

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, Kyushu 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）。

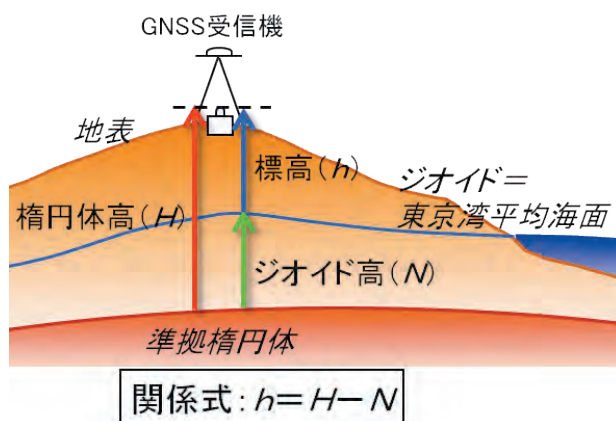


図-1 楕円体高、標高及びジオイド高の関係図

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

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10cm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。

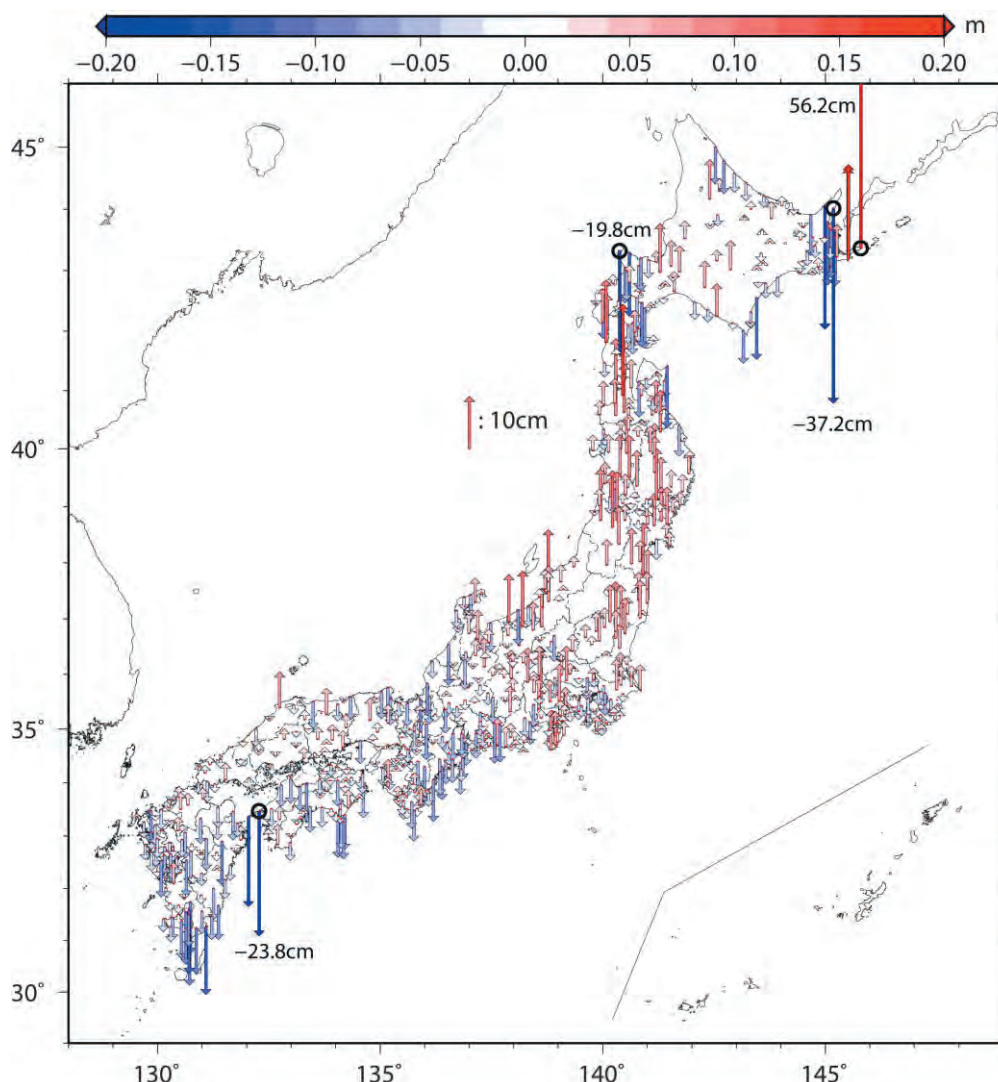


図-2 電子基準点付属標のジオイド高データと「日本のジオイド2000」のジオイド高の差

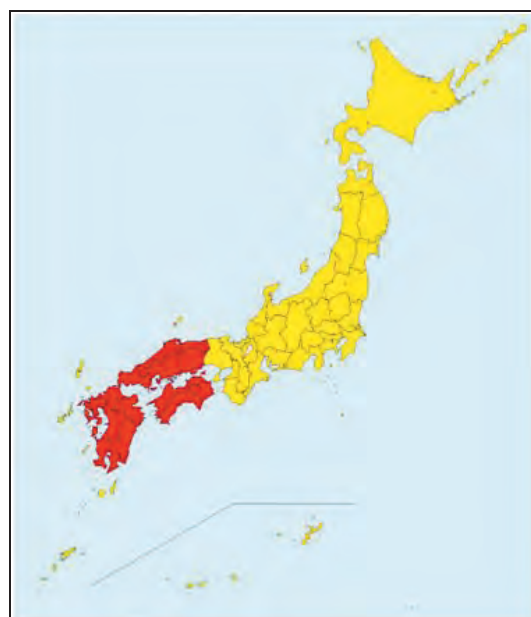


図-3 「日本のジオイド2011」適用地域（赤色部）

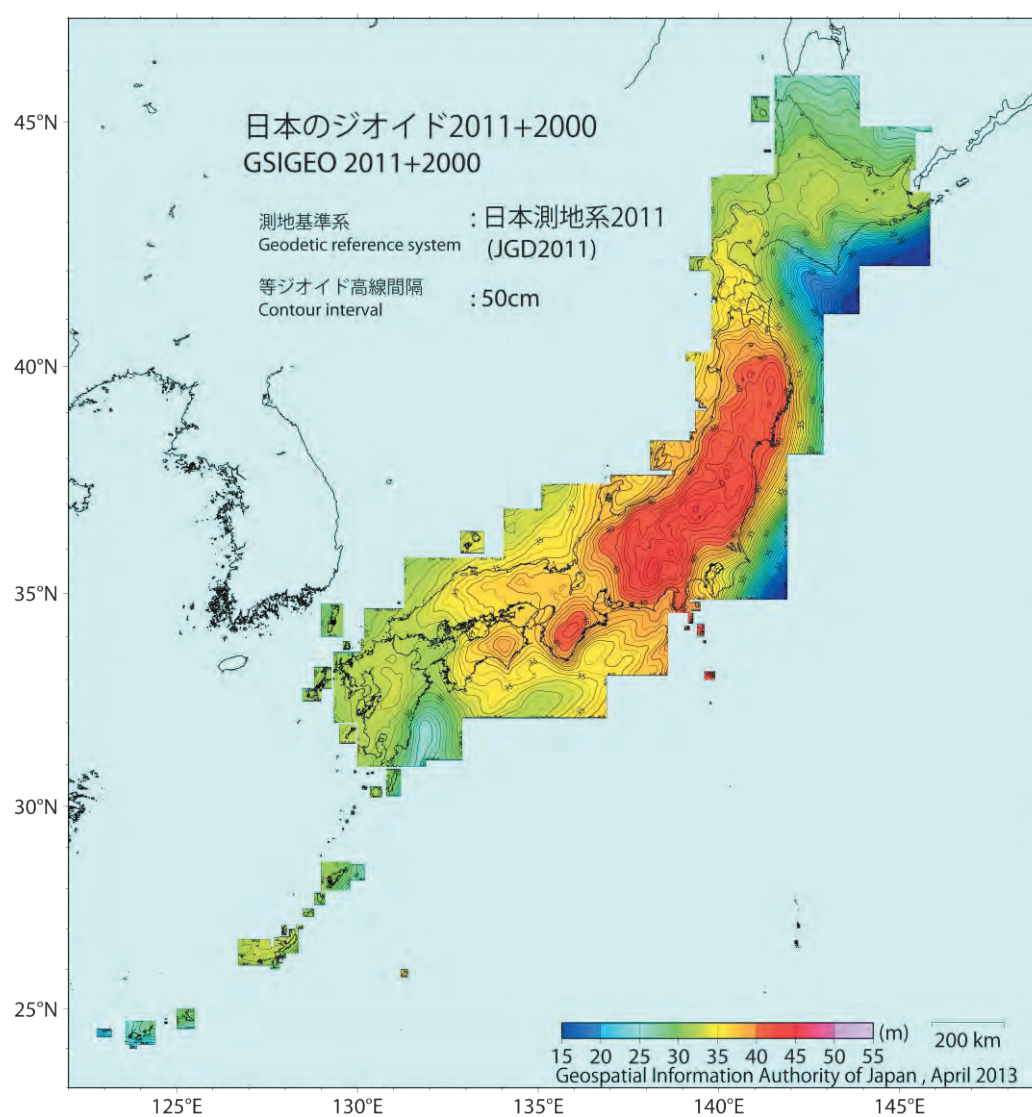


図-4 日本のジオイド 2011+2000

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).

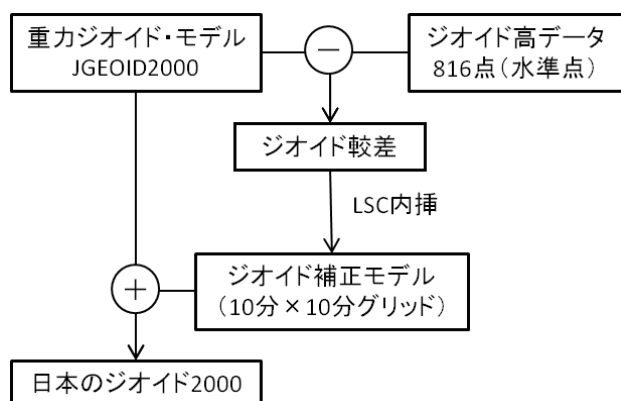


図-5 「日本のジオイド 2000」の構築の流れ

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が生じる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

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。

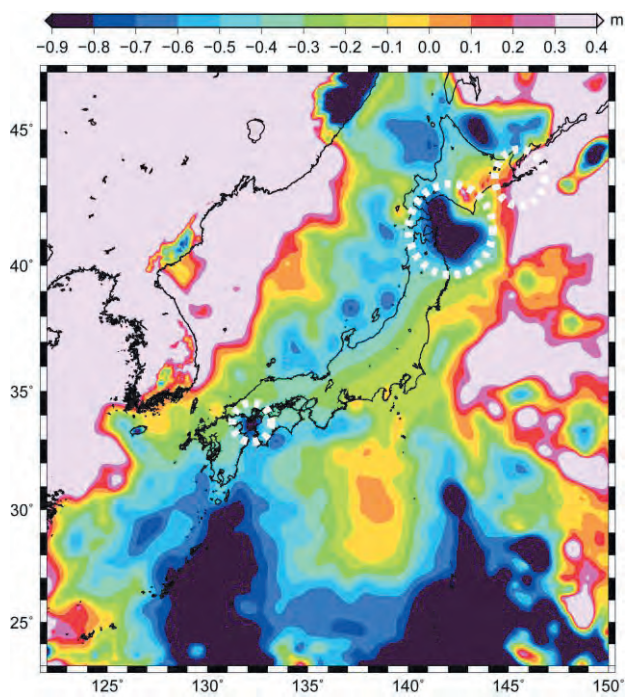


図-6 JGEOID2008 と JGEOID2000 の差

次に、②について、「日本のジオイド 2000」で使ったジオイド高データを使用せず、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。

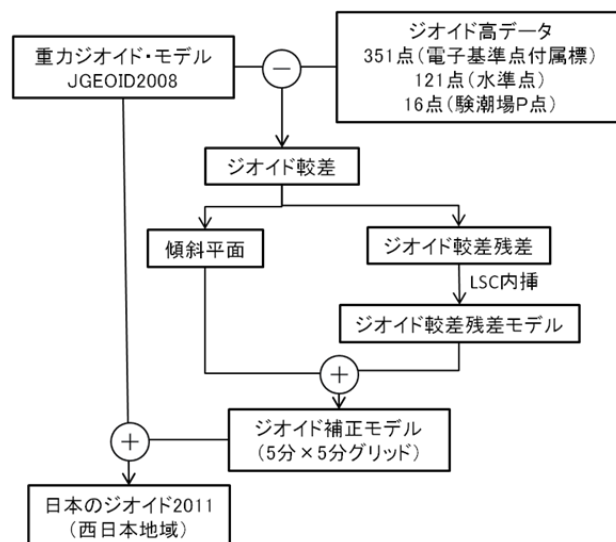


図-7 「日本のジオイド 2011」の構築処理の流れ

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。

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ない、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。

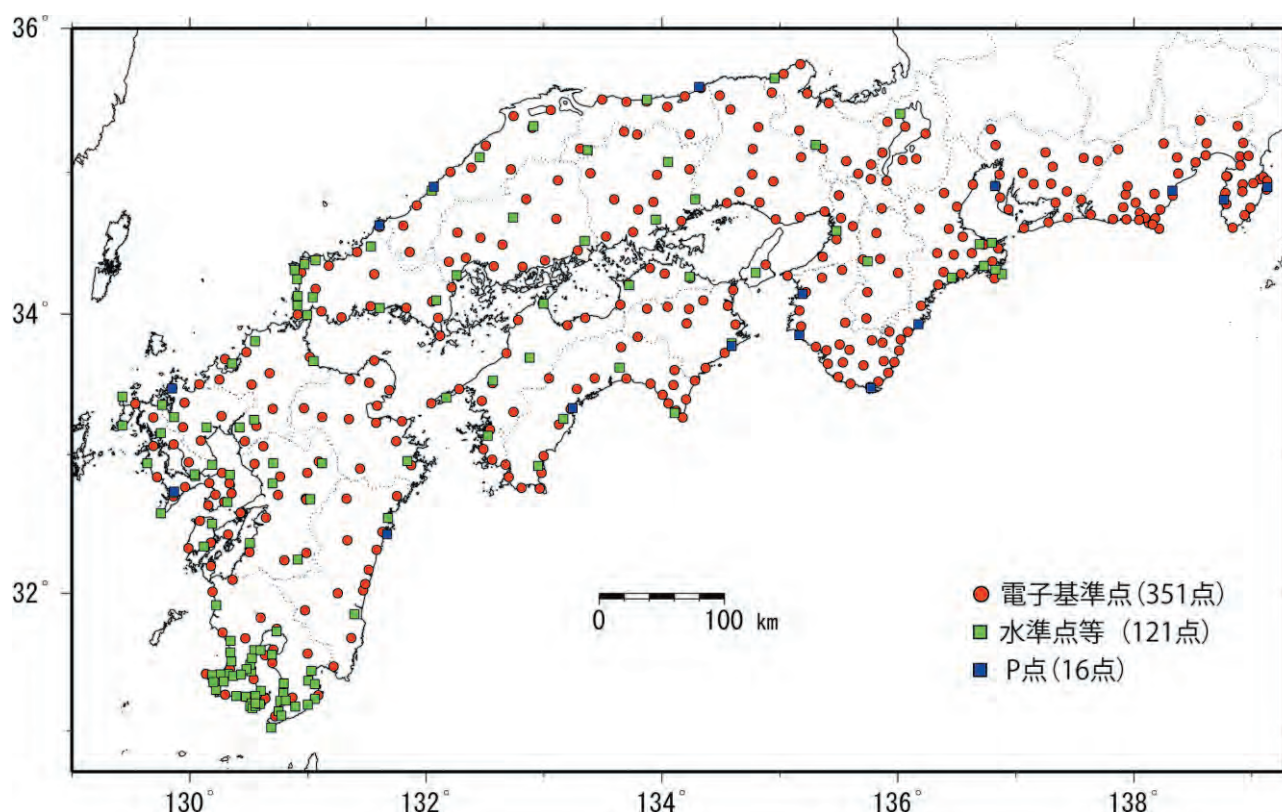


図-8 日本のジオイド 2011（西日本地域）に使用したジオイド高データの配点図

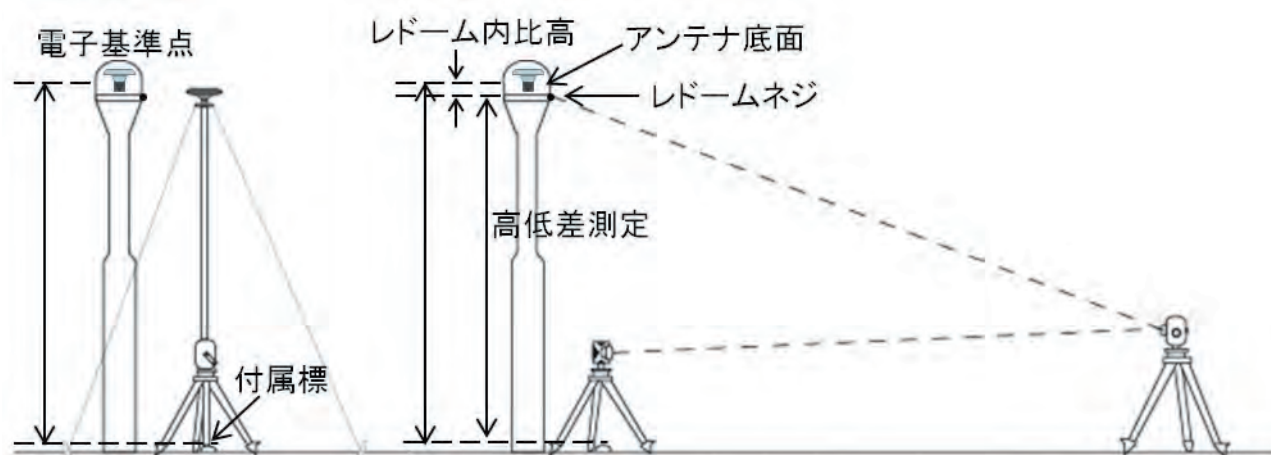


図-9 （左）GPS 観測（右）TS 観測の模式図

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

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.

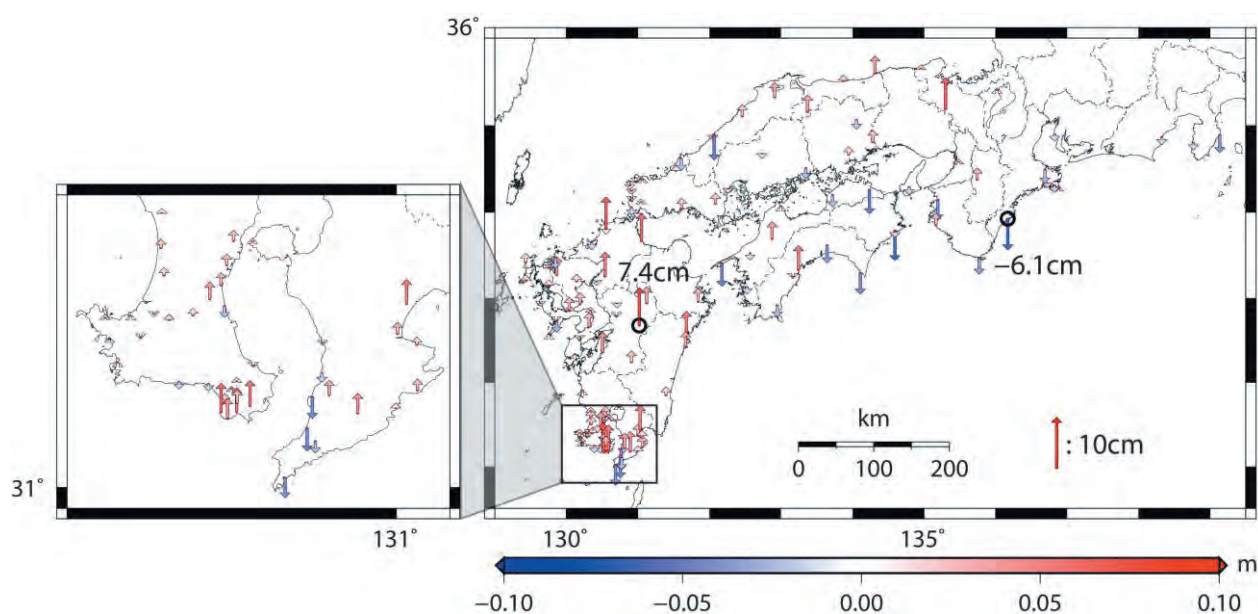


図-10 水準点等及び P 点におけるジオイド高データと日本のジオイド 2011 (仮) のジオイド高の較差

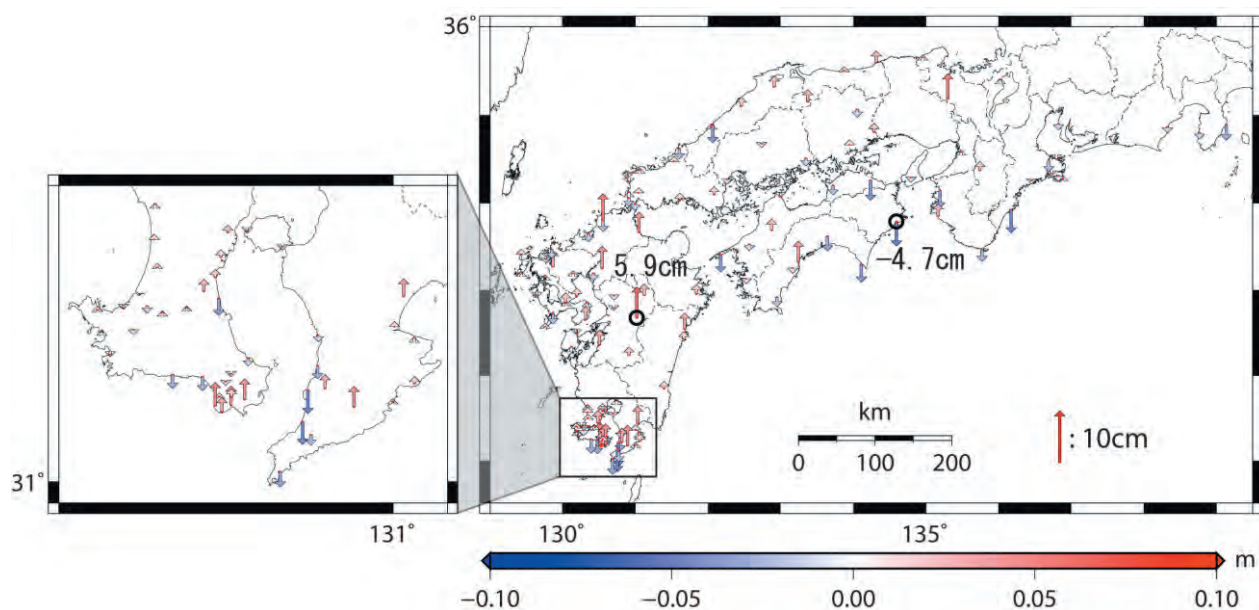


図-11 水準点等及びP点におけるジオイド高データと日本のジオイド2011のジオイド高の較差

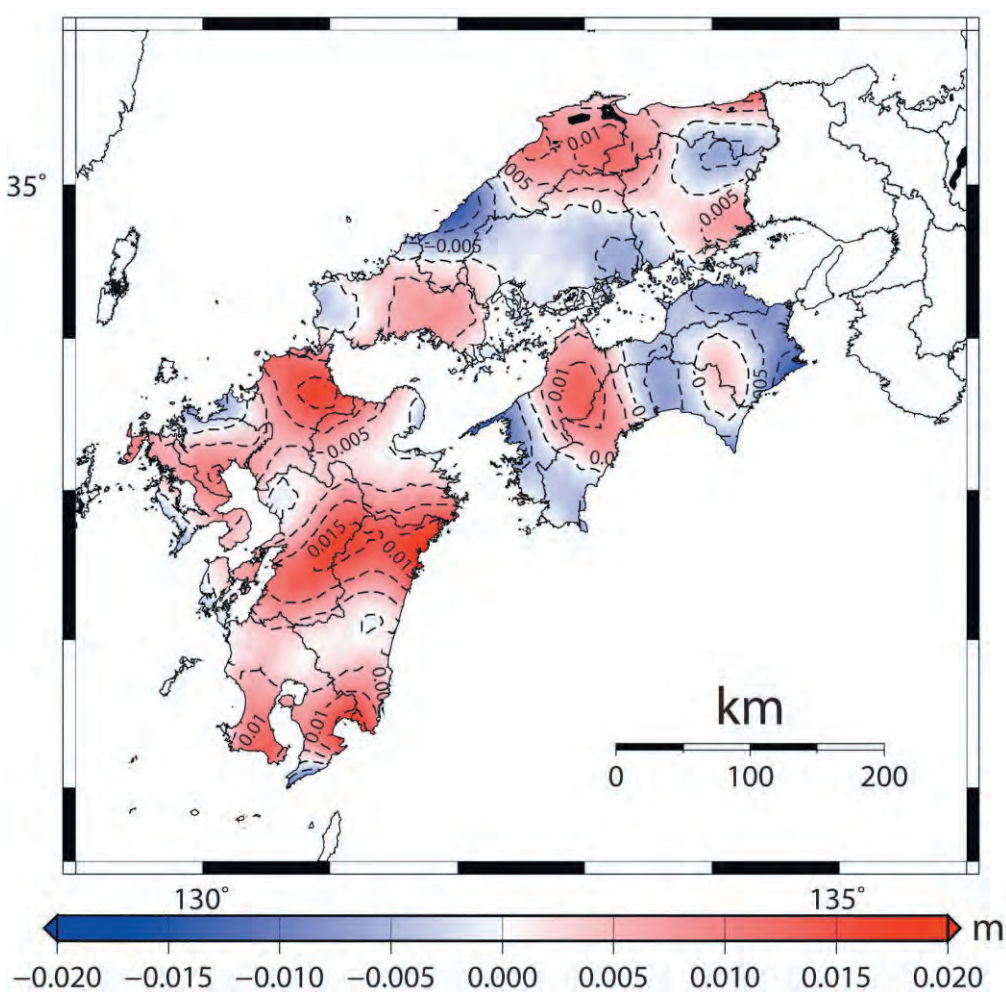


図-12 「日本のジオイド2011」と「日本のジオイド2011（仮）」のジオイド高差

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		
	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

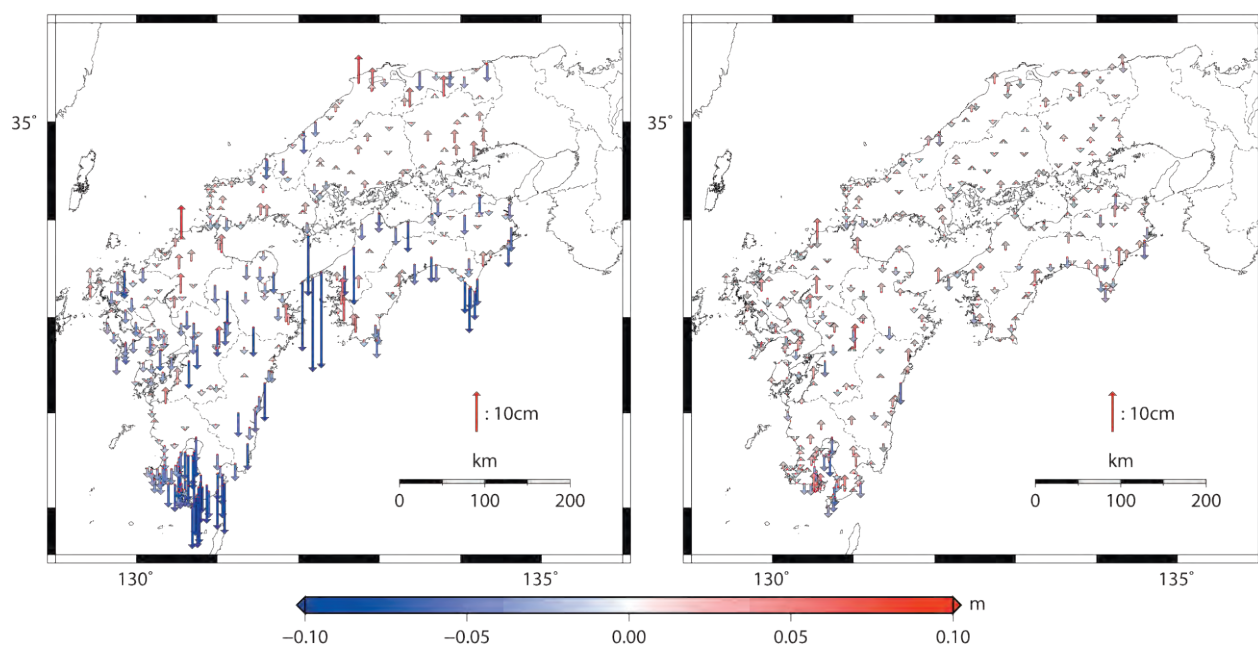


図-13 中国・四国・九州地方における「日本のジオイド 2011」構築に使用したジオイド高データと各ジオイド・モデルのジオイド高との差（左：「日本のジオイド 2000」との差，右：「日本のジオイド 2011」との差）

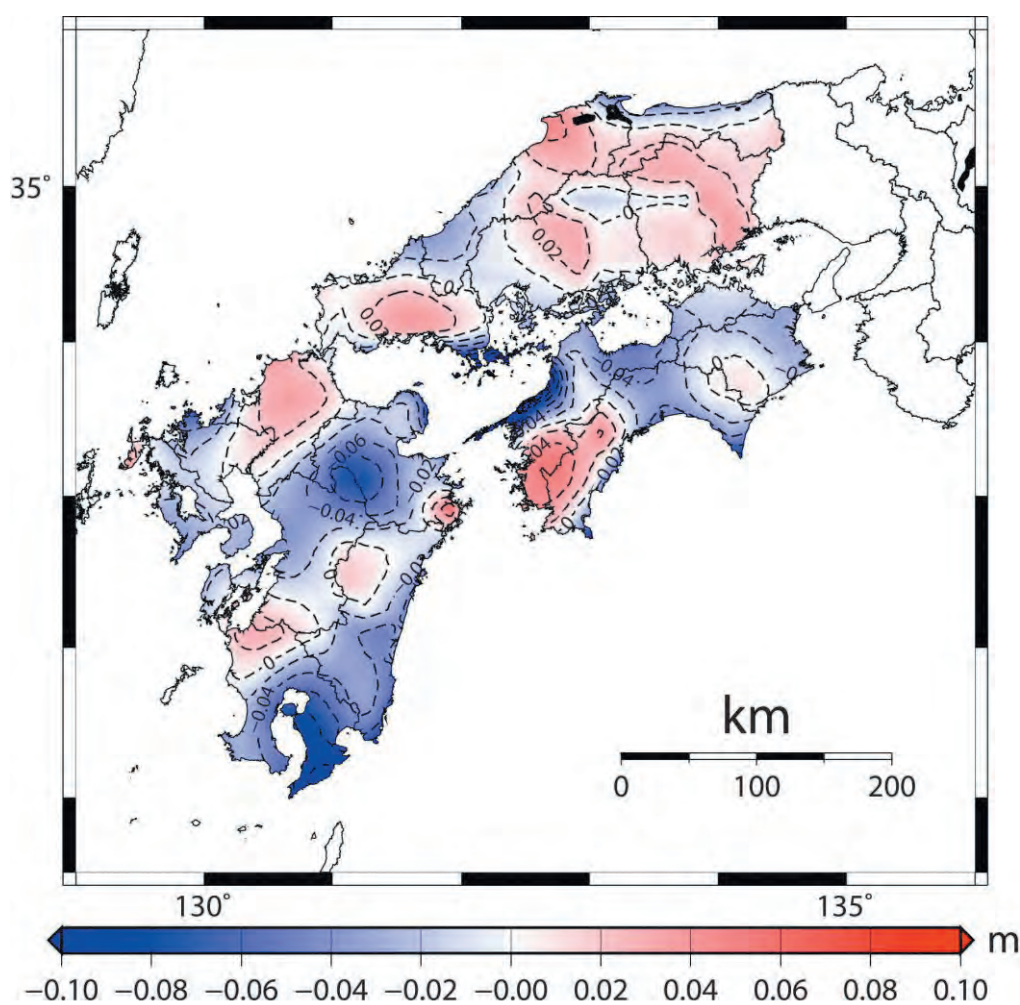


図-14 「日本のジオイド 2011+2000」と「日本のジオイド 2000」のジオイド高の差

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，福崎順洋，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，福崎順洋 (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。