

位置の基準（測地基準座標系）のあり方について

測位基盤検討部会報告書

—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—

平成 30 年 3 月

測量行政懇談会

測位基盤検討部会

目次

1 はじめに.....	1
2 測地基準座標系のあり方.....	4
2.1 衛星測位と位置の基準の現状.....	4
2.2 衛星測位を地図（地理空間情報）に整合させる仕組みの整備.....	5
2.3 地殻変動を補正し位置を求める仕組み.....	6
2.4 GNSS 観測網の高度化、追加で観測点を取り入れる仕組みの検討.....	7
3 標高体系のあり方.....	9
3.1 これまでの標高体系の維持管理及びその課題.....	9
3.2 衛星測位による効率的な標高の取得.....	9
3.3 衛星測位を活用した新たな標高体系.....	11
4 実現されうる社会.....	13
5 今後に向けて.....	16
5.1 高精度な GNSS 測位に向けた民間等の観測点活用の検討.....	16
5.2 航空重力測定の実現に向けて.....	16

測量行政懇談会 測位基盤検討部会 委員名簿

測量行政懇談会 測位基盤検討部会 開催状況

参考資料 1 簡単にできるセミ・ダイナミック補正

参考資料 2 衛星測位による標高測定

1 はじめに

位置の基準（測地基準座標系）の必要性

我が国における全ての測量は、電子基準点をはじめとした基準点の位置を基盤としている。これらの基準点の位置は、ある時点における基準点の緯度・経度・標高を、地球の重心を原点とする測地基準座標系で表現したものである。これらの位置は測量成果として公開され、測量や地図の位置の基準として用いられている。さらに、全ての地理空間情報は、測量成果に基づいた位置で記述されることで互いに整合した統一的な利用が可能で、効率的な位置の管理が可能となっている。

衛星測位と我が国の位置の基盤

基準点の位置は、従来、トータルステーション等の地上の測定技術を用いた測量によって維持管理されてきたが、1980年代以降、GPSをはじめとしたGNSSが登場し、受信機やアンテナといった機器の小型化と低価格化が進んだことによって、従来の測量手法に代わって衛星測位を用いた測量が拡大してきた。現在、衛星測位の基準となる電子基準点が国土地理院によって全国に設置され、衛星測位を用いた測量において測量成果と整合した位置が管理できる基盤が維持されている。

衛星測位とその利活用の拡大

衛星測位の利活用は、近年、測量以外の分野においても拡大している。平成29年度中に4機体制が整備される我が国の準天頂衛星システムをはじめとして、複数のGNSSを用いたマルチGNSSの拡大に伴って測位に利用できる衛星は年々増加している。また、GNSSを用いて高精度な測位を可能とする仕組みの整備が進んでおり、準天頂衛星システムでは、地上の電子基準点のデータを用いて様々な誤差要因を推定し、これらを補正情報として配信することで高精度な測位を実現するセンチメートル級測位補強サービス (Centimeter Level Augmentation Service: CLAS) が開始される。これらに伴って、いつでも、どこでも高精度に位置を測ることができる環境が整いつつあることから、近年、i-Constructionや自動走行、スマート農業など、測量以外の様々な分野で衛星測位の利活用が進んでおり、今後もさらに拡大が想定される。

測量における位置情報管理の現状

基準点の位置は地殻変動によって時間とともに移動し、地図に記載される道路や建

物は新設等により時間とともに変化していく。このように全ての地理空間情報は、3次元の位置ではなく時間の経過に伴って変化する4次元の量として存在している。したがって、変化する位置の座標値は、本来、変化に応じて十分な頻度で更新することが望ましい。特に日本のように、プレート運動等によって大きな地殻変動が生じている場所では、時間に伴う位置の変化が大きいため、頻繁に更新を行わないと現実の位置とずれが生じてしまう。ここで、日々変化を続ける現実の位置に合わせて、基準点や地図の位置を頻繁に更新して現実の位置と合わせる4次元のダイナミックな測地基準座標系というものが考えられる。この座標系では、基準点や地図の位置が実際の位置の変化を反映して時間とともに変化するため、スマートフォン等の衛星測位で求めた今現在の位置を補正することなくそのまま用いることができるという利点がある。しかし、現時点では、位置情報を持った膨大な地理空間情報を全て頻繁に更新することや、時系列で細かく管理することは非常に困難である。そこで、測量では、位置を頻繁に更新するのではなく、定められたある時点（元期）に固定することで互いの位置の整合性を保っている。この位置情報を「元期座標」と呼ぶ。元期座標を用いることで、地図などの地理空間情報を作成した時期によらず整合して重ね合わせて用いることが可能となる。そのため、国土地理院では測量の時期が異なっても位置を元期座標へ補正する仕組み（セミ・ダイナミック補正）を提供しており、測量分野ではこの仕組みはすでに広く理解され、活用されている。

衛星測位における位置情報管理の課題

地理空間情報の基盤である測量と、拡大する測位との間で、位置情報が高精度に整合することは、過去の資産の活用や今後の利活用の拡大において重要である。しかし、測量と測位では、現在のところ、位置情報の扱いが若干異なっている。測量では、位置をある時点（元期）に固定している一方、衛星測位では、その都度、測位を行った時点（今期）の位置が得られることとなる。この位置情報を「今期座標」と呼ぶ。数 m～数十 m の誤差を持つ単独測位方式のように、衛星測位の精度が高くない場合には、地殻変動で元期座標と今期座標に生じる差は、測位の誤差より小さいため、実用上、問題となることはなかった。ところが、近年では、精密単独測位（Precise Point Positioning：PPP）や準天頂衛星システムの CLAS のようなリアルタイムかつ高精度な測位を実現する技術が実用化されつつあることから、測位で得た位置（今期）と地図などの地理空間情報（元期）の違いが明確になり、実用上も問題となる可能性が生じてきている。例えば、2万5千分1地形図のように比較的縮尺が小さい地図では、地図の精度が数 m 程度であるため、この違いはあまり問題とならないが、i-Construction やスマート農業で用いる大縮尺の地図では、数十 cm 位置がずれることで隣の工作物やあぜ道にずれてしまうなど、測位と地図のずれが問題となる。このように、高精度な衛星測位の拡大に伴

って、測量（元期座標）と測位（今期座標）を統合的に取り扱う仕組みの重要性が増している。

衛星測位による高精度な標高

高精度な衛星測位サービスの実現は、いつでもどこでも高精度な高さを測ることができる環境の実現にもつながっている。衛星測位では、地球の中心に対する3次元の位置を得ることが可能であるが、人間の活動においては、衛星測位で得られる3次元の幾何学的な高さ（楕円体高）ではなく、重力の影響を受けた海面を基準とする「標高」が重要となる。衛星測位で高精度な標高を決定するには、海面に相当する基準面である「ジオイド」を高精度に求めることが必要であり、近年、重力等の観測技術の向上によって、海外では高精度なジオイドの構築が実現されつつある。我が国でも衛星測位を活用して高精度に標高を測るためには、高精度なジオイドの構築が期待される。

地理空間情報活用推進基本計画

平成29年3月24日に閣議決定された新たな地理空間情報活用推進基本計画では、地理空間情報を活用する基盤として、準天頂衛星システムをはじめとした衛星測位の高精度な技術基盤の維持・強化を行い、利活用を促進することがうたわれている。

高精度な衛星測位を利活用できる社会に向けて

そこで、本報告書では、利用者が意識することなく高精度な衛星測位を通じて地理空間情報を活用できる社会を実現すると共に、従来の測量成果と高精度な衛星測位の結果を将来にわたって整合して活用可能な資産とするための様々な方策について、その具体的な内容や、今後さらに検討すべき事項などを示す。また、本報告書は、こうした取組を測量や衛星測位の関係者が連携して進めていく中で、国土地理院が果たすべき役割について、国土地理院に対する提言として示したものである。

2 測地基準座標系のあり方

2.1 衛星測位と位置の基準の現状

衛星測位における課題

衛星測位では、簡便に正確な位置を求めることが可能であるが、衛星測位には様々な手法があるため、同じ場所で測位を行ったとしても、手法によって同じ世界測地系であっても得られる位置がやや異なることがある。例えば、近年高度化が進む PPP のように、単独測位方式では測った時点（今期）の位置が得られる。一方で、測量分野で用いられる相対測位方式では、電子基準点等の既存の基準点を位置の基準として測位を行うため、基準日（元期）における位置が得られる。こうした位置の不整合を放置すると、地図をはじめとして、様々なずれた位置を持った地理空間情報が作成されてしまうため、異なる手法、異なる時期による測位であっても、等しく整合した位置を得られるための仕組みが必要である。

地殻変動を補正する仕組み

プレート運動や地震活動によって常に地殻変動にさらされる日本では、位置を測るタイミングによって位置が異なるため、時間の経過に伴って位置のずれが累積することで、地図のようにある特定の時点（元期）の位置に基づいて表現されている地理空間情報と測った位置の間に違いが生じてしまう。そこで、測量分野ではこれまで、地殻変動の影響を考慮して、測った位置の時期を地図の位置情報の時期と整合させる仕組み（セミ・ダイナミック補正）を導入して用いてきた。

衛星測位と地図を整合させる取組

一方、衛星測位では、測位を行った時点（今期）の位置が得られる。今後、CLAS などの測位サービスが拡充することで衛星測位の誤差が軽減され、精度が向上するに伴って、衛星測位の利活用はさらに拡大することが想定される。こうした状況を踏まえると、衛星測位と地図などの既存の地理空間情報を精度よく整合させる仕組みの整備が必要である。さらに、衛星測位を用いて、いつでも、どこでも精度良く位置を求められるようにするためには、衛星測位と地図を精度良く整合させる仕組みとともに、衛星測位の精度を向上させる取組も重要である。

2.2 衛星測位を地図（地理空間情報）に整合させる仕組みの整備

衛星測位と地図を整合させる仕組みの必要性

PPP や CLAS などの新たな衛星測位方式では、電子基準点など既存の基準点の今期座標を基準として作成した補正情報を用いて位置を求めるため、測位を行った日を基準とした位置（今期）が得られる。そのため、地図などの既存の地理空間情報と位置が整合せず、既存の地理空間情報と統一的に取り扱うためには、衛星測位による今期の位置を、元期の位置である測量成果と整合させる仕組みが必要である。

仕組みの実現に必要な取組

こうした仕組みを実現するためには、PPP や CLAS などの衛星測位方式によって得られる位置（今期）と測量成果（元期）の相違を定量的に把握すること、さらには、それらを日本全国どこでも精度よく整合させる仕組みの検討が必要である。測量で用いるセミ・ダイナミック補正では、電子基準点の位置を用いて地殻変動を把握し、補正パラメータを作成して今期座標から元期座標への補正を行っている。今後、リアルタイムかつ精度の高い PPP、CLAS 等で得られた位置に対しても、全国の電子基準点において測量成果（元期）と PPP、CLAS 等による位置（今期）を比較し、その差を高精度に補正するパラメータを作成して適切に整合させる仕組みの構築を検討していく必要がある。

利用者が簡便に高精度な位置を得られる仕組みづくり

衛星測位による位置情報は、スマートフォンやカーナビゲーション等での一般的な利用から測量やアプリケーション開発といった専門性の高い利用まで多岐にわたる。まず、一般的な利用では、位置情報の処理の手順等を意識することなく容易に位置を活用できることが望ましい。そのためには、国土院から測位サービスの事業者が補正パラメータを提供し、事業者が補正パラメータを適用した測位結果を利用者に提供する等の仕組みの検討が必要である。さらに、スマートフォン等による測位サービス提供のためのアプリケーションの作成や i-Construction やスマート農業での利用も考慮すると、端末等で測位した今期座標と元期座標を相互に換算してリアルタイムで返す仕組みなど、専門家を含む様々な利用者が利用しやすい形で提供する仕組みも重要である。

仕組みへの理解促進の取組

この他、測位サービスなど位置情報を用いる事業者、アプリケーションの開発者、また、施工の際に位置情報を管理する責任者や測量従事者等に対しては、元期座標と今期

座標を誤って用いることや混在して用いることがないように、位置座標を求める仕組みに誤解が生じないように理解を促進するとともに、単純ミスによる誤用が発生しにくいような運用が重要である。そのため、それぞれが位置情報を取り扱う場面でどの程度の理解が必要かを精査した上で、WEB による解説書の提供や講習会等を通して測量分野における位置情報の管理方法や精度を確保する仕組みについて理解促進を図る必要がある。また、今後の地理空間情報社会を支える新たな世代に対しては、複雑な地殻変動がはげしく生じている我が国の国土の特徴に対する理解を進めるとともに、こうした特徴を持つ国土における正確な位置座標の重要性と位置座標を求める仕組みへの理解を深める必要があるため、これらをわかりやすく解説した、中学校、高校等で使用できる素材の整備も重要である。

2.3 地殻変動を補正し位置を求める仕組み

現在の仕組み（セミ・ダイナミック補正）とその課題

近年の GNSS 測量では、基準点の位置（緯度・経度・標高）の精度を長期にわたって維持するために、主にプレート運動によって継続する地殻変動によるひずみの影響を補正する仕組み（セミ・ダイナミック補正）を国土地理院が提供している。さらに、地震活動で地殻変動が生じて基準点の位置が大きく（隣接の点間でひずみが 2ppm 以上）移動した際には、その都度、基準点の位置座標を更新するとともに、地震時の変動を補正するための詳細な座標補正パラメータを国土地理院が作成して提供している。これらにより、利用者は測量成果と整合した位置（元期）を求めることができる。セミ・ダイナミック補正は、測量で必要とする精度を満たすように設計されているが、近年利活用が拡大する i-Construction、自動走行、スマート農業等の分野では、リアルタイムかつ高精度な衛星測位への需要が高まっているため、従来の仕組みを新たな衛星測位の分野でのニーズを満たすよう改良するための検討が必要である。

時間分解能（パラメータの更新頻度）を改善する取組

現在、セミ・ダイナミック補正の補正パラメータは、年 1 回作成され、毎年 4 月に国土地理院のウェブサイトから提供されており、測量業者等に活用されている。この補正パラメータは、パラメータが提供される年の 1 月 1 日までの累積の地殻変動を電子基準点データを用いて計算して作成されているため、1 月 1 日以降に生じた地殻変動は、次の年のパラメータが公開されるまでは補正することができない。しかし、今後の衛星測位の利活用の拡大に伴って、より短期間に今期座標から元期座標への迅速な補正が必要となると想定されるため、今後の衛星測位の利活用において求められる精度と時間分解

能を把握した上で、パラメータの最適な更新頻度等を検討する必要がある。

2.4 GNSS 観測網の高度化、追加で観測点を取り入れる仕組みの検討

衛星測位と地上の GNSS 観測網

高精度な衛星測位を実現するには、衛星からの信号に含まれる様々な要因の誤差を補正する必要がある。特に現在利用が拡大しているリアルタイムで高精度な測位は、地上の GNSS 観測点のデータを基に補正情報を生成し、利用者に配信することで実現されている。これは従来のネットワーク型 RTK はもとより、PPP や準天頂衛星システムの CLAS といった新しい測位方式においても同様である。例えば、CLAS では、国土地理院の電子基準点データを用いて補正情報を生成し、高精度な測位サービスを可能としている。ネットワーク型 RTK でも同様に電子基準点データを用いて補正情報を生成しており、こうした高精度な測位には電子基準点が必須である。これらの補正情報の精度は GNSS 観測点の設置間隔とデータ品質に強く依存しており、高い精度で測位を行うためには、より多くの観測点が常に安定稼働していることが望ましい。我が国においては、全国約 1,300 箇所に設置された電子基準点がこの役割を果たしている。

衛星測位の精度向上に向けた課題

現在、電子基準点は離島や一部の地域を除くと約 20km 間隔で設置されている。電子基準点は、測量の基準や地殻変動の監視に利用される国土の維持管理に不可欠な基盤インフラで、その観測網は、これらの目的を達成するにあたって最適となるように設計されている。一方、上で述べたように、衛星測位の精度を向上するためには、観測点をさらに高い密度で配置することが必須である。そのため今後は、電子基準点以外の GNSS 連続観測点も補正情報生成に活用することができれば、より高品質な測位サービスが実現されることが期待できる。ひいては、さらに様々な用途へとサービスの利用が拡大していくことが考えられる。

民間等の GNSS 連続観測点の活用による精度向上

国内には、大学等の研究機関、自治体等の公的機関及び民間事業者が独自に設置・運用する GNSS 連続観測点が存在している。これらは、衛星測位技術の開発や地殻変動等の研究、i-Construction、スマート農業等の事業に活用されている。例えば、東京海洋大学は独自に GNSS 観測点を設置し、衛星測位の研究を行っている。このような観測点のデータを活用することで、観測点の空間分解能を向上させることができ、特に

観測点の近傍では測位精度の向上が可能である。例えば、ネットワーク型 RTK 方式の場合、観測点の密度が 20km 間隔から 10km 間隔まで増加すれば、水平成分で 2~3mm、上下成分で 1cm 程度、測位精度が改善されるという検証結果がある。また、複数の機関が近傍に重複して観測点を設置することを避けることで、観測点のより効率的な活用が可能となる。

精度向上の仕組みの構築に向けた課題

ただし、品質が十分でない観測データを用いて補正情報を作成すると、補正情報の品質が低下する可能性があることから、民間等の GNSS 連続観測点を用いて補正情報の精度を向上させる際には、観測データの品質の確保が不可欠である。このような仕組みの構築にあたっては、出来るだけ多くの観測点を活用できるよう参加が想定される大学や民間事業者等と十分に意見交換を行ったうえで、観測点の仕様やデータの品質、データ流通の方式に一定の基準を設けるとともに、参加者に十分メリットがあるように留意して検討を行うことが重要である。

さらなる高度化に向けて

i-Construction や自動走行など、衛星測位の利活用が広がる測量以外の様々な分野でも、精度や利便性の向上に対する要望はあるものの、すでに衛星測位において現在の仕組み（セミ・ダイナミック補正）が用いられ、サービスの基盤となる地図などの地理空間情報は、セミ・ダイナミック補正を用いて整備されている、もしくは整備される予定である。また、セミ・ダイナミック補正を用いた衛星測位は、スマート農業でも導入されている。このように、本部会で把握される範囲では、元期の位置座標を統一的に用いるセミ・ダイナミック補正が機能を果たしていることが確認されているため、セミ・ダイナミック補正の補正パラメータの更新頻度を向上し、民間等の GNSS 連続観測点を活用することによって、現在の仕組みをより高精度に使いやすくする取組を進めることが妥当であると判断した。ただし、今後も利用者の動向や技術の発展に注視し、社会的なニーズの高まりにあわせて、日々変化する現実の位置に合わせて基準点をはじめとした地理空間情報を任意の時期で管理する 4次元のダイナミックな測地基準座標系への対応を検討する必要がある。そのためには、今後も技術開発や実証実験などを継続することが重要である。

3 標高体系のあり方

3.1 これまでの標高体系の維持管理及びその課題

水準測量による維持管理

明治以来、我が国の標高は、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で決められてきた。国土地理院によって管理されている水準点は現在全国に約 17,000 点あり、主要な道路沿いに約 2km 間隔で設置されている。繰り返し水準測量を実施している水準路線は約 20,000km で、この路線を 10 のブロックに分け、概ね 10 年周期で水準測量を繰り返すことで国土の上下変化が把握され、水準点の標高が更新されてきた。しかし、水準測量は観測に 4 人以上の人員が必要で、観測自体にも時間を要するため、全国の観測に少なくとも 10 年間、延べ約 20 億円の費用が必要で、予算や人員の制約の中で標高の維持管理の継続が困難になってきている。また、水準測量は観測した距離に応じて誤差が累積するため、全国の水準測量のような長距離では誤差が大きくなるという問題もある。

現在の標高体系の課題

さらに、特に地震等に伴い大きな地殻変動が生じた場合、前述のように水準測量による標高決定には多くの時間と費用を要するため、迅速な復旧・復興に必要となる正確な標高が早期に提供できないという問題がある。例えば、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（以下「東北地方太平洋沖地震」という。）の場合には、水準測量を必要とする距離が 3,660km にも達したため、新たな標高を公開するまでに地震から 7 か月以上を要している。また、平成 28 年（2016 年）熊本地震（以下「熊本地震」という。）でも、地震後の標高を公開するまでに 4 か月を要している。さらに、東北地方では東北地方太平洋沖地震後の余効変動に伴う上下変動の蓄積により実際の標高とのずれが大きくなり、震災から僅か 4 年後に海岸堤防の建設に支障が生じたという報道が国会等で取り上げられる等、社会的なニーズに十分に答えられていない実態があった。

3.2 衛星測位による効率的な標高の取得

衛星測位で測ることができる高さ

GNSS の普及に伴い、誰でも衛星測位によって自分の位置を取得することが可能と

なった。そのため、衛星測位により水準測量の代替となる標高を求めることができれば、前節での水準測量における時間と費用の問題が軽減されることが期待できる。しかし、衛星測位で取得できる位置は、緯度・経度・楕円体高である。「楕円体高」とは、地球の形状を回転楕円体で近似した地球楕円体から地表までの高さとして定義される幾何学的な量であり、重力を考慮していない高さである。そのため、社会生活において、楕円体高の高低差を用いると水が「低い」場所から「高い」場所へ流れる可能性があるなど不都合が生じる。したがって、衛星測位で取得した楕円体高から標高を精度よく簡便に取得する仕組みが必要となる。

標高とジオイドの関係

水は重力によって高い場所から低い場所へ流れ、重力とバランスの取れた位置で水面を形成する。すなわち、水面の高低が水の流れを決定付けている。水面のうち、地球上で最も広い水面となるのが海面であり、平均的な海面の位置を基準とした地表までの高さを「標高」と呼び、基準とした平均海面（標高 0m）を「ジオイド」と呼ぶ。また、ジオイドは、陸域では、平均的な海面を仮想的に延長したものとして定義される。

衛星測位による標高の取得

衛星測位で標高を取得するには、楕円体面からジオイドまでの高さである「ジオイド高」が必要となる。すなわち、任意の位置におけるジオイド高を数値モデルとして与えることが出来れば、衛星測位による楕円体高からモデルに基づくジオイド高を差し引くだけで標高を容易に求めることが可能となる。

日本のジオイド・モデルの現状

日本全国のジオイド高を表現したジオイド・モデルが国土地理院によって整備され、GNSS を利用した測量作業の効率化が進められてきた。このジオイド・モデルは、重力データから計算される重力ジオイドと、各地点の GNSS 測量による楕円体高と水準測量による標高との差から求められる実測ジオイドを組み合わせで構築されており、水準測量に基づいて整備された既存の標高に、GNSS 測量で得られる楕円体高を関連づけるためのモデルとして提供されている。

現在のジオイド・モデルの課題と解決策

上記の実測ジオイドは、構築直後には実際に利用している現況の測量成果との整合性が高いものの、地震等の地殻変動が発生した場合には、楕円体高と標高がそれぞれ

別々に再計算されてしまうことで、再計算を行った時期の違いによって現況との乖離が拡大するという問題がある。一方、重力ジオイドは、巨大地震等に伴う地殻変動に対しても極めて安定していて変化せず、例えば東北地方の太平洋沿岸部で最大 1.2m の広域な沈降が観測された東北地方太平洋沖地震時でも、その変化は陸域で 2cm 未満と計算されている。そのため、重力ジオイドをベースとした高精度なジオイド・モデルを整備することができれば、楕円体高や標高の変化に依存しない、より安定したジオイドの提供が可能となる。

3.3 衛星測位を活用した新たな標高体系

衛星測位と精密重力ジオイドに基づく新たな標高体系

3.1 で述べたとおり、明治以来、我が国の標高は東京湾平均海面を基準として水準測量により決定されてきた。一方、高精度な衛星測位サービスを楽しむためには、衛星測位によってその場の標高を簡易に取得できる仕組みが不可欠である。そこで、衛星測位と精密重力ジオイドを基盤とした標高体系を構築することにより、現在の標高体系が抱える問題を解消するとともに、いつでも・どこでも・誰でも信頼できる標高が取得できる環境の実現を目指す。この新たな標高体系では、電子基準点の楕円体高から精密重力ジオイドを介して標高を決定し、それを骨格として既存の水準点間の比高を加味することで個々の水準点の標高を決定することができる。また、同じ精密重力ジオイドを利用することで、水準点から離れた場所でも、水準測量を実施することなく、衛星測位から信頼できる標高を取得することが可能となる。このような様々な利用を支援する上では、位置情報からその場の正確なジオイド高を算出して返すなどの、一般の利用者やアプリケーション開発者が利用しやすい仕組みの提供も必要である。

精密重力ジオイドの構築

重力ジオイドの精度は重力データの品質に依存する。しかし、既存の重力データは、山岳部や沿岸海域での観測が困難なためデータの空白域が存在するほか、測定点の精密な標高データが整備されていないなど、必要となる品質を十分に満たしていない。特に沿岸海域の重力データの不足は、社会活動が活発な沿岸部で重力ジオイドの精度低下の要因となるため深刻である。近年、米国やニュージーランドをはじめとする海外では、高品質かつ空間的に一様な重力データを効率的に整備する手段として航空機に搭載した重力計で重力データを取得する航空重力測定が多数実施され、そのデータを活用して重力ジオイドの構築が行われている。我が国でも、重力ジオイドの高精度化を実現するために、航空重力測定の実施による国内の高品質な重力データの整備が必要である。航

空重力測定によって、現在の山岳部及び沿岸海域でのデータ空白域が解消し、最新の重力基準に基づく、全国を等しく網羅した空間解像度の高い均質な重力データが整備されることで、最終的には精度 3cm 程度の精密重力ジオイドの構築が見込まれる。将来的に衛星測位の精度がさらに向上すれば、水準測量を実施している河川や港湾、道路工事といった公共事業だけではなく、測位分野でも信頼できる標高が容易に取得可能となる。また、災害時でも衛星測位によって容易に標高が取得できるようになり、迅速な復旧・復興にも貢献できる。

電子基準点の楕円体高の精度向上の取組

新たな標高体系のもとで衛星測位による高精度な標高決定を実現するには、重力ジオイドの高精度化（精密重力ジオイド）に加えて、衛星測位で得られる楕円体高の精度向上が重要となる。衛星測位による楕円体高の精度向上には、その基盤となる電子基準点の楕円体高の精度向上が必要であるため、電子基準点での観測誤差の要因となりうる障害物（樹木・建物等）、アンテナ交換、アンテナレドームへの着雪、周辺工事による重機の頻繁な移動、電波干渉等や局所的な変動を極力排除するなど、電子基準点本点及び周辺環境についての点検等を定期的に実施していく必要がある。

新たな標高体系における水準測量の役割

全国の標高の維持管理は、電子基準点を基盤として行うが、構造物によって測位衛星からの信号の受信が困難な都市部など、衛星測位が難しい環境では、今後も水準測量による水準点の維持管理が必要である。また、日常の施工管理・調査、地盤沈下調査やインフラ整備等の公共測量等では、数 m～10 数 km の短距離で高い精度の比高の情報が必要となるため、これまでと同様に水準測量を利用せざるを得ない場面が少なからず残ると予想される。さらに、電子基準点の間で生じる局所的な変化の把握には、干渉 SAR のような新技術の活用を検討していく必要もある。このように、標高を測定する手法のそれぞれの特長を活かした効率的な維持管理の仕組みを構築することが重要である。

4 実現されうる社会

位置の基準を統一する必要性

衛星測位を取り巻く環境は大きく進化しており、スマートフォン等の普及に伴い衛星測位の利用環境が整うとともに、平成 29 年度中の準天頂衛星システムの 4 機体制の整備等によって測位環境の向上が期待されている。こうした環境の中で、衛星測位で得られる位置と地図などの地理空間情報の間にずれが生じる可能性がでてきている。このずれを放置したことによって、それぞれの衛星測位の利用者がそれぞれの手法で自身の位置を測った場合、様々な手法で測られた位置が混在し、同じ場所でも地図上の位置が異なってしまう、それぞれの地理空間情報を重ね合わせることができなくなってしまう。衛星測位の手法によらず、いつでも、どこでも地図と整合した位置が得られる仕組みを整備することによって、異なる時期に行った測位でも、異なる時期に作成した地図でも、互いに整合して重ね合わせることが可能となり、過去の地理空間情報資産と最新の高精度な測位をともに活用することが可能となる。

一步を踏み出せる基盤の整備

位置情報を利用した多様な事業の展開にあたって、衛星測位によって地図と整合した高精度な位置を簡便に取得できることは重要である。また、位置情報サービスの利用者にとっても、サービスによらず常に地図と整合した同じ位置が得られることは重要となる。本報告書で述べた衛星測位と地図を整合する仕組みや高精度ジオイドの構築によって、衛星測位を用いていつでも、どこでも正確な位置を得られる環境が整備されることで、位置情報を活用した事業が拡大するとともに、誰でも新たな位置情報サービスに安心して踏み出せる社会の実現を目指すべきである。

新たなサービス創出や事業の効率化

衛星測位による位置（今期）と測量成果（元期）の間をつなぐ仕組みを構築し、容易に利用可能な環境を整備することで、準天頂衛星システムの CLAS をはじめとした衛星測位サービスによって、地図と整合した高精度な位置が取得可能となる。また、精密重力ジオイドを基盤とした標高体系を構築することで、衛星測位によっていつでも、どこでも、誰でもすぐに信頼できる標高がわかるようになる。これらにより、誰もが、同じ測地基準座標系の上で水平位置と標高といった高精度な 3 次元の位置情報の取得が可能となり、様々な地理空間情報の重ねあわせ等による新たな位置情報サービスの創出や、既存の測量や工事作業等の効率化或いは生産性向上が期待される。例えば、これま

で土工の工事に適用されていた GNSS 施工管理の舗装等への対象拡大、ハイブリッド車や電気自動車の効率的な回生エネルギーマネジメント、自動運転車の自車位置特定のためのセンシング・システムの簡素化、ナビゲーション端末の軽量化や低価格化、ヘリや小型無人機を活用した効率的な農薬散布や農作物の生育管理、航空レーザ測量による DEM の精度向上、積雪深の把握や水害対策等に寄与できる可能性がある。さらに、地籍調査での航空写真や衛星写真の活用に向けて、衛星測位で即座に標高が分かる仕組みへの期待は大きい。

新たな社会への寄与

平成 29 年 6 月に閣議決定された「未来投資戦略 2017」では、供給面における長期にわたる生産性の伸び悩み、或いは需要面における新たな需要創出の欠如に起因した先進国に共通する長期停滞を打破し、中長期的な成長を実現する鍵として、近年急激に起きている IoT やビッグデータ等の第 4 次産業革命のイノベーションを、あらゆる産業や社会生活に取り入れることで様々な社会課題を解決する「Society 5.0」の実現を位置づけている。その中では、無人自動走行や小型無人機（ドローン）を活用した移動サービスの高度化及び物流革命の実現、i-Construction の対象拡大等によるインフラ整備・維持管理の生産性向上、農業機械の無人走行や有人監視下での自動走行といったスマート農業の推進等が具体的な実現目標とともに記載されている。これらの目標はいずれも 3 次元の精密な位置情報に基づいて達成が可能となるもので、衛星測位によって簡便に地図と整合した高精度な位置を得られる仕組みを整備することによって実現されるものである。さらに、高さについては暗黙のうちに標高の情報が想定されており、衛星測位の結果から信頼できる標高を得るための精密重力ジオイドは次世代の測位には欠かせない基本的なインフラ情報と言っても過言ではない。

災害に強い持続可能な国土づくり

全国の水準点の標高は、これまで水準測量によって約 10 年の歳月をかけて更新してきたが、衛星測位と精密重力ジオイドを利用することで、更新に要する期間を大幅に短縮することが可能となる。また、電子基準点の楕円体高の時系列から、地殻変動に伴う上下方向の経時変化も常時監視可能となり、必要な時に必要な標高の算出を迅速に行うことも可能となる。例えば、地震後の地殻変動を考慮した工事実施時での海岸付近の堤防の標高算出に利用できる。

過去の地震でみると、東北地方太平洋沖地震では、宮城県牡鹿半島の電子基準点で約 1.2m の沈降が観測されるなど、太平洋沿岸の広い範囲で沈降が発生した。また、熊

本地震においても、断層付近の現地調査で最大約 80cm の沈降が確認されている。このような場合、特に沿岸部や低地では、高潮や河川の氾濫等による二次被害防止のため、地震後の現況に即した一刻も早い標高の情報が必要とされるが、新たな標高体系であれば復旧・復興のための基準となる標高を迅速に求めることが可能となる。さらに、海溝型地震が発生した場合に、地殻変動量を加味した正確な標高に基づく適切な津波等から避難誘導など、防災面での活用も期待される。

5 今後に向けて

5.1 高精度な GNSS 測位に向けた民間等の観測点活用の検討

関係機関との連携および現状の調査

高精度な衛星測位をさらに高度化し、既存の地理空間情報と整合させるには、電子基準点だけでなく、大学、公的機関や民間事業者の保有する GNSS 連続観測点も活用することが有益である。電子基準点以外の GNSS 観測点は、設置及び運用に係る技術的な基準が各機関により異なるため、国土地理院が関係機関と連携して基準策定に向けた検討を行うことが望ましい。具体的には、主要な受信機メーカー、測量会社、大学等によって構成され、電子基準点リアルタイムデータを利用したリアルタイム測位の普及を推進している「電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会」と連携して検討を進めることが考えられる。まずは、日本国内における GNSS 連続観測点の状況やそのデータ共有の可能性について調査を進め、同時に各々の機関における要望等について調査を行うことが必要であろう。

民間等の GNSS 連続観測点の活用に必要な取組

GNSS 連続観測点の活用の仕組みの構築にあたっては、必要なデータ品質は確保しつつ、民間等の自主的な参加を促し、できるだけ多くの観測点を活用できるよう留意する必要がある。その際、検討すべき課題としては、例えば以下のようなものが挙げられる。

- ①活用対象とする GNSS 連続観測点に求める技術的な基準をどう設定するか
- ②技術的な基準を満たすかを誰がどう認定するか
- ③観測データの共有やコスト分担の方法
- ④各参加者にメリットが生まれる仕組み作り

また、利用者が必要とする精度がどの程度の設置間隔で達成可能か、定量的な評価を行っておくことも重要である。

5.2 航空重力測定の実現に向けて

実現に向けた適切な計画の策定

3.3 で述べた通り、精密重力ジオイドの構築にあたっては、高品質かつ空間的に一様

な全国の重力データの整備が必要である。既存の重力データが抱える課題を解消し、効率的に全国の重力データを取得するために、航空重力測定の実施が必須である。これにより、地上重力データ及び衛星重力データと組み合わせることで、重力ジオイドの大幅な精度改善が期待できる。航空重力測定は国内では前例がないため、実施にあたっては、信頼できる重力計の調達、最適な観測計画の策定、取得データの品質確保、重力データの整備、重力ジオイド計算への取り込み等、各過程における様々な課題について、諸外国の先行事例等も参考に、綿密な準備が必要である。

米国の先行事例と日本での移行計画

また、新たな標高体系への移行は、明治以来整備されてきた標高の仕組みを大転換するものであり、混乱が生じないように周到に準備が必要である。例えば、2022年の移行を目指して現在標高体系の構築プロジェクトを進めている米国では、最新の航空重力測定の結果とそれを用いて作成した試験的なジオイド・モデルを毎年夏に公開している。これは、連邦政府や州政府の機関、関連企業等の関係者に対し、プロジェクトの進捗状況の共有と将来的な標高体系の仕組みを事前に周知することを目的に行われている。公開された試験ジオイド・モデルを関係者が実際に使用することで、変更内容を確認できるほか、改善点や不明点のフィードバック、商用ソフトの開発準備等を経た迅速な普及が期待されるため、中間成果物を公開するメリットは非常に大きい。日本国内で航空重力測定を実施する場合でも、現在のところ全国の計測に4か年度が必要と見込んでいるため、米国のように中間成果物を公開しつつ社会に対する普及・啓発活動を行うといったような、標高体系の円滑な移行に向けた具体的な計画を立てるべきである。

従来の標高の基準との整合性の確保

さらに、日本における標高の基準は測量法で規定されており、同法第十一条に、「位置は、(中略)平均海面からの高さで表示する」及び「測量の原点は、(中略)日本水準原点とする」とあり、さらに同法施行令第二条で、「(日本水準)原点数値 東京湾平均海面上二十四・三九〇〇メートル」と定義されている。測量法は我が国の測量行政の根幹となる法律であり、これらの法令と新たな標高体系の間に齟齬がないようにしなければならない。新たな体系では、精密重力ジオイドが標高の基準となるが、その基準面を定めるにあたっては、今後も逐次更新が想定されるグローバルな基準面との整合性を十分に考慮するとともに、諸外国の動向を注視する必要がある。また、基準面を頻繁に更新すると社会的に不都合が生じるため、長期にわたって安定した基準面となるよう考慮することも重要である。

測量行政懇談会 委員

(平成30年3月現在)

(五十音順)

- 浅見 泰司 東京大学大学院工学系研究科教授
- 安藤 保隆 (一社)地図調製技術協会会長
- 井上 由里子 一橋大学大学院国際企業戦略研究科教授
- 碓井 照子 奈良大学名誉教授
- 加藤 照之 東京大学地震研究所教授
- 小室 彦三 茨城県企画部情報化統括監
- 佐田 達典 日本大学理工学部交通システム工学科教授
- 鹿田 正昭 金沢工業大学副学長
- 柴崎 亮介 東京大学空間情報科学研究センター教授
- ◎清水 英範 東京大学大学院工学系研究科教授
- 須貝 俊彦 東京大学大学院新領域創成科学研究科教授
- 野瀬 操 (一社)全国測量設計業協会連合会会長
- 土方 聡 (公財)日本測量調査技術協会副会長

※ ◎印は委員長、○印は副委員長

測量行政懇談会 測位基盤検討部会 委員名簿

(委員以下、五十音順)

- 部会長 佐田 達典 日本大学理工学部交通システム工学科 教授
電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会 会長
- 副部会長 大坪 俊通 一橋大学大学院社会学研究科 教授
- 委員 天野 肇 (特非)ITS Japan 専務理事
- ” 稲垣 秀夫 (一社)地図調製技術協会 専務理事
- ” 植木 睦央 (一社)日本建設機械施工協会 情報化施工委員会 委員長
- ” 久保 信明 東京海洋大学海洋工学部海事システム工学科 准教授
- ” 後藤 史一 国土交通省土地・建設産業局地籍整備課 国土調査企画官
- ” 齊藤 和也 (公財)日本測量調査技術協会 専務理事

測量行政懇談会 測位基盤検討部会 開催状況

第1回 2017年 6月13日(火)

第2回 2017年 8月31日(木)

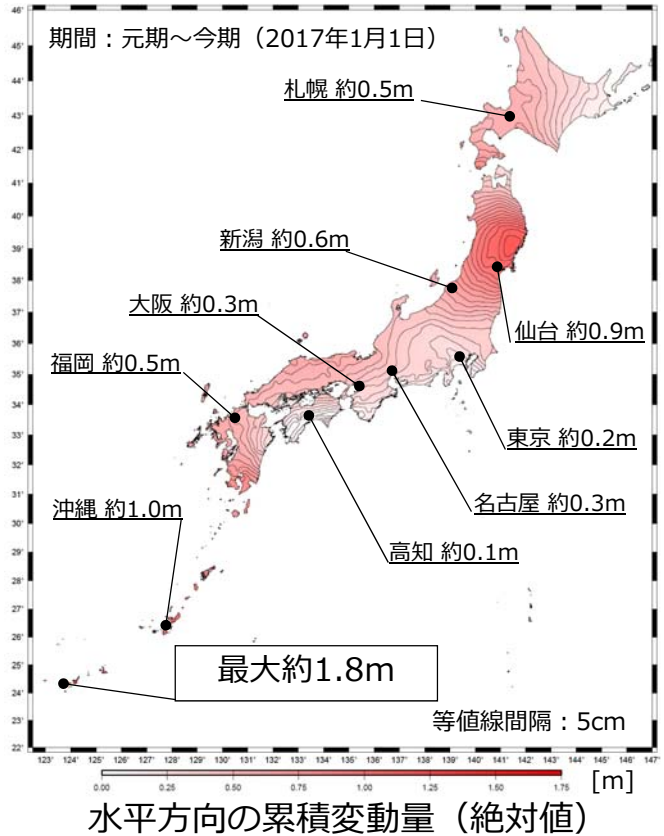
第3回 2017年10月10日(火)

簡単にできるセミ・ダイナミック補正

計算サイトやAPIを利用することで、スマートフォン等の端末でも簡単にセミ・ダイナミック補正が可能

1. 概要

- セミ・ダイナミック補正は、**広域の地殻変動を補正**し、測量成果と整合の取れた位置情報を共有できる仕組み。
- 補正のためのパラメータは、電子基準点で観測された全国の地殻変動量から計算。
- 現在のパラメータ補正量は、**累積で約数cm~2m程度（水平方向）**。
- パラメータは、国土地理院HPから**年1回**提供。



2. 使い方

- 現在の位置が分かれば、**国土地理院HPの計算サイト**で誰でも、すぐに、無償で簡単に計算が可能。

<http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/semidyna/web/index.html>



- 上記サイトの機能をAPIでも提供。利用者による**アプリケーション開発**を支援。

入力値

1点毎の計算 一括計算

座標値の入力方法 * 数値入力 * 地図上で選択

使用するパラメータ SemiDyna2017.par

補正方法 二次元補正 * 三次元補正

補正方向 * 元期→今期 * 今期→元期

座標値の入力 地図上で確認

緯度	360613.58925
経度	1400516.27815
標高	2,340 m
東経号	65,380000,1395000
X座標	1573,3750 m
Y座標	22684,9600 m
標高	23,64 m

計算結果

入力値

使用したパラメータ SemiDyna2017.par Ver.1.0.0

選択した補正方法 三次元補正

選択した補正方向 元期から今期

入力した緯度・経度 緯度 36°06'13.58925°
経度 140°05'16.27815°

標高 2,340 m

出力値

補正後の緯度・経度	緯度 36°06'13.58478° 経度 140°05'16.28932°
標高	2,380 m

補正後の位置

補正したい位置を直接または地図上で入力

計算実行

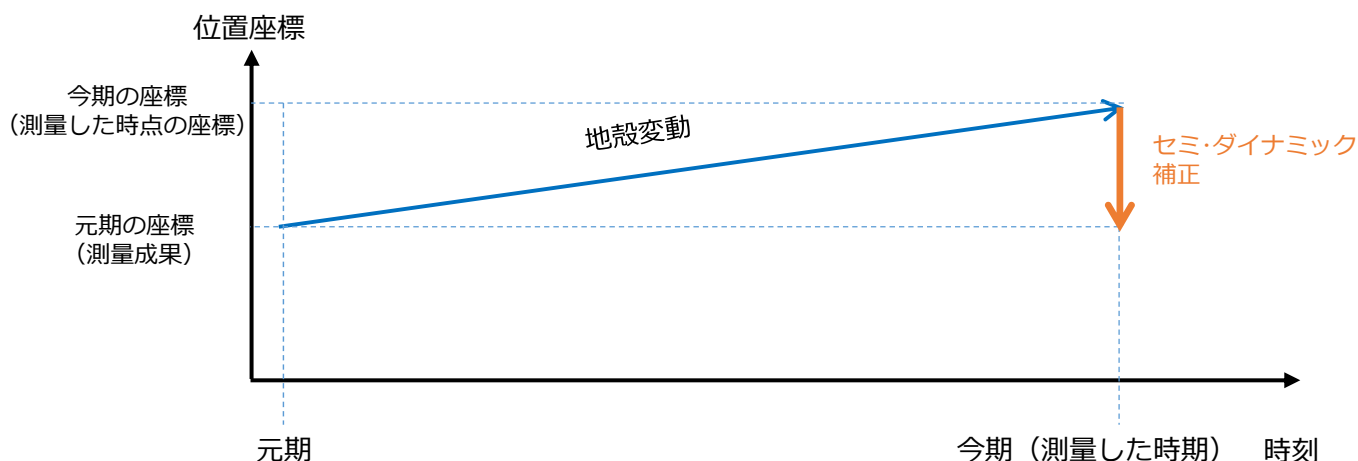
計算結果

計算サイト (SemiDynaEXE)

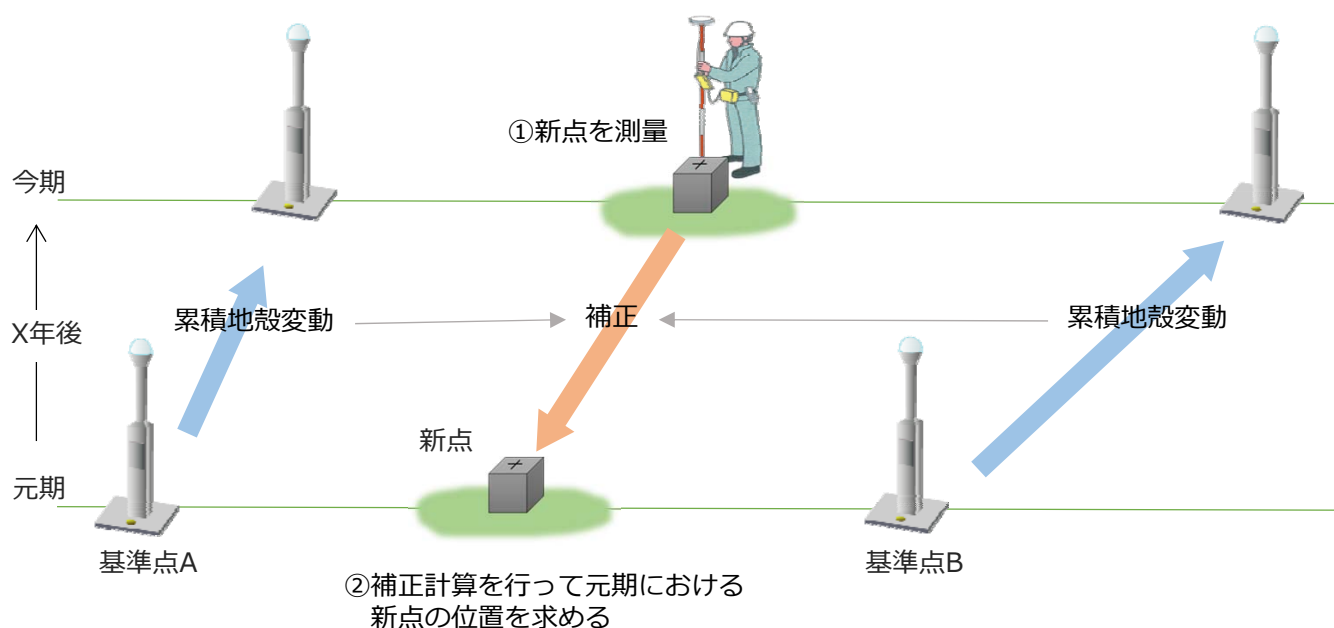
セミ・ダイナミック補正の仕組み

1. 補正方法

- 測量の基準点は、活発な地殻変動の影響でさまざまな方向に移動している。
 - 基準点の位置座標が変わると時期が異なる測量・測位が整合しなくなる。
 - 複雑に移動する基準点の位置を元期（特定の時期）に統一すれば、時期が違ってても整合を保つことができる。
- ⇒ 測量では、セミ・ダイナミック補正（影響を取り除く仕組み）で対応
- 基準点の位置座標を地殻変動によらず元期に固定するための処理。
 - 測量計算の過程で、地殻変動の影響を補正する（取り除く）計算を行うことで新点の元期での位置座標（測量成果）を求める。
 - 補正量(元期～今期の累積地殻変動量)を定期的(現在は年1回)に更新。



2. 補正の仕組みのイメージ



衛星測位による標高測定

その場所のジオイドが分かれば、**衛星測位から簡単に標高を計算可能**

1. 衛星測位から標高を得るための仕組み

□ 楕円体高

- ・地球楕円体から地表までの高さ
- ・衛星測位で計測

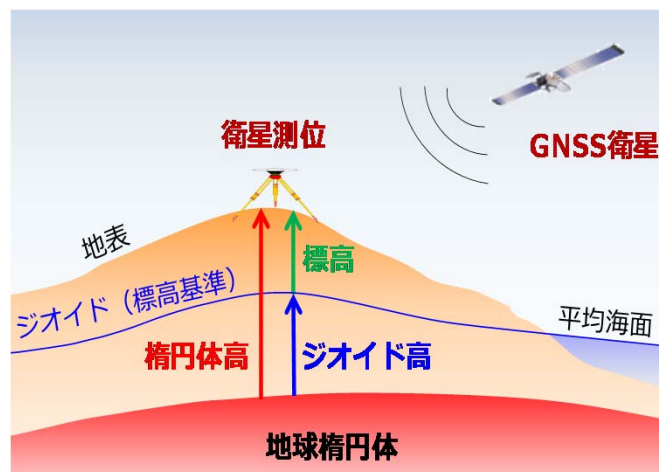
□ ジオイド高

- ・地球楕円体からジオイド（標高の基準）までの高さ
- ・重力データ等から計算

□ 標高

- ・ジオイドから地表までの高さ
- ・水の流れを表現する実用高

$$\text{楕円体高} - \text{ジオイド高} = \text{標高}$$



3つの高さの関係

2. ジオイドの精度向上で標高も高精度に

- ・衛星測位から水平だけではなく**標高を含む3次元の位置を精密に決定**するためには、高精度なジオイドが必要。
- ・ジオイドの精度は、構築に使用する**重力データの品質に依存**。
- ・現在の重力データには、山間部や沿岸海域での空白域や観測時期が古い等の課題有り。
- ・航空機を使った**重力データの取得**等により、全国の高品質な重力データを整備し、精密重力ジオイドを構築。



衛星測位で簡単に標高がわかる社会へ