

大項目	1	地図や地理情報システムで捉える現代世界			
中項目	1-1	地図から学ぶ現代世界の地域構成			
小項目	1-1-2	地球上の位置は、どのようにして測り、地図として表現するのですか。			
細項目 (発問)	1-1-2-4	標高とは何か？ — どのように決めているのか、どのように利用されているのか？ 「ジオイド2024 日本とその周辺」による衛星測位を活用した標高決定への移行			
作成者名	根本 正美	作成年月	2025 年3 月	Ver.	1.0
キーワード 5~10 個程度	標高, 国家座標, 準拠楕円体, JGD2024, 日本経緯度原点, ジオイド2024, 日本水準原点, 水準測量, 衛星測位, 3 次元点群データ				

発問の意図と説明

はじめに

私達はスマホやパソコンでウェブ地図を幅広く活用し、地名、住所や施設名をキーワードにして各種検索を行います。地理空間での位置には水平方向と鉛直方向の二つがありますが、通常は水平方向をより意識しながら地図を使っているのではないのでしょうか。一方、土地を断面図や段彩図で見る、あるいは 3D で鳥瞰的に見る、といったこともよく行われますが、これらには鉛直方向の位置が必須です。(図 1～図 5)

様々な場・機会において地図や地理情報を利用しますが、水平方向に加えて鉛直方向も的確に意識・把握することは重要なことで、地図や地理情報のいっそう高度な利用に繋がります。

鉛直方向の位置に着目し、「標高とは何か?」「どのように決めているのか?」あるいは「どのように利用されているのか?」といったことについて説明します。

1. 我が国の国家座標

「国家座標」に関する説明を通じて「標高とは何か?」を説明したいと思います。

○国家座標と準拠楕円体

国家座標とはその国の位置の基準であり、具体的にはその国において緯度、経度、高さなどで位置を表す場合の基準です。緯度及び経度、高さは基準面上で表します。この基準面として地球の形に極めてよく似た「回転楕円体」が代表するものとします。地球上における位置と方向が定めらる回転楕円体を「準拠楕円体」をいいます。(図 6・図 7)

○我が国の測地系と原点

現在、準拠楕円体を元に定められる我が国の測地系は、世界全体で共通利用できる世界測地系に基づいています。具体的には「日本測地系 2024 (JGD2024)」を採用しています。また、測地系には水平位置と高さの原点がそれぞれ存在します。

○日本経緯度原点

水平位置の原点は、「日本経緯度原点」です。この原点の座標値を固定し、そこからの相対位置係によってある地点の地平位置である緯度及び経度を求めています。日本経緯度原点の数値は、東経 139 度 44 分 28 秒 8869、北緯 35 度 39 分 29 秒 1572 と定められています。

○ジオイドと標高

平均海面を仮想的に陸地へ延長した面が「ジオイド」です。我が国では東京湾平均海面がジオイドと一致するものと考え、この面を高さの基準面 (標高 0m) としています。つまり、我が国における土地の高さは、東京湾の平均海面を基準として測られ、この高さが「標高」です。(図 7)

○日本水準原点

東京湾の平均海面を地上に固定するために設置されたのが「日本水準原点」であり、原点数値は東京湾平均海面上 24.3900m と定められています。(図 8)



図1
地理院地図における検索
〔各々の地点に緯度、
経度及び標高が付与
されている。〕



図2 地理院地図による断面図（標高は必須データ。）



図3 地理院地図
による色別標高図
(標高は必須データ。)



図4 地理院地図
による陰影起伏図
(標高は必須データ。)

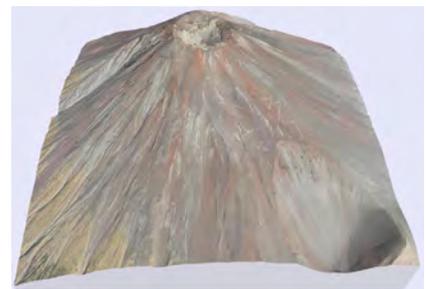


図5 地理院地図
による 3D 表示
(標高は必須データ。)

図1～図5の出典元

- ・ 地理院ホーム > 地理院地図ヘルプ > 地理院地図の使い方
- ・ <https://maps.gsi.go.jp/help/intro/>

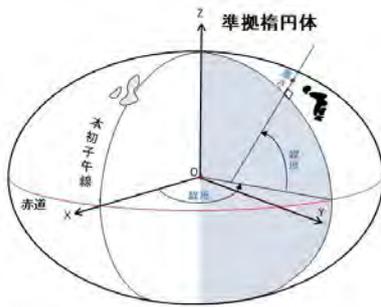


図6 準拠楕円体

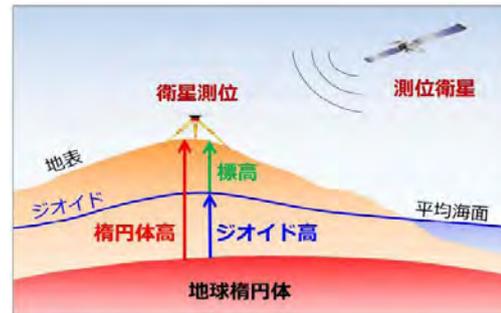


図7 標高・ジオイド高・楕円体高の関係



図8 日本水準原点



電子基準点



三角点



水準点

図9 国家基準点

図6の出典元

- ・ 地理院ホーム > 位置の基準・測量情報 > 国家座標 > 日本の測地系
- ・ https://www.gsi.go.jp/sokuchiki_jun/datum-main.html
- ・

図7及び図9の出典元

- ・ 地理院ホーム > 地図と測量の科学館 > これまでの企画展示 企画展 > 「日本の新しい標高を知ろう！」
- ・ https://www.gsi.go.jp/kohokocho/kohokocho20241223_00001.html
(<https://www.gsi.go.jp/common/000264059.pdf>)

図8の出典元

- ・ 地理院ホーム > 地図と測量の科学館 > これまでの企画展示 企画展 > 「日本の新しい標高を知ろう！」
- ・ https://www.gsi.go.jp/kohokocho/kohokocho20241223_00001.html
(<https://www.gsi.go.jp/common/000264060.pdf>)

2. 水準測量による標高決定（これまでの標高決定の方法）

ここからは「標高はどのように決めているのか？」について説明します。まずは、「水準点」や「水準測量」が大きな役割を担ってきたこれまでの標高決定の方法を説明します。

○水準点

水準点は高精度の標高の値を持った「国家基準点」です。国土地理院が管理する水準点は、一等水準点、二等水準点などがあります。全国の主要国道等に沿って約2km 毎に設置しており、各地点の高さを測るための基準として利用されています。（図9・10）

○水準測量

水準測量は、水準点の標高を求める測量のことであり、「レベル（水準儀）」を用いる水準測量と GNSS 測量機を用いるGNSS 標高測量があります。

レベルを用いる水準測量は、既設の水準点を使って新規の水準点の標高を高精度で求める測量です。双方の水準点上に立てた「標尺（長いものさし）」の目盛りを中間地点に水平に設置したレベルで正確に読み取って、2地点間の高低差を求めます。我が国の水準点の標高は、日本水準原点を起点として全国に網の目状に分布する水準点を順に測量することによって求められてきました。（図10・11）

○水準測量における誤差累積の課題

長期間にわたって水準測量を実施してきましたが、標尺間は最大約80mあります。繰り返して測量するので時間と費用を要し、全国を測量するには10年以上の歳月を要します。その間、地殻変動による誤差の累積が生じます。また、日本水準原点がある東京から離れるほど誤差が累積する特徴があります。

3. 標高決定の方法の移行

標高を決定する水準測量の課題について説明しました。そこで、国土地理院では、「衛星測位」を活用して標高を決定する方法に移行することにより、この課題の解消に取り組むことにしました。

○衛星測位という言葉が出てきましたが、衛星測位とは？

衛星測位とは、人工衛星を利用して地上の位置を計測するものです。「みちびき（日本）」「GPS（アメリカ）」「GLONASS（ロシア）」「Galileo（EU）」等の衛星測位システムが存在しています。総称として「GNSS（Global Navigation Satellite System：全球測位衛星システム）」と呼ばれています。（図12）

○衛星測位による標高決定の方法

衛星測位で得られる高さは、楕円体面からの高さである楕円体高です。楕円体高から標高を求めるには、楕円体高からジオイドまでの高さである「ジオイド高」を差し引く必要があります。（図7）

○ジオイド・モデルとその変更

ある地点でのジオイド高を与えるモデルを「ジオイド・モデル」と呼びます。「日本のジオイド2011」に代え、新しい「ジオイド2024 日本とその周辺」を令和7(2025)年4月1日に正式公開しました。

○「日本のジオイド2011」の構築方法

「日本のジオイド2011」は、「重力ジオイド」と「実測ジオイド」によって構築しました。重力ジオイドでは「衛星重力データ」「船上重力データ」「地上重力データ」等を使用しましたが、山岳部や沿岸部の重力データが少ない上、地上重力データの観測時期が古く精度も低かったことから、8cm程度の精度に留まっていた。これを補うため、同じ点上で楕円体高と標高を測って実測ジオイド高を求めて組み合わせました。しかしながら、水準測量を使うので、先ほど説明した課題の影響があったわけです。（図13）

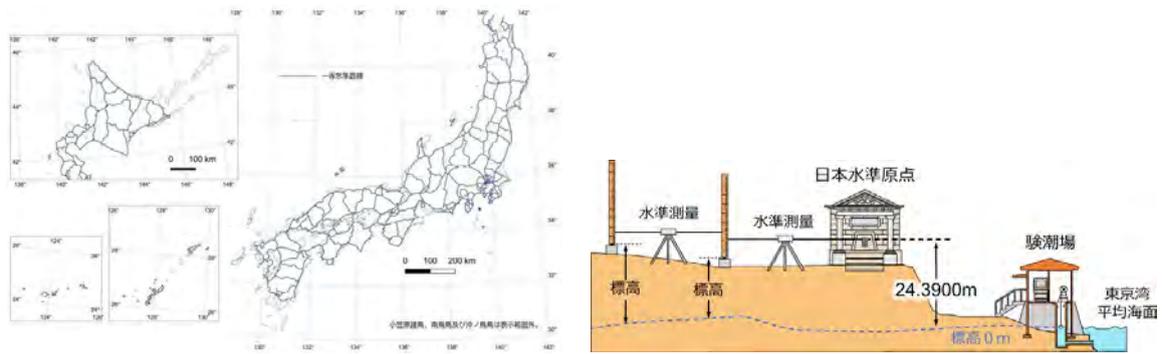
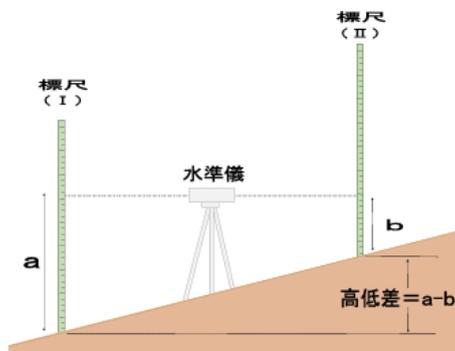


図10 水準路線図



大正7年の測量風景



図11 水準測量の仕組み



図12 衛星測位システム

図10及び図11の出典元

- ・ 地理院ホーム > 地図と測量の科学館 > これまでの企画展示 企画展 > 「日本の新しい標高を知ろう！」
- ・ https://www.gsi.go.jp/kohokocho/kohokocho20241223_00001.html
(<https://www.gsi.go.jp/common/000264060.pdf>)

図12の出典元

- ・ 地理院ホーム > 位置の基準・測量情報 > 電子基準点 > GNSS 測位とは
- ・ https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi_aboutGNSS.html

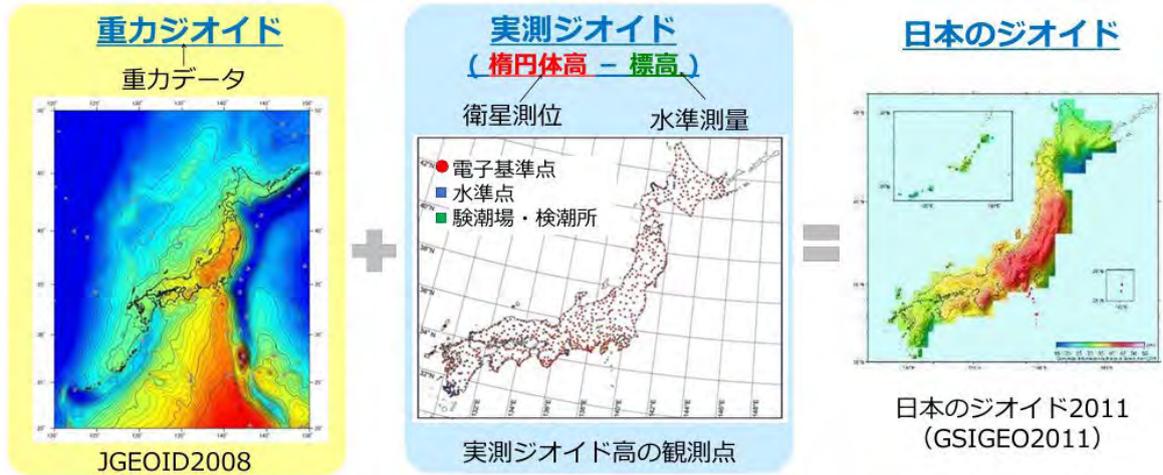


図 1 3 これまでのジオイド・モデル

図 1 4 航空重力測量の実施

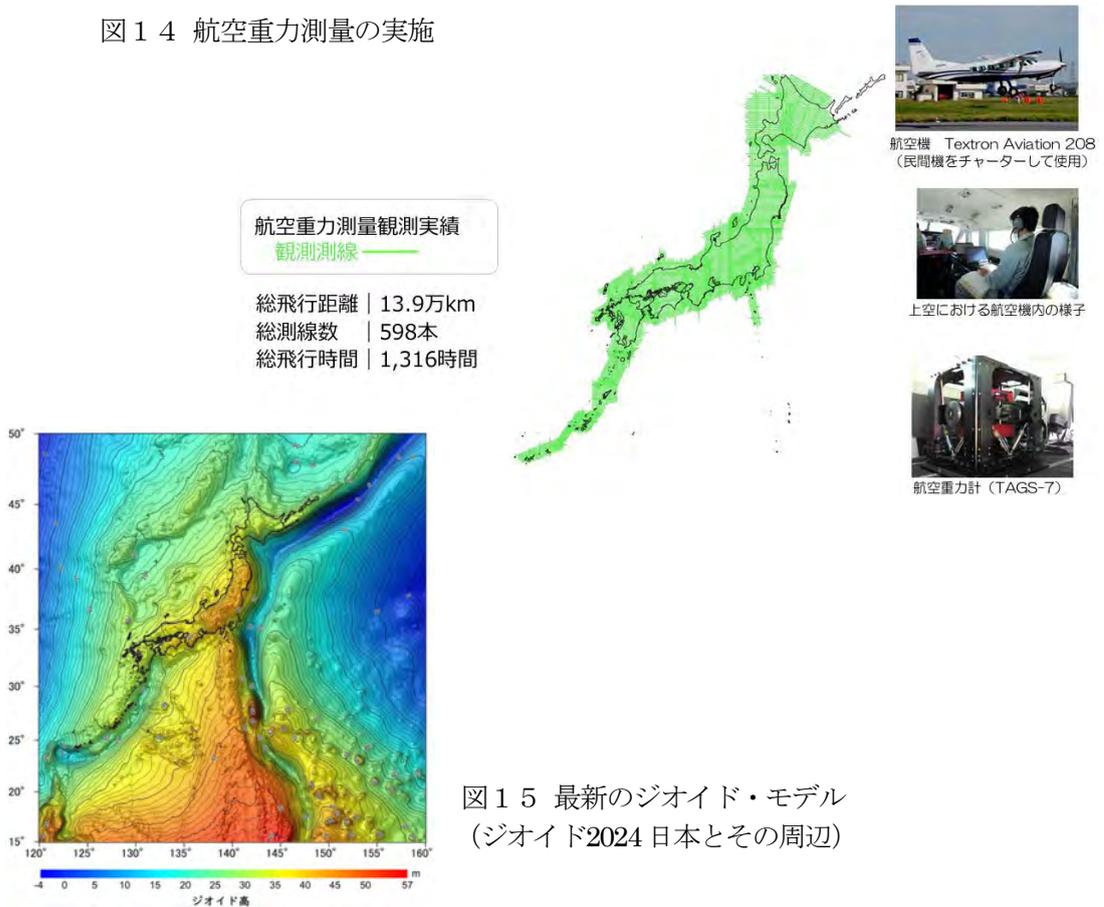


図 1 5 最新のジオイド・モデル
(ジオイド2024 日本とその周辺)

図 1 3～図 1 5 の出典元

- ・ 地理院ホーム > 地図と測量の科学館 > これまでの企画展示 企画展 > 「日本の新しい 標高を知ろう！」
- ・ https://www.gsi.go.jp/kohokocho/kohokocho20241223_00001.html
(<https://www.gsi.go.jp/common/000264059.pdf>)

○「ジオイド2024 日本とその周辺」の構築方法

これからの新しいジオイド・モデル「ジオイド 2024 日本とその周辺」は、重力データのみから構築しています。よって、地殻変動の累積により誤差が生じる、東京から離れると誤差が大きくなるといった課題は含まれません。精度は約3cmに向上しました。(図15・図16)

○全国の航空重力測量の終了

「ジオイド 2024 日本とその周辺」を構築できた大きな要因として、全国の「航空重力測量」が終了したことが挙げられます。令和元(2019)年度から4年間にわたって、総飛行距離13.9万kmに及ぶ航空機による重力値の測定を実施しました。(図14)

4. 衛星測位を基盤とする標高決定(新しい標高決定の方法)

令和7(2025)年4月1日に「ジオイド 2024 日本とその周辺」が正式公開され、衛星測位を活用した標高決定に移行しました。そして、「測量成果2011」から「測地成果2024」に改定されました。

○水準測量と衛星測位による標高決定の間の大きな違い

これまでの標高は日本水準原点からの水準測量によって構築されてきました。そして、電子基準点や水準点の標高成果はこれを元に整合させていました。(図17)

これからの標高は、標高の基準は日本水準原点で変わりませんが、衛星測位で得られる楕円体高とジオイド・モデルで得られるジオイド高から求められます。これまでとは逆に、電子基準点付属標から近傍の水準点等の標高成果を求めます。(図18)

○電子基準点の言葉が出てきましたが、電子基準点とは？

電子基準点は、GNSSからの測位信号を受信して位置を精密に決定する観測施設です。全国約1,300か所に設置され、24時間観測を行っています。外観は高さ5mほどのステンレス製ピラーで、上部にはアンテナ、内部には受信機や通信用機器が格納されています。基礎部には、電子基準点付属標と呼ばれる金属標が設置され、基準点として測量に利用できます。(図19)

○電子基準点で観測されたデータの処理

「GEONET (GNSS Earth Observation NETwork System: GNSS 連続観測システム)」で処理されます。GEONETは、全国約1,300か所に設置された電子基準点とGEONET中央局(茨城県つくば市)で構成され、電子基準点による24時間連続GNSS観測、観測データの集積、解析、データ提供を行っています。国土地理院が運用し、地殻変動の監視や位置情報サービスの支援に活用されています。(図20)

○標高成果の改定量

標高成果の改定量は、三角点と水準点で異なります。三角点の最大改定量は牡鹿半島で+57cm、知床半島で67cmに対し、水準点の改定量(試算)は最大で北海道道東で-40cm程度、因みに沖縄地方では最大-5cm程度を見込んでいます。(図21)

※執筆時点の令和7(2025)年3月現在、改定量は試算であって実際の改定量とは異なります。

衛星測位を基盤とする標高決定が実現できたことで、どんなことが期待できますか？

既述の課題解消が図れたのは勿論です。他にも、例えば平成28年熊本地震では、本震により測量成果を停止した電子基準点について、地震から約1か月後に緯度・経度及び楕円体高の測量成果を提供しましたが、高精度な標高成果の提供は更に時間がかかって約5か月後でした。今回、全国の標高成果を改定して衛星測位を基盤とする標高体系になったことで、電子基準点の高精度な標高成果は衛星測位で得られる楕円体高と「ジオイド 2024 日本とその周辺」で決定できるため、楕円体高と同じタイミングでの提供が可能になります。(図22)

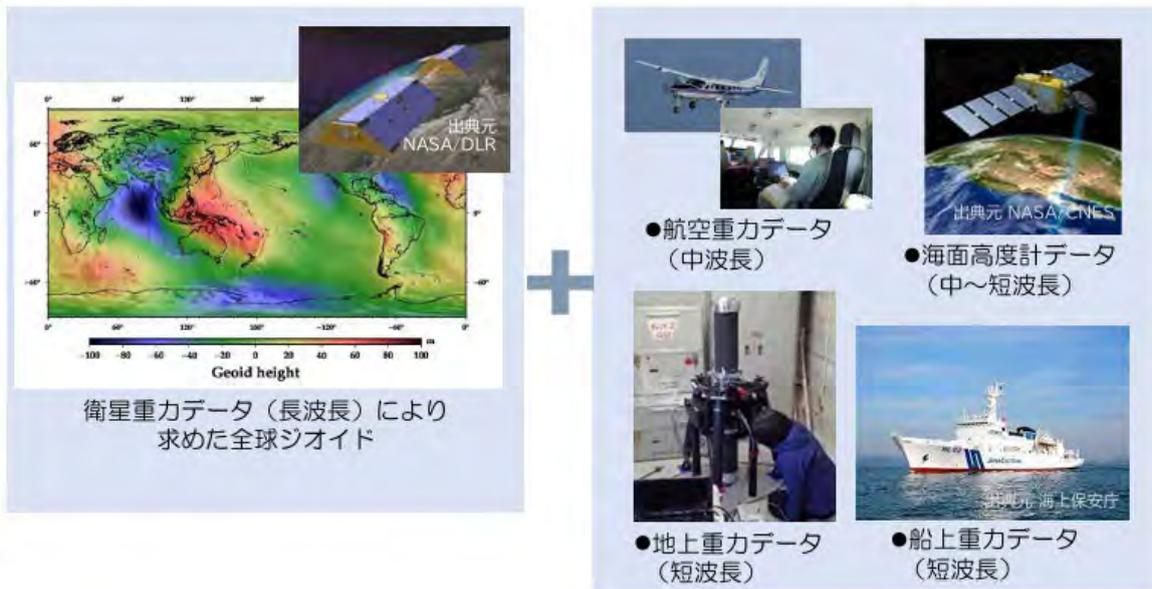


図 1 6 最新のジオイド・モデルの構築方法

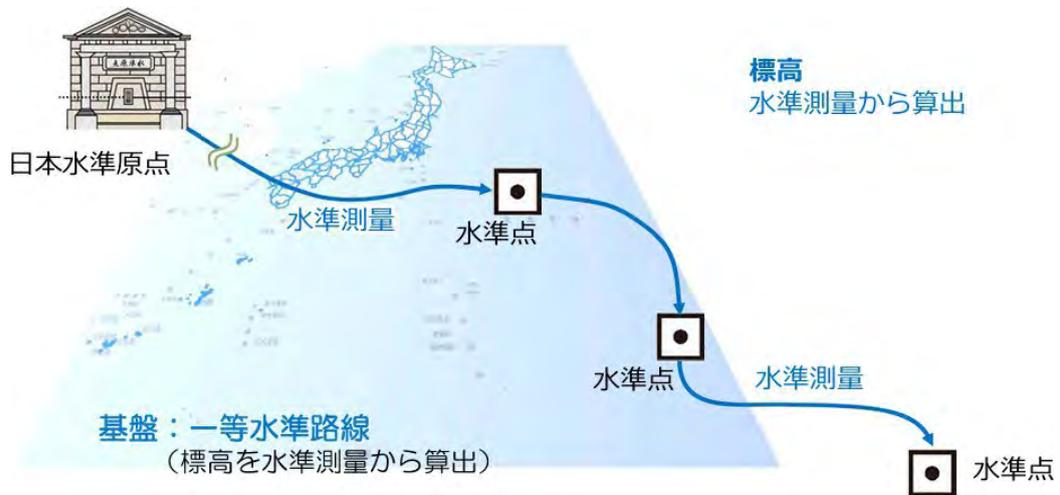


図 1 7 水準測量を基盤とする標高体系（これまで）

図 1 6 及び図 1 7 の出典元

- ・ 地理院ホーム > 地図と測定の科学館 > これまでの企画展示 企画展 > 「日本の新しい標高を知ろう！」
- ・ https://www.gsi.go.jp/kohokocho/kohokocho20241223_00001.html
(<https://www.gsi.go.jp/common/000264059.pdf>)

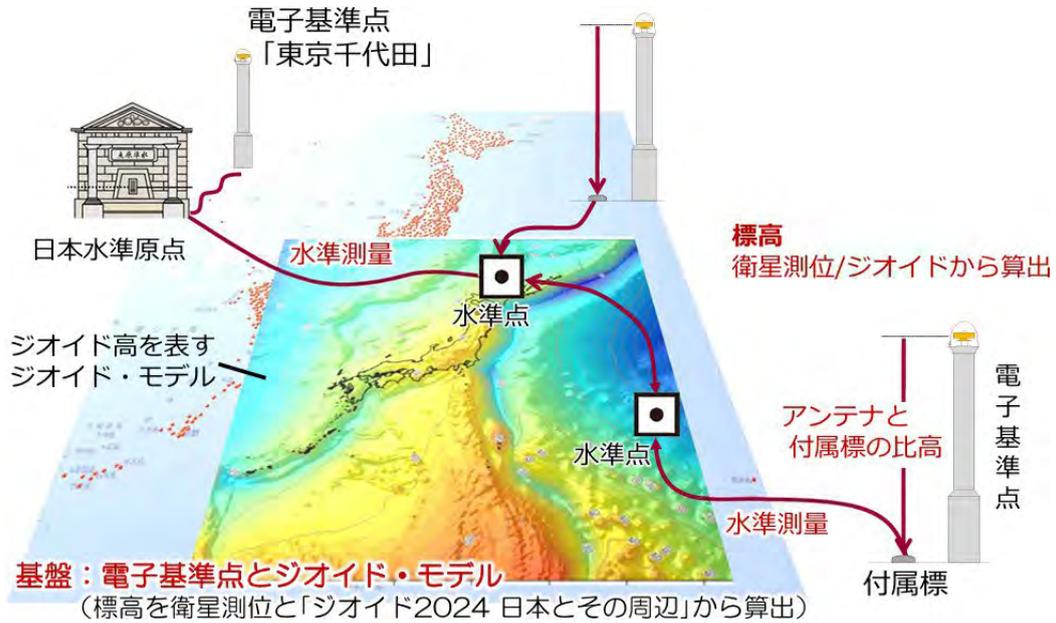


図 1 8 衛星測位を基盤とする標高体系



図 1 9 主な電子基準点の外観



図 2 0 GEONET (GNSS連続観測システム)

図 1 8 の出典元

- ・ 地理院ホーム > 地図と測量の科学館 > これまでの企画展示 企画展 > 「日本の新しい 標高を知ろう！」
- ・ https://www.gsi.go.jp/kohokocho/kohokocho20241223_00001.html
(<https://www.gsi.go.jp/common/000264059.pdf>)

図 1 9 の出典元

- ・ 地理院ホーム > 位置の基準・測量情報 > 電子基準点 > 電子基準点とは
- ・ https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi_about_GEONET-CORS.html

図 2 0 の出典元

- ・ 地理院ホーム > 位置の基準・測量情報 > 電子基準点 > GEONET (GNSS 連続観測システム) とは
- ・ https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi_38136.html

5. 標高データの利用

「どのように利用されているのか？」について説明します。水準点等は標高の基準であり、各種測量で活用されることは勿論です。ただし、私達が身近に利用する観点からいえば、点で分布した水準点等での標高の値よりむしろ面的に整備された標高データなどの方が馴染み深いかもしれません。最初に紹介した土地の3D表示や断面図作成でもこの面的な標高データを活用しています。

通常、この高精度の標高データは「三次元点群データ」あるいは「精密標高データ」「数値地形図モデル」などと呼ばれ、「レーザスキャナ」という機器を使って計測・整備します。航空機、自動車や「ドローン」と呼ぶ小型無人飛行機に搭載、あるいは地上に据え付ける等、目的や精度に応じて色々な計測方式があります。標高の基準に水準点等の値を参照するので、「ジオイド2024 日本とその周辺」は大きく寄与します。

6. 様々な分野の作業におけるドローンを使った効率化

最後に、作業の効率化が図れることで注目が集まっているドローンについて紹介します。測量はもとより物流、農業、点検・メンテナンス等、様々な分野でドローンが幅広く活用されています。例えば、

- 農業：ドローンは小回りが利くので、山間部周辺などの小規模農場における農薬散布が可能になる。
- 物流：ドローンを使った無人の配送が可能になれば、ドライバー不足の改善策にもつながる。
- 点検・メンテナンス：目視が難しい高所の点検を活用すれば、足場や交通整理の負担解消になる。

といった様々な分野で作業の効率化や生産性の向上が図れ、新サービスの創出も期待できます。(図23)

勿論、ドローンの活用は測量における計測や撮影でも期待できます。例えば国土交通省では、「ICT (=Information and Communication Technology: 情報通信技術)」等を建設現場に導入して建設生産システム全体の生産性向上を図る取組として、「i-Construction (アイ・コンストラクション)」の取組を推進しています。ドローン、レーザスキャナが活躍し、高精度な断面図や三次元地図を作成します。(図24)

おさらい

東京湾の平均海面を仮想的に陸地へ延長した面であるジオイドを基準面として測られる高さが標高であり、その基準として水準点があります。高精度な値が付与された水準点が全国に設置され、全国のあらゆる地点の標高は、日本水準原点を起点にした水準点をベースに測られてきました。一方で、長期間にわたる水準測量の結果、地殻変動により誤差の累積が生じる、日本水準原点から離れるほど誤差が大きくなるといった課題が顕著になりました。

そこで、衛星測位を活用して標高を決定することによって、これらの課題の解消が図れました。ただし、衛星測位で得られる高さは楕円体高なので、楕円体高から標高を求めるには楕円体からジオイドまでの高さであるジオイド高を差し引く必要があります。新しいジオイド・モデル「ジオイド 2024 日本とその周辺」が令和7(2025)年4月1日に正式公開され、これを活用することによって全国のあらゆる地点における標高を高精度に求めることが可能になりました。

【参考URL】 ※執筆時点の令和6(2024)年3月現在におけるURLであり、以後に変更があり得ます。

- ・ 地理院地図 <https://maps.gsi.go.jp/help/intro/>
- ・ 国家座標 https://www.gsi.go.jp/sokuchiki_jun/kokkazahyo-top.html
- ・ 水準点 https://www.gsi.go.jp/sokuchiki_jun/sui_jun-top.html
- ・ 電子基準点 <https://www.gsi.go.jp/eiseisokuchi/eiseisokuchi41012.html>
- ・ 全国の標高成果の改定【予告】 https://www.gsi.go.jp/sokuchiki_jun/hyoko2024rev.html
- ・ 「地図と測量の科学館」これまでの企画展示 <https://www.gsi.go.jp/MUSEUM/SOUGO/backnumber.html>
- ・ i-Construction <https://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/index.html>

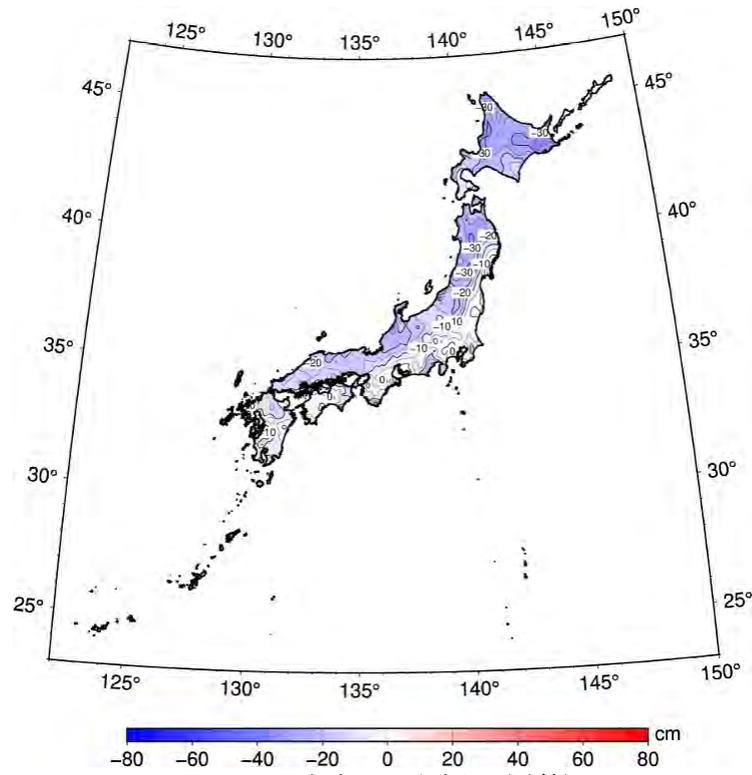


図 2 1 標高成果の改定量 (試算)

【例】平成28年熊本地震



図 2 2 衛星測位を基盤とすることで標高成果の早期利用が可能に

図 2 1 の出典元

- ・ 地理院ホーム > 地図と測量の科学館 > これまでの企画展示 企画展 > 「日本の新しい標高を知ろう！」
- ・ https://www.gsi.go.jp/kohokocho/kohokocho20241223_00001.html
(<https://www.gsi.go.jp/common/000264059.pdf>)

図 2 2 の出典元

- ・ 地理院ホーム > 位置の基準・測量情報 > 基準点成果の取扱い > 全国の標高成果の改定【予告】
- ・ <https://www.gsi.go.jp/sokuchiki.jun/hyoko2024rev.html>

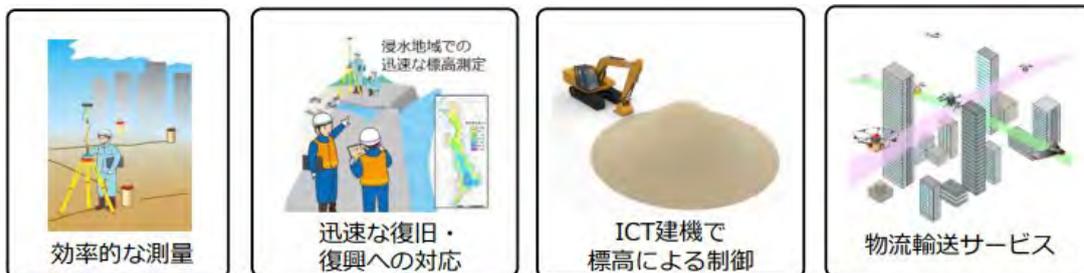


図 2 3 標高成果の改定により期待できること

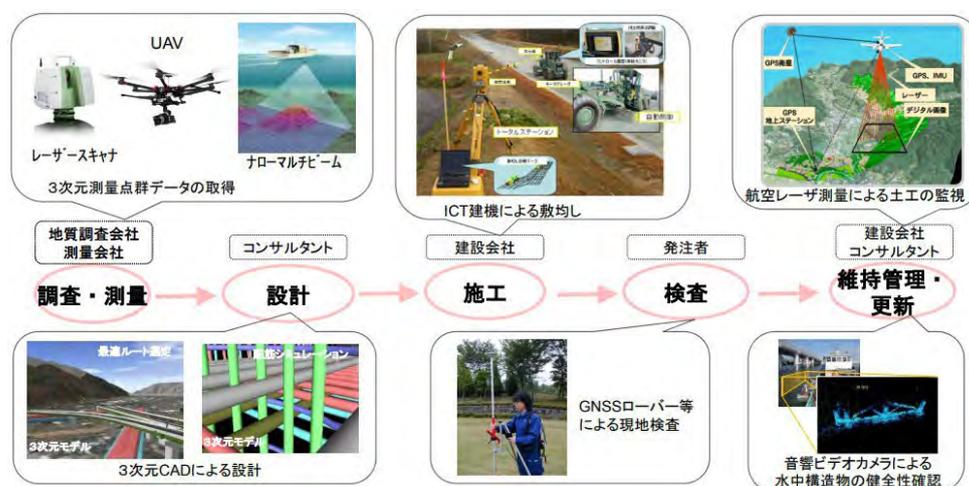


図 2 4 i-Construction で示された建設生産プロセス

【図 2 4 の出典】 i-Construction 委員会 報告書 (概要資料)

図 2 3 の出典元

- ・ 地理院ホーム > 地殻変動や累積誤差を含まない 標高基準が完成—「ジオイド2024日本とその周辺」(試行版) の公開—
- ・ https://www.gsi.go.jp/buturisokuchi/buturisokuchi_202403.html
(<https://www.gsi.go.jp/common/000256573.pdf>)

図 2 4 の出典元

- ・ 国土交通省ホーム > 政策・仕事 > 技術調査 > i-Construction
- ・ <https://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/index.html>
(<https://www.mlit.go.jp/common/001137123.pdf>)