

衛星測位を基盤とする標高体系への移行に伴う基準点の標高成果の改定
Revision of the National Elevation Results
Associated With the Update to the Geoid-Based Vertical Datum

測地部 古屋智秋¹・井上武久²・針間栄一郎³・檜山洋平⁴・岩下知真子・多田直洋・
高築晶・山田直輝・田上節雄⁵・吉川忠男・中久喜智一⁴・下平佳朱美・
飯尾研人・松原柚季・石川典彦・山下達也

Geodetic Department

FURUYA Tomoaki, INOUE Takehisa, HARIMA Eiichiro, HIYAMA Yohei,
IWASHITA Chimako, TADA Naohiro, TAKATSUKI Akira, YAMADA Naoki,
TANOUE Setsuo, KIKKAWA Tadao, NAKAKUKI Tomokazu, SHIMODAIRA Kasumi,
HIO Kento, MATSUBARA Yuki, ISHIKAWA Norihiko and YAMASHITA Tatsuya

測地観測センター 高松直史⁶・宮崎隆幸・橋本繭未・村上真亮・宗包晃子・
齋田宏明⁷・影山勇雄・湯通堂亨⁸

Geodetic Observation Center

TAKAMATSU Naofumi, MIYAZAKI Takayuki, HASHIMOTO Mayumi,
MURAKAMI Shinsuke, MUNEKANE Akiko, SAITA Hiroaki, KAGEYAMA Isao and
YUTSUDO Toru

要 旨

明治以来、我が国の標高の基準と標高決定の仕組みは、日本水準原点から全国の水準点に水準測量を実施することによって構築されてきた。しかし、水準測量によって全国の測量を終えるには 10 年以上の歳月を要し、この間に地殻変動の影響を受けるとともに、水準測量は距離に応じて誤差が累積する特徴があり、日本水準原点から離れるほど標高の誤差が大きくなっていった。

そこで、国土地理院では、令和 7 年 4 月 1 日に、我が国の標高の基準と標高決定の仕組みを衛星測位で決定した標高を基盤とする体系に移行し、国土地理院が管理する全国の電子基準点、三角点、水準点等の基準点における測量成果の標高を衛星測位を基盤とする値に改定した。

本稿では、衛星測位で決定した標高を基盤とする体系の詳細や移行による効果、電子基準点、三角点、水準点それぞれの測量成果の標高の改定方法について報告する。

1. はじめに

水の流れと密接に関係する標高は、河川やダム、道路等の土木施設や上下水道のようなライフラインに係る公共工事に不可欠な情報である。また、大規模地震後の港湾工事や堤防建設等の復旧・復興事業においては早急に必要とされる情報である。我が国の高さの基準は測量法（昭和二十四年法律第百八十八号）で規定されており、高さは標高（東京湾平均

海面からの高さ）で表示し、その原点は日本水準原点（東京都千代田区）であると定められている。

明治時代に近代測量が開始されてから約 150 年の間、我が国の標高の基準と標高決定の仕組み（以下「標高体系」という。）は、全国に約 2 km おきに水準点を設置し、日本水準原点を起点として各水準点の間で繰り返し水準測量を実施し、その測量成果の標高（以下「標高成果」という。）を算出することによって構築・維持・管理されてきた。1969 年には北海道地方を除く地域について「昭和 44 年度平均成果」を、1972 年には北海道地方については「昭和 47 年度平均成果」を公表し、2002 年にはそれまで採用されていた正規正標高の代わりに正標高を採用し、「2000 年度平均成果」を構築・公表した（国土地理院、2003）。その後、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震に伴い、東日本の広い範囲で顕著な地殻変動が観測されたため、当該地域で水準測量を実施し、「測地成果 2011」を構築・公表した（檜山ほか、2011。）

しかし、水準測量で決定した標高を基盤とする標高体系（以下「水準測量を基盤とする標高体系」という。）には、主に以下の四つの課題が存在する。

- 1) 時間と費用の問題: 水準測量は多大な時間と費用を必要とし、全国の水準点を測量するのに 10 年以上の歳月と（図-1）、延べ約 20 億円の経費を要する（国土地理院、2018）。
- 2) 地殻変動の影響: 日本列島は地震時のみならず平時においても地殻変動が生じている。全国の水

現所属：¹文部科学省、²退職（令和 7 年 4 月 1 日）、³関東地方測量部、⁴企画部、⁵中国地方測量部、⁶地理地殻活動研究センター、

⁷九州地方測量部、⁸測地部

準測量を実施している間にも、地殻変動が累積し、標高成果が現況と一致しなくなってしまう。

- 3) 距離に伴う誤差の蓄積: 水準測量には観測距離に応じて誤差が累積する特徴があり、日本水準原点から離れるほど標高成果の誤差が大きくなる(国見ほか, 2001)。レベルの性能の向上に加え、レフラクション誤差や標尺沈下への対策など観測手法の改良によって観測精度の向上を図ってきたものの(国土地理院, 2003)、全国の水準測量が長距離にわたって実施される方式である以上、根本的な問題解決には至っていない。
- 4) 地震後の成果改定に要する時間の問題: 大規模地震に伴い水準点の標高成果を改定する必要がある際、地震の影響がなく測量成果を停止していない水準点を起点として長距離の水準測量を行う必要があるため、標高成果の提供までに時間を要する。例えば、平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震の際には、水準測量の観測距離が 3,660 km にも及んだため、本震発生から新たな標高成果の公開まで 7 か月以上の時間を要した(檜山ほか, 2011)。これでは大規模地震後の迅速な復旧・復興事業のために早急に標高を提供するという社会的なニーズに十分応えられていない。

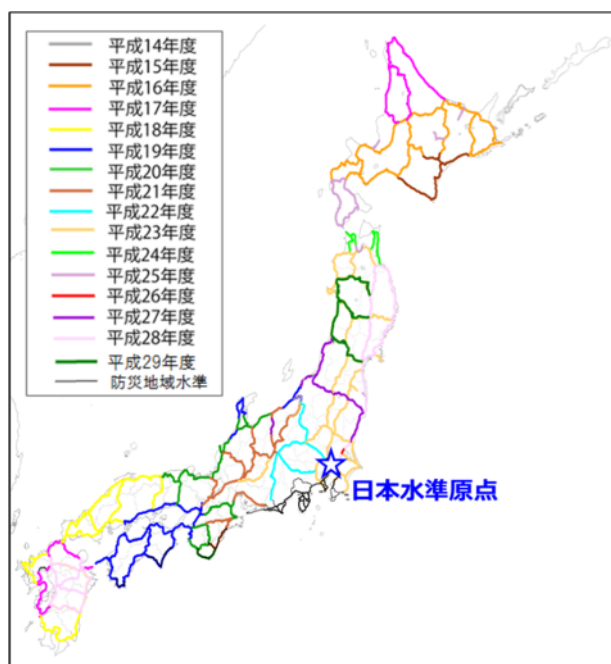


図-1 全国を対象とした水準測量の実施例

2010 年代前半に至るまで、我が国を含む世界各国にとって、水準測量を基盤とする標高体系が唯一の選択肢であり続けた。しかし、標高体系の維持・管理の費用対効果の観点から、2013 年にカナダが衛星測位で決定した標高を基盤とする標高体系(以下「衛星測位を基盤とする標高体系」という。)へと移行し

(Véronneau and Huang, 2016)、2024 年にはニュージーランドでも衛星測位を基盤とする標高体系が正式に採用された(Land Information New Zealand, 2024)。また、オーストラリアでは衛星測位を基盤とする標高体系が試験的に公表され(Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping, 2021)、アメリカでも衛星測位を基盤とする標高体系の導入検討が進みつつある(National Geodetic Survey, 2025)。ちなみに、衛星測位を基盤とする標高体系では、原理的には水準点を介さずに標高を得ることができるため、いち早く移行したカナダでは、国が水準点や水準路線を維持せず、ユーザが必要に応じて水準点を設置・維持することが求められている(Natural Resources Canada, 2020)。

水準測量を基盤とする標高体系が内包する課題と諸外国の先進事例を踏まえ、我が国においても、衛星測位を活用した新たな標高体系の可能性について議論がなされ(国土地理院, 2018)、導入のための技術検討やデータの整備を経て必要な環境が整ったことから、令和 7 年 4 月 1 日に水準測量を基盤とする標高体系から衛星測位を基盤とする標高体系へと移行することとした。

衛星測位を基盤とする標高体系への移行が可能となった主な技術的背景として、衛星測位の著しい発展と精密な重力ジオイド・モデルの構築が挙げられる。

特に 21 世紀に入り、GPS やみちびき等の GNSS (全球測位衛星システム) が広く普及した。我が国では、全国約 1,300 か所に設置された電子基準点と中央局からなる GEONET (GNSS 連続観測システム) が 1996 年に運用を開始し、2002 年には世界測地系へ移行するなど、衛星測位を利用するための環境整備が進められた。

効率的に位置を取得できる衛星測位により標高を求めることができれば、水準測量における時間と費用の問題を軽減できることが期待される。しかし、衛星測位で取得できるのは標高ではなく、地球の形状を近似した地球楕円体からの高さ、すなわち楕円体高である。標高を得るには、地球楕円体から、平均海面を仮想的に陸地へ延長した面であるジオイドまでの高さ、すなわちジオイド高を楕円体高から差し引く必要がある(図-2)。この標高・楕円体高・ジオイド高の関係から、衛星測位による標高の精度は、楕円体高とジオイド高の精度で決まることになる。

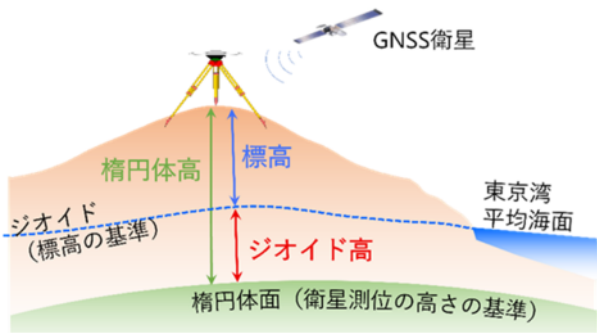


図-2 標高・楕円体高・ジオイド高の関係

令和7年3月以前に測量で用いられていたジオイド・モデル「日本のジオイド 2011 (ver.2.2)」(以下「GSIGEO2011」という。)は、重力データから求められた重力ジオイドと、衛星測位による楕円体高と水準測量による標高の差から求めた実測ジオイド高の二つを組み合わせた混合ジオイドとして構築されていた(児玉ほか, 2014; 小板橋ほか, 2018)。そのため、GSIGEO2011には、水準測量に起因する誤差が含まれており、このGSIGEO2011を用いて衛星測位を基盤とする標高体系を構築した場合、水準測量を基盤とする標高体系と同様に、標高成果には水準測量に起因する誤差が内在することになる。

2000年以降、航空機の位置情報を衛星測位技術と慣性航法装置(IMU)によって正確に取得できるようになり、諸外国で航空重力測量が実施されるようになった。航空重力測量は、航空機に重力計を搭載し、上空から重力を測定する測量であり、地上重力測量と比べて、広範囲を効率的に測量することができ、山岳部や沿岸域等の地上重力測量では測定が困難な場所でも測量することができる。2010年代に入ると、衛星測位を基盤とする標高体系への移行に向けて、ニュージーランド土地情報庁(LINZ)や米国国家海洋大気庁国家測地測量局(NOAA/NGS)では、航空重力測量で取得された重力データに基づく精密重力ジオイド・モデルの構築が進められた。こうした重力観測技術の進展の下、国土地理院では、従来の混合ジオイドではなく、水準測量による標高を用いない重力ジオイドのみから構築されるジオイド・モデルの作成を目指し、令和元年度から航空重力測量を実施してきた(栗原ほか, 2022)。

新たなジオイド・モデルは、航空重力測量による航空重力データや地上重力データのほか、最新の衛星重力データ、海上重力データを活用して構築し、名称を「ジオイド 2024 日本とその周辺」(以下「JP GEO2024」という。)(図-3)として令和7年4月1日から国土地理院のホームページで公開している(平岡ほか, 2026)。

このJP GEO2024を用いて、衛星測位を基盤とする標高体系を構築し、全国の基準点の標高成果の改定

(以下「本改定」という。)を実施した。

本稿では、我が国の衛星測位を基盤とする標高体系の詳細や移行による効果、電子基準点、三角点、水準点それぞれの標高成果の改定方法について報告する。本稿の構成は以下のとおりである。

第2章では、衛星測位を基盤とする標高体系の移行方針と移行の効果について解説する。第3章では、衛星測位を基盤とする標高体系における基盤となる電子基準点の標高改定、第4章では、三角点の標高改定、第5章では、水準点の標高改定について詳述する。第6章では衛星測位を基盤とする標高体系への移行と標高改定に伴い変更となった各種事項について概説し、第7章で今後の取組について簡潔にまとめる。

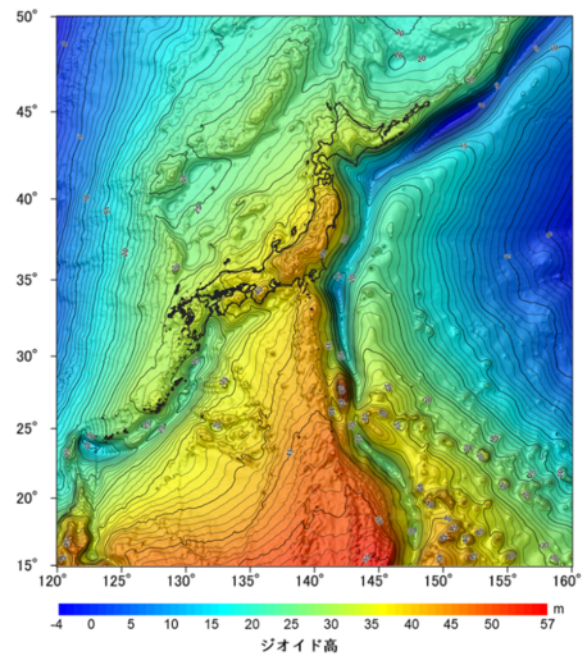


図-3 ジオイド 2024 日本とその周辺 (JP GEO2024)

2. 衛星測位を基盤とする標高体系への移行方針と移行の効果

2.1 衛星測位を基盤とする標高体系

従来の水準測量を基盤とする標高体系は、第1章で述べたとおり、日本水準原点からの水準測量により構築された水準路線の標高を基盤としていた(図-4)。一方、衛星測位を基盤とする新たな標高体系では、これまでどおり日本水準原点を起点とするが、全国の電子基準点の衛星測位で得られる楕円体高とJP GEO2024で得られるジオイド高から求められる標高を基盤とする。つまり、従来の水準点に替わり、電子基準点の楕円体高及びJP GEO2024から得られる電子基準点の標高成果が、標高体系の最上位に位置づけられることになる。水準点の標高成果は、近傍の電子基準点付属標からの水準測量によって求め

るものとする（図-5）。

今回の改定に当たり、原点数値改正の必要性についても検討した。国土地理院では、日本水準原点の標高を監視することを目的として、油壺験潮場（神奈川県三浦市）と日本水準原点との間で水準測量を毎年実施しており、令和6年度の水準測量で得られた日本水準原点の標高と原点数値の間に乖離は見られなかったことから、測量法施行令（昭和二十四年政令第三百二十二号）第二条第二項で定められる日本水準原点の数値の改正は実施しない。

衛星測位を基盤とする標高体系への移行に伴い、全国の基準点の標高成果の改定を実施することとした。本改定に伴い、基準点成果表における成果値の名称を「測地成果 2011」から「測地成果 2024」に変更する。



図-4 水準測量を基盤とする標高体系

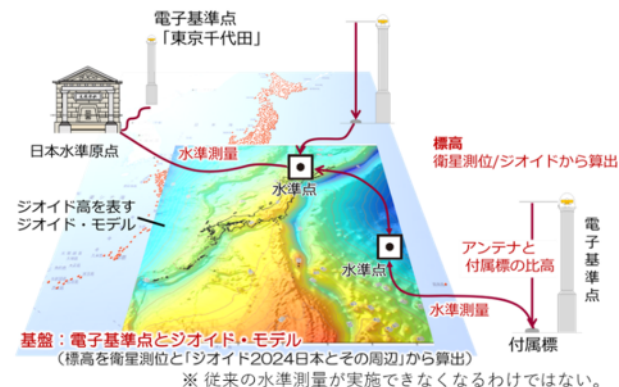


図-5 衛星測位を基盤とする標高体系

2.2 電子基準点付属標の位置づけ

電子基準点付属標は、従来、三角点に準じる電子基準点付属標としての標高成果と、二等又は三等水準点としての標高成果の2種類が存在した。二等又は三等水準点としての成果は、水準原点からの水準測量（GNSS 測量機による水準測量を含む）により求められた標高であり、一等水準点を上位とした値であった。電子基準点付属標は、この標高成果を持つことで水準測量の既知点として使用できるようになっていたが、既知点として使用できる水準測量の区分には、一等水準測量及び1級水準測量は含まれ

ていなかった。

しかし、衛星測位を基盤とする標高体系では、全ての電子基準点付属標の標高成果は、当該電子基準点本点から直接取り付けられたもの（詳細は3.4を参照）となり、この付属標を既知点とした水準測量によって全国の水準点の測量成果が求められることから、電子基準点付属標が水準点としては最上位に位置づけられるものとなる。そこで、電子基準点付属標におけるこれまでの二等又は三等水準点としての標高成果を廃止し、電子基準点付属標としての標高成果が全ての水準測量における既知点として使用できることを作業規程の準則に示した（国土地理院、2025a）。

2.3 離島の原点の維持と基準面補正量の導入

従来、離島では離島独自の平均海面からの高さを標高とし、測量法第11条第1項第3号の規定により日本水準原点とは異なる原点（以下「離島原点」という。）を定めていた。衛星測位を基盤とする標高体系では、衛星測位で得られる楕円体高とJPGEO2024を使用して、離島においても東京湾平均海面からの高さ（標高）を得ることが可能である。

しかし、一部離島では独自の平均海面と東京湾平均海面との差が大きいため、当該離島における標高の利用用途を考慮し、離島原点を維持し、引き続き離島独自の平均海面からの高さを標高とすることとした。そのために、東京湾平均海面と離島独自の平均海面の差「基準面補正量」（飯尾ほか、2026）を導入し、東京湾平均海面との差が大きい一部の離島において衛星測位によって標高を求める際には、JPGEO2024 から得られるジオイド高及び基準面補正量を楕円体高から差し引くことで、標高を得ることとする（図-6）。基準面補正量を適用し、離島の標高原点を維持する範囲（以下「T.P.範囲外」という。）は、南西諸島では吐噶喇（とから）列島以南、伊豆・小笠原諸島では八丈島以南とする（図-7）。

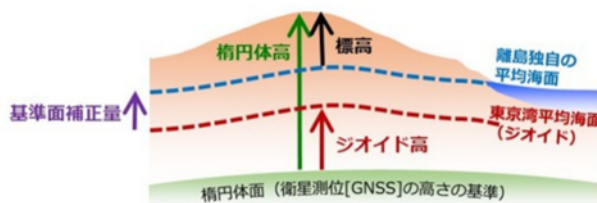


図-6 離島原点を定める離島における高さの関係

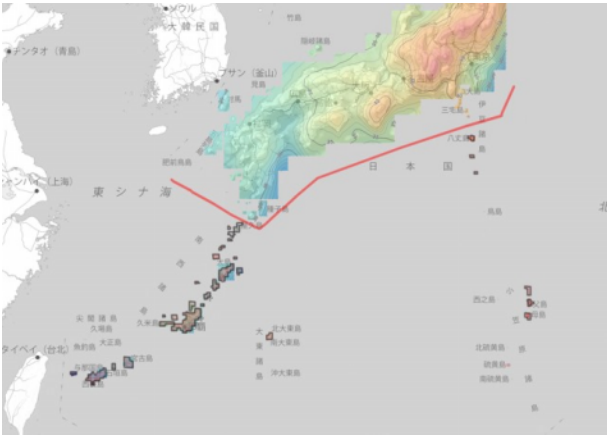


図-7 離島の標高原点を維持する範囲（赤線より南の地域）

一方、離島のうち、離島独自の平均海面と東京湾平均海面との較差が小さい離島については、基準面補正量を導入せず、東京湾平均海面からの高さを標高とする範囲（以下「T.P.範囲」という。）とし、標高の原点を日本水準原点に統一する。

2.4 標高体系の移行による効果

2.4.1 迅速な標高成果の提供

重力ジオイドは大規模地震に伴う地殻変動に対しても安定しており、例えば平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震に伴う陸上でのジオイドの変化量はたかだか 10 mm と見積もられている（小林ほか、2025）。したがって、JPGeo2024 は大規模地震発生後も地盤の変化に影響を受けることなく、衛星測位による標高の決定に使用可能である。

このため、JPGeo2024 を利用する衛星測位を基盤とする標高体系では、大規模地震後であっても、電子基準点を既知点とした GNSS 測量により、これまでより迅速かつ高精度に現況に合った標高が取得可能になる。令和 6 年能登半島地震では、水準測量の実施に数箇月を要したため、高精度（水準測量の既知点の座標として利用可能）な標高成果の提供は地震から約 6 か月後だった（岩下ほか、2024）が、今後は、電子基準点での衛星測位により高精度な標高成果の算出が可能となり、約 1 か月後に成果を提供できる見込みである。

これにより、大地震直後の復旧・復興工事において迅速に現況に合った標高成果を利用することができるようになり、作業の効率化等が期待され、より災害に強い社会の実現に貢献できる。

2.4.2 標高成果に累積した誤差の解消

日本は地殻変動が激しく、時間経過とともに現況と標高成果とのズレが大きくなる。標高体系の移行とともに全国の標高成果を改定することによって、長年の地殻変動（累積変動量）によるズレを解消す

ることができる。また、水準測量に起因して、日本水準原点から離れるに従って累積していた標高成果の誤差も解消することができる。

2.4.3 元期の明確化による標高の時間管理

第 1 章で述べたとおり、水準測量では全国の一等水準路線の測量を終えるのに 10 年以上の歳月を要するため、従来水準測量を基盤とする標高体系では標高成果の時点（元期）を定めることができなかった。一方、衛星測位を基盤とする標高体系では、常時観測している電子基準点における衛星測位と JPGeo2024 から、基盤とする電子基準点の標高を全国で統一した日付で計算することから、標高成果の元期を定めることができる。本改定ではその元期を令和 6 年 6 月 1 日と定めた（標高成果の元期の決定に関する詳細は 3.2 を参照）。

これにより、標高の時間整合性が全国一律に向上し、電子基準点を通じて、水平だけでなく、標高の時間管理が可能となる。

3. 電子基準点の標高成果の改定

3.1 成果改定方針

2.1 のとおり、衛星測位を基盤とする標高体系における標高成果（以下「新標高」という。）は、全国の電子基準点の衛星測位で得られる楕円体高と JPGeo2024 で得られるジオイド高から求められる電子基準点の新標高が基盤となる。そのため、電子基準点の新標高の算出の元になる元期楕円体高をできるだけ精密に、確からしい値で求める必要がある。そこで、電子基準点の標高成果を算出するに当たって、以下の 2 点を基本方針とした。

3.1.1 フィッティングの適用

測地成果 2000 を構築した際には、電子基準点の元期楕円体高を 6 日間のデータを用いて基線解析・平均計算することによって算出していた（測地観測センター、2004）。この方法に従うと、見かけ上の変動である解析結果の外れ値や、夏季の気象条件等を要因とした座標値のバラツキの増大（畑中ほか、1999）による影響を大きく受ける可能性があり、GNSS の特性上バラツキが大きい楕円体高の確からしい値を得る方法としては、適していないと考えた。そこで本改定では、見かけ上の変動の影響をできる限り低減することを目的として、地殻変動補正パラメータ作成における今期座標の推定方法（檜山ほか、2010）と同様に、GEONET の定常解析結果 1 年分（令和 5 年 6 月 1 日～令和 6 年 5 月 31 日）に対して線形トレンド、年周、半年周変動を考慮したフィッティングを実施し、統計的にもっともらしい値を求めることとした（図-8）。

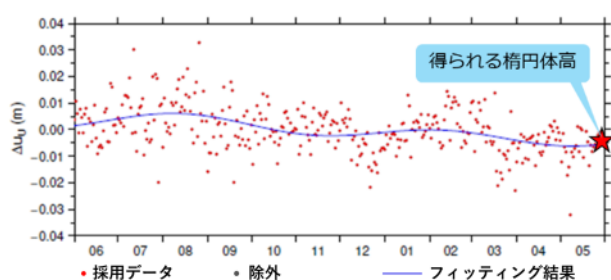


図-8 電子基準点「稚内」のフィッティング結果. 横軸は時間（月）、縦軸はフィッティング期間中における楕円体高の平均値からの偏差（単位は m）を表す。

3.1.2 新たなアンテナ位相特性モデルの採用

従来の成果計算に使用されてきた電子基準点のアンテナ位相特性モデルは、GNSS アンテナ機種の違いのみを補正するものであった。一方、中川ほか（2024）は、電子基準点付属標を既知点とする 1～3 級水準測量を実施した場合の既知点間の閉合差の許容範囲の観点から、従来のアンテナ位相特性モデルの品質が不十分であること、そしてより高精度な電子基準点の楕円体高を算出するためには、GNSS アンテナ機種と架台タイプの組合せを考慮した新たなアンテナ位相特性モデルを適用すべきであることを指摘した。

そこで、フィッティングに使用する GEONET の定常解析結果について、解析ストラテジは F5 解（村松ほか，2021）と同じとするものの、アンテナ位相特性モデルは新たなアンテナ位相特性モデルを適用した解析結果（以下「標高改定用 F5 解」という。）とした。

3.2 標高成果の元期の決定

2.4.3 で述べたとおり、本改定で標高成果の元期を令和 6 年 6 月 1 日と定めた。元期を決定する際には、以下の二つの条件を同時に満たすものとした。

- 1) 令和 7 年 4 月 1 日に測地成果 2024 を公表するに当たり、その作業期間を考慮した上で、累積した地殻変動による現況と標高成果のズレを可能な限り解消する。
- 2) 着雪や樹木がフィッティングに及ぼす影響の少ない時期とする。

3.2.1 成果改定の作業期間と現況のズレの解消による制約

電子基準点の新標高の算出に着手してから一連の基準点成果改定を完了するまでに要する期間を事前に評価したところ、少なくとも半年以上を要すると見込まれた。したがって、令和 7 年 4 月 1 日に測地

成果 2024 を公表することを前提とした場合、成果改定の作業期間を考慮した上で、累積した地殻変動による現況と標高成果のズレを可能な限り解消するためには、令和 6 年 9 月以前で、かつ公表する令和 7 年 4 月 1 日にできる限り近い時期に元期を設定すべきとの結論に至った。

3.2.2 着雪・樹木の影響が少ない時期の定量的評価

標高改定用 F5 解にフィッティングを適用することにより、見かけ上の変動である解析結果の外れ値や夏季のバラツキによる影響を軽減する効果があるものの、着雪や樹木の影響のように、解析結果に対して長期的かつ系統的に発生する見かけ上の変動に対しては、フィッティング結果がそれに引っ張られる可能性がある。このため、標高成果の元期を、着雪や樹木の影響を多く受けてしまう時期に定めることは極力避けることが望ましい。例えば、図-9 に示した電子基準点「東川」においては、緑破線で囲んだ 1 月前後に着雪の影響とみられる見かけ上の変動が生じ、試行的に実施したフィッティング曲線が着雪によるとみられる見かけ上の変動に引っ張られていることが分かる。

測量では、観測点間の相対的な位置関係（高さの場合は比高）の精度が求められる。このため、着雪や樹木による長期的かつ系統的な見かけ上の変動の少ない時期を判断するには、各電子基準点の F5 解そのものの楕円体高ではなく、隣接する電子基準点の間の基線の比高変化を用いるべきである。F5 解の楕円体高には図-10 に示した電子基準点「稚内」のように F5 解の楕円体高に見かけ上の年周変動が存在することがあるが、図-11 に示した「稚内」と隣接する電子基準点の間の基線の比高変化グラフでは、近傍の電子基準点間の楕円体高の比高は見かけ上の年周変動は相殺されている。隣接する電子基準点間の基線の比高の変化を調べることで、着雪や樹木による長期的かつ系統的な見かけ上の変動の有無を判別しやすくなる。

これを踏まえ、1 年のうち何月が最も着雪や樹木による長期的かつ系統的な見かけ上の変動が少ない時期かを定量的に評価するため、1 年平均により得られる楕円体高の比高と、フィッティングにより得られる楕円体高の比高を月ごとに比較した。両比高に差が生じる要因としては様々な要因が考えられるものの、少なくとも着雪や樹木による長期的かつ系統的な見かけ上の変動が生じると、その差が大きくなると考えられる。図-12 は、全国の電子基準点を頂点とした三角形を組んで構成した基線（約 3,700 基線）について、両比高の差が大きかった基線を構成する電子基準点の点数（重複は除く）を月ごとに示したものである。これによると、5～6 月、10～12 月

は、差が 10 mm を超える点数が減少しており、見かけ上の変動が発生する点数が少ない時期であることが分かる。

以上の二つの条件を満たす時期として、令和 6 年 6 月 1 日を標高成果の元期と定めた。

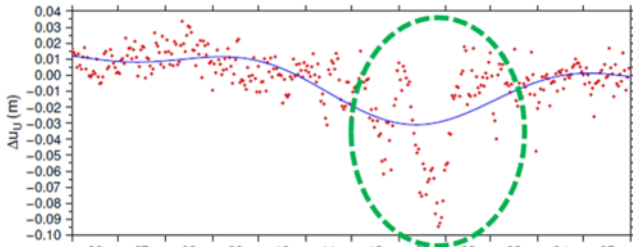


図-9 電子基準点「東川」のフィッティング結果. 緑破線は着雪による見かけ上の変動が発生している期間

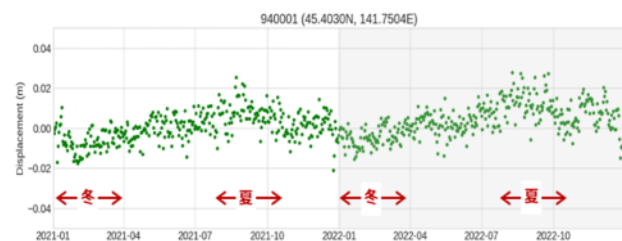


図-10 電子基準点「稚内」の F5 解の楕円体高変化グラフ

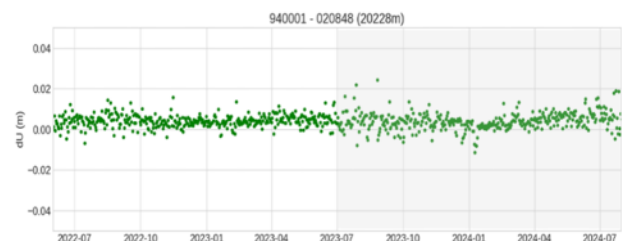


図-11 電子基準点「稚内」と隣接する電子基準点「稚内 3」の F5 解の楕円体高の比高変化グラフ

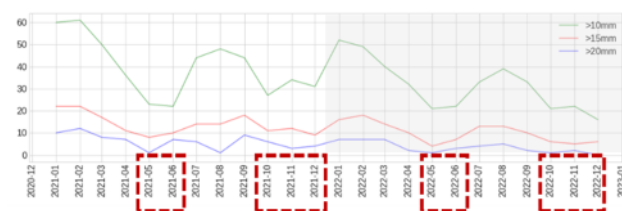


図-12 基線における 1 年平均の比高とフィッティングによる比高の差が大きい電子基準点数の推移を月毎に示したもの. 緑線は比高の差が 10 mm 以上, 赤線は 15 mm 以上, 青線は 20 mm 以上を表す。

3.3 電子基準点の新標高の計算

3.3.1 フィッティング計算

全電子基準点 1,318 点中 1,293 点について、令和 5 年 6 月 1 日から令和 6 年 5 月 31 日までの標高改定

用 F5 解の楕円体高にフィッティングを適用し、令和 6 年 6 月 1 日の楕円体高を推定した。その後、JPGEO2024 から得られるジオイド高 (T.P.範囲外はジオイド高及び基準面補正量) を差し引くことで電子基準点の新標高とした。

ただし、解析結果に見かけ上の変動や外れ値が存在し、フィッティングに影響を及ぼす場合があったため、これらの場合においては、以下の三つのデータ除外措置を実施した。

(1) 伐木前の解析結果の除外

フィッティングの対象期間中、GNSS 観測の障害となる樹木の伐採(伐木)が行われた電子基準点は、そのタイミングで解析結果に跳びが発生していることがある。そのような電子基準点は、図-13 のように伐木前までの解析結果を除外し、伐木後の結果で直線フィッティングした。対象となった電子基準点は 8 点だった。

(2) 着雪・樹木の影響が確認された期間の除外

フィッティングの対象期間中、原因が着雪や樹木に起因する見かけ上の変動であることが明確な場合、図-14 及び図-15 のように当該期間を除外してフィッティングした (除外期間が長期に及ぶものは直線フィッティングした)。変動の原因の特定に際しては、変動の傾向や時期、写真のほか、樹木に起因する場合は図-16 のように精密単独測位 (PPP) の標準偏差も考慮して判断した。PPP の標準偏差は、地理地殻活動研究センター宇宙測地研究室の特別研究「災害に強い位置情報の基盤 (国家座標) 構築のための宇宙測地技術の高度化に関する研究」においても、見かけ上の変動が存在する場合のフィッティング時の重みとして活用できることが示されている (小林ほか, 2022)。伐木の履歴や保守情報から、経験的に PPP の標準偏差が 40 mm 以上の期間を目安として時系列の目視点検を行い、フィッティング対象から除外する期間を決定した。点検の結果、一部期間が除外の対象となった電子基準点は着雪に起因するものが 20 点、樹木に起因するものが 21 点だった。特に変動が樹木に起因するものは、当該措置の実施前後で、推定される楕円体高が最大 32 mm 変化した。

(3) 外れ値の除外

推定されたフィッティング関数からの残差が、RMS の 3 倍を超える標高改定用 F5 解は外れ値として、図-17 のように当該結果を除外して、再度フィッティングした。外れ値の除外を実施した電子基準点は 1,196 点あり、措置実施前後での楕円体高の推定値の変化は最大 4 mm であった。

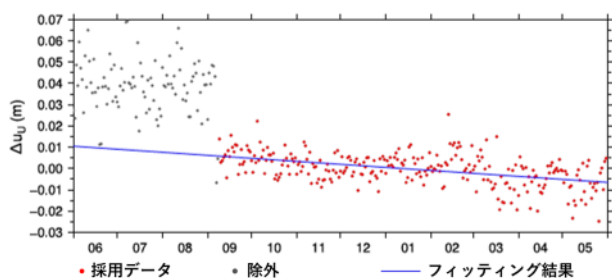


図-13 電子基準点「須佐」のフィッティング結果。2023年9月7日に伐木を実施、フィッティングでは伐木前の期間を除外

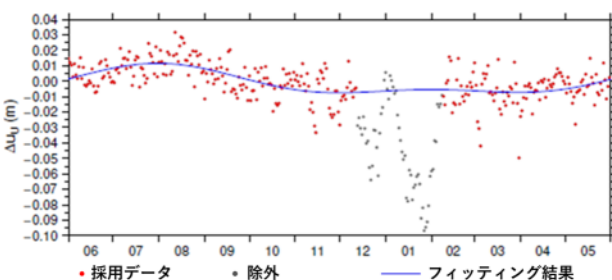


図-14 電子基準点「東川」のフィッティング結果。1月前後に着雪による影響が見られ、フィッティングでは当該期間を除外

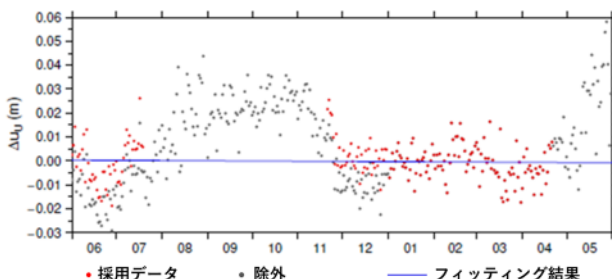


図-15 電子基準点「久喜」のフィッティング結果。夏期に樹木による影響が見られ、フィッティングでは当該期間を除外



図-16 電子基準点「久喜」のPPPの標準偏差の時系列。灰色の点は標準偏差が40 mm以上の測位解を示す

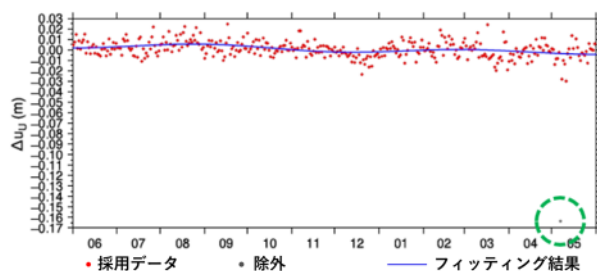


図-17 電子基準点「鰐ヶ沢」のフィッティング結果。緑破線で囲んだ2024年5月7日に外れ値が見られ、フィッティングでは当該結果を除外

3.3.2 従来の成果計算方法の準用

表-1 に示す電子基準点 25 点は、標高成果の元期以降に地震による成果改定があったなどの理由により、3.3.1 のフィッティング計算ができなかった。そのため、従来の電子基準点の成果計算方法（例えば檜山ほか，2017）に準じて、学術用精密基線解析ソフトウェア GAMIT/GLOBK を用いて、既に新しい標高成果を算出している周囲の電子基準点を固定して基線解析及び平均計算を行うことにより、当該点の新標高を計算した。使用した GNSS 観測データの期間は、より確からしい標高を計算するため、従来の3日間から1週間に変更した。

表-1 フィッティング計算以外の方法により新標高を計算した電子基準点

元期以降に成果改定が発生	川南，佐土原，宮崎田野，野尻，都城，北郷，新富，綾，都城2，宮崎，西都，P油津
元期以降に新設	庶路A，輪島2A，輪島3，富来A，能登島A
元期以降に伐木	串木野，京都西京
個別の要因で標高改定用 F5 解がない	伊野，中村2，室戸3，静岡畑薙A，日向A，沖ノ鳥島

3.4 電子基準点付属標の新標高の計算

電子基準点付属標の新標高は、電子基準点の新標高から、本点と付属標間の高低差を差し引くことで計算した。電子基準点本点の測量成果は、電子基準点の架台上面位置に対して算出しており、一般的な形状の電子基準点では付属標と約5mの高低差がある。この高低差の観測は、電子基準点現地調査作業要領に定められており、トータルステーション（以下「TS」という。）によって求める付属標からレドーム取付ネジまでの高低差と、鋼巻尺による取付ネジから架台上面までのレドーム内部の高低差を合わせて本点と付属標間の高低差としている。付属標の標

高算出には、令和 6 年度に観測して得られた高低差の値を用いた。

4. 三角点の標高成果の改定

4.1 成果改定方針

三角点の標高改定の方法としては、電子基準点の新標高を使用した基準点測量による改測、過去の GNSS 測量結果や TS 等の地上測量結果を使用した改算のほか、補正パラメータによる補正計算といった方法がある。本改定では、改定量には地震時のような局所的な短波長の変化が含まれないことが想定されることから、従来の標高成果（以下「旧標高」という。）を三角点標高補正パラメータから得られる補正量で補正する計算する方法（以下「三角点標高補正パラメータによる改算」という。）で、三角点に求められる精度で新標高を算出することが可能と考えられる。本来は改測や地上測量結果を使用した再計算が理想であるが、全ての三角点で実施するのは時間と費用の観点から現実的ではない。このため、過去の三角点の標高改定（小門ほか，2014）と同様に作業効率の観点から、一部の三角点を除き補正パラメータによる補正計算により三角点の標高成果を改定することとした。

改定対象とする三角点は、令和 6 年 11 月 1 日時点で測量成果として登録されている三角点とし、その新標高は令和 7 年 4 月 1 日に公表することとした。一方、令和 6 年 11 月 1 日以降に改測等が実施され、測量成果が新たに登録される三角点については、順次改定作業を実施し、その新標高は令和 7 年 4 月 1 日以降に公表する。なお、測量成果として登録されているが、成果状態が処置保留、亡失等で成果公表停止となっている三角点については、当該点の現況確認ができ次第、成果公表となるため、改定対象とした。ただし、成果公表停止している点のうち、地震等による成果異常で停止している点は、成果異常発生後の観測データが存在せず、標高補正パラメータによる補正を行っても適切な標高が得られないことから、改定対象外とした。表-2 に令和 7 年 4 月 1 日までに改定した三角点の数を示す。

表-2 令和 7 年 4 月 1 日までに改定した三角点の数。括弧内は成果公表停止中の内数。「その他」には、地殻変動観測点、二等多角点、図根点、VLBI 点、GNSS 固定点が含まれる（本稿ではこれらを含めて「三角点」と表記）

	改定方法		
	パラメータ改算	改測・改算	改定量ゼロ
一等三角点	927 点 (7 点)	10 点	13 点
二等三角点	4,912 点 (85 点)	5 点	2 点
三等三角点	31,243 点 (693 点)	4 点	18 点
四等三角点	70,746 点 (1,526 点)	20 点 (1 点)	—
その他	59 点 (1 点)	6 点	—
小計	107,887 点 (2,312 点)	45 点 (1 点)	33 点
合計	107,965 点 (2,313 点)		

4.2 三角点標高補正パラメータの作成

三角点標高補正パラメータは、三角点の旧標高を新標高に改定するための補正量が得られるグリッドデータであり、楕円体高の変化量のグリッドデータ（以下「楕円体高変換グリッドデータ」という。）からジオイド高の変化量のグリッドデータ（以下「ジオイド高変換グリッドデータ」という。）を差し引くことで作成した。

楕円体高変換グリッドデータを作成するために、まず計算時点までに元期の楕円体高を算出できなかった点を除外した 1,313 点の電子基準点における楕円体高の変化量を計算した。次に、これらの変化量をクリギング補間し、約 1 km のグリッドデータを作成した（図-18）。一方、ジオイド高変換グリッドデータは、約 2 km グリッドの GSIGEO2011 及び JPGE02024 それぞれにバイリニア補間を適用して約 1 km グリッドにリサンプリングした後、両者の差を取って作成した（図-19）。この際、標高と楕円体高の換算に基準面補正量が必要な範囲、すなわち T.P. 範囲外においては、グリッドデータに基準面補正量を含めており、ジオイド高変換グリッドデータは【JPGE02024 におけるジオイド高-GSIGEO2011 におけるジオイド高+基準面補正量】となる。

三角点標高補正パラメータから得られる補正量（図-20）は、楕円体高の変化量がプラス方向に大きい東北地方ではプラスとなるが、全国的にマイナスとなった。また、その補正量が電子基準点における変化量（楕円体高の変化量からジオイド高の変化量

を差し引いた値)と整合しているかを確認するため、飛田(2002)と同様の方法により、パラメータから既知の値の再現性を検査する内部評価を実施したところ、較差の最大は9.8 mm, RMS は1.4 mm となった。パラメータの性質から、近距離に電子基準点が複数あり、それらの点における改定量に較差がある場合に、内部評価の較差が大きくなる。

三角点標高補正パラメータの適用範囲は、GSIGEO2011の適用範囲に、水準点が存在する南鳥島の範囲を追加し、局所的な変動が大きくパラメータの作成が困難だった硫黄島の範囲を除いたものとした。

なお、三角点標高補正パラメータは、公共基準点の成果改算の利用に供するため、令和7年4月1日から「測地成果 2024 移行のための三角点標高補正パラメータ」として国土地理院ホームページから公開している。

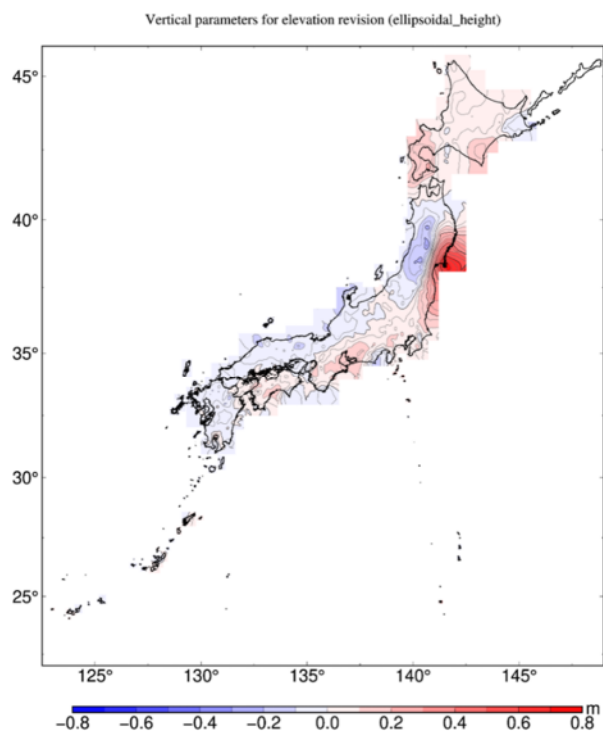


図-18 楕円体高変換グリッドデータのコンター図。コンター間隔は5 cm.

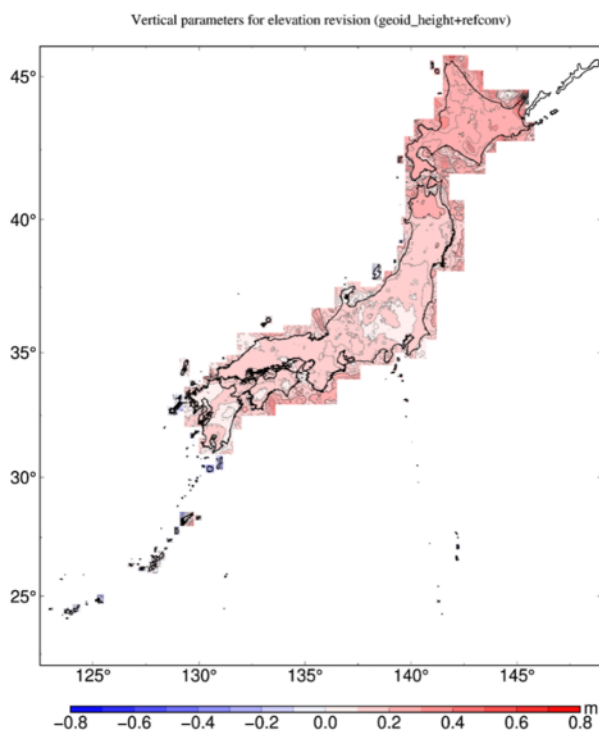


図-19 ジオイド高変換グリッドデータのコンター図。コンター間隔は5 cm.

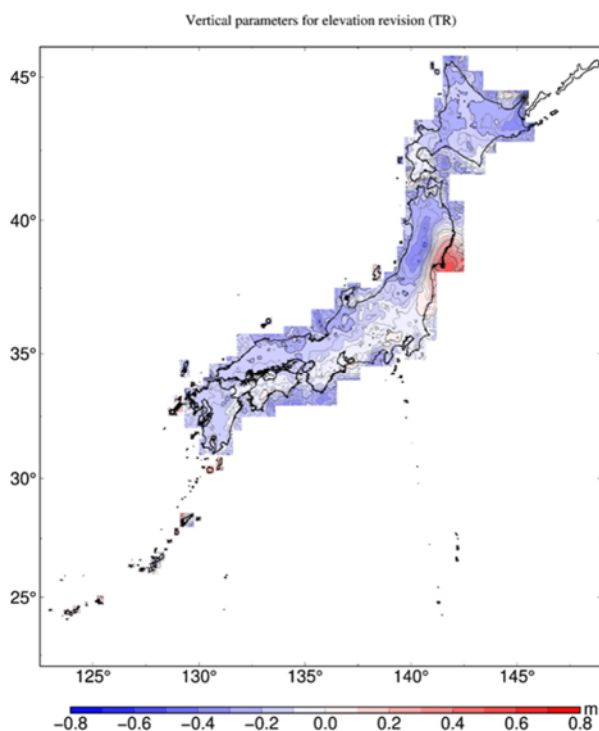


図-20 三角点標高補正パラメータのコンター図(三角点の改定量に相当)。コンター間隔は5 cm.

4.3 三角点の新標高の計算

4.3.1 三角点標高補正パラメータによる改算

三角点標高補正パラメータの適用範囲内の三角点は、観測年度が古い離島などの一部の三角点を除き、

三角点標高補正パラメータから得られる補正量を旧標高に対して加えることによって新標高を計算した。その結果、最大の改定量は、宮城県牡鹿半島周辺の四等三角点「足島」の+57 cm、北海道知床半島の三等三角点「赤岩」の-67 cm となった。また、三角点の改定量の平均は-13 cm となり、改定量の約 99.7% (3 σ 範囲) は-44 cm ~ +19 cm となった (図-21)。なお、一部の三角点 (地殻変動観測点 7 点, VLBI 点 1 点) に関しては、旧標高が水準点と同様の水準測量により求めた標高であったため、5.4.1 に示す方法により新標高を計算した。

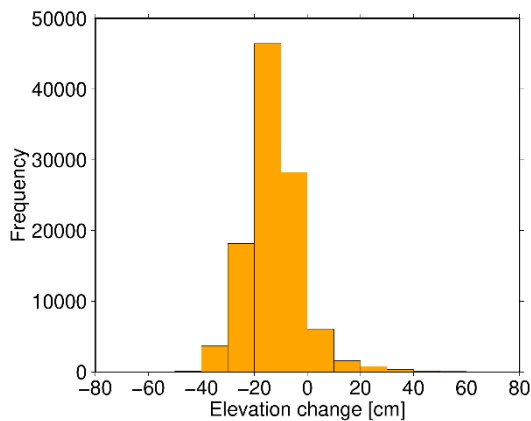


図-21 三角点標高補正パラメータによる改算を適用した三角点の改定量のヒストグラム

4.3.2 観測年度が古い離島の三角点

三角点標高補正パラメータの検証を目的として、令和 6 年度に三角点の観測年度が古い離島の三角点 7 点において GNSS 観測を実施し、その GNSS 観測データから得られた標高と三角点標高補正パラメータによる改算によって得られた標高を比較した。その結果 (表-3)、薩摩硫黄島、平島を除く 5 点で、両者の乖離が大きかったため、これらの離島内の三角点は三角点標高補正パラメータによる改算の対象から除外した。除外した三角点のうち、GNSS 観測を実施した三角点は GNSS 観測データを用いて新標高を計算し、GNSS 観測を実施していない三角点は同じ島内の三角点で GNSS 観測を実施して得られた改定量を旧標高に適用して、新標高を計算した。

また、口永良部島における乖離は-72.2 cm と非常に大きい、これは島内の三角点の旧標高と離島原点である電子基準点附属標の旧標高を算出した際の測量時期の違いによる標高不整合があり、電子基準点楕円体高とジオイドデータから作成された三角点標高補正パラメータの適用が不適切だったためである。そのため、口永良部島における三角点は、一時的に成果公表停止とし、令和 7 年度に GNSS 観測を実施後、新標高を計算する予定である。

表-3 観測年度が古い離島における GNSS 観測データから得られた標高と三角点標高補正パラメータによる改算によって得られた標高の較差

島名	三角点名	較差
見島	I △見嶋	17.0 cm
薩摩硫黄島	IV △矢筈嶽	1.3 cm
竹島	IV △東風泊	45.7 cm
口永良部島	IV △本村	-72.2 cm
平島	I △平島	5.0 cm
悪石島	I △悪石島	-20.0 cm
小宝島	IV △待合所	22.8 cm

4.3.3 三角点標高補正パラメータの適用範囲外の三角点

三角点標高補正パラメータの適用範囲外の三角点は、全て離島に位置している。表-4 に、その離島を示す。なお、沖ノ鳥島及び諏訪之瀬島は、三角点に標高成果が存在しないため、本改定による影響はない。

表-4 三角点標高補正パラメータの適用範囲外の離島

T.P.範囲	
従来の離島 原点あり	久六島、大野原島、銭洲、蘭灘波島、沖ノ島 (宗像市)、肥前鳥島、鮫島、デン島
従来の離島 原点なし	鳥帽子島、名島 (老岐市)、黒島 (西海市)、男女群島、宇治群島、草垣群島
T.P.範囲外	
ベヨネース列岩、須美寿島、鳥島、西之島、北硫黄島、南硫黄島、賀島列島、南鳥島、沖ノ鳥島、平瀬、臥蛇島、諏訪之瀬島、横当島、サンドン岩、硫黄鳥島、ナガンヌ島、中御神島	

T.P.範囲の離島について、従来の離島原点が存在する離島では、離島原点決定時の GNSS 測量で得られた楕円体高に楕円体高変換グリッドデータを適用し、新標高の元期 (令和 6 年 6 月 1 日) に相当する楕円体高を算出、ここから JPGeo2024 のジオイド高を差し引いて新標高を決定した。当該島内の他の三角点には離島原点の改定量をそのまま適用し、各三角点の新標高を算出した。

また、離島原点が存在しない離島においても、島内 (又は群島内) の三角点において過去に GNSS 測量を実施している三角点が存在する場合には、離島原点が存在する離島と同様にして島内の三角点の新

標高を計算した。男女群島は近傍の肥前島島の改定量をそのまま群島内の三角点に適用した。烏帽子島は近傍の三角点から TS 等による地上測量で取り付いていたため、その測量において既知点となっていた三角点 3 点の改定量の平均値を烏帽子島の改定量とした。

なお、T.P.範囲外の離島については、離島原点の標高が維持され、引き続き離島独自の平均海面からの高さを標高とするため、改定量ゼロとなる。ただし、ナガンヌ島は、三角点標高補正パラメータの適用範囲外だが、三角点の旧標高の計算時に GSIGEO2011 を拡張したものを用いており、これを用いることによって三角点標高補正パラメータに準じるパラメータが作成可能だったため、三角点の新標高はそのパラメータを用いて改算した。

4.3.4 改測・改算（富士山及び硫黄島）

富士山の三角点は、令和 6 年 7 月 25 日に電子基準点「富士山」の付属標からの水準測量を実施し、新標高を計算した（国土地理院，2024）。

硫黄島は、火山活動による地殻変動が激しく、離島原点の標高成果が現況と大きく乖離していることが明らかだったため、離島原点の新標高を次の方法で計算した。

- (1) 離島原点との相対的な位置関係が測量されている REGMOS「M 硫黄島 A」について、その令和 6 年 6 月 1 日の楕円体高を 2.3.1 に示すフィッティング計算により求める。
- (2) (1)の楕円体高を、離島原点との位置関係を踏まえて、離島原点における楕円体高に換算する。
- (3) 硫黄島における実測ジオイド高が従来から変化していないことを仮定し、GSIGEO2011 のジオイド高を(2)の楕円体高から差し引くことで新標高を計算する。

また、硫黄島内の三角点「硫黄島」の新標高は、当該三角点が電子基準点「硫黄島 1」との高低差が観測されていたため、電子基準点「硫黄島 1」の新標高を元に計算した。

4.3.5 改測・改算（GNSS 固定点）

GNSS 固定点は、電子基準点と同様に常時 GNSS を観測している観測点であり、その新標高は 3.3 に示す電子基準点の新標高の計算方法と同様にして、新標高を計算した。

5. 水準点の標高成果の改定

5.1 成果改定方針

2.1 のとおり、衛星測位を基盤とする標高体系は、全国の電子基準点の標高を基盤とし、水準点の標高成果は近傍の電子基準点付属標からの水準測量等に

より決定されることとなる。そのため、水準点の新標高を算出するに当たっては、日本水準原点を標高の絶対値（定義）とし、電子基準点付属標の新標高（測地成果 2024）に整合した水準点の新標高を算出する必要がある。

測地成果 2011 を維持・管理する上で、水準測量による水準点の成果改定においては隣接点との比高を基準としているため、隣接する水準点間の比高が、当時の標高成果から得られる比高と大きく変わっていない場合、当該水準測量の観測値が水準点の標高成果として反映されていない場合があった。例えば、図-22 は、とある水準路線の各点について、測地成果 2011 の標高と水準測量により得られた標高との差を示したものである。赤枠で囲んでいる水準点については、隣接点と比較して水準測量により確認された変動量が大きいので、測量成果を改定しているが、青枠で囲んでいる範囲では測量成果は改定しておらず、最新的水準測量データが測地成果 2011 に反映されていない。そのため、本改定では、網平均計算により改定前の標高成果に反映されていない最新の水準測量の観測値も反映し、可能な限り現況と整合する新標高を計算することを基本方針とする。

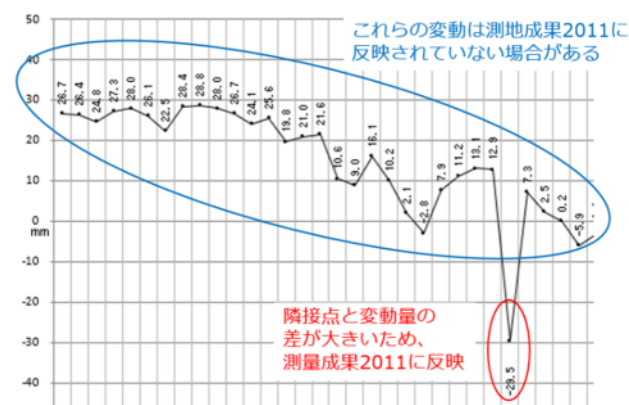


図-22 測地成果 2011 の標高と水準測量で得られた標高との差の例。縦軸は測地成果 2011 の標高と水準測量で得られた標高との差（単位は mm）、横軸は水準路線上の各水準点を表す。

適用する網平均計算の方法として、次の 2 つの方法について検討を実施した。

- (1) 電子基準点付属標の新標高（測地成果 2024）を固定し、最新の水準測量による観測値を用いた網平均計算を実施する方法（以下「2024 網平均計算」と呼ぶ。）
- (2) まず電子基準点付属標の旧標高を固定し、最新の水準測量による観測値を用いた網平均計算（以下「2011 網平均計算」という。）を実施し、その後電子基準点付属標の標高改定量を元に作成したグリッドデータ（以下「系変換グリッド

データ」という.) から得られる補正量で補正すること(以下「系変換による改算」という.) で、水準点の新標高を計算する方法(以下「2011 網平均計算+系変換による改算」という.) 本方法の計算手順を模式的に表したものを図-23 に示す。

2011網平均計算+系変換による改算

1. 電子基準点の標高(測地成果2011)を固定し、最新の水準測量で得られた比高を用いて網平均計算(2011網平均計算)



2. 電子基準点の標高改定量を元に作成したグリッドデータで補正(系変換による改算)

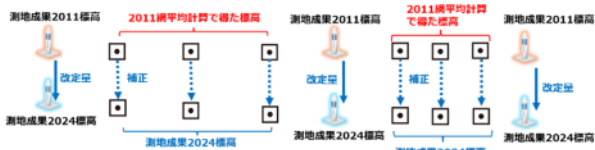


図-23 「2011 網平均計算+系変換による改算」の計算手順を模式的に示したもの。緑色の破線は水準点の測地成果 2011 の標高を得た際に使用した水準測量の比高, オレンジ色の破線は最新の水準測量で得た比高を表す。赤色の矢印は 2011 網平均計算での補正量, 青色の実線矢印は電子基準点の標高改定量, 青色の破線矢印は電子基準点の標高改定量を元に作成したグリッドデータから得られる各水準点の補正量を表す。

通常、水準測量の網平均計算は、水準路線に沿った距離に応じて補正量を分配する。しかしながら、本改定における改定量に占める主な要因の一つに、長波長の地殻変動の累積のような点間の直線距離に応じて変化していくものが考えられ、これに「2024 網平均計算」を適用すると電子基準点付属標の改定量を水準路線上の距離に応じて配分してしまうことになる。したがって、「2024 網平均計算」の適用が不適切となる場面が存在することが懸念された。一方、「2011 網平均計算+系変換による改算」の場合、改定量に空間的な相関のある地殻変動の影響を含んでいる場合には適切であると考えられ、「2024 網平均計算」の課題を解消できる可能性が見込まれた。

そこで、以上の定性的な思考実験に関する検証のため、地殻変動に起因する改定量の勾配が大きいことが想定される高知県室戸地区の水準路線において、「2011 網平均計算+系変換による改算」と「2024 網平均計算」の両計算方法を試行した。

検証に使用した水準路線は、電子基準点「高知田野」と電子基準点「室戸4」の両付属標を結ぶ水準路線(以下「直線路線」という.)と、電子基準点「高知田野」と電子基準点「室戸2」の両付属標を結ぶ

水準路線(以下「曲線路線」という.)とした(図-24)。直線路線では、路線の向きが変動勾配の向きとほぼ一致する一方、曲線路線では路線と変動勾配のなす角が位置とともに変化している(図-25)。

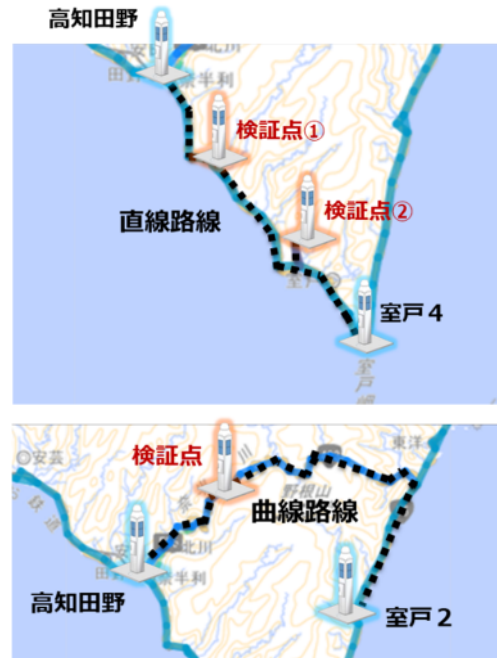


図-24 検証に使用した水準路線(上:直線路線,下:曲線路線)

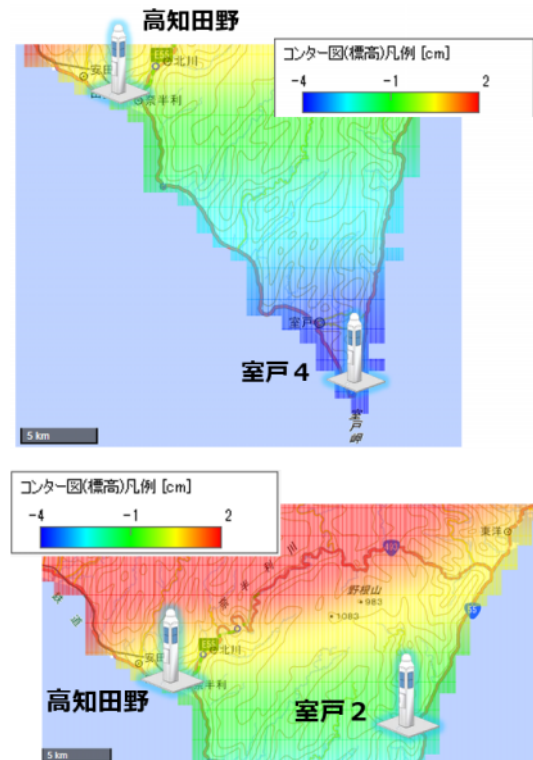


図-25 電子基準点データから推定した水準路線付近の標高成果の元期までの10年間の地殻変動量(上:直線路線,下:曲線路線)

検証は、両計算方法により水準路線内の電子基準点付属標（検証点とするために、網平均計算の固定点とせず、検証に使用した系変換グリッドデータの作成にも使用していない）の標高を計算し、得られた検証点（電子基準点付属標）の標高を 3.4 で計算した新標高と比較した。

その結果、直線路線においては、表-5 のとおり、どちらの計算方法でも得られた標高に大きな差はなく、新標高と mm レベルで一致した。一方、曲線路線においては、表-6 のとおり、計算方法による差が 36 mm と大きく、「2024 網平均計算」で得られた標高は新標高と 38 mm 乖離した。これは、「2024 網平均計算」では既知点の改定量を水準路線上の距離に応じて分散させたため、改定量に含まれる地殻変動量を適切に分散させることができなかったためと考えられる。また、「2011 網平均計算+系変換」では直線路線・曲線路線のいずれの場合でも新標高と mm レベルで一致することから、日本水準原点に比例して累積する標高成果の誤差も解消されていることが示唆される。

表-5 直線路線における検証結果

	新標高	2011 網平均計算+系変換による改算	2024 網平均計算
検証点①	6.690 m	6.696 m (+6 mm)	6.693 m (+3 mm)
検証点②	274.128 m	274.122 m (-6 mm)	274.121 m (-7 mm)

表-6 曲線路線における検証結果

	新標高	2011 網平均計算+系変換による改算	2024 網平均計算
検証点	105.237 m	105.235 m (-2 mm)	105.199 m (-38 mm)

以上の比較検証から、原則として、水準点の新標高の計算方法としては、「2011 網平均計算+系変換による改算」を適用することにした。ただし、例外的に「2011 網平均計算+系変換による改算」の適用が不適切と考えられる地域については、系変換による改算のみや、「2024 網平均計算」、旧標高を水準点標高補正パラメータから得られる補正量で補正（以下「水準点標高補正パラメータによる改算」という。）等により新標高を計算する。

改定対象とする水準点は、令和 7 年 1 月 10 日時点で測量成果として登録されている水準点とし、その新標高は令和 7 年 4 月 1 日に公表することとした。

一方、令和 7 年 1 月 10 日以降に改測等が実施され、測量成果が新たに登録される水準点については、順次改定作業を実施し、その新標高は令和 7 年 4 月 1 日以降に公表する。なお、測量成果として登録されているが、成果状態が処置保留、亡失等で成果公表停止となっている水準点については、当該点の現況確認ができ次第、成果公表となるため、改定対象とした。ただし、成果公表停止している点のうち、地震等による成果異常で停止している点は、成果異常発生後の水準測量データが存在せず、どの方法でも適切な標高が得られないことから改定対象外とした。表-7 に令和 7 年 4 月 1 日までに改定した水準点の数を示す。

表-7 令和 7 年 4 月 1 日までに改定した水準点の数（上：離島以外、下：離島）。括弧内は成果公表停止中の内数。

	改定方法			
	2011 網平均計算+系変換による改算	系変換による改算	2024 網平均計算	水準点標高補正パラメータによる改算
一等水準点	10,530 点 (137 点)	55 点	358 点	1,494 点 (375 点)
二等水準点	952 点 (13 点)	6 点	1 点	1,470 点 (86 点)
三等水準点	31 点 (1 点)	—	—	132 点 (7 点)
小計	11,513 点 (151 点)	61 点	359 点	3,096 点 (468 点)
合計	15,029 点 (619 点)			

	改定方法		
	(T.P.範囲)	(T.P.範囲外)	
	網平均計算等	網平均計算等	改定量ゼロ
一等水準点	39 点 (5 点)	340 点 (4 点)	28 点
二等水準点	260 点 (15 点)	72 点	90 点
三等水準点	—	—	—
小計	299 点 (20 点)	412 点 (4 点)	118 点
合計	829 点 (24 点)		

また、一等水準点の標高成果の桁数は、従来の 0.1 mm 位から 1 mm 位に変更した。これは、利用実

態調査の結果、標高成果として 0.1 mm 位が必要とされる分野が想定されず、また基盤となる電子基準点の標高が衛星測位と JPGeo2024 により 1 mm 位での計算となるためである。なお、1 級水準測量における標尺目盛の読定単位 (0.1 mm) や観測の許容範囲等に変更はない。

5.2 系変換グリッドデータの作成

系変換グリッドデータは、2011 網平均計算で得られた水準点の標高を新標高に補正するための補正量を得るグリッドデータであり、電子基準点付属標における改定量をクリギング補間することによって約 1 km 間隔のグリッドデータとして作成した(図-26)。作成に使用した電子基準点付属標は、日本水準原点を基準とした水準測量により標高成果が求められていた 816 点から、取り付いている水準路線の観測年が著しく古い点、局所的な変動が発生している点等合計 18 点を除外した 798 点とした。また、旧標高において、東北地方太平洋沖地震による地殻変動、余効変動を受けた東北地方の水準点の測量成果の改定の際に成果改定範囲を限定したため、北海道地方と東北地方の水準点の標高に不整合が生じている。このため、北海道地方とそれ以外で系変換グリッドデータを分けて作成した。したがって、津軽海峡にはギャップが生じており、この部分は系変換グリッドデータの適用範囲外となっている。

作成した系変換グリッドデータの内部評価を実施したところ、較差の最大は 5.8 mm、RMS は 1.0 mm であった。

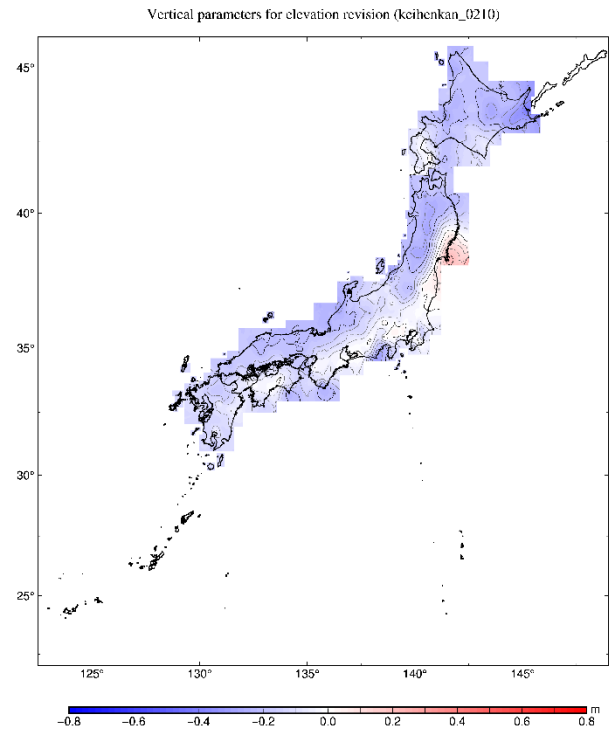


図-26 系変換グリッドデータのコンター図。コンター間隔は 5 cm.

5.3 水準点の新標高の計算

5.3.1 「2011 網平均計算+系変換による改算」

水準点は、5.3.2～5.3.5 に示す一部の水準点を除き、「2011 網平均計算+系変換による改算」で新標高を計算した。対象とした水準路線を図-27 に示す。

「2011 網平均計算」では、水準測量により標高が取り付いていた電子基準点付属標のうち、地震等の影響による成果異常となっていた電子基準点付属標及び水準点と水準路線がつながっていない、すなわち水準路線が他の電子基準点付属標とつながっており、「2011 網平均計算」に寄与しない電子基準点付属標を除く 765 点と日本水準原点を固定点とした(図-28)。



図-27 「2011 網平均計算+系変換による改算」の対象とした水準路線



図-29 「系変換による改算」の対象とした水準路線



図-28 「2011 網平均計算」の固定点

5.3.3 「2024 網平均計算」

局所的な変動等により系変換グリッドデータの作成から除外された電子基準点付属標が接続する水準路線内の水準点は、「2011 網平均計算+系変換による改算」では、その新標高が電子基準点付属標の新標高と整合しない。そのため、局所的な地盤沈下が発生している茨城県西部の水準路線と、桜島の火山活動により局所的な変動が生じている鹿児島県錦江湾東部の水準路線については、「2024 網平均計算」により水準点の新標高を計算した。また、青函トンネルの水準路線については、系変換グリッドデータを北海道と本州で区切って作成したために、系変換グリッドデータの適用範囲外となることから、同様にして「2024 網平均計算」により水準点の新標高を計算した。「2024 網平均計算」により新標高を計算した水準路線を図-30 に示す。

5.3.2 「系変換による改算」

平成 29 年度に標高成果が改定されている東北地方の一部水準点は、当時観測された水準測量の観測値を用いて、電子基準点の変動量を考慮した網平均計算により一部地域の旧標高が計算されており（大滝ほか, 2018）、それ以降に新たな水準測量を実施していない。したがって、この地域の水準路線は旧標高に対して、最新の水準測量データが反映済みであると考え、「2011 網平均計算」をせずに、系変換による改算だけを実施し、水準点の新標高を計算した。図-29 に系変換による改算だけを実施し、水準点の新標高を計算した水準路線を示す。

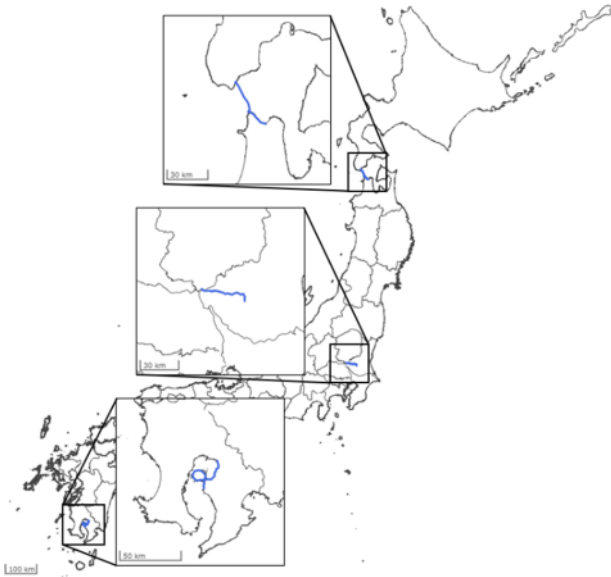


図-30 2024 網平均計算の対象とした水準路線

5.3.1 から 5.3.3 までの計算の結果、最大の改定量は、離島部を除き、宮城県牡鹿半島周辺の一等水準点「5647」の+23.1 cm、北海道別海町の一等水準点「7637」の-40.4 cm となった。また、水準点の改定量の平均は-12.4 cm となり、改定量の約 99.7% (3σ 範囲) は-36.7 cm~+11.9 cm となった (図-31)。

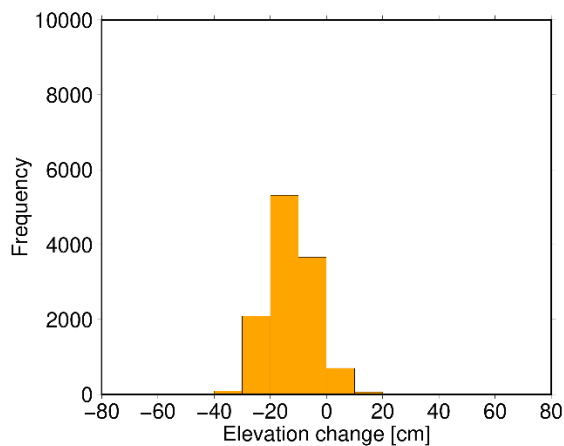


図-31 水準点の改定量のヒストグラム。5.3.1~5.3.3 により新標高が計算された水準点で作成。

5.3.4 水準点標高補正パラメータによる改算

2000 年度平均成果の構築以降の観測がない水準路線については、網平均計算をすることによって、観測年度が新しい別の水準路線の観測値へ悪影響を及ぼすことが懸念された。そのため、これらの水準路線内の水準点 (図-32) については、水準点標高補正パラメータによる改算により新標高を計算した。なお、水準点標高補正パラメータの作成方法は、5.4 で述べる。



図-32 水準点標高補正パラメータによる改算の対象とした水準点

5.3.5 改測・改算 (離島)

離島では、電子基準点の配点密度が疎であり、系変換グリッドデータが十分な精度で作成できないため、それぞれの離島を場合分けし、各場合に適した計算方法により水準点の新標高を計算した。表-8 は、その場合分けにより分類された離島を示す。

T.P.範囲外の離島での新標高計算に必要となる基準面補正量の計算方法の詳細については、飯尾ほか (2026) を参照されたい。

表-8 改測・改算対象の離島の場合分け

T.P.範囲の離島	
(1) 電子基準点が複数存在	奥尻島、伊豆大島、三宅島、佐渡島、対馬、福江島、種子島、屋久島
(2) 島内の水準路線が環路線	利尻島、粟島、隠岐島後
(3) 島内の水準路線が単路線	礼文島、飛島、隠岐島前西ノ島（中ノ島、知夫里島含む）、杓岐島、中通島、上甕島（中甕島含む）、下甕島
(4) 島内の水準点が1点	焼尻島、小呂島
T.P.範囲外の離島	
(5) 電子基準点が複数存在	奄美大島、喜界島、沖縄島、石垣島
(6) 島内の水準路線が環路線	＜環路線の観測年度が混在＞ 徳之島、与論島、伊是名島、宮古島、与那国島 ＜環路線の観測年度が同一＞ 八丈島、久米島、渡名喜島、北大東島、南大東島、多良間島、波照間島、伊江島
(7) 島内の水準路線が単路線	父島、宝島、沖永良部島、伊平屋島、栗国島、渡嘉敷島、小浜島、黒島、西表島
(8) 島内の水準点が1点	中之島、座間味島、津堅島、久高島、鳩間島
(9) 離島原点が変更	阿嘉島、伊良部島

(1) T.P.範囲の離島（電子基準点が複数存在する場合）

電子基準点付属標を固定とする 2024 網平均計算により水準点の新標高を計算した。

(2) T.P.範囲の離島（島内に電子基準点が1点存在し、島内の水準路線が環を形成している場合）

島内の水準路線の形状が環（以下「環路線」という。）を形成しており、それが観測年度の異なる水準路線で構成されていた場合、再度まとめて網平均計算をすることによって、従来とは異なる網平均計算の調整結果となることが見込まれる。一方、環路線であっても、それが同一年度の水準路線であれば、従来と同じ網平均計算の調整結果となるため、再度、

網平均計算をする必要はない。

T.P.範囲の環路線がある全ての離島は、環路線が同一年度の水準路線だったため、網平均計算をせず、島内に存在する電子基準点付属標の改定量を水準点の旧標高に適用することによって新標高を計算した。

(3) T.P.範囲の離島（島内に電子基準点が1点存在し、島内の水準路線が単路線となる場合）

島内に存在する電子基準点付属標の改定量を水準点の旧標高に適用することによって新標高を計算した。

(4) T.P.範囲の離島（島内の水準点が1点の場合）

焼尻島は、水準点における平成 16 年度の GNSS 観測データを用いて、4.3.3(1)に示す離島原点の新標高の計算方法と同様にして、水準点の新標高を計算した。小呂島は、水準点における令和 6 年度の GNSS 観測データを用いて新標高を計算した。

(5) T.P.範囲外の離島（電子基準点が複数存在する場合）

次の方法により水準点の新標高を計算した。

- ① 島内の電子基準点について、令和 6 年 6 月 1 日の楕円体高から JPGeo2024 のジオイド高を差し引くことで東京湾平均海面からの高さ（以下「T.P.標高」という。）を計算する。
- ② ①の電子基準点の T.P.標高から、本点と電子基準点付属標間の高低差を差し引くことで、電子基準点付属標の T.P.標高を計算する。
- ③ ②の電子基準点付属標の T.P.標高を固定として、過去の水準測量による観測値を用いた網平均計算により、離島原点を含む水準点の T.P.標高を計算する。
- ④ 離島原点における標高成果（本改定により値が変わらない）と③の T.P.標高の差分から基準面補正量を計算する。
- ⑤ ③の水準点の T.P.標高から④の基準面補正量を差し引くことで、水準点の新標高を計算する。

(6) T.P.範囲外の離島（島内に電子基準点が1点存在し、環路線の場合）

T.P.範囲外の環路線がある離島は、環路線が観測年度の異なる水準路線で構成されている離島と、環路線が同一年度の水準路線で構成されている離島が存在する。前者は、5.3.5(5)と同様に 2024 網平均計算により水準点の新標高を計算した。一方、後者は、離島原点の改定量が各水準点の改定量となるが、離島原点の標高成果は本改定により変わらないため、水準点の改定量はゼロとした。

(7) T.P.範囲外の離島（島内に電子基準点が1点存在し、島内の水準路線が単路線となる場合）

離島原点の改定量が各水準点の改定量となるが、離島原点の標高成果は本改定により変わらないため、水準点の改定量はゼロとした。

(8) T.P.範囲外の離島（島内の水準点が1点の場合）

島内の水準点が1点の離島は、その水準点が離島原点となっているが、離島原点の標高成果は本改定により変わらない。

(9) T.P.範囲外の離島（離島原点が変更される場合）

伊良部島と阿嘉島は、本改定に合わせて、離島原点をそれぞれ宮古島の離島原点、座間味島の離島原点に変更している（飯尾ほか、2026）。伊良部島は、5.3.5(5)の③と同様に計算した T.P.標高から宮古島の基準面補正量を差し引くことで水準点の新標高を計算した。阿嘉島は、島内の水準点は1点であり、その水準点における令和5年度の GNSS 観測データを用いて、4.3.3(1)に示す離島原点の新標高の計算方法に準じて水準点の楕円体高を計算し、その後、JPGeo2024 から得られるジオイド高と座間味島の基準面補正量を差し引くことで、水準点の新標高を計算した。

5.4 水準点標高補正パラメータの作成

水準点標高補正パラメータは、水準点の旧標高を新標高に改定するための補正量が得られるグリッドデータであり、離島の範囲を除き、次の方法で作成した。

- ① 電子基準点付属標及び 5.3.1～5.3.3 により新標高が得られた水準点について、その改定量と系変換グリッドデータから得られる補正量の差を計算し、その値をクリギング補間することによってグリッドデータを作成する。
- ② ①のグリッドデータと系変換グリッドデータを足し合わせる。

①の作成に使用した電子基準点付属標は、系変換グリッドデータの作成時に使用した 798 点と、系変換グリッドデータの作成時に除外した 18 点のうちの 15 点を加えた 813 点とした。加えた 15 点は、系変換グリッドデータの作成の入力データに含めると周囲の系変換補正量が不適当となることが想定されたが、①の作成には多数の水準点も使われることから電子基準点付属標の寄与が限定的になると考えられ、また隣接する水準点との整合を確保するためには使用することが適切と判断した。また、①の作成に使用した水準点は、隣接水準点との距離が 500 m 以下となる点、過去の測量時に成果改定されるべきだったがされていなかった点、青函トンネルに位置

する点等を除外した 10,885 点とした。

水準点の新標高を計算する際に網平均計算をした離島の範囲では、電子基準点付属標及び水準点の改定量をクリギング補間することによってグリッドデータを作成し、島内の水準点の改定量を一定値又はゼロとした離島の範囲では、グリッドデータも一定値又はゼロとして作成した。

水準点標高補正パラメータから得られる補正量（図-33）は、傾向としては三角点標高補正パラメータと同じだが、両者の補正量には差異が存在する。これは、三角点と水準点の旧成果には、両者の測量方法の違いによる差異があったためであり、東北地方に関しては、これに加えて、平成 28、29 年度に水準点のみ標高成果を改定したため、補正量の差異は他の地域と比較して大きくなっている。また、水準点標高補正パラメータの内部評価を実施したところ、較差の最大は 51.0 mm、RMS は 1.6 mm となった。水準点では、局所の変動（地盤沈下等）を捉えている場合があり、極端に周辺の点と改定量の差がある場合は、1 km グリッドのパラメータでは改定量を表現できないため較差が大きくなると考えられる。

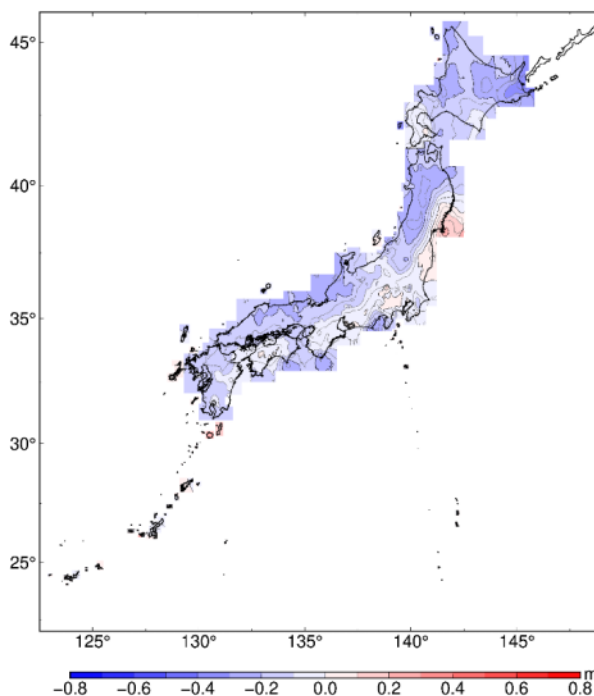


図-33 水準点標高補正パラメータのコンター図（水準点の改定量に相当）。コンター間隔は 5 cm。

水準点標高補正パラメータの適用範囲は、4.2 に示す三角点標高補正パラメータの適用範囲から一部地域が除外された範囲となっている。具体的には、令和 6 年 8 月 8 日の日向灘の地震により水準点が成果公表停止となった地域、令和 6 年能登半島地震の影

響及び地盤沈下の影響を受けた地域（図-34）が適用範囲から除外されている。

なお、水準点標高補正パラメータは、水準点標高成果を使用して作成される基本測量における数値標高モデル等の改定にも使用されるとともに、公共水準点の成果改算の利用に供するため、令和7年4月1日から「測地成果2024 移行のための水準点標高補正パラメータ」として国土地理院ホームページから公開している。

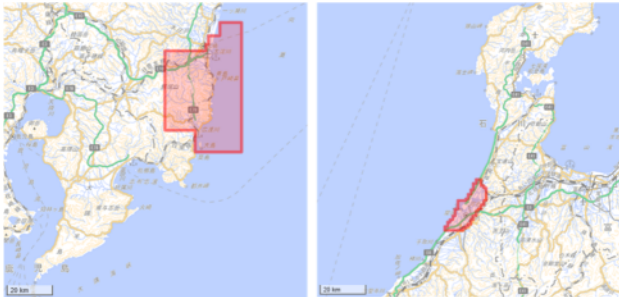


図-34 水準点標高補正パラメータの適用範囲から除外された範囲

6 標高成果の改定に伴う変更

6.1 測量成果及び測地系の名称変更

2.1 で触れたように、本改定に伴い、基準点成果表における成果値の名称を「測地成果 2011」から「測地成果 2024」に変更した。測地成果 2024 は、測地成果 2011 から標高成果を改定したものであり、水平位置（緯度及び経度、平面直角座標）は変更していない。また、測地系の名称を「日本測地系 2011（JGD2011）」から「日本測地系 2024（JGD2024）」に変更した。測地系は、本改定による変更がない緯度及び経度に関係付けられるものであり、「日本測地系 2024（JGD2024）」への名称変更は、その定義を変更するものではなく、「測地成果 2024」との名称を統一させるための変更となる。

6.2 楕円体高定義の変更

GNSS を用いた基準点測量等では、その計算過程において、標高にジオイド高を加えて楕円体高を算出する。また、電子基準点の基準点成果表において標高成果に加えて楕円体高の記載がある。これらの楕円体高は、従来は「日本測地系 2011（JGD2011）」に紐付けられた値、つまり緯度及び経度と同じ ITRF 座標系、楕円体、時点に準拠する値となっていたが、本改定後は電子基準点の標高成果の計算に用いた楕円体高（詳細は第3章を参照）に準拠する値となった。この楕円体高は、従来とは準拠する ITRF 座標系及び時点が異なり、ITRF 座標系が ITRF2014、時点が標高成果の元期と同じ令和6年6月1日となる。また、従来の楕円体高との換算は、GSIGEO2011、三

角点標高補正パラメータ、JPGE02024 により可能である（図-35）。



図-35 標高改定前後の楕円体高の換算

6.3 電子基準点のアンテナ位相特性モデルの変更

公共測量において、スタティック法及び短縮スタティック法による基線解析では、原則として PCV 補正を行うものとされており、補正にはアンテナ位相特性モデルを用いる（国土地理院，2025a）。従来、公共測量で使用されてきた電子基準点のアンテナ位相特性モデルは、GNSS アンテナ機種の違いのみを補正するよう値が設定されていたが、電子基準点は設置された年度によって架台形状が異なっており、3.1.2 に示す標高改定用 F5 解の解析で用いた新たなアンテナ位相特性モデルと整合したものを用いることによって高精度な基線解析が可能となる。そこで、本改定に合わせて、電子基準点の架台の影響を公共測量において補正できるよう、GNSS アンテナ機種と架台の組合せごとに値が設定されたアンテナ位相特性モデルを公開するとともに、電子基準点の RINEX データのヘッダーに記載されている架台の情報を従来の「GSI」から架台ごとの「GSI○」（○は英数字）等に変更した。これにより、電子基準点の測地成果 2024 の標高成果を使用した公共測量等において、適切に標高を測ることが可能となる。

6.4 GNSS 標高測量の導入

本改定に合わせて公共測量に導入された「GNSS 標高測量」は、電子基準点及び JPGE02024 を用いて、水準点の標高を定める水準測量の一種となる（植田ほか，2026）。GNSS 標高測量の作業方法については、3 級水準測量が作業規程の準則（国土地理院，2025a）で、4 級水準測量及び簡易水準測量が「GNSS 標高測量による 4 級水準測量及び簡易水準測量マニュアル」（国土地理院，2025b）で示されている。GNSS 標高測量では、令和7年3月以前の作業規程の準則で定められていた GNSS 測量機による水準測量にあった制限を一部緩和する内容となり、またセミ・ダイナミック補正を適用し、地殻変動の影響を受けない標高の決定が可能になる。

この GNSS 標高測量の導入により、レベル等による水準測量と合わせて、利用者は目的に応じた測量方法を選択することができるようになり、測量や公

共工事等の効率化や生産性向上が期待される。

なお、標高成果の元期を令和6年6月1日と定めたのに伴い、セミ・ダイナミック補正に使用する地殻変動補正パラメータについて、令和7年度に限り、元期から累積する地殻変動量が小さいことから高さ方向の補正量をゼロとした。令和8年度に使用する地殻変動補正パラメータからは、高さ方向の補正量が導入される予定である。

7. おわりに

国土地理院では、令和7年4月1日に、全国の標高体系を、衛星測位を基盤とする体系へと移行し、国土地理院が管理する全国の基準点の標高成果を、衛星測位を基盤とする値に改定するとともに、測量法第二十七条に基づき官報で公告した。これにより、最新の標高を用いて高さ情報の管理が可能になるとともに、測量や公共工事等における衛星測位の活用

が拡大し、作業の効率化・生産性向上等が期待されるところである。

国土地理院では、引き続き、基準点の適切な維持・管理、測量成果の提供等に努めるとともに、地震後の迅速な標高成果の提供や標高成果の元期の明確化による標高の時間管理等の本改定による効果を社会で最大限活用し、いつでもどこでも信頼できる標高の取得が可能な社会の実現、「4次元国家座標（測量成果の時間管理）」の実現に向けて、各種取組を進めていく。特に標高成果の元期が明確化されたことで、水平だけでなく標高を含めた3次元の地殻変動補正が重要となっていることから、電子基準点でとらえきれない上下方向の局所的な変動を補正するため、SARのデータ同化による地殻変動補正パラメータの空間分解能向上（山田ほか、2025）の検討を進めていく。

（公開日：令和8年3月16日）

参 考 文 献

- 畑中雄樹，宮崎真一，中川弘之（1999）：GPS 気象学による水蒸気情報と GPS の精度向上，国土地理院時報，92，52–56。
- 平岡喜文，菅原安宏，小柳拓真，小川拓真，松尾功二，古屋智秋（2026）：新しいジオイド・モデル「ジオイド 2024 日本とその周辺」の構築，国土地理院時報，140，29–46。doi: 10.57499/JOURNAL_140_03
- 檜山洋平，川元智司，甲斐玲子，山口和典，高松直史，佐藤明日花，宮原伐折羅，三浦優司，山下達也，矢来博司，森下遊（2017）：GEONET 及び SAR 干渉解析による鳥取県中部の地震に伴う地殻変動，国土地理院時報，129，33–41。doi: 10.57499/JOURNAL_129_4
- 檜山洋平，森下遊，山尾裕美，湯通堂亨，越智久巳一，岩田昭雄（2010）：セミ・ダイナミック補正の導入について，国土地理院時報，120，55–61。doi: 10.57499/JOURNAL_120_07
- 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，122，55–78。doi: 10.57499/JOURNAL_122_06
- 飯尾研人，井上武久，古屋智秋，田上節雄，松原柚季，岩下知真子，吉川忠男，多田直洋，高築晶，山田直輝，瀬川秀樹，山下達也（2026）：新たな標高体系における基準面補正量の導入，国土地理院時報，140，23–28。doi: 10.57499/JOURNAL_140_02
- Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping（2021）：Australian Vertical Working Surface (AVWS) Technical Implementation Plan Version 1.6, 24 pp.
- 岩下知真子，多田直洋，高築晶，山田直輝，中久喜智一，井上武久，田上節雄，高木悠，植田勲，若杉貴浩，森克浩，宗包晃子，高松直史，齋田宏明，宮崎隆幸（2024）：令和 6 年能登半島地震に伴う基準点測量成果の改定，国土地理院時報，138，63–74。doi: 10.57499/JOURNAL_138_10
- 小林知勝，中川弘之，古屋智秋，森下遊，松尾功二（2022）：災害に強い位置情報の基盤（国家座標）構築のための宇宙測地技術の高度化に関する研究（第 2 年次），令和 3 年度調査研究年報，168–174。
- 小林知勝，中川弘之，松尾功二，服部晃久（2025）：災害に強い位置情報の基盤（国家座標）構築のための宇宙測地技術の高度化に関する研究（第 5 年次），令和 6 年度調査研究年報，156–163。
- 兒玉篤郎，宮原伐折羅，河和宏，根本悟，黒石裕樹（2014）：ジオイド・モデル「日本のジオイド 2011」（Ver.1）の構築，国土地理院時報，126，67–85。doi: 10.57499/JOURNAL_126_11
- 小板橋勝，小島秀基，根本悟，宮原伐折羅，平岡喜文，矢萩智裕（2018）：ジオイド・モデル「日本のジオイド 2011」（Ver.2）の構築，国土地理院時報，130，1–7。doi: 10.57499/JOURNAL_130_01

- 小門研亮, 佐藤雄大, 松村泰敬, 影山勇雄, 山際敦史(2014): 三角点の標高成果改定—水準点と一層整合した標高成果の公表—, 国土地理院時報, 125, 105–114. doi: 10.57499/JOURNAL_125_15
- 国土地理院 (2003): 国土地理院の測量事業・技術の変遷 第1編「測地測量と地殻変動研究」, 国土地理院時報, 100, 1–34.
- 国土地理院 (2018): 位置の基準(測地基準座標系)のあり方について—準天頂衛星システムが実現する高精度測位社会を支える—, 測量行政懇談会測位基盤検討部会報告書.
- 国土地理院 (2024): 報道発表「衛星測位を基盤とする三角点「富士山」の新しい標高—基準点の標高成果の改定に向けた取組—」, <https://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/keikaku61003.html> (accessed 28 Aug. 2025).
- 国土地理院 (2025a): 作業規程の準則について, <https://www.gsi.go.jp/gijyutukanri/gijyutukanri41018.html> (accessed 28 Aug. 2025).
- 国土地理院 (2025b): G N S S 標高測量による4級水準測量及び簡易水準測量マニュアル, <https://www.gsi.go.jp/gijyutukanri/gijyutukanri41032.html> (accessed 28 Aug. 2025).
- 国見利夫, 高野良仁, 鈴木実, 斎藤正, 成田次範, 岡村盛司 (2001): 水準測量データから求めた日本列島100年間の地殻上下変動, 国土地理院時報, 96, 23–37.
- 栗原忍, 大森秀一, 兒玉篤郎, 畔柳将人, 半田優実, 吉樂絵里香, 飯尾研人, 中島正寛, 飯塚康裕, 松尾功二, 富山顕 (2022): 精密重力ジオイド・モデル構築に向けた航空重力測量(中間報告)—信頼性の高い標高を誰もが利用できる社会を目指して—, 国土地理院時報, 135, 1–31. doi: 10.57499/JOURNAL_135_01
- Land Information New Zealand (2024): Obtaining New Zealand Vertical Datum 2016 (NZVD2016) Heights, <https://www.linz.govt.nz/guidance/geodetic-system/coordinate-systems-used-new-zealand/vertical-datums/new-zealand-vertical-datum-2016-nzvd2016/obtaining-new-zealand-vertical-datum-2016-nzvd2016-heights> (accessed 2 Oct. 2025).
- 村松弘規, 高松直史, 阿部聡, 古屋智秋, 加藤知瑛, 大野圭太郎, 畑中雄樹, 攪上泰亮, 大橋和幸 (2021): 新しいGEONET解析ストラテジによる電子基準点日々の座標値(F5解・R5解)の公開, 国土地理院時報, 134, 19–32. doi: 10.57499/JOURNAL_134_03
- 中川弘之, 小林知勝, 宮崎隆幸, 橋本繭未, 村上真亮, 高松直史, 古屋智秋, 阿部聡 (2024): 全国の標高成果の改定に向けた新しいアンテナ位相特性モデルの構築, 国土地理院時報, 137, 25–33. doi: 10.57499/JOURNAL_137_05
- Natural Resources Canada (2020): Height Reference System Modernization, [https://natural-resources.canada.ca/sites/nrcan/files/files/pdf/Height_reference_system_modernization_\(EN\).pdf](https://natural-resources.canada.ca/sites/nrcan/files/files/pdf/Height_reference_system_modernization_(EN).pdf) (accessed 2 Oct. 2025).
- 大滝修, 加古考範, 井上武久, 兒玉篤郎, 湯通堂亨, 三浦優司, 古屋智秋, 佐藤明日花 (2018): 東北地方日本海側を中心とした水準点の測量成果の改定, 国土地理院時報, 130, 69–73. doi: 10.57499/JOURNAL_130_06
- National Geodetic Survey (2025): NSRS Modernization Timeline, <https://www.ngs.noaa.gov/datums/newdatums/release.shtml> (accessed 2 Oct. 2025).
- 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.
- 飛田幹男 (2002): 世界測地系移行のための座標変換ソフトウェア“TKY2JGD”, 国土地理院時報, 97, 31–52.
- 植田勲, 橋本栄治, 松村泰敬, 稲澤保行, 根本正美, 永田勝裕 (2026): 作業規程の準則の一部改正(GNSS標高測量の導入), 国土地理院時報, 140, 99–105. doi: 10.57499/JOURNAL_140_06
- Véronneau, M. and Huang J. (2016): The Canadian Geodetic Vertical Datum of 2013 (CGVD2013). *Geomatica*, 70, 9–19. doi: 10.5623/cig2016-101
- 山田直輝, 岩下知真子, 多田直洋, 高築晶, 高木悠, 市村美沙, 石本正芳, 小林知勝 (2025): 地殻変動補正パラメータの高度化の調査・検討(第6年次), 令和6年度調査研究年報, 10–18.