国土地理院技術資料 A5-No.124
ISSN 0430-9081

国土地理院時報

Journal of the Geospatial Information Authority of Japan

December, 2013

○干渉SAR時系列解析による地盤沈下の検出

○アジア太平洋地域におけるジャワ島・スマトラ島の地殻変動監視

○MMSから作成した反射強度画像の精度検証について

○航空機SARの改修と湛水域抽出について

○高精度湖底地形調査について

○GNSS連続観測システム（GEONET）が捉えた海溝型巨大地震に伴う余効変動の時間変化

○GEONETが捉えた地震に伴う地殻変動カタログの整備

○測量の効率化・低コスト化を実現　-スマート・サーベイ・プロジェクトの取り組み-

○新しいジオイド・モデル「日本のジオイド2011+2000」の構築　―中国・四国・九州地方におけるジオイド・モデルの改定―

○「電子国土基本図のあり方検討会」報告　-「利用者に価値ある使いやすい電子国土基本図を目指した提言」とりまとめ-

○地球地図全球版第2版土地被覆データを用いた世界各緯度帯の海陸の面積とその比の算出

○地理院マップシートの開発

○面積調でみる東京湾の埋め立ての変遷と埋立地の問題点

○北アルプス穂高連峰の隆起に関する測地学的検証 ～一等三角点穂高岳でのGNSS観測～

○干渉SAR時系列解析による微小な変位量で進行する地盤変動監視の実用化へ向けて

○地球地図プロジェクトの推進と地球地図第2版の整備

○電子基準点のGNSS対応

124

国土地理院

This document is provided by JAXA.

国土地理院時報（2013，124集）目次

干渉SAR時系列解析による地盤沈下の検出
Detection of ground subsidence by InSAR time series analysis
測地部　山中雅之・森下　遊・大坂優子 …… 1

アジア太平洋地域におけるジャワ島・スマトラ島の地殻変動監視
Monitoring of the Crustal Movement Jawa and Sumatra in Asia-Pacific Region
測地部　鈴木　啓・吉川忠男
測地観測センター　今給黎哲郎
地理地殻活動研究センター　西村卓也 …… 15

MMSから作成した反射強度画像の精度検証について
Accuracy Verification of Intensity Image Created from MMS Data
基本図情報部　藤原博行・伊藤裕之・笹川　啓・大野裕幸 …… 23

航空機SARの改修と湛水域抽出について
Improvement of Airborne SAR and Research of Extracting Water Area in Disaster
基本図情報部　伊藤裕之・笹川　啓・藤原博行・大野裕幸 …… 29

高精度湖底地形調査について
High precision topographic survey of lakes
応用地理部　畠山真介 …… 35

GNSS連続観測システム（GEONET）が捉えた海溝型巨大地震に伴う余効変動の時間変化
Postseismic Deformation Following Great Earthquakes, Based on GEONET
測地観測センター　木村久夫・宮原伐折羅・宮川康平 …… 47

GEONETが捉えた地震に伴う地殻変動カタログの整備
Development of Index of Earthquake-derived Crustal Deformations detected by GEONET
測地観測センター　木村久夫・宮原伐折羅 …… 57

測量の効率化・低コスト化を実現　-スマート・サーベイ・プロジェクトの取り組み-
Realization of Efficient and Low-cost Surveys -Approach of Smart Survey Project-
測地部　後藤　清・林　保・飯村友三郎・越智久巳一・日下正明・岩田和美・井上武久・
宮本純一・佐藤雄大・河和　宏 …… 65

新しいジオイド・モデル「日本のジオイド2011+2000」の構築
―中国・四国・九州地方におけるジオイド・モデルの改定―
Establishment of New Geoid Model "GSIGEO2011＋2000"
-Revision of Geoid Model in Chugoku, Shikoku, Kyusyu Region-
測地部　兒玉篤郎・森下　遊・宮原伐折羅・河和　宏・海老名頼利
地理地殻活動研究センター　黒石裕樹 …… 73

This document is provided by JAXA.

「電子国土基本図のあり方検討会」報告
-「利用者に価値ある使いやすい電子国土基本図を目指した提言」とりまとめ-
Report of Advisory Committee on Digital Japan Basic Maps
-To provide valuable and user-friendly Digital Japan Basic Maps-
基本図情報部　下山泰志・中島最郎 …… 85

地球地図全球版第2版土地被覆データを用いた世界各緯度帯の海陸の面積とその比の算出
Calculation of "Sea and Land Areas and Their Ratio of Each Latitude Band"
by Global Map Version 2
応用地理部　須賀正樹・安藤暁史・鵜生川太郎・植田摩耶 …… 95

地理院マップシートの開発
Development of data exchanging between a spreadsheet and Digital Japan Web
地理空間情報部　髙桑紀之 …… 99

面積調でみる東京湾の埋め立ての変遷と埋立地の問題点
Transition of Land Reclamation Area along Tokyo Bay Side using Land Area Survey
by GSI and Problem of Land Reclamation area
地理地殻活動研究センター　小荒井衛・中埜貴元 …… 105

北アルプス穂高連峰の隆起に関する測地学的検証 ～一等三角点穂高岳でのGNSS観測～
Geodetic examination of uplift in the Hotaka peaks, northern Japan Alps
～ GNSS observation at the 1st-order triangulation point "Hodakadake" ～
地理地殻活動研究センター　西村卓也
国土地理院穂高岳測量班 …… 117

干渉SAR時系列解析による微小な変位量で進行する地盤変動監視の実用化へ向けて
Approach for Monitoring of Small Ground Surface Deformation by InSAR Time Series Analysis
測地部　森下　遊・鈴木　啓
地理地殻活動研究センター　小林知勝 …… 125

地球地図プロジェクトの推進と地球地図第2版の整備
Steering Global Mapping Project and Developing Global Map Version 2
応用地理部　鵜生川太郎・安藤暁史・齋藤俊信・植田摩耶・山田晃子・須賀正樹 …… 133

電子基準点のGNSS対応
Modernization of GEONET from GPS to GNSS
測地観測センター　辻宏道・宮川康平・山口和典・矢萩智裕・大島健一・山尾裕美・古屋智秋 …… 139

This document is provided by JAXA.

干渉 SAR 時系列解析による地盤沈下の検出
Detection of ground subsidence by InSAR time series analysis

測地部　山中雅之・森下　遊・大坂優子
Geodetic Department
Masayuki YAMANAKA, Yu MORISHITA and Yuko OSAKA

要　旨

国土地理院は，地盤沈下・地すべりによる地盤変動や火山活動や地震による地殻変動の監視を目的に，陸域観測技術衛星「だいち」（ALOS）に搭載されたL バンド合成開口レーダー（PALSAR）の観測データを用いて SAR 干渉解析を定常的に実施している．また，地盤変動の検出における干渉 SAR 技術の有効な活用方法を実証することを目的とした研究開発を継続して実施している．

今回，地盤変動の一種である地盤沈下について，干渉 SAR による検出能力を検証するために，ALOS/PALSAR データを用いたスタッキング及び干渉 SAR 時系列解析の精度の検証を行った．スタッキング及び時系列解析による変動量は，変動の範囲，大きさともにほぼ一致する．また，スタッキング及び時系列解析の結果と水準測量との結果の比較を行ったところ，その最大較差はいずれの地域，手法においても，年間 2cm 以上の地盤沈下地域を特定するのに十分な精度を得られることが示された．

1. はじめに

干渉合成開口レーダー（以下，「干渉 SAR」という）は，人工衛星等によるマイクロ波レーダー観測を地表の同一地点で異なる時期に 2 回以上実施し，反射波の位相の差をとることによって，地表の変動を捉える技術であり，数十 m 程度の高い空間分解能で数十 km から数百 km の範囲の地表変位を面的に捉えることができる．国土地理院は，2006 年 1 月に打ち上げられた陸域観測技術衛星「だいち」（ALOS: Advanced Land Observing Satellite）に搭載されているL バンド合成開口レーダー（PALSAR: Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar）の観測データを用いて，定常的に SAR 干渉解析を実施し，その結果をホームページ（http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/result/result.html）等で公開している．国土地理院では，この解析業務を，高精度地盤変動測量と位置づけており，地盤沈下や地すべりによる地盤変動及び火山活動や地震による地殻変動の監視を目的として実施している．

また，国土地理院研究開発基本計画に基づき，地盤変動検出における干渉 SAR の有効な活用方法を実証することを目的とした研究開発を継続して実施している．これまでに，干渉 SAR を活用して地盤沈下地域における効率的な水準測量を行うことを実証した（森下ほか，2010）．

しかし，現在のところ地盤沈下検出における干渉 SAR 技術が有効に活用されているとは言い難い．理由として，干渉 SAR の解析結果には，地盤の変動量以外に電離層の電子密度分布や水蒸気分布の変化等によるノイズや，散乱特性の変化等による干渉度の低下によるノイズが含まれ，微小な変動を検出することは困難であることが挙げられる．

これらのノイズは，用いるデータによって独立であるので，多数のデータを用いることによりノイズを低減し，変動量の測定精度を向上させることが可能である．その手法の一つとして，各干渉画像から変動速度を算出し、その平均を求めるスタッキングという手法がある．また，欧州を中心に，ノイズを統計的に推定・除去することで変動計測精度を向上させる干渉 SAR 時系列解析と呼ばれる手法が研究・開発されており（Ferretti et al.，2000，2001；Berardino et al.，2002），干渉 SAR 時系列解析を適用した地盤沈下の検出に関する研究も数多くなされている（例えば，Ketellaar, 2009）．しかし，日本国内では，欧州宇宙機関（ESA）が打ち上げた Envisat のデータを用いた干渉 SAR 時系列解析に関する研究事例があるものの（出口ほか, 2009；福島・Hooper, 2011），ALOS/PALSAR データを利用した例はわずかであり，地盤沈下の検出に適用した例はほとんどない．

本稿では，干渉 SAR による地盤沈下検出能力を検証するために，ALOS/PALSAR データを用いたスタッキング及び干渉 SAR 時系列解析の結果を，地盤沈下調査のために自治体等により実施されている水準測量の結果と比較したので，その結果について報告する．

2. 検証地域

本研究では，九十九里平野（図-1(a)）及び新潟平野（図-1(b)）を対象地域とした．両地域は自治体等により地盤沈下調査のための水準測量が実施されている地域である．

This document is provided by JAXA.

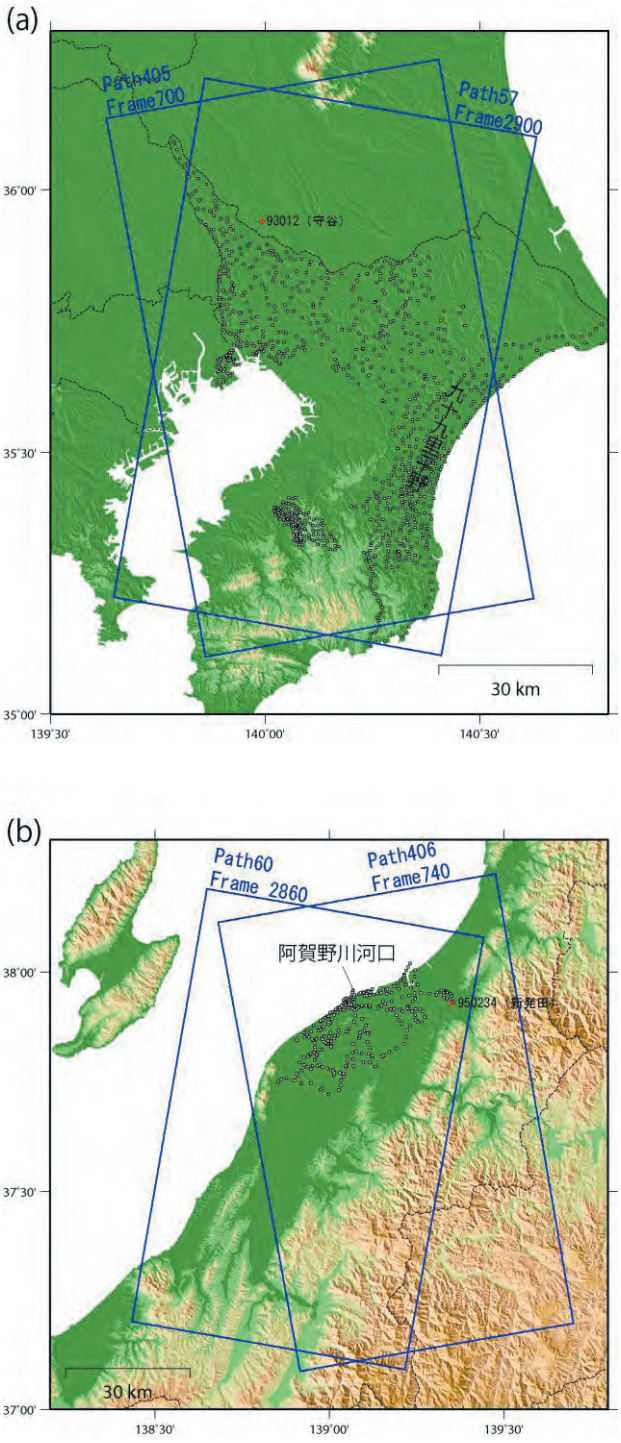


図-1　検証地域図.
(a)九十九里平野　(b)新潟平野．青枠は本研究で使用した PALSAR 撮像範囲を示す．口印は検証地域で地盤沈下調査に使用している水準点の位置を示し，赤■印は SAR 干渉解析の参照点とした電子基準点の位置を示す.

九十九里平野の地盤沈下は，主として天然ガスを含む地下水の採取によるものであるとされ，2006 年 1 月 1 日から 2011 年 1 月 1 日まで 5 年間の沈下量が 6 ㎝を超える地域の面積はおよそ 200km^2 におよび，現在でも非常に広範囲で地盤沈下が継続している地域である（千葉県環境生活部，2011）.

新潟平野の地盤沈下は，主に水溶性天然ガスの採取によるものとされる．近年，地盤沈下は沈静化してきており，5 年間の沈下量が 6 ㎝を超える沈下は阿賀野川河口付近のみである（新潟県県民生活・環境部，2012）.

九十九里平野の解析には Path405，Frame700（北行軌道）及び Path57，Frame2900（南行軌道）を使用した（図-1(a)）．両シーン共に観測回数が多く，データ量は豊富である．新潟平野の解析には Path406，Frame740（北行軌道）及び，Path60，Frame2860（南行軌道）のデータを使用した（図-1(b)）．このうち Path60 は 2006 年には撮影が実施されていない．また，干渉 SAR は積雪時期のデータを使用すると干渉性が著しく低下し，測定精度が低下するため，新潟平野では積雪時のデータは使用することができない．そのため，新潟平野で使用したデータは，九十九里平野と比較すると少ない.

3. SAR 干渉解析

3.1 スタッキング

3.1.1 解析手順

スタッキングとは，複数の SAR 干渉解析の結果を足し合わせ，期間の合計で除算することであり，これにより平均変動速度を求める手法である．複数のデータを足し合わせることで，電離層の電子密度分布や水蒸気分布の変化等による時間的にランダムな誤差が低減され S/N 比が向上する.

今回は以下の手順で解析を実施した.

1)垂直基線長が短く，かつ，年間数 cm というわずかな変動量を捉えるため時間間隔が 2〜3 年のペアを抽出する．新潟平野では，積雪による影響を避けるために 1 月及び 2 月のデータは除外した．また，新潟平野では，Path60 は 2006 年には撮影が実施されていないため，北行軌道と南行軌道の期間を統一するために，Path406 でも 2006 年のデータは使用しないこととした.

2)抽出したペアを解析し，ジオコードしたアンラップデータを得る．解析の際には GPS 補正（飛田ほか，2005）を実施した．GPS 補正における参照点は，九十九里平野における解析では 93012（守谷），新潟平野では 950234（新発田）とした（図-1）．なお，解析の結果，ノイズが非常に大きなペアは除外した.

3) 2)で得られた結果を加算し，解析ペアの期間の合計で除算し，変動速度を計算した（スタッキング）.

4) 3)で得られた結果から，北行軌道と南行軌道の 2 方向の解析結果を合成し，変動量を準東西方向と

This document is provided by JAXA.

準上下方向の成分へ分離する 2.5 次元解析（Fujiwara et al., 2000）により，準上下方向の変動量を算出した. 2.5 次元解析により求められる準上下方向の変動量は, 実際には地表面から約 83 度傾いた方向の変動量であるが，この変動量は鉛直方向の 0.99 倍であり，本稿では上下方向の変動量と見なす.

3.1.2 解析結果

最終的にスタッキングに使用したペアは表-1 及び表-2 に示すとおりである．九十九里平野ではそれぞれ 12 ペアを使用したが，新潟平野では，手順 1)の条件に合致するペアが多くない上に，特に北行軌道のデータでは電離層に起因すると思われる大きなノイズが含まれる画像が多かったために，最終的に 7 ペアのみを使用した.

表-1　九十九里平野において解析に使用したペア.

(a) 北行軌道

	観測日（マスター） 観測日（スレーブ）	基線長（m）
1	2006/08/08 2009/02/13	159
2	2006/11/08 2008/06/28	−289
3	2006/11/08 2009/11/16	58
4	2006/12/24 2008/09/28	−847
5	2006/12/24 2008/12/29	−445
6	2007/08/11 2009/11/16	−384
7	2007/09/26 2010/04/03	519
8	2007/12/27 2010/02/16	−38
9	2008/02/11 2010/07/04	−391
10	2008/03/28 2010/10/04	−96
11	2008/03/28 2011/01/04	290
12	2008/03/28 2011/02/19	996

(b) 南行軌道

	観測日（マスター） 観測日（スレーブ）	基線長（m）
1	2006/10/11 2008/12/01	−134
2	2006/10/11 2009/01/16	184
3	2006/11/26 2008/10/16	−394
4	2007/02/26 2009/09/03	−438
5	2007/02/26 2009/10/19	−131
6	2007/07/14 2009/12/04	−200
7	2007/11/29 2010/07/22	33
8	2008/01/14 2010/09/06	181
9	2008/05/31 2010/10/22	−527
10	2008/05/31 2010/12/07	0
11	2008/05/31 2011/01/22	400
12	2008/07/16 2009/06/03	96

表-2　新潟平野において解析に使用したペア.

(a) 北行軌道

	観測日（マスター） 観測日（スレーブ）	基線長（m）
1	2007/08/27 2009/09/02	−894
2	2007/10/13 2009/12/03	−915
3	2007/11/28 2010/03/05	2
4	2007/11/28 2010/04/20	188
5	2008/04/14 2010/10/21	−511
6	2008/04/14 2010/12/06	−416
7	2008/05/30 2010/09/05	−567

(b) 南行軌道

	観測日（マスター） 観測日（スレーブ）	基線長（m）
1	2007/07/19 2009/12/09	−27
2	2007/07/19 2009/03/11	559
3	2007/10/19 2010/06/11	469
4	2007/10/19 2010/07/27	410
5	2007/12/04 2010/09/11	691
6	2008/06/05 2010/10/27	−235
7	2008/07/21 2009/09/08	62

2.5 次元解析により算出した, 九十九里平野及び新潟平野の上下方向の変動速度図をそれぞれ，図-2 及び図-3 に示す．図-2 では，九十九里平野から下総台地にかけた広い範囲，東京湾岸の埋立地及び常総市付近において地盤沈下を示す変動が確認できる．図-3 では，阿賀野川河口付近及び三条市付近において地盤沈下を示す変動が確認できる. これらの地域は，自治体等により水準測量による地盤沈下調査が実施されていない三条市付近を除き，毎年の水準測量により地盤沈下の推移が詳細に計測されている地域である. 干渉 SAR による結果と水準測量による結果の比較については第 4 章で述べる.

スタッキングにおいて，精度を向上させるための重要な要素の一つがデータ量である．独立したデータの数が多いほどより効果的な誤差の軽減が期待できる．最低どの程度のデータが必要かを検証するために，九十九里平野において，北行軌道及び南行軌道でそれぞれ，ノイズが少ない画像を独立した 3 ペアずつ選び，上下方向の変動量を算出すると，図-4 となる．使用したペアは，北行軌道が表-1 における 7，8，9 のペアであり，南行軌道が 6，7，8 のペアである．図-2 と図-4 とを比較すると，地盤沈下の領域は範囲，大きさ共に大きな違いはなく，使用するデータが 3 ペア程度であっても，誤差の軽減効果が確認できる.

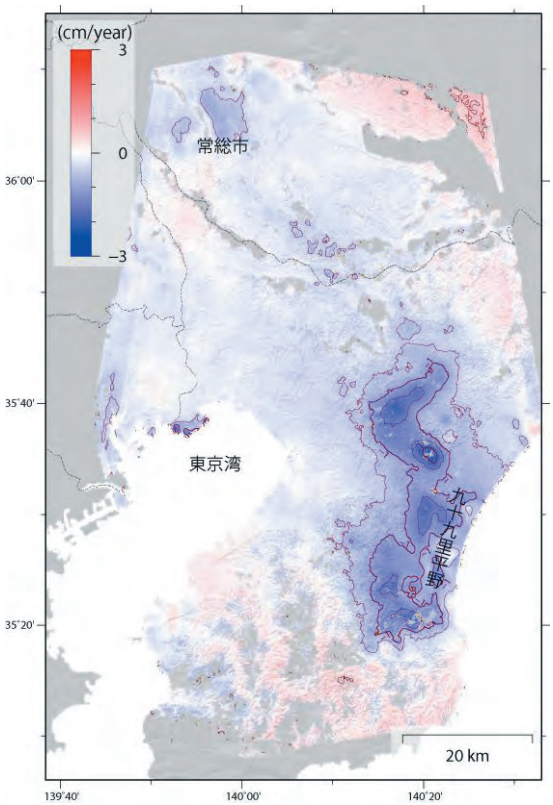


図-2　九十九里平野の上下方向の平均変動速度. 等量線間隔は 5mm.

This document is provided by JAXA.

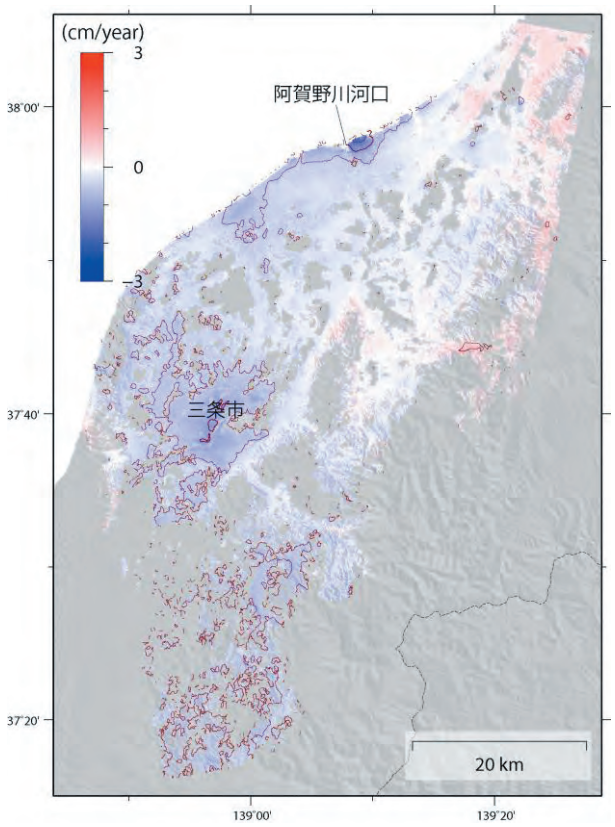


図-3　新潟平野の上下方向の平均変動速度．等量線間隔は5mm.

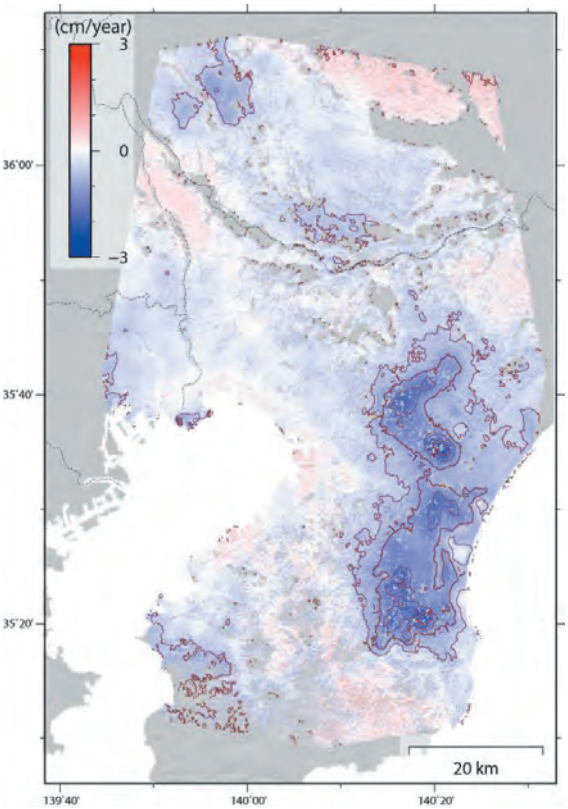


図-4　ノイズが少ない独立した 3 ペアずつの解析画像を用いて算出した九十九里平野の上下方向の平均変動速度. 等量線間隔は 5mm.

3.2 干渉 SAR 時系列解析

3.2.1 干渉 SAR 時系列解析の概要

干渉 SAR 時系列解析は，多量のデータを使用して大気や軌道誤差に起因するノイズを統計的に推定・除去することで変動計測精度を向上させる解析手法である．統計的にノイズを推定するために，ある程度のデータ量が必要である．

干渉 SAR 時系列解析は，PSI（Persistent Scatterer Interferometry）と SBAS（Small Baseline Subset algorithm）という二つのカテゴリーに分類される．

PSI は全解析期間で後方散乱特性が変化しない点（PS 点）を抽出し，それらのピクセルのみで変動を推定する（Ferretti et al.，2000，2001）．PS 点においては，空間及び時間干渉度低下は小さく，長期間かつ長基線長のペアでも干渉度低下によるノイズが小さい干渉結果を得ることができる．人工構造物等のように長期間変化しない物体が PS 点となり得る．

一方，SBAS は，短い垂直基線長及び短い撮像日間隔の SAR 干渉画像を多数作成し，各観測時の変動量を推定する（Berardino et al.，2002）．これにより，空間及び時間干渉度低下の影響を最小限に抑えて，時系列的な変動を抽出できる．

また，両手法の利点を活かした統合的な解析手法も開発されている（Hooper，2008）．

3.2.2 解析手順

本研究では，非商用に限り無償で利用可能な PSI の解析ソフトウェアである StaMPS/MTI（Hooper et al.，2004，2007）を使用した．StaMPS を使用した PSI のおおまかな解析手順は以下のとおりである．

1)使用する画像のうち一枚をマスター画像とし，他の全ての画像（スレーブ画像）と干渉解析処理を行う．

2)PS 点を抽出する．本解析では，抽出された PS 点を 50m 間隔のグリッド上に重み付平均処理を用いてリサンプリングしている．

3)位相アンラップを行う．

4)すべての画像に含まれるマスター画像の誤差成分を除去する．また，軌道誤差に相当する位相傾斜平面を推定し，除去する．

5)時間軸上のハイパスフィルタ及び空間ローパスフィルタをかけることにより時間軸に対し独立に表れるスレーブ画像の誤差成分を抽出し，抽出した誤差成分を除去する．

表-3 及び表-4 に本研究における解析で最終的に使用した ALOS/PALSAR データを垂直基線長と共に示す．九十九里平野における北行軌道の解析では，2008/06/28 のデータを，南行軌道の解析では 2008/07/16 のデータをマスター画像とした．また，新潟平野における北行軌道の解析では，2009/07/18

This document is provided by JAXA.

のデータを南行軌道の解析では2009/09/08をマスター画像とした．ただし，スタッキングにおける解析と同様に，新潟平野においては2006年のデータ及び1月，2月のデータは使用していない．また，理想的なPS点の干渉度は基線長に依存しないとされているが，実際には，基線長が極端に長いと干渉度が低下するため，基線長が5000mを超えるような長いデータは解析には使用していない．

表-3　九十九里平野における解析に使用したデータ．

(a) 北行軌道

	観測日	基線長(m)
1	2006/09/23	410
2	2006/11/08	382
3	2006/12/24	−1030
4	2007/05/11	915
5	2007/06/26	546
6	2007/08/11	732
7	2007/09/26	852
8	2007/12/27	1276
9	2008/02/11	2214
10	2008/03/28	2320
11	2008/06/28	0
12	2008/09/28	−1906
13	2008/11/13	−1525
14	2008/12/29	−1494
15	2009/02/13	−765
16	2009/07/01	−309
17	2009/10/01	199
18	2009/11/16	347
19	2010/02/16	1229
20	2010/04/03	1377
21	2010/05/19	1590
22	2010/07/04	1822
23	2010/08/19	1971
24	2010/10/04	2216
25	2010/11/19	2179
26	2011/01/04	2608

(b) 南行軌道

	観測日	基線長(m)
1	2006/08/26	−2568
2	2006/10/11	−1390
3	2006/11/26	−1461
4	2007/01/11	1328
5	2007/02/26	260
6	2007/07/14	765
7	2007/08/29	688
8	2007/10/14	1179
9	2007/11/29	1683
10	2008/01/14	1875
11	2008/05/31	2882
12	2008/07/16	0
13	2008/10/16	−1882
14	2008/12/01	−1544
15	2009/01/16	−1223
16	2009/06/03	178
17	2009/07/19	−324
18	2009/09/03	−199
19	2009/10/19	133
20	2009/12/04	565
21	2010/04/21	1830
22	2010/06/06	1716
23	2010/07/22	1722
24	2010/09/06	2057
25	2010/10/22	2349

表-4　新潟平野における解析に使用したデータ．

(a) 北行軌道

	観測日	基線長(m)
1	2007/07/13	1043
2	2007/08/28	1345
3	2007/10/13	1761
4	2007/11/28	1819
5	2008/04/14	3243
6	2008/05/30	3062
7	2008/07/15	9
8	2008/10/15	−1522
9	2008/11/30	−1306
10	2009/07/18	0
11	2009/09/02	443
12	2009/10/18	780
13	2009/12/03	841
14	2010/03/05	1819
15	2010/04/20	2010
16	2010/06/05	2186
17	2010/07/21	2239
18	2010/09/05	2484
19	2010/10/21	2727
20	2010/12/06	2827

(b) 南行軌道

	観測日	基線長(m)
1	2007/07/19	697
2	2007/10/09	1330
3	2007/12/04	1600
4	2008/06/05	2778
5	2008/07/21	−107
6	2008/09/05	−1920
7	2008/10/21	−1920
8	2009/04/23	−729
9	2009/09/08	0
10	2009/10/24	328
11	2009/12/09	668
12	2010/03/11	1265
13	2010/04/26	1751
14	2010/06/11	1802
15	2010/07/27	1748
16	2010/09/11	2298
17	2010/10/27	2535

3.2.3 解析結果

PSIによる九十九里平野の変動時系列を図-5に，新潟平野の変動時系列を図-6に示す．　九十九里平野においては93012（守谷），新潟平野では950234（新発田）を参照点とした．各変動図は，参照点から半径100m以内のPS点の変動量の平均値を0となるように固定し作成している．

九十九里平野の広い範囲（図-5(a)），茨城県常総市付近（図-5(b)）及び東京湾岸の埋立地（図-5(c)）等において，経年的な衛星―地上方向の伸びが見られる．また，新潟平野においては，阿賀野川河口付近（図-6(a)）や柏崎市付近（図-6(b)）等で経年的な衛星―地上方向の伸びが見られる．これら衛星―地上方向の伸びの変化は地盤沈下による変動を表している．

柏崎市等の新潟県内の地盤沈下地域では，冬季には融雪用の地下水汲上げによる季節的な地盤沈下が発生しているはずである（新潟県県民生活・環境部，2012）が，図-6からはその季節的な変動を読みとることはできない．これは，スレーブ画像の誤差成分を除去する操作の過程で，時間軸に対して短周期の変動を除去してしまっている可能性がある．

PSIにより求めた九十九里平野の平均変動速度を図-7に，新潟平野の平均変動速度を図-8に示す．

北行軌道の画像と南行軌道の画像では，PS点となり得る地物はほぼ同じはずである．また，前述の通り本解析では，抽出されたPS点を50m間隔のグリッド上にリサンプリングしており，北行軌道の画像と南行軌道の画像では，同じ地物を示すPS点は同じ座標値を持つ．そこで，PSIによる北行軌道及び南行軌道の結果から2.5次元解析により変動量を東西方向と上下方向の成分へ分離した．このとき変動量を分離するのは，北行軌道の画像と南行軌道の画像の双方に値が存在するピクセルのみである．

九十九里平野及び新潟平野の平均変動量から求めた上下方向の変動図をそれぞれ，図-9及び図-10に示す．

人工構造物が密集している東京都心部はPS点が密に存在し，東京湾埋立地の小規模な地盤沈下等を明瞭に検出している．一方，郊外は都市部と比較すると，PS点の密度が粗になるが，九十九里平野においても，新潟平野においても既知の地盤沈下が明瞭に確認できる．ただし，山間部においてはPS点がほとんど得られず，PSIでは，このような地域の変動を検出することはできない．

This document is provided by JAXA.

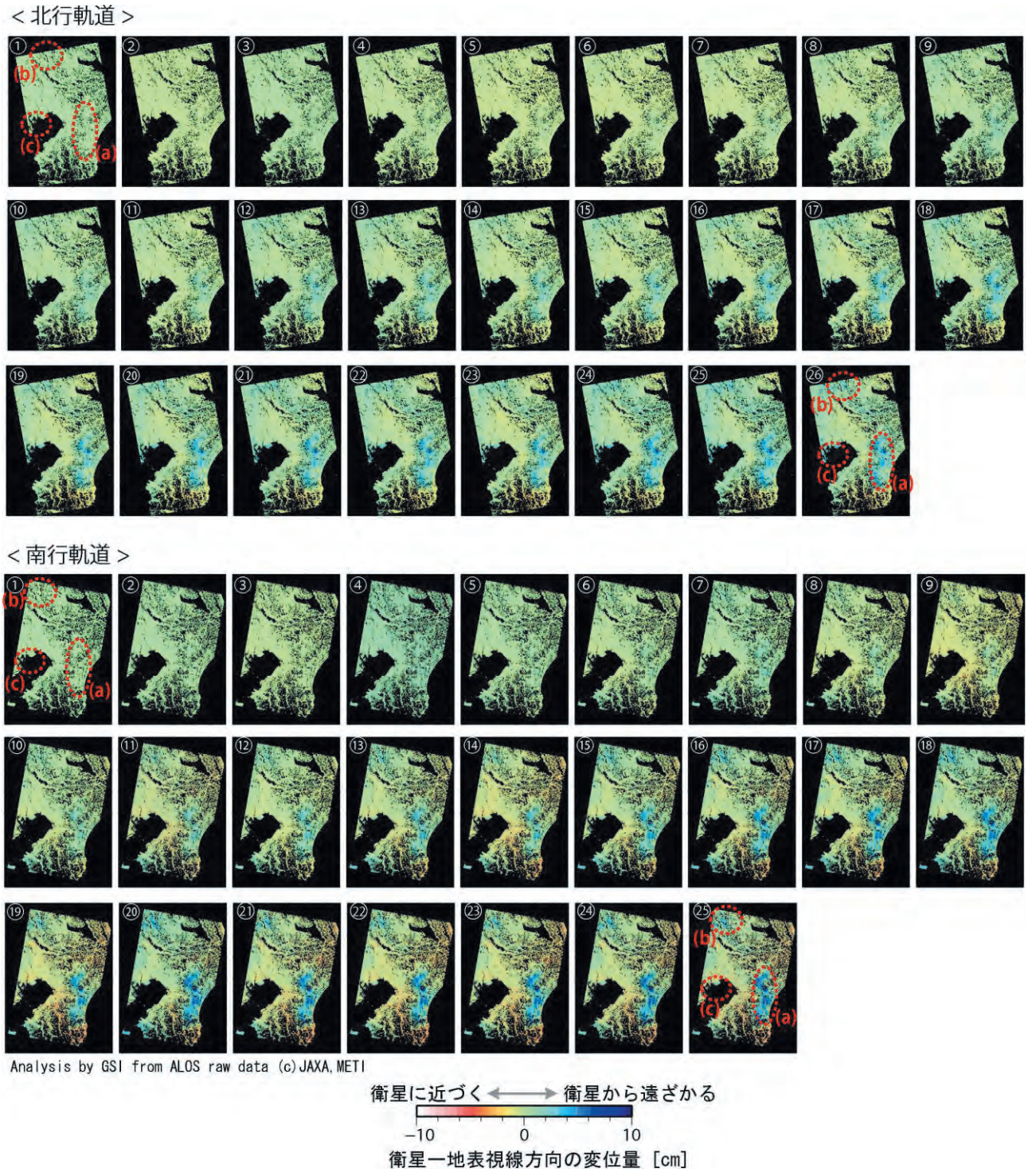


図-5　PSI による九十九里平野の変動時系列.

各図の左上に付した番号はそれぞれ表-3 の番号と対応している. 北行軌道は 2006/09/23 を南行軌道は 2006/07/26 を基準日とし，各図は基準日からの変動量を示しており，アンラップ位相から DEM 誤差位相，全画像の大気，推定位相傾斜平面を差し引いた変動量である.

赤点線枠(a)は九十九里平野，(b)は茨城県常総市付近，(c)は東京湾岸地域を示し，これらの地域では経年的な衛星—地上方向の伸びが見られる.

This document is provided by JAXA.

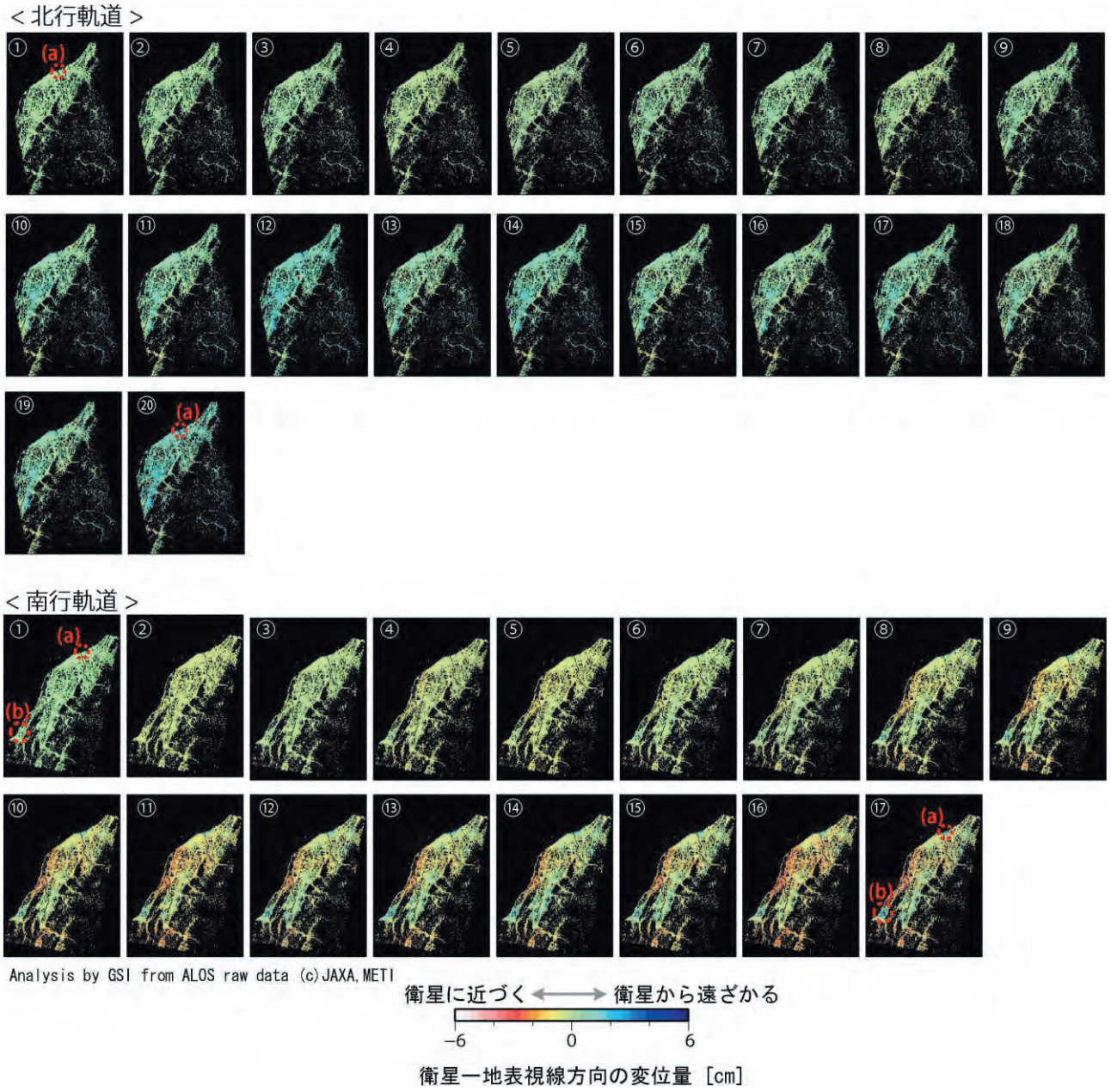


図-6　PSI による新潟平野の変動時系列.

各図の左上に付した番号はそれぞれ表-4 の番号と対応している. 北行軌道は 2007/07/13 を南行軌道は 2007/07/19 を基準日とし，各図は基準日からの変動量を示しており，アンラップ位相から DEM 誤差位相，全画像の大気，推定位相傾斜平面を差し引いた変動量である.

赤点線枠(a)は阿賀野川河口域，(b)は柏崎市付近を示し，これらの地域では経年的な衛星—地上方向の伸びが見られる.

This document is provided by JAXA.

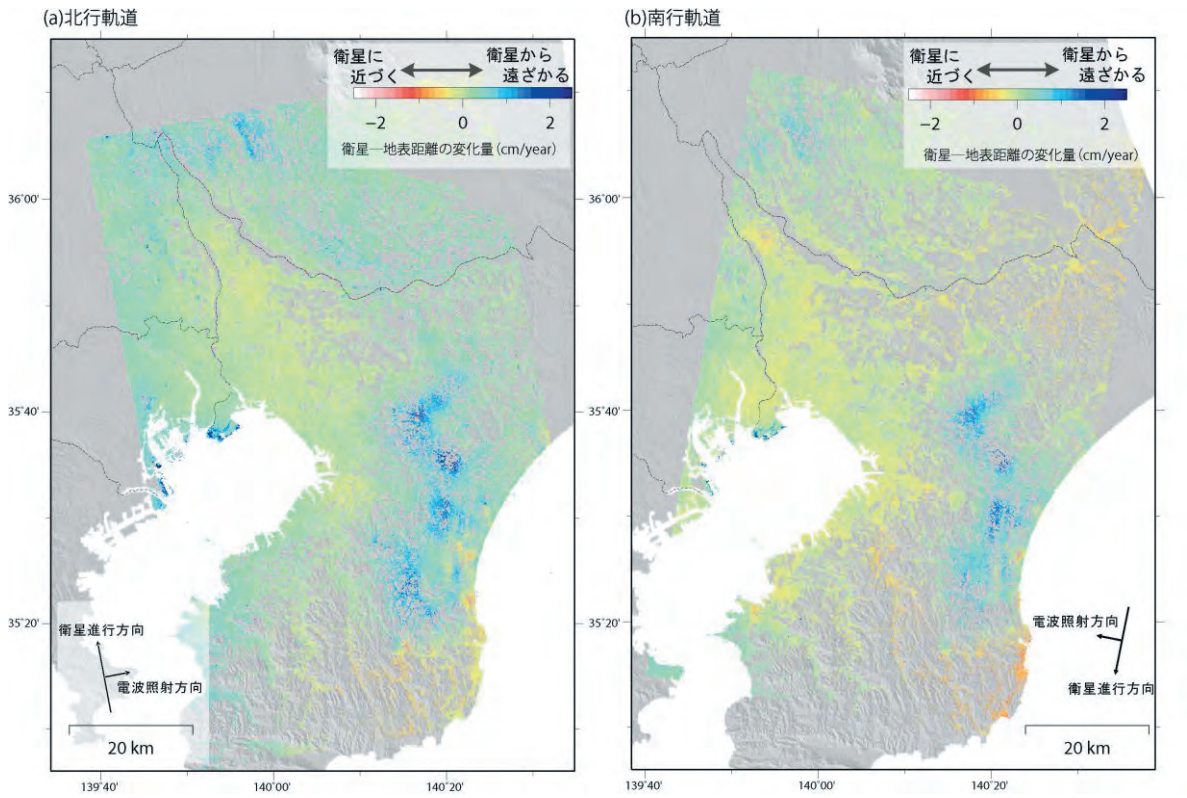


図-7　PSI により求めた九十九里平野の平均変動速度.
　　図はアンラップ位相の平均変動量から DEM 誤差位相，平均推定位相平面を差し引いた変動速度である.

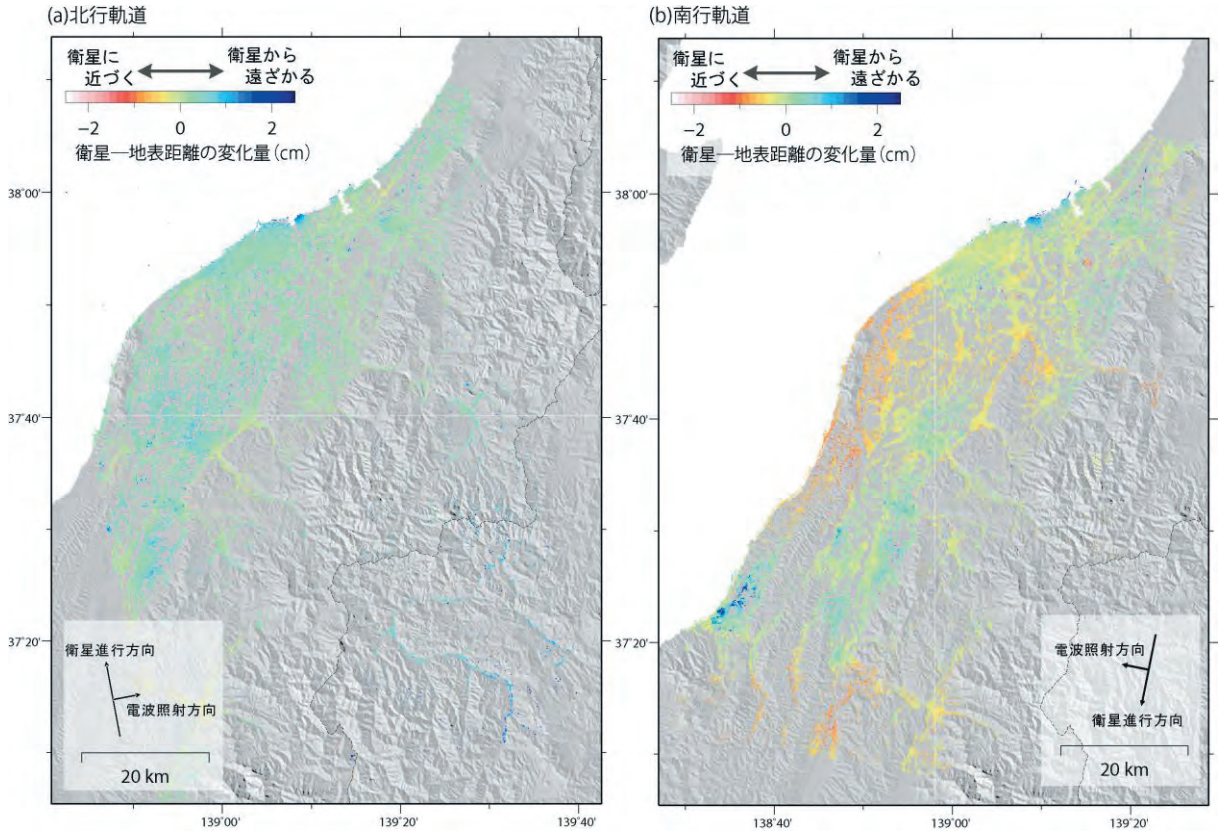


図-8　PSI により求めた新潟平野の平均変動速度.
　　図はアンラップ位相の平均変動量から DEM 誤差位相，平均推定位相平面を差し引いた変動速度である.

This document is provided by JAXA.

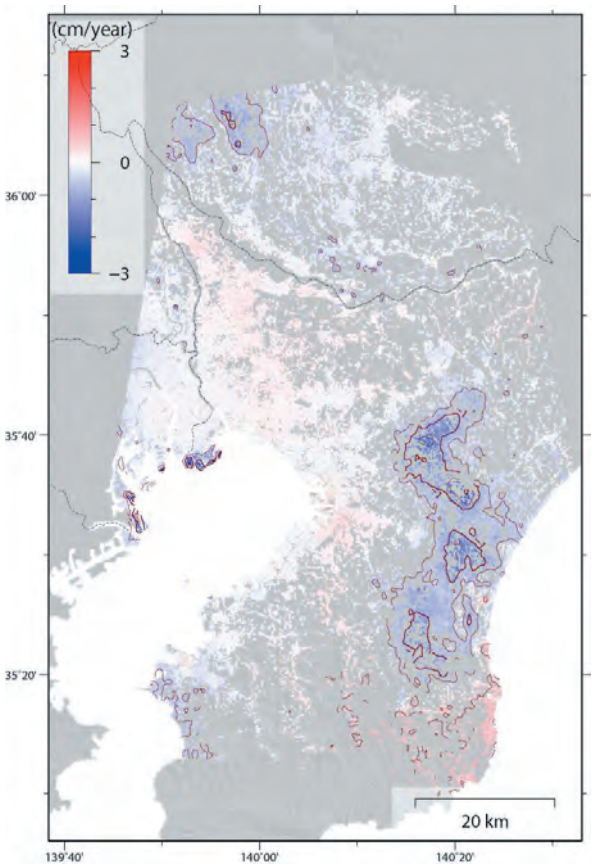


図-9　PSI により求めた九十九里平野の上下方向の平均変動速度．等量線間隔は 5mm.

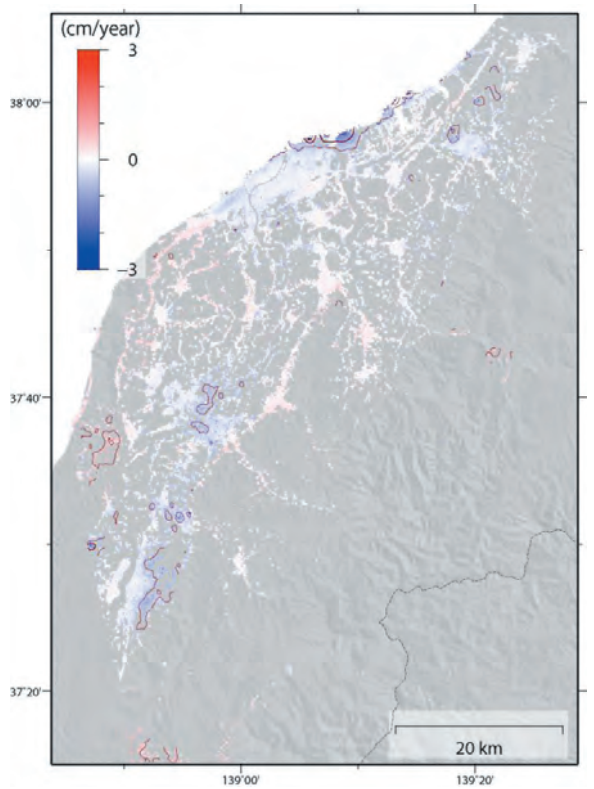


図-10　PSI により求めた九十九里平野の上下方向の平均変動速度．等量線間隔は 5mm.

4. 比較

4.1 スタッキングと PSI との比較

スタッキングにより検出された地盤沈下の変動速度と PSI により検出された地盤沈下の変動速度との比較を行った．

スタッキングにより作成した変動図は，ほとんどのピクセルが値を持っており，いわば面的なデータである．一方，PSI により算出した変動図は，PS 点となったピクセルのみが値を持つ点のデータである．これらを比較するために，PSI により算出した変動図から Kriging 法による内挿補間により，各ピクセルの変動量を推定し，両者の比較を行った．

図-11 及び図-12 はそれぞれ九十九里平野及び新潟平野において比較を行った結果である．

第 3 章で述べたとおり，九十九里平野における解析においては，スタッキングによる結果でも，PSI においても，九十九里平野の広い範囲，茨城県常総市付近及び東京湾岸の埋立地等において地盤沈下が確認できる．両者の差をみると，これら地盤沈下地域において両解析手法による変動量は，変動の範囲，大きさともにほぼ一致していることがわかる（図-11，赤点線枠部分）．

その一方で，房総半島の南部では，北行軌道，南行軌道の双方で，約 1cm の解析手法による差が見られ，この差は東西方向の変動量の推定誤差として現われている（図-11，青点線枠部分）．3.2.2 節で述べたように本研究における PSI においては，軌道誤差成分を推定し，除去している．しかし，この処理は，たとえばプレート運動によるテクトニックな変動のような，画像全体に現れるような空間的に長波長の変動を誤差成分として消してしまう．この地域は，プレート運動により画像の北側と比較して画像の南側は北西方向に定常的に変動しているが（国土地理院，2011），PSI ではこの変動を誤差として除去してしまったために，スタッキングによる結果との差がでたと考えられる．

新潟平野における解析においては，スタッキングによる結果でも，PSI においても，阿賀野川河口及び柏崎市付近（南行軌道のみ）等において地盤沈下が確認でき，これら地盤沈下地域において両解析手法による変動量は，変動の範囲，大きさともにほぼ一致している（図-12，赤点線枠部分）．しかし，九十九里平野の場合と同様に，特に北行軌道の画像において 5mm 程度の空間的に長波長の変動量の差が見られる（図-12，青点線枠部分）．

This document is provided by JAXA.

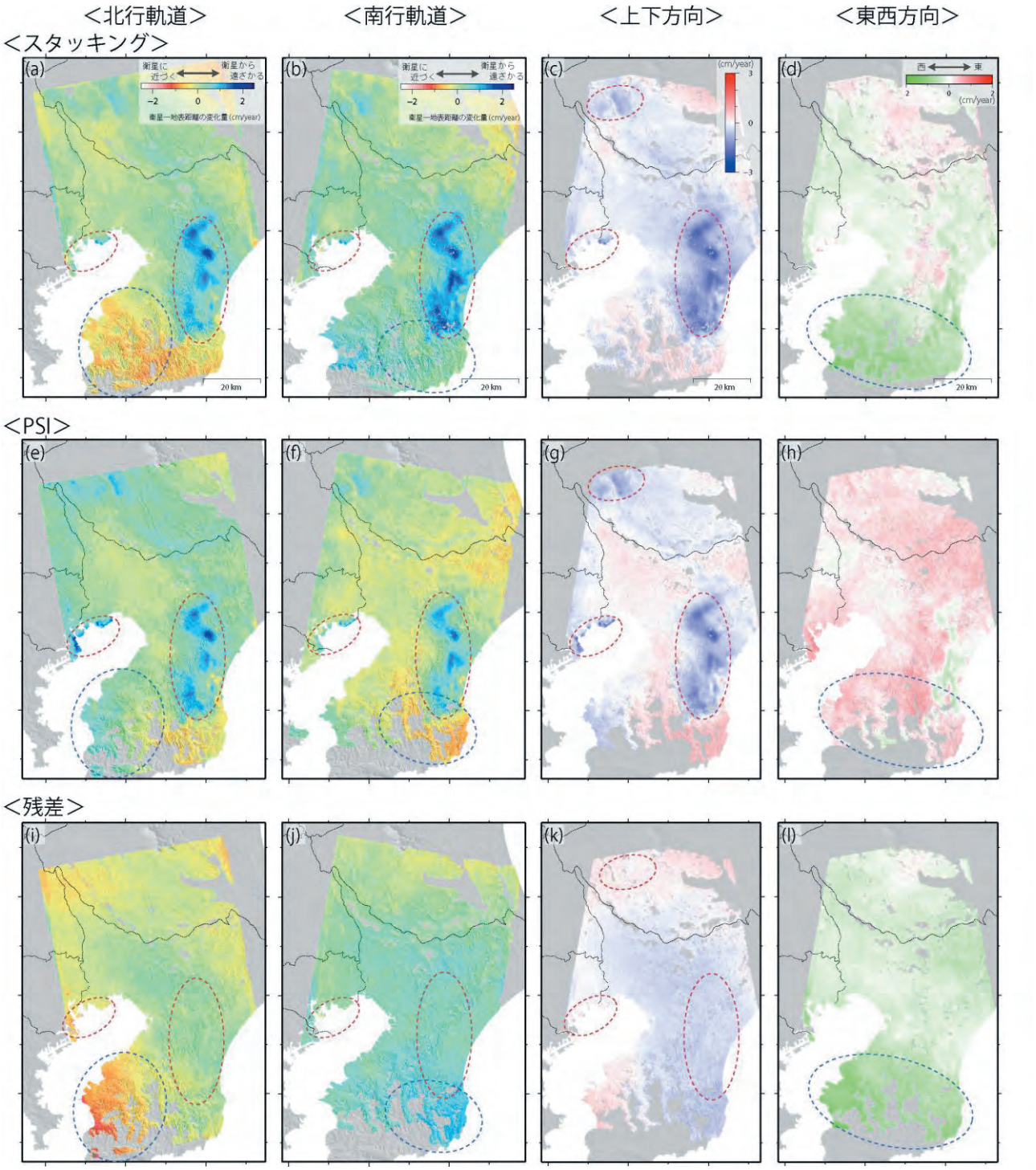


図-11　九十九里平野におけるスタッキングにより検出された変動量と PSI により検出された変動量との比較．
(a)〜(d)：スタッキングにより求めた変動図．(e)〜(h)：PSI に求めた変動図から Kriging 法による補間により作成した変動図．(i)〜(l)：それぞれスタッキングによる変動量から PSI による変動量を差し引いた残差．(a)，(e)，(i)は北行軌道，(b)，(f)，(j)は南行軌道，(c)，(g)，(k)は上下方向，(d)，(h)，(l)は東西方向の変動を示す．
赤点線枠は地盤沈下による局所的な変動を示し，この地域では変動量の範囲や大きさに，手法の違いによる大きな差は見られない．青点線枠は手法による変動量の差が見られる地域を示す．

This document is provided by JAXA.

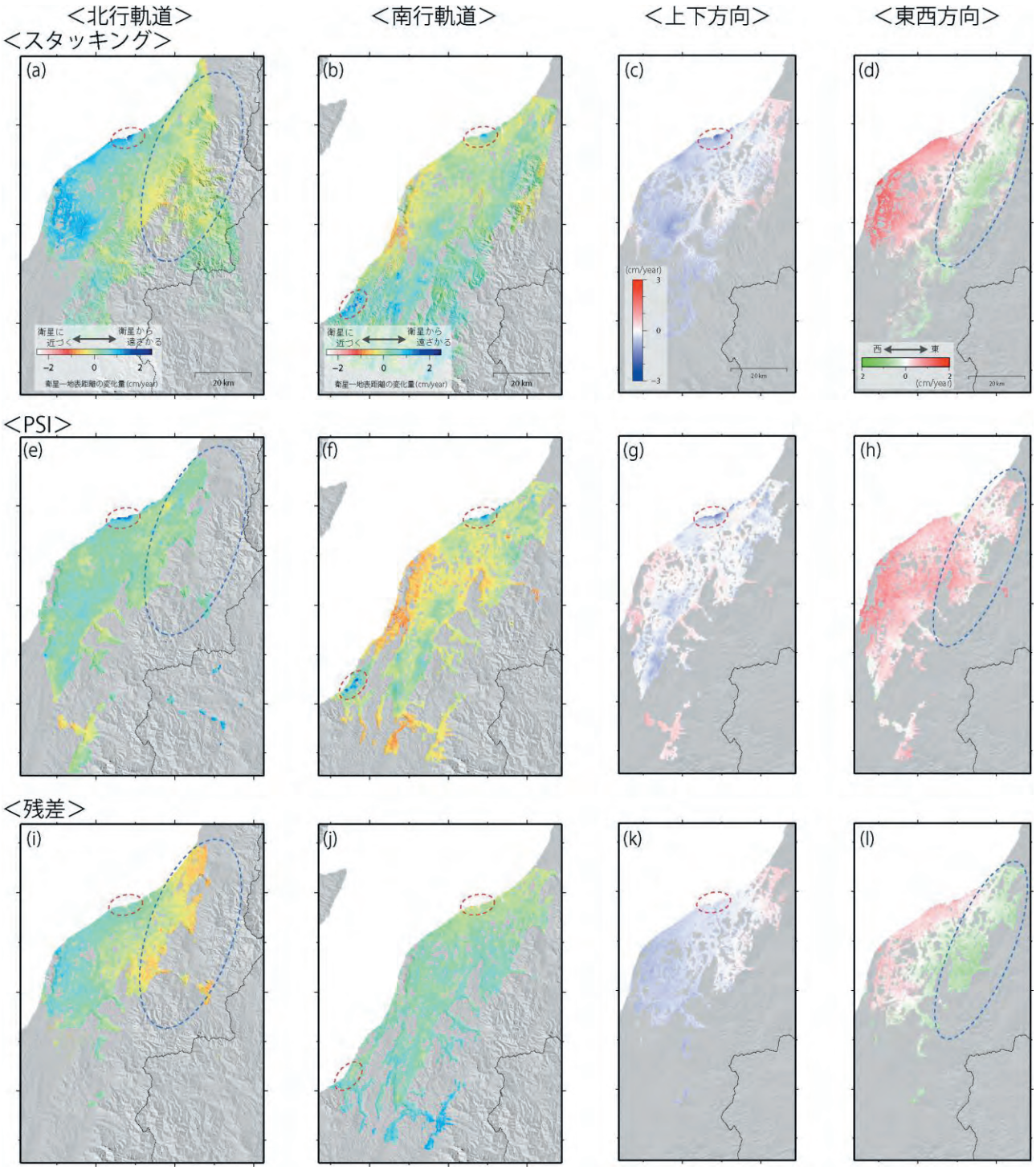


図-12　新潟平野におけるスタッキングにより検出された変動量と PSI により検出された変動量との比較．
(a)～(d)：スタッキングにより求めた変動図．(e)～(h)：PSI により求めた変動図から Kriging 法による補間により作成した変動図．(i)～(l)：それぞれスタッキングによる変動量から PSI による変動量を差し引いた残差．(a), (e), (i)は北行軌道，(b), (f), (j)は南行軌道，(c), (g), (k)は上下方向，(d), (h), (l)は東西方向の変動を示す．赤点線枠は地盤沈下による局所的な変動を示し，この地域では変動量の範囲や大きさに，手法の違いによる大きな差は見られない．青点線枠は手法による変動量の差が見られる地域を示す．

4.2 水準測量との比較

第 3 章で求めたスタッキング及び時系列解析の結果がどの程度の精度を持つのかを検証するために水準測量との結果の比較を行った．比較に使用した水準測量のデータは，地盤沈下の調査のために一年に一回観測され，千葉県（九十九里平野）及び新潟県（新潟平野）によりとりまとめられたものである．比較に使用した水準点の位置は，図-1 に示すとおり

This document is provided by JAXA.

であり，SAR 干渉解析結果の上下方向の変動図において，水準点の座標から 100m 以内で最も近いピクセルを水準点と同じ位置であると見なし，比較を行った．　100m 以内に値をもつピクセルが存在しない水準点については比較を行っていない．

図-13 は，グラフの横軸に水準測量の結果を，縦軸に干渉 SAR による結果をとり，九十九里平野及び新潟平野において，スタッキング及び PSI から求めた平均変動速度と水準測量の結果から求めた平均変動速度を比較したものである．九十九里平野において比較に使用した水準測量のデータは2006年1月から 2011 年 1 月の観測データであり，この期間中の観測回数が 3 回以下の点は比較する点から除外した．

新潟平野において比較に使用した水準測量のデータは 2007 年 9 月から 2010 年 9 月の観測データであり，この期間中の観測回数が 2 回以下の点は比較する点から除外した．

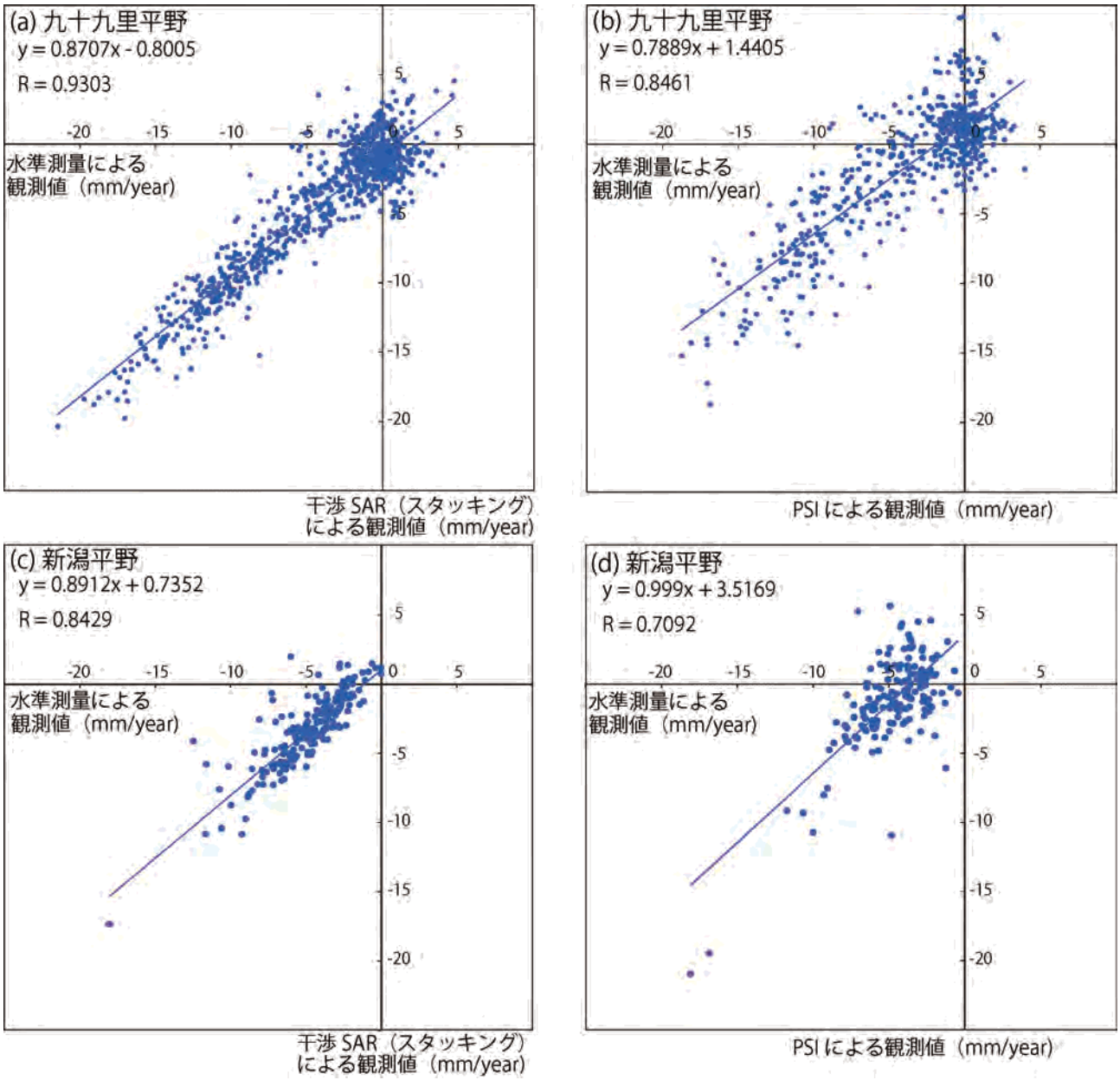


図-13　干渉 SAR により求めた変動速度と水準測量結果との比較．

(a)：九十九里平野におけるスタッキングにより求めた変動速度と水準測量結果との比較．

(b)：九十九里平野における PSI により求めた変動速度と水準測量結果との比較

(c)：新潟平野におけるスタッキングにより求めた変動速度と水準測量結果との比較．

(d)：新潟平野における PSI により求めた変動速度と水準測量結果との比較．

This document is provided by JAXA.

スタッキングによる観測値と水準測量の観測値は，九十九里平野においても，新潟平野においても，相関係数は非常に大きく，残差の RMS は 2mm/year 以下であり，非常によく一致している（表-5）．また，水準測量との較差は最大でも 1cm 以下である．ただし，回帰直線の傾きがおよそ 0.9 となり，干渉 SAR の結果は水準測量と比べると，全体として小さく計測される傾向がある．

表-5　干渉 SAR による変動速度と水準測量結果との較差

地区	解析手法	比較に使用した点数（点）	残差の最大値 (mm/year)	残差の RMS (mm/year)
九十九里平野	スタッキング	903	7.8	1.9
	PSI	534	10.2	2.6
新潟平野	スタッキング	178	7.5	1.4
	PSI	157	11.1	2.4

九十九里平野のような広域な沈下が見られる地域と，新潟平野のように沈下の範囲が局所的な地域においても，スタッキングにより求めた平均変動速度は水準測量の結果とよく一致したことから，長期間の地盤沈下の地域を特定するのに十分な精度を持っているといえる．

一方，PSI による観測値は，九十九里平野においても，新潟平野においても，スタッキングと比較すると，水準測量の結果との較差が大きい（表-5）．この原因の一つとしては，位相傾斜平面を推定・除去していることが考えられる．上下方向の変動量は相対的にみると，九十九里平野においては南東側がマイナスに（図-2）新潟平野においては西側がマイナス（図-3）に偏っている．そのために，この全体的な傾きを補正するように傾斜平面を推定している可能性がある．

広範囲の解析を実施する際には，衛星の軌道誤差を除去する必要があり，国土地理院では，通常の SAR 干渉解析を実施する際に，GPS 補正を行ってきた．軌道誤差の推定は，真の変動も消してしまう可能性があり，PSI を行う場合でも，この誤差成分を推定するのではなく，GPS を利用することで精度を向上させることができる可能性がある（福島・Hooper, 2011）．

年間 2cm 以上の地盤沈下が発生すると，建物等に影響が生じる可能性があるとされ（環境庁水質保全局企画課・地盤沈下防止対策研究会，1990），地盤沈下の調査の際には，年間 2cm 以上の変動の有無が，一つの基準となっている（環境省，2012）．今回，干渉 SAR による観測値と水準測量による観測値を比較したところ，残差の RMS はいずれの手法・地域においても 3mm 以下であり，残差は最大でも 11mm であった．この結果は，干渉 SAR において，多数のデータを用いることで，年間 2cm 以上の地盤沈下地域を特定するのに十分な精度が得られることを示している．

5. まとめ

定常的に地盤沈下が報告されている九十九里平野及び新潟平野において，スタッキング及び PSI を実施した．これら地盤沈下地域において両解析手法による変動量は，変動の範囲，大きさともにほぼ一致した．

また，スタッキング及び PSI の結果がどの程度の精度を持つのかを検証するために水準測量との結果の比較を行った．その結果，年間 2cm 以上の地盤沈下地域を特定するのに十分な精度を得られることが確認された．

今回，多数の画像を用いた解析を行うことが，長期間にわたり継続する微少な変動の監視に対して有効であることが確認できた．また，自治体等が地盤沈下調査の水準測量を計画する際に，干渉 SAR の結果を活用することにより，沈下範囲を面的に把握したうえで水準測量を実施することが可能となり，効率的な地盤沈下調査が実施できるものと期待される．

謝辞

本研究で使用した「だいち」の PALSAR データの所有権は，（独）宇宙航空研究開発機構及び経済産業省にあります．これらのデータは，「陸域観測技術衛星を用いた地理空間情報の整備及び高度利用に関する協定」に基づき，（独）宇宙航空研究開発機構から提供を受けています．また，千葉県及び新潟県がとりまとめた水準測量の結果を使用しました．この場を借りて，御礼申し上げます．

（公開日：平成 25 年 3 月 26 日）

参 考 文 献

Berardino, P., G. Fornaro, R. Lanari, and E. Sansosti （2002）: A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 40, 2375–2383.

出口知敬・六川修一・松島潤（2009）: 干渉 SAR 時系列解析による長期地盤変動計測，日本リモートセンシング学会誌，Vol.29，No.2，418-428.

Ferretti, A., C. Prati, and F. Rocca （2000）: Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in

This document is provided by JAXA.

differential SAR interferometry, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 38, 2202-2212.
Ferretti, A., C. Prati, and F. Rocca （2001）: Permanent scatterers in SAR interferometry, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 39, 8-20.
福島洋・Hooper Andrew（2011）: PS 干渉解析による 2004 年新潟県中越地震後の地殻変動，測地学会誌，57, 195-214.
Fujiwara, S., T. Nishimura, M. Murakami, H. Nakagawa and M. Tobita (2000): 2.5-D surface deformation of M6.1 earthquake near Mt Iwate detected by SAR interferometry, Geophysical Research Letters, 27, 2049-2052.
Hooper, A., H. Zebker, P. Segall, and B. Kampes （2004）: A new method for measuring deformation on volcanoes and other natural terrains using InSAR persistent scatterers, Geophys. Res. Lett., 31, L23611, doi:10.1029/2004GL021737.
Hooper, A., P. Segall, and H. Zebker （2007）: Persistent scatterer InSAR for crustal deformation analysis, with application to Volcán Alcedo, Galápagos, J. Geophys. Res., 112, B07407, doi:10.1029/2006JB004763.
Hooper, A.（2008）: A multi-temporal InSAR method incorporating both persistent scatterer and small baseline approaches, Geophys. Res. Lett., 35, L16302, doi:10.1029/2008GL034654
環境庁水質保全局企画課，地盤沈下防止対策研究会（1990）: 地盤沈下とその対策，白亜書房.
環境省（2012）: 平成 23 年度 全国の地盤沈下地域の概況，http://www.env.go.jp/water/jiban/gaikyo/gaikyo23.pdf(accessed 8 Jan. 2013).
Ketelaar, V. B. H. (Gini) （2009）: Satellite Radar Interferometry: Subsidence Monitoring Techniques, Springer-Verlag.
国土地理院（2011）: 日本全国の地殻変動，地震予知連絡会会報，第 85 巻，19-34.
森下遊・鈴木啓・雨貝知美・唐沢正夫・藤原みどり（2010）: 干渉 SAR を活用した効率的な水準測量実施に向けた取り組み，国土地理院時報第，120 集，17-22.
新潟県県民生活・環境部（2012）: 新潟・新発田地域における地盤沈下，http://www.pref.niigata.lg.jp/kankyotaisaku/1331240490933.html(accessed 21 Dec. 2012).
千葉県環境生活部（2011）: 千葉県の地盤沈下現況（平成 22 年 千葉県水準測量結果概要），http://www.pref.chiba.lg.jp/suiho/jibanchinka/torikumi/documents/h22-23genkyou.pdf(accessed 21 Dec. 2012).
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，第 106 集，p.37-49.

This document is provided by JAXA.

アジア太平洋地域におけるジャワ島・スマトラ島の地殻変動監視
Monitoring of the Crustal Movement Jawa and Sumatra in Asia-Pacific Region

測地部　鈴木　啓・吉川忠男
Geodetic Department　Akira SUZUKI, Tadao KIKKAWA
測地観測センター　今給黎哲郎
Geodetic Observation Center　Tetsuro IMAKIIRE
地理地殻活動研究センター　西村卓也
Geography and Crustal Dynamics Research Center　Takuya NISHIMURA

要　旨

国土地理院は，平成21年から3年間，独立行政法人科学技術振興機構（以下，「JST」という.）と独立行政法人国際協力機構（以下，「JICA」という.）が推進している地球規模課題対応国際科学技術協力事業の「インドネシアにおける地震火山の総合防災策」プロジェクトに加わり，測地観測に基づく地殻変動監視を目的としてジャワ島とスマトラ島（インドネシア共和国）においてGNSS観測点を設置した．本プロジェクトは，平成23年度に終了したが，インドネシア側の関係機関から観測継続に対して強い要望があったため，国土地理院では，平成24年度からアジア太平洋地域地殻変動監視事業においてGNSS観測点を維持し，データを管理・解析することとした.

アジア太平洋地域地殻変動監視事業は，アジア太平洋地域の地殻変動を監視すると共に同地域の基準座標系（Asia-Pacific Reference Frame;「APREF」）の構築に貢献するため，南太平洋地域に設置したGNSS観測点を維持管理し，GNSS解析を実施している．そこで，ジャワ島・スマトラ島で観測したGNSSデータについて，アジア太平洋地域の地殻変動監視事業で活用しているGNSS解析支援システムでの解析を実施した. また，ジャワ島に設置したGNSS観測点は，断層運動の監視を目的として設置したため，広域かつ面的に地殻変動を監視できるSAR干渉解析も試みた.

1. はじめに

国土地理院は，JSTとJICAが実施している地球規模課題対応国際科学技術協力事業の一つである「インドネシアにおける地震火山の総合防災策」プロジェクトに参加し，平成21年10月にジャワ島西部（4点）とスマトラ島北西部（1点）に合計5点のGNSS観測点をインドネシア側の関係機関の協力の下に設置した．このJST−JICAプロジェクトは，平成21年から3年計画で実施されたため，平成23年度に終了したが，インドネシア側の関係機関であるバンドン工科大学（以下，「ITB」という.）とシアクラ大学津波防災研究センター（Tsunami & Disaster Mitigation Research Center：以下，「TDMRC」という.）の観測継続に対する強い要望があったため，国土地理院では，観測点に観測機材を設置したまま残し， ITBとTDMRCの両機関が観測を継続することで合意した. これによって，ジャワ島とスマトラ島に設置したGNSS観測点は，平成24年度から測地部の事業であるアジア太平洋地域地殻変動監視事業において，観測データを管理・解析することとなった.

本稿では，当該事業で使用しているGNSS解析支援システムを利用し，ジャワ島・スマトラ島のGNSS観測点(5点)について解析を実施した．また，ジャワ島に設置したGNSS観測点は，断層運動を監視するために設置されたことから，GNSS観測網より空間分解能の高いSAR干渉解析を利用した監視も行ったので，その結果についても報告する.

2. インドネシアにおける地震火山総合防災策の概要

「インドネシアにおける地震火山の総合防災策」プロジェクトは，日本とインドネシアの両国において，地震・火山災害軽減に貢献するため，6 つのグループが設けられ，さらに数チームに役割を分割した体制で取り組まれた（図-1）.

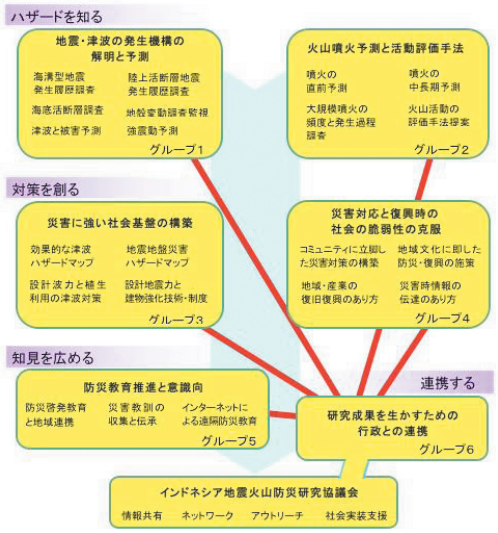


図-1「インドネシアにおける地震火山の総合防災策」のグループ体制
（http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/indonesia/backnumber.html より引用）

This document is provided by JAXA.

国土地理院は，6つのグループの内，「地震・津波の発生機構の解明と予測」（グループ1）の中で，さらに6チームに分割された「地殻変動調査監視」チームに属し，ジャワ島・スマトラ島の重要地域で，主にGNSS観測による測地学的な地殻変動調査を担った．当該チームには，国土地理院以外にも東京大学地震研究所や名古屋大学などの機関が日本側のメンバーとして含まれていた．

3. インドネシアに設置したGNSS観測点

平成21年度にJST-JICAプロジェクトにおいて，国土地理院が設置したGNSS観測点を図-2に示す．ジャワ島に設置した4点のGNSS観測点の内，バンドン北部にある2点（TNKP：タンクバンブラフ火山観測所・UPI1：インドネシア教育大学）は，バンドン盆地の北縁を東西に走るレンバン断層監視のために設置した．また，バンドンの東側にある観測点（POSC：チェレメ火山観測所）は，レンバン断層の東側延長に位置するバリビス断層の監視を目的とし，バンドン南側にある観測点（PPDY：パパンダヤン火山観測所）は，火山監視のために設置した．一方，スマトラ島においては，2004年スマトラ沖地震で甚大な津波被害があったバンダ・アチェに地震後の地殻変動を監視するため，1点（TDMR）設置した．また，観測機器の管理等を考慮し，現地観測所構内及び大学等建造物の屋上に設置した（写真-1）．なお，観測点設置の際には，ITB・TDMRCスタッフの協力の下に実施された．

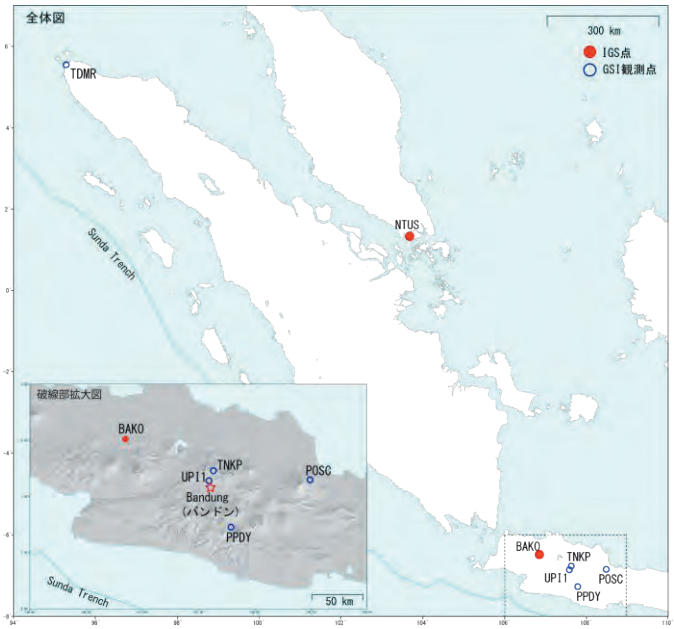


図-2 国土地理院がインドネシアに設置したGNSS観測点

JST-JICAプロジェクト期間中，これらの観測点の管理は，ジャワ島の観測点（4点）はITBが実施し，スマトラ島の観測点（1点）については，TDMRCが定期的に機器の点検等を行っていた．また，観測したGNSSデータは，ITB所有のFTPサーバを利用し，ITB・TDMRCスタッフがデータを取得・更新後，国土地理院に提供していた．プロジェクト終了後の平成24年度からは，国土地理院がITBとTDMRCの両機関と観測を継続するための担当者レベルの覚書を交わした（観測継続期間：2014年3月31まで）．なお，観測点の管理等は，プロジェクト期間中と同様の体制とすることを現地スタッフに依頼している．

写真-1 GNSS観測点設置状況（TNKP）

4. ジャワ島・スマトラ島におけるGNSS解析

インドネシアのジャワ島（4点）とスマトラ島（1点）に設置したGNSS観測点から取得したデータを利用し，GNSS基線解析を実施した．解析には，アジア太平洋地域における地殻変動監視事業で，平成22年度に導入したGNSS解析支援システムを使用した．このシステムは，基幹のGNSS解析ソフトウェアにBernese（Ver.5.0）を搭載している．また，解析戦略については，アジア太平洋地域において地殻変動を監視するために構築したストラテジー（鈴木他，2012）に準じることとし，観測網の根幹点には，安定して観測が実施されているジャワ島のIGS観測点（BAKO）を採用し，各観測点へ放射状の基線で観測網を構成した．なお，根幹点（BAKO）が欠測した場合は，観測網の形状が変化するため，最寄りの代替点を利用せずに，解析処理を行わないこととした．この結果，解析して得られた各観測点の東西・南北・上下成分の座標時系列グラフを図-3に示す．バンドンの市街地に近いTNKPやUPI1の水平成分は，欠測時以外の期間において，比較的安定した推定値が得られている．POSCでは，2011年1月下旬から欠測やノイズの多いデータが取得されていたことから，観測データの品質低下が影響し，推定値も安定していない．

This document is provided by JAXA.

PPDYでも2011年3月頃から欠測が続き，特に東西・上下成分において，安定した結果を得ることができていない．これらの原因としては，観測点の設置に際し既存の架台を利用した点に建物等が近接していることや植物の成長によって上空視界が十分でないことが考えられる．また，全体的に欠測期間が目立っているが，この欠測の主な原因は，停電等現地の電力事情が挙げられる．

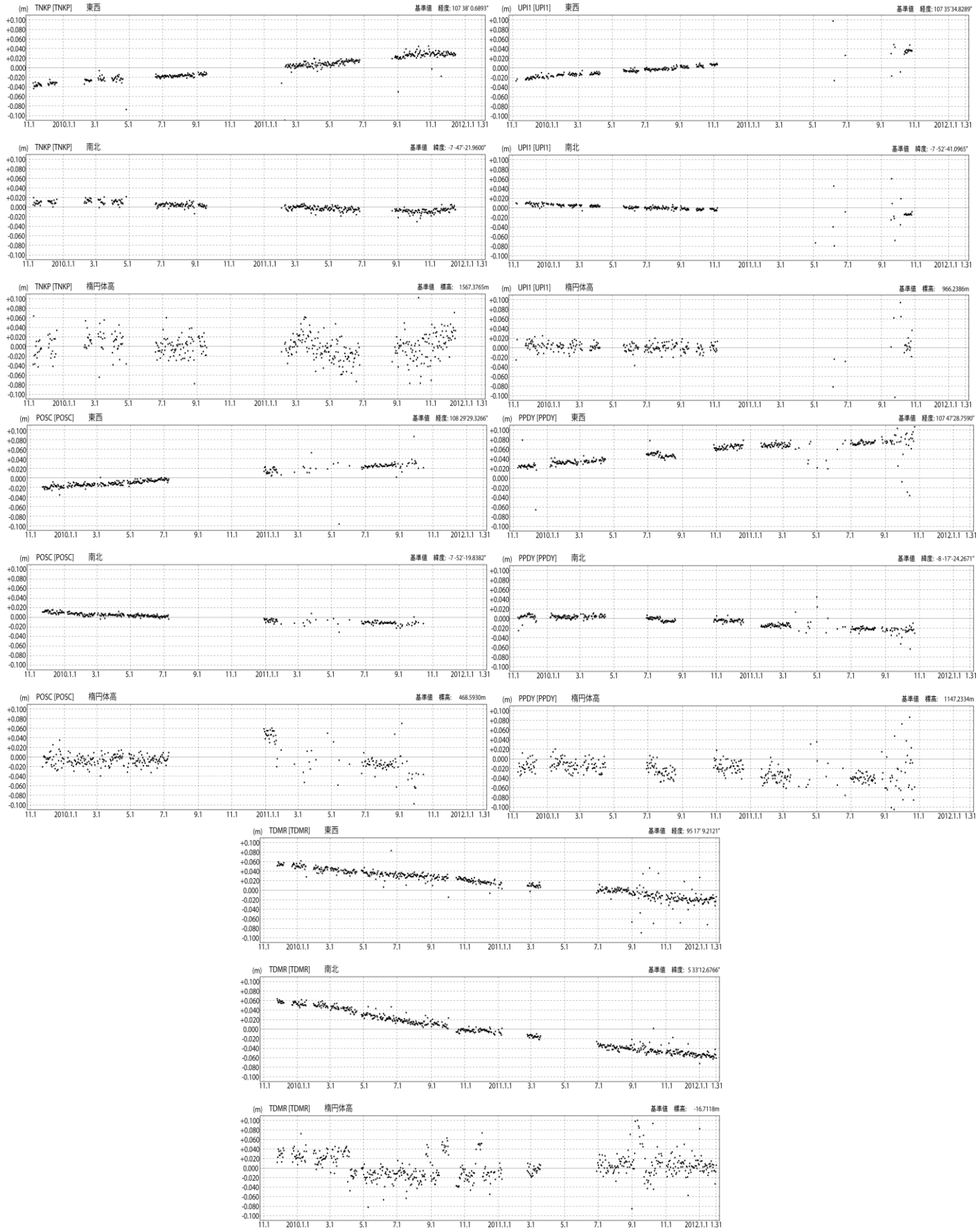


図-3　各観測点の座標時系列グラフ

（左上 : TNKP，右上 : UPI1，左中 : POSC，右中 : PPDY，下 : TDMR）

This document is provided by JAXA.

以上の解析結果から根幹点（BAKO）を基準にした変動速度ベクトル図を図-4に示す．ジャワ島のレンバン断層周辺に設置したTNKPやUPI1では，東方向に約1cm/year程度の変動量，バリビス断層周辺に設置したPOSCやパパンダヤン火山周辺に設置したPPDYについては，南東方向に約1cm/yearの変動量が確認できた．

一方，スマトラ島のバンダ・アチェに設置したTDMRでは，南西方向に約7cm/yearの変動量が検出された．このスンダ海溝側へ向かう変動は，2004年スマトラ沖地震（M9.1）の余効変動成分と一致しているため（太田他，2005），現在でも余効変動が継続していると考えられる．

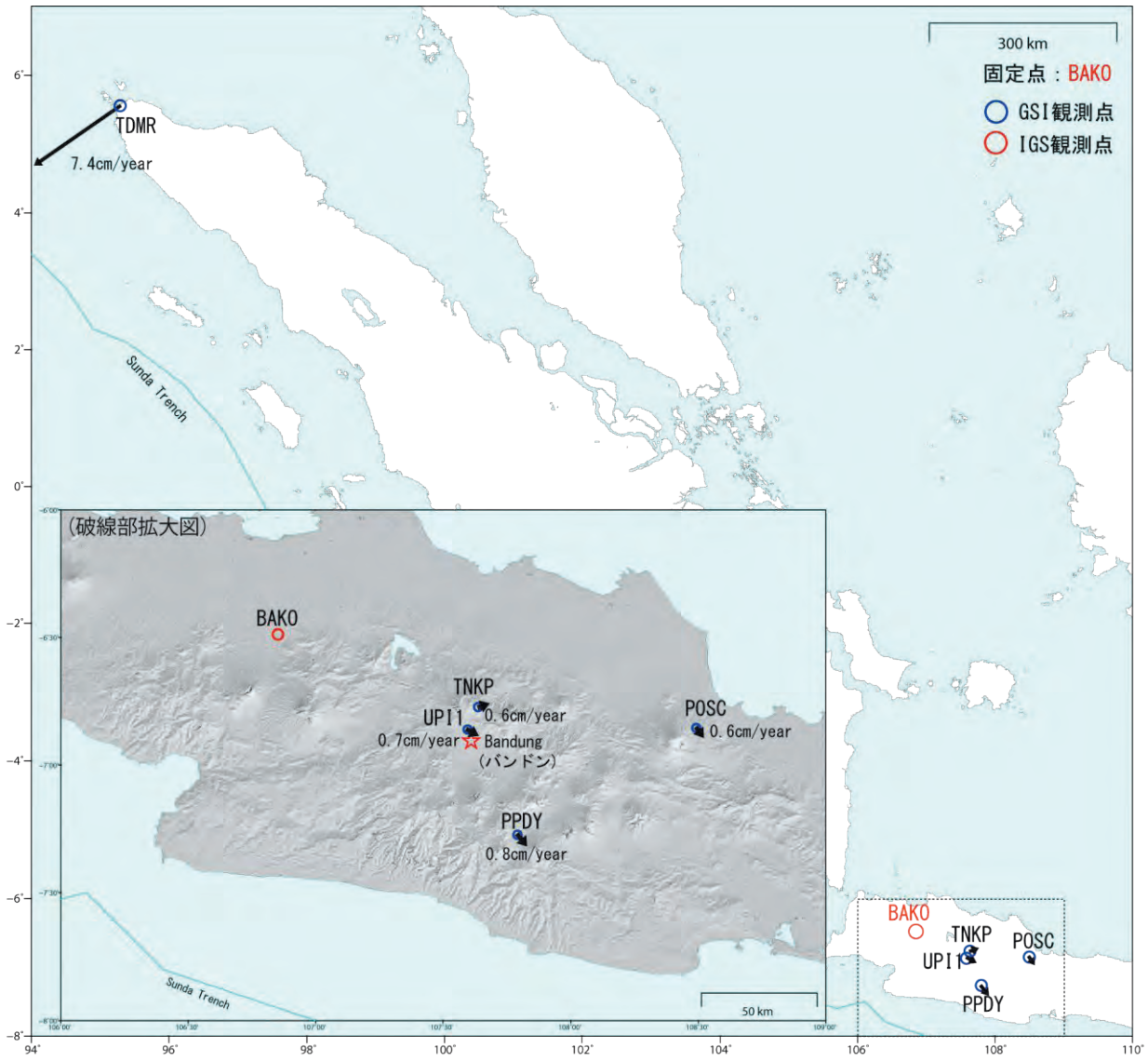


図-4　変動速度ベクトル図

5. バンドン周辺域におけるSAR解析

国土地理院では，これまでALOSに搭載されたPALSARデータを利用したSAR干渉解析により，地震・火山・地盤沈下・地すべりに伴う地殻・地表変動を検出してきた．そこで，TNKPやUPI1を設置したバンドン北部に位置するレンバン断層周辺を面的に監視するため，SAR干渉解析を行った．SAR干渉解析は，マイクロ波レーダー観測を地表の同一地点で2回以上実施し，反射波を干渉させ，位相差を求めることで，地表の変動を面的に捉える技術である．SAR干渉解析における検出精度は，SARデータに大気や電離層等のノイズが含まれるため，数mmレベルの微小な変動を正確に検出することは困難であり，一般的に数cm程度とされている．そこで，検出精度を向上させるため，2時期に観測されたSARデータを利用したSAR干渉解析を多数実施し，平均化処理（スタッキング）を行った．なお，SAR干渉解析には，国土地理院が開発した新GSISARを使用し，位相アンラップ処理には，特別研究（平成20-22年度）で開発された位相連続化処理ソフトウェアに実装された「位相連続化」機能を用いた．

This document is provided by JAXA.

5.1　SAR干渉解析から平均化処理

2時期に観測されたPALSARデータを利用して，北行・南行軌道においてSAR干渉解析を実施した結果を図-5に示す．これらのSAR干渉画像において，TNKPとUPI1のほぼ中央を東西に走る南側に対して北側が低下する明瞭な地形がレンバン断層に関連する地形である．この地形周辺に変位量の明瞭な不連続はなく，レンバン断層周辺では，大気等によるノイズレベルを超えるような地殻変動は，検出されていないと判断できる．しかし，各SAR干渉画像において，衛星－地表間の距離が，数cm伸長（青～赤～黄）・短縮（青～黄～青）するようなノイズが全体的に見られ，大気等の影響によると考えられる．このようなノイズを軽減させる簡単な手法として平均化処理がある．

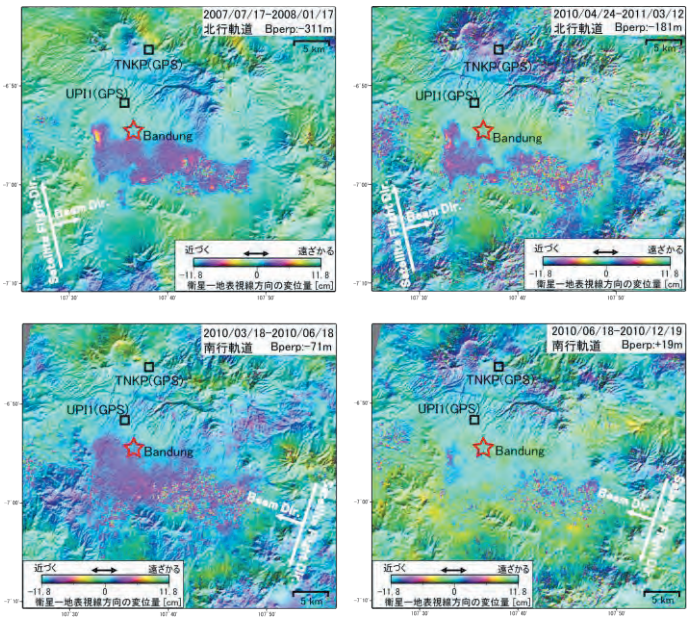


図-5　SAR 干渉画像
（上 2 画像：北行軌道　下 2 画像：南行軌道）

平均化処理後の検出精度は，水準測量と比較した結果，1cm以下の精度が得られている（森下他, 2010）．そこで，複数のSAR解析結果を平均化処理し，時間的に不規則に生じる誤差を軽減させ，変動速度を求めた．なお，平均化処理に使用した解析ペアは，表-1のとおりである

表－1　平均化処理に用いた PALSAR データ

	ﾏｽﾀｰ観測日	ｽﾚｰﾌﾞ観測日	期間（日）
北行	2007/03/01	2007/07/17	138
	2007/07/17	2008/01/17	184
	2007/09/01	2008/01/17	138
	2008/01/17	2008/07/19	184
	2008/01/17	2009/01/19	368
	2008/03/03	2008/06/03	92
	2008/04/18	2010/04/24	736
	2008/07/19	2009/07/22	368
	2010/04/24	2011/03/12	322
	2010/09/09	2011/03/12	184
南行	2007/09/10	2007/12/11	92
	2007/09/10	2007/01/26	138
	2007/09/10	2008/04/27	230
	2008/01/26	2008/03/12	46
	2008/04/27	2011/03/21	1,058
	2008/07/28	2009/01/28	184
	2008/10/28	2009/01/28	92
	2009/01/28	2010/06/18	506
	2009/07/31	2009/12/16	138
	2010/03/18	2010/06/18	92
	2010/03/18	2010/11/03	230

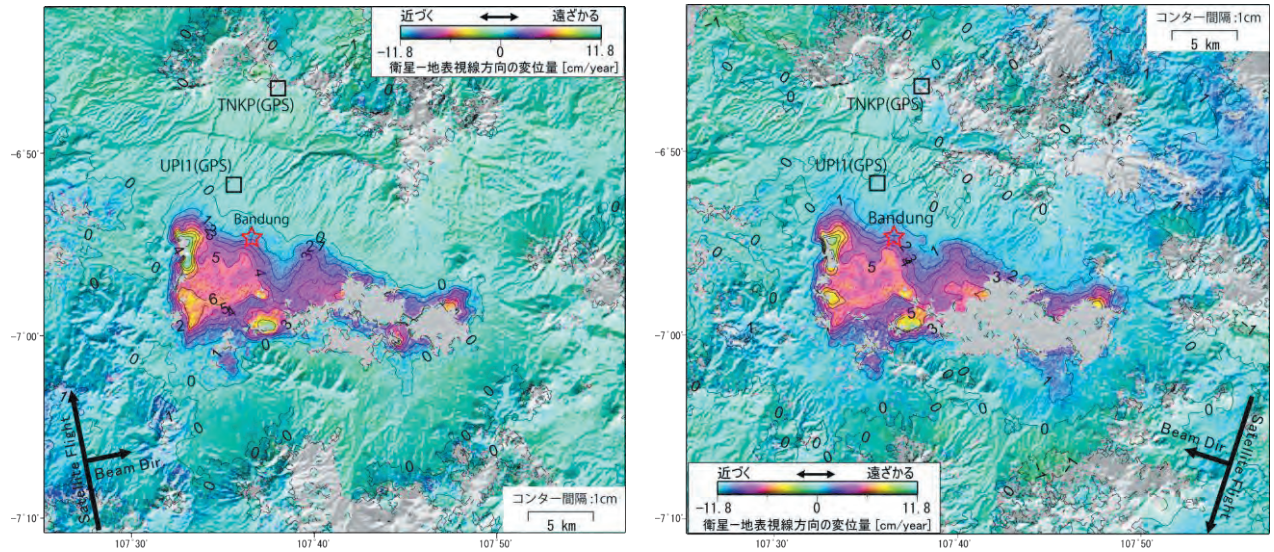


図-6　平均化処理後の変動速度（cm/year）
（左：北行軌道　右：南行軌道）　　※灰色:データなし

This document is provided by JAXA.

また，平均化処理から変動速度を求めた結果を図-6 に示す．図-5 に見られた大気等のノイズによる見かけ上の位相変化が北行・南行軌道ともに軽減されていることがわかる．TNKP や UPI1 付近では，GNSS 解析の結果と調和的であり，レンバン断層周辺においても，一部低干渉領域があるが，断層運動に伴うような特段の変動を確認できなかった．しかし，SAR 干渉解析によって面的に広範囲を監視した結果，バンドン南方において，衛星－地表間の距離が伸張する位相変化（青～赤～黄）が，北行・南行軌道の共通する地域で確認できる．変動量は，バンドンの西方において最大約 10cm/year を超えている．

5.2　2.5 次元解析

SAR 干渉解析から得られた変動量は，衛星－地表間の距離変化である．そこで，衛星視線方向から上下方向の変動量を抽出するための解析手法である 2.5 次元解析（Fujiwara et al., 2000）を行ったので，その結果を図-7 に示す．なお，この手法で算出される上下成分は，厳密には水平面から約 83°南側へ傾く方向となる．

TNKPとUPI1の間に位置するレンバン断層では，1cm/year以下の変動量であった．平均化処理後に見られたバンドン南方に広がる変動域は，上下方向に最大約10cm/yearを超える沈下量が見られ，地盤沈下域を明瞭に捉えた結果となった．この地域における地盤沈下の原因は，地下水の汲み上げによる影響であることが確認されている（Abidin et al.,2008）．

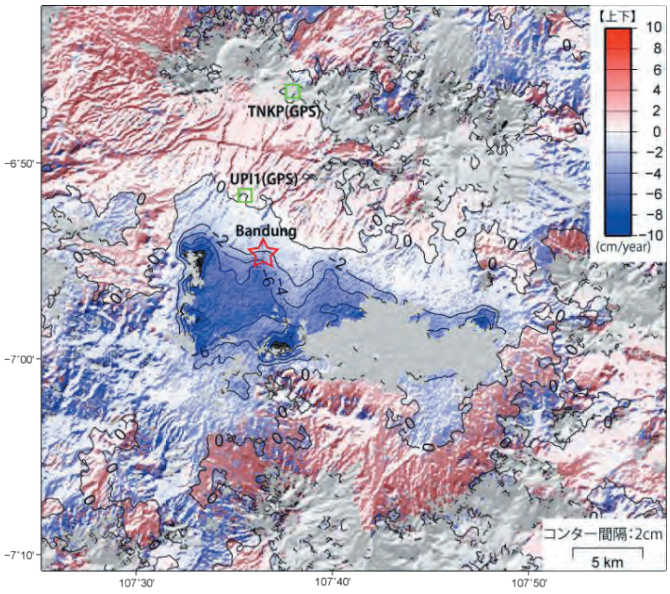


図-7　2.5 次元解析から得られた上下成分の変動速度
※灰色はデータなし

6. まとめと今後の展望

国土地理院は，平成 21 年から 3 年間で実施された JST-JICA プロジェクトに参加し，ジャワ島・スマトラ島に GNSS 観測点を 5 点設置した．JST-JICA プロジェクト終了後もインドンネシア側（ITB・TDMRC）からの観測継続の要望があったため，国土地理院は，ITB，TDMRC と 2 年間（平成 24 年度～平成 25 年度まで）の観測期間延長について合意し，アジア太平洋地域地殻変動監視事業として観測を継続することとなった．

アジア太平洋地域地殻変動監視事業では，JST-JICA プロジェクト期間中に観測した GNSS データを解析するため，平成 23 年度に構築した解析戦略を利用し，GNSS 解析を行った．その結果，ジャワ島に設置した 4 点の GNSS 観測点から 0.5～1cm/year の変動が確認できた．また，スマトラ島のバンダ・アチェに設置した GNSS 観測点では，南西方向に約 1cm/year の変動が確認できた．この変動は，2004 年に発生したスマトラ沖地震の余効変動が継続していることを示している．しかし，各観測点における上下方向については，推定精度にバラツキがあったため，安定した推定値を算出することが今後の課題となる．

次に，バンドン北部に位置するレンバン断層を面的に監視するため，ALOS/PALSAR を利用した SAR 干渉解析を実施した．SAR 干渉解析結果からは，GNSS 解析と同様にレンバン断層周辺において，断層運動に伴うような変動は確認できなかった．しかし，バンドン南方に地盤沈下域を捉え，最大約 10cm/year を超える沈下量を検出した．SAR の利用は，断層全体を面的に監視できることや，GNSS 解析の上下方向の推定精度が不安定なことから GNSS による監視体制を補強できる有効な手段のひとつであるといえる．

最後に，アジア太平洋地域地殻変動監視事業として，ジャワ島とスマトラ島の観測点を JST-JICA プロジェクトから引き継いだことから，機器更新（マルチ GNSS 対応）や観測データのオンライン化を必要に応じて実施することを検討していくことが重要である．

This document is provided by JAXA.

謝　辞

GNSS 基線解析に必要なデータは，IGS の ftp サイト（cddis.gsfc.nasa.gov）より取得しました．データの公開について感謝いたします．

また，ここで使用した「だいち」の PALSAR データの所有権は，（独）宇宙航空研究開発機構及び経済産業省にあります．データについては，（独）宇宙航空研究開発機構と「陸域観測技術衛星を用いた地理空間情報の整備及び高度利用に関する協定」の共同研究協定に基づいて提供を受けています．この場を借りて，御礼申し上げます．

（公開日：平成 25 年 3 月 26 日）

参 考 文 献

Abidin, H.Z., H.Andreas, M.Gamal, A.D.Wirakusumah, D.Darmawan, T.Deguchi and Y.Maruyama（2008）: Land subsidence characteristics of the Bandung Basin, Indonesia, as estimated from GPS and InSAR, Journal of Applied Geodesy, 2, 167-177.

Fujiwara, S, T. Nishimura, M. Murakami, H. Nakagawa and M. Tobita (2000) : 2.5-D surface deformation of M6.1 earthquake near Mt Iwate detected by SAR interferometry, Geophysical Research Letters, 27, 2049-2052.

JST−JICA 地球規模課題対応国際科学技術協力事業 インドネシアにおける地震火山の総合防災策（accessed Jan.2012）: http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/indonesia/backnumber.html

森下遊，鈴木啓，雨貝知美，唐沢正夫，藤原みどり（2010）: 干渉 SAR を活用した効率的な水準測量の実施へ向けた取り組み，国土地理院時報，120，17-22.

太田雄策・Meilano Irwan・伊藤武男・木股文明・田部井隆雄・Didik Sugiyant（2005）:GPS データに基づくスマトラ沖地震の余効変動，地震学ニュースレター7 月号，1-2.

鈴木啓，宮原伐折羅（2011）: アジア太平洋における GPS 解析戦略の構築，国土地理院時報，123，1-8.

This document is provided by JAXA.

MMS から作成した反射強度画像の精度検証について
Accuracy Verification of Intensity Image Created from MMS Data

基本図情報部　藤原博行・伊藤裕之・笹川啓・大野裕幸
National Mapping Department
Hiroyuki FUJIWARA, Hiroyuki ITO, Akira SASAGAWA and Hiroyuki OHNO

要　旨

国土地理院では，平成 23 年度から Mobile Mapping System（MMS）で取得したデータによる効率的な電子国土基本図（地図情報）（以下，「電子国土基本図」という．）の更新手法について検討を行っている．

MMS を用いた図化手法には複数の手法が存在しているが，作業性などを考慮し，電子国土基本図の最も適切な更新手法として，レーザ点群データから作成した反射強度画像を用いる図化手法を選択し，その反射強度画像が電子国土基本図の更新に必要な位置精度を有しているか精度検証を行った．

反射強度画像の水平位置精度検証は，上空視界が良好，不良の 2 地域で行ったが，どちらの地域に関しても，反射強度画像は地図情報レベル 500 を満たす精度を有していることが確認できた．これだけの精度を有しているのであれば，電子国土基本図の更新にも十分利用可能であるといえる．

また，図化作業時の参考用に MMS から取得した全方位画像を電子国土 Web システム上で閲覧できる Web サイトを試作した．

1. はじめに

近年，車両等の移動体に GNSS 測量機，IMU，レーザスキャナ，カメラなどの機器を搭載し，走行しながら 3 次元空間データを高精度で効率的に取得できる MMS が開発され，3 次元都市空間モデルの作成や道路の維持管理業務など様々な分野で利用され始めている．

公共測量においても，公共測量作業規程の準則第 17 条（機器等及び作業方法に関する特例）を適用し，道路台帳の更新業務などに用いられる事例が近年増加している．このため，国土地理院では MMS による測量の標準的な作業方法を定め，必要な精度の確保に資することを目的として，「移動計測車両による測量システムを用いる数値地形図データ作成マニュアル（案）」を平成 24 年 5 月に公表し，移動計測車両による測量を実施する場合の標準的な作業方法を定めている．また，MMS を用いた効率的な電子国土基本図の更新手法について検討を進めており，現在，レーザ点群データから作成した反射強度画像を用いた更新手法に関する試験作業を実施しているところである．

本稿では，MMS から作成した反射強度画像が電子国土基本図の更新に必要な水平位置精度を満たしているか精度検証を行ったので報告する．さらに MMS で取得した全方位カメラによる画像データを用いて，電子国土 Web システム上で観測地域の全方位画像を閲覧できる図化参照用 Web サイトも試作したので，併せて報告を行う．

2. MMS の概要

MMS は，自車位置姿勢データ取得装置，図化用データ取得装置，解析ソフトウェアなどから構成され，その構成によって取得できる図化用データは異なるが，周囲の 3 次元レーザ点群データ（図-1）や全方位カメラ画像（図-2）などのデータを取得することが可能である．

図-1　3 次元レーザ点群データ

図-2　全方位カメラ画像

2.1 MMS の諸元

本研究では，写真-1 に示す着脱式の MMS を用いた．自車位置姿勢データ取得装置は GNSS 測量機や IMU，及び光学オドメータからなり，図化用データ取得装置は可動式レーザスキャナと全方位カメラによって構成されている．

This document is provided by JAXA.

MMS を用いた測量作業において精度の高い成果を作成する際には，良好な自車位置姿勢データが必要となるが，本 MMS では GNSS 測量機，IMU，光学オドメータから取得したデータを用いて解析を行うことで，良好な GPS 条件下であれば，機器の仕様上は，絶対位置精度 5cm，姿勢精度 Roll，Pitch:0.003°，Heading:0.007°以内での高精度な観測が可能となっている．

また，図化用データ取得装置の可動式レーザスキャナ（RIEGL VQ-250）は，360°全周計測が可能となっており，1 秒あたり最大 300,000 回の照射を行うことができる（写真-2）．このため，速度 60km/h で走行時に，約 600 点/m^2 の高密度なレーザ点群データの取得が可能である．観測時には，車両の前方を基準として，レーザスキャナを右方向に向けて観測地域を往復観測後，レーザスキャナを左方向に向けて，再度，往復観測を行うことにより，レーザ点群の死角を少なくし，高密度でのレーザ点群データを取得する．

全方位カメラ（Ladybug3）は，写真-3 に示すように，天頂部を含む 6 方向のカメラによって構成されており，走行しながら，水平方向全方向の同時撮影が可能である．ただし，天頂部のカメラは，GNSS アンテナによって，視界が遮られている．それぞれのカメラで撮影した画像はモザイク処理を行うことで，パノラマ画像として出力することもできる．それぞれのカメラの画素数は 200 万画素であり，1 秒あたり最大 15 フレームでの撮影が可能となっている．

写真-1　本研究に用いた MMS

写真-2　可動式レーザスキャナ（RIEGL VQ-250）

写真-3　全方位カメラ（Ladybug3）

2.2 MMS による図化手法

国土地理院が平成 24 年 5 月に公開した「移動計測車両による測量システムを用いる数値地形図データ作成マニュアル（案）」には，MMS 取得データを用いて行われる一般的な図化手法として，

1）レーザ点群と写真を重ね合わせたデータに基づいて図化する方法

2）ステレオ写真から計測する方法

3）レーザ点群に反射強度に応じて画素の濃淡を付け，データを正射投影した反射強度画像を作成して，この反射強度画像上で図化する方法

の 3 種類が解説されている（国土交通省 国土地理院，2012）．

1）の方法は，取得した写真とレーザ点群データを正確に重畳させることにより，写真座標で地物の形状を取得し，レーザ点群座標で位置座標を取得する方式である．

2）は，空中三角測量と同じ原理の方式であるが，計測方法は異なり，立体視による計測ではなく，別々の写真に写った同一点を計測することで作業を行う方式である．

3）は，取得したレーザ点群データの反射強度によりレーザ点群の画素に濃淡を付け，2 次元画像化処理を行い，空中写真オルソ画像と同様に扱える反射強度画像を作成して図化を行う手法である．

MMS を用いた電子国土基本図の更新手法開発の試験作業では，従来の空中写真によるオルソ画像と同様の手法でオルソ図化が可能で，水平位置の取得が容易に行えること，さらにレーザ点群データのみで図化用データが作成でき，効率的な修正資料作成が可能という観点から，3）の手法を選択した．

2.3 MMS の図化作業の流れ

反射強度画像を用いた図化作業のフローを図-3 に示す．まず，MMS 現地観測後，GNSS 測量機と IMU のデータから軌跡解析処理を行い，正確な位置姿勢

This document is provided by JAXA.

データの算出を行う．次に算出した位置姿勢データとレーザスキャナから取得した走査方向や計測距離の情報を組み合わせることにより，3 次元座標を持ったレーザ点群データを作成する．また，上空視界が不良などの理由により，良好な自車位置姿勢データが得られなかった場合は，同一路線で複数回観測を行った際にレーザ点群の位置ずれを生ずる等，レーザ点群の精度が低下する．その場合，精度の低い地域において，標定点測量を行い，そのデータを用いて，自車位置姿勢データの補正を行った後，レーザ点群データの再生成を行う必要がある．作成したレーザ点群データから図化の妨げになる樹木等の地物をフィルタリング処理によって除外した後，反射強度画像を作成し，図化作業を行う．

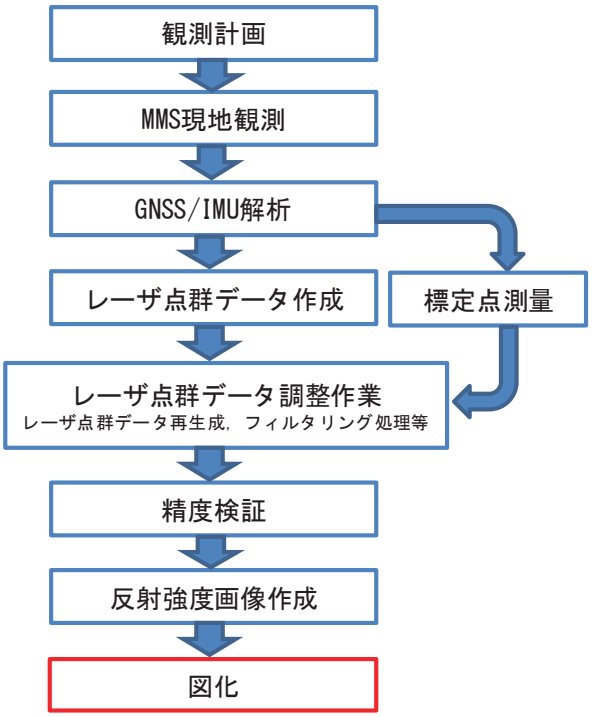


図-3　MMS 図化作業フロー

3. 反射強度画像の精度検証

3.1 検証手法

反射強度画像の精度検証を行うにあたり，観測地域を 2 地域選定した．1 つ目の地域は区画整理によって樹木が伐採され，上空視界を遮るものがほとんどない「茨城県つくば市研究学園駅周辺（つくば地域）」，2 つ目は高架道路やビルなどによって，上空視界がほとんど遮られている「茨城県土浦市土浦駅周辺（土浦地域）」である．また，観測距離は，つくば地域 5,000m，土浦地域 1,500m である．精度検証地域を図-4 に示す．

検証手法は，図-3 の MMS 図化作業フローに従い，2 地域の反射強度画像を作成し，現地において VRS-GPS 測量で取得した検証用標定点座標と作成した反射強度画像中の同一地点における座標を比較することにより，水平位置精度の検証を行った．検証用標定点は，横断歩道の白線やマンホールなど反射強度画像上で明瞭に判別が可能な地点に設置した．現地における検証用標定点は，つくば地域で 16 点，土浦地域で 14 点である．

図-4　精度検証地域

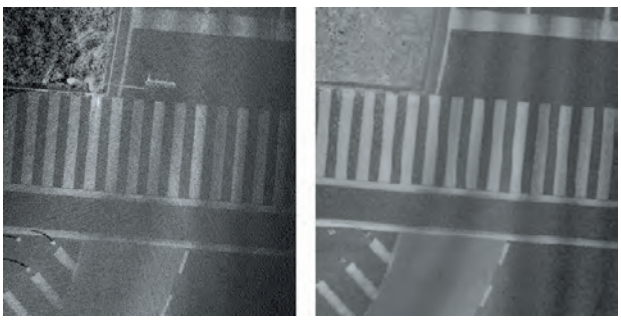
3.2 反射強度画像の作成

2 地域で取得したデータを軌跡解析し，レーザ点群データを作成した上で二次元画像化処理を行った．良好な軌跡解析結果が得られなかった場合，現地において，調整用標定点測量を行い，その結果を用いて，自車位置姿勢データの補正を行い，レーザ点群データの再生成を行った．

3.2.1 つくば地域

つくば地域に関しては上空視界が良好であり，ほとんど GNSS の受信が遮られることがなかったことから，良好な自車位置姿勢データが算出できた．作成したレーザ点群データも同様に位置精度が高く，同一取得路線で複数回観測した際の点群の位置ずれも生じなかったため，標定点による調整処理を行わなかった．

レーザ点群データ作成後，解像度 0.05m で 2 次元画像化処理を行い，反射強度画像を作成した（図-5）．



レーザ点群データ　　反射強度画像

図-5　レーザ点群データと反射強度画像

This document is provided by JAXA.

3.2.2 土浦地域

土浦地域に関しては上空視界が一様に悪く，良好な位置姿勢データが算出できなかった．作成したレーザ点群データの位置精度も低く，同一路線で複数回観測した際の点群に平均 0.5m の位置ずれが生じた．そのため，GNSS の受信状況が悪い箇所 6 点に調整用標定点を配置し，その間を埋めるように，白線の角などに明瞭な特徴点を 3 点指定した（図-6）．その後，解析ソフトウェアによる軌跡の調整処理及びレーザ点群データの再生成を行い，つくば地域と同様に解像度 0.05m で 2 次元画像化処理を行った（図-7）．今回は調整用標定点 6 点，特徴点 3 点を配置することにより，良好なレーザ点群データを得ることができたが，調整用標定点及び特徴点の取得密度に関しては今後，事例を増やしつつ，効率的な配置について，検討を行う予定である．

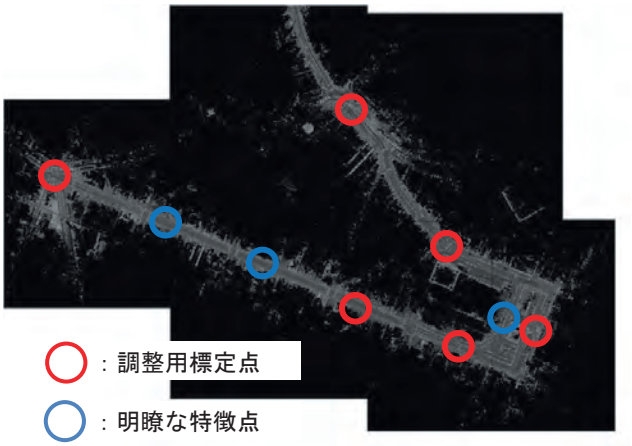


図-6　調整用標定点及び特徴点

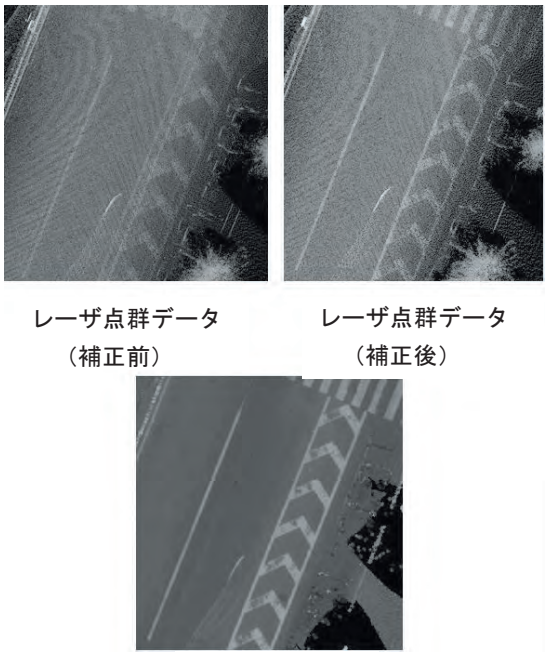


図-7　レーザ点群データ（補正前，補正後）と反射強度画像

3.3 検証結果

精度検証結果を表-1 に示す．電子国土基本図の更新には，更新資料が地図情報レベル 2500 を満たすことが必要となるが，つくば地域の水平位置の標準偏差は 0.038m であり，「移動計測車両による測量システムを用いる数値地形図データ作成マニュアル（案）」第 32 条（解析結果の評価）の地図情報レベル 2500 の制限値 0.75m を満たしていることが確認できた．また，この結果は地図情報レベル 500 の制限値である 0.15m も満たすものである．

さらに調整点を設置した土浦地域の水平位置の標準偏差も 0.084m であり，こちらも地図情報レベル 500 の制限値である 0.15m を満たしていた．

表-1　精度検証結果

つくば地域		観測距離：5000m		
調整用標定点：0点		Δ X	Δ Y	Δ XY
特徴点：0点	標準偏差	0.038	0.042	0.038
検証点：16点	RMSE	0.043	0.046	0.063

土浦地域		観測距離：1500m		
調整用標定点：6点		Δ X	Δ Y	Δ XY
特徴点：3点	標準偏差	0.059	0.065	0.084
検証点：14点	RMSE	0.076	0.106	0.13

4. 電子国土 Web を用いた全方位画像閲覧サイト

反射強度画像は地図情報レベル 500 を満たす精度を有していることが確認できた．しかし，正確な図化を行う場合，精度だけでなく判読性も重要となる．反射強度画像はレーザの反射強度によって色の濃淡を付けているため，地物によっては判読が難しい．そこで MMS 観測時に取得する全方位画像を用いることで，判読の補完を行うこととした．しかし，作成した全方位画像は時系列ごとに作成されており，どの位置で撮影した写真か判別することができないという問題がある．そこで，撮影した地点を電子国土 Web システム上で表示し，その地点の全方位画像が閲覧できるサイトを試作した．

4.1 全方位画像閲覧サイト作成の流れ

全方位画像閲覧サイトの作成の流れを図-8 に示す．GNSS/IMU 解析までは MMS を用いた図化作業と同様の流れとなる．その後，全方位カメラに含まれるそれぞれのカメラの画像をモザイク処理することにより，全方位画像の作成を行う．また，自車位置姿勢データと全方位カメラのシャッターを切ったタイミングを組み合わせることによって，シャッターを切った位置の位置情報を kml ファイルで出力し，電子国土 Web システムで表示ができるよう，xml ファイルに変換を行う．全方位画像は市販ソフトウェアを用いて，flash ファイルに変換を行い，画面上で 360°自由に動かせるようにした．最後に xml ファイ

This document is provided by JAXA.

ルと flash ファイルを関連づけることによって，全方位画像閲覧サイトを作成した．

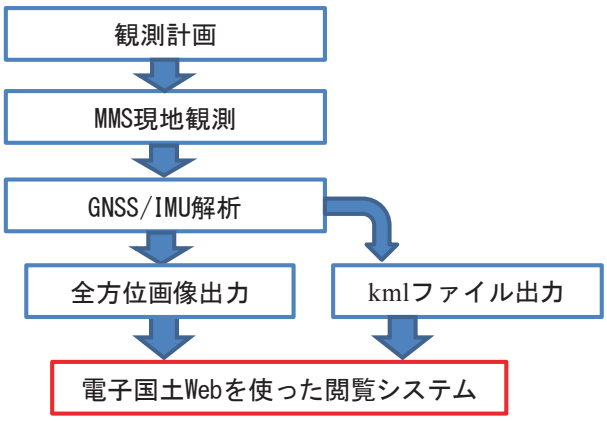


図-8　全方位画像閲覧サイト作業フロー

4.2 試作 Web サイト

試作した全方位画像閲覧サイトを図-9 に示す．左画面に表示された地図上の赤点が全方位カメラのシャッタータイミングを示しており，クリックすることによって，右画面にその地点の全方位画像が表示される．また，右画面に表示された全方位画像は 360° 自由に動かすことができ，右下角の地図上には現在画面に表示されている範囲が青色の扇形で表示される．

このサイトのように様々な視点からの全周囲画像を用いることにより，遮蔽物などによってレーザ点群の密度が低くなり，反射強度画像だけでは判読が難しい箇所における判読性を向上させることが可能である．

5. まとめ

本稿では，MMS から作成した反射強度画像について，精度検証を行い，公共測量における地図情報レベル 500 を満たす位置精度であることを確認した．

観測地域の上空視界が不良な箇所に関しても，調整用標定点及び特徴点を用いることによって，位置精度を満たすことが可能であり，反射強度画像を電子国土基本図の更新に利用することが可能であると結論づけられる．

一方で，MMS を用いた一連の解析処理は複雑で工程数が多く，事業化にあたっては一層の解析工程の効率化が必要となる．今後，精度を保持しつつ，効率化が可能な反射強度画像作成手法の検討を行いながら，MMS から作成した反射強度画像を用いて電子国土基本図の更新を行っていく予定である．

（公開日：平成 25 年 3 月 26 日）

図-9　全方位画像閲覧サイト

参 考 文 献

国土交通省 国土地理院（2012）：移動計測車両による測量システムを用いる数値地形図データ作成マニュアル（案），2-4.

This document is provided by JAXA.

航空機 SAR の改修と湛水域抽出について
Improvement of Airborne SAR and Research of Extracting Water Area in Disaster

基本図情報部　伊藤裕之・笹川啓・藤原博行・大野裕幸
National Mapping Department
Hiroyuki ITO, Akira SASAGAWA, Hiroyuki FUJIWARA and Hiroyuki OHNO

要　旨

航空機搭載型合成開口レーダ（以下，「航空機SAR」という.）は，マイクロ波センサの特性により，雲や噴煙などの影響を受けずに昼夜を問わず観測が可能であることから，災害時の被災状況の早期把握への活用が期待される．国土地理院では，平成 8 年度～平成 9 年度にかけて航空機 SAR を整備し，浅間山や霧島山（新燃岳）等の火山観測を実施してきたところである．平成 23 年度～24 年度初めにかけて，豪雨災害や津波により発生した湛水域の早期把握を目的として，航空機 SAR の改修を実施し，空中写真撮影用のカメラとの同時搭載，雨天時における飛行，観測映像の迅速な提供，搭載所要時間の短縮といった災害時観測のための機動性の向上を実現した．また，平成 23 年 9 月の台風 12 号により発生した河道閉塞箇所（奈良県十津川村栗平地区）の湛水域について試験観測を実施して湛水域抽出手法の検討を行い，観測データの解析により湛水域の概形の抽出が可能であることを確認した．

1. はじめに

災害時には被災状況の早期把握が重要であり，国土地理院では航空機を用いた情報収集を行っている．災害時における光学センサによる観測は，雲によって視界が遮られ，迅速な情報収集を行えないケースがある．また，火山災害においては噴煙による影響などで火口の状況等の把握を行うことは難しい．一方で，航空機 SAR による観測は，航空法に定められる航空機の飛行条件や航空機の性能による制約等はあるものの，マイクロ波センサの特性を生かし，雲や噴煙などの影響を受けずに昼夜を問わず観測が可能である．

国土地理院では，平成 8 年度～平成 9 年度にかけて航空機 SAR を整備し，浅間山や霧島山（新燃岳）等の火山観測を実施してきたところである（浦部，2005；下野，2011）．平成 23 年度～24 年度初めにかけて，豪雨災害や津波により発生した湛水域の早期把握を目的として，災害時観測の機動性を向上させるための改修を実施したので，改修の内容と観測データの精度検証の結果について報告する．また，河道閉塞により発生した湛水域の試験観測を実施し，観測データからの湛水域抽出手法の検討を行ったので，その結果について報告する．

2. 航空機 SAR 改修概要

国土地理院の航空機SARは，測量用航空機「くにかぜⅢ」（セスナ208B）に搭載して運用するが，平成8年度～平成9年度に整備した航空機SARは装置が大きいため，空中写真撮影用のカメラとの同時搭載が不可能であり，観測の際にはSAR装置の取付け作業とともにカメラの取外し作業が発生していた．また，レーダ電波の干渉を防ぐため，SARアンテナ設置部にあるカーゴドアを取り外した状態にする必要があり，雨天時の飛行は機内へ雨が吹き込むことによる他の搭載機材への影響から支障があった（図-1）．

このため，平成23年度～24年度初めにかけて航空機SARの改修を実施し，カメラとの同時搭載を可能とするための装置の小型化，レーダを透過する電波透過素材（FRP）を採用したレドームドアの作成を行った（図-2）．

図-1　航空機 SAR（平成 8 年度～平成 9 年度整備）

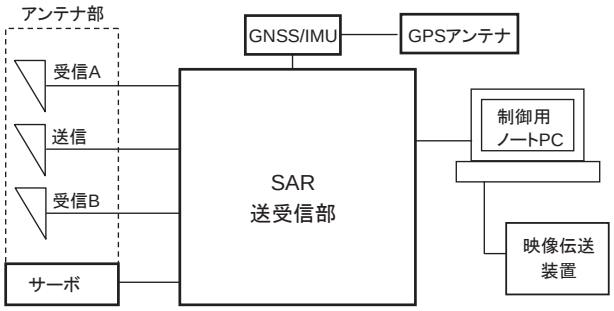
図-2　航空機 SAR（平成 23 年度～平成 24 年度整備）
（左：SAR アンテナ，右：レドームドア）

This document is provided by JAXA.

また，観測映像の迅速な提供を実現するため，機上にて簡易処理した映像を観測直後に地上に素早く伝送する機能を付与した．

改修後の航空機 SAR 装置の構成と仕様を図-3 に示す．本装置は SAR 送受信部，アンテナ部，制御用ノート PC，映像伝送装置及び GNSS/IMU をベースに構成され，アンテナ部は 1 回のフライトで干渉処理による標高情報を得るために，受信アンテナを上下に 2 台配置する形になっている．制御用ノート PC で簡易処理した観測映像は，映像伝送装置を用いて機上から伝送を行うことができる．

本装置の重量は SAR 送受信部，アンテナ部ともに約 30kg 程度であり，くにかぜⅢへの搭載所要時間は，レドームドアへの付け替え約 1 時間，装置の取り付け約 30 分程度である．改修前の航空機 SAR の搭載には丸 1 日程度を要していたことから，搭載所要時間の短縮も実現した．



・周波数　　9.65ＧＨｚ（Ｘバンド）
・送信帯域幅　300ＭＨｚ（300ＭＦ３Ｎ）
・偏波　　水平送信/水平受信
・送信電力　　10W
・観測幅　　最大５ｋｍ
（インターフェロメトリモード時）
・空間分解能　0.6m～5m
・オフナディア角可変範囲　55～75°

図-3　航空機 SAR 装置の構成と仕様

航空機 SAR の作業フローを図-4 に示す．航空機 SAR により得られる成果は，簡易処理により得られる観測映像（動画）（図-5），GNSS/IMU より得られる最適軌跡解析結果を用い，位置情報を付与して作成される再生画像（図-6）及び数値表層モデル（DSM）（図-7）である．再生画像の作成では，SAR 特有の倒れ込みの補正のため，基盤地図情報（数値標高モデル）10m メッシュ（標高）を用いてオルソ補正を行う．また，数値表層モデル（DSM）の作成では，レーダシャドウ（地形等の影響により電波が到達しない場所に現れるデータ欠損）による欠損部を埋めるため，複数コースの観測データから得られた数値表層モデル（DSM）を用いて合成作業を行う．

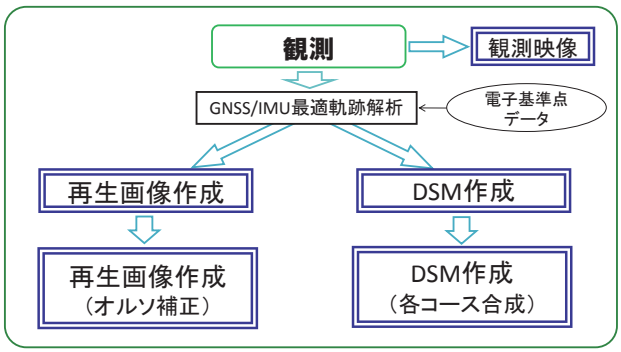


図-4　航空機 SAR の作業フロー

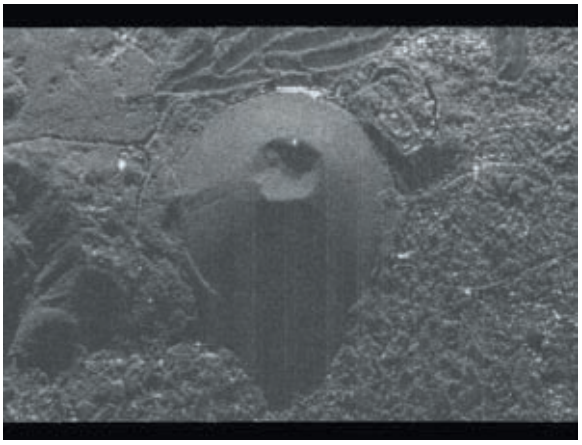


図-5　観測映像（動画）

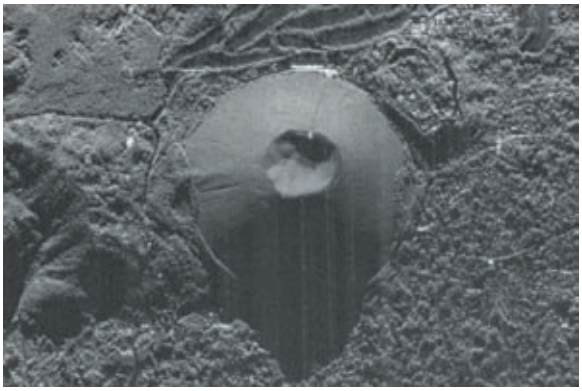


図-6　再生画像（オルソ補正）

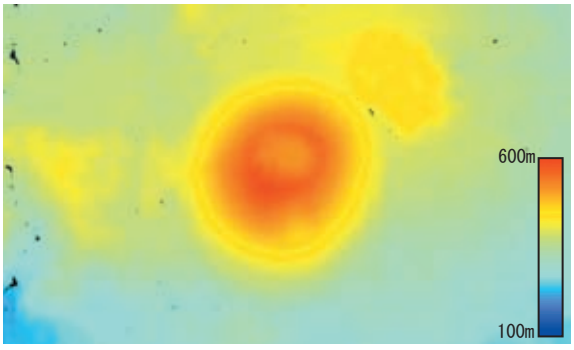
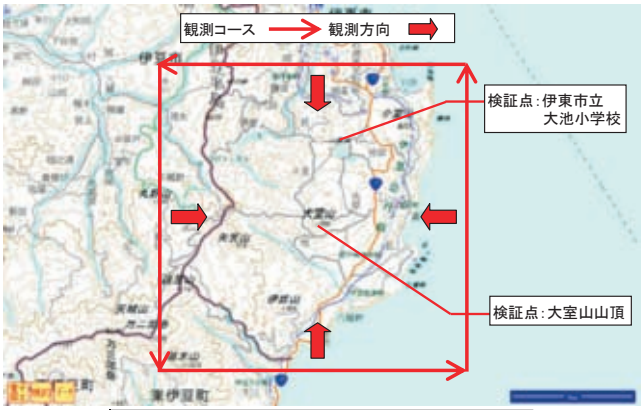


図-7　数値表層モデル（DSM）

This document is provided by JAXA.

3. 観測データの精度検証

改修後の航空機 SAR で作成される再生画像と DSM の位置精度が，どの程度なのかを確認するため，静岡県伊東市大室山近辺の観測を実施し，精度検証を行った．観測コース及び諸元を図-8 に示す．



観測日	2012/5/30
観測方向	4方向
オフナディア角	65°
飛行高度	約3,000m
水平距離	約6,500m

※水平距離：コースから観測中心までの距離

図-8　観測コース及び諸元

3.1 再生画像の水平位置精度検証

再生画像の精度検証にあたっては，レーダを反射するコーナーリフレクタを，レーダに対する遮蔽物や他の反射物がない大室山山頂（4 方向に対応）と伊東市立大池小学校グラウンド（1 方向（北南コース）に対応）に設置して地上検証点とし，再生画像上にその反射を写し込ませた．図-9 は再生画像上に写し込んだ大室山山頂のコーナーリフレクタの反射の状況である．

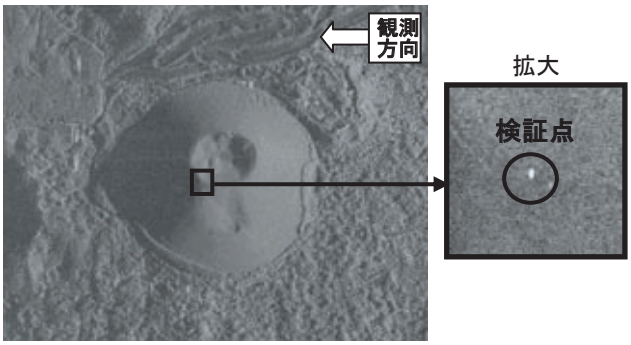


図-9　大室山近辺の再生画像（南北コース）と
大室山山頂の検証点（コーナーリフレクタ）

コーナーリフレクタの設置地点（地上検証点）については，VRS 方式の RTK-GPS 測量で位置情報を取得し，その値を真値として，再生画像上から計測される位置情報と比較した．

水平位置精度の検証結果を表-1 に記す．水平誤差が最大 4.060m，RMSE が 2.951m であった．この水平誤差は，再生画像作成において 10m メッシュ DEM を用いてオルソ補正を行っていることから，航空機 SAR 装置自体が持つ測定誤差に加え，10m メッシュ DEM を用いることによる誤差を内包している．

表-1　再生画像の水平位置精度検証結果

観測コース	検証点	Δ X(m)	Δ Y(m)	Δ XY(m)
東西コース	大室山山頂	−0.524	4.026	4.060
西東コース	大室山山頂	−3.092	−2.375	3.899
南北コース	大室山山頂	−0.990	1.256	1.599
北南コース	大室山山頂	1.296	0.050	1.297
北南コース	伊東市立 大池小学校	2.287	1.546	2.761
RMSE		1.883	2.272	2.951

3.2 DSM の精度検証

DSM の作成にあたっては，レーダシャドウによるデータ欠損部を埋めるため，4 方向の各観測データから作成した DSM を合成し，大室山山頂付近の 500m×500m の DSM（5m メッシュ）を作成した．また，再生画像の精度検証に用いた大室山山頂の地上検証点における位置情報を調整用基準値として使用し，DSM の標高値を上下に一律シフトさせる平行移動により補正した．精度検証では，航空レーザ測量成果である基盤地図情報（数値標高モデル）5m メッシュ（標高）を真値として比較を行った．

精度検証結果を図-10 に記す．誤差が最大 16.278m，RMSE が 2.035m であった．この結果は，改修により災害時観測の機動性の向上を実現しつつ，改修前とほぼ同程度の精度レベル（浦部，2005）を実現したといえる．

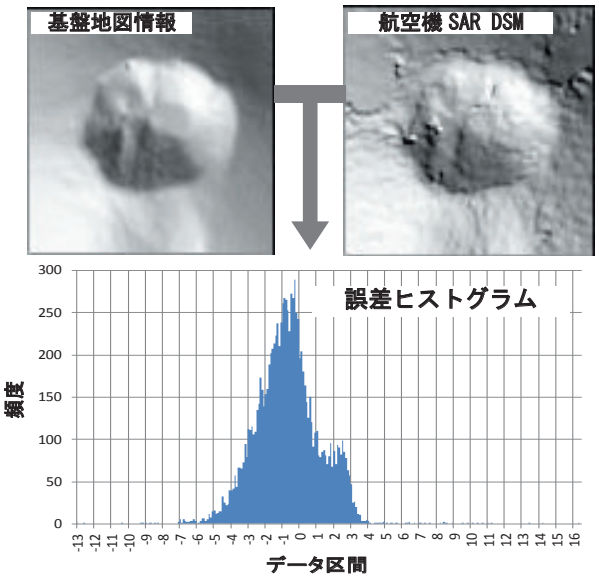


図-10　DSM の精度検証結果

This document is provided by JAXA.

4. 湛水域抽出手法の検討

航空機 SAR のマイクロ波は，水面のような凹凸の少ない滑らかな面では後方散乱が少ないため，再生画像上で水面などは暗く写るという特徴を持っている（図-11）．湛水域の抽出手法の検討にあたってはこの特徴を利用することとした．

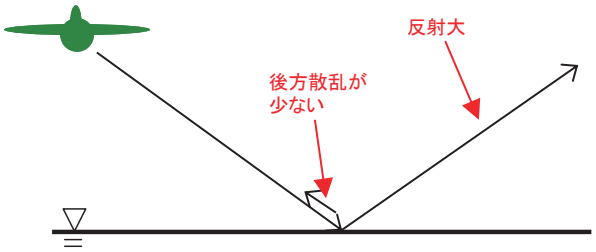
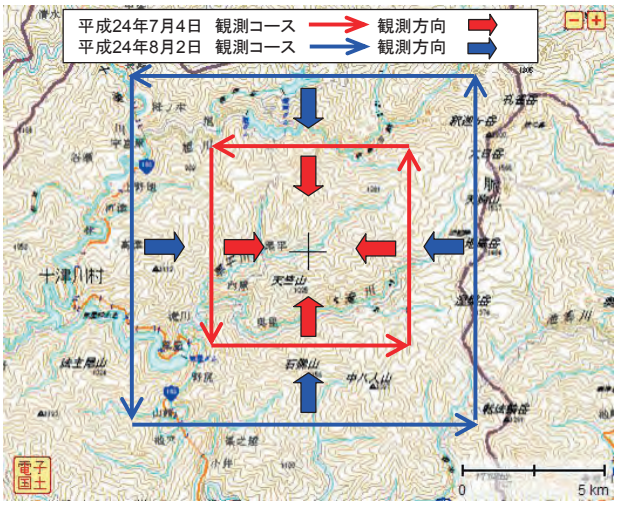


図-11　水面における反射と後方散乱

テストサイトとしては，平成 23 年 9 月の台風 12 号により大規模な河道閉塞が発生した奈良県十津川村栗平地区を選定した．平成 23 年 9 月に発生した湛水域は，図-12～図-14 に示すとおり，観測時期（平成 24 年 7～8 月頃）においても顕在であることが確認できる．観測コース及び諸元を図-15 に示す．観測にあたっては，オフナディア角の違いによる影響を調べるため，55° と 70° の場合についてそれぞれ 4 方向（4 コース）の観測を実施した．



観測日	2012/7/4	2012/8/2
観測方向	4方向	4方向
オフナディア角	55°	70°
飛行高度	約3,000m	約3,000m
水平距離	約3,300m	約6,100m

図-15　観測コース及び諸元

東西コース（オフナディア角 55° ）の再生画像を図-16 に示す．観測地域が山間部であるため，レーダの届かない箇所が多数発生し，再生画像上においては，湛水域のほか，レーダシャドウにより暗く写っている箇所が多くみられる．図-17 は，再生画像上で暗くなった箇所を抽出した結果である．

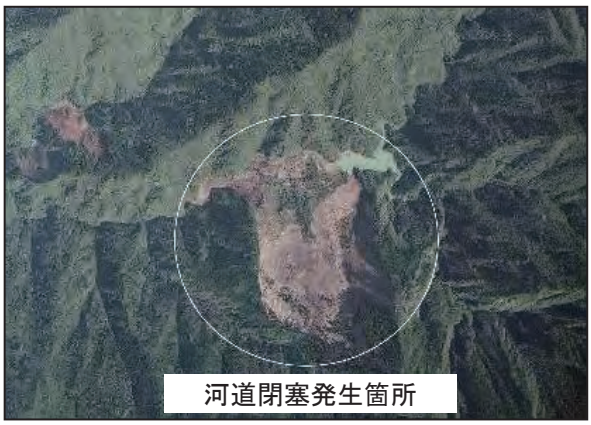


図-12　当時の空中写真（平成 23 年 9 月）

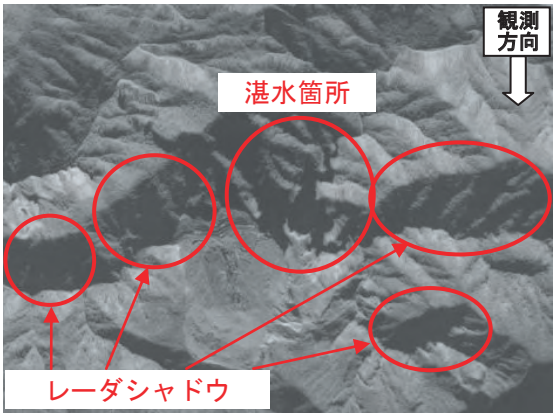


図-16　東西コース（オフナディア角 55°）の再生画像

図-13　ヘリ画像
（平成 24 年 6 月 27 日近畿地方整備局撮影）

図-14　空中写真
（平成 24 年 10 月 13 日）

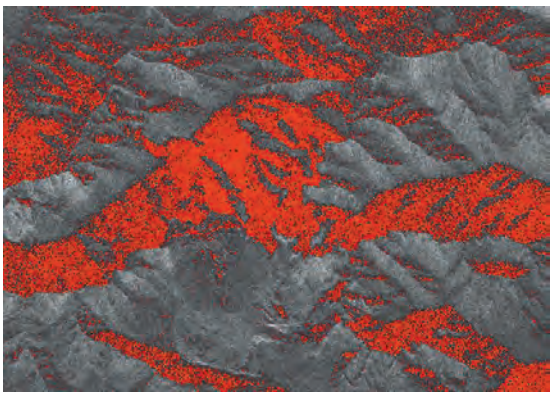


図-17　東西コース（オフナディア角 55°）の再生画像からの湛水域抽出

This document is provided by JAXA.

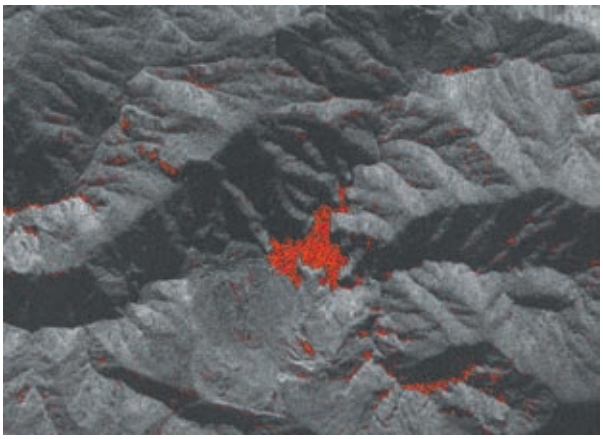


図-18　2 コース（オフナディア角 55°）の再生画像からの湛水域抽出

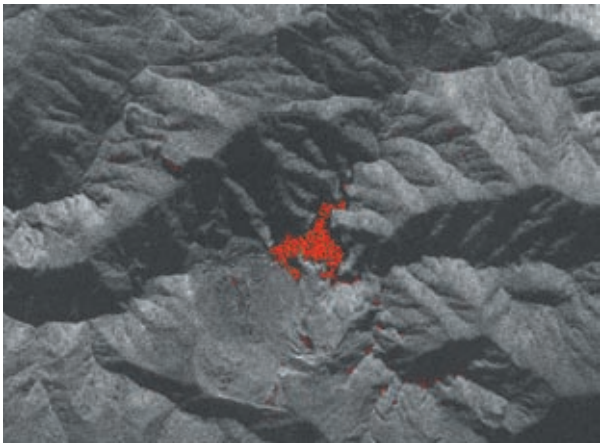


図-19　4 コース（オフナディア角 55°）の再生画像からの湛水域抽出

レーダシャドウによる湛水域の誤抽出を除去するため，各コースの観測データから作成した再生画像の暗い箇所をそれぞれ抽出し，共通して暗い箇所のみを湛水域として抽出した．図-18 は，2 コース（東西コースと西東コース）の再生画像上で共通して暗い箇所のみを抽出した結果，図-19 は，全 4 コースの再生画像上で共通して暗い箇所のみを抽出した結果である．2 コースからの抽出では，多少レーダシャドウによる湛水域の誤抽出が見られるものの，湛水域の概形の抽出は明瞭にできている．4 コースからの抽出では，2 コースからの抽出よりさらにレーダシャドウによる湛水域の誤抽出を除去することに成功している．

湛水域の抽出範囲の正確性の確認のため，現地に設置されている水位計から推測される湛水域と航空機 SAR の観測データの解析から抽出した湛水域との比較を行った．図-20 は，水位計から推測される湛水域と 4 コースからの抽出結果（オフナディア角 55° ）を比較したもの，図-21 は，水位計から推測される湛水域と 4 コースからの抽出結果（オフナディア角 70° ）を比較したものである．

オフナディア角 55° からの抽出結果は，水位計から推測される湛水域より狭い範囲となっている．また，オフナディア角 70° からの抽出結果は，水位計から推測される湛水域により近い範囲となっているが，湛水域の誤抽出が周辺（特に谷地形の箇所）に多くみられる．オフナディア角 70° からの抽出結果に誤抽出が多いのは，オフナディア角 70° の観測データはレーダの届かないレーダシャドウが多く，4 コースの観測データからの抽出でもレーダシャドウを除去しきれないことが原因と考えられる．

湛水域の抽出範囲の正確性については，今後さらに事例等を増やし，検証を進めていく予定である

図-20　湛水域抽出結果の比較（オフナディア角 55°）

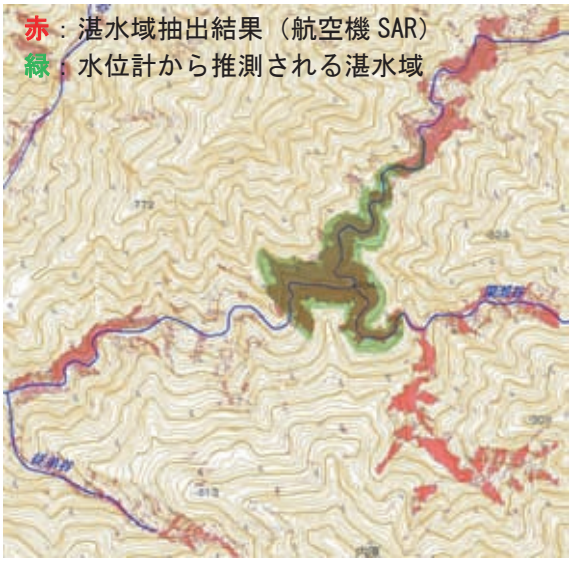


図-21　湛水域抽出結果の比較（オフナディア角 70°）

This document is provided by JAXA.

5. まとめ

国土地理院の航空機 SAR について，平成 23 年度～24 年度初めに行った改修により，空中写真撮影用のカメラとの同時搭載，雨天時における飛行，観測映像の迅速な提供，搭載時間の短縮といった災害時観測のための機動性の向上を実現しつつ，DSM においては改修前の航空機 SAR とほぼ同程度の精度レベルを実現した．また，観測データからの湛水域抽出手法の検討においては，抽出範囲に課題はあるものの，オフナディア角 55° の観測データから湛水域の概形の抽出が可能であることを確認した．

航空機 SAR は全天候型のセンサであり，今回の改修で災害時観測のための機動性の向上を実現したことから，災害時の運用がさらに期待されるところである．運用にあたっては，航空法に定められる航空機の飛行条件や航空機の性能等による制約を受けることを踏まえつつ，湛水域などの被災状況把握方法や観測データの位置精度向上，解析処理の効率化等についての検討をさらに進め，災害時における活用を図っていく予定である．

（公開日：平成 25 年 3 月 26 日）

参 考 文 献

岡谷隆基，小荒井衛，茂木公一，渡辺信之，山田陽子，松尾馨（2001）：航空機 SAR を用いた急峻地形地における DEM の抽出とその応用，写真測量とリモートセンシング Vol. 40，No.4.

浦部ぼくろう，渡辺信之，村上亮（2005）：航空機搭載型合成開口レーダ（航空機 SAR）による浅間山火口内の観測，国土地理院時報，107，15-20.

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，121，189-194.

This document is provided by JAXA.

高精度湖底地形調査について
High precision topographic survey of lakes

応用地理部　畠山真介
Geocartographic Department　Shinsuke HATAKEYAMA

要　旨

平成 23 年の東日本大震災により，甚大な被害を受けた沿岸湖沼のうち，「松川浦」（福島県）及び「万石浦」（宮城県）（図-1）において，瓦礫の撤去や漁場再生などの復旧・復興事業等の基礎資料となる，高精度の水深データを作成するため，マルチビーム音響測深機を使用した高精度湖底地形調査を実施した．

また，平成 24 年度には山梨県富士五湖のうち，「西湖」の調査を実施した．「西湖」は昭和 39 年の調査から 48 年が経過し，湖とその周辺の環境が大きく変化していることから，再度調査を行うこととした．

これらの調査について概要を報告する．

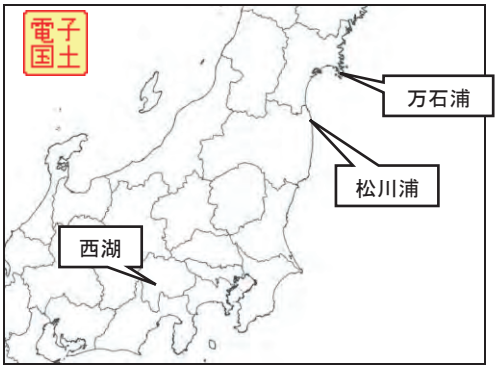


図-1　調査湖沼位置図

1. マルチビーム音響測深機について

マルチビーム音響測深機は，進行方向の左右方向に湖底に向かって扇状に音波を発信し，発信した音波の湖底からの反射時間を計測することで，幅広い範囲で高密度の水深データを得ることが出来る（図-2）．

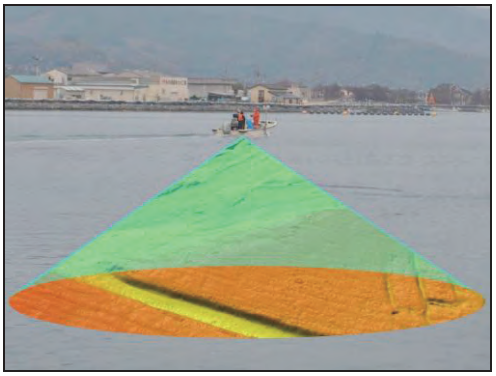


図-2　マルチビーム音響測深機による測深イメージ

1.1 使用機器概要

調査にはマルチビーム音響測深機「SONIC2022（R2SONIC 社製）」を使用した（写真-1）．諸元は表-1 のとおり．

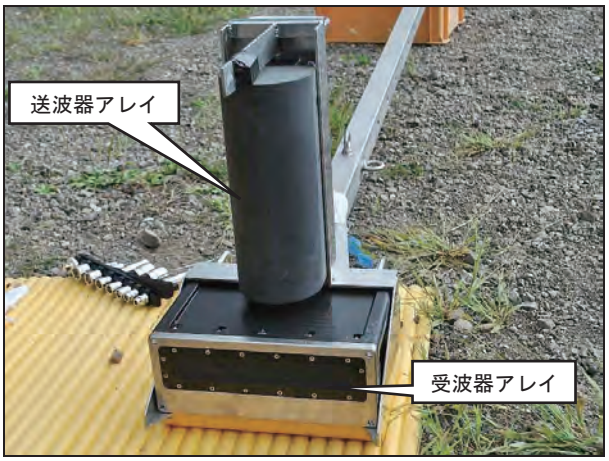


写真-1　SONIC2022

表-1　SONIC2022 諸元

周波数	200～400kHz（10kHz 単位可変）
ビーム数	256
ビーム分解能	1°×1°（周波数 400kHz 時）
ビーム幅	10°～160°（可変）
測深範囲	500m（海水中，周波数 200kHz 時）

1.2 マルチビーム音響測深機動作原理

SONIC2022 はクロスファンビーム方式による測深を行うものである（図-3）．

動作として，送波器アレイより湖底に向かい，進行方向に対し横方向の扇状の指向角の狭い音波を送出する。送波器に対し，受波器アレイを 90 度回転させ T 字型となるように設置し，進行方向と同じ向きのビームを形成し，反射してきた音波を待ち受ける。

横方向のビームと縦方向のビームが直交した面をクロスファンビームと呼び，この部分の水深値を取得している。SONIC2022 では最大 160° のビーム幅で 256 点の水深値を一度に得ることができる．

このことにより，従来のシングルビーム音響測深機と比較して，面的に湖底を捉えることが可能となり，より多くの測深値を得られるようになったことで、精度の高い測量が可能となった．

This document is provided by JAXA.

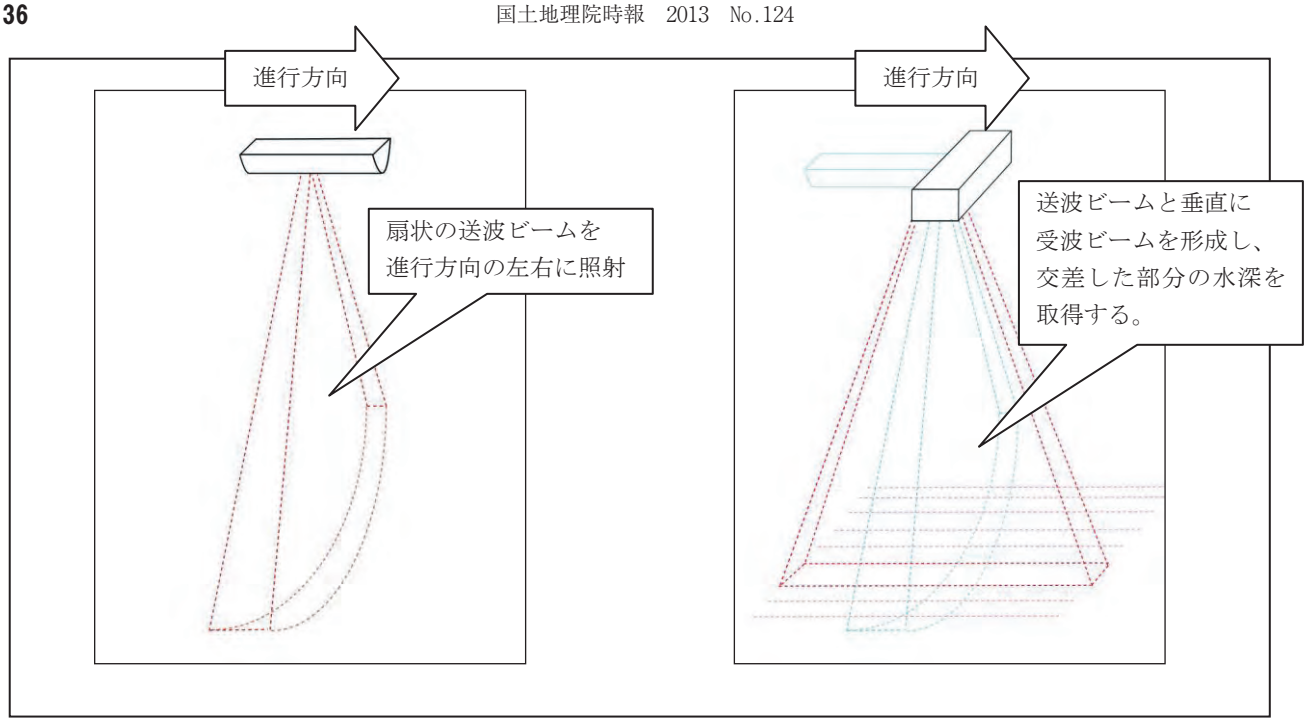


図-3　マルチビーム音響測深機（クロスファンビーム方式）動作概念

2. 湖底地形調査「松川浦」

「松川浦」（図-4）において平成 23 年 10 月 17 日から 11 月 4 日にかけて測深調査を行った.

「松川浦」では海苔及びアサリの養殖業が行われていたが，津波により漁場は壊滅した．漁場の再生のため，決壊した潮流口周辺や航路の湖底地形の把握が急務であり，福島県及び漁業関係者から湖底地形調査に対する強い要望があった．津波によって松川浦内には震災瓦礫や海岸線沿いの松等の倒木が大量に流入していた（写真-2）.

松川浦は大部分が極浅水域のため，航路を除き，船が進入できないことから瓦礫撤去に時間が掛かっており，調査時点において瓦礫はほとんどが未撤去だったため, 全域調査は不可能であった. そのため, 調査可能区域が限られる中で，要望があった潮流口（図-4①）、航路（図-4②）を中心に調査を実施した.

写真-2　松川浦内の状況（平成 23 年 10 月 20 日撮影）

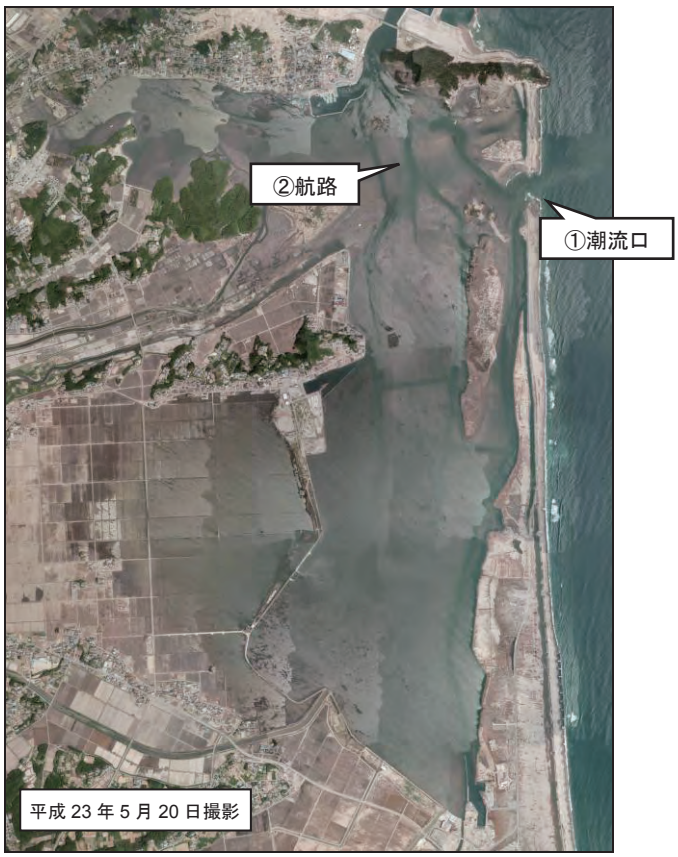


図-4　松川浦（5.9km^2）（オルソ画像）

2.1 「松川浦」地区水位観測所の設置

湖沼調査では測深基準水面の標高値及び測深データの補正値を求めるため，水位観測を行う．水位観測所は相馬双葉漁業協同組合との協議の上，松川浦

This document is provided by JAXA.

漁港松川浦地区（図-5）に設置した．

水位観測所の設置には高さの基準となる水準点を設置する必要がある．「松川浦」地区では相馬験潮場の附属水準点「附 27」(T.P.3.5208m　※測地成果 2011（震災後に再測量された成果)) を使用し，片道約 3km の直接水準測量（写真-3）を行い，設置した水準点の標高 0.1235m の成果を得た．

図-5　「松川浦」地区水準路線図

写真-3　「松川浦」地区水準測量実施状況

水準測量後，簡易水位観測所を設置した．水位観測には水圧式水位計（横河電子機器社製フィールドμ) (写真-4) を使用し，5分間隔で水位観測を行った．

松川浦周辺は震災前と比較し地盤沈下 (-0.3m　※水準点「附27」上下変動量）しているため，水位観測所設置箇所周辺は満潮時に水没する（写真-5）．

写真-4　水圧式水位計

写真-5　満潮時水位観測所周辺（松川浦）

そのため，水位計を漁協の協力により潮干狩り休憩所内に設置した（写真-6）．水際のセンサーから離れた建物内に本体を設置したため，センサーケーブルが陸部に露出する．干潮時に車両が通行することもあることから，ケーブルを土中に埋め込んで設置した（写真-7）．

写真-6　水位計本体設置状況

This document is provided by JAXA.

写真-7　センサーケーブル埋設状況

写真-9　松川浦内瓦礫状況

2.2 「松川浦」内試走

測深作業に入る前に調査湖沼内部の現況確認も兼ね，測量船の試走を行った．今回の作業では，震災瓦礫や倒木等が松川浦内部に大量に残されていることから，通常より時間を掛け，松川浦内を半日程度，調査した（写真-8）．

試走により，松川浦内は防潮林を形成していた松などの倒木が大量に残っていることを確認した（写真-9）．航路を除き大部分が 1m 以下の極浅水域のため，瓦礫撤去に時間が掛かっており，測量船が侵入できないことから全域調査は不可能であった．

また，松川浦内には，海苔養殖の種網の設置されている箇所（写真-10）があり，その周辺も調査が不可能なことが分かった．そのため，地元関係機関の要望の高い航路周辺部を中心に調査することとした．

写真-8　松川浦内試走状況

写真-10　松川浦内海苔網設置状況

2.3 「松川浦」測深調査概要

2.3.1 津波による洗掘状況調査

東日本大震災時の津波により，北海道から千葉県までの太平洋沿岸の広い範囲が被害を受けた．松川浦でも津波により大きく地形が改変された．

松川浦と外洋を隔てる砂州は津波越流時に洗掘されて，防波堤背面が大きくえぐられ，南北に細長い水路が形成された（写真-11）．洗掘された水路は松川浦と接続し，測量船の進入が可能になったことから測深調査を行った．測深の結果，水路は場所によっては 4m 以上の深さがあることが分かった（図-6）．

写真-11　海岸沿いに形成された水路

This document is provided by JAXA.

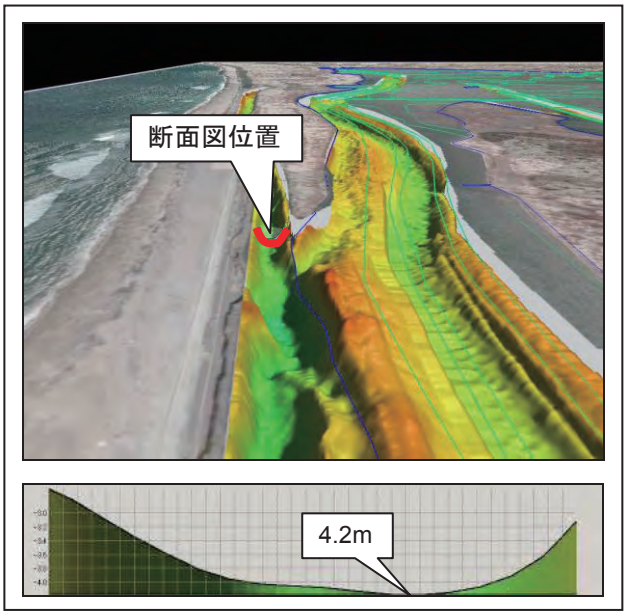


図-6　洗掘された水路の状況

2.3.2 潮流口（砂州の破壊箇所）調査

砂州は震災直後，津波による洗掘だけではなく堤防が一部決壊し，松川浦と外洋が接続する潮流口が形成された（図-7）．その後，砂州形成の要因となる非常に強い潮流により，大量の砂が流入し，新しく砂州が浦内に形成された（図-8）．

図-7　潮流口（平成 23 年 3 月 12 日撮影）

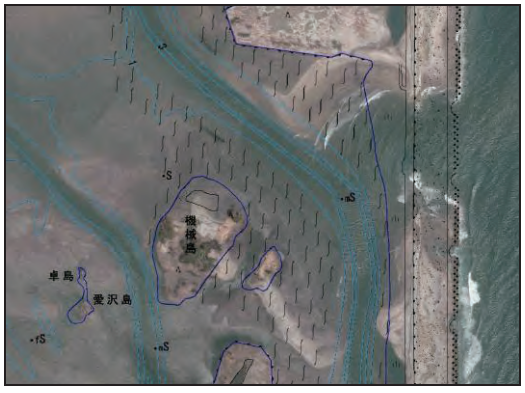


図-8　潮流口（平成 23 年 5 月 20 日撮影）

松川浦の潮流口は福島県により8月仮締切堤防が設置され，砂の流入は収まったが，それまでに相当量の砂が流入しており，空中写真を撮影した5月よりも本調査を実施した10月では砂州はさらに大きく発達していた．

調査の結果，流入した大量の砂が航路に埋積していたことが分かった（図-9）

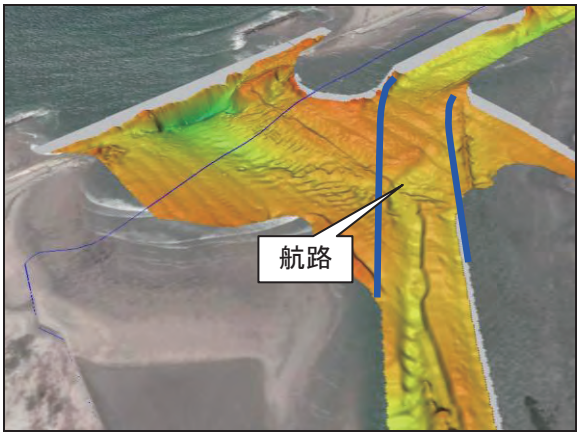


図-9　航路の埋積状況

2.3.3 松川浦最深部

松川浦の最深部は松川浦漁港（松川浦地区）付近の外洋へと繋がる澪筋にあり，水深 8.8m であった（図-10）．震災前には 8.5m（平成 22 年国土地理院測量）であり，近傍水準点「附 27」の沈下量-0.3m と一致した．

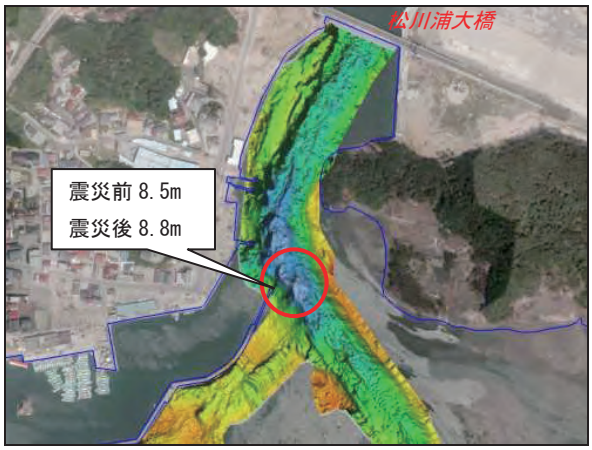


図-10　松川浦最深部

2.4 「松川浦」測量成果と関係機関への提供

松川浦の測深結果とオルソ画像（国土地理院技術資料 C1-No.409）及び震災前の松川浦の湖沼図（国土地理院技術資料 D1-No.574）と重ね，試作図「正射写真湖沼図（簡易版）松川浦」（図-11）を作成し，福島県，相馬双葉漁協，福島県警察相馬警察署等の関係機関へ提供を行った．

This document is provided by JAXA.

福島県では航路の浚渫を行うための資料として，相馬双葉漁協では海苔の種場の選定資料として使用するとのことである．また相馬警察署では，行方不明者の捜索活動を行うため，応援に来た警察関係者への説明資料として使用したとのことである．

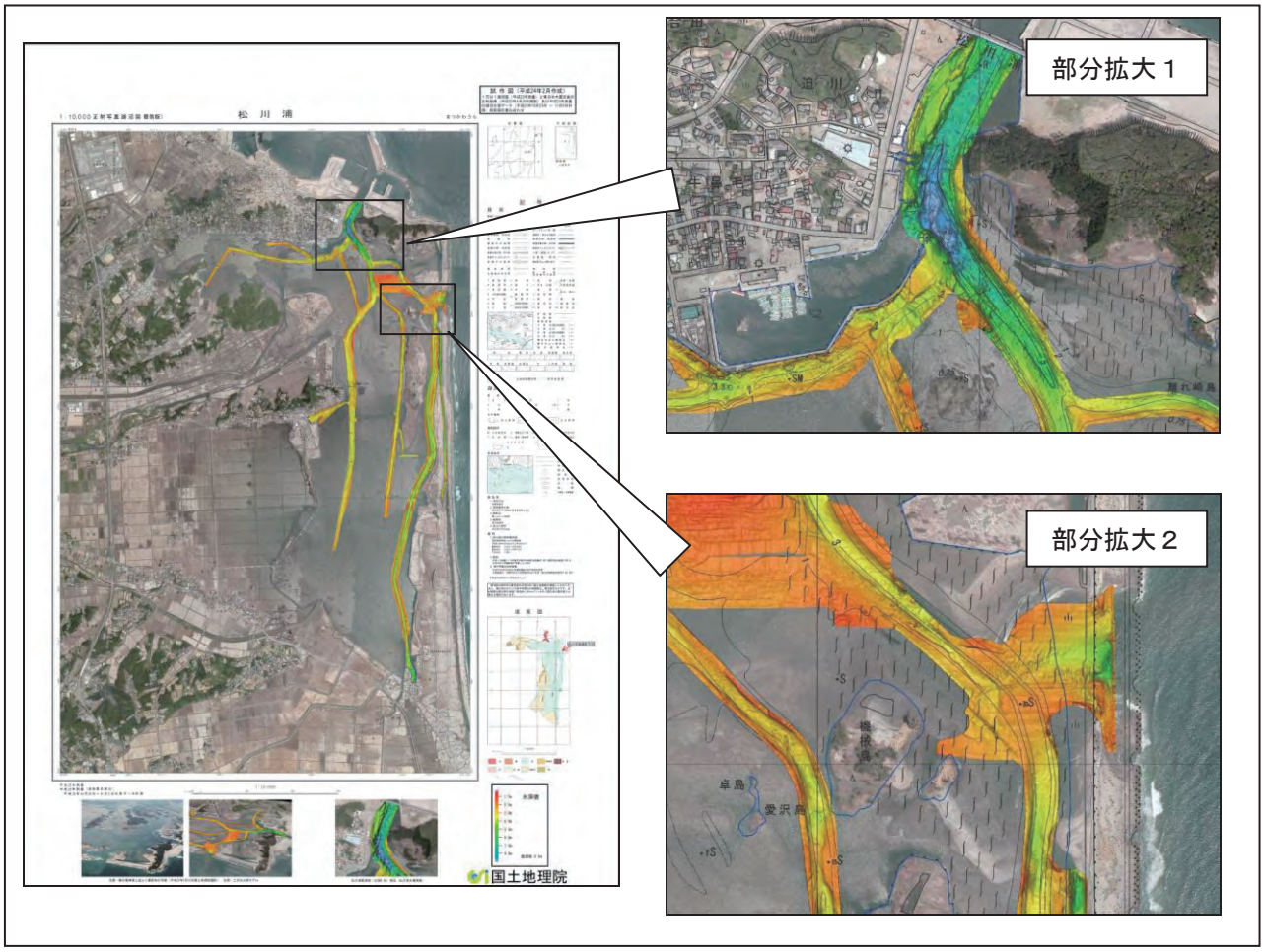


図-11　試作図「正射写真湖沼図（簡易版）松川浦」

3. 湖底地形調査「万石浦」

平成 23 年 11 月 4 日から 11 月 28 日にかけて,「万石浦」の測深調査を行った．

「万石浦」（図-12）ではカキ養殖のための稚貝養殖が全域で行われており,その出荷先は全国に及び,日本国内におけるカキ養殖業の要となっている．しかし，東日本大震災の津波により養殖カキの 9 割が失われ,地盤沈下及び津波による地形改変が著しく,漁場再生のため地形情報の把握が急務であった．万石浦では船が進入できる十分な水深があることから,瓦礫もほとんどが撤去されており，全域での調査を行った．

図-12　万石浦（7.2km^2）（オルソ画像）

3.1 「万石浦」地区水位観測所の設置

「万石浦」地区での水位観測のため，水準点の取付けには一等水準点「5631」（T.P.2.8233m　※測地成果2011（震災後に再測量された成果））を使用し，片道約340mの直接水準測量を万石橋近傍の岸壁まで行った（図-13，写真-12）．水準測量により，設置水準点の標高0.2357mの成果を得た．

This document is provided by JAXA.

図-13 「万石浦」地区水準路線

万石浦は牡鹿半島の付け根にあり，震源地に近く「松川浦」地区の沈下量を上回る-0.7m（※水準点「5631」変化量）の沈下が起きた（図-14）．そのため，「松川浦」地区と同様，水位観測機器が冠水しない場所に設置する必要があるため，倒壊した石碑の上に設置した（写真-13）．

写真-12 「万石浦」地区水準測量実施状況

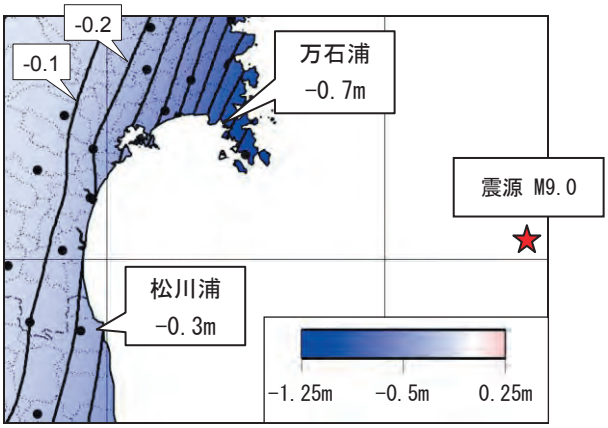


図-14 調査湖沼周辺地殻変動（上下）
（電子基準点による）
※国土地理院ホームページより引用

写真-13 満潮時水位計状況（万石浦）

3.2 「万石浦」内試走

万石浦では船が進入できる十分な水深があることから，瓦礫はほとんどが撤去されており，全域調査が可能であった．

内部にはカキ養殖用施設がほぼ全面に設置されているため，カキ養殖用施設の隙間を縫うように測深作業を実施した（写真-14）．

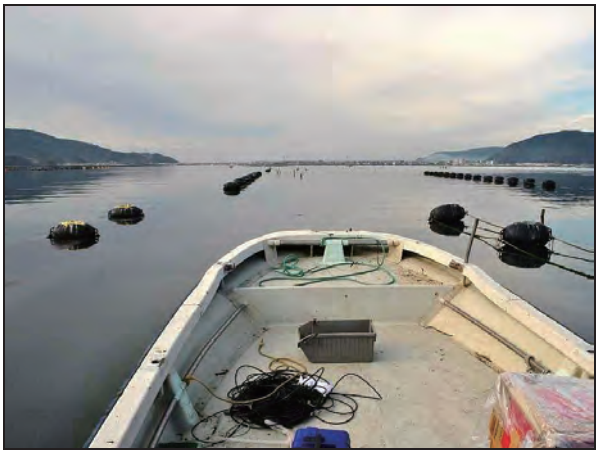


写真-14 「万石浦」測深実施状況

3.3 「万石浦」最深部

測深した結果，万石浦の最深部は万石橋北側近傍にあり，17.5m であった（図-15）．

宮城県漁協によると，この周辺は震災前に漁協から宮城県に対し，付近にある漁船係留場所への波浪の影響を弱めるため，浚渫要望を出すほど浅かったとのことである（図-16）．万石浦の漁業者の間では震災後，湖底の岩盤が露出したと語られており，津波により湖底の堆積物がさらわれ，深くなったことと考えられる．

This document is provided by JAXA.

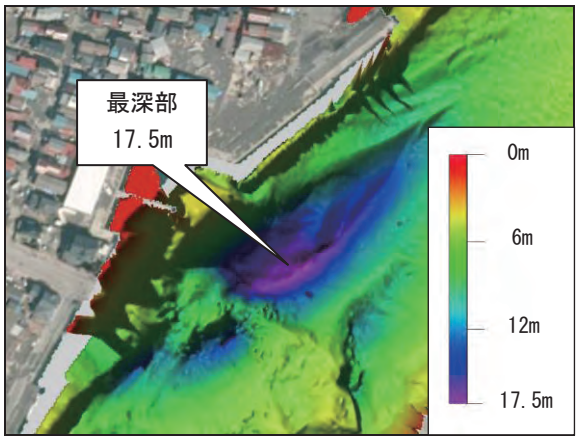


図-15　「万石浦」最深部

3.4 関係機関への測量成果提供

万石浦では水深の深い場所にあることから発見されず，引き上げられていない瓦礫のうち，沈船，水没車等の緊急性の高いものが調査により複数発見された．そのため，海上保安庁等の関係機関に位置情報及び水深のデータ提供を行った（図-17）．発見された瓦礫は，宮城県により全て撤去されている．

また，万石浦の測深結果とオルソ画像（国土地理院技術資料 C1-No.409）を重ね，試作図「高精度水深データ陰影段彩図「万石浦」」（図-18）を作成し，宮城県，宮城県漁協等関係機関へ成果提供を行った．

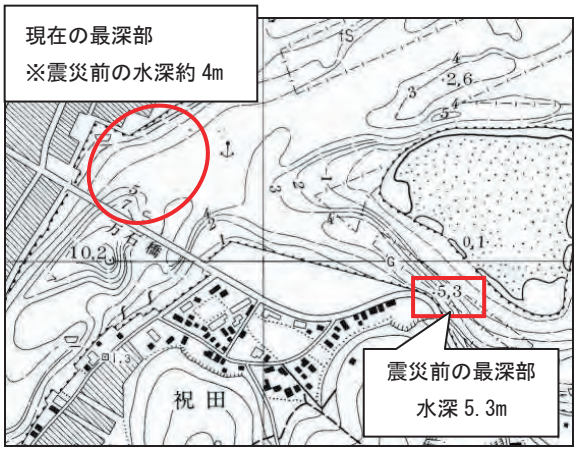


図-16　湖沼図「万石浦」（昭和 55 年測量）

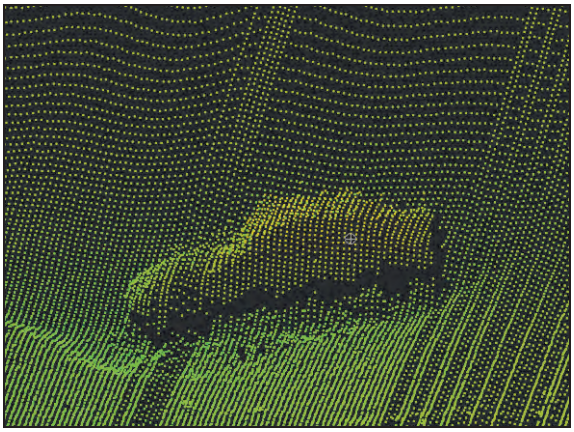


図-17　測深調査により発見した水没車（水深 5.0m）

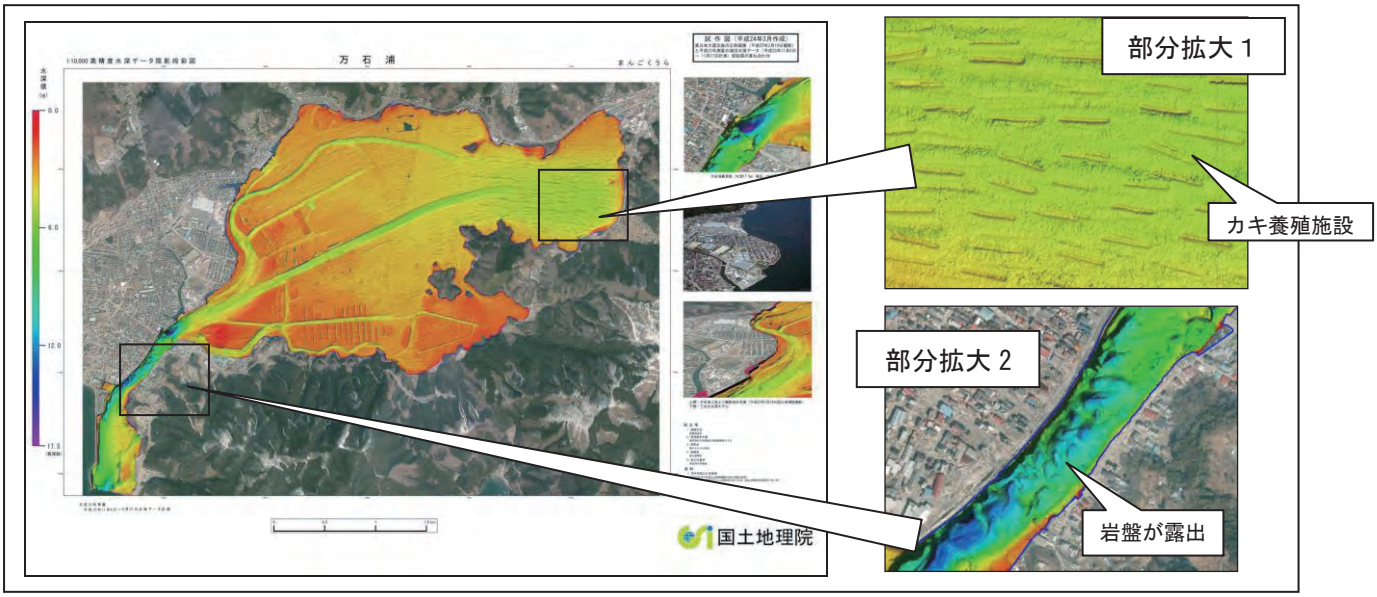


図-18　試作図「高精度水深データ陰影段彩図「万石浦」」

3.5.「万石浦」底質調査

平成 24 年 5 月 21 日から 5 月 31 日にかけて，「万石浦」の底質調査を行った（写真-15）．

底質調査は採泥器を使用し，149 点の湖底の表層構成物質（底質）サンプルを採取，振動ふるい機による粒度分析を行い，ウェントワースの粒径区分により分類した．

その結果，万石浦の底質は，石巻湾から奥に行くに従い，砂から，泥質砂，砂質泥，泥と粒径が小さくなる傾向がみられた（図-19）．また最深部付近な

This document is provided by JAXA.

ど，津波の影響が大きい箇所では岩が露出していた．

これらの結果は測深調査と合わせ，湖沼図として取りまとめ，平成 25 年 4 月に刊行する予定である．地元漁協には、震災の復興等に活用してもらうため成果を提供している．この成果が漁業等への利用など，復興のための基礎資料として活用されることが期待される．

写真-15　「万石浦」底質採取状況

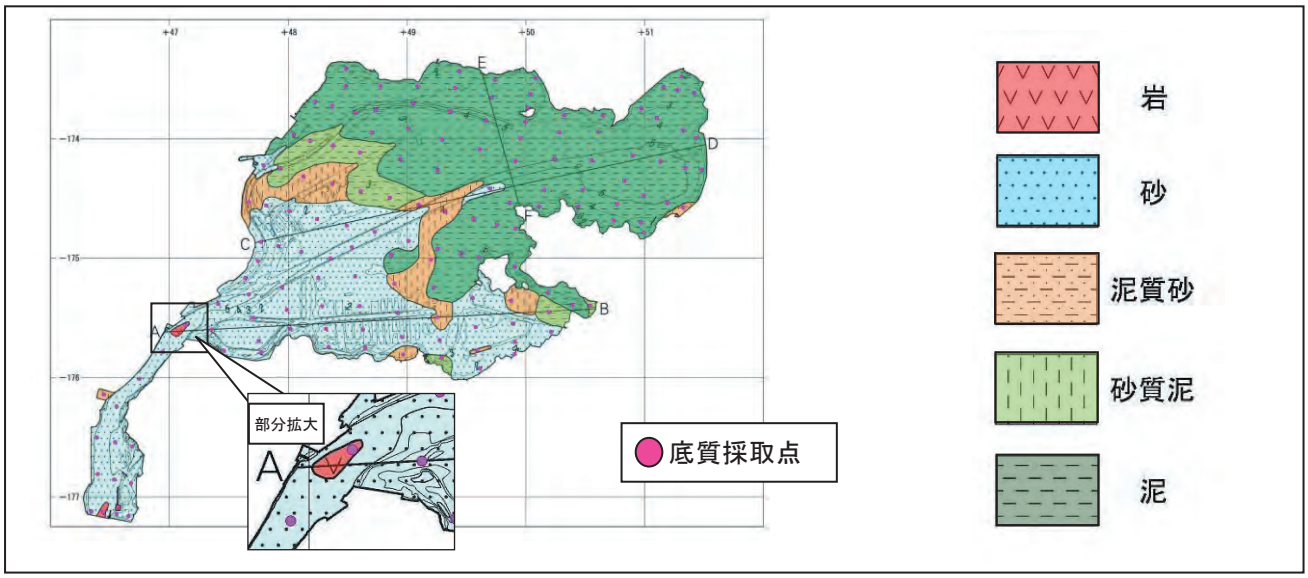


図-19　「万石浦」底質図

4. 湖底地形調査「西湖」

山梨県「西湖」は昭和 39 年の調査から 48 年が経過し，湖とその周辺の環境が大きく変化していることから，湖底地形調査を行うことにした．現地において平成 24 年 9 月 20 日から 28 日にかけて測深調査を行った．西湖（図-20）においては，かつて秋田県田沢湖に生息し，環境省のレッドリストの「絶滅種」に指定されていた淡水魚「クニマス」（平成 25 年 2 月 1 日公表の第 4 次レッドリスト（汽水・淡水魚類）では「野生絶滅」に変更）が平成 22 年に京都大学の調査により発見されている．

国土地理院の湖沼調査では通常，測深調査のほか湖底の底質調査を行うが，今回の調査では「クニマス」への影響を考慮し，底質調査は行わなかった．

また，調査期間中の水位変動の補正に使用する水位データは，山梨県より西湖水位観測所の観測データを提供いただいたため，国土地理院による水位観測所は設置しなかった．

図-20　西湖（2.2km^2）（オルソ画像）

This document is provided by JAXA.

4.1 「西湖」測深調査概要

4.1.1 「クニマス」禁漁区での測深調査

クニマスの保護のため，生息の可能性が高いとされる西湖北側の一部水域において，西湖漁業協同組合により禁漁区が設定されている．

禁漁区は立ち入りが制限されており，調査のため漁協職員の立ち会いのもと，調査を行った（写真-16）．

写真-16　禁漁区測深調査状況

4.1.2 測位方式による高精度化

マルチビーム音響測深機による測量の精度は位置精度に強く影響を受ける．

傾斜が大きい場合，水平位置のずれが計測する深度に対し，大きく影響を受ける．例えば 45°の斜面を計測した場合、直下水深のずれは 1m 発生する．傾斜が大きくなると，誤差はさらに拡大する。

位置の計測には GNSS 測量機を使用している．ディファレンシャル補正では測位精度は約 1m に対し、VRS-RTK 方式では測位精度 5cm を得られるため，深度が大きい西湖では VRS-RTK 方式を採用した．（写真-17）．

副次的な効果として、位置計測精度が高いため、ヘディングも安定することから、測量船の進路保持も容易となり、作業性の向上も図られた．

写真-17　位置計測装置

4.1.3 青木ヶ原溶岩の形状

西湖は 864 年から 866 年にかけて発生した富士山の大規模な噴火活動（貞観大噴火）の際の溶岩流（青木ヶ原溶岩）により，誕生した（図-21）．

西湖の南西側に流れ込んだ溶岩流は湖底まで続いており，従来から湖底における詳細な形状の把握が防災上，重要であるとされてきた．今回のマルチビーム音響測深機を使用した調査により，水深 50m から 60m までの形状など，その詳細が明らかとなった（図-22）．

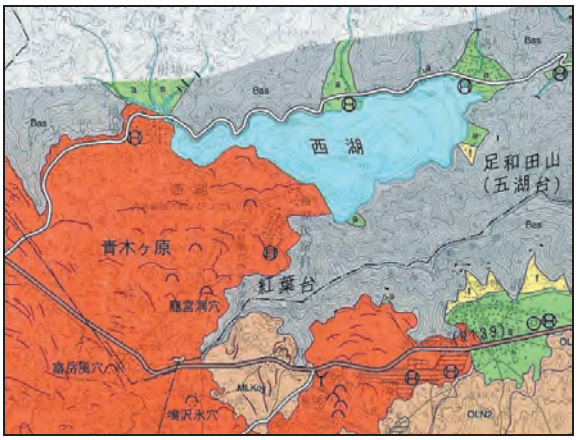


図-21　5 万分 1 火山土地条件図「富士山」

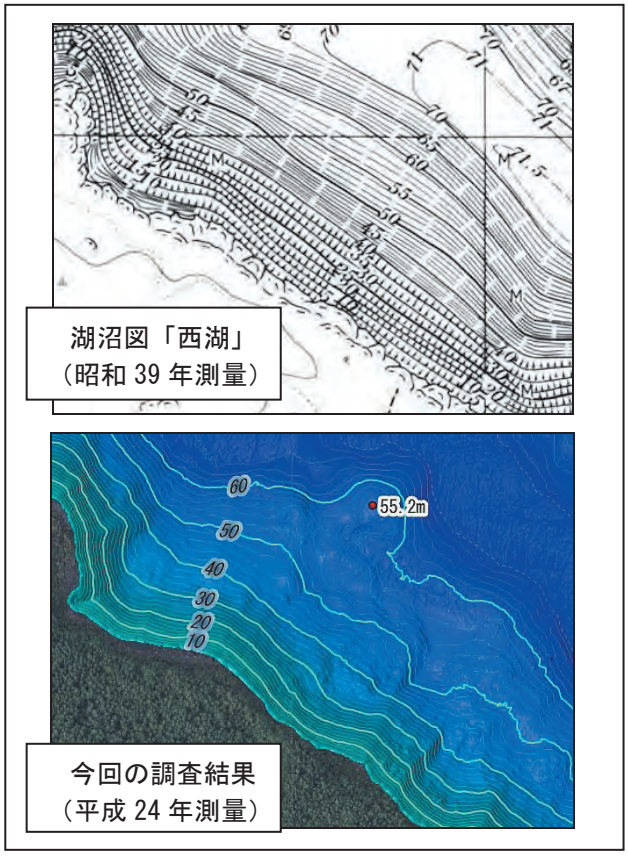


図-22　溶岩流（西湖南岸）

This document is provided by JAXA.

4.1.4 「西湖」西部の土砂の堆積

西湖西岸において、昭和 39 年の調査結果と今回の調査結果を比較したところ，水深 47.4m の地点が 44.5m になるなど，水深が全体的に浅くなっていた（図-23）.

前回の湖沼調査の 2 年後の昭和 41 年 9 月 25 日，西湖の周囲の集落を土石流が襲う「足和田土石流災害」が発生しており，根場地区を襲った土石流は西湖まで到達していることから,この変化は湖底への土砂の堆積によるものであることが推測される.

4.1.5 「西湖」最深部と測量成果の公開

西湖の湖盆形状は深部が 70m ほどの平坦な湖底となっており,その中での最深部は 71.5m であった.

これらの測量成果は「1/10,000 高精度水深データ陰影段彩図「西湖（暫定版）」」として平成 24 年 11 月 28 日から国土地理院の湖沼湿原調査 WEB サイトにおいて公開している (http://www1.gsi.go.jp/geowww/lake/saiko_index.html)（図-24）．また，電子国土 Web での公開や電子国土基本図への反映も行われる予定である.

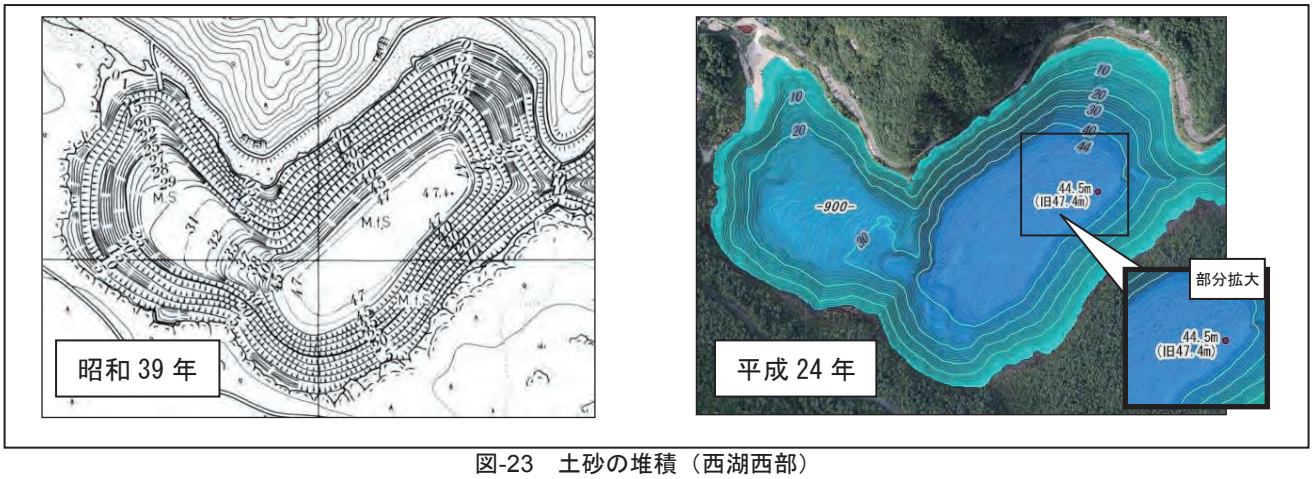
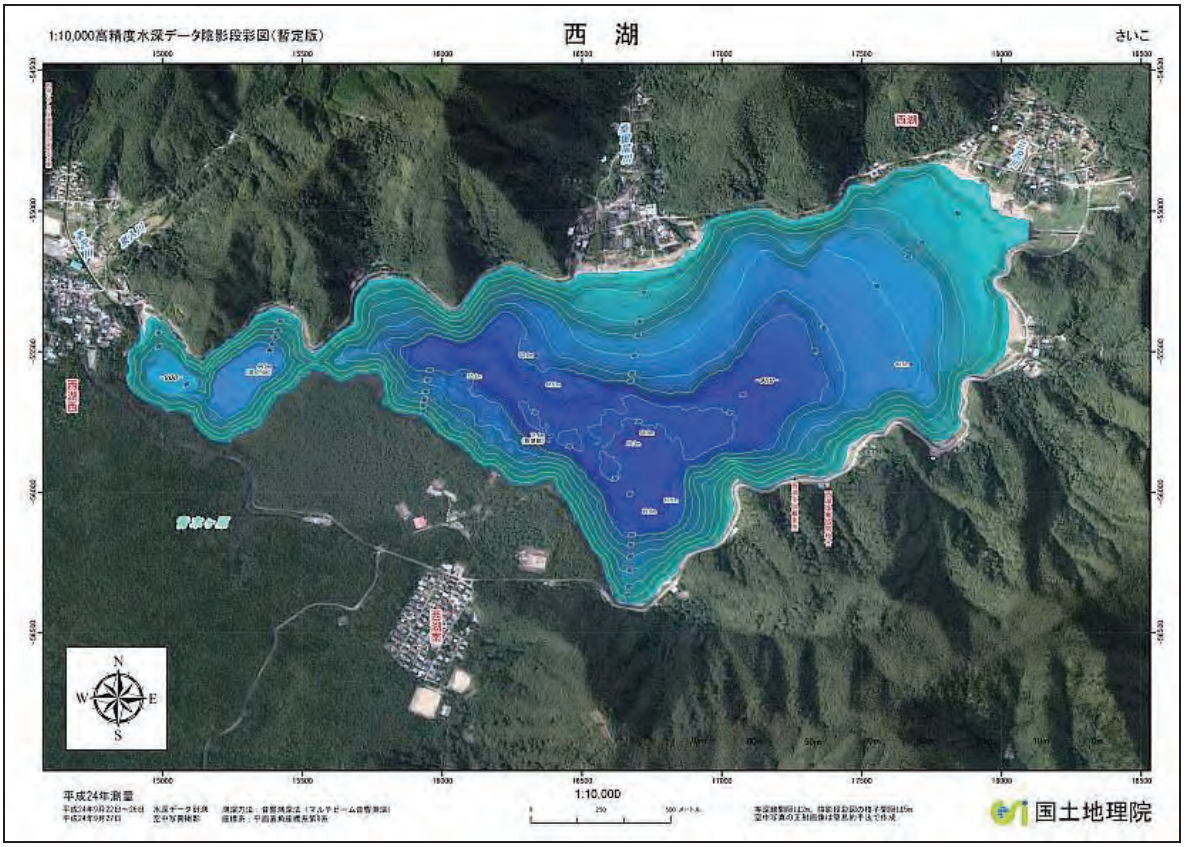


図-23　土砂の堆積（西湖西部）



図−24　1/10,000 高精度水深データ陰影段彩図「西湖（暫定版）」

This document is provided by JAXA.

5. まとめ

「松川浦」及び「万石浦」の湖底地形を調査し，関係機関に測量成果を提供することにより，被災地沿岸湖沼の復旧・復興支援を行うことができた．

ただし，「松川浦」は全域の調査を行うことは不可能であったため，瓦礫の撤去状況及び閉塞している航路の掘削など復興状況を見ながら，未調査区域の調査を検討する．

「西湖」では平成22年に淡水魚「クニマス」の生息が確認され，その生態の解明や保護にも今回の測量成果が活用されることが期待される．

6. 謝辞

本調査にあたり，松川浦については福島県農林水産部，福島県相馬港湾建設事務所，福島県相双建設事務所及び相馬双葉漁業協同組合，万石浦については第二管区海上保安本部海洋情報部，宮城県東部振興事務所及び宮城県漁業協同組合，西湖については山梨県県土整備部，富士・東部建設事務所吉田支所，山梨県水産技術センター，西湖漁業協同組合などの関係機関に御協力を頂きました．ここに厚く御礼申し上げます．

（公開日：平成 25 年 3 月 26 日）

参 考 文 献

田淵郁男（2001）：ナローマルチビーム測量の現況と課題，港湾空港技術研究所資料 No.1014.

浅田昭，穀田昇一，松本良浩，政岡久志（1998）：SEABATを使ったデジタル水深測量におけるバイアス調整法，水路部技報第16号，103-107.

国土地理院（2011）：東日本大震災における正射写真（災害オルソ），国土地理院技術資料C1-No.407.

国土地理院（2011）：GPS連続観測から得られた電子基準点の地殻変動，
http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi40005.html （accessed 25 January.2013）.

国土地理院（2011）：災害復興計画基図作成に伴う正射写真（災害オルソ），国土地理院技術資料C1-No.409.

国土地理院（2011）：1/10,000正射写真湖沼図（簡易版）「松川浦」，国土地理院技術資料D1-No.575.

国土交通省中部地方整備局富士砂防工事事務所（2005）：広報誌ふじあざみ第55号

This document is provided by JAXA.

GNSS 連続観測システム（GEONET）が捉えた海溝型巨大地震に伴う余効変動の時間変化
Postseismic Deformation Following Great Earthquakes, Based on GEONET

測地観測センター　木村久夫・宮原伐折羅・宮川康平
Geodetic Observation Center　Hisao KIMURA, Basara MIYAHARA and Kohei MIYAGAWA

要　旨

2011 年 3 月 11 日，東北地方の沖合で平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（M9.0，以下，太平洋沖地震と呼ぶ）が発生した．国土地理院の GNSS 連続観測システム（GEONET）は，この地震に伴い，M牡鹿の観測点で東南東方向に 540cm の地殻変動を観測するなど，東日本を中心とした広い範囲で大きな地殻変動を観測した（水藤他，2011a）．また，地震後に東北地方を中心とした広い範囲で，余効変動と呼ばれる継続した地殻変動も観測され（水藤他，2011b），2012 年 12 月現在も継続している．国土地理院では，地震後の GEONET 観測点の座標時系列を関数に近似することで，余効変動の推移を監視し，第 191 回地震予知連絡会（2011 年 6 月）から報告を行っている．本稿では，太平洋沖地震の余効変動について，GEONET の観測結果を関数で近似する手法の妥当性に関して検討を行った結果を報告する．

さらに，太平洋沖地震と同じく海溝型の巨大地震であった平成 15 年十勝沖地震（M8.0）においても，長期間の余効変動が報告されているため，同じ手法で検証を行った．

1.　はじめに

平成 15 年十勝沖地震に伴って観測された余効変動に関しては，指数関数、対数関数によって観測値を近似する試みが検討されており，地震予知連絡会においてその結果が報告されている（国土地理院，2004）．しかしながら，近似における詳細な条件が示されておらず，またどの近似関数を用いるのか，どの程度の期間の観測値を用いて計算を行うのがよいか，十分に検討がされていないため，太平洋沖地震の余効変動を関数近似するにあたって，最適な近似の方法について，再度検討を行った．検討は，どの近似式を用いることが妥当か，また，近似計算は，本来は十分に時間が経過して余効変動が収束し，プレート運動などによる一定の速度で変動が生じる定常の状態になってから行うことが望ましいが，余効変変動が継続する中で，どの程度の期間の観測値が得られれば妥当な近似が可能となるかについて行った．検討は，震源近傍の沿岸域に設置された，非常に大きな余効変動が観測されている観測点から，本震に伴い生じたすべりの縁辺に位置する房総半島・青森県沿岸の観測点まで，余効変動が明瞭に観測された範囲を網羅するように行ったが，本報告では，余効変動の特徴を明瞭に示す 4 観測点を選んで議論を行った（図-1）．

さらに，検討した近似手法を用いて，十勝沖地震に関しても再度検証を行った．

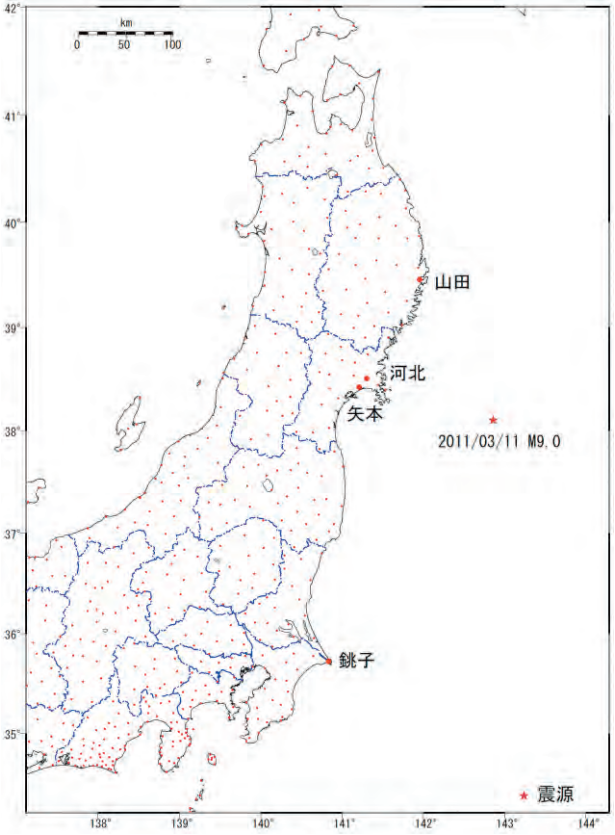


図-1　電子基準点配点図

2.　物理モデルと近似式

余効変動の時間的な推移を説明するモデルとしては，地震によって断層がすべることで，その断層の周辺部に蓄積した歪が，地震後にゆっくりとすべることで徐々に解消していくという摩擦モデル（Marone et al., 1991）と，上部マントルの粘弾性が緩和する効果により生じるというモデル（Pollitz, 2003）の二つが挙げられる．本稿では，太平洋沖地震に伴う余効変動について，Marone et al.に基づく摩擦モデルを適応した検討結果を報告する．

This document is provided by JAXA.

Marone et al.の摩擦モデルは，一次元のモデルでは，観測点における余効変動の時間変化は対数関数で近似される．

$$\text{disp.} = a \log\left(1 + \frac{t}{b}\right) + c \qquad (1)$$

ここで，t は地震発生からの経過時間で，パラメータ c は地震に伴う地殻変動量を表す．

また，Pollitz の粘弾性効果によるモデルでは，余効変動の時間変化は，指数関数で表わされる．

$$\text{disp.} = a \exp\left(-\frac{t}{b}\right) + c \qquad (2)$$

以後，これらのモデルにおけるパラメータ b を時定数と呼ぶ．

3. 対数近似と指数近似の検討

指数関数と対数関数のいずれが観測値をよく説明するか，時定数の推定を 3 成分独立に行う場合と水平成分から推定した時定数を上下成分にも適用した場合といずれが観測値をよく説明するか等に関して検討を行った．なお，近似関数のパラメータ推定は，gnuplot の fit 機能を用いて，最小二乗法で推定した．また，余震活動に伴い生じた地殻変動は，各々オフセット量を算出して取り除いている．

まず，指数関数と対数関数によるフィッティングの比較では，地震後 80 日間の観測値を用いた近似の結果を比較した場合，指数関数よりも対数関数の方が観測値をよく説明することがわかる（図-2）．この傾向は，より長期の観測値を用いてフィッティングした場合も変わらない（図-3）．これは，プレート境界面の震源断層の深部で滑りが生じているとした摩擦モデルが妥当であることを示唆している．

次に時定数の推定方法について，3 成分独立に行う場合と水平成分から推定した時定数を上下成分に適用する場合の比較を行った．上下方向の座標推定値は，水平成分に比べ，ばらつきが大きいため，上下成分のみ独立にパラメータを推定すると上下成分のパラメータの値が安定しないことがわかった．また，水平成分から推定した時定数を用いてフィッティングを行った場合も，上下成分の観測値を十分に説明できることが判明した（図-4）．

以上の検討結果については，第 193 回地震予知連絡会（2011 年 11 月）から，報告に反映している．

さらに，近似関数のパラメータ推定において，迅速解（Q3）、最終解（F3）のいずれを用いるのが適当か検討を行った．推定に使用する観測値については，地震直後の解析結果がまだ十分に多くない段階で，推定に用いるサンプル数を増やして推定パラメータを安定させることを目的に，Q3 解を用いることにした．座標推定値の精度としては、F3 解が最も高いため，通常であれば F3 解が算出された後は F3 解を用いて近似関数のパラメータ推定を行うことが適当と考えられるが，F3 解は夏期にデータ時系列にばらつきが大きくなるなど季節による系統的な誤差が認められることから，サンプル数が十分となってからも，精度はやや低く個々のデータのばらつきは大きいが，季節に依存したばらつき程度に変化が見られない Q3 解を用いてフィッティングを行うことした．

4. 近似関数の計算期間の検討

図 2 を詳しく見ると，パラメータ a，c の推定値は計算期間が変わっても大きく変化せず安定しているのに比べ，時定数 b の推定値は計算期間の増加とともに大きくなっていることがわかる．特に，地震後 1 年を過ぎた頃から，上下成分に対数関数からの乖離が顕著に認められるようになってきたため（図-4），詳細に検討した．

この乖離が生じる原因の一つとして，地震直後 1 ヵ月程度に生じた余効変動の変化率が，それ以降に比べて非常に大きいため，フィッティング関数全体にその影響がおよんでおり，変化率が小さくなるそれ以降のデータとうまくフィッティングできていないことが原因の一つと考えられる．そこで，地震後 30 日のデータを除外して対数関数へフィッティングを行ったところ，地震直後のデータを含んでフィッティングした場合と比べて，データ全体，特に地震後 1 年を過ぎてからのデータをより説明することが示された（図-5）．なお，地震後 100 日のデータを用いた場合については，実質 70 日間という少ないデータで近似を行うことになるため，パラメータが安定して求まらず，観測値と完全にずれるため，図には示していない．地震直後のデータにこのような乖離が生じた原因としては，余効滑りの領域が時間とともに若干変化したこと，あるいはモデル式(1)が単純化され過ぎて実際の現象をモデル化できていないことが考えられる．いずれにせよ，地震後，特に直近の将来に想定される地殻変動の推移を監視するという目的からすると，より安定した推定パラメータが得られるよう，地震直後のデータを除外して計算を行うほうが適当であることがわかった．第 196 回地震予知連絡会（2012 年 8 月）以降は，この方法で推定した結果を報告している．

この検討結果から，地震後数ヶ月程度の余効変動の推移に基づいて，数年後の余効変動の状態を予測する際には，大きな乖離が生じるリスクがあることに留意する必要がある．

This document is provided by JAXA.

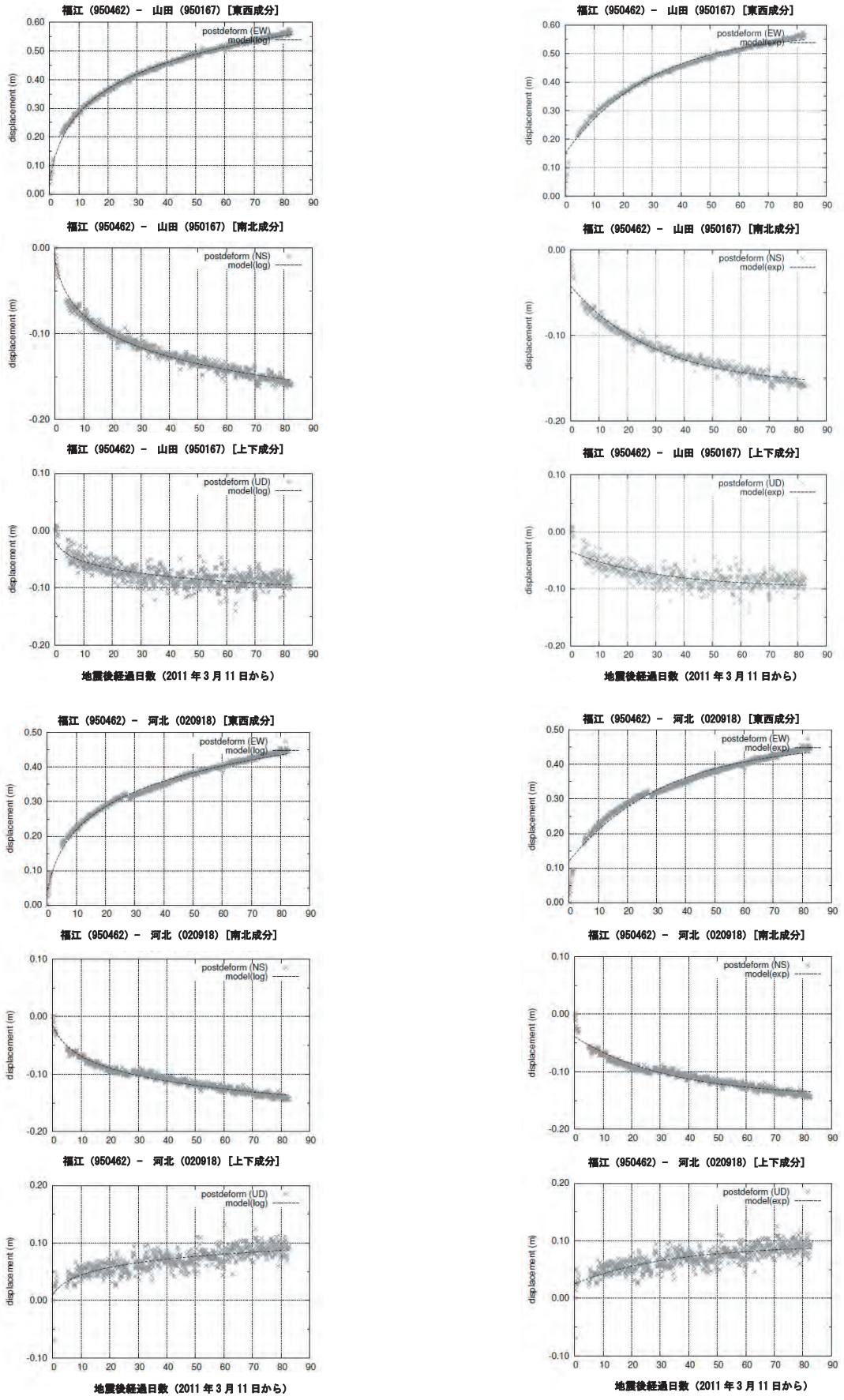
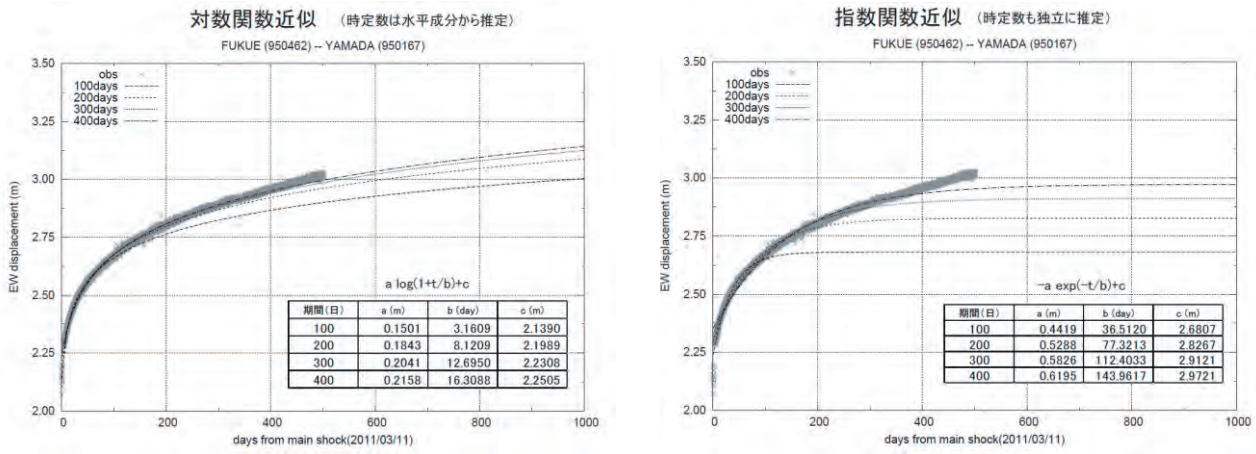


図-2　対数関数（左）と指数関数（右）による近似計算結果
（上３段：山田、下３段：河北）

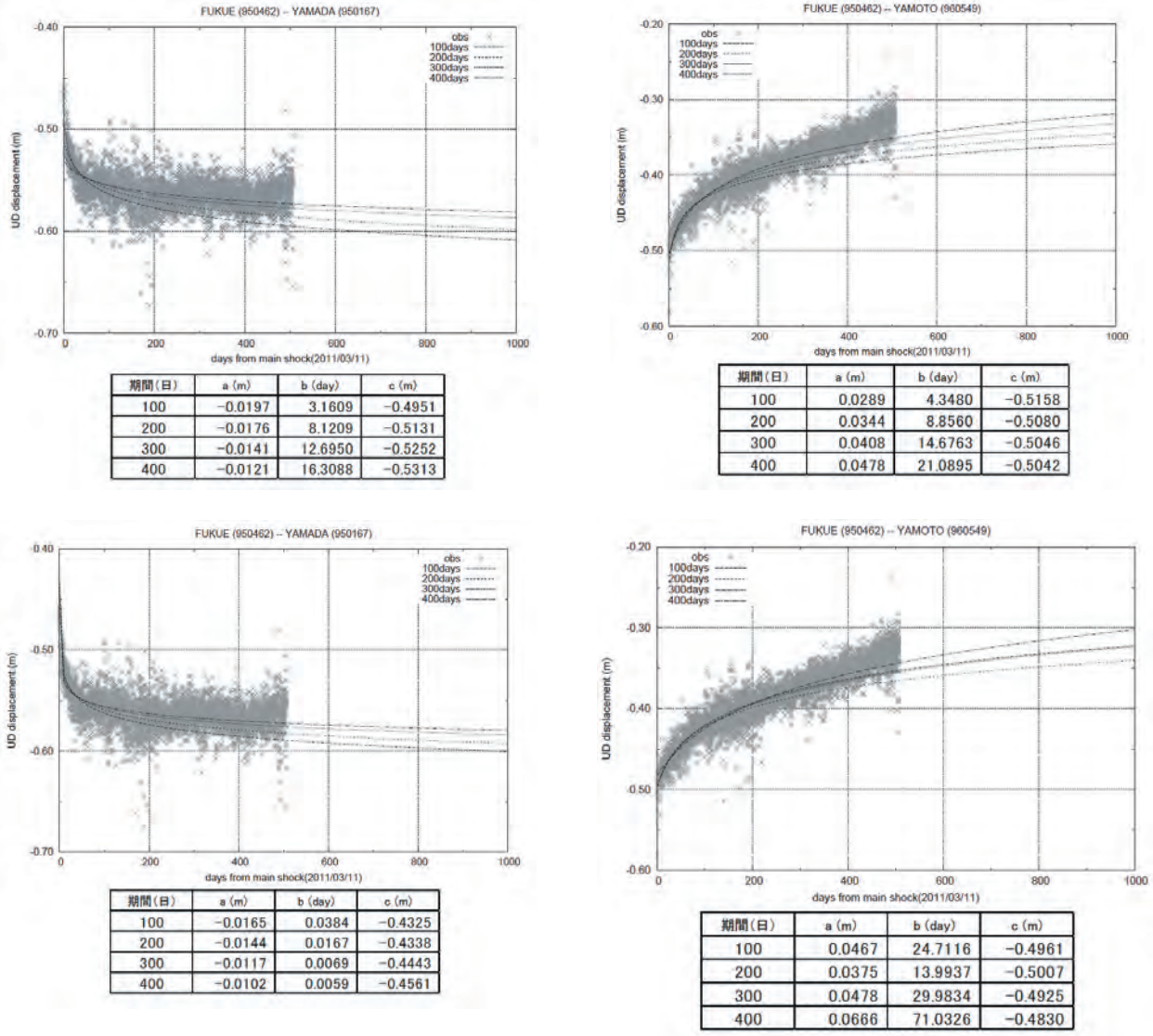
This document is provided by JAXA.



期間(日)	a (m)	b (day)	c (m)
100	0.1501	3.1609	2.1390
200	0.1843	8.1209	2.1989
300	0.2041	12.6950	2.2308
400	0.2158	16.3088	2.2505

期間(日)	a (m)	b (day)	c (m)
100	0.4419	36.5120	2.6807
200	0.5288	77.3213	2.8267
300	0.5826	112.4033	2.9121
400	0.6195	143.9617	2.9721

図-3　計算期間を変えた時の近似結果
（山田，東西成分）（左図：対数関数，右図：指数関数）



期間(日)	a (m)	b (day)	c (m)
100	−0.0197	3.1609	−0.4951
200	−0.0176	8.1209	−0.5131
300	−0.0141	12.6950	−0.5252
400	−0.0121	16.3088	−0.5313

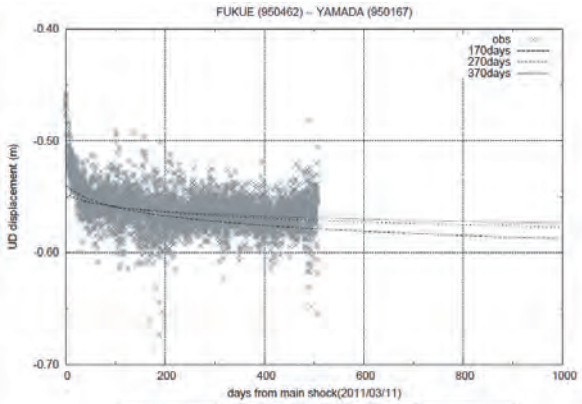
期間(日)	a (m)	b (day)	c (m)
100	0.0289	4.3480	−0.5158
200	0.0344	8.8560	−0.5080
300	0.0408	14.6763	−0.5046
400	0.0478	21.0895	−0.5042

期間(日)	a (m)	b (day)	c (m)
100	−0.0165	0.0384	−0.4325
200	−0.0144	0.0167	−0.4338
300	−0.0117	0.0069	−0.4443
400	−0.0102	0.0059	−0.4561

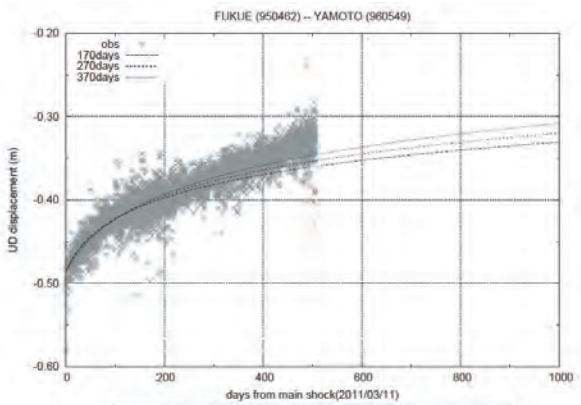
期間(日)	a (m)	b (day)	c (m)
100	0.0467	24.7116	−0.4961
200	0.0375	13.9937	−0.5007
300	0.0478	29.9834	−0.4925
400	0.0666	71.0326	−0.4830

図-4　上下成分の近似結果比較（左図：山田，右図：矢本）
上段：水平成分から時定数を計算，下段：上下成分から計算

This document is provided by JAXA.



期間(日)	a (m)	b (day)	c (m)
170	−0.0138	31.9603	−0.5397
270	−0.0089	35.6054	−0.5469
370	−0.0069	24.2055	−0.5477



期間(日)	a (m)	b (day)	c (m)
170	0.0448	31.9823	−0.4862
270	0.0516	41.8076	−0.4857
370	0.0595	51.5276	−0.4875

図-5　地震後 30 日のデータを除外した場合（左図：山田，右図：矢本）

5.　近似関数変更の検討

Perfettini と Avouac は，Marone らのモデルはプレート運動に伴う定常的な地殻変動の効果を考慮していないため，余効変動が収束し，定常的な地殻変動が支配的となる長期間のデータにあてはめることは困難であることを指摘している（Perfettini and Avouac,2004）．彼らによるプレートの定常運動の効果を入れたモデルは次の式で表わされる．

$$\text{disp.} = a \log\left[\frac{d}{b}\left(e^{\frac{t}{a}} - 1\right) + 1\right] + c \qquad (3)$$

観測期間 t がパラメータ d の推定値より十分小さければ，この式は(1)式に近似される．逆に，パラメータ d が観測期間に対して小さく推定される場合には，この近似は成り立たず，プレートの定常運動による効果が明瞭になる．つまり，パラメータ d は，観測においてどの程度のタイムスケールがあればプレートの定常運動の影響が現れるかを示す指標としてみることができる．また，(3)式は，t が大きくなると，一定速度 a/b で変化する式となり，この速度が観測点におけるプレート運動に伴う定常的な地殻変動の速度を与える．

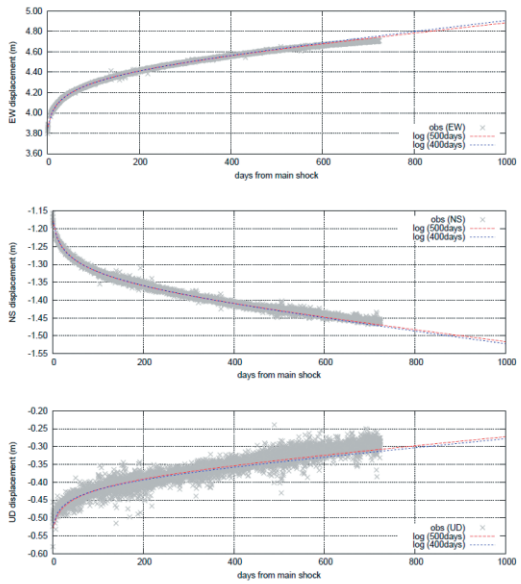
計算に用いる観測期間 t を長くすると，パラメータ d の値が計算に用いた観測期間に比べて小さくなり，プレートの定常運動の影響が現れてくることが期待される．計算に用いる期間を 400 日から 700 日まで 100 日ごとに変えて計算してみると，岩手県沿岸から宮城県沿岸の余効変動の大きな地域では，矢本をはじめとして，d の値は計算に用いる観測期間が長くなるにつれて大きくなり，求められた値は観測期間と同程度かやや小さい値であることから，すでに定常運動の影響が現れていると考えられる（図-6）．一方，房総半島の銚子をはじめとする，余効変動が震源近傍の沿岸域と比較して小さい地域では，d の値は，計算に用いる観測期間に比べて大きめに決まることが多い．この地域においては，観測期間を検討時点において最も長い 700 日とした場合でも，摩擦モデルで表現される余効すべりの影響が支配的な状態にあり，(3)式と(1) 式の近似が成り立っていることが推察される（図-6）．余効すべりが徐々に小さくなり，プレートの定常運動による効果が観測値に現れるまでには，さらに長期の観測が必要であることが推測される．

前述の通り，プレートの定常運動による効果が支配的な定常状態では，(3)式におけるパラメータの比 a/b は，プレート運動による定常速度を与えるはずである．しかし，太平洋沖地震に適用した今回のケースでは，岩手県沿岸から宮城県沿岸の余効変動の大きな観測点で，(3)式において東向きで隆起の速度が推定されている．これらの速度は，この地域で地震前に観測されていたプレート運動の圧縮による西向きで沈降する定常運動と整合しない．前段で述べたとおり，この地域では(3)式と(1) 式の近似が成り立たないことから，摩擦モデルで表される余効すべり以外の変動が生じていることが推察されるが，推定された速度から見ると，この変動はプレートの定常運動に起因する変動とは明らかに異なっている．このことは，プレート運動による定常的な圧縮など，地震前に観測点を長期にわたって一定速度で変動させていた定常の変動以外に，この地域の観測点を地震後に変動させる現象が生じており，その影響が観測値に含まれている可能性を示唆している．その原因としては，粘弾性緩和による地殻変動が観測値で検出できる大きさで生じはじめた可能性が挙げられる．地震後に継続する地殻変動から，その原因を特

This document is provided by JAXA.

定するために資する有効な情報を得るため，今後も
地殻変動の推移を注意深く監視したい．

福江（950462）－ 矢本（960549）



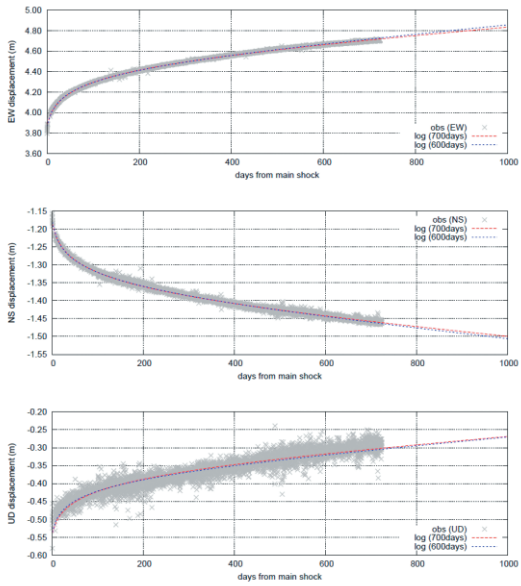
地震後 400 日までのデータによる推定値
disp = a log(1 + d/b (e^{t/d} − 1)) + c

成分	a [m]	b [day]	c [m]	d [day]	χ^2
東西	+0.1308	4.24	+3.8482	247.62	
南北	-0.0430	4.24	-1.1742	247.62	1.51
上下	+0.0305	4.24	-0.5246	247.62	

地震後 500 日までのデータによる推定値
disp = a log(1 + d/b (e^{t/d} − 1)) + c

成分	a [m]	b [day]	c [m]	d [day]	χ^2
東西	+0.1351	4.88	+3.8553	278.63	
南北	-0.0448	4.88	-1.1756	278.63	1.50
上下	+0.0340	4.88	-0.5311	278.63	

福江（950462）－ 矢本（960549）



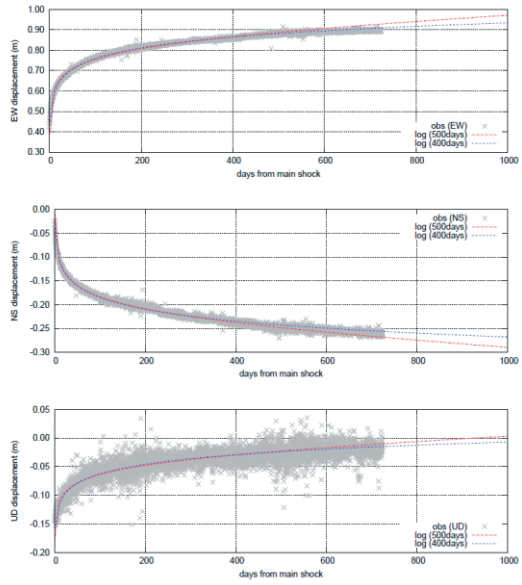
地震後 600 日までのデータによる推定値
disp = a log(1 + d/b (e^{t/d} − 1)) + c

成分	a [m]	b [day]	c [m]	d [day]	χ^2
東西	+0.1432	6.27	+3.8685	336.89	
南北	-0.0471	6.27	-1.1812	336.89	1.72
上下	+0.0384	6.27	-0.5353	336.89	

地震後 700 日までのデータによる推定値
disp = a log(1 + d/b (e^{t/d} − 1)) + c

成分	a [m]	b [day]	c [m]	d [day]	χ^2
東西	+0.1529	8.36	+3.8854	419.43	
南北	-0.0505	8.36	-1.1860	419.43	1.85
上下	+0.0434	8.36	-0.5379	419.43	

福江（950462）－ 銚子（93022）



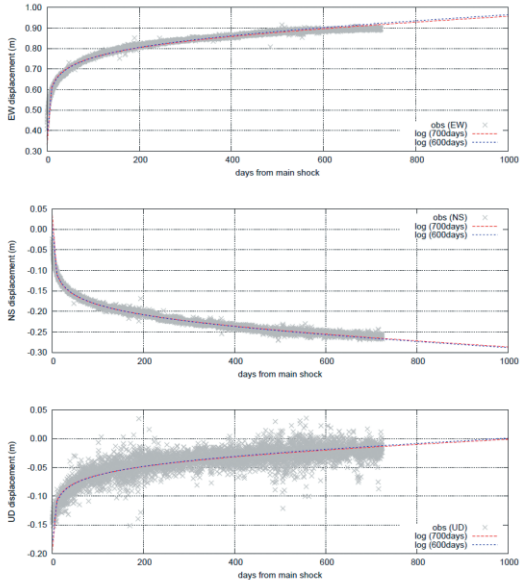
地震後 400 日までのデータによる推定値
disp = a log(1 + d/b (e^{t/d} − 1)) + c

成分	a [m]	b [day]	c [m]	d [day]	χ^2
東西	+0.0763	1.50	+0.4375	96777474.74	
南北	-0.0363	1.50	-0.0316	96777474.74	1.24
上下	+0.0243	1.50	-0.1647	96777474.74	

地震後 500 日までのデータによる推定値
disp = a log(1 + d/b (e^{t/d} − 1)) + c

成分	a [m]	b [day]	c [m]	d [day]	χ^2
東西	+0.0641	0.34	+0.3841	500.06	
南北	-0.0316	0.34	-0.0000	500.06	1.86
上下	+0.0200	0.34	-0.1795	500.06	

福江（950462）－ 銚子（93022）



地震後 600 日までのデータによる推定値
disp = a log(1 + d/b (e^{t/d} − 1)) + c

成分	a [m]	b [day]	c [m]	d [day]	χ^2
東西	+0.0622	0.22	+0.3678	500.07	
南北	-0.0312	0.22	+0.0114	500.07	2.21
上下	+0.0192	0.22	-0.1831	500.07	

地震後 700 日までのデータによる推定値
disp = a log(1 + d/b (e^{t/d} − 1)) + c

成分	a [m]	b [day]	c [m]	d [day]	χ^2
東西	+0.0597	0.09	+0.3310	500.09	
南北	-0.0306	0.09	+0.0346	500.09	2.90
上下	+0.0185	0.09	-0.1955	500.09	

図-6　矢本，銚子観測点における(3)式による計算結果
（左図：地震後 400，500 日で計算，右図：地震後 600，700 日で計算）

This document is provided by JAXA.

6. 十勝沖地震についての検討

十勝沖地震の際に行った関数近似では，地震後約半年のデータを用いて，対数関数近似と指数関数近似のフィッティングを行い，その結果について比較，検討している．そこでは，東西成分に関しては対数関数の方が観測値との整合がよいが，南北成分に関しては 70～80 日頃までは指数関数の方が整合がよいと報告されており，その原因としては，地震後 70～80 日で滑りの方向が変化したか，滑り域が移動した可能性が指摘された（国土地理院，2004）．

この先行報告におけるフィッティング計算の妥当性を検証するには，同じ計算を再現して比較することが望ましいが，地震直後の観測値に大きな重みを付けている，東西成分と南北成分の関数形を変えた計算方法の根拠がどこにあるのか示されていないなど，計算に関する詳細な資料がなく，パラメータ推定の条件がわからないため，再現が困難であった．そこで，本報告で用いた手法により再度検証を行った．

地震前の観測値から，地震前の定常変動の速度を一次トレンドとして推定し，地震後の観測値から取り除いた後に，今回の手法を用いて対数関数近似を計算したところ，水平成分から推定した時定数を上下成分にも適用する方法で，水平成分における近似関数と観測値の整合が非常によいことが示された（図-7）．十勝地方から西側の観測点では，先行報告で南北の整合が悪くなると指摘されていた 70～80 日を超えて，2 年程度にわたって，観測値と対数関数近似が整合している．上下成分については，余効変動による変位があまり大きくないため、地殻変動による変位とデータのばらつきとの差がわかりにくいが，えりも 2 観測点，三石観測点などでは近似関数と観測値の整合性はよい．

理想的には，余効変動が完全に収束して，地震前の定常運動に戻るまでの観測値を用いて検証を行うことが望ましいが，根室から釧路地方にかけては，2004 年 11 月 29 日に釧路沖の地震（M7.1）が発生したことにより，二つの地震の余効変動が重なってしまったため，十勝沖地震の余効変動のみを評価することが不可能となったが，釧路沖の地震前までは，対数関数による近似は観測値を良く説明している（図-8）．浜中観測点では，釧路沖の地震発生の前に南北成分が対数近似関数とやや乖離する傾向があるが，そもそも余効変動が小さい観測点であるため，変位の大きさと比較して有意とは判断できない．

以上の検討結果から，十勝沖地震の余効変動は，摩擦モデルによる余効すべりで十分説明できることが確認された．また，太平洋沖地震では明確に見られた，観測期間が長くなるにつれて地震直後の観測値と近似関数が乖離する傾向については，十勝沖地震では認められておらず，余効滑りのすべり域の移動を示唆する余効変動の推移は認められていない．

7. まとめ

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震後に観測されている余効変動は，2013 年 2 月現在，対数関数による近似で観測値を十分に説明可能であることがわかった．ただし，地震後数カ月程度とその後で余効変動のふるまいが異なるため，地震後数ヶ月以降の余効変動を妥当に近似する近似関数の推定パラメータを安定して求めるには，少なくとも地震後 200 日程度の観測値が必要であり，期間が不十分な場合には近似関数と観測値の間に大きな乖離を生じる結果となる．地震後の成果改訂では，2011 年 5 月末時点まで観測値を用いた対数関数近似からその後の変動量を推定したが，結果として過小評価で，その後実際に得られた観測値との乖離が生じていることから，引き続き余効変動を注意深く監視することで，基準点の精度確保を図っていく必要がある．

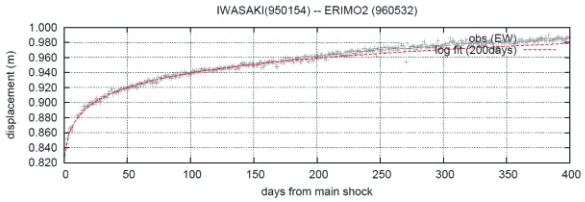
また，上下成分の変化に関しては，全体的に隆起する方向に近似関数から系統的に乖離が生じはじめているように思われるが，この原因が対数関数近似モデルで表現可能な現象の限界によるものか，滑り域の移動が生じているのか，あるいは粘弾性緩和の効果による地殻変動が検出可能なサイズで生じ始めたのかを明らかにしていくためにも，今後も蓄積するデータから現象を読み解き，監視を継続する必要がある．

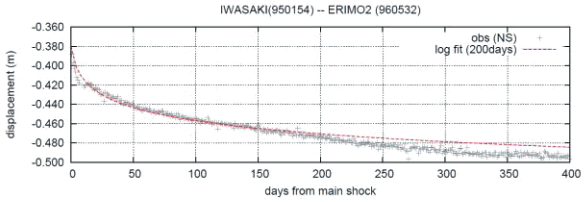
また，平成 15 年十勝沖地震後の余効変動についても，同じ手法を用いて検証を行ったところ，少なくとも地震発生後 2 年程度については，対数関数近似で観測値がよく説明できることが示された．この結果からは，太平洋沖地震と同様，余効滑りの滑り域に時間の経過に伴う顕著な移動はなかったものと推測される．

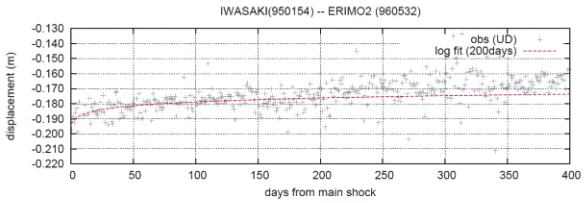
今回の関数近似の処理については，汎用性を持たせてデータの処理が行えるプログラム（スクリプト）を作成しているため，今後同様に余効変動が継続する巨大地震が発生し，対数関数近似による余効変動の監視が必要となった場合，本稿と同様の検討が適宜実施可能である．

（公開日：平成 25 年 4 月 1 日）

This document is provided by JAXA.

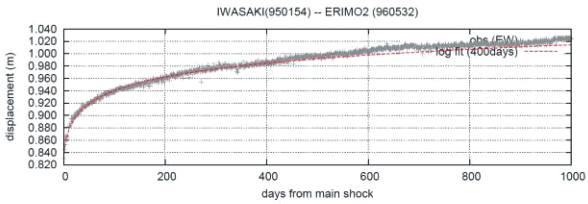


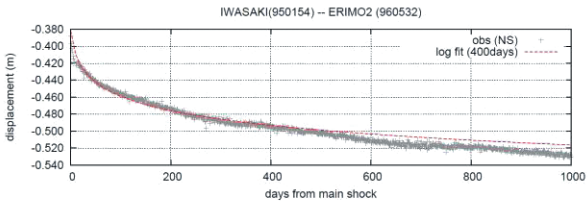


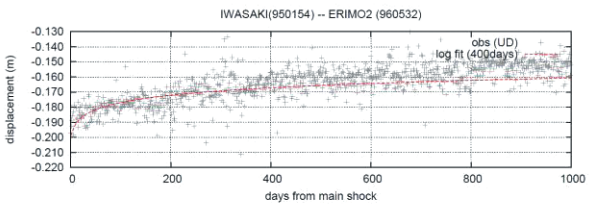


成分	fitting function (推定値 ± 漸近標準誤差)
東西	$(0.0286 \pm 0.0002)\log(1 + t/(2.21 \pm 0.19)) + (0.8297 \pm 0.0007)$
南北	$(-0.0201 \pm 0.0002)\log(1 + t/(2.21 \pm 0.19)) + (-0.3798 \pm 0.0009)$
上下	$(0.0038 \pm 0.0005)\log(1 + t/(2.21 \pm 0.19)) + (-0.1933 \pm 0.0018)$

reduced chi square : $\chi^2 = 0.8$

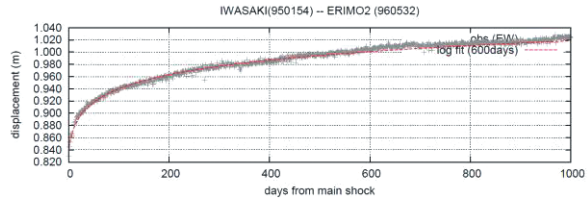


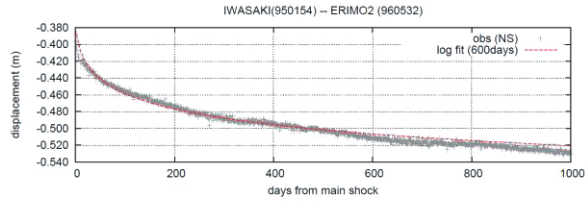


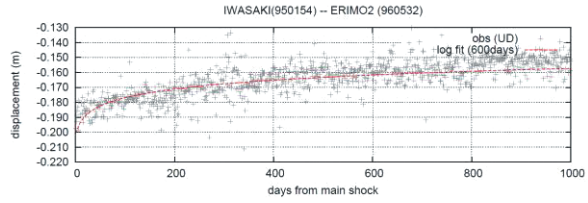


成分	fitting function (推定値 ± 漸近標準誤差)
東西	$(0.0328 \pm 0.0002)\log(1 + t/(5.08 \pm 0.36)) + (0.8409 \pm 0.0007)$
南北	$(-0.0254 \pm 0.0002)\log(1 + t/(5.08 \pm 0.36)) + (-0.3819 \pm 0.0007)$
上下	$(0.0072 \pm 0.0005)\log(1 + t/(5.08 \pm 0.36)) + (-0.1988 \pm 0.0017)$

reduced chi square : $\chi^2 = 1.3$

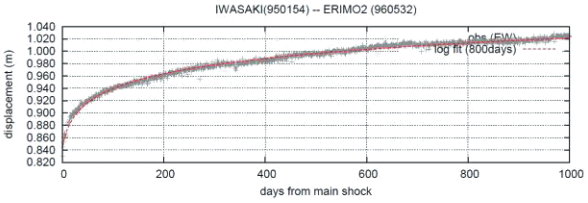


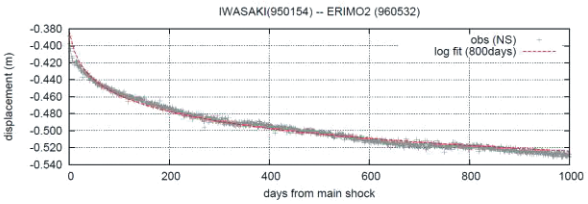


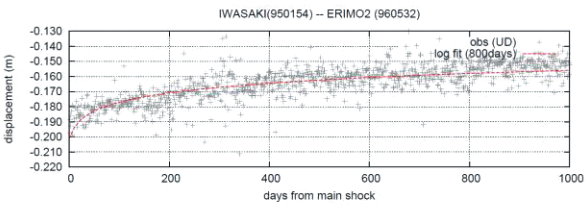


成分	fitting function (推定値 ± 漸近標準誤差)
東西	$(0.0350 \pm 0.0002)\log(1 + t/(6.87 \pm 0.38)) + (0.8439 \pm 0.0006)$
南北	$(-0.0276 \pm 0.0001)\log(1 + t/(6.87 \pm 0.38)) + (-0.3830 \pm 0.0005)$
上下	$(0.0088 \pm 0.0004)\log(1 + t/(6.87 \pm 0.38)) + (-0.2009 \pm 0.0014)$

reduced chi square : $\chi^2 = 1.3$





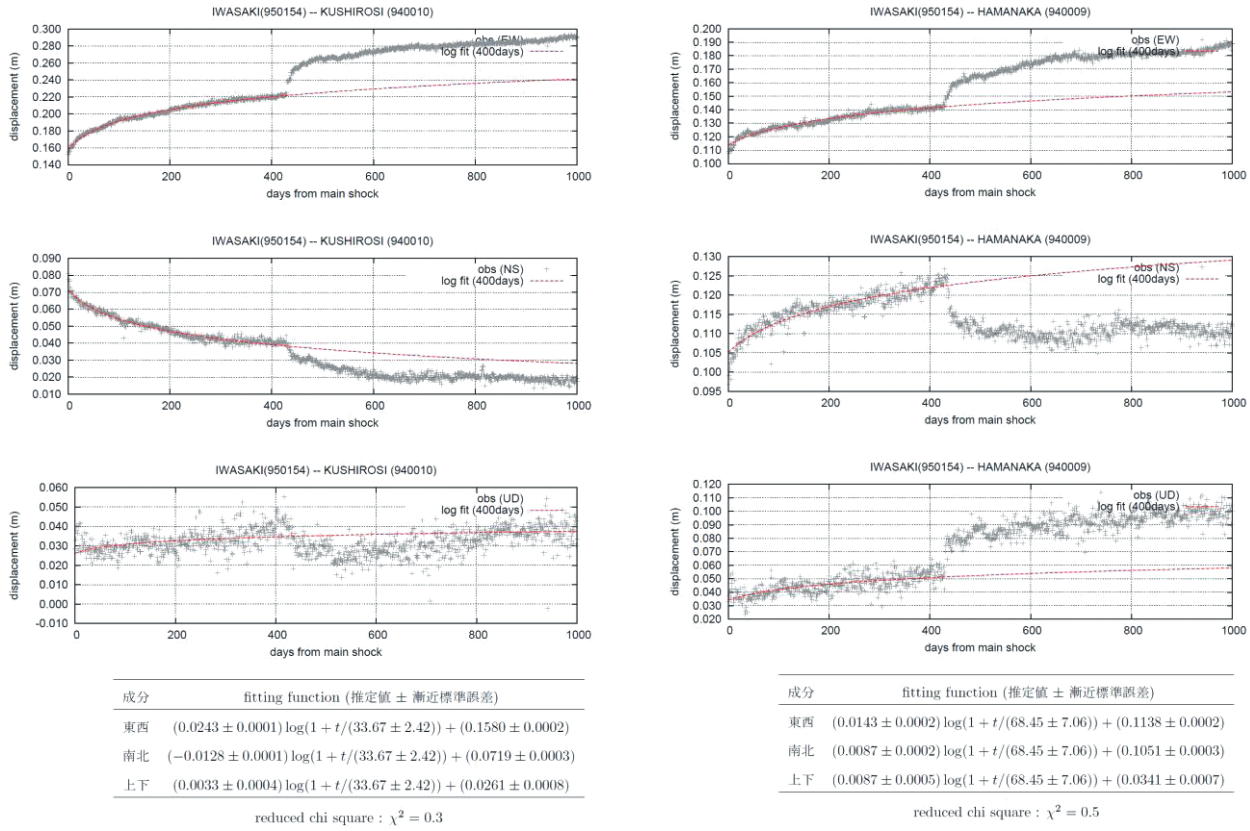


成分	fitting function (推定値 ± 漸近標準誤差)
東西	$(0.0369 \pm 0.0001)\log(1 + t/(8.61 \pm 0.44)) + (0.8459 \pm 0.0005)$
南北	$(-0.0295 \pm 0.0001)\log(1 + t/(8.61 \pm 0.44)) + (-0.3832 \pm 0.0005)$
上下	$(0.0095 \pm 0.0003)\log(1 + t/(8.61 \pm 0.44)) + (-0.2012 \pm 0.0012)$

reduced chi square : $\chi^2 = 1.4$

図-7 平成 15 年十勝沖地震後の余効変動における えりも 2 の対数関数近似結果
（上左図：地震後 200 日，上右図：地震後 400 日，
下左図：地震後 600 日，下右図：地震後 800 日の計算結果）

This document is provided by JAXA.



成分	fitting function (推定値 ± 漸近標準誤差)
東西	$(0.0243 \pm 0.0001)\log(1+t/(33.67 \pm 2.42)) + (0.1580 \pm 0.0002)$
南北	$(-0.0128 \pm 0.0001)\log(1+t/(33.67 \pm 2.42)) + (0.0719 \pm 0.0003)$
上下	$(0.0033 \pm 0.0004)\log(1+t/(33.67 \pm 2.42)) + (0.0261 \pm 0.0008)$

reduced chi square : $\chi^2 = 0.3$

成分	fitting function (推定値 ± 漸近標準誤差)
東西	$(0.0143 \pm 0.0002)\log(1+t/(68.45 \pm 7.06)) + (0.1138 \pm 0.0002)$
南北	$(0.0087 \pm 0.0002)\log(1+t/(68.45 \pm 7.06)) + (0.1051 \pm 0.0003)$
上下	$(0.0087 \pm 0.0005)\log(1+t/(68.45 \pm 7.06)) + (0.0341 \pm 0.0007)$

reduced chi square : $\chi^2 = 0.5$

図-8　平成 15 年十勝沖地震後の余効変動　対数関数近似結果（地震後 400 日のデータを使用）
（左図：釧路市，右図：浜中）

参 考 文 献

C.J. Marone, C.H. Scholtz, R. Bilham(1991): On the Mechanics of Earthquake Afterslip, Journal of Geophysical Research, vol.96, no.B5, 8441-8452.

F. Pollitz(2003): Transient rheology of the uppermost mantle beneath the Mojave Desert, California, Earth and Planetary Science Letters, vol.215, 89-104.

H. Perfettini, J.-P. Avouac(2004): Postseismic relaxation driven by brittle creep: A possible mechanism to reconcile geodetic measurements and the decay rate of aftershocks, application to the Chi-Chi earthquake, Taiwan, Journal of Geophysical Research, vol.109, no.B2, B02304.

国土地理院（2004）：北海道地方の地殻変動　余効変動の時系列モデル，地震予知連絡会　会報　第 72 巻，81.

水藤尚，西村卓也，小沢慎三郎，小林知勝，飛田幹男，今給黎哲郎，原慎一郎，矢来博司，矢萩智裕，木村久夫，川元智司（2011a）：GEONET による平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震に伴う地震時の地殻変動と震源断層モデル，国土地理院時報，122，29-37.

水藤尚，西村卓也，小沢慎三郎，飛田幹男，原慎一郎，矢来博司，矢萩智裕，木村久夫，川元智司（2011b）：GEONET による平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震に引き続いて発生している余効変動と余効すべりモデル，国土地理院時報，122，39-46.

This document is provided by JAXA.

GEONET が捉えた地震に伴う地殻変動カタログの整備
Development of Index of Earthquake-derived Crustal Deformations detected by GEONET

測地観測センター　木村久夫・宮原伐折羅
Geodetic Observation Center　Hisao KIMURA and Basara MIYAHARA

要　旨

国土地理院が GNSS 連続観測システム（GEONET）の運用を開始して 17 年が経過し，その前身である全国 GPS 連続観測網（GRAPES），地殻連続歪監視施設（COSMOS-G2）の運用を含めると 20 年近く観測を継続してきた．その間，GNSS 観測により，平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震をはじめ，平成 15 年（2003 年）十勝沖地震，平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震，平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震等，多くの地震活動に伴い地殻変動を観測してきた. これらの地震に伴う GEONET が捉えた地殻変動は，地震調査委員会，地震予知連絡会等で報告され，地震現象を理解するために不可欠な基礎資料として広く利用されている．

地殻変動に関するこれらの資料は，会議の目的に応じて適宜作成され，Web ページ，記者レク，会報などの形で公表されているが，速報性を重視する場合には，迅速解（Q3 解），速報解（R3 解）による地殻変動が最終的に公表されており，最終解（F3 解）による地殻変動が公表されていないままとなることや，生じた地殻変動を時系列や地域によって体系的に整理した，“公式の”国土地理院の地殻変動観測結果としてまとめられていない，といった課題があった．そこで今回，過去資料を整理し，地震活動による地殻変動カタログを作成したため，報告する．

1.　はじめに

地殻変動カタログは，GEONET の定常解析結果（表-1）の時系列データから検出した地震に伴う地殻変動について，地震の生じた時系列にそってその変動量を記述した一覧表である（表-2）．カタログ化することで，地殻変動を検出した地震とその変動量が一目でわかるうえ，地震の規模（マグニチュード）やタイプと変動量が一覧で整理されることで，GEONET ではどのような規模のどのような地震に対して地殻変動を検出しうるのか，知見を得ることができ，検出した地殻変動が“真”の変動なのか，データのばらつきなのか，判断する一助となる．

カタログで扱う地理的範囲は，気象庁が地震の観測を行う日本周辺（東経 120 度から 156 度，北緯 22 度から 48 度）で，対象の期間は，1996 年から 2012 年である．国土地理院が過去に地殻変動を検出し外部に資料を公開した地震については，今回，F3 解を用いて再度変動量を計算し，過去の解析（F2 解）では変動が検出されなかった地震についても，平成 15 年十勝沖地震など巨大地震の余震，マグニチュード（M）7 以上のもの，M6 で震源の位置等から変動が想定されるものについては，再度，F3 解により変動の有無を確認した. なお, 上記の領域の範囲内には，千島列島，オホーツク海，小笠原諸島の沖合など，M7 を越す地震が生じる地域が含まれているが，GEONET の観測点配置では震源から遠いことなどから変動が検知できない地震も含んでいることに留意する必要がある．さらに，カタログにおいて整理した地殻変動から，マグニチュード・地震タイプと生じた変動の関係など，GEONET が観測した地殻変動と地震との間に見られた特徴についても報告する．

表-1　定常解析結果一覧

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

2.　地震時の地殻変動

GEONET が正式に運用を開始した 1996 年 4 月以降 2012 年までに，地殻変動を観測した地震は 70 回である（表-2）．カタログに記載した地殻変動量は，F3 解に基づき算出した．ただし，東北地方太平洋沖地震直後に発生した地震等は，24 時間データを用いた F3 解では，余震や余効変動など複数の変動が重なり分離できないため，時間分解能が 6 時間と高い Q3 解を用いて変動量を算出した．また，東北地方太平洋沖地震では，地震後の余効変動が大きいことから，余効変動の影響をなるべく含まないよう，参考値として比較期間を Q3 解とした値も併記した．

現時点で GEONET が観測した最大の地殻変動量は，水平成分では，東北地方太平洋沖地震で観測された 540cm（M 牡鹿）である．また上下成分では，岩手・宮城内陸地震における 208cm の隆起（栗駒 2）が最大となっている．

最も小さな地殻変動量は，2001 年 12 月 9 日の奄美大島近海の地震（喜界 2），2005 年 4 月 20 日の福岡県北西沖の地震（M海の中道）及び 2005 年 10 月 19 日の茨城県沖の地震（日立）に伴うもので，水平

This document is provided by JAXA.

成分で観測された 0.3cm である．GNSS 観測における様々な測位誤差を考慮すると，この値は現段階において GEONET が地殻変動として検知可能な限界であると思われる．

地震の規模別に分類すると，地殻変動を検出した地震は， M4 クラスが 1 個，M5 が 7 個，M6 が 39 個，M7 が 21 個，M8 及び M9 が各 1 個である．日本周辺で観測された M8 以上の地震は，平成 15 年十勝沖地震と平成 23 年東北地方太平洋沖地震の二つで，いずれも GEONET で大きな地殻変動を観測した．また，対象の範囲・期間で観測された M7 以上の地震は，気象庁の一元化震源カタログによると 47 個であり，このうち 23 個の地震で地殻変動を観測している．GEONET で地殻変動を観測できなかった 24 個の M7 クラスの地震の中には，2011 年 3 月 11 日に発生した岩手県沖の地震（M7.4）及び茨城県沖の地震（M7.6）のように東北地方太平洋沖地震と同じ日に発生したため，地殻変動が重なりあってしまい，GEONET の定常解析の時間分解能（表-1）では個々の地震に伴う地殻変動を分離できなかった地震が含まれる.この二つの地震は，1 秒毎の観測データをエポック毎に解析することにより，それぞれの地震に伴って生じた地殻変動を分離できる（国土地理院，2011）．同様に，2003 年 9 月 26 日の十勝沖の地震（M7.1）や 2004 年 9 月 5 日の三重県南東沖の地震（M7.1）も同日に発生した地震と地殻変動が分離できていない可能性がある. 前述したように, GEONET の観測点配置では震源が遠いために変動が検出できない地域を除くと，対象とした日本周辺の範囲で M7 以上の地震が発生した場合，ほとんどの地震に伴って地殻変動が観測されると考えてよい．

3.　地震タイプによる分類

ここで整理した地殻変動の特徴を把握するため，地震の発生場所について，地殻内部，プレート境界および海洋プレート内部に分類して整理した．気象庁の地震月報等を参考に分類すると，地殻変動を観測した地震のうち，地殻内部で生じた地震が 32 回，プレート境界では 23 回，海洋プレート内部では 12 回となる．1999 年と 2002 年の台湾の地震及び 2006 年の奄美大島近海の地震については，メカニズムが不明のため以下の検討には含んでいない．

3.1　地殻内部の地震

地殻内部の地震は，日本周辺の陸域では，概ね深さ 20km 以浅で発生することが知られており，規模の大きい場合は，岩手・宮城内陸地震のように地表に断層が現れることもある．震源が浅いため，一般に，震源近傍の観測点では変動が大きく，離れるにともなって急激に変動が見えなくなる傾向がある．

地殻変動を検出した地震の震央分布図を図-1 に示す。

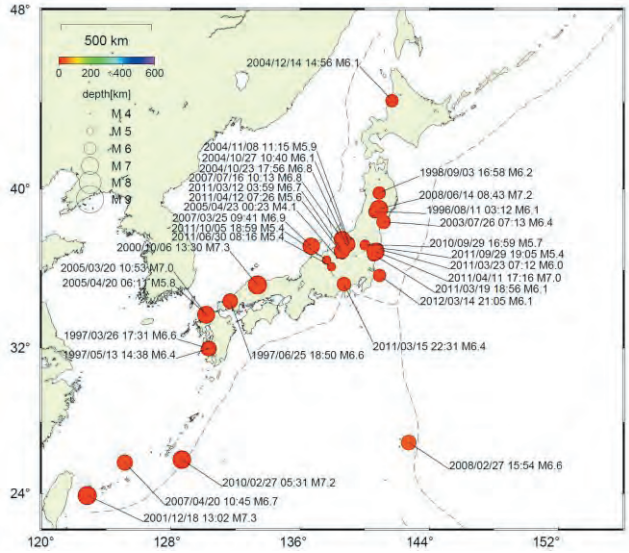


図-1　震央分布図（地殻内部の地震）

規模別では，M4 が 1 個，M5 が 7 個，M6 が 18 個そして M7 が 6 個である．基本的に陸域の浅いところで発し，震源域と観測点の距離が近いことが多いため，規模が小さい場合にも地殻変動が観測される．変動の観測された地震で規模の最も小さいものは，M4.1（2005 年 4 月 23 日 長野県北部の地震）である． M4.1 の地震により生じる断層面でのすべり量は一般的に数 cm 程度であるので，地殻変動は局所的（広がりは限定的）になるが，GEONET が変動を検出したことから，震源域が変動を観測した観測点に極めて近かったことが推察される．この地震は例外的なもので，地殻内部で発生する地震では，M5 後半程度から地殻変動を観測することが多い．

規模の大きないくつかの地震では，余効変動も観測されている．平成 12 年鳥取県西部地震では，地震後約 2 カ月で，「米子」で 1.6cm の地殻変動が観測された．この例では，地殻内部の地震に伴う余効変動は，数ヶ月程度継続しており，変動量は地震時の 1 割程度である．

また，2005 年 4 月 20 日の福岡県北西沖の地震（M5.8）で地殻変動を観測した「M海の中道」は，同年 3 月 20 日に発生した M7.0 の地震後に，余震域近傍に設置した臨時観測点である．この事例から見ると，臨時観測点の設置は，陸域の活断層に沿って生じた大地震後の地殻変動の推移を詳細に調べるのに有効である．一方，東北地方太平洋沖地震後に岩手県の沿岸部に設置された「M 大槌」は，余効変動が鈍化を始めた地震発生後半年以上経って設置され，また，プレート境界型の巨大地震の場合，海域の震源から遠く離れた陸域で観測点を 1 点追加しても検知能力が大きく向上するわけではないことから，地

This document is provided by JAXA.

震後に観測点近傍での位置の基準を与える基準点としては有益ではあるものの，地震後の地殻変動に関して新たな知見を得るためには大きな効果が無かった．大地震後に臨時観測点を設置する場合は，その地震のメカニズムなど，現象の時空間的な特徴を考慮して対応することが重要だと思われる．

3.2　プレート境界の地震

プレート境界の地震は，陸のプレートとその下に沈み込む海洋プレートの境界で発生する地震のことで，日本周辺のテクトニクスでは，北米プレートと太平洋プレート，フィリピン海プレートと太平洋プレート，ユーラシアプレートとフィリピン海プレート等，陸と海洋のプレートの組み合わせにいくつかのバリエーションがあり，それぞれのプレート境界の形状に応じて地震が発生している．このタイプの地震には，平成 15 年十勝沖地震（M8.0）や平成 23 年東北地方太平洋沖地震（M9.0）が含まれる．地殻変動を検出した地震の震央分布図を図-2 に示す。北海道から関東にかけての太平洋の沖合で発生した地震が多く，逆に東海から南海にかけて大きな空白域があることが目に付く．プレート境界の大地震の繰り返し間隔が数十年から数百年であることからすれば，今後，この空白域で大地震が発生する可能性を想定しておく必要があるだろう．

規模別では，M6 クラスが 15 個，M7 が 6 個，M8 と M9 が 1 個である．震源が海域であり，観測点と震源の距離が一般に遠いことから，地殻内部の地震に比べ，変動を観測した地震の M の下限は 6.2（2007 年 2 月 17 日 十勝沖の地震）と大きい．その一方，地殻変動が広域にわたり生じるため，変動の空間分布から有意性の判定が容易になる．

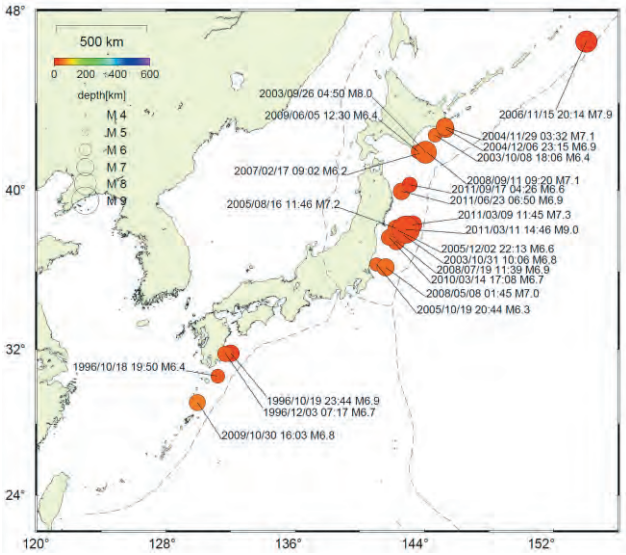


図-2　震央分布図（プレート境界の地震）

日本周辺のプレート境界では，規模の大きい地震がしばしば発生しており，それらの地震による余効変動が GEONET により観測されている．平成 15 年十勝沖地震による余効変動は数年間継続し，東北地方太平洋沖地震後には，地殻変動が重なって判別できなくなるが，特に水平成分については，地震前の状態には戻りきっていなかった．東北地方太平洋沖地震による余効変動は，2013 年 2 月現在も継続しており，変化の減衰率から見ても，今後 10 年近くは続くであろうと考えられる．これら余効変動を生じた余効滑りは，地震による断層運動の滑りと場所を棲み分けており（国土地理院，2011），その違いが地殻変動の空間分布の違いに表れている．

3.3　海洋プレート内部の地震

陸のプレートの下に沈み込む海洋プレートの内部で発生する地震である．このタイプの地震では，平成 13 年芸予地震（M6.7）や 2004 年 9 月 5 日の三重県南東沖の地震（M7.4）等で地殻変動を観測している．震源が深い地震も多いが，その場合，一般に震源の直上（震央）では地殻変動が小さく，震央からやや離れた場所で変動が生じる傾向がある．地殻変動を検出した地震の震央分布図を図-3 に示す。

規模別では，M6 が 5 個，M7 が 7 個である．M の下限は，6.0（2001 年 12 月 9 日　奄美大島近海の地震）である．海洋プレート内部で発生する地震には，深発・稍深発地震も含まれ，カタログに記載した，2012 年 12 月までに地殻変動を観測したこのタイプの地震で最も深いものは，2003 年 5 月 26 日宮城県沖の地震（M7.1）の深さ 72km であった．（カタログの期間外で，暫定値ではあるが，さらに震源の深い，2013 年 2 月 2 日の十勝地方南部の地震（M6.5，深さ 102km）でわずかな地殻変動が観測された．）

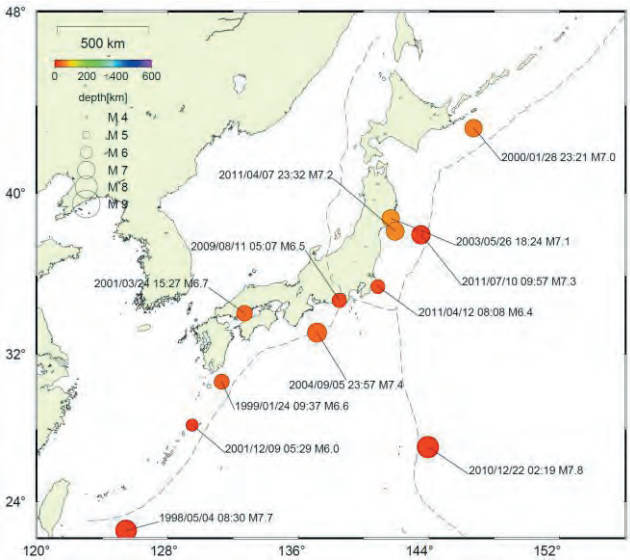


図-3　震央分布図（海洋プレート内部の地震）

This document is provided by JAXA.

また，いわゆるアウターライズの地震もこのタイプに属し，2010 年 12 月 22 日の父島近海の地震（M7.8）に伴う地殻変動を観測した．なお，2012 年 12 月 7 日の三陸沖の地震（M7.3）は，当初のモデル計算では 1cm 弱の地殻変動が推定されたが，正断層と逆断層の地震がほぼ同時に起きた複雑な地震であったため，有意な地殻変動は観測されなかった．

4.　フォワードモデルによる推定計算と観測の比較

地震活動監視係では，地震発生時に GEONET の観測データに基づき地震に伴う地殻変動の有無を判断しているが，データに見られる地殻変動が誤差ではない“真の”地殻変動であることを判断する一因として，GEONET で得られた地殻変動の大きさや向きが，震源断層のメカニズムから推定される地殻変動と整合するかどうか，確認している．変動量の推定は，防災科学技術研究所や気象庁の自動 CMT 解を基に断層を仮定したモデル計算（フォワードモデル計算）（Okada,1992）により行っている．今回，地殻変動カタログを整備したことにより，過去の地震に伴う地殻変動が体系的に整理されたため，それらの地震について，フォワードモデルによる推定計算と観測の比較を行い，モデルによる地殻変動予測の妥当性を検証した．推定値と観測値について，変動量の最大値同士を比較したのが図-4 である．水平成分では，フォワードモデル計算の五割以上で，推定値と観測値の差が半分から 2 倍の範囲（以下，倍半分と呼ぶ）に入っている．フォワードモデル計算では，CMT 解の節面（の一つ）を断層面と仮定していること，断層を 1 枚の矩形断層と仮定していること，地球を半無限弾性体と仮定していること等，モデルを単純にするために実際の物理条件とはやや異なる可能性がある仮定をおいているが，これらの仮定により推定値と観測値が異なる可能性を考慮すると，地殻変動の真偽を判断するために十分に有用な推定精度を達成していると考えられる．

上下成分では，水平成分に比べて観測値のばらつきが大きいことから，上下成分に有意な変動が認められない地震を検討から除き，さらに検出が可能な地殻変動量を 2cm として推定値が 2cm 未満の 38 件を除いて，残り 32 件の地震について同様に推定値と観測値の変動量の最大値を比較したところ，半数が倍半分の範囲に入る．

タイプ別にみると，プレート境界や海洋プレート内部の地震については，7〜8 割の地震が倍半分の推定精度を持つが，地殻内部の地震では，倍半分の推定精度を持つのは 4 割程度である．地殻内部の地震では，震源と観測点が近いため，その位置関係の詳細に変位が大きく影響されることが原因と考えられる．また，観測値と推定値の比の平均値を見ると，

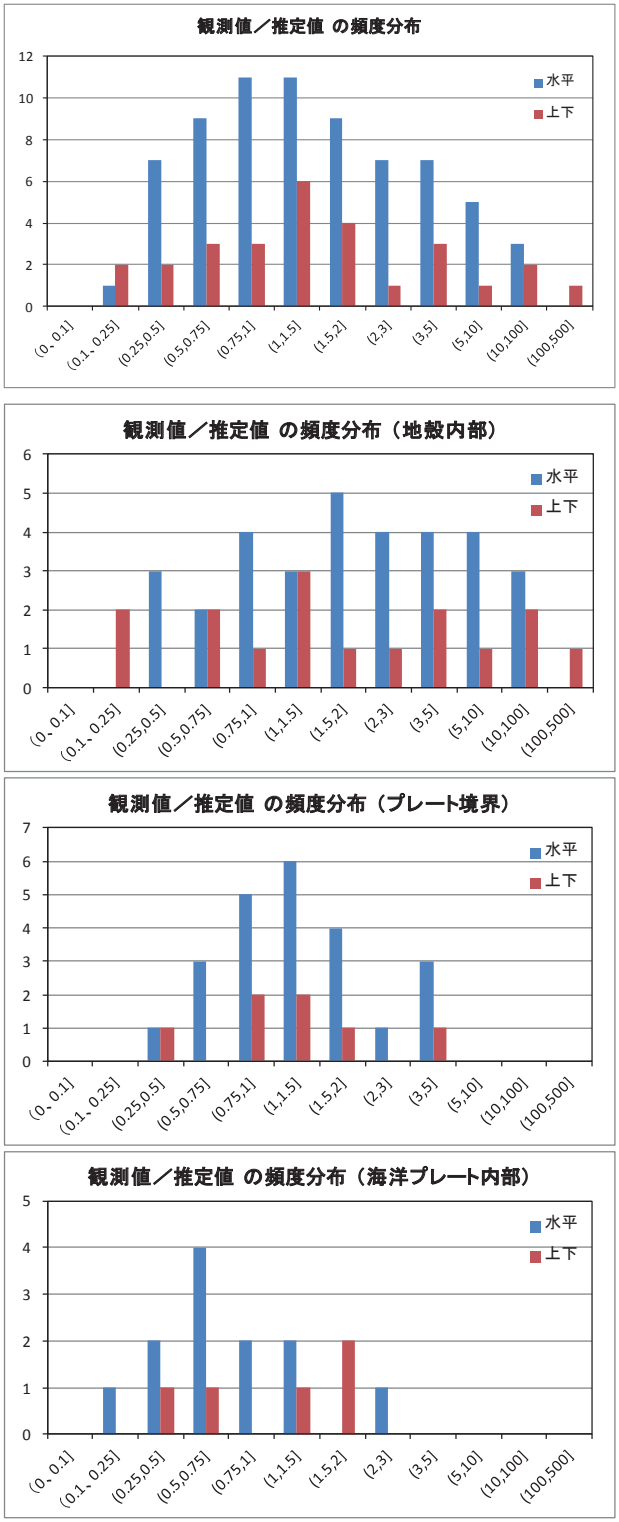


図-4　観測値と推定値の比の頻度分布図

地殻内部 4.0，プレート境界 1.6，海洋プレート内部 0.9 となり，海洋プレート内部において，比が 1 を切っていることが注目される．このタイプの地震の中で，比が 1 を大きく超えている 2011 年 4 月 7 日の宮城県沖の地震と同月 12 日の千葉県東方沖の地震は，東北地方太平洋沖地震による余効変動が大きい時期の地震であり，その変動が重なっているため，地震

This document is provided by JAXA.

の変動量を過大に評価している可能性がある．この二つの地震を除くと，比は 0.7 となる．このように，海洋プレート内部で発生する地震は，陸とプレートが違うため，フォワードモデルで仮定する陸のプレートと条件が異なることにより，推定値より観測値が数割小さくなると考えられる．

いずれにしても，観測データから得られた地殻変動量が，地震のメカニズムと整合するかどうかを確認するためには，運用上，十分な精度を有したモデル計算であり，その特徴を十分に理解して活用することが重要である．

5. まとめ

今回，GEONET 運用開始以降に発生した地震活動に伴う地殻変動の観測結果を取りまとめた．対象とした地震のリストアップは，過去の地殻変動の資料をもとに行ったが，過去の資料は，F3 解以前の解析戦略で作成されているため，F3 解とくらべて解のばらつきが大きく，資料作成時点で変動を検知できなかった地震が含まれている可能性がある．今回の検討により整理した変動を観測した M の下限などを参考に，漏れが無いか再調査が必要である．

今回作成した地殻変動カタログは，地震という地球物理学的現象を理解するための資料というだけでなく，過去の地震によってどのような地殻変動が生じてきたのかを，防災関係者やマスコミにわかりやすく伝える資料としても活用できる．これまで Web 上では，速報として発表した報道発表資料等が最もアクセスしやすく，F3 解を用いて検討した結果が地震予知連絡会会報の中に埋もれてしまい，目に触れにくいという問題があったが，今回作成したカタログを Web で公開することによって F3 解による結果がより活用されることが期待される．現在，Web による地殻変動カタログの公開を予定しており，わかりやすく正確な地殻変動情報の提供を心掛けたい．（http://mekira.gsi.go.jp/catalogue/index.html）

また，2009 年に開始した GEONET の第 4 版解析戦略は，GEONET 運用開始の 1996 年 4 月まで遡って解析を行っている．しかし，GEONET 以前のデータ（1994 年 10 月から 1996 年 3 月まで）では遡り解析が行われていないため，以前の解析結果（FI 解）を用いている．この期間内にも，北海道東方沖地震（M8.2），三陸はるか沖地震（M7.6）や兵庫県南部地震（M7.3）といった大地震が発生しており，その観測結果について同じ品質でカタログ化することが望ましい．F3 解析はこの期間も遡り解析が実施できるように設計されているため，今後の進展に期待したい．

謝　辞

震源データの利用に関しては，気象庁の一元化震源カタログを使用した．ここに記して感謝いたします．

（公開日：平成 25 年 4 月 1 日）

参 考 文 献

石本正芳，湯通堂亨（2007）：GEONET による平成 19 年（2007 年）能登半島地震に伴う地殻変動，国土地理院時報，113，37-39.

石本正芳，湯通堂亨（2008）：GEONET による平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震に伴う地殻変動，国土地理院時報，114，77-79.

小島秀基，小清水寛，米溪武次，根本盛行，岩田昭雄，湯通堂亨，雨貝知美，矢萩智裕，今給黎哲郎，岩田和美（2005）：平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震に伴う GEONET の緊急対応と地殻変動，国土地理院時報，107，71－77.

国土地理院（2011）：東北地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，第 86 巻，205-231.

小清水寛，畑中雄樹，根本盛行，西村卓也，今給黎哲郎，村上亮，藤原智（2006）：平成 17 年（2005 年）福岡県西方沖を震源とする地震に伴う地殻変動と断層モデル，国土地理院時報，109，45-49.

宮原伐折羅，野神憩，梅沢武，岩下知真子，川元智司，飯村友三郎（2008）：GPS 連続観測システムが捉えた平成 20 年（2008 年）岩手，宮城内陸地震に伴う地殻変動，国土地理院時報，117，73－77.

宮原伐折羅，野神憩，梅沢武，岩下知真子，川元智司（2009）：GPS 連続観測システム（GEONET）の解析戦略（第 4 版）から見た地殻変動について，国土地理院時報，118，31-36.

中川弘之，豊福隆史，小谷京湖，宮原伐折羅，岩下知真子，川元智司，畑中雄樹，宗包浩志，石本正芳，湯通堂亨，石倉信広，菅原安宏（2009）：GPS 連続観測システム（GEONET）の新しい解析戦略（第 4 版）によるルーチン解析システムの構築について，国土地理院時報，118，1－8.

T. Nishimura, H. Munekane and H. Yarai (2011): The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and its

This document is provided by JAXA.

aftershocks observed by GEONET, Earth Planets Space, 63, 631-636.
測地観測センター（2004）：電子基準点 1,200 点の全国整備について，国土地理院時報，103，1－51.
水藤尚，西村卓也，小沢慎三郎，小林知勝，飛田幹男，今給黎哲郎，原慎一郎，矢来博司，矢萩智裕，木村久夫，川元智司（2011）：GEONET による平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震に伴う地震時の地殻変動と震源断層モデル，国土地理院時報，122，29-37.
Y. Okada (1985): Internal Deformation Due To Shear and Tensile Faults in a Half-Space, Bulletin of the Seismological Society of America, 82, 1018-1040.

This document is provided by JAXA.

表-2　GEONET で地殻変動が観測された地震とその変動量（地殻変動カタログ）

GEONETにより地殻変動を観測した地震　（1996/04/01～）

日付	地震名／震央地名	緯度	経度	深さ (km)	M	最大震度	観測値の最大 (cm) 水平		観測値の最大 (cm) 上下		補足
1996/08/11 03:12	秋田県内陸南部	38 ° 54.4 '	140 ° 38.0 '	9	6.1	5	1.1	皆瀬	--		
1996/10/18 19:50	種子島近海	30 ° 34.5 '	131 ° 11.8 '	38	6.4	4	2.0	中種子	--		
1996/10/19 23:44	日向灘	31 ° 47.9 '	132 ° 00.5 '	34	6.9	5弱	3.8	佐渡原	-1.2	佐渡原	「佐渡原」,「日向」欠測期間あり
1996/12/03 07:17	日向灘	31 ° 46.1 '	131 ° 40.8 '	38	6.7	5弱	3.2	佐渡原	-1.5	佐渡原	
1997/03/26 17:31	鹿児島県薩摩地方	31 ° 58.3 '	130 ° 21.5 '	12	6.6	5強	1.6	鹿児島大口	--		
1997/05/13 14:38	鹿児島県薩摩地方	31 ° 56.9 '	130 ° 18.1 '	9	6.4	6弱	2.1	阿久根	--		
1997/06/25 18:50	山口県中部	34 ° 26.4 '	131 ° 39.9 '	8	6.6	5強	1.2	柿木	--		「萩1」欠測期間あり
1998/05/04 08:30	石垣島南方沖	22 ° 22.7 '	125 ° 26.2 '	35	7.7	3	0.7	伊良部	--		
1998/09/03 16:58	岩手県内陸北部	39 ° 48.3 '	140 ° 54.0 '	8	6.2	6弱	3.9	M田沢湖	2.4	M西山	
1999/01/24 09:37	種子島近海	30 ° 34.1 '	131 ° 17.4 '	40	6.6	4	0.5	中種子	--		
1999/09/21 02:47	台湾中部	23 ° 52.6 '	120 ° 55.8 '	0	7.7	2	0.7	与那国	--		
2000/01/28 23:21	根室半島南東沖	43 ° 00.4 '	146 ° 44.6 '	59	7.0	4	0.6	根室2	--		
2000/10/06 13:30	H12鳥取県西部地震	35 ° 16.4 '	133 ° 20.9 '	7	7.3	6強	16.8	日南	--		
2001/03/24 15:27	H13芸予地震	34 ° 07.9 '	132 ° 41.6 '	46	6.7	6弱	2.2	広島2	-3.8	広島2	「豊栄」,「三原」障害？
2001/12/09 05:29	奄美大島近海	28 ° 14.9 '	129 ° 29.3 '	36	6.0	5強	0.3	喜界2	--		
2001/12/18 13:02	与那国島近海	23 ° 53.6 '	122 ° 48.9 '	8	7.3	4	2.7	与那国	--		
2002/03/31 15:52	台湾付近	24 ° 13.9 '	121 ° 58.2 '	55	7.0	3	1.7	与那国	--		
2003/05/26 18:24	宮城県沖	38 ° 49.2 '	141 ° 39.0 '	72	7.1	6弱	2.6	水沢1	2.8	岩手大東	「山田」ビラー傾斜
2003/07/26 07:13	宮城県中部	38 ° 24.3 '	141 ° 10.2 '	12	6.4	6強	16.0	矢本	9.1	矢本	
2003/09/26 04:50	H15十勝沖地震	41 ° 46.7 '	144 ° 04.7 '	45	8.0	6弱	95.5	広尾	-28.6	大樹2	
2003/10/08 18:06	釧路沖	42 ° 33.9 '	144 ° 40.1 '	51	6.4	4	1.3	釧路市	--		
2003/10/31 10:06	宮城県沖	37 ° 49.9 '	142 ° 41.7 '	33	6.8	4	0.5	牡鹿	--		
2004/09/05 23:57	三重県南東沖	33 ° 08.2 '	137 ° 08.4 '	44	7.4	5弱	5.4	志摩	1.2	豊橋2	
2004/10/23 17:56	H16新潟県中越地震	37 ° 17.5 '	138 ° 52.0 '	13	6.8	7	20.9	守門	26.7	小千谷	
2004/10/27 10:40	新潟県中越地方	37 ° 17.5 '	139 ° 02.0 '	12	6.1	6弱	0.8	守門	2.2	守門	
2004/11/08 11:15	新潟県中越地方	37 ° 23.7 '	139 ° 01.9 '	0	5.9	5強	0.9	栃尾	--		
2004/11/29 03:32	釧路沖	42 ° 56.7 '	145 ° 16.5 '	48	7.1	5強	2.8	根室4	2.8	根室4	
2004/12/06 23:15	釧路沖	42 ° 50.8 '	145 ° 20.5 '	46	6.9	5強	1.6	厚岸	1.1	根室4	
2004/12/14 14:56	留萌地方南部	44 ° 04.6 '	141 ° 41.9 '	9	6.1	5強	4.6	小平	3.4	小平	
2005/03/20 10:53	福岡県北西沖	33 ° 44.3 '	130 ° 10.5 '	9	7.0	6弱	15.4	福岡	-3.3	福岡	
2005/04/20 06:11	福岡県北西沖	33 ° 40.6 '	130 ° 17.2 '	14	5.8	5強	0.3	M海の中道	-1.5	M海の中道	
2005/04/23 00:23	長野県北部	36 ° 39.7 '	138 ° 17.7 '	4	4.1	4	0.5	長野	5.0	長野	
2005/08/16 11:46	宮城県沖	38 ° 08.9 '	142 ° 16.6 '	42	7.2	6弱	5.1	牡鹿	-4.7	牡鹿	
2005/10/19 20:44	茨城県沖	36 ° 22.9 '	141 ° 02.5 '	48	6.3	5弱	0.3	日立	--		
2005/12/02 22:13	宮城県沖	38 ° 04.3 '	142 ° 21.2 '	40	6.6	3	0.5	牡鹿	--		「河北」データ断あり
2006/11/15 20:14	千島列島東方	46 ° 42.1 '	154 ° 02.8 '	30	7.9	2	0.5	枝幸	--		
2006/11/18 03:03	奄美大島近海	28 ° 31.0 '	130 ° 09.2 '	30	6.0	4	1.2	喜界1	--		
2007/02/17 09:02	十勝沖	41 ° 43.9 '	143 ° 43.3 '	40	6.2	4	0.4	えりも1	--		
2007/03/25 09:41	H19能登半島地震	37 ° 13.2 '	136 ° 41.1 '	11	6.9	6強	20.9	富来	6.2	富来	「富来」,「能登島」の傾斜変化は補正済
2007/04/20 10:45	宮古島北西沖	25 ° 44.8 '	125 ° 08.2 '	21	6.7	3	0.4	城辺	--		
2007/07/16 10:13	H19新潟県中越沖地震	37 ° 33.4 '	138 ° 36.5 '	17	6.8	6強	17.0	柏崎1	-5.9	柏崎2	「柏崎1」,「出雲崎」の傾斜変化は補正済
2008/02/27 15:54	父島近海	26 ° 52.5 '	142 ° 44.3 '	38	6.6	3	0.7	父島A	--		
2008/05/08 01:45	茨城県沖	36 ° 13.6 '	141 ° 36.4 '	51	7.0	5弱	1.0	日立	--		
2008/06/14 08:43	H20岩手・宮城内陸地震	39 ° 01.7 '	140 ° 52.8 '	8	7.2	6強	153.3	栗駒2	208.0	栗駒2	「栗駒」,「栗駒2」,「鳴子」の傾斜変化は補正済 「水沢1」のアンテナ高調整 「栗駒2」欠測期間あり
2008/07/19 11:39	福島県沖	37 ° 31.2 '	142 ° 15.8 '	32	6.9	4	1.0	S南相馬	--		
2008/09/11 09:20	十勝沖	41 ° 46.5 '	144 ° 09.1 '	31	7.1	5弱	2.0	えりも2	--		
2009/06/05 12:30	十勝沖	41 ° 48.7 '	143 ° 37.2 '	31	6.4	4	1.0	えりも1	--		
2009/08/11 05:07	駿河湾	34 ° 47.1 '	138 ° 29.9 '	23	6.5	6弱	1.3	焼津A	1.6	焼津A	「御前崎」局所的な変化 「天城湯ヶ島2」ビラー傾斜
2009/10/30 16:03	奄美大島北東沖	29 ° 10.0 '	129 ° 56.2 '	60	6.8	4	1.4	十島	--		
2010/02/27 05:31	沖縄本島近海	25 ° 55.1 '	128 ° 40.8 '	37	7.2	5弱	1.1	宜野座	--		
2010/03/14 17:08	福島県沖	37 ° 43.4 '	141 ° 49.0 '	40	6.7	5弱	0.8	P相馬	--		
2010/09/29 16:59	福島県中通り	37 ° 17.1 '	140 ° 01.5 '	8	5.7	4	0.5	下郷	--		
2010/12/22 02:19	父島近海	27 ° 03.1 '	143 ° 56.1 '	8	7.8	4	1.6	母島	--		
2011/03/09 11:45	三陸沖	38 ° 19.7 '	143 ° 16.7 '	8	7.3	5弱	3.0	大船渡	--		
2011/03/11 14:46	H23東北地方太平洋沖地震	38 ° 06.2 '	142 ° 51.6 '	24	9.0	7	539.5	M牡鹿	-107.1	M牡鹿	基準F3，比較F3 「田老」,「気仙沼」,「牡鹿」,「宮城川崎」,「S普代」,「S大船渡」,「S本吉」,「S石巻北上」,「S石巻雄勝」,「S石巻牧浜」,「S石巻」,「S七ヶ浜」の3/12は欠測
							530.3	M牡鹿	-116.6	牡鹿	基準F3，比較Q3
2011/03/12 03:59	長野県北部	36 ° 59.1 '	138 ° 35.8 '	8	6.7	6強	38.8	松之山	21.5	松之山	基準，比較ともにQ3 東北地方太平洋沖地震の余効変動を含む
2011/03/15 22:31	静岡県東部	35 ° 18.5 '	138 ° 42.8 '	14	6.4	6強	2.8	裾野1	--		「小淵沢」欠測あり，「富士山」降雪の影響含む？
2011/03/19 18:56	茨城県北部	36 ° 47.0 '	140 ° 34.2 '	5	6.1	5強	2.4	里美	--		
2011/03/23 07:12	福島県浜通り	37 ° 05.0 '	140 ° 47.2 '	8	6.0	5強	5.7	いわき2	2.3	いわき2	
2011/04/07 23:32	宮城県沖	38 ° 12.2 '	141 ° 55.2 '	66	7.2	6強	2.8	M牡鹿	5.1	M牡鹿	「利府」傾斜変動あり， 「志津川」,「牡鹿」,「S石巻北上」,「S石巻雄勝」,「S石巻牧浜」,「S七ヶ浜」欠測
2011/04/11 17:16	福島県浜通り	36 ° 56.7 '	140 ° 40.3 '	6	7.0	6弱	29.0	いわき2	5.7	いわき2	「いわき4」障害のため不明
2011/04/12 07:26	長野県北部	36 ° 49.1 '	138 ° 36.3 '	0	5.6	5弱	2.5	長野栄	--		
2011/04/12 08:08	千葉県東方沖	35 ° 28.9 '	140 ° 52.0 '	26	6.4	5弱	1.1	銚子	--		
2011/06/23 06:51	岩手県沖	39 ° 56.8 '	142 ° 35.4 '	36	6.9	5弱	1.5	岩泉2	--		
2011/06/30 08:16	長野県中部	36 ° 11.3 '	137 ° 57.2 '	4	5.4	5強	1.3	松本	--		
2011/07/10 09:57	三陸沖	38 ° 01.9 '	143 ° 30.4 '	34	7.3	4	0.7	S石巻	--		「S石巻北上」欠測期間あり
2011/09/17 04:26	岩手県沖	40 ° 15.5 '	143 ° 05.1 '	7	6.6	4	0.6	S普代	--		
2011/09/29 19:05	福島県浜通り	37 ° 07.9 '	140 ° 52.1 '	9	5.4	5強	1.4	いわき	--		
2011/10/05 18:59	富山県東部	36 ° 31.9 '	137 ° 39.0 '	1	5.4	3	1.7	立山A	0.6	立山A	
2012/03/14 21:05	千葉県東方沖	35 ° 44.8 '	140 ° 55.9 '	15	6.1	5強	1.0	銚子	-1.1	銚子	

上下成分の -- は有意な地殻変動がないことを示す。

This document is provided by JAXA.

測量の効率化・低コスト化を実現
−スマート・サーベイ・プロジェクトの取り組み−
Realization of Efficient and Low-cost Surveys
-Approach of Smart Survey Project-

測地部　後藤清・林保・飯村友三郎[1]・越智久巳一・日下正明[2]・岩田和美・
井上武久[3]・宮本純一・佐藤雄大・河和宏
Geodetic Department
Kiyoshi GOTO, Tamotsu HAYASHI, Yuzaburo IIMURA, Kumikazu OCHI,
Masaaki KUSAKA, Kazumi IWATA, Takehisa INOUE, Junichi MIYAMOTO,
Yudai SATO,　Hiroshi KAWAWA

要　旨

国土地理院では，平成 24 年 11 月に GNSS を活用して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」（以下，「SSP」という.）を平成 26 年 3 月までの約 1 年半の活動として始動させた．SSP では，公共測量において，全国どこでも GNSS の活用による標高の測量と電子基準点を活用した基準点測量が行えるようにするために，二つのマニュアル（案）を平成 25 年 4 月に公表した.

平成 25 年度中に，二つのマニュアル（案）の試行作業等により，さらなる改善を図り実用化を推進する予定である.

本稿では，SSP の取り組み及び二つのマニュアル（案）の概要等について報告する.

1. はじめに

SSP を立ち上げた背景として，基準点等の利用者ニーズがある.

国土地理院では，業務改善と地理空間情報の活用推進に資することを目的として, 平成 23 年度と平成 24 年度にアンケート調査及びヒアリング調査を実施した．調査の結果から，水準点が不足していること，三角点が利用しにくい場所に設置されていることなどが測量の効率化を阻害している現状を把握した．この結果を受け，SSP を立ち上げ二つのテーマについて，検討することとした.

検討テーマの一つ目は，既設の水準点が作業地域の近傍にない場合, 遠方の水準点から多大な時間をかけて直接水準測量を行っている現状を改善するために，GNSS を利用して必要な場所に簡便に水準点を設置できるようにすることである（図−1）.

二つ目は, 三角点を使用せずに電子基準点から直接設置できる公共基準点が 1 級に限定されている現状を改善し，この適用範囲を 2 級まで拡大することである（図−2）.

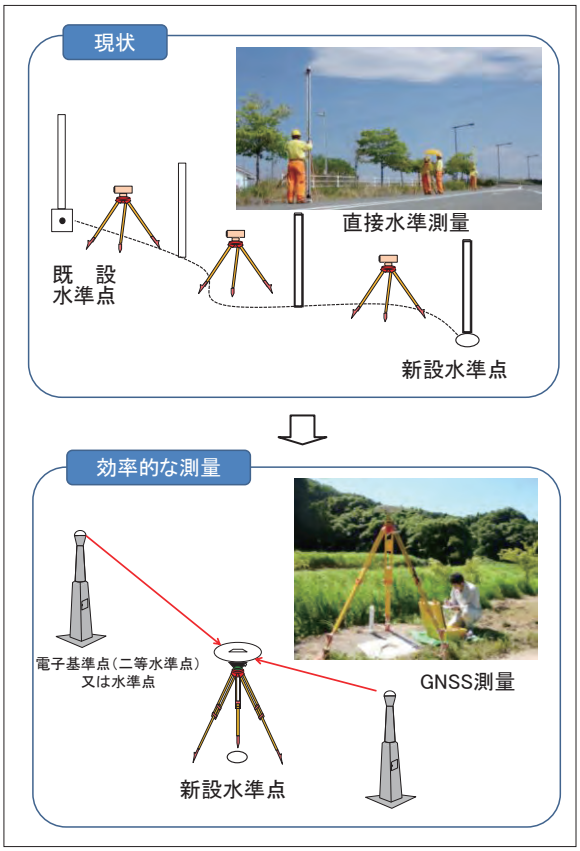


図-1　水準測量の現状と効率的な測量のイメージ

これら二つを実現するために，検証作業により精度確認を行い，公共測量に使用する二つのマニュアル（案）を策定し，平成 25 年 4 月 26 日に公表した．今後, 平成 25 年度中に二つのマニュアル（案）の試行作業を行うとともに改正を行い, 平成 26 年度から本格的な運用を開始する予定である.

なお, SSP による検討の背景となる技術的な要因としては，次のとおりである.

1) GPS に加え，我が国の準天頂衛星システム（QZSS），ロシアの GLONASS 等, 複数の衛星測位システムが運用されてきており，GNSS の利用が一層進むことが予想されること.

現所属：[1]日本測量協会九州支部技術センター，[2]北海道地方測量部，[3]企画部

This document is provided by JAXA.

2) GNSS 測量により得られる楕円体高を標高に換算する高精度なジオイド・モデルが構築されたこと.

3) 地殻変動の影響を軽減するセミ・ダイナミック補正が定着してきたこと.

この新しい二つのマニュアル(案)による測量は,従来の測量方式に比較して,大幅な作業期間の短縮及び作業経費の軽減が期待できる.

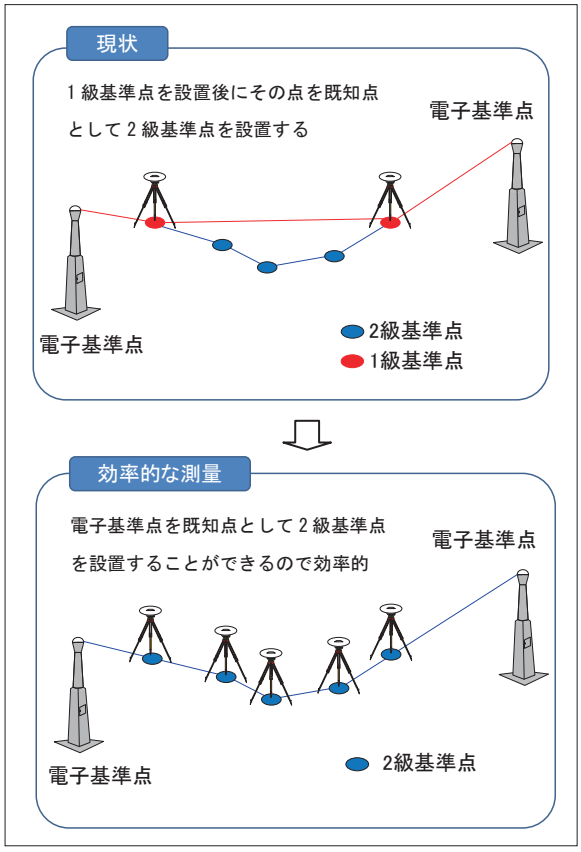


図-2　2 級基準点測量の現状と効率的な測量のイメージ

2. SSP のこれまでの取り組み

SSP のこれまでの主な取り組み（活動内容）を報告する.

1) 二つの委員会の設置

測量業務の効率化を実現するために,平成 24 年度に二つの委員会を設置した.

一つは「測量業務の効率化に関する検討委員会」で,学識経験者,測量計画機関,国土地理院で構成し,作業マニュアル（案),利用の手引を策定するための検討を目的として,委員会を 3 回開催した.

もう一つは「公共測量における GNSS の効率的な利用に関する委員会」で,学識経験者,農林水産省・国土交通省関係部局,国土地理院で構成し,効率的な測量の利用に関する検討を目的として,委員会を 2 回開催した.

2) パブリックコメントの実施

平成 25 年 3 月に,二つのマニュアル（案）に対するパブリックコメントを実施し,意見の一部を反映した.

3) 二つのマニュアル（案）の公表

「GNSS 測量による標高の測量マニュアル（案)」及び「電子基準点のみを既知点とした基準点測量マニュアル（案)」を平成 25 年 4 月に公表した.

4) 標準歩掛の作成

平成 25 年 5 月に二つのマニュアル（案）に対応する標準歩掛を作成した.

5) 啓発活動

平成 25 年 5 月末から,講演会,講習会等において啓発活動を実施中である.

3. GNSS 測量による標高の測量

直接水準測量を行わなくても GNSS 測量によって標高を 3～5cm の精度で求めることを検討し,マニュアル（案）を策定した.

3.1 マニュアル（案）の特徴

マニュアル（案）の特徴は,次のとおりである.

1) GNSS 測量と高精度なジオイド・モデル（以下,「日本のジオイド 2011」という.）により,3 級水準点を設置することができる.

GNSS 測量と日本のジオイド 2011 により,新点の標高を定める作業(以下,「GNSS 水準測量」という.）では,1 級水準測量,2 級水準測量の目標精度を達成することは困難であるため,3 級水準点を設置することを可能とした.

2) 既知点は水準点（一・二等水準点及び 1・2 級水準点）である.

電子基準点（二等水準点）を既知点とすると,その点での GNSS 観測は不要であり,より効率的に測量を行うことができる.

3) 既知点間距離は,60km 以内とする.

電子基準点 1,240 点の平均点間距離は約 20km である.そのうち付属標が二等水準点としての成果を有しているものは,約 800 点である.マニュアル（案）での既知点間距離は,日本全国ほとんどの地域での測量が可能であり,精度も確保できる 60km 以内とした.

4) 観測距離（一基線長）は,6km～40km とする.

6km 未満の場合は,3 級水準測量の往復観測の較差の許容範囲（10mm$\sqrt{S}$）等を考慮すると,目標精度を達成することは困難であることから,適用しないこととした.

5) GNSS 測量の観測時間は 3 時間以上とし,アンテナ高を 10cm 以上変えて 2 セッション行う.ただし,観測距離が 10km 未満の場合の観測時

This document is provided by JAXA.

間は，2 時間以上でよい．

観測時間は，3.4 で後述の電子基準点データを使用した試算結果を踏まえ，10km 以上の長基線については，3 時間以上とした．また，GNSS 基線の精度向上のため，2 セッション目は異なる衛星配置における GNSS データを取得すること，更にアンテナ高の誤測定防止及び精度向上のため，2 セッション目のアンテナ高測定は 10cm 以上変えることとした．

6) 三次元網平均計算は，2 セッションの基線ベクトルの平均値及び固定重量を使用して行う．

7) 精度管理は次の 4 項目により行う．［　］内は許容範囲である．

a) 2 セッションの基線ベクトルの各成分の較差［水平(NE)：20mm，高さ(U)：30mm］

b) 既知点間の楕円体高の閉合差［15mm√S］

c) 三次元網平均計算における新点の楕円体高の標準偏差［50mm］

d) 点検測量（10%）採用値との較差

3.2 ジオイド・モデルの高精度化

GNSS 水準測量が可能となった最も大きな要因は，ジオイド・モデルを高精度に整備したことである．

これまで公表してきたジオイド・モデル（日本のジオイド 2000）は，内部評価における標準偏差は約 4cm であったが，重力ジオイド･モデルの高精度化，実測ジオイド高データ分布の均一化，モデル構築時の計算手法の改良等により，新しいジオイド・モデル（日本のジオイド 2011）の標準偏差は約 2cm となり，精度が格段に向上した(兒玉ほか，2013)．

新しいジオイド･モデルを整備した地域は，中国，四国，九州地方であるが，これまでのジオイド・モデルと結合して「日本のジオイド 2011＋2000」という名称で，平成 25 年 4 月 26 日に公表している（図-3）．

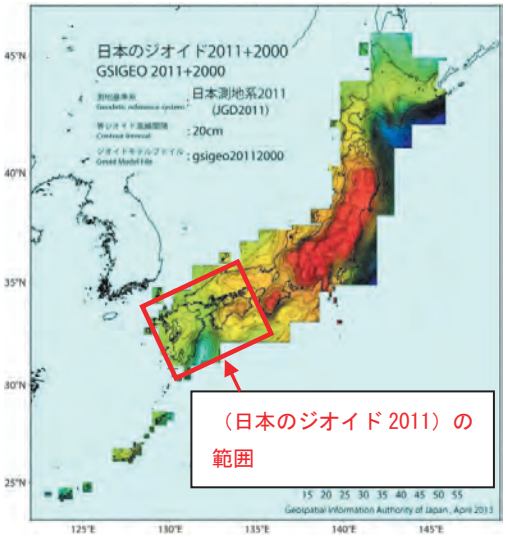


図-3　日本のジオイド 2011＋2000

残りの地域については，新しいジオイド・モデルの構築を進め公表する予定である．

したがって，現時点で本マニュアル（案）を適用できる地域は，中国，四国，九州地方に限られる．

3.3 水準測量と GNSS 水準測量の比較による検証

茨城県北部（高萩市，常陸太田市，大子町等）において，水準測量と GNSS 水準測量を比較するための検証作業を実施した（図-4）．

図-4　水準測量と GNSS 水準測量の比較による検証作業実施地域図

水準測量のデータは，平成 25 年 1 月に外注作業により実施した高精度三次元測量によるもので，GNSS 観測データは，同月に直営作業により実施した検証作業によるものである．

水準測量は，一等水準点 4177 から電子基準点（里美）付属標を経由して電子基準点（大子）付属標までの 55.3km を実施し，GNSS 観測は，上記の 3 点（内 2 点は偏心）及び公共測量の 1 級基準点（No.9）等で実施した．

1) 検証方法 1（既知点 2 点，新点 1 点）（図-5）

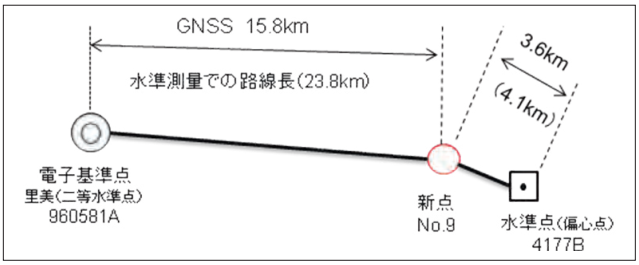


図-5　検証方法 1 のイメージ

水準測量のデータは，4177～No.9～960581A の約 28km であり，これにより求めた各測点の標高は，表-1 のとおりである．

表-1　水準測量により求めた各測点の標高

測点名	標高(m)	備考
4177	6.7351	測地成果 2011
960581A	265.006	電子基準点里美（二等水準点）
No.9	78.971	新点
4177B	6.375	4177 の偏心点

This document is provided by JAXA.

GNSS 観測は，既知点 2 点（4177B，960581A）新点 1 点（No.9）の 3 点で実施した．基線解析の結果は，表-2 のとおりである．

表-2　GNSS 観測の結果（2 ｾｯｼｮﾝの較差及び平均値）

自	至		DX(m)	DY(m)	DZ(m)
4177B	No. 9	第 1 ｾｯｼｮﾝ	2665. 198	2181. 275	1034. 537
		第 2 ｾｯｼｮﾝ	2665. 200	2181. 278	1034. 540
		較差	0. 002	0. 003	0. 003
		較差(NEU)	0. 002	−0. 004	0. 002
		平均値	2665. 199	2181. 277	1034. 539
No. 9	960581A	第 1 ｾｯｼｮﾝ	10827. 384	11384. 727	1836. 271
		第 2 ｾｯｼｮﾝ	10827. 390	11384. 717	1836. 263
		較差	0. 006	−0. 010	−0. 008
		較差(NEU)	0. 000	0. 004	**−0. 014**
		平均値	10827. 387	11384. 722	1836. 267

三次元網平均計算及び平成 25 年度実施予定のジオイド測量のデータ等を反映していない暫定ジオイド･モデルによるジオイド高から求めた No.9 の標高は，78.985m であり，水準測量により求めた標高(78.971m)との差は+0.014m と良好であった．

精度管理の 3 項目の結果は表-3 のとおりである．

表-3　精度管理の結果（検証方法 1）

項目	較差・閉合差（mm）	許容範囲（mm）
2 セッションの較差（U 成分最大）	14	30
既知点間の楕円体高の閉合差	66	66
新点の楕円体高の標準偏差	24	50

2) 検証方法 2（既知点 3 点，新点 2 点）（図-6）

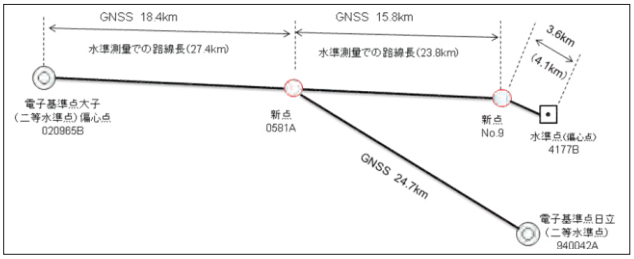


図-6　検証方法 2 のイメージ

水準測量のデータは，4177～No.9～960581A～020965A の約 55km であり，これにより求められた各測点の標高は，表-1，表-4 のとおりである．

表-4　水準測量により求めた各測点の標高

測点名	標高(m)	備考
940042A	107. 346	測地成果 2011
020965A	139. 654	電子基準点大子（二等水準点）
020965B	138. 761	偏心点

GNSS 観測は，既知点 3 点（4177B，020965B，940042A），新点 2 点（No.9，0581A）で実施した．

なお，0581A は，電子基準点（里美）付属標であるが，新点扱いとして同点でアンテナタワーを用いて観測したデータを使用した．

GNSS の 4 基線の観測結果は，表-5 のとおりである．

表-5　GNSS 観測の結果（2 ｾｯｼｮﾝの較差及び平均値）

自	至		DX(m)	DY(m)	DZ(m)
4177B	No. 9	第 1 ｾｯｼｮﾝ	2665. 198	2181. 275	1034. 537
		第 2 ｾｯｼｮﾝ	2665. 200	2181. 278	1034. 540
		較差	0. 002	0. 003	0. 003
		較差(NEU)	0. 002	−0. 004	0. 002
		平均値	2665. 199	2181. 277	1034. 539
No. 9	0581A	第 1 ｾｯｼｮﾝ	10827. 554	11385. 196	1836. 036
		第 2 ｾｯｼｮﾝ	10827. 539	11385. 204	1836. 051
		較差	−0. 015	0. 008	0. 015
		較差(NEU)	0. 002	0. 003	**0. 022**
		平均値	10827. 547	11385. 200	1836. 044
0581A	020965B	第 1 ｾｯｼｮﾝ	13355. 389	12235. 725	3123. 604
		第 2 ｾｯｼｮﾝ	13355. 386	12235. 747	3123. 613
		較差	−0. 003	0. 022	0. 009
		較差(NEU)	−0. 003	−0. 015	0. 018
		平均値	13355. 388	12235. 736	3123. 609
940042A	0581A	第 1 ｾｯｼｮﾝ	16782. 707	−577. 389	18716. 942
		第 2 ｾｯｼｮﾝ	16782. 697	−577. 375	18716. 954
		較差	−0. 010	0. 014	0. 012
		較差(NEU)	0. 000	−0. 004	0. 020
		平均値	16782. 702	−577. 382	18716. 948

三次元網平均計算及び暫定ジオイド・モデルから求めた No.9 の標高は 78.995m であり，水準測量により求めた標高（78.971m）との差は+0.024m と検証方法 1 の場合より差が 0.010m 大きくはなったものの，概ね良好であった．また，0581A の標高は 265.031m であり，水準測量により求めた標高（265.006m）との差は+0.025m であった．

精度管理の 3 項目の結果は表-6 のとおりである．

This document is provided by JAXA.

表-6　精度管理の結果（検証方法 2）

項目	較差・閉合差（mm）	許容範囲（mm）
2 セッションの較差（U 成分最大）	22	30
既知点間の楕円体高の閉合差	63▲ 11◆	98▲ 92◆
新点の楕円体高の標準偏差	23△ 16◇	50

▲は 020965B-4177B 路線，◆は 020965B-940042A 路線
△は新点 No. 9，◇は新点 0581A

3.4 標高差・基線長等と基線解析精度の関係

標高差等が基線解析に与える影響を把握するため，電子基準点 4 点の観測データを用いて，次の点に着目して基線解析を行った（図-7）．

1) 標高差（比高）の大小による再現性の違い．
2) 基線長の長短による再現性の違い．
3) 観測時間の長短による再現性の違い．
4) 放送暦と精密暦による比較．

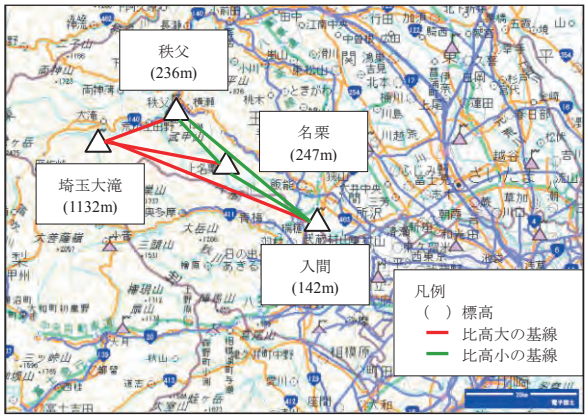


図-7　基線解析（6 基線）

基線解析の概要は次のとおりである．

1) 解析に使用したデータ
   a) 2012.2.1-2.7（1 週間），2012.8.1-8.7（1 週間）
   b) GPS データのみ（RINEX　Ver.2.10）
2) 解析時間（6 種類）
   24 時間，6 時間，3 時間，2 時間，1 時間
   いずれも 9 時（JST）からのデータを使用
3) 解析ソフトウェア
   トリンブル TOWISE(TBC Ver.1.4)
4) 暦
   放送暦，精密暦（一部）

基線解析結果の高さ成分について，4 つの着目点に関する評価を行った．

1) 比高が約 1000m と極めて大きい場合は，バラツキが大きい．例として，6 時間観測の標準偏差が，比高が大きい基線で 29mm，比高が小さい基線で 15mm であった．
2) 基線長に依存した有意な差は見られなかった．
3) 観測時間 3 時間と 6 時間では有意な差は見られなかった．
4) 3 時間観測において，放送暦と精密暦による有意な差は見られなかった．

3.5 アンテナ高の測定方法と精度

このマニュアル（案）は，3 級水準点を設置するための，標準的な作業方法を定めているものであり，アンテナ高の測定精度が成果に直接影響を与えるため，測定方法が重要なポイントとなる．

平成 25 年 1 月 10 日に国土地理院構内において，レベルと標尺を使用する方法と，水平器と鋼巻尺を使用する方法を比較する実験を行った．

実験は，測定者 2 人一組を四組編成し，各組異なる水平器と JIS 1 級鋼巻尺（コンベックス）を使用して，アンテナ高約 1.4m及び約 2.0mの 2 パターンについて，大小目盛の読定者の交替などをしながら，各パターン延べ 16 読定を行った（写真-1）．

16 読定のバラツキは小さく，ほとんど 3mm 以内であり，その平均値とレベル・標尺による測定値を比較した結果，アンテナ高約 1.4mの方が 2mm の差，アンテナ高約 2.0mの方が 1mm の差であった．

このことから，アンテナ高の測定は，水平器と JIS1 級の鋼巻尺を使用する方法でも十分精度を確保できると判断した．

写真-1　アンテナ高測定の実験風景

3.6 効率面の比較と利用の例

マニュアル（案）は，災害対応，路線測量，ダムの測量，などで使用することで，現行の測量よりも作業の効率化を図ることができる．

測量の規模として，6km，18km，36km の 3 種類を想定して，本マニュアル（案）による測量と現行の 3 級水準測量について，標準歩掛を基に効率面（外業の所要日数及び普通作業員も含めた技術者の延人日数）を比較した（表-7）．

This document is provided by JAXA.

表-7　効率面の比較（マニュアル（案）6km は 1 点，18km と 36km は 2 点で比較）

区分	外業の所要日数			技術者の延人日数		
	6km	18km	36km	6km	18km	36km
現行	1.68	5.04	10.08	8.16	24.48	48.96
マニュアル（案）	1.50	3.00	3.00	8.50	17.00	17.00
比率	0.89	0.60	0.28	1.04	0.69	0.35

表-7 から分かるとおり，このマニュアル（案）による測量は，規模が大きくなるほど外業に係る所要日数と技術者の延人日数の比率が小さくなり，効率化の効果が大きい．

このため，既設の水準点から遠い作業地域において利用することが効果的である．

利用の例として，地震災害の発生に伴う港湾施設の上下変動把握など早期の災害対応がある．この場合，港湾施設に近い水準点も変動して使用できないため，変動していない遠くの水準点（電子基準点（二等水準点）等）を使用することになる（図-8）．

図-8　マニュアルの利用例（港湾における災害対応）

4. 電子基準点のみを既知点とした基準点測量

三角点等を既知点としないで，電子基準点を利用することを検討し，電子基準点のみを既知点とした基準点測量マニュアル（案）を策定した．

4.1 マニュアル（案）の特徴

マニュアル（案）の特徴は，作業規程の準則における 1 級基準点測量と同様に，電子基準点を既知点とすることから，既知点での観測が不要であることと，セミ・ダイナミック補正を行うことである．

作業規程の準則では，公共基準点は，1 級から 4 級に区分しており，均一な位置精度を保つために，上位級から順に階層的に設置する方法を採っている．ただし，平成 14 年度からは作業規程の準則において，1 級基準点に限って，電子基準点のみを既知点とすることができるとしている．効率的な方法であることから，1 級基準点測量の多くはこの方法で実施されている．

遠く離れた電子基準点を既知点とするため，地殻変動による歪みが，新点と近隣の既設の基準点との整合性に影響を与えるため，平成 22 年 1 月からセミ・ダイナミック補正を導入することにした．

2 級基準点は，標準的な点間距離が 500m であり，新点と既設の基準点との距離も短くなることから，本マニュアル（案）ではセミ・ダイナミック補正を行うほかに，整合性を確認するため，必要に応じて点検のための観測を行うこととした．

4.2 セミ・ダイナミック補正の機能及び効果の検証

本マニュアル（案）を策定するにあたり，次のような検証を行った．

電子基準点（大子）の近傍に約 500m 間隔で新点（仮固定点）3 点を設置して GNSS 観測を行い，遠くの電子基準点（那須，烏山，里美）3 点を既知点として求めた座標と，電子基準点（大子）から基線解析により求めた座標を比較した（図-9，図-10）．

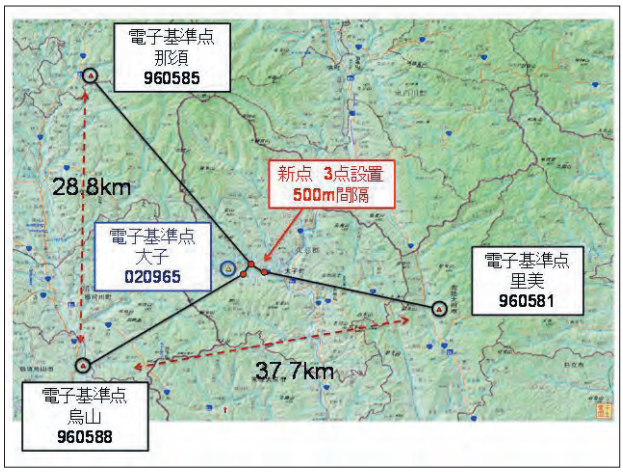


図-9　検証作業実施地域図

This document is provided by JAXA.

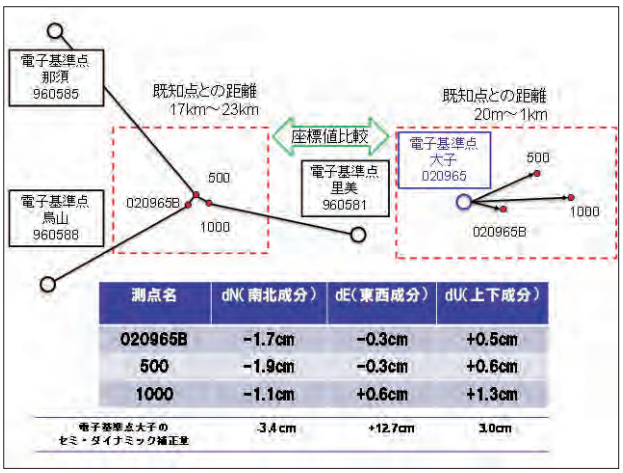


図-10　検証作業（新点座標の比較結果）

GNSS 基線解析に使用したデータは，10km 以上の基線については 2 時間分，10km 未満の基線については 1 時間分である．

電子基準点（那須，烏山，里美）を固定した三次元網平均計算による新点の座標と電子基準点(大子)を固定して放射状に行った基線解析結果の新点座標の差は，図-10 のとおり新点（500，1000，020965B）3 点とも 2cm 以内と良好であり，セミ・ダイナミック補正の機能及び効果を確認することができた．

5. SSP の今後の活動予定

SSP は，今後，次の予定で活動していく．

1) マニュアル（案）を使用した公共測量の測量記録等のデータ及び直営による試行作業で測量データ等を取得し，マニュアル（案）の検証を行う．
2) 検討委員会を設置する．

学識経験者，国土交通省，国土地理院で構成する「測量業務の効率化に関する検討委員会（Ⅱ）」を設置し，マニュアル（案）の改正に関する検討及び 3 級基準点測量，4 級基準点測量における作業方法の効率化に関する検討を行う．

3) 二つのマニュアル（案）の改正

検証作業の結果及び検討委員会での検討結果を踏まえてマニュアル（案）を改正し，平成 26 年度からマニュアルとして本格運用を開始する．

6. おわりに

SSP では，GNSS と電子基準点を活用して効率的に測量を行うための作業方法を検討し，マニュアル（案）を策定した．

平成 25 年度中に検証を行い，マニュアル（案）を改正する予定であるが，改正のポイントとしては，GNSS 観測時間の検討，GNSS 基線解析，三次元網平均計算を含めた計算整理方法の検討等が考えられる．今後，さらに問題点の抽出，解決策の検討を行い，より良いものにして行く．

本稿では，特に測量作業の効率化の効果が大きいと思われる「GNSS 測量による標高の測量マニュアル（案)」の内容に重点をおき記述した．このマニュアル（案）は，これまで 100 年以上続けてきた水準測量による方法によらない GNSS を活用した方法を定めたものであり，精度面の検討が重要になる．

今後，必要な精度を確保しつつ測量業務の効率化・低コスト化を推進するよう取り組んでいく．

（公開日：平成 25 年 10 月 4 日）

参 考 文 献

国土地理院（2013）：GNSS 測量による標高の測量マニュアル（案）．
国土地理院（2013）：電子基準点のみを既知点とした基準点測量マニュアル（案）．
兒玉篤郎，森下遊，宮原伐折羅，河和宏，海老名頼利（2013）：新しいジオイド・モデル「日本のジオイド 2011+2000」の構築，国土地理院時報，124 集，73-84．

This document is provided by JAXA.

新しいジオイド・モデル「日本のジオイド 2011+2000」の構築 ―中国・四国・九州地方におけるジオイド・モデルの改定―

Establishment of New Geoid Model “GSIGEO2011＋2000” -Revision of Geoid Model in Chugoku, Shikoku, Kyusyu Region-

測地部　兒玉篤郎・森下遊・宮原伐折羅・河和宏・海老名頼利[1]
Geodetic Department　Tokuro KODAMA, Yu MORISHITA, Basara MIYAHARA, Hiroshi KAWAWA and Yoritoshi EBINA
地理地殻活動研究センター　黒石裕樹
Geography and Crustal Dynamics Research Center
Yuki KUROISHI

要　旨

国土地理院では，衛星測位を用いた測量業務の効率化（スマート・サーベイ・プロジェクト）の一環として，GNSS 測量により 3 級水準測量に相当する標高の決定を可能とする（後藤ほか，2013）ため，高精度なジオイド・モデルの構築を進めている．今回，西日本地域について高精度化した新たなジオイド・モデル「日本のジオイド 2011」を構築し，それを既公表の全国モデルに組み入れた「日本のジオイド 2011+2000」として平成 25 年 4 月に公開した．新たなモデルは，最新の日本の重力ジオイド・モデル「JGEOID2008」（Kuroishi, 2009）をベースに，最小自乗コロケーション法（LSC）を用いて，水準測量と GNSS 測量により計測されたジオイド高に適合させることで作成した．得られたモデルは，観測ジオイド高と標準偏差 2cm で整合している．

新たなモデルの適用範囲は，一部島しょ部を除く，中国・四国・九州地方の西日本地域である．その他の地域については，既公表である「日本のジオイド 2000」（国土地理院，2003）に改変を加えていないため，全国のモデルの名称を，「日本のジオイド 2011+2000」とした．今後，残りの地域についてのモデル構築を進め，平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震に伴い改定した測地成果 2011（檜山ほか，2011）に整合する，高精度なジオイド・モデルを全国整備し，「日本のジオイド 2011」として公表する予定である．

1. はじめに

近年，GNSS 測量の普及に伴い，任意の測点で効率的に三次元位置（緯度・経度・楕円体高）を求めることが可能となった．「楕円体高」は，地球を回転楕円体に近似した準拠楕円体面からの垂直高として定義される幾何学的な高さである．一方，水などの流体は重力によって移動し，重力とバランスがとれた位置に落ちつき，こうしてできる水準面が高低を決めている．そのため，重力による影響が考慮されていない楕円体高は，人間生活における高低として用いると不都合が生じる．したがって，水準面に従い，平均海面を基準とした「標高」が高さとして用いられている（図-1）．

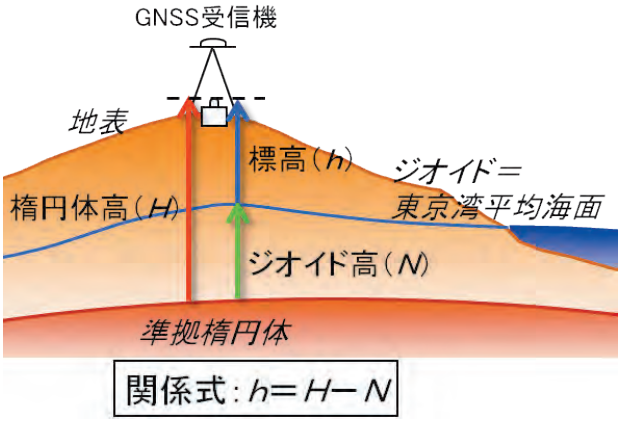


図-1　楕円体高，標高及びジオイド高の関係図

日本の標高は，東京湾平均海面を基準として定められている．それは，日本水準原点を起点として，全国の水準点に標高値を与えることで実現されている．原子となる日本水準原点の標高は，潮位観測から定めた東京湾平均海面を標高0mの基準とし，そこからの水準測量によって決定されている．

ジオイドは世界の海面の平均位置に最も近い水準面であり，陸地ではそれを延長した仮想的な面である．日本では東京湾平均海面をジオイドと定め，それを基準としている．ジオイドの位置は，準拠楕円体面からの高さ（ジオイド高）で表すことができる．地上の任意の位置におけるジオイド高をモデルとして与えることができれば，GNSS測量などによって得られた楕円体高からジオイド・モデルに基づくジオイド高を差し引くことで標高を得ることが可能となる．

国土地理院は，国内の任意の地点でジオイド高を

現所属：[1] 日本測量協会中国支部技術センター

This document is provided by JAXA.

与える，日本全国のジオイド・モデル「日本のジオイド2000」（ver.1～ver.5）を整備・公開することで，GNSS測量で得た楕円体高を標高へ変換することを可能とした．「日本のジオイド2000」は，水平位置の基準となる三角点等の設置においてGNSS測量から標高を求めることを目的に構築され，基準点測量の効率的な実施に貢献してきた．

「日本のジオイド 2000」を用いて GNSS 測量から求めた標高は，水準測量で求めた標高と比べ，最大で 50cm を超えるものなど，一部の半島部などにおいて 10 cm 程度を上回る較差が認められる（図-2）．そのため，水準測量の一部をジオイド・モデルを用いた GNSS 測量による標高の決定で代用しようと考えた場合（国土地理院，2013），必要とされる精度を達成することが全国的には難しい．

そこで，3 級水準測量を GNSS 測量で代用可能とするよう，GNSS/水準法で計測されるジオイド高との較差が標準偏差で2cm程度となることを目標として，日本測地系 2011 に準拠した高精度なジオイド・モデル「日本のジオイド 2011」の構築に着手した（兒玉ほか，2012）．ジオイド高データの整備が先んじて完了した西日本地域（図-3）について，今回，新たにモデルを構築し，それを全国モデルに組み入れた「日本のジオイド 2011+2000」（GSIGEO2011+2000）を公開した（図-4）ので報告する．

なお，今回のモデルは，西日本地域のうち，沖縄県を含む一部の島しょ部を含んでいない．島しょ部については，ジオイド・モデルを個別に構築する方法をとっており，日本全国の新たなジオイド・モデルを整備する際に，併せて公開する予定である．

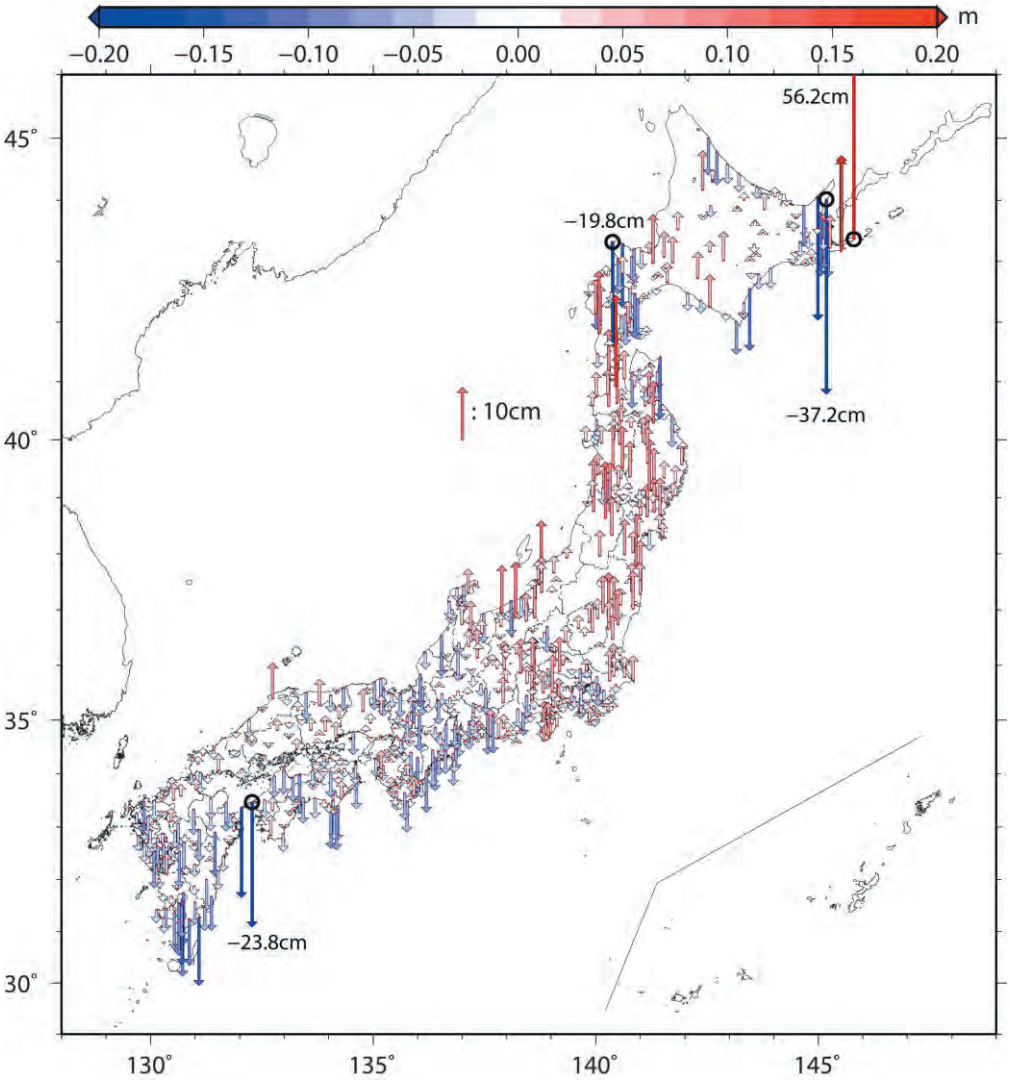


図-2　電子基準点付属標のジオイド高データと「日本のジオイド 2000」のジオイド高の差

This document is provided by JAXA.

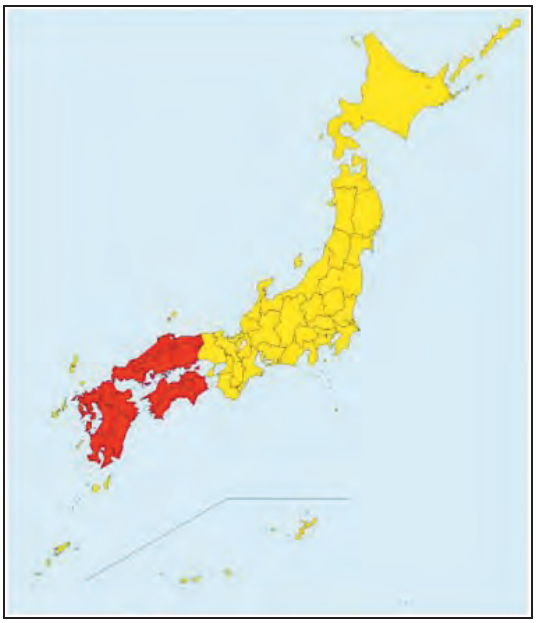


図-3　「日本のジオイド 2011」適用地域（赤色部）

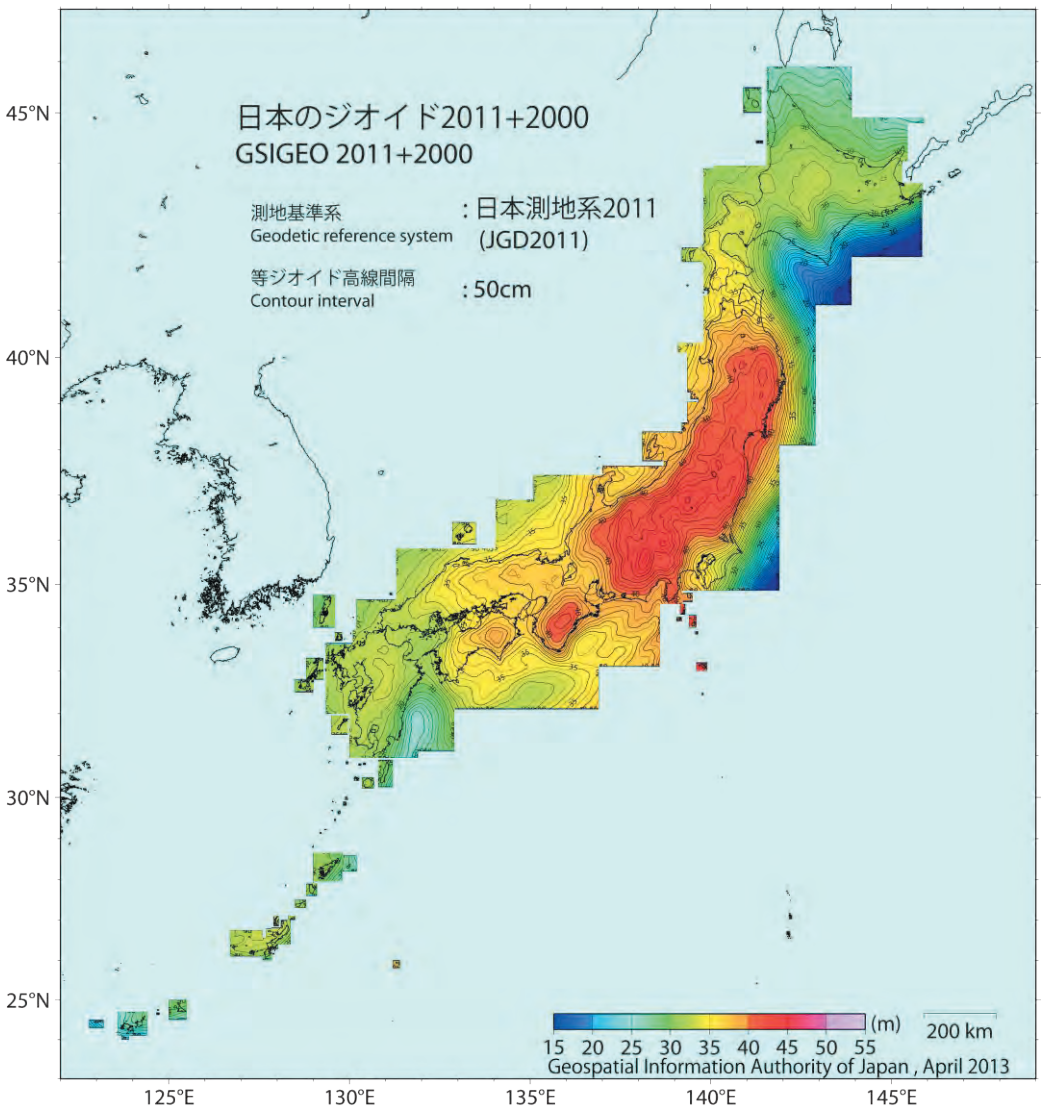


図-4　日本のジオイド 2011+2000

This document is provided by JAXA.

2. 「日本のジオイド 2000」とその誤差

2.1 「日本のジオイド 2000」の構築

「日本のジオイド2000」は，日本とその周辺の陸・海域において稠密に得られた重力データから構築された重力ジオイド・モデル（JGEOID2000）を基盤に，全国の水準点816点においてGNSS/水準法で取得されたジオイド高データ（以下，ジオイド・モデルの構築に使用するジオイド高のデータセットを「ジオイド高データ」という.）を用いて構築された（Kuroishi et al.，2002）.

構築手法の概要は以下のとおりである. はじめに，全国のジオイド高データと JGEOID2000 の較差（以下，「ジオイド較差」という.）を求める．次に，得られたジオイド較差から求められた経験的共分散に基づいて共分散関数を推定し，その共分散関数を用いた LSC 法により，正規格子におけるジオイド較差のモデルを推定する．このモデルは JGEOID2000 に含まれる誤差の中・長波長成分をよく表すジオイド補正モデルとなる．最後に，短波長成分をよく再現する重力ジオイド・モデルにジオイド補正モデルを適用して，日本のジオイド・モデル「日本のジオイド 2000」を構築する（図-5）（国土地理院，2003）.

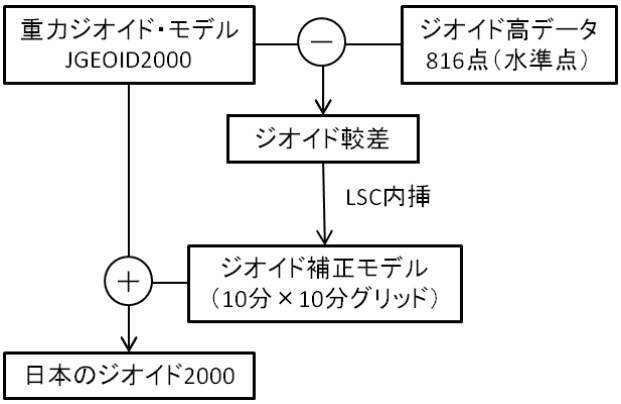


図-5 「日本のジオイド 2000」の構築の流れ

2.2 「日本のジオイド 2000」の誤差

国土地理院では，GNSS/水準法によるジオイド高を高精度で取得するため，電子基準点を用いたジオイド測量を全国的に行っている. その結果を用いて，日本のジオイド2000の精度を調べた.

平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震の発生に伴い生じた地殻変動により，東北地方から関東地方にかけて広い地域で基準点の位置が変化した．ここでは，この地震発生以前において，全国のジオイド測量により取得された電子基準点638点におけるジオイド高データをモデルの精度評価に用いることとする. これら638点におけるジオイド高を比較すると，全国では標準偏差で4cm程度，局所的には最大で50cmを超える較差が認められることが分かる（図-2）．この差は，主に「日本のジオイド2000」が持つ誤差に起因しており，その要因として，下記の①～⑥が指摘されている（森下，2011）.

①JGEOID2000 構築において重力データの不足により生じた系統誤差（Kuroishi et al., 2005, Kuroishi, 2009）.

②「日本のジオイド 2000」構築に使用した水準点におけるジオイド高データが水準路線に限定されるため，全国一様に分布しておらず、ジオイド較差のデータ分布が空間的に不均質なために生じる誤差.

③「日本のジオイド 2000」構築に使用したジオイド高データの取得（平成 15 年以前に行われたもの）では GNSS 測量の観測時間が現在（6 時間以上）よりも短く（3 時間以上），GNSS 測量の楕円体高測位精度が劣るために含まれる誤差（安藤, 2000）.

④GNSS 測量の解析におけるアンテナ位相特性モデルについて，電子基準点の架台タイプ毎に較正されたモデルではなく，NOAA の標準モデルが用いられたことで生じる系統誤差（湯通堂ほか, 2005）.

⑤「日本のジオイド 2000」構築に使用したジオイド高データにおいて, 平成 16 年 7 月に実施された電子基準点の標高成果改定が反映されていないことによる，電子基準点の楕円体高誤差に起因するジオイド高データの誤差（野村ほか，2007）.

⑥ジオイド高データの近接点間のばらつきが大きい箇所に生じる LSC 法による推定誤差.

3. 西日本地域における「日本のジオイド 2011」の構築

国土地理院は，「日本のジオイド 2000」を公開以降，ジオイド・モデルの精度評価とさらなるモデル高精度化を目的として，全国のジオイド測量を実施してきた．西日本地域では，点間距離がおおむね 50km という条件を満たす空間密度でジオイド高データの取得が終了したため，ジオイド・モデル「日本のジオイド 2011」の構築に取り組むことにした. その際，2 章で述べた「日本のジオイド 2000」の誤差要因を軽減すべく，ジオイド高データの整備や構築手法に検討を加えた.

3.1 誤差の軽減戦略

目標精度を達成するモデル構築を実現するため，2.2 で述べた誤差要因の個々の影響を除去・軽減する以下の対応を行った.

はじめに，①について，基盤とする全国の重力ジオイド・モデルとして，最新の JGEOID2008 を使用した．「日本のジオイド 2000」の基盤である JGEOID2000 には北海道東部，東北地方北東部，瀬戸内海西部において 50cm を超える大きな系統誤差

This document is provided by JAXA.

が含まれていたが，重力データの追加や解析手法の改良などが行われた JGEOID2008 では，これらの誤差が大いに軽減されている（Kuroishi et al., 2005；Kuroishi, 2009）． JGEOID2008 と JGEOID2000 の差を表す図-6 では，白破線内に大きな差が見られる．これらは，JGEOID2000 において認められる系統誤差が大きな地区に対応しており，JGEOID2008 において系統誤差が大きく軽減されていることを示している．

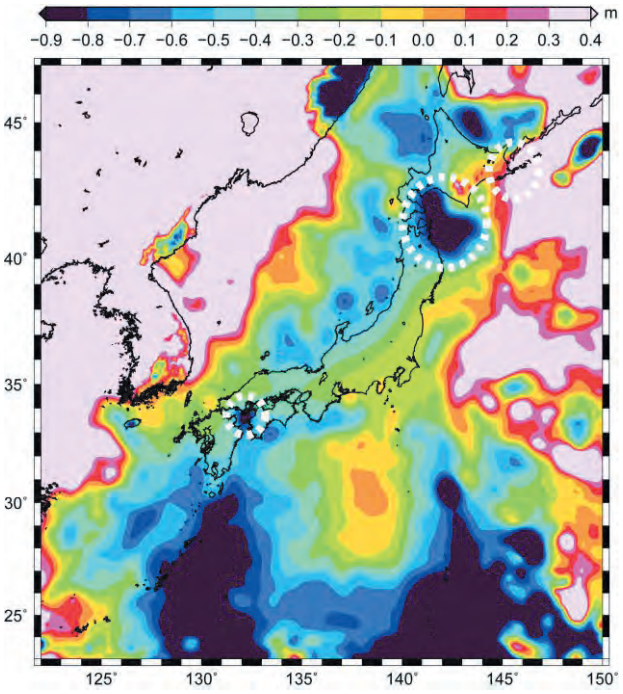


図-6　JGEOID2008 と JGEOID2000 の差

次に，②について，「日本のジオイド 2000」で使用したジオイド高データを使用をせず、品質が改善された新たなジオイド高データを用いることとした．すなわち，全国に亘り比較的均一に設置されている電子基準点付属標におけるジオイド高データと，験潮場に附置された GNSS 連続観測局（P 点）におけるジオイド高データ及び精度評価と高精度化を目的に取得されてきた半島部等の水準点及び水準測量固定点（以下，水準点等）におけるジオイド高データ（森下ほか，2013）である．

また，③～⑤について，電子基準点の標高成果改定後に実施された，6 時間以上の GNSS 測量による観測データを用いた．基線解析においては，国土地理院により電子基準点の架台毎に検定されたアンテナ位相特性モデルを使用することで，高精度な楕円体高を算出した．

最後に，⑥について，森下（2011）が改良した計算手法を用いた（図-7）．そこでは，ジオイド較差に含まれる長波長の系統誤差を傾斜平面として予め推定・除去し，LSC 法において，より短波長のジオイド較差残差をモデル化した後に，除去された傾斜平面を復元してジオイド補正モデルを作成する．これは，LSC 法において用いる共分散関数が等方性を仮定しているため，入力データにおいて系統誤差を取り除くことでより品質の高い補正モデルを得ることを目的として追加した処理である．

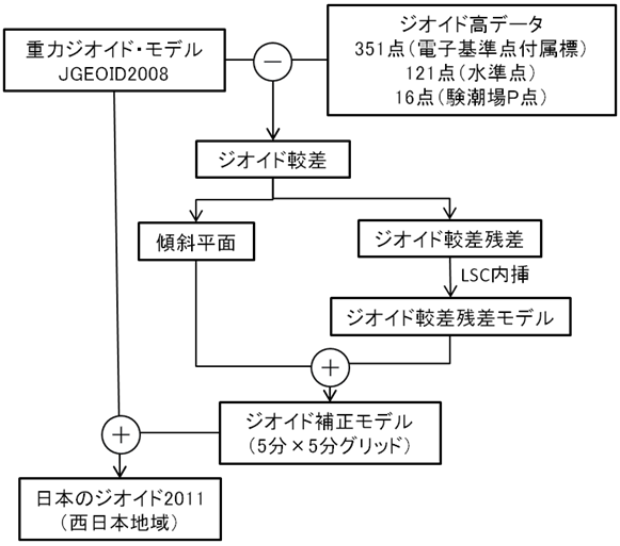


図-7　「日本のジオイド 2011」の構築処理の流れ

3.2 使用するジオイド高データ

ジオイド高データは，各観測点において，GNSS 測量による楕円体高から水準測量による標高を差し引くことで得られる．構築されるべきジオイド・モデルは，GNSS 測量から換算される標高が現在の水準点の標高成果と整合しなければならない．そのため，楕円体高及び標高としては，現在の測量成果に基づく値を用いた．

新しいジオイド・モデルの構築に使用するジオイド高データは，電子基準点付属標，水準点等及び験潮場附設 GNSS 連続観測局（P 点）で得られたジオイド高データからなる．入力データの分布を図-8 に示す．LSC 法による較差補正モデル作成の際に縁辺効果が生じることを防ぐため，入力データの範囲は，モデル構築の対象地域（図-3）よりも広くした．

1) 電子基準点付属標のジオイド高データ

電子基準点付属標におけるジオイド高データとして，測地成果 2000 から測地成果 2011 への改定において，成果値に変更のない地域（京都・滋賀・愛知・静岡以西で四国・九州地方までの地域．ただし，一部島しょ部を除く）に分布する，351 点を選んだ（図-8）．これらの点におけるジオイド高は，次式により求められる．

This document is provided by JAXA.

付属標ジオイド高
= 楕円体高（付属標） - 標高（付属標）
= 楕円体高成果（本点） -（本点～付属標の比高）
- 標高（付属標）

ここで，本点とは電子基準点のアンテナ底面を指す．電子基準点の楕円体高成果は測量成果として公表されている既知の値，付属標の標高は最寄りの水準点から水準測量により求められた値である．本点～付属標の比高は，電子基準点に設置されたアンテナの底面から電子基準点付属標の間の比高を意味する．電子基準点と付属標は，同じ基礎上に設置されているため，その位置関係は構造上変化しない．

本点～付属標の比高は，電子基準点付属標に設置された GNSS 観測（6 時間以上），または，レドーム・ネジ～本点のレドーム内比高に対してトータルステーション（TS）による付属標～レドーム・ネジの高低差観測を足し合わせる方法のいずれかにより求められる（図-9）．

両者の観測が行われている場合，基本的にはその平均値を採用する．両観測が行われた点は 189 点であり，その内の 1 点についてはレドーム内比高が設計値しか情報がないため，GNSS 観測による比高を採用した．残りの 188 点について、二つの比高観測値を比べると，較差は，最大 2cm、標準偏差は 0.7cm であり，両観測の間で精度上有意な差は認められず，両手法において精度的に優劣はない．また，TS による高低差とレドーム内比高において複数回の観測が行われている点については、原則、それらの平均値を採用した．さらに，一部の点（9 点）においては，ジオイド高データの取得後，移転により現在廃点とされているが，それらにおいてジオイド高が変化しているとは考えにくいため，データとして使用した．

2) 水準点等のジオイド高データ

「日本のジオイド 2000」の構築後，平成 13 年度から平成 18 年度までのジオイド測量では，電子基準点付属標に加え，水準点等でも GNSS 観測が行われた．それらの測量のうち，平成 15 年以降については，アンテナ位置の調整などが加えられ，電子基準点のアンテナと架台の組み合わせに対応して較正されたアンテナ位相特性モデルが適用可能である．その条件には水準点等のジオイド高データ 74 点が合致している．これらのデータは，重力データの空間的密度の不足，海上重力データの精度の不確かさの影響により，「日本のジオイド 2000」の精度に懸念のある地域を中心に取得しているため，その分布には偏りがある．また，平成 24 年度に，西日本地域におけるジオイド・モデルの高精度化を目的として，水準点 47 点において GNSS 観測によるジオイド測量が行われた．これら水準点等のジオイド高データとして，121 点を使用した（図-8）．

ジオイド高データに必要な楕円体高は，GNSS 観測について周囲の電子基準点を固定する網平均計算を行い，セミ・ダイナミック補正を適用することで測地成果 2011 に適合する成果を算出した．

3) 験潮場（P 点）のジオイド高データ

日本沿岸には，国土地理院，気象庁等が運用する験潮場（気象庁管轄のものは「検潮所」という．）が数多く分布している．そのうち，国土地理院及び気象庁の験潮場 45 点について，国土地理院が GNSS 連続観測点（P 点）を併設し，GNSS 連続観測を行っている．これらの点には，近傍の水準点から付属金属標へ水準測量が行われ，また，付属金属標とアンテナ架台上面との比高測定も実施されており，標高値が与えられている．

P 点について，電子基準点成果の計算手法にならい，周囲の電子基準点成果と整合した楕円体高を算出した（森下ほか，2013）．今回，験潮場 16 点のジオイド高データを使用した．

This document is provided by JAXA.

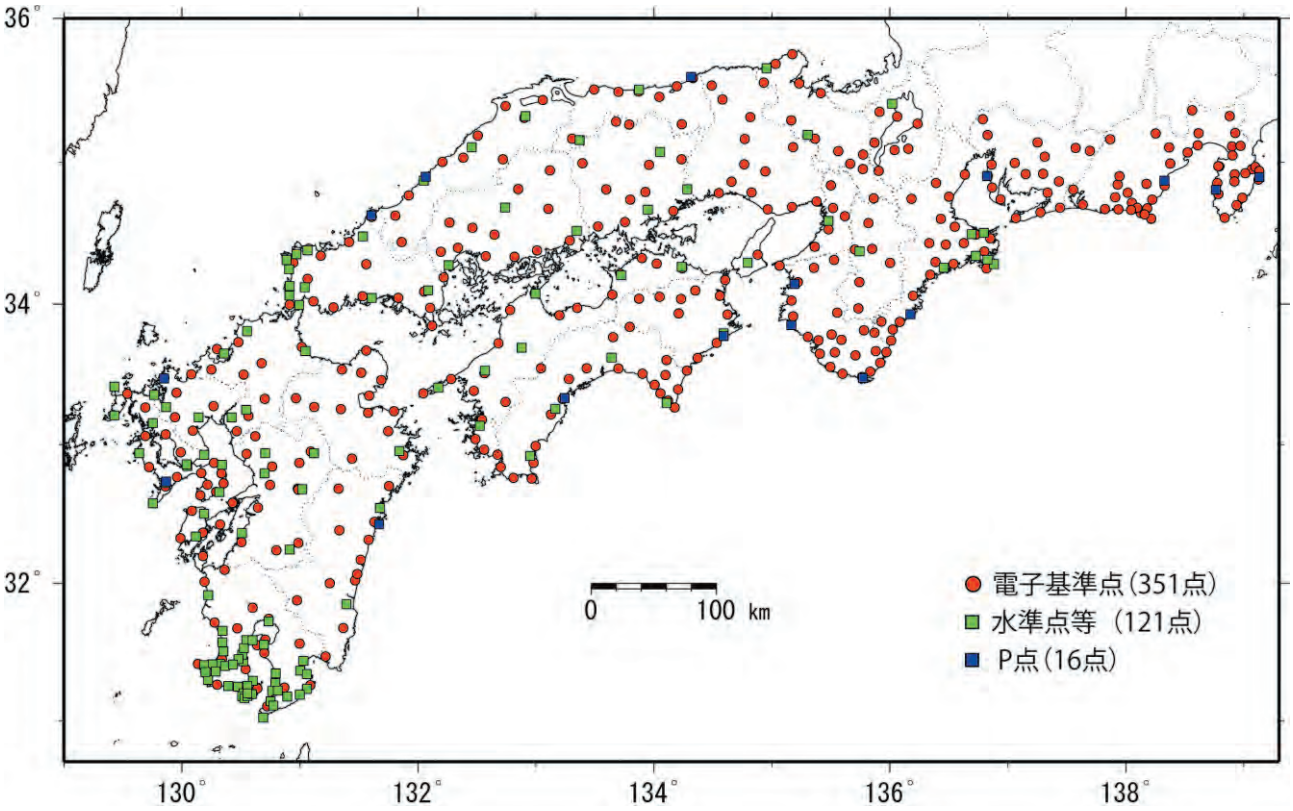


図-8　日本のジオイド 2011（西日本地域）に使用したジオイド高データの配点図

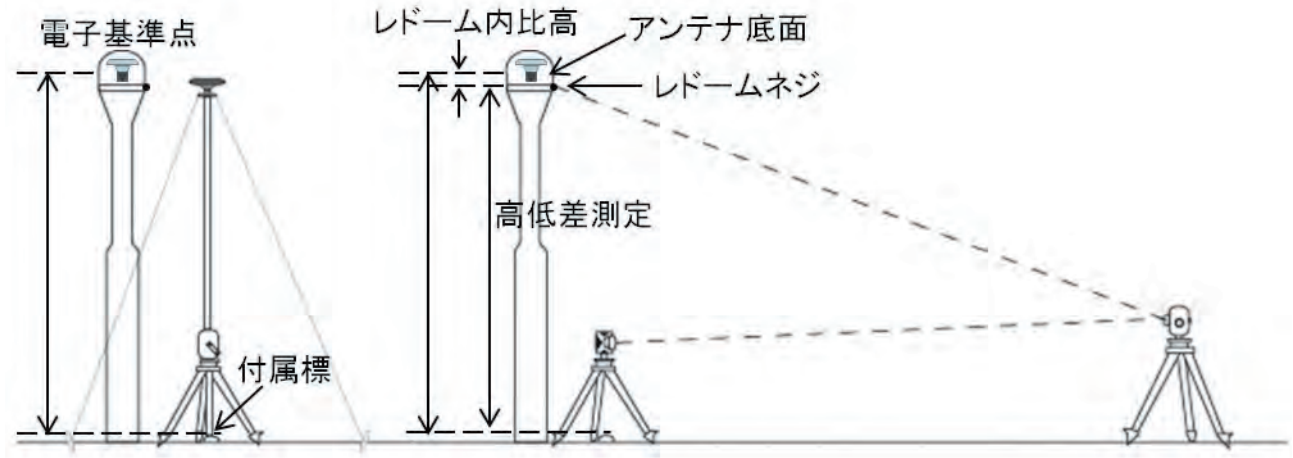


図-9　（左）GPS 観測（右）TS 観測の模式図

3.3 水準点等及び P 点のジオイド高データの精度評価とデータ追加がモデルの精度に及ぼす効果

水準点等におけるジオイド高データは，モデルを高精度化するための追加データとして用いるだけでなく，モデルの精度評価を行うための外部データとして用いることも目的として取得した．また，P 点は験潮場に設置されているため，沿岸部に位置しており，そのジオイド高データは，内挿計算を行うモデルの性質上，モデル縁辺部のデータとして重要であると同時に，外挿部のモデル評価を行うための外部データとしても有益である．

そこで，水準点等及び P 点のジオイド高データを用いてモデルの評価を行うため，これらのデータを用いず，電子基準点付属標のジオイド高データ 351 点のみを与点として「日本のジオイド 2011（仮）」を図-8 の範囲について作成した．そして，水準点等及び P 点におけるジオイド高データと「日本のジオイド 2011（仮）」の較差を計算した（図-10）．その結果，較差は平均 0.4cm，標準偏差は 2.6cm，正の最大較差は 7.4cm で，負の最大較差は-6.1cm であった．

次に，電子基準点付属標のジオイド高データを水準点等及び P 点のデータと同様に外部データとして

This document is provided by JAXA.

の評価とするため，「日本のジオイド 2011（仮）」の交差検定（LOOCV）を行った（森下，2011）．この手法は，構築に使用した観測点のうち任意の 1 点のジオイド高データを除くデータセットでジオイド・モデルを構築し，その 1 点のデータを用いてモデルと比較するものであり，全点を除去する点として個別に扱い，評価を行った．得られた較差は，平均 0.1cm, 標準偏差が 2.7cm, 正の最大較差は 9.2cm で，負の最大較差は-7.4cm であった．水準点等及び P 点のジオイド高データと「日本のジオイド 2011（仮）」の較差は，ここで行った交差検定（LOOCV）の結果と遜色がなく，水準点等及び P 点のジオイド高データは，電子基準点付属標のデータと同程度にモデルと整合していると評価できる．

図-10 を見ると，京都府及び熊本県の内陸部の観測点以外では, 沿岸部について比較的較差が大きく，特に，鹿児島県南部では，40 点程度のジオイド高データを取得しており，薩摩半島南端で較差の大きい点が見られる．これは，沿岸部のモデルが外挿計算で構築されており，データが不在であることに起因している．したがって，これらの水準点等及び P 点のジオイド高データをモデル構築に用いることで，沿岸部のデータ不在域にデータが追加され，沿岸部でモデルが高精度化される. また, 三重県志摩半島，山口県西部，佐賀県周辺では，較差が小さく，「日本のジオイド 2011（仮）」がジオイド高データをよく説明している．

以上から，水準点等及び P 点におけるジオイド高データは，データの空間的な分布に偏りはあるが，電子基準点付属標のジオイド高データとほぼ同程度の精度を持ち，沿岸部におけるモデル構築において有意なデータであるため，「日本のジオイド 2011」の構築に使用した．

図-11 は, 図-8 の範囲について電子基準点付属標，水準点等及び P 点のジオイド高データを用いて構築した「日本のジオイド 2011」と，モデル構築に用いた水準点等及び P 点のジオイド高データとの較差を示す．較差は，平均 0.1cm，標準偏差 2.1cm，正の最大較差 5.9cm，負の最大較差-4.7cm であり，図-10 に示した「日本のジオイド 2011（仮）」の較差と比較すると，標準偏差で 0.5cm，最大較差で 1.5cm の改善が見られる．また，沿岸部における較差も大部分の点で減少している．

ジオイド・モデルの改定地域（図-3）における水準点等及び P 点のジオイド高データ追加の面的影響を確認するため，図-12 に「日本のジオイド 2011」と「日本のジオイド 2011（仮）」のジオイド高差を示す．中国地方の日本海側，徳島県西部，福岡県西部，宮城県西部，宮城県と鹿児島県に挟まれた志布志湾周辺の沿岸部と，四国山地西部，九州中央部で差が大きく，最大 2cm の差が見られる．これらの地域では，ジオイド高データとモデルとの較差が小さくなっており，水準点等及び P 点のジオイド高データをモデル構築に取り込んだことで達成された精度の向上を示している．

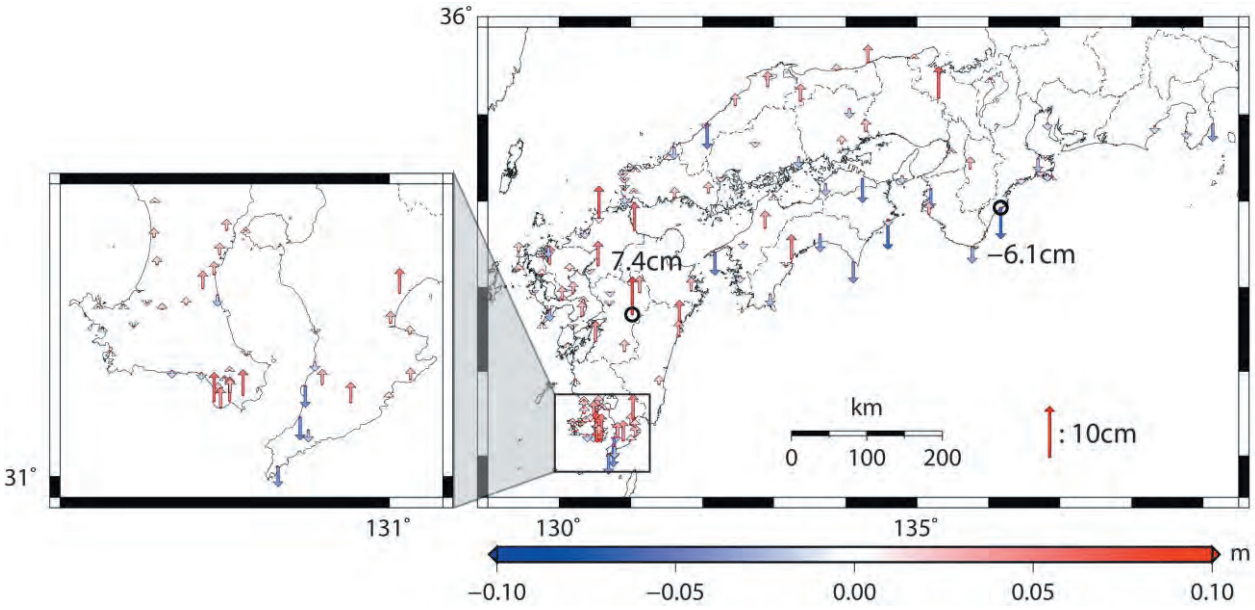


図-10　水準点等及び P 点におけるジオイド高データと日本のジオイド 2011（仮）のジオイド高の較差

This document is provided by JAXA.

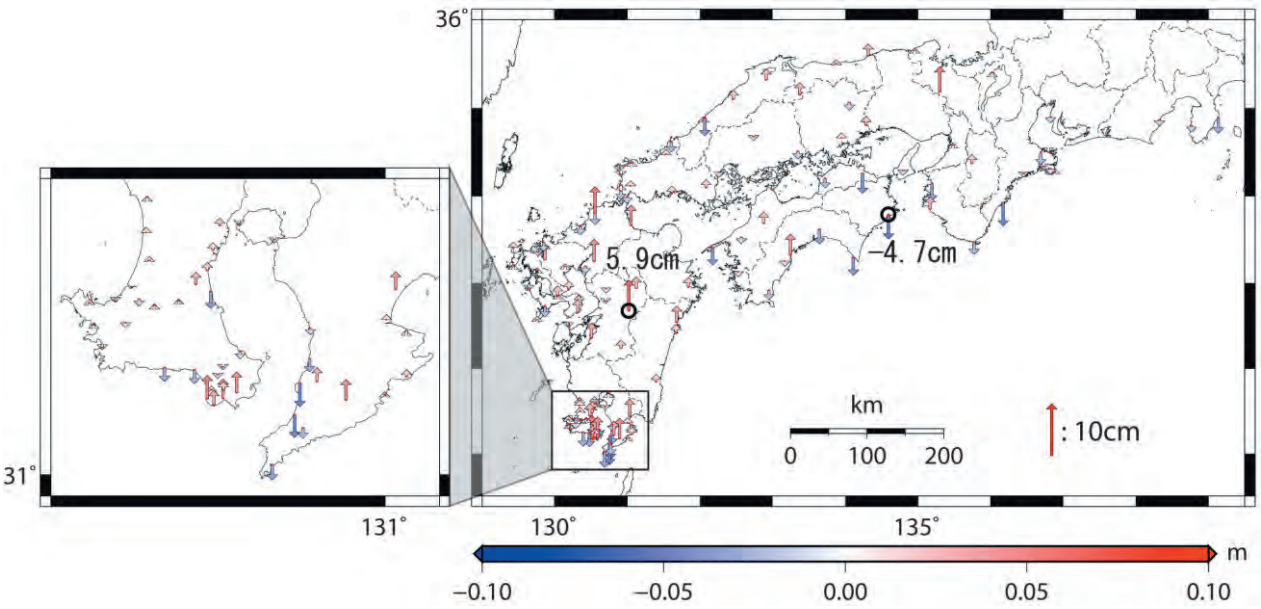


図-11　水準点等及びＰ点におけるジオイド高データと日本のジオイド 2011 のジオイド高の較差

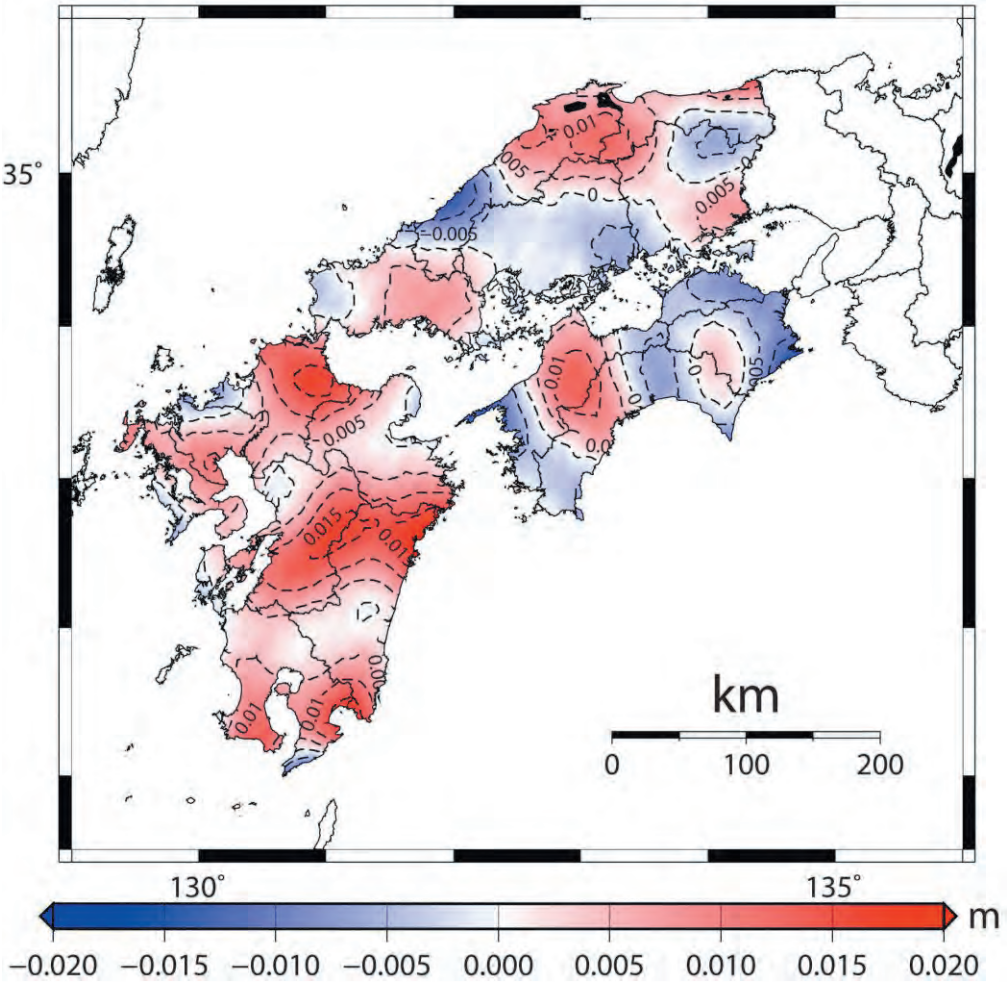


図-12　「日本のジオイド 2011」と「日本のジオイド 2011（仮）」のジオイド高差

This document is provided by JAXA.

4. 西日本地域における「日本のジオイド 2011」の精度評価

構築したジオイド・モデルについて，内部評価として，モデル構築に使用したジオイド高データと構築したモデルとの整合性を調べた．較差の平均は0.0cm，標準偏差は 2.0cm，正の最大較差は 6.0cm，負の最大較差は-6.2cm であった（表-1）．ここで，表-1 に示す精度評価は，図-8 で示したモデル構築に使用したジオイド高データ全点を対象に行っており，次段落以降説明する交差検定も同様である．

独立なデータによる評価として，ジオイド高データをできるだけ均質な二つのデータ群に分け，一方を日本のジオイド2011の構築と同じ手順によるモデル構築に使用し，他方を独立な評価用データとして用いた2分割交差検定を行った．データ群の分割は，ジオイド高データを経度1度ごとに緯度昇順に並べ替え，順序の偶数、奇数により分ける方法をとった．ジオイド高較差は，平均値が共に0.0cm，標準偏差はそれぞれ2.2cmと2.3cmとなった（表-1）．この場合，モデル構築に使用するデータが半減し，データの空間密度が減少するため，最終的なジオイド・モデルに比べ，ジオイド起伏に存在する短波長成分が十分表現できず，品質が幾分劣る可能性がある．

さらに，3.3 で行った LOOCV による評価を，全点に対して行った．得られた較差は，平均 0.0cm，標準偏差が 2.6cm であった（表-1）．

2 分割交差検定及び LOOCV の結果は，全ての入力ジオイド高データに対して行った内部評価の結果と調和的であり，構築したジオイド・モデルとジオイド高データとの較差が標準偏差で2cm程度であることから，2cm 程度で成果に基づくジオイド高計測値と整合している．「日本のジオイド 2000」と比較すると，標準偏差は 4.0cm から 2.0cm と半減しており，正の最大較差は 4 分の 1，負の最大較差は 6 分の 1 程度まで小さくなっている．以上より，西日本地域の「日本のジオイド 2011」は，従来のモデルと比べ，精度が大きく改善され，GNSS 測量による標高の決定において，モデルに起因する誤差が 2cm という目標精度を満たしたジオイド・モデルと言える（表-1）．

ここまでの精度評価を経て作成された西日本地域の「日本のジオイド 2011」のうち，図-3 で示す中国・四国・九州の範囲を抽出し，その他の「日本のジオイド 2000」と結合したモデルが「日本のジオイド 2011+2000」である．次段落以降は，モデルが改定された地域について，その変化について言及する．

ジオイド・モデルの改定地域（図-3）における「日本のジオイド 2011」構築に使用したジオイド高データを基準とした「日本のジオイド 2000」との較差を図-13 左図に，「日本のジオイド 2011」との較差を図-13 右図に示す．「日本のジオイド 2000」に比べ，「日本のジオイド 2011」では全体的に較差が小さくなっており，特に，愛媛県西部の佐田岬や山口県南東部の上関町付近，鹿児島大隅半島などで大幅な較差の低減が見られ，「日本のジオイド 2011」の方が基準点成果により整合していることが分かる．

図-14 は，「日本のジオイド 2011+2000」と「日本のジオイド 2000」の差，つまり，「日本のジオイド 2011」によるジオイド高の改変量を表している．図-13 で較差が減少した地域で改変量が大きいことがわかる．

佐田岬や上関町付近の改変量が大きい地区は，図-6 の白破線部と合致しており，JGEOID2008 の精度改善に起因することがわかる．また，鹿児島県大隅半島は，今回のモデル構築にあたり水準点等のジオイド高データを密に取得した地域（図-8）で，データ追加による精度向上を示している．

表-1 各ジオイド・モデルとジオイド高データとの較差

対象モデル	日本のジオイド 2011（西日本）				日本のジオイド 2000		
評価手法	内部評価	2 分割交差検定		LOOCV	内部評価	2 分割交差検定	
モデル構築データ	全部	A	B	全部-1	全部	B	A
比較データ	全部	B	A	1	全部	A	B
比較点数	488	244	244	488	816	406	403
平均(cm)	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.3	-0.8	0.0
標準偏差(cm)	2.0	2.2	2.3	2.6	4.0	5.4	4.5
正の最大(cm)	6.0	7.5	7.6	8.9	23.8	32.5	17.2
負の最大(cm)	-6.2	-7.8	-7.0	-7.5	-35.8	-47.5	-16.4

This document is provided by JAXA.

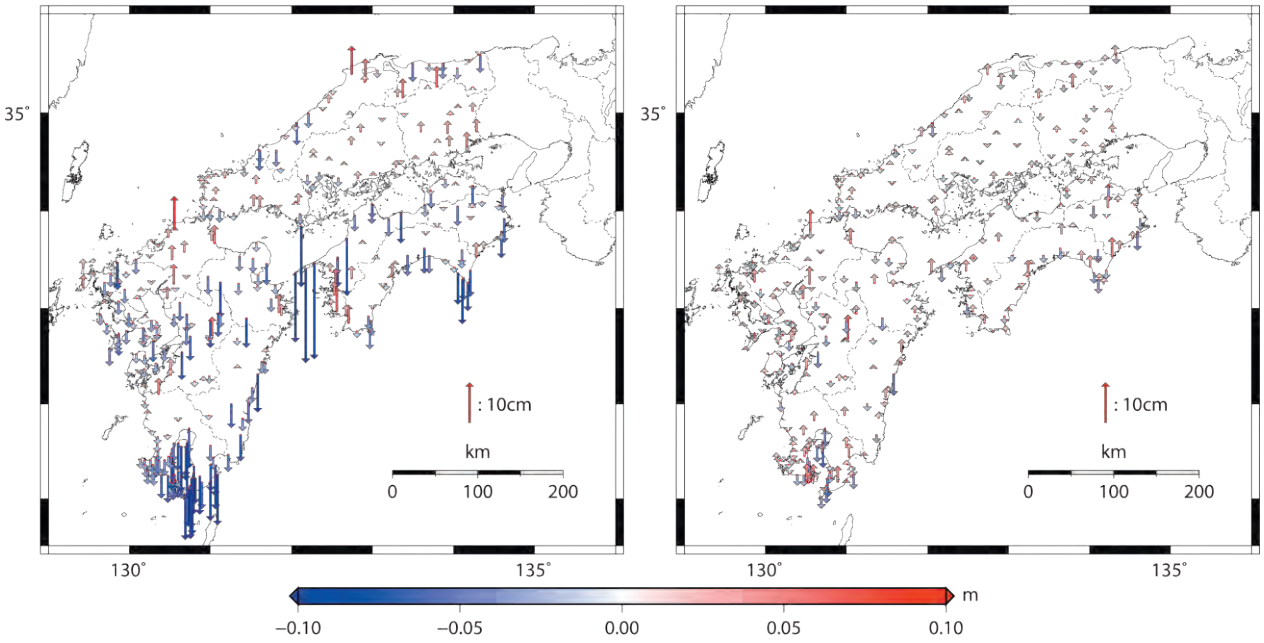


図-13　中国・四国・九州地方における「日本のジオイド 2011」構築に使用したジオイド高データと各ジオイド・モデルのジオイド高との差（左：「日本のジオイド 2000」との差，右：「日本のジオイド 2011」との差）

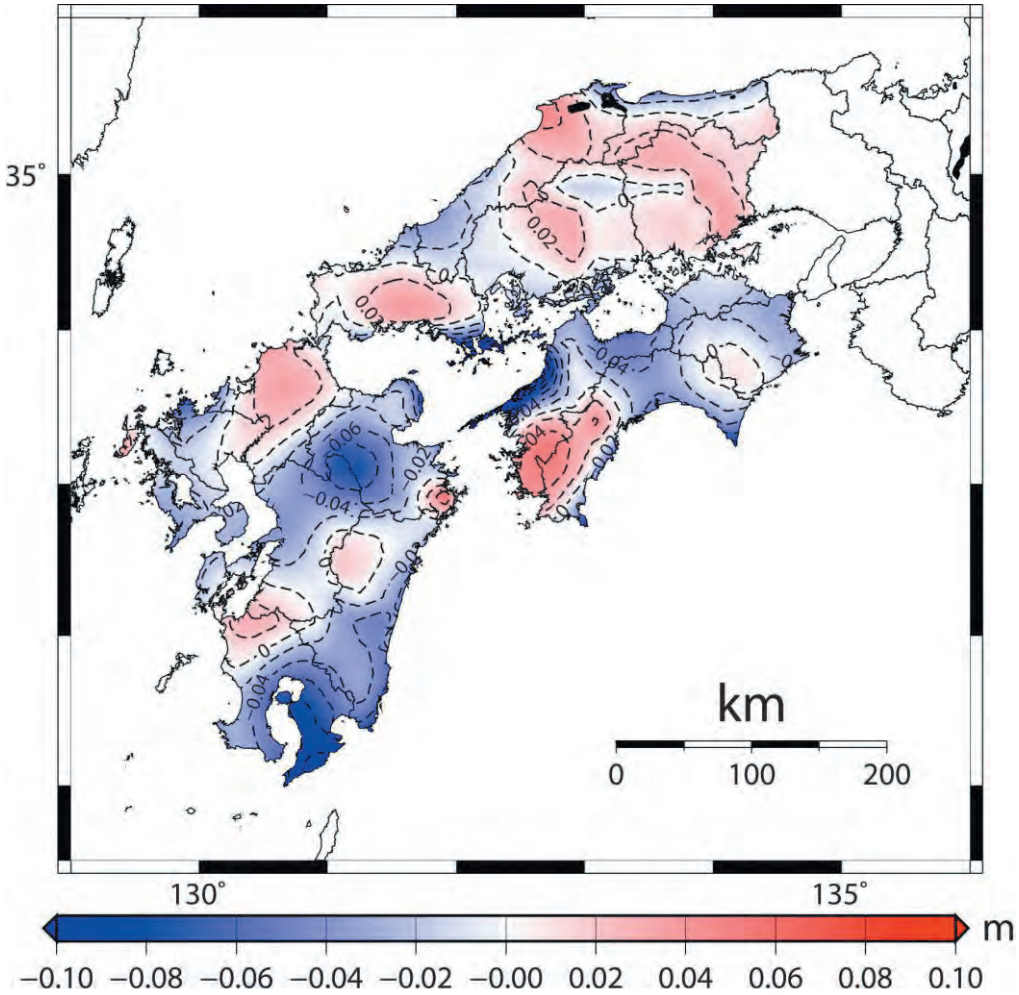


図-14　「日本のジオイド 2011+2000」と「日本のジオイド 2000」のジオイド高の差

This document is provided by JAXA.

5. まとめ

西日本地域を対象として新たなジオイド・モデル「日本のジオイド 2011」を構築した．ジオイド高データを用いた精度評価により，従来のモデル「日本のジオイド 2000」と比べ，標準偏差が 2cm 程度と半減し，モデルの精度が大幅に向上した．

得られたモデルをこれまでの全国のモデルに組み入れ，「日本のジオイド 2011+2000」として平成 25 年 4 月に公開した．このモデルを用いることにより，西日本地域では，これまで 3 級水準測量により標高を決定していた作業について，GNSS 測量による標高の決定が可能となり，測量作業が効率化されることが期待される．

今後，日本全国において GNSS 測量による 3 級水準測量相当の標高決定が可能となるよう，島しょ部を含む全国の他の地域についても，新たなジオイド・モデル「日本のジオイド 2011」の構築を進めていく予定である．

なお,国土地理院が提供するジオイド・モデルは,測量法第 27 条第 2 項及び地理空間情報活用推進基本法第 18 条第 2 項に基づき,以下のホームページより無償でダウンロード可能である．

http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/geoid/

（公開日：平成 25 年 10 月 4 日）

参 考 文 献

安藤久（2000）：電子基準点標高取り付け作業における GPS 観測について，平成 12 年度測地部技術報告書.

後藤清，林保，飯村友三郎，越智久巳一，日下正明，岩田和美，井上武久，宮本純一，佐藤雄大，河和宏（2013）：測量の効率化・低コスト化を実現－スマート・サーベイ・プロジェクトの取り組み－，国土地理院時報，124 集，65-71.

檜山洋平，山際敦史，川原敏雄，岩田昭雄，福﨑順洋，東海林靖，佐藤雄大，湯通堂 亨，佐々木利行，重松宏実，山尾裕美，犬飼孝明，大滝三夫，小門研亮，栗原 忍，木村勲，堤 隆司，矢萩智裕，古屋有希子，影山勇雄，川元智司，山口和典，辻 宏道，松村正一（2011）：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震に伴う基準点測量成果の改定，国土地理院時報，122 集，55-78.

国土地理院（2003）：測地成果 2000 構築概要，国土地理院技術資料 B5 No.20，127-163.

国土地理院（2013）：GNSS 測量による標高の測量マニュアル（案）.

兒玉篤郎，森下遊（2012）：高精度ジオイド・モデルがもたらす新たな GNSS 測量の可能性 -GNSS 測量による標高決定-，国土交通省国土技術研究会，http://www.mlit.go.jp/chosahokoku/h24giken/ (accessed 24 Sep. 2013).

Kuroishi, Y. (2009): Improved geoid model determination for Japan from GRACE and a regional gravity field model, Earth Planets Space, 61, 807-813.

Kuroishi, Y, H Ando, Y Fukuda (2002): A new hybrid geoid model for Japan, GSIGEO2000. Journal of Geodesy 76, 428-436

Kuroishi, Y., W Keller (2005): Wavelet approach to improvement of gravity field – geoid modeling for Japan, Journal of Geophys. Res., 110, B03402, doi:10.1029/2004JB003371.

森下遊（2011）：ジオイド測量（電子基準点取付観測）の効果的な作業方法について（その 2），国土地理院測地部技術報告書.

森下遊，兒玉篤郎（2013）：P 点データのジオイド・モデルへの取り込みについて，国土地理院測地部技術報告書.

野村勝弘，渡辺政幸，岡村盛司，森田和幸，福﨑順洋 （2007）：GEONET 成果改定と日本のジオイド 2000 について，国土地理院時報，112 集，17-27.

湯通堂亨，岩田昭雄，雨貝知美，小島秀基，矢萩智裕，宮原伐折羅，畑中雄樹（2005）：電子基準点の高さについて，国土地理院時報，106 集，21-30.

This document is provided by JAXA.

「電子国土基本図のあり方検討会」報告 -「利用者に価値ある使いやすい電子国土基本図を目指した提言」とりまとめ -

Report of Advisory Committee on Digital Japan Basic Maps -To provide valuable and user-friendly Digital Japan Basic Maps-

基本図情報部　下山泰志・中島最郎
National Mapping Department
Yasushi SHIMOYAMA and Sairo NAKAJIMA

要　旨

国土地理院は，今後の国土の基本的な情報のあり方を検討するため，平成24年2月に学識経験者等からなる「電子国土基本図のあり方検討会」（以下，「検討会」という．）を設置した．検討会では6回の会議を経て，平成25年7月30日に「利用者に価値ある使いやすい電子国土基本図を目指した提言」が取りまとめられた．この提言では，電子国土基本図が利用者にとって価値ある使いやすいものとなるよう，電子国土基本図のデータの取得，表現，提供，活用の観点から今後の方策が示されており，これを受けて刊行された「数値地図（国土基本情報）」や「電子地形図25000」の内容は，この提言を踏まえたものとなっている．本稿では検討会における取り組みについて，この提言を中心として報告する．

1. はじめに

電子国土基本図は，平成 21 年に定められた第 7 次の基本測量に関する長期計画（以下，「長期計画」という．）に基づき整備することとされたデジタル形式の新たな地図である．

長期計画を定めるに当たり，新たな地図情報の体系を検討するため，平成 20 年に国土地理院の外部の有識者からなる「国土地形基盤検討委員会」が設置された．委員会においては，新図式案の検討，電子国土等の表現について，専門的な観点から討議がなされ，その議論を踏まえ，長期計画においてデジタル時代に対応した新たな国土の基本情報としての地図情報の整備の方向性や，電子国土基本図という名称が定められた．

その後，平成 21 年 12 月より電子国土 Web 上で試験公開がなされ，その間並行して整備も進められ，平成 24 年 7 月には，電子国土基本図の位置情報である数値地図（国土基本情報）（ベクトルデータ）と，電子地形図 25000（画像データ）が提供されることとなった．（画像データは紙地図とは異なり標準以外の縮尺の出力も容易なことから 2 万 5 千分 1 地形図に相当する情報レベルを表示するものとして「25000」を使用している．）

平成 24 年 2 月に，電子国土基本図がさらに利用者に価値のある使いやすいものとなるよう，改善すべき事項を提言するため，本検討会が設置された．検討会では，平成 24 年 7 月に当面の方向性を提示した中間提言をとりまとめ，その内容に基づき，新たに電子地形図や数値地図（国土基本情報）が提供されている．

またその後，標準的な表現を示すための地形図（印刷図）の色表現について検討を行うとともに，20 万分の 1 等，2 万 5 千分の 1 よりも小さな縮尺で我が国の基本図たる電子国土基本図として位置づけるべき地図・データについても，検討を行ってきた．

提言は，検討会の議論を踏まえ，電子および印刷図としての標準的な仕様や，小縮尺データ・地図としての仕様を含め，電子国土基本図のあり方について検討した内容を提言としてとりまとめたものである．

1.1 検討会委員（平成 25 年 7 月現在，五十音順）

（委員長）
森田 喬　法政大学デザイン工学部都市環境デザイン工学科 教授

（委 員）
有川 正俊　東京大学空間情報科学研究センター 教授
池内 幸司　国土交通省水管理・国土保全局 河川計画課長
今尾 恵介　著述業
太田 弘　慶應義塾普通部 教諭
大場 亨　市川市経済部商工振興課 主幹
重高 浩一　国土技術政策総合研究所 高度情報化研究センター 情報基盤研究室長
鈴木 厚志　立正大学地球環境科学部 地理学科 教授
鈴木 雄一　防衛省陸上幕僚監部 運用支援・情報部 情報課 基盤情報班長
関矢 博己　神奈川県県土整備局道路部 道路管理課長（第4回～）（安田 泰二 神奈川県県土整備局道路部 参事（～第3回））
田代 博　筑波大学附属高校 教諭
古田 明　海上保安庁海洋情報部 技術・国際課 主

This document is provided by JAXA.

任技術・国際官（第3回～）（鮫島 真吾 海上保安庁海洋情報部 技術・国際課 主任技術・国際官（～第2回））
三浦 真紀　国土交通省道路局 国道・防災課長
（オブザーバー）
稲垣 秀夫　（一社）地図調製技術協会 業務執行理事
福島 康博　（一財）日本建設情報総合センター（JACIC）経営企画部 参事（第6回）（海津 優（一財）日本建設情報総合センター（JACIC）システム高度化研究部長（～第5回））
小竹 正倫　（一社）地図協会 理事長
斉藤 和也　（公財）日本測量調査技術協会 常務理事
篠原 茂明　（公社）日本測量協会 理事 測量技術センター副所長
三村 清志　（一財）日本地図センター 地図研究所 研究第一部長（第6回）（津沢 正晴（一財）日本地図センター 地図研究所長（～第5回））
溝畑 武生　防衛省陸上幕僚監部運用支援・情報部情報課基盤情報班
八木 新太郎（一財）デジタル道路地図協会（DRM）特別研究員

1.2 検討会における検討の経緯

検討会各回の議事概要は以下のとおりである.

第1回 電子国土基本図のあり方検討会
平成24年2月23日（木）
1)電子国土基本図について
2)電子国土基本図の更新計画（フレッシュマップ2011）について
3)地理院マップシートの紹介
4)主な指摘事項とこれへの対応

第2回 電子国土基本図のあり方検討会
平成24年3月26日（月）
1)電子国土基本図のあり方に関する検討について
2)オンデマンド地形図について
3)主な指摘事項と対応の考え方
4)今後のスケジュール

第3回 電子国土基本図のあり方検討会
平成24年6月26日（火）
1)電子国土基本図のあり方の検討について
2)電子国土基本図の提供に関する取組状況について

図-1　提言の概要

This document is provided by JAXA.

3)電子国土基本図に対する指摘事項と対応の考え方について
4)中間提言（素案）について
5)今後のスケジュール

第4回 電子国土基本図のあり方検討会
平成24年11月20日（火）
1)電子国土基本図のあり方の検討について
2)電子地形図25000等の対応状況について
3)2万5千分の1の地形図の表現について
4)小縮尺地図のあり方について
5)今後の電子国土Webのあり方について
6)今後のスケジュール

第5回 電子国土基本図のあり方検討会
平成25年3月5日（火）
1)電子国土基本図のあり方に関する検討について
2)電子地形図等の対応状況について
3)電子国土Web.NEXTについて
4)今後のスケジュール

第6回 電子国土基本図のあり方検討会
平成25年7月11日（木）
1)電子国土基本図のあり方に関する検討について
2)電子地形図25000の対応状況について
3)新仕様の2万5千分の1地形図（印刷図）について
4)20万分の1レベル等小縮尺データの対応について
5)電子国土Webにおける対応等について
6)提言について

以上の検討会の議論の内容を踏まえ，電子国土基本図のあり方検討会としての提言が取りまとめられた.提言の概要は図-1のとおりであるが､本稿では，以下，同提言の内容のうち，利用者等からの意見とこれまでの対応及び今後の課題を中心に述べる.

2. 電子国土基本図に対する利用者等からの意見とこれまでの対応

デジタルデータである電子国土基本図は，平成24年7月までは電子国土Webの地図としての提供に限られ，また，その取得基準・表示基準を従来の地形図から変更した部分がある（この段階のものを「初期段階の電子国土基本図」という．）.

それに対して，利用者から指摘や意見などが示されてきたところであるが，その意見の概要や改善方策の概要は以下のとおりである.

2.1 利用者等からの主な指摘・意見

2.1.1 地形図から初期段階の電子国土基本図への取得基準の変更

1)取得されなくなったもの：送電線，記念碑，植生界，短距離の高架部分などがあり，これらについては，維持管理が困難であることが大きな要因である.
2)新たに整備することとしたもの：踏切など.
3)取得する範囲が変更されたもの：高塔や電波塔については高さを60m以上に，また土崖については高さ5m以上かつ長さを500m以上のものに限定した．表記がある程度厳密に決められたため，新たな課題として，これまで記載されていたもののうち多くが記載されない問題が生じることとなった.
4)また，市街地の建物については個々の建物を表記し，総描を行わなくなった.

このように取得基準が変更されたことにより，利用者から以下の点が指摘されてきた.

送電線：特に目印のない山道における道迷いの懸念がある.
植生界・記念碑：地域の歴史的・地理的な把握が困難になった.
土崖：歴史的に著名な地形を含め細かな地形の把握が困難になった.
高塔・電波塔：目立つものが記入されなくなり自分の位置が分かりにくくなった.
踏切：踏切位置が誤っているものがある．表記の必要性も少ない.
総描表現：建物が細かく分かる一方で，見づらいケースもある.
水準点：一部が表記されていない．（基盤地図情報に整合する平面位置の精度を有していないもの）

2.1.2 地形図から初期段階の電子国土基本図への表示基準の変更

表示基準で変更があった主なものは以下の通りである.

堰：黒で堰を模式的に表す表現から，青色の破線となった.
道路：都市域では記号道路の表現から真幅道路の表現となった.
国道番号：標識記号となり，隠れる部分が大きくなった.
徒歩道：破線の途切れた部分の割合が大きくなり，連続した道路と捉えにくくなった.
普通建物：黒色から灰色に変更された.
湿地・万年雪：地形図独特の地紋表現からべた塗りの表現になった.
行政界：鎖線であったのが，緑色の太い線となった.
注記：注記の字大・フォントの区分が減り，総称・

This document is provided by JAXA.

個別名称等が区別できなくなった.

このような表示基準が変更されたこと等に対して,利用者から以下の点が指摘されてきた.

堰:徒歩道と類似し区別しにくい.

普通建物:色が薄くなったので山小屋が分かりにくくなった.

道路:記号表現でなくなり見にくくなった.また,鉄道も含めて平面的な表記のため上下関係を掴むことが困難になった.

国道番号:数が多く目立ちすぎる場合がある.

行政界:太く描いて見やすくするよりも,最新のデータに基づく正確な表現が第一に考えられるべきである.

等高線:市街地でも可能な限り表示すべきである.

水部:水域の色を検討すべき.河川の源流部を細く表記すべきである.

以上のような個別の指摘が多数なされているほか,総括的に以下の点が指摘されることとなった.

1)地図表現を分かりやすいものとすることが必要である.我が国における地図の表現の規範はこれまで長い歴史を経て,国土地理院の地形図が,改良を重ねつつ,示してきた.

2)利用する人間の思考習慣は,一方的な変更に簡単にはついていけない.表現は歴史を持っており,多くの人々が検討した成果であり,そもそも保守的であってよいものである.

3)地図の重要な利用目的に何があるかについても配慮が必要である.例えば,登山への利用を考えると,山小屋が薄く目立たないので,色を強調するなどの配慮が必要であるし,徒歩道については破線の間隔が長くなり,形状を詳細に掴むことが困難なので,地形図の表記に戻すほうがよい.

2.1.3 電子国土基本図の提供について

国土地理院で保有する電子国土基本図に対するニーズは高い.

1つは,特に最新の地形図を画像として入手したいというニーズである.これまでは地形図は更新が十分にされていない旨の指摘が出されてきた.また,複数の地形図を購入してつなぎ合わせるという不便を解消するため,任意の区域で出力できることが求められている.また,紙としての地図を維持すべきという意見も強い.

Webでの活用という点をみると,当初の電子国土Webにおいては,縮尺に応じて用意された4種類のタイルデータの中から,利用者が設定したスケールに応じたデータを表示していたが,タイルデータを1つの種類のデータで3つの縮尺に同じ地図表現で対応することにしているため,情報密度が適切ではない場合があり,また表示縮尺によっては文字が大きく注記が見づらい,という意見があった.また,Web上ではさまざまな民間の地図サイトがあるが,サイトごとに表現や操作方法が様々で統一感がないため不便さを感じることがあるという指摘もあった.

また,これらに加え,電子国土基本図のベクトルデータも,利用価値が高く提供すべきとする意見があった.

2.1.4 災害時等の活用について

電子国土基本図は,関係機関や地方公共団体において,災害時の備えについての情報や実際の災害状況について随時入ってくる情報を整理でき共有できるベースマップなどとして使えるようにすることが重要であるという指摘があった.特に200000レベルの小縮尺の地図データについては,災害発生直後の段階で状況を整理するために重要な基盤情報である.

さらに,地方公共団体が収集した災害主題情報について,国土地理院が支援し代理発信することが必要,という意見があった.これは地方公共団体の管内が非常災害等の場合に,隣接県の病院の状況や道路の通行状況の情報などが非常に重要である一方で,その収集に充てられるリソースには限度があり,そこで国土地理院が代わって知らせる役割を果たすことが重要,という趣旨である.

2.2 電子国土基本図の改善に向けたこれまでの対応

2.2.1 基本的な考え方

これまで挙げた利用者からの指摘のいくつかは,国土地理院が基盤地図情報により高精度化したデータの整備や当該電子データの活用を促進する取り組みを評価する一方で,これらの変更が従前の地形図のように使うユーザへのサービスレベルを落としたものと理解され,また,国土地理院が,地理空間情報リテラシーを育成・普及させるための最良の素材である地形図を提供しなくなるのではないかという懸念を持った結果出されたものと考えられる.

平面位置や高さの情報,様々な地物やその空間的構造が正確に把握できる国土地理院の電子国土基本図は,長期計画にも記されているとおり我が国における地図の基本であり,それにより示されるのが日本の国土である.電子国土基本図は,実用的な地図として,今後とも多方面で重要な役割を果たすべきものであり,従来の地形図を発展させて一層利用しやすいものとなるよう,その整備・更新を進めていく必要がある.

そのためには,取得項目や表記の方法,提供媒体等に関する利用者の要望にできるだけ応えていくことが必要であり,検討会では昨年7月にそれを念頭に今後の改善に向けて中間提言を出したところである.現在,国土地理院ではその内容を踏まえつつ,以下

This document is provided by JAXA.

の方向で対応が行われているところである．

2.2.2 取得項目・取得基準についての対応

電子国土基本図に収録される情報は，多くの利用者にとって共通して使えるものであり,「基本情報」として位置づけられる．この情報は，公共施設を中心として，更新の迅速化を図っていくことが重要であり，また，面的な更新も，変化量や，前回からの経過年数等を考慮しつつできるだけ新しいものにしておくべきである．

一方で，電子国土基本図において，更新が困難等との理由で従来の地形図から表記を落とした各種情報については，付属資料として提供することにより基本情報と重ね合わせて利用可能とすることで対応を図る．また，これらの情報の取得基準や更新の考え方は，内容や地域によって一様ではないと考えられることから，それを利用者に正確に伝えることが必要である．なお，更新の目途が立ち，精度や維持管理の状況が基本情報に相当するレベルになったものについては，基本情報に組み入れるべきである．

主な取得項目及び取得基準については，以下の考え方で対応が行われている．

送電線・発電所等：従来の地形図の送電線を活用できるよう基本情報の付属資料とした上で,更新については,国土地理院から空中写真による判読ができない区域等を指定して,電力会社から地図の表記に必要な情報提供を受けることにより,今後は面的更新に合わせて行う．発電所・変電所については，従来の地形図の情報（記号の位置）を基本情報の付属資料とした上で,更新については空中写真判読等により行う．また，これらの内容及び精度が基本情報に相当するレベルに至れば,基本情報として組み入れる．

橋：道路や鉄道の高架部を含め，従来の地形図を参照しつつ，基本情報として取得する．

土崖：これまで土崖は，規模の大きな，高さ5m以上でかつ長さ500m以上のものを取得してきた．それより規模の小さい土崖は,データとして取得していないが，防災上特に重要なものについては,面的更新に合わせて付属情報の小規模土崖として取得する．

水域：河川については，その重要性に応じて取捨選択することなどが必要である．今後，水系の核となる一級水系・二級水系の情報を水涯線に対して取得する．（なお，その上で，表示基準ではあるが,それらが付与されないものについては薄く表示する（又は表示しない）という対応を標準とする．ただし，すべての水系を表示することも選択可能とする．）

植生界：植生記号が記載されていることによりある程度分布が把握できることを考慮し,従来の地形図の植生界を活用できるよう基本情報の付属資料とした上で，その更新については，当面の間,人工地物への改変など大きな変化が起こった場合について行う．

水準点：水準点は高さの高精度な情報を持つ点であり，その重要性に鑑み，水準測量に利用できる国土地理院の水準点はすべて取得する．

高塔・電波塔：60m以上の高さのものを基本情報として取得するが，それより低いものも，現地で目立つものは,面的更新時に付属資料として取得する．

雪覆い：従来の地形図等を参照しつつ，基本情報として取得する．

記念碑：従来の地形図等を参照しつつ，基本情報の付属資料として取得する．

駅名：正式名称を基本情報で取得するが，読みがなについても基本情報として取得する．

踏切：関係部局からの確かな資料の収集が困難であるため，項目として廃止する．

2.2.3 表現および表示基準についての対応

電子国土基本図のベクトルデータを基データとした地図表現が可能になり，目的に応じた情報の取捨選択，表現の選択ができるようになっている．様々な選択肢はあるとしても，地図としての提供を考えるにあたり，多くの利用者に見やすく，分かりやすい表現を標準的な表現として決めておくことが必要である．

以上の考え方を基本として，個別の表示基準については，電子地形図25000（画像データ）で提供する場合の表示の標準及び選択肢について，以下の考え方とする．また，印刷図としても，電子地形図25000の表示の標準に基づく，新たな表現で印刷し刊行することが適当である．電子国土Webでの表現は，技術的特性を踏まえ，これに準じるものとする．

なお，表示基準は，時代の変化や技術開発の状況を考慮し，必要に応じて再検討する．また，表示の選択肢について，地域の現状等からなじみやすい表現を考慮することが適当な場合には，それを追加することについて検討する．

道路：これまで市街地において一部道路を表示しない場合があったが,利用者がネットワークとして正確に理解できるよう,取得している全ての道路を表記することを基本とする．その場合，市街地では5.5mから19mの幅員のすべての道路を0.8mm幅で表示すると見にくくなることを考慮し，5.5mから13mの道路については0.5mm幅で表示する．

また，道路色については，道路種別，幅員など

This document is provided by JAXA.

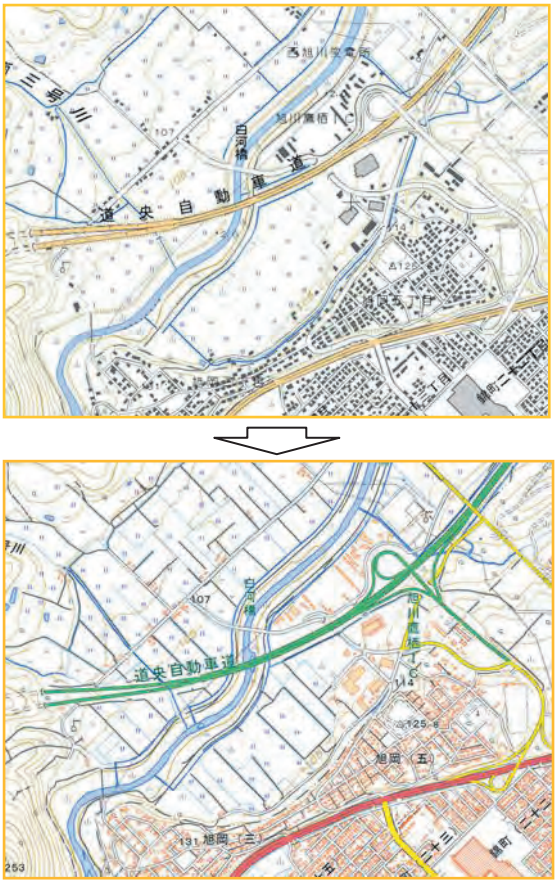


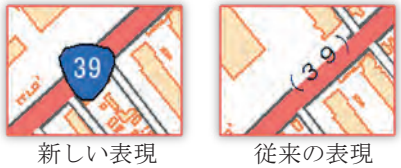
図-2 道路の表現方法（上：従来の表現　下：新しい表現）

をわかりやすく示すことが必要である．

これまでの表現や，一般の地図での色表現を参考にして，高速道路は緑系統の色彩，国道は赤系統の色彩，主要地方道と一般都道府県道は黄色系統の色彩で表現することとする（図-2）．

また，高速道路は，赤系統での表示も選択可能とする．有料無料の区分については道路中心線上に点列を表記することを標準とするが，上記の道路の色をベースとして有料を若干濃い色に表現することも選択できるようにする．

国道番号：国道番号の表記については，記号を小さくし，その背景をより見やすくした番号標識による表記を標準とする．なお，地形図で採用されている道路縁の片側に番号を記述する方法についても，表示を選択できるようにする（図-3）．また，番号標識の青色の濃度を落とすなど少し目立たなくする表現を選択できるようにするとともに，多数の国道番号が存在しているところが煩雑な表現にならないようにする．

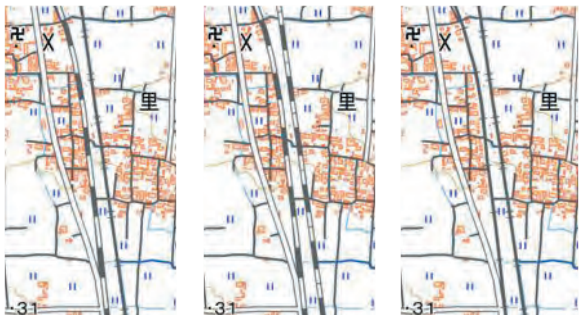


新しい表現　　従来の表現

図-3 国道番号の表現方法

鉄道：従来の地形図ではJRは旗竿表記，その他の私鉄は太線表記（太線に単線・複線区分の記号を付加した，いわゆる「私鉄記号」）をしてきた．鉄道は，JRが民営化されたが，その歴史的経緯からみると地域間を結ぶJRと，地域内交通であるそれ以外の私鉄とは，役割が異なる部分が残っている．そのため，JRを旗竿表記，私鉄を太線表記とすることを標準とする．

一方で，JRとそれ以外の私鉄はいずれも民間企業であることから，表記は同一のものを使用することが適当とする考え方もある．そのため，すべて太線表記をしたもの，あるいはすべて旗竿表記をしたものの表現も，選択できるようにする（図-4）．



JR：旗竿・私鉄：太線　　JR・私鉄：旗竿　　JR・私鉄：太線

図-4 鉄道の表現方法

駅名：漢字を含め正式の名称を標準とするが，かなによる表記も選択できるようにする．

建物：全般的にわかりやすく表現したものとして，オレンジによる表示を標準とする．また，グレーを含めて，赤，ピンクなどの赤系統の色も，表示を選択できるようにする．

さらに，無壁舎を従来の地形図と同一の記号で表記する．なお，山小屋・料金所は赤系統で表示すれば目立つ色となり，十分認識できるものと考えられる．

また，2500分1の紙地図では建物に陰影線（南および東側の線が太めになる）を用いていることから，今後25000分の1より大縮尺の電子地形図を提供する場合にはその効果について検討し，適当な場合にはその表記も選択可能とする．

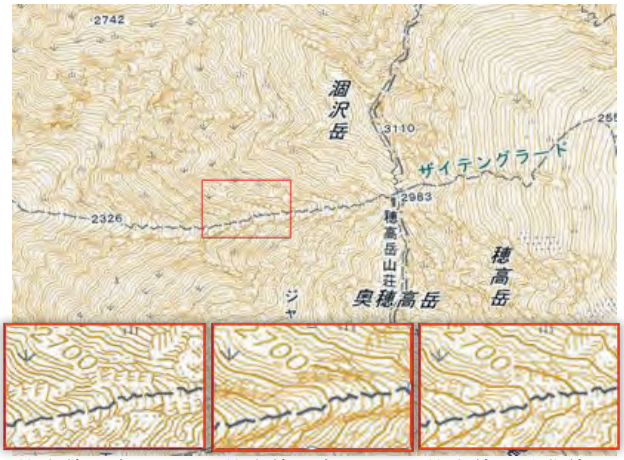
注記：注記の字体，方向，配列等について，現行の電子国土基本図の基準を標準的な表現とするが，より完成度を高めるために，今後とも検討を行う．

等高線：計曲線・主曲線については褐色を標準とする．等高線を市街地で消えないよう表示する．また，岩稜帯の景観が把握できるよう，計曲線を岩崖記号とを重ねて表示することを標準とする．ただし，計曲線・主曲線と岩崖記号と重ねて表示する表現，また，いずれも重ねた表示を行わない表

This document is provided by JAXA.

現も，選択できるようにする．なお，等高線が岩崖記号に重なる部分では多少余白をおいて間断するなど，見やすくなる表現の工夫についても更に検討する（図-5）．

人工水路，堰，徒歩道，石段，地下鉄道，交通トンネル口，雪覆い，記念碑，行政界：従来の地形図の表現を標準とする．



等高線を崖記号と重ねない　等高線を崖記号と重ねる　等高線の計曲線を崖記号と重ねる

図-5 等高線の表示方法

湿地・万年雪：従来の地形図に近い地紋表現を標準とする．

陰影表現：陰影表現があると，その地図の地形が読み取りやすいことを考慮し，陰影表現をつけることを標準とする．光源の高度角としては60～70度程度が適当である．なお，陰影表現の完成度を高めるための検討は継続して行う．また，陰影表現が他の地図の作成に支障がある場面もあることから，表示を選択できるようにする（図-6）．

緑色系の陰影　灰色系の陰影

図-6 陰影の表現方法

総描及び転位等への対応：地図編集において考慮がされるべき表現方法として，市街地での建物の総描表現や，小河川が数多くある場合の間引き表現，複数の鉄道や道路が並ぶ場合の転位の表現についてなどが検討対象として考えられる．

市街地での建物の総描表現は，色表現の工夫などにより，必ずしも必須とはしない状況となったことから，詳細な建物データを表記する．また，河川の間引き表現については，上述のとおり，水系の属性を付与していないものについて，表示しないことを標準とする．また，複数の鉄道や道路が並ぶ場合の転位の表現などについては，転位の候補となる地物の候補を抽出した上で，マニュアルで転位を行う方法とする．ここで転位したデータは地図表現および真位置と地図上の転位位置を正確に対応付けるための情報として取得すべきであり，真の位置にあるデータを変更することは適当ではないことに留意する．

2.2.4 提供方法についての対応

提供方法としては，主に以下の3つの方法で進めていくことが適当である．

(1)電子地形図（画像データ）

従来の地形図の内容に相当するものとして，「電子地形図 25000」を提供する．利用者は画像データを自由に紙に出力することが可能なものとする（注

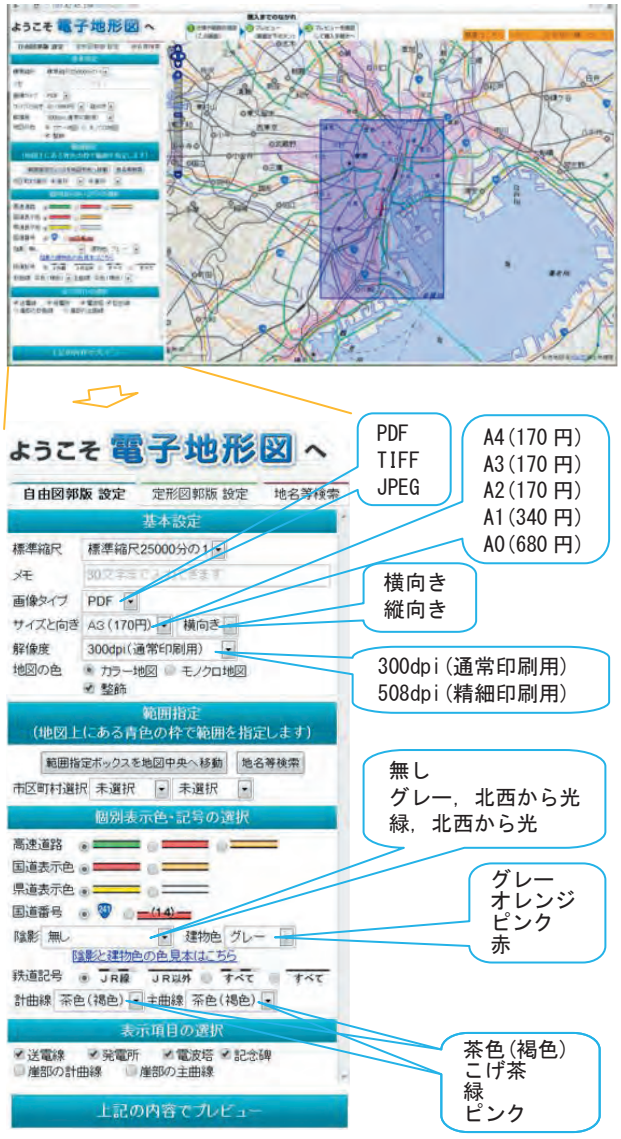


図-7 注文画面

This document is provided by JAXA.

図-8 電子地形図（等倍）

文画面として図-7，出力例として図-8 に示す）．

また、その出力図については地図販売店などの協力を得て提供することが望ましい．

「電子地形図25000」は範囲・大きさが指定できることや新鮮さ・色使いなど出力の多様さ（今後の更なる展開の可能性も含む）において優れている．従来の地形図と同等の情報提供を望むユーザに対しては，画像データの特性と，地形図との違いを十分周知することが必要である．また，できる限り画像データを出力する用紙の特性，それぞれの用紙における一般的な出力のされ方などを利用者に知らせることで，利用者が出力用紙を適切に選択することができるよう支援する．

またデジタルアーカイブとして年次更新を時系列に参照したいといったニーズも存在するので，例えば毎年複数回，ある時点での最新の電子地形図25000が残されるようにする．

また，電子地形図25000の元データを使って，単純縮小したり，あるいは主要な道路のみを強調表示した（ただし徒歩道など全ての道路表示も選択可能）50000レベルの電子地形図の提供を行う．また，電子国土基本図が都市計画区域では2500レベルの精度であることを考慮し，都市域においては従来の1万分の1地形図に近い地図の出力が可能であるため，その提供を行う．

さらに，5万分の1よりも小さい縮尺の地図，例えば20万分1地勢図なども，災害発生時や管内図の作成の点で利用価値の高い地図であり，電子地形図25000と同様の考え方で，電子地形図20万（仮称）として提供する．総描・転位については，候補となる地物を抽出し，対話型処理で行う方法とする．対話型処理については，自動化部分とマニュアル部分の各々の処理手続きを明確化し体系化を図るとともに，自動化による作業性の向上に務める．

なお，画像データが提供されることを理由に従来の地形図あるいは地勢図の刊行を今すぐやめることは適切ではない．一定のニーズがあることを念頭に，電子地形図に基づく新たな表現で印刷し刊行する．

(2)電子国土Web

Webの地図サイトの中には，地図と写真画像との重ね合わせができるところが多く，電子国土Webでもその機能を実現する．さらに，標高データと組み合わせて陰影や俯瞰表現により地形の凹凸を表すことも必要である．また，地図にとって凡例は大切で，凡例表示有無のボタンを作成し，スクロールして全体が見られるようにする．

また，国土地理院は，可能な範囲で従来の地形図の表現を採用しつつ，利用者にとってなるべくWeb上で表現の統一感が得られることが望ましいことに留意して，表示縮尺に応じた見やすい・分かりやすい表現を検討し，世の中に提示することが必要である．

(3)数値地図（国土基本情報）

電子国土基本図のベクトルデータは，GISのユーザのみならず，地図利用者にとっても魅力的なデータであり，広く提供する．また，ベクトルデータの提

This document is provided by JAXA.

供に当たっては，標高メッシュ情報や，基本情報の付属資料として位置づけられる情報も含め，国土地理院が提供している様々な情報をパッケージ化した数値地図（国土基本情報）として提供する．それにより，利用者が利用するデータを単一データセットから選択でき，利用者が使いたい地理空間情報を容易に選択できる環境を実現することに貢献する．

また，デジタルアーカイブとして例えば毎年複数回，ある時点での最新のデータセットが残されるといった仕組みを作る．

さらに，20万分の1よりも小さい縮尺で国土の広域をカバーする情報（国土広域情報：仮称）も，行政関係者等によりGISや管内図の背景地図として頻繁に利用されていることから，広く提供する．その内容としては，拡大・縮小においても位置的な整合が確保されたものになるよう，電子国土基本図由来の道路・河川・標高等の位置情報をもとに，適度の範囲で取捨選択・間引きしたりする総描を行う．ただし，データ量の大きい建物等は画像での提供とするなど，工夫することが必要である．

2.2.5 電子国土基本図の災害対策，まちづくり，観光その他の行政分野における普及促進と連携

電子国土基本図は行政機関における災害対策，まちづくり，観光その他の行政分野において，様々な情報のベースマップとして使えるよう，また，必要に応じて紙出力あるいは大型ディスプレー（マルチスクリーン上）で表示して利用されるよう，関係機関及び地方公共団体に提供したり，活用に向けて災害担当者等と連携することが重要である．

国土地理院では行政機関が保有している既存の台帳情報などを電子国土ポータル上に貼り付け管理するための「地理院マップシート」を開発している．これを用いればGPS携帯で撮影した写真等座標値のついた情報を電子国土Webの地図上に貼り付けられ，また，住所情報から位置座標を求める機能が用意されているため，座標値がなくても住所情報があれば，電子地図上に位置を示すことが可能となっている．これを行政に有効に活用するよう，連携･支援を行うことが重要である．

特に災害時において，災害時の備えについての情報や，実際の災害状況について随時入ってくる情報，被災地への支援に関する情報を地図上で集約することができ，応急対策の立案を多数の関係者で「見える化」し，さらなる高度な対応も検討することができるよう，このようなツールを積極的に普及する．

また，国は災害時に利用する施設の情報を平素から収集・地図化しているが，県・市町村でも情報を作成・選択して地図に表示するニーズはあると考えられ，そのための技術的な支援，あるいはカスタマイズ化した典型例を連携して作成し使いやすく提供・普及する取り組みも欠かせない．

さらに，事前の支援の意味も含め，利用のための訓練を実施することのほか，被災地域の状況を，災害対応に忙殺される地方公共団体に代わって国土地理院が知らせる役割を果たすことも重要である．

3.今後の課題について

2.で検討してきた内容の多くは，多くが対応ずみあるいは見込みがついているものであるが，一部検討途上のものもある．

その中でも今後地図・地理空間情報の活用を推進する観点から特に重要と思われる事項と，その対応の方向性について，今後の課題として以下の点が指摘された．

①電子地形図20万及び国土広域情報（仮称）等の提供

小縮尺図・データについては，上述の通り，電子地形図20万及び国土広域情報（いずれも仮称）等としての提供を推進することが必要である．またその更新についても，電子国土基本図と一体的な対応が必要である．また，さらに小縮尺の地図表現については，分かりやすくまた見た目をよくするためにも総描等を行うことが適当であり，その方法について引き続き検討を行うことが必要である．

また，元データを新たに作るなど手間をかけることなく50000レベルや10000レベル，さらには100000レベルの提供にも対応できるようにするなど，縮尺にある程度柔軟性をもった提供ができるよう技術対応することが必要である．

②注記の取得及び表記の方法の改善について

注記の字体，方向，配列等については，現行の電子国土基本図の基準を標準的な表現としているところであるが，より完成度を高めるためには，新たな注記データの整備が必要である．

注記のデータとしては，字種，字体の大きさ，文字などの書き出し始点のほか，描画のための文字の向き・字間なども属性に含めることとし，またそれを地図として表記する場合，曲線的に配置される地物（鉄道や河川など）の名称を違和感なく示すことが可能となるデータ・システムを開発するなど，利用者にとって見やすい，使いやすい地図を提供することが重要なポイントである．

また，地図の特定の色彩が見にくい，あるいは小さいものが見づらい，といった利用者属性も存在することから，今後，そのような立場にも配慮した設計を研究し，できるだけ多くの利用者に親しまれる内容・表現とすることも念頭に置くべきである．

This document is provided by JAXA.

4. まとめ

国土地理院は，これまで紙地図を通して適切な国土の管理，災害への迅速な対応，国土の範囲の明示等のための地理空間情報の整備を行ってきた．

今後は，地理空間情報の根幹をなす電子国土基本図等の成果が，技術の発展ともあいまって，新鮮で高精度な地図情報として電子地形図，数値地図，紙地図，電子国土Webなど様々な形態で提供を行うことが重要である．また，わかりやすいデータ・地図として提供・利用されるためには，利用者の立場に立って，役に立つ情報を整備あるいは整理し，使い方の案を考え普及啓発を行うこと，といった取り組みを更に推し進めることが必要である．

（公開日：平成 25 年 11 月 29 日）

参 考 文 献

電子国土基本図のあり方検討会（2012）：利用者にとって価値ある使いやすい電子国土基本図を目指して（中間提言）

下山泰志・齋藤勘一（2012）：「電子国土基本図のあり方検討会」報告，国土地理院時報，123，155-163.

電子国土基本図のあり方検討会（2013）：利用者に価値ある使いやすい電子国土基本図を目指して(提言)

政春尋志他（2012）：電子国土基本図の表現の再検討と刊行について，日本国際地図学会定期大会

Masaharu et al.（2013）：Development of new style map products by the Geospatial Information Authority of Japan, IGU2013-Kyoto Regional Conference

This document is provided by JAXA.

地球地図全球版第 2 版土地被覆データを用いた世界各緯度帯の海陸の面積とその比の算出
Calculation of “Sea and Land Areas and Their Ratio of Each Latitude Band” by Global Map Version 2

応用地理部　須賀正樹・安藤暁史・鵜生川太郎・植田摩耶
Geocartographic Department
Masaki SUGA, Akifumi ANDO, Taro UBUKAWA and Maya UEDA

要　旨

国土地理院は，地球地図国際運営委員会（International Steering Committee for Global Mapping: ISCGM）事務局として，千葉大学及び各国政府の地理空間情報当局（National Geospatial Information Authority: NGIA．日本における国土地理院に相当する政府機関.）と協働して，地球全体をカバーする地理空間情報の 1 つである地球地図全球版第 2 版（土地被覆）（Global Land Cover by National Mapping Organizations: GLCNMO．以下「GLCNMO 第 2 版」という.）を整備し，公開を行っている．今回，このデータを基に世界各緯度帯の海陸の面積及びその比を検証可能な形で計算した．

現行の理科年表の地学部に掲載されている「世界各緯度帯の海陸の面積とその比」（国立天文台編，2012, p.581．以下「本表」という.）には，地球上の各緯度帯（10 度毎）における陸地及び海洋の面積並びにその比が掲載されている．本表で示されている陸地及び海洋の面積の算出に用いられたデータの諸元や算出方法については,「主としてベッセル楕円体に依拠しているが，地図を作成する上での準拠楕円体は国によって異なる．そのため，面積の集計にはこれらの違いが含まれる.」と記載されているのみであり，精度の検証は不可能である．また，我が国でも 2002 年から世界測地系が導入されたように, 準拠楕円体が従来のベッセル楕円体から，地球を最もよく近似している楕円体として広く用いられている GRS 80 楕円体へと世界的に変更されつつある. 今回, GLCNMO 第 2 版を基に GRS80 楕円体を準拠楕円体として検証可能な形で面積とその比を計算した結果, 本表の情報と差異があったため, 平成 26 年版の理科年表に反映されるよう関係者等に修正等の依頼を行った.

1. 地球地図について

地球地図（Global Map）とは，地球全球の地理空間情報を整備することを目的に, 各国・地域の NGIA が協働して取り組んでいるプロジェクトである．1996 年に ISCGM が設立され，2000 年からデータの公開が始まっている．2013 年 12 月時点では，本プロジェクトには，182 の国・地域が参加しており，そのうち 118 の国・地域において，データの整備・提供が行われている．

プロジェクトでは，各国・地域の NGIA がそれぞれの範囲について，地球地図各国版データとして整備することとなっている．データは，境界や交通網等の 4 項目のベクタデータと，標高や土地被覆等の 4 項目のラスタデータ，計 8 項目のデータとして整備されている．データは地理情報システム（GIS）で活用可能な形式として整備されており，利用者は ISCGM の Web サイト等からダウンロードして利用することが可能である．また，非営利目的での利用であれば，無償で利用可能である．データは 100 万分の 1 相当の精度で整備されており，ラスタデータの場合は，1km 解像度（経緯度 30 秒メッシュデータ）以上の精度のデータとして整備されている．

さらに，各国・地域でそれぞれ整備する地球地図各国版のデータに加え, 地球全域をカバーする標高, 土地被覆，植生のラスタデータを，地球地図全球版データとして, ISCGM 事務局が中心となって整備・提供している．このうち土地被覆・植生について，国土地理院，千葉大学及び各国・地域の NGIA が協働して全球版第 2 版を整備し, 2013 年 7 月から公開を開始した．今回，海陸の面積等の算出に当たっては，この GLCNMO 第 2 版を使用した．

2. 海陸面積比の算出方法について

2.1 GLCNMO 第 2 版及びこれを用いた海陸データの整備

GLCNMO 第 2 版は，全球の土地被覆の状況について，常緑針葉樹林や落葉広葉樹林，草地，田，市街地，水部等，計 20 項目に分類した 15 秒メッシュ（赤道付近で約 500m メッシュ.）のラスタデータである．2008 年に整備した GLCNMO 第 1 版と比べて解像度が向上（30 秒メッシュから 15 秒メッシュにメッシュサイズを細分化.）するとともに, データの作成に当たっては，より新しい衛星画像（2008 年に地球観測衛星 Terra 及び Aqua に搭載されている MODIS センサーが取得した画像）が用いられている．このデータを用いて，まずは海洋と陸地を区分する

This document is provided by JAXA.

データの整備を行った.

GLCNMO 第 2 版の一分類項目である水部は，南極以外の地域については MODIS による画像を用いてリモートセンシング手法で水部を抽出した Hoan et al.（2012）の結果を使用して分類しており，南極部分については南極科学委員会（Scientific Committee on Antarctic Research. 以下「SCAR」という.)が作成した海岸線等のベクタデータをラスタ化して作成されている.

このように GLCNMO 第 2 版の水部データには，陸水と海水の両者が含まれており，その区別はされていない．このため今回の計算では，海水部と陸水部を機械的に区分する方法として，太平洋上の明らかに海水と考えられる任意の 1 メッシュを選択し，そこに隣接する縦横 4 メッシュのうち水部となっている箇所があればそこも海水であると再帰的に判定し，海水部分に隣接せず陸部で囲まれている残りの水部を陸水と定義することとした.

その結果,例えば琵琶湖やオンタリオ湖(五大湖)，カスピ海などは陸水部として区分され，東京湾や地中海，黒海などが海水部として適切に区分された．一方で，湖沼であるサロマ湖が海水部と区分されたように,海洋に隣接し接続水路がある一部の湖沼や,大規模河川の河口部などについては，海水部と区分された．また逆に，狭隘な海峡や湾口部で接続された一部の内海は,陸水部として区分された.しかし，全体的には概ね陸水部と海水部が適切に区分されており，今回は各緯度帯（10 度毎）の集計であることから，その影響は軽微であると判断し，上記のような機械的な区分方法を採用した.

こうして海水部と陸水部を区分した上で，水部以外の土地被覆分類項目（樹林・耕作地等）は全て陸部とし，これらを用いて全球の海陸データを作成した.

2.2 海陸の面積とその比の算出

地球楕円体における，赤道から緯度 φ の緯線までの緯度帯の表面積 $S(\varphi)$ は,

$$S(\varphi) = \pi a^2 \left(\frac{1}{e} - e\right)\left(\frac{e \sin\varphi}{1 - e^2 \sin^2\varphi} + \tanh^{-1}(e \sin\varphi)\right)$$

で与えられる（国立天文台編，2012, p.579）.

ここで，a は地球楕円体の長半径，e は離心率である．今回は，前述のように GRS 80 楕円体を準拠楕円体として面積等を求めることとした．GRS 80 楕円体は 1979 年の国際測地学・地球物理学連合（International Union of Geodesy and Geophysics: IUGG)の総会で決議されたものであり(IUGG, 1980),

地球楕円体の長半径 $a = 6.378137 \times 10^6$ (m),

扁平率 $f = 1/298.257222101$

となっている．離心率 e と扁平率 f の関係は,

$$e = \sqrt{f(2-f)}$$

である.

GLCNMO 第 2 版のデータは，全球を 15 秒メッシュで区切ったデータであるが，各メッシュの表面積は，当該メッシュが存在する緯度によって異なる．緯度 φ_1 から緯度 φ_2 までの範囲における回転楕円体上の表面積は，上記式を用いて,

$$S(\varphi_2) - S(\varphi_1)$$

として求めることができる．今回は，GLCNMO 第 2 版の解像度に合わせ,上記式を用いて 15 秒の緯度帯毎の面積を算出するとともに，前節で準備した海陸データを用いて 15 秒の緯度帯ごとに海洋及び陸地のピクセル数をカウントし，各緯度帯で面積を比例分配して海洋及び陸地の面積を求め，最後に集計を行った．本表と同様に 10 度ごとの各緯度帯で，1,000km^2 の桁まで集計して求められた海陸の面積とその比の結果は表-1 のとおりである.

2.3 求められた面積の誤差に関する考察

GLCNMO 第 2 版のデータは, WGS 84 を準拠楕円体として作成されており，今回計算に用いた回転楕円体である GRS 80 楕円体とは異なっている．しかし,この 2 つの回転楕円体の違いは離心率(扁平率)のわずかな違いのみであり，2 つの回転楕円体の全球表面積の差は 10^{-3}km^2 オーダーであることから，今回集計を行った 1,000km^2 の桁までの面積集計では誤差の範囲として無視できるほど小さいと考えられる.

また，GLCNMO 第 2 版のデータは，15 秒メッシュのラスタデータのため，海陸の境界部では，その状況に応じて陸地又は水部のどちらかに分類されているが，海陸の境界線（海岸線）が必ずしもメッシュ境界とは一致しないことから，海陸の分類が正確であったとしても，メッシュの範囲内で海岸線の位置誤差を内包している．このうち，海陸の分類誤差については，衛星画像の輝度値等から統計的に分類していることから，分類誤差も正規分布に従っていると考えられ，面積集計には直接影響を与えないと考えられる．また，位置誤差についても，今回使用した GLCNMO 第 2 版の 15 秒メッシュの各メッシュの面積が,最も大きい赤道付近であっても約 0.25km^2 であることから，本表と同様の 1,000km^2 の桁までの面積集計を行う上では十分に小さい誤差であり，無視できる程度であると考えられる.

3. 結果の比較

表-1 において，今回の結果と本表に示されている値を併記している．今回の結果と本表を比較したところ，80-70° N の緯度帯と，60-90° S の緯度帯にお

This document is provided by JAXA.

いて，海と陸の面積比の百分率（整数値）に違いがみられた．それ以外の緯度帯については，準拠楕円体の変更等もあるため面積は異なるものの，面積比については整数値の範囲で一致している．

このうち，80-70° N の緯度帯については，本表に示されている陸地及び海洋の面積の数値から求められる面積比が陸域 30%（29.7%），海洋 70%（70.3%）となり，今回求めた面積比と一致することから，過去に計算等を行った際の単純な誤りと考えられる．

一方，南極域（60-90° S）では，面積比に大きな違いが明らかになった．特に南緯 80 度以南（80-90° S）では，本表ではすべて陸地であるとしている（陸地が 100% となっている．）のに対して，今回の結果では 11% 程度は海洋となった．この違いの原因としては，南極における様々な科学調査が進み，特に棚氷の範囲等が明らかになってきたことが SCAR のデータに反映されているためと考えられる．SCAR の整備したベクタデータに含まれる棚氷の範囲については，海洋上に存在する氷と判断し，海洋として分類しており，その結果，今回の計算では南極域に海洋が存在する結果となっている．

この他，本表では，北半球と南半球で面積の合計値に違いが見られたが，今回の計算では面積の合計値は一致した．

4. まとめ

新たに整備した GLCNMO 第 2 版を用いて，理科年表に掲載されている「世界各緯度帯の海陸の面積とその比」の値を，一定の精度を確保しつつ，検証可能な形で再計算することができた．また，南極域における海洋の存在など，従来は理科年表に反映されていない事実を計算に入れることもできた．今回の結果が平成 26 年版の理科年表に反映されるよう，関係者等に修正等の依頼を行い，2013 年 11 月に発行された「理科年表　平成 26 年」に掲載されたところである．

理科年表には，今回取り上げた「世界各緯度帯の海陸の面積とその比」以外にも，最新の地球地図データを用いることで，更新や再計算等を行うことができる可能性がある情報が多く含まれている．今後，更なる地球地図データの活用について，引き続き検討していきたい．

謝　辞

本解析を実施するに当たり，御指導を頂いた千葉大学環境リモートセンシング研究センターの建石隆太郎教授に厚くお礼申し上げます．また，手法のアイデアときっかけを与えて頂いた応用地理部河瀬和重企画課長，解析に際して様々な有用なアドバイスを頂いた基本図情報部中村孝之国土基盤情報調整官にも厚くお礼申し上げます．

（公開日：平成 25 年 12 月 25 日）

参 考 文 献

国立天文台編（2012）：理科年表 平成 25 年，丸善，578-581.

Hoan, N. T., R. Tateishi, D. X. Phong and B. Johnson (2012): Global Water Mapping using MODIS Tasseled Cap Indexes, International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012 IEEE International, pp.7161-7164, DOI: 10.1109/IGARSS.2012.6352011.

IUGG (1980): Resolutions of XVII General Assembly of International Union of Geodesy and Geophysics as proposed by the International Association of Geodesy and endorsed by the International Union of Geodesy and Geophysics, Bulletin Géodésique, 54(3), pp.369-375, DOI: 10.1007/BF02521478.

This document is provided by JAXA.

表-1 世界各緯度帯の海陸の面積とその比

緯度	陸地 (10^6km^2)				海洋 (10^6km^2)			
	理科年表（平成 25 年）		地球地図（GLCNMO 第 2 版）		理科年表（平成 25 年）		地球地図（GLCNMO 第 2 版）	
90°-80° N	0.383	(10%)	0.407	(10%)	3.524	(90%)	3.502	(90%)
80 -70 〃	3.438	(27%)	3.494	(30%)	8.156	(73%)	8.103	(70%)
70 -60 〃	13.326	(71%)	13.352	(71%)	5.579	(29%)	5.558	(29%)
60 -50 〃	14.678	(57%)	14.636	(57%)	10.929	(43%)	10.977	(43%)
50 -40 〃	16.474	(52%)	16.457	(52%)	15.023	(48%)	15.046	(48%)
40 -30 〃	15.570	(43%)	15.622	(43%)	20.835	(57%)	20.790	(57%)
30 -20 〃	15.097	(38%)	15.113	(38%)	25.101	(62%)	25.093	(62%)
20 -10 〃	11.244	(26%)	11.249	(26%)	31.534	(74%)	31.538	(74%)
10 – 0 〃	10.068	(23%)	10.039	(23%)	34.016	(77%)	34.055	(77%)
0 -10 S	10.394	(24%)	10.399	(24%)	33.690	(76%)	33.695	(76%)
10 -20 〃	9.420	(22%)	9.433	(22%)	33.358	(78%)	33.355	(78%)
20 -30 〃	9.310	(23%)	9.314	(23%)	30.888	(77%)	30.893	(77%)
30 -40 〃	4.140	(11%)	4.146	(11%)	32.265	(89%)	32.266	(89%)
40 -50 〃	0.971	(3%)	0.991	(3%)	30.526	(97%)	30.512	(97%)
50 -60 〃	0.213	(1%)	0.216	(1%)	25.394	(99%)	25.396	(99%)
60 -70 〃	1.788	(9%)	1.601	(8%)	17.117	(91%)	17.309	(92%)
70 -80 〃	8.468	(73%)	7.295	(63%)	3.126	(27%)	4.302	(37%)
80 -90 〃	3.908	(100%)	3.477	(89%)	0.000	(0%)	0.431	(11%)
90 -0 N	100.278	(39.4%)	100.370	(39.4%)	154.695	(60.6%)	154.663	(60.6%)
0 -90 S	48.612	(19.0%)	46.874	(18.4%)	206.364	(81.0%)	208.159	(81.6%)
90N-90S	148.890	(29.2%)	147.244	(28.9%)	361.059	(70.8%)	362.822	(71.1%)

This document is provided by JAXA.

地理院マップシートの開発
Development of data exchanging between a spreadsheet and Digital Japan Web

地理空間情報部　髙桑紀之
Geospatial Information Department
Noriyuki TAKAKUWA

要　旨

地理院マップシート（以下,「マップシート」という.）は，Microsoft(R) Excel を用いて国や地方公共団体が保有する帳票形式のデータに，座標値を付加して地図上で見えるようにし，業務の効率化，高度化を図ることを目的として開発したものである.

マップシートは，2011 年度から，電子国土基本図等の利用促進のために開発したものが最初であり，現在も国や地方公共団体等の要望に応じて改良を続けている.

本報告では，マップシートの主な機能とその要素技術について紹介する.

1. はじめに

国や地方公共団体等は，多くの帳票データを保有している．帳票データを地図とリンクさせることで効果的な意思決定が可能になるとことが期待できるため，GIS 等に関する高度な知識やアプリケーションを持たない国や地方公共団体等の職員が自ら簡単に地図上へ情報表示するための手法について検討することが重要である.

そこで，国や地方公共団体等において帳票の作成・管理に最も利用されていると考えられる Excel 形式の帳票データを，簡単に電子国土 Web の地図上に表示するためのツールを検討した（図-1）．Excel にはデータに対して複雑な自動処理を実行させるための Basic 言語を基にしたマクロ機能が備わっている．このマクロ機能を利用して電子国土 Web 用入出力機能を実装することで，国や地方公共団体の職員が簡単に帳票データから，電子国土 Web の地図上に情報を表示することができると考えた.

しかし実装に当たっては，マクロ機能だけで全ての機能を実現することは難しい．そのため，インターネット環境を利用して機能を補完し，利用環境の制約から高度なプログラム開発をするなど，様々な課題に対し解決を試みた．以降，この課題と解決手法について説明する.

2. Web API の利用

マップシートでは，マクロ機能では実現できない機能をインターネット経由で公開されている Web API を利用することで，機能開発すべきコードを削減しつつ，高度な利用を可能とした.

Web API とは，インターネット経由で，HTTP プロトコルを介してプログラム間の機能を利用するためのインタフェースであり，Web ブラウザと Web サーバの通信を，プログラム間のデータのやり取りに利用するというものである（図-2）．従来から SOAP といった XML ベースの規格が存在するが，SOAP は厳密に規格化されている反面，Ajax 技術のような DOM や JavaScript などの HTML 技術を利用した即興的アプリケーションの場合，煩雑で馴染みにくいという欠点があった．近年，HTTP 通信の URL や要求／応答本文を利用して簡単にデータのやり取りを

図-1 マップシートの利用例

This document is provided by JAXA.

行う REST と呼ばれる Web API が台頭しており，Google Maps API など多くのインターネットサービスで利用されている．

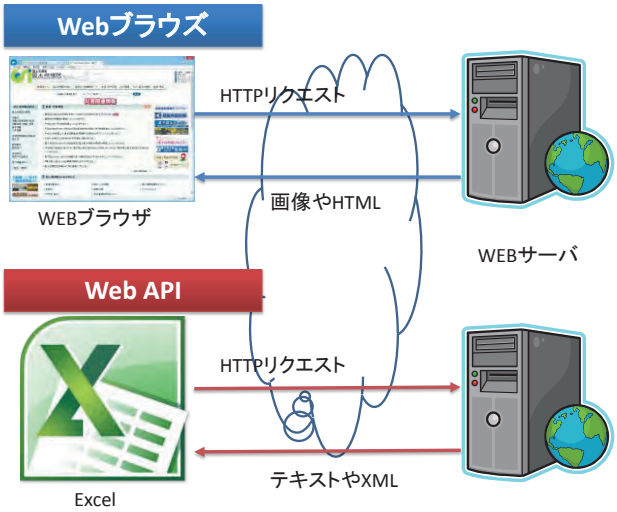


図-2 Web ブラウズと Web API

マップシートのマクロについても，SOAP のような複雑な通信を実装するのは効率的でないが，REST の Web API を利用すれば，データの送受信部分は非常にシンプルなコードで実装できる（図-3）．

```
① Set oXmlHttp = CreateObject("MSXML2.XMLHTTP")
② oXmlHttp.Open "GET", "http://〇〇/webapi.aspx?a=x&b=y", False
③ oXmlHttp.Send
④ strResData = oXmlHttp.responseText
```

① HTTP通信を制御するオブジェクトを作成
② メソッドを選んで、Web APIのURLを記述
　この場合クエリ文字列でパラメータを指定している。
③ HTTP要求を送信
④ HTTP応答を受信

図-3 Web API 通信のコード例

2.1 住所→緯度経度

国や地方公共団体等が保有する台帳において，位置を特定するための情報として住所がある．住所があればその情報の位置座標を推測し，地図上に表示することができる．

住所文字列から位置座標を算出する仕組みはジオコーディングといわれる．マップシートのマクロプログラミングで，住所と緯度経度を対応付けるためのデータベースを持つのは現実的ではないため，ジオコーディングの算出機能は Web API を使うこととした．

ジオコーディングの Web API は既に研究・公開が進んでおり，Google Maps API，Yahoo! API などの民間企業によるサービスや，東京大学空間情報科学研究センター（CSIS）のもの等がある．利用するジオコーディングの選定では，API 提供者と協議の結果，利用条件を鑑みて CSIS のものを採用した．

CSIS のジオコーディングは，「電子国土基本図（地名情報）」の住居表示住所や国土交通省国土政策局国土情報課が整備・提供している「街区レベル位置参照情報」を基にしており，住居表示実施地域外で地番を利用している地域においては位置精度が問題になることが多い．図-4 は、住居表示実施地域外における位置がどれだけずれるかを示したもので、〇が正しい地番で、×がジオコーディングで得られた位置である．マップシートでこの課題をクリアすることは不可能であり，位置がずれている場合には，出力した KML を電子国土 Web で表示させて正しい位置に編集する必要がある．

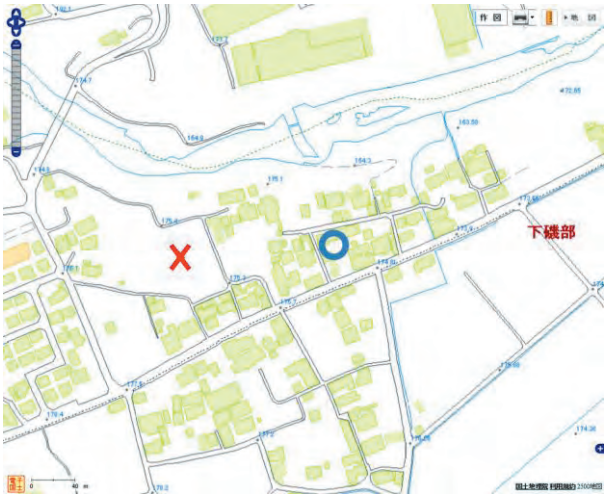


図-4 住居表示実施地域外での精度の例
〇：　正しい地番
×：　ジオコーディングで得られた位置

2.2 Web API の開発

マップシートが Web API を利用し高度な機能を実装したことで，改めてインターネットを通じた API の提供が地理空間情報の利活用促進に重要な技術であることが確認できた．

例えば，日本測地系に準拠した緯度経度を世界測地系の緯度経度へ換算するため，国土地理院でも「TKY2JGD」というプログラムの配布や WEB サイトでの変換ツールが公開されている．しかし，これらは専用のプログラムまたはサイトにて提供されているのみで，マップシートに組み込むことが難しい．

そこで平成 24 年度に，TKY2JGD を含む測地計算サイトの改良と合わせて様々な測地計算プログラムの Web API 化を行った．これにより簡単に取り込む

This document is provided by JAXA.

ことができるようになったため，マップシートへの実装を行った．

このように複雑な計算や大量のデータ処理が必要なものは Web API 化することで，ユーザーが使い易いと考えるアプリケーションにおいて，複雑な処理を低コストで利用できるようになる．

3. 位置情報付写真画像用プログラムの独自開発

近年では，GPS 機能付携帯電話等が普及し，付属するカメラで写真を撮ると，撮影地点の緯度経度や高度などの撮影情報が Exif と呼ばれる形式で写真画像に格納される．こういった位置情報付写真画像は，災害時に被災状況とその位置の報告や，公共物の現場管理などに利用されている．

マップシートでは，位置情報付写真画像に格納されている位置情報を取得するとともに，撮影時間，高度，撮影方角などを属性として取り込むことで，簡単に地図上にそれらの情報を展開できるようにした．

これにより，現場の被災状況などを地図上に簡単に集約することができるようになる．

位置情報付写真画像では，GPS 機能により取得される緯度経度や撮影情報などを格納する Exif 情報はバイナリ形式であり，JPEG 画像のヘッダに埋め込む形で構成される．社団法人電子情報技術産業協会（JEITA）の規格（Exchangeable image file format for digital still cameras: Exif Version 2.3）があるにも関わらず，カメラや携帯電話の種類によってそれぞれ格納書式に違いがある．そのため，情報の取得機能について検討した．

最初にジオコーディングと同様に Web API を利用し，機能をオフロードすることについて検討した．しかし Exif 情報を取得するために容量の大きな画像ファイルをインターネット経由で送信することは現実的ではないこと，また Exif 情報を取得するための Web API は現在のところ存在していないため別途作成する必要があり，採用しないと判断した．また国・地方公共団体等が利用するにあたっては，Exif 情報に含まれる不必要な情報をインターネット側に送信したくないという考え方もある．

次に，数多くある Exif 情報取得プログラムを別途インストールしてもらい，それと連携する方法を検討した．しかしユーザーにインストール作業など実行環境を整えるための負担が必要となる．

またダイナミックライブラリーのようなファイルをマップシートと一緒に添付することも検討したが，マップシートのデータの受け渡しなどを想定すると，Excel ファイル単体での機動性を確保したいと考えた．

以上のことから，Exif 情報を取得するコードをマクロで独自に作成することが望ましいと考え，緯度経度のほか，高度，撮影方角，撮影時間程度の基本的な情報のみを抜き出すプログラムを作成した．また Exif 情報の格納書式の違いについては，JEITA の規格を基に，実際の現場からの要望のあった各機器から出力された画像のバイナリデータを調査し，取り込めるようにした．

例えば，規格では海抜下高度は，負数ではなく，海抜下であるフラグを別に付して，絶対値で格納することになっているが，2 の補数で格納してしまっている場合があった（図-5）．このような規格外の例を全てバイナリエディタで確認し，例外処理を行うコードを実装した．

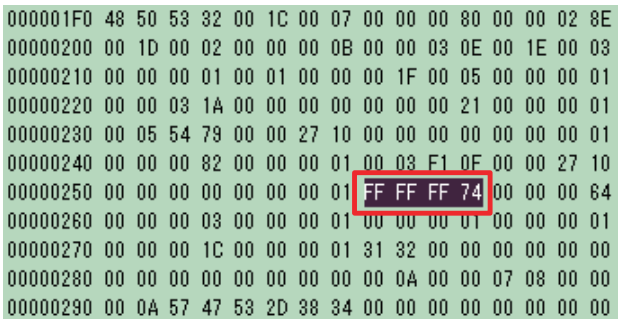


図-5 Exif データのバイナリダンプ
高度情報が 2 の補数で格納されている規格外の例

4. 電子国土 XML／KML ファイルの入出力

マップシートは，Excel と電子国土 Web の仲立ちをする入出力ファイルとして，電子国土 XML／KML ファイルを採用している．

マップシートで電子国土 XML／KML を扱う際の技術的事項等を紹介する．

4.1 電子国土 XML／KML ファイルの変遷

マップシートの開発が始まった 2011 年 9 月時点では，電子国土 Web システム Ver.2 が主力として提供され，重ね合わせデータの入出力には地理情報標準に準拠した電子国土 XML が利用されていた．マップシートは，この電子国土 XML に合わせてデータ格納のセルの配置等が設計され，現在もこの設計をベースとしている．しかし，この入出力仕様については，半年ごとに電子国土 Web 側の入出力の形式が変更されたことから，その度，マップシート側も合わせて改良を行った．

2012 年 7 月に Google Maps など多くの Web 地図で事実上の標準として採用されている固定ピクセル版タイルで背景地図等を配信する「電子国土 Web.NEXT」が公開され，合わせて入出力に KML が採用された．KML と電子国土 XML では，その格納できる情報の内容やデータ構造が違うが，この時

This document is provided by JAXA.

点の電子国土 KML は，電子国土 XML ファイルの描画仕様や属性の情報を，KML の拡張要素（ExtendedData 要素）に格納して利用するなど電子国土 XML との相互運用性を重視して設計された．この時点のマップシートも，この拡張要素に格納された電子国土 XML の情報を利用した．

2013 年 2 月には，拡張要素が廃止され，描画仕様や属性の情報は KML のそれを利用するようになった．この時に電子国土 XML ベースで設計されたマップシートと格納情報に差異が発生したが，電子国土 XML の内容に KML の内容をマッピング，変換することで極力情報が保持されるよう工夫した．例えば，アイコンのサイズについて電子国土 Web では，ピクセル単位で指定するが，KML では元のアイコンサイズの比率で指定する．そこで電子国土 Web に登録されているアイコンサイズ 20 ピクセルを基準に，比率が 1 のときは 20 ピクセル，0.5 のときは 10 ピクセルと換算して情報を格納するようにした．

更に 2013 年 4 月には，大容量の重ね合わせ情報を扱うための Flash 技術を利用した「電子国土 Web.NEXT+」が公開されたが，採用された KML は，電子国土 KML と仕様が異なり，マップシートも Flash 版電子国土 KML 専用の入出力を別に実装した．

このような経緯から現在のマップシートは，電子国土 XML，電子国土 KML，Flash 版電子国土 KML の３つの入出力機能を持っている．

なお，2013 年 7 月に Web 地図やデスクトップ GIS を含めた幅広いアプリケーションで地理空間情報を共有するための KML ウェブ地図プロファイル（KMP）が公開されており．マップシートも KMP に対応できるように修正中である．

マップシート開発当初は電子国土 XML のみであったため，電子国土 Web 専用のツールという側面が強かった．KML を採用したマップシートは，電子国土 Web 以外のアプリケーションとの連携も可能になっており，より独立したツールとしての利用価値が高まると考えられる．

4.2 属性情報の格納

電子国土 XML の属性情報は，属性項目とその属性内容が地物毎に格納された表形式で定義されている．そのため単表構造である Excel をベースにしたマップシートは，属性情報を表としてそのままマッピングすることができた．この属性情報は電子国土 Web においてそのまま表形式でポップアップ表示された．

KML について GIS や Web マップシステムでは，description 要素に記述された内容をポップアップ表示するが，この description 要素は，内容を HTML 構文として記述するだけで明確な表形式の定義がない．

そこで電子国土 Web を開発している情報普及課と技術協力しつつ，表形式の情報を保持するために HTML の table 要素を利用し，電子国土 Web とマップシートが表形式の属性情報を保持できるように明確に定義した．これによりマップシートは，予め電子国土 Web で定義された table 要素のみを属性情報として表形式に展開できるようになった（図-6）．

```
<description>
<![CDATA[
  <table>
    <tr><td>住所</td><td>茨城県つくば市北郷1</td></tr>
    <tr><td>電話番号</td><td>029-864-1111</td></tr>
  </table>
]]>
</description>
```

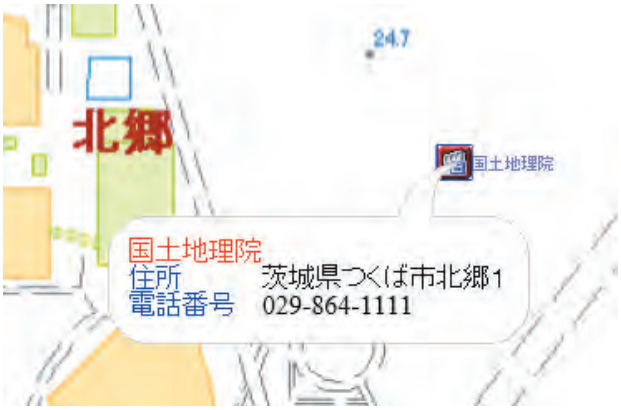


図-6 属性情報の表示
table 要素の記述例（上）
ポップアップ表示例（下）

しかし，この定義と少しでも違う table 要素で記述されてしまうと，マップシートでは表形式に展開できなくなってしまうという問題は残る．マップシートでは，所定の書式を保たない description 要素の内容は，セルに HTML 文書そのままに格納することとした．

5. 点以外の形状の取り扱いについて

5.1 線，面

マップシート開発の初期段階においては，Excel で扱える構造が単表構造に限られるという制約から点データ編集作業のみを想定していた．その後，線，面（円）などの座標点列から構成される形状のデータについても形状編集は不可能ながらも隠しセルに情報を格納しておくことで，取り扱うことができるようにした．

こうしたことからマップシートの主な目的は，属性の編集であり，点の位置や，線，面形状のデータについては，電子国土 Web 等で行う設計としている．

This document is provided by JAXA.

5.2 点＋文字列

国や地方公共団体においてはアイコンの横に文字列を表示する機能に対する要望が多い．

しかし，電子国土 Web システム Ver.2 においては点と文字列は独立したデータとして扱われ，アイコンの横に文字列を表示することはできない．そのため，以下のような方法によって対応した．

まず描画制御として，文字列の描画要素<mode>に，”LC”（文字列の左中心を表示起点とする）を設定し，その起点の右側に文字列が表示されるようにし，アイコンは，起点を中心に表示するようにした．そのままではアイコンと文字列の左部分が重なってしまうため，1 文字分の全角空白を入れることで，アイコンと文字列の重なりが無いようにした（図-7）．

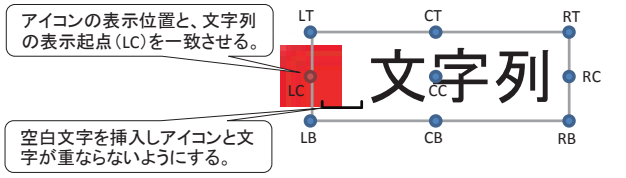


図-7 アイコンと文字列の表示制御（上）と表示例（下）

さらに描画制御した点と文字列をセットで 1 レコードとして扱えるように改良した．具体的には，点と文字列がペアであることを示すフラグを付けて，電子国土 Web で点と文字列の 2 つに分解されてもマップシートで読み込んだときに再結合できるようにした．

6. まとめ

マップシートを利用することにより，国や地方公共団体等の職員が自身で簡単に手持ちの帳票データを地図上で表示することができる．また，ジオコーディング機能を利用することで，住所情報から座標値を取得することができるようになり，これまで地図と簡単にリンクできなかった情報資産の利活用促進が期待できる．更に，位置座標付き写真画像の取り込みも可能であることから，災害時において被災状況を正確かつ迅速に把握できるなどリアルタイム性の高い活用も可能である．

しかし，マップシート自体は，それら機能を内包しているわけではなく，Web APIなどを通して様々な機能を利用している統合ユーザーインタフェースである．今後，国や地方公共団体における電子国土Webを利用した業務のより一層の効率化，高度化を促進するため，マップシートの改良だけでなく，ジオコーディング機能の充実など，ニーズに合わせた機能の拡充・改良が重要である．

（公開日：平成 25 年 9 月 30 日）

参 考 文 献

Japan Electronics and Information Technology Industries Association (2010): “Exchangeable image file format for digital still cameras: Exif Version 2.3”, http://home.jeita.or.jp/tsc/std-pdf/CP3451C.pdf (accessed 1 Aug. 2013).

東京大学空間情報科学研究センター: CSIS シンプルジオコーディング実験, http://newspat.csis.u-tokyo.ac.jp/geocode/modules/geocode/index.php?content_id=1 (accessed 1 Aug. 2013).

This document is provided by JAXA.

面積調でみる東京湾の埋め立ての変遷と埋立地の問題点
Transition of Land Reclamation Area along Tokyo Bay Side using Land Area Survey by GSI and Problem of Land Reclamation area

地理地殻活動研究センター　小荒井衛・中埜貴元
Geography and Crustal Dynamics Research Center
Mamoru KOARAI and Takayuki NAKANO

要　旨

東京湾は遠浅の内湾であり，江戸時代以降の後背地の人口増加に伴って，様々な利活用が進められてきた．内湾の利活用の形態の一つに，埋め立てによる新たな土地の創出があり，江戸時代の初期から埋め立てが行われてきている．東京湾の埋立地の変遷の総括的なレビューが東京都の範囲のみでしか行われていないため，神奈川県や千葉県も含めた東京湾全域について，1965（昭和 40）年以降の毎年の市区町村別埋め立て面積を国土地理院の資料から集計し，その変遷の地理的な特質について整理を行った．その結果，地域によって埋め立ての推進される時期や埋立地の土地利用に違いがあることがわかり，それは時の経済情勢や政策，市民の感性などに応じた利用ニーズの変化に対応した結果と推察された. また，自然環境の喪失，地盤沈下，液状化，地層汚染の視点から，埋立地の持つ問題点について整理した．

1. はじめに

埋立地とは，廃棄物や浚渫土砂，建設残土などを大量に積み上げることによって人工的に造成された土地のことである．湾や湖などの水面に投入することによって陸地を新しく造成する場合と，低湿地，窪地，山間地などの内陸地に盛土して平らな土地を造成する場合とがある．別な視点では，利用しやすい新たな土地を得ることを主目的に行われる場合と，廃棄物を片付けるために行われる場合（廃棄物処理場）とに大別される．後者では盛土の間に廃棄物を挟むため, 造成後の土地利用に制約が大きい. 一方，水面を平らな陸地に変える水面埋立地は，陸続きに水面を埋め立てていき陸地にするものと，沖合に新たに島を作るものとの二種類に大別される．

埋立地は古くより造成されてきたが，その多くは港湾を形成・整備することが目的であった．小規模なものは古代より行われてきたが，大規模なものは江戸期から増加し，東京湾では 1592 年（文禄元年）の日比谷入り江が最初とされている．一方，人工島造成は遙かに大規模な事業となるため，確認されているものは時代がかなり下ってからになる．平清盛による経が島築島が最初とされ，以降，長崎の出島や東京湾の台場などがある． しかし，本格化したのはやはり高度成長期であり，各地の臨海工業地帯で埋め立て造成が進み，代表的なものとしては，大阪南港，川崎の東扇島，長崎空港，神戸のポートアイランド・六甲アイランド・神戸空港, 関西国際空港, 横浜八景島，和歌山マリーナシティ，中部セントレア空港などがある. 埋立地の総面積は国土の約 0.5％に相当する．

東京湾は遠浅の内湾であり，江戸時代以降の後背地の人口増加に伴って，様々な利活用が進められてきた．内湾の利活用の形態の一つに，埋め立てによる新たな土地の創出があり，江戸時代の初期から埋め立てが行われてきている．現在の東京湾の埋立地の利用状況を見ると，コンビナートなどの重工業地帯，住宅団地，テーマパーク・海浜公園・ホテルなどの大都市リゾート，港湾などの物流施設，空港などの交通施設，お台場などの商業務用地など，様々な形の土地利用が図られている．

東京都臨海域における埋立造成地の歴史については，遠藤（2004）が総括的なレビューとして，江戸時代初期から現在（2002 年）までの変遷をまとめている. しかし, その範囲は東京都の範囲のみであり，第二次世界大戦後の埋め立てについては，1946 年から 1970 年までと 1971 年から 2002 年までの 2 時期に区分して議論している．また，埋め立て面積の変遷などの定量的な変化については議論していない．そこで筆者らは，神奈川県や千葉県も含めた東京湾全域について，1965（昭和 40）年以降の毎年の市区町村別埋め立て面積を国土地理院の資料から集計し，その変遷の地理的な特質について整理を行った．

なお本論は，東京湾の埋め立てと東京周辺の丘陵部の大規模盛土造成宅地の変遷をまとめた論文（熊木ほか，2013）のうち，東京湾の埋め立てについての地域ごとの埋め立て時期の違いによる埋め立て面積や土地利用の違いや埋立地の問題点について，筆者らが新たに考察して書き下ろしたものである．

2. 使用データ

国土地理院は, 毎年 10 月 1 日現在の市区町村別の面積を公表している（国土地理院技術資料 E2 全国都道府県市区町村別面積調べ及びこれに関連する報告書：http://www.gsi.go.jp/REPORT/TECHNICAL/gsir

This document is provided by JAXA.

yo3.htm#menseki）（以下「面積調」という）．公有水面が埋め立てられ，新しい陸地として官報または県公報に告示されると，市区町村の面積が増加する．「面積調」のデータでは，埋め立てによる面積増加分と行政界の変更に伴う面積変化分が分離されており，1955 年から 1965 年までの間に陸地となった埋立地の面積と，1965 年以降毎年新たに陸地として認定された 0.01km^2 以上の埋立地の面積を知ることができる．なお，このデータの「埋立地」には干拓地も含まれるが，1955 年以降の東京湾岸では新たな農地干拓は行われていない．

ここでは，東は房総半島の富津岬から西は三浦半島の観音崎までの東京湾岸全体を扱い，市町村および東京都の特別区単位で 1965 年から 2012 年までの上記のデータを集計・分析した．対象地域の市区は，東側から，千葉県富津市，君津市，木更津市，袖ヶ浦市，市原市，千葉市，習志野市，船橋市，市川市，浦安市，東京都江戸川区，江東区，中央区，港区，品川区，大田区，神奈川県川崎市，横浜市，横須賀市となる（図-1）．両端の富津市と横須賀市については，東京湾岸以外の地域（富津市については富津岬以南の海岸線，横須賀市については観音崎以南の海岸線と相模湾側の海岸線）が含まれるが，元データが市区町村より細かい単元に細分できないため，今回の集計値には東京湾岸以外の埋め立て面積も含まれている場合があることに留意する必要がある．

「面積調」のデータは定量的ではあるが，埋立地の詳しい空間分布や形状は十分にわからない．そこで，これらを把握するために，国土地理院発行の新旧の 20 万分の 1 地勢図（戦前は帝国図）も用いた．使用した図葉と図の修正年は，「千葉」図葉は 1921 年鉄道補入，1959 年修正，1974 年修正，1992 年要部修正，2010 年修正，「東京」図葉は 1921 年鉄道補入，1959 年修正，1975 年修正，1991 年要部修正，2005 年要部修正である．ただし，これらの地図の場合は，法的に陸地と認められる以前でも実態として陸地であれば陸地として表示されるという点で「面積調」とは異なること，また，1 図葉の中でも測量調査時点には多少の時間差があることに留意が必要である．

3. 地域ごとの各年の埋め立て面積量の特徴－市町村面積調のデータから

集計した結果を表-1 にまとめた．また，各市区の埋め立て面積を，5 年ごとの年代に区分して棒グラフで表示したものを図-2 に示す．市区別に見ると，埋め立て面積が最も大きいのは横浜市，次いで千葉市であり，いずれも 30km^2 を越えている．3 番目は市原市で約 20km^2 弱である．次いで，10km^2 を越えているのは，江東区，大田区，川崎市，袖ヶ浦市，浦安市の順である．以下に，約 40 年間の市区別の埋め立て面積の推移を，都県別に特徴をまとめた結果を紹介する．

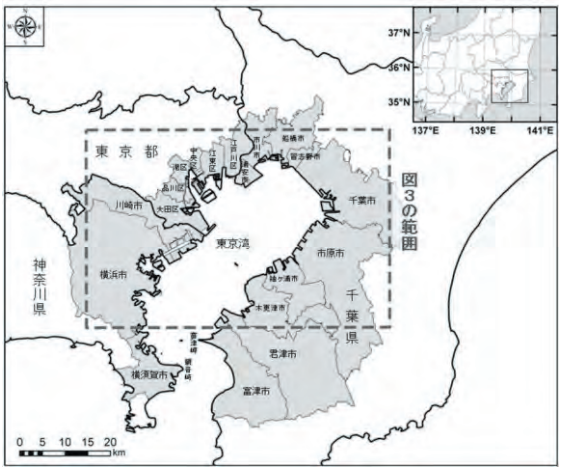


図-1　研究対象地域．
図中の灰色の市区は，表-1 及び図-2 の埋立面積変遷の対象市区．

3.1 東京都

江東区については多くの年で埋め立てが見られるが，それ以外の区は埋め立てが無い年が多い．中央区は 1965（昭和 40）年に 0.38km^2，港区は 1967（昭和 42）年に 0.38km^2，1983（昭和 58）年に 0.51km^2，品川区は 1967（昭和 42）年に 0.40km^2，1979（昭和 54）年に 4.30km^2，1982（昭和 57）年に 0.13km^2，1983（昭和 58）年に 0.24km^2 の埋め立てがある．大田区については，1968 年（昭和 43）年，1969（昭和 44）年，1973（昭和 48）年，1975（昭和 50）年，1979（昭和 54）年から 1981（昭和 56）年，1985（昭和 60）年から 1987（昭和 62）年に 0.2 km^2 以上の埋め立てがある．江戸川区は 1965～1974 年（昭和 40 年代）には埋め立ては全く無く，1982（昭和 57）年から 1984（昭和 59）年に約 0.9 から約 1.4 km^2 規模の，昭和 62 年に 0.59km^2 の埋め立てがある．

東京都全体では，埋め立てが多く行われた時期は 1965～1970（昭和 40～45）年，1973～1976（昭和 48～51）年，1979～1983（昭和 54～58）年，1985～1987（昭和 60～62）年である．この内，江東区はほぼ全体の時期に，大田区と江戸川区は 1975（昭和 50）年以降に面積の大きな埋め立てが行われている．

1989（平成元）年以降では，大田区の 1993（平成 5）年に 3.17km^2 という突出した埋め立てが見られる．これは，現在の羽田空港第 1 ターミナル及びその滑走路の開業に伴う埋め立てである．その他は大田区 1989（平成元）年の 0.34km^2 が最大で，埋め立てがあった年でも全体に小規模となっている．

This document is provided by JAXA.

表-1　東京湾の市区別埋め立て面積（km^2）

和暦→	S40	S41	S42	S43	S44	S45	S46	S47	S48	S49	S50	S51	S52	S53	S54	S55	S56	S57	S58	S59	S60	S61	S62	S63
西暦→	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
富津市	0.05	0.01	0.18	–	0.04	–	0.04	0.00	–	0.02	0.02	–	–	–	–	0.01	–	1.65	0.02	–	3.93	–	0.00	–
君津市	0.04	–	–	–	0.48	–	–	6.19	–	–	0.94	0.03	0.21	0.08	0.04	0.16	–	0.64	–	–	–	–	–	–
木更津市	0.14	0.06	0.05	0.44	0.00	–	–	0.11	0.05	0.00	3.83	0.02	0.01	–	0.84	0.01	–	–	–	–	–	–	–	–
袖ヶ浦市	2.57	–	0.01	0.00	2.26	0.00	–	1.25	2.64	0.81	0.15	0.45	–	2.04	–	–	–	–	–	–	–	0.00	–	–
市原市	4.22	10.15	–	2.50	1.96	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.08	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
千葉市	4.66	–	4.34	0.01	0.25	0.01	1.07	5.00	–	2.02	3.11	1.19	0.43	0.57	0.26	6.51	–	0.24	0.01	–	0.14	–	0.37	–
習志野市	–	–	0.94	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.54	5.03	–	0.01	–	–	–	–	–	–	–	–
船橋市	2.66	0.02	0.01	–	–	–	0.00	–	0.18	0.00	2.41	–	0.57	–	–	–	0.05	0.01	0.03	0.01	0.06	–	–	0.04
市川市	1.60	–	0.40	0.22	0.01	–	0.00	0.01	0.53	0.96	0.46	0.22	–	–	–	0.37	–	–	–	–	0.08	–	–	–
浦安市	–	–	–	0.00	–	–	0.00	1.88	–	–	–	2.69	–	–	2.43	2.89	0.32	–	–	–	–	–	–	–
江戸川区	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.96	1.37	0.87	–	–	0.59	–
江東区	1.60	0.37	0.52	0.50	0.11	0.18	–	–	1.35	0.54	0.81	0.11	0.00	–	2.79	1.76	–	0.20	1.75	0.01	–	0.24	0.12	–
中央区	0.38	–	0.02	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
港区	0.09	–	0.38	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.51	–	–	–	0.03	0.03
品川区	0.02	–	0.40	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4.30	–	–	0.13	0.24	–	–	–	–	–
大田区	–	–	–	1.79	0.68	–	–	–	0.50	–	0.71	–	–	–	1.72	0.26	0.43	0.01	–	–	0.78	1.60	1.34	0.01
川崎市	4.96	–	–	0.00	–	–	–	–	–	0.47	4.58	–	–	–	0.92	–	0.05	–	0.42	–	–	–	–	0.01
横浜市	7.34	0.29	0.01	3.67	4.32	0.34	1.70	0.04	0.01	0.40	1.66	0.56	4.37	0.08	0.24	0.01	2.36	0.82	0.01	0.53	0.33	0.04	0.77	–
横須賀市	0.40	0.29	0.01	0.06	0.06	0.73	0.01	0.70	0.20	0.02	0.16	–	0.00	0.11	–	0.01	0.01	0.31	0.02	0.01	0.00	–	0.02	0.01

和暦→	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
西暦→	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
富津市	0.00	0.01	–	–	0.00	0.06	0.02	–	–	–	0.16	–	0.03	0.01	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
君津市	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.00	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.00	–
木更津市	–	–	–	–	0.01	–	–	0.01	–	–	–	–	0.03	–	0.02	0.03	–	–	0.02	–	0.00	–	–	–
袖ヶ浦市	–	0.00	–	–	0.00	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
市原市	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
千葉市	–	–	–	–	0.03	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
習志野市	0.00	–	–	0.00	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
船橋市	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.01	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
市川市	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
浦安市	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
江戸川区	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
江東区	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.04	–	–	0.20	–	–	–	0.04	0.00	0.01	0.31	0.14	–	–	–	0.05	–
中央区	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.00	–	–	–	–	–	–	–	0.02	0.01	–	–	–	–
港区	0.04	0.01	0.02	–	–	–	–	0.03	–	0.00	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
品川区	–	0.02	–	–	0.00	–	–	–	–	–	–	0.03	–	–	0.00	–	–	–	–	–	–	–	–	–
大田区	0.34	0.00	–	0.00	3.17	–	–	0.00	–	–	–	–	–	–	–	–	0.00	–	–	–	–	–	–	–
川崎市	0.04	0.47	0.09	0.15	0.07	0.00	0.02	0.30	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
横浜市	0.45	0.33	0.31	0.00	0.01	0.02	0.26	0.11	0.06	0.80	0.01	0.25	0.01	0.00	0.22	0.03	–	–	–	–	–	–	–	–
横須賀市	0.15	0.00	0.10	0.05	0.36	0.00	0.01	0.00	0.18	0.02	0.02	–	–	0.05	0.00	0.01	–	–	–	0.00	0.01	0.01	0.01	–

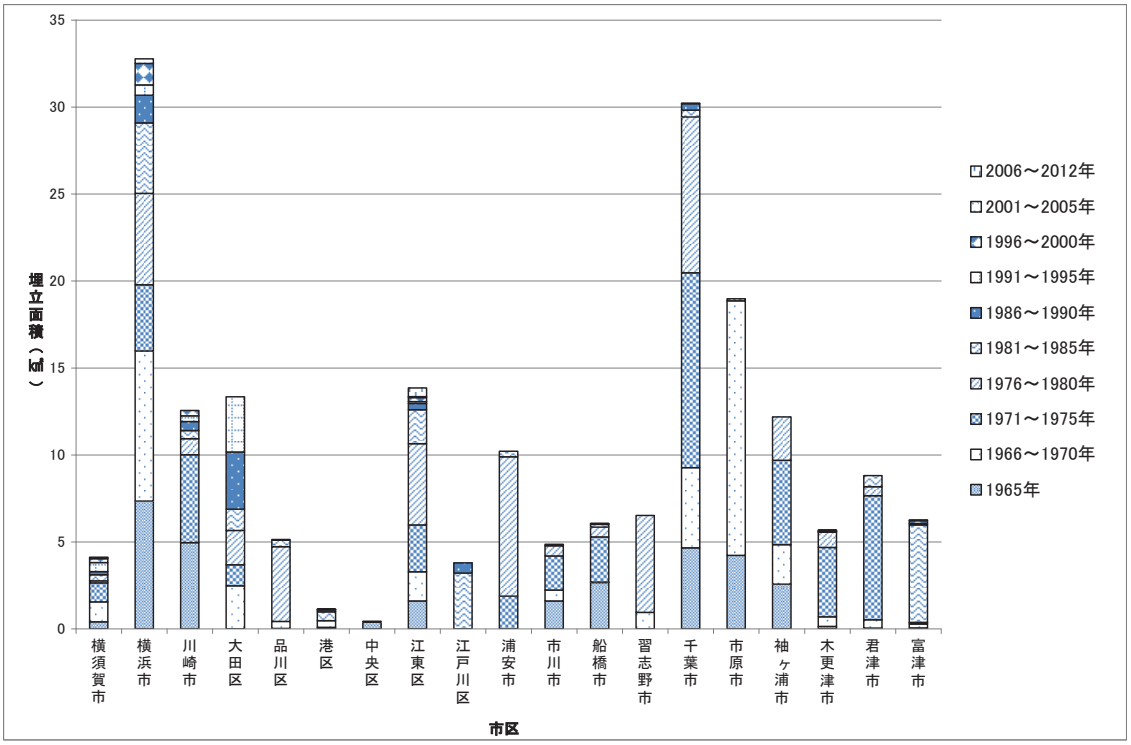


図-2　東京湾の 1965（昭和 40）年以降の市区別埋立面積（km^2）

This document is provided by JAXA.

3.2 神奈川県

川崎市では1965（昭和40）年の4.96km^2，1975（昭和50）年の4.58km^{2}など大きな埋め立てのある年もあるが，埋め立てが無い年も多い．一方，横浜市と横須賀市は小面積でも埋め立てのある年が多い．横浜市で1 km^{2}以上の埋め立てがあった年は，1965（昭和40）年の7.34km^2（磯子区と中区が中心），1968（昭和43）年の3.67km^2（中区が中心），1969（昭和44）年の4.32km^2（中区が中心），1971（昭和46）年の1.70km^2（金沢区が中心），1975（昭和50）年の1.66km^2（鶴見区が中心），1977（昭和52）年の4.37km^2（金沢区が中心），1981（昭和56）年の2.36km^2（金沢区が中心）である．全体的に1965～1974年（昭和40年代）の埋め立てが多い．1965～1969年（昭和40年代前半）は中区や磯子区などの横浜港の中心部での埋め立てが多いが，1970～1974年（昭和40年代後半）では横浜港の南側の金沢区での埋め立てが多くなってきている．八景島周辺の埋め立てである．横須賀市は1km^{2}を越える埋め立てはないが，0.5km^{2}を越える埋め立ては，1970（昭和45）年の0.73km^{2}と1972（昭和47）年の0.70km^{2}の2回である．神奈川県の東京湾岸については，1965～1980年（昭和40年代から50年代の前半）で埋め立てが進行したと言えるであろう．

1989（平成元）年度以降，川崎市では1996（平成8）年まで，横浜市では2004（平成16）年までしか埋め立ては見られないが，横須賀市では各年度の埋立面積は小さいものの，2011（平成23）年まで断続的に埋め立てが行われている．詳細に見ると，川崎市では1990（平成2）年に0.47km^2，1996（平成8）年に0.30km^2，横浜市では1989（平成元）年から1991（平成3）年にかけて0.45，0.33，0.31km^{2}の埋め立てが，1998（平成10）年に0.80km^{2}の埋め立てがある．横須賀市は，1989（平成元）年に0.15km^2，1993（平成5）年に0.36km^2，1997（平成9）年に0.18km^2，の埋め立てがある以外は，0.1km^{2}以下の埋め立てとなっている．

3.3 千葉県

千葉市より西側の東京湾北岸では，1km^{2}以上の埋め立てがあったのは，市川市で1965（昭和40）年の1.60km^2，船橋市で1965（昭和40）年の2.66km^2，1975（昭和50）年の2.41km^2，習志野市で1978（昭和53）年の5.03km^{2}と1965～1980年（昭和40年代から50年代前半）にかけてが多い．1985（昭和60）年以降にはほとんど埋め立てはない．例外は浦安市で，1965～1970年（昭和40年代前半）にはほとんど埋め立てが無く，1972（昭和47）年の1.88km^2，1976（昭和51）年の2.69km^2，1979（昭和54）年の2.43 km^2，1980（昭和55）年の2.89km^{2}と昭和50年代に入ってからの埋め立てが多い．ちなみに，東京ディズニーランド開園は1983（昭和58）年である．

千葉市については，1965～1975年（昭和40年代）は2～5 km^{2}の大きな面積の埋め立てが続いていたが，1980（昭和55）年の6.51km^{2}を最後に1km^{2}を越える埋め立ては無い．

千葉市よりも東側の東京湾東岸では，市原市で1965（昭和40）年に4.22km^2，1966（昭和41）年に10.15km^{2}と大きな埋め立てがあり，1976（昭和51）年以降には埋め立ては無い．他の市も同様の傾向にあり，袖ヶ浦市で1965（昭和40）年に2.57km^2，1969（昭和44）年に2.26km^2，1973（昭和48）年に2.64km^2，1978（昭和53）年に2.04km^2，木更津市で1975（昭和50）年に3.83km^2，君津市で1972（昭和47）年に6.19km^{2}の埋め立てとなっている．いずれも工業用地となっているエリアで，大規模な面積の埋め立てが特定の年に集中している特徴がある．富津市だけが1982（昭和57）年に1.65km^2，1985（昭和60）年に3.93km^{2}の埋め立てと，1980～1985年（昭和50年代後半）になって大規模な埋め立てが生じている．

1989（平成元）年以降は，全市で埋め立てはほとんどなく，0.1km^{2}以上の埋め立てがあったのは1999（平成11）年の富津市（0.16km^2）のみで，その他は富津市，木更津市などで0.06km^{2}以下の埋め立てが見られる程度である．

4. 各市区で埋め立てが進んだ時期の違いについて

東京湾岸の埋立地を土地利用別に見ていくと，地域の特徴が明確である．土地利用は地形図から読み取った．東の方から，君津市から市原市にかけては製鉄所，化学工場群，石油コンビナートなどの大規模工場地帯，千葉市の中央区は倉庫や工場などの物流地域，千葉市美浜区は稲毛，検見川などの住宅地と幕張の商業務用地区，習志野市から市川市の東部にかけては工場と倉庫の物流地域，市川市の西部から浦安，江戸川区にかけては，住宅地とレジャー施設（東京ディズニーランドとホテル群，葛西臨海公園など），江東区から港区にかけては倉庫群と商業務用地区，港区から大田区は倉庫群と物流拠点と航空施設，川崎市から横浜市の東部は製鉄所等の大規模工業地帯，横浜市中部は物流拠点や商業務用地区，横浜市南部から横須賀市北部はレジャー施設（八景島シーパラダイスなど），横須賀市中部は軍事施設である．

これらの土地利用の違いを，埋め立ての時期と照らし合わせると，非常に関連が深いことがわかる．東京湾における埋立地の分布と埋め立て時期について，図-3に示す．これと図-2と照らし合わせながら，ここ50年の埋め立ての歴史と埋立地の土地利用について概観する．

This document is provided by JAXA.

戦前から沿岸の開発が進められてきた東京都中央区，港区，軍港として発展してきた横須賀市は，ここ 50 年間の埋め立て面積は他の市区と比べて小さい．それ以外の市区について図-2 を見てみると，一つのエポックとなるのは 1975（昭和 50）年である．1975 年まで（昭和 40 年代）の埋立地は大規模工場地帯が多く，その後の埋め立ての増加は余り無い．具体的には，東から君津市，木更津市，袖ヶ浦市，市原市，船橋市，市川市，川崎市である．千葉市と横浜市は 1975 年までの埋め立て面積は約 20km^2 と大きいが，1976 年以降の埋め立て面積も約 10km^2 以上ある．ただし，これは 1975 年までの大規模工業地帯の埋立地の沖合に埋め立てを拡張するようなものではなく，商業務用地等の別な土地利用の場所に展開されるものであった．大規模工業地帯は，一般市民の海へのアクセス（パブリックアクセス）を遮断することになり，そのような場所ではその後の埋め立てによる新たな土地の創出は 1975 年以降には余り行われなかったことになる．

一方，図-2 を見ると，1976（昭和 51）以降の埋め立て面積が大きいのは，東から富津市，千葉市，習志野市，浦安市，江戸川区，江東区，品川区，大田区，横浜市である．このうち，前述した千葉市と横浜市以外では，江東区と大田区で以前からの埋め立てが 3～6km^2 程度行われていたが，他の市区では以前の埋め立て面積は小さい．これらの市区の埋立地の土地利用を見てみると，浦安やお台場のような住宅地，商業務用地，レジャー施設などでの埋立地が多いように見える．

しかし，その後の埋め立て面積は，いずれの市区でも小さくなってきている．千葉県では，富津市を除いて大きな面積の埋め立てがあるのは 1980（昭和 55）年までである．東京都でも，品川区で 1980（昭和 55）年まで，江東区，江戸川区で 1985（昭和 60）年まで大規模な埋め立てが行われていた．1986（昭和 61）年以降も大規模な埋め立てが続行していた市区は，大田区と横浜市である．大田区に関しては，羽田空港の拡張展開に伴う沖合埋め立ての影響と考えられる．

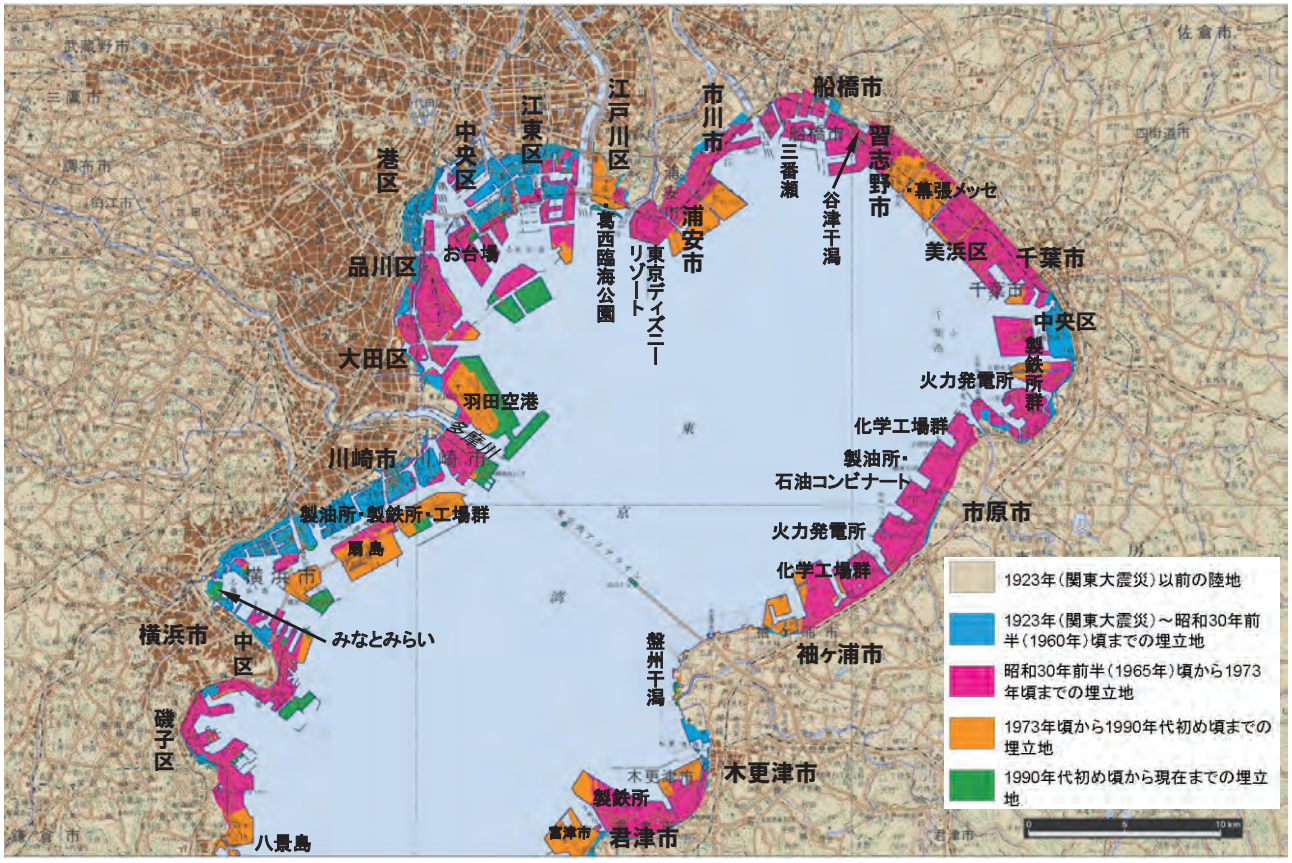


図-3　大正時代以降の地勢図でみた東京湾岸の埋立地の変遷
以下の 20 万分の 1 地勢図（帝国図）による．数字は修正等の年．
「千葉」：1921，1959，1974，1992，2010．
「東京」：1921，1959，1975，1991，2005．

This document is provided by JAXA.

1982（昭和 62）年に第四次全国総合開発計画が閣議決定したが，この計画の中で沿岸域の総合的な保全と利用の推進が謳われていた．ちょうどバブル経済の時期と重なっており，総合保養地域整備法（いわゆるリゾート法）（1987 年），頭脳立地法（1988 年），地方拠点法（1992 年），大阪湾臨海地域開発整備法（1992 年）と多くの地域開発法も新たに制定された．沿岸域については，生態系保全や水質浄化などの環境保全，海岸事業などの国土保全，漁業，マリンレジャー，埋め立てなどの様々な沿岸域利用が錯綜しており，これらの摩擦を解消して沿岸域の総合的利用に向けた取り組みが模索された時期でもある．この時期に沿岸域を対象にした学際的総合科学の学会である沿岸域学会も設立されている．この時期は，埋め立てのような沿岸環境を完全に破壊してしまうような不可逆的な開発ではなく，埋立地内の港湾や物流拠点の遊休地を再利用して，ショッピングモールのような市民が集まる大規模商業施設の展開や，人工海浜等の整備による一般市民が容易に海岸にアスセスして海辺に親しめるようなパブリックアクセスの確保といった視点で，様々な取り組みがなされていった時期でもある．そのため，それ以前のような大規模な埋め立てが減少したと考えられる．

平成の時代に入った 1991（平成 3）年以降は，横浜市を除いてほとんど埋め立ては行われていない状況である．その一方で，東京湾はもう開発の余地が無いほどに開発しつくされているという訳でもなく，豊かな自然も残されている．その代表的なものが，市川市と船橋市の境界付近の三番瀬や，木更津市の小櫃川河口部などである．また，葛西臨海公園では，人工的に渚を復元して，良好な自然環境の復元がなされている．お台場や検見川，稲毛などで埋立地の前面に人工海浜を造成し，地元市民の憩いの場として活用されている．

以上のように，東京湾の埋め立ては，時の経済情勢や政策の状況，市民の感性などに応じて様々な利用ニーズが表れ，それに対応した発達段階に応じて，各時代や地域の特質を踏まえて進んでいったことが理解できる．

5. 埋立地の特徴と問題点

前項までで述べたように，各時代背景の土地利用ニーズに応じて東京湾岸の埋め立てが進められてきたわけであるが，新たな土地の造成により形成されたという特性を持った埋立地には，浅海域の自然環境の喪失，地盤沈下や液状化を起こしやすい軟弱な地盤等の特有の問題点がある．以下，これらの諸問題について，大嶋（1990）などを参考にしながら述べる．

5.1 干潟・藻場・浅海域の消失

埋め立て自体が非可逆的な人工改変であり，それ自体が干潟や浅海域の消失を意味している．干潟や浅海域は海洋においてバイオマスの集中している地域であり，海洋生態系における生物生産，水産資源の再生産において重要な役割を果たしている．これを短期的な視野における経済的な利便性を目的に相当量消失させてしまうことは，海洋生態系や水産業に不可逆的な損失を与えることに繋がる．実際，日本の干潟の 8〜9 割は戦後高度経済成長期の工業用地確保などのために埋め立てられて消失しており，日本近海の水産資源減少のひとつの原因として指摘されている．

環境省（当時は環境庁）の自然環境保全基礎調査（緑の国勢調査）の結果から，東京湾の干潟等の変遷を見てみると，次のとおりである．第 4 回自然環境保全基礎調査（1993 年）の干潟・藻場・サンゴ礁調査では，第 2 回自然環境保全基礎調査（1983 年）との比較から，東京湾の現存干潟の面積が 1,640ha，消滅干潟の面積が 280ha と報告している（環境庁自然保護局・（財）海中公園センター，1994）．1980 年代後半からは，浅海域の環境の重要性が認識され，第 5 回自然環境保全基礎調査では，海辺調査として浅海域の分布等の把握がなされている．東京湾の浅海域（水深 10m 以下の海域）は 30,751ha，干潟は 1,733.5ha，藻場は 1,427.6ha ある（環境庁自然保護局,1998）．

市川市と船橋市沖の三番瀬（約 130ha）や，木更津市の小櫃川河口部の盤洲干潟（約 1,250ha）などが，人工改変が行われずに自然環境のまま残されている．また，周りが埋め立てられたがそこの部分だけが自然の干潟で残されたものとして谷津干潟（約 40ha）があるが，ここは野鳥の生息域として日本最初のラムサール条約登録湿地となっている．自然干潟としては，他に富津干潟（約 174ha）や多摩川河口部（約 95ha）などがある（面積のデータは，東京湾環境情報センターHP（http://www.tbeic.go.jp/kankyo/mizugiwa.asp）や国土交通省港湾局・環境省自然環境局，2004 による）．また，江戸川区沖の葛西臨海公園や横浜市金沢区の八景島などでは人工干潟が造成され，自然の豊かな干潟として保全されるとともに，市民が海と触れ合える憩いの場としても整備されている．

また，埋め立て用の土砂を確保するためにサンドポンプで沖合いの海底堆積物を吸い上げて利用することがしばしば行われるが，これにより海底に大きな穴が開き，そこに低酸素水が溜まって青潮の元凶になることがある（石川，2004）．

5.2 地盤沈下

地盤沈下とは地盤が沈む現象である．地盤沈下の

This document is provided by JAXA.

原因としては自然現象と人為的なものがあるが，広域の地盤沈下は，工業用水・農業用水・消雪用水・冷房用水等の地下水の涵養量を超える過剰な汲み揚げや，天然ガスの汲み上げ，鉱山の坑道掘削などが主な原因とされている．一方，局所の地盤沈下は，局所的な揚水や，元々水田（軟弱地盤）だった地域に建築物が構築されたような場合の，地耐力を超えて荷重が載荷された場合に，圧密沈下として発生する．また一度沈下すれば，ほとんど回復（地盤上昇）することはないことから，潜在的被害の発生が固定化されてしまうことも，問題を深刻化させている．

地盤沈下自体は埋立地のみに限定される現象ではないが，自然に形成された沖積層を含めた東京湾岸域に広域的に認められる現象のため，本論でも取り扱うことにする．

東京低地の地盤沈下の歴史と現状については，近藤（1980）が詳しい．日本において地盤沈下が最初に取り上げられたのは，関東大震災後に行われた水準測量であり，荒川放水路の周辺で広範囲にわたって沈下が確認された．第二次大戦末期には多くの工場が操業を休止したことに伴い，地下水位は回復し，地盤沈下の進行も収まった．戦後は再び沈下が進行し，その被害を抑えるため 1960 年代に地下水の揚水が規制された．

現在首都圏の地盤沈下の問題は緩和されたものの，積雪地域においては消雪のために地下水汲み揚げが必要となり，地盤沈下問題の解決が困難になっている．また，水溶性天然ガスの汲み上げによる地盤沈下も九十九里平野などで発生している．

東京都江東・墨田・江戸川，千葉県浦安・行徳（市川市）の広い一帯は，天然ガス開発および高度成長期の大量の地下水汲み上げの影響により大幅に地盤が沈下した．湾岸部では，ゼロメートル地帯化した地域もある．ゼロメートル地帯とは，海抜ゼロメートルよりも低い地域（平均潮位と同じ，もしくは更に低い標高の地域）のことであり，広域の地盤沈下により発生する．特に海岸や河川沿いなどの沖積低地に広く発生する．このためゼロメートル地帯では，地盤沈下とともに堤防の高さが水面に対して低くなり，水面と地盤標高の差が相対的に高くなる事により，高潮時の被害が大規模化する恐れがある．法令等の整備により沈下自体は小さくなったものの，現在でも広範なゼロメートル地帯に人口が密集しており，高潮や洪水，地震による堤防崩壊，津波などの災害が発生した場合の対策として，堤防のかさ上げや高規格堤防（スーパー堤防）の設置が国や自治体によって進められている．

場所によって沈下量の異なる地盤沈下を不同沈下もしくは不等沈下という．このような場合，建物が傾き，路面に凹凸や亀裂を生じ，住人にとって不便で不快な状況が出現する．杭基礎を用いた建物では，地盤沈下に関係のない支持層によって支えられており，周囲の地盤が沈下するが，支持層で支えられている建物は沈下しないため，周辺地盤より相対的に高い位置になる抜け上がりを起こす．抜け上がりは建物本体には異常は起こさないが，建物周辺に埋設してあるガス管や水道管等の埋設管は地盤沈下とともに沈下するため，元の位置を保つ建物と埋設管との接合部で破断が発生する．そのため建物が機能しなくなる恐れがあり，住人に多大な影響を及ぼす．これは，次に述べる液状化とも共通する問題点であり，埋立地において顕著な問題である．

5.3 液状化

埋立地は人工地盤の一種であり，長時間かけて形成された天然の陸地に比べると，急速に形成されたことにより土壌粒子の間隙が大きく保有水が多いため，地震による液状化現象が起きやすいとされている．液状化が生じるためには，強い地震動の他に，地層が水を多く含んでいること，ゆるく堆積した砂であることなどの条件が必要である．液状化により地盤を構成する粒子が浮遊して基礎力を保持しなくなるため，杭基礎の無い建物の沈下や傾き，杭基礎建物の相対的な抜け上がり（実際には地盤のほうが低下しており，建物の高さは液状化では変化していない），マンホールや下水管などの浮き上がり，地盤の側方流動などが発生し，特にライフライン系に甚大な被害をもたらし，市民生活に深刻な影響を及ぼす．

東京湾岸の埋立地で広域な液状化現状が発生した地震としては，1987 年千葉県東方沖地震と 2011 年東北地方太平洋沖地震の 2 つがあげられる．千葉県東方沖地震による東京湾岸の液状化分布については，古藤田・若松（1988），井合ほか（1988）などの報告がある．液状化被害の分布は，千葉市から市原市にかけての京葉工業地帯のコンビナート群や千葉市美浜区の検見川浜・稲毛海岸で顕著であり，浦安市では散在的な被害分布である．一方，東北地方太平洋沖地震による東京湾岸の液状化分布については，国土交通省関東地方整備局・地盤工学会（2011）や千葉県環境研究センター（2011）などの悉皆的な調査報告がある．これらの報告を見ると，千葉市から市原市にかけての京葉工業地帯のコンビナート群での液状化の報告は少なく，浦安市では埋立地のほぼ全域で液状化が発生している．このような違いはあるものの，筆者が両地震の現地調査をした浦安と検見川浜・稲毛海岸を比較した限りでは，震源から遠いものの，東北地方太平洋沖地震での液状化被害の方が千葉県東方沖地震での液状化被害よりも被害程度が大きい傾向にあった．これは，揺れの大きさだけ

This document is provided by JAXA.

でなく，揺れの継続時間が東北地方太平洋沖地震の方が長かったことや，揺れの強い余震が頻発したことなども影響していると考えられる．一般に，震度5 強以上の揺れがあった場合に，埋立地で液状化が発生するリスクがあるとみて良いであろう．

いずれの地震においても，埋立地の全域で液状化が均質に発生しているわけではなく，液状化被害の酷い地域や液状化現象が密集して発生しいている地域がある．Koarai and Nakayama（1993）や千葉県環境研究センター（2011）は，液状化が酷い地域が海岸線と直交する方向に帯状に分布していることを報告しており，Koarai and Nakayama（1993）や小荒井ほか（2011）は，その位置が沖積層の埋積谷の位置や埋め立て前の微地形（澪）の位置と一致していることを報告している．これらの場所がほかの場所と比べて揺れやすく，地下水位が高いことが影響していると考えられる．中埜ほか（2012）は 2 時期の航空レーザ測量データの差分から東北地方太平洋沖地震による液状化に伴う浦安市の面的な地盤沈下量分布を求めているが，沈下の激しい地域が樹枝形の帯状に分布している．この位置はボーリングデータから求めた工学的基盤の深い場所と一致している．

5.4 地層汚染

埋立地は震災瓦礫・廃棄物・底質・ヘドロ及び浚渫土砂等の不要物を用いて造成される事が多い．そのため，これらに含まれていた有害物質が溶出し，土壌汚染となる事例が幾つか発生している．これは土壌が汚染されたというより，汚染された土壌で土地を造成していた事自体が問題であるケースである．一方，海面埋立地では潮汐の干満により地下水へ外力が加わりやすいため，有害物質が地下水に湧出して移動することにより，周辺の汚染されていない土壌を二次汚染し，水質汚濁や底質汚染を引き起こしているケースも発生している（横山，2004）．

また，埋立地であること自体が原因ではないが，工場が多く立地していたため，操業時に漏洩した有害物質による土壌，地下水への汚染リスクが高い傾向がある．大規模事例としては，東京都築地市場移転候補地である豊洲の東京ガス工場跡地で高濃度の有害物質が検出された，土壌・地下水汚染があげられる（坂巻，2009）．その他にも小規模汚染が各所で確認または懸念されており，跡地利用・取引上の制約となっている．これを解消し，不動産価値を回復させる土壌浄化ビジネスが 1998 年頃から拡大している．

6. 具体的な個別の開発状況の変遷

迅速測図原図，旧版地形図，米軍写真，1960 年代から 1970 年代の空中写真，直近の地形図や空中写真などを活用して，個別の代表的地点について，具体的な変遷を追うことが可能である．ここでは，誰でもアクセス可能なインターネット情報を活用して，具体的なエリアでの開発状況の変遷を紹介する．主に使用するデータは，農業環境技術研究所の HP にある「歴史的農業環境閲覧システム」（http://habs.dc.affrc.go.jp/）で閲覧可能な迅速測図原図と国土地理院の HP にある「国土変遷アーカイブ」（http://archive.gsi.go.jp/airphoto/search.html）で閲覧できる過去の空中写真である．

6.1 横浜市金沢区八景島周辺

図-4 に金沢区八景島周辺の変遷を示す．明治 10 年代の迅速測図原図を見ると，砂州の前面に干潟の発達した砂浜海岸が延長し，その内側にはラグーン化した内湾が形成され，良好な生態系環境が存在したことが伺われる．1948 年の米軍写真では，内湾の出口は埋め立てられ，内湾自体も深く掘られると共に周辺が埋め立てられ，住宅地や工業用地に利用され，砂嘴を分断するように水路も作られており，様々な人為開発が行われている．1977 年の空中写真では，北側で新たな大規模埋め立てが行われると共に，既存の埋立地では工業的利用や港湾的利用が促進され，内湾の埋め立てもより進行している．また，海岸線を分断するように水路の北側で新たな埋め立ても行われている．1992 年の空中写真では，内陸の開発は一段落したようであり，海岸線の北部は新たに人工海浜が造成され，沖合の人工島部分のレジャーランドと合わせて，人が海と触れて憩う場として開発されている様子が伺われる．海岸線の南側も自然の状態で干潟が残されている様子が判読できる．

6.2 葛西・浦安・三番瀬周辺

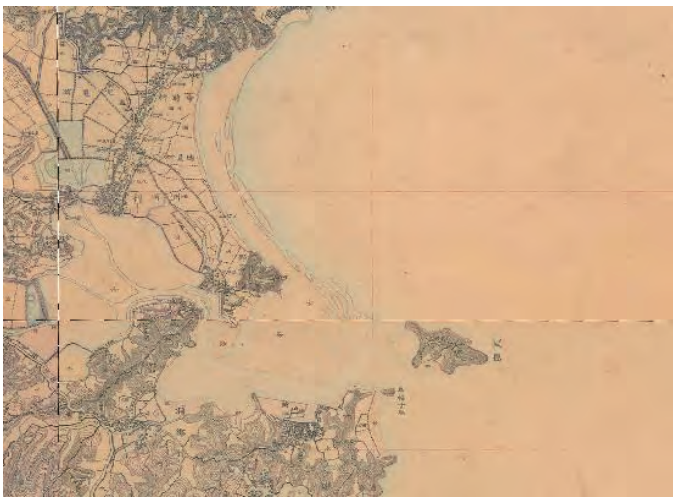
図-5 に葛西・浦安・三番瀬周辺の変遷を示す．明治 10 年代の迅速測図原図を見ると，江戸川区葛西から市川行徳にかけての沿岸部は，自然の干潟の状態が残され，後背地が塩田的な土地利用がされており，江戸川河口部には砂州が存在して，良好な生態系環境が存在したことが伺われる．1947 年の米軍写真でも，その状況は大きくは変わってないように思われる．1975 年の空中写真では，浦安市側での埋め立てがかなり行われてきているが，まだ開発途上であり，埋立地の土地利用は決まっていない．2001 年の空中写真では，ほぼ現状の土地利用が確認できるが，どちらかというと住居用地としての土地利用が主体で，舞浜のテーマパークやその周辺のホテル群などや，葛西臨海公園の人工渚など，アーバンリゾートやレジャー空間など，人々の憩いの場としての開発が進められている点は，八景島周辺と共通性がある．(e) に浦安市の埋立地に隣接する三番瀬の西側周辺の

This document is provided by JAXA.

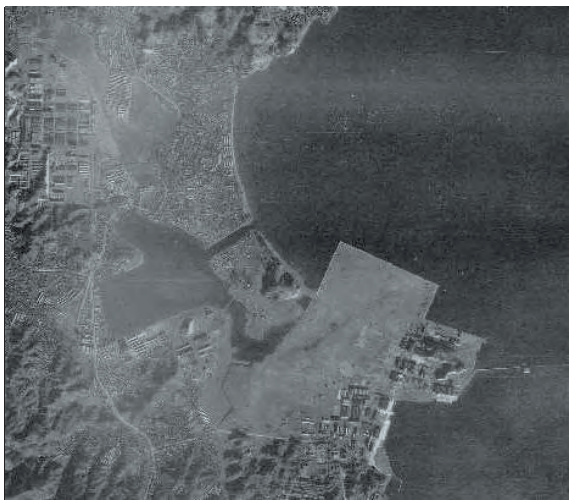
2006 年撮影の空中写真を載せるが，周辺は埋め立てが進んできているが，ここのエリアでは現時点では浅海域や干潟が良好な環境で保全されていることが伺われる．干潟の中に，澪が形成されていることも判読できる．

7. おわりに

東京湾全域について，1965（昭和 40）年以降の毎年の市区町村別埋め立て面積を国土地理院の資料から集計し，その変遷の地理的な特質について整理を行った．その結果，地域によって埋め立ての推進される時期や埋立地の土地利用に違いがあることがわかり，それは時の経済情勢や政策，市民の感性などに応じた利用ニーズの変化に対応した結果と推察された．東京湾岸周辺の埋め立てによる地形改変は，高度経済成長期の重厚長大産業の立地を支え，また地方からの人口流入を支えてきたが，環境，防災という点の問題をはらんでいた．2011 年東北地方太平洋沖地震により，東京湾岸の埋立地で大きな液状化の被害が生じ，特に浦安市の高級住宅地で甚大な被害が発生したのは，埋立地の持つ負の側面が顕在化した象徴的なできごとのように思われる．本論では，土地の履歴を把握することの重要性を改めて指摘しておきたい．



（a）迅速測図原図（金沢八景付近）



（ｂ）1948 年米軍撮影空中写真（金沢八景付近）
USA-M795-2　（1948 年 1 月 6 日撮影）

（ｃ）1977 年国土地理院撮影空中写真
（金沢八景付近）
KT773Y-C1H-6（1977 年 9 月 6 日撮影）

（ｄ）1992 年国土地理院撮影空中写真
（金沢八景付近）
CKT922X-C16-8（1992 年 10 月 28 日撮影）

図-4　横浜市金沢区八景島周辺の変遷

This document is provided by JAXA.

（a）迅速測図原図（浦安市付近）

（d）2001 年国土地理院撮影空中写真（浦安市付近）
CKT20015X-C6-16（2001 年 12 月 31 日撮影）

（b）1947 年米軍撮影空中写真（浦安市付近）
USA-M399-81（1947 年 8 月 11 日撮影）

（e）2006 年国土地理院撮影空中写真（三番瀬西側）
CKT20064X-C7-13（2006 年 11 月 10 日撮影）

（c）1975 年国土地理院撮影空中写真（浦安市付近）
KT756Y-C11-5（1975 年 7 月 30 日撮影）

（a）～（e）の付図・写真位置

図-5　葛西・浦安・三番瀬周辺の変遷

This document is provided by JAXA.

謝辞

本研究の契機は，（社）東京地学協会の雑誌「地学雑誌」における「東京」特集において，東京湾の埋立と東京周辺の丘陵部の大規模盛土造成宅地の変遷をまとめる機会（熊木ほか，2013）を得たからである．そのチャンスを下さった専修大学の熊木洋太教授に感謝したい．本論文作成に必要な資料収集にあたり，国土地理院の山根清一氏，基本図情報部地名情報課の方々のお世話になった．ここに記して感謝申し上げる．

（公開日：平成 25 年 11 月 29 日）

参 考 文 献

千葉県環境研究センター（2011）：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による東京湾岸埋め立て地での液状化－流動化被害（第 1 報），http://www.pref.chiba.lg.jp/wit/chishitsu/ekijoukahoukoku/documents/1.pdf（accessed 19 Sep. 2013）.

遠藤毅（2004）：東京都臨海域における埋立地造成の歴史，地学雑誌，113，6，785-801.

井合進・浦上武・武藤善敬・菊池正樹（1988）：1987 年千葉県東方沖地震による千葉港周辺地域の液状化等について，港湾技研資料，No.616，3-47.

石川稔矩（2004）：青潮，日本沿岸域学会編「沿岸域環境事典」，共立出版，1.

環境庁自然保護局（1998）：第 5 回自然環境保全基礎調査　海辺調査　総合報告書，83pp.

環境庁自然保護局・（財）海中公園センター（1994）：第 4 回自然環境保全基礎調査　海域生物環境調査報告書（干潟、藻場、サンゴ礁調査）第 1 巻干潟.

Koarai and Nakayama（1993）: The Geological and Topographic Conditions of Reclaimed Lands affecting the Distribution of Liquefied Sites –A Case Study on the Coastal Area of Tokyo Bay by the 1987 East Off Chiba Prefecture Earthquake－，日本沿岸域学会論文集，8，53-64.

小荒井衛・中埜貴元・乙井康成・宇根寛・川本利一・醍醐恵二（2011）：東日本大震災における液状化被害と時系列地理空間情報の利活用，国土地理院時報，122，127-141.

古藤田喜久夫・若松加寿江（1988）: 千葉県東方沖地震による液状化現象とその被害, 土と基礎, 36, 12, 19-24.

国土交通省関東地方整備局・公益社団法人 地盤工学会（2011）：東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態解明報告書, http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000043569.pdf（accessed 19 Sep. 2013）.

国土交通省港湾局・環境省自然環境局（2004）：干潟ネットワークの再生に向けて－東京湾の干拓等の生態系再生研究会報告書－，117 pp.

近藤精造（1980）：地盤沈下の歴史と現況，アーバンクボタ，18，42-44.

熊木洋太・小荒井衛・中埜貴元（2013）：東京とその周辺の地形改変．地学雑誌，印刷中.

中埜貴元・小荒井衛・乙井康成・宇根寛・醍醐恵二（2012）：航空レーザ測量技術を用いた液状化沈下量の把握．日本写真測量学会平成 24 年度年次学術講演会発表論文集，95-98.

大嶋和雄（1990）：東京湾の埋立地，地質ニュース，432，50-57.

坂巻幸雄（2009）：豊洲埋立地の土壌汚染と地質特性－築地市場の移転問題に関連して－，地学教育と科学運動，61，25-32.

東京湾環境情報センター（2005）: 東京湾を取り巻く環境, http://www.tbeic.go.jp/kankyo/mizugiwa.asp#（accessed 19 Sep. 2013）.

横山尚秀（2004）: 廃棄物最終処分場の地下水保全について, 神奈川県環境科学センター研究報告, 27, 52-59.

This document is provided by JAXA.

北アルプス穂高連峰の隆起に関する測地学的検証 ～一等三角点穂高岳での GNSS 観測～

Geodetic examination of uplift in the Hotaka peaks, northern Japan Alps ~ GNSS observation at the 1st–order triangulation point "Hodakadake" ~

地理地殻活動研究センター　西村卓也[1]
国土地理院穂高岳測量班
Geography and Crustal Dynamics Research Center
Takuya NISHIMURA
Hotaka Dake Survey Team of the Geospatial Information Authority of Japan

要　旨

最近数百万年の間の急激な隆起によって形成されたと考えられている飛騨山脈（北アルプス）が，現在でも隆起しているかを明らかにするため，1999 年，2005 年，2008 年，2012 年に，前穂高岳山頂にある一等三角点「穂高岳」での GNSS 観測を行った．その結果，1999 年，2005 年，2008 年の 3 回の観測からは，年間約 5mm の隆起傾向が明らかとなった．しかし，2012 年の観測データは，2008 年に比べて約 8mm の沈降を示した．この沈降は，東北地方太平洋沖地震や周辺で発生した群発地震の影響を受けた可能性がある．飛騨山脈北部の立山周辺に設置された GNSS 連続観測点のデータは，経年的な隆起傾向を示しており，穂高岳の観測結果と合わせて，飛騨山脈は現在でも隆起していると考えられる．

1. はじめに

日本列島中央部には，飛騨山脈（北アルプス），木曽山脈（中央アルプス），赤石山脈（南アルプス）といった標高 3,000m 級の山々が連なっており，日本アルプスと呼ばれている．これらの山脈は，地形・地質学的研究から，第四紀に急激に隆起した（例えば，米倉ほか，2001）が，その隆起速度はかなりの変遷があったと考えられている．飛騨山脈については，Harayama（1992）が山脈主稜線西側に露出している滝谷花崗閃緑岩が約 190～80 万年前に形成された世界で最も若い花崗岩類であることを発見した．さらに，原山ほか（2003）は，飛騨山脈の地質学的構造から，隆起は主に 2 段階で生じ，最初の隆起は，鮮新世後期から更新世初頭（約 270～150 万年前），2 回目の隆起は前期更新世後半（約 130 万年前）以降に生じたと主張している．

日本アルプスの測地学的手法に基づく上下変動観測については，壇原（1971）が 1965 年以前の約 70 年間の水準測量の結果から，赤石山脈周辺で 4mm/年の隆起を推定し，山脈の隆起運動が現在も継続していることを指摘した．しかし，飛騨山脈の周辺では顕著な隆起は検出されなかった．鷺谷・井上（2003）は，1990 年頃までの 100 年間の水準測量結果を検討し，掛川から諏訪湖へと北上する水準路線に沿っては顕著な隆起が生じ，赤石山脈と木曽山脈及びその周辺では顕著な隆起が定常的に生じており，山地の形成に関連した地殻変動が捉えられている可能性があるとしている．村上・小沢（2004）は，国土地理院の GEONET（GNSS 連続観測システム）による日本全国の上下変動を整理し，日本アルプスを含む中部山岳地帯では，隆起ではなく沈降傾向にあることを示した．よって，飛騨山脈については，地質学的時間スケールでは隆起してきたことが確実であるが，測地学的手法によっては隆起をしているという証拠はないのが現状である．また，従来の測地学的データ解析に用いられた水準点や電子基準点は，そのほとんどが山地の合間にある盆地に設置されているため，山脈そのものの上下変動を計測しているわけではない．そこで国土地理院では，1999 年度から 2012 年度まで，一般研究「日本アルプスの隆起運動に関する研究」（以下，本研究という）を実施し，日本アルプスの高峰に設置された三角点において GNSS 観測を実施し，山脈の高さを高精度に測定することで，山地の隆起を測地学的に検証することを試みた．本稿は，本研究で行われた GNSS 観測結果と周辺の電子基準点データを整理して，飛騨山脈及びその周辺での上下変動を明らかにすることを目的とするものである．

なお，本研究の開始当初は，飛騨山脈に限らず日本アルプス全体の GNSS 観測の実施を目指していたが，作業量等の観点から，飛騨山脈での観測に集中した．飛騨山脈での観測は，14 年間に計 4 回の直営観測作業を一等三角点「穂高岳」において実施し，その都度，穂高岳測量班を編成した．測量班のメンバーは，1999 年は石本正芳技官，小田切聡子技官，坂井尚登技官，鷺谷威技官，西村卓也技官，2005 年

現所属：[1]京都大学防災研究所

This document is provided by JAXA.

図-1　一等三角点「穂高岳」での観測風景.
（上）2005 年の観測，（中）2008 年の観測，
（下）2012 年の観測.

は，大井信三技官，水藤尚技官，西村卓也技官，森克浩技官，朝比奈政郎測手，2008 年は高野和友技官，中埜貴元技官，西村卓也技官，朝比奈政郎測手，嘉陽淳次測手，2012 年は，池田尚應技官，西村卓也技官，本田昌樹技官，朝比奈政郎測手，中島宗治測手であった．本稿の著者である国土地理院穂高岳測量班は以上のメンバーを指すものである．

2. 観測作業及び GNSS データ解析

一等三角点「穂高岳」では，1999 年 9 月 8～10 日，2005 年 8 月 31 日～9 月 2 日，2008 年 9 月 7～9 日，2012 年 9 月 10～12 日にそれぞれ約 48 時間の GNSS 観測を行った．三角点は，北アルプスの最高峰で国内第 3 位の標高（3,190m）を誇る奥穂高岳ではなく，その南側に位置する前穂高岳（標高 3,090m）の山頂にある．前穂高岳への到達ルートとしては，上高地から北上して重太郎新道を直登する距離の短い岳沢ルートと梓川沿いに横尾まで平坦な道を行き，そこから涸沢，ザイテングラート，奥穂高岳を経る涸沢ルートの 2 つのルートがある．本作業では，バッテリーや GNSS 受信機など観測機材があるため，距離は長いが比較的傾斜が緩い涸沢ルートを主に用いたが，撤収の際には岳沢ルートも用いた．自動車到達点から三角点への徒歩での移動時間は，涸沢ルートで約 10 時間であった．前穂高岳山頂部は，比較的平坦であり，三角点の埋設状況も良好である．よって，天気さえ良ければ，GNSS アンテナの設置観測作業に大きな困難はなく，観測条件も良好であった．穂高連峰は，登山客の人気が高く，三角点周辺にも日中は多数の登山客が訪れる．そのため，良好な GNSS 観測を実施し，登山客の安全を確保するため，観測中は，三角点の周囲をロープで囲うとともに，日中は周辺での監視を行った（図-1）．GNSS アンテナは 4 回とも同一の Trimble Permanent L1/L2（TRM23903.00）アンテナを用い，GNSS 受信機は 1999 年の観測時のみ Trimble4000SSE，あとの 3 回は Trimble5700 を用いた．用いた GNSS 衛星は GPS 衛星のみである．

GNSS データの解析は，他の基準点を用いなくても高精度な座標値が算出できる精密単独測位法（PPP ; Zumberge et al., 1997）において定評がある GIPSY Ver.6.1 を用いた．GNSS 衛星の軌道情報としては，GIPSY の開発元であるジェット推進研究所（JPL）の精密暦及び時計情報を用いた．そして JPL から提供される座標変換パラメータを用いて，ITRF2008 準拠（IGS2008）の GPS 時刻に基づく 1 日毎の座標値を算出した．GNSS 解析時の設定としては，GIPSY の gd2p.pl スクリプトに実装されている一般的なものを用いた．大気遅延についてはマッピング関数として GMF を用い，天頂遅延量と大気遅延勾配の推定を行った．また，固体地球潮汐に加えて海洋潮汐荷重変形の補正も行った．なお，TSKB 等の GNSS 連続観測点のデータを用いて GIPSY の精密単独測位法と GEONET の定常解析結果（F3）を比較し，測位解に大きな差が出ないことを確認している．

3. 測位結果

精密単独測位法によって得られた座標値を表-1，座標値の変化グラフを図-2 に示す．なお，1994 年に高度基準点測量，2008 年に高度地域基準点測量によって「穂高岳」での GNSS 観測が行われており，表-1 及び図-2 はこれらの GNSS データを上記の解析方法で座標値を算出した結果を含んでいる．しかし，これらの GNSS 観測は，観測時間が 6 時間から 13

This document is provided by JAXA.

時間と短く，用いたGNSSアンテナ，受信機も本研究で使用したものとは異なるため，単純には結果が比較できない．そのため，これらの観測結果は参考にとどめることとする．図-2の縦軸は1994年の緯度，経度，楕円体高を基準とした相対的な座標値を南北・東西・上下成分で表して，位置の変化を見たものである．4回の観測において各回の日平均座標値の差は，最大で南北方向で3.4mm，東西方向2.9mm，上下方向9.4mmと小さく，良好な観測が行われている．座標値の時間変化を見ると，2012年の観測値はそれ以前とは大きく異なっている．特に東西成分は，図-2の基準で言うと9月20日が44.03cm，9月21日が43.83cmであり，枠外となった．このような大きな変化は2011年3月11日発生した東北地方太平洋沖地震に伴う変化であると考えられる．2012年を除く，1999年，2005年，2008年の座標値に一次関数をあてはめると，南北方向12.1mm/年，東西方向8.0mm/年，上下方向5.1mm/年という変動速度が得られ，GNSSによって穂高岳で年間約5mmの隆起が観測されたといえる．ただ，南北成分と東西成分に関しては，図-2からもほぼ直線的な変化が読み取れ，一次関数をあてはめた時の相関係数も0.99を超えているが，上下成分の相関係数は約0.9であり，直線的に隆起しているとは必ずしも言いがたい．また，

表-1　GNSS観測による一等三角点「穂高岳」のITRF2008系における座標値

観測年月日（GPS時刻）(通算日)	観測時間(時)	緯度(°)	経度(°)	楕円体高(m)	備考
1994/9/21(264)	13.0	36.281979471	137.660571045	3133.3877	高度基準点測量
1999/9/8(251)	21.7	36.281978993	137.660571254	3133.3374	本研究（1回目）
1999/9/9(252)	24.0	36.281978980	137.660571275	3133.3468	本研究（1回目）
2005/8/31(243)	22.8	36.281978294	137.660571845	3133.3617	本研究（2回目）
2005/9/1(244)	24.0	36.281978780	137.660571817	3133.3634	本研究（2回目）
2008/9/7(252)	23.6	36.281978028	137.660572034	3133.3856	本研究（3回目）
2008/9/8(253)	24.0	36.281977998	137.660572069	3133.3942	本研究（3回目）
2008/9/13(257)	6.0	36.281978000	137.660572385	3133.3558	高度地域基準点測量
2012/9/20(264)	23.4	36.281978295	137.660575955	3133.3790	本研究（4回目）
2012/9/21(265)	24.0	36.281978308	137.660575932	3133.3851	本研究（4回目）

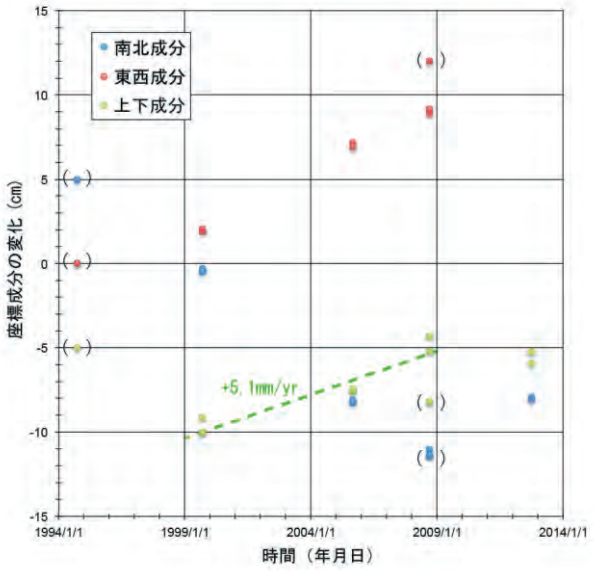


図-2　一等三角点「穂高岳」の座標変化．2012年の東西成分は東北地方太平洋沖地震による地殻変動のためグラフの範囲外となっている．緑の点線は1999，2005，2008年の楕円体高に対する近似直線．括弧のシンボルは高度基準点測量及び高度地域基準点測量による．

This document is provided by JAXA.

地形形成における隆起沈降を議論する場合には，ITRF2008 座標系よりも周辺に対する相対的な隆起沈降も重要であると考えられる．よって，次章で周辺の GEONET 電子基準点データと比較して上下変動の議論を行う．

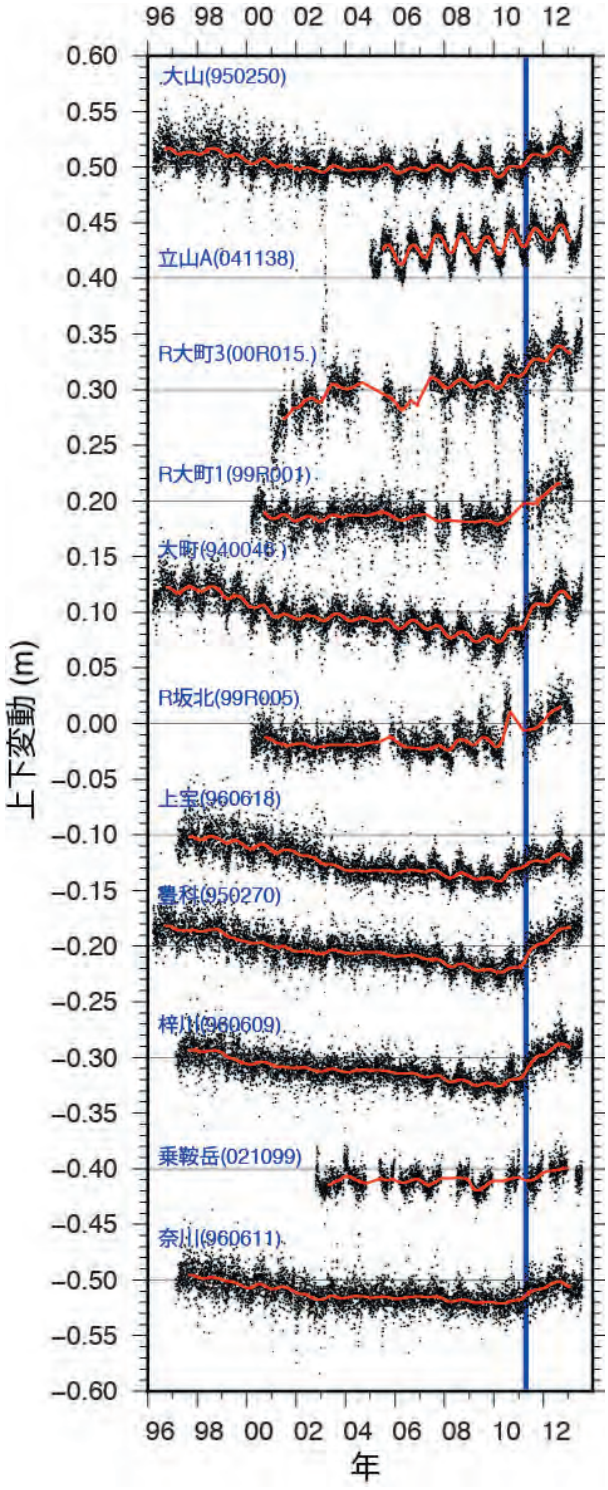


図-3　GEONET 観測点における飛騨山脈及びその周辺の上下変動．青縦線は東北地方太平洋沖地震を表す．黒点及び赤線は，日座標値とその 365 日移動平均を表す．観測点の位置は図-4 に示す．

4．GEONET データによる飛騨山脈周辺の上下変動

飛騨山脈及びその周辺は地形的に険しく，GEONET の GNSS 連続観測点は多いとは言えない．それでも，糸魚川－静岡構造線断層帯に関連する地殻変動観測のための観測点や 2002 年以降には乗鞍岳や立山などの標高 2500m を超える場所にも観測点が設置され，村上・小沢（2004）の解析時に比べると観測点数が大幅に増加している．そこで，GEONET の定常基線解析結果（F3）を用いて，飛騨山脈及びその周辺の上下変動を見てみる．図-3 及び図-4 に，穂高岳周辺の GEONET 観測点の上下成分の時系列と 2005 年 1 月 1 日から 2010 年 12 月 31 日までの 6 年間の平均上下速度分布を示す．なお，GEONET 定常解析の座標値（F3 解）は，ITRF2005 座標系に準拠しており，穂高岳の GNSS 解析で用いた ITRF2008 座標系とは異なるが，ITRF2005 と 2008 間の座標変換パラメータで時間に依存する成分は，並進成分の年間 0.3mm と極めて小さい．よって，本稿では変動速度の座標系による違いは無視することにする．

図-3 の時系列には，ほとんどの観測点で東北地方太平洋沖地震の前に沈降傾向にあることと東北地方太平洋沖地震の後は隆起が見られるという特徴がある．地震前の沈降は図-4 の上下変動分布図からも明瞭であり，特に飛騨山脈の東側にある松本盆地から浅間山にかけては顕著に沈降している．この変化は村上・小沢（2004）が示した中部地方での沈降傾向

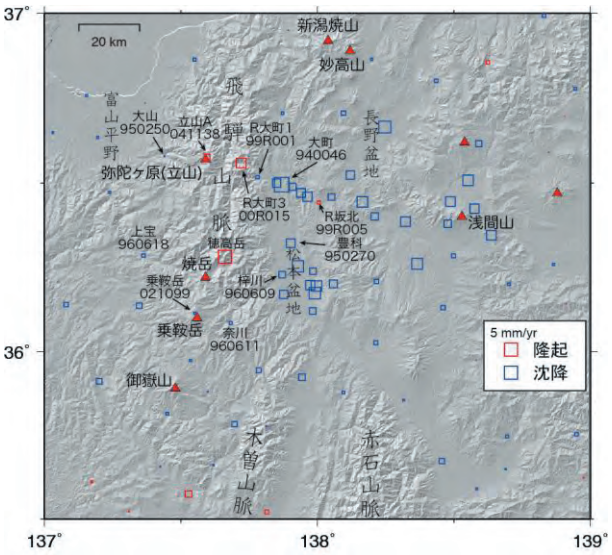


図-4　2005-2010 年の飛騨山脈及びその周辺の上下変動速度分布．穂高岳の上下変動は，1999,2005,2008 年の 3 回の繰り返し観測結果を示す．

This document is provided by JAXA.

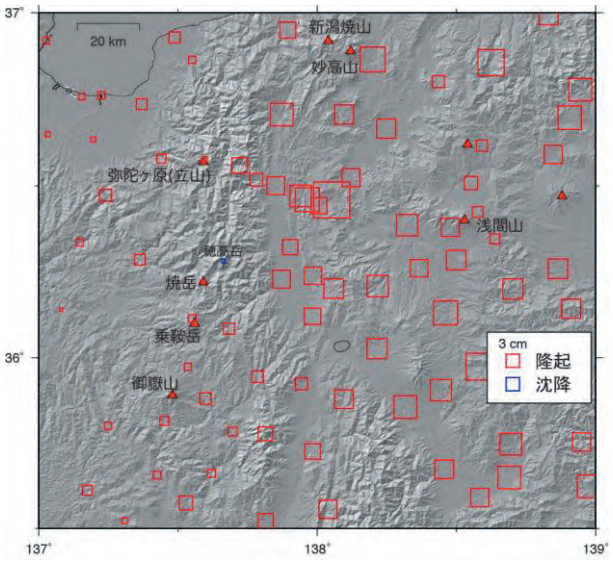


図-5　2008 年 9 月 3-12 日から 2012 年 9 月 16-25 日までの飛騨山脈及びその周辺の上下変動分布．穂高岳の上下変動は，2008 年と 2012 年の繰り返し観測の差を示す．

と一致している．沈降速度は，松本盆地や長野盆地といった堆積盆地の観測点がより大きいように見えるものの，周辺の丘陵地でも沈降しており，数 10km の波長のやや広域で沈降しているようにみえる．その一方，飛騨山脈中軸部にある立山 A や R 大町 3 では，若干の隆起傾向が見られ，穂高岳での繰り返し観測で見られた隆起と整合している．立山では，GEONET 観測点以外でも標高 2839m の浄土平において，1996～2004 年の間に GEONET 富山観測点に対して年間 3.8mm の隆起が観測されており（道家ほか，2008），立山 A や R 大町 3 の隆起と調和的である．よって東北地方太平洋沖地震前の 5～10 年程度の GNSS 観測からは，飛騨山脈の中軸部では年間数 mm 程度で隆起していると言える．

東北地方太平洋沖地震以後の隆起については，大町や豊科，梓川では地震時の隆起が見られるが，ほとんどの観測点では地震後の隆起がより明瞭である．図-5 は，穂高岳における 2008 年と 2012 年の繰り返し観測と同時期の GEONET 観測点の上下変動を合わせて示したものである．全体として隆起が卓越し，特に飛騨山脈より東側では 4cm 以上の隆起が観測されている場所が多い．飛騨山脈よりも西側では隆起量は小さくなっているが，穂高岳を除いて沈降した場所は見られない．そのため，2008 年から 2012 年までの穂高岳の約 8mm の沈降は，かなり局所的なものだと言える．一方，より広域の上下変動を見ると，東北地方太平洋沖地震後に，関東から甲信越地方にかけての東北地方太平洋沖地震の震源からドーナツ状の隆起域が見られている（例えば，国土地理院，2013 の第 9 図）．図-5 の範囲は概ねこの隆起域に対応しており，穂高岳でも長波長の隆起変動に局所的な大きな沈降が重なり合っていると考えることができる．よって，穂高岳での局所的な原因による沈降は，観測された 8mm よりもさらに大きい可能性がある．

局所的な沈降の原因としては，群発地震活動による地殻変動や重力性の崩壊などが考えられる．飛騨山脈では，2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震の本震発生直後に焼岳，乗鞍岳周辺で地震活動が活発化し，特に焼岳山頂の北 1-5km の深さ 4km 以浅では，M4.5 以上の地震 2 個を含む 1 ヶ月程度の群発地震活動があった（大見ほか，2012）．穂高岳はこの地震活動域に隣接しており，この群発地震に伴う地殻変動が生じた可能性があるが，地震波から決められているマグニチュードや大きな地震のメカニズム解が逆断層である（大見ほか，2012）ことを考えると地震そのものの地殻変動で穂高岳が有意に沈降したとは考えにくい．同様の例として，1998 年 8 月から始まった最大 M5.4 の地震を含む群発地震活動の影響を考えてみる．穂高岳における 1994 年の高さ（図-2）は観測条件からやや信頼性に劣るものの，1999 年の高さに比べて 5cm 弱高く，この間に大きく沈降したことが示唆される．1998 年の群発地震は近年では最大規模の活動であった（和田ほか，2000）が，Aoyama et al.（2002）による地震波の解析から推定された震源メカニズム解 18 個（M_w3.6～5.1）を用いて，半無限弾性体での地表変位を計算すると，穂高岳で期待される地表変位は 2mm 程度の沈降であり，数 cm 規模の地殻変動は生じるとは考えにくい．よって，1998 年や 2011 年の地震活動そのものでは，穂高岳で観測された沈降を説明することは難しいといえる．しかし，地震波では捉えられていないゆっくりとした断層運動や地下での流体移動等があれば，数 cm 程度の地殻変動は説明できる可能性がある．さらに，飛騨山脈などの高山では，重力性の崩壊地形が見つかっており（例えば，西井，2009），実際に崩壊が進行していることが観測された例（例えば，Nishii and Matsuoka, 2012）もある．穂高岳でも，群発地震や東北地方太平洋沖地震によって，かなりの強震動に見舞われたと考えられるので，重力性の沈降が一時的に加速された可能性があるかもしれない．

5. GEONET データによる飛騨山脈周辺の水平変動

山岳の上下変動のメカニズムを考える上で，一般的に水平圧縮力は隆起の主要因と考えられていることもあり，水平変動を調べることは重要である．図-6 は，2005 年 1 月 1 日から 2010 年 12 月 31 日までの 6 年間の水平変動速度分布である．飛騨山脈は，

This document is provided by JAXA.

西北西—東南東方向の短縮変形が卓越する新潟-神戸ひずみ集中帯（Sagiya et al., 2000）に位置しており，図-6からも全体的に西北西—東南東方向の短縮変形場にあることがわかる．穂高岳周辺のベクトルを見ると，概ね東西方向の短縮変形が見受けられるが，変動の勾配であるひずみは全般的に小さい．穂高岳と東側の松本盆地の間の観測点では 2mm/年程度の短縮がみられるが，西側の上宝観測点との短縮速度は非常に小さいことがわかる．すなわち穂高岳周辺では，飛騨山脈に直交する方向の短縮変形はあるが，その速度は 30km で約 2mm/年（約 0.07ppm）と小さいことがわかる．穂高岳付近の GNSS 観測点は少ないため，これ以上の詳細な議論は出来ないが，飛騨山脈北部の立山周辺では，山脈を横断するように GNSS 観測点が存在する（図-6）．そこで，立山を横断する GNSS 観測点の変動速度を最大圧縮軸方向にほぼ等しい北 105°東の方向に投影したものが図-7 である．上下変動については飛騨山脈での隆起が見られるが，水平変動の変形集中域は，飛騨山脈ではなくその東側の幅 20km 程度の領域であることが明瞭である．この変形集中域は，糸魚川－静岡構造線断層帯に関連しているものと考えられるが，糸魚川－静岡構造線断層帯の地表トレース（松本盆地東縁断層）の西側まで変形集中域が及んでいることも明らかであり，Sagiya et al.（2004）が指摘するように単純な弾性変形では説明が難しい．隆起域と水平短縮集中域が隣接していることは，飛騨山脈の隆起メカニズムを解明する上で，重要な拘束条件であるが，穂高岳付近では短縮変形の集中域は明瞭ではなく，現在の飛騨山脈の変形メカニズムも南北で異なっているのかもしれない．

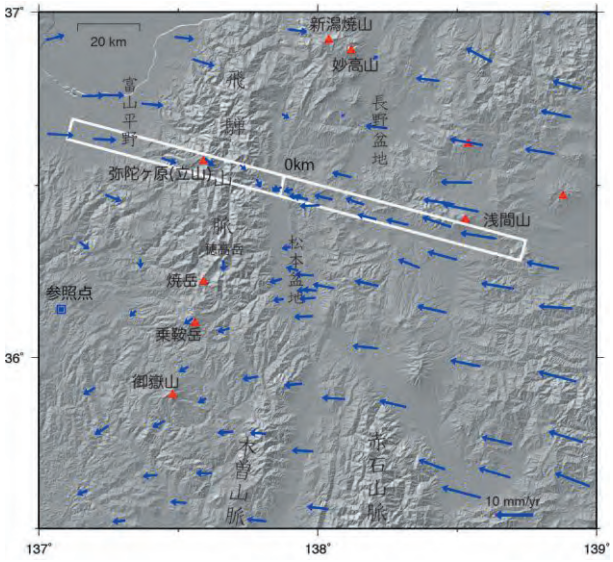


図-6　2005-2010 年の飛騨山脈及びその周辺の水平変動速度ベクトル図．穂高岳の水平変動は，1999,2005,2008 年の 3 回の繰り返し観測結果を示す．矩形領域は図-7 の変動プロファイルの位置を表す．

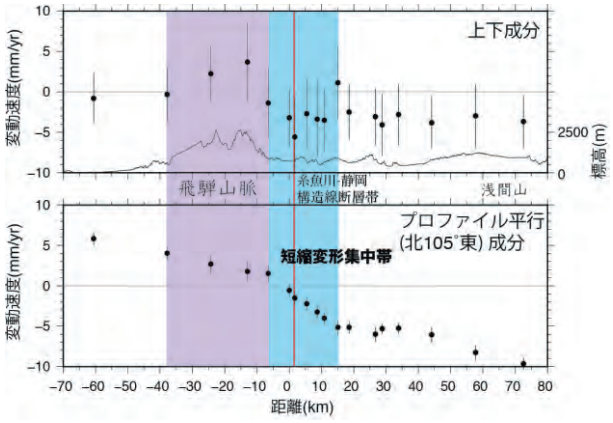


図-7　飛騨山脈立山付近を横断する測線上における変動速度プロファイル．縦棒付きの丸が変動速度，縦棒の長さが誤差（3σ）を表す．上下成分の実線は測線上の標高を表す．赤線は糸魚川-静岡構造線断層帯の位置．

6. おわりに

飛騨山脈の一等三角点「穂高岳」において 1999, 2005, 2008 年に実施した GNSS 繰り返し観測により，前穂高岳が年間約 5mm で隆起していることが明らかになった．さらに，立山周辺の GEONET 観測点の変動速度も山脈中軸部での隆起を示し，飛騨山脈が現在でも隆起していることが確かめられた．しかし，本研究作業以外で取得された GNSS 観測データや東北地方太平洋沖地震後の 2012 年の観測データを含めると沈降を示す時期もあり，必ずしも単調に隆起しているわけではなく，間欠的な変動をしている可能性も否定できない．

本稿では，GNSS 観測データの整理にとどまり，飛騨山脈隆起のメカニズムの考察には至らなかった．今後のメカニズム解明のためには，間欠的な変動をしていることを否定できないことから観測頻度を増やすとともに，変動の空間パターンを詳細に明らかにするために稠密な GNSS 観測や SAR 干渉解析などを実施することが望まれる．

（公開日：平成 25 年 9 月 30 日）

This document is provided by JAXA.

参 考 文 献

Aoyama, H., M. Takeo, and S. Ide （2002）: Evolution mechanisms of an earthquake swarm under the Hida Mountains, central Japan, in 1998, *J. Geophys. Res.*, 107（B8）, doi:10.1029/2001JB000540

壇原毅（1971）: 日本における最近 70 年間の総括的上下変動, 測地学会誌, 17, 100-108.

道家涼介，竹内章，安江健一，畠本和也，松浦友紀（2008）: GPS 観測データから見た北アルプス立山における最近の地殻変動，東京大学地震研究所彙報，83, 193-201.

Harayama, S. （1992）: Youngest exposed granitoid pluton on Earth: Cooling and rapid uplift of the Pliocene-Quaternary Takidani Granodiorite in the Japan Alps, central Japan, *Geology*, 20, 657-660.

原山智, 大藪圭一郎, 深山裕永, 足立英彦, 宿輪隆太（2003）: 飛騨山脈東半部における前期更新世後半からの傾動・隆起運動. 第四紀研究, 42（3）, 127-140.

国土地理院（2013）: 東北地方の地殻変動，地震予知連絡会会報, 89, 72-105.

村上亮，小沢慎三郎（2004）: GPS 連続観測による日本列島上下地殻変動とその意義, 地震 2, 57, 209-231.

西井稜子 （2009）: 飛騨山脈の花崗岩山域における斜面崩壊が線状凹地の分布に及ぼす影響，地学雑誌，118, 233-244.

Nishii, R. and N. Matsuoka （2012）: Kinematics of an alpine retrogressive rockslide in the Japanese Alps, *Earth Surf. Process. Landforms*, 37, 1641–1650. doi:10.1002/esp.3298.

大見士朗，和田博夫，濱田勇輝，三和佐知栄，高田陽一郎（2012）: 東北地方太平洋沖地震後に活発化した飛騨山脈脊梁部の地震活動について，京都大学防災研究所年報，55B, 95-104.

鷺谷威，井上政明 （2003）: 測地測量データで見る中部日本の地殻変動, 月刊地球, 25, 918-928.

Sagiya, T., S. Miyazaki, and T. Tada （2000）: Continuous GPS array and present-day crustal deformation of Japan, *Pure and applied Geophysics*, 157, 2303-2322.

Sagiya, T., T. Nishimura, and Y. Iio （2004）: Heterogeneous crustal deformation along the central-northern Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line Fault system, Central Japan, *Earth Planets Space*, 56, 1247-1252.

和田博夫，伊藤潔，大見士朗 （2000）: 飛騨山脈の群発地震（その 2）-周辺活動域への影響-，京都大学防災研究所年報，43B-1, 115-121.

米倉伸之，貝塚爽平，野上道男，鎮西清高（編）（2001）: 日本の地形 1 総説，東京大学出版会，349pp.

Zumberge, J. F., M. B. Heflin, D. C. Jefferson, M. M. Watkins, and F. H. Webb （1997）: Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. *J. Geophys. Res.*, 102（B3）, 5005-5017.

This document is provided by JAXA.

干渉 SAR 時系列解析による微小な変位量で進行する地盤変動監視の実用化へ向けて
Approach for Monitoring of Small Ground Surface Deformation by InSAR Time Series Analysis

測地部　森下遊・鈴木啓[1]
Geodetic Department　Yu MORISHITA and Akira SUZUKI
地理地殻活動研究センター　小林知勝
Geography and Crustal Dynamics Research Center　Tomokazu KOBAYASHI

要　旨

国土地理院では，陸域観測技術衛星「だいち」（ALOS）の L バンド合成開口レーダー（PALSAR）のデータを使用して，全国の地盤沈下，地すべり及び火山地域を対象に，地盤変動の監視を目的として定常的に SAR 干渉解析を実施してきた. 今後は 2013 年度内に打ち上げ予定の ALOS-2 データを使用して，日本全国を対象にして定常解析を実施する予定である.

従来の SAR 干渉解析技術では地盤変動の計測精度が数 cm であったため，微小な規模で進行する変動を検出することは困難であった．このような計測精度の問題を改善するために，近年，国土地理院では，SAR 干渉解析の発展的手法である「干渉 SAR 時系列解析」に関する調査・研究を実施しており，より高精度な結果が得られている．しかし，解析技術には発展の余地があり，実用化へ向けてはまだ多くの課題が残されている.

そこで，ALOS-2 データを使用した干渉 SAR 時系列解析による日本全国の地盤変動監視の実用化を目指し, さまざまな誤差低減手法の干渉 SAR 時系列解析への適用や効率的な解析機能及び出力機能の開発を行った．また，実際に ALOS データを使用して，これらの手法を適用し，関東地方及び九州地方を対象に干渉 SAR 時系列解析を実施した．その結果，効率的かつ高精度に地盤沈下，地すべり及び火山地域の変動を検出することができ, 干渉 SAR 時系列解析による全国の地盤変動監視の実現可能性を確認することができた．一方，長波長ノイズや山岳地域では良好な結果が得られないといった新たな問題点も明らかになった. 今後も干渉 SAR 時系列解析による地盤変動監視の実用化へ向けて，調査・研究を続けていく.

1. はじめに

干渉 SAR とは, 高空間分解能な合成開口レーダー（Synthetic Aperture Radar：SAR）による観測を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，地表の変動を面的に捉える技術である. 国土地理院では, 2006 年 1 月～2011 年 5 月に運用されていた陸域観測技術衛星「だいち」（ALOS）の L バンド合成開口レーダー（PALSAR）のデータを使用して，全国の地盤沈下・地すべりによる地盤変動や火山活動による地殻変動の監視を目的として，定常的に SAR 干渉解析を実施してきた. 2013 年度には ALOS の後継機である ALOS-2 の打ち上げが予定されており，そのデータを使用して SAR 干渉解析を引き続き実施する予定である.

これまでの定常解析では, 解析時間の短縮のため, 事前に監視対象地域として地盤沈下 17 地域, 地すべり 3 地域, 火山 46 地域を選定し，その範囲のみを切り出して解析を実施してきた．しかし，近年の解析機器性能の向上や国土地理院が開発した解析ソフトウェア（以下,「新 GSISAR」という.）の改良により，解析効率が大幅に向上し，日本列島を縦断するような広域解析が実現可能になってきた（例えば，山中ほか, 2011）. 特定の地域に限定しない網羅的な解析は，未知の変動を検出する可能性を増加させ，国土の監視としてはより理想的である．ALOS-2 では，広域観測モードの観測頻度が ALOS よりも大幅に増加する見込みであることもあり，対象地域を限定しない広域解析を実施する予定である.

また，これまで 2 時期の観測データからその間に発生した変動を検出する従来型の SAR 干渉解析手法を主に使用してきたが，大気ノイズなどの影響により，その計測精度は数 cm にとどまり，微小な規模で進行する変動を検出することは困難であった. 国土地理院では，最近，数多くの観測データを使用するスタッキングや干渉 SAR 時系列解析といった発展的解析手法に関する調査･研究を実施しており，従来よりも高精度な結果が得られている（山中ほか, 2013）. ただ, これらの手法は多量のデータが必要で, 解析に多大な時間を要するという問題点がある．また，結果の出力形式が確立されておらず，地盤変動監視への実用化へはまだ多くの課題が残っている.

本研究では，実用化へ向けて，さまざまな誤差低減手法の干渉 SAR 時系列解析への適用や効率的な解析機能及び出力機能の開発を行った．また，干渉 SAR 時系列解析による地盤変動監視の実現可能性及び課題を確認するため，5 年超の運用期間で多く

現所属：[1]総務部

This document is provided by JAXA.

のデータが蓄積されたALOSデータを使用して，関東地方及び九州地方を対象に干渉 SAR 時系列解析を実施した．

2. 干渉 SAR 時系列解析

2.1 干渉 SAR 時系列解析の概要

干渉SAR時系列解析とは，多量のデータを使用することにより，干渉性の低下，DEM 誤差及び対流圏・電離圏遅延などに起因するノイズの影響を低減することで，計測精度を向上させる解析手法である．一概に干渉SAR時系列解析といっても，様々なアルゴリズムが開発されている．本稿では，非商用に限り無償で利用可能なソフトウェアであるStaMPS/MTI version3.2.1（Hooper et al., 2007）を使用した．本ソフトウェアでは，PSI（Persistent Scatterer Interferometry）という解析手法を実行可能である．PSI は，解析期間において散乱特性が変化しない点（PS 点）にのみ着目し，PS 点における時系列的な変動を推定することができる．PS点となり得る地表の物体は主に人工建造物や岩であり，それらが密に分布する都市部や植生及び積雪のない山肌などで良好な結果が得られやすい．計測精度はデータ量，波長，対象地域などによって大きく異なるが，条件が良ければ 1mm/year 程度を達成可能であるという報告がある（Crosetto et. al.，2008）．

2.2 PSI の解析手順

StaMPS/MTI の解析手順の概要は以下の通りである（Hooper et al.，2007；福島，2011）．

1) L1.0 データから SLC の作成（画像再生）
2) 解析範囲の切り出し
3) 1 つのマスター画像と他の全スレーブ画像との間で画像マッチング
4) 3)の結果に基づいて全スレーブ画像をリサンプル
5) マスター画像と他の全スレーブ画像との間で差分干渉処理
6) ジオコード
7) 強度分散指標に基づいて PS 候補点を抽出
8) PS 候補点に対して位相安定性評価を行い，PS 点を抽出
9) （必要に応じて）加重平均による PS 点の間引き
10) 3 次元位相アンラッピング
11) マスター画像誤差，DEM 誤差，各スレーブの軌道誤差を推定
12) （必要に応じて）時空間フィルタによりスレーブ画像に含まれる空間相関ノイズを推定

このうち，7)以降が PSI と呼ばれる解析手順であり，6)まではそのために必要な前処理である．一般的に 1)〜4)及び 8)に膨大な時間を要する．

3. さまざまな誤差低減手法の StaMPS/MTI への適用

国土地理院では，干渉SARの計測精度を向上させるため，数値気象モデルによる対流圏誤差低減処理（小林ほか，2011）及びGNSS補正（飛田ほか，2005）といった手法を開発してきた．しかし，これらは従来型のSAR干渉解析手法及び新GSISARに対応したものであり，StaMPS/MTI では実行できなかった．そこで，これら 2 つの手法を StaMPS/MTI で実行できるように調製し，干渉SAR時系列解析のさらなる精度向上を試みた．

3.1 数値気象モデルによる対流圏誤差低減処理

干渉 SAR で観測される位相には大気中の水蒸気による遅延量が含まれ，それが地盤変動計測においては誤差となる（以下，「対流圏誤差」という）．対流圏誤差は，水蒸気分布の不均質性に起因して水平方向に不規則に現れるものに加え，標高に相関して現れるものがある（藤原ほか，1999）．前者は時間的に不規則であるため，複数の SAR 干渉解析結果を平均化するスタッキングという手法で統計的に低減することが可能である（山中ほか，2013）．しかし，偶然にも時間相関を持ってしまった場合は低減されない．後者については，標高と位相差の関係を近似した一次関数を使用する補正手法がよく用いられてきた（藤原ほか，1999）．しかし，実際の変動が標高に相関する場合（火山活動による地殻変動など），対流圏誤差を正確に変動量から分離して推定することは困難である．

ここでは，対流圏誤差低減の有力な手法として近年開発された数値気象モデルを使用した手法（小林ほか，2011）を StaMPS/MTI で実行できるようにした．この手法では，全データ点において，マイクロ波の屈折の効果を考慮したレイトレーシング法を適用して位相遅延量を推定する．そのため，データ点数に比例して，ある程度の計算時間を要する．そこで，計算するデータ点数を大幅に減らすために PS 点抽出・間引き後（2.2.手順 9 の後）に低減処理を実行できるようにし，計算時間の大幅な短縮に成功した．

本手法の効果として，阿蘇山の例を示す．当該地域は山岳部内に広大なカルデラがあり，その中心にさらに中岳などの標高の高い地帯があるという特殊な地形である（図-1）．本手法適用前の観測量（図-2 上段）には標高に相関する位相変化量が見られる．この結果のみからでは火山性の変動によるものか，対流圏誤差によるものかを判断することは不可能である．しかし，本手法によって数値的に推定した位相遅延量（図-2 中段）を差引くことで，標高に相関

This document is provided by JAXA.

する位相変化量が大きく減少している（図-2 下段）．時系列的にも不自然な位相変化がなくなったことから，対流圏誤差が大きく低減されたと考えられる．今後は，数値気象モデルを利用した低減効果の更なる検証や将来公開予定の数値気象モデルである局地モデル（LFM）への技術的対応が課題となろう．

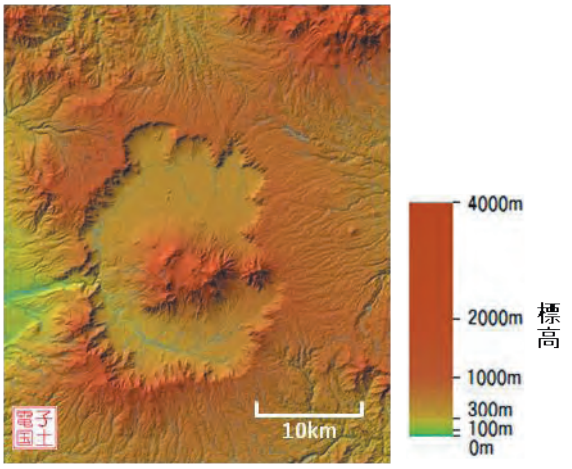


図-1　阿蘇山及びその周辺の色別標高図

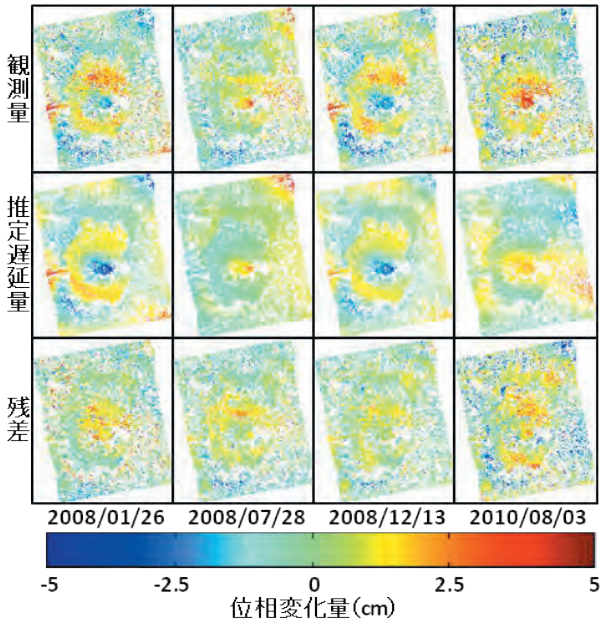


図-2　阿蘇山における対流圏誤差低減処理の効果．範囲は図-1 と同様．マスター観測日は 2007 年 7 月 26 日で共通，各スレーブ観測日は図下部に示してある．（上段）PSI による観測量．（中段）数値気象モデルによる位相遅延量推定量．（下段）両者の残差．

3.2 GNSS 補正

SAR 干渉解析結果には，衛星軌道推定値の誤差に起因する規則的な長波長の誤差が含まれる（藤原ほか，1999）．GNSS 補正は，地上における GNSS 観測によって得られた変位量と SAR 干渉解析結果とを比較することによって，この誤差量を推定・除去する手法である（飛田ほか, 2005）．福島・Hooper（2011）では，同様の手法を StaMPS/MTI に適用しており，補正関数としてバイリニア曲面に加え，標高相関成分も推定している．ここでは補正関数として，傾斜平面とバイリニア曲面，標高相関成分推定の有無を選択可能にした．解析範囲内の GNSS 観測データ点数や地形によって，最適な関数形を選択することができる．

本手法は位相アンラッピング後に（2.2 手順 11 の一部として）適用する．しかし，日本列島を縦断するような広域の解析では，電離層擾乱に起因すると考えられる不規則な長波長のノイズが卓越し，うまく補正関数にフィットしないことがある．不規則な長波長ノイズは時空間フィルタ（2.2 手順 12）によって統計的にある程度除去することができる（Hooper et al., 2007）ため，ここでは，この手順以降に再度本手法を適用可能にした．これにより，激しい長波長ノイズをある程度除去した後で GNSS 補正を実施し，より GNSS 観測データに適合した結果を得ることができる．ただ，変動の性質によっては，検出すべき本物の変動もノイズとして除去されてしまう危険性があるため，適用する際には注意が必要である．

4. 広域を対象とした干渉 SAR 時系列解析の試行

ALOS 打上げ当初は 1 日に 10 シーン程度を処理するのが限界であったため，特定の地域を定常解析地域に指定し，その範囲を切り取って解析を実施していた（和田ほか，2007）．しかし，解析機器の高性能化や解析ソフトウェアの改良により，より多くのデータを高速に処理することが可能になってきた．国土の監視という観点からは地域を限定しない網羅的な広域解析が望ましい．そこで，広域解析の実現可能性を確認し，その課題を明確にするため，関東地方全域及び九州地方全域において，StaMPS/MTI による解析を実施した．使用したデータは ALOS の北行軌道のものである．

4.1 関東地方全域の PSI 広域解析結果

解析に使用したデータは合計で 934 シーンにも及んだ（表-1）．ここでは定常的な変動に着目し，観測期間における衛星-地表間距離（LOS）平均変動速度を算出した．2007 年 7 月 16 日の新潟県中越沖地震や 2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震に伴う変動を含むデータは，LOS 平均変動速度算出からは除いた．また，電離層擾乱の影響と思われる長波長の激しいノイズを含むデータも除去した．これらのデータ除去後においても，全パスで観測数 15 回以上のデータを使用することができた．

This document is provided by JAXA.

このような広範囲を本来の分解能（1 ルック）を保持したまま解析すると，PS 点数が計算不可能なほど膨大になってしまう．本解析では，広域的な変動のみに着目することとし，PS 候補点を抽出する閾値を下げ，さらに抽出した PS 点を 500m 間隔に間引いた．また，前章の対流圏誤差低減処理及び GNSS 補正を適用し，GNSS 観測データの固定点は，解析地域のほぼ中心に位置する電子基準点「境」（020956）とした．さらに，時空間フィルタによりスレーブ画像に含まれる空間相関ノイズを推定・除去した．なお，空間スケールの小さな変動を検出するのに特化した解析手法については次章で述べる．

表-1　関東地方の解析データ情報

パス番号	404	405	406
フレーム数	8	8	7
解析観測数 ※	23 （15）	24 （16）	22 （17）
平均変動速度 計算期間	2007/7/25 2010/12/18	2006/12/24 2011/2/19	2007/1/10 2011/3/8
パス番号	407	408	409
フレーム数	6	6	5
解析観測数 ※	22 （17）	27 （23）	22 （20）
平均変動速度 計算期間	2007/9/14 2010/12/23	2006/12/29 2011/2/24	2007/1/15 2011/1/26

※括弧内は地震関連データ及び激しい長波長ノイズを含むデータ除去後の観測数

関東地方における PSI 広域解析の結果を図-3 に示す．山岳地域の大部分では結果が得られていないが，これは PS 点が抽出できなかったためであり，PSI では当該地域の結果を得るのが困難であることを示している．長波長ノイズの影響により，パスの境界では変動速度の値は必ずしも一致しない．また，LOS 方向の平均変動速度のため，上下成分のみではなく，東西成分の変動も寄与していることに注意しなくてはならない．日本海側が LOS 伸長，太平洋側が LOS 短縮の傾向が見られるが，GNSS 観測の結果も考慮すると，これは主に東西方向の変動を反映していると考えられる．その中でも，九十九里平野や新潟平野などでは，周囲と比較して相対的に LOS 伸長の変動を示す局所的な地域が見られ，これらは地盤沈下を捉えていると考えられる（図-3 黒破線内）．ただし，空間分解能を低下させ，かつ時空間フィルタを適用しているため，この変動速度は水準測量などで検出されているものより小さく，過小評価されていると考えられる．

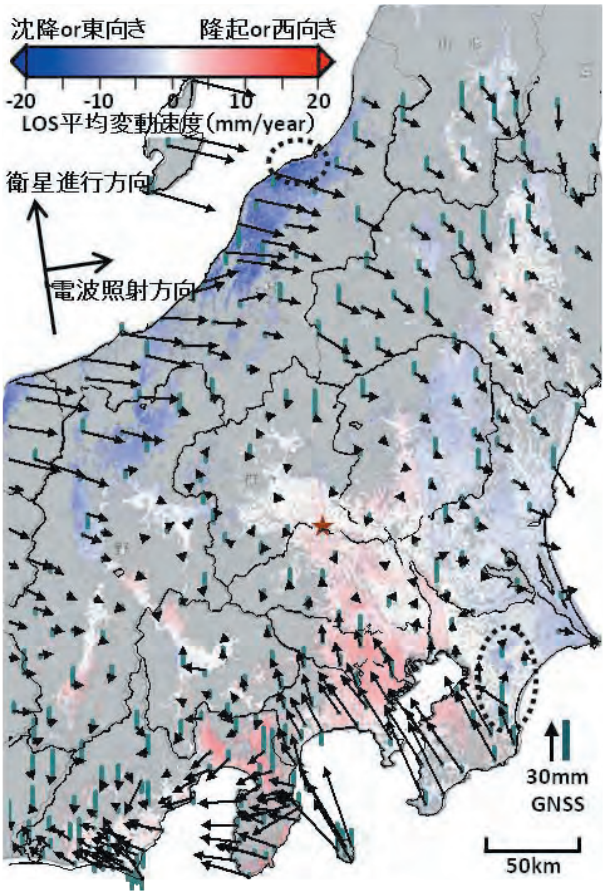


図-3　関東地方における PSI 広域解析の結果．背景の灰色が表示されている地域は結果が得られなかった地域である．黒矢印及び緑棒はそれぞれ水平方向及び上下方向の 2007 年 9 月～2010 年 9 月における GNSS 観測による変動量．星印は GNSS 観測データの固定点を表す．　黒破線内は地盤沈下が捉えられていると考えられる地域を表す．

4.2 九州地方全域の PSI 広域解析結果

解析に使用したデータは合計で 558 シーンであった（表-2）．関東地方と同様に，長波長の激しいノイズを含むデータを除去し，対流圏誤差低減処理，GNSS 補正及び時空間フィルタを適用した．GNSS 補正の固定点は，解析地域のほぼ中心に位置する電子基準点「五木」（021073）とした．

表-2　九州地方の解析データ情報

パス番号	422	423	424	425
フレーム数	5	6	6	5
解析観測数 ※	24 （20）	21 （15）	27 （23）	30 （25）
平均変動速度 計算期間	2007/7/9 2011/1/17	2008/1/26 2010/12/19	2007/8/12 2011/4/7	2006/8/26 2011/3/9

※括弧内は激しい長波長ノイズを含むデータ除去後の観測数

全体として西側が LOS 伸長，東側が LOS 短縮の傾向を示しているが，GNSS 観測の結果も考慮する

This document is provided by JAXA.

と，これは主に東西方向の変動を反映していると考えられる（図-4）．九州地方では雲仙岳，霧島山，桜島など活動が活発な火山が複数存在するが，本解析では PS 候補点を抽出する閾値を下げ，かつ空間分解能を低下させているため，目立った変動は検出されなかった．

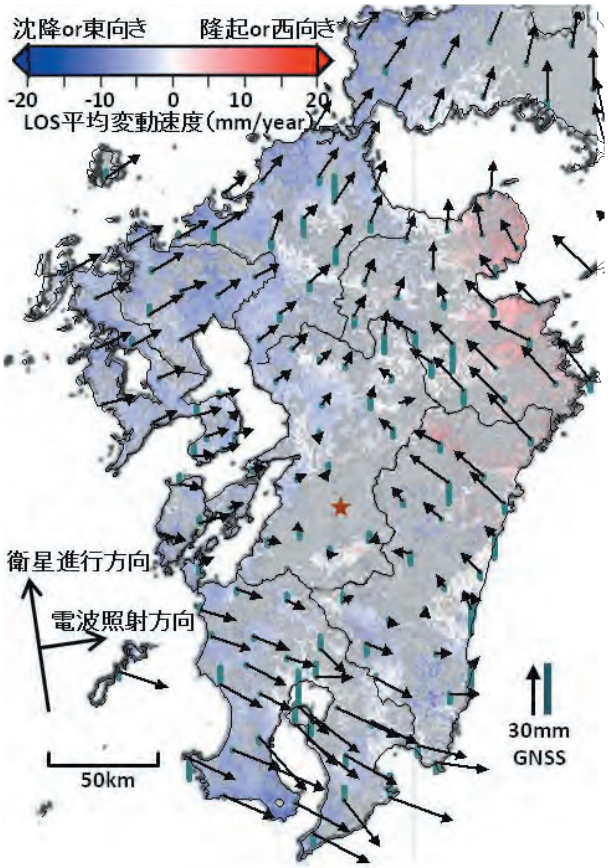


図-4　九州地方における PSI 広域解析の結果．背景の灰色が表示されている地域は結果が得られなかった地域である．黒矢印及び緑棒はそれぞれ水平方向及び上下方向の 2007 年 9 月～2010 年 9 月における GNSS 観測による変動量．星印は GNSS 観測データの固定点を表す．

4.3 広域解析の実現可能性と課題

これらの解析を実施した結果，約 13TB のファイルが生成された．不要な中間ファイルを削除することである程度ディスク容量は節約できるが，いずれにせよ日本全国を解析するには大容量のハードディスクが必須となる．

解析に要する時間は，データ数や PS 点数に大きく依存するが，1 つのパスでおおよそ 4 日～1 週間程度であった．しかし，現在入手可能な解析機器性能であれば複数のパスを並行して解析でき，効率的に解析を実施できる．また，可能な限りの処理の自動化を行ったため，手動での処理を要する部分は各処理手順の結果の確認や最適な結果を得るための解析パラメータ調整などに限定され，少人数でも広域解析は実現可能であると考えられる．ただ，解析パラメータ調整においては解析に関する高度な知識や経験が必要とされる．

激しい長波長ノイズが含まれるデータが多く見られ，これが広域解析において使用可能データの減少及び精度低下を招く大きな要因の一つとなっている．このノイズは電離層擾乱に起因するものであると考えられているが，現時点では効果的な誤差低減手法はなく，当該データを除去するしかない．しかし，データ数の減少は干渉 SAR 時系列解析において精度低下につながる．L バンドは電離層の影響を受けやすく，ALOS-2 でも同様の問題に直面することが想定されるため，誤差低減手法の確立が求められる．

PSI では解析の性質上，植生のある山岳地域で結果を得るのが困難である．L バンドは時間的・空間的短基線の干渉ペアであれば植生地域でも干渉性の高い結果が得られるため，そのような結果を利用する干渉 SAR 時系列解析のもう一つの主な手法である SBAS（Small Baseline Subset）であれば，山岳地域でも良好な結果が得られる可能性がある（Berardino et al.，2002）．

5. 効率的な局所解析と実用的な出力

広域解析ではデータ量の調整のため空間分解能を大きく低下させたが，PSI は本来，高分解能を利点とする解析手法である．地盤沈下，地すべり，火山活動などの局所的な地盤変動の監視においては高分解能な情報が望ましい．そこで，広域解析の結果を利用して効率的に高分解能な結果を得る機能を開発し，StaMPS/MTI に追加した．そしてこの機能を実際に地盤沈下，地すべり及び火山地域に適用した．

また，実用化にあたっては，解析結果の利用・理解のしやすさも重要な要素の一つである．そこで，解析結果を KML 形式で出力する機能を開発した．

5.1 効率的な局所解析

StaMPS/MTI の標準的な処理では，異なる範囲の解析を実施する場合，解析範囲の切り出し（2.2 手順 2）から実施するため，局所的な解析でも長時間を要していた．しかし，広域解析を実施済であれば時系列処理に必要な前処理（2.2 手順 6 まで）の結果が存在する．そこで，この結果に対して解析範囲の切り出しを行い，PSI 処理（2.2 手順 7）から開始できるような機能を追加した．これにより，局所的で高分解能な解析の計算時間を大幅に短縮することに成功した．

局所解析の場合は，対流圏や電離層による長波長ノイズの影響が小さいため，多くの場合，時空間フ

This document is provided by JAXA.

ィルタを使用したスレーブ空間相関ノイズを推定する必要がない．よって，本物の地盤変動を過小評価してしまう危険性が低下する．

5.2 KML 形式での解析結果の出力

解析結果をより効果的に利用するには，他の地理空間情報と重ね合わせて表示できることが望ましい．そこで，KML 形式で PSI 結果を出力する機能を開発した．本機能により，PS 点の位置及び変動量，等量線，格子化画像，凡例などを地図上に表示することが可能となった．

KML 形式を表示できるソフトウェアは無償で公開されており，インターネット環境があれば誰でも簡単に利用することができる．地図の拡大/縮小及び情報の表示/非表示の切り替えが容易で，視覚的に理解しやすい．重ね合わせ情報として，電子国土 Web システムの標準地図や色別標高図（http://geolib.gsi.go.jp/download.html）及び基本基準点や公共基準点の位置情報（http://sokuseikagis1.gsi.go.jp/）などが KML 形式で入手可能である．その他にもさまざまな地理空間情報を重ね合わせて表示することが可能である．

5.3 地盤沈下（新潟県柏崎市）への適用事例

新潟県では消雪用として地下水が利用されており，県内の複数の地域で地盤沈下が発生してきた（環境省，2012）．地盤沈下を監視するため，複数の市で毎年，高密度な水準測量が実施されてきた．ここでは，顕著な地盤沈下が水準測量でも検出されている柏崎市への適用事例を示す．

PSI 局所解析の結果，最大 2cm/year を超えるような地盤沈下が検出された（図-5）．この結果は水準測量の結果とも整合的である．水準点の分布と比較すると，PS 点の方が非常に多く分布していることがわかる．水準点の存在しない地点の変動量も計測可能で，変動の極大点の位置を高精度に推定したり，未知の変動域を発見したりすることも可能である．観測頻度も，水準測量は年 1 回（柏崎市は 2 年に 1 回）が標準であるのに対し，ALOS は最大年 8 回であり，時間分解能も高い．干渉 SAR 時系列解析の結果は，水準測量を効率的に実施するための参考情報や，水準測量を実施していない地域の新たな情報として利用できると考えられる．

5.4 地すべり（佐賀県唐津市）への適用事例

佐賀県唐津市の地すべり地帯に本機能を適用したところ，最大 3cm/year を超える LOS 短縮の変動が検出された（図-6）．地形の形状から，西向きの地すべり性の変動が発生していると考えられる．この結果は，干渉 SAR 時系列解析により地すべり性の微小な変動を検出できることを示している．

本機能では，この事例のような数 km 四方の解析範囲であれば，わずか数十分で解析結果を得ることができる．一般的に地すべりは空間スケールが小さいため，高密度な観測網が展開されていない限り検出は困難であるが，干渉 SAR 時系列解析を地すべりが疑われる範囲に対してくまなく適用することで，未知の地すべりを発見することが可能になると期待される．

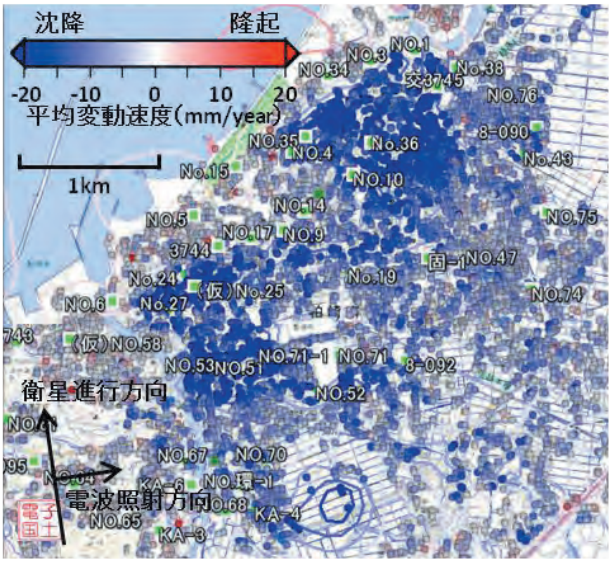


図-5　新潟県柏崎市における PSI 局所解析の結果．丸印及びその色が PS 点の位置及び平均変動速度，緑四角印及び文字列がそれぞれ水準点の位置及び水準点名を表す．色付きの実線は PS 点の平均変動速度からスプライン補間により推定した等量線である．平均変動速度は，水平方向の変動はないと仮定して，LOS から上下方向に投影したものである．

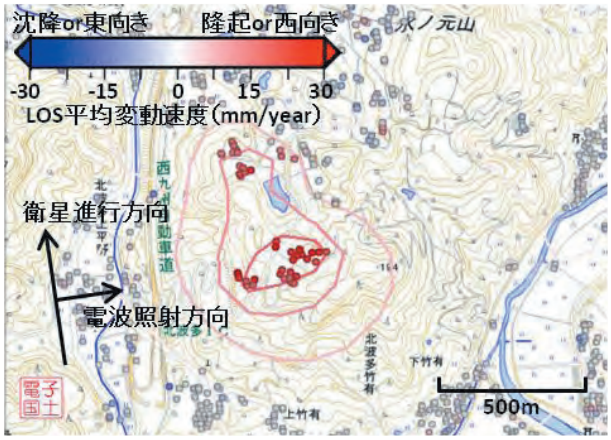


図-6　佐賀県唐津市における PSI 局所解析の結果

5.5 火山（大分県九重山）への適用事例

九重山は「火山防災のために監視・観測体制の充実等が必要な火山」として火山噴火予知連絡会によ

This document is provided by JAXA.

って選定された 47 火山のうちの一つで，気象庁により地震計や GNSS を使用した常時観測が実施されている．本機能を適用したところ，星生山頂付近における約 1km 四方の狭い範囲で，最大 6cm/year を超える LOS 伸長の変動が検出された（図-7）．気象庁の GNSS 観測点は今回検出した変動域の外側に位置しているため，このような変動は検出されていなかった．地上の観測点を設置するのが容易ではない火山地域において，PSI による高分解能な監視は効果的であるといえる．しかし，植生や積雪があると PS 点を抽出するのは困難になるため，適用可能な火山は限定される可能性がある．

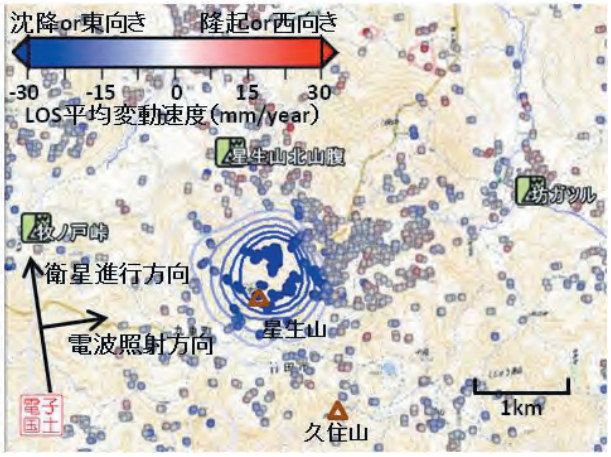


図-7　大分県九重山における PSI 局所解析の結果．黄緑色印は気象庁が設置した GNSS 観測点を表す．

6. まとめ

今回の結果から，干渉 SAR 時系列解析による地盤変動監視の実現可能性を確認することができた．PSI 広域解析では，長波長ノイズや山岳地域では良好な結果が得られないといった問題点が明らかになったが，PSI 局所解析により，地盤沈下，地すべり及び火山地域において効率的に高精度な結果を得ることができた．今後は，より良好な結果を得るため，電離層ノイズ低減手法や PSI とは異なる干渉 SAR 時系列解析手法に関する調査・研究を実施し，ALOS-2 などの次世代の SAR 衛星データを使用した地盤変動監視の実用化を目指す．

謝　辞

本研究で使用した「だいち」の PALSAR データの所有権は，（独）宇宙航空研究開発機構（JAXA）及び経済産業省にあります．これらのデータは，「陸域観測技術衛星を用いた地理空間情報の整備及び高度利用に関する協定」に基づき，JAXA から提供されました．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．KML 出力機能の一部として GMT（Wessel and Smith，1998）を利用しました．干渉 SAR 時系列解析の計算処理の一部は，平成 25 年度職場体験実習生の京都大学大学院・金子泰洸ポール君に実施してもらいました．ここに記して謝意を表します．

（公開日：平成 25 年 11 月 6 日）

参 考 文 献

Berardino, P., G. Fornaro, R. Lanari, and E. Sansosti (2002): A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 40, 2375‐2383.

Crosetto, M., O. Monserrat, N. Adam, A. Parizzi, C. Bremmer, S. Dortland, R.F. Hanssen and F.J. van Leijen (2008): Validation of existing processing chains in Terrafirma stage 2, http://www.terrafirma.eu.com/validation/ValProj/Final%20Reports/ValProj_Final_report.pdf (accessed 30 Aug. 2013).

藤原智，飛田幹男，村上亮，中川弘之，P. A. Rosen（1999）：干渉 SAR における地表変動検出精度向上のための基線値推定法と大気 - 標高補正，測地学会誌，45，315-325.

福島洋（2011）：StaMPS パッケージを用いた PS 干渉 SAR 解析，測地学会誌，57，41-48.

福島洋，A. Hooper（2011）：PS 干渉解析による 2004 年新潟県中越地震後の地殻変動，測地学会誌，57，195-214.

Hooper, A., P. Segall, and H. Zebker (2007): Persistent scatterer InSAR for crustal deformation analysis, with application to Volcán Alcedo, Galápagos, J. Geophys. Res., 112, B07407

環境省（2012）：全国地盤環境情報ディレクトリ（平成 23 年度版），http://www.env.go.jp/water/jiban/dir_h23/index.html（accessed 30 Aug. 2013）.

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，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.

和田弘人，松坂茂，藤原智，仲井博之，藤原みどり，雨貝知美，飛田幹男，福崎順洋，矢来博司（2007）：

This document is provided by JAXA.

ALOS/PALSARデータの干渉SAR測量への利用とデータ処理・解析システムの構築概要, 国土地理院時報, 111, 107-117.

Wessel, P. and W. H. F. Smith, New, improved version of the Generic Mapping Tools released, EOS Trans. AGU, 79, 579.

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，122，47-54.

山中雅之，森下遊，大坂優子（2013）：干渉SAR 時系列解析による地盤沈下の検出，国土地理院時報，124，1-14.

This document is provided by JAXA.

地球地図プロジェクトの推進と地球地図第 2 版の整備
Steering Global Mapping Project and Developing Global Map Version 2

応用地理部　鵜生川太郎・安藤暁史・齋藤俊信・植田摩耶・山田晃子・須賀正樹
Geocartographic Department　Taro UBUKAWA, Akifumi ANDO, Toshinobu SAITO, Maya UEDA, Akiko YAMADA and Masaki SUGA

要　旨

国土地理院では，2008 年の地球地図第 1 版公開以降も，引き続き地球地図国際運営委員会事務局として地球地図プロジェクトの推進に取り組んできた．その結果，地球地図第 2 版の整備が進み，より多くの国の地球地図データが利用できるようになるとともに，全球をカバーする土地被覆や植生データについても，より高い解像度で整備し，公開が行われた．

また，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をはじめとした国際的なイニシアティブ等との連携も進めており，国際的なニーズに沿った信頼のできる地理空間情報の整備に貢献している．

1. はじめに

国土地理院は 1996 年の発足時より地球地図国際運営委員会（International Steering Committee for Global Mapping．以下「ISCGM」という．）の事務局を務めており，各国・地域の地理空間情報当局（National Geospatial Information Authority．以下「NGIA」という．）との協働により，全世界陸域における基盤的な地理空間情報データセットである地球地図を整備する地球地図プロジェクトを推進している．

ISCGM はその目的として，環境保護や自然災害の軽減，持続可能な開発における経済成長の促進をするための地球規模の合意や協定の実施を促進するために必要となる地球地図データの整備促進を行うこととしている（ISCGM 規約第 2 条）．今般の環境や開発に関する国際的な関心の高まりや国際会議における議論の状況等を踏まえると地球地図データの役割はより一層重要となってきている．

国土地理院は地球地図プロジェクトに積極的に参加し，その推進を図っており，2008 年の地球地図第 1 版の公開以降は，地球地図仕様の改訂（Kishimoto et al., 2009）やこれに基づく地球地図第 2 版の整備を進めてきた．

本稿ではこうした地球地図プロジェクトの現状について，地球地図第 2 版の整備状況や我が国のプロジェクト推進に向けた取組について報告するとともに，リオ＋20 などの地球規模の地理空間情報を取り巻く国際的なイニシアティブとの連携についても報告する．なお，本稿は 2009 年の地球地図の仕様改訂（第 2 版仕様の策定）以降の取組について，特に 2011 年以降の地球地図第 2 版の整備・公開を中心に，プロジェクトの現状について報告するものである．仕様改訂の経緯や内容については Kishimoto et al.（2009）を，地球地図データの構造やプロジェクト設立からの経緯については，飯村ほか（2011）などを参照されたい．

2. 地球地図第 2 版の整備・公開

2.1 各国による地球地図第 2 版の整備・公開

2009 年の地球地図の仕様改訂以後，地球地図プロジェクトへの参加国・地域は，地球地図第 2 版の整備・公開を進めてきた．各国・地域の NGIA は，データの更新（第 1 版データ公開国）あるいはデータの新規作成（第 1 版データ未公開国）という形で地球地図第 2 版のデータを整備し，各国・地域又は ISCGM のホームページから公開している．2007 年の第 14 回 ISCGM において，地球地図データは，各国・地域の NGIA がそれぞれ運用する Web サイトから公開していくことを推奨することが決議された．特に先進国においては，ここ数年の間に自国でのデータ公開が進んでおり，データのメンテナンスや国内での普及啓発をより容易に実施できる体制が整いつつある．

データ公開国数は第 1 版整備完了時（2008 年）の 73 カ国・地域から，2013 年には 118 カ国・地域（10 月 10 日時点）となり，特に 2013 年に大きく公開国数が伸びている（図-1）．面積比に換算すると，全陸域の約 66%のデータが整備され，利用可能となっている．

地域別に見ると，この間，欧州諸国がデータを公開したことで，欧州地域の地球地図データ整備が大きく進捗した．一方で，アフリカ大陸で全体的に整備の進展が遅れているとともに，国土面積の大きいロシア及び中国のデータ公開が遅れていることは今後の課題である（図-2）．なお，地球地図プロジェクトへの参加については，2013 年時点で 182 カ国・地域となっており，全陸域面積の 96%以上を占めている．政情不安定な一部の国や地域等を残すのみとなっており，この数年での大きな増加はない．

This document is provided by JAXA.

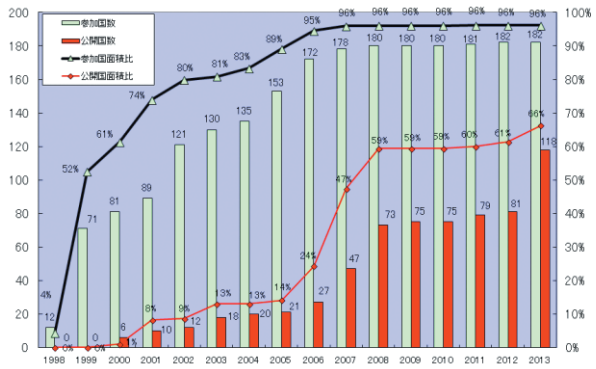


図-1　地球地図プロジェクト参加国及びデータ公開国数の推移

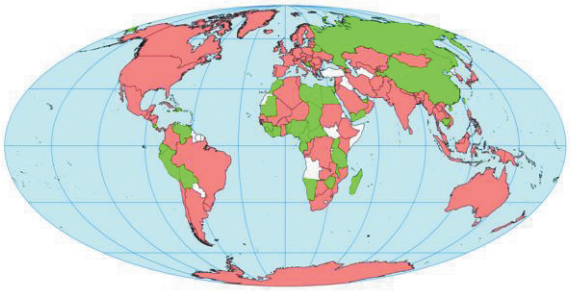


図-2　地球地図データ公開国（赤：公開国　緑：整備中　白：未参加）

欧州諸国は，地球地図プロジェクトに対し，欧州地域の NGIA の集合体であるユーロジオグラフィックスとして参加している．2013 年 3 月にユーロジオグラフィックスは，欧州地球地図（Euro Global Map）をオープンデータとして無償で公開を開始した．これらのデータは商用・非商用を問わず自由に利用できる一方で，独自の地球地図仕様に基づいたデータとして作成されている．他地域の地球地図とは若干仕様が異なるものの，整備の主旨や方法，内容等を踏まえると，欧州地球地図は地球地図と同様の情報であると考えられることから，地球地図データの一部として取り扱っている．なお，地球地図仕様に完全に適合させるためには，属性項目などに関して多少の調整が必要となる点には留意が必要である．また，欧州地域においては，　25 万分 1 の欧州地域地図（EuroRegionalMap）や，10 万分 1 の欧州境界地図（EuroBoundaryMap）も公開されているが，これらは有償での販売物となっており，地球地図データとはしていない．

地球地図データは，プロジェクトに参加する各国・地域の NGIA が，それぞれの自主的な取組によって整備することを基本としているが，中には，データ整備に関する支援を必要とする国も存在する．国土地理院では，我が国の地球地図（地球地図日本第 2 版）の整備に加え，特に途上国を中心に地球地図第 2 版データ整備に関する技術的な支援を行った．また，JICA 研修等を通じて途上国への技術移転も行った．

さらに，2010 年以降に整備したデータの品質管理ツールやメタデータエディタ，データ整備マニュアル等（飯村ほか，2011）により，多くの地球地図プロジェクト参加国におけるデータ整備支援を進めてきた．特に途上国においては，GIS ソフト等の不足がプロジェクトの障害になっていることが多く報告されていたが，地球地図整備のためのこうしたソフトウェア等の提供は，データ整備の推進や品質の管理等において十分な威力を発揮したと考えられる．

2013 年の第 20 回 ISCGM 会合では，地球地図第 2 版の整備・公開の大きな進捗を認識するとともに，引き続き 2014 年まで地球地図第 2 版の整備･公開を続けていくことが決議された．データ未公開国に対して，引き続きデータ整備・公開に向けた取組を進めていく予定である．

2.2 地球地図全球版第 2 版の整備・公開

地球地図の 8 項目のうち，土地被覆及び植生レイヤについては，各国におけるデータ整備とは別に，国土地理院と千葉大学が中心となり，地球地図全球版として整備している．2008 年には第 1 版を整備・公開したが，これを更新する形で，2013 年 7 月に第 2 版を整備・公開した（図-3）．

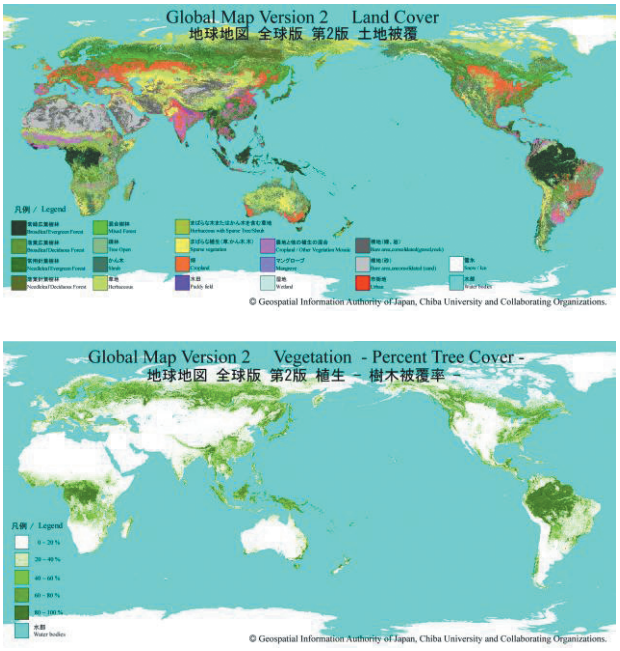


図-3　地球地図全球版第 2 版　土地被覆及び植生

データ作成に当たっては，14 カ国・地域の NGIA がグランドトゥルースデータの提供等に協力した．

This document is provided by JAXA.

また，本データの検証は千葉大学の CEReS Gaia（http://gaia.cr.chiba-u.jp/portal/）を利用して行われた．地球地図全球版土地被覆データ及び植生データは ISCGM のホームページから公開されており，データ作成に使用した MODIS データ及びトレーニングデータは千葉大学 CEReS Gaia から公開予定である．

2.3 地球地図全球版第 2 版の精度・特徴

地球地図第 2 版の特徴については，地球地図仕様の改訂のポイントとともに Kishimoto et al.（2009）にまとめられているため，ここでは，地球地図全球版第 2 版（土地被覆及び植生）の特徴について紹介する．

地球地図全球版第 1 版と比較して，第 2 版では空間解像度が 30 秒から 15 秒に向上している．また，利用したデータの観測日も新しくなっている（表-1）．

表-1　地球地図全球版第 1 版と第 2 版の諸元

	第 1 版	第 2 版
空間解像度	30 秒	15 秒
利用データ	MODIS/Terra（16 日コンポジット）	MODIS/Terra+Aqua（16 日コンポジット）
観測年	2003 年	2008 年
公開年	2008 年	2013 年

第 2 版作成のための土地被覆分類においては，分類手法や空間解像度の改善により，第 1 版と比較すると分類精度が向上している部分が認められる．例えば，日本においては，第 1 版と第 2 版を比較すると，農地（オレンジ），水田（紫），農地と他の植生の混合（ピンク）の分類精度が向上し，水田の分布をより適切に判読できるようになっている（図-4）．

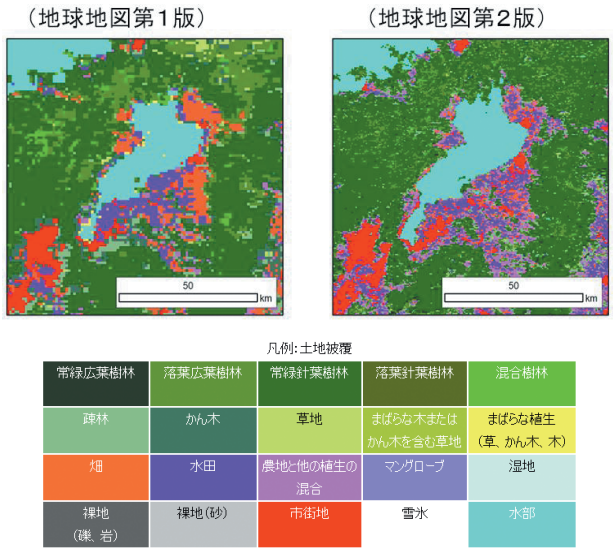


図-4　地球地図全球版土地被覆（琵琶湖周辺）

一方で，手法の改善や空間解像度の向上によって，第 1 版と第 2 版の単純比較が難しくなる等の問題があることも認められた．特に，土地被覆区分の定義や特性が似通ったもの（例：樹林の各クラス等）の間では，分類手法や空間解像度の違いによる分類の差が大きいと考えられる．これら地球地図第 2 版の精度については，現在検証作業を進めているところである．

地球地図土地被覆データは国連食糧農業機関（FAO）が定めた LCCS（Land Cover Classification System）の土地被覆区分に基づいた 20 クラスに分類されているが，分類クラスを統合してより少ないクラス数にすると一般的には分類の正解率が高くなり，時点変化をはっきりと認識することができる場合がある．図-5 にブラジルアマゾンにおいて土地被覆分類クラスを統合した例を示す．樹林（緑），疎林・草地等（黄緑），農地（オレンジ），市街地（赤），水部（青）などと，分類項目を統合しシンプルにすることにより森林（緑）の減少や，市街地（赤）の拡大を見ることができる．

今後，地球地図全球版（土地被覆及び植生）は，さらに更新を行い，第 3 版として整備することが 2013 年の第 20 回 ISCGM 会合で決議された．第 3 版の整備に当たっては，変化を正確に把握するために土地被覆分類区分を簡素化する等の対応についても，引き続き検討を行っていく予定である．

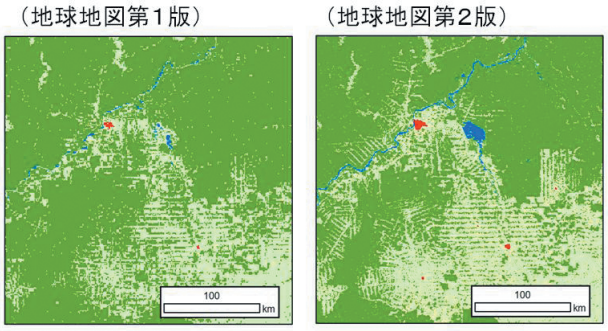


図-5　地球地図全球版土地被覆（ブラジル・アマゾン）

3. データ利用

3.1 ダウンロード統計

ISCGM ホームページからデータダウンロードのためのユーザ登録をした利用者は 2013 年 5 月末時点で，延べ 43,000 名を超えており（ISCGM, 2013），2007 年以降，ISCGM のページからは毎年 2 万回以上のダウンロードがされている（図-6）．なお，前述のように，日本を含む一部の先進国では，各国・地域の NGIA が独自の Web サイトからそれぞれの国・地域の地球地図データを公開しており，こうした国・地域は毎年増加している．上記ダウンロード回数には，

This document is provided by JAXA.

こうした各国・地域のサイトから直接ダウンロードする回数は含まれていないため，実際にはここに示されている数字以上のダウンロードが行われている．

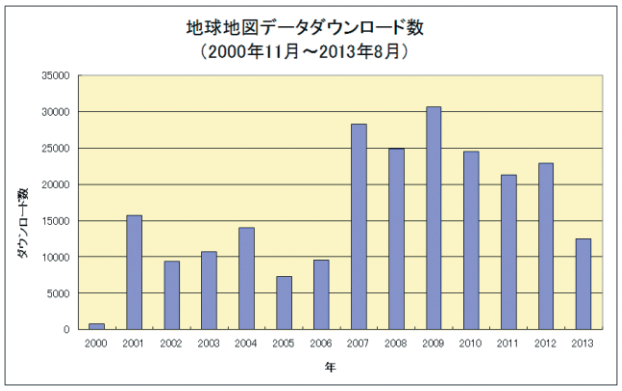


図-6　地球地図データダウンロード数の推移

ISCGM のダウンロードページでは，データ利用目的を把握するために，データの用途に関する選択式のアンケートを 2011 年 5 月から実施している．その結果は ISCGM 会合に報告され，データ整備や仕様検討の参考に活用している．図-7，8，9 に，地球地図全球版土地被覆データ，地球地図全球版植生データ，地球地図各国・地域版データのそれぞれについて，2012 年 8 月から 2013 年 5 月までにダウンロードを行った利用者の，データの利用目的の集計結果を示す．どのデータに関しても利用者の目的は多岐にわたっており，様々な分野で地球地図データが活用されていることが分かる．全ての種類のデータで教育（Education）や研究目的（Research Study）での利用が多く見られた．一方で，全球版土地被覆及び植生データについては，生物多様性（Biodiversity）や生態系（Ecosystem），農業（Agriculture）を利用目的としてあげる人も多く，データ種別による利用場面の違いも見られる結果となっている．

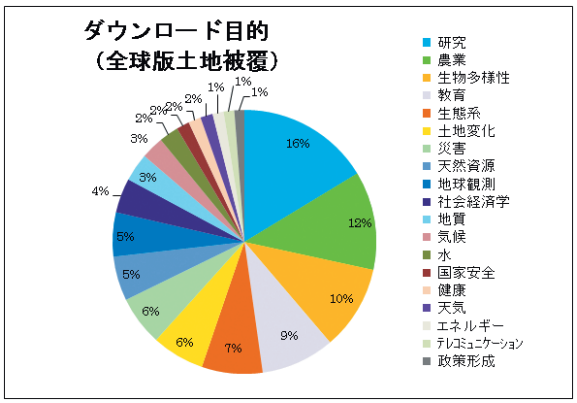


図-7　地球地図全球版土地被覆データの利用目的

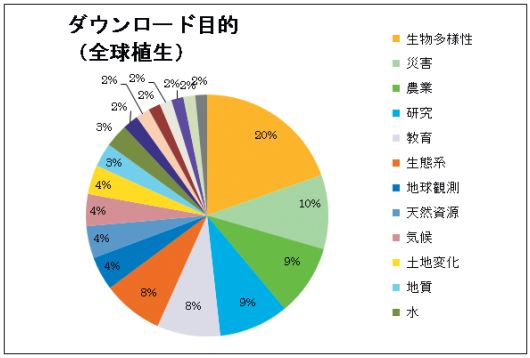


図-8　地球地図全球版植生データの利用目的

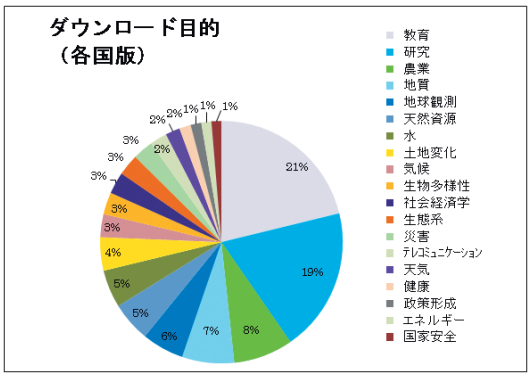


図-9　地球地図各国版データの利用目的

3.2 地理院地図における地球地図データの利用

国土地理院では，地理院地図を整備・運用し，最新の地図情報を提供している．初期の地理院地図システム（電子国土）では，日本国外の地域については表示ができなかったが，電子国土 Web.NEXT 以降の地理院地図（http://portal.cyberjapan.jp/site/mapuse4/）では，インターネットの地図サービス等で標準的なタイル画像形式をサポートし，全世界の表示を行うことが可能となっている．

これに対応するため，地球地図データを利用した，地理院地図で表示される小縮尺背景地図データの整備を行い，2012 年から提供している（図-10）．この小縮尺地図では，地球地図全球版の標高データと，その他のデータ（GEBCO: 国際水路機関等による海底地形データ）等を組み合わせて利用している．また，地球地図全球版第 2 版の土地被覆データ及び植生データについても，同様に標準的なタイル画像として整備・提供を行っており，これらについても，地理院地図より閲覧することができるようになっている．

This document is provided by JAXA.

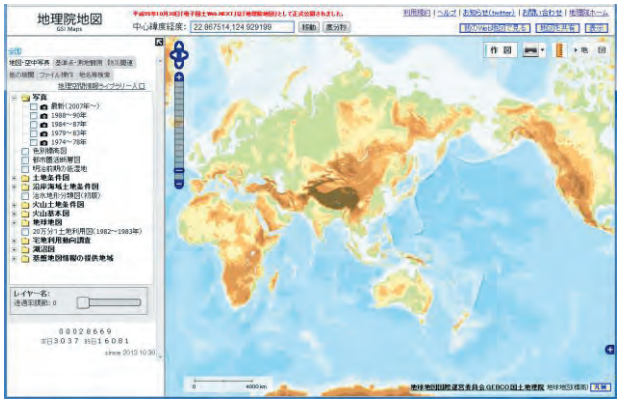


図-10　地理院地図における地球地図（背景図）

4. 国際的なイニシアティブとの連携

4.1 リオ+20 における議論

持続可能な開発に関する分野での地球地図の利活用を推進することを目的として，2012 年 6 月にブラジルで開催された国連持続可能な開発会議（リオ+20）において，地球地図のセミナー及び展示を行った．ジャパンパビリオンで開催された国土交通省主催の「持続可能な開発のための地球地図及び総合的な水資源管理」と題したセミナーでは，国土地理院からプロジェクトの概要及び持続可能な開発に関する活用事例，英国陸地測量部長及びブラジル地理統計院から地球地図の取組・活用事例，JAXA から地球地図の活用事例や地球観測の意義などについて発表が行われ，地理空間情報の重要性が強調された．

このような取組の結果を踏まえ，本会議で採択された成果文書『我々の求める未来（The Future We Want）』には，日本政府からの提案を基に，「信頼性のある地理空間情報」と「地球地図」の重要性が 2 つの段落に記載された．

4.2 国連専門家委員会における議論

国連加盟国内での地理空間情報管理の共通の枠組みや仕組みの構築に向け，2011 年 7 月に国連経済社会理事会（ECOSOC）の下に「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」（以下「UNCE-GGIM」という．）が設置された．UNCE-GGIM では持続可能な開発のための地球地図（GM4SD）の作成に向けた作業部会が設置され，その中で地球地図プロジェクトとの連携の必要が指摘され，ISCGM が GM4SD の主要な実務的役割を果たすことが合意された（UNCE-GGIM 第 3 回会合）．

国土地理院がこれまでに取り組んだ具体的な作業としては，2012 年 2 月にカタール国ドーハで開催された UNCE-GGIM ハイレベルフォーラムを受け，各国・地域の協力の下，地球地図データの位置精度検証を行った．これは地球地図データが GM4SD の基盤データとして適切な品質を有しているかどうかの検討の一環として行われた．当該検証では、国土地理院と JAXA の協定の下，各国・地域に ALOS/PRISM 画像を提供し，これを用いて地球地図データの位置精度等の評価を行った．その結果，本検証作業に参加した国・地域のほぼ全てのデータで，地球地図仕様に規定される品質を確保していることが確認された．

2013 年 7 月の第 20 回 ISCGM 会合において，これまで委員長を務めていたカナダ・カールトン大学のフレイザー・テイラー教授が退任し，シンガポール国立大学のポール・チュン教授が新委員長に着任している．2012 年まで国連統計部長を努め UNCE-GGIM の議論をリードしてきたチュン教授と連携し，国土地理院は ISCGM 事務局として，地球地図及び UNCE-GGIM プロセスの推進に引き続き貢献していく予定である．

5. まとめ

2008 年の地球地図第 1 版の公開以降，国土地理院は地球地図第 2 版の整備の推進に取り組んできたところであり，地球地図第 2 版は着実に整備・公開が進んでいる．

また、現在進行中である UNCE-GGIM 等の国際的なイニシアティブとの連携も加速しており，地球地図プロジェクトは新たな局面を迎えている．今後，各国・地域の NGIA の協働プロジェクトである地球地図プロジェクトを通じて，より価値の高いデータを，より利便性の高い方法で提供できるよう，国土地理院は引き続き取組を進め，持続可能な開発の達成や地球温暖化対策の実施等，地球規模の課題の解決に貢献していく．

（公開日：平成 25 年 11 月 5 日）

参 考 文 献

Kishimoto, N., Fukushima, Y., Tanaka, T., Nakamura, T., Otoi, K., Takahashi, H., Oomiya, S., Kojima, S. and Yoshikawa, M. (2009): Revision of Specifications for Global Map Version 2, Bulletin of the Geographical Survey Institute, Vol. 57, 45-62.

International Steering Committee for Global Mapping (2013): Report of the Twentieth Meeting of International Steering Committee for Global Mapping

This document is provided by JAXA.

飯村威，中村孝之，大塚力，鵜生川太郎，中南清晃，本嶋祐介，須賀正樹，谷田部好徳（2011）：地球地図第2版整備のための国土地理院の取り組み，国土地理院時報，121，157-164.

This document is provided by JAXA.

電子基準点の GNSS 対応
Modernization of GEONET from GPS to GNSS

測地観測センター
辻宏道・宮川康平・山口和典・矢萩智裕・大島健一・山尾裕美・古屋智秋
Geodetic Observation Center
Hiromichi TSUJI, Kohei MIYAGAWA, Kazunori YAMAGUCHI, Toshihiro YAHAGI,
Kenichi OSHIMA, Hiromi YAMAO and Tomoaki FURUYA

要　旨

国土地理院は，全国で GPS 衛星の連続観測を行う電子基準点を平成 6 年から運用している．平成 25 年 5 月 10 日，従来の GPS 衛星に加え，電子基準点で観測した準天頂衛星及び GLONASS 衛星のデータ提供を全国で開始し，我が国でも本格的な GNSS 時代が始まった．本稿では，電子基準点の GNSS 対応の背景や経緯，現在までに得られた GNSS 利用の効果，今後の計画等について述べる．

1. はじめに

国土地理院では，現在，全国約 1,300 箇所に「電子基準点」と呼ばれる測位衛星の観測施設を設けて，連続観測を行い，我が国の位置の基準を定める測量や地殻変動観測を実施するとともに，一般の測量や高精度測位サービスのために観測データや解析結果を公表している．

平成 25 年 5 月 10 日，従来の GPS 衛星に加え，電子基準点で取得した準天頂衛星及び GLONASS 衛星の観測データの提供を全国で開始し，我が国でも本格的な GNSS（Global Navigation Satellite System）時代が始まった．GNSS とは，GPS や GLONASS などの各国の衛星測位システムを総称する用語である．

国内の電子基準点のネットワークと，そのデータを収集・解析・配信する中央局から構成されるシステム全体を GEONET と呼んでいる. 従来の GEONET は GPS だけに対応した GPS Earth Observation Network system であったが，一連の GNSS 対応の進展により， GNSS Earth Observation Network system に進化している．

本稿では，電子基準点の GNSS 対応に至る背景や経緯について述べる．もちろん，これで GEONET の GNSS 対応が完成したわけではなく，今後も解析システムの改良や新たな GNSS への対応が続くため，最後の章は今後の計画となる．

2. 背景

2.1 インフラとしての電子基準点

GPS 衛星の連続観測を行う電子基準点の本格的な整備は，平成 5 年に始まり，平成 6 年には約 200 点から構成される初期の観測網の運用が始まった．当時の測量の基準座標系は日本測地系であり，衛星測位で得られる世界測地系の座標値は公的な測量には利用できなかったものの，日々の座標値の差から得られる地殻変動情報は, 平成 6 年北海道東方沖地震, 平成 7 年兵庫県南部地震をはじめとする大地震のメカニズム解明に貢献した．その後，電子基準点の増設，解析システムの統合・改良が行われ，平成 15 年には観測点数が 1,200 点となった（国土地理院測地観測センター，2004）．この間，様々な地震や火山活動に伴う地殻変動を検出し防災情報として活用されるとともに，地震波の放出を伴わないスロースリップ現象の発見等により学術的にも貢献している（例えば Sagiya, 2004; Nishimura et al., 2013）．

平成 14 年の改正測量法の施行により我が国でも世界測地系が採用され，電子基準点の測量成果（座標値）が利用できるようになった．30 秒毎の観測データは，受信機に依存しない標準形式で公開され，広く GPS 測量（相対測位）の基準データとして利用されるようになった. あわせて平成 14 年には 1 秒毎のリアルタイムデータも民間に開放され，位置情報サービス事業者がネットワーク型 RTK 測位のサービスを開始した．この方式は，後述の通り，利用者（移動局）の cm 級の位置を, 移動局で取得した GPS データと周辺電子基準点データから計算した補正情報とを用いてリアルタイムで決定するもので，公共測量や工事測量，土地登記等に活用されるようになっている．

GPS データは，衛星と受信機の間に存在する大気の影響を受けるため，逆に大気中の水蒸気量の分析にも役立つ．このような「GPS 気象学」の研究成果を生かし，気象庁は平成 21 年 10 月から GEONET データから求めた水蒸気量（可降水量）の天気予報業務への利用を開始した（気象庁・国土地理院, 2009）. また, GPS の L1（1575.42MHz）及び L2（1227.60MHz）信号を組み合わせると電離層の状態を調べることもできるので，GEONET は電離層研究のツールとしても活用されている（例えば Saito et al., 2002）．

このように GPS 連続観測を行う電子基準点は，今では我が国の測量，地殻変動観測，位置情報サービ

This document is provided by JAXA.

ス，天気予報，学術研究等を支えるインフラとして不可欠なものになったと言って過言ではない．

今まで電子基準点として設置した点数は 1,240 点であるが（図-1），近年は測量利用者のニーズを踏まえ，地殻変動観測等のために設置した連続観測点も測量に利用できるよう測量成果（座標値）の公開を行っている．このような点を含む広義の電子基準点は，平成 25 年 4 月 1 日現在，1,273 点ある．験潮場等に設けた連続観測点（40 点）についても測量に利用できるものがないか検討しており，広義の電子基準点の数は若干増える見込みである．

図-1　電子基準点の配置図.

2.2 GNSS への期待

GPS は米国の開発した衛星測位システムだが，旧ソ連は 1980 年代から米国に追随して GLONASS を開発してきた．また GPS の成功で衛星測位が社会的に重要なインフラであることが認識されると，2000 年頃から欧州が Galileo という独自の衛星測位システムの開発を始め，これに次いで我が国も GPS 補完機能を持つ「準天頂衛星システム」（QZSS）の開発を開始した．こうした各国の努力により，多数の衛星測位システムが利用できる GNSS 時代の到来が期待されていた（辻，2010）．

従来の GPS に加え，これらの GNSS を利用すると，同時に観測できる衛星数が増えるため，ビルや樹木等の障害物によって衛星信号が受信しにくい都市部や山間部でも測量できる場所が広がる．また新たな周波数帯 L5（1176.45MHz）の信号が増えることにより，より短い時間での測量が可能となることも期待される．このため利用者からは測量のインフラである電子基準点において早く GPS 以外の GNSS にも対応してほしい，との要望が寄せられていた．

電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会（以下，「協議会」という．）は，電子基準点リアルタイムデータの利活用と普及推進を目的に，平成 13 年に設立された民間団体であり，測量会社，受信機メーカー，位置情報サービス事業者，通信事業者，大学等から構成される．同協議会が，平成 22 年 6 月に国土地理院に提出した要望書では，電子基準点の GNSS 化により，以下のようなことが期待されている（電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会，2010）．

1) 衛星測位による利用エリアが広がり，利用可能時間もふえる．
2) GNSS 受信機購入意欲が増し，市場の活性化が図れる．
3) 建設 ICT での利用促進が見込まれる．（特に山間部の現場において）
4) 都市部での移動体の高精度測位が可能となり，モービルマッピングシステム等による 3D 地図が容易に作成でき，3D 地図利活用も促進される．
5) 独自の GNSS 局を設置することなく，国内広域で GNSS 測位が可能となり，GNSS 測位の利活用が促進される．

ここでの衛星測位は，電子基準点データを活用して行うものなので，カーナビ等で用いられる単独測位というよりも，cm 級の精度を持つキネマティック測位を主に指している．このキネマティック測位をリアルタイムで行うのが RTK（Realtime Kinematic）測位である．RTK には，1) 利用者が現場に自分で基準局を置き，そこから移動局にデータを無線伝送する方式と，2) 周辺の電子基準点データから生成された補正情報を移動局において携帯電話等で受信して測位するネットワーク型 RTK がある（図-2）．

リアルタイムで cm 級の精度を得るためには，同時に観測できる衛星数が 5 機以上必要とされる．このため，工事現場でブルドーザー等の建設機械のコントロールやガイダンスを行う情報化施工（建設 ICT）では，山間部など観測条件が悪い場所でも困らないよう，GPS と GLONASS データを併用する RTK が先行的に普及していた．もし電子基準点でも GLONASS データが利用できれば，利用者が自分で基準局を設置する必要がなくなるため，情報化施工関係者から電子基準点の GNSS 対応について強い要望があり，要望書に反映されたものである．

This document is provided by JAXA.

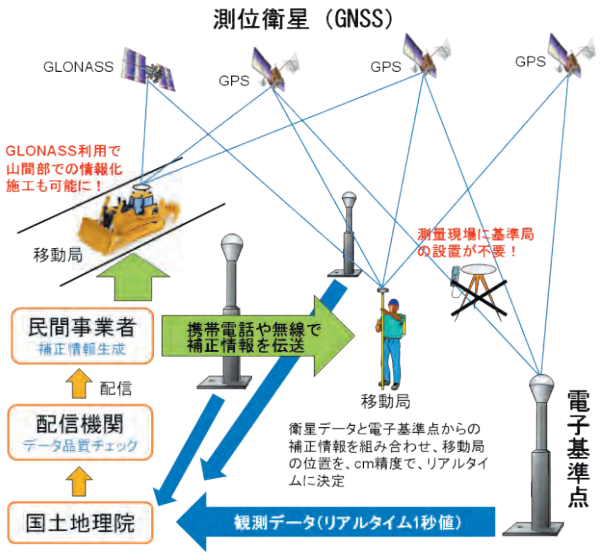


図-2 ネットワーク型 RTK 測位の仕組み.

3. 電子基準点の GNSS 対応

3.1 当初計画

国土地理院の平成 21 年頃の更新計画では, 米国の進める GPS 近代化計画により現行の GPS 受信機では L2P 信号が受信できなくなる平成 32 年までに, 全点で次世代 GPS に対応した受信機を導入することを目標とした（辻, 2009）. 幸い, 平成 20 年度補正予算と平成 21 年度予算により, 老朽化した受信機（450 点）の更新が可能となり, その後は毎年 80 点の更新を 10 年間継続し, 平成 31 年までに全点で GNSS 対応を完了させる長期計画とした. GPS 近代化で追加される L5 信号の受信にはアンテナ更新も必要だったが, その更新時期は未定であった.

平成 22 年 9 月には我が国の準天頂衛星初号機「みちびき」が無事打ち上げられ, またロシアの GLONASS についても衛星配備が完了し, 利用者ニーズも確認された. このため電子基準点では, 近代化 GPS, Galileo に加え, 準天頂衛星, GLONASS についても対応することとしたが, 全点で GNSS 対応できるのは, やはり平成 31 年の予定であった.

3.2 東日本大震災を踏まえた更新の前倒し

平成 23 年東北地方太平洋沖地震の発生は, この状況を一変させた. M9.0 という未曾有の巨大地震がもたらした地殻変動を GEONET は詳細に記録し, 防災や地震調査,測量成果改定に貢献した（Nishimura et al., 2011;水藤ほか, 2011; Yamagiwa et al., 2012）.

携帯電話網による通信二重化や無停電装置の強化により, 東北地方の電子基準点網の運用停止は発災直後に限られたが, それでも停電や通信遮断により地震前後の貴重なデータの一部が失われる事態となった（大島ほか, 2011）.

このため, 東日本大震災で被害を受けた電子基準点を復旧するとともに, 防災上重要な地殻変動観測を継続的に実施するため, 平成 23 年度補正予算により電子基準点の受信機・アンテナの更新等が認められた. この結果, ほぼ全ての電子基準点の機器更新が平成 24 年度末までに実施できることになった. ただし, GNSS データの収集・配信を行うシステムの開発には一定期間を要するため, 平成 24〜25 年度に行うこととした. この段階で, 電子基準点の GNSS 対応は平成 26 年に前倒しされたことになる.

その後, さらに震災復興を支援するため, 機器更新が完了した地域から準天頂衛星及び GLONASS データの提供を順次行うこととした. この結果, 平成 24 年 7 月から東北地方を中心とする電子基準点 187 点, 平成 25 年 4 月から東日本全域を含む 541 点, そして同年 5 月から全国の電子基準点について, 準天頂衛星及び GLONASS データの提供を開始し（図-3）, 予定通り電子基準点の高度化が進んだ（図-4）.

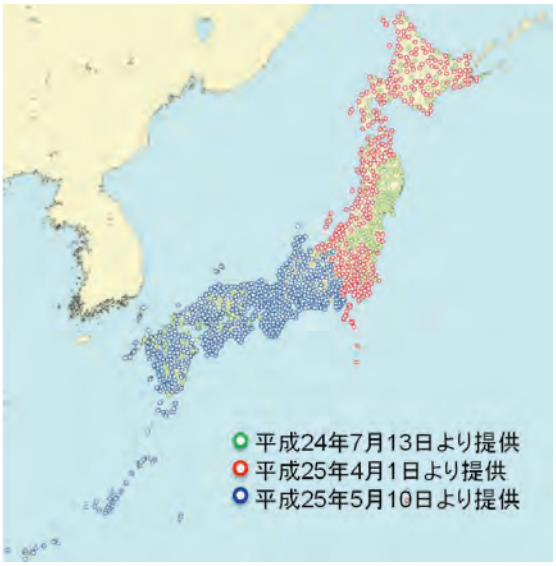


図-3 GNSS データの提供開始状況. 東日本大震災を踏まえ, 東北地方の電子基準点の更新及び GNSS データ提供を先行させた.

3.3 更新後の観測機器

平成 25 年 4 月の時点で, 広義の電子基準点で利用している受信機・アンテナは表-1 の通りである. 諸般の事情で沖ノ鳥島及び福島第一原子力発電所周辺では更新が完了できず, 点数の合計は前出の数値と若干異なる. いずれの受信機も, 近代化 GPS（L2C 含む）, 準天頂衛星（L2C, L5 含む）, GLONASS, Galileo の信号に対応している. アンテナ TRM59800.80 は, 従来利用していた 2 周波チョークリングアンテナ TRM29569.00 の増幅器を 3 周波対応に換装したもので（図-5）, L5 対応型チョークリングアンテナ TRM59800.00 と同等な特性を持つ.

This document is provided by JAXA.

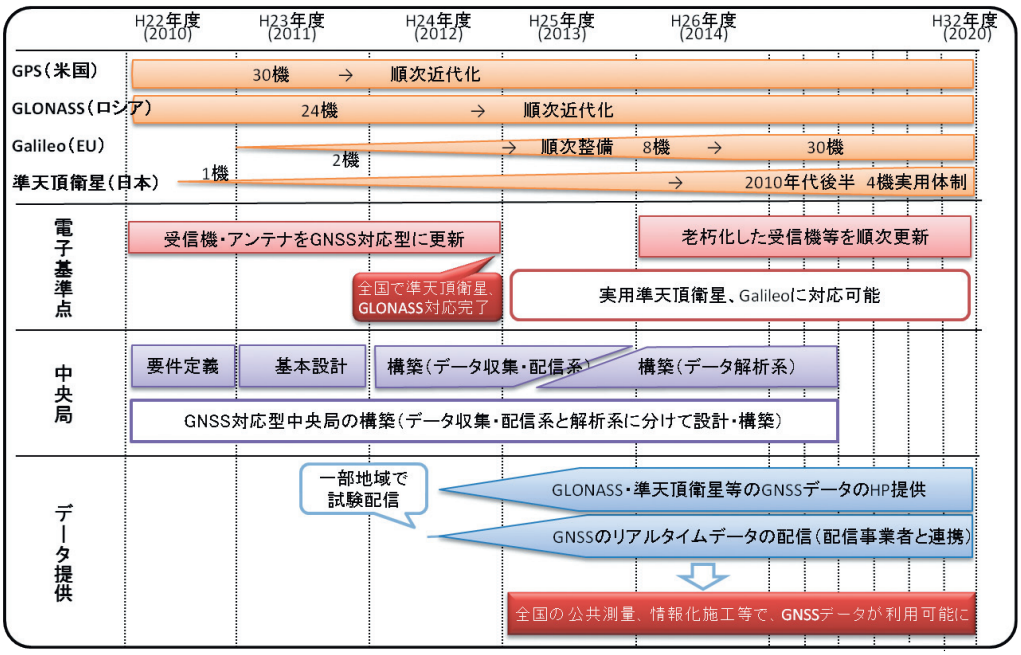


図-4　電子基準点の高度化に関する工程.

表-1　更新後の GNSS 観測機器（平成 25 年 4 月現在）.

GNSS 受信機	3 周波アンテナ	点数
Trimble NetR9	Trimble TRM59800.80	800
Trimble NetR9	Trimble TRM59800.00	3
Topcon NET-G3A	Trimble TRM59800.80	19
Topcon NET-G3	Topcon TPSCR.G5	448

図-5 更新作業中のアンテナ（左）と GNSS 受信機（右）.

3.4 提供データ

平成 25 年 4 月 1 日から施行された公共測量の「作業規程の準則」では, GLONASS や準天頂衛星を GPS と併用する方式が可能である（国土地理院企画部技術管理課, 2013）. これらの公共測量に使用できる電子基準点の観測データは，国土地理院 HP からダウンロードできる（http://terras.gsi.go.jp/ja/index.html）.

様々な利用者を想定し，表-2 に示す 3 種類のデータファイルを提供している. いずれも 30 秒毎の観測データと放送暦を標準フォーマット（RINEX）に収納したものである. 最近，準天頂衛星に正式対応した RINEX ver.3.02 が公開されており，平成 26 年度から対応する予定である.

表-2　国土地理院 HP で提供する 3 種類のファイル.

衛星系	フォーマット	周波数
GPS	RINEX ver.2.10	L1, L2
GPS+GLONASS	RINEX ver.2.10	L1, L2
GPS+GLONASS +準天頂衛星	RINEX ver.2.12 準天頂衛星拡張版	L1, L2, L5

これらの RINEX データの平成 25 年 6〜9 月における利用状況を調べたところ，主として測量技術者が利用する HP 画面からは毎月平均 2 万 3,000 のファイルがダウンロードされていたが，このうち GLONASS を含むものは 3,000, 準天頂衛星を含むものは 300 と，利用はまだ少なかった. 一方，主として研究者が利用する FTP からは毎月平均 785 万のファイルがダウンロードされ，GLONASS を含むものは 4 万, 準天頂衛星も含むものは 8 万となっている. GNSS データは，まだ提供が始まったばかりで，今後の利用の普及が期待される.

3.5 リアルタイムデータ

平成 14 年 5 月から電子基準点 200 点において 1 秒毎のリアルタイムデータの取得を開始し，同年 6 月には 645 点に，10 月には 931 点に順次拡大した. 現在では離島や山間部を除く 1,220 点の電子基準点について，1 秒毎の観測データをリアルタイムで収集している. このデータは地震や火山活動が発生した場合の緊急解析に利用される他，30 秒値に間引かれて前述の RINEX データの源泉となっている. また，配信機関を通して，ネットワーク型 RTK の補正

This document is provided by JAXA.

情報を生成する民間事業者にリアルタイムで提供され，位置情報サービスにも活用されている．なお，上記以外の観測点では，ISDN，携帯電話，衛星携帯電話回線等により，30 秒毎の観測データを定時に収集している．

当初リアルタイムデータのフォーマットは受信機メーカー固有の形式（RT17, JPS）を利用していたが，平成 21 年度，米国の GPS 大学連合が開発したメーカーに依存しない標準フォーマット Binex に移行した（UNAVCO, 2011）．航法分野の標準としては RTCM SC104 の方が普及しているが，まだ準天頂衛星システムに対応していないこと，Binex の方が観測値の有効桁数が大きいこと等から，Binex での提供を続ける予定である．

さて，データ提供前倒しの最後の障害となったのは，リアルタイムデータの遅延現象であった．リアルタイムデータは，Binex のストリームで配信機関を通して民間事業者に提供される（図-6）．各電子基準点との通信は 64 kbps の IP-VPN（広域 IP 網を経由する仮想私設通信網）を利用している．GPS の観測データ量は 3 kbps 以下であり，これに準天頂衛星や GLONASS を加えても 7 kbps 程度なので，当初は特段の問題はないと考えていた．しかし，受信機更新が進んで GNSS の試験配信を進めるにつれ，リアルタイムデータの遅延時間の増加が問題となった．

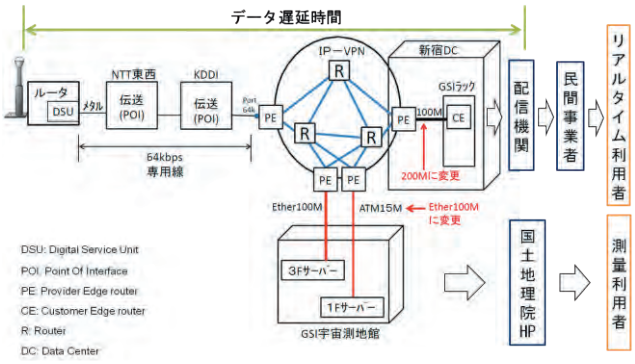


図-6　電子基準点の観測データが利用者に届くまで．

各電子基準点で毎正秒に観測された信号（パケット）には正確な時刻情報があるので，配信機関のサーバーに到着した時刻と比較することにより，データを提供するまでに要した遅延時間を測定できる．配信機関ではサーバーの時刻を専用のタイムサーバーで校正しており，遅延時間の精度は 0.1 秒よりも良いと考えられる．

GPS だけの時代，遅延時間は 0.3 秒程度であったが，GNSS 対応によりデータ量や試験配信する観測点が増えるにつれ，数時間の周期で遅延時間が 1 秒近くまで徐々に増大する現象や，データ再送のため 1 秒を超える遅延が生じる観測点が発生するに至った．このためデータ伝送の経路を点検し，通信サーバーの転送プログラムに潜んでいたバグを修正するとともに，毎正秒時に集中するデータを分散させるソフトウェア的な対策を施した．この結果，平均的な遅延時間は 0.2〜0.3 秒程度となり，平成 25 年 5 月までに全点での配信が可能となった．

ただし，まだ一部の観測点で 1 秒を超える遅延が時折発生することがある（図-7）．この程度の遅延でネットワーク型 RTK のサービスに影響が出ることはないが，原因を調査中である．興味深いことに，異常がない時の遅延時間は各電子基準点と配信機関サーバー（新宿）との距離に余り依存しない．これは IP-VPN 内での遅延時間が十分に小さいからであろう．

電子基準点のリアルタイムデータは，今後ネットワーク型 RTK-GNSS だけでなく，実用準天頂衛星システムから配信される測位用補強信号の生成にも利用される予定であり（内閣府，2012），データの遅延時間も重要な品質項目となる．平成 25 年度には全国の電子基準点データが集まる KDDI 新宿データセンター内の通信サーバーや回線を増強し，より信頼性の高いリアルタイムデータの提供を目指すこととしている．

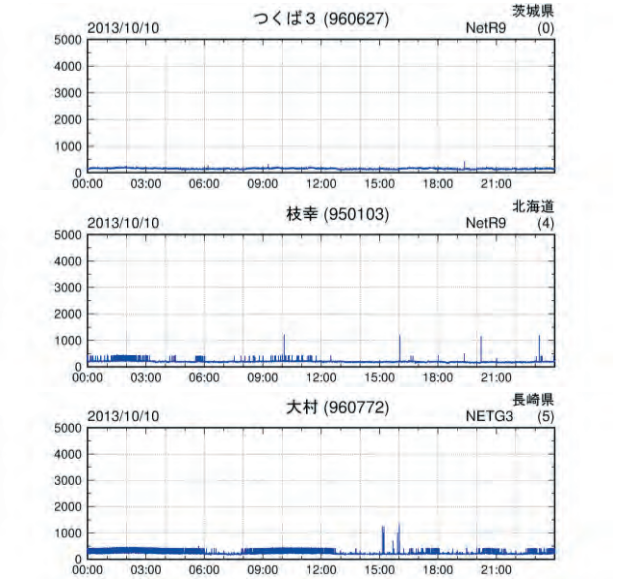


図-7　リアルタイムデータの遅延の例（平成 25 年 10 月 10 日）．横軸は世界時，縦軸は遅延時間（ms）．通常は「つくば 3」のように遅延時間は 0.2 秒程度だが，観測点によって 1 秒を超える遅延が時折発生することがある（中段，下段）．

This document is provided by JAXA.

4. GNSS 対応の効果

4.1 基線解析による精度検証

GPS に準天頂衛星や GLONASS を併用した場合の測量の精度について，電子基準点等のデータを用いて簡単な分析を行った．

まず平成 24 年 9 月 20 日に取得した東北地方の電子基準点データと放送暦を用いて，10～30km の同一機種間の基線 16 本について，解析ソフトウェア RTKLIB ver.2.4.1（Takasu, 2011）による 30 秒間隔のキネマティック解析を行った（古屋ほか，2012）．GLONASS を併用した場合，GPS だけに比べ座標値の 1 日分の標準偏差は 1～3 割減少した（表-3）．これは衛星数の少ない時間帯における測位のばらつきが改善されることの効果と考えられる（図-8）．準天頂衛星の併用効果は，衛星数が 1 つしかないため，それほど顕著ではないが，解析に用いる衛星の最低仰角を上げる，つまり観測条件を悪くするにつれ，併用の効果は大きくなった（図-9）．

さらに準天頂衛星の併用効果について，平成 24 年 11 月 26 日に長距離 GNSS 比較基線場で取得した観測データ及び平成 25 年 5 月 10 日に取得した電子基準点データを用いて行った．解析ソフトウェアには，RTKLIB ver.2.4.1 をベースに国土地理院で改良を加えた GSILIB プロトタイプを利用した（古屋ほか，2013a）．図-10 は，比較基線場（距離 11km）において異機種間で 3 時間分のキネマティック解析を行った事例である．表- 4 は，稚内，秋田，つくば，大阪，高知周辺の電子基準点（同一機種）間の 36 基線（10～70km）において，キネマティック基線解析を行った際の標準偏差を示したものである．準天頂衛星を GPS と併用しても系統的な誤差は生じないこと，最低仰角を 30° に設定した場合は，準天頂衛星の利用により整数値バイアスのフィックス率が向上したり，上下方向のばらつきが改善されていることがわかる（古屋ほか，2013b）．

観測条件の良い場所では GPS だけでも十分な精度が得られるが，GNSS の併用により観測条件の悪い場所でも同等以上の精度が確保できることがポイントと考えられる．スタティック測位における観測時間の短縮効果については，今後検討を深めたい．

表-3　電子基準点間のキネマティック基線解析の結果．平成 24 年 9 月 20 日に東北地方の 16 基線で求めた各成分の標準偏差の平均．最低仰角は 15°．

基線成分	GPS だけ	GPS+ GLONASS	GPS+ 準天頂衛星
東西	8.6 mm	7.7 mm	8.6 mm
南北	12.2 mm	8.7 mm	11.4 mm
上下	30.3 mm	25.7 mm	31.2 mm

表-4　電子基準点間のキネマティック基線解析の結果．平成 25 年 5 月 10 日（14:00～20:00 UT）に全国の 36 基線で求めた各成分の標準偏差の平均．

最低仰角	基線成分	GPS だけ	GPS+ 準天頂衛星
15°	東西	6.8 mm	6.7 mm
	南北	8.8 mm	9.2 mm
	上下	24.5 mm	25.4 mm
30°	東西	7.8 mm	7.0 mm
	南北	11.9 mm	11.5 mm
	上下	45.6 mm	42.5 mm

図-8　電子基準点間（小野田～色麻，距離 11km）のキネマティック基線解析の時系列（1 日分）．左：GPS だけ．右：GLONASS を併用．最低仰角は 15°．

This document is provided by JAXA.

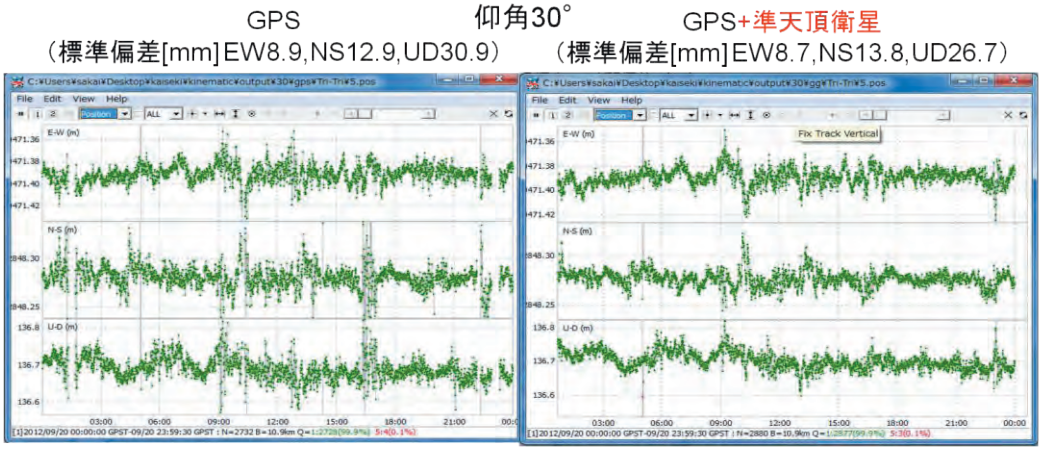


図-9　電子基準点間（小野田～色麻）のキネマティック基線解析の時系列（1 日分）．左：GPS だけ．
右：準天頂衛星を併用．最低仰角は 30° に変更．

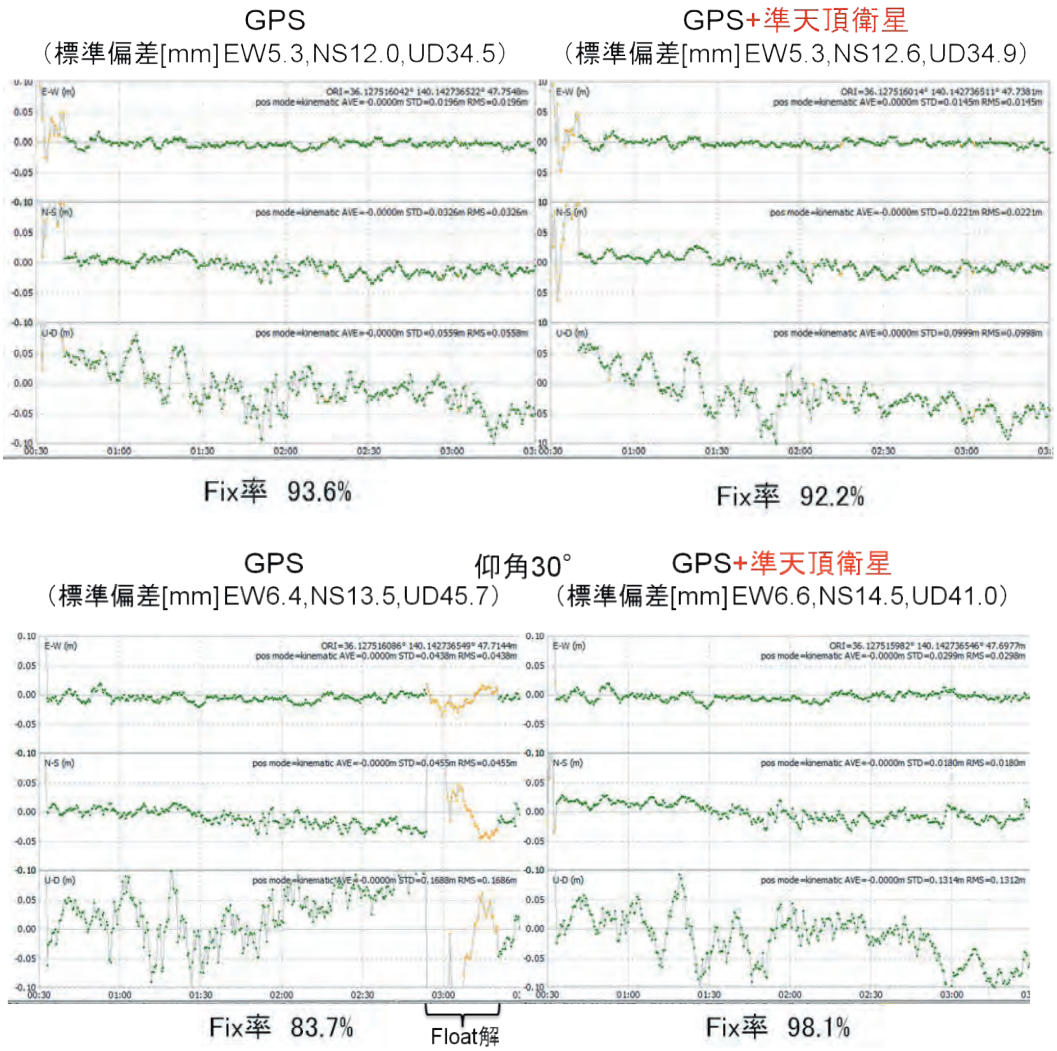


図-10　比較基線場（距離 11km）におけるキネマティック基線解析の時系列（3 時間分）．左：GPS だけ．
右：準天頂衛星を併用．上：最低仰角 15°．下：最低仰角 30°．

This document is provided by JAXA.

4.2 マルチ GNSS 実証実験

前出の協議会では, 平成 23～24 年度に試験配信された電子基準点の GLONASS データを用いて，北海道・東北・関西地方で，ネットワーク型 RTK-GNSS の実証実験を行った．GLONASS を用いると同時に観測できる衛星数が増え, 24 時間安定して測位できることが確認された（電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会, 2013）．実際のネットワーク型 RTK においても GLONASS の併用により，高さ方向の安定性が向上している点が注目される．

4.3 情報化施工での活用

平成 24 年 10 月，試験配信中の電子基準点 GLONASS データを利用したネットワーク型 RTK が, 東日本大震災復興のための三陸縦貫自動車道の工事現場で, 情報化施工に活用され,「GNSS 対応の電子基準点のおかげで衛星からの受信制約も大幅に改善された.」と評価された（福川，2012）．

国土交通省が平成 25 年 3 月にとりまとめた情報化施工推進戦略でも,「電子基準点を利用したネットワーク型 RTK 法による衛星測位技術は，今後 GPS 衛星以外の測位衛星の併用により，測位可能な時間と場所の増大と安定性の向上が期待されている．ネットワーク型 RTK 法では, 施工現場毎に設置している基準局が不要となるなどのメリットがあるため，情報化施工での活用の拡大が期待されている技術である.」としている（情報化施工推進会議，2013）．

現在, ネットワーク型 RTK 測位のサービスを行っている事業者は, 株式会社ジェノバと日本 GPS データサービス株式会社の 2 社である．いずれも平成 25 年 5 月から GLONASS も用いるネットワーク型 RTK のサービスを開始している．既に 3 分の 1 程度の利用者が GLONASS データを試用したとの報告もあり，今後情報化施工分野での利用拡大が期待される．サービスの内容や連絡先は，前出の協議会 HP を参照されたい（http://www.jsurvey.jp/pcrg/kyougikai.htm）．

5. 今後の計画

電子基準点の受信機については，現在利用できる GNSS への対応は完了したものの，今後登場する新たな GNSS への対応が必要となる．Galileo の複数の信号や，近代化 GLONASS の CDMA 信号等については利用者ニーズをよく調べて検討する必要がある．アンテナについては既に L5 帯の周波数に対応済みのため，当面更新の必要はない．

データ収集・配信については，平成 24 年度からマルチ GNSS に対応した新たなシステムを開発しており，GATE（Gather and Transfer Engine）と呼んでいる．平成 25 年度も回線等の増強に努め，将来的に実用準天頂衛星システムの補強データ生成の源泉としても利用できるよう高い信頼性を確保していく．

データ解析については，まず東日本大震災を契機に津波予測支援のために開発中の電子基準点の常時リアルタイム解析（Ohta et al., 2013）において，準天頂衛星や GLONASS の利用を検討する．また，最高精度を追求する地殻変動監視のための定常解析についても，別途進めている国土交通省総合技術開発プロジェクト（国土地理院，2013）によるマルチ GNSS 解析技術を活用しつつ，精度向上等を図る．

利用できる測位衛星が GPS だけに限られていた時代は，受信機・アンテナや解析ソフトウェア，そして GEONET のシステムも今から思えば実にシンプルであった．GPS 以外の GNSS が増えることで，取り扱うデータの量や種類，それらの組み合わせが複雑多岐に渡るようになり，利用者側の使いこなしは以前よりも難しくなると思われる．しかし 100 機以上の測位衛星データが利用できる GNSS 時代ならではの新たな利用の展開が期待される．国土地理院は，今後も電子基準点の高度化をはじめ，GNSS を賢く測量や測位に使うことができる環境の整備に努めていく．

謝辞

GNSS データの早期提供には，電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会，日本測量協会，日立造船株式会社の協力が不可欠であった．GSILIB プロトタイプの解析では，国土地理院部外研究員の阿部直宏氏の協力を得た．ここに記して感謝する．

（公開日：平成 25 年 11 月 5 日）

This document is provided by JAXA.

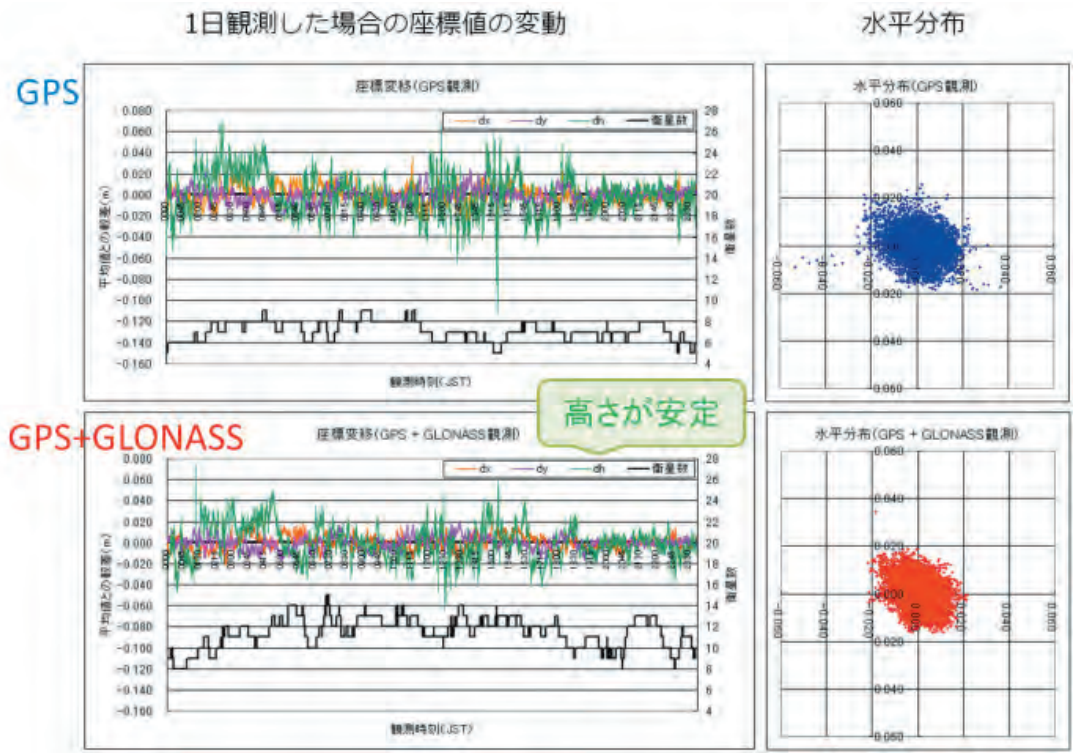


図-11　実証実験結果の事例．ジェノバの仮想基準点方式（VRS）による 1 日分の時系列（最低仰角 15°）．グリッドは 2cm 間隔（電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会，2013，p.24 に加筆）．

参 考 文 献

Nishimura, T., H. Munekane, and H. Yarai (2011) : The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and its aftershocks observed by GEONET, Earth Planets Space, 63, 631-636.

Nishimura, T., T. Matsuzawa, and K. Obara (2013) : Detection of short-term slow slip events along the Nankai Trough, southwest Japan, using GNSS data, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 118, 6, 3112–3125.

Ohta, Y., S. Miura, R. Hino, T. Kobayashi, H. Tsushima, S. Kawamoto, K. Miyagawa, T. Yahagi, K. Yamaguchi, H. Tsuji, and T. Nishimura (2013) : Real-time crustal deformation monitoring based on RTK-GPS: Application to 2011 Tohoku earthquake and its improvement for implementation to actual GPS network, IAG Scientific Assembly 2013 , Potsdam, Dorint Hotel, September, 2013.

Sagiya, T. (2004) : A decade of GEONET: 1994-2003 -The continuous GPS observation in Japan and its impact on earthquake studies-, Earth, Planets and Space, 56, 29-41.

Saito, A., M. Nishimura, M. Yamamoto, S. Fukao, T. Tsugawa, Y. Otsuka, S. Miyazaki, and M.C. Kelly (2002), Observations of traveling ionospheric disturbances and 3-m scale irregularities in the nighttime F-region ionosphere with the MU radar and a GPS network, Earth, Planets and Space, 54, 31-44.

Takasu,T. (2011) : RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning, http://www.rtklib.com/rtklib.htm (accessed 11 Oct. 2013).

UNAVCO (2011) : BINEX: Binary Exchange Format, http://binex.unavco.org/binex.html　(accessed 11 Oct. 2013).

Yamagiwa, A., Y. Hiyama, T. Yahagi, H. Yarai, T. Imakiire, and Y. Kuroishi (2012) : Revision of the results of control points after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, FIG Working Week 2012, May 7, 2012, Rome.

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，122，113-125.

気象庁・国土地理院（2009）：国土地理院電子基準点観測データ（GPS データ）の活用による気象庁メソ数値予報の改善について～水蒸気データをとりこむことにより，予報精度が向上します～，報道発表資料，

This document is provided by JAXA.

http://www.jma.go.jp/jma/press/0910/27a/MSM_GPS.pdf (accessed 11 Oct. 2013).
国土地理院（2013）：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 (accessed 11 Oct. 2013).
国土地理院企画部技術管理課（2013）：公共測量作業規程準則における公共測量での GNSS の利用方法とその技術的背景，写真測量とリモートセンシング，52，3，110-113.
国土地理院測地観測センター（2004）：電子基準点 1200 点の全国整備について，国土地理院時報，103，1-51.
情報化施工推進会議（2013），情報化施工推進戦略 ～「使う」から「活かす」へ，新たな建設生産の段階へ挑む！！～，平成 25 年 3 月 29 日，http://www.mlit.go.jp/common/000993270.pdf (accessed 11 Oct. 2013).
水藤 尚，西村卓也，小沢慎三郎，小林知勝，飛田幹男，今給黎哲郎，原慎一郎，矢来博司，矢萩智裕，木村久夫，川元智司（2011）：GEONET による平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震に伴う地震時の地殻変動と震源断層モデル，国土地理院時報，122，29-37.
辻宏道（2009）：国土を支える位置情報の基盤ー電子基準点の現在と未来ー，第 38 回国土地理院報告会資料，11-16，http://www.gsi.go.jp/common/000048811.pdf (accessed 11 Oct. 2013）.
辻宏道（2010）：GPS/GNSS の歴史と社会的背景，GPS ハンドブック，付録 A1，朝倉書店，400-413.
電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会（2010），電子基準点の GNSS 化について（ご要望），http://www.jsurvey.jp/pcrg/kyougikai.files/youbou_01.pdf (accessed 11 Oct. 2013）.
電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会（2013）：マルチ GNSS 実証実験結果報告書，平成 25 年 1 月，172pp.
内閣府（2012）：準天頂衛星システムの運用等事業業務要求水準書（案），http://www.cao.go.jp/chotatsu/eisei/hoshin/1209_shiryo1.pdf (accessed 11 Oct. 2013).
福川光男（2012）：第 11 回国土交通省情報化施工推進会議，資料 4，平成 24 年 10 月 19 日，http://www.mlit.go.jp/common/000227614.pdf (accessed 11 Oct. 2013).
古屋智秋，酒井和紀，辻 宏道，川元智司，豊田友夫，森下 一，矢萩智裕，平井英明，石川典彦，根本 悟，宮川康平，宮原伐折羅，畑中雄樹，宗包浩志（2012），マルチ GNSS による高精度測位技術の開発，日本測地学会第 118 回講演会要旨集，53-54.
古屋智秋，酒井和紀，万所求，辻宏道，宮川康平，畑中雄樹，宗包浩志，川元智司（2013a）：GNSS 解析ソフトウェアのマルチ GNSS 対応，写真測量とリモートセンシング，52，4，159-164.
古屋智秋，酒井 和紀，万所 求，辻 宏道，山口 和典，川元 智司，宮川 康平，矢萩 智裕，畑中 雄樹，宗包浩志（2013b）：準天頂衛星の測量利用に向けた取り組み，第 57 回宇宙科学技術連合講演会講演集，JSASS-2013-4496.

This document is provided by JAXA.

2013 年のできごと

1 月 5 日　全国児童生徒地図作品展連絡協議会総会を開催

国土地理院において，全国児童生徒地図作品展連絡協議会総会（事務局：国土地理院）を開催した．本協議会は，地図を使った教育についての情報交換・共同研究を行うことにより，地図に関する関心を高め，地図を使った教育の一層の向上を図ることを目的としており，本総会では活動の報告及び役員の改選が行われ，会長には川村英一仙台市中学校社会科研究会会長が選任された．

1 月 5 日～2 月 17 日　企画展「第 16 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において，企画展「第 16 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 17 日に国土交通大臣室で行われた．

1 月 11 日　第 246 回地震調査委員会に出席

文部科学省において，第 246 回地震調査委員会が開催され，齊藤地理地殻活動研究センター長他 5 名が出席した．本会議では，「2012 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　平成 25 年度予算の政府案が決定

平成25年度予算の政府案が閣議で決定され，国土地理院関係の予算案は，通常枠で総額約95億円，復興枠として約2.6憶円となった．

1 月 31 日　第 10 回測量技術講演会を開催

北海道地方測量部は，札幌第 1 合同庁舎講堂（札幌市）において，「道内における地理空間情報の一層の利活用推進に向けて」を主題とする第 10 回北海道測量技術講演会を（社）日本測量協会北海道支部と共催で開催した．本講演会は，地理空間情報に関する利活用の取組，及びそれを支援するための国土地理院の取組を紹介することにより，地理空間情報の効果的な利用を促進することを目的として開催された．

1 月 31 日　「平成 24 年全国都道府県市区町村別面積調」を公表

平成 24 年 10 月 1 日現在の日本国土の面積をとりまとめた「平成 24 年全国都道府県市区町村別面積調」を公表した．国土の面積は，埋立等により 1 年間で 5.07km^2 増加し，377,959.91km^2 となった．

1 月 31 日　九州地方の電子地形図 25000 等を刊行

電子地形図 25000 及び数値地図（国土基本情報）について，北海道，四国及び沖縄地方に続いて，新たに九州地方の提供を開始した．

1 月 31 日　基盤地図情報の提供範囲を拡大

縮尺レベル 2500 の基盤地図情報について，青森県青森市他 191 市町村のデータ提供を開始し，青森県七戸町他 238 市町村のデータを更新した．

2 月 1 日～3 月 3 日　「作業規程の準則」の一部改正に関するパブリック・コメントを募集

測量法（昭和 24 年法律第 188 号）第 34 条に定められ，公共測量作業規程を作成するための一般的な規準として制定されている「作業規程の準則」を，新しい技術等に対応するものとするため，一部改正案をまとめ，パブリック・コメントの募集を行った．

2 月 3 日　地図と測量のおもしろ塾「日本地図と友達になろ～」を開催

地図と測量の科学館において，地図と測量のおもしろ塾「日本地図と友達になろ～」を開催し，小学生とその保護者が日本地図について学んだ．

2 月 3～7 日　地球規模の地理空間情報管理（GGIM）に関する第 2 回ハイレベルフォーラム等関係会合に出席

カタールのドーハにおいて，第 2 回 GGIM ハイレベルフォーラム等関係会合が開催され，福島応用地理部長他 1 名が出席した．本会議では，議長サマリー及びドーハ宣言が採択された．

2 月 7 日　地震・津波防災セミナーを開催

近畿地方測量部は，和歌山市民会館（和歌山市）において，地震・津波防災セミナーを和歌山県と共同で開催した．本セミナーは，東海・東南海・南海地震等の大規模災害に備えるため，防災関係機関の地震・津波防災対策及び災害復旧活動の向上に資することを目的として開催された．

2 月 8 日　第 247 回地震調査委員会に出席

This document is provided by JAXA.

文部科学省において，第 247 回地震調査委員会が開催され，齊藤地理地殻活動研究センター長他 5 名が出席した．本会議では，「2013 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 14 日　電子国土 Web.NEXT の機能改良を実施

開発をすすめている電子国土Web.NEXTにおいて，作成・表示した作図情報の保存共有や，使いやすい地図にするための表現の改良を実施した．

2 月 16 日　日本国際地図学会学会賞（論文賞）を受賞

日本大学桜門会館（千代田区）において，日本国際地図学会平成 25 年度通常総会（同総会において「日本地図学会」と改称）が開催され，政春基本図情報更新技術分析官が学会賞(論文賞)を受賞した．受賞対象論文は,「日本の地形図等に用いられた多面体図法の投影原理」である．

2 月 18 日　第 198 回地震予知連絡会を開催

関東地方測量部において，第 198 回地震予知連絡会を開催した．本会議では，運営要綱の改正が承認された．また，全国の地震活動や日本列島の歪み変化，南海トラフ・南西諸島海溝周辺の短期的スロースリップに関する報告等が行われた．また，重点検討課題「東北地方太平洋沖地震に関する検討（まとめ)」に関する報告・検討が行われた．

2 月 25 日　平成 25 年（2013 年）2 月 25 日 16 時 23 分頃の栃木県北部の地震に伴う地殻変動を検出

2 月 25 日 16 時 23 分頃に発生した栃木県北部の地震（M6.2，深さ約 10km，最大震度 5 強）に伴う地殻変動を，電子基準点で検出した．

2 月 28 日　北陸及び近畿地方の電子地形図 25000 等を刊行

電子地形図 25000 及び数値地図（国土基本情報）について，新たに北陸及び近畿地方の提供を開始した．

3 月 5 日　第 5 回電子国土基本図のあり方検討会を開催

関東地方測量部において，第 5 回電子国土基本図のあり方検討会を開催した．本検討会では，電子地形図の提供形態のバリエーションの拡充や，紙地図（印刷図）の見やすくわかりやすい表現方法，国土地理院の Web 地図の表現方法や機能強化等について議論された．

3 月 5～8 日　第 21 回欧州 VLBI グループ会議及び国際 VLBI 事業第 29 回評議会に出席

フィンランド共和国のエスポー市において，第 21 回欧州 VLBI グループ会議及び国際 VLBI 事業（IVS）第 29 回評議会が開催され，栗原基線解析係長（宇宙測地課）他 1 名が出席した．グループ会議では「VLBI2010」に関する講演等が行われ，評議会では VLBI2010 観測施設の整備状況等についての報告及び議論が行われた．

3 月 6 日　第 1 回 G 空間×ICT 推進会議に出席

総務省において，第 1 回 G 空間×ICT 推進会議が開催され，村上企画部長が出席した．本会議では事務局から会議の趣旨，開催時期等について説明があった後，各構成員から取組みの紹介や提言等が行われた．

3 月 7 日　「明治前期の低湿地データ」を公表

液状化等の地震防災対策に役立てるため，明治 13 年～23 年に国が作成した地図（「第一軍管地方二万分一迅速測図原図」及び「京阪地方仮製二万分一地形図」）を基に，当時の土地利用の状況を判読・分析し，湖沼，水田，湿地等，水に関係する土地の区域を抽出した「明治前期の低湿地データ」を作成し公表した．

3 月 7 日　第 75 回地名等の統一に関する連絡協議会を開催

関東地方測量部において，第 75 回地名等の統一に関する連絡協議会が開催され，村上企画部長他 10 名が出席した．海洋情報部との協議の結果，決定地名の修正，追加及び変更についての議題が審議され，承認された．

3 月 8 日　平成 23 年東北地方太平洋沖地震から 2 年間にわたる地殻変動の特集ページを新設

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震から 2 年間にわたる地殻変動について特集するページを新設した．

3 月 8～29 日　「電子基準点のみを既知点とした基準点測量マニュアル案」「GNSS 測量による標高の測量マニュアル案」に関するパブリック・コメントを募集

公共測量で用いられる新技術の測量方法を確認する資料として使用されるよう，公共測量作業規程の

This document is provided by JAXA.

準則第 17 条第 3 項で規定されている「国土地理院が新しい測量技術による測量方法に関するマニュアルを定めた場合」のマニュアル案 2 つのパブリック・コメントの募集を行った.

3 月 9 日～6 月 9 日　企画展「みんな　地図と仲良くなろう」を開催

地図と測量の科学館において, 企画展「みんな　地図と仲良くなろう」を開催した. 地図に興味がわき, 地図や測量に親しみを深めてもらえるよう, 地図を使うときのマメ知識, 地図の楽しい使い方, 国土地理院ホームページの便利な利用方法等を紹介した.

3 月 11 日　第 248 回地震調査委員会に出席

文部科学省において, 第 248 回地震調査委員会が開催され, 齊藤地理地殻活動研究センター長他 5 名が出席した. 本会議では,「2013 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 12 日　第 125 回火山噴火予知連絡会に出席

気象庁において, 第 125 回火山噴火予知連絡会が開催され, 今給黎測地観測センター長が出席した. 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, 特に霧島山（新燃岳), 桜島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, GNSS 連続観測結果等を報告した.

3 月 13 日　平成 24 年度国土地理院総合評価委員会を開催

関東地方測量部において, 平成 24 年度国土地理院総合評価委員会（委員長：出口正義専修大学教授）を開催した. 委員会では, 平成 24 年度の測量業務の契約状況及び平成 25 年度の入札･契約手続の実施方針等について審議した.

3 月 14 日　標高データの試験配信及び電子国土 Web.NEXT の機能改良を実施

標高データの試験配信を開始するとともに, 開発をすすめている電子国土 Web.NEXT において, ベクトルデータの透過度調整機能及び KML での配信機能の実装等, 機能の改良を実施した.

3 月 15 日　「地図と測量の科学館」の「日本列島空中散歩マップ」をリニューアル

縮尺 10 万分 1 日本列島の地図に周辺の海域部も加え, 日本列島と海底の深さや地形も 3D 体験できるようになった.

3 月 18 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 24 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 3 課題の終了時評価が行われたほか, 特別研究課題以外の取り組み報告も行われた.

3 月 18 日　基盤地図情報（数値標高モデル）の提供範囲を拡大

縮尺レベル 2500 の基盤地図情報について, 東京都大島町他 12 市町村の全域及び北海道函館市他 62 市町村の一部のデータ提供を開始した.

3 月 25 日　第 13 回測量行政懇談会を開催

関東地方測量部において, 第 13 回測量行政懇談会（委員長: 中村英夫東京都市大学総長）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」,「基本政策部会からの報告について」等の報告及び議論が行われた.

3 月 28 日　地理空間情報ライブラリーサイトを公開

地理空間情報の流通を促進し, 活用を進めるため, 国土地理院の地図・空中写真及び国・地方公共団体が整備した図面等の検索・閲覧等が行える地理空間情報ライブラリーサイトを公開した.

3 月 29 日　「作業規程の準則」を一部改正

測量法第 34 条に規定されている作業規程の準則を一部改正した. 主な改正点は, GPS 衛星を補完する衛星として準天頂衛星を利用できるようになった点, GNSS/IMU 装置を用いた空中写真撮影作業を標準とした点, 図化作業において「デジタルステレオ図化機」の使用を標準とした点, 航空レーザ測量における情報レベル 500 での数値地形モデル作成を規定した点である.

4 月 1 日　基盤地図情報のグランドデザインを改定

国土地理院が提供する基盤地図情報のあるべき姿や, その適時適切な更新及び活用促進に向けた国土地理院の役割を明らかにするために, 平成 21 年 6 月に策定した「基盤地図情報のグランドデザイン」を改め, その第 2 版を策定した.

4 月 1 日　2013 年度版地殻変動補正パラメータを公開

セミ・ダイナミック補正のための2013年度版地殻変動補正パラメータを公開した.

This document is provided by JAXA.

4 月 4 日 第 2 回 G 空間×ICT 推進会議に出席

総務省において，第 2 回 G 空間×ICT 推進会議が開催され，村上企画部長が出席した．本会議では，将来イメージ及び課題に関する 6 つのプレゼンテーションが行われ，意見交換の後，2 つのアドホック会合を設置することが決まった．

4 月 5 日 東北，関東，中部及び中国地方の電子地形図 25000 等の刊行

電子地形図 25000 及び数値地図（国土基本情報）について，新たに東北，関東，中部及び中国地方のデータ提供を開始し，このことにより提供範囲が全国となった．

4 月 9 日 第 249 回地震調査委員会に出席

文部科学省において，第 249 回地震調査委員会が開催され，齊藤地理地殻活動研究センター長他 5 名が出席した．本会議では，「2013 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 13 日 平成 25 年（2013 年）4 月 13 日 5 時 33 分頃の淡路島付近の地震に伴う地殻変動を検出

4 月 13 日 5 時 33 分頃に発生した淡路島付近の地震（M6.3，深さ 15km，最大震度 6 弱）に伴う地殻変動を，電子基準点で検出した．

4 月 14 日 第 250 回地震調査委員会（臨時会）に出席

文部科学省において，第 250 回地震調査委員会が開催され，齊藤地理地殻活動研究センター長他 3 名が出席した．本会議では，2013 年 4 月 13 日の淡路島付近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の整理・分析が行われ，総合的な評価が行われた．

4 月 15 日 電子地形図 25000 の DVD 版の提供を開始

電子地形図 25000（2 次メッシュ定型版）のデータを都道府県毎に収録した DVD の販売を開始した．

4 月 16～19 日 「地図と測量の科学館」のガイドツアーを開催

科学技術週間期間中において，「地図と測量の科学館」のガイドツアーを開催し，企画展等の案内を行った．

4 月 17 日 平成 25 年（2013 年）4 月 17 日 17 時 57 分頃の三宅島近海の地震に伴う地殻変動を検出

4 月 17 日 17 時 57 分頃に発生した三宅島近海の地震（M6.2，深さ約 20km，最大震度 5 強）に伴う地殻変動を，電子基準点で検出した．

4 月 18 日 平成 25 年（2013 年）4 月 17 日から 18 日頃の与那国島近海・石垣島北西沖の地震に伴う地殻変動を検出

4 月 18 日 23 時 8 分頃の地震（M6.1，最大震度 1）をはじめとして，4 月 17 日から 18 日を中心に発生した与那国島近海・石垣島北西沖の地震活動に伴う地殻変動を，電子基準点で検出した．

4 月 22 日 電子地形図 25000 において新たな色表現等での出力が可能に

電子地形図 25000 において，建物色の選択や，地形の陰影表現の選択が可能となった．

4 月 22 日 電子国土 Web.NEXT の機能改良を実施

開発をすすめている電子国土 Web.NEXT において，地図表現の改良，「ライブラリー」で選択できる主題情報の追加，大容量 KML に対応する，開発中の実験サイトの公開等を行った．

4 月 23 日 地球地図を用いた中国四川省の地図を公開

4 月 20 日に発生した大規模な地震に伴い，大きな地震被害を被った中国四川省雅安市周辺の地球地図を公開した．

4 月 23 日 防災地理情報に関する意識調査についてのアンケート結果を公表

国土交通行政インターネットモニター制度を利用し，平成 24 年 9 月 14 日から 10 月 1 日にかけて行った「防災地理情報に関する意識調査」のアンケート結果を公表した．

4 月 26 日 公共測量に使用する 2 つのマニュアル（案）の公表及びジオイド・モデルの改定と提供を開始

衛星測位を活用した測量業務のさらなる効率化を図るため，「GNSS 測量による標高の測量マニュアル（案）」と「電子基準点のみを既知点とした基準点測量マニュアル（案）」を策定し，また，中国・四国・九州地方（一部離島を除く）を改定したジオイド・モデル「日本のジオイド 2011+2000」を構築しウェブサイトで公表，提供を開始した．

5 月 10 日 全国の電子基準点で，準天頂衛星及びグ

This document is provided by JAXA.

ロナスの観測データを提供開始

全国の電子基準点で観測した準天頂衛星（日本）及びグロナス（ロシア）のデータ提供を開始した．

5 月 10 日　電子地形図 25000 等を一時販売停止

電子地形図 25000 及び数値地図（国土基本情報）において，地形データの一部不具合により，表示が不適切となっている事象が確認されたため，販売を一時停止した．

5 月 12〜16 日　GEOSPATIAL WORLD FORUM 2013 に参加

オランダ王国のロッテルダムにおいて，GEOSPATIAL WORLD FORUM 2013 が開催され，稲葉参事官が出席した．本フォーラムには 80 か国 1,500 人以上の参加があり，300 名以上から発表が行われた．日本からは，事前会議において，基盤地図情報の無償提供や数値地図（国土基本情報）の 4 月からの公開等について報告した．

5 月 13 日　第 251 回地震調査委員会に出席

文部科学省において，第 251 地震調査委員会が開催され，齊藤地理地殻活動研究センター長他 5 名が出席した．本会議では，「2013 年 4 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．

5 月 15 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，公益社団法人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 18 日　平成 25 年（2013 年）5 月 18 日 14 時 47 分頃の福島県沖の地震に伴う地殻変動を検出

5 月 18 日 14 時 47 分頃に発生した福島県沖の地震（M6.0，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 21 日　地震学会論文賞を受賞

幕張メッセ国際会議場（千葉市）において，公益社団法人日本地震学会の平成 25 年度定時社員総会が開催され，西村京都大学准教授（執筆時：国土地理院主任研究官）が地震学会論文賞を受賞した．受賞対象論文は，「新潟－神戸ひずみ集中帯を横断する測地観測による越後平野周辺の地殻変動」で，西村主任研究官を筆頭に，水藤主任研究官，小林研究官，飛田地理地殻活動総括研究官が共同で執筆した．

5 月 21 日　第 3 回 G 空間×ICT 推進会議に出席

総務省において，第 3 回 G 空間×ICT 推進会議が開催され，村上企画部長が出席した．本会議では，各アドホック会合についての報告が行われ，その後意見交換が行われた．

5 月 23〜25 日　国連地名専門家グループのエクソニム WG 及び専門用語 WG 会合に出席

ギリシャ共和国のコルフ島において，国連地名専門家グループ（UNGEGN）の第 14 回エクソニム WG 会合及び専門用語 WG 会合が開催され，中村国土基盤情報調整官が出席した．エクソニム WG では，エンドニム及びエクソニムの現行定義の見直しが議論され，専門用語 WG では，地名関係の専門用語集から削除すべき用語や追加すべき用語等について議論された．

5 月 24 日　第 4 回東海・東南海・南海地震対策中部圏戦略会議に出席

ポートメッセなごや（名古屋市）において，第 4 回東海・東南海・南海地震対策中部圏戦略会議が開催され，小白井中部地方測量部長が出席した．会議では，平成 24 年度の活動成果と平成 25 年度活動計画について検討が行われ，国土地理院からは電子国土 Web.NEXT による UTM グリッド地図への取り組みについて報告を行った．

5 月 27〜31 日　国際標準化機構の地理情報専門委員会（ISO/TC 211）第 36 回総会に出席

大韓民国の釜山市において，ISO/TC 211 第 36 回総会が開催され，藤村情報普及課長他 1 名が出席した．総会では，3 件のプロジェクトの登録，7 件の国際規格案の ISO 中央事務局への送付等が決議された．

5 月 29 日　第 4 回 G 空間×ICT 推進会議に出席

総務省において，第 4 回 G 空間×ICT 推進会議が開催され，村上企画部長が出席した．本会議では，G 空間×ICT 推進会議とりまとめ案についての説明の後，意見交換が行われた．

5 月 30 日　第 199 回地震予知連絡会を開催

関東地方測量部において，第 199 回地震予知連絡会を開催した．本会議では，第 23 期の地震予知連絡会が構成され，将来検討ワーキンググループから経過報告が行われた．また，全国の地震活動，日本列島のひずみ変化，東北地方太平洋沖地震関連等につ

This document is provided by JAXA.

いて報告が行われた．また，重点検討課題「日本海で発生する地震と津波」に関する報告・議論が行われた．

6 月 1〜2 日　ミニフェスタ 2013 in 仙台を開催

東北地方測量部は，仙台市科学館（仙台市）において，『「測量の日」ミニフェスタ 2013 in 仙台』を開催した．本フェスタでは，仙台市の変遷が分かるパネル展示や，「地図とわたしたち」と題した地図教室．測量体験，中学校生徒地図作品の展示等を行った．

6 月 2 日　「2013『測量の日』特別企画〜地図と測量で広がる世界〜」を開催

地図と測量の科学館において，「2013『測量の日』特別企画〜地図と測量で広がる世界〜」を開催した．本特別企画では，地理空間情報の活用について紹介するとともに，25 回目となる「測量の日」を記念して，測量技術や地図作成技術の変遷を紹介した．また，筑波研究学園都市 50 周年記念連携事業としてミニ企画展「地図と写真でみるつくばの変遷」も併せて展示した．約 2,000 名の来場があった．

6 月 2 日　平成 25 年度「測量の日」における功労者感謝状を贈呈

測量・地図に関する普及・啓発に顕著な功績のあった埼玉県 GIS 普及推進研究会，立命館大学歴史都市防災研究所の 2 団体，株式会社 GIS 関西技術顧問・日本写真測量学会関西支部長の柳川重信氏，元東京都北区職員の和田陽一氏の 2 個人の方々に対し，国土地理院長から感謝状が贈呈された．

6 月 3 日　「電子地形図 25000」試用版の利用者登録を開始

データの一部不具合のため販売を見合わせている電子地形図 25000 について，6 月中旬の試用版の提供開始に先立ち，利用者登録を開始した．

6 月 3 日　「測量の日」記念フェア 2013 を開催

近畿地方測量部は，大阪合同庁舎第 4 号館（大阪市）において，「測量の日」記念フェア 2013 として，第 17 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た．

6 月 3〜7 日　「測量の日」パネル展及び八重山地区講演会を開催

沖縄支所は，沖縄県庁ロビー（那覇市）において，「役に立つ地理空間情報をあなたに提供します!!」と題したパネル展等を開催し，電子国土 Web 等の照会及びスマホによる位置情報の取得等を体験した．また，石垣島で記念講演会を開催した．

6 月 5 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・イレブン高松（高松市）において，「測量の日」記念講演会を開催し，「防災チェックリスト〜防災に役立つ地理空間情報〜」について講演を行った．

6 月 5〜7 日　「くらしと測量・地図」展を開催

関東地方測量部は，新宿駅西口広場イベントコーナー（新宿区）において，「くらしと測量・地図」展を開催した．「地図っておもしろい」をテーマに，測量や地図に関してさらに理解を深めていただけるよう，親しみやすく役立つ測量や地図の基礎知識や江戸・東京の古地図，最新のデジタル地図等，さまざまな地図を紹介した．

6 月 7 日　第 42 回国土地理院報告会を開催

日経ホール（千代田区）において，第 42 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，一橋大学教授の井上由里子氏から特別講演をいただいた．本報告会には 576 名の参加があった．

6 月 10 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 25 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 26 年度からの実施を計画している特別研究新規 4 課題の事前評価が行われた．

6 月 11 日　第 252 回地震調査委員会に出席

文部科学省において，第 252 回地震調査委員会が開催され，齊藤地理地殻活動研究センター長他 5 名が出席した．本会議では，「2013 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 12 日　講演会「地図でつなぐ・伝える」を開催

北海道地方測量部は，北海道開発局と共催で北海道大学（札幌市）において，講演会『「地図でつなぐ・伝える」－地理空間情報の活用－』を開催し，岡本院長による講演，意見交換，パネルディスカッションを行った．

6 月 12 日　空中写真・色別標高図・明治の低湿地地図の KML 配信を開始

電子国土 Web.NEXT において，標準地図に加えて，空中写真・色別標高図・明治の低湿地地図の KML 配信を開始した．

This document is provided by JAXA.

6 月 14 日～7 月 5 日　共同研究への参加者を公募

「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」への参加者を公募した.

6 月 17 日　「測量の日」関連行事を開催

中国地方測量部は，ピュアリティまきび（岡山市）において,第 18 回中国地区測量技術発表会を開催した.

6 月 18 日　第 126 回火山噴火予知連絡会に出席

気象庁において，第 126 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，特に霧島山（新燃岳），桜島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，GNSS 連続観測結果等を報告した.

6 月 18 日　「測量の日」関連行事を開催

中部地方測量部は，ウィルあいち（名古屋市）において,「地理空間情報をめぐる最近の動向」をテーマとして講演会を開催した.

6 月 20 日　「電子地形図 25000」試用版の提供を開始

データの一部不具合のため販売を見合わせていた電子地形図 25000 において，試用版の提供を開始した（7 月 19 日まで）.

6 月 20～22 日　測地基準系の構築に向けた実務的な技術課題に関するセミナーに参加

フィリピン共和国のマニラにおいて，国際測量者連盟（FIG）,国際測地学協会（IAG）等が開催した，測地基準系の構築に向けた実務的な技術課題に関するセミナーに．今給黎測地観測センター長他 1 名が参加した．本セミナーでは，測地基準系構築及び GNSS 連続観測の取組みを紹介するとともに，アジア太平洋地域における統一した測地基準系の構築に向けた議論に参加した.

6 月 21 日　第 142 回南極地域観測統合推進本部総会に出席

文部科学省において，第 142 回南極地域観測統合推進本部総会（本部長 : 文部科学大臣）が開催され，坂部国際課長が出席した．本会合では，第 55 次観測実施計画についての審議等が行われた．また，第 55 次南極地域観測隊の隊員が決定され，国土地理院からは，植田強化観測係長（機動観測課）が測地定常観測担当として派遣されることとなった.

6 月 25 日　「測量の日」関連行事を開催

九州地方測量部は，TKP 博多駅前シティセンター（福岡市）において,（一社）福岡県測量設計コンサルタンツ協会と共催で「測量の日」記念講演会を開催した.

6 月 25 日　「測量の日」関連行事を開催

北陸地方測量部は，石川県庁（金沢市）において地図パネル展を,（一社）富山県測量設計業協会と共催で富山市立三郷小学校において地図教室と測量体験学習を実施した.

6 月 25 日　第 5 回 G 空間×ICT 推進会議に出席

総務省において，第 5 回 G 空間×ICT 推進会議が開催され，村上企画部長が出席した．本会議において，「G 空間×ICT 推進会議」報告書が取りまとめられた.

6 月 26 日　地球地図を用いたインド･ウッタラカンド州周辺の地図を公開

豪雨により大規模な洪水や土砂崩れが起き，大きな被害が発生しているインド北部のウッタラカンド州周辺の地球地図を公開した.

6 月 27 日　日本列島立体地図を国土交通大臣室に設置

日本列島立体地図（陰影段彩余色立体地図）を国土交通大臣室に設置した.

6 月 28 日　福島第一原子力発電所周辺における基準点測量成果を改定

平成 24 年 12 月から平成 25 年 5 月にかけ,福島県双葉郡富岡町，大熊町，双葉町，浪江町及び葛尾村で避難指示解除準備区域等への見直しが行われたことに合わせ，基準点の再測量作業及び測量成果の再計算を行い，改定した測量成果を国土地理院ウェブサイトで公表した.

7 月 1 日　中国・四国・九州地方の電子基準点標高成果をより高精度な値に改定

中国・四国・九州地方（一部離島を除く）で取り付け測量及びオフセット量の観測を終えた 195 点の電子基準点の標高成果について，付属標の標高にオフセット量を加えた値に改定した.

7 月 1 日　観測を強化している地域の地殻変動を紹介するページを新設

地震・火山噴火の調査研究を目的に観測を強化し

This document is provided by JAXA.

ている地域の地殻変動を紹介するページを新設した.

7 月 2〜25 日 北海道「網走湖」の湖沼調査を実施

北海道の「網走湖」は昭和 44〜45 年に調査実施してから 40 年以上が経過しており,湖沼周辺の環境等が大きく変化していることから,北海道開発局網走開発建設部,西網走漁業協同組合からの要望に基づき,また,協力を得て現地調査を実施した.網走湖全域については,2 か年で調査する計画としている.

7 月 9 日 第 253 回地震調査委員会に出席

文部科学省において,第 253 回地震調査委員会が開催され,齊藤地理地殻活動研究センター長他 5 名が出席した.本会議では,「2013 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 11 日 第 6 回電子国土基本図のあり方検討会を開催

関東地方測量部において,第 6 回電子国土基本図のあり方検討会を開催した.本検討会では,改良を行った電子地形図 25000 の表現や,新たな 2 万 5 千分 1 地形図の仕様,20 万分 1 レベル等小縮尺データの対応,電子国土 Web における対応等について議論された.

7 月 12 日〜9 月 23 日 企画展「富士山」を開催

地図と測量の科学館において,企画展「富士山」を開催した.世界文化遺産に登録が決定され注目が高まっている「富士山」を,地図と測量の関わりから紹介した.

7 月 16 日 平成 25 年測量事業関係功労者並びに優良業務及び優良技術者表彰を実施

測量事業の推進に功績のあった測量事業関係功労者並びに平成 24 年度に完了した国土地理院発注の測量業務のうち,特に優れた成績を収めた優良業務及び優良技術者を表彰した.

7 月 20〜22 日 「サイエンスフェスタ in 秋葉原」でパネル等を展示

秋葉原駅構内 TX 広場において,「サイエンスフェスタ in 秋葉原」(主催:首都圏新都市鉄道(株)・(財)茨城県科学技術振興財団)が開催され,企画展「富士山」の紹介や「日本列島陰影段彩余色立体図」のミニ版展示のほか,「つくばエクスプレス沿線のいまむかし」のパネル展示等を行った.

7 月 20〜24 日 国際火山学地球内部化学協会 2013 年学術総会に出席

鹿児島県鹿児島市において,国際火山・地球内部化学協会(IAVCEI)の総会が開催され,小荒井地理情報解析研究室長他 2 名が参加した. 会合では,マグマ形成過程,火山プロセスのモニタリング・観測・モデル化,噴火プロセスと火山発達,火山災害・リスク・環境影響についての講演が行われた.国土地理院からポスター発表を行うとともに桜島の火山土地条件図の pdf ファイルを提供した.

7 月 20〜26 日 第 20 回地球地図国際運営委員会,ケンブリッジ会議 2013 及び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第 3 回会合に出席

英国のケンブリッジ市において,第 20 回地球地図国際運営委員会(ISCGM),ケンブリッジ会議 2013 及び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 3 回会合が開催され,村上企画部長他 2 名が出席した.

ISCGM では,ポール・チュン氏(シンガポール国立大学教授)が新委員長に選出された.また,地球地図土地被覆,植生レイヤが解像度 500m で作成されたことや地球地図の精度検証作業の中間報告が行われた.

ケンブリッジ会議では,地球規模での地理空間情報の管理・展開,地理空間情報当局の緊急時における役割,地理空間情報イノベーションと法的意味等をテーマとして議論が行われた.

UNCE-GGIM では,グローバルな測地参照系の構築に向け,各国の貢献を強化していくことの必要性が認識され,これに関する国連総会決議案を作成するための作業部会を形成してくことが決定された.また,持続可能な開発のための地球地図の整備に関しても議論が行われ,持続可能な開発に関する国連オープンワーキンググループと連携をしていくことが決議された.

7 月 20 日〜8 月 31 日 「2013 夏休み特別企画」

地図と測量の科学館において,「2013 夏休み特別企画」を開催し,「くにかぜ」の内部公開,測量体験教室,地図記号クイズラリー(夏休み特別編),「地図・測量に関する相談コーナー」の設置等様々なイベントを実施した.

7 月 24〜25 日 第 10 回日米 GPS 全体会合及び第 5 回日米宇宙政策協議に出席

三田共用会議所(港区)において,第 10 回日米 GPS 全体会合及び第 5 回日米宇宙政策協議(民生・商業利用)が開催され,今給黎測地観測センター長

This document is provided by JAXA.

他 3 名が出席した．本会議では，準天頂衛星システムの現状と将来計画や GPS 近代化と広域補強システムの状況説明が行われ，また，第 8 回衛星航法システムに関する国際委員会，マルチ GNSS アジア，二国間協議等の国際協力等についての情報交換等が行われた．

宇宙政策協議では，宇宙基本計画の概要説明や第 1 回国際宇宙探査フォーラムに関する意見交換等が行われた．

7 月 29〜30 日　7 月 26 日からの大雨等被害に係る政府調査団員派遣

7 月 26 日からの山口県・島根県地方の大雨による被害の発生を受け，政府調査団（団長：西村内閣副大臣）に宇根応用地理部長を派遣した．

7 月 30 日　「利用者にとって価値ある使いやすい電子国土基本図を目指した提言」をとりまとめ

「電子国土基本図のあり方検討会」（平成 24 年 2 月設置，委員長：森田喬法政大学教授）が平成 24 年 2 月から平成 25 年 7 月まで 6 回開催され，議論の内容を踏まえた提言がとりまとめられた．提言では，電子国土基本図が利用者にとって価値ある使いやすいものとなるよう，電子国土基本図のデータの取得・更新，表現，提供，活用の観点から今後の方策が示された．

7 月 30 日　電子地形図 25000 等の販売を再開

電子地形図 25000 及び数値地図（国土基本情報）について，関東地方の一部について販売を再開した．

7 月 30 日　電子国土 Web.NEXT の機能改良及び情報の追加を実施

電子国土 Web.NEXT の作図パネルや入力ボタンの操作性を向上させ，表示できる情報を追加した．

7 月 31 日　平成 25 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 25 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の選出等が行われ，委員長には谷津範之委員が選出された．定例会議では，国土地理院が発注した平成 24 年 10 月 1 日から平成 25 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抽出した事案について審議が行われた．

8 月 1 日　中国地方において大雨により被災した地域の空中写真を公開

大雨による甚大な災害があった山口県萩市の日本海沿岸域について，応急対策の円滑な実施に役立つ資料として，被災地域の空中写真撮影を実施し，撮影した空中写真を基に作成した正射画像及び正射写真地図をホームページで公開した．

8 月 1 日〜9 月 20 日　「電子国土賞 2013」の作品を募集

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ソフトウェアと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2013」の作品を募集した．

8月4〜9日　2013年京都国際地理学会議（IGU2013）に出席

国立京都国際会館（京都市左京区）において，国際地理学連合（IGU）及び日本学術会議が主催する2013年京都国際地理学会議が開催され，宇根応用地理部長他5名が出席し，5件の発表を行ったほか，討議に参加した．また，展示ブースを出展し，英語版電子国土Web.NEXTの体験コーナーと施策紹介パネルを設け，来場者に国土地理院の施策を紹介した．

8 月 5 日　東北地方において大雨により被災した地域の空中写真を撮影

大雨による甚大な災害があった山形県南陽市周辺について，応急対策の円滑な実施に役立つ資料として，被災地域の空中写真撮影を実施し，撮影した空中写真を基に作成した正射画像及び正射写真地図を作成した．

8 月 7〜8 日　「子ども霞ヶ関見学デー」に参加

平成 25 年度国土交通省子ども霞ヶ関見学デーが，中央合同庁舎第 3 号館において実施され，「地図っておもしろい！」と題して「都道府県分県パズルに挑戦！」，「地図記号パネルクイズ」と地図と測量の科学館のパネル展示を行った．

8 月 8 日　第 48 回海岸昇降検知センター総会を開催

関東地方測量部において，第 48 回海岸昇降検知センター総会を開催した．本総会では，気象庁，海上保安庁海洋情報部，国土交通省港湾局，国土地理院及び海岸昇降検知センター事務局から，平成 24 年度事業報告及び平成 25 年度実施計画の説明及び研究成果等の発表が行われた．

8 月 9 日　第 254 回地震調査委員会に出席

文部科学省において，第 254 回地震調査委員会が開催され，齊藤地理地殻活動研究センター長他 6 名が出席した．本会議では，「2013 年 7 の地震活動」

This document is provided by JAXA.

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 21 日　第 200 回地震予知連絡会を開催

関東地方測量部において，第 200 回地震予知連絡会を開催した．本会議では，全国の地震活動，日本周辺における浅部超低周波地震活動，日本列島のひずみ変化及び東北地方太平洋沖地震関連について報告が行われた．また，重点検討課題「地震の短期予測の現状と評価」に関する報告・議論が行われた．

8 月 24～25 日　「まつりつくば 2013」でパネル等を展示

「まつりつくば 2013」において，筑波研究学園都市 50 周年記念として，国土地理院ブースが設けられ，「空からつくばを眺めよう！時代をタイムスリップ～つくばの「今と昔」地図と航空写真～」と題し，空中写真床展示とパネル展示を行った．

8 月 30 日　電子地形図 25000 等の販売を再開

電子地形図 25000 及び数値地図（国土基本情報）について，販売再開地域を拡大し，関東地方の全域及び周辺地域の入手が可能となった．

8 月 31 日　南海トラフ巨大地震を想定した政府現地本部訓練に参加

愛知県自治センター等において，南海トラフ巨大地震を想定した政府の愛知緊急災害現地対策本部の設置・運営訓練が行われ，西野中部地方測量部次長他 1 名が参加した．

9 月 1 日　総合防災訓練を実施

南海トラフ巨大地震が発生したという想定のもと，政府防災訓練及び国土交通省災害対策本部運営訓練と連携した総合防災訓練を実施した．

9 月 2～6 日　国際測地学協会科学会合 2013 及び IVS 第 30 回評議会に出席

ドイツ連邦共和国のポツダム市において，国際測地学協会科学会合（IAG Scientific Assembly）2013 及び IVS 第 30 回評議会が開催され，宗包主任研究官他 1 名が出席した．会合ではマルチ GNSS に関する講演等が行われ，評議会では VLBI キャンペーン観測（CONT14）や VLBI2010（VGOS）関係の報告等が行われた．

9 月 5～6 日　東海地震に備えた現地緊急測量調査の訓練を実施

東海地震に備えた現地緊急測量調査の訓練のため，国土地理院東海機動観測基地（掛川市）に現地緊急測量調査班を派遣し訓練を実施した．東海地震発生に伴う地殻変動把握を目的として，東北地方太平洋沖地震の教訓から，港湾施設等の上下変動をいち早く把握するため，GNSS を使用して変動量を調査する訓練及び GNSS 連続観測施設（電子基準点）の点検とともにデータ収集を行い，携帯電話でデータ送信する訓練を実施した．

9 月 10 日　9 月 2 日に発生した突風による被災地域の空中写真を公開

9月2日に発生した突風による被災状況の把握のため，埼玉県，千葉県，茨城県における被災地域の空中写真撮影を実施し，撮影した空中写真を基に作成した正射画像及び正射写真地図をホームページで公開した．

9 月 10 日　第 255 回地震調査委員会に出席

文部科学省において，第255回地震調査委員会が開催され，齊藤地理地殻活動研究センター長他5名が出席した．本会議では，「2013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 17～18 日　台風第 18 号及び前線による大雨被害に係る政府調査団員派遣

9月16日からの福井県，滋賀県，京都府における記録的大雨による被害の発生を受け，政府調査団（団長：谷垣防災担当大臣）に宇根応用地理部長を派遣した．

9 月 24 日　台風第 18 号の大雨等による被災地域の空中写真を公開

台風 18 号の大雨等による甚大な災害があった福井県，滋賀県，京都府の地域について，応急対策の円滑な実施に役立つ資料として，被災地域の空中写真撮影を実施し，撮影した空中写真をホームページで公開した．

9 月 24～26 日　アジア地理空間情報フォーラム 2013 に参加

マレーシア国クアラルンプールにおいて Asia Geospatial Forum 2013 が開催され，田中防災企画官が出席した．アジア各国から地理空間情報を活用した取組が紹介され，国土地理院からは「東日本大震災における国土地理院の対応」について発表した．

9 月 25 日　第 40 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

This document is provided by JAXA.

国国土地理情報院（水原市）において，第 40 回日韓測地・地図協力会議を開催した．日本側からは松村地理空間情報部長他 3 名，大韓民国側からは任周彬国土地理情報院長他 5 名が出席した．会議では，両国における測地，地図作成及び地理空間情報にかかる事業・技術等についての意見交換等が行われた．

9 月 27 日　地球地図を用いたパキスタン南西部の地図を公開

9 月 24 日に発生した大規模な地震に伴い，大きな地震被害を被ったパキスタン南西部アワラン周辺の地球地図を公開した．

9 月 27 日　Young Scientist Award を受賞

つくば国際会議場においてアジア太平洋国際学会 2013（APSAR2013）が開催され，森下地球変動観測係長（宇宙測地課）が「Deformation parameter estimation in low-coherence areas using a multi-satellite InSAR approach」について発表し，Young Scientist Award の第 2 位を受賞した．

10 月 1 日～12 月 1 日　企画展「つくば　ときの記憶－地図と写真でたどる学園都市の今むかし」を開催

地図と測量の科学館において，企画展「つくば　ときの記憶－地図と写真でたどる学園都市の今むかし」を開催した．筑波研究学園都市の歩みに関して地図・空中写真等の測量成果や建設中の写真，その他貴重な資料の展示を行った．

10 月 2 日　第 14 回測量行政懇談会を開催

関東地方測量部において，第 14 回測量行政懇談会（委員長：中村英夫東京都市大学総長）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」，「基本政策部会からの報告について」等の報告及び議論が行われた．

10 月 6 日　地図と測量のおもしろ塾「きみも伊能忠敬だ」を開催

地図と測量の科学館において，地図と測量のおもしろ塾「きみも伊能忠敬だ」を開催し，小学生とその保護者が地図の作り方について学んだ．

10 月 7 日　電子地形図 25000 等の販売を再開

電子地形図 25000 及び数値地図（国土基本情報）について，東北地方の販売を再開した

10 月 10 日　第 256 回地震調査委員会に出席

文部科学省において，第256回地震調査委員会が開催され，齊藤地理地殻活動研究センター長他5名が出席した．本会議では，「2013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 15～17 日　地球規模の地理空間情報管理に関する成都フォーラムに出席

中華人民共和国の成都市において，地球規模の地理空間情報管理（UN-GGIM）に関する成都フォーラムが開催され，宇根応用地理部長他 2 名が出席した．本会議では防災に関する作業部会の設置やポスト 2015 年の持続可能な開発に関する議題への貢献についての検討等が行われた．

10 月 17 日　台風第 26 号の大雨等による被災地域の空中写真を公開

台風 26 号の大雨等による災害があった東京都伊豆大島の地域について，応急対策の円滑な実施に役立つ資料として，被災地域の空中写真撮影を実施し，空中写真及び撮影した空中写真を基に作成した正射画像をホームページで公開した．

10 月 17 日　地球地図を用いたフィリピン中部の地図を公開

10 月 15 日に発生した大規模な地震に伴い，大きな地震被害を被ったボホール島及びその周辺の地球地図を公開した．

10 月 22 日　第 127 回火山噴火予知連絡会に出席

気象庁において，第 127 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，特に霧島山（新燃岳），桜島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，GNSS 連続観測結果等を報告した．

10 月 26 日　地図と測量のおもしろ塾「地図を読んでみよう」を開催

地図と測量の科学館において，地図と測量のおもしろ塾「地図を読んでみよう」を開催し，小学生とその保護者が実際の景色と地図を比べることで地図のしくみを学んだ．

10 月 28～30 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第 2 回総会及び理事会に出席

イラン・イスラム共和国のテヘラン市おいて，国連地球規模の地理空間情報管理に関するアジア太平

This document is provided by JAXA.

洋地域委員会（UN-GGIM-AP）第 2 回総会及び理事会が開催され，村上企画部長他 2 名が出席した．総会では，UN-GGIM の活動に対する各国政府の認知度を引き上げることや，測地分野の活動の強化等について決議された．理事会では，委員会ウェブサイトの一層の活用等について討議された．

10 月 30 日　「地理院地図」を公開

インターネットを通じて地図等を閲覧できる地図サイト「電子国土 Web.NEXT（試験公開）」を「地理院地図」として正式公開した．

10 月 30 日　台風第 26・27 号の大雨等による被災地域の空中写真を公開

台風第 26･27 号により記録的な豪雨に見舞われた伊豆大島の被災地域について，応急対策の円滑な実施に役立つ資料として，被災地域の空中写真撮影を実施し，空中写真及び撮影した空中写真を元に作成した正射画像をホームページで公開した．

11 月 1 日　多色刷の 2 万 5 千分 1 地形図の刊行を開始

2 万 5 千分 1 地形図について，従来の 3 色刷より詳細で新鮮な内容であり，多彩な色を使って地物を表現するとともに，地形に陰影を付けて立体感を得やすくした多色刷の新たな 2 万 5 千分 1 地形図の刊行を開始した．

11 月 1 日　空中写真の複製・提供方法を変更

空中写真の提供を恒久的に高品質で行うため，ネガフィルムからの複製を廃止し，全て画像データからの複製・提供へと変更した．

11 月 1 日　横手盆地東縁・双葉・関東平野北西縁断層帯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等を 2 万 5 千分 1 地形図上にまとめた，都市圏活断層図（横手盆地東縁断層帯とその周辺）「田沢湖」「横手」「湯沢」，（双葉断層帯とその周辺）「亘理」「相馬」「南相馬」，（関東平野北西縁断層帯とその周辺）「高崎」の 7 面を公開した．

11 月 1 日　避難所等の地図表示に関する第 1 回会合を開催

関東地方測量部において，避難所等の地図表示に関する第 1 回会合を開催した．会合では 2 名の有識者から様々な意見が出され，考慮すべき事項等について議論された．

11 月 5 日　第 143 回南極地域観測統合推進本部総会に出席

文部科学省において，第 143 回南極地域観測統合推進本部総会が開催され，林計画課長他 1 名が出席した．本総会では，第 55 次南極地域観測隊の行動実施計画等についての審議が行われた．

11 月 6～11 日　「琉球国之図と完全復元伊能図フロア展」で地形図を展示

沖縄支所は，沖縄県立武道館アリーナにおいて開催された「琉球国之図と完全復元伊能図フロア展」で，沖縄本島の初版地形図の展示を行った．

11 月 6～24 日　「第 14 回いばらき児童生徒地図作品展」を開催

地図と測量の科学館において，「第 14 回いばらき児童生徒地図作品展」（主催 : いばらき児童生徒地図研究会，事務局 : 関東地方測量部）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され，全応募作品の中から優秀な作品 55 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，11 月 9 日に表彰式を行った．

11月7～8日　平成25年度国土交通省国土技術研究会に参加

国土交通省本省において，平成 25 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，ポスターセッション 2 課題の発表を行った．

11 月 9～10 日　つくば科学フェスティバル 2013 に参加

つくば市「カピオ」において「つくば科学フェスティバル 2013」が開催され，「3D で地図を楽しもう」と題して，日本列島立体地図の展示と立体視体験コーナーを設けた．

11 月 10～14 日　衛星測位システムに関する国際委員会第 8 回総会に出席

アラブ首長国連邦のドバイ市において，衛星測位システムに関する国際委員会第 8 回総会（ICG-8）が開催され，今給黎測地観測センター長が出席した．本会議では，各国の衛星測位システムの現状や将来計画の報告等が行われた．

11 月 11 日　「電子国土賞 2013」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 ソフトウェアと GIS コンテンツの中か

This document is provided by JAXA.

ら優れたものを表彰する「電子国土賞 2013」等の受賞作品を決定した.

11 月 11～15 日　ISO/TC 211 第 37 回総会に出席

米国のレッズランズ市において, ISO/TC 211 第 37 回総会が開催され，藤村情報普及課長が出席した. 総会では, 2 件のプロジェクトの登録, 5 件の既存規格の定期見直しにおける勧告等が決議された.

11 月 12 日　第 257 回地震調査委員会に出席

文部科学省において, 第257回地震調査委員会が開催され, 齊藤地理地殻活動研究センター長他6名が出席した. 本会議では,「2013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　地球地図を用いたフィリピン中部の地図を公開

11月8日にフィリピン中部を襲った猛烈な台風30号により大きな被害が出た，レイテ島の中心都市タクロバン周辺の地球地図を公開した.

11 月 12 日　筑波研究学園都市 50 周年記念式典に参加

筑波研究学園都市の設立が閣議決定して50周年を迎えることとなり，つくば国際会議場において筑波研究学園都市50周年記念式典が開催された. 院長が出席するとともに，会場に「写真と地図でたどる学園都市の今むかし」として空中写真等のパネル・床展示を行った.

11 月 14 日　マルチ GNSS 解析ソフトウェア「GSILIB プロトタイプ」を公開

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」の成果を早期公開するため，今までに開発したマルチ GNSS 解析ソフトウェア「GSILIB プロトタイプ」の一部を試験研究用として公開した.

11 月 14～16 日　G 空間 EXPO2013 が開催

日本科学未来館において，G 空間 EXPO2013 が開催された. 本 EXPO は，G 空間情報の最先端の技術やサービスを集結し，展示，講演・シンポジウム，体験イベント等を通じ，広く一般の方々に未来をつくる日本の技術やサービスを紹介する場とするとともに，新たな技術やサービスの創出や既存のそれらの高度化・発展に関する民間事業者等の提案や創意工夫を掘り起こす場として開催するものであり，3 日間の入場者数は17,584人であった. 国土地理院は, Geo アクティビティフェスタや電子国土賞 2013 表彰式及び受賞作品紹介，みらい地図作品フェア等を開催した. また，11 月 15 日に東京国際交流館において「国際セミナー 地球規模の G 空間情報の舵取りと未来」と題して，ポール･チュン氏（ISCGM 委員長）が講演を行った. チュン氏は，翌週の 19 日. 国土地理院長を表敬訪問した.

11 月 17 日　地図と測量のおもしろ塾「地図を作ってみよう」を開催

地図と測量の科学館において，地図と測量のおもしろ塾「地図を作ってみよう」を開催し，小学生とその保護者が自分で書いた絵地図と地形図を比べ測量の必要性を学んだ.

11 月 19 日　地球地図を用いたソマリア北東部周辺の地図を公開

サイクロンの直撃を受け大きな被害が出た，ソマリア北東部プントランド周辺の地球地図を公開した.

11 月 19 日　電子地形図 25000 等の販売を再開

電子地形図 25000 及び数値地図（国土基本情報）について，北陸・中部・近畿地方の販売を再開した

11 月 19 日　航空レーザ測量による数値標高モデルデータの統合と基盤地図情報（数値標高モデル）の提供範囲を拡大

国土地理院が基本測量として整備した3月18日提供分までの航空レーザ測量による数値標高モデルと, 2012 年 3 月 28 日に提供開始した国土交通省地方整備局等が公共測量として整備した航空レーザ測量による数値標高モデルデータ（5m メッシュ）を統合した. また，青森県三沢市他 4 市町村の全域及び北海道函館市他 248 市町村の一部のデータ提供を開始した.

11 月 22 日　第 201 回地震予知連絡会を開催

関東地方測量部において，第 201 回地震予知連絡会を開催した. 本会議では，将来検討ワーキンググループから報告が行われた. また, 全国の地震活動, 日本周辺における浅部超低周波地震活動，日本列島のひずみ変化及び東北地方太平洋沖地震関連について報告が行われた. また，重点検討課題「物理モデルに基づいた地震発生予測研究」に関する報告・議論が行われた.

11 月 22 日　第 55 次日本南極地域観測隊が出発

第 55 次南極地域観測隊の一員として, 植田強化観測係長（機動観測課）を派遣した. 植田隊員は，定

This document is provided by JAXA.

常観測の測地測量として，東西オングル島での水準測量や精密測地網測量を実施する．また，地形測量として精密地形測量，GNSS 連続観測局及び GNSS 固定観測装置の保守等を実施する．

11 月 28 日　避難所等の地図表示に関する第 2 回会合を開催

関東地方測量部において，避難所等の地図表示に関する第 2 回会合を開催した．会合では 3 名の有識者の意見をもとに，考慮すべき事項等について議論された．

11月29日　関西G空間フォーラム2013を開催

近畿地方測量部は，大阪市内において，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2013を開催した．本フォーラムは，関西における地理空間情報についての現状を認識するとともに，産学官の間で共有化を図り将来を展望することを目的としており，合同シンポジウムの中で第32回測量技術講演会を実施し，国土地理院から3名の講演が行われた．

12 月 1～3 日　第 5 回アジア・オセアニア GNSS 地域ワークショップに出席

ベトナム社会主義共和国のハノイ市において，第 5 回アジア・オセアニア GNSS 地域ワークショップが開催され，古屋衛星情報係長（衛星測地課）が出席した．本会議では，アジア・オセアニア地域におけるマルチ GNSS の利用に関する実証実験の成果等が報告された．国土地理院からは，GEONET の GNSS 対応計画，マルチ GNSS を利用した高精度測位技術の開発状況について報告した．

12 月 6 日　平成 25 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 25 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 25 年 4 月 1 日から平成 25 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．

12 月 8 日　地図と測量のおもしろ塾「地図ってどうやってできるの？」を開催

地図と測量の科学館において，地図と測量のおもしろ塾「地図ってどうやってできるの？」を開催し，小学生とその保護者が地図記号から地図の表現と正確性を学んだ．

12 月 9～13 日　2013 年米国地球物理学連合秋季大会に出席

米国のサンフランシスコ市において，2013 年米国地球物理学連合（AGU）秋季大会が開催され，川元調査員（研究管理課）が出席した．本大会では地球物理学に関する最新の研究成果発表が行われ，国土地理院からは津波予測支援を目的とした，電子基準点を用いてリアルタイム解析及び断層モデル推定を自動で行うシステムについて発表した．

12 月 10 日　第 258 回地震調査委員会に出席

文部科学省において，第258回地震調査委員会が開催され，齊藤地理地殻活動研究センター長他4名が出席した．本会議では，「2013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 11 日　西之島周辺の空中写真等を公開

11 月 20 日に噴火が確認された西之島周辺の空中写真撮影を 12 月 4 日に実施し，空中写真と地形判読図をホームページで公開した．

12 月 12 日　平成 25 年度補正予算の政府案が決定

平成 25 年度補正予算の政府案が閣議で決定され，国土地理院関係の補正予算案は，総額約 6 億円（水管理・国土保全局一括計上分を含む）となった．

12 月 24 日　平成 26 年度予算の政府案が決定

平成 26 年度予算の政府案が閣議で決定され，国土地理院関係の予算案は，総額約 99 億円となった．

12 月 24 日　西之島周辺の空中写真等を公開

12 月 17 日に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．

12 月 25 日　避難所等の地図表示に関する第 3 回会合を開催

関東地方測量部において，避難所等の地図表示に関する第 3 回会合を開催した．会合では 3 名の有識者の意見をもとに，作業の進め方等について議論された．

12 月 27 日　西之島周辺の衛星画像を公開

12 月 24 日に Landsat-8 号衛星が捉えた西之島周辺の画像をホームページで公開した．

This document is provided by JAXA.

編集委員長	村上	広史
副委員長	中島	秀敏
委員	綿引	將人
〃	門脇	利広
〃	土井	弘充
〃	山後	公二
〃	中村	孝之
〃	河瀬	和重
〃	丸山	一司
〃	山岸	登
事務局	矢口	秀則
〃	湯通堂	亨
〃	竹前	亘

国土地理院時報　第124集

平成25年12月27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

This document is provided by JAXA.

国土地理院発行地図等一覧（消費税込み）平成25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（折図）	5	450
	4面		10	550
2万5千分1地形図	4,351面	枠判	3	270
	20面	枠版	多色	330
	16面	A1判（折図）	6	500
5万分1地形図	42面	枠判	3	270
	1,249面		4	290
	4面		6	320
20万分1地勢図	130面	枠判	6	320
50万分1地方図	8面	四六判	4	650
	8面		7	740
100万分1日本	Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ	四六判	9	800
100万分1 INTERNATIONAL MAP	Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ（英文版）	四六判	9	800
500万分1日本とその周辺		四六判	9	800
500万分1JAPAN AND ITS SURROUNDINGS	（英文版）	四六判	9	800
2万5千分1集成図	京都	菊判（折図）	8	650
	KYOTO			
5万分1集成図	大山・蒜山	菊判（折図）	14	800
	阿蘇・九重		16	850
10万分1集成図	支笏・洞爺とその周辺	菊判	4	490
	支笏・洞爺とその周辺（英文加刷版）	菊判	5	510
	千葉，宇都宮，水戸	四六判	5	680
	南関東	四六判（折図）	16	1,080
30万分1集成図	北方四島	四六判（折図）	6	780
2万5千分1土地条件図	1面	枠判（折図）	13	440
	2面	菊判	12	690
	5面	菊判（折図）	9	670
	3面		13	770
	40面	四六判	12	890
	1面		13	920
	2面	四六判（折図）	6	780
	23面		9	870
	17面		13	990
	1面	四六半裁判(折図)	9	530
2万5千分1土地利用図	1,173面	枠判	6	320
	4面	菊判（折図）	10	700
5万分1土地利用図	36面	枠判	8	350
	8面	菊判	8	590
20万分1土地利用図	123面	枠判	6	320
2万5千分1沿岸海域地形図	2面	枠判	3	270
	2面	枠判（折図）	3	290
	17面	菊判	3	460
	5面	菊判（折図）	3	520
	40面	四六判	3	620
	7面	四六判（折図）	3	690
2万5千分1沿岸海域土地条件図	1面	枠判	12	410
	2面	枠判（折図）	9	380
	1面	菊判	8	590
	18面		12	690
	5面	菊判（折図）	9	670
	41面	四六判	12	890
	7面	四六判（折図）	9	870

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	590
1万分1火山基本図	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～Ⅷ，那須岳 秋田駒ヶ岳，岩手山 岩木山，鳥海山 くじゅう連山，秋田焼山 富士山（御庭，白塚・桧塚， 富士山頂，宝永山） 東伊豆単成火山群 （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	四六判	2	590
	薩摩竹島	菊判	2	440
1万分1火山土地条件図	薩摩硫黄島	四六判（折図）	11	930
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	800
	桜島	四六判（折図）	11	930
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	550
	樽前山	四六判（折図）	9	870
	雌阿寒岳・雄阿寒岳		12	960
	くじゅう連山，安達太良山	菊判（折図）	12	750
3万分1火山土地条件図	北海道駒ヶ岳	四六判（折図）	12	960
	阿蘇山		13	990
	霧島山，磐梯山		10	900
5万分1火山土地条件図	十勝岳	菊判（折図）	14	800
	富士山	A0判（折図）	10	980
5万分1組図	札幌（昭和）	枠判	1	240
	福岡（大正，昭和）2面		1	240

枠判 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 骨格図 写真図	電子複写図	四六判	1,200
	印画	四六判	7,750
湖沼図	電子複写図	四六判	1,200
		菊判	1,200
		四六半裁判	750
		枠判	500

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	2,900
	二倍出力印画	46cm × 46cm 相当	5,700
	三倍出力印画	69cm × 69cm 相当	8,600
	四倍出力印画	92cm × 92cm 相当	11,600
	部分出力印画	23cm × 23cm	3,800
		46cm × 46cm	6,200
		69cm × 69cm	9,800
		92cm × 92cm	12,800
	正射出力印画	30秒×30秒区画（縮尺 1/2,500）	5,200
デジタル画像	画像データ	20 μm（1270dpi）	3,800
	正射画像データ	30秒×30秒区画（地上画素寸法20cm又は40cm）	3,000

This document is provided by JAXA.

数値地図 Digital Maps

定価（税込）（CD 又は DVD 1 枚：7,500 円、オンライン 1 データファイル：170 円、電子地形図 25000 の A0：680 円、A1：340 円、A2，A3，A4：170 円）

種　類	刊行枚数 CD・DVD・データファイル	データの種類	備考
数値地図 25000（行政界・海岸線）	1 枚	都道府県界，支庁界，都市界，町村界 海岸線，湖沼線，図郭線，行政名	全国
数値地図 25000（地名・公共施設）	1 枚	地名等の表記，読み，経度，緯度 地図記号の対象公共施設の名称，所在地	全国
数値地図 10 mメッシュ（火山標高）	1 枚	5 千分 1，1 万分 1 火山基本図上で 10 m間隔の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 5 mメッシュ（標高）	14 枚	地表 5 m間隔で区切った方眼中心点の標高を航空レーザ測量によって取得したデータをもとに家屋や橋，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，横浜及川崎，宮崎，飯綱，柏崎，新潟，江戸川周辺，仙台，神戸，栗駒山周辺
数値地図 50 mメッシュ（標高）	3 枚	2 万 5 千分 1 地形図上で約 2 mm間隔の方眼の中心の標高を等高線から計算したデータ	全国
数値地図 250 mメッシュ（標高）	1 枚	2 万 5 千分 1 地形図上で約 1 cm間隔の方眼の中心の標高を等高線から計算したデータ	全国 1 kmメッシュ（標高）/（平均標高）含む
数値地図 2500（空間データ基盤）	106 枚	行政区域・海岸線，街区，道路線，鉄道・駅 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（空間データ基盤）	53 枚	道路中心線，鉄道中心線，河川中心線，水涯線 海岸線，行政界，基準点，地名，公共施設，標高	全国
数値地図 25000（地図画像）	75 枚	注記版，注記マスク版，墨版，藍版，褐版 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）	30 枚	注記版，注記マスク版，墨版，藍版，褐版 藍マスク版，褐マスク版，緑＋緑マスク版	全国
数値地図 200000（地図画像）	3 枚	注記版，墨版，赤版，藍版，褐版，緑版 藍マスク版，陰影図ファイル	全国
数値地図 500 万（総合）	1 枚	水部区域，水部界，境界，道路，鉄道， フェリー航路，等高線，等深線，空港，港， 都市，山岳標高点，水深点，注記	日本とその周辺
数値地図 25000（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 に基づく XML 形式ファイルのベクタデータ（東日本，西日本）及び JPGIS2.1 に基づく XML 形式ファイル（GML）のベクタデータ（全国）	東日本，西日本，全国
数値地図 5000（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高精度なポリゴンデータ （土地利用界線の精度：1 m，5 千分 1 基図使用）	近畿圏 2001，2005，首都圏 2000，2005，中部圏 2003
数値地図 25000（地図画像）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 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）オンライン	43 データファイル	注記版，注記マスク版，墨版，藍版，緑版 墨マスク版，藍マスク版，褐マスク版	北方四島
数値地図 25000（土地条件）オンライン	92 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 に基づく XML 形式ファイル（GML）のベクタデータ	首都圏及び中部圏の一部
災害復興計画基図オンライン	2160 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・地形など	青森県八戸市から福島県いわき市にかけての沿岸部、4 県 39 市町村
数値地図（国土基本情報）オンライン	4425 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）	北海道・四国・沖縄地区
数値地図（国土基本情報）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）	北海道・四国・沖縄地区
電子地形図 25000 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、Geospatial PDF,TIFF,JPEG のいずれかから選択）	北海道・四国・沖縄地区
電子地形図 25000 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、Geospatial PDF,TIFF,JPEG のいずれかから選択）	全国

日本国勢地図

定価（税込）（CD 1 枚：7,500 円）

種　類	刊行枚数 CD	データの種類	備考
日本国勢地図	1 枚	新版日本国勢地図（1990 年版）のうち，14 分野 94 主題について一部内容を更新して収録	全国

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　FAX 03（3465）7591　E-mail : maps@jmc.or.jp

This document is provided by JAXA.

リサイクル適性Ⓐ
この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。

This document is provided by JAXA.