再び天板上に傾斜センサを設置して、鉛のおもりを乗せてから傾斜角の測定を行う方法をとった。このようにすると、傾斜センサ設置時の僅かな振動によってノイズが生じた場合でも、その継続時間がかなり短く抑えられ有効な測定値を得られることがわかった。

#### 4.3.2 試験観測の方法

直射日光による水準測量用三脚の変形に起因する三脚天板の時間的な傾斜変化の計測を目的とした試験観測は、平成26年度に国土地理院構内にある天文棟（図-16）、菱形量計基線北西端点（図-17）、同北東端点（図-18）の周辺で実施した。複数箇所で行ったのは季節と時間帯によって直射日光の得られる場所が変わるためである。また観測装置に必要な外部電源が確保できる場所を選定した。夏期の観測は天文棟近辺で観測し、冬期の観測の早朝は菱形量計基線北西端点近辺、日中は天文棟近辺、夕方は同北

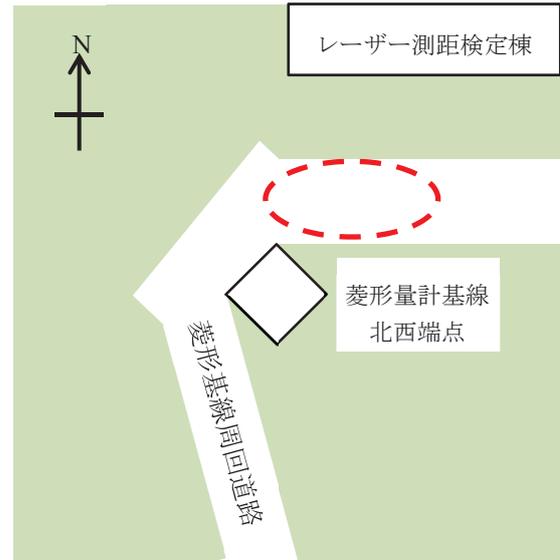


図-17 水準測量用三脚の傾斜変化量計測試験観測地。赤い点線の領域内で実施。

東端点近辺で観測した。

観測時間帯は午前7時から日の入りまでを対象としたが、観測中に天候の変化に伴い雲が太陽光線を遮断もしくは減衰させることが多く、1日だけでは日中の全時間帯をカバーした試験観測を行うことが難しかった。そこで太陽光線の強度をモニタリングしながら同一時期に複数日の試験観測を行い、安定した日照強度が得られた時間帯の試験観測データを集めて日中の全時間帯をカバーすることにした。

試験観測では1本のライカ社製水準測量用三脚を試験対象とした。そのため試験観測結果における季節的な差については測定対象とすることができたが、三脚の個体差等については今後調査を進めていく段階である。

実際の水準測量の場合、水準測量用三脚は測点ご

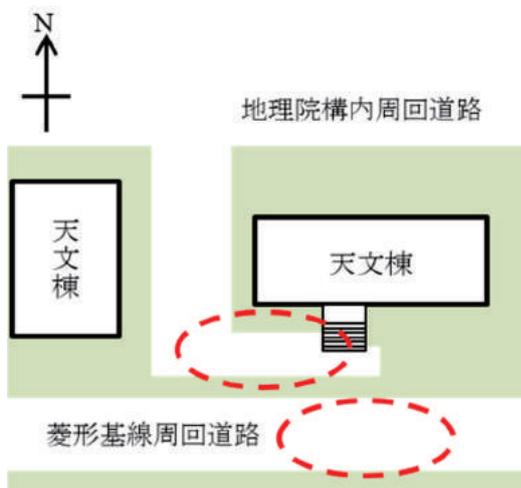


図-16 水準測量用三脚の傾斜変化量計測試験観測地。赤い点線の領域内で実施。

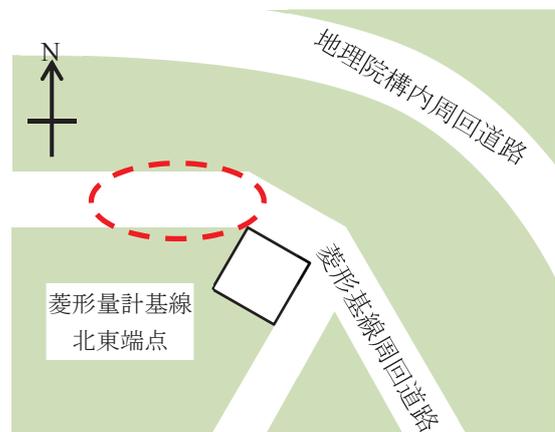


図-18 水準測量用三脚の傾斜変化量計測試験観測地。赤い点線の領域内で実施。

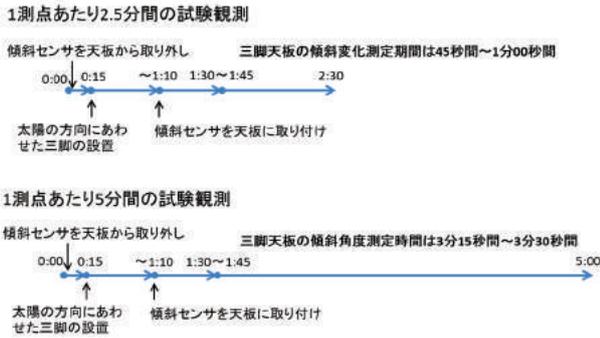


図-19 試験観測における観測セット内の三脚操作のタイムテーブル.

とに運搬と設置が行われ、設置するときの三脚の向きは測点ごとに進行方向に対して半回転する。1 測点あたり最短でも三脚の移動に 1 分、三脚設置に 30 秒程度の時間を必要とし、視通状況や道路状況によっては観測開始までの時間が更に長くなる。試験観測を行うに当たり、可能な限り実際の水準測量の観測作業を忠実に再現したいところではあるが、傾斜角度の測定に用いる傾斜センサの器械特性の制限を受けたので、やむを得ず近似的な三脚の操作を行って天板の傾斜変化を測定した。そして 1 測点あたりの動作に要する時間を 2.5 分間及び 5 分間の 2 つとした (図-19)。

水準測量作業においては、太陽の方位角に対する水準測量用三脚の設置方向が測点ごとに变化するが、おおむね水準路線の方向成分と太陽の日周運動に依存する傾向にある。水準測量成果に季節的な変動が見られる御前崎地区の場合、水準路線の方向成分は北西-南東方向であるが、日本全国を対象とした場合、水準路線は一通りの方向成分を持つ。そこで、試験観測では一通りの水準路線に適用できる調査結

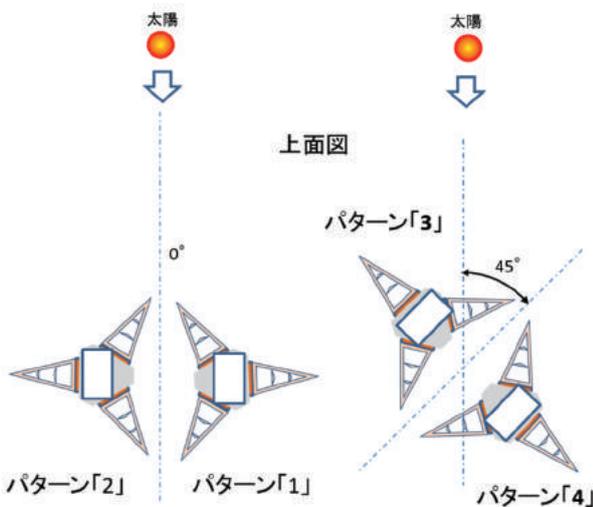


図-20 試験観測時における水準測量用三脚の太陽に対する設置パターン

果を得るため、太陽の日周変動に合わせて三脚の向きも連動させ、太陽方位に対する三脚の向きは 0 度及び 45 度の 2 つのパターンにして、それぞれのパターンで三脚の半回転の操作を行った (図-21)。

試験観測は (図-20) におけるパターン「1」とパターン「2」の繰り返しを 30 分間、続いてパターン「3」とパターン「4」の繰り返しを 30 分間と交互に進めた。また 30 分間のうち最初の 20 分間は 1 測点あたり 5 分間のタイムテーブルに、最後の 10 分間は 1 測点あたり 2.5 分間のタイムテーブルに従って試験観測を行った。そして観測条件を変えた直後の測点の試験観測データは三脚の温度分布が不安定であることを理由に棄却した。

傾斜センサによる傾斜角度の測定は 5 秒間隔で連続して行った。傾斜センサの温度変化を予防する目的で、特に風の強い場合を除き傾斜センサ本体を囲むようにアルミ蒸着シートによる日除けを取り付けた。直射日光試験観測に用いた水準測量用三脚には、日向側及び日陰側の脚部に合計 4 つの測温センサを取り付けた。これは、脚部の温度変化と天板の傾斜変化の関係を明らかにするためである。

各セットにおいて傾斜センサ設置後は無人環境で試験観測を行った。実際の水準測量では臨機応変に動く観測手、器械手の体及び日傘によって水準測量用三脚への日照条件が変化するが、その体重移動等が別のノイズを生むおそれがあったので、今回は無人環境とした。

4.3.3 試験観測で得られた結果

水準測量用三脚に取り付けた温度センサ、傾斜センサの位置、傾斜センサの出力値の正負の向き、直射日光によって発生する脚材の変形イメージについて (図-21) に示す。脚部の温度変化に伴う脚部の変形によって、それぞれの測温センサの出力値 [1-1], [1-

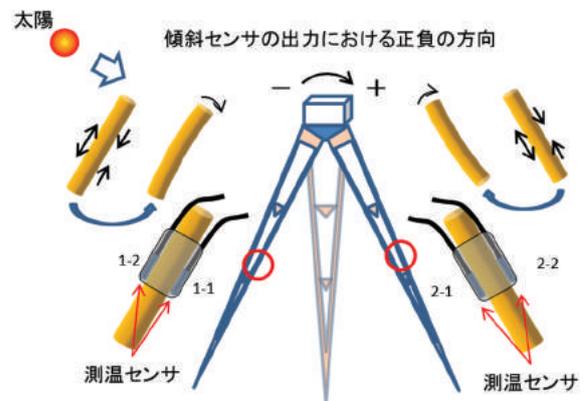


図-21 水準測量用三脚に取り付けた温度センサ、傾斜センサの位置及び傾斜センサの出力値の正負の向き。

2), [2-1], [2-2] と傾斜センサの出力する値には次のような関係が成立することが予想される。

- $[1-2] - [1-1] + [2-1] - [2-2] = A$  とする値「A」を求めたときに、「A」が増加傾向のとき、傾斜センサの値も増加傾向を示し、「A」が減少傾向のとき、傾斜センサの値も減少傾向を示す。
- $[1-2] + [1-1] - [2-1] - [2-2] = B$  とする値「B」を求めたときに、「B」が増加傾向のとき、傾斜センサの値も増加傾向を示し、「B」が減少傾向のとき、傾斜センサの値も減少傾向を示す。

ここで「A」の値の変化は脚部の部材における表と裏の温度差を意味するので、部材が反り返るように変形することで三脚天板を傾斜させる効果をもたらし、「B」の値の変化は日向側の脚部全体の伸張と日陰側の脚部全体の収縮によって三脚天板を傾斜させる効果をもたらすと予想した。

試験観測で得られた結果を示す(図-22)～(図-25)。

グラフは「単位” で示した三脚天板の傾斜角度」(黒線)、「A」の値(緑線)及び「B」の値(黄線)、そして簡易的な照度センサの出力値(オレンジ線)を表示している。

三脚天板の傾斜角度を示す黒い線は、水準測量用三脚が測点ごとに半回転する影響を受けて、傾斜角度が変化する向きも反対方向に交互に入れ替わっている。また、三脚天板の傾斜角度は各測点における観測終了時の値を基準とした相対的な変化量として測点単位で区切って表示している。

照度センサの値は真夏における真昼の太陽光線の光量を受けたときに 10 の値、暗闇のときに 0 の値を示す。

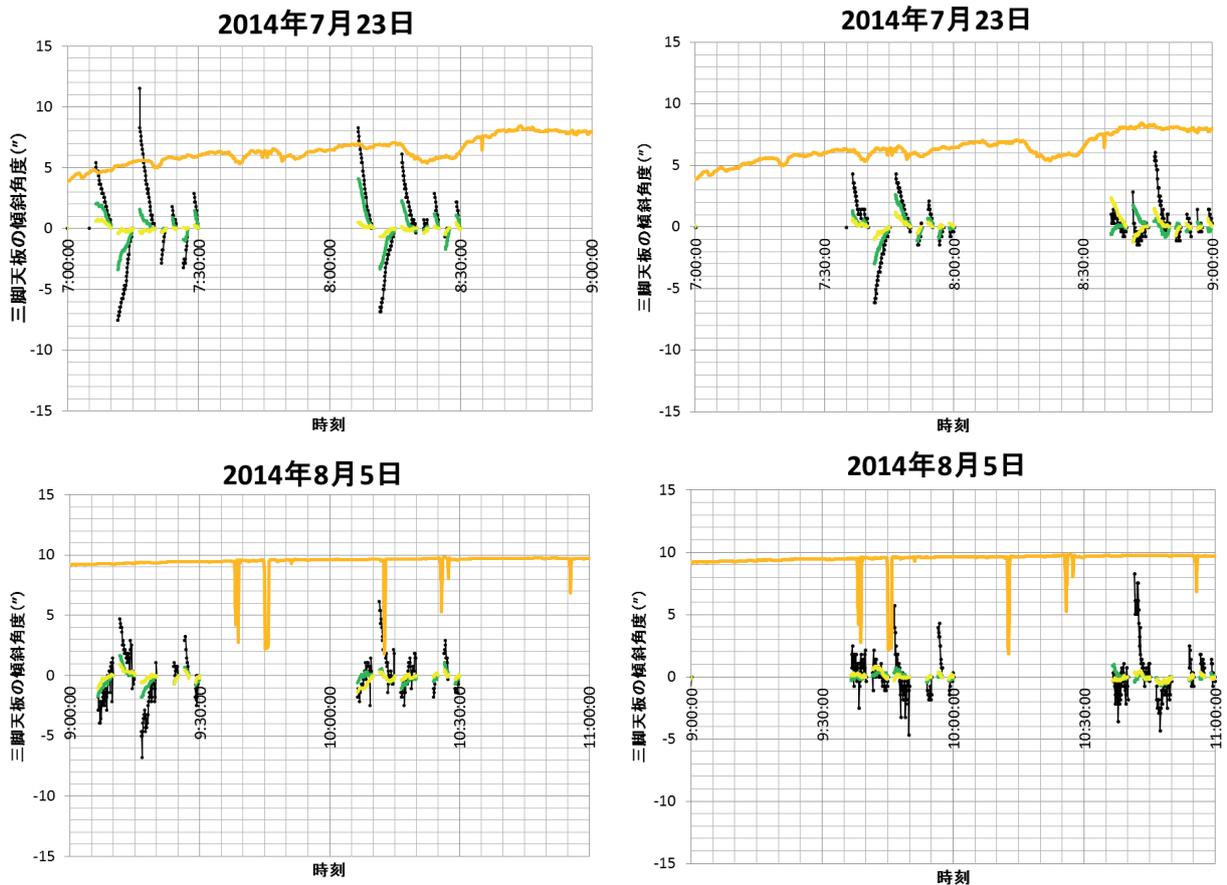


図-22 水準測量用三脚の傾斜変化量計試験観測結果(夏期 7:00～11:00)

左側は三脚設置パターン1と2の繰り返し。右側は三脚設置パターン3と4の繰り返し。

※(図-22)～(図-25)すべて同様。

— 三脚天板の傾斜角度  
— 照度  
— 「A」値  
— 「B」値

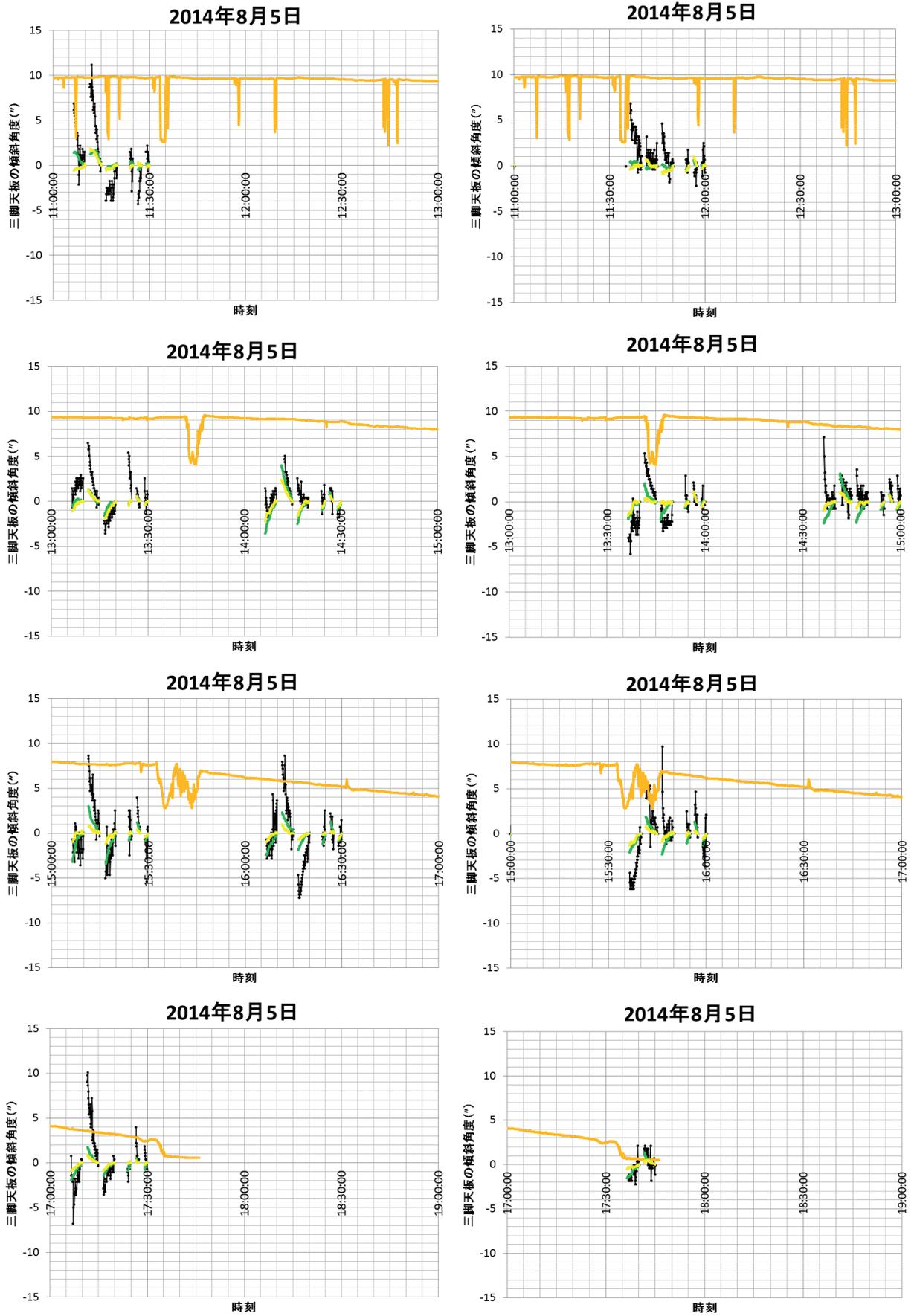


図-23 水準測量用三脚の傾斜変化量計測試験観測結果 (夏期 11:00~19:00)

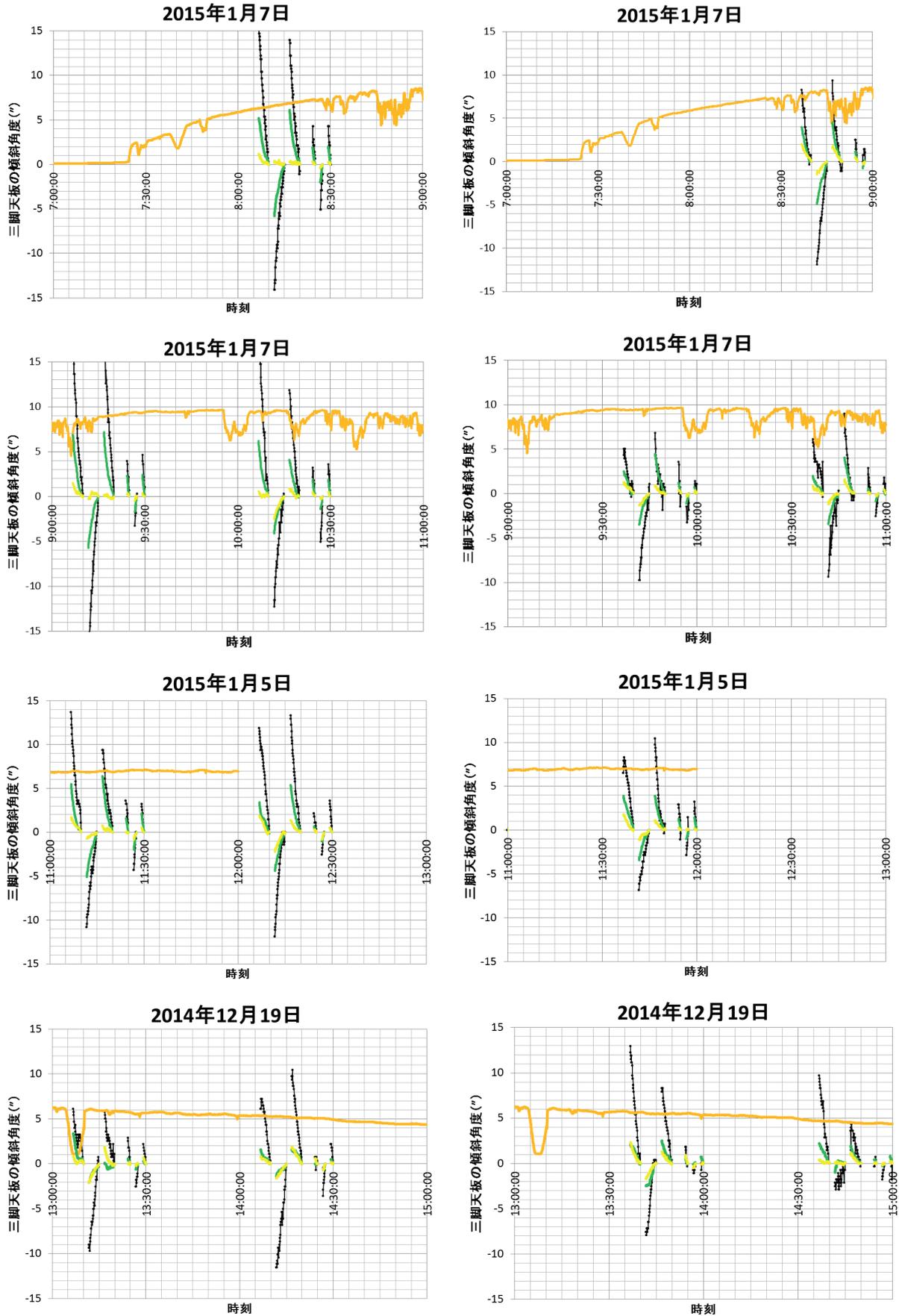


図-24 水準測量用三脚の傾斜変化量計試験観測結果（冬期 7:00~15:00）

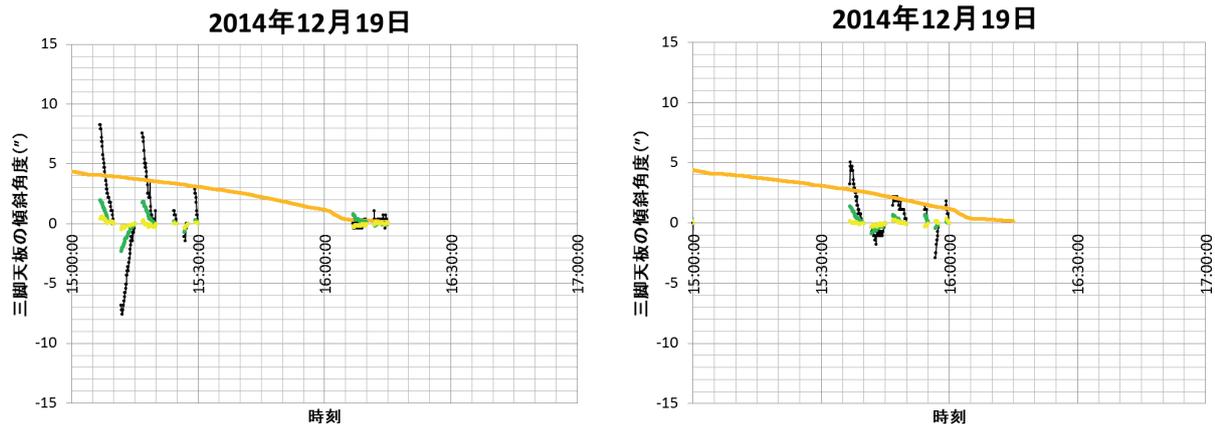


図-25 水準測量用三脚の傾斜変化量計測試験観測結果（冬期 15:00～17:00）

#### 4.3.4 試験観測結果に基づいた考察

試験観測の結果，夏期よりも冬期において著しい脚天板の傾斜変化が発生している様子が捉えられた。電子レベルにおけるコンペンセータのヒステリシス特性の調査結果からは，静的環境下であれば，1分間あたり6"を超える傾斜変化速度が電子レベルに加わる場合に測量誤差が次第に大きくなることがわかっている。

夏期においては傾斜変化が発生した場合でも傾斜変化速度がゆるやかであり，瞬間的にも1分間あたり6"を超える傾斜変化速度が発生することは少ない様子であった。夏期は強い太陽光線によって三脚が高温となるが温度変化は小さく，三脚天板の傾斜角度の変化も小さいことがわかった。

対して冬期においては日中の時間帯全域において三脚天板の傾斜角度の大きな変化が観測され，瞬間的に1分間あたり10"を超える大きな傾斜変化速度が発生する様子も多く捉えられた。冬期においてはコンペンセータのヒステリシス特性に起因する測量誤差が発生しやすいことがわかった。

夏期，冬期ともに，太陽高度は変わっても同時刻における太陽の方位角はほぼ同じである。水準路線の方向成分は季節によって変化しないため，結果として季節的に変動する測量誤差が発生すると考えられる。

夏期，冬期ともに，A及びBのどちらの値も三脚天板の傾斜変化とほぼ同じ位相で変化の様子が捉えられた。直射日光による水準測量用三脚の変形に起因する三脚天板の時間的な傾斜変化は，事前に予想した発生メカニズムで大体説明できそうだ。

水準測量用三脚の天板の時間的な傾斜変化を測定する試験観測は，天候に大きく左右されることに加えて有効な測定値を得るための難易度が高く，今年度は観測日数やサンプル数を増やすことが難しかった。これまでの取り組みにおいて直射日光による水

準測量用三脚の変形に起因する三脚天板の時間的な傾斜変化がコンペンセータのヒステリシス特性と組み合わせさせて季節的な測量誤差となる事実が明らかになったので，次年度以降も観測データを増やして測量誤差の定量化を進めることが望ましい。特に春期，秋期における試験観測の追加と三脚変形特性の個体差調査も充実したいところである。

#### 5. 測量誤差に対する考え方と解決への取り組み

御前崎地区における水準測量成果に見られる季節的な変動は，2006年度以降に電子レベルが導入された後で振幅が縮小しており，主にNI002AやウイルドN3が用いられていた2005年度以前と比較すると振幅の縮小は明らかである。特に最新の電子レベルが使用されるようになった2012年度以降の振幅は非常に小さくなっている。

ウイルドN3はティルティングレベルと呼ばれる種類のアナログレベルであり，コンペンセータを持たない。そのためウイルドN3にはコンペンセータのヒステリシス特性が存在しないが，そのかわり俯仰ねじの手動操作により水平気泡管を基準として視線と水平線の一致を確保する仕組みを持つので，俯仰ねじの操作完了直後から標尺の目盛の読定値を確定するまでの間に発生する三脚天板の傾斜変化が，そのまま水準測量成果に影響を与えていたことは確実である。また水平気泡管内の気泡の動きに液体の粘性抵抗に起因するヒステリシス要因が存在した可能性も濃厚なので，2000年度以前の水準測量成果に対しても，直射日光による水準測量用三脚の変形に起因する三脚天板の時間的な傾斜変化が測量誤差の要因になっていたと考えられる。御前崎地区における水準測量成果に見られる季節的な変動がレベルの器械特性に起因していた可能性は強い。

ただし，これまでに観測された御前崎地区における水準測量成果に見られる季節的な変動のすべてが

測量誤差であることを完全に証明することは難しい。電子レベルの器械特性は個体単位で異なることが明らかであり、過去の水準測量成果から測量誤差だけを分離して補正することが非常に難しい。

しかしながら、御前崎地区における水準測量成果に見られる季節的な変動において測量誤差が関与している可能性を無視し、観測に使用された測量機器等を考慮せずに水準測量成果の測位精度を一律であると仮定して地殻変動の評価を行うことは、当然ながら危険である。それぞれの測量成果に対して個別に測位精度を正しく評価し、地殻変動が検出できている場合には正確な判断を行うことが大切である。

今後の精密基盤傾動測量に使用される電子レベルの機種や個体によっては、直射日光による水準測量用三脚の変形に起因する三脚天板の時間的な傾斜変化と、コンペンセータのヒステリシス特性の二つが組み合わされることで発生する水準測量誤差の発生に伴い、測量成果に季節的な変動の振幅が大きく現れるおそれがある。この測量誤差の問題を根本的に解決するためには、水準測量用三脚の天板における系統的な傾斜変化の発生を防ぐ目的で、水準測量用三脚に直射日光が当たらないように水準測量の観測環境を改善することが求められる。

今後、調査研究を進めて対処法を確立しながら改善案を提案する。

また、電子レベルを含めたオートレベルにおけるコンペンセータのヒステリシス特性は、まだ調査が始まったばかりであり、その特性の全体像を把握するためには追加の試験観測を必要としている。水準測量の高精度化を更に進める目的においては、取り組む価値がある。

## 6. おわりに

電子レベルが登場して日本国内の基本測量に使用され始めたのは 1990 年代であり、御前崎地区における水準測量に導入されたのは 2006 年以降である。今年が 2015 年であるから、もう少しで 10 年程度の時間が経過する。電子レベルというブラックボックスの器械特性や水準測量の未知の測量誤差の発生メ

カニズムを解明する試みは、水準測量の実際の測位精度を明らかにする試みでもある。得られた測量成果に対して品質保証を与える必要上、今後も必要に応じてこれらを解明する取り組みが要求されるだろう。

高低差の計測に関する技術として干渉 SAR、GNSS、光格子時計が登場してきたが、干渉 SAR、GNSS のような宇宙測位技術の場合、システムの規模が大きいに加え元々が軍事技術であることからブラックボックスとなっている技術領域が広範に存在し、測量誤差の存在に気づくことや、測量誤差の発生メカニズムの解明作業を難しくしている。これらは計測された値の実質精度や実質時間分解能に影響を与える可能性がある。また、光格子時計による高低差計測技術は将来的に重要であるが、現時点では超高真空容器や 2 地点間を直接結ぶ光ファイバー等を必要とする点においてコスト面、運用面の課題が多く、実験室レベルの検証段階である。

測量という経済規模が比較的小さい社会インフラ整備事業に関わるものとしては、その運用コストをなるべく低く抑えることで、社会に与える金銭的負担を軽減した方が良い。宇宙測位技術等の新技術は魅力的な反面、導入と維持管理に関わるコストも相当なものである。特に人工衛星系のシステムの導入・運用コストは元々採算性が度外視されているほどに超高額である。加えて最先端の技術には当然ながら長期安定性の未検証といった不安もつきまとう。精度保証もこれから進めていく段階である。

現在、水準測量を超える精度と信頼性と経済性を持つ高低差計測手段は存在せず、特に 2 地点間の高低差を実測値だけで高精度に確定できる測量技術としては、他に代わるものが見当たらない状況である。

水準測量は、新しく登場してきた測量技術に対して、その測位精度を客観的に評価するための基準としての役割も与えられている。近代以降百年を超える歴史を刻んだ水準測量技術の果たす役割は、今後も引き続き重要とならざるを得ない。

(公開日：平成 27 年 3 月 4 日)

## 参考文献

- 澤田正典 (2011) : ニュースーパーインバールを使用した試験観測 (第 3 年次), 平成 23 年度調査研究年報, <http://www.gsi.go.jp/common/000071404.pdf> (accessed 27 Jan 2015)
- 澤田正典 (2012) : 水準儀の視準線安定性に関わる諸要素の研究 (第 1 年次), 平成 24 年度調査研究年報, <http://www.gsi.go.jp/common/000081565.pdf> (accessed 27 Jan 2015)
- 澤田正典 (2013) : 水準儀の視準線安定性に関わる諸要素の研究 (第 2 年次), 平成 25 年度調査研究年報, <http://www.gsi.go.jp/common/000092766.pdf> (accessed 27 Jan 2015)

だいち 2号 SAR 干渉解析により捉えられた  
平成 26 年 (2014 年) 長野県北部の地震に伴う地殻変動と地表変形  
Crustal and surface deformation of the northern Nagano earthquake in 2014  
detected by InSAR using ALOS-2 data

測地部 森下遊・山田晋也・山中雅之・吉川忠男・和田弘人  
Geodetic Department Yu MORISHITA, Shinya YAMADA, Masayuki Yamanaka,  
Tadao KIKKAWA and Kozin WADA

地理地殻活動研究センター

矢来博司・中埜貴元・飛田幹男・小林知勝・中島秀敏・神谷泉  
Geography and Crustal Dynamics Research Center  
Hiroshi YARAI, Takayuki NAKANO, Mikio TOBITA, Tomokazu KOBAYASHI,  
Hidetoshi NAKAJIMA and Izumi KAMIYA

## 要 旨

国土地理院は、大規模地震発生時に、地震に伴う地殻変動を把握するため、陸域観測技術衛星「だいち」の SAR データを使用して、SAR 干渉解析を実施してきた。2011 年 5 月にだいちの運用を終了したが、2014 年 5 月にはだいちの後継機である「だいち 2号」が打ち上げられ、再び SAR 干渉解析に必要なデータを取得することが可能になった。

2014 年 11 月 22 日に長野県北部を震源とする地震が発生した。地震に伴う地殻変動を把握するため、だいち 2号の緊急観測を要請し、緊急解析を実施した。この地震がだいち 2号にとって初めての地震に伴う地殻変動を捉えた事例となった。だいち 2号はだいちよりも災害対応の迅速性が大きく向上しており、迅速に SAR データを入手することができた。SAR 干渉解析結果から、地震に伴う地殻変動や地表地震断層等の地表変形の詳細を把握することができ、また、断層モデルの推定に貢献した。

## 1. はじめに

合成開口レーダー (Synthetic Aperture Radar, 以下「SAR」という。) は、合成開口という技術により空間分解能を高めたマイクロ波レーダーであり、航空機や人工衛星にアンテナが搭載される。干渉 SAR は、SAR による観測をほぼ同じアンテナの位置から地表の同一地点に対して 2 回以上実施し、反射波の位相差を計算することによって、地表の標高や変動量を面的に計測することができる技術である。一般的に、人工衛星による干渉 SAR では、一度に数十～数百 km の範囲の変動を、数 m～数十 m の空間分解能で、数 mm～数 cm の精度で検出することができる。

国土地理院は、2006 年 1 月～2011 年 5 月に運用された陸域観測技術衛星「だいち」の SAR データを使用して、地盤沈下や地すべりによる地盤変動及び火山活動による地殻変動の監視を目的として、SAR

干渉解析を定常的に実施していた。また、大規模地震が発生した際には、地震に伴う地殻変動の把握等を目的として、緊急解析を実施した(雨貝ほか, 2007; 鈴木ほか, 2008; 雨貝ほか, 2008; 山中ほか, 2011)。

だいちの運用終了以降、新たな SAR データを使用した SAR 干渉解析は実施できなくなっていたが、2014 年 5 月にだいちの後継機である「だいち 2号」が打ち上げられた。国土地理院では、だいち 2号の SAR データを使用して、変動監視を目的とした定常的な SAR 干渉解析及び発災時における緊急解析を再び実施していく予定である。

本稿では、だいち 2号にとって最初の地震に伴う地殻変動を捉えた事例となった、2014 年 11 月 22 日 22 時 08 分頃に発生した長野県北部を震源とする地震 (M6.7, 震源の深さ約 5km, 最大震度 6 弱) に関して、だいち 2号の緊急観測と緊急解析、断層モデル及び現地調査について報告する。

## 2. だいち 2号による緊急観測

### 2.1 だいち 2号

だいち 2号は、だいちの後継機として宇宙航空研究開発機構 (以下「JAXA」という。) により開発され、2014 年 5 月 24 日に打ち上げられた。約 2 か月半の初期機能確認運用期間を経て、8 月 4 日から、限られた観測リソースを有効活用するために定められた基本観測シナリオに基づく時間的・空間的に系統的な観測を開始し、観測データを蓄積している。

干渉 SAR によって変動を検出するためには、変動発生前後の観測データが必要となる。様々な方向及び角度からの地震前の観測データがあれば、地震後に SAR 干渉解析可能な観測データ取得機会が増加し、迅速に地殻変動を検出できる可能性が高くなる。発災後対応の迅速性を向上させるため、打ち上げ後約 1 年間は、様々な方向及び角度からの観測データを蓄積する、災害用ベースマップ観測期間となつて

いる (JAXA/ALOS-2 プロジェクト, 2014). 今回の地震は, その期間の途中で発生したものである.

だいち 2 号は, だいちと比較して, 多くの点で性能が向上している (表-1). 空間分解能の向上により, より詳細に地表面の状態を把握することができるようになった. また, 回帰日数の短縮や左右観測が可能になったことにより, 観測可能領域が拡大し, 災害対応の迅速性が大きく向上した. 災害用ベースマップ整備後は, 最長でも発災後 74 時間以内に SAR 干渉解析可能な観測が実施できるようになる (JAXA/ALOS-2 プロジェクト, 2014).

表-1 だいち 2 号とだいちの主要な性能の違い

|        | だいち 2 号 | だいち       |
|--------|---------|-----------|
| 空間分解能  | 3m      | 10m       |
| 回帰日数   | 14 日    | 46 日      |
| 電波照射方向 | 左右可能    | 右のみ       |
| 垂直基線長* | 1km 以内□ | 最長 10km 超 |

\*同一地点を複数回観測する際の衛星の位置のずれのうち, 衛星—地表視線方向 (Line of Sight, 以下「LOS」という.) に直交する成分. 短いほど SAR 干渉解析にとって好条件となる.

## 2.2 地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループ

国土地理院と JAXA は, だいち 2 号のデータを用いた地理空間情報の整備及び高度利用を連携して推進することを目的として, 2014 年 4 月 7 日に協定を締結した. 協定では, 役割分担やデータの提供について規定するとともに, JAXA が実施している防災利用実証実験の一つである, 地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループ (以下「地震 WG」という.) についても規定している. 国土地理院が地震 WG を設置し, 地震発生時には, 事務局として実験協力者からの緊急観測の提案の取りまとめを行い, JAXA へ緊急観測を要請することができる. JAXA は観測の可能性を検討し, 可能であると判断した場合は緊急観測を実施し, データを提供することとなっている.

## 2.3 緊急観測の要請と観測実施

今回の地震は, 地震 WG としてだいち 2 号の緊急観測を要請した最初の事例となった. 地震発生直後, 事務局である国土地理院が震源周辺における地震前の観測データを検索し, それらと SAR 干渉解析可能な観測日時を計算した. 地震発生から 1 時間半後の 23 時 38 分に, 地震 WG 内でメールにより緊急観測の案を共有し, 実験協力者の賛同を得て, JAXA へ 4 件の緊急観測を要請した (表-2, 図-1). 4 件全ての要請は採用され, 緊急観測が実施された.

表-2 緊急観測要請内容

| 観測日時        | 衛星進行方向 | 電波照射方向 | お7行'17角 | 干渉ペア7記号 | 地震前観測日 |
|-------------|--------|--------|---------|---------|--------|
| 11/24 11:29 | 南行     | 右      | 53.3°   | (i)     | 9/29   |
| 11/25 11:48 | 南行     | 右      | 38.2°   | (ii)    | 9/30   |
|             |        |        |         | (iii)   | 10/14  |
| 11/27 12:30 | 南行     | 左      | 32.4°   | (iv)    | 10/2   |
| 11/28 23:40 | 北行     | 右      | 35.4°   | (v)     | 9/19   |

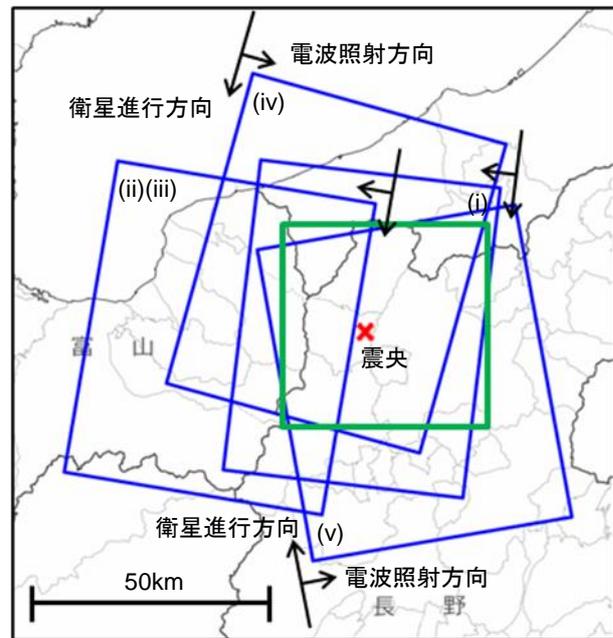


図-1 緊急観測要請範囲 (青枠). (i)~(v)は表-2 中の干渉ペア7記号に対応する. 緑枠は図-2~図-6 の表示範囲を示す.

だいち 2 号が災害用ベースマップ観測を開始してから約 3 か月半しか経過していなかったこともあり, 当該地域における地震前の観測データは限定的であった. それにもかかわらず, 最初の SAR 干渉解析のための緊急観測は発災後約 37 時間後に実施され, だいちの事例と比較すると非常に迅速であった (表-3). さらに, 6 日間で 4 回も SAR 干渉解析可能な緊急観測が実施され, 迅速性だけではなく頻度の面でも, だいちよりも優れていることを示した. 今回の事例により, 地震災害対応におけるだいち 2 号の能力の高さが実証されたといえる. 災害用ベースマップ整備後は, さらに効果的な緊急対応が期待できる.

表-3 緊急観測の迅速性及び頻度の比較

| 地震発生日時<br>地震名                 | 地震後初観測日時<br>(経過時間)          | 地震後観測<br>回数/期間          |
|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 2007/3/25 9:42<br>能登半島地震      | 2007/4/10 22:26<br>(17.5 日) | 2 回/46 日<br>(=0.3 回/週)  |
| 2007/7/16 10:13<br>新潟県中越沖地震   | 2007/7/19 10:13<br>(3.0 日)  | 2 回/14 日<br>(=1 回/週)    |
| 2008/6/14 8:43<br>岩手・宮城内陸地震   | 2008/6/23 21:57<br>(9.6 日)  | 2 回/10 日<br>(=1.4 回/週)  |
| 2011/3/11 14:46<br>東北地方太平洋沖地震 | 2011/3/15 21:55<br>(4.3 日)  | 10 回/38 日<br>(=1.8 回/週) |
| 2011.11.22 22:00<br>長野県北部     | 2011.11.23 11:20<br>1 日     | 6 日<br>7 回/週            |

### 3. SAR 干渉解析

#### 3.1 SAR 干渉解析の実施

迅速に解析に着手するため、地震前の観測データはあらかじめ入手し、解析の準備をしておいた。地震後の観測データは、緊急観測が実施された後、1~2 時間でオンラインにより提供され、すぐに解析を開始することができた（ペア(v)を除く）。

ペア(i)の地震前観測データには欠損があり、通常の画像再生処理では変動域を含まない南側の範囲しか再生できなかった。そこで、北側に可能な限り拡張するよう工夫して画像再生処理を実施した。

ペア(ii)(iii)の観測範囲は、通常の画像再生処理では変動域を含まない西側の範囲のみであったため、東側に可能な限り拡張するよう工夫して画像再生処理を実施した。

ペア(v)については、地震前観測データの生産処理に不具合が発生し、しばらくデータが提供されなかったが、2015 年 1 月下旬にデータが提供され、解析を実施することができた。

解析には、国土地理院が開発したソフトウェア「新 GSISAR」を使用した。新 GSISAR はだいちの時代から使用してきたが、並列処理や様々な誤差低減処理機能を実装する等、年々バージョンアップを重ねてきた。また、解析機器の性能も時代とともに大幅に向上してきた。だいち 2 号はだいちよりも空間分解能が高いため、データ量も多くなるが、これらの解析システムにより、高速で解析を実施することができた。

SAR 干渉解析において、地形縞を除去するための標高データ (DEM) は「GSII10mDEHMJapan」(飛田, 2009) を使用した。対流圏誤差を低減するため、数値気象モデルを用いた対流圏誤差低減処理を適用した(小林ほか, 2014)。軌道誤差等に起因する長波長の誤差を低減するため、GEONET データを使用した GNSS 補正を適用した(飛田ほか, 2005)。なお、GNSS 補正にはある程度の期間に渡る地震後の GEONET データが必要であったため、緊急観測直後の解析では GNSS 補正は適用できず、暫定結果として取り

扱った。数日後に十分な GEONET データが蓄積されてから暫定結果に対して GNSS 補正を適用し、最終結果とした。これ以降は、最終結果を示すものとする。

#### 3.2 SAR 干渉解析結果

震央を中心とする東西約 30km、南北約 30km の範囲で地殻変動が検出された(図-2~6)。特に、既知の神城断層北端付近の東側で顕著な変動が見られ、最大で 1m 程度の LOS 方向の変動があったと推定される。

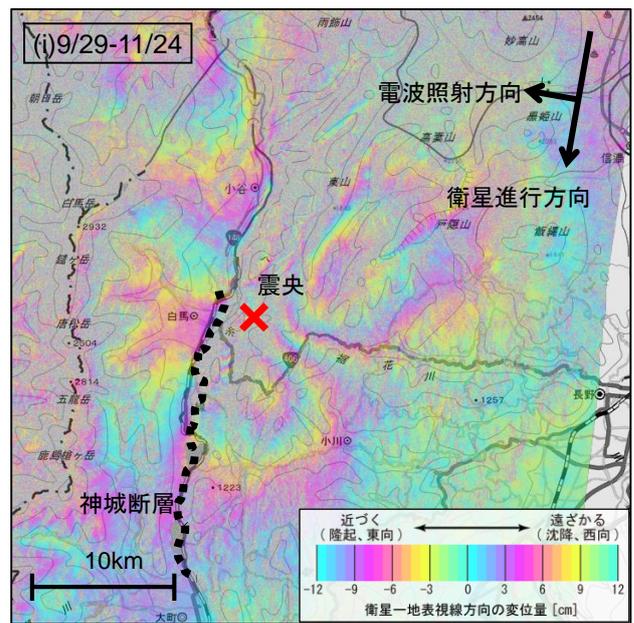


図-2 ペア(i)の SAR 干渉画像。神城断層は、都市圏活断層図「白馬岳」(澤ほか, 1999)、「大町」(東郷ほか, 1999) からトレースしたものである。

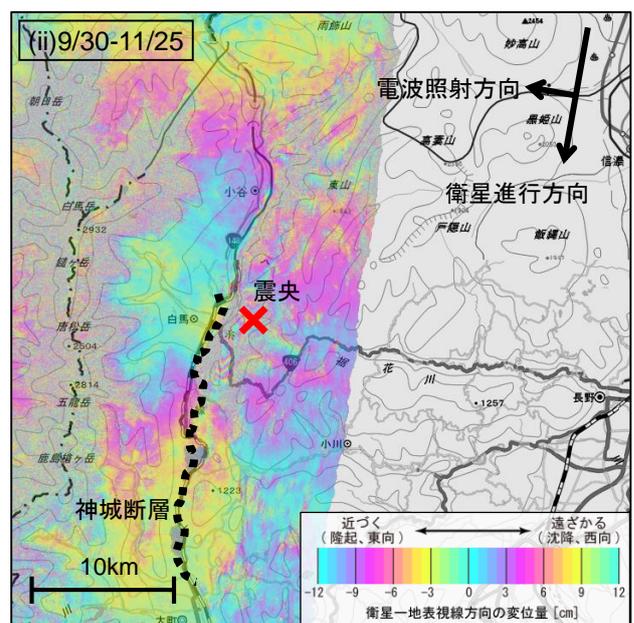


図-3 ペア(ii)の SAR 干渉画像

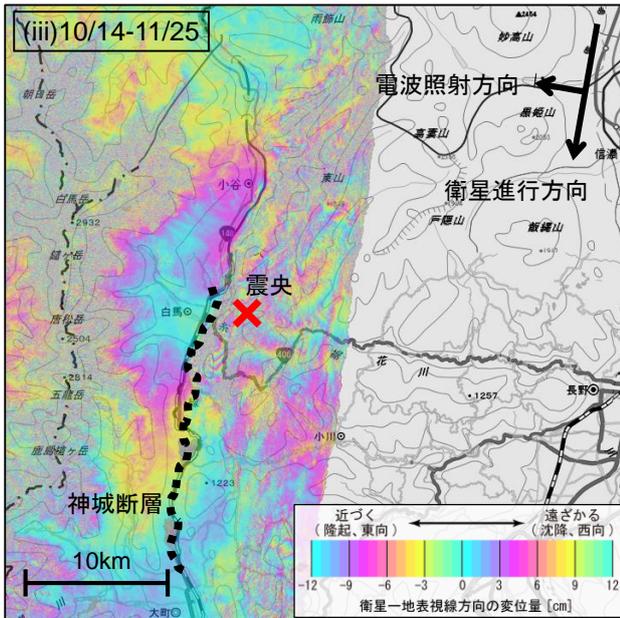


図-4 ペア(iii)の SAR 干渉画像

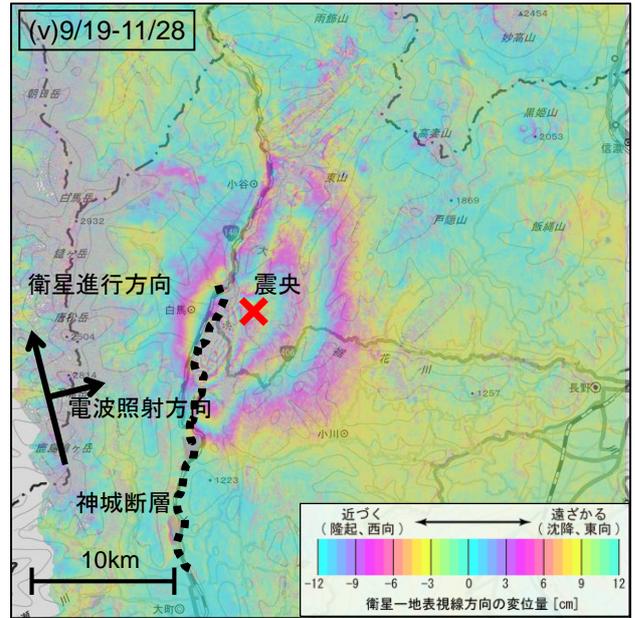


図-6 ペア(v)の SAR 干渉画像

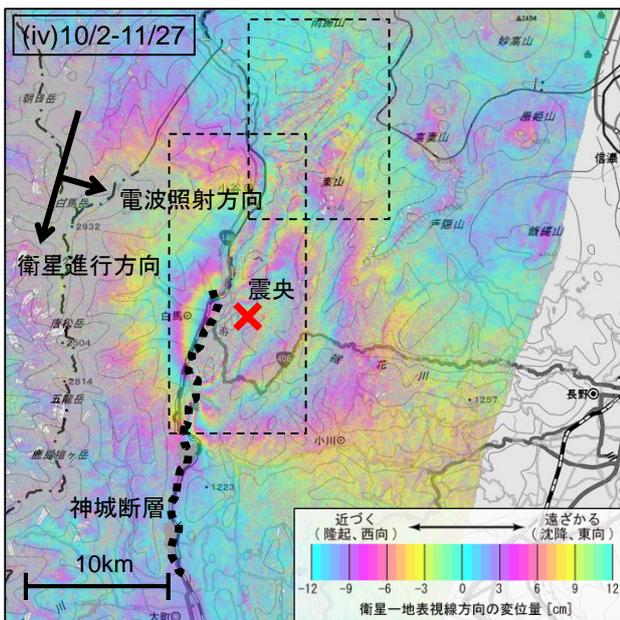


図-5 ペア(iv)の SAR 干渉画像。黒破線枠は図-7 及び図-8 の範囲を示す。

SAR 干渉画像において、急激な色の変化は、地表地震断層等、地表変位量が急激に変化する位置を示す。今回の解析結果では、南北に縦断するように急激な色の変化のある場所が見られ、その位置は、様々な機関が実施した現地調査により把握された地表断層位置（廣内ほか，2014；岡田ほか，2014；勝部ほか，2014）と調和的であった（図-7）。震源断層の長さは約 20km であると推定され、南側の約 10km は既知の神城断層の位置と良く一致している。

地殻変動が集中している地域よりも北側の、小谷村の姫川より東側の山間部では、小規模だが明瞭な

色の変化が数多く見られた（図-8）。これらは地すべりによる変動を表している可能性がある。

### 3.3 解析結果の公開

ペア(v)を除く緊急解析の結果は、観測から 1~2 日後には、地理院地図の上乗せ情報として公開した（国土院，2014）。地理院地図とは、国土院が提供しているウェブ地図であり、空中写真や震央の位置等、様々な地理空間情報を表示することができる。SAR 干渉画像単独で公開するのではなく、他の地理空間情報と重ね合わせて表示できるようにしたことで、地表地震断層位置との比較や、地すべりによる変動が疑われる場所の地形を把握することが容易となった。

また、11 月 28 日に開催された第 205 回地震予知連絡会において、ペア(iv)の解析結果も含めた資料を提出した。発災から 6 日、観測からわずか 1 日という短時間にもかかわらず、解析結果の報告をすることができた。このような迅速な対応は、だいち 2 号の迅速性向上や解析システムの発展によって可能になった。今後の地震災害に対しても、同程度もしくはより迅速な対応が可能であると考えられる。

### 4. SAR 干渉解析結果が示唆する断層運動

それぞれの干渉画像に見られる位相変化分布から、今回の地震の断層運動について以下のように考察できる。

衛星が東南東上空から西北西方向を観測しているペア(i)において、広域での位相変化分布を見ると、神城断層の西側で LOS 短縮 (= 隆起 and/or 東方への変位)、断層の東側では北東側で LOS 短縮と南東側

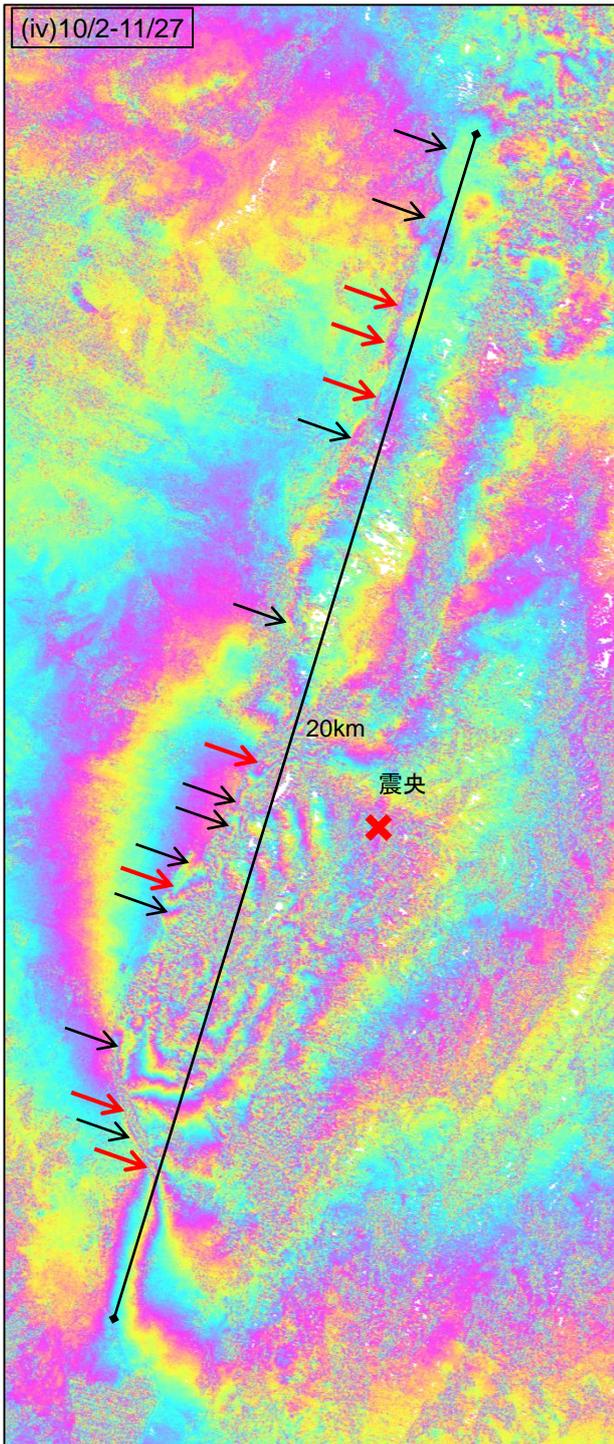


図-7 ペア(iv)の SAR 干渉画像の震央付近の拡大図。矢印は急激に色が変わっている場所を示す。そのうち、赤矢印は国土地理院が現地調査を行った箇所を示す。

で LOS 伸張 (=沈降 and/or 西方への変位) が見られる。これらの特徴は、断層面はやや高角で東傾斜であり、断層運動は左横ずれ成分と逆断層成分をそれぞれ含んでいることを示唆している。これは、この地震の CMT 解 (例えば気象庁, 2014) とも整合している。

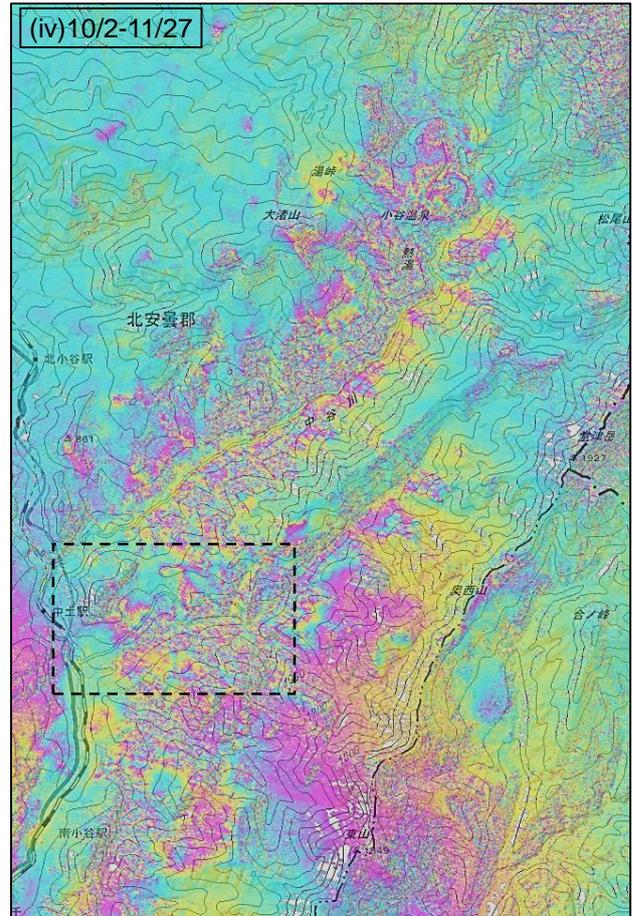


図-8 ペア(iv)の SAR 干渉画像の小谷村の姫川より東部の拡大図。小規模だが明瞭な色の変化は、地すべりによる変動を表している可能性がある。黒破線枠は図-11 の範囲を示す。

ペア(i)とは逆に衛星が西北西上空から東南東方向を観測しているペア(iv)や、西南西上空から東北東方向を観測するペア(v)では、広域での位相変化分布は神城断層を境にして西側で LOS 伸張、東側で LOS 短縮を示している。これは、やや高角の東傾斜の逆断層運動と調和的な変動である。ただし、ペア(iv)や(v)の観測方向では、断層傾斜角が中程度～高角の場合に左横ずれ成分に対する感度が低くなるため、実際には左横ずれ成分を含むものの、逆断層運動を示す位相変化のみが顕著に表れたという可能性もある。

また、全てのペアで、地表地震断層付近の東側で大きな変動を示す干渉縞の集中が見られる。ペア(iv)および(v)に見られる位相変化分布は断層の走向方向に伸びる同心円状であり、低角～中程度の傾斜角で、幅が約 2~3km の逆断層滑りを強く示唆している。ペア(i)ではやや干渉性が劣るため明瞭ではないが、断層に近い領域で LOS 短縮、その東側では LOS 伸張の傾向が見られており、こちらもペア(i)と同様に、低角～中程度の傾斜角の逆断層滑りと調和的なパターンである。

従って、広域の位相変化分布からはやや高角の断層面、地表地震断層近傍の位相変化分布からは低角～中程度の傾斜角の断層面が想定されるため、今回の干渉画像に見られる位相変化分布の特徴を単一の傾斜角を持つ断層面での滑りで説明することは難しい。

以上から、断層面の傾斜角は、広域に地殻変動を及ぼす深い部分ではやや高角、地表地震断層近傍の浅い部分ではやや低角と考えられる。なお、Double Difference 法による高精度な震源決定結果(気象庁, 2015)でも浅部でやや低角、深部で高角となる傾向が見られている。

## 5. 現地調査

SAR 干渉画像の妥当性を検証するため、SAR 干渉画像において色が急激に変化する境界付近(図-7 赤矢印地点)や地すべり性の変動を捉えていると考えられる箇所(図-8 黒破線枠内: 土谷川右岸の県道 330 号線)について、2014 年 12 月 2~3 日にかけて現地調査を実施した。

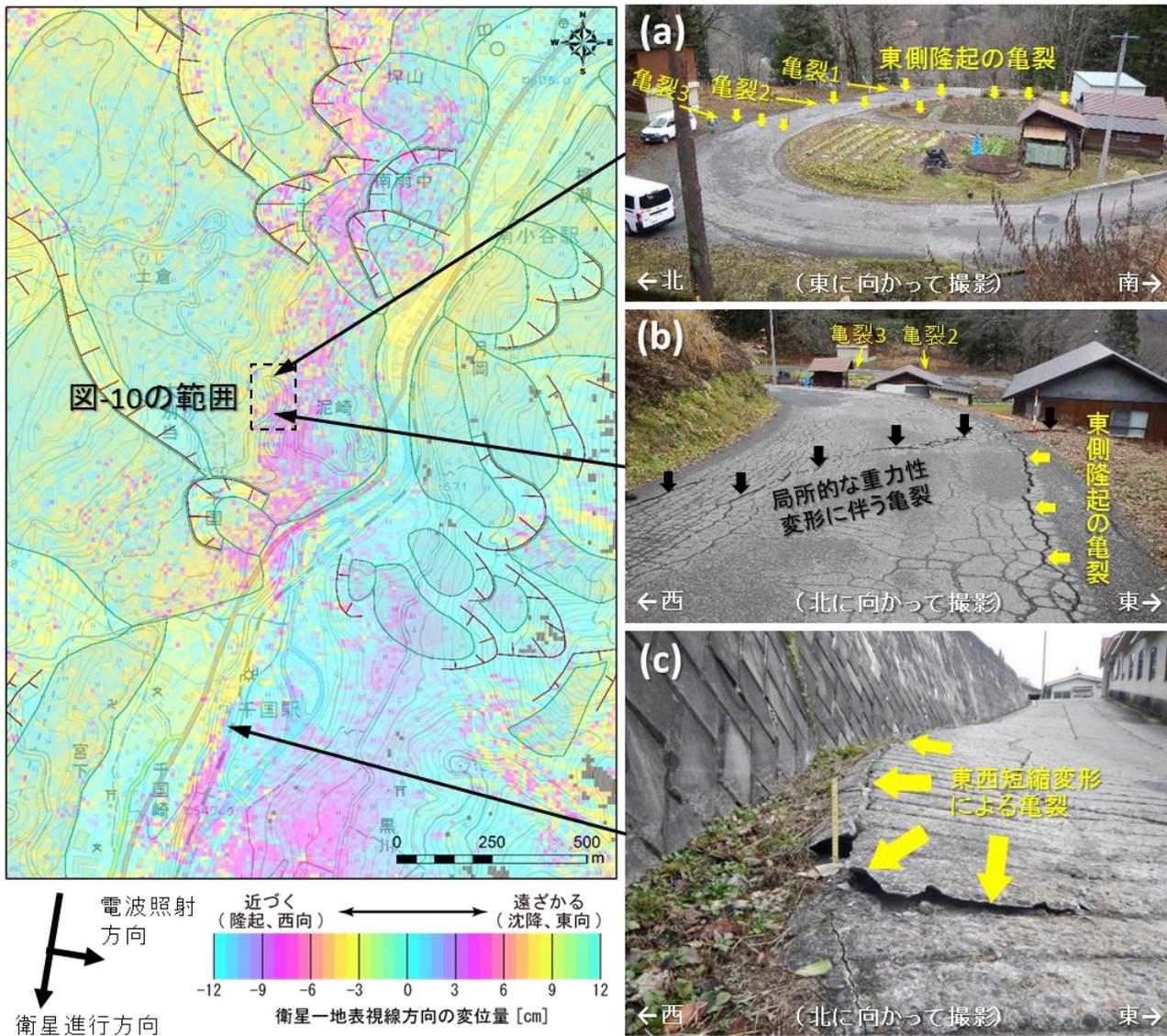


図-9 小谷村南部の SAR 干渉画像 ((iv) のペア) と地すべり地形分布図(防災科学技術研究所, 2000) の重ね合わせと現地調査結果。(a) 小谷村泥崎地区で確認した走向 NE から N25°E の 3 列の短縮性亀裂(黄色矢印部)。亀裂 1 と亀裂 2 の地表変形は、東側隆起が卓越し、南側の耕作地及び家屋(車庫)まで変位が続いている。(b) 小谷村泥崎地区の東側隆起の亀裂(黄色矢印部)と局所的な重力性変形に伴う亀裂(黒矢印部)。東側隆起の亀裂は、(a) の亀裂 2 の延長線上に位置する。(c) JR 千国駅西側の路面で確認したほぼ南北方向の走向を持つ東西短縮変形による隆起と頂部亀裂。写真右上に見える屋根付き歩道上にも、写真の亀裂と平行な隆起と頂部亀裂を確認。

## 5.1 小谷村周辺での調査結果

小谷村周辺での SAR 干渉画像と現地調査の結果を図-9, 10 に示す。小谷村泥崎地区から千国地区につながる市道やその周辺の耕作地、家屋（車庫）の土台、水路等を横断するように、NS から N25°E の走向を持つ東側隆起の 3 列の短縮性亀裂が確認された（図-9(a), 図-10(a)~(d)）。また、その亀裂の南側延長線上の水田畦道やアスファルト道路にも東側隆起の亀裂が確認された（図-9(b), 図-10(f)）。同地点は、大きな地すべり土塊の下方内部に位置しており（防災科学技術研究所, 2000）、近傍には局所的な重力性変形に伴う亀裂も見られる（図-9(b)）。しかし、前述の短縮性亀裂は東側が最大 10cm 隆起しており、周囲の地形から考えても地すべり性の短縮変形とは異なることから、地表地震断層の可能性が示唆される。また、この地点から南方へ色の急激な変化が続いている JR 千国駅周辺においても、ほぼ NS 走向の短縮変形が、コンクリート路面と駅に付随する屋根付きのアスファルト歩道で確認でき（図-9(c)）、同様の変形の可能性が考えられる。中野ほか（2002）によると、これらの地表変形の近くには姫川断層があり、それが活動した可能性もある。この地域では、(iv)のペアの干渉画像が他の干渉画像に比べて、現地との対応が良かった。なお、同様の色の変化が現れている小谷村坪山地区、南雨中地区、千国崎地区も調査したが、明瞭な地表変形は確認できなかった。

小谷村を流れる土谷川右岸の県道 330 号線においては、地すべり性変動を示す干渉縞と現地との対応を調査した。調査結果を図-11 に示す。干渉縞にはノイズが多く、地すべり性変動の形状は明瞭ではないが、地すべり性変動の可能性のある干渉縞の地点のアスファルト道路や擁壁等には、多数の開口亀裂や一部の短縮変形が確認できた。ただし、この地域には多数の地すべり地形が存在しており（防災科学技術研究所, 2000）、それら土塊の変動によるものなのか、より局所的な道路盛土等の変動によるものなのかは現段階では区別できていない。

## 5.2 白馬村周辺での調査結果

白馬村周辺での SAR 干渉画像と現地調査の結果を図-12, 13 に示す。この地域では、他機関が地表地震断層の出現を多数報告しており、色の変化箇所と調和的であることは先にも述べたが、ここではより詳細な位置関係を報告する。

白馬村北城地区塩島付近（図-12）では、3 箇所のアスファルト道路を横断する地表地震断層を確認した。同地区にある城山という小丘の北東側の道路では、走向 N55°E で南東側隆起の変形が見られた（図-12(a)）。城山の南東側の道路及び耕作地では、走向 N30°E で南東側隆起の変形が確認できた（図-12(b)）。

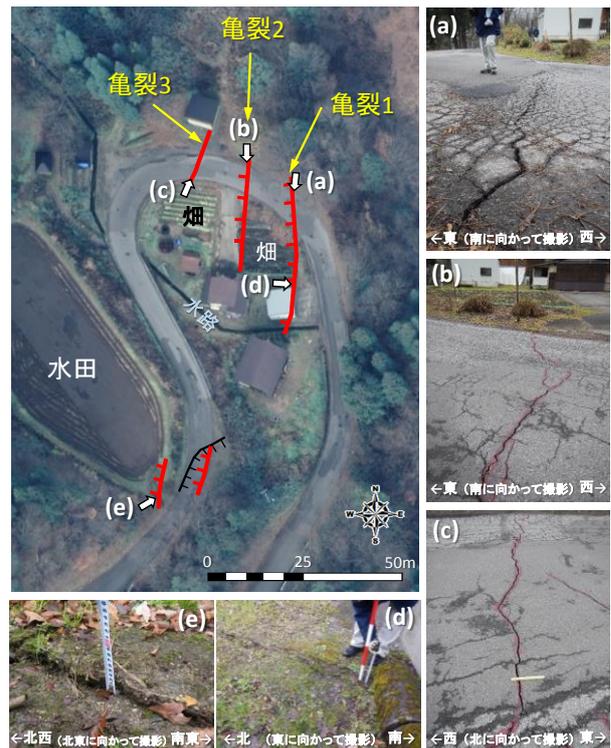


図-10 小谷村泥崎地区の地表変形の詳細図（背景は 2014 年 11 月 24 日アジア航測（株）撮影空中写真）。図中の白矢印は写真（a）～（e）の撮影位置と撮影方向。（a）亀裂 1（走向 NS、上下変位約 10cm の東側隆起）。（b）亀裂 2（走向 N6°E、開口幅 1~2cm、上下変位約 2cm の東側隆起）。（c）亀裂 3（走向 N25°E、開口幅約 1cm）。（d）亀裂 1（上下変位約 10cm の東側隆起）。亀裂の手前（西）側に水が溜まっていた。（e）水田の畦道に見られた東側隆起の段差亀裂（上下変位約 3cm）。亀裂 3 の延長部に位置する。

上下変位量は約 80cm である（廣内ほか, 2014）。また、松川左岸の道路では、走向 N32°E で南東側隆起の変形が見られた（図-12(c)）。ここでは約 40cm の左横ずれも確認できた。この地点では、(iii)のペアの SAR 干渉画像の方が、他の干渉画像に比べて現地との対応が良かった。

白馬村北城地区の白馬村社会体育館周辺（JR 白馬駅南方；図-13）でも、SAR 干渉画像で色が急激に変化している箇所において、アスファルト道路及びその側溝、水田、擁壁等に、東側隆起の短縮変形や開口亀裂が確認できた。短縮変形の短縮量は約 15cm であった。この地点においては、(iii)と(iv)のペアのいずれも、現地との対応が良かった。

その他、白馬村神城地区飯田から堀之内にかけての SAR 干渉画像の色の変化箇所において、水田やアスファルト道路を横切る地表地震断層を確認した。

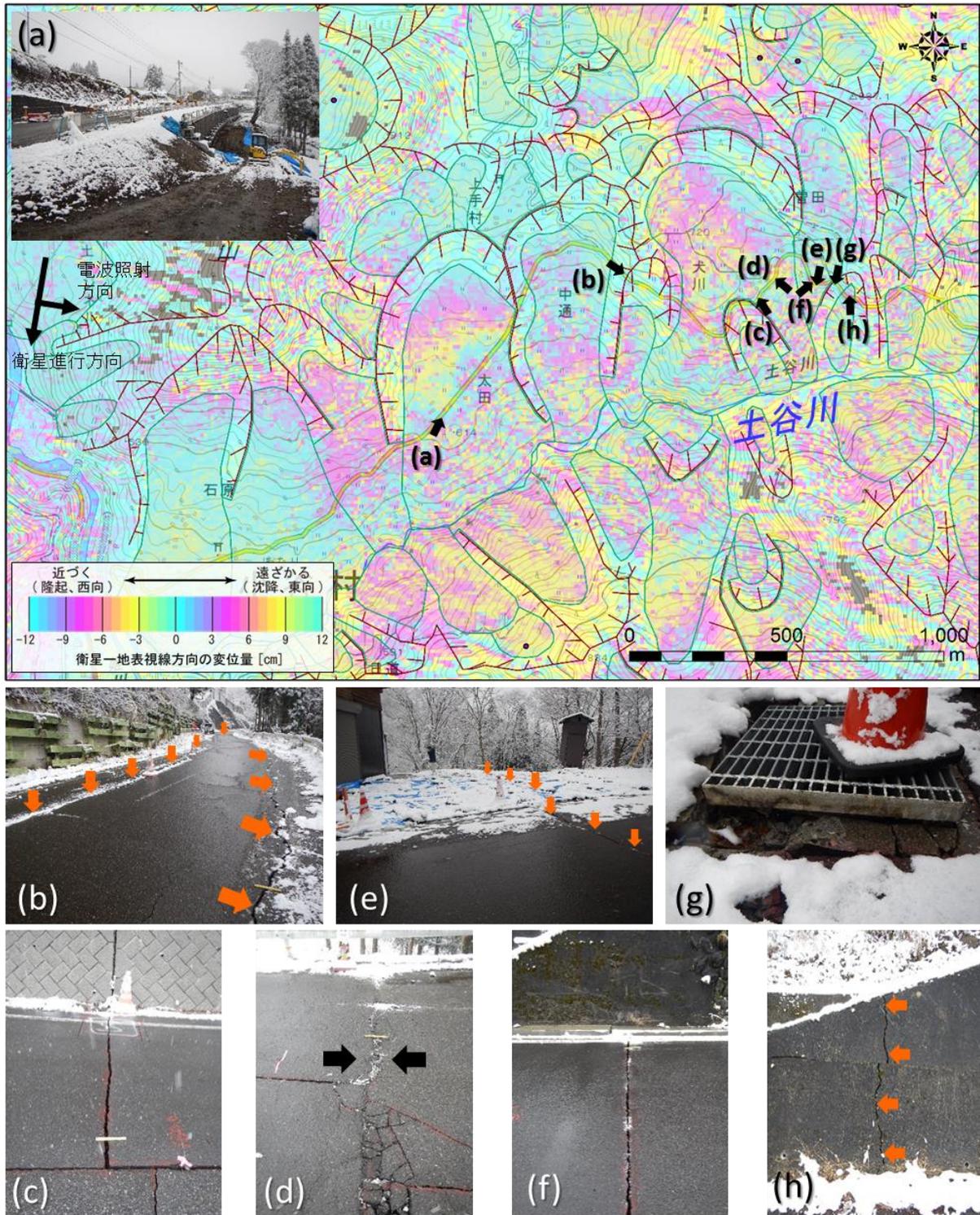


図-11 小谷村北部，土谷川右岸の県道 330 号線周辺の SAR 干渉画像 (iv) のペア) と地すべり地形分布図 (防災科学技術研究所，2000) の重ね合わせと現地調査結果。SAR 干渉画像中の黒矢印は，写真 (a) ~ (h) の撮影位置と撮影方向。(a) 今回の地震前から実施されている地すべり対策工事現場。(b) 道路の重力性変形 (赤矢印が開口亀裂及び段差の位置)。地すべり地形の境界部に相当し，繰り返し補修されている痕跡があった。(c) 道路及び擁壁の開口亀裂。地すべり地形の境界部に相当。(d) 道路の短縮変形 (黒矢印は短縮方向)。この付近の家屋のほとんどには「要注意」の張り紙がされていた。(e) 道路及びその脇の敷地の開口亀裂 (赤矢印の位置)。写真奥の敷地は道路面より約 12cm 沈下していた。(f) 道路の開口亀裂。(g) 道路脇の集水樹の圧縮性変形による鉄蓋の浮き上がり。(h) 擁壁の開口亀裂。擁壁下の道路にも多数の亀裂を確認。

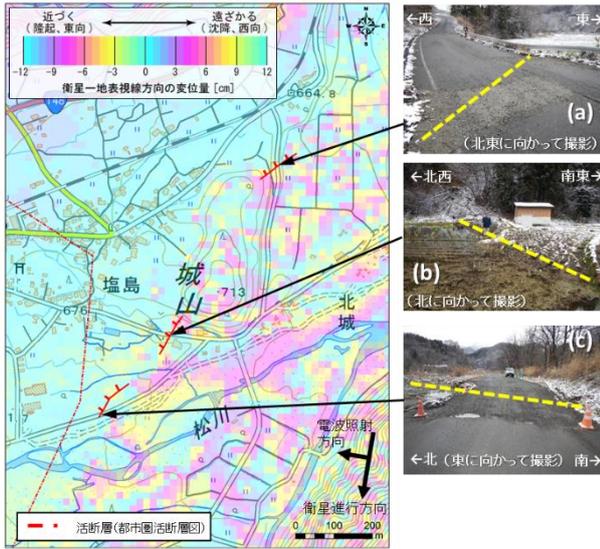


図-12 白馬村北城地区塩島付近の SAR 干渉画像 ((iii)のペア) と現地調査結果. (a) 道路に南東側隆起の上下変位 (走向 N55°E). (b) 城山の南側の耕作地 (写真) から道路及びその南側の空地にかけて、南東側隆起の上下変位 (走向 N30°E). (c) 道路及びその北側の空地に南東側隆起の上下変位 (走向 N32°E, 左横ずれ成分約 40cm). 空地内で屈曲し、走向が東西方向に近づく.

### 5.3 現地調査のまとめ

SAR 干渉画像における色の急変部を中心に現地調査を実施した結果、白馬村周辺では地表地震断層の出現箇所と色の急変部がほぼ一致することが確認できたとともに、小谷村泥崎地区や JR 千国駅付近では、重力性変形では説明が難しい東上がりの上下変位を新たに確認することができた。この上下変位は、この付近にある姫川断層の活動によるものである可能性がある。また、地すべり性変動を示す干渉縞が現れた小谷村北部の土谷川右岸での調査では、アスファルト道路や擁壁等に多数の開口亀裂や一部の短縮変形を確認したが、干渉縞との関係は明瞭ではなく、今後、既存の地すべり地形との関係も含めたさらなる分析が必要である。

## 6. まとめ

長野県北部の地震に伴う地殻変動を捉えるため、地震 WG として最初のだいち 2 号の緊急観測を要請し、緊急解析を実施した。SAR 干渉画像によって、地震に伴う地殻変動や地表地震断層等の地表変形の詳細を把握することができた。だいちよりも性能が向上したことで、非常に迅速に対応することができた。今後の地震災害に対しても、今回と同程度もしくははより効果的な対応が期待できる。

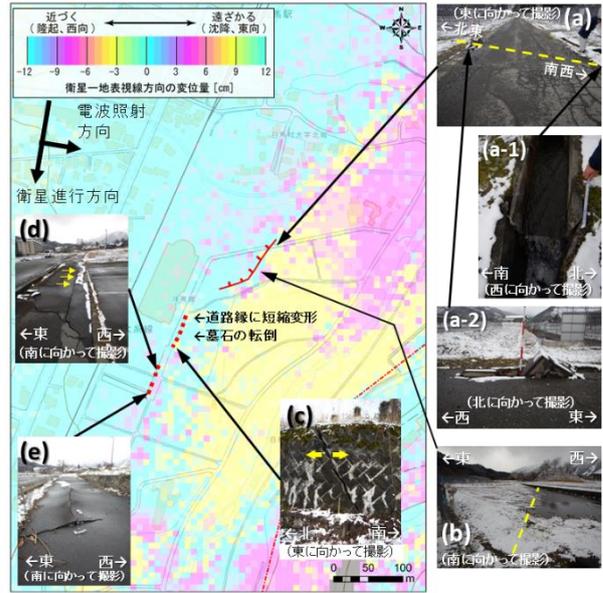


図-13 白馬村北城地区の白馬村社会体育館付近の SAR 干渉画像 ((iv)のペア) と現地調査結果.

(a) アスファルト道路の短縮変形 (走向 N35°E, 南東側隆起). 道路両脇の側溝 (a-1, a-2) の短縮量は約 15cm. (b) 水田内の南東側隆起の上下変位. (a) の地点から南に向かって撮影. 途中で屈曲して走向が N85°E に変化.

(c) 擁壁の開口亀裂 (開口幅 5cm. 南側が南西方向に 5cm はらみ出し). (d) アスファルト面の短縮変形 (東側が西側に約 20cm 乗り上げ). (e) アスファルト面の短縮変形に伴う隆起亀裂.

## 謝辞

ここで使用しただいち 2 号の原初データの所有権は、JAXA にあります。これらのデータは、だいち 2 号に関する国土地理院と JAXA の間の協定に基づき提供されました。地震後の観測データは、地震 SAR 解析 WG の活動によって得られました。数値気象モデルは、「電子基準点等観測データ及び数値予報格子点データの交換に関する細部取り決め協議書」に基づき、気象庁から提供されました。現地調査においては、小谷村役場及び (独) 産業技術総合研究所から情報を提供頂きました。この場を借りて、御礼申し上げます。

(公開日：平成 27 年 3 月 4 日)

## 参考文献

- 雨貝知美, 鈴木啓, 和田弘人, 藤原みどり, 飛田幹男, 矢来博司 (2008) : 衛星合成開口レーダーを用いた平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震に伴う地殻変動の検出, 国土地理院時報, 117, 15-20.
- 雨貝知美, 和田弘人, 藤原みどり, 鈴木啓, 飛田幹男, 矢来博司 (2007) : 衛星合成開口レーダーを用いた平成 19 年 (2007 年) 能登半島地震に伴う地殻・地盤変動の検出, 国土地理院時報, 113, 3-11.
- 防災科学技術研究所 (2000) : 地すべり地形分布図「白馬岳」, 防災科学技術研究所研究資料第 200 号.
- 廣内大助, 杉戸信彦, 清水龍来 (2014) : 2014 年 11 月 22 日長野県神城断層地震における地表変位について (速報), [http://www.ajg.or.jp/disaster/files/201411\\_nagano02.pdf](http://www.ajg.or.jp/disaster/files/201411_nagano02.pdf) (accessed 5 Jan 2015).
- JAXA/ALOS-2 プロジェクト (2014) : ALOS-2 基本観測シナリオ (第 1 版) -A 改訂-, [http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/obs/scenario/ALOS-2\\_Basic\\_Observation\\_Scenario\\_First-Ed\\_J\\_v00\\_A.pdf](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/obs/scenario/ALOS-2_Basic_Observation_Scenario_First-Ed_J_v00_A.pdf) (accessed 5 Jan. 2015)
- 勝部亜矢, 近藤久雄, 加瀬祐子, 谷口薫 (2014) : 第三報地表地震断層緊急調査報告 (2), <https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/naganokenhokubu2014/naganokenhokubu20141209.html> (accessed 5 Jan 2015).
- 気象庁 (2014) : 発震機構 (精査後) CMT 解 2014 年 11 月 22 日 22 時 08 分 長野県北部 M6.7, <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/mech/cmt/fig/cmt20141122220817.html> (accessed 5 Jan. 2015).
- 気象庁 (2015) : 地震予知連絡会会報, 93, (印刷中).
- 小林知勝, 石本正芳, 飛田幹男, 矢来博司 (2014) : SAR 干渉解析のための数値気象モデルを用いた大気遅延誤差の低減処理ツールの開発, 国土地理院時報, 125, 31-38.
- 国土地理院 (2014) : 長野県北部を震源とする地震に関する情報, <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h26-nagano-earthquake-index.html> (accessed 2 Feb 2015).
- 中野俊, 竹内誠, 吉川敏之, 長森英明, 刈谷愛彦, 奥村晃史, 田口雄作 (2002) : 5 万分 1 地質図幅「白馬岳」, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 岡田真介, 石村大輔, 丹羽雄一, 遠田晋次 (2014) : 長野県北部の地震にともなう地表地震断層, [http://irides.tohoku.ac.jp/media/files/topics/20141209\\_report\\_nagano.pdf](http://irides.tohoku.ac.jp/media/files/topics/20141209_report_nagano.pdf) (accessed 5 Jan 2015).
- 澤祥, 東郷正美, 今泉俊文, 池田安隆, 松多信尚 (1999) : 都市圏活断層図「白馬岳」, 国土地理院技術資料 D.1-No.368.
- 鈴木啓, 雨貝知美, 藤原みどり, 和田弘人, 飛田幹男, 矢来博司 (2008) : 衛星合成開口レーダーを用いた平成 19 年 (2007 年) 新潟県中越沖地震に伴う地殻変動の検出, 国土地理院時報, 114, 47-53.
- 飛田幹男 (2009) : 地殻変動計測のための SAR 画像分析の高度化に関する研究 (第 3 年次), 平成 21 年度国土地理院調査研究年報, <http://www.gsi.go.jp/common/000057644.pdf> (accessed 22 Jan 2015) .
- 飛田幹男, 宗包浩志, 松坂茂, 加藤敏, 矢来博司, 村上亮, 藤原智, 中川弘之, 小澤拓 (2005) : 干渉合成開口レーダの解析技術に関する研究, 国土地理院時報, 106, 37-49.
- 東郷正美, 池田安隆, 今泉俊文, 澤祥, 松多信尚 (1999) : 都市圏活断層図「大町」, 国土地理院技術資料 D.1-No.368.
- 山中雅之, 野口優子, 鈴木啓, 宮原伐折羅, 石原操, 小林知勝, 飛田幹男 (2011) : 衛星合成開口レーダーを用いた平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動の検出, 国土地理院時報, 117, 15-20.

## 位置情報サービスの展開に寄与する場所情報コードの活用推進

## Advancement of Utilizing Location information code for Location-Based Services

## 測地部

土井弘充・大滝修・小門研亮・豊福隆史

## Geodetic Department

Hiromitsu DOI, Osamu OOTAKI, Kensuke KOKADO and Takashi TOYOFUKU

## 要 旨

国土地理院では、地理空間情報を高度に活用する社会の実現に向けて、場所情報コードの活用推進を図っている。場所情報コードは、ある場所に固定されたモノを識別し、必要な情報を結び付けられるようにするためのコードであり、様々な位置情報サービスにおいて共通基盤としての利活用が期待される。

測地部では、平成 22 年度から 26 年度まで 2 期に渡って産学官横断的な共同研究を実施し、場所情報コードの仕組みを構築するとともに、公物管理や障がい者支援など様々な位置情報サービス分野への活用を検討してきた。また、位置情報基盤整備のためのガイドラインの整備や場所情報コード閲覧システムとその API を試験公開するなど活用推進に取り組んでいるところである。

## 1. はじめに

近年のスマートフォンやタブレット端末に代表される多種のセンサーを搭載した携帯端末等の普及に伴い、屋外において位置情報サービス（LBS：Location-Based Services）の提供が拡大し、屋内においても可視光、WiFi、BLE（Bluetooth Low Energy）、音波等を活用した測位や、3次元空間情報整備の研究開発が進められている。現在、これらの技術を融合させ地理空間情報を屋内外で統一的に利用できる新たな位置情報基盤の整備が課題となっている。

平成 22 年 5 月 11 日に高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部で決定された「新たな情報通信技術戦略」において、屋内外の位置情報のコードの体系化・標準化、サービス利用ガイドラインの検討等、空間位置情報コードの基盤整備を関係府省連携の下で地理空間情報の活用を推進することとして、新たな位置情報基盤の確立を、国で行うべき喫緊の施策と位置付け推し進めることとなった。また、地理空間情報活用推進基本法（平成 19 年法律第 63 号）及び地理空間情報活用推進基本計画（平成 24 年 3 月 27 日閣議決定）は、地理空間情報を高度に活用する新たな社会の実現を述べている。さらに、IT 戦略本部「新たな情報通信技術戦略」においては、位置情報のコード付与の仕組みの確立等に取り組むこととされている。

国土地理院は、これらの実現に向け生活空間において固定された地点に対し、緯度・経度・高さ（階層）から構成される場所情報コードを発行し、その利活用を推進することにより、新たな位置情報基盤の利用範囲を拡大することを目指している。

本稿では、場所情報コードの概要とこれまでの経緯を概観し、様々な場面での利活用の例示を示すことで今後の利活用拡大を展望したい。

## 2. 場所情報コードの概要

## 2.1 位置情報点

「位置情報点」とは、固定地物等においてその位置が求められた地点のことであり、必ずしも測量の基準点のような標石や杭である必要はなく、誰もが同一地点と認識できるものであれば、例えば、家の角、建物の出入口、記念碑等でも良い。

位置情報点には、原則として後述の場所情報コードが記録された IC タグや QR コード等の媒体を設置し、記録されている情報を携帯端末等で読み取って利用することを想定している。

位置情報点の位置は、測量の基準点ほどの精度は必要とせず、地図からの読み取りで測定が可能な位置精度とすることで、設置費用を抑えることが可能となる。また、後述する場所情報コードを介して呼び出す位置情報点の情報を、位置情報サービスに限らずそれ以外のビジネスを展開しようとする者にも使用できるようにオープンにすることで、結果的に国民に多大な利益をもたらすことを目指している。

## 2.2 場所情報コード

## 1) 場所情報コードの仕様

「場所情報コード」とは、ある場所に固定されたモノを識別し必要な情報を結び付けられるようにするために、情報通信分野で使われる ucode（<http://www.uid4u.com/info/ucode.html>）に準拠したコードである。ucode は、識別したいモノや場所を唯一無二に特定するための 128bits を基本とする固定長コードであり、ユビキタス・コンピューティングの実現を目指して設立された国際的な NPO である T-Engine フォーラムの会員で運営される「ユビキタス ID センター」で管理している。ucode は、128bits

のうちデータを管理する領域の長さによって Class わけされており、国土地理院は Class C とされている。Class C ではセカンドレベル・ドメインとして上位 64 bits が固定的に割り当てられおり、下位 64 bits のデータ領域部を管理している。

コードは、緯度、経度（世界測地系：0.1 秒単位）及び高さ（階層）による「位置」に関する分類と、当該位置に存在する「モノ」を一意に識別するための連番から構成されている。同じ緯度・経度・高さに複数のコードを採番する場合は、最後の「連番」で区別して「モノ」を識別し、ユニーク（唯一無二）なコードであることを担保している。なお、高さについては、その地点が何階かという建物の階数を、地下 50 階を 0 とする階層に変換してコード化する。屋外の場合は、屋外を表す特殊コードで表現している。

場所情報コードの仕様における緯度・経度の分解能は、基本的に「モノ」を識別できる分解能があれば十分であり、ニーズ側（位置情報点利用者）の視点「日常生活に適した位置情報が欲しい」と、シーズ側（位置情報点設置者）の視点（コストをかけずに位置を測定したい）の観点から、最も普及に適すると思われる単位として 0.1 秒（約 3m）を採用した。

また、場所情報コードの位置情報は、より正しい方が良いことは当然であるが、登録時の測量に軽微な誤差が後から判明した場合や、地殻変動が蓄積した場合など、該当するすべての場所情報コードをその都度修正することは現実的でないことから、概略の位置情報は場所情報コード自体から取得し、確実に正確な位置情報とコードに関連した最新情報はサーバで管理し、ネットワーク経由で得るという利用

方法を徹底することで、位置情報の維持管理の手間を最小限にしている。

一方、高さの表現としては、実生活で一般的に利用されるのは標高ではなく、屋内では階数であるので階層で表現している。

場所情報コード利用のメリットは、モノの識別体系の中に、所在地による整理を加えることで、例えば、自分の身の回りの情報だけ欲しい場合に特定のコードに絞って検索するなど管理の効率化が期待されること、コードだけで位置を表現することができるため通信を行わずに概略の位置を把握でき、屋内外で位置情報をシームレスに扱えることから多様なサービスへの応用が期待できること、などにある。具体的な場所情報コード仕様の概略を図-1 に示す。

2) 論理場所情報コード

論理場所情報コードは、空間内のある領域を識別するために、領域に対して一意に与えるコードである。物理的な標識の有無に関わらず、緯度・経度（0.1 秒単位）と高さ（階層）で区別された各空間（約 3m × 3m × 階高）に割り当てられたコードであり、連番に 0 番を割り振っている。

通常の場合場所情報コードは、採番時に申請が必要であることに対して、論理場所情報コードは、任意の場所（空間）で GNSS 測位等により得られた位置情報を場所情報コードに変換して申請なしに自由に利用できる。メッシュコードの詳細版とも言えるものだが、約 3m の精度で位置を特定できることから、例えば、待ち合わせ場所を相手に連絡するときに、論理場所情報コードを利用すれば、お互い認識しない場所でも基盤地図情報を使って待ち合わせること

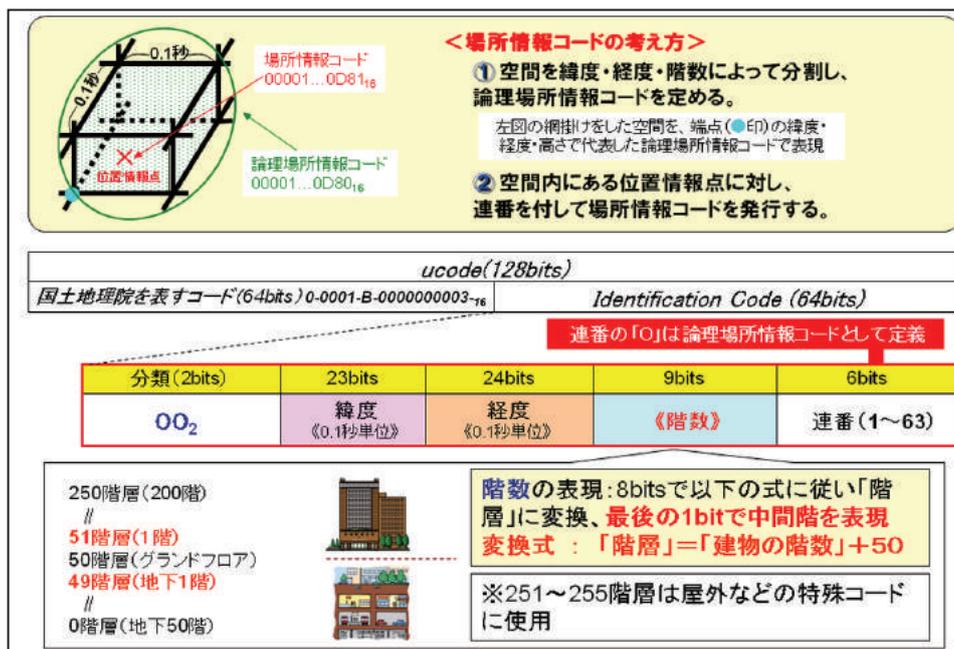


図-1 場所情報コードの仕様

が可能になる。

### 3) 位置情報点整備の考え方と場所情報コードの利用イメージ

位置情報点は、施設の管理者などその地点の位置情報を発信した者が自身の業務の目的で設置することが基本となる。例えば、ビルの管理者は現場での位置情報利用の支援に位置情報点を利用できるほか、店舗への買い物客の誘導、ビル来訪者への道案内の手段などの活用も考えられる。

申請者は、申請を行う際に必要な位置情報や地物情報などの基本情報を準備し、コード発行機関（国土地理院）に申請する。コード発行機関では、申請内容に基づき、コードを発行するとともに基本情報を公開する。これにより他の事業者による基本情報を利用した新サービスの提供が可能になる。

位置情報点整備の考え方と場所情報コードの利用イメージを図-2に示す。

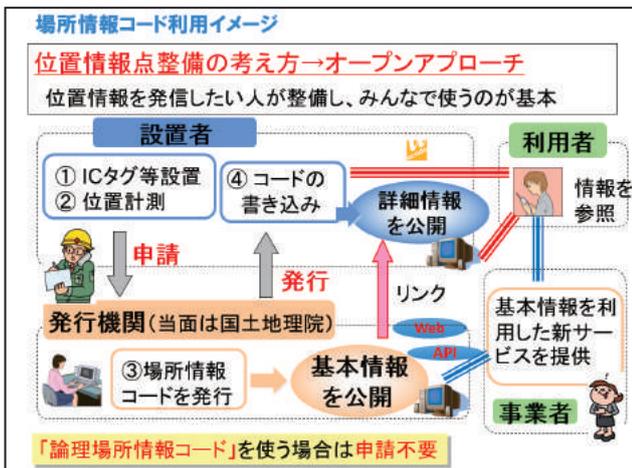


図-2 位置情報点整備の考え方と場所情報コードの利用イメージ

平成27年1月末現在における場所情報コードの発行状況を表-1に示す。

表-1 平成27年1月現在のコード発行状況

| 発行先               | 平成25年度末までの発行数 | 平成26年度の発行数 | 全体      |
|-------------------|---------------|------------|---------|
| 森林管理              | 45            | 5          | 50      |
| 標識・復興情報杭          | 32            | 0          | 32      |
| ことナビ              | 102           | 0          | 102     |
| 医療関係              | 1             | 0          | 1       |
| モビリティサポートモデル事業    | 2,520         | 0          | 2,520   |
| 歩行空間ネットワーク事業      | 157,120       | 0          | 157,120 |
| インテリジェント基準点       | 20,655        | 0          | 20,655  |
| IMES PRNコード管理との連携 | 0             | 940        | 940     |
| 公物管理              | 0             | 1,258      | 1,258   |
| その他               | 9             | 51         | 60      |
| 総点数               | 180,484       | 2,254      | 182,738 |

## 2.3 場所情報コード閲覧システム

### 2.3.1 場所情報コード閲覧システム

「場所情報コード閲覧システム」は、PCだけでなくスマートフォンなどの携帯端末からのアクセスに対応しており、日本全国で発行されている場所情報コードの位置や基本情報を国土地理院が整備・提供している「地理院地図」上で閲覧するためのWebシステムである。このシステムを利用することにより、指定する場所の周辺に発行されている場所情報コードを検索し、場所情報コードに紐づく基本情報と、コード申請者又は他の事業者が独自に提供する詳細情報を閲覧できる。また、スマートフォンなどの携帯端末から閲覧することで、現在位置の周辺に発行されている場所情報コードを検索・閲覧することができる。同システムは、平成26年1月から試験公開している。

<http://ucopendb.gsi.go.jp/ucode/index.html>

### 2.3.2 APIの公開

場所情報コードを発行した地点に関する情報は、平成26年1月31日から「場所情報コード閲覧システム」を試験公開し、ウェブブラウザ経由で提供してきたが、より多くの利用を促進するため、平成26年10月から新たにAPI（Application Programming Interface）の提供を開始した。APIとは、プログラムが自ら持つ機能の一部をインターネット経由でHTTPプロトコルを介し、外部のプログラム（ソフトやウェブサービス）から簡単に利用できるようにするインターフェースである。APIを利用することで、各利用者が独自に構築したウェブサイトやアプリケーション等に、場所情報コードに関する情報の検索・閲覧機能等を追加することが可能となる。また、各利用者が保有するデータや他のAPIと併せることで、新たな位置情報サービス等の展開が促進されると期待される。APIを活用したサービスのイメージを図-3に示す。

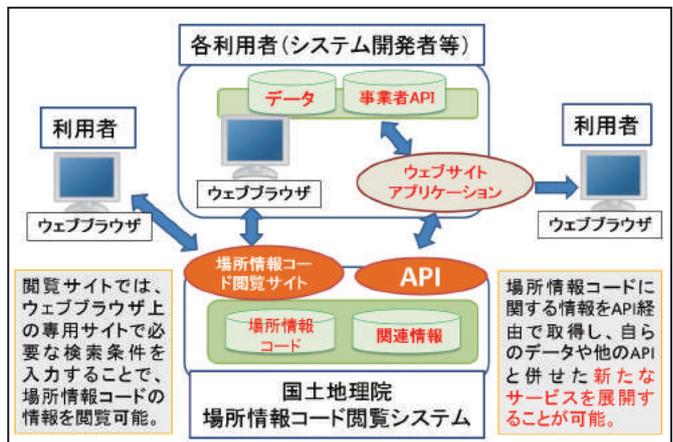


図-3 APIを活用したサービスのイメージ

## 2.4 位置情報基盤整備のためのガイドライン

国土地理院では、IT 戦略本部による「新たな情報通信技術戦略」の「空間位置情報サービスその他の電子情報を活用した新市場の創出」における「空間位置情報コード発行・管理システム」の運用にあたって、場所情報コードに関わる手続きの標準化及び規格化を図るため、位置情報基盤整備のためのガイドライン（以下、「ガイドライン」という。）を策定した。ガイドラインは、場所情報コードの申請・発行・管理の手続きや位置計測方法等を取りまとめたものであり、平成 26 年 1 月より場所情報コード閲覧システムにて公開している。

<http://ucopendb.gsi.go.jp/ucode/document/guideline.pdf>

## 3. 共同研究の実施

### 3.1 第一期（平成 22 年度から 24 年度）場所情報コードの利用技術に関する共同研究

屋内外における位置情報サービスの提供や 3 次元空間情報整備の研究開発が進む中で、場所情報コードにより標準化を進めることで、シームレスな測位の実現をはじめとした一層の地理空間情報の活用と促進が期待されるため、施設管理や位置情報サービスなどの他分野における場所情報コードの利活用の可能性検証と、発行・管理に必要な手続きやルールの検討のため、平成 22 年度から平成 23 年度末まで参学官による共同研究を実施した（一部研究は平成 24 年度も継続）。

共同研究には、17 団体（大学 3、公益法人 2、株式会社 11）が参加し、以下の 3 つの課題に対してグループを形成して検討・実証実験等を行い利用上の課題を抽出した。

- (1) 場所情報コード記録媒体の仕様に関する検討
- (2) 場所情報コードの利活用に関する技術開発及び実証実験
- (3) 場所情報コードに関連付けされた位置情報等の管理に関する研究

実証実験では、自治医科大学をフィールドとする医療分野への応用に関する検証、東日本大震災の被災地における画像アーカイブへの適用に関する検証、山間部における森林管理及び登山道案内への適用に関する検証を行い、有効性を確認した。

共同研究の結果を受け、国土地理院では、場所情報コード発行・管理システム及び閲覧システムを構築するとともに、申請手続き及び留意事項についてガイドラインとして取りまとめた。

### 3.2 第二期（平成 25、26 年度）場所情報コードの位置情報サービスへの応用に関する共同研究

図-4 は、福祉、防災、観光、公物管理、店舗情報など様々な位置情報サービスでの場所情報コードの利活用イメージである。

第一期の共同研究の結果を受け、屋内外を問わず位置情報を利用できるように場所情報コードを実際の位置情報サービスに応用し、その利便性を検証するため、平成 25 年度から 26 年度末まで産学官による共同研究を実施している。共同研究には 12 団体（学校法人 1、株式会社 11）が参加し、以下の課題について様々な角度から実際の位置情報サービスに適用し、その利便性について検証している。

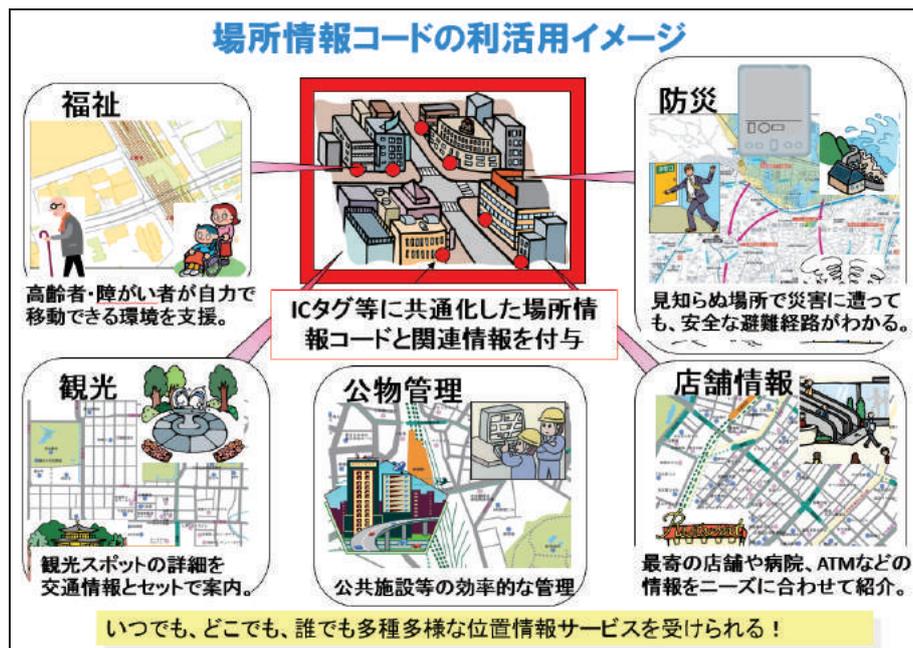


図-4 場所情報コードの位置情報サービスでの利活用のイメージ

- (1) 場所情報コードを用いた屋内外ナビゲーションに関する研究
- (2) 場所情報コードの公物管理への応用に関する研究
- (3) 場所情報コードの運用に関する検討及び効果検証

#### 4. 活用推進の取り組み

前述のとおり、第一期の共同研究で場所情報コードの仕様と利活用の方向性を取りまとめ、第二期では具体的にどのような場面の位置情報サービスで利用できるかという検討を行った。また、その場合の効果と検証にも取り組んだ。これらの報告を中心に実際の利活用事例、想定される活用場面の一例を紹介する。

#### 4.1 実際の活用事例

##### 4.1.1 移動支援等

##### 1) 歩行空間ネットワーク

歩行空間ネットワークデータは、国土交通省が進める施策で、段差や幅員、スロープなどのバリア情報を含んだ歩行経路の空間配置及び歩行経路の状況を表すデータで、歩行経路を示す「リンク」及びリンクの結節点を表す「ノード」で構成されている。これらのノードを中心に場所情報コードを発行している。図-5 にそのイメージを示す。

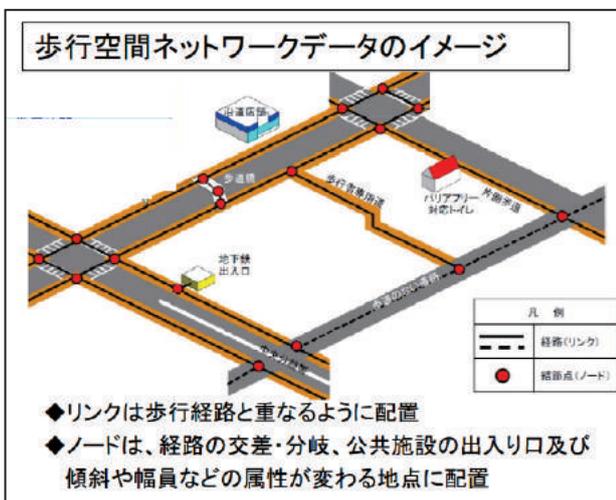


図-5 歩行空間ネットワークのイメージ

##### 2) 障がい者支援の道案内

LSI ジャパン株式会社が取り組んでいる研究は、最寄り駅から目的の施設の間、場所情報コードを発信する IC タグ付き点字ブロックを道路に埋設し、「ことばの地図」サーバとの連携を図り、位置情報を認識させることによる視覚障がい者等の正確かつ安全な誘導を行うものである。埋設ポイントに来る

と、お知らせ音で通知し、その後、音声ガイダンスによる道案内を聞く事が出来るシステムである。図-6 にそのイメージを示す。

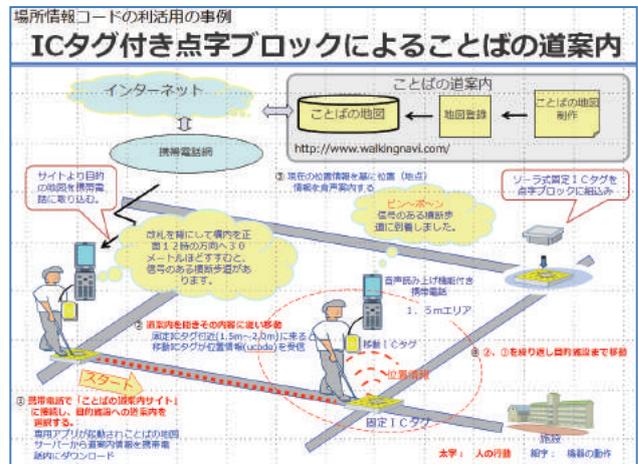


図-6 ことばの道案内のイメージ

##### 3) 通信環境が悪い場所での活用

国土地図株式会社が取り組んでいる研究は、通信環境の悪い森林空間において、場所情報コードを組み込んだ IC タグや QR コードを設置し、森林管理やナビゲーションでの利用を検討している。地図や森林情報等を格納したタブレットやスマートフォンで場所情報コードを読み取ることで、位置の特定や森林管理に関する情報等を取得することができる。

##### 4.1.2 公物管理

##### 1) 基準点、地物の案内板による情報提供

株式会社カクマル、株式会社日立産機システム、株式会社リプロと共同で取り組んでいる研究は、国土地理院が管理している基準点での場所情報コードの利活用を検討している。

国土地理院構内にある基準点(三角点、水準点、電子基準点)に、場所情報コードを格納した NFC (near field communication) タグなどを用いた案内板(標示板、表示杭)を設置し、場所情報コード閲覧システムと連携させることで、スマートフォンなどで基準点の基本情報等を閲覧することができる。

今回は、基準点を例に取り組んだが、様々な公物の管理と住民への説明にこのような案内板を利用した応用が可能である。

なお、NFC とは非接触型の IC タグの一つで、近距離無線通信技術といわれるものであり、通信距離は 10cm 程度に限定され、タグに「かざす」だけで簡単にデータ通信が可能になるものである。アンドロイド端末の多くが NFC に対応している。

## 2) 登山道の案内標の管理

測地部では東京都環境局多摩環境事務所と協力して、多摩地域の登山道にある約 1,200 点の案内標及び説明板に場所情報コードを発行した。また、このうちの高尾山周辺の 38 箇所の案内標に場所情報コードを格納した QR コードを貼付した。

この取り組みのそれぞれの立場でのメリットは、次のとおりである。

- (1) 国土地理院にとっては、場所情報コードの利活用及び地形図の普及に資する。
- (2) 登山者・観光者にとっては、GPS などの衛星測位を行うことなく地形図上で現在地がわかる。
- (3) 施設管理者にとっては、各施設の場所情報コード

を登録するだけで、システムを構築することなく無料で最新の地理院地図上において施設管理ができる。

特に、施設管理者にとっては、従来台帳のみで管理していた公物の情報を、システム構築に経費を掛けることなく無料で管理でき、また、各点の詳細情報にもリンクできることは、他の公物管理にも利用できるものであり、他の施設への広がり期待される。

図-7 は、登山者がスマートフォンで現在地を確認するイメージである。図-8 は施設管理者が事務所のパソコン上で案内標を管理する画面である。



図-7 登山者がスマートフォンの衛星測位機能を使わなくても自分の位置が地形図上で確認できる

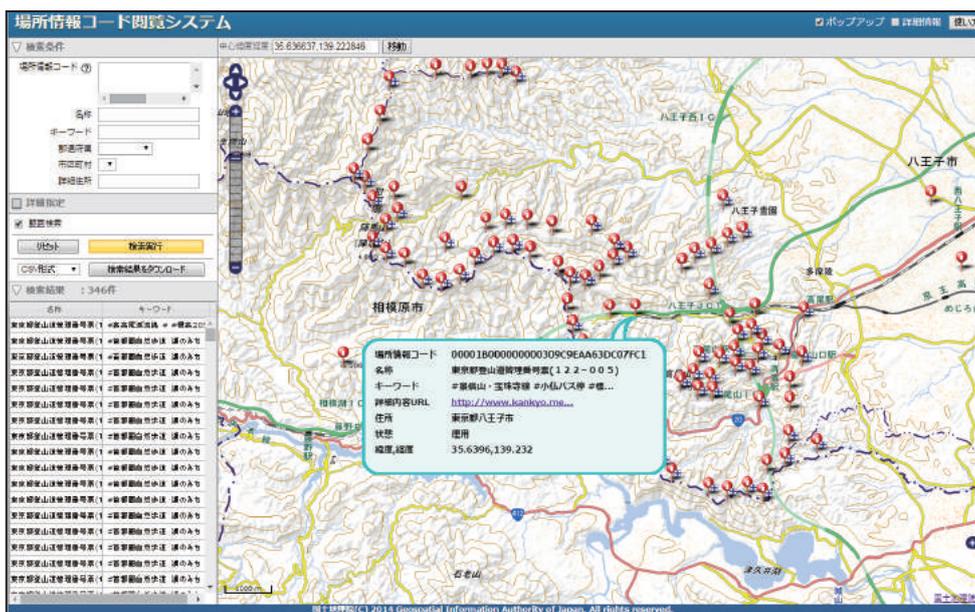


図-8 場所情報コード閲覧システムの利用で様々な公物の管理が地理院地図上で簡便に行える

### 3)マンホールへの応用例

株式会社トミス、株式会社IRO、株式会社日立システムズが取り組んでいる研究は、マンホールの蓋に場所情報コードを書き込んだICタグ(UHF帯)を埋め込むもので、専用端末で読み込むと地図表示管理ソフトと連動して情報管理できるものである。実際にいくつかの地方公共団体でマンホールが設置され、情報システムの導入が検討されている。この導入のメリットとして平時における水道設備の保守や管理の効率化に利用されるほか、災害時には、現地の地理に不案内な救援・支援隊が敏速な情報収集と復旧支援に活用できることにもある。図-9に利用例を示す。



図-9 場所情報コードを書き込んだICタグ付きのマンホールでの利用例

## 4.2 今後想定される活用場面

### 1) 双方向での情報発信・共有

株式会社パスコが取り組んでいる研究は、一つの場所情報コードを用いて多目的な利用環境を実現するものである。例えば、道路にある街灯やバス停などにICタグを貼り付け、施設管理の高度化・効率化に資するとともに、一般利用者への情報提供を行いつつ、一般利用者からの情報収集の双方向化にも利用を拡大させるものである。図-10にそのイメージを示す。



図-10 場所情報コードを利用した多目的な利用例のイメージ。情報を双方向で利用

### 2) 災害時の避難誘導

ユーシーテクノロジー株式会社が取り組んでいる研究は、場所情報コードを格納したNFCタグをスマートフォンで読取ると、近くの避難場所を提示し誘導するものである。将来的には、地下街等のGNSS電波の届かない場所での利用も期待される。また、災害時のインターネットに接続できない場合にも場所情報コードと避難場所情報から案内を行うことも検討されている。

### 3)地域医療データバンクでの利活用

自治医科大学と測位衛星技術株式会社が取り組んでいる研究は、患者の屋内外での行動(位置)、時刻、医療情報等を把握し、高次元のヘルスケアサービスを提供するものである。行動(位置)は、屋外ではGPS、準天頂衛星などの衛星測位、屋内ではIMES(Indoor Messaging System)によりそれぞれ把握し、この行動(位置)を地図上で特定する際に場所情報コードを利用するものである。

なお、IMESとは宇宙航空研究機構(JAXA)が管理するGPSと同じ電波を使った屋内測位の技術である。

### 4)IMES送信機と場所情報コードの連携

株式会社日立産機システムが進めている研究は、屋内測位を効率的に行うため、場所情報コードに対応したIMES送信機の開発や、屋内の送信機の座標決定手法の検討、屋外での衛星測位結果の屋内での活用検討などを行っている。

### 5)国土地理院「地図と測量の科学館」での展示品案内及び屋内外シームレス測位

位置情報サービスにおいては、屋内測位技術を用いて各種の実証実験が行われている。さらに、指定したエリアに入るとスマートフォンに入ったことを通知し、ポイントを付与するジオフェンス等を利用したサービスも行われつつある。

国土地理院では、場所情報コードを利用してその経緯度と高さ(階層)に紐づく情報を案内する「地図と測量の科学館アプリ」を平成27年3月末にリリースする予定である。

このアプリは、主に2つの機能から構成されている。1つ目の機能は、ジオフェンスという考えを取り入れたもので、地図と測量の科学館の指定した場所の約3mの範囲に近づいたら壁面に設置したBLE発信器から発信される場所情報コードをスマートフォン等で受信し、場所情報コードに紐付いた情報を案内するものである。

2つ目の機能は、屋内外シームレス測位を行うもので、館外ではGPSによる衛星測位から得られる緯

度・経度とそれに紐づく場所情報コードから案内を行い、館内では壁面に複数設置した場所情報コードを発行した BLE 発信器からの電波強度を利用した測位を行って、屋外とシームレスに案内を行うものである。図-11 に地図と測量の科学館でのシームレス測位のイメージを示す。

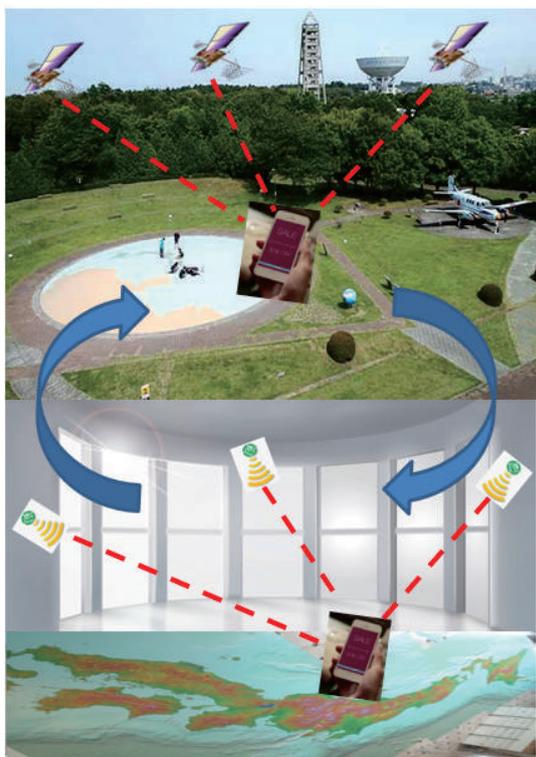


図-11 地図と測量の科学館での衛星測位と屋内測位によるシームレス測位と情報提供イメージ

(公開日：平成 27 年 3 月 4 日)

## 5. まとめ

本稿では、場所情報コードの概要と共同研究での取り組みを紹介し、様々な場面での活用事例と今後想定される活用場面等を考察した。場所情報コードはある場所に固定されたモノに位置情報を用いて識別し、必要な情報を結び付けられるコードであり、今後の屋内外でのシームレスな位置情報サービスの場面で、共通のコードとして広く利活用されることが期待される。国土地理院は、今後ともコードの実運用に向け、屋内ナビゲーションや公物管理をはじめとした様々な分野への展開に関して検証を進めたいと考えている。

## 謝辞

共同研究に参加した各団体の取り組みにより、場所情報コードの位置情報サービスへの応用に関して様々な知見を得た。また、高尾山での場所情報コードを利用した取り組みを進めるにあたっては東京都環境局多摩環境事務所の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 国土地理院(2014)：位置情報基盤整備のためのガイドラインVersion1.0.1  
<http://ucopendb.gsi.go.jp/ucode/document/guideline.pdf> (accessed 05.Dec. 2014)
- 一般財団法人日本情報経済社会推進協会(2012)：平成23年度電子経済産業省推進費（空間位置情報コードの利活用等のためのサービスモデルに関する調査事業）事業報告書  
[http://www.meti.go.jp/meti\\_lib/report/2012fy/E002699.pdf](http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2012fy/E002699.pdf) (accessed 05.Jan. 2015)
- 一般財団法人日本情報経済社会推進協会(2013)：空間位置情報サービス活用ガイドライン（初版）  
[http://datameti.go.jp/data/ja/storage/f/2013-07-04T104343/H24-Gkuukan-reference-data\\_01guideline.pdf](http://datameti.go.jp/data/ja/storage/f/2013-07-04T104343/H24-Gkuukan-reference-data_01guideline.pdf) (accessed 05.Jan. 2015)
- 国土交通省(2010)：歩行空間データネットワーク整備仕様案（平成22年9月版）の概要  
<http://www.mlit.go.jp/common/000144985.pdf> (accessed 05.Dec. 2014)
- 国土地理院(2014)：G空間EXPO「場所情報コードの位置情報サービスへの応用に関する共同研究報告会」資料

防災地理情報の普及促進に向けた取り組み  
－防災アプリケーションの公募について－  
**An activity for the promotion of geospatial information for disaster prevention**  
**- Public offering of portable application for personal use -**

応用地理部 中澤尚・木村幸一・登坂昇  
**Geographic Department**  
**Takashi NAKAZAWA, Koichi KIMURA, Noboru TOSAKA**

## 要 旨

応用地理部では、災害時に多くの人々が利用する公共施設や緊急避難場所、避難所（以下「避難所等」という。）の情報、ハザードマップ情報などの防災に関する地理空間情報を広く活用できる防災地図共用データベース（仮称）（以下「共用データベース」という。）の構築を目指して、これに取り込むべき防災地理空間情報の検討、及びこれらの情報を用いて災害時等に住民や観光客等の安全な避難等を図るための防災アプリケーション（以下「防災アプリ」という。）の公募を平成26年4月に実施した。応募のあった防災アプリについては、7月、10月に2回の審査委員会を開催し、それぞれ機能の優れた防災アプリを選定し公表した。

また、選定した防災アプリの紹介を防災関連のイベント等を行うとともに、11月には和歌山県海南市の防災訓練に合わせて、選定防災アプリを使った避難誘導実証実験を実施した。

これらの取り組みを通し、得られた知見を基に共用データベース構築のための検討を行った。

## 1. はじめに

平成23年の東日本大震災以降、スマートフォン等を介した防災アプリの進展には目覚ましいものがある。これらの防災アプリは、地方公共団体が住民向けに提供しているものと民間事業者が不特定多数のユーザーに向けて提供しているものがある。

しかしながら、前者では、地方公共団体ごとにデータベースが異なることや地方公共団体間での互換性がないことなど、また、後者では、コンテンツの信頼性が必ずしも担保されていないことなど、少なからず問題を抱えている。

応用地理部は、国土交通省水管理・国土保全局等と協力し、今後発生が懸念される南海トラフ地震や首都直下地震など、大規模な地震災害等での活用を想定して、信頼性の高い共用データベースを構築するとともに汎用性のある防災アプリの開発を促進することを目的として、災害時の避難誘導等に資する防災アプリの公募を行った。また、この取り組みを

通じて広く国民へ提供していくべき防災地理空間情報を検討し、同時に防災アプリ自体の機能検証を行うため、応募された防災アプリの一部を使用して避難誘導実証実験を実施した。

本稿では、それらの取り組みについて報告する。

## 2. 防災アプリの公募

公募を行うに当たり、事前に応募の要件等について記載した募集要項を作成した。また、テストフィールドは海南市とすることとし、4月10日に報道発表を行い、公募を開始した。

応募できる防災アプリの要件としては、パソコン、タブレット、スマートフォン又は携帯電話のいずれかで動作するものとし、国土地理院が提供する地図情報や、海南市からのハザードマップデータをベースとして、応募者自らが創意工夫し、各種コンテンツを活用したアプリであることとした。

なお、公募の期間は、4月10日～30日までとしたが、その間に34の開発者から37件の防災アプリの応募があった。

## 3. 防災アプリケーション審査委員会の開催

応募のあった防災アプリの中から、有用な機能を持つ防災アプリを選定し、選定した防災アプリを広く紹介することで、開発者（応募者）の開発意欲の向上が図られ、防災情報等を活用した有用な防災アプリの開発が促進されることが期待される。また、こういった優れた防災アプリを活用することによって国民の災害時の避難等がより円滑・適切にできるようになる。このため、応募・提出された防災アプリを対象として、有用な機能を持つ防災アプリを選定する審査を行うこととした。

審査は、公平かつ正確を期すために、防災やICT分野の学識経験者(3名)、防災関係の政府機関職員(3名)及び地方公共団体の防災担当職員(2名)の計8名からなる審査委員会を設置して、2回にわたり実施した。

3.1 第1回防災アプリケーション審査委員会

1回目の審査は、公募期間に応募のあった37の防災アプリの中から6月末時点で動作可能なものとして提出のあった14の防災アプリを対象として行った。

3.1.1 審査委員会へ向けた準備

提出のあった14の防災アプリについて、審査委員会での審査を効率的に行うため、事務局において、あらかじめ以下の作業を行った。

- 1) 応募要件をすべて満たしているか否かを確認するための要件審査を行った。審査の結果、応募要件を満たしていたのは10の防災アプリで、これらを審査委員会における審査の対象とすることとした。
- 2) 審査基準(表-1)をもとに具体的にどのような点を評価すべきか検討を行って、評価項目と評価の観点を記載した表を作成した。また、この表をもとに事務局による仮の評価も実施した。



図-1 選定された3つの防災アプリ



写真-1 第1回審査委員会

表-1 審査基準

|     |                   |
|-----|-------------------|
| 有用性 | 避難誘導機能            |
|     | 避難誘導以外の防災機能       |
|     | 平常時の利用            |
|     | 状況に応じた工夫・二次的な被災回避 |
| 操作性 | メッセージ機能           |
|     | 初動時の使いやすさ         |
|     | 表示内容の分かりやすさ       |
|     | 画面の分かりやすさ         |
| 拡張性 | 修正のしやすさ           |
|     | サービス(機能)の拡張性      |
| 独創性 | コンセプトの独創性         |
|     | サービス(機能)の独創性      |
|     | デザインの独創性          |
| 完成度 | サービス(機能)の完成度      |

3.1.2 審査委員会における審査

第1回審査委員会は平成26年7月28日(月)、国土地理院関東地方測量部会議室において開催された。委員会では、審査対象とした10の防災アプリについての事務局によるデモンストレーション(以下「デモ」という。)をもとに、事務局による仮の評価結果も参考にしながら、総合的な審査を行って、特に有用な機能を持つ3つの防災アプリを第1回防災アプリ賞として選定した(図-1, 写真-1)。

3.1.3 審査委員会からの主なコメント

第1回審査委員会における審査委員からの主なコメントを以下に記載する。

- 1) 開発者は、防災の専門家ではないので、実際に災害時で使えるものにしていくためには、容易に開発ができるように十分な情報の整備が必要である。
- 2) 危険箇所などの事前情報がわかる機能や見えない障害物を意識させるための、2次元/3次元の切り替え表示なども、今後の防災アプリ開発に加えて欲しい機能である。
- 3) 今回は、様々な機能を持ちそれらの機能がそれぞれ優れている防災アプリが結果として選定されることとなったが、次回は、特定の機能のみであっても独創的なアイデアを持っている防災アプリ等も十分に評価できるようにしてはどうか。
- 4) 「避難誘導」に限定せず、他分野のカテゴリーも創設し、より開発業者が応募しやすい環境を整備し、本取り組みを活性化することも考えてみてはどうか。
- 5) 標準的な仕様で、日本全国一律のデータ整備を行うための検討が必要である。
- 6) 実証実験に用いる防災アプリは、国土地理院が提供する地理空間情報を有効に活用した防災アプリを採用するほうがよいのではないかと。

7) 第2回の審査委員会では、防災アプリの特徴に応じて賞を設定し、表彰を行ってはどうか。

3.1.4 報道発表の実施

第1回審査委員会における審査結果については、8月5日に報道発表を行うとともに、国土地理院ホームページでも紹介した。また、選定された防災アプリについて各種イベント等で紹介を行った。詳細については「6. 防災アプリ紹介の取り組み」に記す。

3.2 第2回防災アプリケーション審査委員会

第2回審査においては、第1回審査委員会の指摘を踏まえるとともに、審査をより円滑に行うため、防災アプリの特性に応じてテーマ分けをすることとした。

4月の防災アプリ募集の時点において、応募しようとしている防災アプリにどのような機能を持たせようとしているか応募者からお知らせいただいていたことから、これを分類整理し、「避難誘導支援」、「災害時情報共有」、「※) リスクコミュニケーション」の3つの部門(テーマ)(表-2)を設定した。応募者は、2回目の審査に向けて防災アプリを提出する際に、3つのうちのどの部門で応募するか(複数部門も可)選択いただくこととした。

9月上旬を期限として第2回審査に向け提出のあった防災アプリ数は20となった。

表-2 防災アプリの部門

| 部門(テーマ)      | 概要   | 想定される利用場面             | 想定される利用者                       | 評価の観点  |
|--------------|--|-----------------------|--------------------------------|--|
| 避難誘導支援       | 災害時(発災直後)に、アプリ利用者を、避難所等の安全な場所に誘導することを目的としたアプリ。                   | 発災直後                  | 避難する者                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>避難誘導支援に必要な機能があるか</li> <li>災害時(発災直後)でも容易に利用できるか</li> </ul>                 |
| 災害時情報共有      | 災害時に、被災地における状況を把握し、複数の者で情報共有を行なうことで、避難する者や関係者の支援等を行うことを目的としたアプリ。 | 発災直後<br>緊急対応時<br>復旧段階 | 避難する者<br>避難等を支援する者(被災地外の者を含む。) | <ul style="list-style-type: none"> <li>必要な情報を容易に共有できるか</li> <li>位置情報を有効活用しているか</li> <li>導入や利用が容易にできるか</li> </ul> |
| リスクコミュニケーション | 防災地図情報(ハザードマップなど)を用いて、当該場所の状況や危険度等のリスク情報を事前に把握することを目的としたアプリ。     | 発災前<br>(一部発災直後)       | 住民一般(発災前の利用)<br>避難する者(発災直後)    | <ul style="list-style-type: none"> <li>多くの防災地図情報を利用しているか</li> <li>位置情報を防災・減災に活用できているか</li> </ul>                 |

※) リスクコミュニケーションとは、災害発生前などに、その土地の危険度(リスク)に関する正確な情報を、行政や住民等の関係者間で共有し、相互に意思疎通を図ること

3.2.1 仮選考の実施

まず、事務局により、提出のあった20件の防災アプリについて、要件審査を実施し、通過した18の防災アプリを対象に仮選考を実施した。

仮選考に当たっては部門別に機能の特徴や有用性等を確認し、6つの防災アプリを選定して事務局の選考案とし委員会に提出した。

なお、事務局による仮選考の過程では、第1回審査委員会の指摘に基づき、防災を専門とする学識経験者にもご協力いただいた。

3.2.2 審査委員会における審査

第2回審査委員会は、平成26年10月6日(月)、都内の会議室において開催した。

委員会では、まず、事務局から仮選考の結果について説明を行い、質疑応答ののち事務局の選考案が承認された。

次に、通過した6つの防災アプリについて、委員に対して開発者によるデモを実施し、防災アプリの特徴や内容の説明を行った。

その後、委員による質疑応答・議論を経て、3つの防災アプリを機能の特に優れた「第2回防災アプリ賞」に、また、他の3防災アプリを機能の優れた「入選」アプリとした(図-2)。

また、選定された防災アプリについて委員長名による賞状を授与した(写真-2)。



図-2 選定された6つの防災アプリ



写真-2 選定された防災アプリ開発者への賞状授与

### 3.2.3 審査委員会からの主なコメント

第2回審査委員会における審査委員からの主なコメントを以下に記載する。

- 1) 経路検索においては、途中で橋など危険箇所を考慮した表示機能が望ましい。
- 2) 津波からの避難は、標高を考慮し、推奨避難経路が表示できるようになると標高データを有効利用しているといえる。
- 3) 任意の狭い空間を作成し、その範囲内のユーザーに避難を促す情報を出せるのは、市町村にとって非常に有効な機能である。
- 4) AR(拡張現実)機能は、普段の町がどのような被害を受けるか、状況を画像や写真で確認できるのは、教育効果が非常に高いと考えられる。
- 5) 緊急時に突然防災アプリを利用するのは不可能であり、日頃から使える機能を有することが大事である。
- 6) 津波避難を考慮する場合、経路検索は高い所を抽出し、その方向に誘導できなければならない。
- 7) 津波避難ビル等に、施設の高さデータも必要である。
- 8) 有効な防災アプリ開発が促進されるよう、本業務から得られた有効な防災情報を優先的に整備・運用することが必要である。
- 9) 日本全国一律の標準的な仕様により、何の災害に対応した避難所等なのか、種別がわかるようなデータを整備する必要がある。
- 10) ミスリーディングを防ぐため、提供する情報のあり方(表示、記載内容)などの基本的な運用に関する検討が必要である。
- 11) 防災アプリの公募を継続することで防災アプリの機能向上を図り、最新かつ有効な防災情報を整備するための情報を吸い上げることができる。

### 3.2.5 報道発表の実施

第2回審査委員会の結果は10月16日に報道発表を行うとともに、国土地理院ホームページでも紹介した。また、審査委員会で選定された防災アプリについては、その後の各種イベント等で紹介を行った。詳細については「6. 防災アプリ紹介の取り組み」に記す。

### 4. 防災アプリの公募、審査で明らかになったこと

今回は、避難誘導機能を持つ防災アプリを主として想定しながらも、特に機能を限定することはせずに公募を実施した。

その結果、民間等において開発が進められている防災アプリは、使用機器(パソコン、タブレット、スマートフォン又は携帯電話等)や利用目的が異なる様々な種類があること、また、それらの機能を大別すると、避難誘導支援、情報共有、防災に関する各種知識提供(リスクコミュニケーション)の3つに大まかに分けられること、さらにこれらの防災機能を複合的に持つ防災アプリや防災以外の機能を持つ防災アプリも少なくないこと等が明らかとなった。

一方、これら様々なタイプの防災アプリを同じ土俵で審査することは必ずしも容易ではなく、審査には時間を要した。このため、審査委員会のコメントも踏まえ、第2回の審査においては、応募部門(テーマ)をあらかじめ設定し、開発者に応募(複数部門への応募可)していただくことにより、審査の効率化を図ることができた。

しかし、国土地理院が提供する防災情報を有効に活用した防災アプリという観点からは、必ずしも十分活用されているとは言えない状況であった。

### 5. 実証実験の実施

共用データベースを構築する上での課題抽出や防災アプリの機能検証等を目的として実証実験を行った。実証実験は、第2回審査委員会において、特に避難誘導機能に優れているとして選定された(「goo防災アプリ」、「避難所案内」、「防災セーフティマップ」、「Life Line 防災システム」)の4つの防災アプリを用いて、11月9日(日)に、和歌山県海南市の防災訓練にあわせて、海南市の住民や市職員、大学関係者等の協力を得て実施した。

なお実証実験に先立ち、現地において、使用する防災アプリの動作確認、現地状況その他実験運営全体についての確認を行った。また、実験に参加する海南市職員と一般モニター(海南市民、大学関係者)を対象に、防災アプリの操作説明、実証実験の趣旨、目的等についての事前説明を行った。

## 5.1 実施内容

### 5.1.1 一般モニターによる津波避難誘導実証実験

海南市の住民や大学関係者等（26名）がモニターとなって、スタート地点から任意の避難所等まで各々防災アプリを使用して避難した（表-3、写真-3）。

表-3 実証実験一般モニター

|                               |      |     |
|-------------------------------|------|-----|
| 一般モニターによる津波避難誘導実証実験（午前、午後の2回） | 来街者  | 9名  |
|                               | 一般市民 | 17名 |



写真-3 モニター実証実験の様子

実証実験は、モニターが2人1組となって1つの防災アプリを用いて、あらかじめ設定したスタート地点から、モニターの意思により選択した近隣の避難所等まで防災アプリに誘導されて避難するという方法で実施した。避難所に到着後、さらにそこをスタート地点として再び別な避難所まで同じように防災アプリを用いて避難をしてもらうこととし、1組のモニターに計2回の避難を実施していただいた。

なお、モニターの安全を確保するためにモニター各組に安全管理員をつける体制で実施した。

### 5.1.2 海南市職員による津波避難誘導実証実験

海南市の津波避難訓練における避難所等の開錠担当の海南市職員（26名）にあらかじめ個人のスマートフォンにインストールしてもらった防災アプリを使用して、自宅等から津波避難場所まで避難する実証実験を行った。

## 5.2 アンケート調査

実証実験の全参加者を対象に、防災情報や避難所等情報についてアンケート調査を実施した。アンケート調査の結果については「7.防災情報に関するアンケート等の結果」に記す。

## 6. 防災アプリ紹介の取り組み

### 6.1 防災関連イベント等での紹介

選定された防災アプリを広く周知することにより、開発者の防災アプリ開発に対しての意欲の促進を図るとともに、今後の防災への活用を促進するため、防災関連のイベント等において、公募の取り組みや選定された防災アプリの紹介を行った。

#### 1) 岐阜県総合防災訓練会場

日時：平成26年8月31日（土）

場所：岐阜県可児市ふれあいパーク緑の丘

第1回審査委員会で選定された、3つの防災アプリのデモ（スマートフォンの体験、動画の上映、パネル展示）を行った（写真-4）。

#### 2) 大規模津波防災総合訓練会場

日時：平成26年11月8日（土）

場所：和歌山県和歌山市（和歌山下津港西浜地区）

第2回審査委員会で選定された、6つの防災アプリのデモ（スマートフォンの体験、動画の上映、パネル展示）を行った（写真-5）。

#### 3) 海南市総合体育館（海南市防災訓練会場）

日時：平成26年11月9日（日）

場所：和歌山県海南市

第2回審査委員会で選定された6つの防災アプリのデモ（スマートフォンの体験、動画の上映、パネル展示）を行った。



写真-4 可児市での展示ブース



写真-5 和歌山市での展示ブース

#### 4) 国土交通省本省展示コーナー

国土交通省の1階展示コーナーにおいて、防災アプリの取り組み概要と受賞防災アプリのパネル展示を実施した。

##### 第1回審査委員会選定アプリの展示

平成26年8月25日(金)～9月5日(金)

##### 第2回審査委員会選定アプリの展示

平成26年10月29日(水)～11月11日(火)

#### 5) 「地図と測量の科学館」

国土地理院「地図と測量の科学館」において、防災アプリの取り組み概要と受賞防災アプリのパネル展示及び動画上映を実施した。

##### 第1回審査委員会選定アプリの展示

平成26年8月26日(火)～9月28日(日)

##### 第2回審査委員会選定アプリの展示

平成26年10月28日(火)～11月30日(日)

### 6.2 G空間 EXPO 2014 での紹介

防災アプリ公募の取り組みへの理解を深め、今後の防災への活用を促進することを目的とし、11月に開催された「G空間 EXPO 2014」において「防災とG空間情報～役立つ防災アプリ展～」を開催し、第1回、第2回審査委員会で選定された7つの防災アプリのプレゼンテーションとパネル展示を行った(写真-6)。

#### 1) 実施場所等

日時：平成26年11月14日(金) 10:30～13:00

場所：日本科学未来館(東京都江東区青海)

#### 2) 実施内容

開発者による防災アプリのプレゼンテーション、スマートフォンによる体験、パネル展示



写真-6 G空間 EXPO でのプレゼンテーション

### 6.3 ホームページでの紹介

防災アプリ公募に関する取り組みについて、国土地理院ホームページで紹介した。

<http://www.gsi.go.jp/kikaku/bousai-app.html>

### 7. アンケート調査

#### 7.1 調査の概要及び結果

アンケート調査は、実証実験に参加いただいた一般モニター26名、海南市職員26名、また、別途防災アプリ開発者17者に対し行った。なお、開発者の一部(7者)にはさらにヒヤリング調査も実施し、より詳しい情報を得た。

実証実験参加者には、主として防災アプリを使用して実際に避難してみても役立つ情報/あまり役立たなかった情報や利用してみたい情報(施設や災害情報等)について尋ねた。開発者に対しては、国土地理院から提供したデータのうち、利用したデータに関する意見やデータ提供に関する要望、防災アプリ開発についての今後の展望等について尋ねた。

#### 7.1.1 実証実験参加者へのアンケート結果

実証実験において防災アプリで利用した情報のうち、とても役に立った情報として特に回答が多かったのは、避難場所・避難所(避難所等)に関する情報で、標高データ、津波浸水予測に関する情報についても同様に多くの回答を得た。避難所等が多いのはそこへ到達することが目的の実験であることから当然の結果ともいえるが、防災アプリの地図上でわかりやすく表示されていたことも役立つ理由として多く挙げられていた。なお、国土地理院が開発者に提供した避難所等情報の位置座標は、施設中心付近を示すものであったため、防災アプリの地図上においても施設の中心付近に避難所等の地図記号が表示されることとなったが、学校など面的に広がりを持つ施設が大半であることから、実際に現地でも遠回りをしなくても済むよう、入り口付近に誘導されるようにしてほしいとする意見もあった。

標高及び津波予測に関する情報は、津波の高さ・影響範囲及びそれに応じた避難場所の選定に多く利用された。今回は海南市の津波訓練に合わせて実施した実験であったため、防災アプリ開発者及び実験参加者には津波災害が強く意識されていた影響も結果に含まれている可能性が高いが、これらの情報は津波災害に対しては重要な情報であり、使用した防災アプリにおいても有効に活用されていたことが伺える。

逆に役に立たなかった情報として、公共施設や震度予測、液状化予測などの情報を指摘する回答が多かった。これらは、防災アプリにおいて十分に活用されていないことを示しているとも考えられるが、津波災害を意識して避難する際には、とにかく早く逃げることを意識しており、避難途上にどのような災害が発生しているか(避難経路上に危険があるか)

等を考えることはしない（余裕がない）ためであるともいえる。実際、実験に参加したモニターからこのようなコメントが寄せられている。

なお、役に立たなかった情報として、津波予測に関する情報もあった。上述のように、この情報は多くのモニターが役立ったとしている情報の一つであるが、逆の意見もあったことが注目される。

その理由として、用いた防災アプリの種類により、津波予測情報が効果的にわかりやすく使用されていた場合とそうではなかった場合とがある可能性が考えられるが、他の理由の可能性も否定できない。

役に立ったかどうかは別として、防災アプリで利用したい施設情報は何か、という問いに対して多く回答があったものは、公衆トイレ、病院、公共施設、コンビニ等に関する情報であった。

これらの施設については、本来の用途もさることながら、避難する際のランドマークとしての意味合いも含まれていた。また公共施設については、役に立たなかった情報にも挙げられていることから、アプリにおいてまだ十分に利用されていない、または必要な属性等が不足している等の可能性も考えられる。

実証実験結果によれば、実際に防災アプリを使用して避難をする際には、ハザードマップに関する情報も必ずしも十分に利用されておらず、その必要性もあまり高く認識されていなかった。

しかしながら、G空間 EXPO 2014「防災とG空間情報～役立つ防災アプリ展～」の会場において別途実施したアンケート調査によると、防災アプリで利用したい情報の上位にハザードマップ情報が含まれていた。

この違いの原因としては、災害が迫るとの想定の中で実際に緊急避難する場合と、避難はせずにその場面を頭の中で想像するだけの場合との差が現れている可能性も考えられるが、実際に避難する場面においても必要な情報として認識はされているものの、現時点ではアプリ上での効果的な利用が不十分なためである可能性もある。いずれにせよ二次災害やより安全な避難を考えれば、危険な場所を経由しての避難を避けるという意味で、ハザードマップの情報は重要であり、有効な活用に向けたさらなる取り組みや工夫が必要と思われる。

一方、今回の提供データには含まれていないが、リアルタイムの災害情報、すなわち、地震や土砂災害等に伴い通行止めとなっている道路箇所や、洪水時の実際の浸水範囲など、災害の発生に伴い避難等に支障が出ている具体的場所や、避難所等の開設状況に関する情報なども、アプリ上で提供できればよ

いとする多くの意見があった。

なお、実験に参加いただいたモニターは、土地勘のある海南市住民と土地勘があまりないと思われる大学関係者等外部からの参加者に分けられるが、上記の施設については、これらの中で特に違いは見られなかった。一方、両者の間で顕著な違いがみられた施設もあった（たとえば、公衆電話や公園については地元住民からは使いたいとする要望は少なかったが、外部の参加者からの要望は比較的多かった）。

アプリの機能については、さらなる向上を期待する意見が多くあった。また、特に緊急時、土地勘のない場所で災害にあった場合に防災アプリは「役に立つ」とする意見が「多少は役に立つ」を含めて8割以上の回答者から得られた。さらに、今後の防災アプリへ期待するとする意見は回答者の9割以上から得られており、防災アプリに対する関心や期待の高さがうかがえた。

### 7.1.2 実験参加者から寄せられた防災アプリに対する主な意見

アンケートでは、上記以外にも自由に感想等を書いてもらうことなどにより、様々な意見を得ることができた。特に多かったのは防災アプリの利用や機能についての意見である。その主なものを以下に記載する。

- 1) 避難先、出張先、旅行先などで災害に遭遇した場合とても役立つ。
- 2) 普段から利用することにより、災害時に手軽に使いそうなので是非、防災アプリをインストールして利用したい。
- 3) 教育の現場で防災学習などに使いそうである。
- 4) 国が優良な防災アプリを提示してくれると、多岐にわたるサービスから信頼性の高いサービスが選定しやすくなる。
- 5) 各自治体の情報を収集し、自治体を越えた情報収集が可能になるとよい。
- 6) ハザードマップや災害情報が知りたいときにその場で見られるとよい。
- 7) リアルタイムな情報を交えた情報の提供や避難誘導ができるとよい。
- 8) ケーブルテレビの情報が充実しているのでそれらの情報と連動できるとよい。
- 9) 家族構成により、サービスレベルの内容が変わるとよい。

### 7.1.3 開発者へのアンケート結果

国土地理院が今回の公募に当たって提供した情報のうち、開発者が最も多く利用していた情報は避難

所・避難場所に関する情報であり、次いで地理院地図や標高データの利用が多かった。一方、ハザードマップ関連情報の利用は少なかった。

避難所・避難場所については、必要と思われる属性等についても質問を行った。避難所等の位置情報に付帯して必要なもの、重要なものとして挙げられた属性等は以下のとおりである。

- 1) 避難所等の開設情報
- 2) 避難所等の標高、収容人数、何の災害のときに利用できるのか(災害種別)等の情報
- 3) バリアフリー施設の有無や階段、AEDなど災害弱者向けの情報
- 4) 避難所等における物資の備蓄量
- 5) 名称、住所、電話番号などへのIDの付与
- 6) 道路ネットワークに関するデータや道路の勾配に関するデータ

提供する際のデータ形式に関して、開発者に共通していたのが、開発しやすく加工しやすいデータで提供してほしいという要望で、データ形式については、複数のデータ形式で提供してほしいとする要望が多く、その中でもタイル画像での提供を望む声が多かった。

データ公開方法については回答者のほとんどが、利用者登録を行い、IDで共用データベースにアクセスできる方式がよいと回答している。

#### 7.1.4 開発者から寄せられた公募の取り組みに対する主な意見

今回の公募の取り組みに対して、開発者からはこれをプラスに評価する意見が多かった。以下に具体的な意見を列挙する。

- 1) 個人開発者でも同じデータベースを用いて参加できたことがよかった。
- 2) 意欲的で先進的な取り組みで、開発側としても大いに刺激を受けた。
- 3) 防災アプリ開発に必要なデータの模索・調査のために行っている事が評価できる。
- 4) 共用データベースの情報は、とても有意義な情報、早急に全国展開をしてほしい。
- 5) 被験者・実験フィールドを確保し、実証レベルまでの検証の取り組みはとてもよかった。
- 6) 来年度以降も取り組みの規模を拡大しながら継続して実施してほしい。
- 7) 新規参入企業の参画を促してほしい。
- 8) 次回も参加させてほしい。
- 9) 個人や中小企業の応募は大きな動機になるので、受賞作の発表機会を増やしてほしい。
- 10) 一つの自治体での実証実験だけでなく、複数の

自治体における実証実験を開催してほしい。

- 11) 実証実験にアプリ開発企業も全面的に協力できる環境を提供いただくことで、多くの評価を得てより良い防災アプリの流通を促進できる。
- 12) 民間企業が公開している地図が都市部に重点を置いているのに対して、地理院地図には農村部や山岳地帯の地形や植生情報があり非常に有用である。
- 13) できれば、アプリ用の国産の地図フレームワークを提供してほしい。
- 14) 多機能アプリや専用アプリではいざという時、使えない。シンプルかつ普段使うアプリに組み込むことが重要である。

### 8. 共用データベース構築に関する検討課題

上記のとおり、実証実験を通じたアンケート調査及び開発者に対するアンケート調査を通じて、様々な課題が明らかになってきた。

今後、国民にとって有用な共用データベースを構築していくために、検討すべき課題は多いが、大まかには以下のようにまとめられる。

#### 8.1 取り込むべき情報の種類

実証実験モニターからは、ランドマークや施設に関する情報などに高いニーズがあった。

ランドマークについては、避難誘導の際の目印として利用価値が高いが、具体的に挙げられていた施設は、公共施設やコンビニ等多岐に渡っている。

安全に避難するために有用な施設やランドマークとして、どのような情報をどのような順番で整備し提供していくか、情報によっては整備・提供することが可能かどうかも含め今後十分に検討する必要がある。

#### 8.2 付加する属性

避難所等をはじめとする施設や道路の属性情報についても、モニター・開発者いずれからも要望があったが、これら情報に付与する属性についても整備が可能であるかどうかも含め、何をどこまで整備し提供するか、十分な検討を行い、今後詰めていく必要がある。

#### 8.3 リアルタイム情報の取り扱い

モニターからはリアルタイムの被害情報を利用したいという意見も多かった。これらを共用データベースのコンテンツとすることは一般的には困難である。しかしながら非常に重要な情報であることから、これらをどのようにして国民に提供していくかは大

きな課題である。

#### 8.4 避難所等データの整備と地図記号の普及

防災アプリ、特に避難誘導機能を持つアプリにとって、避難先となる避難所等に関する情報は、表示されるべき最も重要な施設の一つである。

一方、災害種別を付した緊急避難場所等の新しい地図記号は、平成26年4月に公表したところであり、まだ広く浸透していないため、防災アプリ開発者側の対応も必ずしも十分ではなかったように思われる。

したがって、避難所等データの整備を早急に進めるとともに、避難所等地図記号の認知度を上げるため普及に関する取り組みを行っていくことが必要である。

#### 8.5 防災アプリ機能の更なる向上のための情報

現時点では防災アプリの機能に伴う制限や課題が少なからず存在し、モニターからは、使い勝手や表示の見やすさなどに、更なる工夫が必要という意見が数多く寄せられた。例えば、位置情報の利用や誘導経路の設定などが不十分な場合があることや、音声案内や表示の工夫の必要性などである。

防災アプリの機能向上は基本的に開発者側の課題であるが、機能を向上させるためには、新たなデータが必要になることも考えられる。

ユーザーにとって便利で役に立つ機能をアプリが備えつけるためにも、そのために求められるデータの整備・提供についても検討が必要である。

### 9. まとめ

共用データベースは、現時点ではまだ構想段階であるが、防災に関する信頼性の高い地理空間情報を、民間企業も含め国民の誰もが使いやすい情報基盤として広く提供していくためのものである。

一方、防災アプリは、こういった信頼性の高い情報を用いることにより、災害時の被害の軽減等に役立つ、情報活用ツールとして今後ますます発展していくことが予想される。

今回の防災アプリ公募の取組は、共用データベースのコンテンツとして整備すべき防災地理空間情報に関する検討材料を得るためのものであり、あわせて、機能に優れた防災アプリの開発が促進されることも目的としている。本取組で得られた成果をもとに、必要かつ有用な情報が適切な形でデータベースのコンテンツとして整備され、優れた防災アプリに使用されることで、防災地理空間情報の国民への普及促進、さらには災害時の被害軽減等につながっていくものと考えている。本取組はそれに向けた第一

歩である。

平成26年度に実施した実証実験やアンケート等の取り組みにより、災害時どのような防災情報等が必要とされているか、また、利用者の防災アプリ開発への関心の高さなどを一定程度知ることができた。

しかしながら、今後さらに高い機能を持つなど様々な防災アプリの開発が期待される中、本年度の取り組みだけでは、必ずしも十分な結果が得られたとは言えない。

応用地理部では、今回と同様な取り組みを今後も引き続き予定している。取組を継続することにより、整備・提供すべき防災地理空間情報に関するさらなる情報を得るとともに、有用な防災アプリのよりいっそうの開発促進を図っていきたい。

(公開日：平成27年3月4日)

## 地球規模の測地基準座標系に関する国連総会決議と国土地理院の貢献 UN General Assembly Resolution on Global Geodetic Reference Frame and contributions of GSI

測地部 宮原伐折羅  
Geodetic Department Basara MIYAHARA

### 要 旨

国際連合は、平成 27 年 2 月 26 日、第 69 回総会第 80 回本会議において、地球規模の測地基準座標系に関して、加盟国全体で連携して維持することを決議した。これは、国際連合が測量分野においてはじめて行った総会決議である。決議は、測地基準座標系が社会・経済的に重要であることを認めて、途上国の能力開発に対して技術支援を強化すること、各国が自国の測地観測を行う施設を適切に維持・改良することを明記した。決議により、特に途上国において地球規模の測地基準座標系の重要性に認識が高まり、その導入の促進が期待される。国土地理院は決議成立に向けた取組みにはじめから参加し、決議の素案を作成する活動に参加するなど、決議の採択に貢献してきた。今後も引き続き着実に測地観測を継続することで地球規模の測地基準座標系の構築・維持に貢献するとともに、豊富な経験と先端の技術を生かして GGRF 未導入の国々に対して技術的な支援を行っていく。

### 1. はじめに GGRF とは

「地球規模の測地基準座標系 (Global Geodetic Reference Frame) (以下、「GGRF」とする.)」は、地球の形状とその時間変化を表現したもので、地球上で位置を計測する際に共通の基準を与えるものである。地球の形状は、完全な球体ではなく、赤道方向に広がった楕円体で近似されるが、実際には、地球の自転、太陽と月の重力による潮汐やプレートの運動といった様々な要因によって、絶え間なく変化を続けている。

このような変動を続ける地球の形状を精密に測定するためには、GNSS (GPS 等の全球測位衛星システム) や VLBI (超長基線電波干渉法) といった複数の宇宙測地技術を用いて地球全体を網羅する継続的な観測を実施することが必須となる。GGRF が構築され、適切に維持されることによって、地球の形状が正確に把握され、ここが地球上のどこであるのか、自分が地球上のどこにいるのかが正確にわかるようになる。さらには、国境を跨いで世界中の全ての場所で同じ位置の基準に基づいて測量や地球観測が行うことが可能となることによって、海面変動や氷床の監視といった地球環境の把握、災害状況の正

確な把握や対応といった適切な政策・意思決定、さらには高精度な測量サービスや機器の自動運行といった地理空間情報社会の基盤インフラの実現まで、幅広い社会・経済的な裨益を得ることが可能となる。

GGRF は、世界全体が共同で宇宙測地観測を継続し、その観測データを適切に共有し統合することではじめて実現する。しかしながら、現在のところ、実質の世界標準の GGRF として位置の測定を支える国際的な測地基準座標系である ITRF (International Terrestrial Reference Frame) は、国際測地学協会 (International Association of Geodesy) (以下、「IAG」とする.)をはじめとした測地学の科学者のコミュニティの自発的な貢献によって実現しているのが現状である。そのため、GGRF の維持に関する組織と予算についても、観測や解析に係る各々の機関が自発的に最大努力の原則 (best effort basis) で行っている取組みに依存しており、安定して維持される保障がない。

国際連合 (以下、「国連」とする.) は、この現状を鑑み、さらに、GNSS の配備と利活用が急速に拡大し、それに伴って GGRF の社会・経済的な重要性がさらに増してきていることに留意して、加盟国全体で連携して GGRF を適切に維持していく協力を強化することを総会において決議した。

### 2. 国連総会決議に至る経緯

#### 2.1 GGRF-WG の設置

GGRF に関する国連総会決議を求める取組みは、2011 年 10 月にアジア太平洋地域からの発案ではじまった。地球規模の地理空間情報管理 (以下、「GGIM」とする.) に関する国連のイニシアティブである「地球規模の地理空間情報管理に関する国連専門家委員会 (United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management) (以下、「UNCE-GGIM」とする.)」は、GGIM に関する政策課題とそれを解決するための国境を越えた協働の重要性を確認するため、2011 年 10 月に韓国ソウル市で第 1 回ハイレベルフォーラムを開催した。アジア太平洋地域の地理情報データ基盤の整備と国際協調に関して技術・政策的協議を行う「アジア太平洋 GIS 基盤常置委員会 (Permanent Committee on GIS Infrastructure for Asia and the Pacific) (以下、

「PCGIAP」とする.)」は、このハイレベルフォーラムの中で、GGRF がいまだ採用されていない国が多数あり、その導入を加速するための取組みを UNCE-GGIM で検討すべきであると提案した。これをうけ、2012年8月に米国ニューヨーク市の国連本部で開催された UNCE-GGIM 第2回会合において、UNCE-GGIM は加盟国に対して GGRF の必要性を認識することを勧告した。2012年11月には、「国連アジア太平洋地域地図会議 (United Nations Regional Cartographic Conference for Asia and the Pacific) (以下、「UNRCC-AP」とする.)」が第19回会合において、GGRF の長期的な持続を確実にするため、地球規模の測地観測へ加盟国が参加するよう、UNCE-GGIM に対して加盟国との協議を求める決議を承認した。UNCE-GGIM は加盟国と協議を行い、2013年7月に英国ケンブリッジ市で開催された UNCE-GGIM 第3回会合において、GGRF を継続的に維持するための国際連携を推進する国連総会決議を目指すこととし、作業部会の設置を GGIM 事務局に求めた。これをうけ、2014年2月に、国連総会決議の素案を作成するための GGRF 作業部会 (以下、「GGRF-WG」とする.) が設置された。国土地理院は、GGRF-WG の設置当初から活動に参加している。

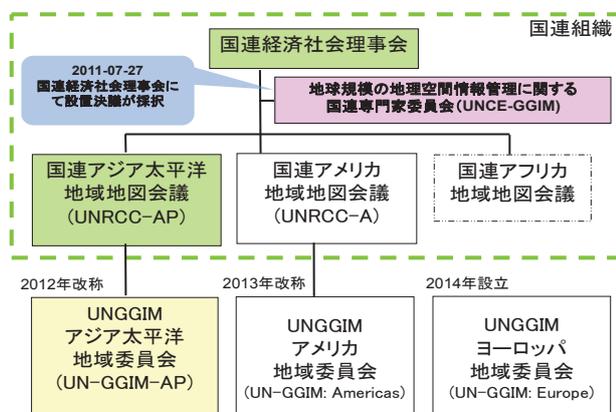


図-1 UNCE-GGIM と国連地域地図会議等との関係  
(注) PCGIAP は、UNRCC-AP の決議に基づき 2012年11月から UN-GGIM-AP へと移行

## 2.2 国連総会決議までの流れ

GGRF-WG は、オーストラリア・ノルウェーを共同議長に、GGIM 事務局を WG 事務局として設置され、IAG をリエゾンに 21 か国の参加のもと、国連総会決議の素案を作成した。2014年5月には米国ニューヨーク市の国連本部において、GGRF の意義と国連総会決議の必要性に関して各国の国連代表部に対してブリーフィングを行い、国連代表部から得られた意見を素案に反映した。GGRF-WG は、2014年8月に米国ニューヨーク市の国連本部で開催された

UNCE-GGIM 第4回会合に国連総会決議の素案を報告し、UNCE-GGIM はこれを承認した。同じく11月には、UNCE-GGIM は、米国ニューヨーク市で開催された国連経済社会理事会 (United Nations Economic and Social Council) (以下、「ECOSOC」とする.) の調整・運営会合にこの決議案を提出し、ECOSOC はこれを承認した。

国連総会への決議案の提出は、フィジーを提案国として行われた。フィジー国連代表部は、米国ニューヨーク市の国連代表部において、各国の国連代表部に対して非公式協議を行い、決議の趣旨に賛同する共同提案国が募られた。最終的には、決議案は、日本を含む 52 か国を共同提案国として、2015年2月26日に米国ニューヨーク市の国連本部で開催された第69回国連総会第80回本会議に ECOSOC からの報告として提出され、コンセンサス決議によって全会一致で承認された。

## 3. 国連総会決議

### 3.1 決議のポイント

国連総会は、GGRF が世界全体の協力のもとをはじめて実現しうるもので、いかなる国も一か国では GGRF の構築と維持は成しえないことを踏まえて、加盟国全体で連携して GGRF を維持するための協力を強化することを決議した。

決議は、6つの決議文からなり、それぞれの決議文のポイントは以下である。

- (決議文 1) GGRF を開発・維持していくためにロードマップ (計画) を作成すること。
- (決議文 2) 途上国の能力開発へ GGRF の開発・維持に必要な技術的な支援を強化すること。
- (決議文 3) GGRF の開発・維持に必要なデータや基準を自由に共有すること。
- (決議文 4) GGRF の開発・維持に必要な測地観測を行う施設を各国が責任を持って適切に改良・維持すること。
- (決議文 5) 観測施設が不足・重複しないよう多国籍間で協力すること。
- (決議文 6) GGRF の重要性に対する社会の理解が深まるよう普及活動を行うこと。

### 3.2 決議を受けた広報活動

2015年2月26日の決議を受け、その翌週には、GGRF に関する決議とその意義について国連から記者発表が行われた (国連, 2015)。これを踏まえて、3月3日には、決議の意義と国土地理院の活動に関して国土地理院も記者発表を行った (国土地理院, 2015)。米国、ドイツ、オランダといった国々からも続いて情報発信が行われた。UNCE-GGIM は、ウェ

ウェブサイトから決議の内容と国連のGGRFに関する活動について情報を発信している。GGRF-WGは、WGの活動の内容を発信するウェブサイトを作成してツイッターとあわせて情報の発信を行っている。

#### 4. GGRF-WGの今後の活動

決議された事柄を着実に実施していくためには、GGRFを取り巻く状況を正しく把握し、状況に即した適切な行動を実施するための計画を策定することが必須となる。GGRF-WGは、この行動計画をGGRFロードマップとし、今後のWGの活動の中で加盟国の意見を取りまとめながらGGRFロードマップの作成を行うこととしている。2015年3月には、資金や人材育成など、ロードマップ作成の際に重要となる様々な要素に対して加盟国の優先順位を把握して意見を取りまとめることを目的として、加盟国に質問書が発出された。GGRF-WGは回答を取りまとめ、2015年8月に予定されるUNCE-GGIM第5回会合で報告をすることとなっている。2015年4月には、国連ウィーン国際センターにおいてGGRFロードマップワークショップが開催され、GGRFの構築・維持において重要な検討課題ごとにグループに分かれてロードマップの作成が進められた。ロードマップの作成状況とWGの活動に関しては、UNCE-GGIMに対して今後も定期的に活動の報告がなされる予定で

ある。

#### 5. まとめ

アジア太平洋地域の発案からはじまった、GGRFの導入と維持を推進する取組みは、国連総会で決議されたことで、加盟国全体が連携したGGRFの維持のための協力を推進するものとなった。国土地理院は、大陸間にまたがるVLBI観測や日本全国を網羅するGNSS観測を行い、国際VLBI事業(International VLBI Service)や国際GNSS事業(International GNSS Service)を通じて共同観測やデータの共有・解析を行うことで、これまでも20年以上にわたりGGRFの構築と維持に貢献してきた。今回の国連総会決議によって、国土地理院が行ってきた測地観測の意義が改めて認められ、その重要性が明確となった。今後もVLBI、GNSSといった測地観測を着実に継続してGGRFの維持に貢献していくとともに、GGRFの維持に関する豊富な経験と先端の技術を生かし、アジア太平洋地域のリーダーとしてGGRF未導入の国々に対して技術的な支援を行っていく。

(公開日：平成27年4月14日)

#### 参考文献

- 国連総会決議：A global geodetic reference frame for sustainable development, [http://ggim.un.org/docs/A\\_69\\_L53\\_E.pdf](http://ggim.un.org/docs/A_69_L53_E.pdf) (accessed 3 April 2015)
- 国連総会決議（追加）：A global geodetic reference frame for sustainable development, Addendum, [http://ggim.un.org/docs/A\\_69\\_L53\\_Add1\\_E.pdf](http://ggim.un.org/docs/A_69_L53_Add1_E.pdf) (accessed 3 April 2015)
- 国連：GGIM ホームページ, <http://ggim.un.org/GGRF%20Resolution.html> (accessed 3 April 2015)
- 国連：記者発表ホームページ, <http://us2.campaign-archive2.com/?u=33cf89da7ade3a85156c5eda4&id=b2035e2f78> (accessed 3 April 2015)
- 国連：GGRF-WG ホームページ, <http://www.unggrf.org> (accessed 3 April 2015)
- 国土地理院 (2015)：国連総会ではじめての総会決議, <http://www.gsi.go.jp/kokusaikoryu/kokusaikoryu61002.html> (accessed 3 April 2015)
- 野尻琢也, 坂部真一 (2014)：国連が主導する地球規模の地理空間情報管理に関する活動と国土地理院の貢献, 国土地理院時報, 125, 73-81.

## 火山防災地形調査「新潟焼山」について Geomorphological Survey for Volcanic Disaster Mitigation "Mt. Niigata-Yakeyama"

応用地理部 坂井尚登・倉田憲  
Geographic Department  
Hisato SAKAI and Tadashi KURATA

### 要 旨

国土地理院では、新潟焼山地域の火山防災地形調査を実施し、調査結果から火山土地条件図を作成し数値データ化を行った。

本稿では、新潟焼山の火山防災地形調査と火山地形について報告する。

### 1. はじめに

我が国は110の活火山（気象庁，2013）を有する世界有数の火山国であり、有史以来多くの火山災害が記録されている。国土地理院では火山災害による被害の軽減、各種地域計画、防災計画のための基礎情報を提供することを目的として、1988（昭和63）年度から活動的な火山とその周辺地域を対象に火山防災地形調査を行っている。この調査は、地形分類（土地の表面形態・表層地質・形成年代・成因などにより分類する作業）を主体としており、その調査結果とともに防災施設・各種機関等を見やすく表示したものを火山土地条件図として公表している。

### 2. 火山防災地形調査とデータの作成

本調査は、北は日本海に面する糸魚川市梶屋敷から南は妙高市笹ヶ峰の乙見湖に至る約240km<sup>2</sup>の範囲を対象として実施した（図-1の赤い斜線の範囲）。

地形判読は主に空中写真判読により行い、現地調査や文献などを用いて補足した。地形は火山活動に

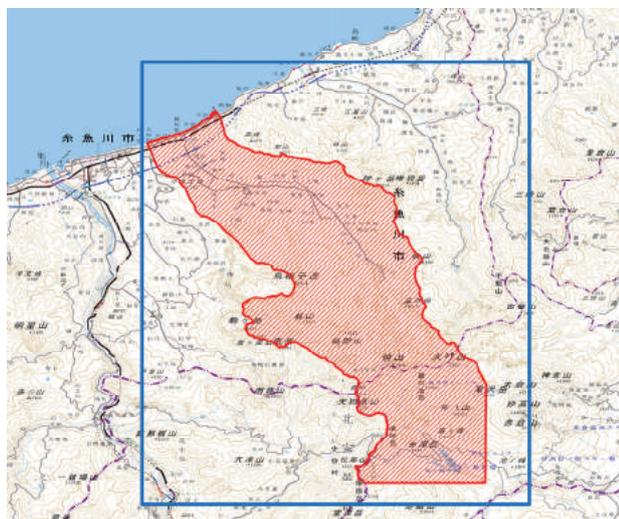


図-1 火山防災地形調査対象範囲

よるものと火山活動以外のものの2つに区分して分類し、火山活動による地形区分は、比較的大きな噴火が起きた年代を境に分けて分類した。

現地調査（平成25年9月9日～20日）は、火口や溶岩流・火砕流堆積地など特徴的な火山地形や扇状地、崖錐などの堆積地形、地すべり地や崩壊地などの確認を中心に行った。

空中写真判読、現地調査を行って作成した原稿図から火山土地条件図「新潟焼山」数値データ及び画像データを作成した。火山土地条件図の凡例（一部抜粋）を本稿最終ページに示す。

### 3. 調査地域の地形・地質の概要

新潟焼山は、日本を東西に分ける地質構造であるフォッサマグナの北西部に位置する。東は一直線に並ぶ妙高・黒姫・飯綱の第四紀火山に、西は金山、雨飾山に接している（図-2）。新潟焼山は火打山と金山を結ぶ稜線上の中間点付近に噴出した火山で、基



図-2 新潟焼山とその周辺の地形概念図

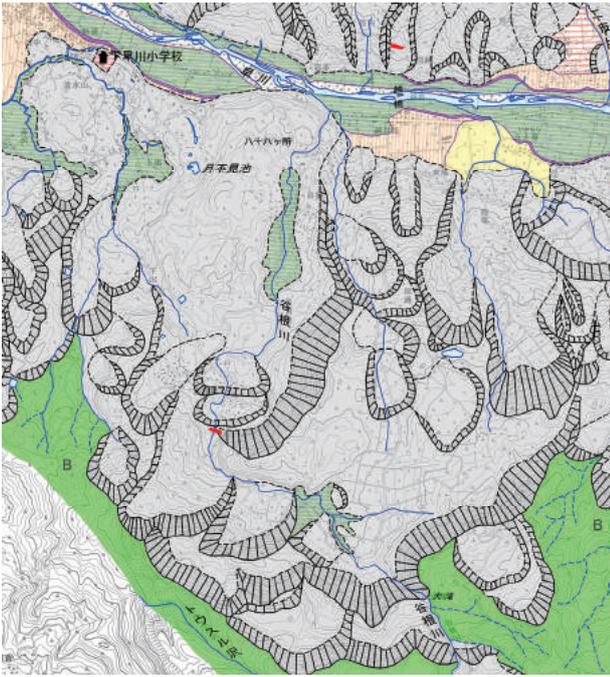


図-3 月不見池地すべり地



写真-1 地すべり移動岩塊のジグソークラック  
分かりやすいようにクラックに着色

盤は新第三系火打山層の砂岩・泥岩である。標高は2,400mであるが、基盤の標高が2,000mほどもあり、山頂付近の火山体の厚みはおおよそ400m、体積は3km<sup>3</sup>の小型の火山である(新潟県, 2002)。また、後述するように約3,000年前に誕生した日本の複成火山としては最も若い火山である(早津, 2008ほか)。安山岩～デイサイト質の噴出物の多くは北の糸魚川市側の早川の谷に流下したが、南の妙高市側の真川(しんかわ)の谷にも若干の噴出物が流下している。早川中・下流域では、新第三系の能生谷層の砂岩・泥岩・黒色頁岩が分布している。ここでは、多くの地すべり地形がみられる。特に月不見(つきみず)

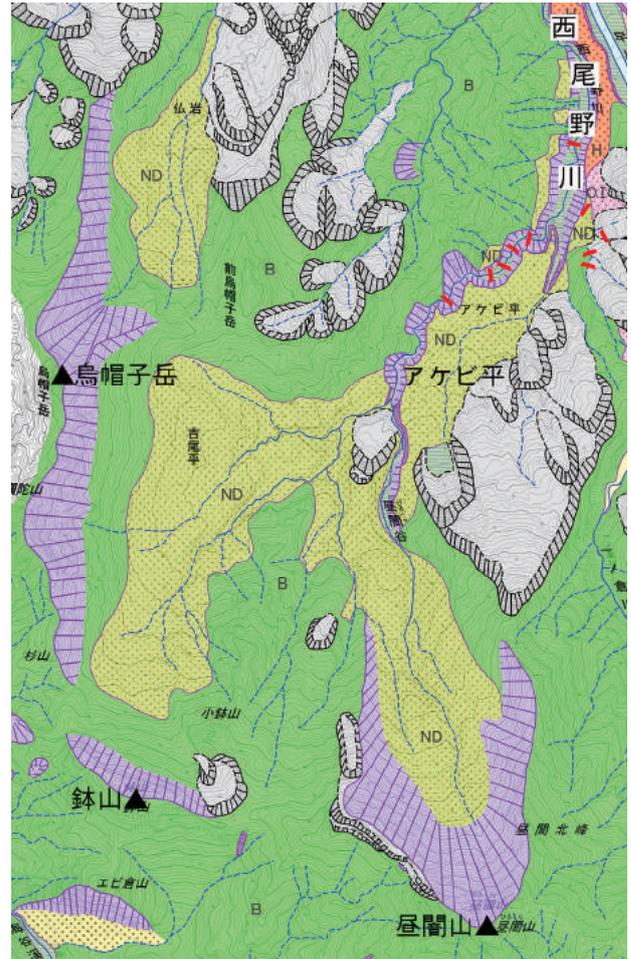


図-4 西尾野川岩屑なだれ堆積地

池地すべり地は規模が大きい(図-3)。この地すべり地の移動土塊(岩塊)には、ジグソークラックがみられる(写真-1)ことから、この地すべりは滑落した土塊(岩塊)が高速で移動、堆積した崩壊性地すべりであったことがあきらかである。また直接の基盤ではないが、北西側の早川と海川(うみかわ)に挟まれた地域には、安山岩質の海川火山岩類が、北東側の能生川流域には江星山安山岩が分布している。どちらも鮮新世の火山噴出物と考えられている。前者は、前烏帽子岳～烏帽子岳～鉢山～屋間山(ひるくらやま)を結んだ尾根の東側で何回かの巨大崩壊を起こし、複数回の岩屑なだれが発生した。その堆積物が西尾野川上流のアケビ平周辺に堆積している(図-4)。早津(2008)は、これを西尾野川岩屑なだれ堆積物(写真-2)と名付けた。西尾野川岩屑なだれ堆積地は、その後の河川侵食により段化しており、2～3段の段丘を形成している。また、阿彌陀山の西2kmの地点でも巨大地すべりを起こしており、移動土塊が海川をせき止めて最大幅400m弱、長さ約2km



写真-2 岩層なだれ堆積物メガブロック

のせき止め湖を形成した。せき止め湖は、現在は埋積されて谷底平野となっている。南の真川側には、新第三系の堆積岩の他に妙高火山や黒姫火山など他の第四紀火山の堆積物も分布している。

新潟焼山は、日本海からの直線距離が 19km ほどしかないが、周辺は全国有数の豪雪地帯であり、積雪深は数mを超える。冬季の噴火に際しては、融雪泥流の発生が懸念されている。

#### 4. 新潟焼山火山の火山地形

##### 4.1 新潟焼山火山の誕生

約 3,000 年前に安山岩～デイサイト質の溶岩（以降の噴出物もすべて安山岩～デイサイト質の溶岩）からなる噴火が起こり、YK-KGe 火山灰が放出され、新潟焼山火山の形成が始まった。それまでブナの大木で覆われていた早川上流部は、この噴火により荒廃し、土石流が頻発するようになった。繰り返し発



写真-3 早川河床の 3,000 年前のブナの立木

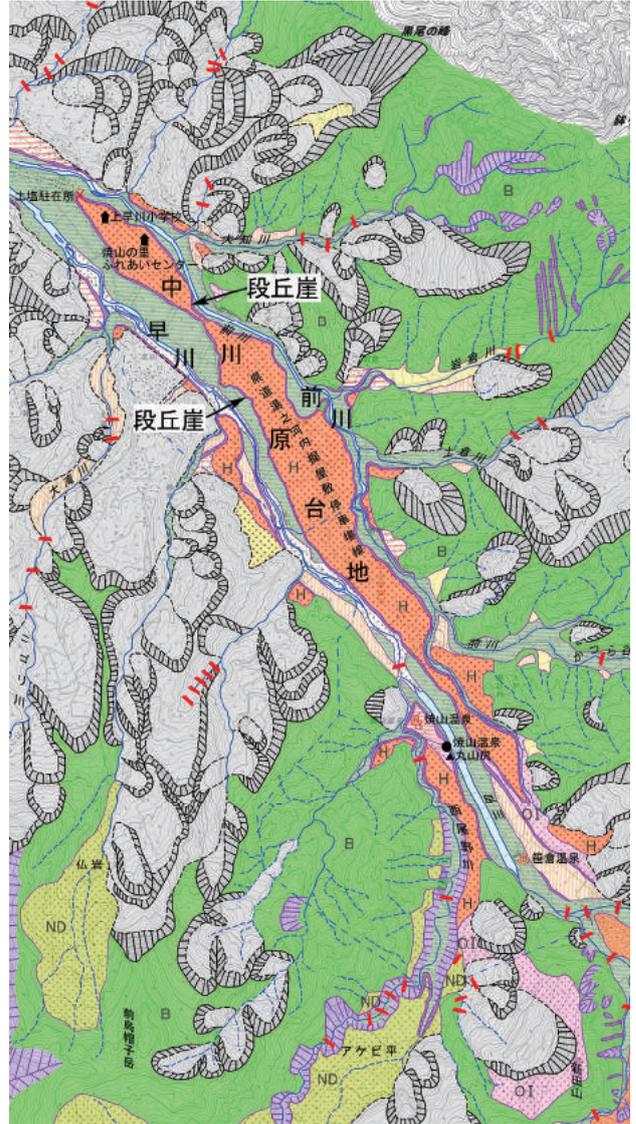


図-5 早川中流域

生した土石流堆積物には、泥流堆積物や火砕流堆積物が挟まれており、噴火と土石流が同時期かつ交互に発生したことを物語っている。新潟焼山誕生に伴うこれらの堆積物は、前川土石流堆積物と名付けられた。3,000 年前という年代は、土石流堆積物に覆われて枯死した立木（写真-3）を年代測定して得られた数値の平均値である（以上、早津, 1985, 2008 ほか）。この噴火時に形成された火山地形は残されていない。また前川土石流の堆積面も、後から流下してきた噴出物、堆積物により覆われており、地形面としては残されていない。早川と前川に挟まれた中川原台地（図-5）の段丘（侵食）崖でその堆積物が見られる（写真-4）のみである。多くの露頭で 5～6 層のユニットが確認される。



写真-4 前川土石流堆積物の露頭

#### 4.2 真川溶岩流・坊々抱岩（ぼぼだきいわ）

##### 溶岩流

真川溶岩流（早津，1985）は，新潟焼山火山の南西端に位置し，富士見峠の北 250m 付近から真川と地獄谷（注：真川上流域の谷，早川上流にも同名の谷があるので要注意）の合流点付近にかけて分布する溶岩流である（図-6）．明瞭な末端崖，側端崖，溶岩堤防を有する．

坊々抱岩溶岩流（早津，1997）は，焼山山頂の北西にある坊々抱岩周辺に分布する溶岩流である（図-6）．末端崖，側端崖は明瞭である．両者とも泊岩溶岩流（早津，1997）の下位にあり，新潟焼山の噴出した溶岩流では初期のものである．共に層厚 50m 以上の単一の厚い溶岩流で，表面は塊状溶岩が多く見られ凹凸に富んでいる．

#### 4.3 泊岩溶岩流・赤倉沢溶岩流・火打山川

##### 溶岩流

泊岩溶岩流は，4.7 で後述する焼山溶岩円頂丘と坊々抱岩溶岩流の間に，赤倉沢溶岩流（早津，1997）は焼山溶岩円頂丘の北に，火打山川溶岩流（早津，1997）は焼山溶岩円頂丘の東北に位置する（図-6）．それぞれが単一の厚い溶岩流であり，末端崖が明瞭に見られる．地形から焼山溶岩円頂丘の下位であるのはあきらかである．

#### 4.4 早川火砕流堆積地

新潟焼山火山は，3,000 年前に誕生した後，数 100 年～1,000 年の静穏期を経て，YK-KGd 火山灰と少量の焼山川火砕流を噴出する噴火を起こした（早津，

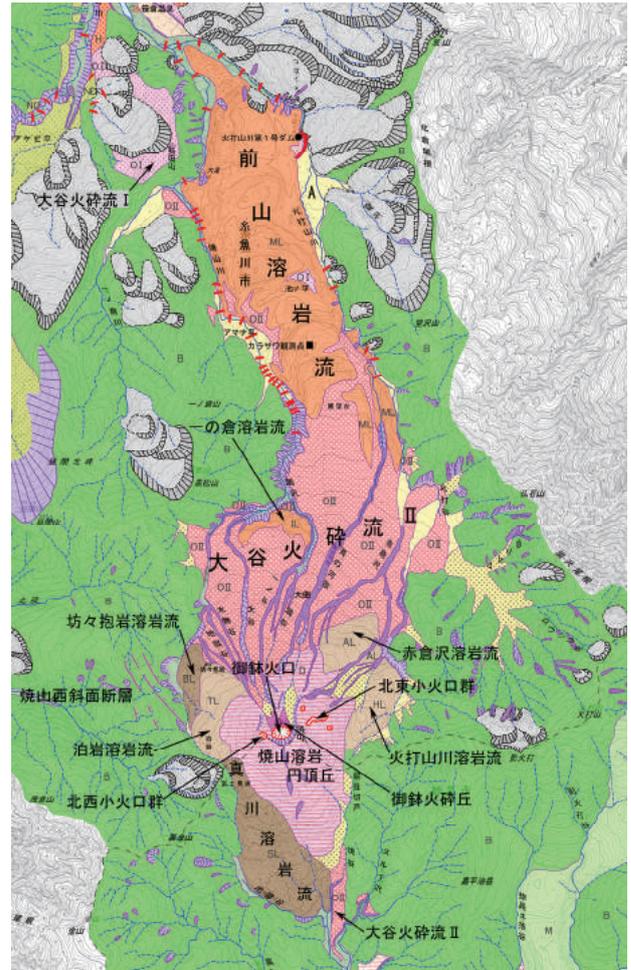


図-6 新潟焼山山頂周辺部

2008)．この噴火の詳細は分かっていない．YK-KGd を噴出した噴火の後，新潟焼山はしばらく静穏な状態であった．その後，YK-KGc 火山灰を噴出する爆発的噴火が発生した．YK-KGc は，間に時間間隔を示す 1 cm 程度の風成火山灰土（黒土）層を挟む 2 枚の火山灰層からなり，数 10～100 年程度の間隔を挟んで 2 回の噴火があったことを示している．早津（2008）はこれを平安時代の記録に対比し，887 年と 989 年に比定している．ただし，早川ほか（2011）はあらたに年代測定を行い，鎌倉時代まで噴出年代が下がるとしている．YK-KGc 上部層と下部層，どちらを噴出した噴火の後なのかは不明だが，爆発的噴火後に早川流域に分布面積 10km<sup>2</sup>，体積約 0.15km<sup>3</sup> と推定される比較的大量の火砕流が流下した（早津，2008）．早川火砕流と名付けられたこの火砕流堆積物は，早川流域に広く分布しており，おそらく日本海まで流下した（早津，1985 ほか）．早川火砕流は，少なくとも 4 つ以上のフローユニットからなる（早



写真-5 早川火砕流堆積物と炭化木断面

津, 2008). 堆積物は大きな溶岩塊と溶岩塊が粉碎された火山灰からなる。これは雲仙普賢岳の噴火時に溶岩ドームの成長に伴って、その一部の崩落、転動によって発生した火砕流の堆積物と同様のものである(メラピ型火砕流)。堆積物中に炭化木(写真-5)や木片を含むこともあり、一部でパイプ構造が見られる。早川火砕流堆積面は、構成する火砕流堆積物に溶結部がなく柔らかいため、堆積後、焼山川と火打山川の侵食により急速に段化し中川原台地となった(図-5)。

#### 4.5 前山溶岩流・一の倉溶岩流

前山溶岩流(早津, 1985, 図-6)は、流下距離約6.5km, 最大幅1km, 最大層厚200m, 分布面積7km<sup>2</sup>, 体積0.7km<sup>3</sup>(早津, 2008), 新潟焼山火山が噴出した溶岩流では群を抜く規模を有する。早川火砕流流下直後に噴出し、明瞭な末端崖、側端崖、溶岩堤防などを有する。溶岩流表面には巨大な溶岩じわや塊状溶岩が見られ、凹凸が非常に激しい。大規模な溶岩流であるため、流下する際に随所で焼山川と火打山川、またそれらの支谷を閉塞した。火打川原では湖沼が生じ、堆積物は火打川原湖成層(早津・原, 1983)と名付けられている。溶岩流の河道閉塞により形成された平坦地は火打川原の他にアマナ平や新田山の南にもあるが、表層は土石流堆積物により覆われているため、本図では扇状地に区分している(図-6中のA)。

一の倉溶岩流は、焼山川上流の支流である一ノ谷と大谷に挟まれた幅約800mの尾根に末端部が露出している(早津, 1985)。単一の厚い溶岩流で、高さ約140mの末端崖が明瞭であるが、それ以外の部分は後述する大谷火砕流堆積物により覆われている(図-6, 写真-6)ため、給源等は不明である。早津(2008)は、岩質の類似などから前山溶岩流とほぼ同時期に噴出したものとしている。



写真-6 北麓から焼山山頂を望む

#### 4.6 大谷火砕流 I 堆積地

早川火砕流や前山溶岩流を噴出した噴火後、数百年間にわたって静穏だった新潟焼山だったが、YK-KGb 火山灰を噴出する爆発的噴火が発生し、火砕流を噴出した。前山溶岩流の上位に風成火山灰土層を挟んだ二層の火砕流堆積物が存在している。早津（2008）はこれらを大谷火砕流堆積物と総称し、下位の堆積物を大谷火砕流堆積物 I とした。大谷火砕流堆積物 I に含まれていた木片で年代測定が行われており、14～15 世紀半ばの値が得られている。早津（1994）は古記録から 1361 年に比定した。

大谷火砕流堆積地の面積は、全体で 5～6km<sup>2</sup> ほどある。総噴出量は約 0.1km<sup>3</sup> で、大谷火砕流堆積物 I の体積はそのうちの 4分の3ほどと推定されており、土石流化した部分は海岸まで到達したものと考えられている（早津，2008）。山頂に近い地域では、上位の大谷火砕流堆積物 II に覆われているが、早川の中・下流域の高所では、断続的に地形面として残さ

れており、本図では、大谷火砕流 I 堆積地と分類した。新田山では、この火砕流の火砕サージが山を越えて流下したらしく、北斜面に堆積物が残されている（図-6）。

#### 4.7 焼山溶岩円頂丘

早津（2008）は、地質的には焼山溶岩流と区分しているが、地形的には溶岩円頂丘（写真-6，7）であるため、本調査では焼山溶岩円頂丘と新称する。新潟焼山の山頂部にあり、大谷火砕流堆積物 I を流下させた噴火により形成されたが、後述する大谷火砕流堆積物 II を噴出した噴火により一部が崩落し、現在のような形態となった。溶岩円頂丘の表面には、降下火砕物が堆積している部分が広くみられる。早津（1985）では、この部分と後述する御鉢火砕丘をあわせて新期火砕堆積物としている。

この溶岩円頂丘の形成と崩落によって生じた大谷火砕流 I の噴出物は、ほとんどが北側に流下してい



写真-7 西側から望む焼山溶岩円頂丘と御鉢火砕丘・御鉢火口1・御鉢火口2・御鉢火口3

る。また、続く大谷火砕流Ⅱの噴出物も北側に流下した量が圧倒的に多い。このような非対称的な噴出物の分布が見られるのは、火砕流を発生させる溶岩円頂丘の崩落が溶岩円頂丘北側で卓越して発生している（写真-6, 7）からであり、火打山～金山を結ぶ稜線より北側に存在する火道の位置と北側に傾斜する基盤が原因となっている可能性が高い（早津, 2008 ほか）。

#### 4.8 大谷火砕流Ⅱ堆積地

二枚の大谷火砕流堆積物のうち、上位のものを早津（2008）は大谷火砕流堆積物Ⅱと名づけた。体積こそ大谷火砕流堆積物全体の4分の1しかないが、最後の火砕流噴火であり、これ以降、火砕流の流下が無かったことから山頂北麓の広い範囲を覆っている（図-6）。堆積状況から、北側に6枚以上、南の真川側にも2枚以上のフローユニットが確認されている。南側に火砕流が流下したことが確認できるのは、この火砕流が初めてである。古文書等から1773年に比定されているこの噴火も最初にYK-KGa火山灰を噴出することから始まる爆発的なものであった（早津, 2000 ほか）。

#### 4.9 御鉢火砕丘

御鉢火口の北側に形成されている御鉢火砕丘（図-6, 写真-6, 7 新称）は、南側に焼山溶岩円頂丘があるため、北側にのみ裾野を延ばす非対称的な形態となっている。大谷火砕流Ⅱを流下させた噴火が終息する段階で、御鉢火口から噴き上げられた火山砕屑物により形成された。降下火山砕屑物は、焼山溶岩円頂丘上にも分布していることは、4.7で述べたとおりである。御鉢火砕丘を形成した御鉢火口は、火口1から火口2, 火口3へと西から東へ噴出中心を移動しながら噴火した（写真-7参照）。このため、御鉢火口全体の平面形は、東西方向に長軸を有する楕円型となっている。

#### 5. 新潟焼山の近年の活動について

新潟焼山の近年の活動は、昭和24（1949）年、37～38（1962～63）年、49年（1974）年に水蒸気爆発を起こし、それ以降も平常時より噴気量が増加する異常噴気を何回か繰り返した。なかでも昭和37年の水蒸気爆発では、御鉢火口の西、約500mの直線（西



写真-8 北西小火口群の一部の現況

北西-東南東方向）上に生じた大小20個におよぶ北西小火口群（図-6, 写真-8）から飛散した噴石の直撃を受け、キャンプ中の登山者3名が死亡するという惨事となった。また、同時に北東小火口群（図-6）も活動し、盛んに噴煙を上げた。両火口群とも昭和24年噴火とほぼ同じ場所が活動した（茅原ほか, 1977）。

現在、北東小火口群は低調ではあるが噴気を続けているが、北西小火口群は完全に活動を停止している。火山活動が活発な時期は入山規制がかけられていたが、火山活動の沈静化を受けて、平成18（2006）年12月に新潟焼山への入山が可能となった。長い入山禁止期間のため登山道は荒れ果てていたが、近年ボランティアの方々の努力で整備されつつある。

#### 6. 新潟焼山火山形成史

新潟焼山火山の形成史を早津（2008）の「焼山を構成する地層の上下関係」を基に図-7にまとめた。ただし、地形面を形成していない堆積物は省略し、早川ほか（2011）など近年の研究成果を加えて一部改変した。また、早津のいう焼山溶岩流は、地形学的には溶岩円頂丘なので焼山溶岩円頂丘（新称）とした。さらに大谷火砕流Ⅱを噴出した噴火の最終段階で形成された御鉢火砕丘（新称）を追加した。

#### 7. おわりに

新潟焼山の火山防災地形調査は、調査内容を解説書としてまとめ、火山土地条件図「新潟焼山」画像データとともに、国土地理院技術資料D2-No.62として、平成26年12月より、国土地理院のウェブページから公開している。

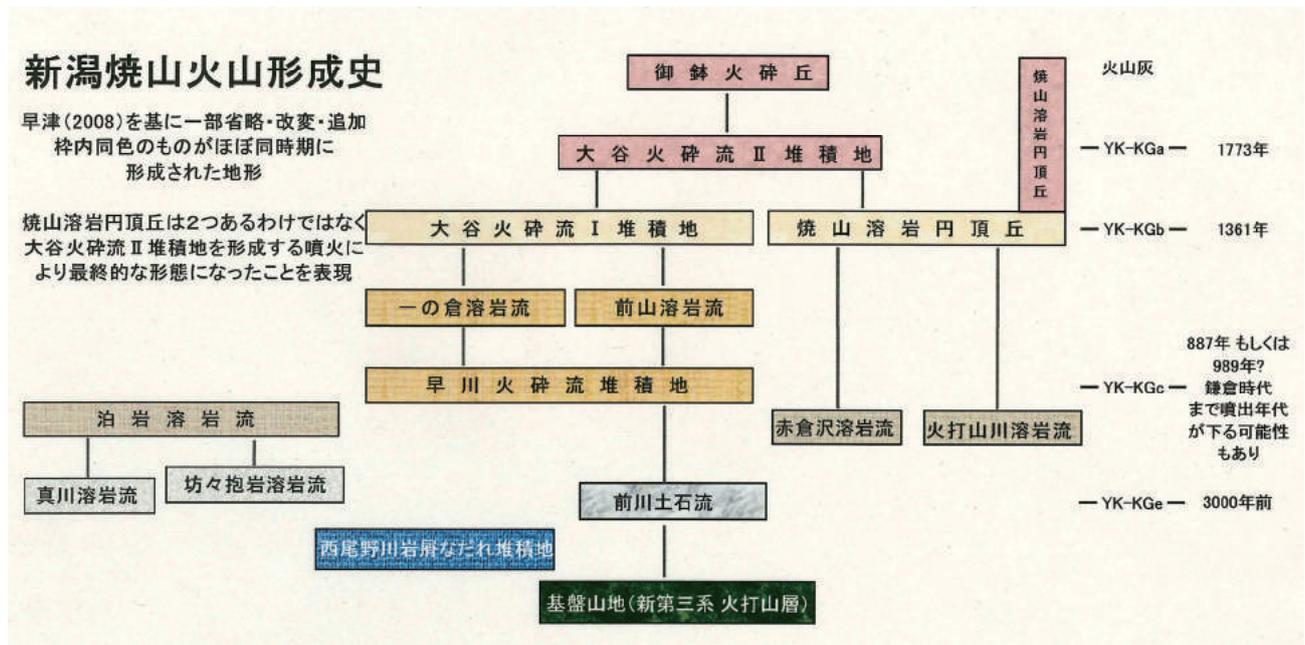


図-7 新潟焼山火山形成史

また、ウェブページでの公開に先立って、平成26年11月26日には、新潟焼山周辺の地方公共団体、防災機関（国土地理院北陸地方測量部を含む）等を構成員とした「新潟焼山火山防災協議会」のコアグループ会合の場において、火山土地条件図の紹介を行い、数値データ、画像データ及び出力図を気象庁新潟地方气象台及び新潟県、糸魚川市、妙高市等に提供した。

#### 謝辞

本調査にあたっては、妙高火山研究所の早津賢二所長に現地調査に御同行いただき、火山地形及び堆積物等の見分け方の御指導をいただくとともに、火山土地条件図の作成に際しても御指導賜った。また、国土交通省北陸地方整備局、林野庁上越森林管理署、新潟県、糸魚川市、妙高市からは資料提供等の御協力を賜った。ここに記して深く感謝の意を表する。

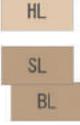
(公開日：平成27年8月19日)

#### 参考文献

- 茅原一也，鈴木光剛，小林一三（1977）：1974年新潟焼山火山の爆発に伴う土石流．新潟大学理学部地盤災害研究施設研究年報，No.33，1-18.
- 早川由紀夫，藤根久，伊藤茂，ZAUR Lomtatize，尾崎大真，小林紘一，中村賢太郎，黒沼保子，宮島宏，竹之内耕：（2011）新潟焼山早川火砕流噴火の炭素14ウィグルマッチング年代．地学雑誌120（3），536-546.
- 早津賢二（1985）：妙高火山群 -その地質と活動史-．第一法規出版，344.
- 早津賢二（1994）：新潟焼山火山の活動と年代-歴史時代のマグマ噴火を中心として-．地学雑誌，103（2），149-165.
- 早津賢二（1997）：新潟焼山火山の溶岩ドームを構成する溶岩流の細分．妙高火山研究所年報，NO.5，9-14.
- 早津賢二（2008）：妙高火山群 -多世代火山のライフヒストリー-．実業公報社，424.
- 国土地理院（2014）：1:25,000火山土地条件図「新潟焼山」国土地理院技術資料D2-No.62.
- 新潟県（2002）：土地分類基本調査「妙高山・戸隠・飯山」.
- 新潟県教育委員会（1988）：北陸自動車道糸魚川地区発掘調査報告書Ⅲ立ノ内遺跡.

Landforms formed by volcanic activity

火山活動により形成された地形

-  Crater  
火口
-  Ohachi Pyroclastic cone  
御鉢火砕丘
-  Area covered by otani II Pyroclastic Flow Deposit  
大谷火砕流Ⅱ堆積地
-  Yakeyama Lava dome  
焼山溶岩円頂丘
-  Area covered by otani I Pyroclastic Flow Deposit  
大谷火砕流Ⅰ堆積地
-  Maeyama Lava flow (ML)  
Ichinokura Lava flow (IL)  
前山溶岩流 (ML)  
一の倉溶岩流 (IL)
-  Area covered by Hayakawa Pyroclastic Flow Deposit  
早川火砕流堆積地
-  Tomariwa Lava flow (TL)  
Akakurasawa Lava flow (AL)  
Hiuchiyamakawa Lava flow (HL)  
泊岩溶岩流 (TL)  
赤倉沢溶岩流 (AL)  
火打山川溶岩流 (HL)
-  Shinkawa Lava flow (SL)  
Bobodakiwa Lava flow (BL)  
真川溶岩流 (SL)  
坊々抱岩溶岩流 (BL)

火口は、マグマや火山ガスの地表への噴出口で、ほぼ円形の凹地。  
御鉢火口北側に形成された火砕丘。大谷火砕流Ⅱを形成した噴火の直後に形成された。  
早川上流域に広く分布する大谷火砕流Ⅱの堆積地。  
焼山山頂部を形成する溶岩円頂丘。御鉢火口に近い部分は火砕物により覆われている。  
大谷火砕流Ⅱに先立って噴出した大谷火砕流Ⅰの堆積地。早川上流域では、大谷火砕流Ⅱによって覆われているため、中流域に断片的に分布する。  
前山溶岩流は、早川火砕流噴出直後に流下した、流下距離 6.5km、最大層厚 200m の安山岩質の分厚い溶岩流。早川上流部に分布し、巨大な溶岩じわ、溶岩堤防が見られる。  
一の倉溶岩流は、御鉢火口の北方 1km 付近に分布する安山岩質溶岩流。大谷火砕流Ⅱにほとんど覆われ、北端崖のみが露出している。  
平安時代もしくは鎌倉時代に噴出し、先行堆積していた前川土石流堆積物を埋積した早川火砕流堆積物の堆積地。早川中流域に広く分布し、その後の河川侵食により段化している。

焼山溶岩円頂丘を取り囲むように分布し、舌状の平面形を有する厚い溶岩流。焼山溶岩円頂丘の下位、真川溶岩流・坊々抱岩溶岩流の上位。  
焼山溶岩円頂丘の西方から南方にかけて分布する。凹凸の激しい地形面を有する安山岩質の塊状溶岩からなる溶岩流。

Basement

- 基盤**
-  Myoko Volcano  
妙高火山
-  Myoko Volcano slope  
妙高火山体斜面
- 基盤**
-  Basement rock area  
基盤山地斜面

妙高火山が形成した火山体斜面。  
妙高火山以外の新潟焼山より古い火山体や山地の斜面。

Erosional landforms

- 侵食地形**
-  Collapse or Cliff  
崩壊地・急崖
-  Landslide  
地すべり地
-  Main valley  
主要な谷線

崩壊地の滑落崖及び段丘崖等、崩落の危険性の高い急斜面。  
地すべり地の滑落崖及び堆積域。  
火山体等を開析する主要な谷線。

Depositional landforms

- 堆積地形**
-  Area covered by Debris Avalanche Deposit  
岩屑なだれ堆積地
-  Area covered by Nishionogawa Debris Avalanche Deposit  
西尾野川岩屑なだれ堆積地
- Fan**
- 山麓堆積地形**
-  Talus  
崖錐
-  Fan  
扇状地
- Terrace**
- 段丘**
-  Higher terrace surface  
上位面
-  Lower terrace surface  
下位面
- Lowland**
- 低地**
-  Alluvial fan or Valley plain  
緩扇状地・谷底平野

阿弥陀山や昼間（ひるくら）山の崩壊地から流下した、複数の岩屑なだれ堆積物の堆積地。  
斜面から崩落した砂礫等が斜面基部に堆積した地形。扇状地より急傾斜。  
河川が運んだ土砂が、谷口を頂点にして扇状に堆積した地形。

Tectonic landforms

- 変動地形**
-  Active Fault (Dip slip)  
活断層（縦ずれ）

最近数十万年間に概ね千年から数万年の周期で動き、今後も活動を繰り返すと考えられる断層。そのうち、明瞭な地形的証拠から位置が特定できるもの。縦ずれで低下している側に単線を付す。

火山土地条件図「新潟焼山」凡例（一部抜粋）



## 地理院タイル目録を用いた地理院タイルの効率的な同期方法 An effective synchronization method of GSI Tiles using a GSI Tile List

地理空間情報部 藤村 英範  
Geospatial Information Department  
Hidenori FUJIMURA

### 要 旨

電子地形図（タイル）をはじめとする基本測量成果を含み、政府オープンデータ戦略に基づいて国土地理院コンテンツ利用規約に従い提供されるウェブ地図用地理空間情報「地理院タイル」は、基本図（地形図）、写真（オルソ画像）、主題図、災害情報を含む1,000レイヤを超える情報セットとなっている。

これら地理院タイルは、もっぱらインターネット提供により提供を行う方針となっており、情報普及課が運用する地理院タイル用ウェブサーバである「地理院地図サーバ」の可用性を確保しつつ、測量法第27条第2項に基づくインターネット提供を適切に実施する必要がある。このため、地理院地図サーバから提供する地理院タイル一枚一枚の所在情報である「地理院タイル目録」を整備し、提供実験に供している。

地理院タイル一枚一枚の更新日付や MD5 メッセージダイジェスト を記録した地理院タイル目録を利用することにより、地理院タイルのダウンロード及び同期を効率的に進めることができる。国土地理院が実施している、週あたり数万タイルに及ぶ基本測量成果の迅速更新の状況を反映するため、地理院タイル目録の更新は週次のタイミングで実施しているところである。

さらに、地理院タイル目録を用いて実際に地理院タイルを効率的にダウンロードし、ダウンロードした地理院タイルを地理院地図サーバの最新の地理院タイルに効率的に同期できるプログラム（リファレンス実装）`qdltc` を作成し公開した。`qdltc` を用いると、電子地形図（タイル）である地理院タイル（標準地図）約 5,000 万タイルを 7 日間程度でダウンロードでき、週毎の最新の地理院タイルへの同期（約数万タイル）を 7 時間程度で実施することができる。

### 1. 背景

#### 1.1 地理院タイルと地理院地図

情報普及課では、地形図作成の最新の成果である基本測量成果「電子地形図（タイル）」を含むウェブ地図向け地理空間情報「地理院タイル」を提供している。「地理院タイル」は、基本図（地形図）、写真（オルソ画像）、主題図、災害情報を含む1,000レイヤを超える膨大な情報セットとなっている。

また、地理院タイル利用のショーケースとして、国土地理院のウェブ地図「地理院地図」（国土地理院、2015a）を運営している。地理院地図は、その前身である「電子国土ポータル」（平成 15 年（2003 年）7 月 15 日開設）から通算すると、平成 27 年 7 月で運営 12 周年となり、この間、24 時間 365 日無停止を目標として運営を継続してきた。

地理院タイル及び地理院地図の提供を通じて、情報普及課は、国土地理院が捉える日本の姿を、ウェブを通じて日本や世界に継続的に提供している。

#### 1.2 地理院タイル活用推進のための 3 つの施策

情報普及課では、平成 27 年 7 月現在、地理院タイルの活用を推進するための 3 つの施策として「オープンデータ施策、オープンソース施策、オープンイノベーション施策」を掲げている。

オープンデータ施策は、地理院タイルを政府オープンデータ戦略に基づきわかりやすい利用規約で多様な活用を推進することであり、平成 26 年（2014 年）9 月 30 日に政府標準利用規約（第 1.0 版）に基づく国土地理院コンテンツ利用規約が施行された日に、地理院タイルの利用規約を当該規約に移行している。国土地理院コンテンツ利用規約は「複製、公衆送信、翻訳・変形等の翻案等、自由に利用できます。商用利用も可能です」を基本精神とする利用規約であり、出典の掲載により自由に利用できることを原則としている。なお、国土地理院コンテンツ利用規約は著作権法に関わる規約である一方、測量法は国土地理院コンテンツ利用規約でも個別法令として取り扱われる別個の規定である。基本測量成果である地理院タイルについても、より円滑に測量法に基づく複製承認・使用承認申請ができるよう、情報普及課も技術者等と対話を進めているところである。

オープンソース施策は、地理院タイル利用のショーケースである地理院地図をオープンソースソフトウェアで構築し、構築した地理院地図自身もオープンソースソフトウェアとして提供する（国土地理院、2015b）施策であり、平成 24 年（2012 年）7 月 26 日に開始した。業界で共有すべき機能や技術を広く共有し、業界全体の技術競争力を底上げすることで、ウェブ地図を通じた地理空間情報の活用を推進することを目的としている。

オープンイノベーション施策は、外部との連携を積極活用し、連携する各主体がイノベティブな成果を得ることを追求するものである。地理院タイル提供においてオープンイノベーションの考えを取り入れるのは、地理空間情報の多様なニーズ、特に多様な業務ニーズに対応するためには、それぞれの利用分野に明るい事業者との連携が必須であるためである。そのため、業界標準を見極めながら地理院地図の各機能のモジュール化を進め、機能を切り出したり入れ替えたりできる技術的環境を整えるとともに、受託開発者やツール提供者との情報共有・意見交換のための「地理院地図パートナーネットワーク」を平成26年(2014年)7月11日から開設し、平成26年(2014年)11月、平成27年(2015年)2月及び6月には「地理院地図パートナーネットワーク会議」を開催した。

地理院地図の各機能のモジュール化の皮切りとしては、平成25年(2013年)10月30日の地理院タイルの「XYZ (slippy map tilenames) 方式」採用が挙げられる。多くのソフトウェアが対応しているタイル命名規則を採用することにより、ソフトウェア間の自由な競争を促進し、多様な業務ニーズへの対応可能性が開かれた。地理院タイルに対応したデスクトップアプリケーションやモバイルアプリケーションが増加し、地理院地図自身も、平成27年(2015年)1月8日に、その依拠するウェブ地図ライブラリを OpenLayers から Leaflet に容易に移行することができた。

また、地理院地図パートナーネットワークには、平成27年(2015年)6月30日現在121者の参加があり、これら地理院地図パートナーと呼ばれる参加者は、会議での議論に参加するほか、地理院地図パートナーネットワークのウェブサイト(国土地理院, 2015c)で、地理院タイルのアプリケーションについての情報を集約した「地理院地図パートナーリスト」を共同で公開している。

### 1.3 地理院地図の今後を方向付ける3つの技術

また、情報普及課では、平成27年7月現在、地理院地図の今後を方向づける3つの技術として「標高タイル、ベクトルタイル、デジタルファブリケーション」を掲げている。

標高タイルは、基盤地図情報の数値標高モデルに基づく標高データをウェブ地図形式によって提供するものである。ウェブ地図用タイルデータの各ピクセルの位置について算出した標高値をタイルデータに格納し、いわば「pixel-perfect DEM for web maps」として提供するものであり、タイルデータのフォーマットには現在 CSV 形式を用いている(国土地理院, 2013)。標高タイルは、地理院地図で地図中心の

標高値をテキスト表示するためのバックデータとして使われる一方、平成26年(2014年)3月19日に公開された「地理院地図3D」(国土地理院, 2015d)では、地形模型をウェブブラウザ上で表現するとともに3Dプリンタ用データとして出力するためのバックデータとしても使われている。また、首都大学東京の渡邊英徳研究室が公開している「ヒロシマ・アーカイブ」(ヒロシマアーカイブ制作委員会, 2015)では、アースブラウザを実現するライブラリである Cesium (Analytical Graphics, Inc., 2015) で地形を詳細に表現するために国土地理院の標高データがバックデータとして使われている(首都大学東京, 2015)。

ベクトルタイルは、属性が付与された点・線・面のベクトルデータをウェブ地図形式によって提供するものである。平成26年(2014年)8月1日に提供区域を限定して道路中心線のベクトルタイルデータを提供実験に供して以来、段階的に提供実験を進め、平成27年(2015年)6月4日には、全国の注記ベクトルタイルを、地理院地図にも組み込む形で提供実験を開始した。ベクトルデータをタイル形式で配信することにより、ウェブブラウザ側での表現調整や処理等が可能となり、より多様な用途に対応することができるようになる。また、特に高精細なディスプレイを持つモバイルデバイス等では、レンダリングをデバイス側で行うことにより、地図をよりくっきりと提示することが可能となる。さらに、大量の情報もベクトルタイル形式で重ね合わせることでより容易にウェブ地図と連携できるようになった。地理院地図でも、過去の写真や地盤情報をベクトルタイルで重ね合わせることにより、大量のポイントデータをより大量に、より高速に提示することに成功している。

デジタルファブリケーションは、データに基づいて素材を加工し、多様にカスタマイズ可能なものづくりを可能とする技術体系であり、データのインターネット配信と加工機械のパーソナル化を前提とする技術体系となっている。地理空間情報部では地理院地図3Dの公開に先立って3Dプリンタを導入し、デジタルファブリケーションの世界に基盤地図情報に基づく地形模型を普及させた。地理空間情報を情報端末でも紙でもないメディアで活用することを提案することで、情報端末の電源の制約や汚損しやすい紙の性質から自由で、新しい理解を与える情報表現の世界を広げることを狙っている。新しい活用を提案することで、地理空間情報の活用推進をより活性化させることが目的である。

## 2. 解決すべき課題

電子地形図の実績を踏まえ、地理院タイルの「標

準地図」、「淡色地図」及び「English」を基本測量成果として安定供給できる状況が整ったことから、これらのデータについて平成26年7月1日付官報(本紙第6322号)において測量法第27条第1項に基づく公告を実施した。これにより、これら3レイヤの総称として「電子地形図(タイル)」という名称の運用が開始され、当該データの安定的なインターネット提供及び迅速な更新が担保されることとなった。なお、その後、地理院タイルとなっている「数値地図25000(土地条件)」及び「数値地図5000(土地利用)」についても同様に基本測量成果としての取り扱いが開始された。

一方、これらの基本測量成果を測量法第27条第2項に基づき提供する手段としては、もっぱらインターネット提供を用いる方針となっており、情報普及課が運用する地理院地図タイル用ウェブサーバである「地理院地図サーバ」の可用性を確保しつつ、当該インターネット提供を適切に実施する必要がある。従前、紙地図を閲覧所で閲覧すること(測量法第27条第3項)に相当するウェブブラウザ等での閲覧を念頭に設計されていた地理院地図サーバに、新しい任務が追加されたことになる。特に、紙地図を書店で購入することに相当する、タイルデータのダウンロードについては、効率的な手段を拡充する必要が生じた。

基本測量成果である「電子地形図(タイル)」には、ほかの電子地形図シリーズと同様に、国土地理院の基本測量によるデータの迅速更新が反映されることになる。これにより、週あたり数万タイルの更新が行われることとなる。測量の精度確保の観点からも、これら迅速更新を、地理院地図サーバのみならず、ダウンロード頂いたデータセットにも効率的に適用する手段を提供する必要がある。データセットの時間精度要求は、利用者の用途により異なることから、同期を特定の頻度で行っていただくことを強制することはできない。このため、同期アルゴリズムは、同期するデータの鮮度がばらついていても適用できるようにする必要があった。

地理院タイルのダウンロード機能・性能の拡充の必要は、基本測量成果である地理院タイルに限定されない。基本測量成果ではない地理院タイルにおいても、国土地理院コンテンツ利用規約の「複製、公衆送信、翻訳・変形等の翻案等、自由に利用できます。商用利用も可能です」という基本精神を実践するためには、ただ地理院地図において地理院タイルを閲覧して頂くだけではなく、地理院タイルを必要に応じてダウンロードして頂き、さらには常に最新の地理院タイルに同期して頂く手段を提供することが必要となった。

地理院タイルを効率的にダウンロードし同期して

いただける機能が提供できない場合、当該データを総当たりで非効率にダウンロードするアクセスが増加し、地理院地図の可用性にも悪影響を及ぼす恐れがあった。

## 2.1 技術的詳細

地理院タイルが利用している「タイル方式」は、経緯度により矩形に区画された地理学的空間に地理空間情報を細分化する。タイル方式は、表示する等のために特定された地理学的位置からタイル番号を算出し、当該位置のデータを取り出すには有利である。具体的には、データ量に比例しない一定の計算量で指定位置に対応するデータを取り出すことができる。と言える。

一方で、例えば市区町村の全領域、日本国の全領域といった単位のデータを取り出すためには、当該領域にかかるタイルのタイル番号のリストを得て、当該タイルを取得する必要があるが、これまでそのようなリストは提供されていなかった。さらに、地図の更新により、タイルセットは部分的に入れ替わる。タイルセットの同期を行うためには、更新が必要なタイルと更新が不要なタイルを区別するための情報を提供することが有利である。これらの情報を集約したリスト(以下、「地理院タイル目録」という。)を開発する必要があった。なお、開発時点で標準地図の全国分のタイル数は5000万程度、地理院タイル全数のタイル数は2億程度あることが分かっていた。

地理院タイル目録を用いた具体的なデータ更新方法の設計にあたっては、従前の地理院タイル提供との親和性を重視し、サーバ側に追加のコストがかからず、従前の地理院タイル提供との相乗効果が得られるようにすることとした。地理院タイルは地理的に細分化されているものの静的なHTTPリソースとして提供されるため、Contents Delivery Network(CDN)を活用し、HTTPキャッシュの仕組みを活用して高速配信を図っていた。また、新たなダウンロード提供によって別個の巨大リソースの配信を開始することは、配信環境の追加投資が困難であるため、コスト的に困難であった。このため、地理院タイルについては、従前のアクセス用のデータと、ダウンロード用のデータは同一であるべきであると考えた。ダウンロード対象とするデータを、個別のタイルそのものとするのではなく、新たなキャッシュ対象HTTPリソースを増やすことなく、むしろ同じキャッシュを共通で利用することとした。

また、地理院タイルは頻繁に追加・更新されること、特に基本測量成果である電子地形図(タイル)については、迅速更新により、週あたり数万タイルオーダーのタイルが更新されることを考慮する必要があった。地理院タイルをダウンロードする利用者

は、利用者各自の時間精度要求に応じてタイル更新を実施することが想定される。このため、例えば一定期間ごとにパッチデータを作成するようなアプローチの場合には、サーバ側に大量のパッチを蓄積する必要がある上に、利用者側でパッチの適用漏れが発生する恐れがあった。このため、タイル単位で利用者側手元のタイルと、サーバ側の最新タイルセットのタイルとの同一性を比較し、差異があるタイルのみをダウンロードするアプローチをとることとした。具体的には、サーバ側の最新のタイル一枚一枚のアイデンティティ情報を記録したファイルである「地理院タイル目録」(3. 参照)と、利用者の手元で同一性比較とダウンロードを行うソフトウェア「qdltc」(4. 参照)を作成することでこのアプローチを実現している。

最後に、基本測量成果としての告示はすでに実施されていることから、基本測量成果としての複製・使用を円滑に実施して頂くため、地理院タイルのダウンロード支援は一刻も早く実施する必要があった。この前提条件により、地理院タイルの生産及びアップロードのフローを改変することを伴わずに、現状を前提としてダウンロードの手段を開発・提供する必要があった。

## 2.2 開かれる新たな応用

上記課題を解決することにより開かれる新たな応用として、次のようなユースケースを想定した。

### 2.2.1 業務システムでの利用

国土地理院では、政府機関や地方公共団体での地理院タイルの利用を積極的に支援している。その中で頻出するユースケースとして、インターネットアクセスを前提としない業務システムでの地理院タイルの利用がある。情報セキュリティ上の設計として、または災害対応システムとしてインターネット接続が途絶しても運用できるようにするために、インターネットを通じて地理院タイルを得ることを前提としない業務システムは多い。従前は、政府機関や地方公共団体に対しては便宜供与として国土地理院から地理院タイルのコピーを提供していたが、地理院タイル目録を用いた同期方法を利用することにより、地理院タイルの提供をオンライン化することができるようになる。このことにより、USB ハードディスクドライブへの書き出しや当該デバイスの郵送のような作業を省略することができるようになるため、省力化を進めることが可能となってくるほか、地理院タイルのコピーの鮮度を大きく向上することができる。

情報セキュリティの観点からインターネット接続をしないサーバに対しては、インターネット接続さ

れた近接の環境においてポータブルドライブに地理院タイルをダウンロード・同期し、そのドライブを検証後にサーバに接続することによって、地理院タイルの更新を行うことが可能となる。また、平時はインターネット接続するサーバであって、災害対応時等にインターネットが途絶しても地理院タイルを閲覧できるようにするサーバであれば、夜間パッチ等で地理院地図サーバと地理院タイルを同期することとすれば、災害対応時にオフライン化できるようになる上、平常時には地理院タイルへのアクセスを高速化するキャッシュとして動作することができるようになる。

### 2.2.2 現場用システムでの利用

現場用システムも、高速なインターネット接続を想定することが難しいシステムである。このため、行動期間中に変更されることが想定されない地図データについては、現場に入る前にオフラインキャッシュしておくことがよく行われる。従前より、地理院タイルを利用した特にモバイルアプリケーションやタブレットアプリケーションにおいて、指定範囲の地理院タイルをキャッシュする機能が実装される例は多かった。地理院タイル目録を用いた効率的なダウンロード・更新方法を用いることにより、より広い範囲について効率的にキャッシュを構築・維持することが可能となる。

## 3. 地理院タイル目録

### 3.1 地理院タイル目録作成の優位性

地理院タイル目録とは、地理院タイルの一枚一枚について、その所在と諸元を収録した CSV 形式のテキストファイルである。

地理院タイル目録を作成することを発想したきっかけとしては、地理院タイルへのアクセスを時系列で地図上に可視化した際に、洋上のタイルを舐めるようなアクセスが散見されたことが挙げられる。日本のような細長い国土においては、国土の包含矩形領域に含まれるタイルに総当たりで HTTP リクエストをかけると無駄が多い。この無駄は、ダウンロード者のみならず地理院地図サーバ運用者にも負担となる。

### 3.2 地理院タイル目録の仕様

地理院タイル目録は、タイルセットに対して一つ必要なものであるため、タイルセットのディレクトリの直下に `mokuroku.csv.gz` という名称で配置することをデフォルトとした。タイルセットのテンプレート URL が `http://server/t/{z}/{x}/{y}.ext` であれば、その地理院タイル目録の URL は `http://server/t/mokuroku.csv.gz` と定まる。地理院タイ

ル目録の分量は膨大となる場合があるため、csv 形式のファイルを gzip 圧縮した csv.gz 形式のファイルとして配置することとした。

地理院タイル目録の CSV データの形式は、平成 27 年 7 月現在、次のとおりである。

(パス) , (最終更新時刻) , (サイズ) , (MD5 メッセージダイジェスト)

ここで、パスはテンプレート URL の {x}/{z}/{y}.ext 部分とした。パスから URL への変換は、http://server/{t}/(パス) となる。

また、最終更新時刻は UNIX 起算時を整数化したものとしている。サイズの単位はバイトである。

MD5 メッセージダイジェスト は、当該タイルデータについて算出した MD5 のハッシュ値である (Rivest, 1992)。MD5 のハッシュ値を保存する理由は、国土地理院の迅速更新において、現状、矩形の作業区画単位にデータ編集を行い、その作業区画内のタイルの全数を再度レンダリングすることになっているためである。このため、内容の更新がされていないが再度レンダリングされてしまうタイルが大量に発生する。最終更新日付ではなく MD5 メッセージダイジェストを用いて比較することにより、このような「見かけの更新」が行われたタイルについては更新を省略することができるようになる。

これら地理院タイル目録の仕様については、情報技術者のソーシャルネットワーキングサイトとも言えるソーシャルコーディングサイト GitHub に公開 (国土地理院, 2015e) し、常に改善リクエストを受け入れられる状態としている。

地理院タイル目録のサイズは、標準地図約 5,000 万タイル、350GB に対して csv.gz 形式で 1.2GB 程度となる

なお、タイルセットのディレクトリ直下にデフォルト名称を決めて配置する規約としているデータとして、情報普及課では、ベクトルタイルのスタイル情報 style.js も提唱している (国土地理院, 2015f)。

ここで、地理院タイル目録の MD5 メッセージダイジェスト を用いて地理院タイルを同期する方法と、rsync コマンドを用いて地理院タイルを同期する方法を比較する。rsync コマンドを用いた場合、ダウンロード元とダウンロード先の比較のためのリスト算出をコマンド投入時の前半段階で行う。地理院タイル目録は、ダウンロード元のリストをハッシュ値もふくめてあらかじめ算出したものに相当する。rsync を用いた場合、ダウンロード試行回数 m に対して m 回のリスト算出が発生するが、地理院タイル目録の作成は m には独立である。地理院タイル目録の作成は同期コマンドのタイミングに影響

されない、地理院タイルサーバの遊休時間に行われるため、地理院地図サーバの運用者にとっても、地理院タイルのダウンロード者にとっても資源節約となる。なお、rsync 採用を検討した際には、地理院タイルの個数が多いためにここで論じたリストの作成時間が膨大となること、コマンド投入の都度、リストの作成にサーバ側のデーモンが大きな負荷を発生させること、ユーザアカウントや通信の管理が困難となることが問題となった。

### 3.3 地理院タイル目録の作成プログラム

地理院地図サーバ上で地理院タイル目録を作成するプログラムもソーシャルコーディングサイトで公開 (国土地理院, 2015g) している。このプログラムでは、情報普及課が提唱するウェブ地図レイヤ定義 layers.txt 規約 (国土地理院, 2014) に基づいて地理院地図用に作成されている layers\*.txt を入力として、実際にタイルが配置されたファイルシステムをスキャンし、タイルセットごとに地理院タイル目録を作成している。

タイルのスキャンは、ズームレベルの小さい方から大きい方へ、東から西へ、北から南へ行っている。このうち、スキャンを東から西に行うのは辞書順の逆であるが、これは意図的である。東から西にスキャンを行うのは、データが散在していてやや確認が難しい南西諸島からダウンロードが始まるのを避け、ファイルサイズやデータの複雑性の面で例外的なデータが多く、統計的にはアクセス頻度も高い首都圏を早期にダウンロードするためである。これは国土地理院内で使われていたノウハウを形式化したものである。

### 3.4 地理院タイル目録の一覧・確認プログラム

地理院タイル目録の作成状況を確認し、その一覧を得るためのプログラム sl.rb も、内部利用と外部提供を兼ねてソーシャルコーディングサイトで公開 (国土地理院, 2015h) している。このプログラムを用いることにより、インターネットに接続された様々な環境から、地理院地図で閲覧できるすべてのタイルセットについて、地理院タイル目録のサイズおよび更新時刻を確認できる。ユーザは、sl.rb で得られる情報を参考に、必要なタイルセットの地理院タイル目録を必要なタイミングでダウンロードすれば良い。

次は、sl.rb を用いて地理院タイル目録の作成状況を確認している様子である。

```
$ ruby sl.rb
```

```
○,std,2015-07-19 12:17:36,1.21 GB,標準地図
```

```
○,pale,2015-07-14 12:13:23,1.21 GB,淡色地図
```

○,blank,2015-07-14 13:15:27,9.12 MB,白地図  
 ○,english,2015-07-14 13:25:46,602 KB,English  
 ...

また、次は、sl.rb を用いて地理院タイル目録の URL を得る様子である。

```
$ ruby sl.rb --mokuroku_urls
http://cyberjapandata.gsi.go.jp/xyz/std/mokuroku.csv.gz
http://cyberjapandata.gsi.go.jp/xyz/pale/mokuroku.csv.gz
http://cyberjapandata.gsi.go.jp/xyz/blank/mokuroku.csv.gz
http://cyberjapandata.gsi.go.jp/xyz/english/mokuroku.csv.gz
...
```

#### 4. ダウンローダ qdltc

本節では、必要なタイルセットの地理院タイル目録を得たのちに、地理院タイル目録を用いて効率的にタイルセットを更新する方法を、段階を追って説明する。本節で説明するすべての工夫を実装したソフトウェア qdltc (Queued DownLoader with Timeline backup and md5sum Cache)を、ソーシャルコーディングサイトで公開している (国土地理院, 2015i)。開発者は、qdltc を使って必要なタイルをダウンロード・同期することもできるし、qdltc を参考にして、開発するシステム的环境に合わせてプログラムを実装することもできる。qdltc.rb は地理院タイルの利用を促進することを第一目的としたツールであることから、政府オープンデータ戦略に基づく政府標準利用規約 (第 1.0 版) に準拠した「国土地理院コンテンツ利用規約」により、CC0 ライセンスを適用するとともに、平成 27 年 6 月 3 日に開催された「第 3 回地理院地図パートナーネットワーク会議」において、地理院地図パートナーをはじめとする開発者に向けて案内をしている。

##### 4.1 地理院タイル目録を使い、MD5 メッセージダイジェストを見ながらダウンロードする

地理院タイル目録の各行には、地理院地図サーバに格納されている各タイルの情報が記載されている。初回ダウンロードの際には、各行からタイルデータの URL を算出し、各タイルのダウンロードを行う。更新時には、まず複製先計算機に存在するタイルデータについて MD5 メッセージダイジェストを算出する。地理院タイル目録に記載されている MD5 メッセージダイジェストと同一であればファイルのダウンロードを行わず、同一でなければファイルのダウンロードを行い、当該タイルを上書きする (図-1)。

標準地図の場合、タイルの総数約 5000 万に対して、

週ごとに更新されるデータの総数が数万であること、ダウンロードを実施する時間コストは MD5 メッセージダイジェストを算出して照合する時間コストよりも大きいこと、また、国土地理院の現状の地理院タイル更新方法において、再レンダリングはされるがファイル内容が結果的には更新されない「見かけの更新」が相当量を占めることから、MD5 メッセージダイジェストを照合しながらダウンロードを行う方法をとることにより同期が高速化する。

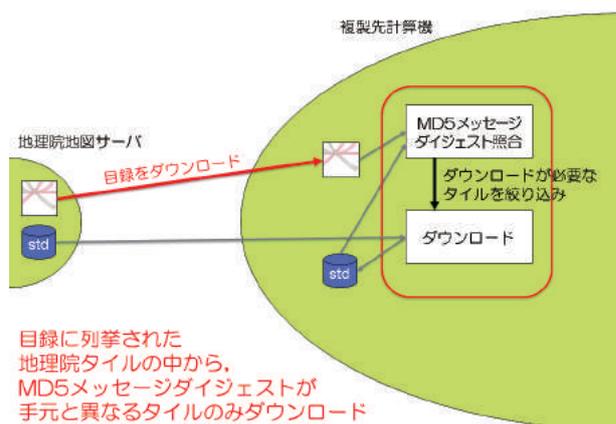


図-1 MD5 メッセージダイジェストで絞り込み

##### 4.2 キューを使う

ウェブ地図でタイルデータにアクセスする際には、ウェブブラウザではタイルアクセスを並列化・非同期化して性能を稼いでいる。これと同様に、ダウンロードが必要なタイルを算出する「MD5 メッセージダイジェスト照合」の処理と、タイルをダウンロードして保存する処理を別スレッドに分割した上で、その間にはキューを挟む形とした。また、多様なダウンロード環境においても動作が不安定にならないよう、ダウンロードを実行するスレッドは 8 程度、キューの深さは 200 程度をデフォルトとした。これにより、数倍の性能向上を実現した (図-2)。

通信がそれほど早くない環境においては、ダウンロードを実行するスレッドを 32 程度に拡大しても問題ない場合があることが分かっている。また、迅速更新を反映するような通常の同期作業においては、キューの深さを数万程度に拡大したほうが、ダウンロード負荷が平準化する傾向があることが分かっている。

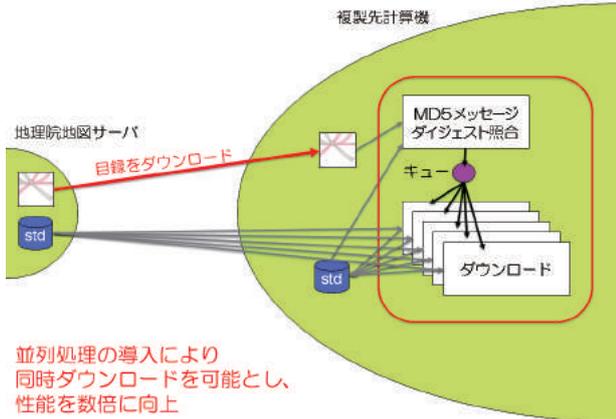


図-2 キューを使う

並列処理の導入により  
同時ダウンロードを可能とし、  
性能を数倍に向上

### 4.3 古いタイルをバックアップする

qdltc には、タイルをダウンロードして上書き保存する処理を拡張し、上書き対象のタイルデータをバックアップフォルダに退避する処理を加えた。退避元のタイルのパスを  $\{z\}/\{x\}/\{y\}.ext$ 、元データの最終更新日付を  $\{yyyymmdd\}$  とするとき、退避先のパスは  $\{z\}/\{x\}/\{y\}.\{yyymmdd\}.ext$  となるようにし、タイルの時系列のバックアップが累積するようになった。

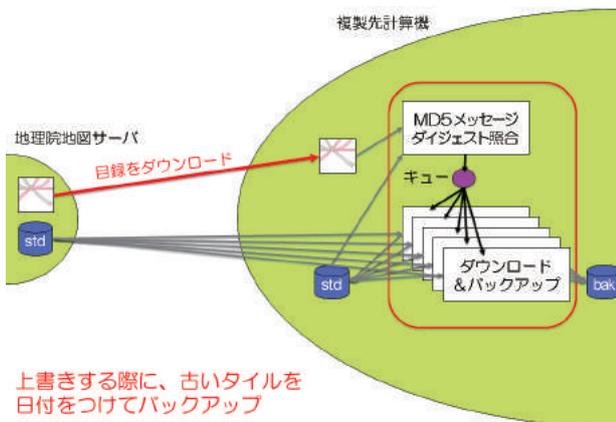


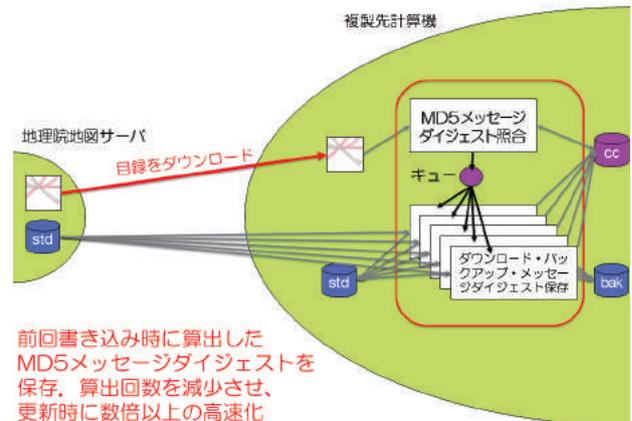
図-3 古いタイルをバックアップする

上書きする際に、古いタイルを  
日付をつけてバックアップ

### 4.4 ローカル側で MD5 メッセージダイジェストをキャッシュする

同期を実施する際の最初のステップは、保存先計算機側にあるタイルの MD5 メッセージダイジェストの算出であり、これは同期対象となるタイルセットのうち大多数を占める、実際には更新が行われていないタイルに対しても実行される。保存先計算機側のタイルは qdltc 以外では変更されないことを仮定し、保存先計算機側にあるタイルの MD5 メッセージダイジェストを、SQLite データベースに格納（キャッシュ）することとした。qdltc の実行時には、各タイルについて、最初に地理院タイル目録にある

MD5 メッセージダイジェストとキャッシュにある MD5 メッセージダイジェストを照合し、これらが合致すればそのタイルの更新をスキップする。合致しない場合にのみ、保存先計算機側にあるタイルの MD5 メッセージダイジェストを改めて計算して、地理院タイル目録の MD5 メッセージダイジェストと一致すれば MD5 メッセージダイジェストキャッシュのみ更新し、一致しなければ当該タイルのダウンロード・バックアップ・更新と、新しいタイルの MD5 メッセージダイジェストのキャッシュへの登録を行う。これにより、数倍以上の性能向上を実現した。



前回書き込み時に算出した  
MD5メッセージダイジェストを  
保存。算出回数を減少させ、  
更新時に数倍以上の高速化

図-4 ローカル側で MD5 メッセージダイジェストをキャッシュする

### 4.5 qdltc の性能について

qdltc の性能は、主に使用するインターネット接続の速度と、タイルデータを書きこむ先のハードディスクの速度に依存する。

国土地理院で使用しているインターネット接続環境と、コンシューマ向きに販売されている数 TB の USB HDD を用いて、UNIX (OS X) が動作する平均的な性能の PC を用いて地理院タイル（標準地図）の初期ダウンロードを実行したところ、全体のダウンロードには 1 週間程度の時間を要した。また、数十万タイルを更新する地理院タイル（標準地図）の週次の更新には、概ね 3 時間～9 時間程度を要する場合が多い。

タイルデータを書きこむ先が、サーバ規格の高速なハードディスクである場合、大幅な性能向上が期待される。また、インターネット接続やディスク書き込みに伴って、ウィルス対策ソフトウェアのファイル検査が入る場合には、ウィルス対策ソフトウェアの性能が qdltc の見かけの性能に影響する傾向があることが分かっている。

## 5. 今後の展開

現在、地理院タイル目録は、サーバの遊休時間が比較的多い週末にバッチ処理で生成している。今後、時間鮮度の要求が高い利用において地理院タイル目録を用いたタイルの更新が必要となる場合に備えて、地理院タイル目録の更新頻度を向上する必要がある。

地理院地図サーバにおける地理院タイル目録の更新には、現在数日の時間を要しているため、地理院タイル目録の更新頻度を向上するためには、地理院タイル目録の生成速度を改善する必要がある。平成27年7月現在の地理院タイル目録生成プログラム(国土地理院, 2015j)は、それぞれのタイルセットについてディレクトリツリーを毎回スキャンし、全ファイルについてMD5メッセージダイジェストを算出する方法をとっている。今後、地理院地図サーバにおける地理院タイル目録の更新においてもMD5メッセージダイジェストをキャッシュする考え方を取り入れ、更新速度を数倍以上高速化する必要がある。

地理院タイル目録は、地理院地図のレイヤ定義ファイル layers\*.txt をソースとして生成されるようになっている(国土地理院, 2015g)。地理院タイル目録は、地理院タイル一枚一枚のメタデータであるため、単に地理院タイルのダウンロードのみに使うばかりではなく、他の応用のためにも使うことができる。例えば、ココタイル(国土地理院, 2015j)や低ズームレベルでタイルデータの所在を示すインデックスタイル等は、地理院タイル目録から生成することが可能である。これらの応用データ生成も含めたデータの生成を、layers\*.txt の更新を起点として、手戻りのないカスケード状の自動プロセスに整頓していき、プロセスの信頼性を高めることが重要である。

地理院タイル目録を用いた差分ダウンロードの考え方は、タイルのダウンロードだけでなく、タイルのアップロードにも適用可能である。データをアップロードする際に、地理院タイル目録とMD5メッセージダイジェストを照合すれば、アップロードが必要ではない「見かけの更新」が適用されたタイルのアップロードを省略することができる。このこと

により、国土地理院で実施するタイルデータのアップロードに要する時間や帯域のコストを削減でき、迅速更新の反映をより高速化できるようになることが見込まれる。

また、qdltc が保存する過去のタイルのバックアップデータは、旧版タイルデータ(以下、「カコタイル」という。)としてアーカイブしていくとともに、ニーズに応じて適切に提供していくことを検討する必要がある。

カコタイルの適切な提供を検討するにあたっては、タイルデータのタイムスタンプを、単にファイルがレンダリングされた日時ではなく、迅速更新の対象タイミングによって定義される刊行日にしていくといった改善も、今後必要となってくるであろう。

また、地理院タイル目録を用いた地理院タイルの効率的な同期方法が普及すれば、業務システムや現場用システムを中心に、タイルアクセスの分散化が実現することになる。同様のアクセス分散は、今後地理院タイルを利用した大規模なウェブサービスが運用されることがあるとすれば、地理院タイル提供の実質的なスケールアップ手段としても活用できる。国土地理院が提供できる帯域を超える帯域を要する大規模サービスでも地理院タイルを利用いただけるよう、開発した同期方法をなるべく簡易かつ自由に利用いただけるよう技術の普及を図っていきたい。

これらの施策を通じて、タイルデータを、ウェブ、デスクトップGIS、モバイル、タブレット端末といった様々な利用シーンを横断した、地理空間情報活用における共通のいわば「基軸通貨」としていく。

今回整備した同期方法は、タイルデータの内容を問わないので、ベクトルタイルに対しても適用可能である。また、同じ理由から、国土地理院のタイルデータではなくても適用可能である。今回開発した技術を、外部活用も容易なモジュールとして整備することにより、ウェブ地図技術を用いた地理空間情報活用におけるオープンイノベーションの材料としていきたい。

(公開日：平成27年8月25日)

## 参考文献

- Analytical Graphics, Inc. (2015): Cesium, <http://cesiumjs.org>, (accessed 31 Jul. 2015)
- ヒロシマアーカイブ制作委員会 (2015) : ヒロシマ・アーカイブ, <http://hiroshima.mapping.jp/>, (accessed 31 Jul. 2015)
- 国土地理院(2013): 標高タイルの詳細仕様, <http://maps.gsi.go.jp/development/demtile.html>, (accessed 31 Jul. 2015)
- 国土地理院 (2014) : ウェブ地図レイヤ定義 layers.txt 規約, <https://github.com/gsi-cyberjapan/layers-dot-txt-spec>, (accessed 31 Jul. 2015)
- 国土地理院 (2015a) : 地理院地図, <http://maps.gsi.go.jp/>, (accessed 31 Jul. 2015)
- 国土地理院 (2015b) : gsimaps(地理院地図), <https://github.com/gsi-cyberjapan/gsimaps>, (accessed 31 Jul. 2015)

- 国土地理院 (2015c) : 地理院地図パートナーネットワーク, <http://maps.gsi.go.jp/pn/>, (accessed 31 Jul. 2015)
- 国土地理院 (2015d) : 地理院地図 3D, <http://maps.gsi.go.jp/3d/>, (accessed 31 Jul. 2015)
- 国土地理院 (2015e) : 地理院タイル目録の仕様, <https://github.com/gsi-cyberjapan/mokuroku-spec>, (accessed 31 Jul. 2015)
- 国土地理院 (2015f) : ベクトルタイルスタイル定義 style.js 規約, <https://github.com/gsi-cyberjapan/style-dot-js-spec>, (accessed 31 Jul. 2015)
- 国土地理院 (2015g) : 地理院タイル目録生成プログラム, <https://github.com/gsi-cyberjapan/mokuroku-generator>, (accessed 31 Jul. 2015)
- 国土地理院 (2015h) : Supplied layers from layers\*.txt, for Ruby, <https://github.com/gsi-cyberjapan/sl>, (accessed 31 Jul. 2015)
- 国土地理院 (2015i) : 地理院タイル目録ベースのダウンローダ (参照実装), <https://github.com/gsi-cyberjapan/qdltc>, (accessed 31 Jul. 2015)
- 国土地理院 (2015j) : ココタイル仕様, <https://github.com/gsi-cyberjapan/cocotile-spec>, (accessed 31 Jul. 2015)
- Rivest, R. (1992): The MD5 Message-Digest Algorithm, <https://www.ietf.org/rfc/rfc1321.txt>, (accessed 31 Jul. 2015)
- 首都大学東京 (2015) : 被爆資料を世界に発信する「ヒロシマ・アーカイブ」が大幅バージョンアップ～広島女学院中学高等学校との共同研究～, <http://www.tmu.ac.jp/news/topics/11525.html>, (accessed 31 Jul. 2015)

# 公共測量のためのマルチ GNSS 測量マニュアル（案）の制定 Publication of a draft manual on Multi-GNSS Surveying

測地観測センター

山尾裕美・鎌苅裕紀・万所求<sup>1</sup>・古屋智秋・辻宏道・後藤清

Geodetic Observation Center

Hiromi YAMAO, Yuki KAMAKARI, Motomu MANDOKORO,  
Tomoaki FURUYA, Hiromichi TSUJI and Kiyoshi GOTO

## 要 旨

国土地理院では、平成 23 年度から平成 26 年度までの国土交通省総合技術開発プロジェクト「高度な国土管理のための複数の衛星測位システム（マルチ GNSS）による高精度測位技術の開発」の研究成果や外部有識者による検討を踏まえ、GPS、GLONASS、Galileo 及び準天頂衛星システムといった GNSS の信号を単独もしくは複数組み合わせる用いる測量により、新点である基準点の位置を定める作業方法を示した「マルチ GNSS 測量マニュアル（案）—近代化 GPS、Galileo 等の活用—」を制定した。

本稿では、マルチ GNSS 測量マニュアル（案）の概要等について報告する。

## 1. はじめに

近年、米国の GPS だけでなく、ロシアの GLONASS、欧州連合の Galileo、日本の準天頂衛星システム（以下「QZSS」という。）といった各国の衛星測位システム（GNSS）（以下「衛星系」という。）の利用が可能になり、複数の測位衛星や新たな周波数帯の信号が利用できる「マルチ GNSS」の環境が整いつつある。

測量分野でも、こうしたマルチ GNSS の信号を賢く活用することで、ビル街や山間部等といった上空視界に制約があり GPS だけでは測量が難しい地域でも、測量できる場所や時間の拡大が期待されている。また、新しい L5 周波数帯の信号（以下「L5」という。）を利用して 3 周波測位を行うことで、従来と同じ精度をより短い観測時間で達成することも期待されている。

このような期待に応えるべく、国土地理院が国土交通省総合技術開発プロジェクト「高度な国土管理のための複数の衛星測位システム（マルチ GNSS）による高精度測位技術の開発（平成 23～26 年度）」（国土地理院、2014）（以下「総プロ」という。）において行った技術開発や実証実験に基づき、現在配備中の GNSS や L5 の今後の利用の進展を想定し、GPS、GLONASS、Galileo 及び QZSS といったマルチ GNSS の信号を単独若しくは複数組み合わせる用

いる測量（以下「マルチ GNSS 測量」という。）により、新点である基準点の位置を定める作業方法を示すために平成 27 年 5 月 29 日にマルチ GNSS 測量マニュアル（案）（国土地理院、2015）（以下「マニュアル案」という。）を制定した。さらに、その後日本の準天頂衛星システムを明示するため、平成 27 年 7 月 22 日に一部改正した。

## 2. マニュアル案の概要

### 2.1 マニュアル案制定の背景

総プロでは、GLONASS の系統誤差を除去する方法、近代化 GPS 及び QZSS の系統誤差を除去する方法、異なる衛星系間で発生する受信機の系統誤差を除去する方法、新しい周波数帯（L5）の信号を利用する解析手法等の開発を行った。また、学術用の解析ソフトウェア RTKLIBver2.4.2（Takasu, 2013）をベースに上記の技術を実装するマルチ GNSS 解析ソフトウェア GSILIB を開発した（古屋ほか、2014）。以上の結果を公共測量に適用するため、本マニュアル案を制定した。

### 2.2 マニュアル案の目的

本マニュアル案は、公共測量作業規程の準則（国土交通省、2013）（以下「準則」という。）第 17 条（機器等及び作業方法に関する特例）第 3 項に規定されるもので、マルチ GNSS 測量の標準的な作業方法を定め、その規格を統一するとともに、必要な精度を確保することを目的としている。

### 2.3 マニュアル案の特徴

本マニュアル案では、準則で使用可能な GPS、QZSS 及び GLONASS に加えて、Galileo の使用についても規定している。これにより使用可能衛星数が増加することによる測位精度の向上や、ビル街等で可視衛星数が増加することによる測量可能な場所や時間帯の拡大が期待される。

また、L1、L2 の 2 つの周波数帯の信号に加えて、新たに L5 の使用についても規定している。L5 を使用することにより、Galileo を用いた測量においても

2周波測位が可能となるほか、L1、L2及びL5の3周波測位を行うことにより、従来の2周波測位と同等の精度をより短い観測時間で達成することが可能となる。

本マニュアル案に基づく測量において使用可能な衛星系と周波数帯を以下に示す(図-1)。

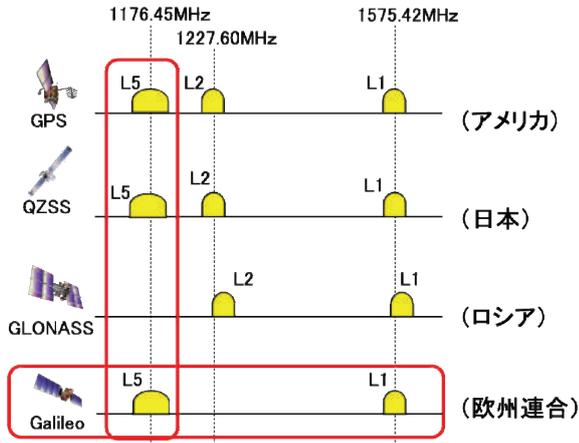


図-1 本マニュアル案で使用可能な衛星系と周波数帯。(赤枠内が新たに使用可能となった衛星系と周波数帯。)

さらに本マニュアル案では、従来の同じ衛星系間でのみ位相差をとる解析(以下「混合処理」という。)に加えて、上空視界に制約があるビル街等の観測条件の厳しい場所での利用を想定した、異なる衛星系間で位相差をとる解析(以下「統合処理」という。)についても規定している。混合処理で複数の衛星系を利用する場合、各衛星系の衛星を最低2機観測する必要があるため、GPS3機とGalileo1機で計4機の衛星を観測できたとしてもGalileoを測位に利用することができず、合計3機となり、測位ができない。これに対して統合処理で複数の衛星系を利用する場合は、合計4機以上の衛星が観測できればよい。そのため、統合処理を導入することにより、上空視界の制限が厳しく可視衛星数が極めて限られた環境であっても測位できる可能性が拡大することが期待される。

2.4 マルチGNSSの利用により期待される効果

前項で述べたように、GPS、QZSS及びGLONASSに加えてGalileoを使用することで利用可能な衛星数が増加するため、上空視界に制約がありGPSだけでは測量が難しい地域でも、測量できる場所や時間が拡大することが期待される。さらに統合処理を行うことにより、上空視界の制限が極めて厳しい状況においても測位が可能となることが期待される。マルチGNSSの利用により期待される効果について、

都市部で行った試験観測による実証結果を以下で紹介する。

写真-1は、上空視界に制約のある都市部の約1.5km離れた2地点において試験観測を行ったときの、観測地点における上空状況の写真である。

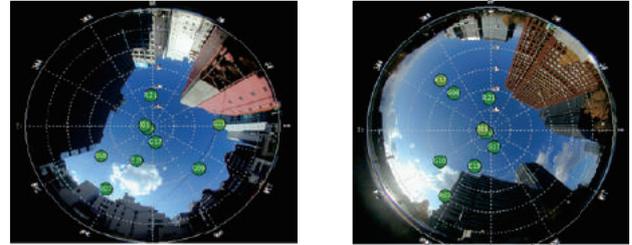


写真-1 都市部における試験観測時の上空状況。

写真-1から、高層ビルにより上空視界が制限されている状況を確認できる。また、2地点において共通で観測されたGalileoは1衛星だけであった。

写真-1の2地点における試験観測データを用いた検証結果を図-2、図-3及び図-4に示す。解析手法はL1のみを用いたキネマティック法を実施し、信号強度マスクを用いてマルチパスの影響を受けた信号を除去するなど、誤差要因を取り除く処理を行っている。

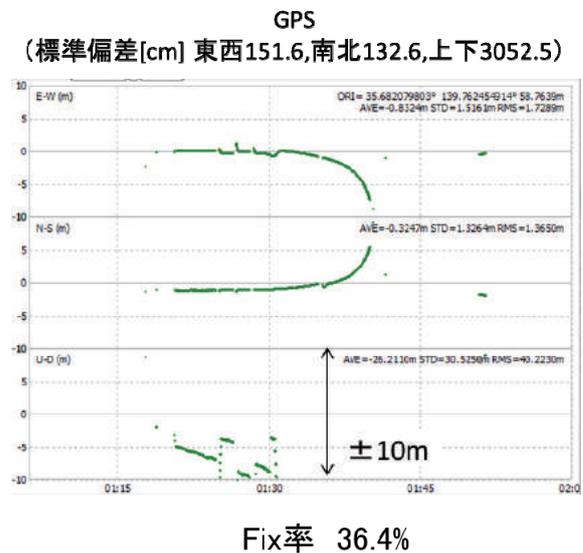
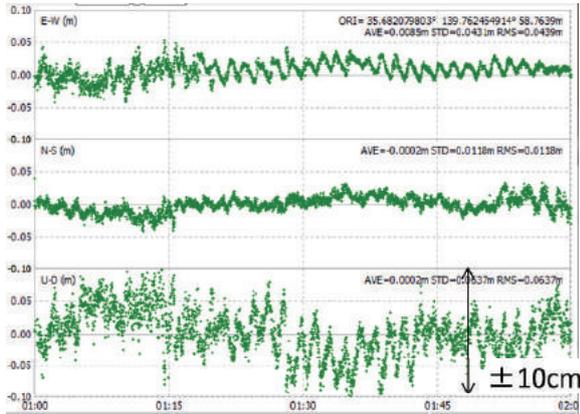


図-2 GPSのみによる解析結果。

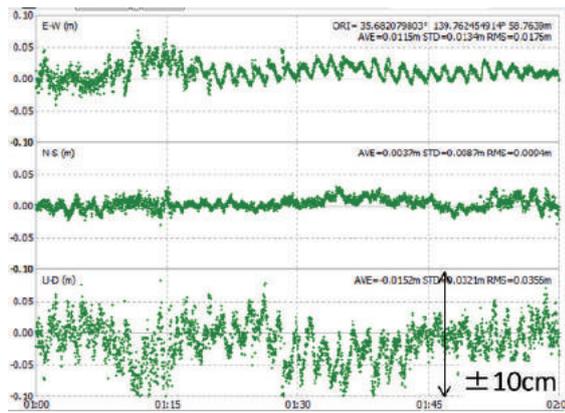
**GPS+GLONASS+QZSS**  
(標準偏差[cm] 東西4.3,南北1.2,上下6.4)



Fix率 99.7%

図-3 マルチ GNSS を用いて混合処理を行った場合の解析結果.

**GPS+GLONASS+QZSS+Galileo**  
(標準偏差[cm] 東西1.3,南北0.9,上下3.2)



Fix率 99.9%

図-4 マルチ GNSS を用いて GPS-Galileo 間で統合処理を行った場合の解析結果.

図-2 は GPS のみによる解析結果, 図-3 はマルチ GNSS (GPS, GLONASS, QZSS 及び Galileo) を用いた解析 (混合処理) を行った場合の解析結果, 図-4 はマルチ GNSS (GPS, GLONASS, QZSS 及び Galileo) を用いた解析 (GPS-Galileo 間に統合処理を適用) を行った場合の解析結果である. なお, 本試験観測において 2 地点で共通して観測した Galileo は 1 機しかなかったため, 結果的に図-3 の混合処理において Galileo は使用されていない.

GPS のみによる解析では全観測時間のうち半分程度しか測位ができていないが, マルチ GNSS を用いた解析 (混合処理) を行うことにより, ほぼ全ての

観測時間において測位結果を得られることが確認できた.

さらに統合処理を行うことにより, 共通して観測した Galileo が 1 機しかない場合でも解析に使用することができ, 位相差をとる組み合わせが増えたため標準偏差が改善した.

### 3. マニュアル案に規定する内容の検討

マニュアル案に規定する内容については, マルチ GNSS 測量マニュアル案作成に関する検討委員会を設置し, GNSS 比較基線場等における試験観測の結果を踏まえて技術的な検討を行った.

#### 3.1 GNSS 比較基線場等における試験観測の概要

マニュアル案に規定する内容について精度検証等を行うため, つくば市にある国土地理院長距離 GNSS 比較基線場及び短距離 GNSS 比較基線場 (図-5) において, 測量機器性能検定要領に基づく検定に準じた観測・解析を実施し, 結果を基線場の成果と比較して検証した. 試験観測は, 公共測量に適用することを想定し, 準則第 37 条第 2 項第二号イで規定されている観測方法について実施した. ただし, ネットワーク型 RTK 法については検証していない.

観測データの解析は, GSILIB 又は Galileo の混合処理が可能な RTKLIB 改造版を用いて行った. 解析結果は GNSS 比較基線場の公称成果値と比較して, 表-1 の許容範囲内かどうかを評価した.

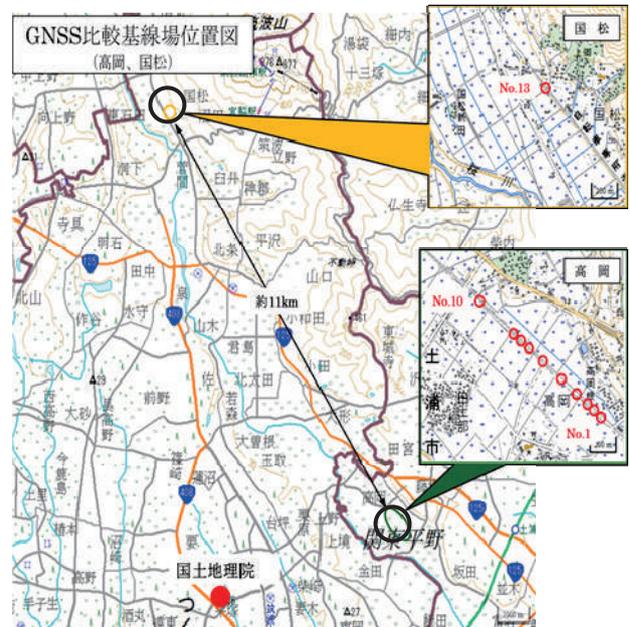


図-5 国土地理院長距離 GNSS 比較基線場及び短距離 GNSS 比較基線場位置図.

表-1 GNSS 比較基線場における試験観測の許容範囲

| 基線ベクトル            | 区分                               | 許容範囲 |
|-------------------|----------------------------------|------|
|                   | 水平 ( $\Delta N \cdot \Delta E$ ) | 15mm |
| 高さ ( $\Delta U$ ) | 30mm                             |      |

検証は、以下の項目について行った。

- GPS と Galileo の組み合わせ (混合処理)
- GPS と Galileo の組み合わせ (統合処理)
- L5 を用いた 1 周波解析及び 2 周波解析
- 3 周波解析
- GPS と GLONASS の組み合わせ (統合処理)
- GLONASS の単独利用

### 3.2 Galileo の利用について

Galileo は平成 27 年 7 月現在 3 機が使用可能となっているが、2016 年に 16 機体制、2017 年には 26 機体制で運用されることが計画されている。今後数年以内に多数の衛星が利用可能になると期待されるため、公共測量における利用可能性について検討を行った。

#### 3.2.1 GPS と Galileo の組み合わせ (混合処理)

Galileo を利用する場合の標準的な手法として、GPS との混合処理を行った場合の測位精度を検証した (表-2)。

表-2 GPS と Galileo の混合処理を行った場合の検証結果

| 観測方法                     | 周波数   | 成果から差の絶対値_平均 |       |       |
|--------------------------|-------|--------------|-------|-------|
|                          |       | dN(m)        | dE(m) | dU(m) |
| スタティック<br>1級2周波 (11.7km) | L1+L5 | 0.006        | 0.009 | 0.023 |
| スタティック<br>1級1周波 (1km)    | L1    | 0.006        | 0.004 | 0.001 |
| スタティック<br>2級1周波 (500m)   | L1    | 0.001        | 0.002 | 0.001 |
| スタティック<br>3級1周波 (200m)   | L1    | 0.002        | 0.001 | 0.003 |
| スタティック<br>4級1周波 (30m)    | L1    | 0.001        | 0.001 | 0.002 |
| 短縮スタティック<br>3級1周波 (200m) | L1    | 0.002        | 0.001 | 0.004 |
| キネマティック<br>3級1周波 (200m)  | L1    | 0.003        | 0.002 | 0.002 |
| RTK<br>3級1周波 (200m)      | L1    | 0.003        | 0.001 | 0.003 |

試験観測は、Galileo が 2 機以上観測できる時間帯に行い、2 周波の解析 (L1+L5) には GPS BLOCK IIF と Galileo を、1 周波の解析 (L1) には全ての GPS と Galileo を利用した。全ての観測方法において、GNSS 比較基線場の公称成果値との較差の絶対値の平均値が許容範囲内であることが確認できたため、GPS と Galileo の混合処理を本マニュアル案に規定した。

#### 3.2.2 GPS と Galileo の組み合わせ (統合処理)

上空視界に制限があるなど、より観測条件が厳しい場合に採用する手法として、統合処理を行った場合の測位精度についても検証した (表-3)。

表-3 GPS と Galileo の統合処理を行った場合の検証結果

| 観測方法                     | 周波数   | 成果からの絶対値_平均 |       |       |
|--------------------------|-------|-------------|-------|-------|
|                          |       | dN(m)       | dE(m) | dU(m) |
| スタティック<br>1級2周波 (11.7km) | L1+L5 | 0.012       | 0.015 | 0.017 |
| スタティック<br>1級1周波 (1km)    | L1    | 0.003       | 0.003 | 0.004 |
| スタティック<br>2級1周波 (500m)   | L1    | 0.002       | 0.001 | 0.002 |
| スタティック<br>3級1周波 (200m)   | L1    | 0.001       | 0.001 | 0.003 |
| スタティック<br>4級1周波 (30m)    | L1    | 0.002       | 0.001 | 0.004 |
| 短縮スタティック<br>3級1周波 (200m) | L1    | 0.001       | 0.001 | 0.003 |
| キネマティック<br>3級1周波 (200m)  | L1    | 0.002       | 0.002 | 0.002 |
| RTK<br>3級1周波 (200m)      | L1    | 0.003       | 0.002 | 0.003 |

試験観測は、Galileo が 1 機以上観測できる時間帯に行い、2 周波の解析 (L1+L5) には GPS BLOCK IIF と Galileo を、1 周波の解析 (L1) には全ての GPS と Galileo を利用した。全ての観測方法において、GNSS 比較基線場の公称成果値との較差の絶対値の平均値が許容範囲内となることが確認できたため、GPS と Galileo の統合処理を本マニュアル案に規定した。

なお、異なる受信機間で統合処理を行う場合、衛星系間受信機ハードウェアバイアス (Inter System Bias. 以下「ISB」という。)を補正する必要がある。GPS-Galileo 間の ISB は受信機の組み合わせ毎にあらかじめ推定しておいた値を用いて補正することが可能であるため、マニュアル案では観測着手前及び全観測完了後の計 2 回、受信機間の ISB を推定し、推定結果に大きな差異が無いことを確認した上で、観測着手前に推定した ISB を用いて統合処理を行うこととした。ISB の推定方法は本マニュアル案の解説で詳細に説明されている。

#### 3.3 L5 の利用について

平成 27 年 7 月現在、L5 を発信している衛星は全部で 13 機ある。その内訳は、GPS BLOCK IIF9 機、QZSS1 機、Galileo3 機となっている。現状では、L1 及び L5 を発信する衛星を 4 機以上観測できる時間は 1 日約 15 時間、L1、L2 及び L5 を発信する衛星を 4 機以上観測できる時間は 1 日約 9 時間である。

しかし数年後には L5 を発信する衛星が多数利用可能になると期待されるため、公共測量における L5

の利用可能性について検討を行った。

3.3.1 L5 を用いた 1 周波解析及び 2 周波解析

L5 は信号強度が強いためマルチパス耐性が高く、観測点周辺環境の影響を受けづらいという利点がある。また L5 を使用することにより、Galileo を用いた測量においても 2 周波解析が可能となる。そこで L5 を用いた 1 周波解析及び 2 周波解析の測位精度について、公共測量での利用を想定した検証を行った（表-4）。

表-4 L5 を用いた 1 周波解析及び 2 周波解析の検証結果

| 観測方法                     | 周波数   | 成果からの絶対値_平均 |       |       |
|--------------------------|-------|-------------|-------|-------|
|                          |       | dN(m)       | dE(m) | dU(m) |
| スタティック<br>1級2周波 (11.7km) | L1+L5 | 0.006       | 0.005 | 0.020 |
| スタティック<br>1級1周波 (1km)    | L5    | 0.004       | 0.005 | 0.006 |
| スタティック<br>2級1周波 (500m)   | L5    | 0.001       | 0.001 | 0.005 |
| スタティック<br>3級1周波 (200m)   | L5    | 0.003       | 0.002 | 0.005 |
| スタティック<br>4級1周波 (30m)    | L5    | 0.002       | 0.001 | 0.002 |
| 短縮スタティック<br>3級1周波 (200m) | L5    | 0.004       | 0.002 | 0.008 |
| キネマティック<br>3級1周波 (200m)  | L5    | 0.004       | 0.001 | 0.004 |
| RTK<br>3級1周波 (200m)      | L5    | 0.008       | 0.003 | 0.001 |

試験観測は Galileo が 1 機以上観測できる時間帯に行い、GPS BLOCK IIF、QZSS 及び Galileo を用いて解析を行った。なお、Galileo は他の衛星系と統合処理を行っている。表-4 の検証結果より、全ての観測方法において、GNSS 比較基線場の公称成果値との較差の絶対値の平均値が許容範囲内であることが確認できた。

上述の GNSS 比較基線場での試験観測は、各観測方法における標準的な点間距離を想定して行っているが、L5 は、L1 及び L2 に比べて周波数が低いことから、電離層の影響を受けやすいという懸念があることから、電子基準点データを用いて 1 周波測位の上限である点間距離約 10km の基線における検証も併せて行った。結果を以下に示す（表-5）。

表-5 電子基準点間（基線長 10km 前後）におけるスタティック 1 周波解析結果と、F3 解から計算した基線ベクトルとの較差の絶対値の平均

| 基線長    | F3からの絶対値_平均 |       |       |       |       |       |
|--------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | L5          |       |       | L1    |       |       |
|        | dN(m)       | dE(m) | dU(m) | dN(m) | dE(m) | dU(m) |
| 10.3km | 0.005       | 0.007 | 0.019 | 0.004 | 0.004 | 0.016 |
| 9.3km  | 0.007       | 0.005 | 0.010 | 0.005 | 0.004 | 0.005 |
| 9.6km  | 0.010       | 0.007 | 0.014 | 0.007 | 0.006 | 0.009 |

表-5 は、点間距離が 10km 前後の電子基準点間の基線における 1 周波解析の結果と、日々の座標値(以下「F3 解」という。)から計算した基線ベクトルの値の較差の絶対値の平均を求めた結果である。比較のため、L5 を用いた 1 周波解析の結果に加えて L1 を用いた 1 周波解析の結果についても示してある。

L5 を用いた 1 周波解析の結果は、L1 を用いた 1 周波解析の結果と比べると F3 解との較差が大きく、各日間のバラつきも大きいことが分かった。これは、L5 を発信する衛星の数が少ないことに加えて、L5 が L1 に比べて電離層の影響を受けやすいことに起因すると考えられる。

L5 を用いた 1 周波解析が L1 を用いた 1 周波解析に比べて電離層の影響を受けやすいと考えられること、L5 を発信している衛星は L1 も発信しているため同じ衛星を用いて L1 の 1 周波解析が可能であり、L5 の 1 周波解析の必要性が低いことから、L5 を用いた 1 周波解析についてはマニュアル案への規定を見送った。L1 及び L5 を用いた 2 周波解析については、表-4 の結果から精度に問題ないことが確認されており、Galileo を用いる測量において 2 周波解析を行う必要性もあることから、本マニュアル案に規定した。

3.3.2 L5 を用いた 3 周波解析

L1、L2 及び L5 を用いた 3 周波解析は L1 及び L2 を用いた 2 周波解析の拡張として規定するため、1 級基準点測量で基線長が 10km 以上の場合に適用される観測方法のみにおいて検証した（表-6）。

表-6 基線場（基線長約 11.7km）における従来の 2 周波解析(L1+L2)と L5 を加えた 3 周波解析(L1+L2+L5)の比較結果

| スタティック<br>i級複周波 (11.7km)        | 観測日時               | L1+L2  |        |        | L1+L2+L5 |        |        |
|---------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|
|                                 |                    | dN(m)  | dE(m)  | dU(m)  | dN(m)    | dE(m)  | dU(m)  |
| Trimble-Trimble<br>(No.13-No.1) | 9月8日<br>2:00~4:00  | -0.010 | 0.000  | 0.022  | -0.009   | -0.002 | 0.019  |
|                                 | 9月10日<br>1:00~3:00 | 0.004  | -0.002 | 0.002  | 0.004    | -0.002 | -0.002 |
|                                 | 9月11日<br>1:00~3:00 | 0.003  | -0.003 | 0.028  | 0.003    | -0.002 | 0.023  |
|                                 | 9月14日<br>1:20~3:20 | 0.011  | 0.002  | 0.022  | 0.012    | 0.002  | 0.020  |
|                                 | 9月15日<br>1:00~3:00 | -0.002 | -0.003 | 0.025  | -0.001   | -0.003 | 0.023  |
|                                 | 9月16日<br>1:00~3:00 | 0.006  | 0.013  | -0.013 | 0.007    | 0.009  | -0.015 |
|                                 | 9月17日<br>1:00~3:00 | 0.004  | 0.006  | -0.007 | 0.005    | 0.004  | -0.003 |

試験観測は GPS BLOCK IIF 及び QZSS が合計 4 機以上観測される時間帯に実施した。また解析には GPS BLOCK IIF 及び QZSS を用いた。いずれの解析結果も許容範囲内におさまっていること、L1、L2 及び L5 を用いた 3 周波解析は、従来の L1 及び L2 を用いた 2 周波解析と同等の精度が得られることを

確認できた。

さらに解の収束に要する時間を確認するため、基線長約 10km 前後の基線において解析時間 120 分で得られた座標値との差の RMS を解析時間毎に整理した (表-7 及び図-6)。

表-7 GNSS 比較基線場 (基線長約 11.7km) における L5 を加えた 3 周波解析 (L1+L2+L5) の解の収束状況。

| 解析時間 | 観測時間120分での座標値からの差の絶対値_rms |       |       |
|------|---------------------------|-------|-------|
|      | dN(m)                     | dE(m) | dU(m) |
| 120分 | 0.000                     | 0.000 | 0.000 |
| 110分 | 0.001                     | 0.001 | 0.007 |
| 100分 | 0.002                     | 0.002 | 0.010 |
| 90分  | 0.002                     | 0.003 | 0.010 |
| 80分  | 0.005                     | 0.005 | 0.012 |
| 70分  | 0.006                     | 0.006 | 0.016 |
| 60分  | 0.013                     | 0.005 | 0.060 |

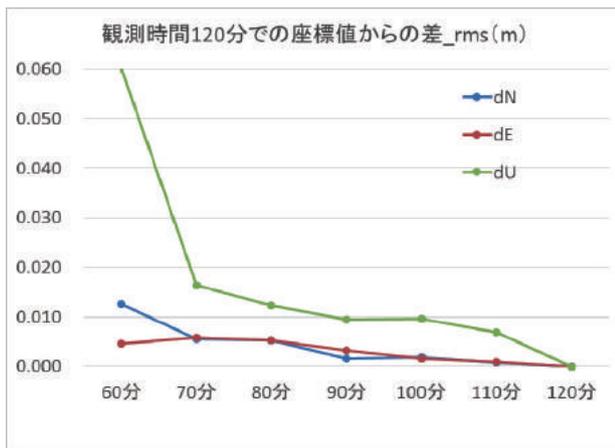


図-6 GNSS 比較基線場 (基線長約 11.7km) における L5 を加えた 3 周波解析 (L1+L2+L5) の解の収束状況。

表-7 及び図-6 の結果から、L1、L2 及び L5 を用いた 3 周波解析により得られる座標値は、解析時間 90 分以上であれば解析時間 120 分で得られる座標値との差が各成分 1cm 未満となることが確認できた。

L1、L2 及び L5 を用いた 3 周波解析については、L1 及び L2 を用いた 2 周波解析と同等の精度を得られることに加え、解の収束に要する時間が短いこと、標準的な観測時間を 90 分以上として本マニュアル案に規定した。

### 3.4 GNSS の利用について

現行の準則には、GPS と GLONASS の統合処理や、GLONASS 単独での利用については規定されてい

いが、現在 GLONASS は 24 機が運用可能となっているため、それらの公共測量における利用可能性について検討を行った。なお、GLONASS の信号を処理する場合に問題となる GLONASS 受信機チャンネル間バイアス (Inter Frequency Bias. 以下「IFB」という。) は市販のソフトウェアを用いる場合は自動的に補正されるが、検証に用いた GSILIB には自動補正機能がないため、あらかじめ受信機の組み合わせ毎に推定しておいた IFB を用いて基線解析を行った。

#### 3.4.1 GPS と GLONASS の組み合わせ (統合処理)

GPS-GLONASS 間で統合処理を行った場合の検証結果を以下に示す (表-8)。なお、異機種受信機間で統合処理を行う場合は ISB の補正が必要になるが、GPS-GLONASS 間においては、ISB は受信機再起動により変動するなど受信機の組み合わせ毎の ISB の値が一定ではなく、変動の要因も不明である。このため本試験観測においては ISB が受信機再起動により変動しないことが確認されている受信機のみを用いて観測したデータの統合処理を行った。

表-8 GPS と GLONASS 間の統合処理を行った場合の検証結果

| 観測方法                     | 周波数   | 成果からの絶対値_平均 |       |       |
|--------------------------|-------|-------------|-------|-------|
|                          |       | dN(m)       | dE(m) | dU(m) |
| スタティック<br>1級2周波 (11.7km) | L1+L2 | 0.008       | 0.003 | 0.023 |
| スタティック<br>1級1周波 (1km)    | L1    | 0.002       | 0.003 | 0.005 |
| スタティック<br>2級1周波 (500m)   | L1    | 0.002       | 0.001 | 0.003 |
| スタティック<br>3級1周波 (200m)   | L1    | 0.002       | 0.001 | 0.003 |
| スタティック<br>4級1周波 (30m)    | L1    | 0.002       | 0.001 | 0.003 |
| 短縮スタティック<br>3級1周波 (200m) | L1    | 0.002       | 0.001 | 0.004 |
| キネマティック<br>3級1周波 (200m)  | L1    | 0.002       | 0.001 | 0.005 |
| RTK<br>3級1周波 (200m)      | L1    | 0.002       | 0.001 | 0.005 |

解析は GPS と GLONASS を用いて行った。表-8 の検証結果より、全ての観測方法において、GNSS 比較基線場の公称成果値との較差の絶対値の平均値が許容範囲内であることが確認できた。しかし ISB が受信機再起動により変動する要因が不明確であることから、本マニュアル案で GPS-GLONASS 間の統合処理について規定することは見送った。

#### 3.4.2 GLONASS の単独利用について

GLONASS を単独で使用した場合について、公共測量での利用を想定し、各観測方法における標準的な点間距離で検証を行った結果を以下に示す (表-9)。

表-9 GLONASS を単独で利用した場合の検証結果

| 観測方法                     | 周波数   | 成果からの絶対値_平均 |       |       |
|--------------------------|-------|-------------|-------|-------|
|                          |       | dN(m)       | dE(m) | dU(m) |
| スタティック<br>1級2周波 (11.7km) | L1+L2 | 0.009       | 0.005 | 0.016 |
| スタティック<br>1級1周波 (1km)    | L1    | 0.002       | 0.004 | 0.004 |
| スタティック<br>2級1周波 (500m)   | L1    | 0.000       | 0.001 | 0.010 |
| スタティック<br>3級1周波 (200m)   | L1    | 0.001       | 0.000 | 0.007 |
| スタティック<br>4級1周波 (30m)    | L1    | 0.002       | 0.001 | 0.005 |
| 短縮スタティック<br>3級1周波 (200m) | L1    | 0.002       | 0.001 | 0.006 |
| キネマティック<br>3級1周波 (200m)  | L1    | 0.003       | 0.001 | 0.010 |
| RTK<br>3級1周波 (200m)      | L1    | 0.005       | 0.002 | 0.014 |

解析は GLONASS のみを用いて行った。表-9 の検証結果より、全ての観測方法において、GNSS 比較基線場の公称成果値との較差の絶対値の平均値が許容範囲内であることが確認できた。

さらに表-9 の検証に加えて、電子基準点データを用いて 1 周波測位の上限である点間距離約 10km の基線における検証も併せて行った (表-10)。

表-10 電子基準点間 (基線長 10km 前後) における GLONASS を用いたスタティック 1 周波解析結果と、F3 解から計算した基線ベクトルとの較差の絶対値の平均

| 基線長    | F3からの絶対値_平均 |       |       |        |       |       |
|--------|-------------|-------|-------|--------|-------|-------|
|        | GLONASS L1  |       |       | GPS L1 |       |       |
|        | dN(m)       | dE(m) | dU(m) | dN(m)  | dE(m) | dU(m) |
| 10.3km | 0.001       | 0.002 | 0.006 | 0.001  | 0.002 | 0.009 |
| 9.3km  | 0.004       | 0.003 | 0.004 | 0.004  | 0.004 | 0.002 |
| 9.6km  | 0.010       | 0.008 | 0.007 | 0.007  | 0.007 | 0.009 |

表-10 は、点間距離が 10km 前後の電子基準点間の基線における GLONASS を用いた 1 周波解析の結果と、F3 解から計算した基線ベクトルの値の較差の絶対値の平均を求めた結果である。比較のため、GLONASS を用いた 1 周波解析の結果に加えて GPS を用いた 1 周波解析の結果についても示してある。結果は全て許容範囲内であり、GLONASS を用いた 1 周波解析と GPS を用いた 1 周波解析の精度に差がないことが確認できた。

表-9 及び表-10 の結果から、GLONASS の単独利用について精度に問題ないことが確認されたため、本マニュアル案に規定した。

#### 4. まとめ

国土地理院では、平成 23 年度から平成 26 年度までの国土交通省総合技術開発プロジェクト「高度な国土管理のための複数の衛星測位システム (マルチ GNSS) による高精度測位技術の開発」の研究成果や外部有識者による検討を踏まえ、GPS、GLONASS、Galileo 及び QZSS といった GNSS の信号を単独もしくは複数組み合わせる用いる測量により、新点である基準点の位置を定める作業方法を示したマルチ GNSS 測量マニュアル (案) を制定し、平成 27 年 5 月 29 日に施行・公開した。なお、その後日本の準天頂衛星システムを明示するため、平成 27 年 7 月 22 日に一部改正した。本マニュアル案では、Galileo の使用、L5 の使用に加えて異なる衛星系間で位相差をとる統合処理についても新たに規定している。本マニュアル案を活用することにより、ビル街等で使用可能な可視衛星数が増加することによる測量可能な場所や時間の拡大、新しい周波数帯の信号を利用することによる測量作業の効率化が実現すると期待される。また、本マニュアル案に基づくマルチ GNSS 測量の円滑な実施に資するため、本マニュアル案を使用する場合の手続きやマルチ GNSS 測量の技術的な解説に加え、本マニュアル案の条文に準則の条文を補完した「解説」も国土地理院ホームページで公開している。

今後は本マニュアル案に基づく実証作業を重ね、精度の検証やマニュアル案の普及に努めていく。

#### 謝辞

本マニュアル案の作成にあたっては、次の有識者から貴重な助言をいただいた (五十音順、平成 27 年 3 月 31 日現在) : 五百竹義勝氏 (電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会利用促進 WG 座長)、枝克夫氏 (全国測量設計業協会連合会技術委員会特別委員)、木寺幸司氏 (日本測量協会測量技術センター測地基準情報部部長代理)、久保信明准教授 (東京海洋大学海洋工学部)、小松崎弘道氏 (日本測量調査技術協会位置情報・応用計測部会副会長)、佐田達典教授 (日本大学理工学部交通システム工学科)、橋本靖彦氏 (日本測量機器工業会 GPS 測量機器部門会委員)、森下淳氏 (国土交通省大臣官房技術調査課課長補佐)。ここに記して感謝する。

(公開日 : 平成 27 年 9 月 1 日)

#### 参考文献

古屋智秋, 酒井和紀, 万所求, 辻宏道, 畑中雄樹, 宗包浩志, 川元智司 (2014) : GSILIB の開発, 国土地理

院時報, 125, 125-131.

国土地理院 (2014) : 高度な国土管理のための複数の衛星測位システム (マルチ GNSS) による高精度測位技術の開発, [http://www.gsi.go.jp/eiseisokuchi/gnss\\_main.html](http://www.gsi.go.jp/eiseisokuchi/gnss_main.html) (accessed 21 Jul. 2015).

国土地理院 (2015) : マルチ GNSS 測量マニュアル (案) —近代化 GPS, Galileo 等の活用— 及び同解説.

国土交通省 (2013) : 作業規程の準則 (平成 20 年国土交通省告示第 413 号[最終改正平成 25 年 3 月 29 日国土交通省告示第 286 号]).

Takasu, T. (2013): RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS positioning, <http://www.rtklib.com/rtklib.htm> (accessed 21 Jul. 2015).

## UAVによる空撮写真を用いた三次元モデリングソフトウェアの精度検証 Evaluation of the image-based modeling software using photographs taken from UAV

基本図情報部 早坂寿人・大野裕幸・大塚力・関谷洋史<sup>1</sup>・瀧繁幸  
National Mapping Department Hisato HAYASAKA, Hiroyuki OHNO,  
Tsutomu OTSUKA, Hiroshi SEKIYA, Shigeyuki TAKI

### 要 旨

マルチローター方式の無人航空機 (Unmanned Aerial Vehicle ; 以下「UAV」という。)を用いて、国営ひたち海浜公園において自律飛行による空中写真の撮影を行った。その後、撮影した写真から3種類の三次元モデリングソフトウェアを用いてそれぞれ三次元モデルを作成した。作成した三次元モデルの精度を確認するため、三次元モデルから作成したオルソ画像及び点群データと現地で観測した検証点データを用いて、各条件での精度を対比した。更に、得られた三次元モデルの視覚的評価を実施した。以上により、利用が進んでいる市販の3種類の三次元モデリングソフトウェアの精度検証を実施した。

### 1. はじめに

空中写真を撮影する手段としては、有人の航空機等がこれまで一般的であった。近年、地上画素寸法がより小さい空中写真を従来よりも低廉かつ簡便に撮影できる手段として、UAVが注目を集めている。特に災害対応においてUAVが撮影に用いられるようになりつつあり、例えば、飛田ほか(2014)が固定翼型のUAVを用いて西之島の空中写真を撮影し、拡大する島の面積や体積の算出を行っている。また、回転翼型のUAVでは、井上ほか(2014)が自然災害時の空撮及び三次元モデル、オルソ画像及び標高データ作成について考察を深めている。また、名草ほか(2015)は土砂災害のあったエリアでUAVから取得した写真と主点位置座標から地形モデルを作成して精度検証を行っている。災害発生直後に撮影を実施した事例としては、渡辺ほか(2015)による2014年8月豪雨による広島市の土砂災害時の空撮がある。

UAVで撮影した写真からのオルソ画像及び標高データの解析には、コンピュータビジョン由来の多視点幾何による撮影位置の推定と三次元形状の復元 (SfM : Structure from Motion 及び MVS : Multi-View Stereo) 等の技術を利用した三次元モデリングソフトウェアが使用されている。SfMやMVS等の技術を利用したソフトウェアで解析を行うと、撮影された複数の写真の内部標定要素及び外部標定要素を求めたのちに、三次元モデルの構築が行われる。作成された三次元モデルからは、オルソ画像や三次元点群データ (DSM) を作成することができる。

このような解析方法を用いて作成した三次元モデルについては、再現性に関する定性的な評価や、災害の発生状況の把握に資する精度検証は行われているが、UAVを測量に用いることを前提として精度検証した事例はあまり見られない。

そこで、市販のよく使われている3種類のソフトウェアで作成した三次元モデルの精度検証を行うこととした。精度検証にあたっては、ソフトウェアから作成される成果物であるオルソ画像を水平方向の精度検証に利用し、三次元点群データを高さ方向の精度検証に用いた。空中写真はマルチローター方式のUAVで撮影したものを使用し、カメラ設定や重複率を変更した複数条件下で三次元モデルの作成を行い、オルソ画像と三次元点群データを出力した。現地では基準点を取得して三次元モデルの作成に利用したほか、水平・高さ精度の検証のために検証点も取得してRMSE (平均二乗誤差) を算出する比較対象とした。また、3種類の三次元モデリングソフトウェアで作成した三次元モデルについて、建物に注目した視覚的な再現性の評価やモデルの断面の形状について比較を行うとともに、三次元モデルの構造物上の特徴点の座標について現地の同じ構造物で取得した検証点との比較も行った。これらの検討内容について、現地撮影に関する諸事項や三次元モデル作成及び精度検証等から得られた知見を報告する。

### 2. UAVによる空中写真撮影

#### 2.1 撮影に使用したUAVについて

空中写真の撮影には、エンルート社製UAVのZionPro800 (写真-1, 表-1) を使用した。本撮影に使用した機種のようなマルチローター方式のUAVは、自動車等で機体の運搬がしやすく、離発着に広い敷地を要しないなど運用性が高い。動力は電気モーター式であり、エンジン式のUAVと比べて相対的にメンテナンスが容易であり、導入コストも低いため、様々な空撮シーンで活用が進んでいる。一方、航行速度・航続距離 (バッテリーの容量) の点から範囲撮影には限界がある。また、機種によっては購入してからすぐにフライトさせることが可能であることから、安全管理が重要な課題となっている。



写真-1 撮影に使用した UAV  
(エンルート社製 ZionPro800)

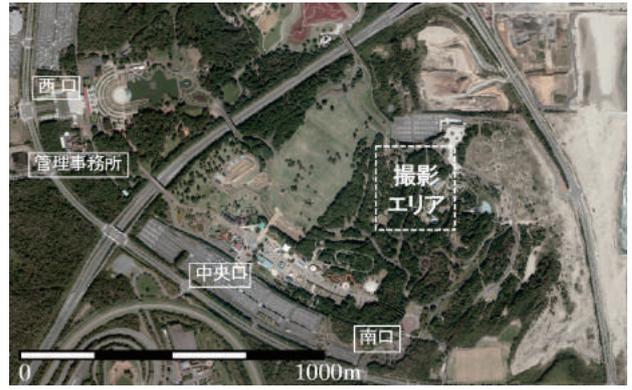


図-2 撮影位置図 (国営ひたち海浜公園)

表-1 UAV 諸元

| 項目     | 概要             |
|--------|----------------|
| 機体形式   | マルチローター方式(6軸)  |
| 動力     | モーター式(バッテリー駆動) |
| 大きさ    | モーター間隔80cm     |
| 飛行時間/回 | 10~13分         |
| 飛行高度   | 計画高度130m       |
| 操作     | プログラミング/手動     |

2.2 撮影場所の選定

撮影は、関東地方整備局国営常陸海浜公園事務所の協力を得て、休園である平成26年12月15日(月)に国営ひたち海浜公園(茨城県ひたちなか市:図-1)にて撮影を行った。撮影場所の選定にあたっては安全性を最も重視し、UAVの飛行エリアに第三者が近接しない環境であること、航空法による管制を受けない地域であること、無線機器を扱う関係上、電波環境が良好であることを条件とした。撮影範囲は図-2の撮影エリア(約250m×200m)とした。



図-1 撮影場所 (茨城県ひたちなか市)

2.3 カメラ

カメラは、できるだけ高解像度の空中写真を撮影するため、ミラーレス一眼レフカメラのSONY α6000(表-2)をジンバルで装着した。レンズは広範囲を撮影するため、単焦点の焦点距離16mm(35mm換算で24mm)と35mm(35mm換算で52.5mm)のものを使用し、撮影は2秒間隔の自動撮影で実施した。また、マニュアルフォーカス(以下「MF」という。)でピントを無限遠に設定しての撮影とオートフォーカス(以下「AF」という。)を使用した撮影を行った。

表-2 カメラ諸元

| 項目    | 概要              |
|-------|-----------------|
| 機種名   | SONY α6000      |
| 焦点距離  | 16mm/35mm       |
| 総重量   | 約350g           |
| 大きさ   | 約120×70×50mm    |
| 画素数   | 6000pix×4000pix |
| シャッター | 速度固定・リモート制御     |

2.4 撮影条件と撮影計画

対地高度は航空法で定める国土交通大臣への通報を要しない130mとした。対地高度130m時の地上画素寸法は16mmレンズ使用時で約32mm、35mmレンズ使用時で約15mmである。撮影計画は、SfMやMVSといった多視点幾何による三次元モデル作成を行うことから、重複率を十分確保するためオーバーラップ率90%、サイドラップ率60%とし、東西南北方向の垂直撮影及び斜め撮影を行うこととした。斜め撮影に関してはカメラを俯角45度に設定した。参考として、16mmレンズで南北方向に飛行して撮影を計画した場合の撮影コースと撮影位置を示したものが図-3である。



図-3 撮影位置（緑点；番号は撮影番号）

2.5 撮影作業と安全管理

実際の撮影作業にあたっては、運航中のトラブルへの対応手順書の作成、運行開始前の機材チェック、天候確認（雨・雪・霧のおそれがなく、風速5m以下）、飛行計測区域内への立ち入り制限（見張り員の配置）、飛行中の監視、フライト後の機材チェックなどを実施し、安全確保に万全を期した。安全管理を徹底するには、事前の計画が非常に重要である。特に飛行計画区域への立ち入り制限を行い、第三者の進入を排して安全を確保するためには、見張り員を計画的に配置することや、飛行計画区域と UAV の対地高度に応じた緩衝エリアを設けることが必要であり、現地の図面と予察が求められる。また、当日は見張り員との円滑な連絡のために無線機器（トランシーバ）を使用した。

撮影に際しては、UAVの1フライト毎に撮影データを取り出して、目視で写真の確認を行いながら作業を行った。今回使用した三次元モデリングソフトウェアの一つのPix4Dmapperには簡易レポートを短時間で作成できる機能があり、写真の重複状況（図-4）、簡易オルソ及び標高データ（図-5）のイメージが確認でき、現場でのデータ確認に利便性が高いため、フライト毎に確認を行った。

撮影作業の冒頭に実施したMF無限遠撮影（表-3、番号1,2）後に写真の目視確認をしたところ、写真が不鮮明であることが確認された（図-6）。AFによる焦点距離の変化の影響が後続の精度検証に影響を与えることが想起されるものの、写真の不鮮明さから起きる判読精度低下の影響を考慮して、以後はAFでの撮影を行った（表-3）。

なお、UAVと地上局との通信を行うテレメトリー（飛行中の機器情報や映像の送信などを行うもの）が頻りに途切れたため、アンテナ交換などの手当は行ったものの、最後まで原因が判明しなかった。また、撮影時は冬季で冷え込む時期であったことからバッテリーの残量管理には注意を払って撮影していたが、観測中の電圧異常を検出し、急遽帰還させるフライトがあった。

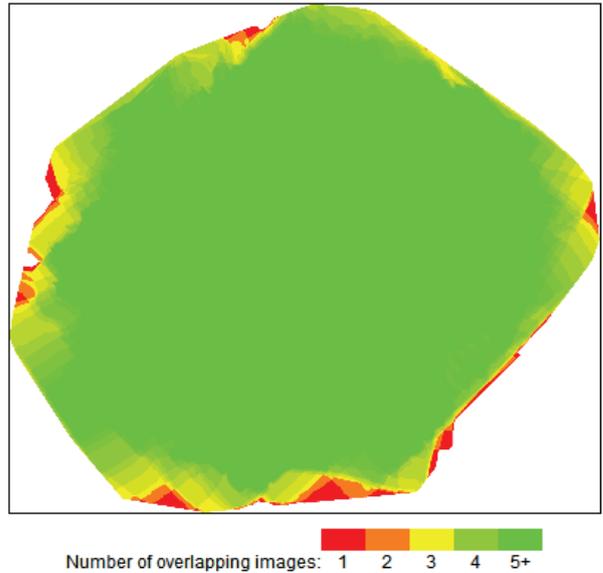


図-4 写真の重複状況

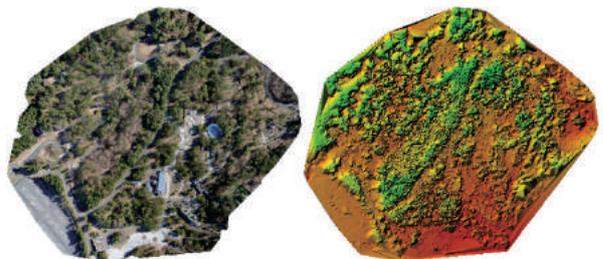


図-5 簡易オルソ（左）及び標高データ（右）

表-3 撮影写真一覧

| 番号 | 撮影方向   | MF/AF | 焦点距離 | 測線 | 枚数  |
|----|--------|-------|------|----|-----|
| 1  | 垂直     | MF    | 16mm | 南北 | 71  |
| 2  | 垂直     | MF    | 16mm | 東西 | 54  |
| 3  | 垂直     | AF    | 16mm | 南北 | 69  |
| 4  | 垂直     | AF    | 35mm | 南北 | 214 |
| 5  | 垂直     | AF    | 35mm | 東西 | 128 |
| 6  | 斜め(北向) | AF    | 16mm | 南北 | 72  |
| 7  | 斜め(南向) | AF    | 16mm | 南北 | 72  |
| 8  | 斜め(東向) | AF    | 16mm | 南北 | 72  |
| 9  | 斜め(西向) | AF    | 16mm | 南北 | 75  |



図-6 MF と AF の写真対比

### 3. 精度検証

#### 3.1 三次元モデルの作成

水平精度・高さ精度の検証を行うにあたり、まず三次元モデルの作成を行った。三次元モデルは、三次元モデリングソフトウェア3種類、カメラのフォーカス方式2通り及び内部標定要素の与え方3種類の3つの条件を設定し、各条件を組み合わせた合計18種類の条件の下でそれぞれ作成した。使用した三次元モデリングソフトウェアは、表-4に示す3種類である。カメラのフォーカス方式は、MFとAFの違いを検証できるように表-3の番号1（以下「M16」という。）及び番号3（以下「A16」という。）の写真を使用した。

表-4 使用した三次元モデリングソフトウェア

| メーカー    | 名称             | バージョン   |
|---------|----------------|---|
| Acute3D | Smart3DCapture | Ultimate edition<br>v3.1.0.3700                 |
| Pix4D   | Pix4Dmapper    | Revision 1.2.88                                 |
| AgiSoft | PhotoScan      | Professional Edition<br>Version 1.0.4 build1847 |

写真測量において内部標定要素は精度に大きな影響を与える要素であるから、内部標定要素に関して次の3条件を設定した。

#### 1) Fix(jas)

(公社)日本測量協会のカメラキャリブレーションサービスによって検定を受けた値（焦点距離、主点位置のズレ、放射方向歪み、接線方向歪み；以下「カメラ検定結果」という。）を固定値として使用して解析したもの。

#### 2) nom

カメラの公称値(焦点距離)を初期値として与え、三次元モデリングソフトウェアのセルフキャリブレーションによる値の補正を行ったもの。

#### 3) jas

カメラ検定結果を初期値として与え、三次元モデリングソフトウェアのセルフキャリブレーションによる値の補正を行ったもの。

一方、本検証の機材ではカメラの撮影位置と撮影方向を示す外部標定要素6成分は取得できないため、ソフトウェアのSfMによる推定結果を用いた。その他の設定に関してはソフトウェアの推奨設定を用いた。

### 3.2 基準点と検証点

三次元モデルに地理座標を与えるため、基準点を撮影区域の四隅及び中心に設置した(図-7)。また、三次元モデルの精度検証に用いるため、作業地域全体に均等になるように18点の検証点を配置した。基準点及び検証点に設置した対空標識を写真-2に示す。基準点及び検証点の観測は、ネットワーク型RTK法(VRS方式)による単点観測法及びVRS方式による観測点からトータルステーションによる放射法を用いて行った。

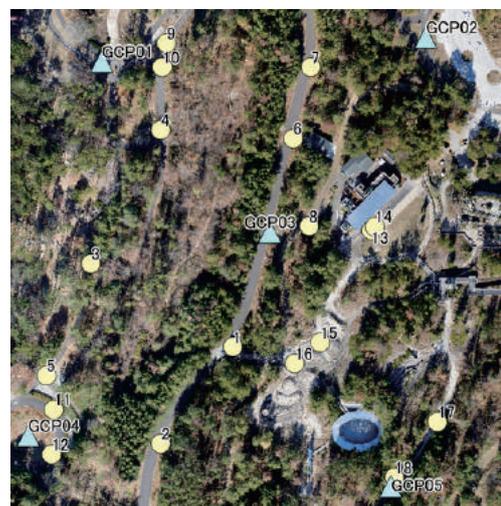


図-7 基準点(▲;5点)及び検証点(●;18点)の配置図



写真-2 使用した対空標識

### 3.3 オルソ画像による水平精度

水平精度の検証には、各条件で作成した三次元モデルから出力したオルソ画像を使用した。水平精度の検証方法は、3.2で取得した検証点座標を真値とみなして、オルソ画像から読み取った検証点座標との差分を取り、RMSEを求める方法とした。その結果を図-8に示す。

図-8によると、ソフトウェアを問わずカメラの内部標定要素を Fix (jas) とした場合の精度が他のケースと比べて一律に悪い結果となった。諸条件による精度の違いを確認するため、Fix (jas) を除いた値(図-9)を確認すると、おおむね RMSE が 5cm 前後となっている。M16 が A16 と比べて精度が悪く出ているのは、MF では焦点が合わず不鮮明な写真(図-6)となったことが実際に判読する上で障害となったことが要因として考えられる。また、本検証では nom と jas の間での有意な違いは確認できなかった。

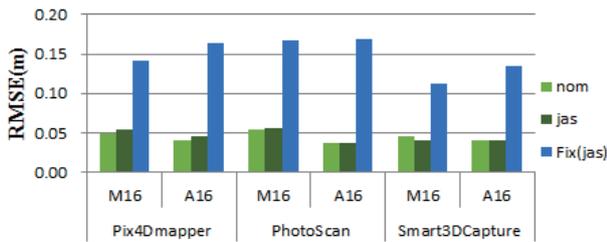


図-8 水平精度

M16 : 16mm レンズ・マニュアルフォーカス  
A16 : 16mm レンズ・オートフォーカス

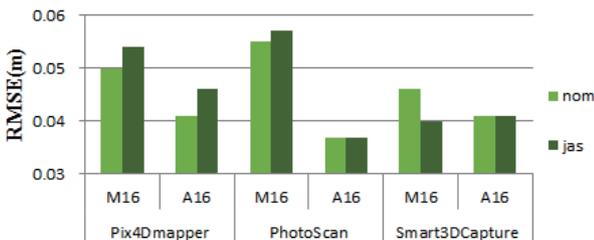


図-9 Fix (jas) を除いた水平精度

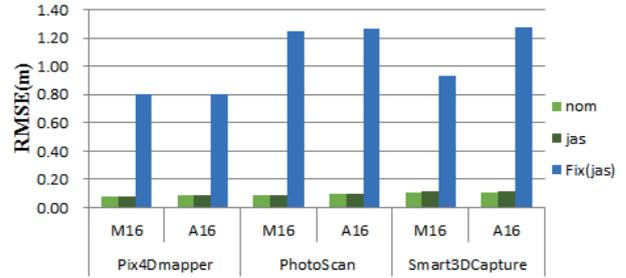


図-10 高さ精度

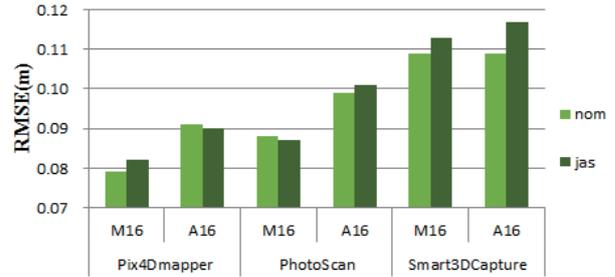


図-11 Fix (jas) を除いた高さ精度

### 3.4 点群を用いた高さ精度

次に高さ精度の検証には、各条件で作成した三次元モデルから出力した点群データを使用した。高さ精度の検証方法は、検証点の測量結果による高さを真値とみなし、検証点の周囲 50cm 以内に発生した三次元点群データの高さを水平距離による加重平均した値(以下「加重平均値」という。)を算出して真値との差を算出し、RMSEを求める方法とした。

図-10を確認すると、Fix (jas) が水平精度の検証時以上に著しく悪い結果となったため、Fix (jas) を除いた図-11において比較を行った。何れのソフトウェアにおいてもセルフキャリブレーションを行った結果については RMSE が 12cm 以下の精度となった。各ソフトウェアを確認すると、AF が MF と比べて精度が若干低下しているように見受けられるほか、他のソフトウェアと比べ Smart3DCapture の精度が低い傾向が見受けられるが、有意な差と言えるかどうかはこの結果のみからは判断できない。

これらのことから、水平・高さ双方でセルフキャリブレーションを行うことが精度を高めるために効果的であることが各ソフトウェアで確認された。そのため、以降の検証ではセルフキャリブレーションを行った結果を用いることとした。また、本検証では、撮影した写真の多くに基準点が含まれているという、セルフキャリブレーションを行うには好条件と考えられる撮影条件であったためか、カメラ検定結果を初期値に与えずともほぼ同様の精度が得られていることから、カメラ公称値を用いた nom を使用して比較することとした。AF と MF については、ほぼ同様の傾向を示していることから判読性の良い

AF を用いることとした。

### 3.5 重複率の変化が精度に与える影響

3.3 及び 3.4 の結果から、A16 の写真で nom より作成した三次元モデルで重複率の変化が精度に与える影響に関する評価を行った。重複率の減少による影響を考慮するため、計画したオーバーラップ 90%・サイドラップ 60%に加え、オーバーラップ 70%・サイドラップ 20%及びオーバーラップ 60%・サイドラップ 20%を追加して、精度検証を実施した。

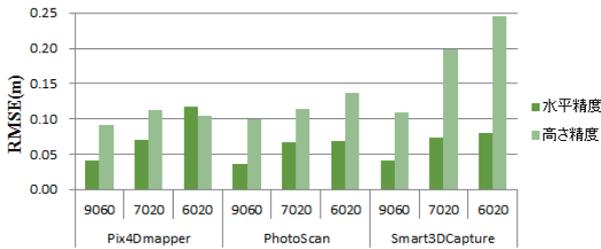


図-12 重複率の変化による精度比較  
9060 : オーバーラップ 90%・サイドラップ 60%  
7020, 6020 についても同様。

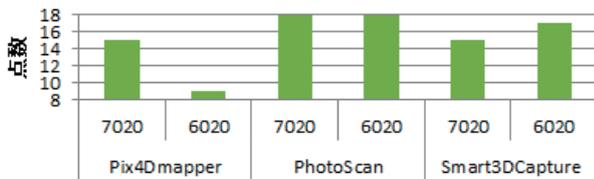


図-13 点群の発生に成功した検証点数

図-12 から、各ソフトウェアにより程度の差はあるものの、重複率の減少に伴って、水平・高さともに精度が落ちる傾向が確認できる。なお、重複率が低下するとマッチングの不良によって検証点の周囲に点群が発生しない場合があり、加重平均値を求められない点があったため、点群の発生に成功した検証点の数は一定とはならなかった(図-13)。Pix4Dmapper は重複率の減少に伴い点群の発生に成功した検証点数の低下が顕著である一方、PhotoScan は 18 点全てで発生するなど、ソフトウェアごとに特徴が見られる結果となった。

参考に Pix4Dmapper の簡易レポート(図-14)を確認すると、オーバーラップ率の低下に伴い、オルソ・DSM の作成範囲が狭まっているほか、DSM が粗くなっていることが読み取れる。写真の重複をみると、オーバーラップ 60%サイドラップ 20%において、画像下部においてマッチング不良が起きていることが確認できる。

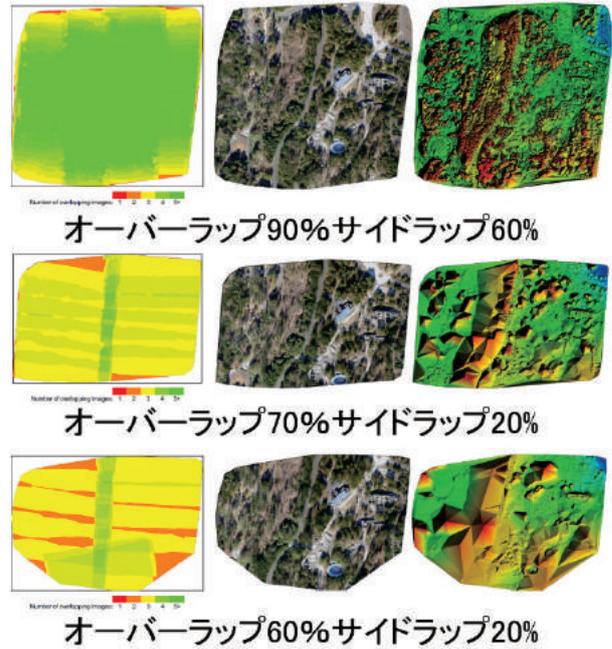


図-14 Pix4Dmapper での重複率の変化による影響  
(左から写真の重複, 簡易オルソ, DSM)

### 3.6 焦点距離の異なるレンズによる精度比較

UAV による空中写真撮影は、撮影効率の観点から広範囲の撮影が可能なレンズの使用頻度が高くなるのが想定される。そこで、焦点距離の異なるレンズでの精度変化を確認するため、焦点距離 35mm のレンズ(35mm 換算で 52.5mm)での撮影を同じ撮影高度で実施し(表-3 の番号 4; 以下「A35」という。), 精度比較を実施した。三次元モデル作成の条件は、引き続き nom で行っている。焦点距離 35mm は 16mm のレンズに対しておよそ 2 倍のため、地上画素寸法は約 15mm とおよそ半分である(写真-3)。

図-15 から A35 の水平方向の RMSE は A16 に対して半分程度を示しているため、地上画素寸法に準じた結果と考えられる。一方、高さ精度については水平精度のような向上は見られなかった。撮影高度は同等であることから、写真測量に準じて考えると、A35 の基線高度比が A16 と比べ半分程度となっていることが精度向上を妨げている要因と考えられる。

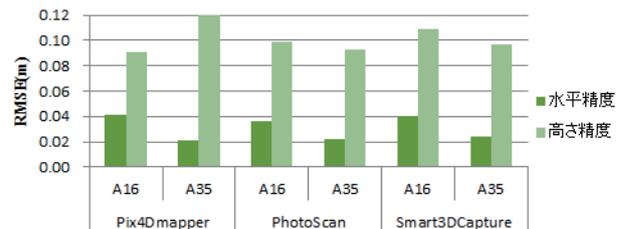


図-15 レンズの種類による変化



写真-3 写真の対比  
(上：16mm レンズ 下：35mm レンズ)

### 3.7 斜め撮影を追加した場合の精度

三次元モデルの作成において、垂直写真に壁面などの再現性を高めるために撮影した斜め写真を加えた三次元モデルと、垂直写真のみで生成された三次元モデルとの差異について評価を行った。図-15において、「垂直のみ」とはA16を使用したもの、「斜め+」とは、A16に加えて俯角45度の斜め撮影（表-3の番号6～9）を使用したものである。図-16を確認すると、斜め撮影を加えたものは精度が若干低下していることが確認された。地上画素寸法が垂直に比べて粗い斜め撮影の写真を追加していることや、撮影範囲が限定されていたことから斜め撮影では十分に基準点が写っていないことなどの影響が考えられる。

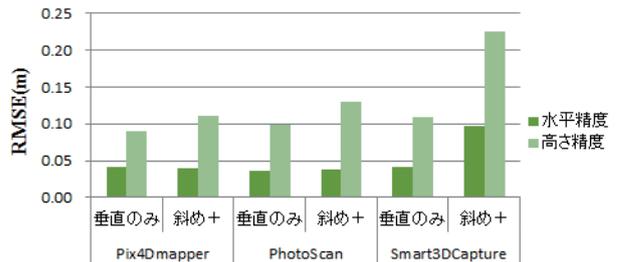


図-16 斜め写真を加えたモデルとの比較



図-17 三次元モデルの比較

## 4. 三次元モデルの評価

### 4.1 各ソフトウェアにおける視覚的な評価

三次元モデルの再現性を視覚的に評価するために、図-17の建物A及び建物Bを対象として比較を行った。三次元モデルの作成では前述の3種類のソフトウェアを用いて、3.7で作成した「斜め+」のモデルを使用した。再現性は処理設定にも依存すると思われるが、ここでは他のソフトウェアとの比較のため、標準的な設定の処理結果で評価した。図-17が視覚的な評価の対象とした建物の斜め写真と三次元モデルである。各三次元モデルにおいてほぼ同様の位置から鳥瞰表示している。

Smart3DCaptureによるモデルは、看板や建物Aの柱などの壁面のテクスチャも十分識別できることから、本検証の3種類のモデルの中では再現性が最も高い結果となった。

PhotoScanによるモデルは、建物は再現されていたが、テクスチャがぼやける結果となった。また、建物の屋根部分のエッジが正確に再現されておらず、Smart3DCaptureに比べて再現性が劣る結果となった。

Pix4Dmapperについては、ベータ版の機能を用いて三次元モデルの作成を試みたが、建物Aや樹木の側面に注目すると、柱や枝などが表現されていなかった。

### 4.2 斜め写真による再現性の変化

3.7と同様に、斜め写真による影響を確認するため、垂直写真のみで再現された三次元モデルと、斜め写真を加えて再現した三次元モデルの差異を確認した。ソフトウェアはモデルの再現性が最も良好なSmart3DCaptureを用いた。

図-18において建物Bの壁面を比較すると、垂直のみのものではテクスチャが伸ばされていて不鮮明なものが、斜め写真を含めたものでは斜め写真がテクスチャとして貼り付けられ、再現性が向上していることが確認できる。

### 4.3 断面図を用いた評価

三次元モデルの再現性について別の視覚的な観点から評価するため、建物Aの一部について、図-19及び図-20のように検証点を含む断面図を用いて再現性を確認した。図-19は各モデルから抽出した点群を用いて断面図を作成したものであり、図-20はテクスチャが貼り付けられる前の三次元モデルについて断面図を作成したものである。検証点については3.2に挙げたものの他に建物の角などを観測して取得している。図-19及び図-20における赤枠は断面のエリア、赤の点は検証点の位置を示している。ソフトウェアごとの傾向を見ると、PhotoScanでは建物のエッジが抽出されていないため、検証点との乖離が確認できる一方、Smart3DCaptureでは建物のエッジまで形状が再現されていることが明確に読み取れる。また、点群と三次元モデルを比べてみると、PhotoScanとSmart3DCaptureにおいて同様の形状を示している。Pix4Dmapperでは他のソフトウェアに比べ点群が分散しており、図-19の建物の断面を見ると、エッジが不明瞭であった。



図-18 斜め写真による再現性の比較

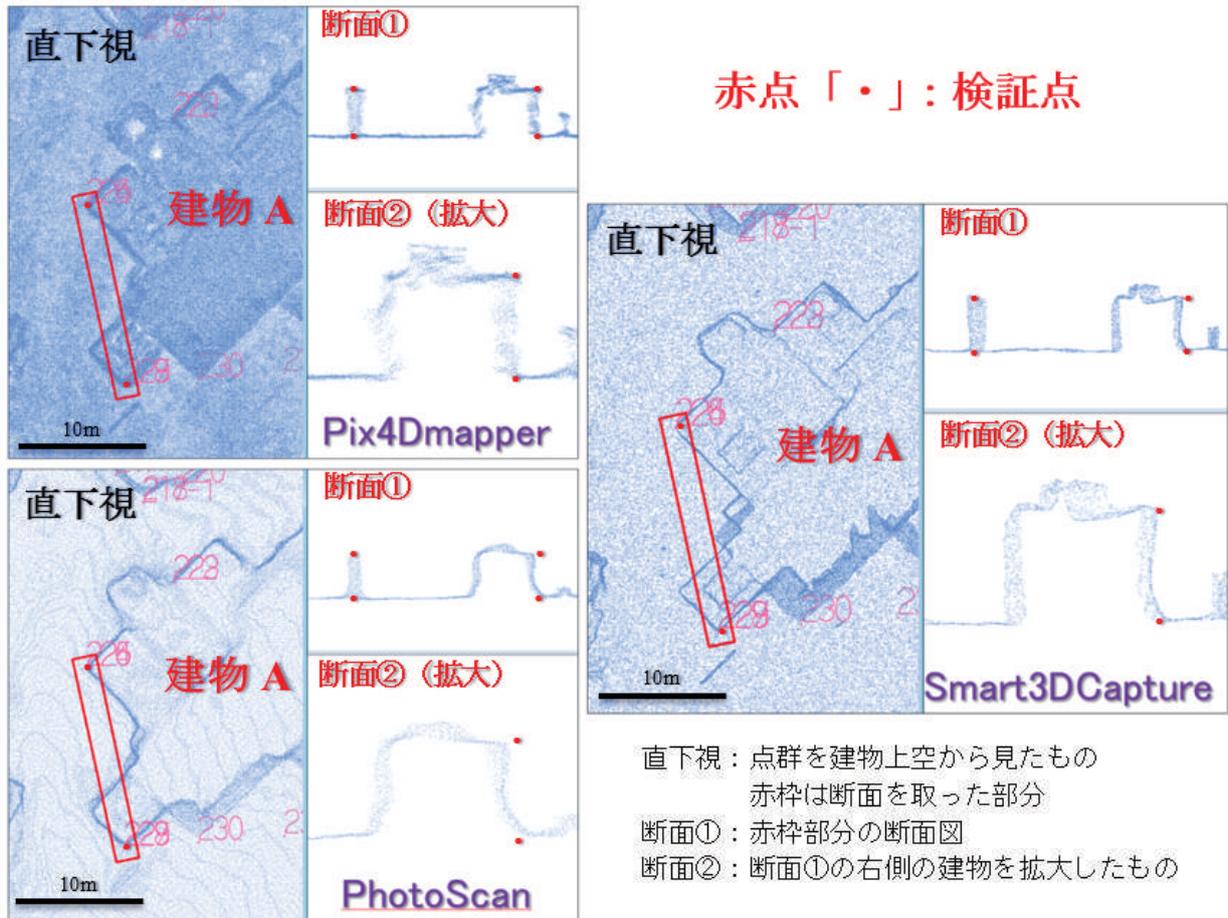


図-19 断面図（点群）による比較

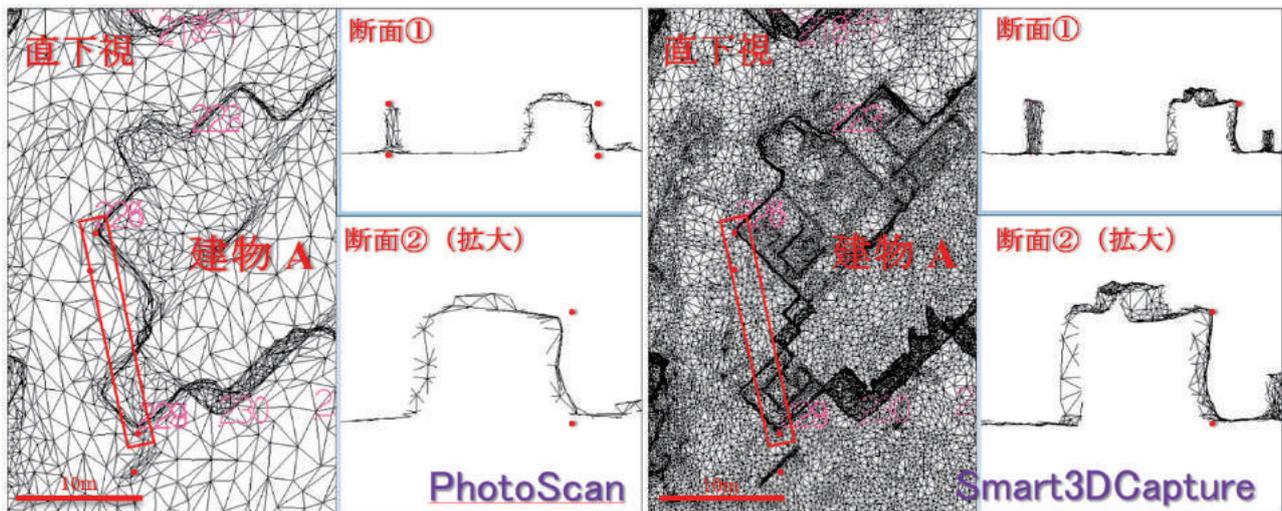


図-20 断面図（三次元モデル）による比較

#### 4.4 特徴点座標の計測

視覚的な再現性が良好な Smart3DCapture による斜め撮影を追加した三次元モデルを使用して、三次元モデルの中の特徴点(図-21)の座標の計測を行い、現地で観測した検証点座標との差(表-5)を算出して定量的な評価を行った。三次元モデル中の特徴点座標の計測には、Acute3D社の提供しているビュー

アを用いた。結果として、三次元モデル上での計測結果及び検証点の座標を用いて算出した誤差は、建物 A 上端と建物 C 屋根で水平位置が若干ずれているものの、3.3 及び 3.4 の精度検証の結果(セルフキャリブレーションを行ったもの)と大きく変わらない結果であった。



図-21 実写真上での特徴点の位置

表-5 計測した座標に対する誤差

| 計測対象  | 誤差(m)  |        |        |
|-------|--------|--------|--------|
|       | X      | Y      | H      |
| 建物A上端 | 0.004  | 0.12   | 0.061  |
| 建物A下部 | -0.033 | -0.028 | 0.113  |
| 建物C屋根 | -0.172 | -0.131 | -0.041 |
| 建物C床  | -0.05  | 0.036  | 0.152  |

## 5. まとめ

本研究では UAV により撮影した空中写真から、各ソフトウェアによって作成された三次元モデルの精度検証を行った。

その結果、内部標定要素について諸元値を固定した解析と比べ、セルフキャリブレーションを用いて諸元値を補正した解析が精度に優れる傾向を確認した。特に撮影区域内に5点ある基準点のうち少なくとも1点写っている写真の割合が十分高い場合は（精度確保する上で良好な条件の下では）セルフキャリブレーションに際してカメラ検定結果を用いず公称値を使用してもほぼ同等の精度が得られる結果となった。セルフキャリブレーションを用いた本検証の条件下では、地上画素寸法約32mmの写真を用

いて、RMSEが水平で4cm～5cm程度、高さで8cm～12cm程度という結果を得た。

また、解析に用いる写真の重複率が精度に影響を与えることが明らかとなったほか、焦点距離の異なるレンズでの比較で三次元モデリングソフトウェアにおいても基線高度比の影響が考えられる等、新たな知見を得ることができた。

三次元モデルの視覚的評価については、本検証時点では、Smart3DCaptureでエッジがよく抽出されていること（図-20）が確認でき、建物側面のテクスチャまで表現されていた（図-17）。各ソフトウェアはバージョンアップが頻繁に実施されており、性能の向上が日進月歩といえる状況であることから今後再現性や解析精度が向上していくことが期待される。

今後の課題として、災害時の UAV による空撮の活用などを想定すると、本検証のような好条件下で撮影・解析ができるとは考え難く、基準点が取得できない、もしくは取得できても数や精度に問題があるといった条件を想定した検討が必要と考える。また、この方式で作成したオルソ画像や三次元点群の精度は従来の空中写真測量の手法で作成した成果と比較して相対的に悪くはなく、測量に用いる手段として十分検討に値する精度を有していることから、今後、精度管理方法の検討を進め、基本測量、公共測量への導入に向けた調査検討を行っていく。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、撮影場所にご協力頂いた国営常陸海浜公園事務所に感謝の意を表します。

（公開日：平成27年9月16日）

## 参考文献

- 井上公，内山庄一郎，鈴木比奈子（2014）：自然災害調査研究のためのマルチコプター空撮技術，防災科学技術研究所研究報告 No. 81
- 名草一成，島田徹，桜井亘，酒井良，奥山悠木，富井隆春（2015）：2周波GPSシンクロ撮影システムを搭載したUAV撮影の精度検証，日本写真測量学会平成27年度年次学術講演会発表論文集，11-14.
- 飛田幹男，神谷泉，岩橋純子，中埜貴元，高桑紀之（2014）：無人航空機による西之島空中写真の撮影とその分析，国土地理院時報，125，115-124.
- 飛田幹男，神谷泉，中埜貴元，岩橋純子，大角光司，高桑紀之（2014）：無人機による西之島地形計測の高精度化，国土地理院時報，125，145-154.
- 内山庄一郎，井上公，鈴木比奈子（2014）：SfMを用いた三次元モデルの生成と災害調査への活用可能性に関する研究，防災科学技術研究所研究報告 No. 81
- 渡辺豊，福田信行（2015）：マルチコプターでの広島災害の適用，日本写真測量学会平成27年度年次学術講演会発表論文集，77-78.

## 過去の空中写真のタイル化 Generating tile-based dataset from old aerial photo data.

地理空間情報部 高桑紀之  
Geospatial Information Department  
Noriyuki TAKAKUWA

### 要 旨

国土地理院では、戦前から現在までの空中写真を保管し、公開している。このうち1974年以前に撮影された古いものについては、個々の写真を地図と重ねて見ることができず、撮影対象の位置などを特定することが難しかった。

そこで昨今の高度な画像処理技術を活用して、これらの写真を簡便且つ広範囲に接合及びタイル化し、地理院地図上に重ねて表示できる手法を検討した。

更に検討した手法を使って米軍が戦後撮影した空中写真（以下、「米軍写真」という。）について政令指定都市近辺（多くは中心部）をタイル化した。これにより、地理院地図上で既に公開されている1974年以降の写真と比較でき、時系列的に国土の変遷を見ることができるようになった。

今後は、陸地測量部時代の空中写真についても今回検討した手法を適用してタイル化し、過去の空中写真のタイルデータを拡充していく予定である。

### 1. はじめに

国土地理院は、約134万枚（平成27年9月8日現在）の戦前から現在までの空中写真を保管、公開している。特に1974年から1990年及び、2007年以降の国土地理院撮影の写真についてはタイル化され、地理院地図上で誰でも簡単に広範囲をシームレスに閲覧できるようになっている。しかしながら、これより古い空中写真についてはタイル化されておらず、写真一枚一枚を位置や方角を確認しながら閲覧するしかなかった。

一方、昨今のパノラマ撮影やUAV等の普及による写真の処理技術の汎用化に伴い、より簡便且つ広範囲に画像処理及びオルソ化が可能になってきている。そこで平成26年度にこれらの画像処理技術やオルソ化技術を活用して、タイル化されていない古い空中写真について、地図に重なるように幾何変換し、地理院地図上で閲覧できるようにタイル化する手法を検討した。

また検討した手法を使って、1945年から1950年の米軍写真についてタイル化し、政令指定都市近辺のタイルデータを地理院地図から平成27年3月に公開した。公開範囲を図-1に示す。

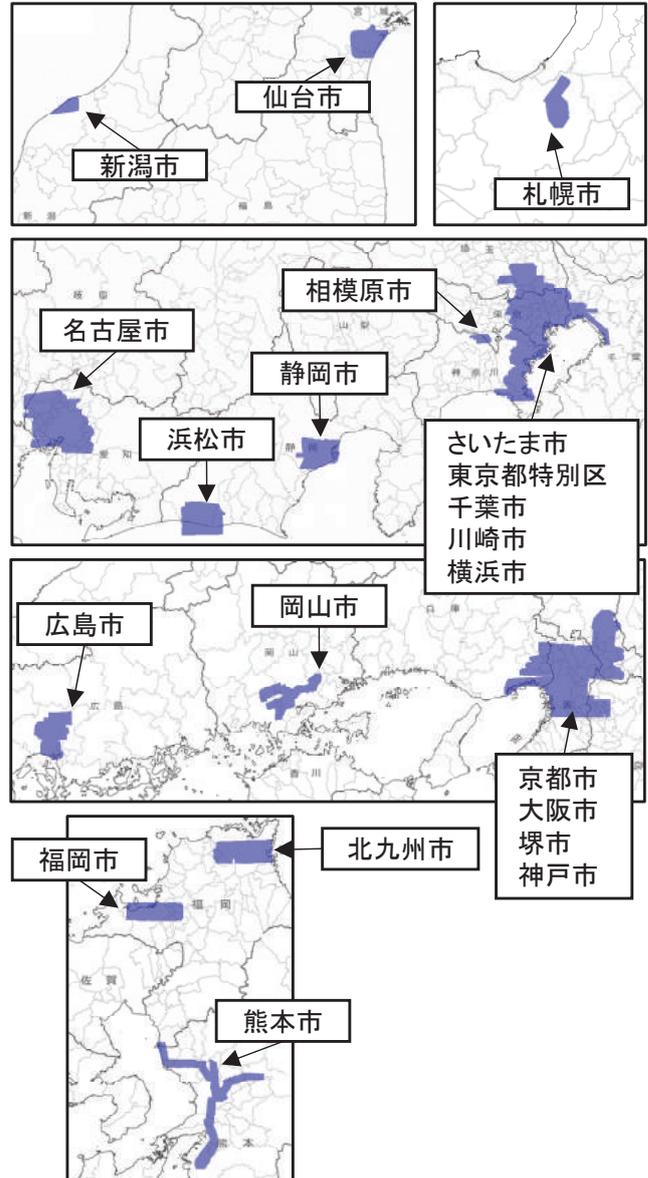


図-1 公開範囲（青色の部分）

図-2は、東京都千代田区霞が関付近の写真である。霞が関官庁部分は1948年3月29日撮影（コース番号：M871）、上端の皇居部分は1947年7月24日撮影（コース番号：M859）の写真を接合しモザイク化したものである。



図-2 震が関付近

今回の手法により、多くの米軍写真について広範囲にタイル化することができた。しかし米軍写真については撮影時期が古いことから、フィルムの劣化や撮影方法等の特有の問題により、一部についてはタイル化の際に試行錯誤が必要となるなど、多くの課題が判明した。以降では、検討した手法のほか、作業において直面した課題について説明する。

## 2. オルソ化

空中写真画像データを地図と重なるように幾何変換する作業において、最も労力のかかる作業は、空中写真画像データの画素と地図上の位置との対応点を決定する標定作業である。これは基本的に人手で行う必要があるため、この作業をいかに省力化できるかが効率的且つ効果的にタイル化の上で重要な点である。

オーバーラップがある空中写真画像データ一枚一枚を標定しては、明らかに無駄が多く、また起伏が多い場合は、同地点を示す多数の参照点を必要としてしまうため非常にコストがかかる。

そこで、バンドルブロック調整による広範囲のオルソモザイク画像を作成することにより、起伏による歪みもできる限り減らし、最終的な標定点を減らすことにした。

### 2.1 バンドルブロック調整ソフト

バンドルブロック調整ソフトは多数存在するが、今回は平成 26 年 3 月に UAV を使って撮影した西之島の空中写真のオルソモザイク画像を作成する際に

使われたスイス Pix4d 社製の「Pix4d mapper」というソフトウェア（以下、「pix4d」という）を利用した。

pix4d は、少しの設定と手順で簡単に複数の空中写真から強力な画像マッチングによりオルソモザイク化するソフトで、①内部・外部標定、②三次元点群の生成、③オルソモザイク画像及び DSM 画像データの生成の 3 ステップで、目的とするオルソモザイク画像を得ることができる。

pix4d を起動し、最初の①内部・外部標定を実行するためには、写真データ及び写真の主点情報（撮影地点の緯度、経度、高度）、フィルムサイズ、焦点距離等の情報が必要である。これらは「地図・空中写真閲覧システム」のデータベースから、必要な CSV 形式に書式を整えて入力した。内部・外部標定が完了すると、推定した各写真の撮影位置、回転 ( $\kappa$ ,  $\phi$ ,  $\omega$ ) などを得ることができ、ビジュアル的に GUI 上で確認できる (図-3)。

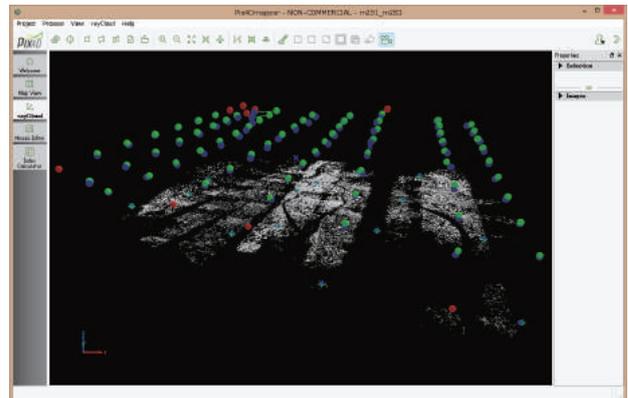


図-3 内部・外部標定の結果を表示

緑の点が各写真の初期の主点位置、青の点が推定した主点位置、赤の点が利用できなかった写真の主点である。

この結果に問題がなければ、続いて前述の②三次元点群の生成を行う。これによりオルソ化するために必要な 3 次元モデルが得られる (図-4)。

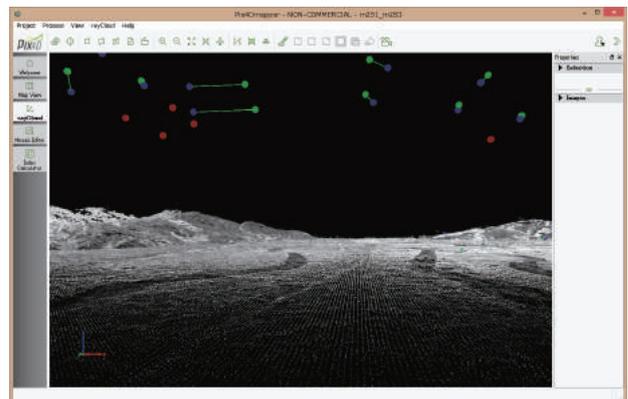


図-4 三次元モデルを表示

三次元モデルに問題がなければ、前述の最終ステップである③オルソモザイク画像及び DSM 画像データの生成を行う。これによりオルソモザイク画像を得ることができる (図-5)。

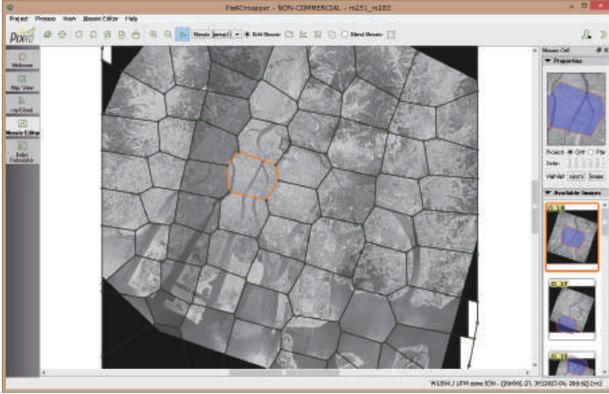


図-5 オルソモザイク画像を表示

## 2.2 オルソ化における課題

### 2.2.1 自動タイポイント、パスポイント取得

pix4d は、バンドルブロック調整に必要なタイポイントやパスポイントを、画像マッチング技術を使い、自動で取得することができる。しかし雲が写っている、画質が悪い、などの原因によりマッチングできず、オルソ化ができない範囲が出てしまうことがある (図-6、図-7)。

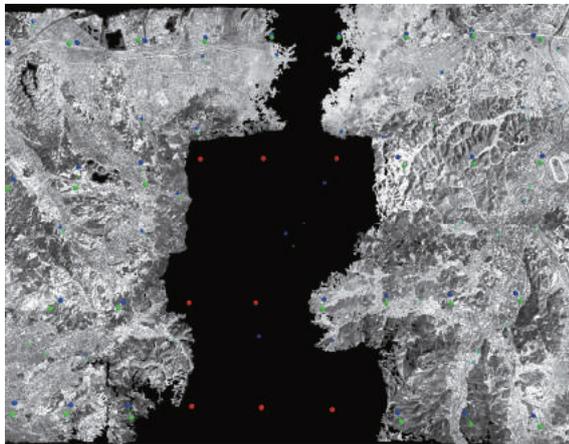


図-6 オルソ化できなかった範囲の例

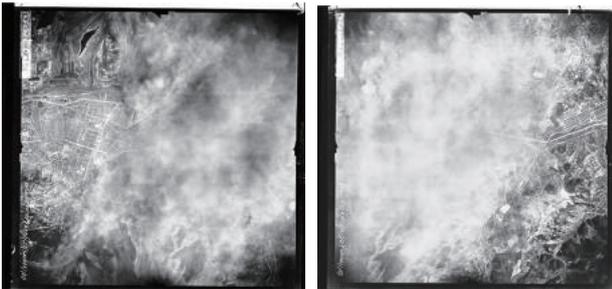


図-7 雲により画像マッチングが失敗した写真の例

手でタイポイントを追加することでマッチングする場合もあるが、そもそも写真の状態が悪く、一致点を見つけること自体が困難なものもあった。

### 2.2.2 撮影時の飛行状態による影響

米軍写真は、必ずしも安定的に一定の高度で飛行したり、常に地表面に対して垂直に撮影できているわけではない。またバンドルブロック調整の初期入力パラメータも配点図や飛行計画情報を基にしたものであり、そのような条件において、計算に失敗してしまう例も多数ある。図-8 は、各写真が接合できずに剥がれたような結果になったものであり、恐らく写真が垂直に撮影されたものではなかったと推測される。

特に撮影コースが単パスの場合、パス間の重複が無く、計算が安定しないことが分かっている。

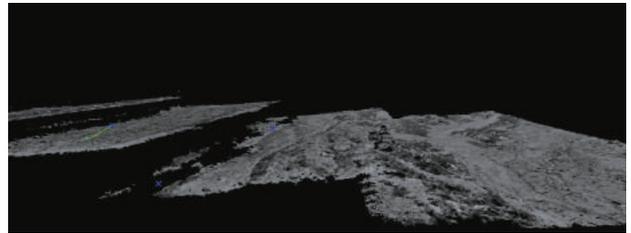


図-8 計算失敗の例

### 2.2.3 アーティファクト

撮影部に書き込みがあるなど写真の状態が悪い場合、関連性の無い画素同士がマッチングされてしまうと、その部分の画像が極端に歪むことがある。このような部分をアーティファクトという (図-9)。

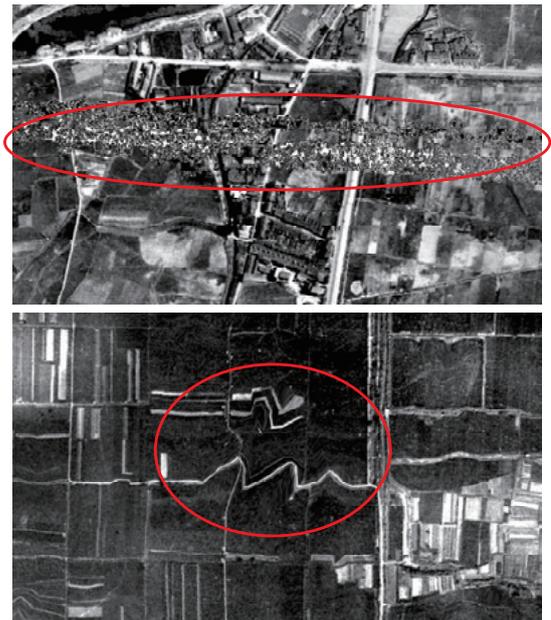


図-9 アーティファクトの例

このような画素マッチングのミスは、三次元点群データにおいて、不自然な位置にある点群として表示される（図-10）。

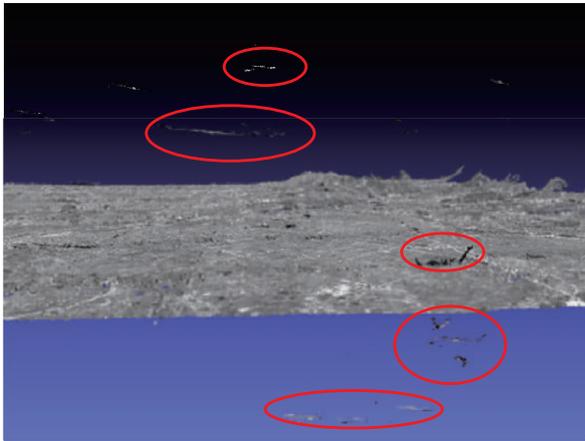


図-10 アーティファクトの原因となる点群の例

そこで、3D データ編集ソフトを使い、問題となる点群を削除し、再度モザイク化処理をかけることでアーティファクトの生成を抑制した。

### 3. パノラマ化法

様々な要因によりオルソ化できない場合は、複数の写真の重複部分を自動で画像マッチングさせて連結するパノラマ処理をし、広域のモザイク画像の生成を試みた。パノラマ処理技術は、デジタルカメラやスマートフォン等の普及により一般化し、多くのソフトウェアが存在する。今回の処理には Microsoft 社が無償で提供している「Image Composite Editor」を利用した。これにより写真画像一枚一枚に参照点を設定して幾何変換する必要がなくなるため省力化することが可能になる。ただし起伏の変化による位置の変歪が残るので、基本的に起伏の少ない平野部を対象とし、後工程の幾何変換において参照点を設定し、絶対位置を合わせた（図-11）。

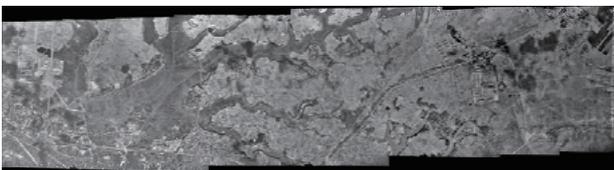


図-11 写真 8 枚をパノラマ化した例（船橋市付近）

### 4. 利用した米軍写真

今回は、測量成果である解像度 1200dpi の TIFF 画像ではなく、400dpi の JPEG 画像を利用した。これは数百枚の写真画像を数時間内でまとめてオルソ化できる解像度だからである。1200dpi の画像の場合、オルソ化処理だけでも 10 数枚で 1 日以上必要とした。

また生成されたモザイク画像のサイズも数十万ピクセルに及び、幾何変換やタイル化等の後工程を保有するワークステーションやソフトウェア上で実施することは困難であった。

利用した米軍写真の縮尺は基本的に 1/10,000～1/15,000 程度で、400dpi の写真画像処理後の解像度は 1 ピクセルあたり 70～100cm であった。地理院地図で表示できる最大解像度（ズームレベル 18）が、緯度 35°付近で 1 ピクセルあたり凡そ 50cm 程度であるので、今回作成した米軍写真のタイル画像は、ズームレベル 17 相当であるといえる。

確かに 1200dpi の写真画像を使えばより鮮明に地物を確認することができる（図-12）が、地理院地図を使って広範囲に俯瞰して地物の位置や形状を把握し、単写真でより詳細な確認を行うといった利用も考えられるため、現状の生産性を鑑みて 400dpi の JPEG 画像を利用することとした。



図-12 解像度の違い：400dpi（上）、1200dpi（下）  
1200dpi の画像の方がより鮮明であるが、両者とも駐機中の航空機のエンジンが確認できる。

作業対象とした写真の年代は、1945年から1950年とし、同じ場所で複数の年代がある場合は、原則的に年代の古いものを選択した。

米軍は1950年以降も写真撮影を行っているが、60年代には国土地理院によって全国の空中写真が撮影され始めるため、国土変遷を比較するためのアーカイブとしての価値を高めるため、年代が近くならないよう原則として1951年以降の写真は利用しなかった。

## 5. 幾何変換

オルソ化することによって起伏変化による位置の変歪が解消され、相対的には精度が良いモザイク画像が得ることができるが、絶対的な位置がずれていることが多い。そこでGISソフトを使い、現在の地理院地図の道路等の参照位置と合わせるよう画像を幾何変換した。

多くは、参照点を20点前後設定すれば、三次補間(10点以上の参照点が必要)による幾何変換で十分な位置精度で地図上の位置に合わせる事ができた。

ただし写真の状態によりモザイク画像が歪んでしまった場合や、パノラマ化法によるモザイク画像の場合は、より多くの参照点を設定し、スプライン補間による幾何変換を実施した。スプライン補間の場合、原則的に参照点においては誤差が出ないが、参照点群を囲む領域外(外挿部)は大きな歪みが発生することが多い。よってそのような領域外は後工程において削除した。

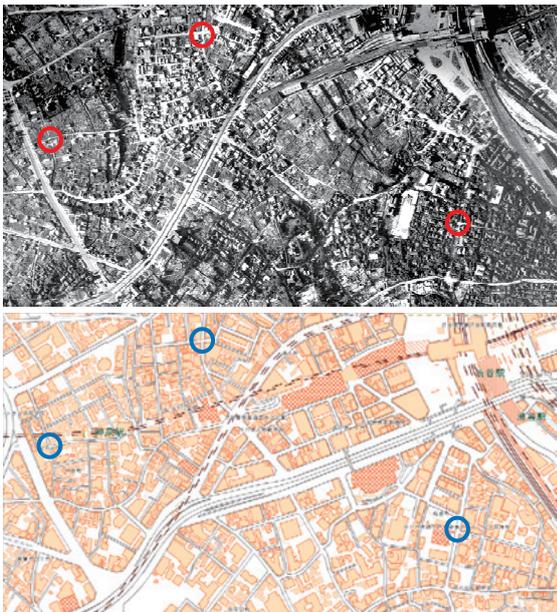


図-13 参照点選定の例 (○が対応する参照点)  
(渋谷駅道玄坂付近)  
米軍写真(上)  
地理院地図(標準地図)(下)

## 5.1 参照点の選定

最新の地理院地図と戦後の米軍写真では経年変化も大きく、両方に共通する地物を発見することは難しい。基本的には道路の交差点を参照点とすることが多いが、道路の拡幅などがあると正確な対応点を判断できず誤差が大きくなる。そこで旧道など大きな変化がない場所を参照点にするなど工夫した(図-13)。

ただし郊外の大規模造成がある場合は、広域にわたって参照点を取ることができない。例えば江戸川河口付近は大規模に埋め立てが行われていたため、最新の地図を利用することができない。そのため旧版地図を利用して参照点を推測し大きく歪まないように調整した(図-14)。



図-14 旧江戸川河口付近  
米軍写真(上)  
2万5千分1地形図【測量年:1945年】(中央)  
地理院地図【標準地図】(下)

## 6. 辺縁部の削除

隣接するモザイク画像同士がより綺麗に接合して見えるように重要な地物を避けつつ、画像編集ソフトを使い手動で辺縁部を削除した。削除する境界は、基本的に田畑における畝や河川、森林部、道路に沿う部分を選び、違和感のないようにしている。

切り取った部分は、透明化処理し、後工程の合成処理時に隣接するモザイク画像の撮影範囲を上書きしないようにした（図-15）。



図-15 横浜市日吉駅付近  
辺縁部を切り取った画像（左）  
合成した画像（右）

## 7. タイル化

タイル化は、GDAL と呼ばれるオープンソースの GIS 処理ライブラリを利用した。まずモザイク画像をウェブメルカトル投影法（EPSG:3857）に投影変換する。その後 256×256 ピクセルの PNG 形式のタイル画像を作成する。JPEG 画像でなく PNG 画像にする理由は、撮影領域外を透明領域として保存しておくためである。その後、自作のプログラムを使い、隣接するタイル化されたモザイク画像同士を合成し、米軍写真のタイル化が完了する（図-16）。

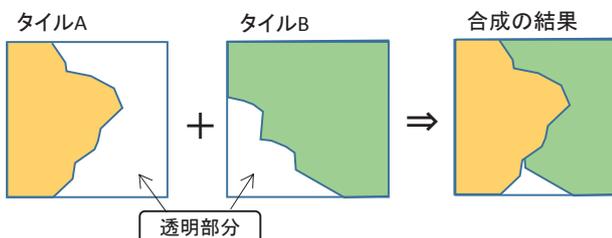


図-16 タイル同士の合成

## 8. 今後の検討事項

今回は 400dpi の JPEG データを利用し、9 ヶ月ほどで政令市付近（多くは中心部）のタイル化ができた。今後はより高解像度の 1200dpi 以上の画像データを効率的に処理するための手法を検討したい。

ただし大量の 1200dpi 以上の画像データをそのままオルソ化、幾何変換等の処理をすることは今の計算機のスペックでも困難である。そこで 400dpi で得られたオルソ化に必要なパラメータや幾何変換パラメータ（各画素の移動量）を流用して、1200dpi 以上の画像データに適用すれば、オルソ化、幾何変換の処理については省力化できるのではないかと考えている。しかし現状においてそのような処理プログラムはないため、自作して検証する必要がある。

## 9. まとめ

pix4d やパノラマ化ソフトウェアのような強力な写真画像処理ソフトウェアにより広範囲をモザイク化することで、効率的に地図上の位置に重なるように調整することができた。また GDAL のようなオープンソースのツールにより簡単にタイル化ができ、処理用プログラムを自作する必要がほとんどなかった。更に昨今の高スペックなワークステーションを使い、画像サイズが数万ピクセルを超えるような画像データに対して、これらの強力なツールで処理することができた。

しかし画質の悪さや、撮影条件が安定していないなどの米軍写真特有の問題により、モザイク画像を得ることができず、再度条件を変えて再計算するなど手戻りが発生したり、パノラマ化手法も使えず、手作業で写真 1 枚 1 枚を位置合わせしてタイル化したりする場面が多々あるなど、多くの課題があることも判明した。

今後も今回判明した課題の解決や 1200dpi の画像の効率的な処理について検討していくとともに、陸地測量部時代の空中写真についても今回検討した手法を適用してタイル化し、過去の空中写真のタイルデータを拡充していく予定である。

（公開日：平成 27 年 10 月 29 日）

## 参考文献

日本写真測量学会（2012）：空間情報による災害の記録，鹿島出版会，288-290.

# 地点別浸水シミュレーション検索システム（浸水ナビ）の開発 Development of Web-Based Flood Simulation Search System at an Arbitrary Point

応用地理部 廣瀬勝・佐藤壮紀・稲澤容代・山本洋一

Geographic Department

Masaru HIROSE, Takenori SATO, Hiroyo INAZAWA and Yoichi YAMAMOTO

## 要 旨

平成 25 年の水防法の改正で、地下街、高齢者等の要配慮者利用施設、大規模工場等について、避難確保計画又は浸水防止計画の作成、訓練の実施、自衛水防組織の設置等が規定された。これらを支援するため、国土地理院と国土交通省水管理・国土保全局河川環境課水防企画室は、各地方整備局及び都道府県が整備する「洪水浸水想定区域図」を地理院地図上に表示し、任意の地点において洪水による浸水リスクを簡単に把握できる「地点別浸水シミュレーション検索システム（浸水ナビ）」を開発・公開した。

## 1. はじめに

近年、集中豪雨等による水害が頻発しており、短時間で河川が増水したり、堤防が決壊（破堤）したりして甚大な被害が発生する事例が増えてきている。洪水時の被害を最小限にするためには、住民や企業などが平時より水害による被害のリスクを認識したうえで、氾濫時の危険箇所に関する情報の把握が重要となる。そのため、国土交通省及び都道府県では、河川が氾濫した場合に浸水が想定される区域及びその区域が浸水した場合に想定される水深を洪水浸水想定区域図として公表している。

しかし、洪水浸水想定区域図の利用にあたっては、以下の課題がある。

- ・浸水想定区域図は河川毎に作成されており、複数の河川による洪水リスクを有する地域は複数の図面を参照しなくてはならない。
- ・浸水想定区域図は、(想定)破堤点毎の浸水シミュレーション結果を重ね合わせた最大浸水深を示しており、個々の破堤点からの氾濫流の動きがイメージできない。

ージできない。

- ・氾濫流の到達時間、排水時間等、時間に関する情報がわからない。
  - ・浸水想定区域図は、縮尺 1/25,000 程度の地形図上に表示されることが多く、自宅や事業所などを特定しにくい。等
- また、平成 25 年の水防法の改正（表-1）で、地下街、高齢者等の要配慮者利用施設、大規模工場等（以下「事業所等」という。）について、避難確保計画又は浸水防止計画の作成、訓練の実施、自衛水防組織の設置等が規定された。

これを受け、国土地理院応用地理部防災地理課と国土交通省水管理・国土保全局河川環境課水防企画室は、事業所等がこれらの措置を実施する際の手助けとなるシステムとして、各地方整備局（北海道開発局を含む）及び都道府県（以下「地方整備局等」という。）が整備する「洪水浸水想定区域図」を地理院地図上に表示し、任意の地点において関連する堤防の破堤点や浸水深を検索できる「地点別浸水シミュレーション検索システム（浸水ナビ）」を構築し、平成 27 年 7 月に公開した。

（システムの URL <http://suiboumap.gsi.go.jp/>）

## 2. 洪水浸水想定区域図の概要

国土交通省及び都道府県では、平成 13 年の水防法改正以降、水防法第 14 条に基づき、洪水予報河川並びに洪水特別警戒水位に水位が到達したことを通知及び周知する河川（水位周知河川）において、洪水時の円滑かつ迅速な避難の確保を図るため、河川整備の基本となる降雨により河川が氾濫した場合に浸水が想定される区域として指定し、想定される水

表-1 平成 25 年 水防法改正の概要

| 事業所等    | 地下街  | 高齢者、障害者、乳幼児等の要配慮者利用施設  | 大規模工場等<br>(申出のあったもの)   |
|---------|--|--|--|
| 措置の義務付け | 義務   | 努力義務   | 努力義務   |
| 措置の内容   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・避難確保計画の作成</li> <li>・浸水防止計画の作成</li> <li>・訓練の実施</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・避難確保計画の作成</li> <li>・訓練の実施</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・浸水防止計画の作成</li> <li>・訓練の実施</li> </ul> |
| 自衛水防組織  | 自衛水防組織の設置義務あり、構成員の市町村長への報告   | 自衛水防組織を設置した場合、構成員の市町村長への報告   | 自衛水防組織を設置した場合、構成員の市町村長への報告   |

※下線は平成 25 年水防法の改正箇所

深と併せて洪水浸水想定区域図を公表している。洪水浸水想定区域図は、図-1 の手順で作成される。地点別浸水シミュレーション検索システムの開発にあたっては、2.1, 2.2 に紹介する浸水想定区域図データ電子化ガイドラインに基づいて作成されたデータを使用した。

## 2.1 浸水想定区域図データ電子化ガイドライン（平成18年9月）

このガイドラインでは、洪水浸水想定区域図に関わるデータ作成の効率化を図ると共に、市区町村の洪水ハザードマップ作成に浸水想定区域図の情報を円滑に活用できるように、河川管理者が作成する浸水想定区域図に関わる電子データのデータフォーマット、ファイル形式及びその作成手順を統一化した。

洪水浸水想定区域図のデータは、データの構成・内容が理解しやすい形式として、CSV ファイルを基本としている。CSV データは、以下の4種類の CSV ファイルで構成されており、本システムでは 1)~3) のデータを使用している。

### 1) METADATA.CSV（メタデータファイル）

洪水浸水想定区域図データに関するメタデータが記述されている。

### 2) BREAK\_POINT.CSV（破堤点定義ファイル）

浸水深データファイルの個数や破堤点の緯度経度情報が記述されている。

### 3) BPnnn\_xxxxxm.CSV（浸水深流速データファイル）

破堤点別に時系列ごとに作成され、メッシュごとの緯度経度、標高、浸水深、流速などが記述されている。

## 4) MAXALL.CSV（最大包絡データファイル）

最大包絡（氾濫計算において、破堤点別に計算した結果の計算メッシュごとの「最大浸水深」を比較し、最大の浸水深の値を包絡したもの）のデータが記述されている CSV ファイルで、このデータを基に洪水浸水想定区域図を作成する。

## 2.2 浸水想定区域図データ電子化ガイドライン（第2版）（平成27年7月）

このガイドラインは、洪水浸水想定区域図作成マニュアルの改定や近年の ICT 技術の進展等を踏まえ、「浸水想定区域図データ電子化ガイドライン（平成18年9月）」を改定したものである。

本システムに関連する改定内容としては、洪水浸水想定区域図作成マニュアルの改定に伴う修正として、メッシュ細分化に伴うメッシュコードの定義が追加されている。また、自衛水防組織等での利用促進のため、次のように破堤点と対応する水位観測所のデータや浸水継続時間・排水完了時間等のデータが追加されている。本システムでは、これらの修正・追加も考慮した上でシステム設計を行った。

### 1) WL\_STATION.CSV（破堤点と水位観測所の関係データファイル）

破堤点に対応する水位観測所の情報が記述されている。

### 2) BPnnn\_TIME.CSV（浸水時間データファイル）

各メッシュについて、破堤から浸水開始までの時間、最大浸水深及び破堤から最大浸水深発生までの時間、浸水継続時間、破堤から排水完了までの時間が記述されている。

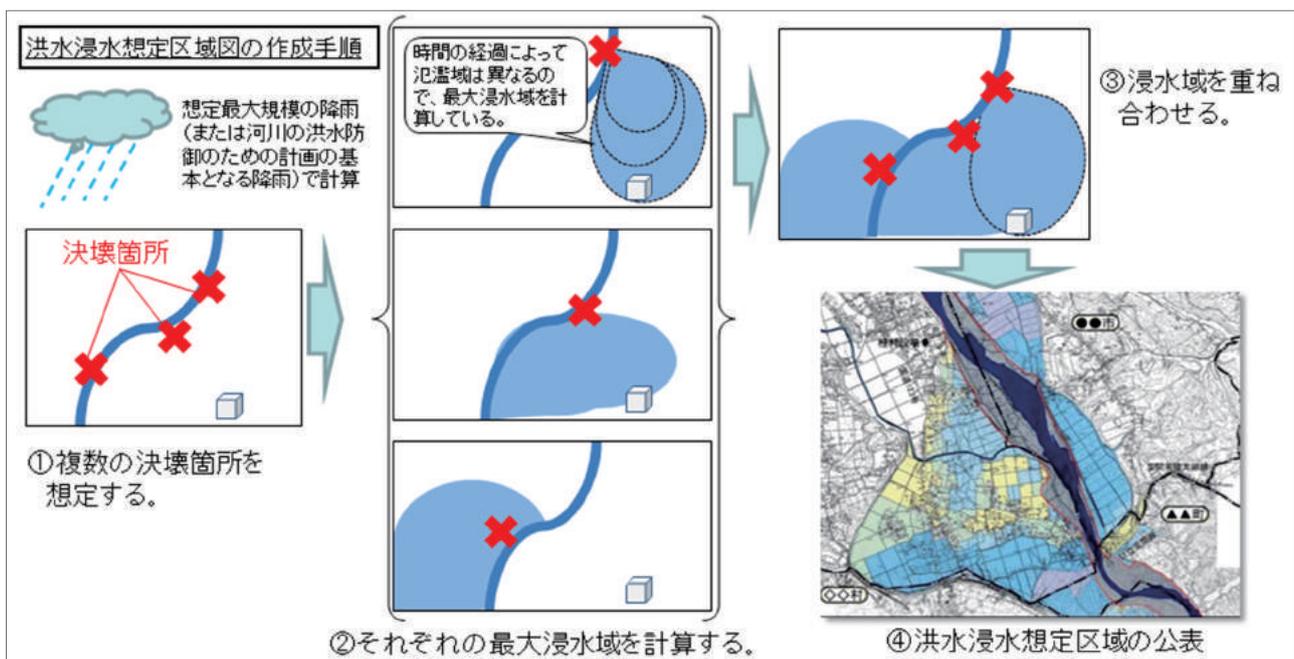


図-1 洪水浸水想定区域図の作成手順

### 3. 「地点別浸水シミュレーション検索システム」の概要

本システムは、「洪水浸水想定区域図」の CSV 形式のデータを地方整備局等が登録する「浸水想定区域図データ管理サイト」と誰でも検索することができる「Web 公開サイト」で構成される。

#### 3.1 浸水想定区域図データ管理サイト

この Web サイトでは、地方整備局等の河川を所轄する事務所が、「浸水想定区域図データ電子化ガイドライン」の仕様に基づいて作成された洪水による浸水想定区域図データの登録、データの確認及び公開の承認、水位観測所の登録（水位観測所と破堤点の関連付け）等を行うことができる。

浸水想定区域図データ登録のフロー（図-2）及び実施する作業内容は以下のとおりである。

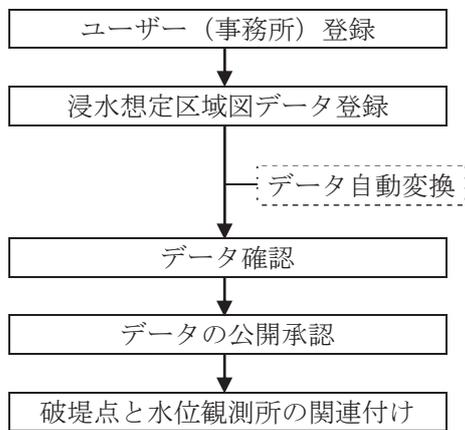


図-2 浸水想定区域図データ登録フロー

##### 3.1.1 ユーザー（事務所）登録

事務所名・電話番号・メールアドレスを登録すると、サイトにログインするための ID とパスワードが発行される。

#### 3.1.2 浸水想定区域図データ登録

サイトにログインし、浸水想定区域図の CSV データ（圧縮した ZIP ファイル）を登録する（図-3）。データ登録の方法には、サーバー情報登録による方法（データを格納した地方整備局等のサーバーの URL を登録して自動収集させる）とアップロードによる方法（手動）の 2 通りがあるが、ZIP ファイルのサイズが 2GB を超えない場合はアップロードによる登録の方が簡便である。登録されたデータは、システム内で自動的に公開するためのデータに変換される。

#### 3.1.3 データ確認及び公開承認

登録したデータを地図上で確認（破堤点の位置や破堤点ごとの最大浸水領域）し、地点別浸水シミュレーション検索システムでデータを公開するための承認を行う（図-4）。

#### 3.1.4 破堤点と水位観測所の関連付け

破堤点と洪水の発生のおそれがある際に注意する必要がある水位観測所を関連付ける作業を行う。この作業により、「地点別浸水シミュレーション検索システム」（Web 公開サイト）の利用者は任意の地点を指



図-3 データ管理サイトのデータ登録画面

| 河川名   | 区域名 | 変換状況 | 確認画面 | 公開承認 | データ削除 | アップロード時間            |
|-------|-----|------|------|------|-------|---------------------|
| 1 柘植川 | 全城  | 承認完了 | 確認済み | 承認済み | 削除    | 2014/10/22 14:19:14 |
| 2 多摩川 | 全城  | 承認完了 | 確認済み | 承認済み | 削除    | 2014/10/14 18:32:35 |
| 3 雄物川 | 全城  | 承認完了 | 確認済み | 承認   | 削除    | 2014/10/20 19:33:35 |
| 4 重信川 | 全城  | 変換完了 | 確認   | 承認   | 削除    | 2014/10/21 7:23:50  |
| 5 釧路川 | 全城  | エラー  | 確認   | 承認   | 削除    | 2014/10/30 21:30:30 |

図-4 データ管理サイトのデータ一覧画面

定すると、破堤点とそれに関連する水位観測所と一緒に検索できるようになる。なお、浸水想定区域図データ電子化ガイドライン（第2版）に基づくデータ（WL\_STATION.CSVが含まれる）であれば、関連づけは自動登録される（ただし、確認は必要）。

### 3.2 地点別浸水シミュレーション検索システム (Web 公開サイト)

本システムの主な機能は以下のとおりである。

#### 3.2.1 想定破堤点の検索

任意の地点（指定は、地図上での指定、経緯度での指定、住所検索の3とおりの方法が可能）において、どの河川のどの地点が決壊したら指定した地点が浸水するのか検索することができる（図-5）。

#### 3.2.2 最大浸水領域の表示

破堤点を選択するとその点が破堤した場合の最大浸水領域がわかる（図-6）。

浸水ランクは、自分の住む場所の浸水深と、避難行動や出水時の心構えとの対応がわかりやすいように洪水ハザードマップ作成の手引き（改定版）（平成25年3月）に則って、表-2のようにランク分けし、表-3のように配色している。

表-2 浸水深のランク分け

| 浸水深  | 浸水の目安                |
|------|----------------------|
| 0.5m | 1階床上浸水               |
| 3.0m | 2階床面が浸水              |
| 5.0m | 2階が水没。3階床面が浸水する可能性有り |

表-3 浸水ランクの配色

| 浸水ランク        | 配色           |
|--------------|--------------|
| 0.0m～0.5m 未満 | 黄 (C10 Y60)  |
| 0.5m～3.0m 未満 | 青 (C40)      |
| 3.0m～5.0m 未満 | 紫 (C10 M35)  |
| 5.0m 以上      | 濃紫 (C40 M75) |



図-5 浸水ナビの検索画面

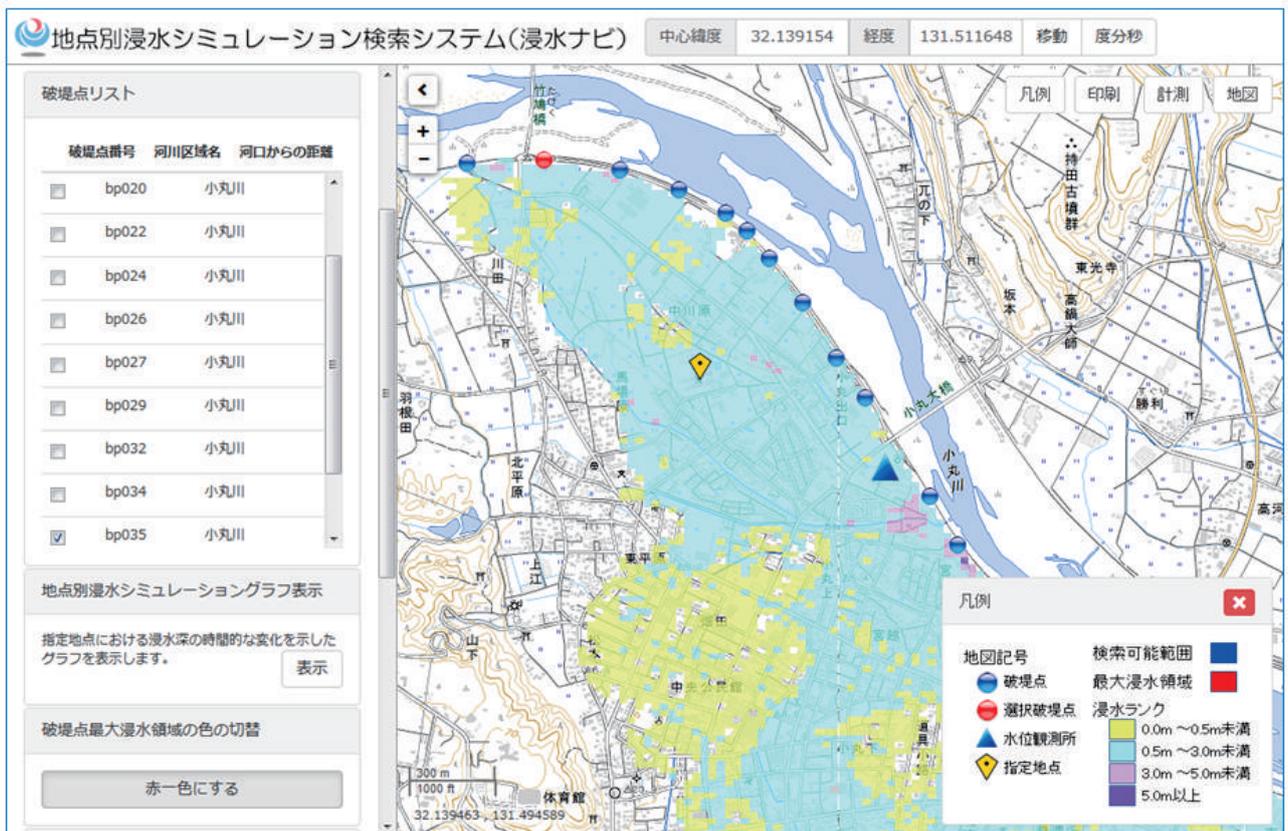


図-6 想定される破堤点が破堤した場合の最大浸水領域

### 3.2.3 浸水域・浸水深の時間変化の表示

指定した地点における浸水深の時間変化を、浸水域アニメーション（図-7）及び浸水シミュレーショングラフ（図-8）で見ることができる。これにより想定される破堤点ごとに、破堤から氾濫流到達までの時間、最大浸水深発生時間、浸水継続時間等がわかる。

### 3.2.4 水位観測所の検索

3.2.1 で検索した各破堤点に関連する水位観測所に「国土交通省 川の防災情報」の「テレメータ水位」へのリンクを付した（図-9）。

この機能により、指定した地点について洪水の発生の恐れがある際に注意する必要がある水位観測所とその水位状況を知ることができる。

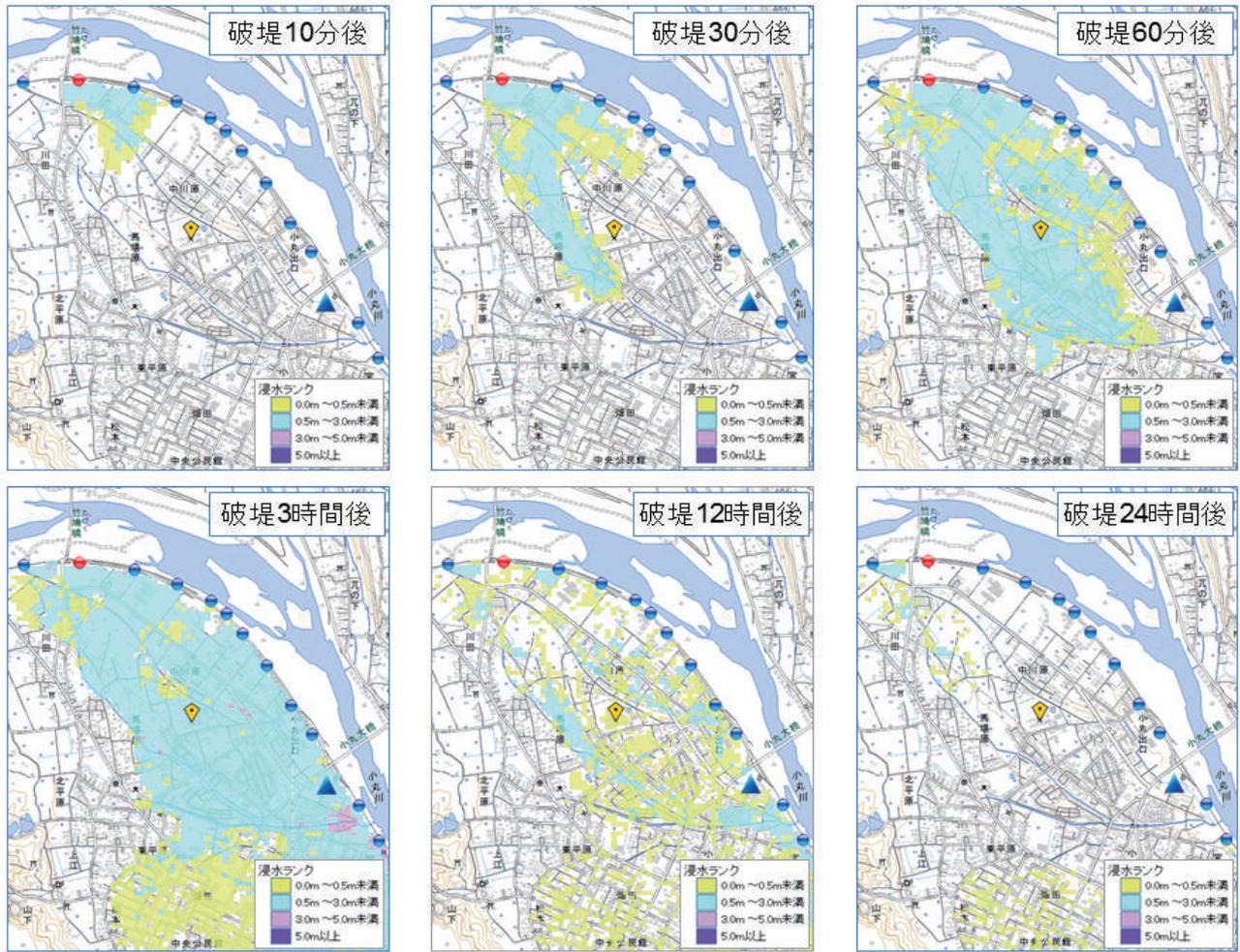


図-7 浸水域アニメーション

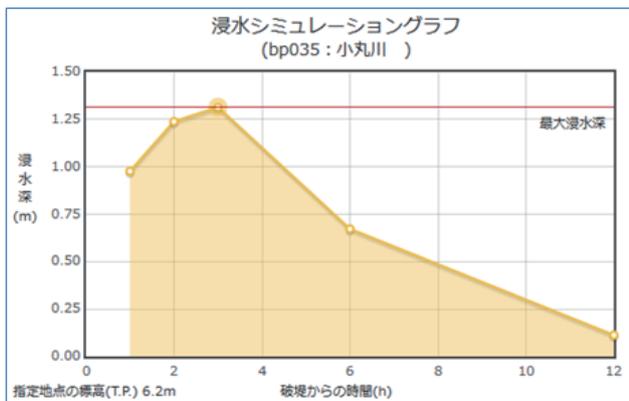


図-8 浸水シミュレーショングラフ

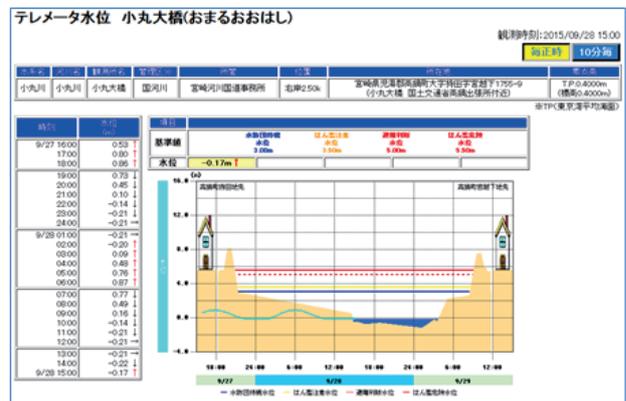


図-9 水位観測所の水位情報（川の防災情報へのリンク）

#### 4. 動作環境

本システムは、インターネットを經由して以下の Web ブラウザで利用可能である。

- ・ Internet Explorer 8～11, Firefox, Google Chrome, iPhone 及び Android のスマートフォンに標準搭載されているブラウザ

特別なプラグインソフト等のインストールは必要なく、上記 Web ブラウザの標準機能のみで動作するようにしたことにより、多くのユーザーが本システムを利用できる。

浸水想定区域図データ管理サイトについても、特別なプラグインソフト等のインストールは必要なく、地方整備局等からインターネットを經由して Web ブラウザで浸水想定区域図のデータ登録等が可能である。

#### 5. 期待される効果

本システムを用いることで、自宅や各々の事業所等の位置において、堤防が破堤してから浸水するまでの時間、想定される最大浸水深、浸水深の時間変化等を閲覧することが可能であり、事業所等が避難

確保計画や浸水防止計画の作成、訓練の実施等をする際に役立てることができる。

#### 6. 今後の予定

近年、洪水のほか、内水・高潮により、現在の想定を超える浸水被害が多発していることから、平成 27 年の水防法の改正（表-4）で、洪水浸水想定区域図については、河川整備において基本となる降雨を前提とした区域から、想定し得る最大規模の洪水に係る区域に拡充して公表することが規定（①）された。また、想定し得る最大規模の内水・高潮に係る浸水想定区域を公表する制度（②）及び内水・高潮に対応するため、下水道・海岸の水位により浸水被害の危険を周知する制度（③）が創設された。

今後は、利用者からのニーズを踏まえたシステム改良や、洪水に加えて内水氾濫及び高潮による浸水想定も検索可能にするための改良を実施する予定である。

（公開日：平成 27 年 11 月 13 日）

表-4 平成 27 年 水防法改正の概要

|    | 浸水想定区域図・ハザードマップ     | 水位情報の周知           |
|----|---------------------|-------------------|
| 洪水 | 【拡充】対象を最大規模の降雨に変更 ① | 【既存】河川の水位情報を周知    |
| 内水 | 【新設】最大規模の降雨を対象に作成 ② | 【新設】下水道の水位情報を周知 ③ |
| 高潮 | 【新設】最大規模の高潮を対象に作成 ② | 【新設】海岸の水位情報を周知 ③  |

#### 参 考 文 献

国土交通省河川局（2006）：浸水想定区域図データ電子化ガイドライン 平成 18 年 9 月。

国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 水防企画室（2015）：浸水想定区域図データ電子化ガイドライン（第 2 版）平成 27 年 7 月。

国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 水防企画室（2013）：洪水ハザードマップ作成の手引き（改定版）平成 25 年 3 月。

# 主成分分析を用いた日本周辺の地磁気変化モデルの開発

## Development of geomagnetic variation models around Japan by applying Natural Orthogonal Component (NOC) method

測地部 阿部聡・宮原伐折羅  
Geodetic Department Satoshi ABE, Basara MIYAHARA

### 要 旨

方位を知る方法には、古くから方位磁石が使用されてきた。方位磁石を用いると、北の方角を知ることができるが、方位磁石の指す方向は、地球磁場の北極である「磁北」で、地球の幾何学的な北極である「真北」とはわずかに異なる。真北と方位磁石の指す磁北の差は偏角と呼ばれ、方位を測定した場所ごとに異なる。さらに、磁北は時間に伴いその位置を変えるため、偏角は時間的にも変化する。

国土地理院では、日本全国をカバーする地形図を作成し、各地形図にはその場所における偏角値を記載している。地形図は従来、図郭ごとに分かれた紙地図であったが、最近ではデジタル化されてシームレスとなり、GNSS 測位を用いることで地形図上の場所を容易に得ることが可能となった。方角も、カーナビやスマートフォンに搭載された磁気センサーを用いて容易に知ることができるが、磁気センサーの示す北「磁北」と地形図の北「真北」が異なることから、偏角の値を補正しなければ、地形図上で正しい方角を示すことはできない。様々な情報が電子化された社会においても、偏角値は依然として重要な地理空間情報の一つである。ただし、偏角値は、時間的・空間的に変化するため、必要な精度の偏角情報を社会に提供するには、地磁気観測を継続し、観測に基づいた正確な偏角値を更新し続ける必要がある。

国土地理院では、日本全国の磁場分布とその永年変化を把握するため、1950年頃から地磁気測量を実施してきた。その成果は、10年ごとに作成される磁気図として公開されている。最新の磁気図は2011年に公開した磁気図2010.0年値で、今後は5年ごとに更新する。磁気図2010.0年値の作成では、空間的に離散的な地磁気の時系列データに対して、数学的な解析手法を用いて全国を網羅する磁場変化モデルを作成する「地磁気時空間モデル」が開発された。今回はこのモデルの時間分解能をより細かくするよう拡張し、全国9点の地磁気連続観測データを同化したモデルを開発した。精度評価では、モデルは、全磁力5nT程度、磁場のX、Z成分で5nT、Y成分で10nTの精度を持つことが確認された。

### 1. はじめに

国土地理院は、日本全国の地磁気の地理的分布と永

年変化を把握するため、1950年頃から日本全国を網羅する地磁気測量を実施してきた。地磁気は時間的にも空間的にも変化するため、全国の磁場変化分布を継続して把握するためには全国を網羅する連続観測が必須である。そのため、国土地理院では、全国3か所の測地観測所（以下、「観測所」という。）と、全国10か所の地球電磁気連続観測装置磁気変化観測部（以下、「連続観測施設」という。）において、地磁気ベクトルの連続観測を実施している。連続観測施設がない地域は、一等磁気測量と称する繰り返し観測によって複数年ごとに観測を実施しており、これらの成果から日本全国の磁場分布を示した「磁気図」を作成し、公表している。

現在、最新版である磁気図は、2011年9月に公表した「磁気図2010.0年値」であり、「地磁気時空間モデル」を用いて作成された（植田ほか、2013）。このモデルは、日本全国の磁場の1969年からの時間変化量を、複数の連続観測データと一等磁気測量のデータから推定し、1970年1月1日に化成した全国の磁場分布と合成することによって任意の年の磁場の値を推定するもので、磁場の時間変化を推定するプロセスの入力には、観測点の地磁気の年平均値を用いている。そのため、磁気図の時間分解能は年単位となっており、年ごとの値は推定できるが、1年より短期の磁場値は推定ができない。そこで今回、「地磁気時空間モデル」を拡張することによって、より細かな時間分解能を持つモデルの作成を試みた。

### 2. 地磁気について

地球は、その物理的な構造、性質、ほかの天体との関係など、様々な環境を反映した固有の磁場を持っており、この地球固有の磁場は、地磁気と呼ばれている。地磁気は、地球内部を起源とする主磁場と、地球外部起源の変動磁場から構成される。地磁気の99パーセントは主磁場であり、その形状は、地球内部に棒磁石を置いた形で形容される双極子に似ている。変動磁場は、地球周辺を流れる様々な電流によって作られる磁場で、時間的に変化するため「変動磁場」と呼ばれる。磁場変化の時間スケールは、数秒間の短い変動から、月単位の長い変動まで様々な範囲に及ぶ。一方で、主磁場も長期的に変化しており、この変化は「永年変化」と呼ばれている。永年変化は数年から数百年という非

常に長い時間スケールで生じている。

地磁気はベクトル量であり、一般にベクトル  $\mathbf{B}$  で表現される。実際には、ベクトル  $\mathbf{B}$  を成分に分解したものがよく利用される。地磁気ベクトルの大きさを全磁力といい、 $F$  で表される。全磁力  $F$  を直交する三軸に分解したものをそれぞれ  $X$  成分（北向きを正とした南北成分）、 $Y$  成分（東向きを正とした東西成分）、 $Z$  成分（鉛直下向きを正とした鉛直分力）と呼ぶ。また、全磁力  $F$  を水平面に投影したものを  $H$  成分（水平分力）、 $X$  軸と水平分力のなす角度を偏角  $D$ （時計回りを正とする）、全磁力  $F$  と水平分力  $H$  のなす角度を伏角  $I$ （水平面から下向きを正とする）という（図-1）。

地磁気ベクトルを表現する際には、これらの成分の中の独立した三成分によって表記することが多く、例えば  $(X, Y, Z)$ 、 $(F, D, I)$ 、 $(H, D, Z)$  などの組み合わせが用いられる。国土地理院では、後者の  $(H, D, Z)$  に  $F$  を加えた形式で全国の地磁気連続観測データの値を公表している。特に偏角情報は、磁気センサーや磁気コンパスで得られた磁北から真北を計算する際に用いられており、地磁気的成分の中でも特に人間の生活に重要な情報である。

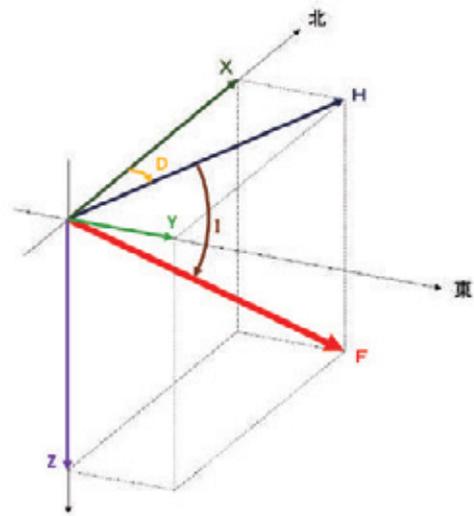


図-1 地磁気の各成分

### 3. 国土地理院の地磁気観測

国土地理院は、全国 13 か所で地磁気連続観測を行っている（図-2）。また、永年変化を把握するための一等磁気測量も実施している。以下に各観測について示す。

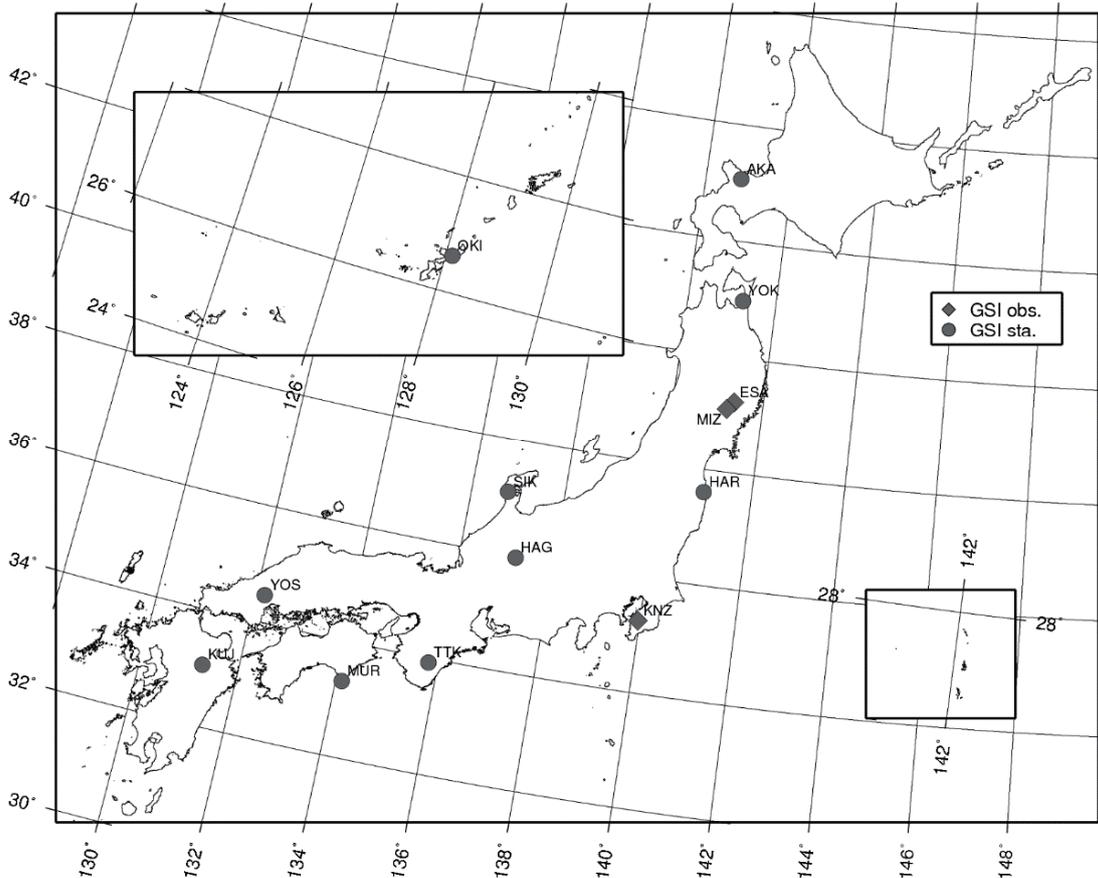


図-2 国土地理院が運用する地磁気連続観測施設の配点図

### 3.1 測地観測所

国土地理院は、1952年に千葉県君津市の鹿野山測地観測所において地磁気の連続観測を開始した。鹿野山では、それ以来現在に至るまで60年以上の連続観測を行っている。1965年頃、内房線の電化計画が明らかになり、地磁気連続観測に人工擾乱の影響が出る可能性が生じたため、磁氣的に静穏な岩手県水沢市（当時、現奥州市水沢区）に水沢測地観測所を設立し、1969年から地磁気連続観測を開始した。しかし、1971年には、東北新幹線が水沢測地観測所の近傍を通過することが明らかになり、新幹線が地磁気の短周期成分へ影響を及ぼすことが懸念されたため、1980年に、隣接する江刺市（当時、現奥州市江刺区）に江刺観測場を設立し、地磁気連続観測を開始した。現在は、これらの3観測所で地磁気の連続観測を継続している。

各観測所には、全磁力観測用にオーバーハウザー磁力計を設置しており、毎秒観測を実施している。また、オーバーハウザー磁力計のバックアップに、プロトン磁力計を設置しており、毎分観測を実施している。このほか、直交する地磁気三成分の変化観測用にフラックスゲート三軸磁力計を設置しており、毎秒観測を実施している。フラックスゲート三軸磁力計は、観測値に温度依存性があるため、温度変化を抑えるべく、断熱性の高い室内（変化計室と呼ぶ。）に設置している。変化計室内には花崗岩の台があり、フラックスゲート三軸磁力計をその台上に水平かつ直交三成分のY成分の磁場読み取り値が0になる方向に設置している。これは、センサーのX軸が水平分力H方向を、センサーのY軸が偏角D方向を向くことに相当する。

フラックスゲート三軸磁力計は、機器の読み取りレンジ内に値が収まるように一定の磁場を打ち消したうえで磁場の変化成分を記録しているため、厳密には磁場の絶対値を測定することはできず、測定ができるのは磁場の時間変化である。フラックスゲート三軸磁力計の測定から絶対値の時間変化を得るためには、磁気儀を用いて偏角D及び伏角Iの絶対値を測定する観測（絶対観測と呼ぶ。）を実施して、時間変化成分をこの角度の絶対値に整合する値に補正（絶対値化と呼ぶ）する必要がある。絶対観測は、自動的に行う観測機器がないため、観測者がその都度、磁気儀を用いて測量する必要がある。絶対観測の頻度は、国際共同観測では週1回程度が推奨されているが（INTERMAGNET, 2012）、国土地理院では、補正の頻度と測定の精度の費用対効果を考慮して、頻度を決めている。各観測所では、2006年までは毎週絶対観測を実施していたが、2006年以降は月2回、2010年からは月1回実施している。各磁力計で得られたデータは、月ごとに絶対観測の結果を用いて絶対値化している。なお、この絶対値は、絶対観測を実施する場所（絶対観測室と呼ぶ。）の観測基台上の値に化成した値である。全磁力の連続

観測は、観測基台とは異なる場所で行っているため、観測値が観測基台上の全磁力値とは異なる。そのため、観測基台上に全磁力計を設置して値を求め、同時刻の連続観測との全磁力の差分を計算して、これを連続観測に加味することで、観測基台上の全磁力値の時系列に補正している。三成分の時系列変化は、隣接した地点間では変化の程度が同一であると仮定のうえ、変化計で観測した時系列変化を観測基台上の値としている。国土地理院では、これらの絶対値を毎秒値、毎分値及び毎時間値にまとめ、地磁気測量ホームページ（[http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/geomag/menu\\_03/observatory\\_data.html](http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/geomag/menu_03/observatory_data.html)）及び地磁気世界資料解析センター京都（WDC for Geomagnetism, Kyoto）から提供している。

### 3.2 地球電磁気連続観測装置磁気変化観測部

国土地理院は、全国の地磁気変化を把握するため、1996年から1997年にかけて、全国11か所に連続観測施設を設置した。観測所が安定した地磁気観測のために4万平方メートルを超える占有面積を持つ一方、連続観測施設は、全国を網羅した観測点の配置を優先したために、数十メートル四方程度の占有面積が狭い施設となっている。施設には、地磁気ベクトルを連続観測するため、プロトン磁力計とフラックスゲート三軸磁力計を設置している。設置状況の詳細は点ごとに異なるが、施設の概要は図-3に示すとおりである。

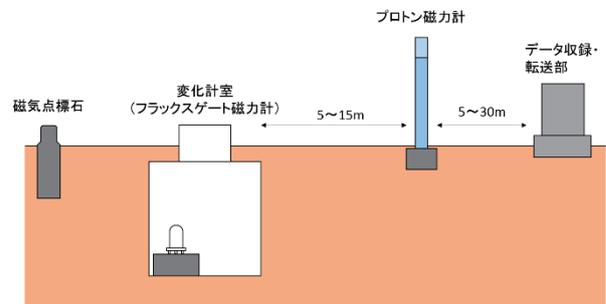


図-3 連続観測施設の概要図

プロトン磁力計は、地上2.5m程度の高さに、フラックスゲート三軸磁力計は、地下2m程度の深さに設置している。フラックスゲート三軸磁力計は、埋設した2m×2m×2mの非磁性のレジンコンクリート製のマンホール（変化計室）に設置している。変化計室内のフラックスゲート三軸磁力計は、観測所と同様に、センサーのX軸を水平分力Hの方向に合わせる向きに設置している。また、サスペンション方式を用いることで、原理的にはZ軸が重力方向（鉛直下方向）を保つため、鉛直性が確保される。全ての磁力計で毎分観測を行っており、観測データは併設したデータ収録・転送部へ有線で送られ、一般電話回線や地上携帯電話回線を介して国土地理院へ転送されている。連続

観測施設は、占有面積が狭いため、観測所と比べて人工ノイズの影響を受けやすく、データに含まれるノイズが多い。磁気図作成及びデータ公開の際には、目視により人工ノイズを除去している。

連続観測施設には、繰り返し絶対観測を行うための磁気点標石を埋設している。磁気点標石上では、1年に1回の頻度で磁気儀を用いた偏角D及び伏角Iの絶対観測を実施し、その観測結果を用いて連続観測値を補正している。観測所と同様に、全磁力値及び三成分の変化値の時系列は、磁気点上の値に化成している。絶対値化した値は、月単位の毎分値及び毎時間値を作成して公開しているが、連続観測施設の場合は暫定値と確定値の2種類を公表している。暫定値は、ある年の絶対観測の後のデータに対して、直近の絶対観測の結果を用いて外挿して補正した絶対値であり、確定値は、絶対観測の実施後、前回と今回の2回の絶対観測結果を用いて、2回の観測間を月ごとに線形補間した値で補正した絶対値で、最終的な値となる。これらのデータは、国土地理院の地磁気測量ホームページ ([http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/geomag/menu\\_03/observato](http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/geomag/menu_03/observato)

[ry\\_data.html](#)) から公表している。

### 3.3 一等磁気点

観測所及び連続観測施設での連続観測に加えて、国土地理院では繰り返し観測のために測量標である「一等磁気点」を全国約100か所に設置している(図-4)。一等磁気点は、磁気点標石のみが埋設された観測点で、観測を行う際に、持参した全磁力計及びフラックスゲート三軸磁力計を一時的に設置し、それにあわせて磁気儀による絶対観測を実施する。一等磁気点は、地磁気の永年変化を把握するために設置したもので、1990年代までは数年間隔での繰り返し観測を行っていたが、連続観測施設の設置によって磁場変化を空間的に網羅できる範囲が広がったため、連続観測施設が空間的に網羅できない13点の一等磁気点に絞って繰り返し観測を実施している。

一等磁気点の繰り返し観測では、観測の成果として、観測日における地磁気の絶対値の日平均値が得られる。その結果は、国土地理院が作成する国土地理院技術資料B4「地球磁気観測報告」として公表している。

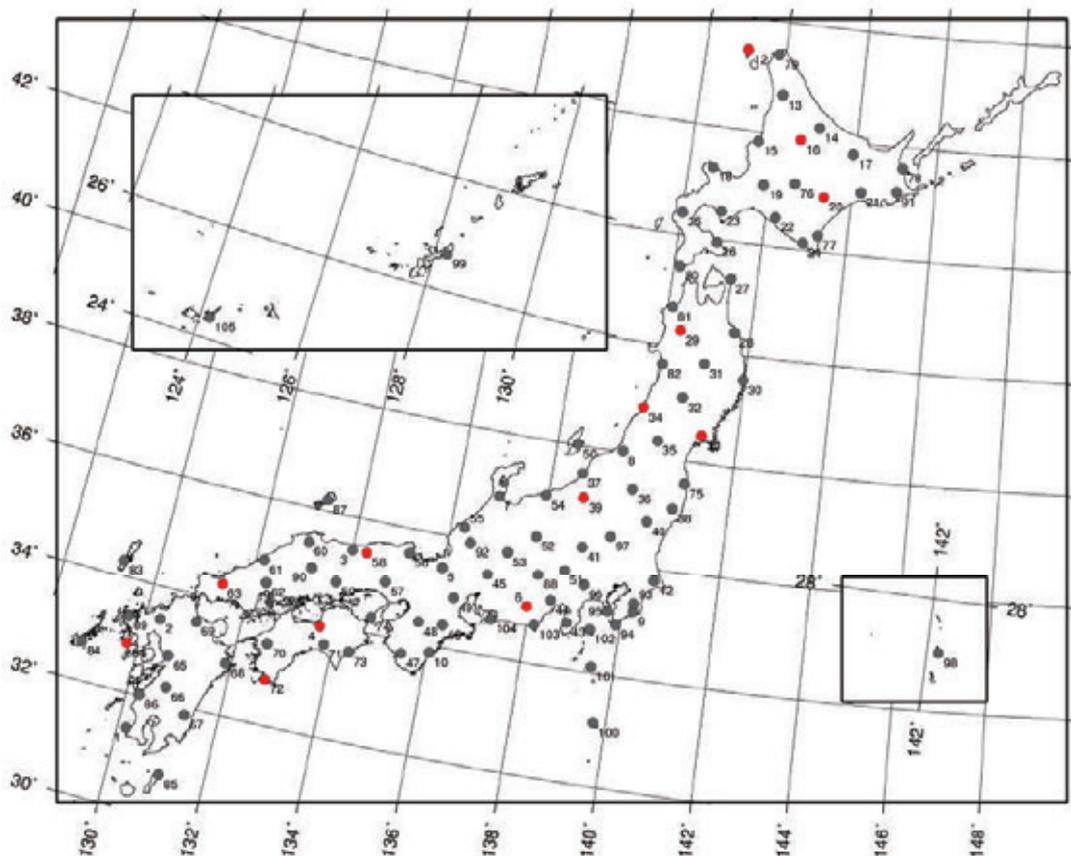


図-4 一等磁気点配点図。番号は磁気点番号を表す。モデル作成期間中に繰り返し観測が行われた観測点を赤色で示す。

## 4. モデル作成手法

国土地理院が公表している磁気図は、1970.0年値が全国統一基準で作成された初めての5枚一組の磁気図

(偏角D, 伏角I, 水平分力H, 鉛直分力Z, 全磁力F)であり、国土地理院が1949年から日本全国で実施してきた地磁気測量による全国約870点の地磁気測量成

果を、1970年時点の値に化成することで作成された (Geographical Survey Institute, 1973). 以降の磁気図は、この全国の詳細な磁場分布を基盤として、地磁気の繰り返し観測結果を用いてモデル化した、その後の磁場変化を加味することで作成してきた。磁気図 2010.0 年値の作成では、1970年時点の詳細な磁場分布を基盤とする点は変わらず、繰り返し観測に連続観測の結果を加えて磁場の変化量をモデル化している。磁場変化モデルからは任意の時期までの磁場変化量が得られるため、磁気図も任意の時期に対して作成することができる。本稿の開発の対象は、地磁気の連続観測データから磁場の時間変化をモデル化した、地磁気変化モデルである。

今回のモデル作成では、全国を網羅する連続観測を実施している利点を活かして、全国の磁場の変化を反映した、日本における標準的な磁場を表現するモデルの作成を目指すこととした。地磁気はベクトル量であるため、ベクトルの変化を再現できるよう、直交三成分の X, Y, Z 成分の絶対値の時系列データを用いて、各成分を独立にモデル化することとした。直交三成分の絶対値が得られれば、ベクトル成分を合成することで全磁力 F を得ることができる。特に、火山活動の監視など、磁場変化が地下を起源として生じる現象の監視に地磁気観測を用いる場合には、主として全磁力観測が用いられるため、全国の標準的な全磁力のモデルは、標準的な変化から逸脱した地下起源のシグナルを検出する際に有益である。従来の磁気図作成で用いた地磁気時空間モデルと比べて時間分解能を向上させるため、モデル作成には日平均値を用いた。モデルの入力に観測値をそのまま用いると、各成分の絶対値が観測点ごとに大きく異なるため、入力値が空間的に大きくばらつくこととなり、作成されるモデルもばらつきが大きくなる。そこで、求めたいモデルが日本の標準的な地磁気の時間変化であることから、モデル化したい地磁気の時間変化を、ある時期を基準とした変化値を計算することで求め、解析に用いることとした。地磁気の時空間変化の支配的な成分を抽出するモデル化は、主成分分析を応用した自然直交基底法 (NOC 法) を用いて行うこととした。NOC 法を用いた磁場のモデル化は、Fujiwara et al. (2001) や、Ji et al. (2006) が用いている手法で、磁気図 2010.0 年値の作成 (植田ほか, 2013) で用いた手法である。NOC 法により、複数の観測点における時系列データを、(1) 式で示した少数の合成変数で説明することができる。

$$H_j(\varphi_i, \lambda_i, t) = \sum_k X_j^k(\varphi_i, \lambda_i) T^k(t) \quad (1)$$

H は i 点 ( $\varphi_i, \lambda_i$ ) における磁場 j 成分の時系列データを表し、X は磁場強度の空間依存を表す基本関数 (以

下、「空間関数」という.)、T は磁場の時間変化を表す基本関数 (以下、「時間関数」という.) である。k は主成分の次数を表し、寄与率の高いものから順に第一主成分、第二主成分、・・・と呼ぶ。(1) 式により、複数の磁場の時系列データを、全点で共通の時間変化成分 (時間関数) と、各点におけるその振幅 (空間関数) に分解する。ここで、離散的な空間関数を空間補間することで全国的に展開すれば、時間関数は全点で共通の関数であるため、式 (2) に示すように両者を合成することによって任意の地点における磁場の時間変化の値を推定することが可能となる。

$$H_j^{model}(\varphi_i, \lambda_i, t) = \sum_{k'} X_j^{k'}(\varphi_i, \lambda_i) T^{k'}(t) \quad (2)$$

Fujiwara et al. (2001) では、空間関数の補間にルジャンドル多項式を用いており、Ji et al. (2006) では球面調和関数に準じた球キャップ関数を用いている。これらの関数は、各主成分の直交性を活かすために適した関数や、物理法則に基づいた関数であるが、本研究においては、補間に用いた 16 点の観測点では複雑な空間分布を表現できないこと、日本周辺の限られた範囲での標準的な磁場を表現することが目的であることから、式 (3) に示すような比較的単純な経緯度の二次多項式を使用して、空間関数のフィッティングを行うこととした。

$$X_j^k(\varphi, \lambda) = M_j^k + A_j^k \Delta\varphi + B_j^k \Delta\lambda + C_j^k (\Delta\varphi)^2 + D_j^k \Delta\varphi \Delta\lambda + E_j^k (\Delta\lambda)^2 \quad (3)$$

近似式の定数及び各係数は、最小二乗的に求める。また、入力する経緯度は、日本に適した形に変換し、 $\Delta\varphi = \varphi - 37^\circ$ ,  $\Delta\lambda = \lambda - 138^\circ$  とする。空間関数は、各成分 j の k 次の主成分に対して計算する。

式 (3) により、空間関数を経緯度の二次多項式で近似することができるため、日本周辺のあらゆる場所において空間関数の値を推定することが可能となり、式 (2) によって磁場の時間変化のモデル値を計算することができる。NOC 法を用いた解析 (NOC 解析) により、各成分の主成分は寄与率の高いもの、すなわちより支配的な成分から順番に抽出される。すべての主成分を使用すれば、元の関数又は入力値を復元することは可能であるが、寄与率が低いものは、特定の観測点に固有なシグナルを表現する主成分となりやすいため、多くの点に共通した日本の標準的な磁場を表現する適当な主成分までについて合成を行うことで、今回目標とする標準的な磁場変化モデルを作成することができる。どの主成分までを採用することが適当かについては 5 章で検討する。

以上により、任意の場所における磁場各成分の時間

変化のモデル値が計算される。今回の主成分分析では、入力値に使用するデータは変化値であるため、得られるモデル値もあるエポックからの変化値となる。そのため、任意の点において、少なくとも一度地磁気三成分の日平均値の絶対値が得られていれば、時間変化の

モデルを加えることで、その日から時間方向に地磁気値を展開することが可能となり、モデルを作成した期間に対して日平均値モデルを作成することが可能となる。

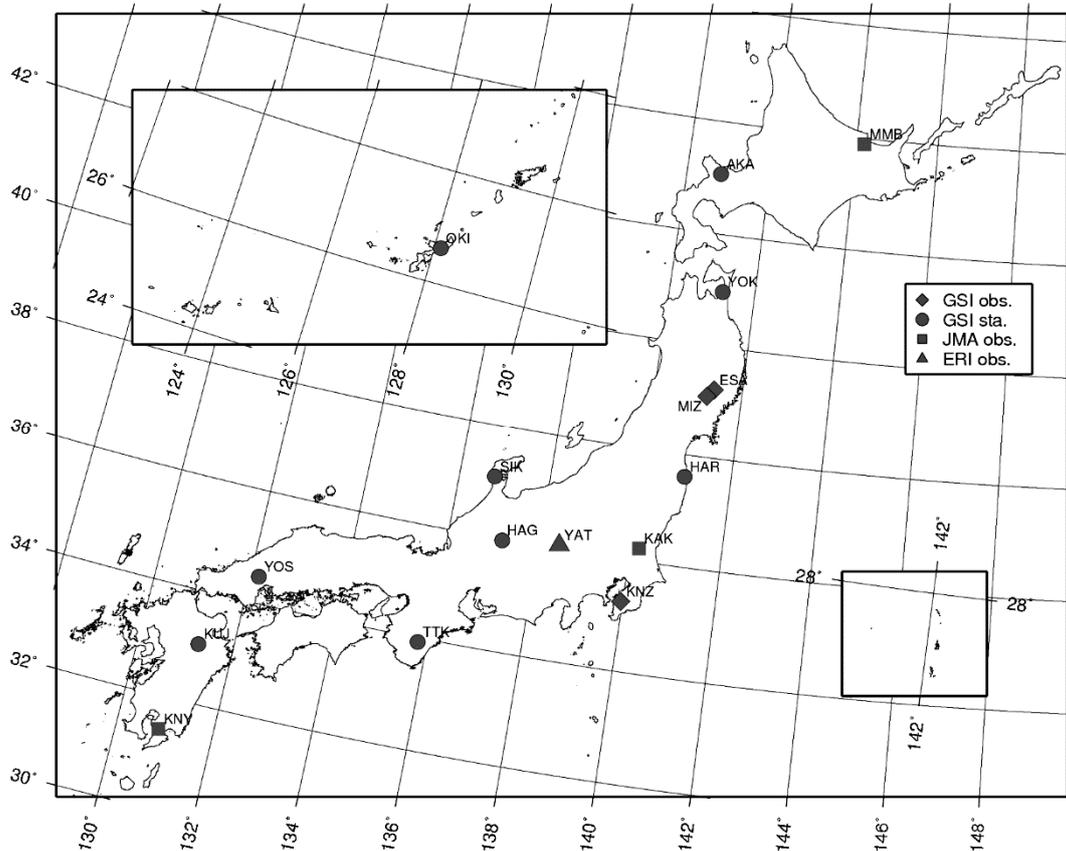


図-5 モデル作成に使用した観測点の配点図。国土地理院の観測所及び連続観測施設に加え、気象庁（JMA）の地磁気観測所、東京大学地震研究所（ERI）の地磁気観測所も用いた。

## 5. 地磁気変化モデルの作成

4章の手法によって、地磁気変化モデルを作成する。なお、地磁気ベクトルを X, Y, Z 成分の直交三軸に分解した三成分のモデル化を行うため、本モデルをベクトルモデルと呼ぶ。

### 5.1 モデル作成に用いるデータの諸元

ベクトルモデルは、三成分の連続観測を行う 16 点のデータを用いて作成した。使用した 16 点の配点図を図-5 に示す。観測点は、国土地理院が運用する 3 点の観測所及び 9 点の連続観測施設、並びに、気象庁が運用する 3 点の観測所、並びに、東京大学地震研究所が運用する 1 点の観測所である。使用したデータの期間は、2001 年 1 月 1 日から 2013 年 12 月 31 日までの 13 年間のデータで、毎秒値又は毎分値から、日平均値を計算している。これらのデータは目視によるノイズ処理によって人工ノイズが削除されたデータである。

なお、NOC 解析の制限により、共通のデータセットが必要となるため、1 観測点でも欠測があった場合、その観測日のデータはモデル化できない。NOC 解析は磁場の変化量に対して行うため、全てのデータにおいて、2001 年 1 月 1 日を基準エポックとし、そこからの変化量に換算している。

### 5.2 モデル作成と採用する主成分の検討

本モデルでは、各観測点の絶対値化したデータから直交する三成分 (X, Y, Z 成分) の日平均値の時系列を計算し、それぞれ独立に NOC 解析を行うこととした。三成分全て同時に NOC 解析を行う方法も考えられるが、NOC 解析は全ての入力データに共通のシグナルを抽出する手法であるため、全ての成分に現れるシグナルが優先して抽出され、ある一成分にのみ特徴的に現れているシグナルの抽出される順番が遅くなる（主成分の次数が高くなる）可能性が高い。各成分に

特徴的なシグナルを確実に抽出するため、三成分独立に NOC 解析を行った。

作業の手順は、1) 各成分のデータを (1) 式に適用し、それぞれ空間関数と時間関数を得る、2) 得られた空間関数と、入力点の経緯度の情報から、各主成分に対応する空間関数を、(3) 式によって近似する、の順に行った。なお、空間関数の定数及び各係数は、最小二乗的に決定した。これにより各主成分に対応した空間関数を計算できるようになり、時間関数と合成することで磁場のモデル値を得ることができるようになるが、モデルを確定するには、モデルに採用する主成分の選択を行う必要がある。前章で述べたとおり、主成分分析は、各点に共通のシグナルを抽出する手法であり、低次の主成分で大きなシグナルが抽出されることで高次の主成分では特定の点における固有のシグナルの比重が上がる。標準磁場を表現するためには、特定の点における固有のシグナルを表現する主成分を除外する必要がある。採用する主成分を決定するため、時間関数の時間変化の振幅と、空間関数の近似の整合性を指標として検討を行った。図-6 に時間関数の第四主成分までをプロットした図を示す。上段が X 成分、中段が Y 成分、下段が Z 成分に対応する。第五主成分以降は、寄与率が小さく、(2) 式にてモデル値に換算した場合に 1.5~2nT 以下となるため、検討から除くこととした。

図-6 では、全成分の縦軸はスケールが同じであるが、X 成分は主成分のばらつきが大きく、Z 成分は変化が大きいことがわかる。X 成分は、第三主成分までは顕著な時間変化を示すが、第四主成分では値が 0 付近に収束してほとんど時間変化を示さない。Y 成分は、第二主成分までは顕著な時間変化をしており、第三主成分で年周的な変化を示すが、0 付近に収束して大きな時間変化を示さない。Z 成分では、第二主成分まで顕著な時間変化を示しており、第三及び第四主成分は 0 付近に収束して大きな時間変化を示さない。

実際に (2) 式を用いて空間関数と合成し、主成分からモデル値を計算して各主成分の振幅を確認した結果を表-1 に示す。なお、空間関数は各点の主成分ごとの振幅を表現する関数であり、点及び主成分ごとに異なる値を持つため、この計算においては各点の空間関数の絶対値の平均値を使用して振幅を見積もった。

表-1 モデル値に換算した振幅の見積もり (単位: nT)

|       | X 成分  | Y 成分  | Z 成分  |
|-------|-------|-------|-------|
| 第一主成分 | 166.8 | 150.1 | 298.4 |
| 第二主成分 | 17.4  | 23.6  | 12.6  |
| 第三主成分 | 10.9  | 1.9   | 3.0   |
| 第四主成分 | 1.8   | 2.7   | 1.8   |

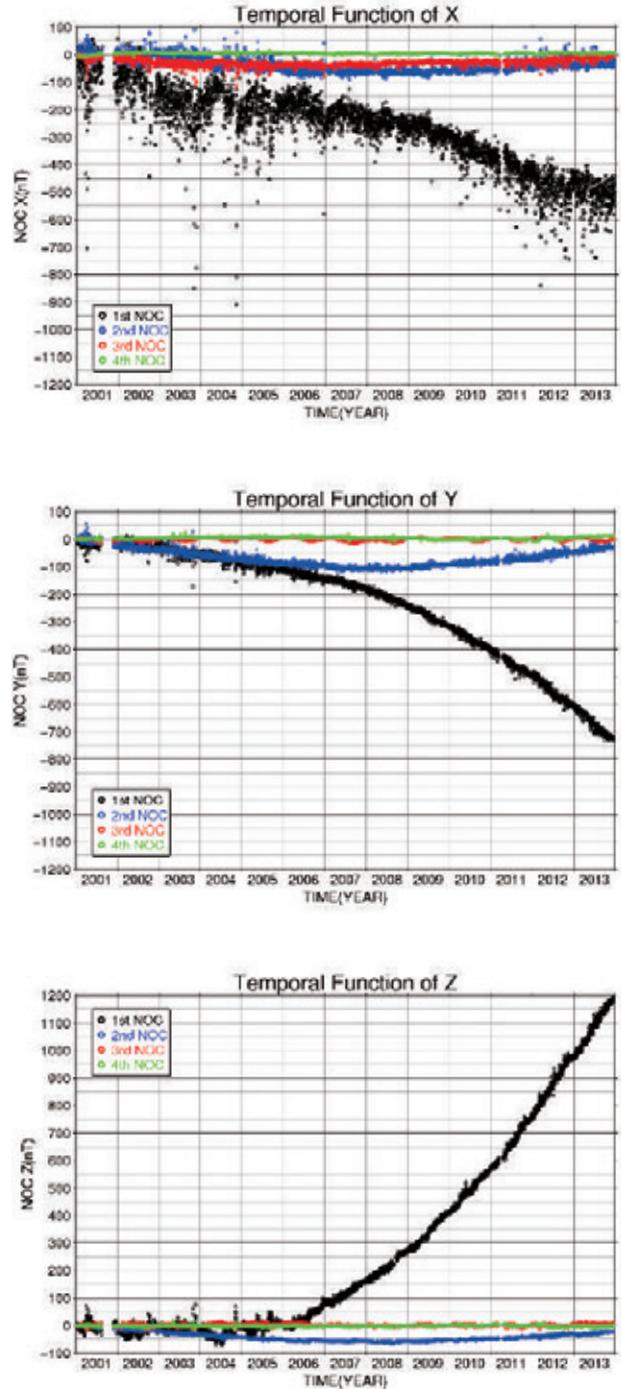


図-6 X (上段), Y (中段), Z 成分 (下段) の第四主成分までの時間関数

表-1 は、各主成分の寄与率とほぼ同義で、最大振幅が一桁になるのは、X 成分は第四主成分、Y、Z 成分は第三主成分である。時間関数の時間変化とモデル値への寄与を考慮して、X 成分は第三主成分まで、Y、Z 成分は第二主成分までを採用することが適当と判断した。ただし、X、Y 成分においては、採用する主成分と採用しない主成分の間で時間関数の時間変化の振幅がおおよそ 10 分の 1 程度になるのに対し、Z 成分

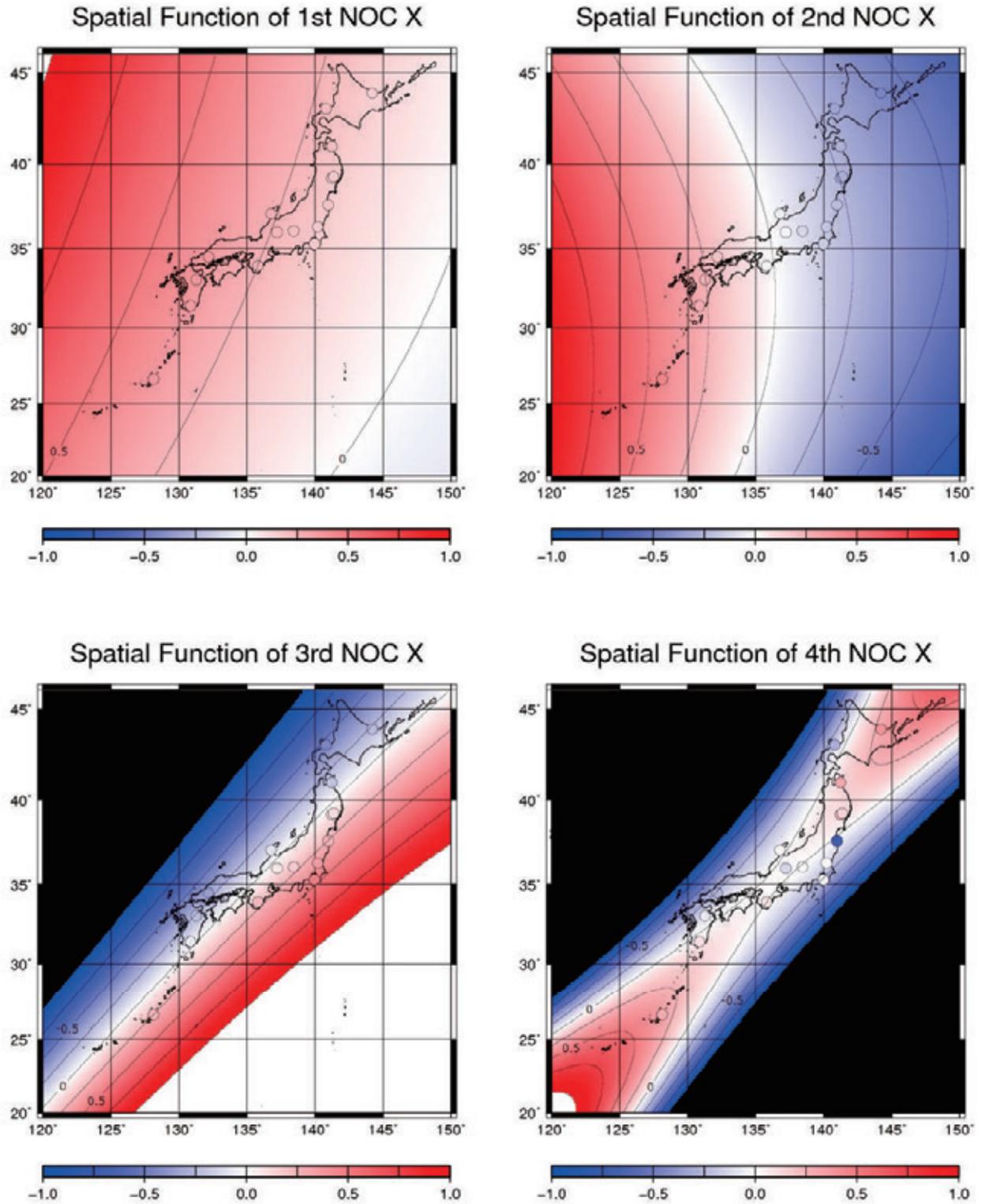


図-7 (a) X 成分の第四主成分までの空間関数の近似式（段彩図）と入力値の比較（無次元）。左上が第一主成分の空間関数、右上が第二主成分の空間関数、左下が第三主成分の空間関数、右下が第四主成分の空間関数を表し、-1 から +1 までの範囲を、赤青の二色の勾配でプロットした。+1 を超えるものは白色で、-1 を超えるものは黒色で表現される。段彩図が近似式を表し、入力値を同じスケールで描画した。第三主成分までは段彩図とプロットの整合がよく、第四主成分では大きな乖離が見られる。

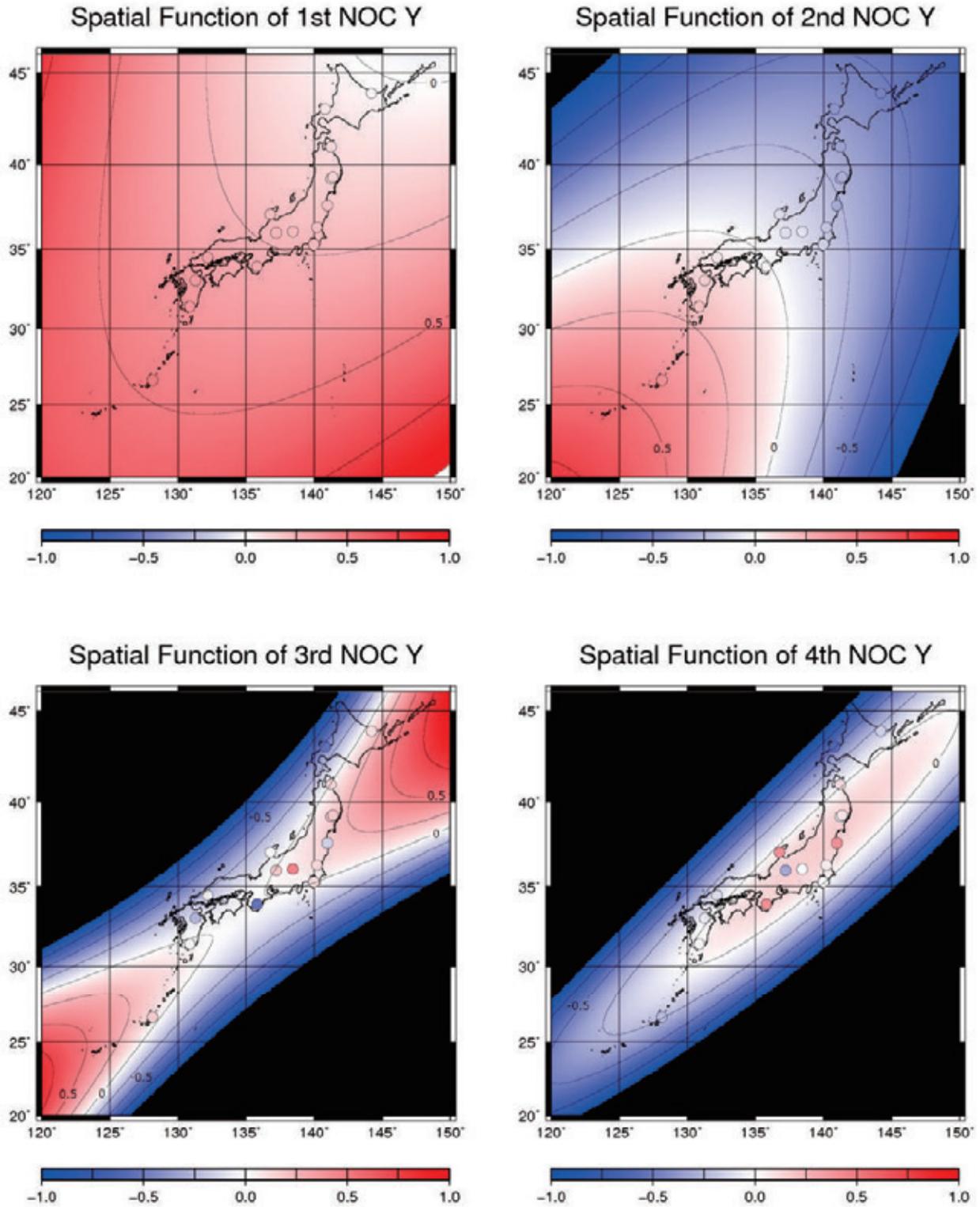


図-7 (b) Y 成分の第四主成分までの空間関数の近似式 (段彩図) と入力値の比較 (無次元). 左上が第一主成分の空間関数, 右上が第二主成分の空間関数, 左下が第三主成分の空間関数, 右下が第四主成分の空間関数を表し, -1 から +1 までの範囲を, 赤青の二色の勾配でプロットした. +1 を超えるものは白色で, -1 を超えるものは黒色で表現される. 段彩図が近似式を表し, 入力値を同じスケールで描画した. 第二主成分までは段彩図とプロットの整合がよく, 第三, 第四主成分では大きな乖離が見られる.

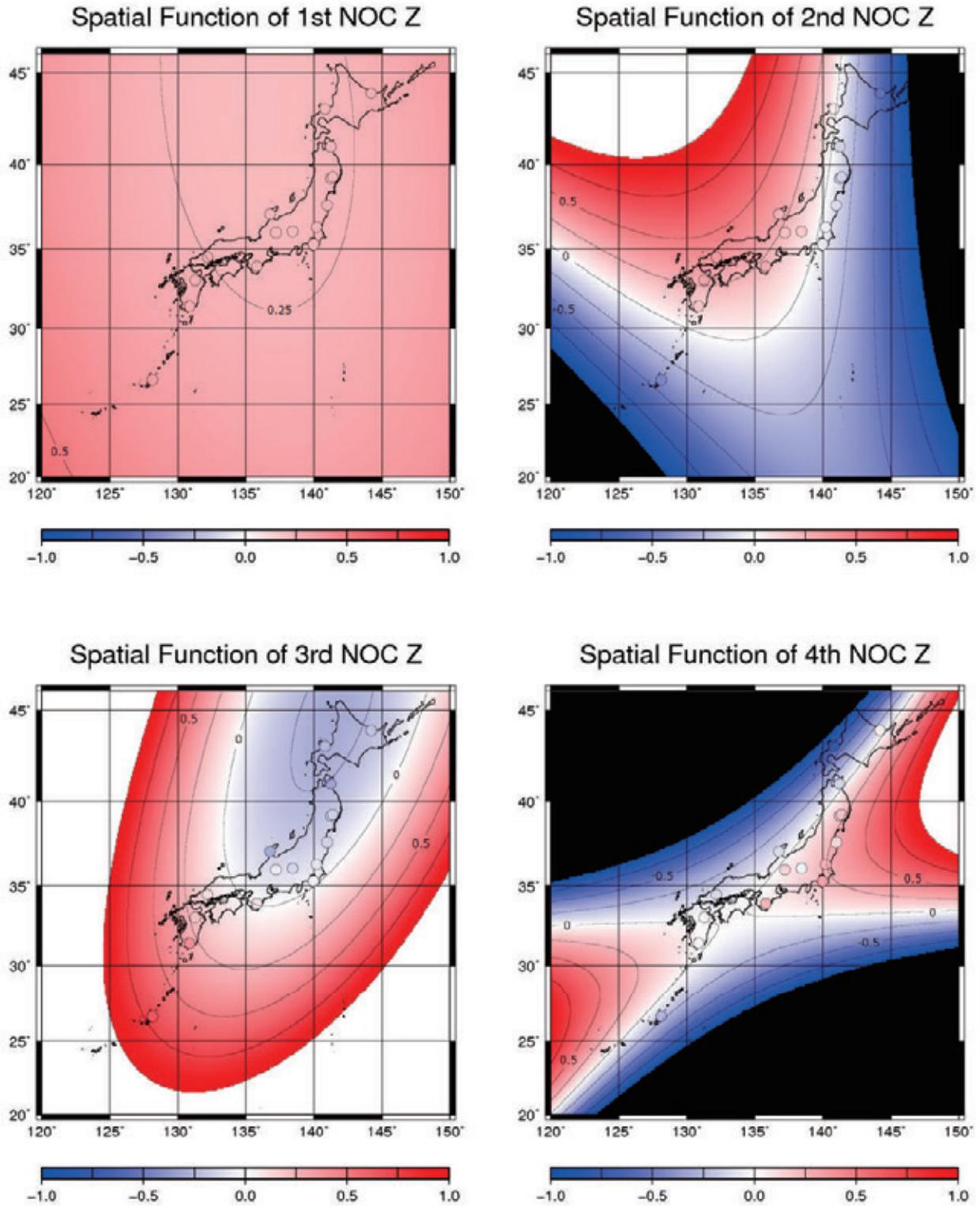


図-7 (c) Z成分の第四主成分までの空間関数の近似式(段彩図)と入力値の比較(無次元). 左上が第一主成分の空間関数, 右上が第二主成分の空間関数, 左下が第三主成分の空間関数, 右下が第四主成分の空間関数を表し, -1 から+1 までの範囲を, 赤青の二色の勾配でプロットした. +1 を超えるものは白色で, -1 を超えるものは黒色で表現される. 段彩図が近似式を表し, 入力値を同じスケールで描画した. 第二主成分までは段彩図とプロットの整合がよく, 第三主成分では若干の乖離が見られる. 第四主成分は, 二次多項式ではうまく表現できていない.

は4分の1程度と小さいため、Z成分の第三及び第四主成分の採用の妥当性については、空間関数の近似の程度から判断することとした。

各成分ごとの空間関数を近似した二次多項式と入力値を、図-7 (a) ~ (c) に示す。背景の段彩図が近似式を、観測点の位置にプロットした色がついた円が入力値をあらわしている。段彩図と円は、値を同じスケールの赤と青の二色による勾配で描画しているため、背景の段彩図と円の色が同じ、もしくは違和感がなければ、近似式による空間関数の再現性が高く、色が異なって目立つようであれば近似式と入力値が整合していないために再現性が低い。図-7を見ると、X, Y成分は、各主成分の時間関数の振幅の変化から判断した主成分の採否と空間関数の近似の良否が整合しており、X成分は第三主成分まで、Y成分は第二主成分まで二次多項式が空間関数の振幅を違和感なく表現している。Z成分の第三及び第四主成分は、再現性は視覚的に相違ないが、第三主成分は南北に勾配を持つような分布となっているのに対して、第四主成分は東西及び南北に双曲線を描くような分布となっている。これは、第四主成分の空間関数の分布は、単純な関数で再現できないことを示唆していると考えられるため、Z成分の第四主成分は採用しないこととした。以上により、採用する主成分の次数は、X成分が第三主成分まで、Y成分が第二主成分まで、Z成分が第三主成分までとした。

## 6. モデルの精度検証

モデルの妥当性を評価するため、精度検証を行った。ここでは、2通りの内部評価と、モデルとは独立な観測結果と比較する外部評価の、合計3通りの検証を行った。以下にそれぞれの評価結果を示す。

### 6.1 モデルの内部評価

まずはモデルの内部評価として、モデル作成に用いた16点の観測点についてモデル値を作成し、13年分のモデル値と実測値の残差の時系列に対して(4)式に表すような二乗平均平方根誤差 (Root Mean Square Error : RMSE) を計算した。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^N (H_i^{OBS} - H_i^{Model})^2}{N}} \quad (4)$$

各点のRMSEとその全点平均値を表-2に示す。なお、八ヶ岳(YAT)については、全磁力計と変化計が別の地点に設置されているが、この二点間の全磁力値の違いが考慮されていないため、磁気値の三成分をベクトル合成した全磁力値と全磁力計から得た観測値に一定のオフセットが生じる。そのため、2001年1月

1日の時間平均値を用いて、磁気値三成分から計算した全磁力Fと、全磁力計の観測値との差を計算し、平均したものをオフセット量として全磁力に補正している。

表-2 実測値とモデル値の残差のRMSE

| SITE | RMSE [nT] |      |      |      |
|------|-----------|------|------|------|
|      | X         | Y    | Z    | F    |
| MMB  | 2.14      | 2.23 | 3.42 | 2.00 |
| AKA  | 2.30      | 4.46 | 3.53 | 2.89 |
| YOK  | 2.93      | 2.03 | 2.88 | 2.16 |
| ESA  | 3.09      | 2.25 | 1.11 | 1.84 |
| MIZ  | 2.47      | 1.38 | 2.01 | 1.02 |
| HAR  | 8.36      | 6.47 | 4.97 | 2.21 |
| SIK  | 1.94      | 3.05 | 2.67 | 1.76 |
| KAK  | 1.52      | 0.98 | 1.03 | 1.13 |
| YAT  | 2.71      | 3.41 | 6.25 | 1.40 |
| HAG  | 2.06      | 3.09 | 3.54 | 2.07 |
| KNZ  | 0.92      | 1.80 | 1.79 | 1.39 |
| YOS  | 2.00      | 2.40 | 2.05 | 2.07 |
| TTK  | 4.62      | 5.40 | 2.21 | 2.14 |
| KUJ  | 1.53      | 3.16 | 2.73 | 2.27 |
| KNY  | 2.25      | 1.76 | 1.26 | 2.02 |
| OKI  | 2.87      | 2.27 | 1.69 | 2.34 |
| Ave. | 2.73      | 2.88 | 2.70 | 1.92 |

内部評価の結果、全点平均値はX, Y, Z成分それぞれで3nT以下、全磁力Fで2nT以下という結果が得られた。各点ごとの値では、原町(HAR)のX, Y, Z成分のRMSEと、十津川(TTK)のX, Y成分のRMSEが大きい。残差の評価を行うため、図8-(a)~(d)に、X, Y, Z成分及び全磁力Fについて、観測値とモデル値の残差の時系列を赤線で、6.2節で行う一個抜き交差検証 (Leave-One-Out Cross Validation : LOOCV, 例えば地球統計学研究委員会, 2003) による内部評価の結果を黒線で示す。

観測環境のよい6つの観測所(MMB, ESA, MIZ, KAK, KNZ, KNY)では、Y成分で若干ばらつきがある又はZ成分で年周変動が残っている観測所があるものの、全体的に全成分において残差のばらつきは小さく、残差の時系列がほぼ一定値に見える。これは、モデル値が実測値をよく再現していると評価でき、逆に観測所の周辺ではローカルな磁気異常が見られないか、観測の系統的な誤差がないとも言える。

そのほかの観測点のいくつかでは、残差に顕著な年周変動が確認される。これは、フラックスゲート磁力計の設置環境が観測所より温度的に不安定であるために、実測値が周囲の温度変化の影響で変動していることに加え、絶対値化が年に一度しか行われていない

## Difference data of X at each Observation station

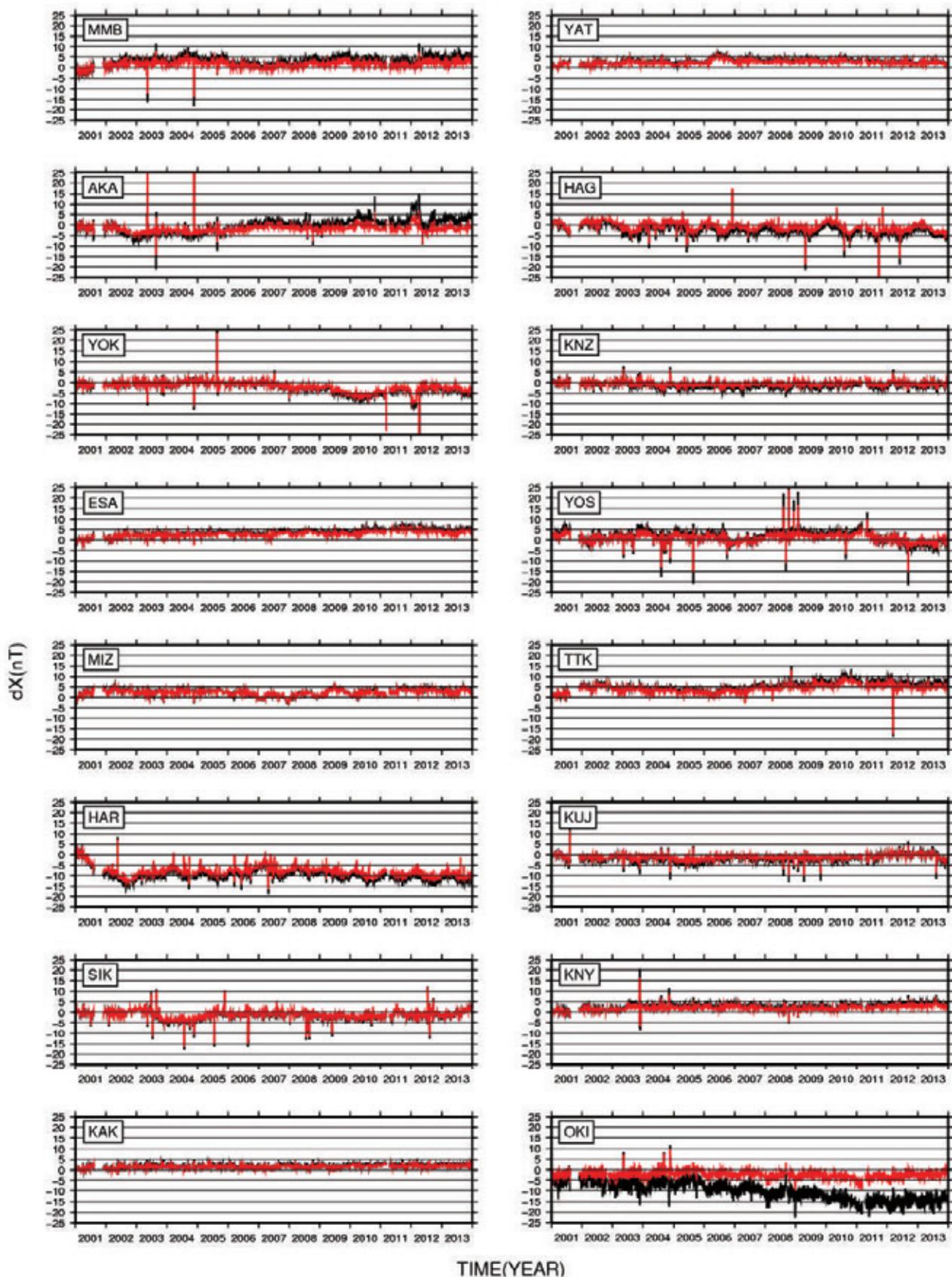


図-8 (a) 各観測点における X 成分の実測値からモデル値を差し引いた残差の時系列データ。赤線が内部評価の結果、黒線が 6.2 節の LOOCV の結果を示す。

## Difference data of Y at each Observation station

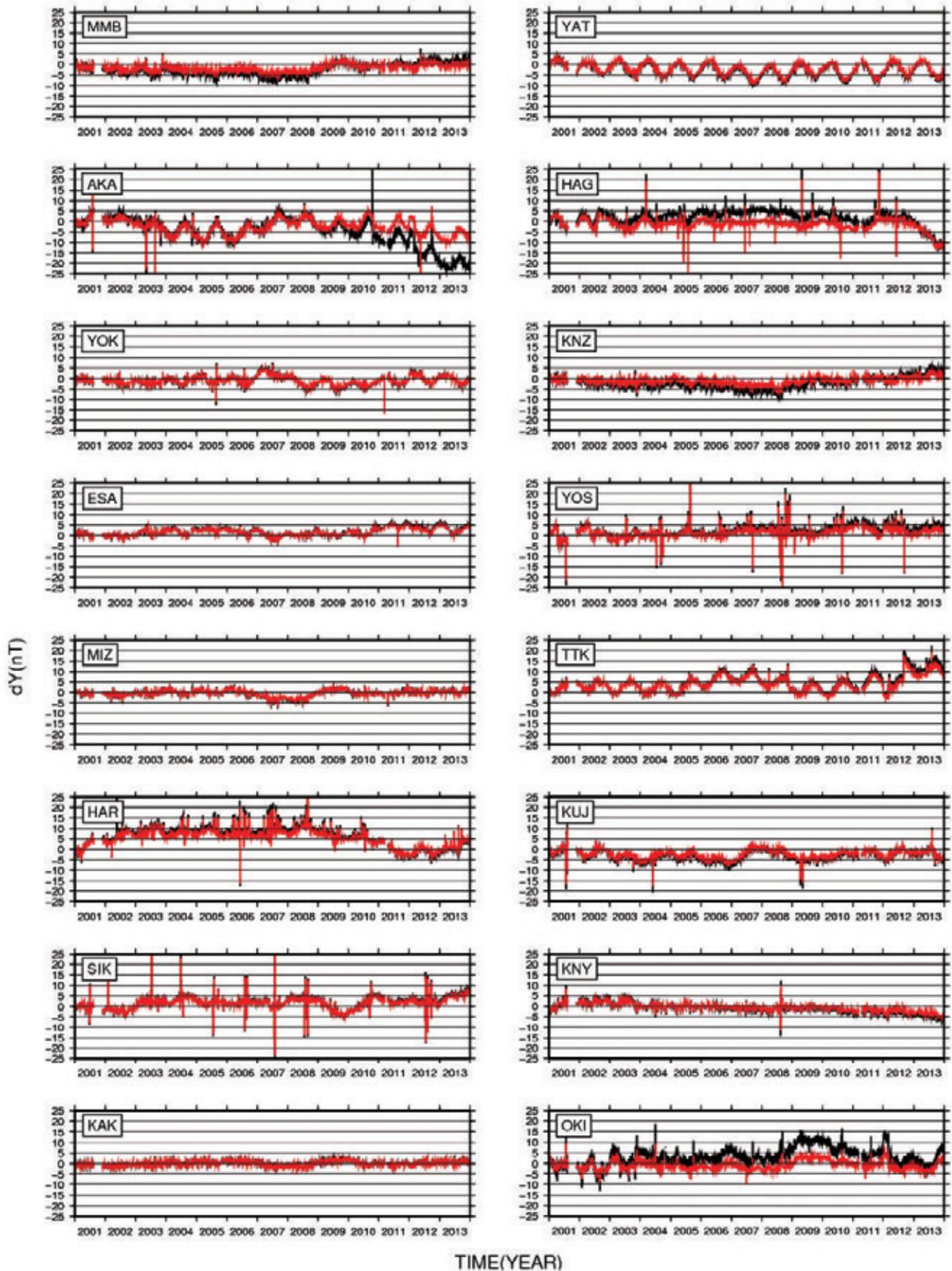


図-8 (b) 各観測点における Y 成分の実測値からモデル値を差し引いた残差の時系列データ。赤線が内部評価の結果、黒線が6.2節の LOOCV の結果を示す。

Difference data of Z at each Observation station

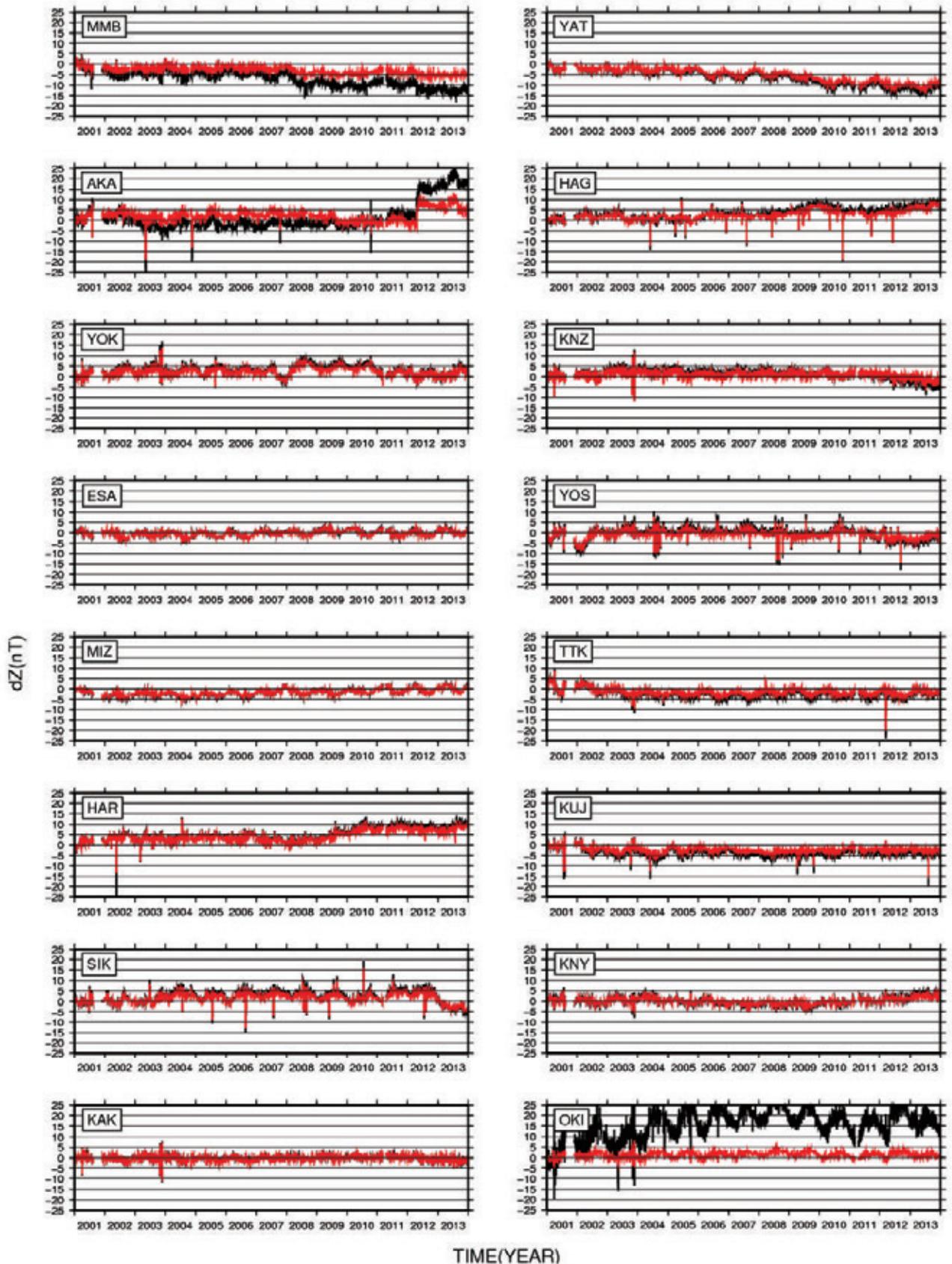


図-8 (c) 各観測点におけるZ成分の実測値からモデル値を差し引いた残差の時系列データ。赤線が内部評価の結果、黒線が6.2節のLOOCVの結果を示す。

## Difference data of F at each Observation station

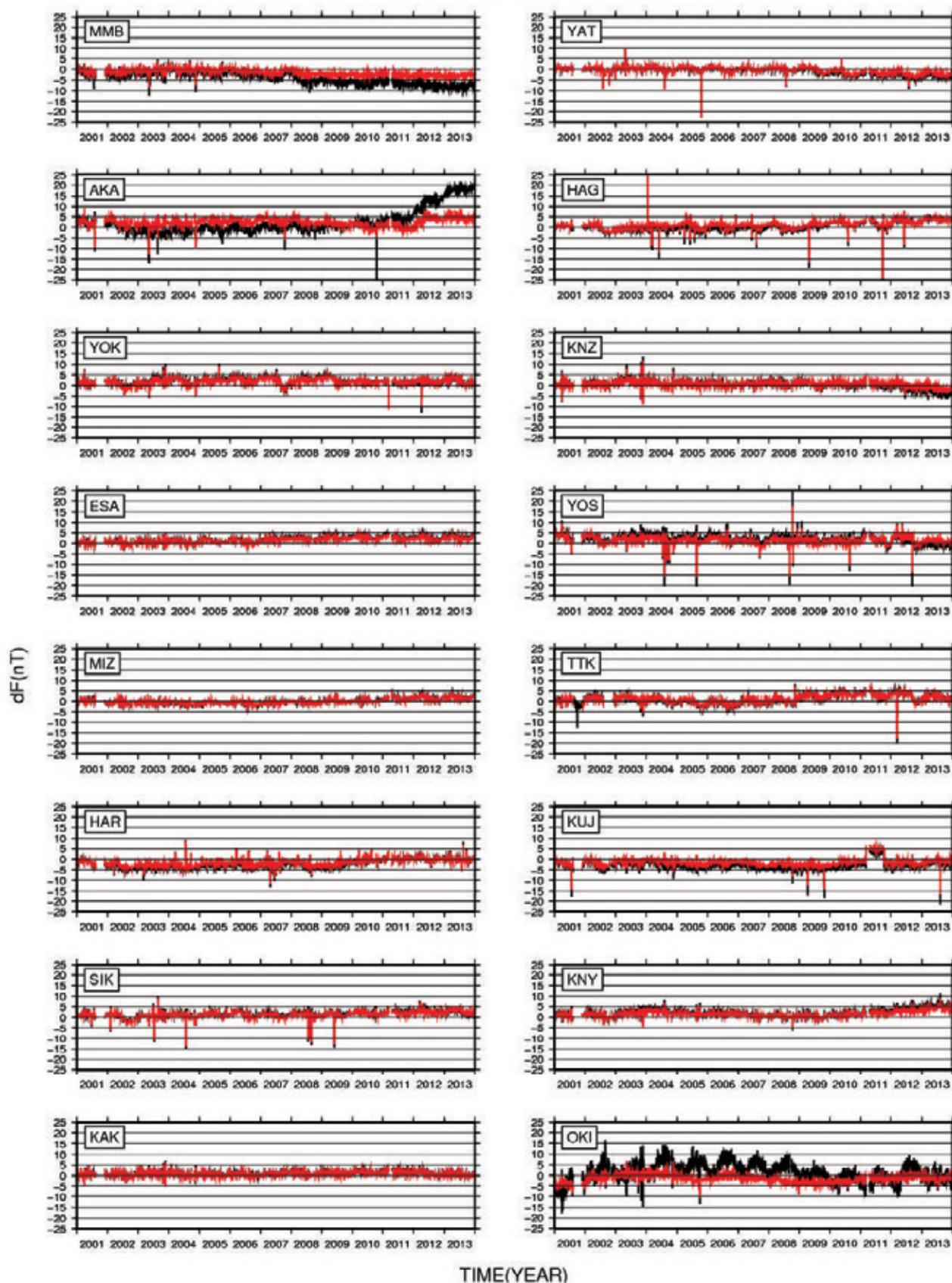


図-8 (d) 各観測点における全磁力Fの実測値からモデル値を差し引いた残差の時系列データ。赤線が内部評価の結果、黒線が6.2節のLOOCVの結果を示す。

ことによると考えられる。この年周変動は、観測点周囲の環境によって程度が異なり、観測点ごとに波の山の位置が異なるため、主成分分析の際に全国共通のシグナルとしては抽出されない。これらの温度依存のシグナルは、八ヶ岳の Y 成分が最も顕著であり、十津川の Y 成分、赤井川 (AKA) の Y 成分、萩原 (HAG) の X 成分、一部の観測点を除く全ての Z 成分に見られる。これらは観測機器の特性に依存して、実測値自体に含まれるシグナルであることから、取り除くことは難しい。なお、Y 成分の第三主成分は、年周変動を表現した成分となっているが、これは八ヶ岳と十津川の変動を表現しており、全国に共通する変動ではないため、全国の標準的な磁場変化を表現するという目的から、本モデルには使用していない。そのため、今回作成したモデルはこれらを表現する主成分を含まないモデルであり、モデルと実測値との残差には、観測機器に含まれる年周変動等の信号がより顕著に確認できるようになる。

この観点で、実測値からモデルの標準的な磁場変化を除去した図 8 を評価すると、一部の観測点データにギャップや除去しきれなかったノイズが含まれていることがわかる。スパイク状の変化は、修正後の実測値にノイズが残留している可能性を示唆している。また、例えば赤井川の Z 成分には、2012 年の前半に 10nT 程度のギャップが確認できる。また、十津川の Y 成分には、2012 年の中ごろに 10nT 程度のギャップが確認できる。これらは絶対値化の処理に原因があることが推測される。ほかにも、久住 (KUJ) の全磁力 F には、2011 年にステップ状の変化が確認できる。こちらについても同様の原因があることが推測される。

以上、16 点の連続観測点について実測値とモデル値の残差の時系列を確認した。この残差は、理想的には、実測値から標準的な磁場変化を除去した後の観測点に固有のシグナルを表した時系列である。モデルの作成には多くの点に明瞭に共通する傾向である、低次の主成分のみを採用したため、モデルが観測値を完全に再現して残差が 0 になることはないが、観測環境がよく、標準的な磁場変化を反映していることが想定される観測所については、今回作成した標準的な磁場モデルと実測値が整合的で、大きなギャップ及び年周変動、並びに、長期的なドリフトを含まない。これは、作成した磁場モデルが標準的な磁場変化を適切に表現していることを示している。一方、連続観測施設では、観測所よりも局所的な人工ノイズの影響を受けやすく、施設の構造上、温度の安定性も低い。そのため、観測所と比べて残差のばらつきが大きく、ギャップや年周変動、中長期的なドリフトが見られる。これは、連続観測施設では、標準的な磁場変化と乖離した局所的な磁場変化が観測データそのものに含まれていることと整合する。以上の結果は、今回作成したモデル

が、日本全国の標準的な磁場変動を表現した、国土地理院の磁気図に用いる目的に適したモデルであることを示している。

## 6.2 一個抜き交差検証

続いて、モデルの最も客観的な内部評価として、交差検証を実施した。交差検証には、一個抜き交差検証 (LOOCV) を採用した。LOOCV は、ある一つの観測点のデータを抜いてモデルを作成し、そのうえで抜いた観測点の場所におけるモデル値を計算し、観測データと比較してモデルの再現性を検証する手法である。主成分分析には、入力データセットが変わると抽出される主成分も変化するため、厳密には採用する主成分の組合せを再検討する必要があるが、1 点を抜いたところで 15 組のデータセットが残ることから、寄与率が大きい主成分に影響は少ないと判断して、採用する主成分数は、先に決定したものと同様の数を使用した。LOOCV は、データセットの数だけ実施することができるため、このモデルでは 16 回行うことができる。1 回の検証につき、除外した点での磁場の X, Y, Z 成分それぞれの時間変化のモデルが作成され、さらにそれらをベクトル合成することで全磁力 F のモデルも作成される。以上により、全 4 成分に対し、13 年分の実測値とモデル値の差を得た。今回は数値的な指標として、13 年間に対して (4) 式に表す RMSE を計算した。計算された RMSE は、全磁力 F を含めた 4 成分に対し、観測点数分の 16 個が得られる。これらの RMSE と、その全点の平均値を表-3 に示す。

表-3 LOOCV の残差の RMSE

| SITE | RMSE [nT] |       |       |      |
|------|-----------|-------|-------|------|
|      | X         | Y     | Z     | F    |
| MMB  | 3.66      | 3.50  | 7.83  | 4.93 |
| AKA  | 3.21      | 10.43 | 6.85  | 6.72 |
| YOK  | 3.50      | 2.26  | 3.47  | 2.32 |
| ESA  | 3.73      | 2.60  | 1.25  | 2.25 |
| MIZ  | 2.69      | 1.54  | 2.24  | 1.19 |
| HAR  | 9.91      | 7.69  | 6.03  | 2.77 |
| SIK  | 2.27      | 3.40  | 3.42  | 1.91 |
| KAK  | 1.95      | 1.08  | 1.10  | 1.37 |
| YAT  | 3.13      | 3.92  | 7.40  | 1.89 |
| HAG  | 3.29      | 4.05  | 4.39  | 2.02 |
| KNZ  | 1.66      | 3.41  | 2.42  | 1.80 |
| YOS  | 2.88      | 3.37  | 2.61  | 2.65 |
| TTK  | 5.58      | 6.25  | 3.08  | 2.25 |
| KUJ  | 2.16      | 3.90  | 3.96  | 3.26 |
| KNY  | 2.93      | 2.34  | 1.63  | 2.60 |
| OKI  | 10.96     | 5.22  | 17.15 | 4.35 |
| Ave. | 4.52      | 4.06  | 4.68  | 2.96 |

表-3 と表-2 を比較すると、内部評価の結果よりも LOOCV の結果の方が全体的に RMSE の値が大きくなっていることが確認できる。RMSE の全点の平均値は、X, Y, Z 成分で 5nT 以下に、全磁力 F については、3nT 程度となった。一方、各観測点に注目すると、沖縄 (OKI) において極端に RMSE が大きい結果が得られたほか、女満別 (MMB) と赤井川でも RMSE が大きい結果が得られた。実測値とモデル値の残差の時系列の評価を行うため、図-8 (a) ~ (d) に、黒線で時系列データを示す。

図-8 を見ると、女満別、赤井川、沖縄の各成分の残差は、内部評価の結果である図中の赤線と比較して乖離する方向に傾向が大きく異なっていることがわかる。これは、配点図に見られるとおり、女満別、赤井川、沖縄をそれぞれ抜いてモデルを作成した場合、そのモデル値が外挿で作成されることによって妥当な値が推定されないことが原因と考えられる。これらの観測点をモデルに組み込むことで、観測値とモデル値の残差は図-8 の黒線から赤線へと改善されるため、これらの観測点は北海道から沖縄まで網羅した一定の精度のモデルを作成するためには不可欠な点であると言える。

表-3 及び図-8 からは、ほかにも RMSE が大きい点を確認される。モデル値の作成が外挿にならない原町の RMSE は、全磁力 F を除く三成分で大きい。原町は、設置場所が墓地の脇にあり、車輛の通過や停車が非常に多いため、連続観測施設の中では最も人工ノイズの影響を受ける点である。特に、フラックスゲート三軸磁力計の方がノイズ源と推測される駐車場に近く、X, Y, Z 成分の RMSE が大きい原因は実測値がノイズを多く含むことにあると推定される。図-8 (a) を確認すると、2001 年 1 月からおよそ半年の間、単調減少傾向が見られている。その後の残差は、大きく変化しないことから、2001 年前半に生じた観測データのドリフトによりオフセットが生じており、RMSE が過大に見積もられたのではないかと推察される。一方、Y 成分でも 2001 年前半のドリフトは起こっているが、それ以上に 2009 年から 2011 年にかけて単調減少が大きい。Z 成分でも 2001 年前半にわずかな増加が確認され、2009 年から 2010 年にかけて単調増加が見られる。この原因が、観測点周辺の環境変化によるものか、観測点付近の実際の磁場変化を示しているかは判断が難しいが、観測点固有の変化であることは明白である。なお、X 成分の時間関数の第四主成分は、ここで見られる原町の X 成分の傾向を抽出しており、図-7(a) の空間関数の入力値を見ても、原町の観測点のみ色の乖離が大きいことがわかる。このように、観測点固有の変動が主成分に抽出された場合、その主成分を採用して空間関数近似を行うことで、観測点固有のシグナルが全国に波及してしまう恐れがある。そのため、こ

の X 成分の第四主成分は、モデルに組み込まないことが望ましく、5.2 節において適切な主成分を選択したことが裏付けられた。

### 6.3 観測点固有ノイズの影響評価

LOOCV の結果を用いることで、6.1 節で述べた、赤井川や十津川の時系列に含まれるギャップが抽出された主成分に有意な影響を与えているかどうかを評価することができる。6.2 節では LOOCV によって除外した点のモデル値と観測値を比較することで、観測値の同化によるモデルの再現性の向上を評価したが、観測データが大きなノイズを含む場合には、データを同化することでモデルの再現性がかえって低下する可能性もある。例えば赤井川を抜いて作成したモデルで推定したほかの 16 点のモデル値を実測値と比較し、残差の RMSE を計算して、全点で作成したモデルのモデル値と実測値の残差の RMSE と比較することによって、赤井川を同化したことでモデルの再現性が向上したのか、それもと赤井川のデータに含まれるノイズがモデルの再現性を低下させたのか、検証することができる。そこで、2012 年 4 月 21 日に生じた 7nT 程度のギャップを時系列に含む赤井川の Z 成分に着目し、赤井川を除外したモデルのモデル値とほかの 16 点の実測値の比較を行った。残差の RMSE を表-4 に、残差のプロットを図-9 に示す。

表-4 赤井川、柿岡、沖縄の観測点を除外したモデルと観測値との残差の RMSE (Z 成分)

| SITE | RMSE [nT] |           |           |          |
|------|-----------|-----------|-----------|----------|
|      | AKA<br>除外 | KAK<br>除外 | OKI<br>除外 | 全点使<br>用 |
| MMB  | 3.27      | 3.45      | 1.98      | 3.42     |
| AKA  | ---       | 3.48      | 3.12      | 3.53     |
| YOK  | 2.94      | 2.84      | 2.20      | 2.88     |
| ESA  | 1.12      | 1.15      | 1.62      | 1.11     |
| MIZ  | 1.58      | 2.04      | 2.89      | 2.01     |
| HAR  | 5.07      | 4.96      | 4.38      | 4.97     |
| SIK  | 2.63      | 2.65      | 1.97      | 2.67     |
| KAK  | 0.92      | ---       | 0.82      | 1.03     |
| YAT  | 6.05      | 6.26      | 6.41      | 6.25     |
| HAG  | 3.72      | 3.53      | 3.20      | 3.54     |
| KNZ  | 1.65      | 1.85      | 2.11      | 1.79     |
| YOS  | 1.91      | 2.05      | 2.75      | 2.05     |
| TTK  | 2.12      | 2.23      | 1.30      | 2.21     |
| KUJ  | 2.62      | 2.73      | 2.27      | 2.73     |
| KNY  | 1.06      | 1.26      | 3.97      | 1.26     |
| OKI  | 1.42      | 1.68      | ---       | 1.69     |
| Ave. | 2.54      | 2.70      | 2.73      | 2.64     |

表-4には、比較のために赤井川を除外したモデルに加え、最もRMSEが小さい、即ちモデルの再現性が最もよい柿岡(KAK)を除外したモデル及び、南端に位置する沖縄を除外したモデルの結果も示した。なお、表-3で除外した点のRMSEは、データを同化しないことから再現性が悪くなることは必然で、ノイズの大きな観測データを同化した際に、そのデータが他の観測点の再現性にどのような影響を及ぼすかを検証するという趣旨にそぐわないため、除外した点のRMSEの値は表-4には示さず、平均値の計算にも用いていない。赤井川を除外したモデルでは、全点使用のモデルのRMSEと比較して、ほぼ全点でより小さいRMSEが得られており、その差は最大で0.5nT程度である。一方、柿岡を除外したモデルでは、除外によって生じたRMSEの差は0.1nT以下で、RMSEが減少するか増加するかは点によって異なる。また、沖縄を除外したモデルでは、点によってはRMSEに2.5nT以上の変化が見られる。沖縄に最も近い鹿屋(KNY)ではRMSEの増加(悪化)が最も大きく、最も遠方の女満別ではRMSEが減少(改善)している。また、平均値に着目すると、全点を使用したモデルのRMSEの平均値と比較して、赤井川を除去したモデルではRMSEが小さくなり、柿岡、沖縄を除去したモデルではRMSEが大きくなった。これは、赤井川をモデルに加えることでほかの点の再現性が低下したことを示している。この影響を確認するため、図-9に、赤井川を除外したモデルと実測値との残差を青色で、全点を使用したモデルと実測値との残差を赤色で示す。図-9から、赤井川の時系列で2012年前半に生じたギャップがほかの点の時系列に影響を及ぼしていることが確認できる。特に女満別や横浜(YOK)では、赤井川にギャップが生じた時期以降に実測値との乖離が大きくなっていく傾向が明らかである。そのほかにも志賀(SIK)、鹿野山(KNZ)、吉和(YOS)、鹿屋でも同様に残差の時系列で実測データとの乖離が大きくなる傾向が生じている。赤井川を除外したことで生じるモデル値の違いは、赤井川自身において最大となり、その値は3nT程度であるが、ほかの点においても赤井川を除外することでモデルに有意な影響があることは明確である。一方で、十津川のY成分に2012年9月に見られる12nT程度のギャップに関しては、図8(b)の十津川の残差の時系列で内部評価とLOOCVで結果が大きく変わらない。これは、ギャップを含んだ十津川がY成分の第三主成分またはそれよりも高次の主成分に支配的であるため、モデルに用いた第一、第二主成分には十津川のギャップの影響が含まれないことによる。図7(b)のY成分の第三主成分及び第四主成分の空間関係の図では、十津川の色の乖離が大きく、十津川のデータがこの成分に大きく寄与したことを示唆してい

る。このように、シグナルに対してギャップが大きいと低次の主成分においてギャップが抽出されることとなり、点固有のノイズである時系列のギャップがモデルに影響を及ぼす可能性が高くなる。採用した次数の主成分では十津川のノイズの影響は及んでいないと考えられるが、赤井川は影響を及ぼしていると考えられる。実際の磁場の時空間変化をより適切に表現したよいモデルを作成するためには、データのクリーニングによってこれらのギャップを取り除くことが重要である。

2012年4月に赤井川の時系列に見られるギャップは、明らかにモデル全体の再現性を低下させていることから、より精度のよいモデルを作成するためには何らかの処理を行う必要がある。赤井川のデータを除外してモデルを作成することも選択肢の一つではあるが、ギャップが生じた2012年以降の絶対観測の値が安定しており、2012年に観測点周辺に磁気値にギャップを生じたなんらかの環境変化が実際にあった可能性が非常に高いことから、ギャップの変化分を2012年4月21日以降の時系列に加え、スムーズな時系列データに補正してモデル作成に用いることで、赤井川のデータを活用することが適切と思われる。この処理によって2014年4月21以降の値は、実際の磁気値と異なる値をモデルに用いることとなるが、主成分分析で作成するのは磁気値の時空間変化であるため、この処理は目的に対して適切な処理であると考えられる。

また、南側の端点のデータを加えることによる影響を評価するため、沖縄を除外した場合についても同様に評価を行った。図-10に、沖縄を除外したモデルと実測値の残差を青色で、全点を使用したモデルと実測値の残差を赤色で示す。図-10は、表-4の結果と総合的で、女満別及び鹿屋において顕著な差が見られるが、そのほかの点では大きな違いが見られない。顕著な差が見られる2点では、赤井川を除外した際に見られた、ギャップと同期して生じる時系列の変化と異なり、モデル作成の全期間にわたって残差の時系列がシフトするような変化が生じていることが確認できる。沖縄を加えることで、特に女満別では1.5nT程度再現性が低下するが、鹿屋では2.7nT程度再現性が向上しており、全点の平均で評価すると0.1nT程度の低下でほぼ変わらない結果となる。一方で、表-3のLOOCVの結果では、沖縄を除外することで沖縄自身の再現性が15nTも悪化することから、沖縄を加えることによって生じるモデル全体の再現性の若干の低下と比べて、沖縄を追加することによる沖縄周辺の著しい再現性の向上の方がはるかにモデル改善の効果が大きいことがわかる。沖縄を加えることで沖縄地域までより再現性の高いモデルを作成することができることから、沖縄をモデルに加えることは適切であると評価できる。

## Difference data of Z at each Observation station using Leave out AKA model

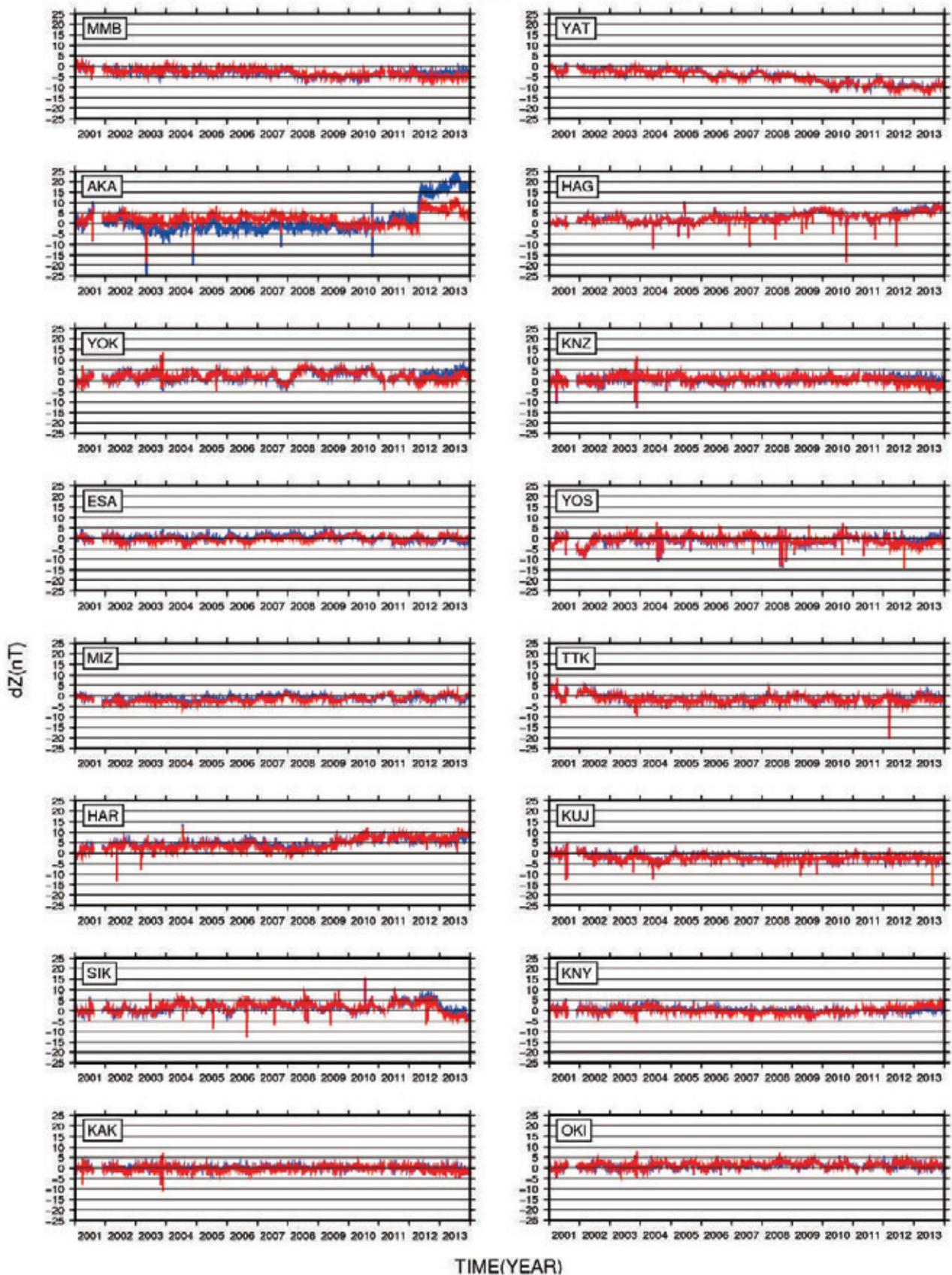


図9 各観測点における鉛直分力Zの実測値からモデル値を差し引いた残差の時系列データ。  
赤線が内部評価（全点使用モデル）の結果、青線が赤井川（AKA）を除外したモデルの結果を示す。

Difference data of Z at each Observation station using Leave out OKI model

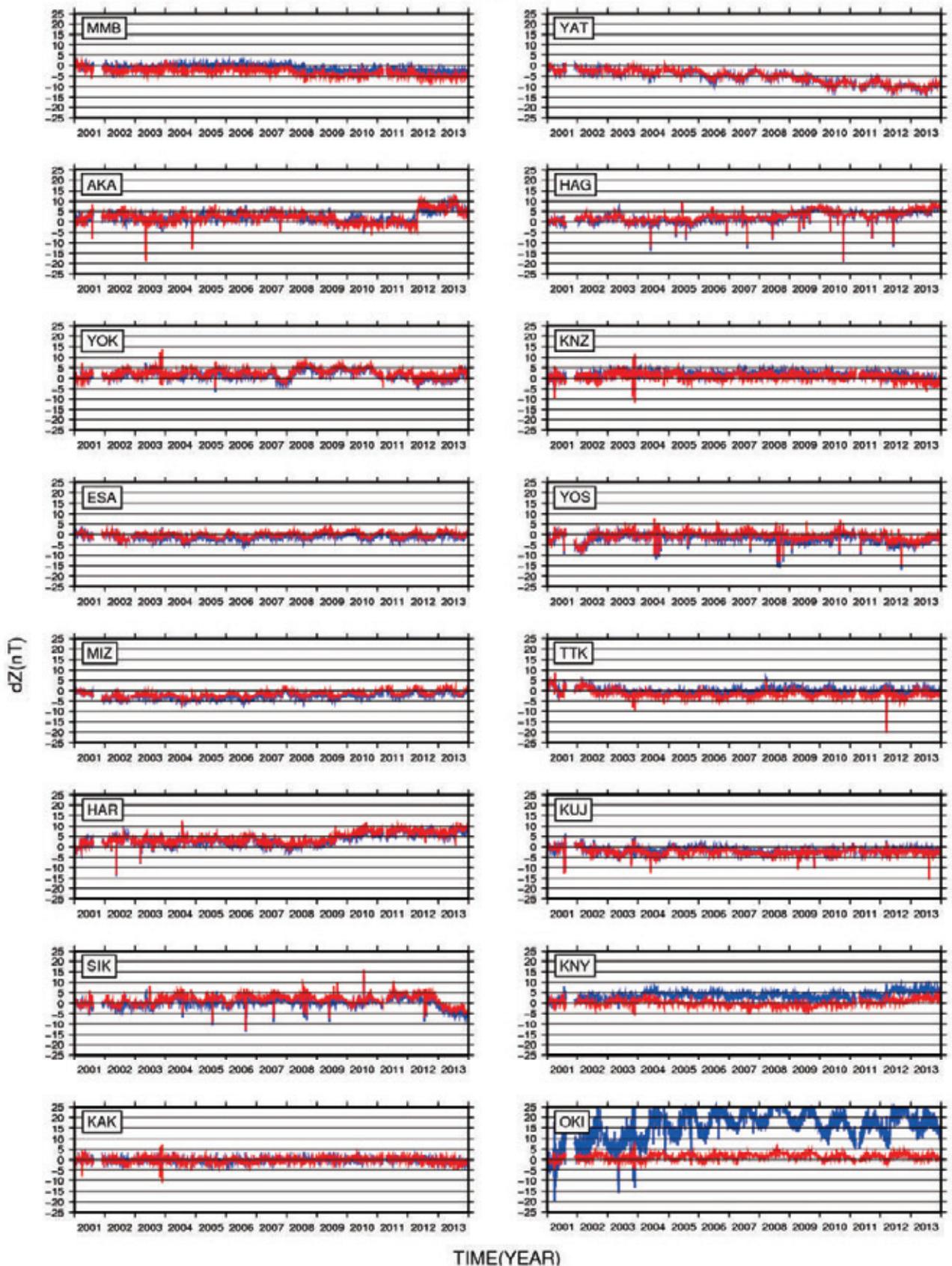


図-10 各観測点における鉛直分力Zの実測値からモデル値を差し引いた残差の時系列データ。  
赤線が内部評価（全点使用モデル）の結果、青線が沖縄（OKI）を除外したモデルの結果を示す。

#### 6.4 一等磁気測量成果を用いた精度検証

続いて、外部評価として、繰り返し観測が実施された一等磁気測量の成果を用いた精度検証を実施する。モデル作成期間中に、2回以上の観測が実施されていれば、1回目の観測日を基準エポックとしてベクトルモデルから日平均値モデルを作成し、2回目以降の観測

測に対して、観測値とモデル値を直接比較することが可能である。比較が可能な観測点は、全部で13点であった(図-4の赤丸の観測点)。その中から、例として図-11に一等磁気点(72)中村、図-12に一等磁気点(12)礼文島における日平均値モデルと一等磁気測量の実測値を同時にプロットした図を示す。

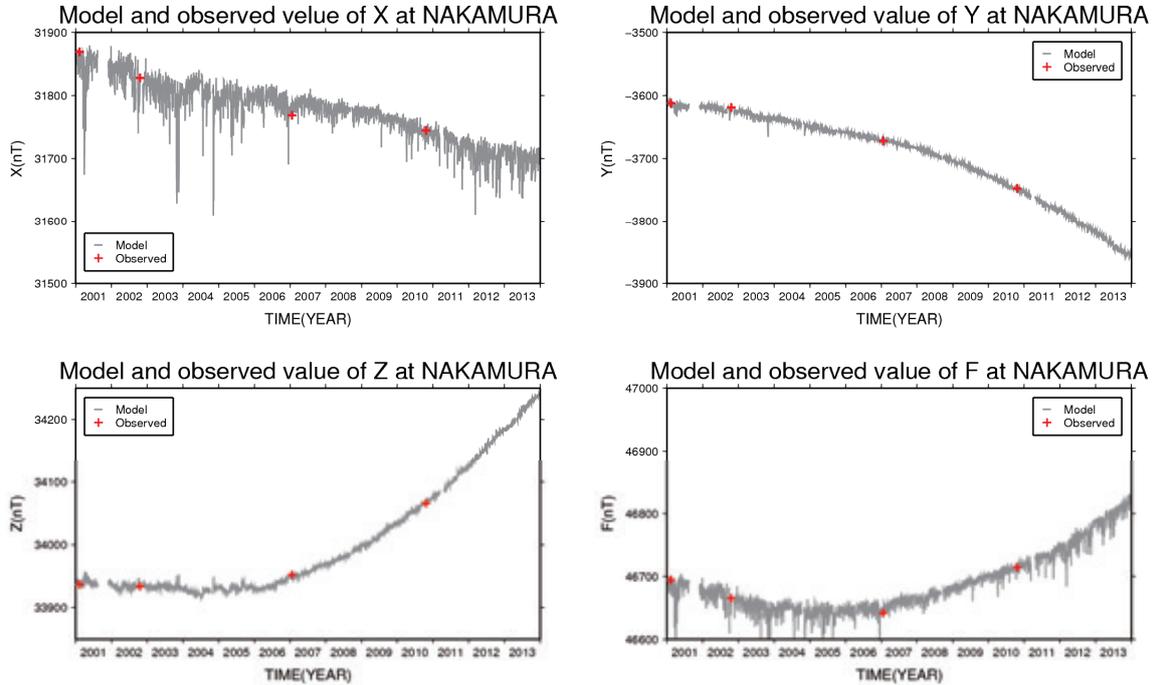


図-11 一等磁気点「中村」における日平均値モデル（灰色の線）と一等磁気測量成果値（十字）

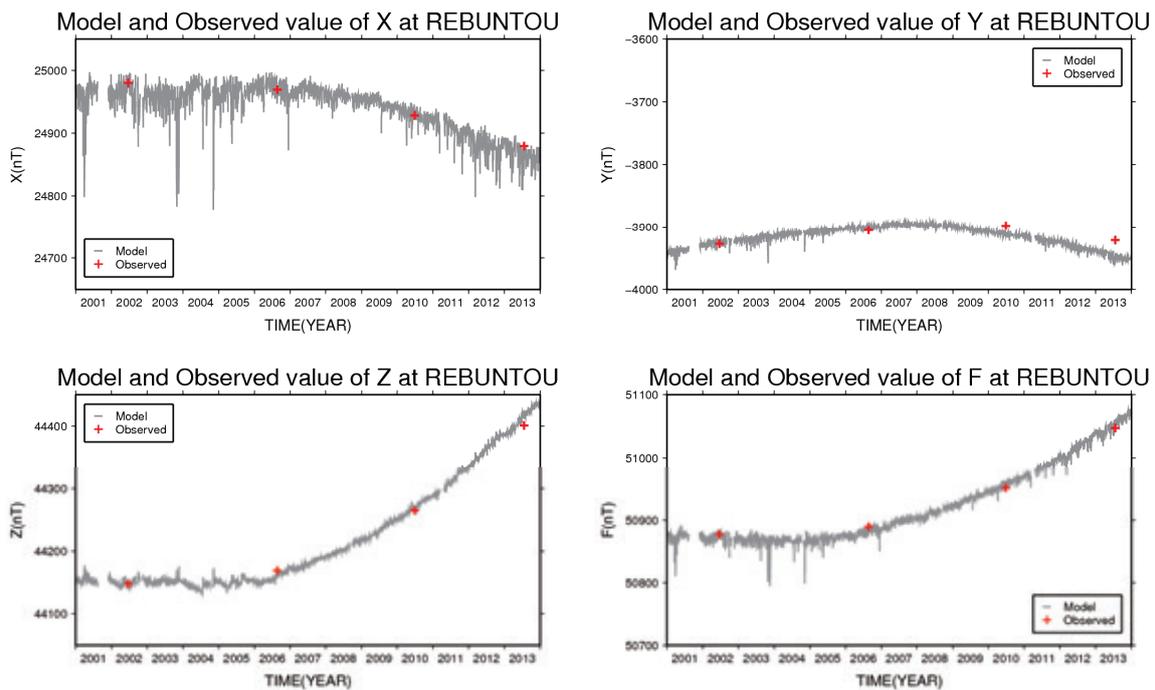


図-12 一等磁気点「礼文島」における日平均値モデル（灰色の線）と一等磁気測量成果値（十字）

図-11 の日平均値モデルは、2001年2月9日の一等磁気測量成果(図中、2001年の十字記号)を基準エポックとし、計算した変化モデルを加えて2001年1月1日から2013年12月31日の期間を作成したものである。X, Y, Z成分それぞれについて全期間のモデル値を計算し、全磁力Fは三成分のベクトル合成によって計算した。図-11では、基準エポック(2001年)の後に3回の繰り返し観測を実施したため、3回分の観測について、モデルと実測値の直接比較が可能である。

繰り返し観測の回数は観測点によって1~3回と異なるが、比較の対象となる2回目以降の観測数は、合計で25回であった。これらの25回のデータについて、モデルと成果との差を計算した結果を表-5に示す。全25組の単純差データのRMSEを計算したところ、X成分で5nT, Y成分で10nT, Z成分で4nT, 全磁力Fで4.5nT程度という結果が得られた。6.2節のLOOCVで得られた結果と比較すると、X, Z成分、全磁力Fは

同程度の範囲で整合しているが、Y成分のみ倍以上の残差が見られ、特に(12)礼文島では、図-12に示すように、経年的にY成分の差が広がっている。

礼文島は日本の中で最北に位置する磁気点であり、礼文島のモデル値は外挿によって推定される。そのため、入力データに礼文島の地磁気変化の情報が含まれないことによって、変化傾向を再現できない可能性が高い。図-12では特にY成分の乖離が大きく、モデルでは2007年から2008年をピークとしてY成分が減少傾向に転じているが、実測値から判断される変化は、2010年頃までは増加傾向にあり、その後減少傾向に転じるという結果である。Y成分の日本全国の観測点の経年変化を比較するため、入力データである連続観測点16点全点におけるY成分の時系列データを、緯度の値の順に上から並べたものを図-13に示す。なお、この時系列データは絶対値ではなく相対値としてプロットしている。

表-5 一等磁気測量成果を用いたモデルと成果の差

| SITE    | EPOCH      | DATE       | dX [nT] | dY [nT] | dZ [nT] | dF [nT] |
|---------|------------|------------|---------|---------|---------|---------|
| (4)川之江  | 2001/01/29 | 2003/10/03 | -1.69   | 6.15    | -0.17   | -1.95   |
|         |            | 2005/09/05 | -4.41   | -0.97   | -0.96   | -3.69   |
|         |            | 2009/11/20 | -6.44   | -2.02   | 1.13    | -2.84   |
| (6)浜松   | 2004/07/24 | 2008/05/14 | -0.53   | 0.16    | -0.34   | -0.18   |
| (12)礼文島 | 2002/06/21 | 2006/08/24 | -1.06   | -4.78   | 3.76    | 4.79    |
|         |            | 2010/06/26 | 3.06    | 16.68   | -1.85   | -1.28   |
|         |            | 2013/07/18 | 4.60    | 26.68   | -13.38  | -11.83  |
| (16)旭川  | 2001/06/21 | 2007/10/15 | -0.07   | 1.11    | 3.93    | 2.89    |
| (20)帯広  | 2002/06/13 | 2004/06/15 | 2.33    | 2.22    | -1.16   | 0.28    |
|         |            | 2011/07/22 | 4.28    | 22.14   | -0.36   | -0.29   |
| (29)大館  | 2003/06/11 | 2007/08/23 | 1.61    | -2.39   | -0.34   | 0.59    |
| (33)石巻  | 2001/06/03 | 2004/05/28 | 0.51    | -0.71   | -0.63   | -0.39   |
|         |            | 2009/06/16 | -0.02   | -3.77   | 2.72    | 2.43    |
| (34)酒田  | 2001/06/11 | 2007/07/14 | -0.99   | -0.74   | 3.56    | 2.48    |
| (39)十日町 | 2002/05/15 | 2006/05/24 | -1.04   | 1.85    | -2.40   | -3.07   |
|         |            | 2010/05/18 | -4.22   | 13.84   | -8.78   | -10.63  |
|         |            | 2012/06/21 | -2.12   | 3.58    | -9.06   | -8.37   |
| (58)鳥取  | 2002/09/28 | 2008/11/12 | -0.68   | 13.64   | 2.86    | 0.29    |
| (63)山口  | 2008/10/11 | 2011/10/26 | 11.12   | 11.74   | -2.31   | 3.88    |
|         |            | 2013/10/22 | 14.93   | 16.73   | -0.23   | 7.67    |
| (64)長崎  | 2005/10/26 | 2008/10/21 | 7.86    | -4.37   | -3.16   | 3.40    |
|         |            | 2011/10/18 | 4.66    | 0.32    | -2.81   | 0.42    |
| (72)中村  | 2001/02/09 | 2002/10/21 | -2.67   | 3.86    | -0.32   | -2.43   |
|         |            | 2007/01/18 | -4.69   | -0.16   | 0.76    | -2.44   |
|         |            | 2010/10/22 | -1.29   | 1.65    | 0.40    | -1.31   |
| RMSE    |            |            | 4.93    | 9.84    | 4.16    | 4.48    |

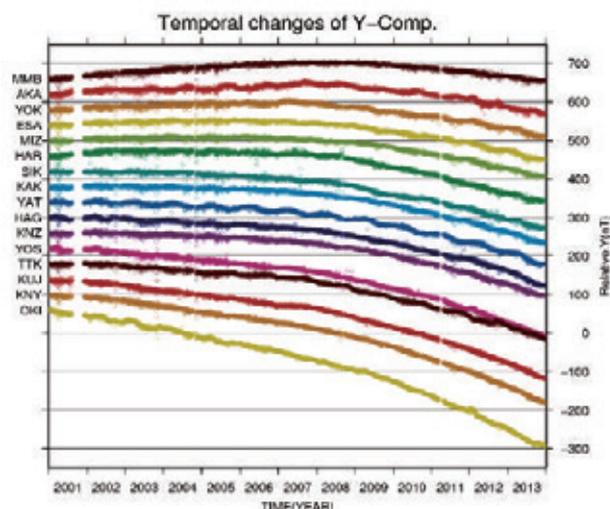


図-13 モデル作成に用いた観測点における、Y成分の時系列データ

図-13 では、北に位置する観測点ほど、近年の減少傾向の前に Y 成分が一度増加する傾向が強く見られ、南の観測点ほど単調減少する傾向が強く見られる。この Y 成分の変化の空間パターンは、磁極の移動に伴う変化を反映していると考えられており (British Geological Survey のホームページを参照)、磁極が北にあることから、北の観測点ほど影響を受けやすい。礼文島のモデルと観測値の乖離はこのような観測点配置により、再現できないことに起因する可能性が高いと考えられる。この外部評価の結果から、北海道の北端まで正確な磁場分布を反映した磁気図を作成するためには、礼文島での繰り返し観測とそのデータを同化したモデル作成が必須となることが示された。礼文島でのモデルと実測値の乖離は、11 年間で 27nT に達しており、礼文島の繰り返し観測のデータをモデル作成に用いない場合、北海道の北部では、磁気図に年間 2.4nT の誤差が累積する。

一方で、Y 成分は偏角成分に対応する成分であり、絶対観測の際に方位角観測を介して偏角が求められるため、観測の回数、すなわち誤差要因が一回多く、誤差の影響を受けやすい観測量である。そのため、Y 成分は、ほかの成分と比較して観測誤差が大きい可能性は否定できない。なお、礼文島におけるこの差を偏角  $D$  の値に変換すると、10 年間でおよそ 3 分となる。観測時には秒単位で偏角値を算出するため、3 分の誤差はかなり大きいことがわかるが、全国を対象とした磁気図においては、コンター間隔を 10 分としているため、その半分以下の誤差でしかないことがわかる。磁気図を描画する際に大勢としては影響が出ないものと思われるが、誤差が累積することは望ましくないため、定期的に較正することが必要である。

このほか、一等磁気測量に含まれる誤差要因に、観測環境の変化がある。例えば、(39) 十日町の結果を見

ると、3 回の比較のうち、2 回目の 2010 年 5 月の Y 成分の差だけ、飛び抜けて大きな残差を示している。この原因は、観測時、観測点付近にノイズ源があったことが確認されている。

(63) 山口においては、X, Y 成分の残差が大きい。2 回にわたって残差が大きいこと、基準とした観測時に何らかの観測誤差が含まれた可能性が否定できない。

以上から、モデルと成果との差の RMSE が大きく、6.2 節の LOOCV で得られた結果と整合しない場合の要因は、モデル領域の端で観測データがない場合と一等磁気測量の観測誤差による場合の 2 つに分類される。繰り返し観測のデータを同化したモデルを作成する際は、一等磁気測量の観測の記録を丁寧に確認する、検閲を行うなど慎重に評価する必要がある。

## 6.5 精度検証のまとめ

今回行った内部評価によるデータの再現性は、X, Y, Z 各成分で 3nT 程度、全磁力 F で 2nT 程度となった。

LOOCV により評価したデータの再現性は、X, Y, Z 各成分で 5nT 程度、全磁力 F で 3nT 程度となった。

一等磁気測量成果を用いた外部評価において、外れ値と思われるものも含めて精度を評価した結果、Y 成分のみ 10nT, X, Z 成分及び全磁力 F では 5nT 程度となった。

内部評価の結果がほかの検証結果よりも優れていることは妥当であり、モデルが正しく機能していることを示している。一方で LOOCV と一等磁気測量成果を用いた外部評価の結果は整合的であり、これが直接今回作成したモデルの精度と呼んで差し支えない。X, Z 成分及び全磁力 F では 5nT 程度、Y 成分では 10nT 程度の精度を達成したと考えられる。

## 7. まとめ

国土地理院、気象庁及び東京大学地震研究所の地磁気ベクトル連続観測データから、主成分分析を用いて地磁気変化モデルの作成を試みた。13 年分の連続観測データから日平均値の変化モデルを作成し、任意の日の地磁気各成分が既知の場合に、変化モデルを加えることで 13 年分の絶対値モデルを作成することが可能となった。精度検証の結果として、X, Z 成分では 5nT 程度、Y 成分では 10nT 程度の精度を達成した。また、三成分のベクトル合成から計算した全磁力 F は、5nT 程度の精度を達成した。モデル領域の端では、観測データがないとモデルの再現性が大きく低下することから、縁辺まで精度のよいモデルを作成するためには、モデル領域の縁辺で観測を継続する必要がある。特に女満別 (MMB)、赤井川 (AKA)、沖縄 (OKI) における連続観測、一等磁気点「礼文島」の繰り返し観測の

成果については、モデルに同化する必要がある。使用データにはノイズが完全に除去できていない点があり、そのノイズがモデル全体の再現性の低下につながるため、それらの点については、補正量を与えて時系列のギャップを取り除く、データに絶対値を与えた絶対観測を見直すなど、個別に適切なノイズ修正を施す必要がある。ノイズが適切に修正されることにより、より信頼性の高いモデルの作成が可能となる。

本手法で開発したモデルを用いることで、より再現性の高い全国の地磁気の変化成分のモデル化が可能となり、精度の良い磁気図の作成に貢献することができる。さらに、全国を網羅する標準的な地磁気の時間変化を提供できることから、様々な地磁気観測の参照データとして利用できる。例えば、通常の火山帯における全磁力観測では、火山帯にある観測点と、参照点として火山の影響を受けない観測点との合計2か所での観測が必要となる。しかし、本モデルを使用すると、火山帯の観測点の全磁力のモデルを直接作成することが可能となるため、参照点の設置が不要となり、作業効率化にも貢献することができる。

## 謝辞

本開発にあたっては、気象庁地磁気観測所の観測データを使用させていただきました。また、東京大学地震研究所の八ヶ岳地磁気観測所の観測データを使用させていただきました。また、東京大学地震研究所小山崇夫助教、小河勉助教には、数々の技術的助言をいただきました。国土地理院地理地殻活動研究センターの宗包浩志宇宙測地研究室長、川元智司主任研究官には、解析手法についての助言をいただきました。ここに記して感謝いたします。主成分分析や最小二乗法の解析には、R (Ihaka and Gentleman, 1996) を使用しました。図の作成には、The Generic Mapping Tools (GMT) ソフトウェア (Wessel and Smith, 1998) を使用しました。海岸線の情報は、国土地理院の基盤地図情報を使用しました。

(公開日：平成27年11月26日)

## 参考文献

- British Geological Survey : Magnetic Poles, <http://www.geomag.bgs.ac.uk/education/poles.html> (accessed 24 Jun. 2015).
- 地球統計学研究委員会 訳編／青木謙治 監訳 (2003) : 地球統計学, 森北出版株式会社
- Fujiwara S., T. Nishiki, H. Shirai, H. Hamazaki, and V. P. Glovkov (2001) : Modeling the daily mean values of regional geomagnetic total field changes in Japan, *Earth Planets Space*, 53, 69-73.
- Geographical Survey Institute (1973) : Magnetic Charts for the Epoch 1970.0, *Bulletin GSI*, 19, 1, 131-137.
- Ihaka R., R. Gentleman (1996) : R: A Language for Data Analysis and Graphics, *Journal of Computational and Graphical Statistics*, Volume 5, Issue 3, 299-314.
- INTERMAGNET : Technical Reference Manual Version 4.6 (2012), [http://www.intermagnet.org/publications/intermag\\_4-6.pdf](http://www.intermagnet.org/publications/intermag_4-6.pdf) (accessed 24 Jun. 2015).
- Ji X., M. Utsugi, H. Shirai, A. Suzuki, J. He, S. Fujiwara, and Y. Fukuzaki (2006) : Modeling of spatial-temporal changes of the geomagnetic field in Japan, *Earth Planets Space*, 58, 757-763.
- 植田勲, 阿部聡, 後藤勝弘, 海老名頼利, 石倉信広, 田上節雄 (2013) : 磁気図 2010.0 年値の作成, *国土地理院時報*, 123, 9-19.
- Wessel, P., W. H. F. Smith (1998) : New, improved version of Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. Am. Geophys. Union*, 79, 579.
- World Data Center for Geomagnetism, Kyoto : 地磁気一分値プロット／データ出力, <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/mdplt/index-j.html> (accessed 24 Jun. 2015).

日本の磁気図作成における地磁気値の空間補間手法の検証  
 Evaluation of interpolation method for geomagnetic values applied for development of  
 geomagnetic charts of Japan

測地部 阿部聡・宮原伐折羅  
 Geodetic Department Satoshi ABE, Basara MIYAHARA

要 旨

国土地理院では、日本全国の磁場分布とその永年変化を把握するために地磁気測量を実施し、得られた磁場分布を磁気図として公開している。最新の磁気図は 2011 年に公表した磁気図 2010.0 年値で、磁場 5 成分（偏角 D、伏角 I、水平分力 H、鉛直分力 Z、全磁力 F）の 2010 年 1 月 1 日における空間分布を示す図である。最新の磁気図では、日本全国の地磁気モデル値を計算する「地磁気時空間モデル」を新たに作成し、これを用いて磁気図を作成した。今後はこのモデルを使用して、5 年の更新間隔で磁気図を更新する。地磁気時空間モデルを用いると、任意の時期の任意の場所における磁場の変位を得ることができるため、これを加味することで、過去に地磁気測量を実施したことがある日本全国の一等及

び二等磁気点上において磁場のモデル値を得ることができる。得られたモデル値は磁気点のみに存在し、点以外の場所では値が得られないため、隙間なく全国を網羅する磁気図を作成するためには、各磁気点におけるモデル値を空間補間することで、地磁気値が等間隔に配列したデータを作成する必要がある。しかし、この手法では、周囲のデータと可能な限り整合するよう配列データを作成するため、作成したデータと元の入力モデル値は完全には一致せず、残差が生じる。補間にあたっては、できるだけ残差を小さく、地磁気の空間分布を適切に表現する最適な空間補間手法を選択する必要がある。そこで、より精度のよい磁気図の作成を目的として、複数の手法について再現性の評価と一個抜き交差検証による精度評価を行い、最適な空間補間手法の検証を行った。

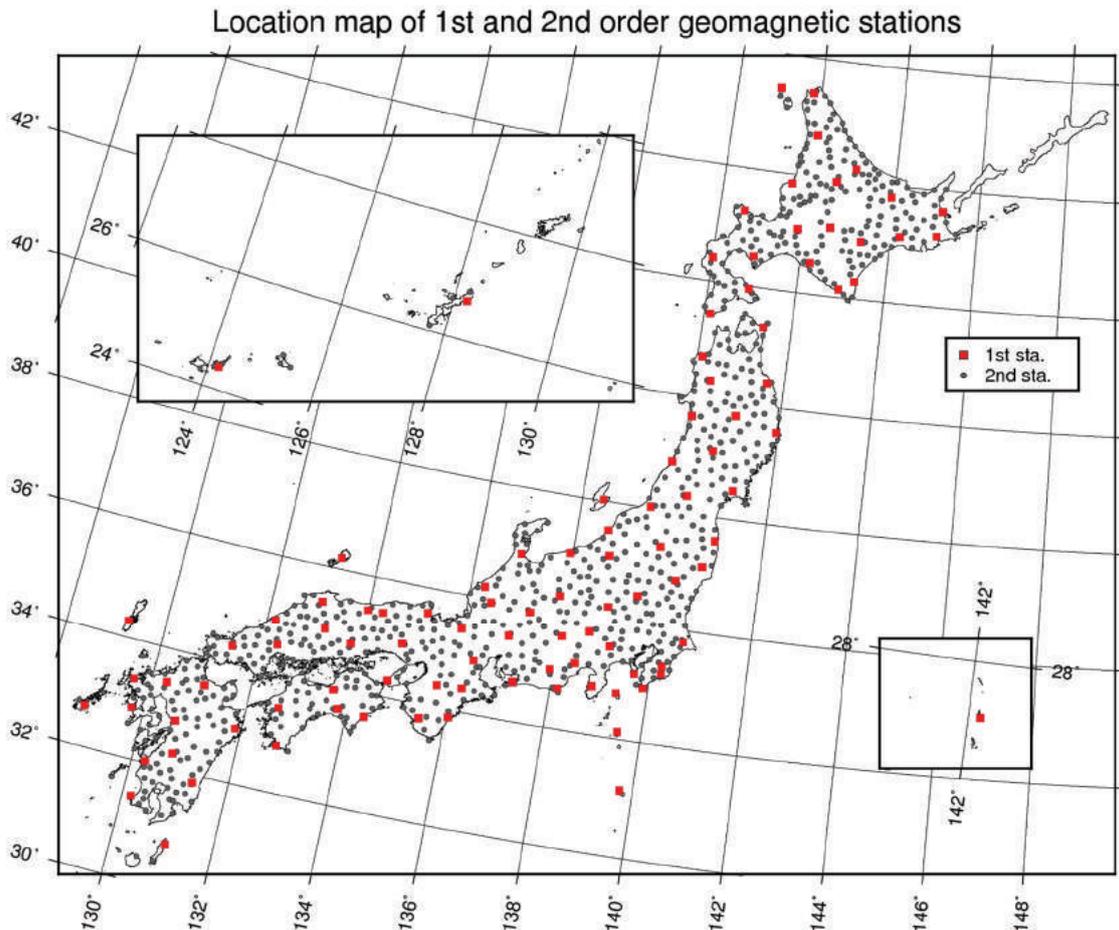


図-1 一等磁気点及び二等磁気点の配点図

## 1. はじめに

国土地理院は、日本全国の地磁気の地理的分布と永年変化を把握するため、1948年から現在まで日本全国を網羅する地磁気測量を実施している。国土地理院では、地磁気測量を目的に応じて一等磁気測量と二等磁気測量に分類している。一等磁気測量では、地磁気の永年変化を把握することを目的として、日本全国約100点の一等磁気点上で繰り返し観測を行い、二等磁気測量では、磁気異常の分布を把握する

ことを目的に、日本全国約840点の二等磁気点上で観測を行っている(図-1)。これらの観測の成果は、磁場分布を等値線図で示した「磁気図」にまとめられるが、地磁気の分布は時空間的に変化し続けているため、正確な磁場分布を表す磁気図を作成するには、観測を継続して磁場の時空間変化を把握し、磁気図を定期的に更新する必要がある。

国土地理院はこれまで、表-1に示すとおり磁気図の公開を13回行っている。

表-1 過去に作成された磁気図一覧

| 磁気図名 (参考文献)  | 観測期間      | 対象地域 | 作成した地磁気成分                            |
|--|-----------|------|--------------------------------------|
| <b>一等磁気測量成果</b>  |           |      |                                      |
| 磁気図1950.0年値<br>(Tsubokawa, 1952)                         | 1948-51   | 全国   | 偏角D<br>伏角I<br>水平分力H                  |
| 磁気図1960.0年値<br>(The Geographical Survey Institute, 1961) | 1951-57   |      |                                      |
| <b>二等磁気測量成果</b>  |           |      |                                      |
| 磁気図1952.5年値<br>(The Geographical Survey Institute, 1954) | 1952-53   | 北海道  | 偏角D<br>伏角I<br>水平分力H                  |
| 磁気図1955.0年値<br>(The Geographical Survey Institute, 1957) | 1953-55   | 東日本  |                                      |
| 磁気図1955.0年値<br>(The Geographical Survey Institute, 1960) | 1956-57   | 西日本  |                                      |
| 磁気図1960.0年値<br>(The Geographical Survey Institute, 1962) | 1958-59   | 北海道  | 偏角D<br>伏角I<br>水平分力H<br>全磁力F          |
| 磁気図1960.0年値<br>(The Geographical Survey Institute, 1965) | 1960-63   | 東日本  |                                      |
| 磁気図1960.0年値<br>(The Geographical Survey Institute, 1971) | 1964-69   | 西日本  |                                      |
| <b>一等・二等磁気測量成果</b>                                       |           |      |                                      |
| 磁気図1970.0年値<br>(The Geographical Survey Institute, 1973) | 1958-1971 | 全国   | 偏角D<br>伏角I<br>水平分力H<br>鉛直分力Z<br>全磁力F |
| 磁気図1980.0年値<br>(First Geodetic Division, 1983)           | 1971-1980 |      |                                      |
| 磁気図1990.0年値<br>(First Geodetic Division, 1993)           | 1981-1990 |      |                                      |
| 磁気図2000.0年値<br>(白井ほか, 2002)                              | 1980-2000 |      |                                      |
| 磁気図2010.0年値<br>(植田ほか, 2013)                              | 1969-2010 |      |                                      |

一等磁気測量の成果のみを使用した磁気図は、最も古いもので全国51点の一等磁気点の観測結果を用いており、以降は磁気点を増設しながら作成を行ってきた。一等磁気点は全国100点程度で、空間密度の限界から、これらの磁気図では磁場の局所的な分布は表現できないが、広域の磁場分布を表現するには十分な空間解像度を持つため、一等磁気測量成果を

経緯度の二次多項式で近似し、近似曲線で日本全国の磁場分布を表現している。

一方、二等磁気測量成果のみを使用した磁気図では、全国約840点の二等磁気点の観測による密な観測点密度を活かして局所的な磁気異常の分布を把握できるため、地域ごとに二等磁気測量の成果を補間して作成した等値線で磁場分布を表現している。

磁気図1970.0年値以降は、一等磁気測量成果及び第2回の二等磁気測量成果を用いて、日本全国の詳細な磁気図の作成を開始した。磁気図1970.0年値から2000.0年値の期間では、全国およそ100点の一等磁気点に対して、全国を網羅するように点を選択して繰り返し観測を実施し、その成果に基づいて10年ごとにその期間の地磁気の変化量を求め、その変化量を磁気図1970.0年値に累積して加算することでその時点の磁気図を作成してきた。

しかし、磁気図2010.0年値の作成にあたっては、全国11か所に設置した「地球電磁気連続観測装置」による全磁力及び地磁気三成分の連続観測を1997年に開始したこと、連続観測の開始に伴って一等磁気測量の観測点数を減らしたことから、使用できる観測データが変わったため、同様の手法で磁気図を作成することが難しくなった。そこで、「地磁気時空間モデル」を使用した新しい磁気図作成手法を開発し、磁気図2010.0年値の作成に採用した（植田ほか，2013）。このモデルでは、複数の連続観測データから、数学的な解析手法を用いて全国を網羅する磁場変化量モデルを作成するため、全ての一等及び二等磁気点において磁場のモデル値を得ることができる。モデル値は、一等及び二等磁気点における空間的に離散的な地磁気値である。モデル値から空間を抜けなく網羅した等値線図を作成するにあたり、空間的に不規則で隙間のある分布を持つ一等及び二等磁気点の地磁気値から、空間補間によって等間隔に隙間なく配列した地磁気値のデータ（以下、「グリッドデータ」という。）を作成し、グリッドデータから磁気図を描画する処理が必要となる。グリッドデータの作成には、地球科学の計算処理を行うプログラム群であるThe Generic Mapping Tools (GMT) (Wessel and Smith, 1998) を用いた。グリッドデータを作成するための空間補間手法（以下、「グリッド化手法」という。）には、どのような関数を用いて平滑化したデータを表現するか、出力結果を入力値にどの程度拘束するか、周囲の観測データとの相関をどの程度考慮するかなど、複数の選択肢があるが、磁気図2010.0年値の作成では、離散的なデータを空間補間する際に標準的に用いられるsurfaceスプライン法（Smith and Wessel, 1990）を採用した。磁気図2015.0年値の作成に先立ち、今回、入力データの再現性の評価と一個抜き交差検証（Leave-One-Out Cross Validation : LOOCV, 例えば地球統計学研究委員会, 2003）による精度評価に基づいて、最適なグリッド化手法の検討を行った。

## 2. 磁気図作成手法について

モデル作成の過程における今回の検討の位置づけを明確にするため、磁気図 2010.0 年値の作成手法

（植田ほか，2013）を簡潔に述べる。磁気図 2010.0 年値の作成は、図-2 に示すように大きく 2 段階に分けられる。

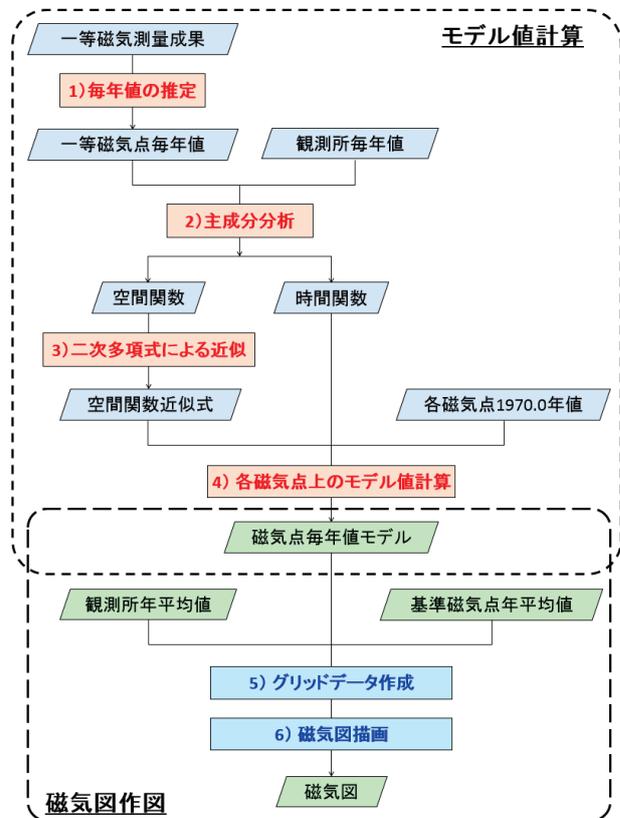


図-2 磁気図作成のフローチャート

第一の作成過程は磁場のモデル値計算で、図-2 の 1) から 4) の手順に相当する。ここでは、地磁気時空間モデルを使用して、任意の時間における一等及び二等磁気点における磁場のモデル値を推定する。地磁気時空間モデルでは、基準とする任意の時期における地磁気値からの変化量を推定することができる。ただし、変化量の推定は、連続したデータを用いて行う主成分分析によって可能となるため、基準とする任意の時期から推定したい時期までの連続データが必要である。磁気図 2010.0 年値の作成では、基準日を 1970 年 1 月 1 日（磁気図 1970.0 年値成果）としたため、モデルの特性上、1969 年からの連続観測データが必要となる。そのような連続観測データが存在するのは、国土地理院及び気象庁が運用する 5 点の観測所のみで、全国の磁場の変化を把握するためには空間分布が不十分である。そのため、5 点の観測所の連続データを用いて主成分分析を行い、その結果を用いて繰り返し観測を実施した一等磁気点のデータについて毎年の地磁気値を推定した上で、観測所のデータに推定した一等磁気点のデータを加えて再度主成分分析を行うという煩雑な手法を用いている。さらに、次回更新を予定する磁気図 2015.0

年値からは、1999年以降については、全国10ヶ所の地球電磁気連続観測装置の連続観測データが利用可能であるため、これらのデータも加えてモデルを作成する予定である。なお、装置の近傍には花崗岩の基準磁気点が設置されており、装置で得られた観測データは基準磁気点における値に補正されている。モデル作成手法の詳細とモデルの精度評価は、阿部ほか(2016)で述べられており、5~10nTで磁場変化を再現するモデルが得られることが確認されている。

第二の作成過程は磁気図の作図で、図-2の5)から6)の手順に相当する。最初の作成過程で一等及び二等磁気点における任意の時期の磁場のモデル値が得られ、そこに観測所と基準磁気点の任意の時期の年平均値(以下、「毎年値」という。)を加えてデータセットを作成し、GMTのグリッド化コマンドによって経度緯度3分間隔のグリッドデータを作成して等値線図を描画する。ここで作成したグリッドデータは、磁気図のほかに2.5万分1図葉ごとの偏角値及びそれらの偏角値一覧を図にした偏角一覧図、並びに国土地理院のホームページで提供している、任意の場所における地磁気値計算サービスサイト([http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/geomag/menu\\_04/index.html#keisan](http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/geomag/menu_04/index.html#keisan))で活用されている。

以上のように、磁気図はモデル値計算と作図の2つの作成過程に分けられる。本稿では、2つ目の作成過程である磁気図の作図における、グリッド化手法について検証を行う。

### 3. 検証対象とする空間補間(グリッド化)手法

磁気図を作成するために、空間的に離散的に分布した磁気点の毎年値のモデル値並びに観測所及び基準磁気点の毎年値から、GMTのプログラムを使用してグリッドデータを作成する。GMTはオープンソースソフトウェアで、空間的に離散的なデータから地図上に等値線図を描画するプログラムを提供している。データの空間的な分布パターンに何らかの物理的な特徴が明確にあるのであれば、その特徴を表現するために適したモデル化手法を選択する必要があるが、国土地理院で観測している地磁気値は主磁場だけでなく地殻起源の残留磁場も含む、局所的な

磁気異常を強く反映したものであるため、空間分布に物理モデルを仮定して補間をすることが難しい。そこで、補間方法には物理的な意味は求めず、次の二つの条件を満たすグリッド化手法を求めることとした。

- ① 磁気点における磁場のモデル値(以下、「入力値」と呼ぶ。)とグリッドデータとの残差が小さい。
- ② LOOCVで評価した残差が小さい。

GMTに実装されているグリッド化手法は複数あるため、まずは各手法の特徴を概観し、検討対象の手法を整理する。

#### 3.1 surface スプライン法

surface スプライン法は、すべての入力値を滑らかにつなぐ曲面でグリッドデータを作成する手法で、テンションを指定して平滑化を実行する。テンションは、補間によって作成する曲面の空間的な滑らかさを定める変数で、0から1の間の値をとる。テンションが0の場合は最も滑らかな面となり、1の場合は平面的になる。surface スプライン法は外挿で曲面を作成することが可能であり、磁気図2010.0年値作成の際にはテンション0としてsurface スプライン法を採用したため、本稿でも従来手法との比較として検討の対象とする。

#### 3.2 グリーン関数スプライン法

グリーン関数は、情報の伝播を表す関数であり、ある場所の情報が周囲の点にどのように伝播するかを表現する。グリッド化では、作成したグリッドデータがその点で入力値と整合するだけでなく、できるだけ多くの周囲の点と整合することが重要であるため、周囲の点の情報がより多く反映されるグリーン関数を用いることを検討する。グリーン関数スプライン法は、GMT ver.4.4.0以降で実装されており、コマンドのオプションで5種類のスプライン法を選択することが可能である(GMT ver.4.5.9の場合)。今回取り扱う日本周辺の磁場データは、高さ方向の情報を含まないため、これらのうち、2次元データに対して利用可能な3種類のスプライン法を検討した(表-2)。

表-2 2次元データに適用可能なグリーン関数スプラインの種類

| 名称   | 英語名称                 | オプション表記 | テンション | 対象次元  |
|------|----------------------|---------|-------|-------|
| 最小曲率 | Minimum Curvature    | -Sc     | 不可    | 1-3次元 |
| 曲率保持 | Continuous Curvature | -St     | 可     | 1-3次元 |
| 正則化  | Regularized          | -Sr     | 可     | 2-3次元 |

最小曲率スプライン法 (Sandwell, 1987) は、データ点間をつなぐ曲面の曲率を最小にするスプライン法であるため、テンションは指定できず、解は1つに決まる。曲率保持スプライン法 (Wessel and Bercovici, 1998) は、データ点における微分値が滑らかに接続されるような曲面でデータを補間するスプライン法であり、曲面の滑らかさを表すテンションに0から1の値を指定する。最後の正則化スプライン法 (Mitasova and Mitas, 1993) は、平滑化関数を用いることで極端に歪んだ曲線を描かないように曲面を描くスプライン法で、0から1の間でテンションを指定する。なお、グリーン関数スプラインでは、テンションを0と1に指定することはできず、両者の間の値を指定することが推奨されている。

グリーン関数スプライン法では、表-2 に示した3つの手法を検討対象とする。ただし、曲率保持及び正則化スプライン法では、テンションを0から1の間で自由に設定可能なため、作成可能なグリッドデータは無数にある。これらの中から最適なものを選ぶにあたり、全パターンを試行することは非効率であるため、まずは簡易な検証によってテンションを絞り込み、その後テンションを細かく変化させて最適な値の検討を行うこととした。

#### 4. 最適な再現性を実現する空間補間 (グリッド化) 手法の検証

最適なグリッド化手法の検討として、まずは入力値と作成したグリッドデータの値 (以下、「グリッド値」という。) を直接比較することで内部評価を実施した。この内部評価によって適当なスプライン法とテンション値の範囲を絞り込み、その後更に細かくテンション値を変更することで最適なグリッド化手法を選定した。また、LOOCV による最適なグリッド化手法の検討とその妥当性の評価も実施した。いずれの場合も空間的にランダムに位置した入力値とグリッド値を比較するが、グリッド値は緯度経度3分間隔で作成するため、入力値とグリッド値の位置が異なる場合、直接比較ができない。そこで、比較対象を、周囲のグリッド値からバイリニア補間によって推定した、磁気点における地磁気の推定値 (以下、「推定値」という。) とし、比較を行った。

##### 4.1 内部評価による検証

まずは、4つの手法に対して、磁気図2010.0年値を用いて、入力値と推定値の比較を行った。磁気点の分布と入力値を図にしたものを図-3に示す。

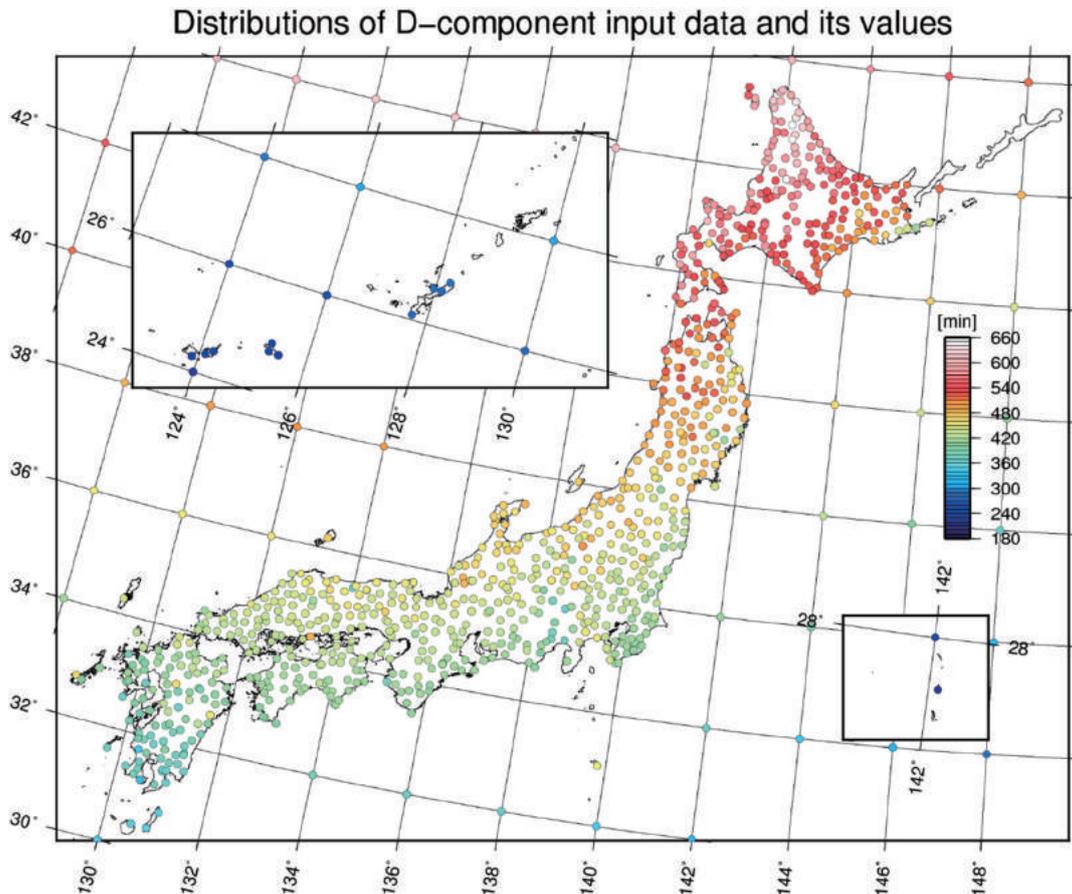


図-3 磁気点における入力値 (一等及び二等磁気点のモデル値, 観測所・基準磁気点の年平均値, 海上の IGRF-11 値)。偏角Dの例を示しており, カラーバーの単位は「分」である。

なお、入力値には、陸上の一等及び二等磁気点、観測所及び基準磁気点に加え、海上に地磁気世界モデル (IGRF-11) (Finlay et al., 2010) から推定した値を、緯度経度 2 度間隔で設定した。世界モデルのデータを同化することで、世界モデルが表現する長波長の標準的な磁場と日本の磁気図を滑らかに接続することを図っている。図-3 の入力データを空間補間することで、緯度経度それぞれ 3 分間隔のグリッドデータを作成する。磁気点の平均点間隔は 20~30km 程度であることから、より細かい 3 分間隔 (約 6km) のグリッドとしている。また、この間隔に設定することで、2.5 万分 1 図葉に少なくとも 2 点の格子点が存在することとなる。はじめに適当な手法とパラメータの範囲を絞り込むことを目的として、スプライン法ごとにテンションを段階的に変更して各々グリッドデータを作成し、式 (1) に示す入力値と推定値の残差の二乗平均平方根誤差 (Root Mean Square Error : RMSE) で再現性を評価した。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^N (H_i^{input} - H_i^{estimate})^2}{N}} \quad (1)$$

ここで、H は磁気図で作成する磁場成分 (偏角 D, 伏角 I, 水平分力 H, 鉛直分力 Z, 全磁力 F のいずれ

か) を表す。N は入力値の個数である。なお、グリッド化には海上の点を使用したが、その後の残差評価では海上のデータとの整合性は評価せず、陸上のデータとの整合性の評価を行った。

一般に、スプライン法によって作成された曲面は磁気点上の入力値を全て通過する、すなわち磁気点では入力値と一致するため、残差は理論上 0 になるはずであるが、グリッドの格子間隔が有限であるため、残差は 0 にならない。つまり、この残差は、グリッドの間隔より細かい波長の凹凸が曲面にある場合に、グリッドデータをバイリニア補間してもその凹凸が表現されないために生じる。推定の手法によって異なる推定値が得られるが、今回の検証では、複数のスプライン法で得られた各々のグリッドデータからバイリニア補間で地磁気値を推定した際、入力値と推定値との残差が最も小さいグリッド化手法が、入力値を最もよく再現する手法とした。

まずは最適なパラメータの絞り込みを行うため、4 つのスプライン法に対して残差評価を行った。テンションの指定が可能な 2 つのグリーン関数スプライン法では、テンションを 0.1 から 0.9 まで 0.1 刻みで変化させて計算を実施した。なお、surface スプラインはテンションに 0 と 1 が指定できるため、surface スプライン法ではテンションを 0 から 1 まで 0.1 刻みで変化させた。その結果を図-4 に示す。

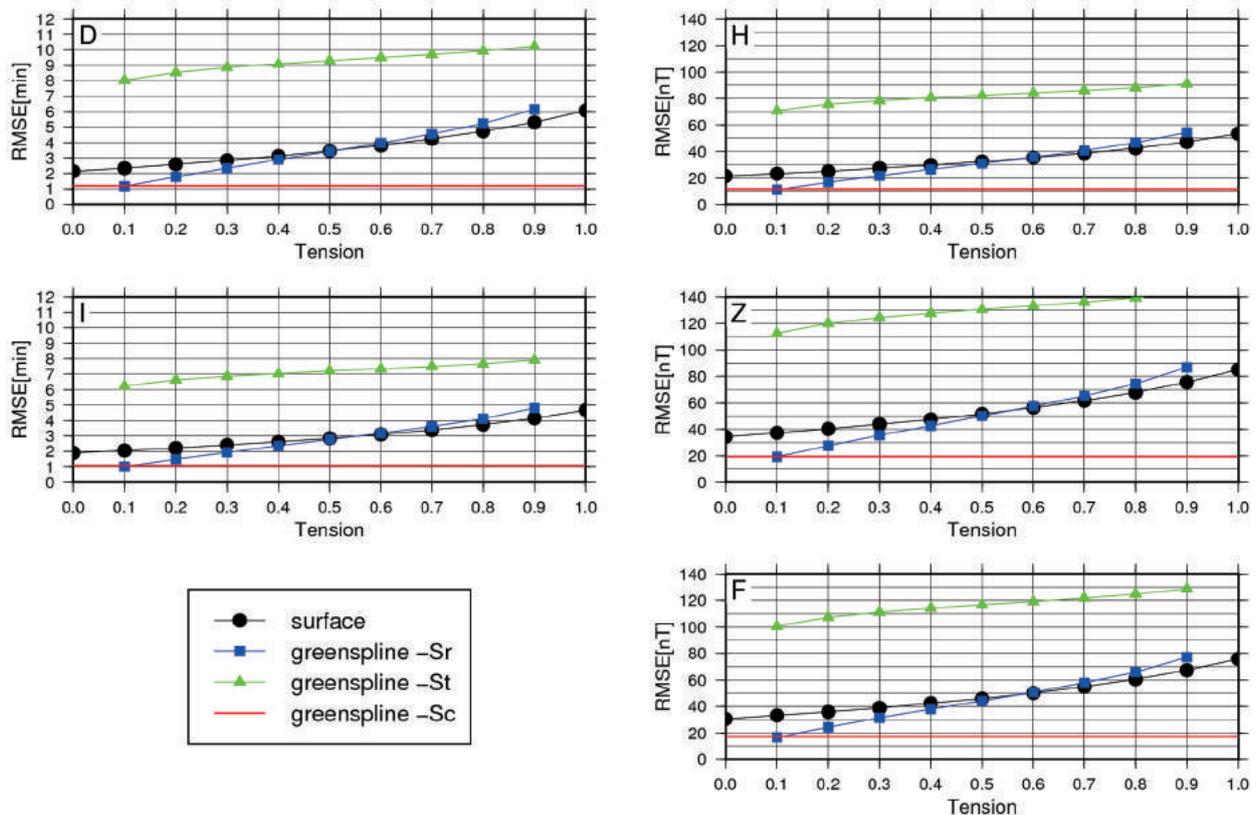


図-4 スプライン法及びテンションの違いによる RMSE の変化。左側の 2 つが角度成分を、右側の 3 つが大きさ成分の RMSE を示す。凡例を左下に示す。

図-4では、折れ線グラフがそれぞれのスプライン法でテンションを変化させた場合のRMSEの値を示している。最小曲率スプライン法(-Sc)では、テンションが指定できないため、テンションに関わらず定数であるとして図中に赤線で示している。図-4では、各成分でRMSEの値は異なるものの、テンションが小さいほどRMSEが小さくなる。また、曲率保持スプライン法(-St：緑三角)では全ての成分でsurfaceスプライン法(黒丸)及び正則化スプライン法(-Sr：青四角)よりも大きな値を示す。surfaceスプライン法と正則化スプライン法を比較すると、およそテンションが0.5から0.6の付近を境にして大小関係が逆転し、より小さなテンション値をとるときに、正則化スプライン法でRMSEが小さくなることわかる。また、最小曲率スプライン法との比較でも同様に、surface法でRMSEの値が最も小さくなるテンション0の場合よりもRMSEの値が小さくなるため、以降は最適な値があると想定されるテンシ

ョン0から0.1の範囲で正則化スプライン法と最小曲率スプライン法の比較を行う。

図-5に、正則化スプライン法のテンションを0.01から0.1まで、0.01刻みで変化させてRMSEを計算し、最小曲率スプライン法のRMSEと比較を行った結果を示す。こちらも図-4と同様に磁気図で用いる5成分に対して比較を実施した。図-5からは、全ての成分において、正則化スプライン法(青四角)のテンション0.02の場合にRMSEが最小となり、かつ最小曲率スプライン法(赤線)の結果よりも小さな値をとることがわかる。伏角成分Iの場合では、テンションが0.03でRMSEが最小となるが、RMSEの違いは0.02分程度であるため、テンション0.02を採用してもほとんど差はないと思われる。

比較のため、surfaceスプライン法、最小曲率スプライン法及び正則化スプライン法の各磁気点での偏角Dの残差の分布図を、図-6(a)から(c)に示す。

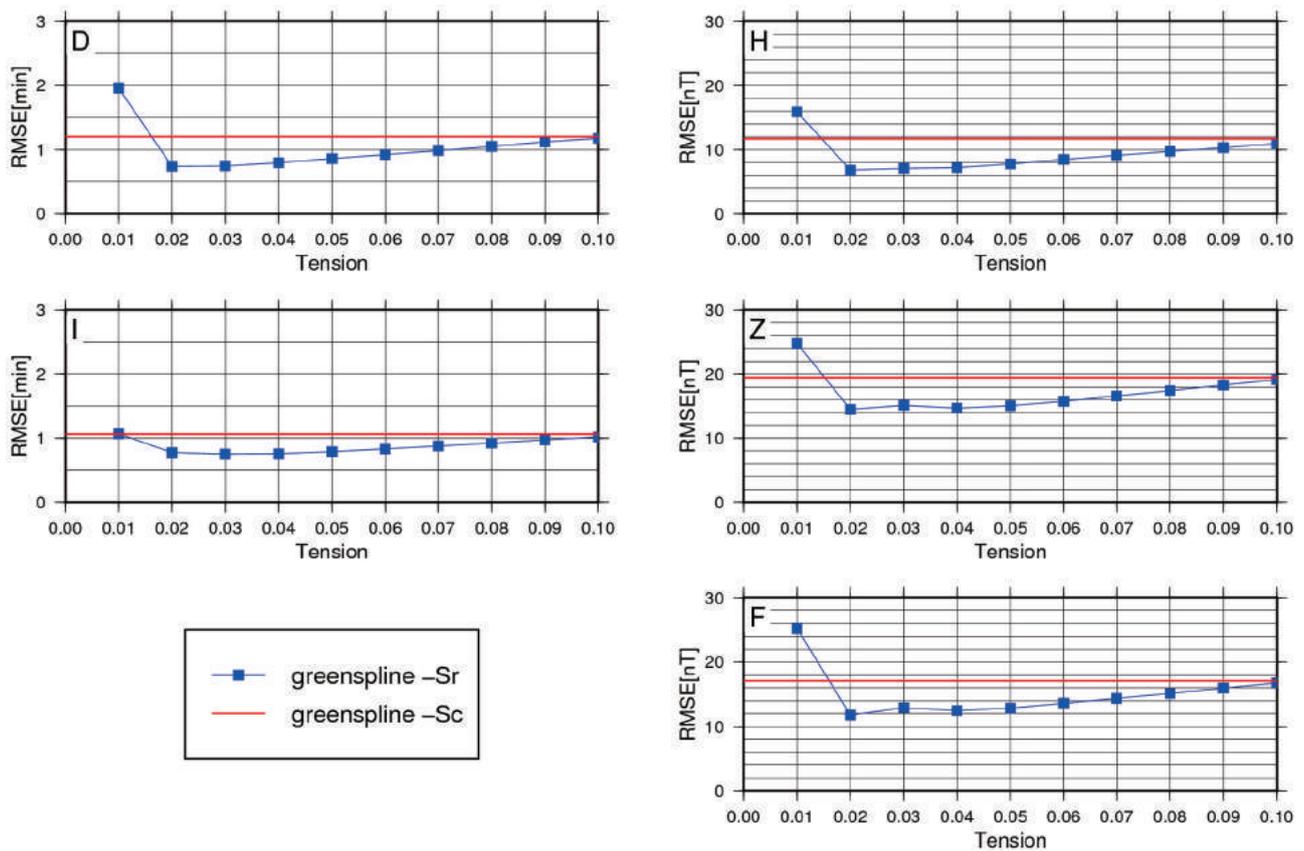


図-5 スプライン法及びテンションの違いによるRMSEの変化。左の2つが角度成分、右の3つが大きさ成分のRMSEを示す。

Residual distribution of D using surface spline

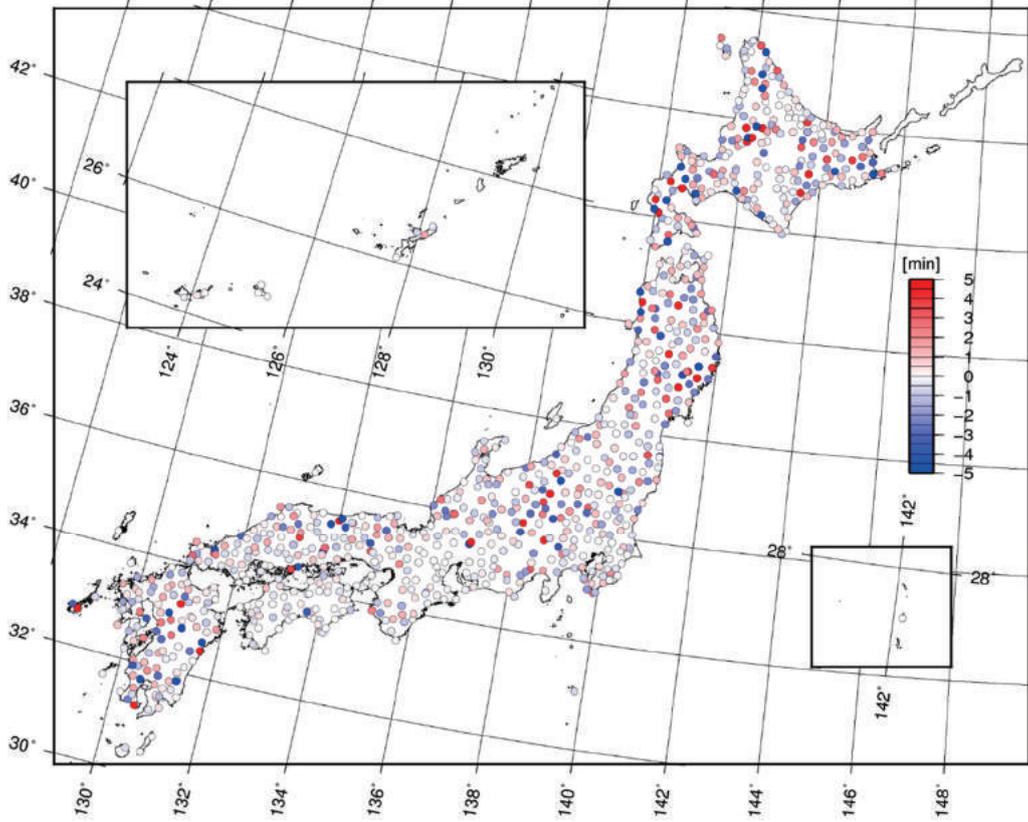


図-6 (a) surface スプライン法における偏角 D 成分残差分布.

Residual distribution of D using greenspline -Sc(Minimum curvature)

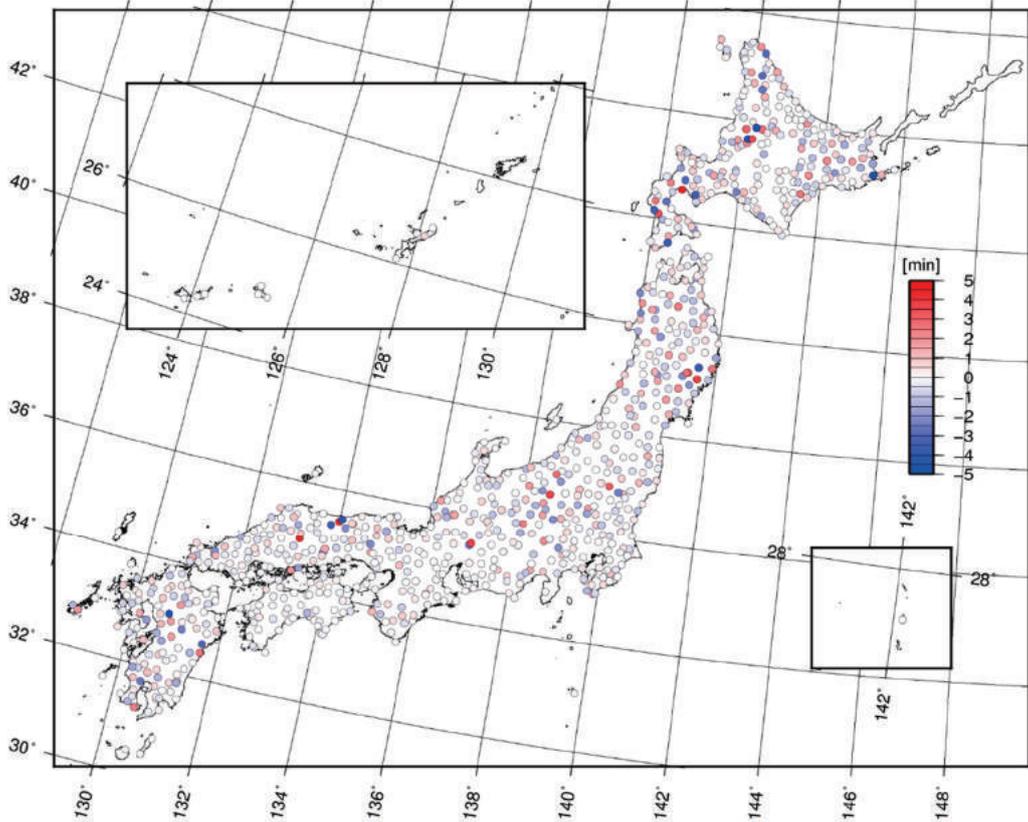


図-6 (b) グリーン関数スプラインの最小曲率スプライン法における偏角 D 成分残差分布.

Residual distribution of D using greenspline -Sr(Regularized) tension 0.02

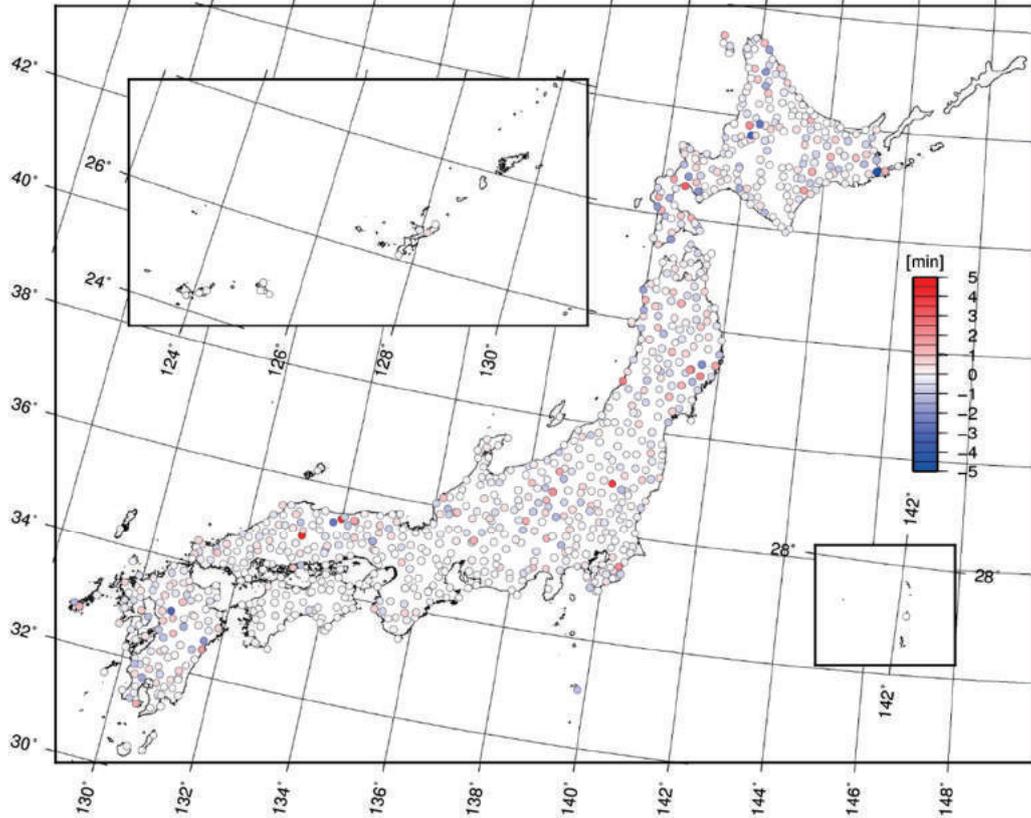


図-6 (c) グリーン関数スプラインの正則化スプライン法 (テンション0.02) における偏角 D 成分残差分布。

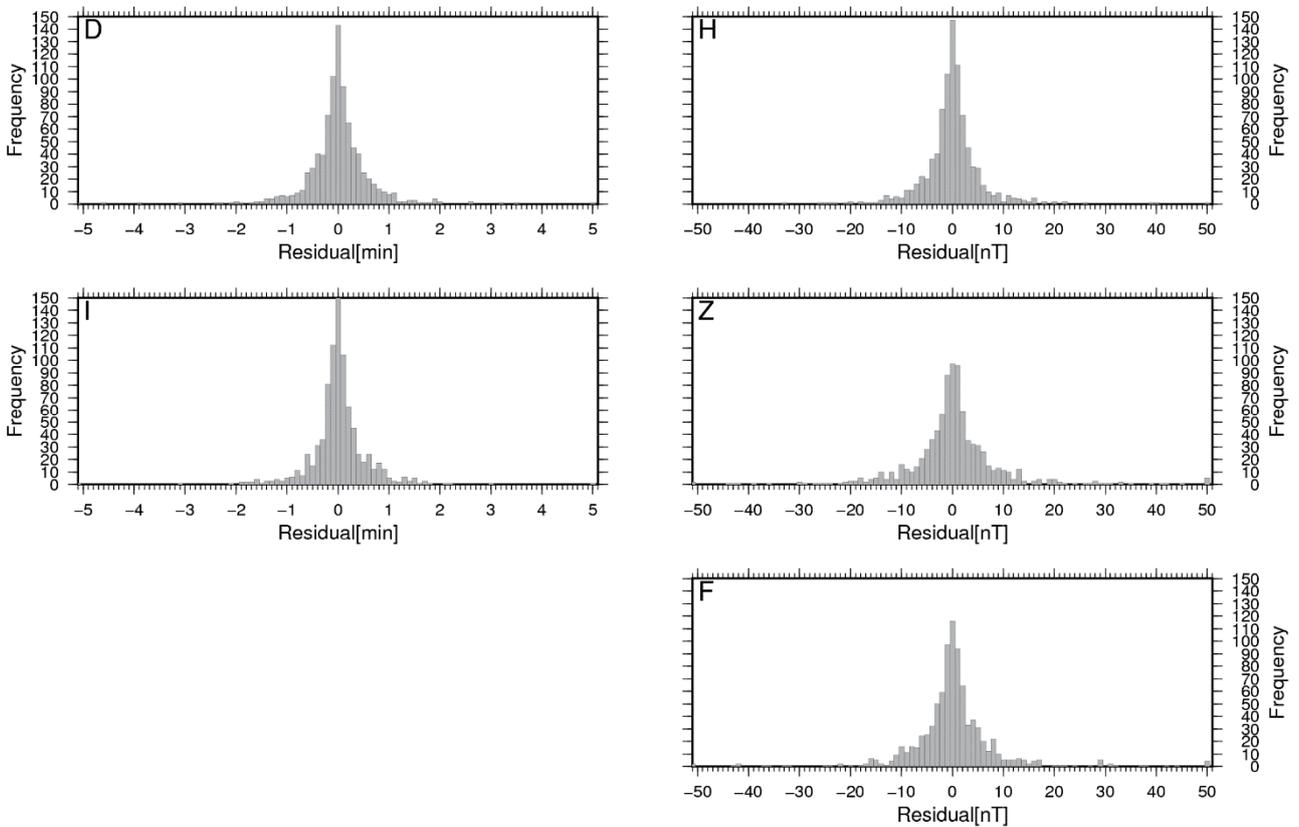


図-7 グリーン関数スプラインの正則化スプライン法 (テンション0.02) の場合の残差のヒストグラム。

図-6は、偏角Dについて、各手法の入力値と推定値との残差を示しており、-5分から5分までの値を青と赤の二色の勾配を用いて示している。図-6(a)のsurfaceスプライン法では、濃い色(残差が数分の値)の点が全国に多く分布しているが、図-6(b)の最小曲率スプライン法では、北海道東部や東北北部で残差が減少する傾向が見られ、図-6(c)の最適と思われる正則化スプライン法では、特に北海道北部、北海道南部で残差が改善する方向が見られる。一部の点では大きな残差があるが、明らかに色の濃い(残差の大きい)点は減少している。

以上の残差評価から、最適なスプライン法はグリーン関数スプラインの正則化スプライン法のテンション0.02であると判断した。図-7に最適なスプライン法で値を推定した場合の残差のヒストグラムを示す。偏角D及び伏角Iは、-5分から+5分の間を0.1分刻みで、水平分力H、鉛直分力Z及び全磁力Fは、-50nTから+50nTの間を1nT刻みでヒストグラムを作成した。図-7からは、残差の分布に極端な偏りは見られず、全ての成分が正規分布に近い分布を示していることから補間が再現した値が大きな系統誤差を持つことなく入力値を表していることが判断できる。

#### 4.2 一個抜き交差検証 (LOOCV) による検証

続いて、ある1点を除外してグリッドデータを作成し、除外した1点の推定値と入力値との比較を行うことでLOOCVによる交差検証を行った。

4.1節の残差評価から、グリーン関数スプラインの正則化スプライン法(-Sr)をテンション0.02に設定した手法が最適であると結論を得たが、LOOCVによる交差検証においてもその評価が妥当かどうか判断するため、テンションを0.01から0.06まで0.01単位で変化させてLOOCVを実施し、入力値と推定値の残差からRMSEを計算した。一例として、図-8に偏角DについてLOOCVの結果として得られたRMSEの変化を示す。

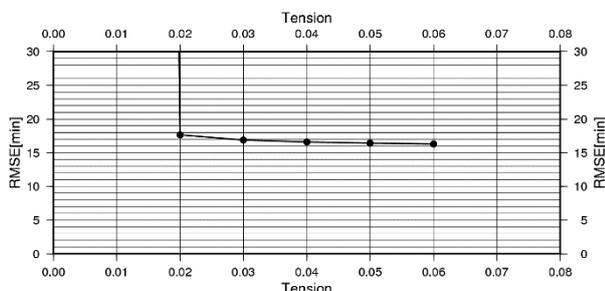


図-8 LOOCVの結果として得られた偏角DのRMSE

LOOCVの結果では、テンション0.01の場合に極

端に大きな値を示すが、それ以外では17nT程度でほぼ同じ値となることが確認された。テンション0.01でRMSEが大きくなった理由は、残差が極端に大きい点があるためである。図-5の偏角Dにおいて、テンションが0.01のRMSEは0.02の約2倍となっており、磁気点全点のデータが揃っていても入力値の再現性は悪い。LOOCVでは除いた1点を再現性の悪いグリッドデータから生成するため、入力値との残差が極端に大きくなる点が生じることはあり得る。

一方、LOOCVの結果は、4.1節の内部評価の結果と比較して、10倍以上大きな値となる。観測データを追加することで作成されるグリッド値の再現性が向上することは当然であることから、LOOCVの残差が内部評価より大きくなることは当然であるが、ある点のデータを除くとその点の値の再現性が大きく低下することは、入力データの空間密度が表現したいデータの空間波長に対して十分でないことを示唆している。すなわち、今回のデータセットである一等及び二等磁気点の空間的な分布と密度では、特に周囲のほかの点と整合しない磁場の異常分布を示す地域において、詳細な磁場分布を表現するためには入力データの配点密度が十分ではないと考えられる。LOOCVは、グリッド化に使用しないデータを用いたグリッド化手法の外部評価としてもみることができ、この結果から、磁気点が存在しない場所でグリッド値がどの程度の推定精度を持つかを評価することができる。テンション0.02では、LOOCVのRMSEの値は18分程度となり、この条件で作成したグリッドデータは、入力データが不在の場所において18分程度の誤差で偏角値を推定できる、ということが示された。

最適なスプライン法における、LOOCVにより得られた残差分布を、図-9に示す。残差の値は、-60分から+60分の間を赤青の二色の勾配で示している。図-9は、カラースケールが図-6の場合と比較して12倍異なるため、直接の比較はできないが、LOOCVの残差が大きな領域は、図-6(a)から(c)の内部評価において残差が大きい領域とほぼ一致している。内部評価では全ての入力値を使用して作成したモデルに対して、入力値と推定値とを比較したが、全てのデータを用いても残差が大きい領域は、スプライン曲面によって再現が難しい、複雑な空間分布を持った領域と考えられる。LOOCVでは一点を抜いて作成したグリッドデータによる推定値と、除外した点の入力値とを比較するため、複雑な空間分布の一点を抜くことで、より再現性が悪くなることが推測される。

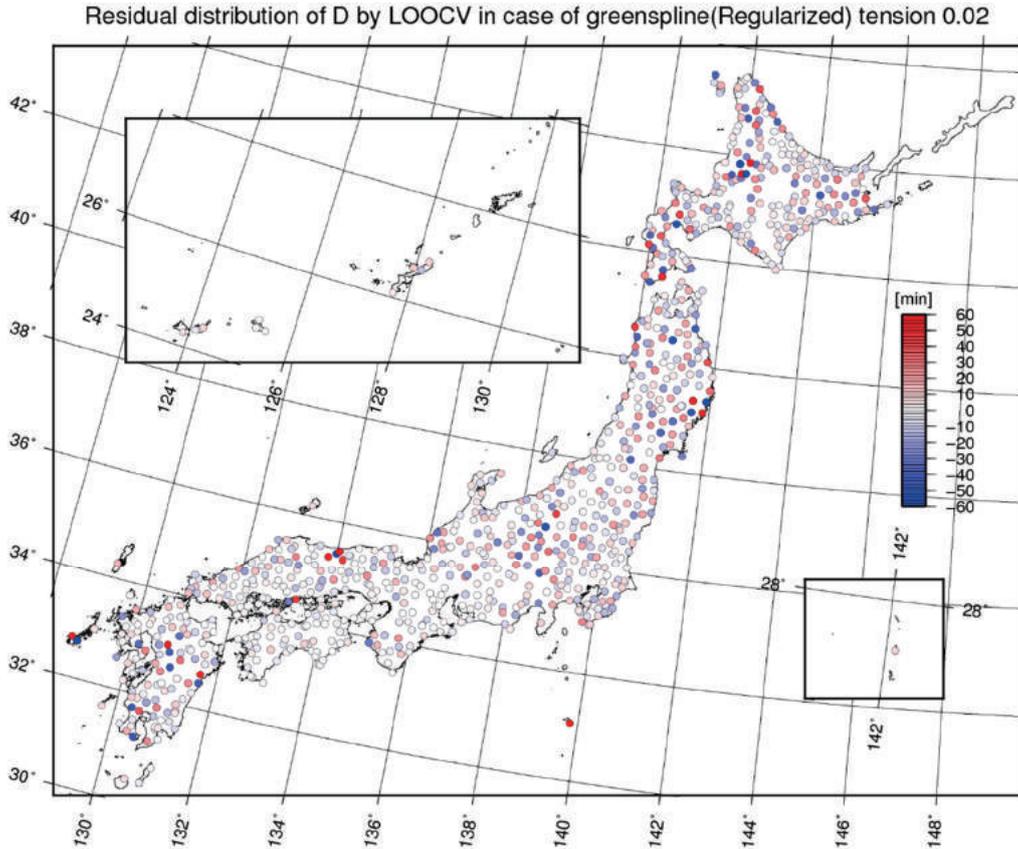


図-9 LOOCVにより得られた偏角Dの残差分布（グリーン関数スプライン（正則化，テンション0.02）の場合）

4.3 評価のまとめ

残差が最も小さくなるスプライン法を最適と判断して、内部評価からグリーン関数スプラインの正則化スプライン法（テンション0.02）を選択した。表-3に各々の手法で作成した磁気図の残差のRMSEを示す。このデータは、それぞれのスプライン法によって作成されたグリッド値の再現性を示しているといえる。最適な手法で作成したグリッド値の再現性は、角度成分で0.8分以下、大きさ成分で15nT以下となり、磁気図のコンター間隔（角度：10分、大きさ：100nT）と比較するとかなり小さい値で再現されていることから磁気図で表現することを目標とした

精度を十分達成したといえる。磁気図2010.0年値で採用した surface スプライン法で作成したグリッド値の再現性は、角度成分で2分程度、大きさ成分で35nT以下であり、最適な手法では、surface スプライン法より3倍程度改善された再現性を達成している。また、最小曲率スプライン法で作成したグリッド値の再現性は、角度成分で1分程度、大きさ成分で20nT以下となり、最適なスプライン法と比較すると再現性が若干低い。最適なスプライン法は、最小曲率スプライン法と比較しても最大で2倍程度、再現性が高い。

表-3 スプライン法の違いによるグリッド化の残差

|                | D [min] | I [min] | H [nT] | Z [nT] | F [nT] |
|----------------|---------|---------|--------|--------|--------|
| 正則化スプライン法（最適）  | 0.74    | 0.77    | 6.79   | 14.48  | 11.77  |
| surface スプライン法 | 2.13    | 1.90    | 21.32  | 34.34  | 30.47  |
| 最小曲率スプライン法     | 1.20    | 1.06    | 11.67  | 19.40  | 17.05  |

表-4 LOOCVによる最適なスプライン法によるグリッド化の残差

|                | D [min] | I [min] | H [nT] | Z [nT] | F [nT] |
|----------------|---------|---------|--------|--------|--------|
| 正則化スプライン法（最適）  | 17.67   | 15.76   | 181.63 | 276.52 | 246.52 |
| surface スプライン法 | 16.91   | 14.65   | 172.02 | 259.50 | 233.53 |
| 最小曲率スプライン法     | 17.56   | 15.06   | 176.33 | 262.88 | 236.09 |

一方、LOOCVによるグリッド化の残差のRMSEは、表-4に示す値となった。なお、比較のため、ほかの手法によるLOOCVの結果も示す。LOOCVでは、残差は内部評価と比べて10倍以上大きな値を示す。偏角成分ではコンター間隔の1.7倍の残差が生じており、磁気点のない、補間で値を推定している領域では、偏角値で20分程度の誤差が生じる可能性がある。RMSEが大きくなった理由は、LOOCVで除外した点の地磁気値を周囲の点から推定する際に、除外した点と周囲の点の傾向に大きな乖離があるため、周囲の点から妥当な値を推定できなかったことが想定される。これは、観測を行っていない場所に局所的な磁気異常が存在した場合、周囲のデータからは妥当な値を推定することが不可能であることを示しており、入力に用いた一等及び二等磁気点の配点密度よりも細かな空間分解能の磁気図を作成するためには、さらに多くの観測点を配置する必要があることを示している。日本の磁場分布は、平均点間距離20~30kmの観測点網で表現することができないほど複雑な特徴を持つことがわかる。

一方で、surfaceスプライン法や最小曲率スプライン法のLOOCVの結果と比較しても、表-3に示したような有意な差は見られない。これは、スプライン法を変更させたとしても、観測を行っていない場所の値の推定には大きな差が現れないということであり、少なくとも日本の陸域において周囲の磁場デー

タから値を推定する上では、スプライン法の違いによって有意な差はないということである。そのため、残差評価においては内部評価の有意性をもって最適なスプライン法を決定して差し支えないといえる。

## 5. 従来手法との比較

本章では、精度検証に基づき選択した最適なグリッド化手法によって作成した磁気図と、従来の補間手法で作成した磁気図との比較を行う。磁気図2010.0年値で用いた入力値を用いて、surfaceスプライン法とグリーン関数スプライン法で磁気図を作成した。偏角成分について、図-10にsurfaceスプライン法による磁気図(磁気図2010.0年値で採用した手法)を、図-11にグリーン関数スプライン法による磁気図を示す。

図-10と図-11を比較すると、グリーン関数スプライン法で作成した磁気図では、特に磁気異常が大きい地域において等値線の間隔が狭い(磁気値の勾配が大きい)。これは、surfaceスプライン法では滑らかに表現されてしまった値が、より実測値に近い値で周囲が補間されることによって、より詳細な磁気異常が適切に表現されていることを示している。surfaceスプライン法では表現できなかった、実際の磁場の分布に存在する磁気勾配の大きな凹凸が、グリーン関数スプライン法ではより現実に沿った磁場分布として表現されている。

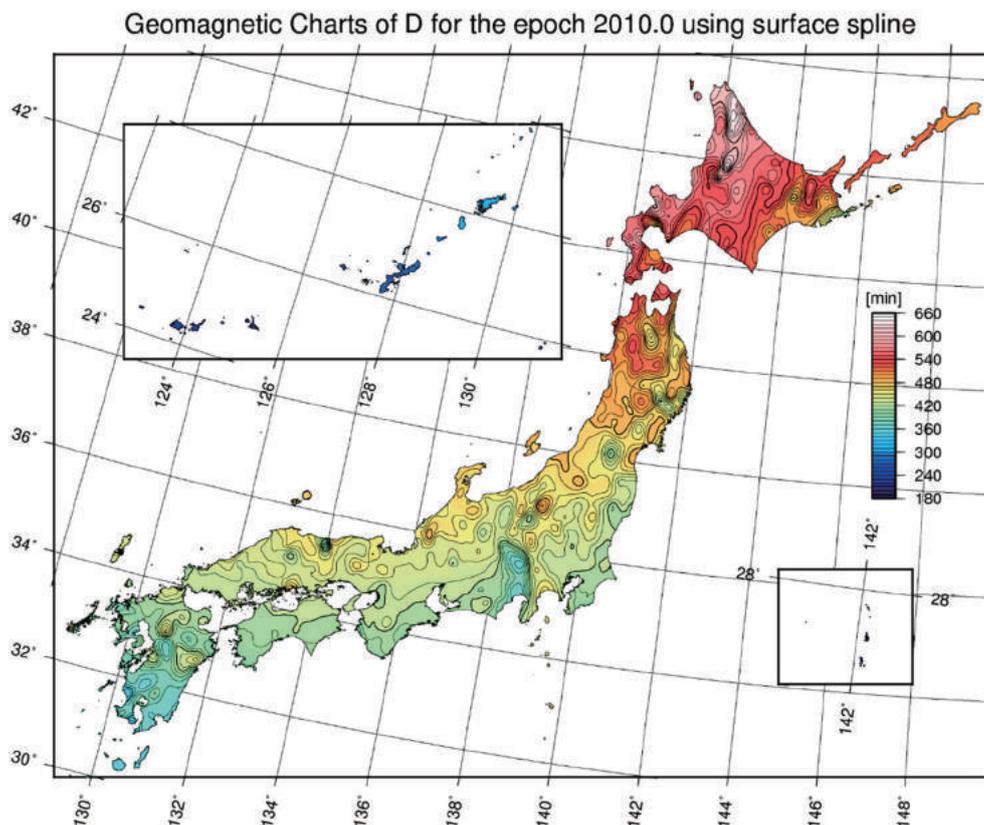


図-10 surfaceスプライン法(テンション0)による磁気図2010.0年値(偏角図)

Geomagnetic Charts of D for the epoch 2010.0 using greenspline(Regularized) tension 0.02

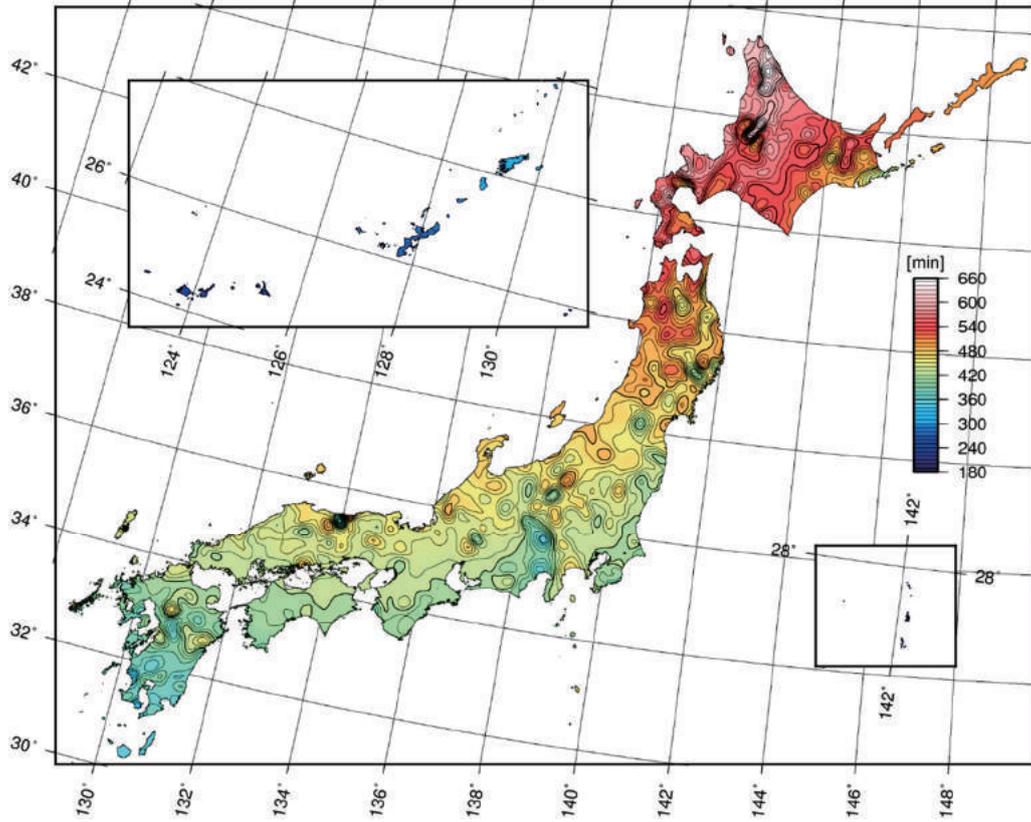


図-11 グリーン関数スプライン法（正則化，テンション0.02）による磁気図 2010.0年値（偏角図）

Difference of D between surface spline and greenspline(Regularized) tension 0.02

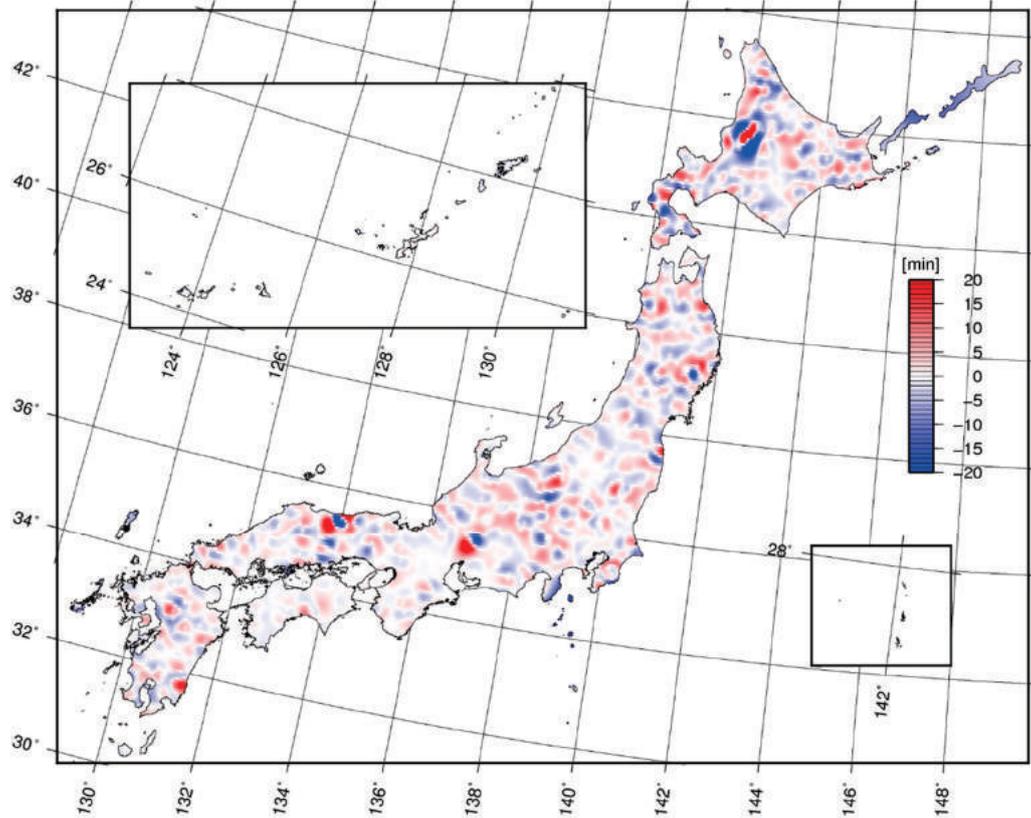


図-12 surface スプライン法とグリーン関数スプライン法（正則化，テンション0.02）の差（偏角図）  
-20分から20分を赤と青の二色の勾配で示している。それ以上の値は同色で示されている。

図-12 に図-10 と図-11 の磁気図の差を示す。図-12 には、surface スプライン法と最適なグリーン関数スプライン法のグリッドデータの差を赤青の二色の勾配のカラースケールで示している。図-12 では、全国に平均して±5～10 分程度の差が見られており、局所的には±20 分を上回る差が見られる。特に赤と青の値の大きな範囲が隣接する場所では、隣接する点間で入力値が大きく異なるため、その変化をグリッドデータで表現するには、本来はグリッド間隔をさらに細かくする必要がある。今回のグリッドデータで採用した3分という条件でグリッドの間をバイリニア補間した場合には、入力値と推定値にある程度の乖離が生じることは当然だが、surface スプライン法では点間を滑らかに補間するため、データの間

生じる急激な勾配にグリッド間隔が見合う間隔ではなかったため、勾配が表現されず平滑化されたグリッド値となったと考えられる。一方、グリーン関数スプライン法では、入力値の影響が近傍のグリッド点に及んでいるため、入力値を反映したグリッド値となることで近接したグリッド値の間でも値が平滑化されず、surface スプライン法との乖離が大きくなったものと思われる。特に名古屋市周辺(35.2N, 137.0E)に見られる残差が大きな領域では、図-11 で見られる対になった目玉状の等値線が図-10 ではほとんど確認できず、補間手法による差が大きく見られる。表-5 に、両者のグリッドデータの差についての数値情報を示す。

表-5 磁気図 2010.0 年値におけるスプライン法の違いによる残差の RMSE と最大値

|       | D [min]           | I [min]            | H [nT]              | Z [nT]              | F [nT]              |
|-------|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| RMSE  | 5.10              | 4.86               | 74.45               | 132.18              | 135.83              |
| 正の最大値 | 66.55<br>(鳥取市周辺)  | 55.22<br>(南相馬市周辺)  | 1358.63<br>(函館市周辺)  | 2861.60<br>(函館市周辺)  | 3140.05<br>(函館市周辺)  |
| 負の最大値 | -57.76<br>(留萌市周辺) | -39.98<br>(名古屋市周辺) | -1174.48<br>(函館市周辺) | -2560.93<br>(函館市周辺) | -2774.73<br>(函館市周辺) |

表-5 によると、スプライン法の違いにより、RMSE では角度成分で5分程度、大きさ成分で140nT以下の差が生じる。RMSEは残差のばらつきの平均値を見ているが、それに対して正負の最大値は10倍以上の大きな値を示す。最大値をとるのは、図-12で見られる赤及び青の濃い一部の地点で、surface スプライン法では滑らかに表現される一方で、最適なグリーン関数スプライン法ではより入力値に即したスプラインとなるために、これだけの差が生じることになる。特に全磁力Fでは正の最大値が3000nTを超える。これは等値線30本分であり、磁気図において視覚的に大きな差である。局所的ではあるが、これらの領域では、補間に用いるスプライン法を変更することで磁気図の見え目が大きく異なる。これは、図-10と図-11を比較することで確認できるが、図-11で示した最適な手法で作成した磁気図は、従来の磁気図と比べて等値線の分布が複雑である。図-12における赤青の色が濃い場所において、図-11ではそのほとんどで等値線間隔が密な目玉のような分布を示しており、従来の図と比べて視覚的に大きな変化がある。次回の磁気図公開にあたっては、観測された磁気値自体に空間分布の変化があったわけではなく、手法の最適化によって磁気図の精度が大きく向上したことによって空間分布の表現が変わったことを周知する必要がある。

## 6. 航空磁気測量との比較

図-11の北海道北西部などに見られる等値線が密に入り組む原因は、周囲の点と傾向が大きく異なる値を持つ点が存在するためであると考えられるが、周囲と値が乖離している原因が観測値の誤差が大きいためであるのか、実際に局所的に存在する磁気異常を測定しているのか、個々に検討して判断する必要がある。磁気図作図で用いたデータの他に外部検証に用いることが出来るデータとしては、例えば、航空機を用いて上空の磁場の値を観測した航空磁気測量の測定値との比較が考えられる。航空磁気測量による測定値は、地上での観測データではないため、地上で測定した値と比べて磁気異常に対する感度が低く、今回の磁気図との直接的な比較はできない。しかし、磁気異常の分布の傾向は一致するはずであることから、磁気図との比較によって妥当性を検証することが可能である。そこで、航空磁気測量の成果から磁気異常が存在する領域を絞りこみ、今回の最適なスプライン法で作製した磁気図の磁気異常の領域を照合することを行った。国土地理院では、1984年から航空磁気測量を実施しており、1999年までの成果を高度5000mにおける全国航空磁気異常図としてまとめている。その際に作製された航空磁気測量成果による全磁力Fをプロットしたものを図-13に、同じ成分で比較を行うため、最適なスプライン法で作成した全磁力Fの磁気図を図-14に示す。

Aeromagnetic Anomalies over Japan at the flight altitude of 5000m above sea level

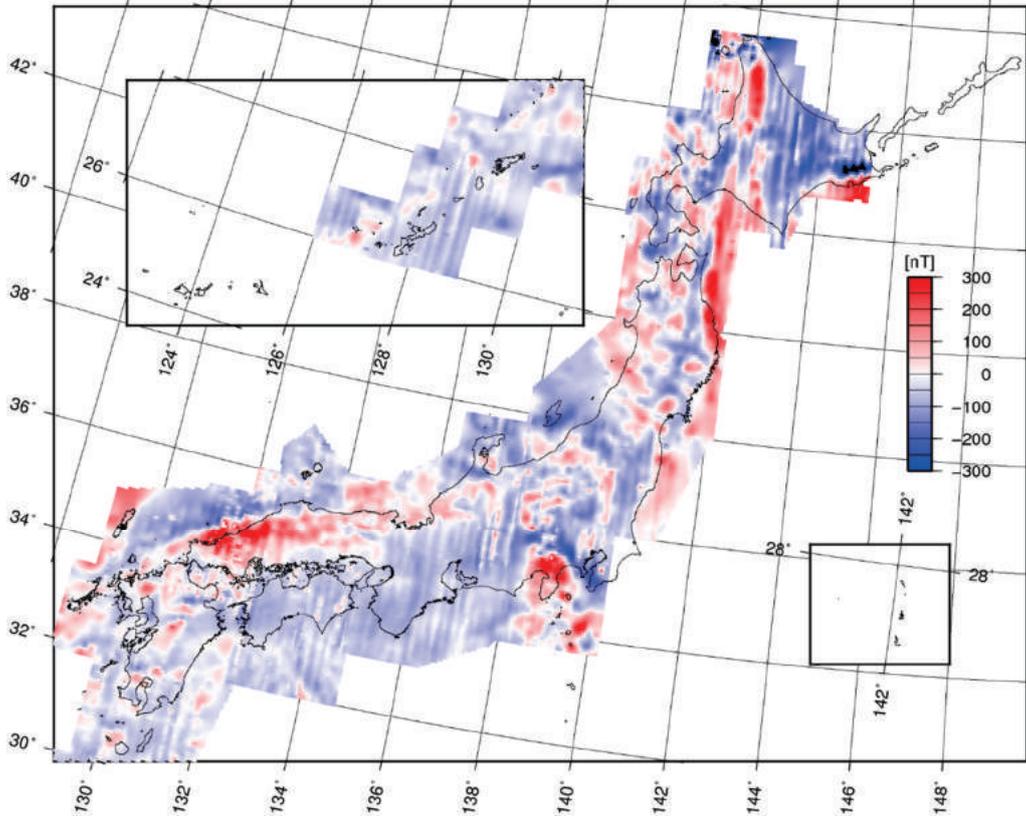


図-13 高度 5000m における全磁力 F の航空磁気異常図. -300nT から 300nT を赤と青の二色の勾配で示している.

Geomagnetic Charts of F for the epoch 2010.0 using greenspline(Regularized) tension 0.02

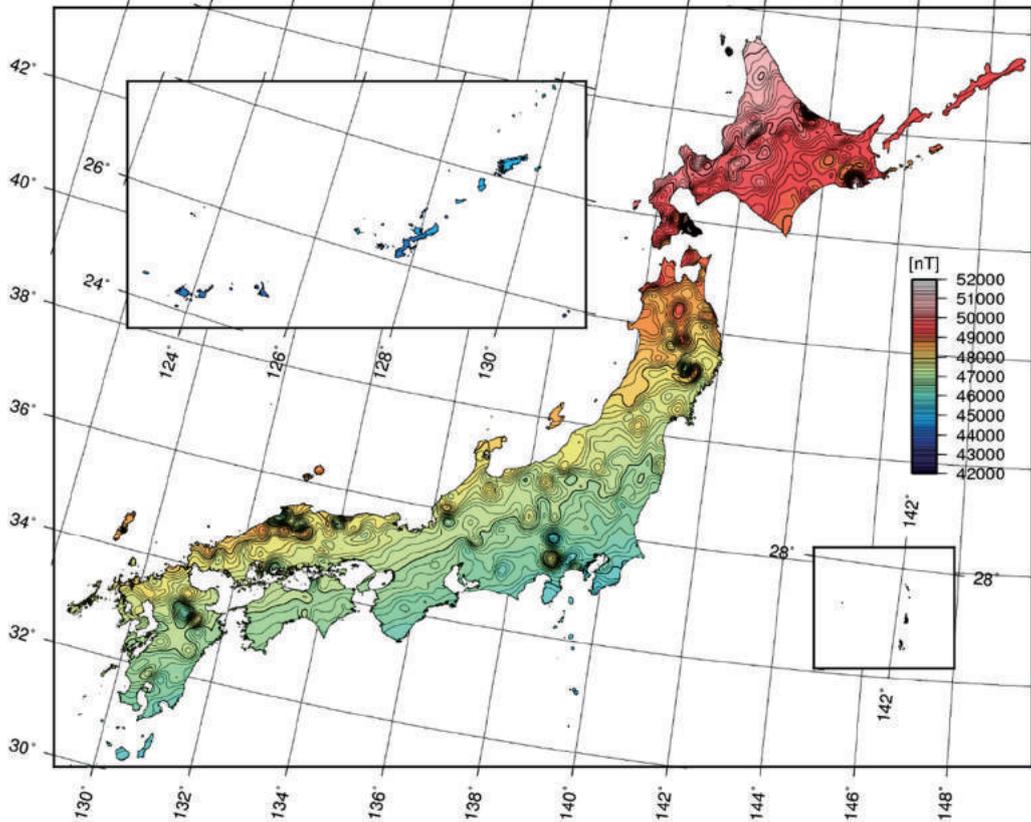


図-14 グリーン関数スプライン法 (正則化, テンション 0.02) による磁気図 (全磁力図)

航空磁気測量の結果は、高度 5000m に化成した測定値であるため、地上観測で検出された磁気異常が捉えられていない可能性も考えられるが、少なくとも航空磁気異常図で確認された強い磁気異常の領域では地上観測でも大きな磁気異常が確認されるはずである。図-13 と図-14 を比較すると、図-14 で見られる大きな磁気異常のうち、ほとんどの領域が図-13 に見られる磁気異常地帯と概ね一致した傾向を示すことがわかる。このことから、磁気図に見られる大きな磁気異常は、観測値の誤差ではなく、局所的な磁気異常を捉えていると考えられる。ただし、図-13 において北海道北部の南北に広がる領域で認められる顕著な正の磁気異常は、南端で類似した傾向は認められない。

一方、図-14 に見られる北海道北東部の顕著な磁気異常は、図-13 では確認できない。この原因が地上観測で検出された磁気異常が航空磁気測量で捉えられていないためか、この点の観測値に大きな誤差が含まれるためかは、これらのデータのみでは判断することができない。

航空磁気測量成果と磁気図の全磁力成分の比較から、両者の磁気異常の空間的なパターンが概ね一致することが示された。航空磁気測量で認められる北海道北部の大きな磁気異常が、地上観測で認められない点と、地上観測で確認された磁気異常が航空磁気測量で確認されていない点において、依然として齟齬が残るが、齟齬が生じた原因は、両者の比較からは判断できない。これらの点で観測値の妥当性を確認するには、過去の観測記録等を確認し、正常な観測が行えていたかどうかの判断を個別に行うとともに、磁気異常が確認された領域内において地磁気観測を改めて実施する必要がある。

## 7. まとめ

磁気図作成の際に入力データを補間する手法について、最適なグリッド化手法の検討及び精度検証を実施した。検証の結果、入力値を最もよく再現する補間手法は、GMT のグリーン関数スプラインの正則化スプライン法で、テンションが 0.02 の場合であると判断した。また、最適なスプライン法を使用した際のデータの再現性は、内部評価では偏角及び伏角で 0.8 分程度、水平分力、鉛直分力及び全磁力で 15nT 程度、LOOCV による外部評価では偏角で 18 分程度、伏角で 15 分程度、水平分力で 180nT 程度、鉛直分力で 280nT 程度、全磁力で 250nT 程度となった。

最適な手法で作成した磁気図 2010.0 年値は、従来の手法で作成した磁気図 2010.0 年値と比べて、局所的ではあるが偏角で最大 60 分強の差がある。この差は磁気図の等値線の間隔が 10 分であることから視覚的には大きいですが、内部評価では最適な手法が入力データを適切に空間補間していることは明白で、最適な手法を採用することで、従来と比べて 3 倍程度も精度の良い磁気図を作成することができる。ただし、周囲と傾向が大きく異なり、磁気異常が目玉状に存在する領域においては、航空磁気測量などの外部データによる検証、確認のための追加観測など、妥当性の評価が個別に確認が必要である。次回の磁気図更新の際には、磁場の経年変化に加えて、手法の改善に伴う地磁気値の変化が磁気図に含まれることを周知する必要があるが、今回の検証により、実際の磁場分布と整合した、より精度の良い磁気図を作成する補間手法を掲示することができた。

(公開日：平成 27 年 11 月 26 日)

## 参考文献

- 阿部聡, 宮原伐折羅 (2016): 主成分分析を用いた日本周辺の地磁気変化モデルの開発, 国土地理院時報, 127, 129-152.
- 地球統計学研究委員会 訳編/青木謙治 監訳 (2003): 地球統計学, 森北出版株式会社.
- David T. Sandwell (1987): Biharmonic spline interpolation of Geos-3 and Seasat altimeter data, *Geophys. Res. Lett.*, 14, 139-142.
- Finlay C. C., S. Maus, C. D. Beggan, M. Hamoudi, F. J. Lowes, N. Olsen, and E. Thebault (2010): Evaluation of candidate geomagnetic field models for IGRF-11, *Earth, Planets and Space*, 62, 787-804.
- First Geodetic Division (1983): Magnetic charts for the epoch 1980.0, *Bulletin of the Geographical Survey Institute*, Vol. X X VIII, 106-108.
- First Geodetic Division (1993): Magnetic charts for the epoch 1990.0, *Bulletin of the Geographical Survey Institute*, Vol. X X X VIII, 1-4.
- Geographical Survey Institute (1957): The second order magnetic survey of Japan (2), *Bulletin of the Geographical*

- Survey Institute, Vol. V, parts 1-2, 13-30.
- Geographical Survey Institute (1954): Second order magnetic survey of Japan (1), Bulletin of the Geographical survey Institute, Vol. 4, part 1, 49-58.
- Geographical Survey Institute (1960): The second order magnetic survey of Japan [3], Bulletin of the Geographical Survey Institute, Vol. VI, part 1, 12-22.
- Geographical Survey Institute (1961): Magnetic survey of Japan, 1951-1957, Bulletin of the Geographical Survey Institute, Vol. VII, part 1.
- Geographical Survey Institute (1962): The second order magnetic survey of Japan (4), Bulletin of the Geographical Survey Institute, Vol. VIII, part 1, 41-51.
- Geographical Survey Institute (1965): The second order magnetic survey of Japan (5), Bulletin of the Geographical Survey Institute, Vol. XI, part 1-2, 1-16.
- Geographical Survey Institute (1971): The second order magnetic survey of Japan (6), Bulletin of the Geographical Survey Institute, Vol. X VII, part 1, 12-35.
- Geographical Survey Institute (1973): Magnetic charts for the epoch 1970.0, Bulletin of the Geographical Survey Institute, Vol X IX, part 1, 131-137.
- Helena Mitsova, and L. Mitas (1993): Interpolation by Regularized Spline with Tension: I. Theory and Implementation, *Mathematical Geology*, 25, 641-655.
- 植田勲, 阿部聡, 後藤勝広, 海老名頼利, 石倉信広, 田上節雄 (2013) : 磁気図 2010.0 年値の作成, *国土地理院時報*, 123, 9-19.
- 白井宏樹, 錦輝明, 佐藤秀幸, 宇津木充, 仲井博之, 森田美好, 門脇俊弘, 湯通堂亨 (2002) : 磁気図 2000.0 年値の作成, *国土地理院時報*, 99, 1-8.
- Smith W. H. F. and P. Wessel (1990): Gridding with continuous curvature splines in tension, *Geophysics*, Vol. 55, 293-305.
- Tsubokawa Ietsune (1952): Reduction of the results obtained by the magnetic survey of Japan (1948-51) to the epoch 1950.0 and deduction of the empirical formulae expressing the magnetic elements, Bulletin of the Geographical Survey Institute, Vol. III, part 1, 1-30.
- Wessel P., and D. Bercovici, (1998): Interpolation with splines in tension: a Green's Function Approach *Mathematical Geology*, Vol. 30, 77-93.
- Wessel P., W. H. F. Smith (1998): New, improved version of Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. Am. Geophys. Union*, 79, 579.



## ヘリ画像処理システムの開発 Development of heli-image processing system

基本図情報部 宮地邦英・大野裕幸

National Mapping Department Kunihide MIYAJI and Hiroyuki OHNO

### 要 旨

国土地理院は、地方整備局等の防災ヘリコプターが撮影した映像を「統合災害情報システム」(以下、「DiMAPS」という)で地図と重ね合わせて表示させるため、国土交通本省で導入を進めている「ヘリコプター直接衛星通信システム」(以下、「ヘリサットシステム」という)で伝送された映像から静止画を切り出し、リアルタイムに地図と重なるオルソ画像に変換することができる「ヘリ画像処理システム」を平成 26 年度に開発した。

その結果、一定の条件下で防災ヘリの撮影映像を DiMAPS 上でリアルタイムに地図と重ね合わせて表示できるようになった。

### 1. はじめに

大規模な災害が発生した場合、発災直後の時間帯に地方整備局等の防災ヘリが被災現場を撮影した映像が本省防災センター等に伝送され、被害状況把握に用いられている。しかし、その映像はヘリから被災地点を斜めに撮影したものが多く、撮影しているヘリの現在地の地名が画面に表示されるものの、画面に映っている場所の地名を表したものではないことから、被害の発生場所の特定は土地鑑が無い限り容易ではない。

一方、国土地理院は、固定翼の航空機「くにかぜⅢ」によって被災地を面的に写真撮影し、地図と重なるように加工した画像(オルソ画像)を作成して関係機関に提供している。オルソ画像を用いれば、広範囲であっても被害の発生箇所と状況を地図と対比させて的確に把握することができる。しかし、「くにかぜⅢ」による写真撮影とオルソ画像の作成には時間を要することから、発災直後の時間帯の状況把握に用いることは困難である。自然災害が年々頻発化、大規模化する中であって、発災直後の時間帯に広範囲の被害状況を的確に把握する手段の開発は喫緊の課題となっていた。

そのような状況の下、平成 26 年度から数年かけて、防災ヘリのカメラシステムが従来のヘリテレシステムから、通信衛星を介して映像を伝送するヘリサットシステムに更新されることが分かった。ヘリサットシステムは、衛星通信を利用する点以外に、カメラの方向角等をセンサで読み取り、映像と同時

に伝送することができるという特徴を有している。この情報を利用すればヘリの映像をリアルタイムにオルソ化処理することが可能であると考えられた。そこで、国土地理院では防災ヘリが撮影した映像をリアルタイムにオルソ化処理し、DiMAPS 上で地図と重ね合わせて表示させるためのヘリ画像処理システムを開発した。

### 2. ヘリサットシステムについて

#### 2.1 ヘリサットシステムとは

ヘリサットシステムとは、国土交通省の地方整備局等が運用する防災ヘリコプターが撮影した映像を、静止衛星を介して地上局に伝送するシステムであり、地上の中継局を介して伝送する現行のヘリテレシステムの後継として整備中のものである(図-1)。

ヘリテレシステムでは、ヘリからの映像信号を受け取る中継局が 30~100km 毎に必要であり、近隣に

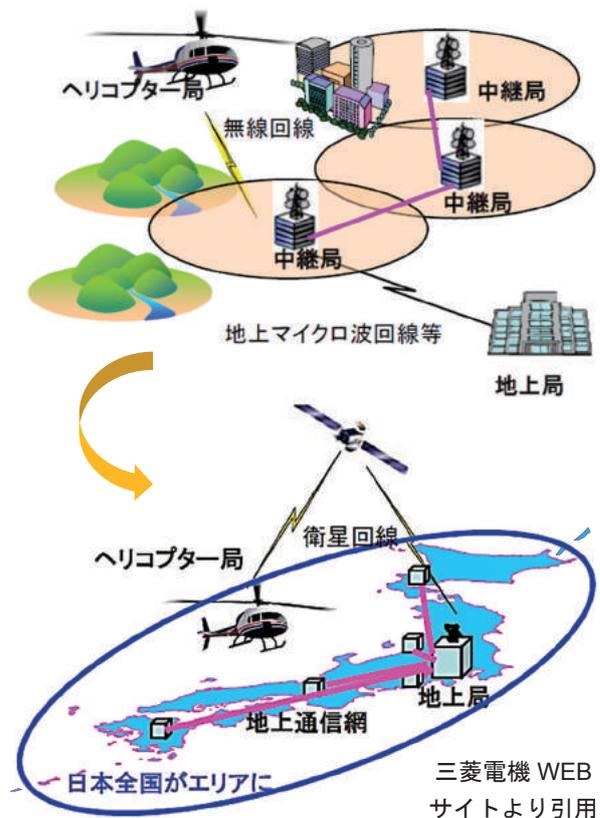


図-1 ヘリテレシステム(上)とヘリサットシステム(下)の映像伝送イメージ

中継局がない山間部や離島などでは映像伝送が行えないほか、谷筋やビル街などでヘリと中継局間に障害物がある場合も映像伝送が行えないという欠点がある。一方、ヘリサットシステムでは、ヘリからの映像信号を静止衛星に直接送信するため、日本全国どこからでも映像伝送が可能であり、中継局の維持管理も不要であるため運用コストの面でもメリットがある。ヘリサットシステムでは、スカパーJSAT(株)が運用する静止衛星「Superbird-B2」(東経 162 度)を使用しており、地上局は国土交通本省と近畿地方整備局の 2 箇所に置かれている。

ヘリサットシステムは平成 26 年度にまず九州地方整備局と近畿地方整備局の防災ヘリに導入され、平成 28 年度までに四国、中部、北陸、東北を加えた計 6 箇所の地方整備局の防災ヘリに順次導入予定であるほか、消防庁での導入実績もある。

2.2 ヘリサットシステムの構成と機能

ヘリサットシステムは図-1 に示すように「ヘリコプター局」と「地上局」で構成される。

ヘリサットシステムのヘリコプター局は、①GNSS によるヘリの位置情報、②IMU (慣性計測装置) によるヘリの姿勢情報、③ジンバル (カメラ架台) によるカメラの角度情報等 (以下、①~③をあわせて「カメラ情報」という) を計測し、その値を映像信号に重畳させて地上局に伝送する機能を持つ。

ヘリサットシステムの地上局は、伝送されたカメラ情報をもとに、映像の四隅の地上座標を算出する機能を有する。地上座標を算出するためには、カメラのレンズ焦点から CCD センサの四隅へのベクトルを、地球の回転楕円体と関連付けられた地理座標系でのベクトル (以下、「光線ベクトル」という) に変換する必要がある。カメラ座標系を[C 系]、ヘリの機体座標系を[H 系]、機体重心を原点として地球の回転楕円体と関連付けられた地理座標系 (以下、「ローカル座標系」という) を[L 系]とすると、座標系の変換の行列式は以下のように表される。

$$[L \text{ 系}] = [\text{ヨー}][\text{ピッチ}][\text{ロール}][H \text{ 系}]$$

$$[H \text{ 系}] = [\text{パン}][\text{チルト}][C \text{ 系}]$$

ここで、ヘリのヨー、ピッチ、ロール及びカメラのパン、チルトの回転行列は

$$[\text{ヨー}] = \begin{pmatrix} \cos(ya) & -\sin(ya) & 0 & 0 \\ \sin(ya) & \cos(ya) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$[\text{ピッチ}] = \begin{pmatrix} \cos(pi) & 0 & \sin(pi) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(pi) & 0 & \cos(pi) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$[\text{ロール}] = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(ro) & -\sin(ro) & 0 \\ 0 & \sin(ro) & \cos(ro) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$[\text{パン}] = \begin{pmatrix} \cos(pa) & -\sin(pa) & 0 & 0 \\ \sin(pa) & \cos(pa) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$[\text{チルト}] = \begin{pmatrix} \cos(ti) & 0 & \sin(ti) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(ti) & 0 & \cos(ti) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

であり、各座標系と回転角の定義は図-2 のとおりである。なお、カメラは機体と水平かつ同一の向きに艤装されているものとし、カメラ焦点と機体重心の距離は無視している。

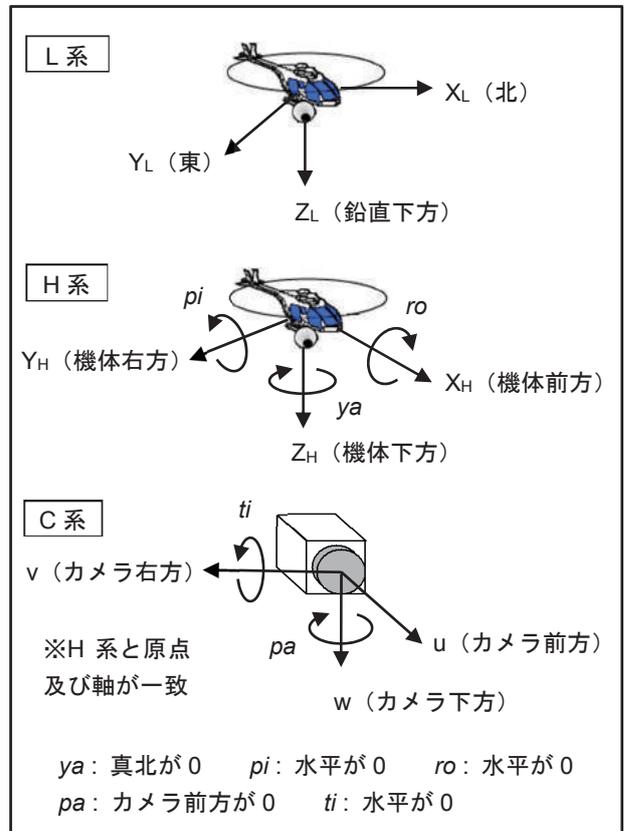


図-2 座標系と回転角の定義

ローカル座標系での光線ベクトルを算出したら、GNSS で計測したヘリ位置、ジオイド高及び 50m メッシュの数値標高モデル (DEM) を用い、ヘリから伸びる光線ベクトルが DEM から発生させた不整三角網モデル (TIN) と交差する点を求めることで撮影範囲の地上座標を算出する (図-3)。

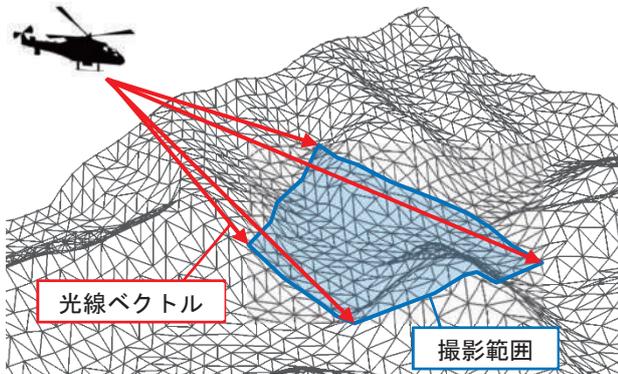


図-3 光線ベクトルと TIN の交点の座標を算出

この映像の四隅の地上座標を算出する機能により、ヘリサットシステムでは、映っている地物の名称等を配信映像にリアルタイムに表示させたり、地図上にヘリ位置と撮影範囲の枠をリアルタイムに表示させることができる。しかし、映像の地図への重ね合わせについては、四隅の地上座標から後処理でしか行うことができず、リアルタイムに映像を地図に重ねることができないため、災害状況把握に用いる際の課題となっていた。

### 3. ヘリ画像処理システムの開発

ヘリ画像処理システムは、ヘリサットシステムで作成された静止画等を逐次取得し、リアルタイムに地図と重ねるようオルソ化し、DiMAPS 上で表示可能な形式へ変換し出力することを目的として開発に着手した。そのためには、ヘリサットシステムからリアルタイムに静止画やカメラ情報などを取得する必要があることから、まずヘリサットシステムに対してそれらに必要な機能の追加を実施した。

#### 3.1 ヘリサットシステムへの機能の追加

ヘリサットシステムに追加した機能は①撮影が開始されたことを外部へ通知する機能、②ヘリ位置や航跡の座標列などを記録した「航跡情報」を逐次作成する機能、③ヘリ映像を 1 秒毎にキャプチャして「静止画」を作成する機能及び④静止画のカメラ情報等を記録した「静止画情報」を作成する機能である。さらにインターフェースとして⑤逐次データが追加される航跡情報のうち、前回取得時からの差分のみを抽出し取得するための機能 (getTour API) 及

び⑥指定した期間内に行われた撮影のリストを取得するための機能 (getFlight API) を追加した (図-4)。

航跡情報には、ヘリ位置や航跡の座標列のほかに撮影したヘリの名称や撮影開始時刻等が記録されており、映像のインデックス情報としての役割も果たす。静止画は、映像から 1 秒ごとに切り出した画像であるが、映像は HD のインターレース画像 (1080i) であるため、1 本おきとなっている走査線情報を内挿する処理を加えている。静止画情報には、対になる静止画のカメラ情報のほかに、それらから求めた静止画の四隅の地上座標が記録されている。

撮影が開始された場合、ヘリサットシステムは、通知先としてあらかじめ登録されているヘリ画像処理システムの URL へ速やかにその旨を通知する。撮影開始通知は http の post メソッドにより行われ、撮影の ID (5 桁の連番) と、航跡情報を取得するために必要な情報として getTour API を呼び出すための URL が記載されている。

また、撮影中には航跡情報 (KML 形式)、静止画 (PNG 形式)、静止画情報 (KML 形式) の各データを逐次作成し蓄積する。

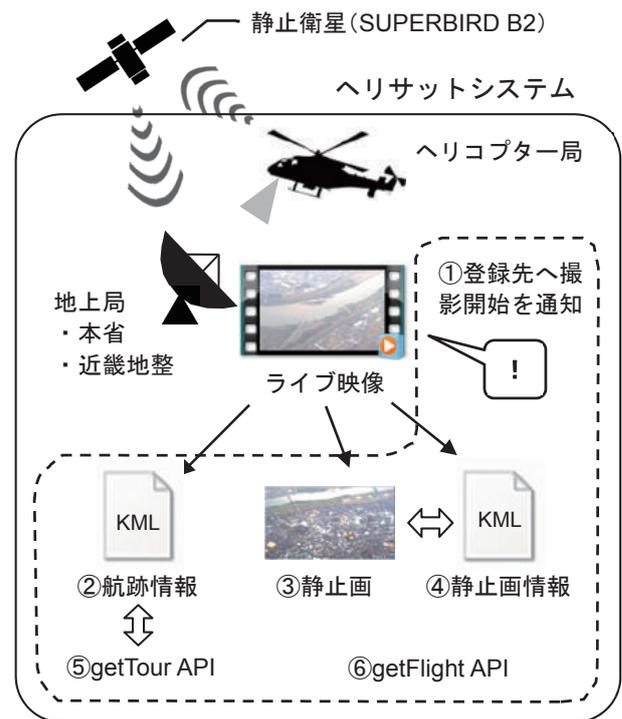


図-4 ヘリサットシステムへの追加機能 (点線枠内)

#### 3.2 ヘリ画像処理システムの開発内容

ヘリ画像処理システムの開発にあたって、ヘリサットシステムで計測されたカメラ情報のみでは地図との重ね合わせの精度が十分でないことが判明した。そこで、地図と精度よく重ね合わせるために国土地理院が整備している発災前のオルソ画像 (以下、「地

理院オルソ」という)を位置あわせの教師データとして用いる工夫を加えることとした。ヘリ画像処理システムの一連の処理の流れは図-5のとおりであり、具体的な処理内容を3.2.1~3.2.5で述べる。

また、ヘリ画像処理システムを運用するサーバとして、同時に最大3機分の防災ヘリの撮影映像を処理できる能力をもつサーバを新規に導入した。

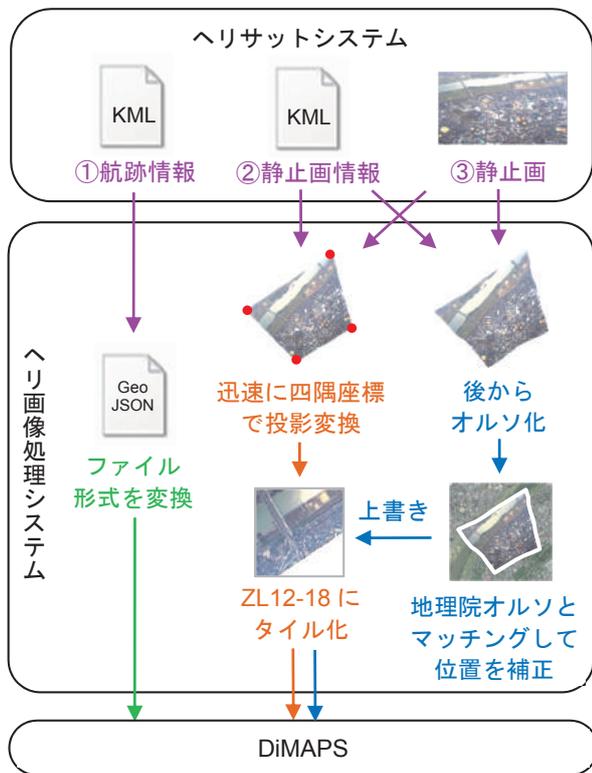


図-5 一連の処理の流れ

### 3.2.1 ヘリサットシステムからのデータ取得

ヘリ画像処理システムは、ヘリサットシステムから撮影開始の通知を受けた場合、即座にヘリサットシステムで作成された航跡情報、静止画、静止画情報の各データを取得し処理を開始する。

データの取得は http の get メソッドにて行い、①撮影開始通知に記載されたヘリサットシステムの getTour API の URL から航跡情報を取得し、②取得した航跡情報に記載された URL から静止画情報を取得し、③取得した静止画情報に記載された URL から静止画を取得するという順序で繰り返しデータの取得を行う(図-5に紫で示す)。2回目以降の航跡情報取得時には、前回取得時の時刻を getTour API の引数に指定することで、前回取得時以降に作成されたデータのみを重複なく取得することができる。

### 3.2.2 航跡情報の変換と DiMAPS への出力

ヘリ画像処理システムは、ヘリサットシステムから取得した KML 形式の航跡情報を、DiMAPS で読

み込み可能な GeoJSON 形式に変換し DiMAPS へ出力する(図-5に緑で示す)。すると、DiMAPS 上では表示更新時点のヘリの現在地にアイコンが表示されるとともにヘリの航跡が赤い線で表示される(図-6)。

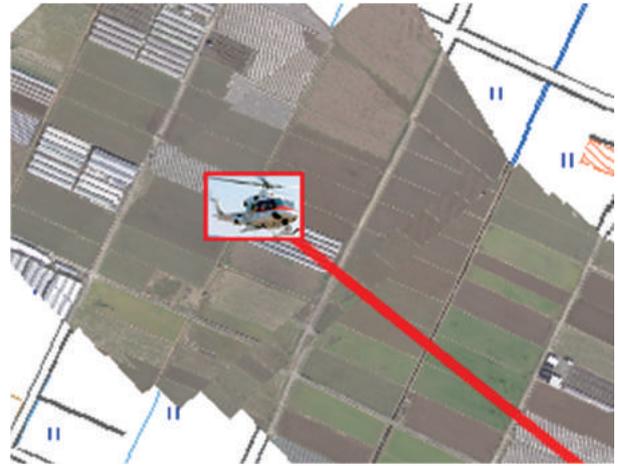


図-6 DiMAPS 上での航跡とヘリ位置の表示例

### 3.2.3 四隅座標による投影変換とタイル画像作成

ヘリ画像処理システムは、静止画情報と静止画を取得したら、すみやかに静止画情報に記載された四隅座標をもとに静止画を投影変換し、続いて DiMAPS で読み込み可能な「タイル画像」(地理院タイル形式でズームレベル 12~18 の範囲)に変換し DiMAPS に出力する(図-5に橙で示す)。

斜め撮影の場合、静止画の上部は遠景まで撮影されているため、投影変換により画像が大きく伸びて低解像度になる。これにより画質と処理速度の両方が悪化するため、画像中心の解像度より一定以上解像度が低い部分はタイル化の処理から除外することとした。また、静止画の中心の地上座標がヘリ位置から一定以上遠い場合は、水平に近い角度で撮影された映像であるため大きく伸びた低解像度のタイル画像しか作成されないことから、タイル画像作成処理を行わない。

本工程で作成されるタイル画像は、カメラ情報の誤差や地形の起伏を原因とする位置誤差をもつため、正確に地図と重なるものではなく、いわゆるプレビューとしての意味合いが強いものである(図-7)。本工程に要する時間はおよそ 0.5 秒である。

### 3.2.4 オルソ化・位置補正とタイル画像作成

四隅座標による投影変換・タイル化と並行し、ヘリ画像処理システムは静止画情報に記載されたカメラ情報から静止画の全画素の光線ベクトルを求め、システム内にあらかじめ用意してある DEM に投影することで静止画をオルソ化する。DEM にはズームレベル 12 の地理院標高タイル(タイル画像と同じ

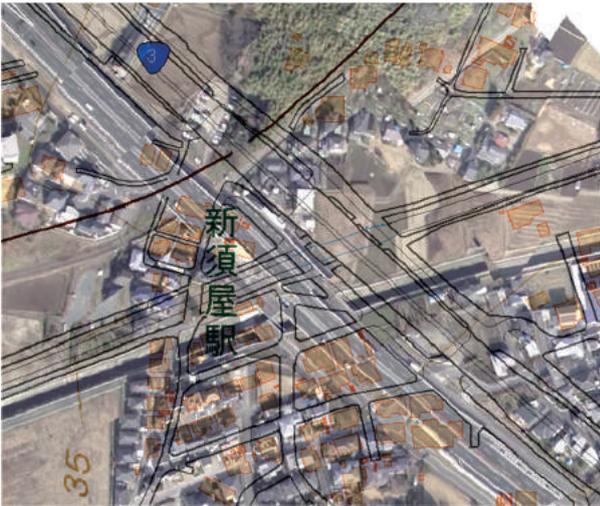
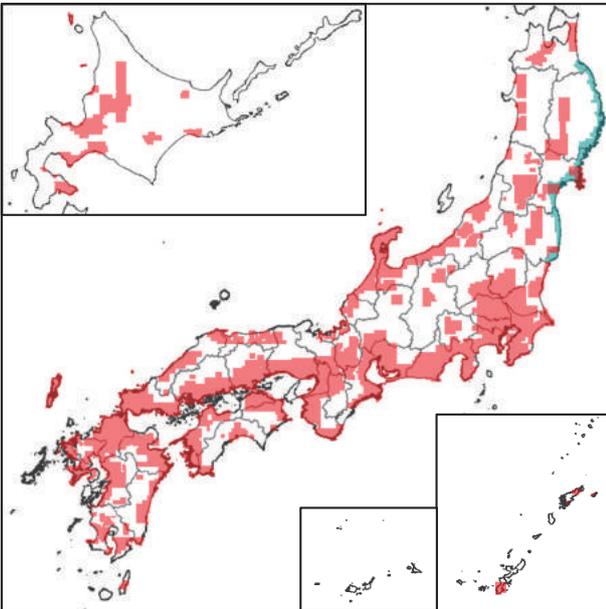


図-7 四隅座標による投影変換で作成したタイル画像の例

形式で、RGB 値の代わりに標高値をもつタイル) を用いた。この際、四隅座標による投影変換時と同様に、解像度が低い部分や遠方撮影時はタイル化処理を行わない。

続いて、オルソ画像を画像マッチングにより地理院オルソに合わせ込むことで位置の補正を行う。画像マッチングの際の教師データとなる地理院オルソの整備状況を図-8 に示す。撮影時期の異なる画像のマッチングを行う場合、太陽位置の違いによる輝度の変化や、季節による植生の変化によりマッチング



- ・着色部は平成 19 年度以降に地理院オルソを整備した範囲
- ・未着色部は 1970 年代に撮影された空中写真から簡易的に作成した地理院オルソのみ存在する範囲

図-8 地理院オルソの整備状況 (平成 27 年 3 月現在)

精度が悪化する。そこで、Sobel フィルタをかけてエッジ画像とすることでそれらの影響を受けにくい画像に変換してからマッチングを行うこととした (図-9)。マッチングはオルソ画像 T のある範囲を決め、地理院オルソ I の同じサイズの範囲 (相関窓と呼ぶ) について相関係数を計算する。次に地理院オルソ I 上で相関窓を 1 画素ずらし相関係数を計算する。このようにして、決められた探索範囲で相関窓を動かし、相関係数が最も大きい位置を探していく (図-10)。



図-9 元の画像 (左) と Sobel フィルタをかけたエッジ画像 (右)

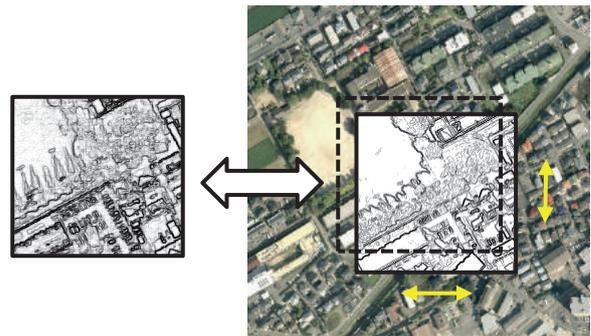


図-10 相関窓を動かしながらオルソ画像 (左) と地理院オルソ (右) のエッジ画像を比較

相関係数は下記の式で計算する。

$$\text{相互相関係数 } C = \frac{\sum_{i=0}^N (I_i - \bar{I})(T_i - \bar{T})}{\sqrt{\sum_{i=0}^N (I_i - \bar{I})^2} \sqrt{\sum_{i=0}^N (T_i - \bar{T})^2}}$$

ここで、N は相関窓内の画素数であり、 $\bar{I}$  と  $\bar{T}$  は画像 I または T の相関窓内の画素値の平均である。相関係数の最大値がしきい値よりも大きい場合、オルソ画像と地理院オルソが同一箇所であるとみなし、最大値の位置を「対応点」とする。ヘリ画像処理システムはリアルタイムに画像の位置合わせを行うことを目的として開発するシステムであるため、本手法が SIFT などにより画像の特徴点を抽出して対応点とするマッチング手法より演算量が少ないという

点も重視した。

次に、この対応点をもとにオルソ画像を疑似アフィン変換する。このとき、全ての対応点について最小二乗法で得られた係数からの残差を確認し、しきい値より大きいものがあつた場合、異なる場所が同一とみなされたミスマッチ点として除外して再計算する。これを繰り返し、残差がしきい値より大きい対応点がなくなった時点で対応点の数を確認し、一定数以上であれば疑似アフィン変換を完了する。また、対応点の数が一定数よりも少なくなった場合は疑似アフィン変換により歪みが増幅するおそれがあるため、地理院オルソによる位置補正を行わない(位置補正の失敗)。

これら相関窓の大きさ、間隔、探索範囲、ミスマッチング防止のための相関係数のしきい値、疑似アフィン変換時の最小対応点数や残差のしきい値などの各パラメータはいずれも外部から設定可能である。正確かつ十分な数の対応点で疑似アフィン変換を行うことで、オルソ画像を地図情報レベル 2500 または 5000 相当の精度をもつ地理院オルソとおおむね合致させることができる(図-11)。

一方、建物の倒れ込みや橋梁・高架等の空中地物

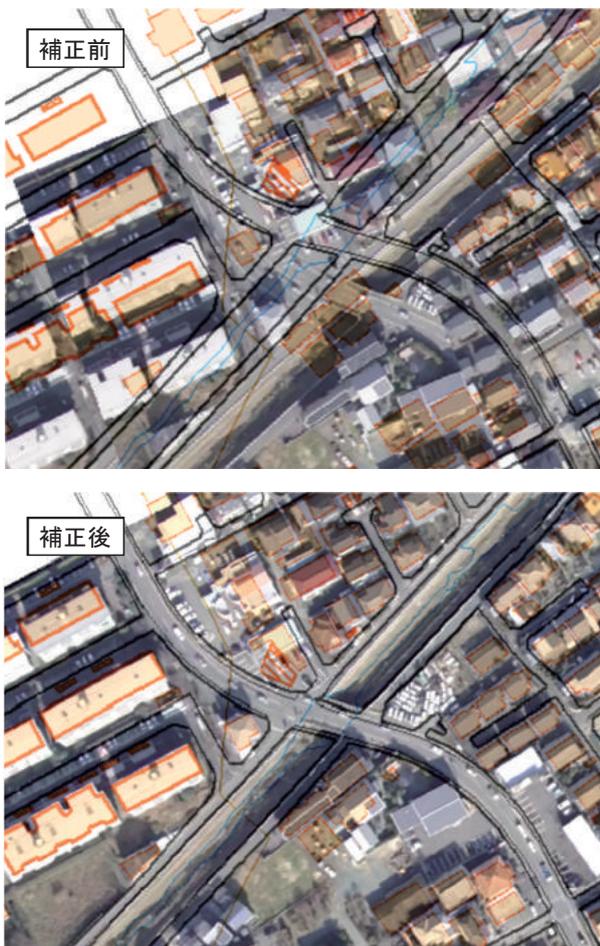


図-11 地理院オルソによる位置補正の結果

については地理院標高タイルに高さ情報がなく、オルソ化と位置補正によってもズレを補正することはできないため、災害時の地物の被害有無の判断には注意を要する(図-12)。



図-12 位置補正後の空中地物のズレ

これら一連の工程に要する時間は、撮影範囲の大きさ、カメラの角度、マッチング状況の良し悪しなどにもよるが、およそ6~12秒で完了するようパラメータを調整した。本工程の処理はマルチスレッド化しており、ヘリ1機の撮影につき12スレッド分の並列処理能力を割り当てていることから、12秒以内に処理が完了すれば遅延が蓄積することなくリアルタイム性が確保できる。

本工程を経て作成されたオルソ画像はタイル画像に変換された後、四隅座標による投影変換で作成されたタイル画像を上書きしたうえでDiMAPSに出力される(図-5に青で示す)。DiMAPS上で見たときには、位置ズレのあるタイル画像が地図と整合したタイル画像に順次置き換わっていくように見える。

### 3.2.5 処理の終了

撮影が終了し、ヘリサットシステム側で新たなデータ作成が行われなくなった場合、ヘリサットシステムのgetTour APIはヘリ画像処理システムの航跡情報取得要求に対しhttpのステータスコード204を返す。ヘリ画像処理システムはこれを受けて撮影が終了したものとみなし、ヘリサットシステムからのデータ取得と処理を終了する。

### 3.2.6 後処理機能

これまでは防災ヘリでの撮影が開始された際に自動的に行われる処理内容について説明したが、過去の任意の撮影を検索し、手動で同様の処理を行うこともできる。

本開発では、引数に検索期間を指定すると、その期間内に実施された撮影のリストを返すインターフェース(getFlight API)をヘリサットシステムへ追

加した。過去の撮影の再処理を行いたい場合、ヘリ画像処理システムの GUI 上で検索期間を入力することで期間内に実施された撮影のリストを取得し、リストから任意の撮影を選択することで、リアルタイムに行われるものと同等の内容の処理が行える。

#### 4. 試験運用における機能評価とシステム調整

試験運用では、平成 26 年度にヘリサットシステムを導入した九州地方整備局が運用する防災ヘリコプター「はるかぜ」号と近畿地方整備局が運用する「きんき」号で撮影された映像をもとに、システムのバグフィックスと機能の評価を行った。

その結果、地理院オルソによる位置補正を成功させるためには一定の条件を満たす方法で撮影する必要があることや、位置補正が困難な箇所があることがわかった。また、処理のリアルタイム性と位置補正の成功率を両立するためにシステムのパラメータの調整を行った。

#### 4.1 位置補正を成功させるための撮影方法

##### 4.1.1 直下視撮影

ヘリへのカメラの艙装は、ヘリと水平かつ同一方向に向け、カメラ座標系とヘリ座標系の座標軸を一致させるように行われているが、艙装時の誤差により座標軸間にヘリ毎に固有の角度誤差が生じていることがわかった。また、本開発の中でジンバルから出力されるカメラの角度情報の分解能が低い（1 度単位）ということもわかった。斜方視撮影では、角度誤差による位置ズレはカメラの対地高度及びオフナディア角（直下からの角度）のタンジェントに比例し、位置ズレが画像マッチング時の探索範囲より大きくなると対応点が取得できないため位置補正ができない（図-13）。

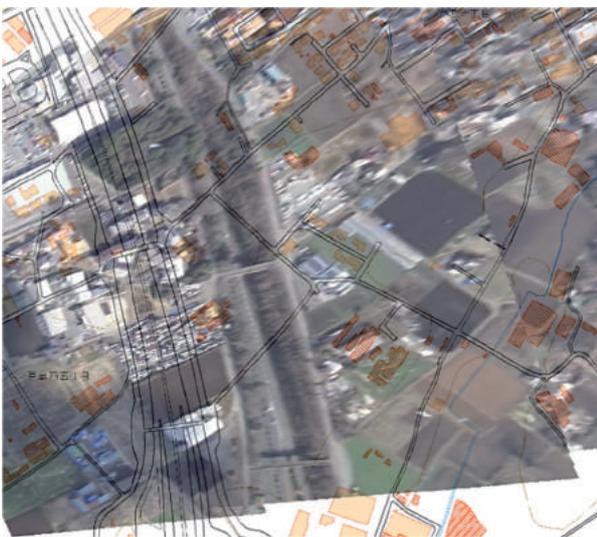


図-13 斜め撮影時の角度誤差による位置ズレ

したがって、位置補正を成功させるために角度誤差の影響が小さい直下視での撮影を必須とした。

##### 4.1.2 ジンバルの揺れ補正機能の解除

カメラを搭載しているジンバルは、カメラ座標系の各軸回りに常時回転しながらヘリの揺れを吸収し、揺れの少ない安定した映像の撮影を可能としている。しかし、本開発を進めるなかでカメラのロール角（ $u$  軸回りの回転角）の情報がジンバルから取得できないことが判明した。カメラ座標系をローカル座標系に変換する際にカメラのロール角が使用できないため、カメラにロール角がついている場合には図-14のように地図と回転した状態で投影される。これを回避するためにはカメラのロール角を 0 度に固定すればよいが、地方整備局の防災ヘリに導入されているジンバルはロール角のみを固定することができない。

したがって、位置補正を成功させるためには、映像の揺れを補正するジンバルの機能を解除し、パン、チルト、カメラのロールの全てを固定したうえでロール角を 0 度に調整し撮影することとした。

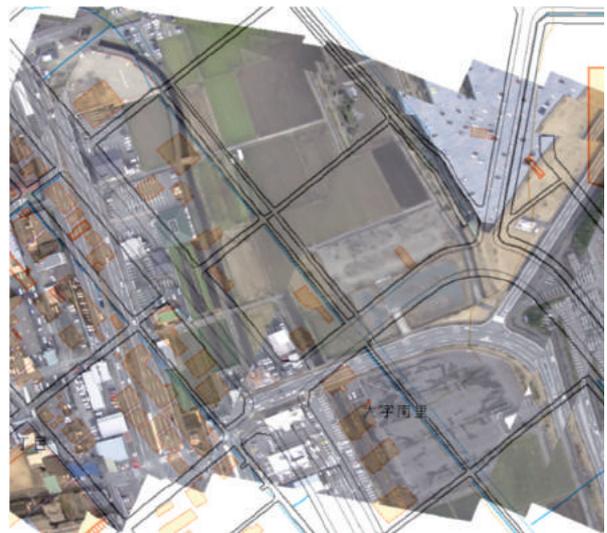


図-14 カメラのロール角による位置ズレ

##### 4.1.3 ブロッキングの回避

ヘリサットシステムは、基本的に日本全国で映像伝送が可能であるが、一方で可動アンテナと静止衛星の間にヘリのローター基部が入ることにより伝送が遮断される現象（以下、「ブロッキング」という）が発生するという弱点がある。可動アンテナとローター基部の位置関係を写真-1 に示す。

ブロッキングが発生する範囲はヘリの機種ごとに異なるが、平成 26 年度にヘリサットシステムを導入した近畿地方整備局と九州地方整備局の防災ヘリにおいては、可動アンテナがローターの左前方に艙装されており、ヘリから見て方位角 130 度～150 度、



写真-1 はるかぜ号に搭載される可動アンテナとローター基部の位置関係

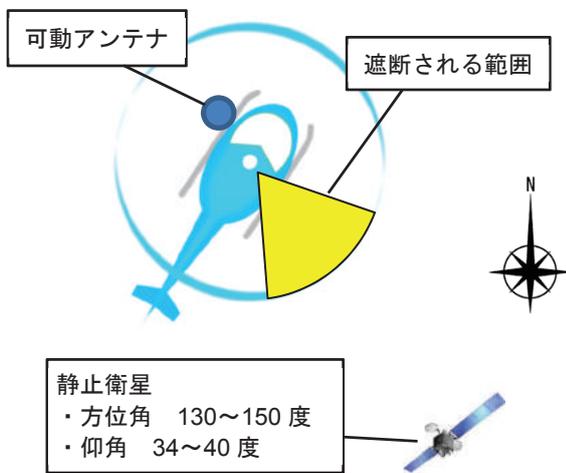


図-15 ブロッキングの発生範囲

仰角 34 度～40 度に静止衛星があることから、図-15 のようにおおむね北～北西方向に飛行するか、左旋回のためにヘリを左に傾けることでアンテナ位置が下がるとブロッキングが発生する。

ブロッキングでは、ローター基部による静止衛星の遮蔽具合に応じてヘリと静止衛星間の通信帯域が徐々に狭まっていき、①映像の解像度低下、②映像、③カメラ情報、④音声の順にデータの伝送が遮断される。映像の伝送が遮断されると、配信される映像は遮断される直前の状態のまま停止するが、その際カメラ情報の伝送も遮断されていれば静止画情報や静止画が作成されないため、DiMAPS へタイトル画像が出力されない。一方、映像のみ遮断されカメラ情報の伝送が遮断されていない場合、遮断される直前の停止した映像の静止画がそのまま続けて作成されるため、同じ静止画が連続して DiMAPS 上に表示される現象が発生する (図-16)。

ブロッキングはアンテナを増設する以外に根本的な解決方法が存在しないが、面的な範囲を撮影する

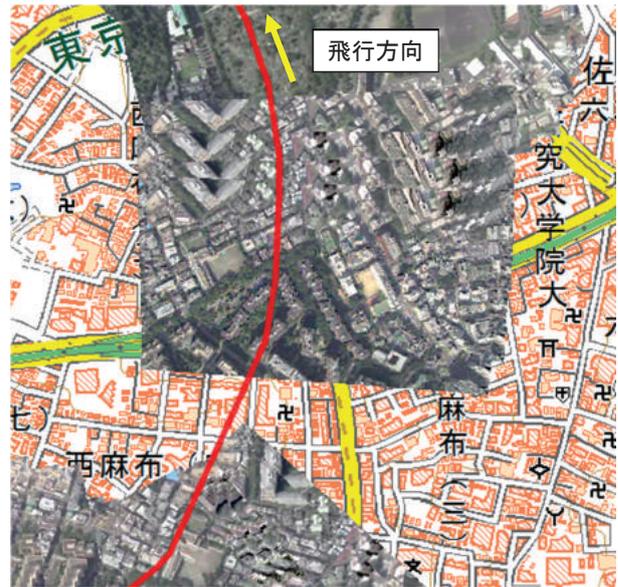


図-16 ブロッキングに伴う DiMAPS 上での表示の乱れ

場合においては南北方向ではなく東西方向へ飛行することで影響を小さくすることができる。

#### 4.2 位置補正が困難な箇所

画像マッチングによる位置補正を行うにあたり、教師データである地理院オルソが 1970 年代に撮影されたものしかない範囲では、経年変化により十分な対応点が取得できず、位置補正が困難であった。

また、平成 19 年度以降に地理院オルソが整備済みの範囲において位置補正を成功させるための撮影方法で撮影した場合であっても、本システムでは画像のマッチングに Sobel フィルタによる輪郭線画像を用いているため、地物の輪郭抽出が困難な箇所では十分な対応点が取得できず、位置補正が困難であることがわかった。具体的には、山林や水部 (河川、湖沼、海岸、洪水時の湛水箇所等) などは明瞭な輪郭をもつ地物が乏しく、対応点の抽出と位置補正が困難であった (図-17)。試験運用時には確認していないが、大規模火災や津波などで地物が喪失した箇所や、煙で覆われている箇所なども同様であると考えられる。

さらに、高層ビル街などの高い地物が多い箇所は、ヘリ映像と地理院オルソの撮影方向の違いからビルの倒れ込み方向が異なるため、地表が映っている範囲にしか有効な対応点が取得できず、位置補正が困難であった (図-18)。

#### 4.3 位置補正のパラメータ調整

試験運用では、処理のリアルタイム性を維持しつつ位置補正の成功率を高めるために、3.2.6 で述べた後処理機能を用いてパラメータを変えつつ繰り返し

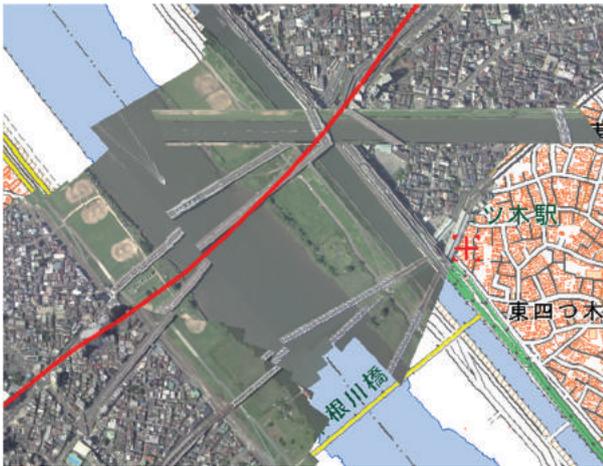


図-17 水部や山林などは対応点の抽出が困難

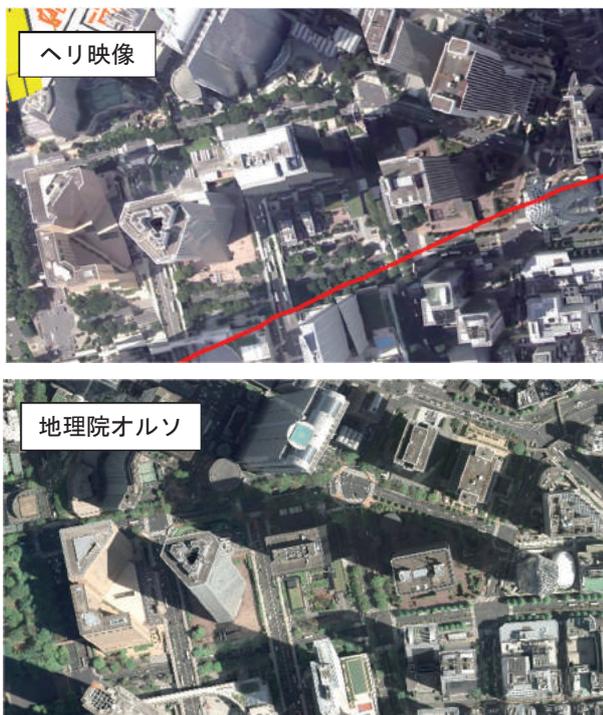


図-18 高層ビル街はビルの倒れ込み方向が異なるため対応点抽出が困難

再処理を行うことで地理院オルソとの画像マッチングの際の各パラメータの調整を行った。また、これまでに述べた位置補正に失敗する要因を排除するため、ヘリ映像を地図に重ねる場合に適した撮影方法をマニュアルに取りまとめ、関係する地方整備局に提供した。

そのマニュアルに基づいて撮影した結果、平成 19 年度以降に整備された地理院オルソが存在する範囲で、かつ位置合わせの目標となる地物が豊富な箇所においては 95%以上の割合で地理院オルソとのマッチングによる位置補正に成功し、図-11 のように地図情報レベル 2500 の地図と十分に整合した画像を

リアルタイムに出力することができるようになった。

これらの試験運用を経て、平成 27 年 9 月 1 日の DiMAPS の運用開始に合わせ、ヘリ画像処理システムも同日に正式運用を開始した。

## 5. 活用事例

平成 27 年 9 月関東・東北豪雨において、ヘリサットシステムを装備した近畿地方整備局の「きんき号」による被災状況の把握に本システムが用いられた。

撮影は 9 月 11 日から 9 月 20 日までの期間において、ヘリが飛行できなかった 9 月 17 日を除き毎日実施され、浸水の状況が把握できる画像として DiMAPS 上に表示された。また、9 月 11 日、13 日、14 日、20 日の画像は一般公開用の DiMAPS 上でも公開され、地図上での浸水状況の把握と情報提供に効果を発揮した。茨城県常総市の鬼怒川破堤に伴う浸水範囲の撮影コースの例を図-19 に、破堤箇所と浸水範囲の状況変化の例を図-20 及び図-21 にそれぞれ示す。

運用開始後初めての大規模災害での使用となったため、ヘリの飛行高度の設定や面的に隙間なく撮影するためのヘリのコース設定等は、国土地理院防災企画調整室及び本省災害対策室を含めて試行錯誤や処理パラメータの設定変更が生じたが、概ね順調に現地の撮影映像をリアルタイムに DiMAPS 上に表示することができたと考えている。

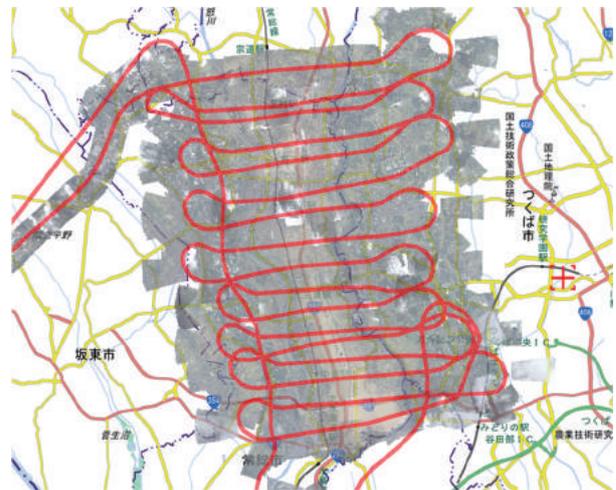


図-19 茨城県常総市の浸水範囲の撮影コースと撮影状況（平成 27 年 9 月 13 日）

## 6. まとめ

本システムの開発により、一定の条件下において地方整備局の防災ヘリコプターが撮影した映像をリアルタイムに DiMAPS 上で地図と重ねて表示することができるようになった。くにかぜⅢによるオルソ画像よりも解像度や精度の点で劣るものの、実際の活用事例から、一定の条件下では本システムによっ



図-20 茨城県常総市の鬼怒川破堤箇所の状況変化  
(上から平成 27 年 9 月 11 日,15 日,20 日)



図-21 茨城県常総市の浸水範囲の状況変化  
(上から平成 27 年 9 月 11 日,15 日,20 日)

て発災直後の的確な状況把握を迅速かつ広域的にできることが実証された。さらに、撮影した映像が地図と重なる状態で保存されるため、映像を見逃した後からでも DiMAPS 上にどこで何が発生しているかを把握できるようになったほか、公開用の DiMAPS でオルソ画像を公開することにより、広く被災状況の情報を発信できるようになった。

一方、課題としてはヘリから送られてくるカメラ情報の精度の低さから、地図と高精度に重なるオルソ画像を作成するには一定の条件を満たす方法で撮影する必要があることが挙げられる。本システムは、リアルタイムで地図上に現地画像を重畳させることを目的としているが、位置合わせの成功率向上と処理時間の短縮によるリアルタイム性の確保はトレードオフの関係にある。例えば、カメラのロール角の情報が取得できない点などは、地理院オルソとのマ

ッチングの際に画像の回転も考慮して補正をすることは可能と考えられるが、多大な処理時間を要するためリアルタイム性の保持は困難となる。現時点の位置合わせ能力は、ヘリ画像処理システムが稼働する現在のハードウェアの能力を最大限に活用してリアルタイム性を確保した結果であり、今後もしヘリの角度計測精度や、ヘリ画像処理システムサーバの処理能力が向上すれば、位置合わせ機能をより高度に改良する余地があると考えている。

本システム初の活用事例となった平成 27 年 9 月関東・東北豪雨では、発災後のきんき号の移動に 1 日を要したが、今後全国の地方整備局等にヘリサットシステムの導入が進めば、より迅速に DiMAPS 上で状況把握が可能となることが期待される。

(公開日：平成 27 年 12 月 28 日)

#### 参考文献

三菱電機 (株)：世界初、「ヘリサットシステム」を総務省消防庁に納入

<http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2013/pdf/0328.pdf> (accessed 17. Nov. 2015) .

## 新しい「全国都道府県市区町村別面積調」について Revision of “Planimetric reports on the land area by prefectures and municipalities in Japan”

基本図情報部 塩見和弘・梅沢武・服部武志・齋藤勘一

National Mapping Department

Kazuhiro SHIOMI Takeshi UMESAWA Takeshi HATTORI Kan'ichi SAITO

### 要 旨

国土地理院では、電子国土基本図の全国整備が完了したことを受け、平成元年 11 月以来、26 年ぶりに「全国都道府県市区町村別面積調（めんせきしらべ）」（以下、面積調という）について、平成 26 年度から新たに電子国土基本図を基にした新たな方式でとりまとめ、国土地理院技術資料（E2-No.61）として公表したのでその内容を報告する。

### 1. はじめに

これまでの面積調で使用された面積計測の基となる地図（計測基図）について、昭和 35 年度から昭和 62 年度までは 5 万分 1 地形図を計測基図として使用していた。昭和 59 年度には一部の離島を除き 2 万 5 千分 1 地形図の全国整備が完了し、これを基に面積計測を開始、全国の面積計測が完了した昭和 63 年度からは計測基図を 2 万 5 千分 1 地形図に移行し、平成 25 年度まで使用してきた。平成 24 年度に電子国土基本図の全国整備が完了、平成 26 年度から電子国土基本図データを計測基図として活用した新たな方式（以下、「新方式」とする）での面積調に変更した。計測基図を電子国土基本図に移行したことにより、これまでは反映されていなかった地殻変動及び自然浸食等による面積の変化についても反映できるようになった。

面積調は、測量法（昭和 24 年法律第 188 号）第 12 条の「基本測量に関する長期計画（平成 26 年国土交通省告示第 495 号）」に基づいて実施しており、公表した面積値は、様々な場面で活用されている。我が国の全土と各地方公共団体の面積に関する公的な数値であり、国勢調査（人口密度）等の統計資料として活用されている。また、地方交付税法（昭和 25 年 5 月 30 日法律第 201 号）第 12 条第 3 項測定単位の種類第 2 号面積に「国土地理院において公表した最近の当該地方公共団体の面積」とある。

面積調の結果は、国内はもとより国際社会に対し日本国の領土の面積を公証する。内閣官房の領土・主権対策企画調整室のホームページ（<http://www.cas.go.jp/jp/ryodo/>）では日本の領土の位置の概要及び航空写真等とともに、面積値が紹介されている。この面積値は正に国土地理院が公表している面積調であり、日本国の領土を公証する重要な指

標の一つである。

本稿は、この新たな面積調における主な変更点について報告するものである。

### 2. 全国都道府県市区町村別面積調

新しい面積調の基本的な構成は、従来の面積調を踏襲し、行政面積（都道府県面積、市区町村面積）、湖沼面積、島面積から成る。それぞれの掲載内容と掲載ルールを以下に示す。

#### 2.1 行政面積

行政面積の測定対象について、その最小単位は、全国の市町村、特別区又は政令指定都市の区（以下、市区町村という）である。この市区町村について、「海岸線」及び「行政区画界線」に囲まれた領域を「行政区画」と定義し、その面積を「行政面積」とする。

新方式を実施するにあたり「海岸線」について、海岸線を有する全国の市区町村に電子国土基本図の写しを送付し形状確認を実施した。今後も海岸線の形状確認を継続して行う。

「行政区画界線」について、従来から、地形図の修正作業実施時に関係市区町村から境界確認書を提出いただいている。境界変更があった場合には、関係市区町村から境界訂正申請書と境界変更に関する各種資料を提出いただき随時修正している。

ただし、北海道の然別湖及び風蓮湖、秋田県の八郎潟の調整池の一部、山梨県の本栖湖、岡山県の児島湖については、市区町村の境界が未定で所属が決まっていないため、「湖沼水涯線」で囲まれた領域（すなわち、湖水域）については、市区町村の行政面積に含めず、関係する道県の行政面積値に計上している。

#### 2.2 所属未定地域

所属未定地域とは、どの市区町村にも所属していない領域のことである。表-1 に所属未定地域を示す。これらの面積値は、市区町村の面積値には含まないが、所属する都道府県の面積値に計上している。

表-1 所属未定地域等

| 都道府県 | 対象領域                 |
|------|----------------------|
| 東京都  | 鳥島（伊豆諸島）             |
| 東京都  | ベヨネース列岩（ " ）         |
| 東京都  | 須美寿島（ " ）            |
| 東京都  | 孀婦岩（ " ）             |
| 東京都  | 中央防波堤内側埋立地（中潮橋北側）    |
| 東京都  | 中央防波堤外側廃棄物処理場（中潮橋南側） |
| 愛知県  | 名古屋港口埋立地             |
| 和歌山県 | 鯉島（東牟婁郡）             |
| 福岡県  | 羽島（北九州空港西方）          |
| 鹿児島県 | 鷹島（甌島南方）             |
| 鹿児島県 | 津倉瀬（宇治群島北東方）         |

### 2.3 境界未定区画の面積

市区町村の面積集計において、隣接する市区町村との間に境界未定の区画がある場合、平成 25 年度までは総務省が算出した当該境界未定の区画に係る市区町村の便宜的な概算の面積を参考値として掲載してきたが、平成 26 年度からは、国土地理院がこの参考値を算出・集計し、公開することとした。

また、この隣接する市区町村間の境界未定の区画が都道府県界である場合には「都道府県にまたがる境界未定地域」としてとりまとめ、関係市区町村の面積の参考値を記している。

従来は、総務省が算出し「全国市町村要覧」に記載している境界未定の区画がある市区町村の面積の参考値を入手し実施していた面積調に係る作業を、国土地理院が最新の電子国土基本図データを活用し一貫して実施できるようになった。

参考値の算出についての詳細は、5. 参考値の算出方法に示す。

### 2.4 湖沼面積

湖沼面積の測定対象については、従来と同様に面積が 1km<sup>2</sup> 以上の湖沼（人工湖は含まず.）とした。

新方式で作成した平成 26 年度の面積調の付録として都道府県別の湖沼名、全体面積、所属または関係市区町村名及び市区町村別面積を掲載している。また、湖沼面積の大きさ全国上位 20 についても掲載している。

### 2.5 島面積

島面積については、従来と同様に海上島及び湖沼内島で面積 1km<sup>2</sup> 以上の自然の島（人工島は含まず.）を対象とし、海上島ポリゴン別面積データ及び湖沼内島ポリゴン別面積データを用いて集計した。島面積は島本体の面積を集計するものとし、周辺の岩礁や小さな島などは含まれていない。また、複数の

市区町村に所属する島の場合は各島の市区町村別面積を集計している。

新方式で作成した平成 26 年度の面積調の付録として、都道府県別の島名、面積、所属または関係市区町村名及び市区町村別面積を掲載している。

また、北海道、本州、四国、九州及び沖縄島の主要 5 島の面積も掲載している。さらに、島面積の大きさ全国上位 20 についても掲載している。

### 3. 新方式への移行

新方式における最大の変更点は、面積の計測に利用する計測基図について、2 万 5 千分 1 地形図（紙地図）を基にした計測基図から電子国土基本図を基にした計測基図データへと変更したことである。

面積の計測方法がどのように変わったかを理解するために平成 25 年度までの面積調（以下、旧方式という）での、計測基図及び面積の計測を紹介する（長岡ほか、1990）。

#### 3.1 平成 25 年度までの面積調での計測基図及び面積の計測

旧方式では、昭和 59 年度に一部の離島を除き 2 万 5 千分 1 地形図の全国整備が完了したことを契機に同図を計測基図として面積計測が進められ、昭和 63 年度に完了し、平成元年度に官報公告した面積調の面積値が基になっている。当時の面積計測手法は、2 万 5 千分 1 地形図を基に海岸線及び境界線を赤ペンでトレースした面積計測用の計測基図を作成し、それを基にハンドデジタイザ（座標計測機）を使用して赤線をなぞり、手作業で座標を取得し、面積を計測していた（写真-1）。



写真-1 紙の地形図上で座標計測機を用い、海岸線や行政界を手作業でなぞり座標を取得

また、微小な島等の面積は方眼を用いて計測していた。2 万 5 千分 1 地形図上で 2mm×2mm 未満の岩などは、1mm×1mm（実測上では 25m×25m に相当）

の方眼計測を行い、各方眼で半分以上埋まっていれば方眼1個分を面積値に計上し、半分未満であれば面積値に計上しない方法で島面積を算出していた(図-1)。

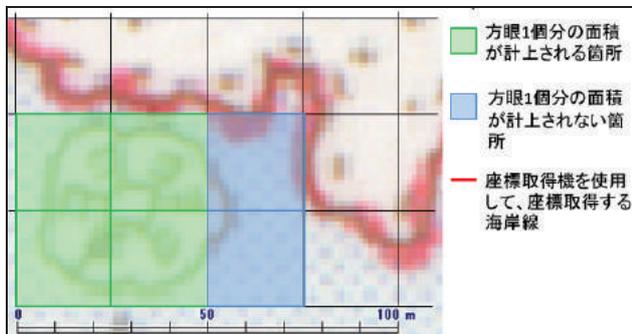


図-1 方眼を用いた微小な島等の面積計測

埋め立てや境界変更等の変化があった場合は、それらの告示資料に記載のある面積値の増減分を、それぞれが所属する市区町村の面積から加減算することで更新してきたが、未告示の埋立地や海岸の浸食・堆積等の自然地形の経年変化を反映できていなかった。そのため、旧方式の面積値には手動計測による計測誤差や、海岸地形の経年変化によるズレが含まれていた。

### 3.2 新方式での「計測基図データ」及び面積の計測

新方式では、電子国土基本図の「海岸線データ」、「行政区画境界線データ」及び「湖沼水涯線データ」から作成した「行政区画ポリゴン」と「湖沼ポリゴン」、さらにそれらのポリゴンの頂点の経緯度と属性情報を記した「行政区画テキスト」と「湖沼テキスト」、これら4ファイルを「計測基図データ」と定義した。

この「計測基図データ」を基にPC上で面積計算ソフトウェアを用いて直接、面積計算を行うことで、手動計測に起因する計測誤差のない面積値の算出が可能となった。特に、都市計画区域内の海岸線(河口線を含む)においては、電子国土基本図の海岸線が縮尺1/2500の高精度なデータで整備されており、これまで反映されていなかった未告示の埋立地や海岸の浸食・堆積等の自然地形の変化を反映した面積値となっている。参考として、これまでの面積調の海岸線(赤)と新方式の海岸線(青)を重ねあわせて比較した地図を図-2に示す。

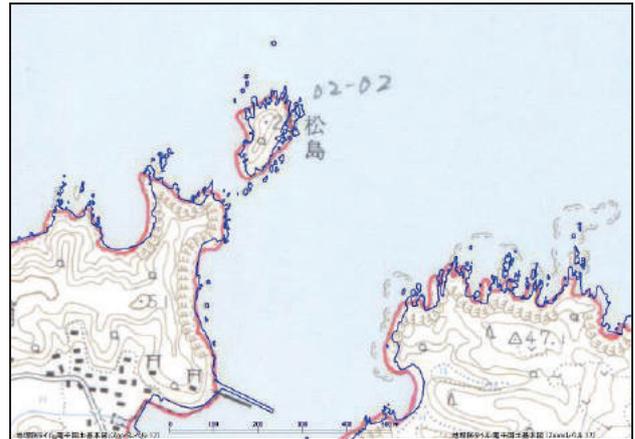


図-2 旧方式(2万5千分1地形図)の海岸線(赤)及び背景と新方式(電子国土基本図 縮尺1/2500)の海岸線(青)の重畳(宮城県南三陸町の例)

#### 3.2.1 行政区画ポリゴン

行政区画ポリゴンは基本的に「海岸線」、「河川の河口線」(以下、「河口線」という)、「行政区画境界線」のいずれかで構成されている。

「海岸線」は、満潮時の水涯線を表し、「河川の河口線」は、海岸線の自然な形状に従って河口両岸の先端を結んだ陸海の境としている。河口線の陸側の河川部分は内水部として扱い、所属市区町村の面積として計上している。海岸線と河口線の代表例として利根川の河口線と海岸線を青線で、行政区画境界線を緑線で図-3に示す。行政区画境界線は、地図情報レベル25000で作成されている。

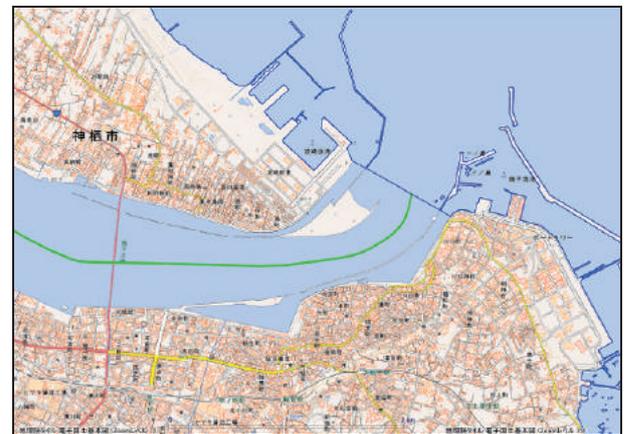


図-3 利根川の河口線及び海岸線(青)と行政区画境界線(緑)

#### 3.2.2 湖沼ポリゴン

湖沼ポリゴンは、「湖沼水涯線」及び「行政区画境界線」で構成されている。例えば、サロマ湖のように湖と海がつながっている場合でも湖沼水涯線(湖沼水涯線の河口線も含む)で湖沼と海の境界は区別している(図-4)。



図-4 サロマ湖の湖沼水涯線及び河口線(青)と行政区画界線(緑)

#### 4. 面積計算方法

面積計算方法は、「行政区画ポリゴン」及び「湖沼ポリゴン」の頂点の位置座標（GRS80 楕円体面上の経緯度）を平面上に投影（地図投影）し、投影後の各頂点の座標値から座標法により面積値を計算する。

今回、新方式で面積を算出するにあたり、最適な地図投影法とはどのような投影法であるのかを改めて検討した。

##### 4.1 地図投影法の決定

旧方式での面積計測では、平成 13 年に測量法が改正されるまでは、計測基図上の境界線の位置座標（UTM/bessel）をもとに、ベッセル楕円体基準面上の面積を計算していた。

一般的に地球表面上（回転楕円体面上）の位置座標を平面上に投影（地図投影）すると、何らかの歪みが生じる。地図投影法においては、投影に際し保存される特性として、幾何的性質に基づく分類（正積図法、正角図法、その他）と投影の幾何的構成方法（円筒図法、擬円筒図法、円錐図法、方位図法、その他）の二つの特性があげられる。これらを考慮し、地図投影法（以下、投影法）を決定する必要がある。

##### 4.1.1 投影法の検証

面積調においては、正確な面積を求めることが目的なので、投影で保存される幾何的性質に基づく分類として正積図法を採用する必要がある。また、幾何的構成方法については、円筒図法は赤道付近で歪みが少ない図法である。円錐図法は、中緯度域で歪みが少ない図法である。方位図法は、極付近の歪みが少ない図法であり、円錐図法が有効であると推測した。これらを検証するため、GRS80 楕円体上で緯度差 30 秒、経度差 45 秒の四角形の矩形を設定し、経度を固定し、緯度を北海道、関東、沖縄に合わせ

た領域についてランベルト正積方位図法、正弦曲線（サンソン）図法、アルベルス正積円錐図法により投影変換した各頂点の座標値から座標法により面積を算出し比較した（検証作業実施は平成 23 年度～平成 24 年度）。

その結果、投影法により面積に有意な違いが確認できた。ただし、いずれも面積調の面積値の表示桁数である  $0.01\text{km}^2$ （小数点以下 2 桁）に対し、違いは、小数点以下 4 桁以上の桁数で表れ実用上影響がないことが確認できた。

次に、水戸市、青森市、盛岡市、福島市、仙台市（全区）、千葉市（全区）の 6 都市のテストデータから算出した面積値を比較した。図法は、正積緯度への変換+斜軸ランベルト正積方位図法、ランベルト正積円錐図法、正弦曲線（サンソン）図法、アルベルス正積円錐図法の計算プログラムを独自に作成し面積値を計測した。面積値の真値は不明なので、参考として平成 22 年度の面積調の面積値を便宜的に使用して比較した。

その結果、各図法間で数  $\text{m}^2$  から数十  $\text{m}^2$  の較差があった。特に千葉市については、各図法とも数十  $\text{m}^2$  の較差があった。この面積値の違いは、ベクトルデータが折れ線で境界を表現しているため、投影法によっては曲線となるべきところも、ポリゴンの頂点を線分で結んだ形になることが原因であると推定した。実際に千葉市のポリゴンデータを確認したところ長距離の直線部が多く、図法間の格差が表れやすいことである程度裏付けられる。

##### 4.1.2 投影法の考察

では、どの地図投影法がより正しい結果を示しているのかについてだが、経緯線に平行な線分を持つ図形に対して有利な投影法・不利な投影法もありうるので、最初の検証方法をもって地図投影法間の精度を比較することは適切ではない。また、面積値の真値は不明であるため面積値による検証もできない。

そこで、投影法の性質から日本全体に対して、比較的、形状歪みを小さく投影できる地図投影法がどれなのかを考察することとした。

ランベルト正積円筒図法では、標準緯線を中緯度にとった場合、低緯度地域が縦長に表現され、緯度の変化に伴う形状歪みが大きい。

正積緯度への変換+斜軸ランベルト正積方位図法では、中心点では歪みはないが、周辺では歪みが生じる。

正弦曲線（サンソン）図法では、歪みを小さくするために日本列島全体を一つの座標系で投影するのではなく、UTM のように座標帯に分割することも考えられるが、これは面積値の計算では非常に不便である。

アルベルス正積円錐図法では、緯度によって形の歪みは異なるが、標準緯線を対象地域内（日本全体のこと）に適切に選べば比較的小さく抑えることができる。形状歪みが小さければ、前出の曲線部が直線で短絡されるという問題についても比較的影響が少ないと考えられる。

#### 4.1.3 投影法の決定

よって、アルベルス正積円錐図法を選択することとした。

一般的にアルベルス正積円錐図法は、標準緯線付近の比較的広い範囲で角の歪みも小さいという点で利用価値が高く、とくに中緯度にあつて東西に広く伸び、また、南北にもある程度の幅を有する地域全体を表現するのに適しているとされている。今回、アルベルス正積円錐図法を採用するにあたり、標準緯線の設定については、野村(1983)p.141の式により、図に描く緯度範囲を定めたときに図内の角歪みを最小にする標準緯線の緯度を求めた結果、北緯33度及び北緯44度とすることが適当であるとして決定した。また、中央経線を東経135度とした。

### 5. 参考値の算出方法

市区町村間の行政界に境界未定部分が存在する場合には、参考値（便宜上の概算数値）を掲載するとともに、関係市区町村による合計面積を別記している。

#### 5.1 平成26年度の参考値の算出方法

平成26年度の参考値は、まず、電子国土基本図データから計測した新方式での関係市区町村の合計面積を求める。次に平成26年版全国市町村要覧に記載されている参考値を用いて旧方式での関係市区町村の合計面積を求め、過去1年間の埋立または境界変更等告示の面積の異動を反映し旧方式参考値を算出した。最後に、新方式での関係市区町村の合計面積を旧方式参考値の割合で按分し、平成26年の参考値を算出する。算出手順は、以下のとおりである。

- 1) 電子国土基本図の情報を用いて、新方式で平成26年10月1日時点のA町、B市の面積の合計値を算出する。（以下「新方式合計面積」という。）

例) A町、B市の新方式合計面積：103.00 (km<sup>2</sup>)

- 2) 旧方式で平成26年10月1日時点の当該市区町村の参考値（以下「旧方式参考値」という。）及び合計面積（以下「旧方式合計面積」という。）を算出する。

例) 旧方式参考値の算出

旧方式参考値は、総務省自治行政局市町村課発行「全国市町村要覧（平成26年版）」

に記載されている関係市区町村の参考値（以下「全国市町村要覧参考値」という。）に、平成25年10月2日から平成26年10月1日までの1年間で、埋立または境界変更等告示による0.01 (km<sup>2</sup>)以上の面積異動がある場合に以下のとおり、加減算して面積を求めた。

〈全国市町村要覧（平成26年版）〉

A町の参考値 52.00 (km<sup>2</sup>)

B市の参考値 49.00 (km<sup>2</sup>)

〈埋立告示情報、境界変更情報〉

A町に埋立告示による2 (km<sup>2</sup>)の面積の増加

B市に境界変更による1 (km<sup>2</sup>)の面積の減少

〈旧方式参考値の計算〉

A町の旧方式参考値:

$$52.00 + 2.00 = 54.00 \text{ (km}^2\text{)}$$

B市の旧方式参考値:

$$49.00 - 1.00 = 48.00 \text{ (km}^2\text{)}$$

例) A町とB市の旧方式参考値の合計（以下、旧方式合計面積という）

$$\text{旧方式合計面積: } 54.00 + 48.00 = 102.00 \text{ (km}^2\text{)}$$

- 3) 関係市区町村における、平成25年度の旧参考値の旧合計面積に対する比率（以下「按分率」という。）を算出する。

例) 按分率 = 旧方式参考値 / 旧方式合計面積

A町の按分率：54.00/102.00

B市の按分率：48.00/102.00

- 4) 平成26年度の新合計面積に3)の按分率を乗じて平成26年度関係市区町村の参考値を算出した。

例) 新参考値(単位: km<sup>2</sup>) = 新合計値 x 按分率

新参考値 A : 103.00 x (54.00/102.00)

$$= 54.53 \text{ (km}^2\text{)}$$

新参考値 B : 103.00 x (48.00/102.00)

$$= 48.47 \text{ (km}^2\text{)}$$

#### 5.2 平成27年度の参考値の算出方法

平成27年度の参考値について平成27年10月1日を基準日として算出する。境界未定部分が内陸部で海岸線と接していない場合と沿岸部で海岸線と接している場合の2種類に分けて算出方法を示す。後者では、境界未定付近で埋立等の改変があった場合、参考値の算出方法が異なる。

##### 5.2.1 境界未定部分が海岸線と接していない場合の市区町村における面積の参考値

境界未定部分が海岸線と接していない場合の市区町村面積の参考値の算出は、各市区町村における前年と当年の仮面積の異動量を前年の参考値に追加し求める。以下の手順で算出する。図-5に参考値算出

イメージを記す.

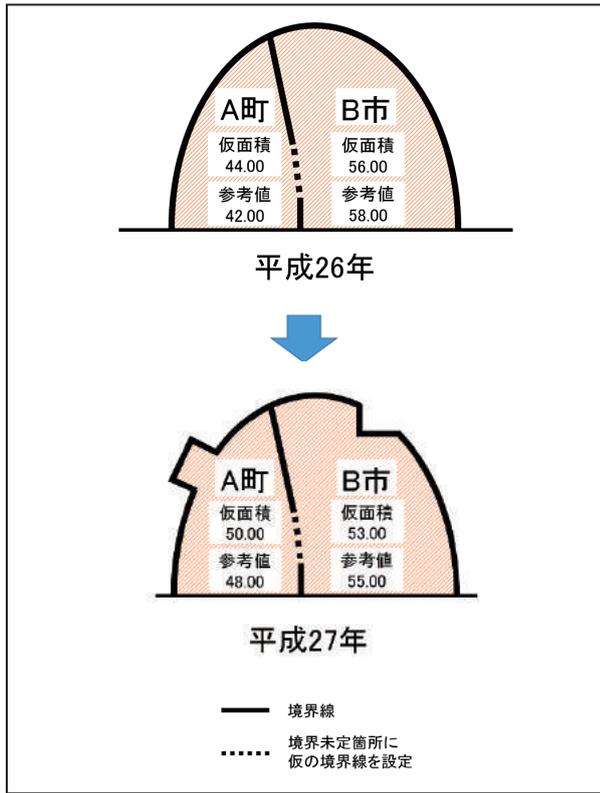


図-5 境界未定部分が海岸線と接していない場合の参考値のイメージ

- 1) 平成 26 年 10 月 1 日時点の電子国土基本図データの境界未定部に仮境界を設定し A 町及び B 市のそれぞれの仮の面積 (以下「仮面積」という.) を求める.  
 例) 平成 26 年の仮面積  
 A 町の仮面積 (H26) : 44.00 (km<sup>2</sup>)  
 B 市の仮面積 (H26) : 56.00 (km<sup>2</sup>)
- 2) 平成 27 年 10 月 1 日時点の電子国土基本図データの境界未定部に仮境界を設定(平成 26 年と同一)し A 町及び B 市のそれぞれの仮の面積 (以下「仮面積」という.) を求める.  
 例) 平成 27 年の仮面積  
 A 町の仮面積 (H27) : 50.00 (km<sup>2</sup>)  
 B 市の仮面積 (H27) : 53.00 (km<sup>2</sup>)
- 3) 平成 27 年の仮面積から平成 26 年の仮面積を減じ, A 町及び B 市における基準日以前の 1 年間における面積増減値を求める.  
 例) 平成 27 年の面積増減値  
 A 町: 50.00 - 44.00 = 6.00 (km<sup>2</sup>)  
 B 市: 53.00 - 56.00 = -3.00 (km<sup>2</sup>)
- 4) A 町及び B 市の平成 26 年の参考値に 3) で求めたそれぞれの面積増減値を加算した値を, A 町及び B 市の平成 27 年の参考値とする.

例) 平成 26 年の参考値

A 町の参考値 : 42.00 (km<sup>2</sup>)

B 市の参考値 : 58.00 (km<sup>2</sup>)

平成 27 年の参考値

A 町の参考値 : 42.00 + 6.00 = 48.00 (km<sup>2</sup>)

B 市の参考値 : 58.00 + (-3.00) = 55.00 (km<sup>2</sup>)

### 5.2.2 境界未定部分が海岸線と接する場合の市区町村における面積の参考値

境界未定部分が海岸線と接する場合, 境界未定部の近傍に都市計画基図, 地籍調査図等から所属が明確な土地の境と海岸線とが接している点 (以下, 折半点という) を関係市区町村に確認し, あらかじめ設定しておく. 具体的には字界や地籍測量による土地の境界等と海岸線が交差するような点のことである. この折半点同士を結ぶ区間 (以下, 折半区間という) 内において, 前年と比較して海岸線に変更がない場合は, 以下の 1) 及び 2) に示す方法を適用する (前出の 5.2.1 に同じ).

逆に埋立等の改変があった場合は, 2) を除く 1) から 5) の手順で面積を算出する. 図-6 に参考値算出イメージを記す.

- 1) D 町及び E 村の折半区間内において, 平成 26 年 10 月 2 日から平成 27 年 10 月 1 日までに埋立等による海岸線の変更の有無を確認する.
- 2) 折半区間内の海岸線に変更が無い場合は, 5.2.1 に示す方法 (境界未定部分に仮境界を設定) で参考値を算出する.
- 3) 折半区間内の海岸線に変更があった場合は, 折半区間と境界の端点に囲まれた領域 (以下, 折半領域という) の差分を取り折半する.  
 例) 折半領域の面積  
 折半領域の面積 (H26) : 8.00 (km<sup>2</sup>)  
 折半領域の面積 (H27) : 10.00 (km<sup>2</sup>)  
 平成 27 年度に増加した折半領域の面積を折半する : (10.00 - 8.00) / 2 = 1.00 (km<sup>2</sup>)
- 4) 折半領域を除いた D 町及び E 市の平成 26 年度の電子国土基本図データ (ポリゴン) から面積の増減を求める.  
 例) 折半領域を除く D 町の増減 (H26) :  
 52.00 - 50.00 = 2.00 (km<sup>2</sup>)  
 折半領域を除く E 市の増減 (H26) :  
 45.00 - 42.00 = 3.00 (km<sup>2</sup>)
- 5) D 町及び E 市の平成 26 年度参考値に 4), 5) で求めた折半領域の面積と折半領域を除く面積値の増減を加え, 平成 27 年度の参考値とする.  
 例) D 町の参考値 (H27) :  
 56.00 + 1.00 + 2.00 = 59.00 (km<sup>2</sup>)  
 E 市の参考値 (H27) :  
 44.00 + 1.00 + 3.00 = 48.00 (km<sup>2</sup>)

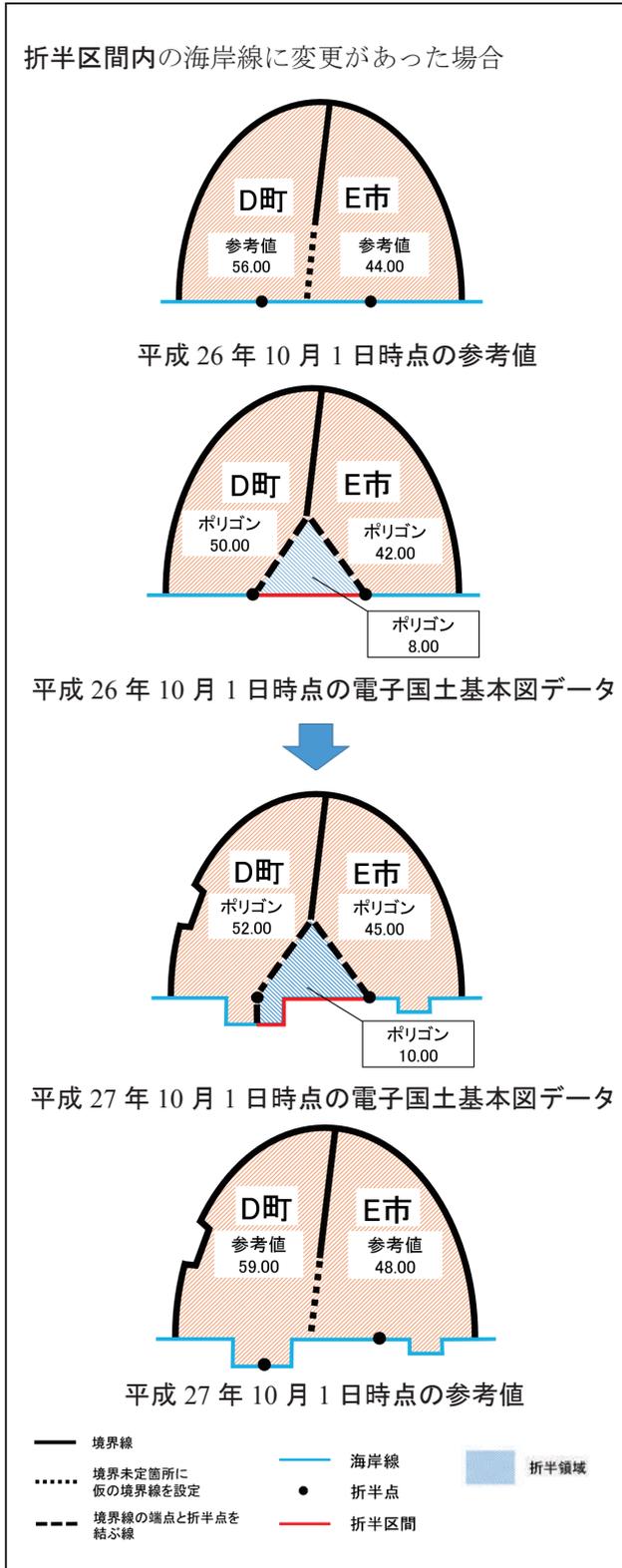


図-6 境界未定部分が海岸線と接しており、折半区間に海岸線の変更がある場合の参考値の算出イメージ

6. 東北地方太平洋沖地震による沿岸地域の被災地の取り扱いについて

東北地方太平洋沖地震での津波や都市の沈降によ

り、一時的に水没した箇所については不動産登記法上も滅失扱いとなっていないことから、当分の間(概ね震災復興期間の間)、東北地方太平洋沖地震の地殻変動による位置のずれを補正した地震前海岸線データを用いて面積計測を行うこととした。

例として図-7に宮城県東松島市の海岸付近の電子国土基本図に東北地方太平洋沖地震の地殻変動による位置のずれを補正した海岸線を重畳したものを示す。



図-7 宮城県東松島市の海岸付近の電子国土基本図と東北地方太平洋沖地震の地殻変動による位置のずれを補正した地震前の海岸線データ(青線)の重畳

7. 面積計算及び面積値における留意点

アルベルス正積円錐図法を用いてポリゴンデータの頂点の経緯度座標を変換するにあたっての留意点を以下に示す。

4.1.1の検証作業で確認できたことであるが、ポリゴンの頂点の分布が密なポリゴンでは投影法による較差は小さいが、頂点の距離が数 kmにも及ぶ直線で結ばれているようなポリゴンの場合では投影による誤差が出現することが分かった。この直線状の境界線は、本来、曲線へと投影変換されるはずなのに、

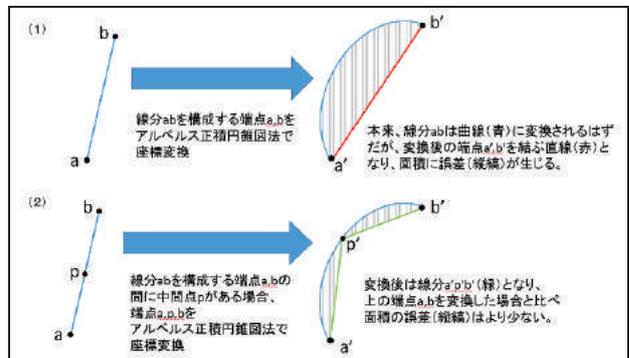


図-8 ベクトルデータをアルベルス正積円錐図法で座標変換するにあたっての注意点

データとしては端点の2点のみの座標変換となり、それを結ぶ直線として投影されてしまうため面積値に誤差が生じる(図-8(1))。ここで端点2点の間に中間点があった場合、面積値の誤差は端点2点の場合と比べると少なくなることが分かる(図-8(2))。

従って、境界線、海岸線データ等の作成においては、線を構成する点の数を密にとるように注意が必要である。ここで、中間点の取り方についてだが、中間点を密に取りさえすれば良いのかというと、そういうわけではなく、例えば、ベクトルデータの質が悪く、同一点を複数回取得していたり、あるいは全く同一ではなくてもごく近傍に点が集中しているような場合に、計算上問題が起こらないのか等は、検討が必要かもしれない。このような場合に誤差の小さい安定した答えが出せるかについては、丸め誤差の集積などで精度が劣化する恐れがないとも言えない。ただし、データの重複は、通常チェックプログラムで排除されている。

また、中間点を設定する場合に、元のデータが例えば1km離れた2点を直線で結んでいるような場合に中央の500m地点に頂点を追加したとして、この中間点の座標をどうやって計算するのも問題である。2点の経緯度の平均値をとれば良いというものでもない。おそらく最も妥当と思われるのは2点間の経緯度から測地線(例えば、ヘルマート変換の公式(1880))を計算し、その測地線上の中間点の経緯度を用いることと思われるが、根拠があってデータを加工したとは言い切れない問題は残る。

電子国土基本図データの海岸線及び境界線においては、有意な面積の誤差を発生させうる頂点間の距離が数キロにも及ぶようなポリゴンは、存在していない。しかし、作業規程上、ポリゴンの頂点の取得密度については特に規定されておらず、何らかの対応が必要ではないかと考える。

上記の注意点とは別に、新方式で計測した面積値の注意点として、行政面積の集計単位毎に面積値を積み上げて集計し、平方キロメートル単位の小数第三位を四捨五入し小数第二位で表示している。そのため小数第二位で表示した各市区町村の面積値の合計は都道府県/全国の合計値と一致しない場合がある。

## 8. まとめ

今回の面積調の作成方法の改訂は、前回改訂のあった平成元年11月以来、26年ぶりのこととなる。計測基図を紙地図からデジタル化された電子国土基本図に移行し、特に都市計画区域内の高精度な海岸線データの活用により、これまで反映されていなかった未告示の埋立地や海岸部の浸食・堆積等の自然地形の変化を面積値に反映できるようになった。さ

らに、PCソフトウェアによる計測基図データからの直接的な計算、最適な地図投影法の採用等、大きく進化した。旧面積調から新面積調への主な変更点及びメリットについて表-2に記す。

平成27年度は、境界線の変更、海岸線の変化等について全国の市区町村からの申請に基づきデータ更新し、平成26年度面積調との面積値の比較、差分の計測を行いそれらの結果を反映した「平成27年度都道府県市区町村別面積調」を公表する予定である。

## 謝辞

本報告をまとめるにあたり、政春尋志東洋大学教授から面積計算方法、地図投影法、面積計算及び面積値における注意点等、貴重なご教示・ご意見を戴いた。政春尋志教授は国土地理院在勤時にも新しい面積調に関してご尽力されておりここに記して感謝の意を表したい。

表-2 旧面積調から新面積調への主な変更点及びメリット 一覧表

|  | 旧面積調  | 新面積調  | 変更のメリット  |
|--|---|---|--|
| 面積調の構成   | 行政面積, 湖沼面積, 島面積   | 行政面積, 湖沼面積, 島面積   | —  |
| 基図   | ・2万5千分1地形図<br>(昭和63年時点を随時修正)  | ・電子国土基本図<br>(毎年10月1日時点)   | ・基図が常に更新されている<br>ただし面積調では、毎年10月1日時点の情報を使用  |
|  | 行政界<br>・2万5千分1地形図の行政界<br>(昭和63年時点を随時修正)<br>・紙地図をハンドデジタイザで<br>トレースし位置座標を取得し<br>利用                                  | ・電子国土基本図<br>(平成26年10月1日時点)<br>・25000レベルのデジタルデータ<br>を利用  | ・手作業による位置座標の計測<br>誤差を含まない高精度な面積計<br>測が可能   |
|  | 海岸線<br>・2万5千分1地形図の海岸線<br>(昭和63年時点を随時修正)<br>・紙地図をハンドデジタイザで<br>トレースし位置座標を取得し<br>利用<br>・昭和63年時点の情報に埋立<br>告示情報を随時追加   | ・都市計画区域内の海岸線は<br>2500レベルの現況データ<br>・都市計画区域以外の海岸線は<br>25000レベルの現況データ<br>・電子国土基本図の迅速更新、面<br>的更新の結果を反映した海岸線<br>データ<br>・各関係市区町村に形状を毎年確<br>認し使用 | ・旧面積調では埋立告示による<br>面積の加算方式であったが、新<br>面積調では、電子国土基本図を<br>用いた現況に則した面積の算出<br>が可能。<br>・自治体の確認を得た海岸線を<br>使用<br>・都市計画区域内の海岸線が<br>2500レベルの高精度なデータ |
| 湖岸線<br>・2万5千分1地形図の湖岸線<br>(昭和63年時点を随時修正)<br>・紙地図をハンドデジタイザで<br>トレースし位置座標を取得し<br>利用 | ・都市計画区域内の湖沼水涯線は<br>2500レベルの現況データ<br>・都市計画区域以外の湖沼水涯線<br>は25000レベルの現況データ  | ・旧面積調では埋立告示による<br>面積の加算方式であったが、新<br>面積調では、電子国土基本図を<br>用いた現況に則した面積の算出<br>が可能。  |  |
| ※参考値の算出  | ・総務省の「全国市町村要覧」<br>を使用   | ・国土地理院が実施   | ・国土地理院が所有する最新の<br>電子国土基本図のデジタルデー<br>タが活用でき、面積調に係る作<br>業が一貫して行える。   |
| 面積の計算方法  | ・計測基図上の境界線の位置座<br>標(UTM/bessel)をUTM投影<br>面上で面積を算出<br>・2001年の測量法改正以降は<br>境界線の位置座標(UTM/<br>GRS80)をUTM投影面上で面<br>積を算出 | ・行政区画を構成するポリゴンの<br>頂点の位置座標(UTM/GRS80)<br>をアルベルス正積円錐図法にて<br>投影変換し面積を算出   | ・日本全体を対象とした領域内<br>において歪みの少ない面積の算<br>出が可能   |

※参考値とは、境界未定部分が存在する市区町村の便宜上の面積概算値  
(公開日：平成27年12月28日)

#### 参考文献

政春尋志(2011): 地図投影法—地理空間情報の技法, 朝倉書店, 39p-107p.

野村正七(1983): 地図投影法, 日本地図センター, 141 p.

長岡正利, 三橋眞, 阿部正勝, 吉村保男, 小松隆, 船津祐司, 吉成秀勝(1990): 「全国都道府県市区町村別面積調」の改訂・公表について, 国土地理院時報, No.71, 54p.

「電子国土基本図を用いた全国都道府県市区町村別面積測定作業要領(案)(H27.3)」

## 第 28 回国連地名専門家グループ会合報告 Report on the 28th United Nations Group of Experts of Geographical Names

基本図情報部 中村孝之・笹川啓<sup>1</sup>・水越博子  
National Mapping Department Takayuki NAKAMURA, Akira SASAGAWA,  
and Hiroko MIZUKOSHI

### 要旨

2014 年 4 月 28 日から 5 月 2 日まで、米国ニューヨークの国連本部において、第 28 回国連地名専門家グループ会合が開催された。会合には、世界各国から地名を取り扱う国の機関、大学等の専門家らが参加し、各ワーキンググループ、各地域/言語部会、各国からのレポートを元に議論が進められた。国土地理院から本会合に参加したので、その概要を報告する。

### 1. 国連における地名標準化の全体の枠組み

第 28 回国連地名専門家グループ会合の報告に先立ち、まず、国連地名標準化会議も含めて国連における地名標準化の全体の枠組みを紹介する。

#### 1.1 国連地名標準化会議

国連地名標準化会議は、地名の国内標準化及び国際標準化の促進を目的として、国内標準化された地名に関する情報の国際的な普及促進、非ローマ字表記をローマ字表記へ変換する単一方式の承認などを行う会議である。国連地名標準化会議や国連地名専門家グループ会合(1.3に示す)は、国内標準化や表記方法に関する技術的課題に関する情報交換や議論の場であって、個別の地名の審議や決定は行われない。

会議では、各国や国連地名専門家グループのワーキンググループ(以下、「WG」)(1.2に示す)などによる報告やそれを元にした議論が行われ、最終的に各国への勧告等の決議が行われる。

会議は 1967 年に第 1 回会議がスイス・ジュネーブにおいて開催され、以降、5 年に一度開催されている。直近では、2012 年に第 10 回会議が米国・ニューヨークで開催された(第 9 回会議は南ほか(2008)、第 10 回会議は金子ほか(2013)に詳しい)。次の開催は 2017 年の予定である。

#### 1.2 国連地名専門家グループ

国連地名標準化会議の事務的な取りまとめは国連経済社会理事会が行っているが、会議の実質的な議論の進行及び実際の活動は、国連地名専門家グループ(United Nations Group of Experts on Geographical

Names: UNGEGN)が行っている。UNGEKN は、1959 年の経済社会理事会決議 715A (XXVII) に基づき設置された経済社会理事会の専門機関の一つである。UNGEKN の下に 24 の地域・言語部会と課題別に 10 の WG (表 1)、2 つのタスクチーム(アフリカタスクチーム、地図編集者等における国際使用のための地名ガイドラインタスクチーム)が設置され、各国の地名専門家が具体的な課題の検討を行っている。地域・言語部会では、日本は韓国及び北朝鮮とともに「アジア東(中国を除く)部会」(韓国が暫定部会長)に属している。

表 1 UNGEGN の課題別 WG

| WG の名称         | 現在の主な活動内容                                       |
|----------------|---|
| 国名             | 国名リスト案の作成管理                                     |
| 地名データファイル及び地名集 | 地名データ処理(地名集を含む)並びに地名データ交換フォーマット及び標準化に関する活動      |
| 地名専門用語         | 地名専門用語集の更新                                      |
| 広報及び資金調達       | 広報、ウェブサイトの維持管理                                  |
| ローマ字表記方式       | 非ローマ字言語国による地名のローマ字表記方式を審議                       |
| 地名研修コース        | 地名研修コースの管理、国際研修コースの計画及び講師派遣補助                   |
| 評価及び実施         | UNGEKN の機能・効率性及び決議実施の評価及び提案                     |
| エクソニム          | エクソニム使用のガイドライン作成の検討                             |
| 発音             | 各国の発音ガイド作成の内容、実行可能性の検討                          |
| 文化遺産としての地名     | 先住民族・少数民族の地名の使用推奨の報告書の維持更新、これらの地名の現地収集ガイドラインの編集 |

現所属：<sup>1</sup> 応用地理部

### 1.3 国連地名専門家グループ会合

国連地名専門家グループ会合は、5年に一度の国連地名標準化会議を補完するものとして、同会議開催時、2年後、4年後に開催される。国連地名標準化会議と同様に各国やWGなどによる報告や質疑応答により進行するが、各国への勧告等の決議は行われない（最近の第26回会議は金子（2012）、第27回会議は金子ほか（2013）に詳しい）。

### 1.4 これまでの主な成果

これまでの国連地名標準化会議による各国への勧告等の決議やそれを元にした UNGE GN 等の活動のうち主なものは次の通りである。

（各国への勧告等の決議）

- ・ 国家地名機関の設置の勧告
- ・ 地名集、地名ガイドラインの作成の勧告
- ・ エクソニムの削減の勧告
- ・ 各国提案の地名のローマ字表記の単一方式の承認（活動）
- ・ 国名リストの作成
- ・ 世界の国名・主要都市名データベースの作成
- ・ 地名専門用語集の作成
- ・ 途上国への地名標準化の援助、教育や研修を実施
- ・ 地名標準化手法をマニュアルにまとめ、配布等

なお、エクソニムは外来地名、エンドニムは内生地名と呼ばれる。UNGE GN の地名専門用語 WG による用語集の定義（仮訳）は以下の通りである。

エンドニム：地物が位置する地域の公用語又はよく定着している言語による地物名。

エクソニム：ある特定言語による、その言語が話される地域の外に位置している地物の名称であり、その地物が位置する地域の公用語又はよく定着している言語による名称とは形式が異なるもの。

例えば、インドの Mumbai(ムンバイ)はエンドニム、Bombay(ボンベイ)はエクソニムである。

## 2. 第28回国連地名専門家グループ会合について

本章では、同会合の概要を報告する。

なお、第28回会合の公式な報告書は UNGE GN のウェブサイト(<http://unstats.un.org/unsd/geoinfo/UNGE GN/ungegnSession28.html>) で公表されている。同報告書の仮訳を参考として本稿の末尾に添付する。

### 2.1 開催概要

会合は、平成26年4月28日（月）から5月2日

（金）まで、米国・ニューヨークの国連本部にて開催された。会合には、53の国連加盟国と国際機関等から174名の参加があった。日本からは、国土地理院基本図情報部中村孝之国土基盤情報調整官及び笹川啓地名情報課長補佐が参加したほか、国連日本政府代表部から関係職員が参加した。



写真-1 会合の様子

### 2.2 レポートの発表

今次会合では、各国、地域・言語部会、WG等から80本強のレポートが提出された。これらはすべて UNGE GN のウェブサイトで見ることができる。

#### 2.2.1 国土地理院の発表

議題9「地名データファイルと地名集WGに関する活動」の中で、中村国土基盤情報調整官より、電子国土基本図（地名情報）の整備・提供状況や地理院地図を通じた地名情報の活用方法について述べたレポート「電子国土基本図（地名情報）の整備と提供」を発表した。ドイツ、サウジアラビア、インドネシア、ボツワナの4カ国から、電子国土基本図（地名情報）の詳細（位置づけ、収録数、整備方法等）や「地理院地図」の技術支援に関して質問があり、それぞれ回答した。

#### 2.2.2 その他の主な発表

##### (1) 国際地図年2015/16への支援要請

議題5「渉外担当役員及び国際機関報告」の中で、国際地図学会から、地図の普及啓発を目的として、2015年～2016年まで（メインは2015年8月にリオデジャネイロで開催の同学会の大会）、国際地図年（International Map Year）を企画しており、地球規模の地理空間情報管理に関する国連専門家委員会（United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management）による支援をお願いしたいとする内容の報告があった。各国からイベント等に貢献したいとする声が多数あった。

## (2) 韓国による地名法制定

議題7「評価及び実施 WG に関する決議履行及び活動」の中で、韓国国土地理情報院から、地名法制定の動きの報告があった。この地名法には、地名標準化の原則、標準化手続き、国家レベルの地名管理計画の策定、地名管理方策（地名調査、地名集及びデータベース作成、研究開発等）、国家・地域・地方レベルの地名委員会の設立等が盛り込まれている。

## (3) ドイツによるオープンデータに関する活動

議題9「地名データファイルと地名集 WG に関する活動」の中で、ドイツにおけるオープンデータに関する活動報告があった。ドイツでは、政府の地理空間情報をオープンデータ化するため、地理データアクセス法(2008年制定)を2012年11月に改正し、2013年3月には商用/非商用を問わず無償で使用可能とする地理データ使用令を制定した。これにより、中小縮尺の地理空間情報の無償提供や地名集の無償ウェブサービスの取組が進んでいる。

## (4) カナダによる「地名の日」制定の提案

議題13「広報及び資金調達 WG に関する活動」の中で、カナダから、国連地名標準化会議が2017年開催予定の第11回会議で第1回会議から50周年となることを契機に、UNGEGNの使命及びその政府や一般への便益を毎年思い出すために、「国際（世界）地名の日」(International, or World, Geographical Names Day)の制定を第11回会議で決議しようという提案があった。各国から多数の賛同の声が上がった。

## (5) 日本海呼称

議題18「その他の地名に関する問題」の中で、韓国から「国際海洋セミナー2013」について報告があり、日本代表団と韓国代表団による日本海呼称問題に関する意見の応酬があった。

## 2.3 北アフリカ地域部会設立の提案

アフリカ大陸に関しては、今次会合時点で4つの地域部会（アフリカ中央部会、アフリカ東部会、アフリカ南部会、アフリカ西部会）が設置されている。北アフリカ地域の国はアラブ諸国部会のメンバーとなっている。アフリカ連合、国連アフリカ経済委員会等の地域分割との調和及び言語的な整合を図るため、アフリカ北部会の設立がアフリカタスクチームから提案され、北アフリカ地域の国や他のアフリカ

地域部会から賛同の声が上がった。設置に向けて関係者間で協議を行うこととされた。

## 2.4 国連地名専門家グループの手続き規約の改定

会合事務局より、同会合の手続き規則第37条について、「国連地名専門家グループの会合やWGを非公開で開催する」から「国連地名専門家グループの会合やWGは、他の定めが無い限りは公開で行われるものとする」と改定する提案があり、了承された。

## 2.5 エクソニム WG の会合

会期中、各WGで会合が行われた。エクソニムWGでも会合が行われた。

同WGでは近年エクソニム/エンドニムの新定義の検討を長く行っているが、定義の大きな変更による標準化会議の決議や各国の取組に影響を与えることへの懸念や、本来目的であるエクソニムを減らすための実践的な検討をすべきとの意見が多く示された。そのため、2014年6月にオーストリアで開催される同WGで新定義の合意がされなければ従来の定義のままとし、今後はエクソニムの利用基準の検討などを行うこととされた。この方針は、議題14「エクソニムWGに関する活動」でもWG座長のジョルダン氏（オーストリア）から報告された。

## 3. 次回会合

第29回UNGEGN会合は、タイのバンコクで2016年4月25日～29日に開催予定である。

## 謝辞

会合の対応において、外務省国際協力局専門機関室並びに国連日本政府代表部に支援を頂きました。感謝申し上げます。

## 第28回国連専門家グループ会合の作業に関する報告（仮訳）

※以下は、国連経済社会理事会の文書番号E/2014/78の“Report of the United Nations Group of Experts on Geographical Names on the work of its twenty-eighth session”（原文英語）を仮訳したものである。

## 第28回国連専門家グループ会合の作業に関する報告 (ニューヨーク, 2014年4月28日-5月2日)

### 要約

第28回国連地名専門家グループ会合は、経済社会理事会決議2013/257に従い、2014年4月28日から5月2日まで国連本部で開催された。

本報告書は、同会合の活動について記載し、国連地名標準化会議をサポートする上での専門家グループの作業及び同グループが地理情報分野や関連する地図作成領域で加盟国に提供を続けている本質的支援の重要性に主として焦点を合わせながら、専門家グループの主な研究成果を提示する。

### I. 経済社会理事会による議決を必要とする問題又は同理事会が注目する問題

#### A. 理事会による採択を得るべき決定案

1. 国連地名専門家グループは、経済社会理事会に対し、下記の決定案の採択を提言する。

#### 決定案I

##### 第28回国連地名専門家グループ会合報告、第29回国合期日、開催地、及び暫定議題<sup>2</sup>

経済社会理事会は

- (a)第28回国連地名専門家グループ会合報告に注目する (E/2014/78) .
- (b)第29回専門家グループ会合を2016年4月25日から29日までバンコクで開催することを決定する。
- (c)事務総長に対し、第29回国合において、必要な後方支援、公用語である6言語全てへの通訳、及び会合の成功を保証するために求められるその他の必須資源を含め、必要となる援助を専門家グループに提供するよう要請する。
- (d)第29回国合暫定議題を下記に示すとおり承認する。

##### 第29回国連地名専門家グループ会合暫定議題

- 1.議題及び暫定作業プログラムの採択
- 2.議長報告
- 3.専門家グループ事務局報告
- 4.部会報告
- 5.渉外担当役員及び国際機関報告

- 6.アフリカタスクチームに関する活動
- 7.評価及び実施WG (ワーキンググループ) に関する決議履行及び活動
- 8.地名研修コースWGに関する活動
- 9.地名データファイル及び地名集WGに関する活動
- 10.地名用語WGに関する活動
- 11.ローマ字表記システムWGに関する活動
- 12.国名WGに関する活動
- 13.広報及び資金調達WGに関する活動
- 14.エクソニムWGに関する活動
- 15.発音WGに関する活動
- 16.文化遺産としての地名WGに関する活動
- 17.地図編集者及び国際的使用を目的とする他の編集者のための地名ガイドライン
- 18.その他の地名に関する問題
- 19.第11回国連地名標準化会議の準備
- 20.国連地名専門家グループ規則再検討
- 21.第30回国連地名専門家グループ会合期日、開催地、及び暫定議題
- 22.報告書採択

#### 決定案II

##### 国連地名専門家グループ手続き規則修正

経済社会理事会は、国連地名専門家グループが提案した同グループ手続き規則修正<sup>3</sup>を承認し、それにより、規則37は以下の文章と置き換えられる。

#### 「XII.公開ミーティング

##### 規則37

専門家グループのミーティング及び同WGのミーティングは、他に定めない限り公開で行われるものとする。」

### B. 理事会が注目する決定

2. 理事会は、専門家グループが採択した下記の決定に注目する。

#### 28/101

##### 議長報告

専門家グループは議長報告に注目した。

#### 28/102

##### 専門家グループ事務局報告

専門家グループは事務局報告に注目した。

<sup>2</sup> プログラム予算の推測については、第 60 段落を参照。

<sup>3</sup> 下記の第 61 段落を参照。

## 28/103

## 部会報告

専門家グループは

- (a) 専門家グループの地理／言語部会24のうち17部会が提出した報告に注目し、卓越した報告要約に対して感謝の意を表した。
- (b) 部会報告は地名標準化の分野における少なからぬ進展を反映したものであり、目覚ましい業績を報告した部会もあれば、課題を報告した部会もあり、政治・経済問題が未だに成功の妨げとなっている部会もあることを強調した。
- (c) 専門家達に対し、17の部会報告で示された経験から学ぶよう奨励した。
- (d) 部会報告は、その構造、長さ、及び内容に大きな違いがあり、ミーティング、ウェブサイト、その他の合同プロジェクト等、多様な部会活動について報告した部会もあれば、国ベースの情報に集中した部会もあることに留意した。
- (e) 報告におけるばらつきは、各部会が様々な課題や資源の制約に直面しているという事実を反映していることを認めた。
- (f) 将来の会合に向けての部会報告用テンプレートの開発及び使用について考察し、かかるテンプレートの使用は任意とすべきことを認めた。

## 28/104

## 渉外担当役員及び国際機関報告

専門家グループは

- (a) 渉外担当役員4名及び国際機関が作成した書面報告4件、及び口頭報告1件に注目した。
- (b) 渉外担当役員全てから報告を受けたわけではないことに留意した。
- (c) 専門家グループとこれらパートナーとの関係の維持が重要であることを認識した。
- (d) 国際地図年等、将来のイベントの協力及び共同参加を強く推進することに合意した。

## 28/105

## アフリカタスクチームの報告

専門家グループは

- (a) アフリカタスクチームのコーディネーターからの報告を歓迎した。
- (b) 複雑な状況下にあるアフリカでは、専門家グループの目的達成を支援しようとする一致団結した取り組みが求められていることを認識した。
- (c) アフリカタスクチームに対して地名の重要性についての意識を高めるための努力を維持す

るよう促し、アフリカ諸国に対して各国の作業プログラムをタスクチームの報告に示されているとおりに継続するよう奨励した。

## 28/106

## 評価及び実施WGに関する決議履行及び活動

専門家グループは

- (a) 本議題項目に基づき提示された報告に注目した。
- (b) 国の地名標準化プログラムに関する決議の履行を促進し、その目標に向かって専門家グループの活動効率を高めようというWGの取り組みを歓迎した。
- (c) 会合・会議評価調査の準備及び分析、作業報告書の編集及び保管、さらには国連地名標準化会議決議データベースの作成及び保守を含め、WGが重要な作業プログラムを行っていることに対して感謝の意を表した。
- (d) また、文書ガイドライン使用を通じて決議を参照するよう専門家達を促す上でのWGの関与に対して謝意を表した。
- (e) 法律制定、地名委員会、及び学術団体に関して各国が遂げた進展のみならず、制度的枠組みの実施に向けての課題にも留意した。
- (f) アフリカ北部会創設の提案を認識し、関係者に対して第29回会合での創設見込みに先立ち互いに協議するよう促した。

## 28/107

## 地名研修コースWGに関する活動

専門家グループは

- (a) 本議題項目に基づき提示された報告に注目した。
- (b) これまで行ってきた価値ある作業に対してWGに感謝した。
- (c) WGの主要な活動は、将来の地名活動に携わる優秀なスタッフの確保であることを強調した。
- (d) 事務局経済社会局統計部から受けた過去の研修コースに対する支援に感謝の意を表し、今後の研修活動についても統計部に支援を要請した。
- (e) また、中南米の地名コース組織においてパートナーの役割を果たしている汎米地理歴史研究所の地図作成WGとの協力に対しても謝意を表した。
- (f) 地形学者や地図作成者が果たす地名学的任務の特徴は、名称の収集・処理からデータベースやウェブサービスの保守管理へと進化してい

ること、そしてデータの流通を維持するためにはクラウドソーシング技術を通じての一般大衆の協力がますます必要になることに留意し、その意味で、地名に関しての活動をさらに拡大していくよう奨励した。

## 28/108

### 地名データファイル及び地名集WGに関する活動 専門家グループは

- (a)本議題項目に基づき提示された報告及び口頭発表に注目した。
- (b)報告数の多さが示す担当領域への関心の高さに対して、地名データファイル及び地名集WGに謝意を表した。
- (c)報告の大多数は国内活動を取り上げたものであること、また2件の報告では多国間活動が扱われており、そのいずれにおいても地名情報を保存、視覚化し、普及させるための機構開発の重要性が示されていることに留意した。
- (d)多様な目的のために地名情報を提供する地名データベース、サービス、及びアプリケーションの多機能使用又は多重使用を確立することに焦点を合わせるといふ活動傾向を確認した。
- (e)数件の報告では、インターネットを通じて地名データを自由に利用できるようにするという、心強い傾向が反映されていることに留意した。
- (f)フィーチャ・データへのリンクにおける地理情報システム及びウェブGISの使用について認識した。
- (g)地名データの空間データ基盤への統合を可能にしようという取り組みの高まり、そして自発的に提供された地理情報やクラウドソーシングされたデータを活用することの重要性の高まりを認めた。
- (h)前述の非常に前向きな傾向は、地名を国及び地域の空間データ基盤にさらに上手く組み込むことを提言した第8回国連地名標準化会議の決議VIII/6に完全に合致したものであること、また信頼できる標準化された地名を確立・提供することの重要性は、地球規模の地理空間情報管理に関する国連専門委員会が、地理空間情報管理の本質的部分として認識してきたことに留意した。
- (i)16件の国連決議が地名集又は自動データ処理／デジタルデータのいずれかを扱ったものであることに注目した。
- (j)WGに、同グループの行っている重要な作業、

特にウェブ・ディスカッションフォーラムの見直し作業を継続するよう促した。

- (k)各国／各部会が提供しているように、WGが実例、最良実践、及び一般共有問題を収集し、専門家グループのウェブサイトで公開することを提言した。
- (l)前述のような問題を広報及び資金調達WGに送り、専門家グループ事務局と協力して検討することに合意した。

## 28/109

### 地名用語WGに関する活動

専門家グループは

- (a)本議題項目に基づき提示された報告に注目した。
- (b)地名用語WGの活動に対して、同グループに感謝した。
- (c)WGに対し、同グループの重要な作業、特に現在開発中の用語データベースにかかわる作業を通して専門家グループのデジタル及びオンライン・プレゼンスを進める作業を継続するよう促した。
- (d)WGに対し、2015年のミーティングで開始する地名標準化用語集（Glossary of the Terms for the Standardization of Geographical Names）の改訂に着手するよう奨励した。
- (e)地名標準化用語集を紙形式からデジタル形式へ移行する作業への支援を表明した。

## 28/110

### ローマ字表記システムWGに関する活動

専門家グループは

- (a)本議題項目に基づき提示された報告に注目した。
- (b)ローマ字以外の言語を用いる国々の中で、国連が承認した地名ローマ字表記システムを採用する国々が増加していることを、満足をもって認めた。
- (c)前述の国々が承認されたシステムを実施国においても国際レベルにおいても実行するために講じている措置に対して謝意を表した。
- (d)可能であれば、いかなる提案システムにおいても可逆性を重視することを強調した。
- (e)ローマ字以外の言語を用いる国々のうち未だに国連が承認したシステムを採用していない国々に対し、次回の国連地名標準化会議で承認を受けられるように、各国のローマ字表記システムを考案、実施、及び提出するよう促し

た。

- (f)国連が承認したシステムが変更されている，又はもはや実施されていない国々に対し，新たなシステムを提出して検討の上で承認を受けよう要請した。
- (g)ローマ字表記システムのみならずWGの活動に関する情報も，定期的に更新されるWGのウェブサイトでも参照できることに留意した。
- (h)WGと，ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers) やISO技術委員会46のWG3のような，同様のテーマを扱う国際的組織との間の連絡を継続することを支持した。
- (i)WGに対し，ローマ字表記に関連する問題について国内当局と連絡をとり，世界中でのローマ字表記の状況をモニターする取り組みを継続するよう促した。

#### 28/111

##### 国名WGに関する活動

専門家委員会は

- (a)WGの報告，及び非公式の「作業中バージョン」の国名リストに注目した。
- (b)新バージョンの専門家グループ国名リストの精査及び修正への貢献に対して，WGのメンバー，国連の用語チーム，及びその他の専門家達を称えた。
- (c)WGが現在行っている国名リストの維持・改良作業に対して，同グループに感謝した。

#### 28/112

##### 広報及び資金調達WGに関する活動

専門家委員会は

- (a)本議題項目に基づき提出された報告書に注目した。
- (b)最近及び今後の活動に対して，広報及び資金調達WGに感謝した。
- (c)WGに対し，特に最新のメディア・キット，専門家グループのウェブサイト，及びウィキペディアにおけるプレゼンスを通して専門家グループのデジタル・プレゼンスを高めることについての同グループの卓越した作業，また研修参加や専門家グループ会合への出席に対する財政支援を確認しようとする同グループの取り組みの継続を奨励した。
- (d)専門家グループと地名標準化の重要性及び関連性に焦点を合わせることを目的として，2017年に国際地名デーを定めることを支持した。

- (e)同WGが本提言を推し進める責任を負うことに合意した。

#### 28/113

##### エクソニムWGに関する活動

専門家グループは

- (a)本議題項目に基づき提出された報告に注目し，エンドニム／エクソニム区分の定義，及び新たな定義の作成に関して行われた非常に綿密な取り組みを称えた。
- (b)理論的アプローチと実践重視アプローチの間の緊張が原因で，新たな定義について合意する上で遭遇する困難に留意した。
- (c)2014年6月にオーストリア，ヘルマゴールでのミーティングで新たな定義についての合意に至るべく，WGに最後の試みを行わせることに合意した。
- (d)WGが今後はエクソニム使用規準の定義に重点的に取り組むことを支持した。
- (e)エンドニム／エクソニム区分について4巻に文書化することを歓迎した。これにより，将来再検討を行うことが可能となる。
- (f)新たな地名集が今回の会合で紹介されたことに留意しながら，非常に詳細なエクソニム地名集が継続的に出版されていることを称賛した。

#### 28/114

##### 発音WGに関する活動

専門家グループは

- (a)発音のばらつきによる影響を理解することの重要性に焦点を合わせたケース・スタディを示した報告に注目した。
- (b)継続的に活動を行っていることに対して，WGに感謝した。
- (c)発音WGの作業範囲は，文化遺産としての地名WG及びローマ字表記システムWGの作業に影響を及ぼす可能性があり，それらのWGからの参加や協力を要請するかもしれないことを認識した。
- (d)WGの新たな召集者であるTjeerd Tichelaar氏を歓迎した。

#### 28/115

##### 文化遺産としての地名WGに関する活動

専門家グループは

- (a)本議題項目に基づき提示された報告及び口頭発表に注目した。

- (b)現在行われている取り組みに対して、WGに感謝した。
- (c)文化的及び歴史的に意義のあるデータを利用できることの利点に留意した。
- (d)公式な命名と非公式な命名の対立、及び標準化への課題について、さらなる検討を行うよう奨励した。
- (e)要請に応じて、通りの命名等、慎重に行うべき命名状況の取り扱いについての最良の実践と経験を提供することを申し出た。
- (f)新たな共同召集者であるAnnete Torensjö氏及びLeif Nilsson氏を歓迎した。両氏は、6名の専門家から成る運営グループの支援を受けることになっている。

28/116

#### 地図編集者及び国際的使用を目的とするその他の編集者のための地名ガイドライン

専門家グループは

- (a)本議題項目に基づき提示された報告に注目し、地名ガイドライン・インベントリが最近更新されたことを歓迎した。
- (b)残念ながら辞任せざるを得なくなった前コーディネーターに、この重要なプログラムを率いる上での尽力に対して感謝の意を表した。
- (c)未だに地名ガイドラインを作成していない加盟国が決議IV/4に従ってガイドライン作成を行うことを提言した。
- (d)地名ガイドラインを最新の状態にしておくために、加盟国が定期的にガイドラインの更新を行うことを提言した。
- (e)新たなコーディネーターであるGerhard Rampl氏を歓迎した。

28/117

#### その他の地名に関する問題

専門家グループは

- (a)本議題項目に基づき提示された報告に注目した。
- (b)国の標準化当局に対し、各々の重要な作業を継続し、特にデータ品質に関しての経験を今後の会合で共有するよう促した。
- (c)名称論及び関連研究に対する支援の減少やそれらの地位の低下がもたらす明白な課題に留意した。
- (d)地名研究の重要性を強調するために、次回会議に向けての決議準備を行うことを奨励した。

## II. 専門家が検討を行う項目

### A. 議長報告

- 3. 専門家グループは、議題項目2について2014年4月28日と5月2日に各々開かれた第1回及び第8回ミーティングで検討した。それに先立ち、文書GEGN/28/10に記載された議長報告を受領し、同報告は議長が発表を行った。

#### 専門家グループが行った議決

- 4. 専門家グループは、5月2日の第8回ミーティングで報告者達が提出した決定案を採択した（セクションI.B.決定28/101を参照）。

### B. 専門家グループ事務局報告

- 5. 専門家グループは、議題項目3について2014年4月28日と5月2日に各々開かれた第1回及び第8回ミーティングで検討した。それに先立ち、文書GEGN/28/11に記載された専門家グループ事務局報告を受領した。第1回ミーティングでは、専門家グループは事務局代表による予備的発表を聴いた。米国／カナダ部会の専門家が意見を述べた。

#### 専門家グループが行った議決

- 6. 専門家グループは、5月2日の第8回ミーティングで、報告者達が提出した決定案を採択した（セクションI.B.決定28/102を参照）。

### C. 部会報告

- 7. 議題項目4について、専門家グループは2014年4月28日と5月2日に各々開かれた第1回及び第8回ミーティングで検討した。それに先立ち、第1回ミーティングでは、発表用の作業報告書W.P.77/4、及び情報提供用の作業報告書W.P.3/4、W.P.9/4、W.P.18/4、W.P.24/4、W.P.32/4、W.P.36/4、W.P.37/4、W.P.58/4、W.P.59/4、W.P.62/4、W.P.63/4、W.P.65/4、W.P.66/4、W.P.69/4、W.P.70/4、W.P.74/4、及びW.P.75/4を受領した。
- 8. また第1回ミーティングでは、専門家グループは北欧部会の専門家がに行った概要発表を聴いた。議長と米国／カナダ部会、ローマ・ギリシャ部会、及びアラブ諸国部会の専門家がコメントや質問を行った。そして北欧部会の専門家が

項目4についての討議を要約した。

#### 専門家グループが行った議決

9. 専門家グループは、5月2日の第8回ミーティングで報告者達が提出した決定案を、口頭で修正されたとおりに採択した（セクションI.B.決定28/103を参照）。

#### D. 渉外担当役員及び国際機関報告

10. 専門家グループは、議題項目5について2014年4月28日と5月2日に各々開かれた第2回及び第8回ミーティングで検討した。それに先立ち、第2回ミーティングでは、作業報告書W.P.6/5, W.P.34/5, W.P.72/5, 及びW.P.76/5を受領した。本項目に基づく情報提供のために、専門家グループは文書GEGN/28/7を事前に受領した。
11. 専門家グループは、4月28日の第2回ミーティングで国際水路機関、国際名称科学者会議、ICANN, 及び国際地図学協会の渉外担当役員による発表を聴いた。
12. 同ミーティングで、議長と北欧部会、アラブ諸国部会、オランダ語及びドイツ語圏部会、米国／カナダ部会、及びアフリカ南部会の専門家がコメントと質問を行い、議長が討議を要約した。

#### 専門家グループが行った議決

13. 専門家グループは、5月2日の第8回ミーティングで報告者達が提出した決定案を採択した（セクションI.B.決定28/104を参照）。

#### E. アフリカタスクチームの報告

14. 専門家グループは、議題項目6について2014年4月28日と5月2日に各々開かれた第2回及び第8回ミーティングで検討した。それに先立ち第2回ミーティングで、専門家グループは作業報告書W.P.29/6を受領した。同ミーティングで、専門家グループは、アフリカタスクチームのコーディネーターによる発表を聴いた。議長、コーディネーター、そしてアフリカ中央部会、アラブ諸国部会、及びアフリカ東部会の専門家達がコメントや質問を行い、議長が項目6についての討議を要約した。

#### 専門家グループが行った議決

15. 専門家グループは、5月2日の第8回ミーティングで、報告者達が提出した決定案を口頭で修正されたとおりに採択した（セクションI.B.決定28/105を参照）。

#### F. 評価及び実施WGに関する決議履行及び活動

16. 専門家グループは、議題項目7について2014年4月28日、29日、及び5月2日に各々開かれた第2回、第3回、及び第8回ミーティングで検討した。それに先立ち、第2回ミーティングで、専門家グループは、発表用の作業報告書W.P.27/7, W.P.31/7, W.P.41/7, W.P.42/7, W.P.46/7, W.P.47/7, W.P.50/7, W.P.52/7, W.P.55/7, 及びW.P.71/7, また情報提供用に文書GEGN/28/8及びGEGN/28/9を受領した。
17. また専門家グループは、4月28日の第2回ミーティングでは評価及び実施WGの召集者による発表を聴いた。米国／カナダ部会、アジア東部会（中国を除く）、アラブ諸国部会、北欧部会、及びアフリカ西部会の専門家達も発表を行った。議長、召集者、またバルト諸国部会、米国／カナダ部会、北欧部会、アフリカ南部会、アラブ諸国部会、及びアフリカ中央部会の専門家達がコメントや質問を行い、発表者が回答した。
18. 専門家グループは、4月29日の第3回ミーティングではアラブ諸国部会、北欧部会、及びアジア東部会（中国以外）の専門家達による発表を聴いた。議長、召集者、またアラブ諸国部会、北欧部会、中国部会、及び米国／カナダ部会の専門家達がコメントと質問を行い、発表者が回答した。その後、召集者が項目7についての討議を要約した。

#### 専門家グループが行った議決

19. 専門家グループは、5月2日の第8回ミーティングで、報告者達が提出した決定案を口頭で修正されたとおりに採択した（セクションI.B.決定28/106を参照）。

#### G. 地名研修コースWGに関する活動

20. 専門家グループは、議題項目8について、2014年4月29日及び5月2日に開かれた第3回、第4回、

及び第8回ミーティングで検討した。それに先立ち、第3回ミーティングでは、作業報告書W.P.33/8, W.P.40/8, W.P.53/8, 及びW.P.67/8を受領した。

21. 同ミーティングで、専門家グループは、地名研修コースWGの召集者による発表を聴いた。召集者とアフリカ東部会、アフリカ中央部会、アフリカ南部会、アラブ諸国部会、北欧部会、米国／カナダ部会、及び東中央及び南東ヨーロッパ部会の専門家達がコメントと質問を行い、召集者が回答した。
22. 第4回ミーティングでは、アラブ諸国部会、アジア東部会（中国以外）、及び米国／カナダ部会の専門家達による発表を聴いた。議長、召集者、そして前述の部会の専門家達がコメントと質問を行い、発表者が回答した。その後、召集者が討議を要約した。

#### 専門家グループが行った議決

23. 専門家グループは、5月2日の第8回ミーティングで報告者達が提出した決定案を採択した（セクションI.B.決定28/107を参照）。

#### H. 地名データファイル及び地名集WGに関する活動

24. 専門家グループは、議題項目9について2014年4月29日、30日、及び5月2日に各々開かれた第4回、第5回、及び第8回ミーティングで検討した。それに先立ち、項目について考察するために、発表用の作業報告書W.P.1/9, W.P.5/9, W.P.7/9, W.P.12/9, W.P.15/9, W.P.16/9, W.P.19/9, W.P.20/9, W.P.21/9, W.P.22/9, W.P.45/9, W.P.48/9, W.P.49/9, W.P.54/9, W.P.56/9, 及びW.P.73/9, また情報提供用の作業報告書W.P.2/9及びW.P.79/9を受領した。
25. 第4回ミーティングでは、専門家グループは、地名データファイル及び地名集WGの召集者とアジア東部会（中国以外）、アジア南西部会（アラブ以外）、アラブ諸国部会、オランダ語及びドイツ語圏部会、及び北欧部会の専門家達による発表を聴いた。議長、召集者、そしてアラブ諸国部会、アジア南東部会、アフリカ南部会、米国／カナダ部会、北欧部会、ローマ／ギリシャ部会、及びフランス語圏部会の専門家達がコメントと質問を行い、発表者が回答

した。

26. 第5回ミーティングでは、アジア東部会（中国以外）、米国／カナダ部会、東中央及び南東ヨーロッパ部会、及び中南米部会の専門家達による発表を聴いた。召集者とアラブ諸国部会、アフリカ南部会、北欧部会、ローマ／ギリシャ部会、バルト諸国部会、及びオランダ語及びドイツ語圏部会の専門家達がコメントや質問を行い、発表者が回答した。その後、召集者が項目9についての討議を要約した。

#### 専門家グループが行った議決

27. 専門家グループは、5月2日の第8回ミーティングで報告者達が提出した決定案を採択した（セクションI.B.決定28/108を参照）。

#### I. 地名用語WGに関する活動

28. 専門家グループは、議題項目10について、2014年4月30日及び5月2日に各々開かれた第5回及び第8回ミーティングで検討した。それに先立ち、同項目について考察するために、専門家グループは、発表用の作業報告書W.P.38/10及びW.P.44/10を受領した。
29. 第5回ミーティングでは、専門家グループは、地名用語WGの召集者と東中央及び南東ヨーロッパ部会の専門家による発表を聴いた。召集者とオランダ語及びドイツ語圏部会、アラブ諸国部会、及び北欧部会の専門家達がコメントと質問を行い、発表者が回答した。

#### 専門家グループが行った議決

30. 専門家グループは、5月2日の第8回ミーティングで報告者達が提出した決定案を口頭で修正されたとおりに採択した（セクションI.B.決定28/109を参照）。

#### J. ローマ字表記システムWGに関する活動

31. 専門家グループは、議題項目11について2014年4月30日及び5月2日に開かれた第5回、第6回、及び第8回ミーティングで検討した。それに先立ち、同項目について考察するために、発表用の作業報告書W.P.8/11及びW.P.4/11を受領した。
32. 第5回ミーティングでは、専門家グループはア

ジア南西部会（アラブを除く）の専門家による発表を聴き、召集者がコメントと質問を行って発表者が回答した。

33. 第6回ミーティングでは、専門家グループはWGの召集者による発表を聴いた。召集者と中国部会の専門家がコメントと質問を行い、発表者が回答した。その後、召集者が討議を要約した。

#### 専門家グループが行った議決

34. 専門家グループは、5月2日の第8回ミーティングで報告者達が提出した決定案を口頭で修正されたとおりに採択した（セクションI.B.決定28/110を参照）。

#### K. 国名WGに関する活動

35. 専門家グループは、議題項目12について第6回及び第8回ミーティングで検討した。それに先立ち、発表用の作業報告書W.P.61/12、及び情報提供用の作業報告書W.P.60/12を受領した。
36. 第6回ミーティングでは、専門家グループは米国／カナダ部会の専門家による発表を聴き、その発表について東中央及び南東ヨーロッパ部会、及びローマ／ギリシャ部会の専門家達がコメントした。

#### 専門家グループが行った議決

37. 専門家グループは、5月2日の第8回ミーティングで、報告者達が提出した決定案を採択した（セクションI.B.決定28/111を参照）。

#### L. 広報及び資金調達WGに関する活動

38. 専門家グループは、議題項目13について第6回及び第8回ミーティングで検討した。それに先立ち、発表用の作業報告書W.P.25/13、及び関連文書W.P.35/13を受領した。
39. 同ミーティングで、専門家グループは、広報及び資金調達WGの召集者とフランス語圏部会の専門家による発表を聴いた。召集者、議長、そしてアフリカ東部会、アラブ諸国部会、アジア東部会、アフリカ南部会、北欧部会、中国部会、オランダ語及びドイツ語圏部会、及び米国／カナダ部会の専門家達がコメントと質問を

行い、発表者が回答した。その後、召集者が討議を要約した。

#### 専門家グループが行った議決

40. 報告者達が提出した決定案を5月2日の第8回ミーティングで採択した（セクションI.B.決定28/112を参照）。

#### M. エクソニムWGに関する活動

41. 専門家グループは、議題項目14について第6回、第7回及び第8回ミーティングで検討した。それに先立ち、発表用の作業報告書W.P.13/14、及び関連文書W.P.11/14、W.P.26/14、及びWP.64/14を受領した。
42. 第6回ミーティングでは、専門家グループはエクソニムWGの召集者による発表を聴いた。召集者と北欧部会及びアラブ諸国部会の専門家達がコメントや質問を行い、発表者が回答した。
43. 第7回ミーティングでは専門家グループは、北欧部会と東中央及び南東ヨーロッパ部会の代表による発表を聴いた。召集者がコメントと質問を行い、発表者が回答した。その後、召集者が討議を要約した。

#### 専門家グループが行った議決

44. 専門家グループは、5月2日の第8回ミーティングで報告者達が提出した決定案を採択した（セクションI.B.決定28/113を参照）。

#### N. 発音WGに関する活動

45. 専門家グループは、議題項目15について第7回及び第8回ミーティングで検討した。それに先立ち、発表用の作業報告書W.P.10/15を受領した。
46. 第7回ミーティングでは、専門家グループは中国部会の専門家の発表を聴いた。議長とバルト諸国部会、アフリカ南部会、アラブ諸国部会、及び北欧部会の専門家達がコメントと質問を行い、発表者が回答した。その後、議長が討議を要約した。

#### 専門家グループが行った議決

47. 5月2日の第8回ミーティングで、専門家グループ

ブは、報告者達が提出した決定案を口頭で修正されたとおりに採択した（セッションI.B.決定28/114を参照）。

#### O. 文化遺産としての地名WGに関する活動

48. 専門家グループは、議題項目16について第7回及び第8回ミーティングで検討した。それに先立ち、同項目に基づく発表用の作業報告書W.P.17/16及びW.P.68/16、また情報提供用の作業報告書W.P.57/16を受領した。
49. 第7回ミーティングでは、専門家グループは、オランダ語及びドイツ語圏部会、北欧部会、及びアジア南東部会の専門家達の発表を聴いた。米国／カナダ部会の専門家が意見を述べた。議長とローマ／ギリシャ部会、アジア東部会（中国以外）、バルト諸国部会、米国／カナダ部会、中国部会、アフリカ南部会、アジア南東部会、及びオランダ語及びドイツ語圏部会の専門家達がコメントと質問を行い、発表者が回答した。その後、議長が討議を要約した。

##### 専門家グループが行った議決

50. 専門家グループは、5月2日の第8回ミーティングで、報告者達が提出した決定案を口頭で修正されたとおりに採択した（セッションI.B.決定28/115を参照）。

#### P. 地図編集者及び国際的使用を目的とする他の編集者のための地名ガイドライン

51. 専門家グループは、議題項目17について、第7回及び第8回ミーティングで検討した。それに先立ち、発表用の作業報告書W.P.14/17、W.P.23/17、W.P.28/17、及びW.P.78/17を受領した。
52. 第7回ミーティングでは、専門家グループは、オランダ語及びドイツ語圏部会、北欧部会、及びアフリカ東部会の専門家による発表を聴いた。同ミーティングでは、議長と米国／カナダ部会、及びオランダ語及びドイツ語圏部会の専門家がコメントや質問を行い、発表者が回答した。オランダ語及びドイツ語圏部会の専門家が、地名ガイドラインWGの次期召集者となることが発表された。その後、議長が討議を

要約した。

##### 専門家グループが行った議決

53. 専門家グループは、5月2日の第8回ミーティングで報告者達が提出した決定案を採択した（セッションI.B.決定28/116を参照）。

#### Q. その他の地名に関する問題

54. 専門家グループは、議題項目18について第7回及び第8回ミーティングで検討した。それに先立ち、発表用の作業報告書W.P.39/18、W.P.43/18、及びW.P.51/18を受領した。
55. 第7回ミーティングでは、専門家グループは、ポルトガル語圏部会、北欧部会、及びアジア東部会（中国を除く）の専門家達による発表を聴いた。議長と英国部会、アジア南東部会、北欧部会、アジア東部会（中国を除く）、及びアラブ諸国部会の専門家達、そしてグーグル株式会社の代表がコメントや質問を行い、発表者が回答した。その後、議長が討議を要約した。

##### 専門家グループが行った議決

56. 専門家グループは、5月2日の第8回ミーティングで報告者達が提出した決定案を採択した（セッションI.B.決定28/117を参照）。

#### R. 第11回国連地名標準化会議の準備

57. 専門家グループは、議題項目19について、第8回ミーティングで検討した。それに先立ち、情報提供のために、第10回会議で採択済みの文書GEGN/28/3に記載された第11回国連地名標準化会議暫定議題を受領した。議長は専門家グループの注意を文書に向けさせた。

#### S. 特別発表

58. 会合期間中に、専門家グループは下記の特別発表を聴いた。
- (a) 「位置の力：地理情報システムの傾向」—第3回ミーティングでESRI（Environmental Systems Research Institute）の代表が発表した。議長とアラブ諸国部会、アフリカ南部会、北欧部会、及びアフリカ中央部会の専門家達がコメントと質問を行い、発表者が回答した。

- (b) 「ノルウェーにおける地名収集・保存システムの更新」—第4回ミーティングで北欧部会の専門家が発表した。議長とアフリカ東部会、アフリカ南部会、北欧部会、アラブ諸国部会、ローマ／ギリシャ部会、及び米国／カナダ部会の専門家がコメントと質問を行い、発表者が回答した。
- (c) 「国連業務の活動のための地理空間情報」—第5回ミーティングで事務局フィールド支援局地函課の代表が発表した。議長とアラブ諸国部会、アフリカ南部会、アフリカ中央部会、フランス語圏部会、ローマ／ギリシャ部会、北欧部会、及び英国部会の専門家がコメントと質問を行い、発表者が回答した。
- (d) 「国連地球規模の地理空間情報管理の範囲内の地名の関連性と位置付け」—第6回ミーティングで経済社会局統計部の代表が発表した。議長と米国／カナダ部会、オランダ語及びドイツ語圏部会、北欧部会、アラブ諸国部会、アフリカ中央部会、及び東中央及び南東ヨーロッパ部会の専門家がコメントと質問を行い、発表者が回答した。
- (e) 「地理空間情報と統計情報の統合」—第7回ミーティングで経済社会局統計部の代表が発表した。議長とアラブ諸国部会、オランダ語及びドイツ語圏部会、アジア東部会（中国以外）、アジア南東部会、アフリカ南部会、及び国際地図学協会の専門家がコメントと質問を行い、発表者が回答した。
- (f) 「国連における専門用語」—第8回ミーティングで、総会・会議管理局の用語・参考資料課（Terminology and Reference Section）の代表が発表した。議長とオランダ語及びドイツ語圏部会、中国部会、米国／カナダ部会、及びアラブ諸国部会の専門家がコメントと質問を行い、発表者が回答した。

### III. 第29回会合暫定議題、開催地、及び期日

59. 専門家グループは、議題項目20について第8回ミーティングで検討した。それに先立ち、「第28回国連地名専門家グループ会合報告、及び第29回会合期日、開催地、及び暫定議題」（GEGN/28/L.1）、及び「地名専門家グループ手続き規則修正」（GEGN/28/L.2）という表題の決定案を受領した。
60. 同ミーティングでローマ／ギリシャ部会の専

門家がコメントや質問を行い、経済社会局統計部の部長代理（Acting Director）が意見を述べた。所轄秘書官（Secretary）が、決定案 GEGN/28/L.1 のプログラム予算推測に関して、事務総長代理として声明を読み上げた。

### 専門家グループが行った議決

61. 専門家グループは、2014年5月2日の第8回ミーティングで決定案 GEGN/28/L.1 及び GEGN/28/L.2 を採択した（セクション I.A. を参照）。

### IV. 報告書採択

62. 専門家グループは、議題項目21について第8回ミーティングで検討した。それに先立ち、第28回会合報告案（GEGN/28/L.3）を、同会合結論案、提言案、及び決定案を記載した非公式書類と共に受領した。そのいずれも、報告者達が作成したものである。
63. 同ミーティングで、議長、報告者、そして米国／カナダ部会、アジア東部会（中国以外）、アジア南東部会、東中央及び南東ヨーロッパ部会、バルト諸国部会、英国部会、ローマ／ギリシャ部会、オランダ語及びドイツ語圏部会、及びアフリカ東部会の専門家が、報告案と非公式書類に対してどのような修正を加えるべきかに関して意見を述べた。

### 専門家グループが行った議決

64. 専門家グループは、5月2日の第8回ミーティングで、第28回会合報告案を口頭で修正されたとおりに、非公式文書に記載された結論案、提言案、及び決定案と併せて採択し、ミーティング議事録を反映させて報告の最終仕上げを報告者達に委任した。

### V. 会合組織

#### A. 会合開会及び期間

65. 経済社会理事会決議2013/257に従い、国連地名専門家グループは、同グループ第28回会合を2014年4月28日から5月2日まで国連本部において開催した。専門家グループは8回のミーティングを開き、それらのミーティングでは、Bill Watt（オーストラリア）議長が欠席してい

たため、Ferjan Ormeling (オランダ) 副議長と Naima Fria (チュニジア) 副議長が議長を務めた。

## B. 出席者

66. 会合には、専門家グループの地理/言語部会を代表して、174名の参加者が出席した(本報告付属文書を参照)。参加者リストは文書 GEGN/28/4に記載されている。

## C. 会合役員

67. 会合役員は下記のとおりであった。

議長：

Bill Watt (オーストラリア)

副議長：

Ferjan Ormeling (オランダ)

Naima Fria (チュニジア)

報告者：

Peder Gammeltof (デンマーク)

Trent Palmer (米国)

各部会議長の氏名については、

<http://unstats.un.org/unsd/geoinfo/ungegn/divisions.html>を参照。WG役員は下記のとおりであった。

アフリカタスクチーム

召集者：

Brahim Atoui

地名研修コースWG

召集者：

Ferjan Ormeling

地名データファイル及び地名集WG

召集者：

Pier-Giorgio Zaccheddu

地名用語WG

召集者：

Staffan Nyström

ローマ字表記システムWG

召集者：

Peeter Päll

国名WG

召集者：

Leo Dillon

広報及び資金調達WG

召集者：

Peder Gammeltof

評価及び実施WG

召集者：

Sunjae Choo

エクソニムWG

召集者：

Peter Jordan

発音WG

召集者：

Gehard Rampl<sup>4</sup>

文化遺産としての地名WG

召集者：

Annette Torensjö

Leif Nilsson

## D. オープニングスピーチ

68. Bill Watt (オーストラリア) 議長の代理として、Ferjan Ormeling (オランダ) 副議長が、第28回専門家グループ会合を、2014年4月28日の第1回ミーティングにおいて開会した。

69. オープニングスピーチの中で、議長は、専門家グループの作業強化を図るために最新の技術を最大限に活用することを含め、今後果たすべき主要な課題を要約した。

70. 経済社会局統計部のStefan Schweinfest部長代理が、専門家グループの最近の業績と主要部分を要約するオープニングスピーチを行った。

## E. 議題採択

71. また、第1回ミーティングで、専門家グループは、暫定議題(GEGN/28/1)を口頭で修正されたとおり、下記のように採択した。

1. 議題及び暫定作業プログラムの採択
2. 議長報告
3. 専門家グループ事務局報告
4. 部会報告
5. 渉外担当役員及び国際機関報告
6. アフリカタスクチームに関する活動
7. 評価及び実施WGに関する決議履行及び活動
8. 地名研修コースWGに関する活動
9. 地名データファイル及び地名集WGに関する活動

<sup>4</sup> 2014年5月1日の第7回会合で選出。

- 10.地名用語WGに関する活動
- 11.ローマ字表記システムWGに関する活動
- 12.国名WGに関する活動
- 13.広報及び資金調達WGに関する活動
- 14.エクソニムWGに関する活動
- 15.発音WGに関する活動
- 16.文化遺産としての地名WGに関する活動
- 17.地図編集者及び国際的使用を目的とする  
他の編集者のための地名ガイドライン
- 18.その他の地名に関する問題
- 19.第11回国連地名標準化会議の準備
- 20.第29回国連地名専門家グループ会合期  
日、開催地、及び暫定議題
- 21.報告書採択

72. また、第1回ミーティングで、専門家グループは、同グループ作業組織を採択した (GEGN/28/12) .

#### F. 文書

73. 第28回会合で専門家グループに提出された文書は、統計部のウェブサイト <http://unstats.un.org/unsd/geoinfo/ungegnSession28.html> , 及び Paper Smart Portal の <http://papersmart.unmeeting.org/en/ecosoc/ungegn/twenty-eighth-session/agenda/> で参照することができる。

#### 付属文書

- 参加部会リスト
- アフリカ中央部会
  - アフリカ東部会
  - アフリカ南部会
  - アフリカ西部会
  - アラブ諸国部会
  - アジア東部会 (中国を除く)
  - アジア南東部会
  - アジア南西部会 (アラブを除く)
  - バルト諸国部会
  - ケルト部会
  - 中国部会
  - オランダ語及びドイツ語圏部会
  - 東中央及び南東ヨーロッパ部会
  - 東ヨーロッパ、北及び中央アジア部会
  - 東地中海部会 (アラブを除く)
  - フランス語圏部会
  - 中南米部会
  - 北欧部会
  - 太平洋南西部会
  - ポルトガル語圏部会
  - ローマ/ギリシャ部会
  - 英国部会
  - 米国/カナダ部会

(公開日：平成27年12月28日)

#### 参考文献

- 南秀和, 稲葉和雄 (2008) : 第9回国連地名標準化会議報告, 国土地理院時報, 115, 27-38.  
 金子純一 (2012) : 第26回国連地名専門家グループ会合報告, 国土地理院時報, 123, 49-59.  
 金子純一, 笹川啓 (2013) 第10回国連地名標準化会議報告, 国土地理院時報, 123, 129-141.  
 United Nations (2014): E/2014/78 Report of the United Nations Group of Experts on Geographical Names on the work of its twenty-eighth session  
 国連地名専門家グループのホームページ : <http://unstats.un.org/unsd/geoinfo/UNGEGN/>

## 2015年のできごと

**1月8日 地理院地図をリニューアル**

地理院地図をモバイル端末でも利用可能にし、より高速に地図や重ね合わせ情報を表示できるように改良した。

**1月8日 GSILIB を公開**

マルチ GNSS のデータを統合的に利用して、短時間に高精度の位置情報を取得し、測量等に適用することが可能なソフトウェア (GSILIB) を公開した。

**1月10日 企画展「第18回全国児童生徒地図優秀作品展」を開催**

地図と測量の科学館ほか2会場において、企画展「第18回全国児童生徒地図優秀作品展」を開催した。本企画展は、全国各地で開催されている児童生徒の地図に関する作品展から選ばれた優秀作品を展示するもので、152作品を展示した。また、国土交通大臣賞、文部科学大臣賞の表彰式が1月16日に国土交通本省で行われた。

**1月14日 平成27年度予算の政府案が決定**

平成27年度予算の政府案が閣議で決定され、国土地理院の予算案は、総額約97.5億円となった。

**1月14日 第272回地震調査委員会に出席**

文部科学省において第272回地震調査委員会が開催され、今給黎地理地殻活動研究センター長が出席した。本会議では、「2014年12月の地震活動」について、関係行政機関及び大学等による調査観測結果やこれまでの研究成果の整理・分析が行われ、地震活動の現状について総合的な評価が行われた。

**1月29日 第12回北海道測量技術講演会を開催**

北海道地方測量部は、1月29日に札幌第1合同庁舎講堂(札幌市)において、測量の日記念行事として、第12回北海道技術講演会を開催した。

**2月3日 宇宙インフラを活用した防災パッケージに関するワークショップに参加**

タイ王国のバンコクで行われた宇宙インフラを活用した防災パッケージに関するワークショップに今給黎地理地殻活動研究センター長が参加し

た。日本における宇宙インフラの活用例として、電子基準点網 (GEONET) の紹介を行った。

**2月10日 第273回地震調査委員会に出席**

文部科学省において第273回地震調査委員会が開催され、今給黎地理地殻活動研究センター長が出席した。本会議では、「2015年1月の地震活動」について、関係行政機関及び大学等による調査観測結果やこれまでの研究成果の整理・分析が行われ、地震活動の現状について総合的な評価が行われた。

**2月16日 第206回地震予知連絡会を開催**

関東地方測量部において、第206回地震予知連絡会を開催した。本会議では、全国の地殻変動や豊後水道スロースリップなどに関する報告が行われた。

**2月17日 平成27年(2015年)2月17日08時06分頃に三陸沖で発生した地震に伴う地殻変動を検出**

2月17日08時06分頃に三陸沖で発生した地震 (M6.9, 深さ約13km, 最大震度4) に伴う地殻変動を、電子基準点で検出した。

**2月17日 宇宙インフラを活用した防災パッケージに関するワークショップに参加**

フィリピン共和国のマニラで行われた宇宙インフラを活用した防災パッケージに関するワークショップに宮原物理測地課長が参加した。日本における宇宙インフラを活用した地理空間情報インフラの成功事例として、電子基準点網 (GEONET) の紹介を行った。

**2月24日 第131回火山噴火予知連絡会に出席**

気象庁において、第131回火山噴火予知連絡会が開催され、飛田地理地殻活動総括研究官が出席した。参加した各機関から全国の火山活動に関する最新の観測結果の報告、総合的な検討が行われ、特に御嶽山、口永良部島、桜島、阿蘇山等の火山活動について重点的に検討が行われた。国土地理院からは、地殻変動観測結果や空中写真判読結果等を報告した。

**2月25日 「場所情報コードの位置情報へ**

### の応用に関する共同研究」最終成果報告会を開催

場所情報コードの位置情報サービスへの応用についての検証に関する共同研究の最終成果報告会を開催した。

### 2月26日 国際連合で地球上の位置の基準を世界各国で連携して維持することを決議(測量分野では初めての国連決議)

国連総会は、人々の生活や経済活動において正確な緯度・経度を測ることの重要性を認めて、地球上の位置の基準を世界各国で連携して維持することを決議した。測量分野では初めての国連決議となった。

### 2月26日 国土地理院研究評価委員会を開催

関東地方測量部において、平成26年度第2回国土地理院研究評価委員会(委員長:大森博雄東京大学名誉教授)を開催した。委員会では、特別研究2課題の終了時評価が行われた。

### 3月4日 地球地図によるアフガニスタン北東部の地図の公開

複数の雪崩で大きな被害が発生したアフガニスタン・イスラム共和国北東部の地球地図を公開した。

### 3月6日 「平成26年全国都道府県市区町村別面積調」を公表

平成26年10月1日現在の日本国土の面積をとりまとめた「平成26年全国都道府県市区町村別面積調」を公表した。平成25年までの全国都道府県市区町村別の面積については、主に2万5千分1地形図に基づく面積を公表していたが、計測の基礎となる地図を電子国土基本図に切り替えたことで面積の精度が向上した。この計測方法の変更と計測の基礎となる地図の切り替えによって、平成26年の国土面積は、平成25年の377,961.73km<sup>2</sup>から377,972.28km<sup>2</sup>に変わり、多くの市区町村や都道府県においても面積が変わった。

### 3月10日 第274回地震調査委員会に出席

文部科学省において第274回地震調査委員会が開催され、今給黎地理地殻活動研究センター長が出席した。本会議では、「2015年2月の地震活動」について、関係行政機関及び大学等による調査観測結果やこれまでの研究成果の整理・分析が行われ、地震活動の現状について総合的な評価が行わ

れた。

### 3月10日 企画展「戦災からの復興～地図や写真でたどる復興の道のりと国土の変貌～」を開催

地図と測量の科学館において、企画展「戦災からの復興～地図や写真でたどる復興の道のりと国土の変貌～」を開催した。本企画展では、太平洋戦争終戦から70年を迎える節目の年として、戦災により焦土と化した東京をはじめ、広島、長崎、名古屋など全国各都市の戦後復興の歩みや発展の様子などを地図と写真で紹介した。

### 3月11日 日本・ベトナム間で測量分野の技術協力の覚書を締結

国土地理院とベトナム社会主義共和国測量・地図作成局との間で、測量・地図分野における能力強化等を目的とした技術協力の覚書を取り交わした。測量・地図分野において、我が国とASEAN地域の個別の国との間で締結する初めての覚書となる。

### 3月12日 CORSシステムと空間情報基盤に関するセミナーに参加

ベトナム社会主義共和国のハノイで行われたCORSシステムと空間情報基盤に関するセミナーに村上参事官他2名が参加した。日本における地理空間情報活用推進基本法、日本の測地系とGEONETに関する報告がなされた。

### 3月14日 国連防災世界会議に参加～3月18日

仙台国際センター(宮城県仙台市)で行われた国連防災会議本会に、小池院長他5名が参加した。また、仙台市内で関連行事として行われた、パブリックフォーラムにおける国土交通省企画展示内で、防災や復旧・復興に地理空間情報が果たす役割等の説明を行ったほか、プレイベントで都市防災における地理空間情報技術の活用について話し合われた。

### 3月14日 国連防災世界会議においてハザードマップをはじめとするリスク情報の整備、更新、活用の重要性を確認

国連防災世界会議で採択された「仙台防災枠組2015-2030」において、地理空間情報技術を活用してハザードマップなどのリスク情報を整備、更新、提供することが重要であることが記載された。加えて、国土地理院及び地球地図国際運営委員会

(ISCGM)は、世界主要都市のハザードマップの整備状況を把握するためのポータルサイトをISCGMが構築することを同会議のワーキングセッション「リスク削減のための地球観測とハイテクノロジー」において提案を行い、多くの参加者からの賛同を得た。

### 3月17日 西之島周辺の空中写真及び写真判読の結果を公開

3月1日にUAVにより西之島周辺の空中写真撮影を実施し、空中写真と地形判読図、立体図をホームページで公開した。

### 3月24日 第16回測量行政懇談会を開催

関東地方測量部において、第16回測量行政懇談会(委員長:清水英範 東京大学大学院教授)を開催した。本懇談会では、「国土地理院の最近の取り組みについて」、「測量技術者育成検討部会からの報告(中間取りまとめ)」等の報告及び議論が行われた。

### 3月25日 地理院地図に空中写真を追加

地理院地図に、すでに公開中の1970年代以降の写真に加えて、1945年~50年及び1961年~64年に撮影された写真を追加した(全国の主要都市のみ)。これにより、戦後の国土の変遷を空中写真でたどることができる。

### 3月28日 全国「山の日」フォーラムに参加 ~3月29日

東京国際フォーラム(東京都千代田区)において開催された『全国「山の日」フォーラム』に国土地理院の展示ブースを出展した。業務を紹介するパネルとともに、三等三角点標石(上部のみ)や山の3D模型などを展示した。

### 3月31日 地図と測量の科学館で「場所情報コード」を活用した案内サービスを開始

地図と測量の科学館で「場所情報コード」を活用した、展示品や展示エリアの案内サービスを3月31日から開始した。BLEやGPS測位を利用してスマートフォン等で音声で案内するもので、「場所情報コード」を活用した案内サービスは、全国で初の取り組みとなる。

### 4月9日 第275回地震調査委員会に出席

文部科学省において第275回地震調査委員会が開催され、飛田地理地殻活動研究センター長が出席した。本会議では、「2015年3月の地震活動」

について、関係行政機関及び大学等による調査観測結果やこれまでの研究成果の整理・分析が行われ、地震活動の現状について総合的な評価が行われた。

### 4月9日 地球地図によるチリ北部の地図の公開

洪水で大きな被害が発生したチリ北部の地球地図を公開した。

### 4月10日 アクションプラン2015を策定

基本測量に関する長期計画の短期の実施計画として概ね2016年度末に目指す姿や3年間の事業・施策をまとめた「アクションプラン2014」に、平成27年度の施策内容を反映した「アクションプラン2015」を策定した。

### 4月13日 全ての地方測量部・沖縄支所において全国の測量成果等の閲覧・謄抄本交付開始

全ての地方測量部・沖縄支所において全国の測量成果等の閲覧・謄抄本交付を開始した。これまで、各地方測量部(関東地方測量部を除く)では、管内の測量成果等のみを対象としていた。

### 4月27日 地球地図によるネパール連邦民主共和国中部の地図の公開

地震で大きな被害が発生したネパール連邦民主共和国中部の地球地図を公開した。

### 4月30日 平成27年(2015年)4月25日にネパール連邦民主共和国で発生した地震に伴う地殻変動を検出

ネパール連邦民主共和国で発生した地震(Mw7.8(USGS))に伴う地殻変動を、陸域観測技術衛星「だいち2号」(ALOS-2)に搭載された合成開口レーダー(PALSAR-2)のデータを利用したSAR干渉解析により検出した。

### 5月1日 「GNSS測量による標高の測量マニュアル」を一部改正

衛星測位を活用した測量業務の効率化を図ることを目的としたスマート・サーベイ・プロジェクト(SSP)の一環として策定された「GNSS測量による標高の測量マニュアル」について、更なる効率化を図るため、観測時間を短縮する等の一部改正を行った。

### 5月8日 大涌谷にGNSS火山変動リモー

**ト観測装置 (REGMOS) を設置**

地殻変動の様相を明らかにし、火山活動の推移の監視を行うため、GNSS 受信機・太陽電池・地上携帯回線による通信機能を持ち、観測データを自動的に国土地理院 (茨城県つくば市) に送信する自律型の観測装置である REGMOS を、箱根山大涌谷 (神奈川県箱根町) に設置した。

**5月8日 箱根山の火山活動に伴う地殻変動の検出について**

箱根山周辺の火山活動の活発化に伴い、SAR 干渉解析及び GNSS 連続観測による地殻変動についての情報を公開した。

**5月13日 平成27年(2015年)5月13日 06時12分に宮城県沖で発生した地震に伴う地殻変動を検出**

5月13日06時12分に宮城県沖で発生した地震 (M6.8, 深さ46km, 最大震度5強) に伴う地殻変動を、電子基準点で検出した。

**5月13日 箱根山周辺の火山活動の活発化に伴う地殻変動情報を公開**

箱根山周辺の火山活動の活発化に伴い、GNSS 連続観測による地殻変動についての情報を公開した。

**5月14日 国連地名専門家グループ第17回  
～5月16日 エクソニムWG会合に参加**

クロアチア共和国のザグレブ市で行われた国連地名専門家グループ第17回エクソニムWG会合に中村国土基盤情報調整官が参加した。会合では、主にエクソニムの使用基準の議論が行われた。

**5月17日 国際測量者連盟ワーキングウィーク2015会合に参加**

ブルガリア国のソフィアで行われた国際測量者連盟ワーキングウィーク2015会合に宮原物理測地課長が参加した。会合では、国土地理院が準会員に承認され、宮原物理測地課長が電子基準点網 (GEONET) を活用した測地基準系の維持管理を紹介した。

**5月18日 「日々の座標値 (R3)」(速報解)の提供を開始**

観測した日の2日後に計算できる速報解 (Rapid Solution) の提供を開始した。観測した週の約2週間後に提供している「日々の座標値 (F3)」(最終解: Final Solution) よりも早く利用できる。

**5月18日 第22回欧州VLBI事業会議等に参加  
～5月22日**

ポルトガル共和国のサンミゲル島ポント・デルガダで開催された、第22回欧州VLBI事業会議、アジア・オセアニアVLBIグループ会議、VGOS技術委員会会議及び第33回IVS評議会に、福崎専門調査官他1名が参加した。観測施設の運用状況の報告や、VGOS実現に向けた議論を行った。

**5月20日 日本水準原点を一般公開**

関東地方測量部は、「測量の日」の記念行事として、(公社)日本測量協会の協力を得て、我が国の土地の高さの基準となっている日本水準原点を一般公開した。併せて、パネルの展示やミニ講座を開催して、原点や水準測量等の紹介を行った。

**5月20日 「測量の日」記念講演会を開催**

「測量の日」四国地区推進協議会は、JRホテルクレメント高松 (香川県高松市) において、「古今東西うどん物語」との演題で、「測量の日」記念講演会を実施した。

**5月22日 第207回地震予知連絡会を開催**

関東地方測量部において、第207回地震予知連絡会を開催した。本会議では、全国の地殻変動や2015年4月25日ネパール連邦民主共和国の地震に関する合成開口レーダー (SAR) 解析結果などに関する報告が行われた。

**5月29日 マルチGNSS測量マニュアル(案)を策定**

欧州連合のGalileoや新たな周波数帯 (L5帯) を含むマルチGNSSの信号を単独若しくは複数の組み合わせで行う測量の作業マニュアルを5月22日に制定し、5月29日に施行・公表した。

**5月29日 口永良部島噴火に関する地理空間情報を提供**

口永良部島噴火に伴って、SAR干渉解析、空中写真の撮影、写真判読を行い、それらの成果及びGNSS連続観測結果をウェブページに公開した。また、屋久島町へ各種地理空間情報の提供を行った。

**5月30日 火山噴火予知連絡会拡大幹事会に出席**

気象庁において、火山噴火予知連絡会拡大幹事会が開催され、中島地理地殻活動総括研究官が出席した。口永良部島の火山活動についての議論がなされた。国土地理院からは、地殻変動観測結果やSAR干渉解析結果等を報告した。

**6月1日 「測量の日」パネル展を開催**

～6月5日

沖縄支所は、沖縄県庁県民ホール（沖縄県那覇市）において、「測量の日」パネル展として、全国47都道府県の形を3次元で表現できる立体模型パズルの展示、最新の測量技術などのパネル展示などを行った。

**6月3日 「測量の日」記念フェア2015を開催**

近畿地方測量部は、大阪合同庁舎第4号館（大阪府大阪市）において、「測量の日」記念フェア2015として、第19回近畿地方測量技術発表会、パネル展、測量機器・システム展を開催し、石川防災情報管理官が発表を行った。

**6月3日 第23回山形県高等学校サーベイコンテストを開催**

東北地方測量部、山形県、山形県内の測量関連団体職員を委員とした山形県高等学校サーベイコンテスト委員会は、6月3日に山形県総合運動公園（山形県天童市）において、測量の日記念行事として、第23回山形県サーベイコンテストを開催した。

**6月3日 「くらしと測量・地図」展を開催  
～6月5日**

関東地方測量部は、新宿駅西口広場イベントコーナー（東京都新宿区）において、「くらしと測量・地図」展を開催した。「測量と地図を楽しく学ぼう！」をテーマに、関連する地図・空中写真・関連資料の展示・説明を行った。

**6月4日 第44回国土地理院報告会を開催**

日経ホール（東京都千代田区）において第44回国土地理院報告会を開催した。国土地理院からの報告のほか、日本創成会議座長・東京大学公共政策大学院客員教授の増田寛也氏から特別講演をいただいた。本報告会には523名の参加があった。

**6月6日 第27回「測量の日」地図と測量  
～6月7日 のミニフェスタ開催**

東北地方測量部は、スリーエム仙台市科学館（宮城県仙台市）において、測量の意義と重要性についての理解と関心の一層の向上を目的に、第27回「測量の日」地図と測量のミニフェスタを開催した。

**6月7日 「測量の日」特別企画 ～遊んで  
学んで地図と測量の世界2015～  
を開催**

地図と測量の科学館において、「測量の日」特別企画を開催し、国土地理院が提供している様々な地理空間情報をわかりやすく紹介するとともに、子どもから大人まで楽しみながら地図と測量に関する体験ができる企画を行い、2,300名を超える参加者があった。

**6月8日 ISO/TC211 第40回総会に参加  
～6月12日**

英国のサウサンプトンで行われたISO/TC211第40回総会に藤村情報普及課長が参加した。古い既存規格を見直すなどの決議が行われた。

**6月9日 第277回地震調査委員会に出席**

文部科学省において第277回地震調査委員会が開催され、飛田地理地殻活動研究センター長が出席した。本会議では、「2015年5月の地震活動」について、関係行政機関及び大学等による調査観測結果やこれまでの研究成果の整理・分析が行われ、地震活動の現状について総合的な評価が行われた。

**6月9日 「国家空間データ基盤（NSDI）  
とその活用」に関するワーク  
ショップに参加**

モンゴル国のテレレジで行われた「国家空間データ基盤（NSDI）とその活用」に関するワークショップに村上企画部長他1名が参加した。村上企画部長がNSDIの整備と活用に関する基調講演を行った。

**6月9日 平成27年度「測量の日」中部地  
区記念行事 測量技術講演会を  
開催**

中部地方測量部は、6月9日にウインクあいち（愛知県名古屋市中区）において、「防災と地理空間情報 ー歴史に学び新技術で備えるー」をテーマとして、「測量の日」中部地区記念行事 記念講演会を実施した。

**6月10日 国連地球規模の地理空間情報管  
理に関するアジア太平洋地域委  
員会理事会に参加**

モンゴル国のテレレジで行われた国連地球規模の地理空間情報管理に関するアジア太平洋地域委員会理事会に村上企画部長他1名が参加した。地球規模の測地基準座標系（GGRF）と能力開発を活動の優先事項とすることが承認されたほか、第2分科会で永山研究企画官を次期分科会長とすることが承認された。

### 6月12日 口永良部島に GNSS 火山変動リモート観測装置 (REGMOS) を設置

地殻変動の様相を明らかにし、火山活動の推移の監視を行うため、GNSS 受信機・太陽電池・衛星電話回線による通信機能をもち、観測データを自動的に国土地理院(茨城県つくば市)に送信する自律型の観測装置である REGMOS を、口永良部島本村(鹿児島県屋久島町)に設置した。

### 6月15日 測量や災害対策への活用を目指した小型飛行体 UAV の飛行試験を実施

国土地理院と民間各社が UAV を持ち寄り、UAV の性能や運用方法を比較し、適した活用分野を見極め、併せて課題を探るための飛行試験が、一般社団法人東京都測量設計業協会 50 周年記念研修会の一環として行われた。マニュアル飛行による撮影や、プログラミング飛行による撮影など、UAV の性能や特性に合わせた飛行が行われた。

### 6月15日 第 132 回火山噴火予知連絡会に出席

気象庁において、第 132 回火山噴火予知連絡会が開催され、中島地理地殻活動総括研究官が出席した。参加した各機関から全国の火山活動に関する最新の観測結果の報告、総合的な検討が行われ、特に口永良部島、箱根山、御嶽山、桜島等の火山活動について重点的に検討が行われた。国土地理院からは、地殻変動観測結果や SAR 干渉解析結果等を報告した。

### 6月18日 第 20 回中国地区測量技術講演会

中国地方測量部長を委員長とする「測量の日」中国地区連絡協議会は、第 20 回中国地区測量技術講演会を開催した。今回は「土砂災害対応と防災・減災に向けた新たな対応策」をテーマとして、海堀正博広島大学大学院教授による特別講演等が行われた。

### 6月22日 国土地理院研究評価委員会を開催

関東地方測量部において、平成 27 年度第 1 回国土地理院研究評価委員会(委員長:大森博雄東京大学名誉教授)を開催した。委員会では、平成 28 年度からの実施を計画している特別研究について事前評価が行われた。

### 6月22日 「測量の日」記念講演会を開催

九州地方測量部は、(一社)福岡県測量設計コンサルタント協会との共催で、福岡県中小企業振興センター(福岡県福岡市)において、「測量の日」記念講演会を開催した。約 130 名の地方公共団体、測量業等関係者が参加した。講演会では、「防災と地理空間情報」などの講演が行われた。

### 6月22日 「測量の日」関連行事としてパネル展を開催

北陸地方測量部は、「測量の日」関連行事として、6月22日から6月26日に高岡市役所庁舎 1 階市民ロビー(富山県高岡市)においてパネル展を行った。

### 6月22日 国際測地学及び地球物理学連合 (IUGG) 第 26 回総会に参加

チェコ共和国のプラハで行われた国際測地学及び地球物理学連合(IUGG)第 26 回総会に川元主任研究官他 1 名が参加した。日本の連続 GNSS 観測網を用いた津波警報支援のためのリアルタイム解析システム REGARD について、概要などの紹介をした。

### 6月30日 一等三角点を離島(銭洲)に設置

伊豆諸島西部の銭洲(伊豆半島の石廊崎から南に約 70km)に一等三角点(点名:銭洲)を設置した。平成 19 年に施行された海洋基本法に基づき、排他的経済水域の確定等の国土の適切な保全・管理に資するため、離島の位置情報整備を行っている。

### 7月1日 「電子国土賞 2015」を募集

電子国土基本図等の国土地理院のデータを活用する GIS ソフトウェアや GIS コンテンツの中から独創性・有用性・発展性・操作性等に優れたものを表彰する『電子国土賞 2015』の募集を行った。

### 7月7日 平成 27 年度国土地理院入札監視委員会総会及び第 1 回定例会議を開催

関東地方測量部において、平成 27 年度国土地理院入札監視委員会総会及び第 1 回定例会議を開催した。総会では、委員会の運営に関する説明及び委員長・委員長代理の選出等が行われ、委員長に浅見泰司委員、委員長代理に川合竜太委員が選出された。定例会議では、国土地理院が発注した平成 26 年 10 月 1 日から平成 27 年 3 月 31 日までの測量業務、役務の提供等及び物品の製造等の中から委員会が出した事案についての審議が行われた。

**7月9日 第278回地震調査委員会に出席**

文部科学省において第278回地震調査委員会が開催され、飛田地理地殻活動研究センター長が出席した。本会議では、「2015年6月の地震活動」について、関係行政機関及び大学等による調査観測結果やこれまでの研究成果の整理・分析が行われ、地震活動の現状について総合的な評価が行われた。

**7月14日 「測量の日」記念講演会を開催**

「測量の日」四国地区推進協議会は、サン・イェルブ高松（香川県高松市）において、『「スマート・サーベイ・プロジェクト(SSP)」～衛星測位を活用した測量業務の効率化～』との演題で、「測量の日」記念講演会を実施した。

**7月16日 平成27年測量事業関係功労者及び優良業務並びに優良技術者表彰式を開催**

測量事業の推進に功績のあった測量事業関係功労者及び平成26年度に完了した国土地理院発注の測量業務実施者のうち、特に優れた成績を収めた優良業務並びに優良技術者に対し、表彰式を行った。測量事業関係功労者3名、優良業務4件、優良技術者2名の院長表彰、優良業務1件の地方測量部長表彰を行った。

**7月18日 サイエンスフェスタ in 秋葉原  
～7月20日 に参加**

TX秋葉原駅構内の「TX広場」において「サイエンスフェスタ in 秋葉原」が開催され、国土地理院は「地図と測量の科学館」の展示ブースを出展した。「日本列島陰影段彩余色立体図」のミニ版展示のほか、開催中の企画展紹介パネルを展示した。

**7月25日 「測量の日」関連行事としてパネル展を開催  
～7月29日**

北陸地方測量部は、「測量の日」関連行事として、7月25日から7月29日に黒部市ふれあいプラザイベントスペース（富山県黒部市）においてパネル展を行った。

**7月26日 実用的な高さ基準座標系に関する技術セミナーに参加  
～7月27日**

シンガポール共和国で行われた実用的な高さ基準座標系に関する技術セミナーに宮原物理測地課長が参加し、講師として電子基準点網(GEONET)を活用した高さ基準系の効率的な維持管理、日本のジオイド・モデルを紹介した。

**7月28日 企画展「測量のひ・み・つ」を開催  
～11月29日**

地図と測量の科学館において、企画展「測量のひ・み・つ」を開催した。スマートフォンやカーナビで現在地を知る技術の基礎となっている測量技術について、その方法や仕組みなどをパネルで紹介した。

**7月30日 地理院タイル(写真)のズームレベル18を公開**

地理院タイル(写真)のズームレベル18を公開した。これにより、地理院地図においてより鮮明な写真が閲覧可能になった。

**7月31日 地点別浸水シミュレーション検索システム(通称:浸水ナビ)を公開**

知りたい場所の浸水リスクがWEBサイト上でわかる、地点別浸水シミュレーション検索システム(通称:浸水ナビ)を公開した。どの河川が氾濫した場合に浸水するか、河川の決壊後、どれくらいの時間で氾濫水が到達するか、どれくらいの時間、浸水した状態が継続するかなどが容易に調べることができるようになった。

**8月3日 地球規模の地理空間情報管理に関する国連専門家委員会  
～8月7日 (UNCE-GGIM)第5回会合等に参加**

アメリカ合衆国のニューヨークで行われた地球規模の地理空間情報管理に関する国連専門家委員会(UNCE-GGIM)第5回会合等に村上企画部長他2名が参加した。「持続可能な開発のための2030アジェンダ」に地理空間情報が盛り込まれたことを踏まえ、今後統計機関と連携して今後の指標の議論に貢献していくことなどが合意された。

**8月11日 第279回地震調査委員会に出席**

文部科学省において第279回地震調査委員会が開催され、飛田地理地殻活動研究センター長が出席した。本会議では、「2015年7月の地震活動」について、関係行政機関及び大学等による調査観測結果やこれまでの研究成果の整理・分析が行われ、地震活動の現状について総合的な評価が行われた。

**8月19日 桜島の火山活動に伴う地殻変動の変動源を推定**

だいち2号によるSAR干渉解析結果と、国土地

理院の電子基準点 (GEONET) 及び気象庁の GNSS 観測点で観測された地殻変動量に基づき、桜島の火山活動に伴う地殻変動の変動源の推定を行った。

**8月21日**            **ハザードマップポータルサイトに地方公共団体が公表している大規模盛土造成地マップを掲載**

国土交通省が運営しているハザードマップポータルサイトの「防災に役立つ地理情報」に、地方公共団体が公表している大規模盛土造成地マップの一部を掲載した。

**8月21日**            **第208回地震予知連絡会を開催**

関東地方測量部において、第208回地震予知連絡会を開催した。本会議では、全国の地殻変動や予測実験の試行についてなどに関する報告が行われた。

**8月21日**            **火山噴火予知連絡会拡大幹事会に出席**

鹿児島地方気象台において、火山噴火予知連絡会拡大幹事会が開催され、中島地理地殻活動総括研究官が出席した。桜島と口永良部島の火山活動についての議論がなされた。国土地理院からは、地殻変動観測結果や SAR 干渉解析結果等を報告した。

**8月23日**            **2015年国際地図学会議**  
**～8月28日**            **(ICC2015)に参加**

ブラジル連邦共和国のリオデジャネイロで行われた2015年国際地図学会議 (ICC2015) に中埜研究官が参加した。中埜研究官から地震時地盤災害推計システムについて報告されたほか、3Dプリンタによる触地図などが展示された。

**8月24日**            **地理院地図による治水地形分類図の閲覧範囲が拡大**

地理院地図による治水地形分類図の閲覧範囲が拡大した。既存の範囲399面分に加え、新たに183面分の範囲が閲覧できるようになった。

**8月31日**            **西之島周辺の空中写真及び写真判読の結果を公開**

7月28日に UAV により西之島周辺の空中写真撮影を実施し、空中写真と地形判読図、立体図をホームページで公開した。

**9月1日**            **「統合災害情報システム (DiMAPS)」の運用を開始**

国土交通省は、地震や風水害などの自然災害発生時に、迅速に現場から災害情報を集約して地図上にわかりやすく表示することが出来る、今までにない全く新しいシステムである、「統合災害情報システム (DiMAPS)」の運用を開始した。

**9月1日**            **桜島噴火に伴う地殻変動情報を公開**

桜島の噴火に伴い、SAR 干渉解析及び GNSS 連続観測による地殻変動についての情報を公開した。

**9月9日**            **第280回地震調査委員会に出席**

文部科学省において第280回地震調査委員会が開催され、飛田地理地殻活動研究センター長が出席した。本会議では、「2015年8月の地震活動」について、関係行政機関及び大学等による調査観測結果やこれまでの研究成果の整理・分析が行われ、地震活動の現状について総合的な評価が行われた。

**9月30日**            **平成27年9月関東・東北豪雨に関する地理空間情報を提供**

平成27年9月関東・東北豪雨に関して、推定浸水範囲の判読、空中写真の撮影、UAV による動画等の撮影を行い、国土地理院ウェブサイトを通して公開した。

**9月14日**            **阿蘇山噴火に伴う地殻変動情報を公開**

阿蘇山の噴火に伴い、SAR 干渉解析及び GNSS 連続観測による地殻変動についての情報を公開した。

**9月15日**            **企画展「火山の国に生きる」を開催**  
**～11月29日**            **催**

地図と測量の科学館において、企画展「火山の国に生きる」を開催した。雄大な景観や温泉、地熱エネルギーなど私たちの暮らしに恩恵を与えてくれる一方で、時として人々の生命や生活を脅かす大きな災害を引き起こすこともある火山について、火山噴火の歴史・写真・地形模型・地図等を通じて紹介した。

**10月1日**            **GitHub Universe に参加**  
**～10月2日**

アメリカ合衆国のサンフランシスコで行われた GitHub Universe に藤村情報普及課長が参加し、地理院地図における GitHub を用いた高速なソフトウェア開発や外部技術者とのコラボレーションにつ

いて講演を行った。

#### 10月5日 第42回日韓測地・地図協力会議を開催

国土地理院と大韓民国国土地理情報院は、大韓民国の済州島で日韓測地・地図協力会議を開催した。日本側からは村上参事官他3名、大韓民国側からはソソ測地課長他5名が出席した。測地、地図作成、地理空間情報にかかる事業や技術、最近の動向についての情報交換、今後の協力に関する提案が行われた。

#### 10月5日 国連アジア太平洋地域地図会議 ～10月9日 (UNRCC-AP) 第20回総会等

大韓民国の済州島で行われた国連アジア太平洋地域地図会議(UNRCC-AP)第20回総会等に、村上参事官他4名が参加した。本会議において、議長として村上参事官が推薦され、承認された。

#### 10月6日 地球地図によるグアテマラ共和国中部の地図を公開

地すべりが発生し、大きな被害が発生しているグアテマラ共和国北部のバダフシヤン州周辺の地球地図を公開した。

#### 10月6日 2015年9月16日チリの地震に伴う地殻変動を検出

チリ共和国の地震(Mw8.3(USGS))に伴う地殻変動を把握するため、「だいち2号」(ALOS-2)に搭載された合成開口レーダーのデータを使用してSAR干渉解析を行った。解析の結果、震央の50km～70kmの付近の沿岸部を中心に1m以上の変動が検出された。

#### 10月7日 第34回国際VLBI事業(IVS)評 ～10月8日 議会議に参加

カナダのペンティクトンで行われた第34回国際VLBI事業(IVS)評議会議に、川畑宇宙測地課長補佐が参加した。現在のIVSの活動が最善努力の原則であること等が問題点として取り上げられ、各機関の事情に左右されず安定した活動を継続的に行うため、IVSの成果の重要性について広報活動を充実させていくことが確認されたほか、VGOS観測における相関処理についての方針を議論するワーキンググループの設立が決定された。

#### 10月9日 優れた機能を持つ防災アプリを選定

応募のあった多数の有用な防災アプリの中から「避難誘導支援」部門で3アプリ、「リスクコミュニ

ケーション」部門で3アプリ(全体で6つの防災アプリ)を選定し、それぞれの部門で特に優れていると評価された2つの防災アプリには平成27年度防災アプリ賞を、他の4つの防災アプリには、それぞれの機能の特徴等に基づいた個別の賞を授与した。

#### 10月9日 第281回地震調査委員会に出席

文部科学省において第281回地震調査委員会が開催され、飛田地理地殻活動研究センター長が出席した。本会議では、「2015年9月の地震活動」について、関係行政機関及び大学等による調査観測結果やこれまでの研究成果の整理・分析が行われ、地震活動の現状について総合的な評価が行われた。

#### 10月16日 口永良部島全島のUAVによる空中写真撮影及び写真判読の結果を公開

9月8日、11日、12日の3日間にUAVによる空中写真撮影を実施し、7月14日に撮影した空中写真の判読結果及び、平成24年12月に撮影した写真と比較し判読した結果、火口の北東側でも噴火による火砕流や熱風などで樹木がなぎ倒されたり焼損したりしていることが確認された。

#### 10月16日 日本OSS奨励賞を受賞

国土地理院が提供する地理空間情報について、より高い公共性を確保すべくオープンデータとしての利用及びサービスのオープンソース化を推進したとして、日本OSS推進フォーラムが主催する日本OSS奨励賞を情報普及課が受賞した。

#### 10月21日 栃木県との地理空間情報活用促進のための協力に関する協定を締結

国土地理院と栃木県がそれぞれ保有する地理空間情報の相互活用及び情報・技術の提供に関し、連携及び協力を強化するとともに、災害対応においても迅速かつ効果的な防災・減災に向けた協力が強化されることで、国民の利便性の向上及び県勢の発展と安全・安心な地域社会づくりに寄与することを目的として、地理空間情報活用促進のための協力に関する協定を締結した。

#### 10月21日 第133回火山噴火予知連絡会に出席

気象庁において、第133回火山噴火予知連絡会が開催され、中島地理地殻活動総括研究官が出席した。参加した各機関から全国の火山活動に関す

る最新の観測結果の報告，総合的な検討が行われ，特に口永良部島，阿蘇山，桜島，箱根山等の火山活動について重点的に検討が行われた。国土地理院からは，地殻変動観測結果や SAR 干渉解析結果等を報告した。

**10月26日 近畿地区において産学官連携協議会が発足**

近畿地方測量部は，地理空間情報に係る産業界，教育機関，行政機関から構成する「地理空間情報に関する近畿地区産学官連携協議会（会長：吉川真大阪工業大学教授）」を設立した。

**10月26日 関西 G 空間フォーラム 2015 を開催**

近畿地方測量部は，薬業年金会館（大阪府大阪市）において，関西地域における産学官の連携により関西 G 空間フォーラム 2015 を開催した。本フォーラムは，関西における地理空間情報の利活用についての現状の認識と，産学官の連携による地理空間情報の利活用の推進を目的としており，合同シンポジウムの中で第 34 回測量技術講演会を実施し，村上参事官が特別講演を行った。

**10月28日 地球地図によるアフガニスタン・イスラム共和国北部の地図を公開**

地震が発生し，大きな被害が発生しているアフガニスタン・イスラム共和国北部の地球地図を公開した。

**11月1日 衛星測位システムに関する国際～11月6日 委員会第 10 回総会に参加**

アメリカ合衆国のボルダーで行われた衛星測位システムに関する国際委員会第 10 回総会に佐藤衛星測地課長補佐が参加した。IDM（Interference Detection and Mitigation；電波干渉の検出と軽減）などについて議論された。

**11月11日 第 282 回地震調査委員会に出席**

文部科学省において第 282 回地震調査委員会が開催され，飛田地理地殻活動研究センター長が出席した。本会議では，「2015 年 10 月の地震活動」について，関係行政機関及び大学等による調査観測結果やこれまでの研究成果の整理・分析が行われ，地震活動の現状について総合的な評価が行われた。

**11月12日 平成 27 年度国土技術研究会に参加～11月13日 加**

国土交通省本省において，平成 27 年度国土交通省国土技術研究会が開催された。国土地理院から自由課題（イノベーション部門）1 課題，自由課題（一般部門：安全安心）2 課題，ポスターセッション 1 課題の発表を行った。

**11月18日 「地理院地図」のコンテンツとして「人口集中地区 H22 年（総務省統計局）」を追加**

「地理院地図」のコンテンツとして「人口集中地区 H22 年（総務省統計局）」を追加した。

**11月18日 GGOS 機関間会合(GIAC)議長が～11月19日 国土地理院を訪問**

GGOS 機関間会合（GIAC）の議長を務める Per Eric Opseth ノルウェー地図局測地研究所所長他 1 名が国土地理院を訪問した。測地観測への貢献に対する感謝が述べられるとともに，引き続き測地観測において連携を継続することが確認された。

**11月19日 砺波平野断層帯，三峠・京都西山断層帯，山崎断層帯，雲仙断層群，人吉盆地南縁断層の都市圏活断層図を公開**

空中写真の判読等によって活断層を抽出し，詳細な位置や断層のずれの方向などを電子地形図 25000 上にまとめた都市圏活断層図，砺波平野断層帯とその周辺「高岡」，三峠・京都西山断層帯とその周辺「舞鶴」「綾部」，山崎断層帯とその周辺「北条」「高砂」，雲仙断層群とその周辺「雲仙」，人吉盆地南縁断層とその周辺「人吉盆地」の 7 面を公開した。

**11月19日 第 1 回アジア・オセアニア VLBI～11月20日 会議に参加**

オーストラリア連邦のホバートで行われた第 1 回アジア・オセアニア VLBI 会議に川畑宇宙測地課長補佐が参加した。VLBI 活動に関する現状報告及び AOV への展望についての報告があった。

**11月24日 「電子国土賞 2015」の受賞作品を決定**

国土地理院が提供・配信する電子国土基本図等を利用した GIS ソフトウェアや GIS コンテンツの中から優れたものを表彰する「電子国土賞 2015」等の受賞作品を決定した。

**11月25日 第 10 回日中測量・地図協力会議を開催**

国土地理院と国家測繪地理信息局は，国土地理

院において日中測量・地図協力会議を開催した。日本側からは村上参事官他 4 名、中国側からは王副局长他 2 名が出席した。日中両国における測量、地図作成に係る最近の事業の紹介、小型無人飛行機 (UAV) を用いた空中写真撮影についての情報交換、測量・地図作成に係る国際活動及び特定分野における協力についての合意が行われた。

#### 11月26日 G空間 EXPO2015 が開催 ～11月28日

日本科学未来館（東京都江東区）において、G空間 EXPO2015 が開催された。本 EXPO は、児童生徒から社会人まで幅広い方々に G 空間情報への理解を深めていただき「G 空間社会」の裾野を広げる事を目的として、展示、講演・シンポジウム及び体験イベント等を通じて、未来をつくる日本の技術やサービスを紹介するとともに、民間事業者等の技術・サービスの提案や創意工夫を掘り起こす場として産学官の連携により開催され、3 日間で約 19,000 人の入場者があった。国土地理院は、Geo アクティビティフェスタ、電子国土賞 2015 表彰式・受賞作品紹介及び施策展示並びに講演・シンポジウム等を実施した。

#### 11月27日 第209回地震予知連絡会を開催

関東地方測量部において、第 209 回地震予知連絡会を開催した。本会議では、全国の地殻変動や東北地方太平洋沖地震後の日本列島周辺域のプレート運動速度の変化などに関する報告が行われた。

#### 12月4日 地球地図によるインド南部の地図を公開

豪雨により発生した洪水で、大きな被害が発生しているインド南部の地球地図を公開した。

#### 12月7日 地球規模の地理空間情報管理に ～12月9日 関する国連専門家委員会 (UN-GGIM) 拡大幹部会議に参加

アメリカ合衆国のニューヨークで行われた地球規模の地理空間情報管理に関する国連専門家委員会 (UNCE-GGIM) 拡大幹部会議に村上参事官が参加した。国連経済社会理事会 (ECOSOC) への報告書案及び今後の活動方針が確認された。

#### 12月7日 第7回マルチ GNSS アジア ～12月9日 (MGA) カンファレンスに参加

ブルネイ・ダルサラーム国のバンダルスリブガワンで行われた第 7 回マルチ GNSS アジア (MGA) カンファレンスに辻測地観測センター長が参加した。衛星測位に関する各国の状況が共有され、国土

地理院からは「GEONET による自然災害の軽減」と題する講演を行った。

#### 12月7日 ISO/TC 211 第41回総会ウィーク ～12月11日 クに参加

オーストラリア連邦のシドニーで行われた ISO/TC 211 第 41 回総会ウィークに藤村国際課長が参加した。専門委員会 (TC) の運営のため、30 項目の決議がなされた。

#### 12月8日 平成27年度国土地理院入札監視 委員会第2回定例会議を開催

関東地方測量部において、平成 27 年度国土地理院入札監視委員会第 2 回定例会議を開催した。国土地理院が発注した平成 27 年 4 月 1 日から平成 27 年 9 月 30 日までの測量業務、役務の提供等及び物品の製造等の中から委員会が抽出した事案について審議が行われた。また、定例報告の中で、「請負測量業務の競争入札のための測量技術者の認定資格登録」について審議された。

#### 12月8日 「第16回いばらき児童生徒地図 ～12月20日 作品展」を開催

茨城大学図書館において、「第 16 回いばらき児童生徒地図作品展」を開催した。本作品展は、茨城県内の小・中学生を対象として、身のまわりの環境や地域の姿を様々な視点から調べ、地図にまとめることで環境や地域、地図に対する関心を深めることを目的として開催した。また、全応募作品 115 点の中から優秀な作品 46 点を選出して展示するとともに、最優秀賞及び優秀賞については、12 月 12 日に表彰式を行った。

#### 12月9日 広報活動を強化するためのリー ディング・プロジェクトを開始

国土管理、地域の安心・安全、新しい仕事の創生と生活の利便に今や欠かすことができない測量・地理空間情報の重要性を広報するため、広報戦略を策定し、これに基づきリーディング・プロジェクトを実行する。

#### 12月9日 第283回地震調査委員会に出席

文部科学省において第 283 回地震調査委員会が開催され、矢来地殻変動研究室長が飛田地理地殻活動研究センター長の代理で出席した。本会議では、「2015 年 11 月の地震活動」について、関係行政機関及び大学等による調査観測結果やこれまでの研究成果の整理・分析が行われ、地震活動の現状について総合的な評価が行われた。

**12月10日 関西G空間フォーラム in 兵庫を  
開催**

近畿地方測量部は、兵庫県中央労働センター（兵庫県神戸市）において、阪神・淡路大震災から20年の節目の年を迎え、大震災の経験と教訓を忘れることなく地域や世代を越えて伝え続け、広く発信し続けるため、産学官の連携により「関西G空間フォーラム in 兵庫」を開催し、和田宇宙測地課長が講演を行った。

**12月14日 2015年米国地球物理学連合  
～12月18日 (AGU) 秋季大会に参加**

アメリカ合衆国のサンフランシスコで行われた2015年米国地球物理学連合（AGU）秋季大会に森下研究官が参加した。だいち2号のデータを利用したSAR干渉解析によって明らかにされたネパール連邦民主共和国の地震に伴う地殻変動に関する研究内容を発表した。

**12月18日 平成27年度補正予算の政府案が  
決定**

平成27年度補正予算の政府案が閣議で決定され、国土地理院の補正予算案は、総額約7900万円となった。

**12月24日 平成28年度予算の政府案が決定**

平成28年度予算の政府案が閣議で決定され、国土地理院の予算案は、総額約95.1億円となった。

**12月25日 電子地形図20万と数値地図（国  
土基本情報20万）の全国整備が  
完了**

電子地形図20万及び数値地図（国土基本情報20万）の全国整備が完了した。全国を130面でカバーする。

|       |      |
|-------|------|
| 編集委員長 | 鎌田高造 |
| 副委員長  | 永山山田 |
| 委員    | 田宮塚  |
| 〃     | 大松坂  |
| 〃     | 勝田啓  |
| 〃     | 中村孝  |
| 〃     | 中澤尚  |
| 〃     | 川島悟  |
| 〃     | 岩田和美 |
| 事務局   | 須崎哲典 |
| 〃     | 小芹林大 |
| 〃     | 芹澤由尚 |

---

## 国土地理院時報 第127集

平成27年12月28日発行

編集兼発行者 国土交通省国土地理院

郵便番号 305-0811

茨城県つくば市北郷1番

電話番号 029-864-1111 (代表)

---

許可なく複製を禁ずる

国土地理院発行地図等一覧 (消費税込み) 平成 27 年 12 月 1 日現在

地図等 Maps

| 種類                                | 面数                    | 規格            | 色数    | 定価(税込) |
|-----------------------------------|-----------------------|---------------|-------|--------|
| 1万分1地形図                           | 307面                  | 四六半裁判<br>(折図) | 5     | 463    |
|                                   | 4面                    |               | 10    | 566    |
| 2万5千分1地形図                         | 4,134面                | 柾判            | 3     | 278    |
|                                   | 286面                  |               | 多色    | 339    |
|                                   | 16面                   | A1判(折図)       | 6     | 514    |
| 5万分1地形図                           | 42面                   | 柾判            | 3     | 278    |
|                                   | 1,249面                |               | 4     | 298    |
|                                   | 4面                    |               | 6     | 329    |
| 20万分1地勢図                          | 130面                  | 柾判            | 6     | 329    |
| 50万分1地方図                          | 8面                    | 四六判           | 4     | 669    |
|                                   | 8面                    |               | 7     | 761    |
| 100万分1日本                          | I・II・III              | 四六判           | 9     | 823    |
| 100万分1 INTERNATIONAL MAP          | I・II・III<br>(英文版)     | 四六判           | 9     | 823    |
| 500万分1日本とその周辺                     |                       | 四六判           | 9     | 823    |
| 500万分1 JAPAN AND ITS SURROUNDINGS | (英文版)                 | 四六判           | 9     | 823    |
| 2万5千分1集成図                         | 京都                    | 菊判(折図)        | 8     | 669    |
|                                   | KYOTO                 |               |       |        |
| 5万分1集成図                           | 大山・蒜山                 | 菊判(折図)        | 14    | 823    |
|                                   | 阿蘇・九重                 |               | 16    | 875    |
|                                   | 支笏・洞爺とその周辺            | 菊判            | 4     | 504    |
| 10万分1集成図                          | 支笏・洞爺とその周辺<br>(英文加刷版) | 菊判            | 5     | 525    |
|                                   | 千葉・宇都宮、水戸             | 四六判           | 5     | 700    |
|                                   | 南関東                   | 四六判(折図)       | 16    | 1,111  |
|                                   | 北方四島                  | 四六判(折図)       | 6     | 802    |
| 2万5千分1土地条件図                       | 1面                    | 柾判(折図)        | 13    | 453    |
|                                   | 2面                    |               | 12    | 710    |
|                                   | 5面                    | 菊判(折図)        | 9     | 689    |
|                                   | 3面                    |               | 13    | 792    |
|                                   | 1面                    |               | 13    | 946    |
|                                   | 2面                    | 四六判(折図)       | 6     | 802    |
|                                   | 23面                   |               | 9     | 895    |
|                                   | 39面                   |               | 12    | 916    |
| 17面                               | 13                    |               | 1,018 |        |
| 1面                                | 四六半裁判(折図)             | 9             | 545   |        |
| 2万5千分1土地利用図                       | 1,173面                | 柾判            | 6     | 329    |
|                                   | 4面                    |               | 10    | 720    |
| 5万分1土地利用図                         | 35面                   | 柾判            | 8     | 360    |
|                                   | 8面                    |               | 8     | 607    |
| 20万分1土地利用図                        | 123面                  | 柾判            | 6     | 329    |
| 2万5千分1沿岸海域地形図                     | 2面                    | 柾判(折図)        | 3     | 278    |
|                                   | 2面                    |               | 3     | 298    |
|                                   | 17面                   | 菊判            | 3     | 473    |
|                                   | 5面                    |               | 3     | 535    |
|                                   | 41面                   | 四六判           | 3     | 637    |
|                                   | 7面                    |               | 3     | 710    |
| 2万5千分1沿岸海域土地条件図                   | 1面                    | 柾判            | 12    | 421    |
|                                   | 2面                    |               | 9     | 391    |
|                                   | 1面                    | 菊判            | 8     | 607    |
|                                   | 18面                   |               | 12    | 710    |
|                                   | 5面                    |               | 9     | 689    |
|                                   | 40面                   |               | 12    | 916    |
| 7面                                | 四六判(折図)               | 9             | 895   |        |

| 種類            | 面数   | 規格        | 色数    | 定価(税込) |
|---------------|--|-----------|-------|--------|
| 5千分1火山基本図     | 有珠山I~XI, 吾妻山三宅島I~VI, 桜島I~V, 阿蘇山, 草津白根山, 樽前山伊豆大島I・II, 浅間山I・II, 十勝岳I・II, 御岳山I~IV, 雲仙岳I~V   | 四六判       | 2     | 607    |
|               | 雌阿寒岳・北海道駒ヶ岳霧島山I・II, 蔵王山, 焼岳, 鶴見岳, 安達太良山, 磐梯山I・II, 十勝岳(基図版)I~VII, 那須岳, 秋田駒ヶ岳, 岩手山, 岩木山, 烏海山, <じゅう連山, 秋田焼山, 富士山(御庭, 白塚・松塚, 富士山頂, 宝永山), 東伊豆半成火山群(大室山, 遠笠山, 小室山), 薩摩硫黄島, 諏訪之瀬島, 伊豆大島I・II, 浅間山, 浅間山北部, 薩摩竹島 |           |       |        |
| 1万分1火山基本図     |  | 四六判       | 2     | 607    |
| 1万分1火山土地条件図   | 薩摩硫黄島  | 四六判(折図)   | 11    | 957    |
| 1万5千分1火山土地条件図 | 三宅島, 草津白根山   | 菊判(折図)    | 14    | 823    |
|               | 桜島   | 四六判(折図)   | 11    | 957    |
| 2万5千分1火山土地条件図 | 有珠山, 伊豆大島  | 四六半裁判(折図) | 10    | 566    |
|               | 樽前山  | 四六判(折図)   | 9     | 895    |
|               | 雌阿寒岳・雄阿寒岳  |           | 12    | 987    |
|               | <じゅう連山, 安達太良山  | 菊判(折図)    | 12    | 771    |
|               | 北海道駒ヶ岳   | 四六判(折図)   | 12    | 987    |
| 阿蘇山           | 13   |           | 1,018 |        |
| 3万分1火山土地条件図   | 霧島山, 磐梯山   | 四六判(折図)   | 10    | 926    |
|               | 十勝岳  |           | 14    | 823    |
| 5万分1火山土地条件図   | 富士山  | A0判(折図)   | 10    | 1,008  |
|               | 札幌(昭和)   |           | 1     | 247    |
| 5万分1組図        | 福岡(大正, 昭和)2面   | 柾判        | 1     | 247    |
|               |  |           | 1     | 247    |

柾判 46.0cm × 58.0cm, 菊判 63.6cm × 93.9cm, 四六半裁判 52.0cm × 73.8cm, 四六判 78.8cm × 109.1cm, A1判 59.4cm × 84.1cm, A0判 84.1cm × 118.9cm

国土基本図等 National Large Scale Maps

| 種類                   | 規格    | 定価(税込) |
|----------------------|-------|--------|
| 国土基本図<br>格<br>真<br>写 | 電子複写図 | 1,234  |
| 湖沼図                  | 電子複写図 | 1,234  |
|                      | 四六判   | 1,234  |
|                      | 菊判    | 1,234  |
|                      | 四六半裁判 | 771    |
|                      | 柾判    | 514    |

数値空中写真 Digital Aerial Photographs

| 種類     | 規格(縦) × (横)                 | 定価(税込)                             |        |
|--------|-----------------------------|------------------------------------|--------|
| 出力印画   | 一倍出力印画                      | 23cm × 23cm相当                      | 2,983  |
|        | 二倍出力印画                      | 46cm × 46cm相当                      | 5,863  |
|        | 三倍出力印画                      | 69cm × 69cm相当                      | 8,845  |
|        | 四倍出力印画                      | 92cm × 92cm相当                      | 11,932 |
|        | 部分出力印画                      | 23cm × 23cm                        | 3,909  |
|        |                             | 46cm × 46cm                        | 6,377  |
|        |                             | 69cm × 69cm                        | 10,080 |
|        |                             | 92cm × 92cm                        | 13,165 |
| 正射出力印画 | 30秒 × 30秒区画<br>(縮尺 1/2,500) | 5,348                              |        |
| デジタル画像 | 画像データ                       | 10μm又は20μm相当<br>(1pixel)           | 3,909  |
|        | 正射画像データ                     | 30秒 × 30秒区画(地上画<br>素寸法 20cm又は40cm) | 3,086  |

数値地図 Digital Maps

定価(税込) (CD又はDVD 1枚: 7,714円、オンライン1データファイル: 175円、電子地形図25000のA0: 700円、A1: 350円、A2, A3, A4: 175円)

| 種 類                       | 刊行枚数        |         | データの種別  | 備考   |
|---------------------------|-------------|---------|---|--|
|                           | CD・DVD      | データファイル |   |  |
| 数値地図 25000<br>(地名・公共施設)   | 1枚          |         | 地名等の表記、読み、経度、緯度<br>地図記号の対象公共施設の名称、所在地   | 全国   |
| 数値地図 10mメッシュ<br>(火山標高)    | 1枚          |         | 5千分1、1万分1火山基本図上で10m間隔の<br>方眼の中心の標高を等高線から計算したデータ   | 25火山   |
| 数値地図 5mメッシュ<br>(標高)       | 14枚         |         | 地表5m間隔で区切った方眼中心点の標高を航空<br>レーザ測量によって取得したデータをもとに家屋や<br>橋、樹木等を取り除いた地表面データ  | 埼玉東南部、福岡、京都及大阪、高知、濃尾平野、<br>横浜及川崎、宮崎、飯綱、柏崎、新潟、江戸川周辺、<br>仙台、神戸、栗駒山周辺 |
| 数値地図 250mメッシュ<br>(標高)     | 1枚          |         | 2万5千分1地形図上で約1cm間隔の<br>方眼の中心の標高を等高線から計算したデータ   | 全国<br>1kmメッシュ(標高)/(平均標高)含む   |
| 数値地図 2500<br>(空間データ基盤)    | 8枚          |         | 行政区域・海岸線、街区、道路線、鉄道・駅<br>直轄国道、直轄河川、内水面・場地、建物等  | 全国の都市計画区域  |
| 数値地図 25000<br>(空間データ基盤)   | 7枚          |         | 道路中心線、鉄道中心線、河川中心線、水涯線<br>海岸線、行政界、基準点、地名、公共施設、標高   | 全国   |
| 数値地図 25000<br>(地図画像)      | 75枚         |         | 注記版、注記マスク版、墨版、藍版、褐版<br>墨マスク版、藍マスク版、褐マスク版  | 全国   |
| 数値地図 50000<br>(地図画像)      | 30枚         |         | 注記版、注記マスク版、墨版、藍版、褐版<br>藍マスク版、褐マスク版、緑+緑マスク版  | 全国   |
| 数値地図 200000<br>(地図画像)     | 3枚          |         | 注記版、墨版、赤版、藍版、褐版、緑版<br>藍マスク版、陰影図ファイル   | 全国   |
| 数値地図 500万<br>(総合)         | 1枚          |         | 水部区域、水部界、境界、道路、鉄道、<br>フェリー航路、等高線、等深線、空港、港、<br>都市、山岳標高点、水深点、注記   | 日本とその周辺  |
| 数値地図 25000<br>(土地条件)      | 3枚          |         | 2万5千分1土地条件図を基にした地形分類のJPGIS1.0に基<br>づくXML形式ファイルのベクタデータ(東日本、西日本)及び<br>JPGIS2.1に基づくXML形式ファイル(GML)のベクタデータ(全<br>国) | 東日本、西日本、全国   |
| 数値地図 5000<br>(土地利用)       | 5枚          |         | 三大都市圏(首都圏、中部圏、近畿圏)の土地利用状況を示した<br>高精度なポリゴンデータ<br>(土地利用界線の精度: 1m、5千分1基図使用)                                      | 近畿圏 2001、2008、首都圏 2000、2005、<br>中部圏 2003                           |
| 数値地図 25000(地図画像)<br>オンライン | 4371データファイル |         | 注記版、注記マスク版、墨版、藍版、褐版<br>墨マスク版、藍マスク版、褐マスク版  | 全国   |
| 数値地図 50000(地図画像)<br>オンライン | 43データファイル   |         | 墨版、褐版、藍マスク版、緑マスク版   | 北方四島   |
| 数値地図 25000(土地条件)<br>オンライン | 1121データファイル |         | 2万5千分1土地条件図を基にした地形分類のJPGIS2.1に<br>基づくXML形式ファイル(GML)のベクタデータ  | 全国   |
| 災害復興計画基図<br>オンライン         | 2197面       |         | 公共測量標準図式に定められた、行政界・交通施設・建物・土地利用・<br>地形など  | 青森県八戸市から福島県いわき市にかけての<br>沿岸部、4県39市町村                                |
| 数値地図(国土基本情報)<br>オンライン     | 4484データファイル |         | 地図情報、地名情報、メッシュ標高情報、付属資料(主題情報)   | 全国   |
| 数値地図(国土基本情報)<br>DVD       | 53枚         |         | 地図情報、地名情報、メッシュ標高情報、付属資料(主題情報)   | 全国   |
| 電子地形図 25000<br>オンライン      | 一式          |         | 数値地図(国土基本情報)から作成したラスターデータ(形式は、<br>Geospatial PDF, TIFF, JPEGのいずれかから選択)  | 全国   |
| 電子地形図 25000<br>DVD        | 53枚         |         | 数値地図(国土基本情報)から作成したラスターデータ(形式は、<br>Geospatial PDF, TIFF, JPEGのいずれかから選択)  | 全国   |
| 数値地図(国土基本情報 20万)          | 16データファイル   |         | 地図情報(形式は、GML, SHPのいずれかから選択)   | 首都圏及び中部圏の一部  |
| 電子地形図 20万                 | 16データファイル   |         | 数値地図(国土基本情報)から作成したラスターデータ(形式は、<br>Geospatial PDF, TIFF, JPEGのいずれかから選択)  | 首都圏及び中部圏の一部  |

国土地理院刊行の地図を取り扱っている全国の書店等でお買い求め下さい。

空中写真、国土基本図、数値地図、湖沼図及び地図等の通信販売利用の場合は、下記へお申し込み下さい。

(一財) 日本地図センター 〒153-8522 東京都目黒区青葉台4-9-6 電話 03(3485)5414 FAX03(3465)7591 E-mail: maps@jmc.or.jp