平成30年6月6日
第47回国土地理院報告会

明治以来の標高の仕組みを大転換

－いつでも・どこでも・誰でも信頼できる標高が使える社会へ－

測地部　物理測地課長
矢萩　智裕

Contents

- これまでの標高の仕組みと課題
- 現在のジオイドと課題
- 新たな標高の仕組みへ
- まとめ

我が国における「高さ」の基準

測量法第十一条（測量の基準）

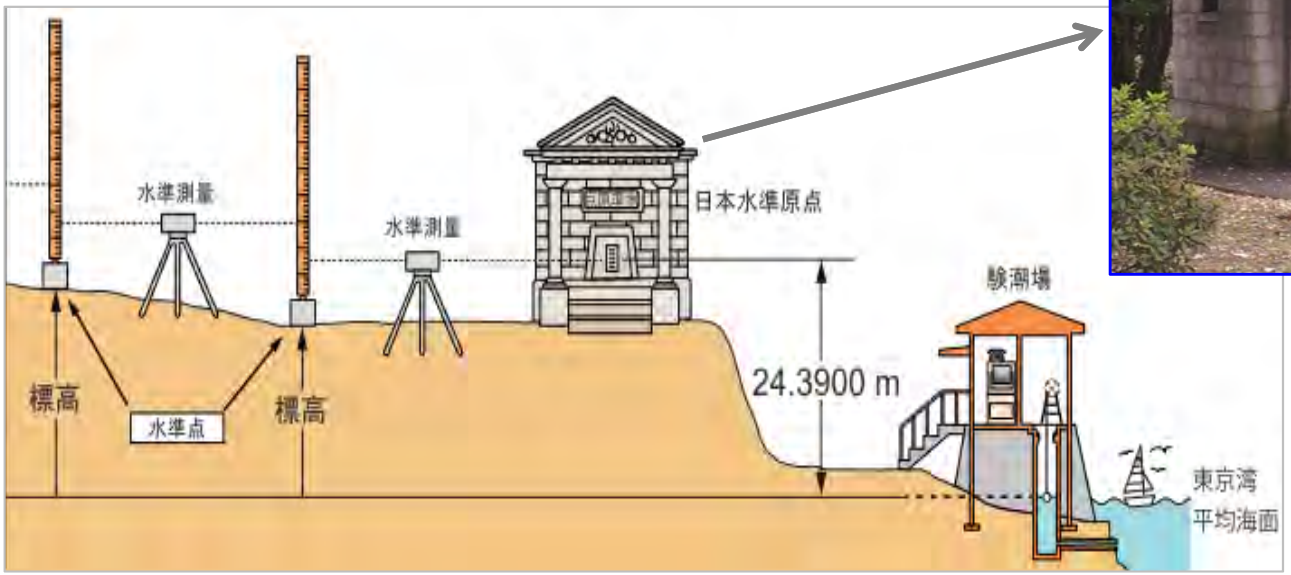
これが「標高」

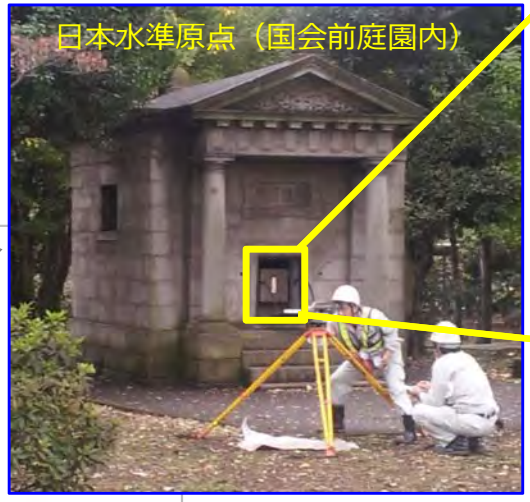
- 位置は、地理学的経緯度及び平均海面からの高さで表示
- 測量の原点は、日本経緯度原点及び日本水準原点

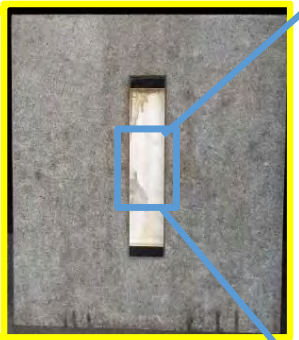
測量法施行令第二条２の二

- (水準)原点数値 東京湾平均海面※上 24.3900m
  （ゼロ目盛高さ）

※東京湾（霊岸島）の潮位観測から決定
（現在は油壺験潮場（三浦市）からの測量で管理）







水晶板目盛

ゼロ目盛

原点数値の変遷

明治24年：24.5000m
大正12年：24.4140m ←関東大震災
平成23年：24.3900m ←東日本大震災

霊岸島量水標跡

日本の標高の基準を決めた場所

→1873～79年の潮位観測結果から決定

→日本水準原点へ取付け
　全国の高さの基準に

現在の標高の仕組み

水準測量によって標高を決定

→1883年から実施

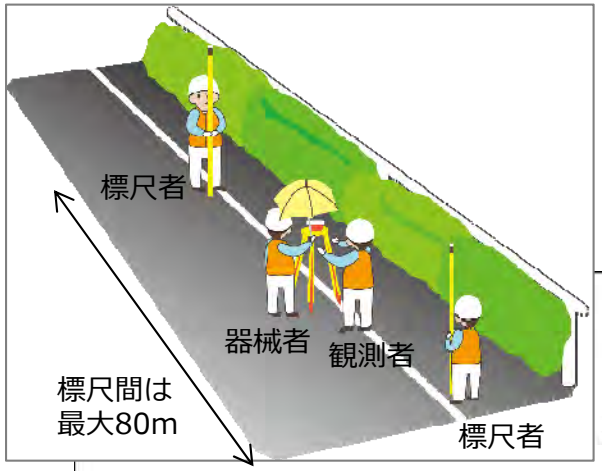
→約1.7万点の水準点を設置

→全国の測量に10年以上かかる

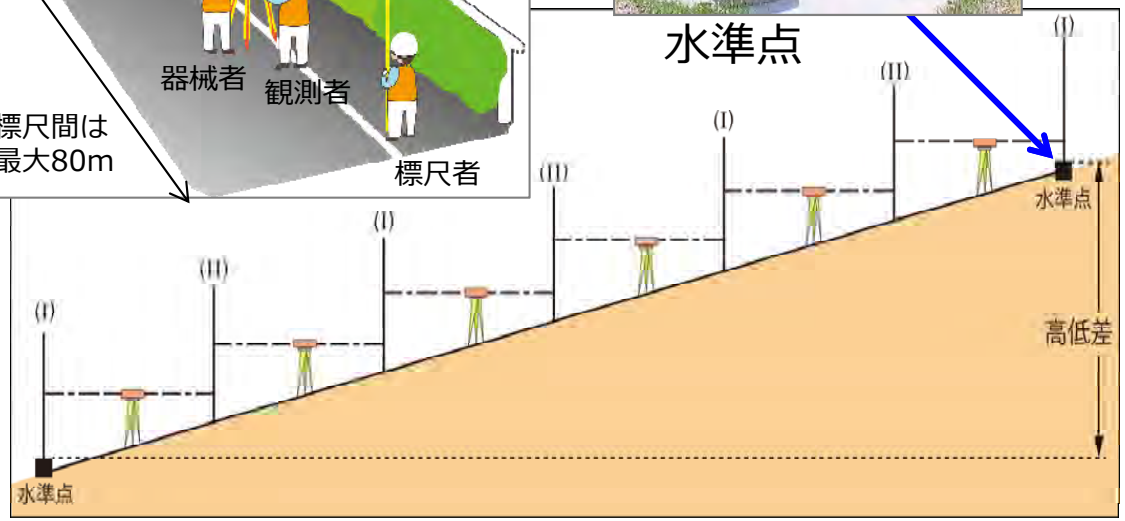
経緯度と標高は別体系で管理

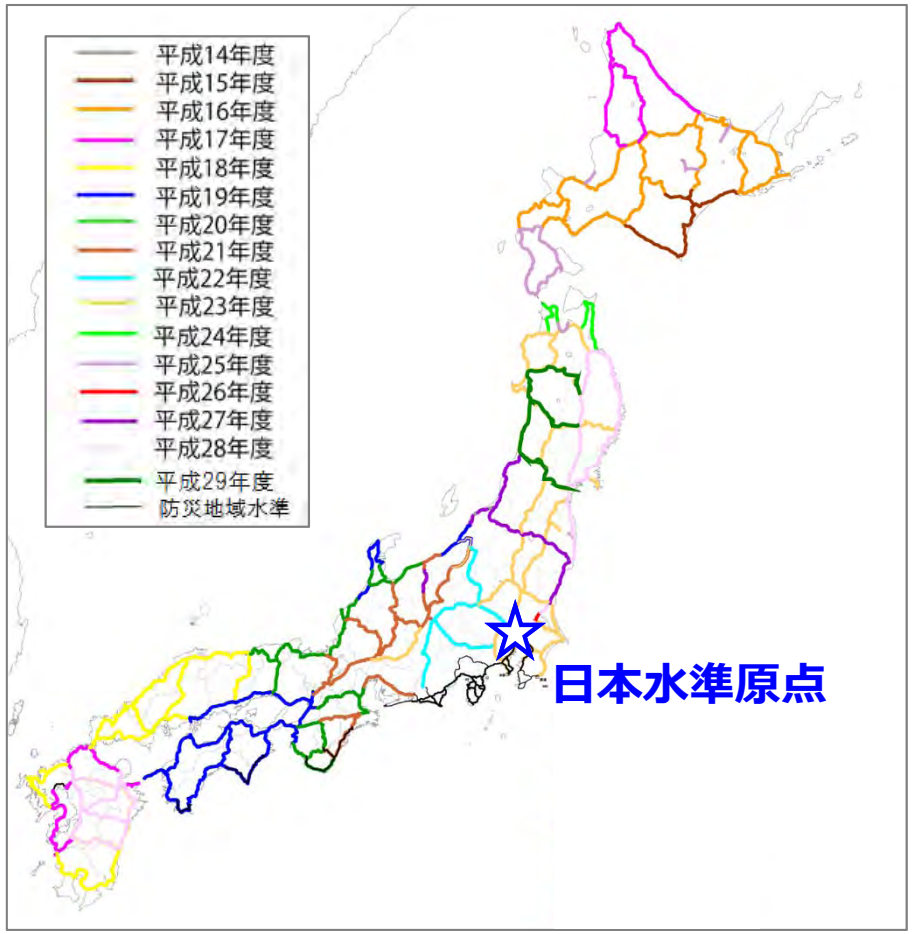
→距離と角度では決まらない

→**重力**の影響を考慮する必要



水準点





年度別の水準測量の実施状況

水準測量の流れ

- ２測点に物差し（標尺）を設置し、中央に水準儀を置いて高低差を観測
  →最大80m間隔で繰り返す
- 様々な補正を行い比高を算出
- 約2km毎の水準点標高を順次決定

「標高」とは何か？

- 物体は高い場所から低い場所へ落ちる（日常感覚）
  ※「落ちる」： 重力による位置エネルギーの小さい場所に運動すること
- **重力の方向に沿って物体が落ちる高さ ＝ 標高**
- 水の流れを知るために必要。水が流れた先では水面ができる。
- 最も広い水面(＝海面)の平均を**標高の基準（ジオイド）**と設定
  ※**「標高の基準」＝「平均海面」＝「ジオイド（geoid）」**

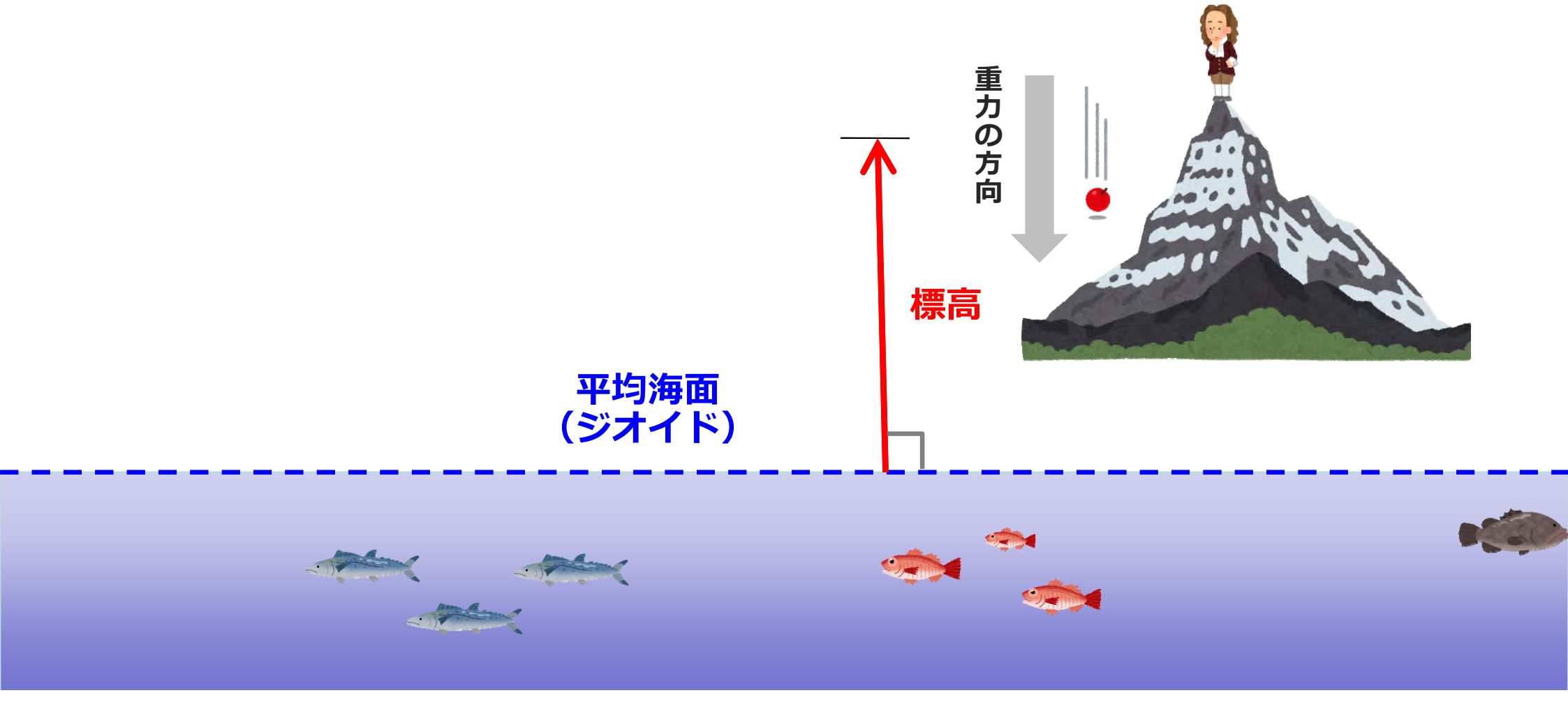
標高

＝平均海面から重力の方向に沿って測った高さ

標高に対する重力の影響

もし重力が一様だったら…

→**平均海面（ジオイド）**は一定



標高に対する重力の影響

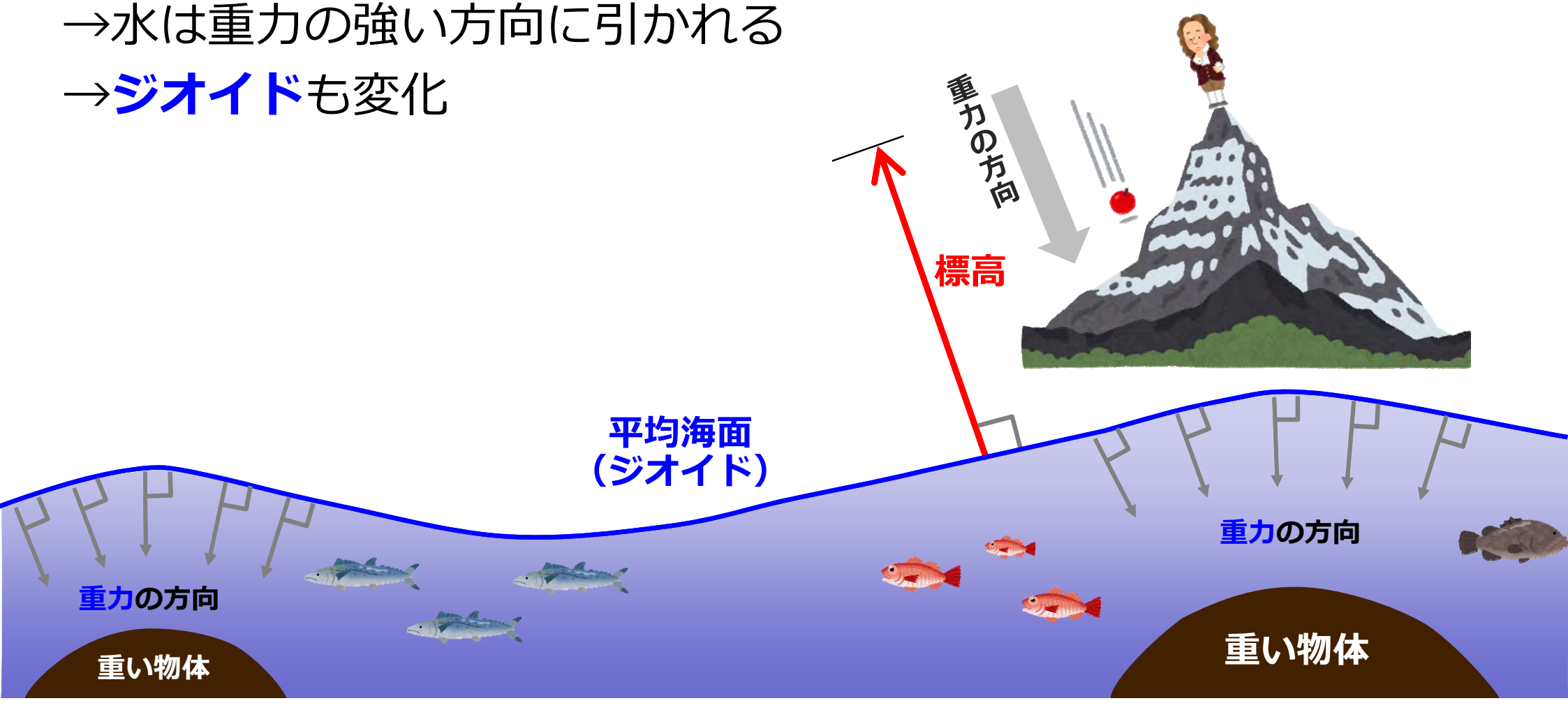
もし重力が一様だったら…

→**平均海面（ジオイド）**は一定

しかし実際には重力は場所によって変化

→水は重力の強い方向に引かれる

→**ジオイド**も変化



標高に対する重力の影響

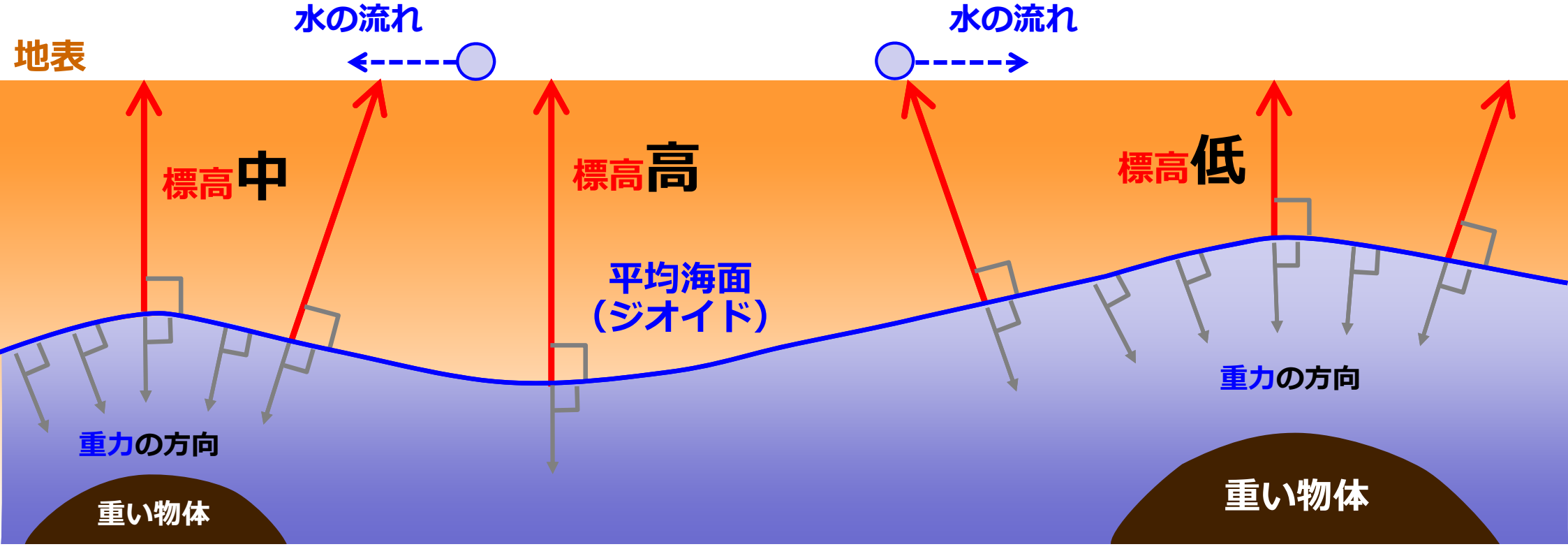
内陸におけるジオイド

→地下のどこかに**平均海面**の延長が存在 ＝ **ジオイド**

ジオイドから地表までが標高

→地表が平面に見えても標高が一定とは限らない…

標高やジオイドの把握には重力の情報が不可欠



衛星測位による地表の幾何学的な高さ

楕円体高

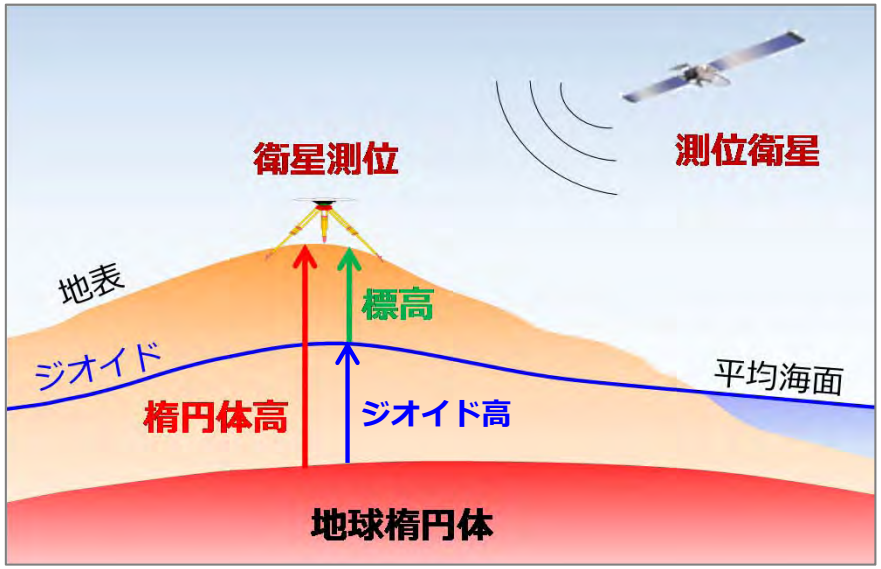
＝地球楕円体※面から地表までの高さ

←**衛星測位**によって決定

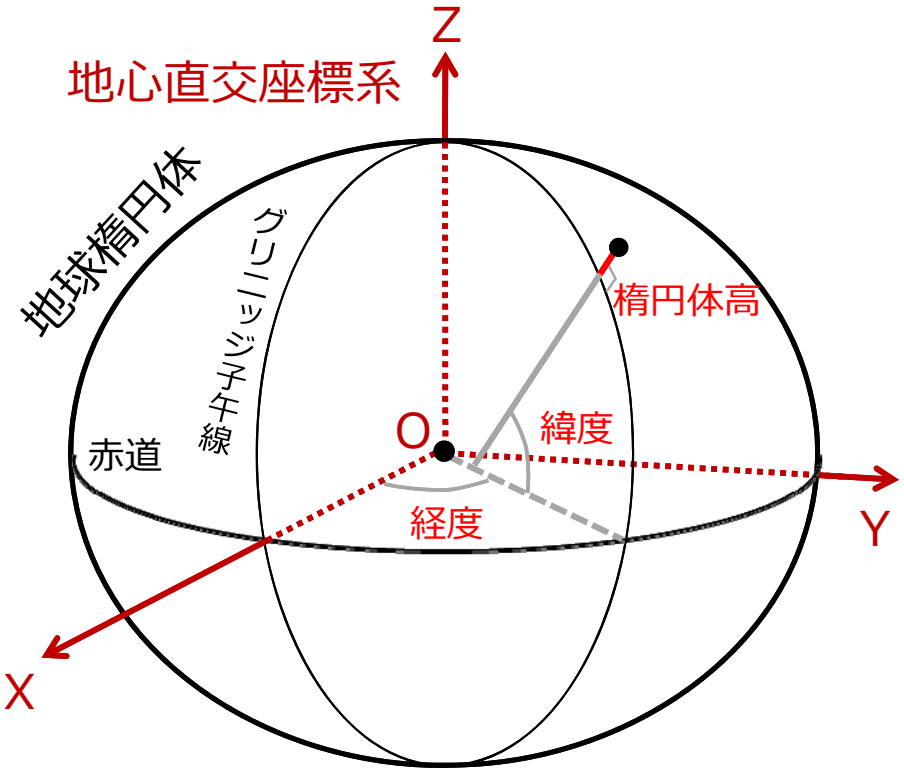
※地球楕円体

回転する楕円としてモデル化した地球

幾何学的に定義



標高と楕円体高の関係



衛星測位結果の
地心直交座標（X, Y, Z）を
（緯度, 経度, **楕円体高**）へ換算

地球楕円体面を基準にすることで
ジオイドの凹凸も表現可能

楕円体面～ジオイドの高さ→ジオイド高

3つの「高さ」の関係

標高 ＝ 楕円体高 － ジオイド高

❑ 標高

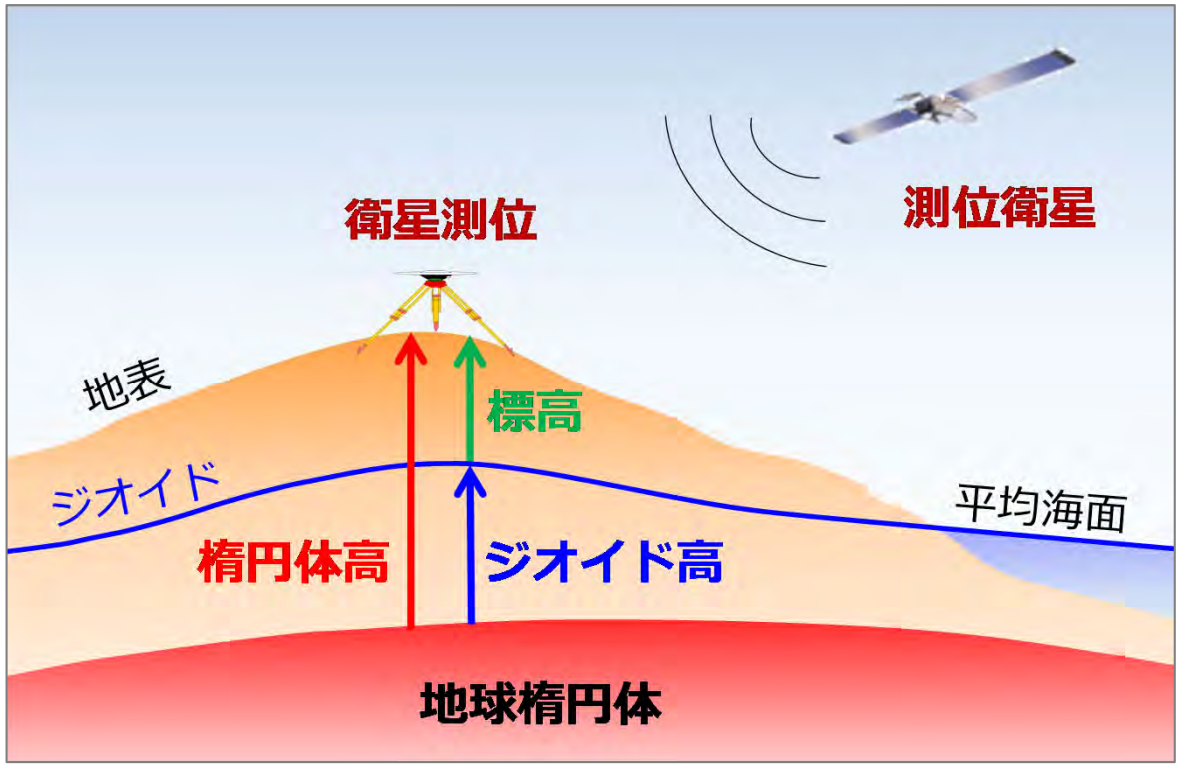
- ジオイドに対する地表の高さ
- 水の流れにつながる
- 水準測量で計測

❑ 楕円体高

- 地球楕円体面に対する地表の高さ
- モデルで表現可能
- 衛星測位で計測

❑ ジオイド高

- 地球楕円体面～ジオイドの高さ
- 標高の基準の起伏を表現
- 重力データ等から計算

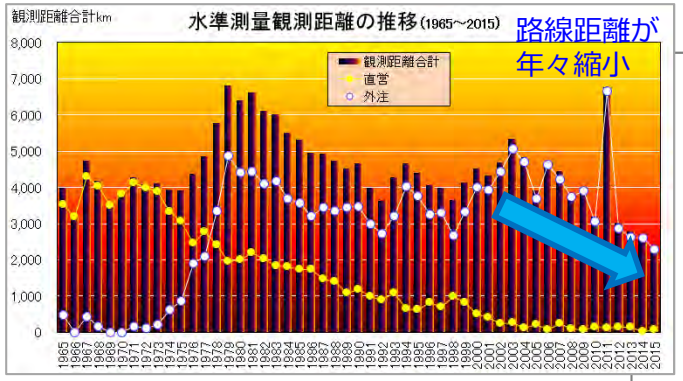


標高, 楕円体高, ジオイド高の関係

現在の標高の仕組みが抱える課題

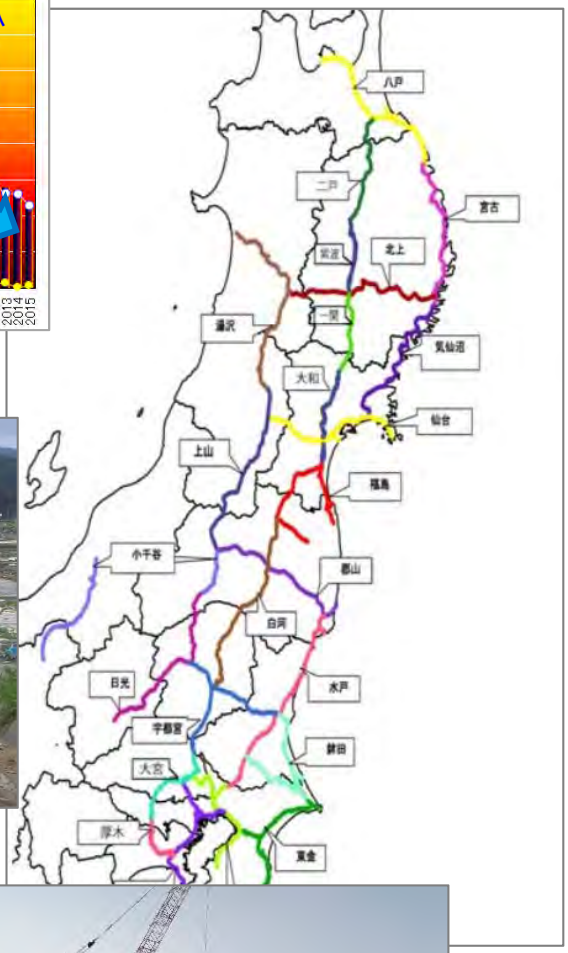
時間/費用/利便性の問題

- 全国の測量に10年以上
- 予算減に伴う観測距離の縮小
- 利用者は水準点から追加で水準



水準測量観測距離の推移

東日本大震災後の
水準改測路線



災害対応の問題

- 大地震直後の更新は困難
  →迅速な復旧･復興に支障
  ※H23東日本大震災：改定まで約7ヶ月
  H28熊本地震：改定まで約4ヶ月
- 南海トラフや首都直下地震の懸念

東日本大震災後の水準測量

精度の問題

- 距離や海峡に伴う誤差の蓄積
- 地殻変動に伴う現況との乖離

相馬港における護岸工事

より効率的に標高が決められないか？

→ 水準測量から衛星測位へ

Contents

・これまでの標高の仕組みと課題

・**現在のジオイドと課題**

・新たな標高の仕組みへ

・まとめ

衛星測位による標高決定のために

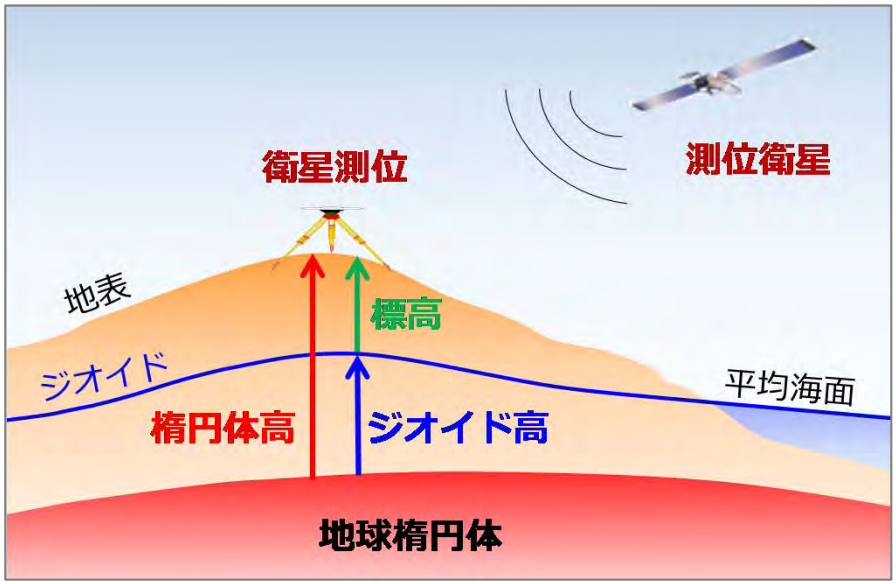
標高 ＝ 楕円体高 － ジオイド高

標高の精度は、

①楕円体高

②ジオイド高

の精度で決まる！



衛星測位で標高を決めるためのポイント

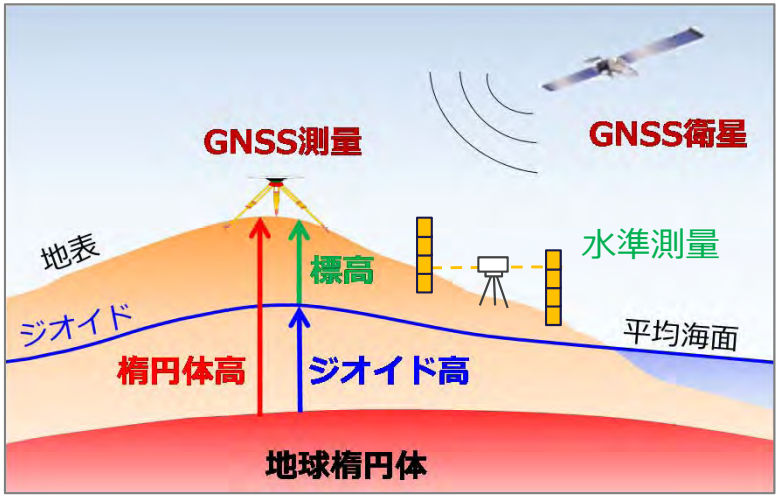
→精密なジオイド高の整備

ジオイドの決め方

① 実測ジオイド

衛星測位による楕円体高から
水準測量による標高を減じて直接算出

長所：短距離であれば精度が高い。
短所：時間と費用が多く要する。
限られた場所しか計測できない。
長距離になるほど精度が劣化する。

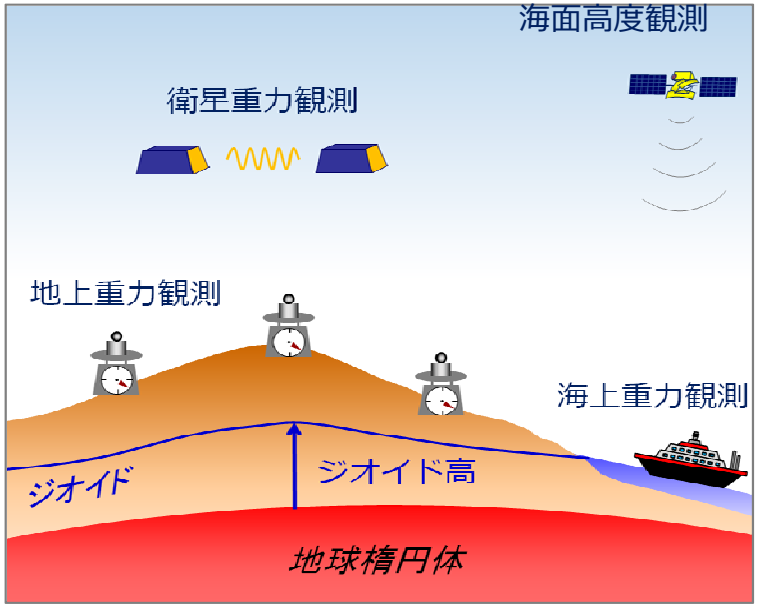


ジオイド高 ＝ 楕円体高 － 標高

② 重力ジオイド

衛星・地上・海上で計測した
重力データを全球空間積分して算出

長所：広い領域を効率的に計測できる。
短所：精度は重力データの品質と量に依存する。
複雑な計算処理を要する。



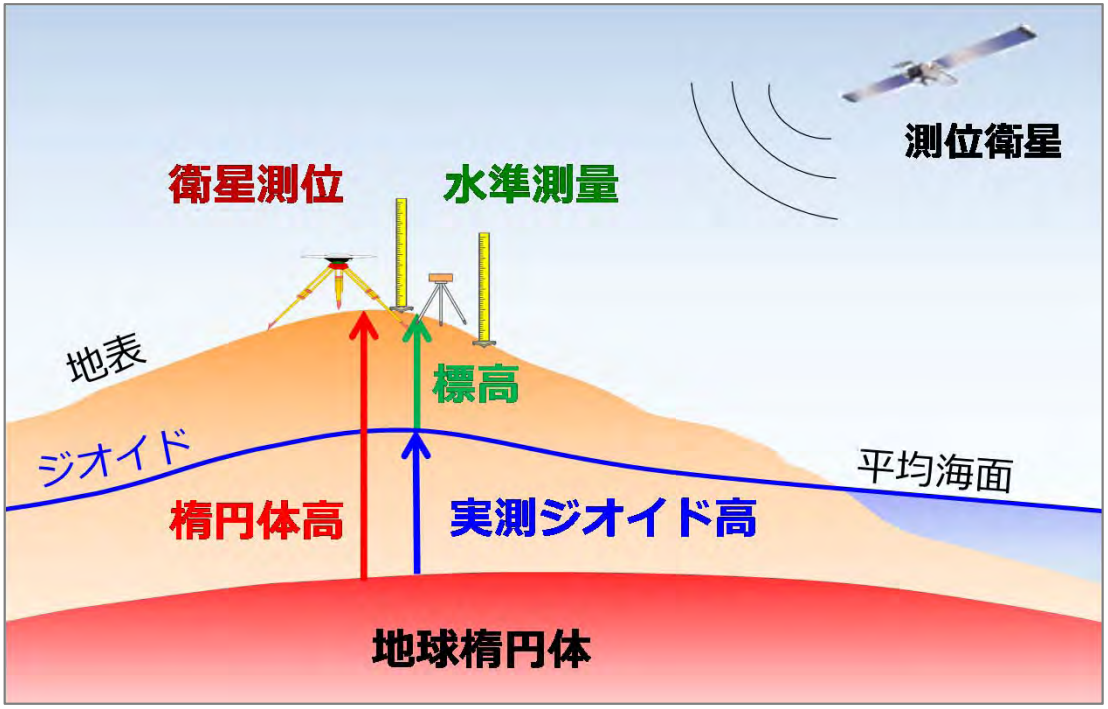
ジオイドの構築方法①（実測ジオイド）

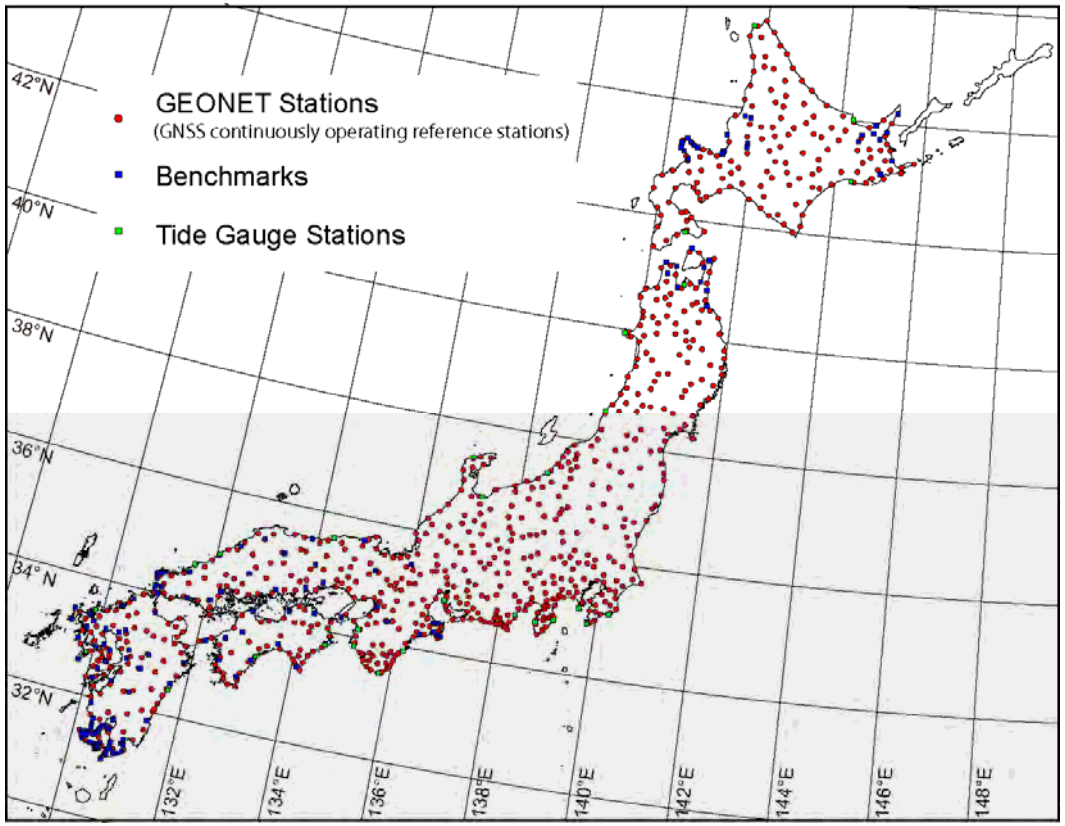
標高が分かっている基準点等で衛星測位を実施

→（楕円体高－標高）から実測ジオイドを算出

※高精度だが算出には衛星測位と水準測量の両方が必要

実測ジオイド
＝ 楕円体高(衛星測位) － 標高(水準)

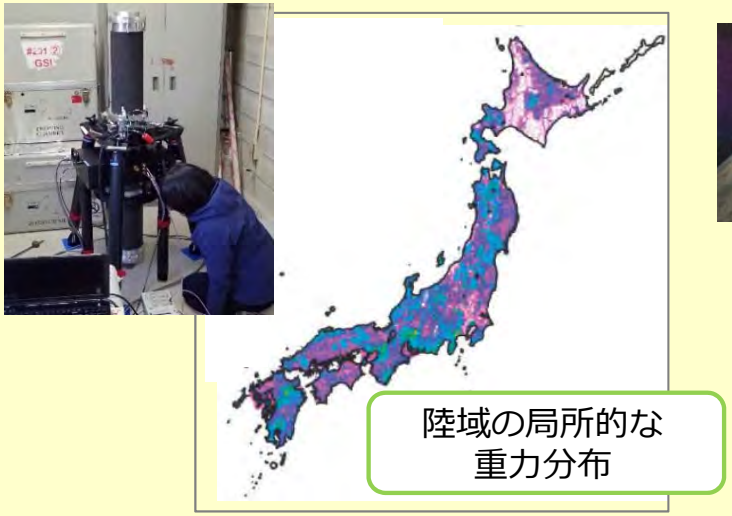




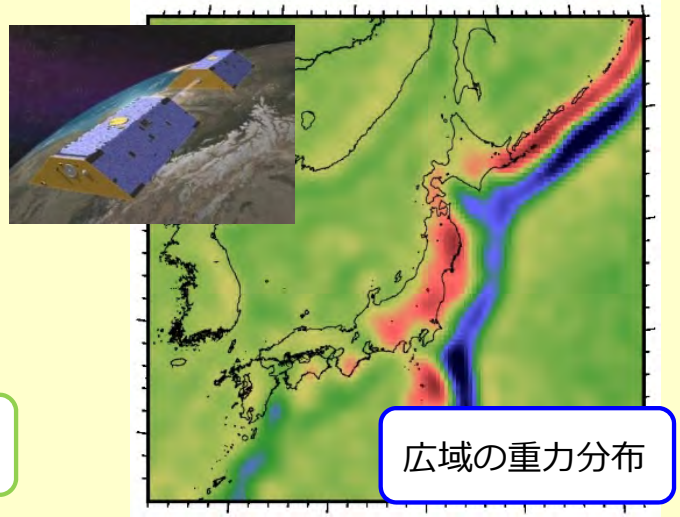
実測ジオイドの観測点

ジオイドの構築方法②（重力ジオイド）

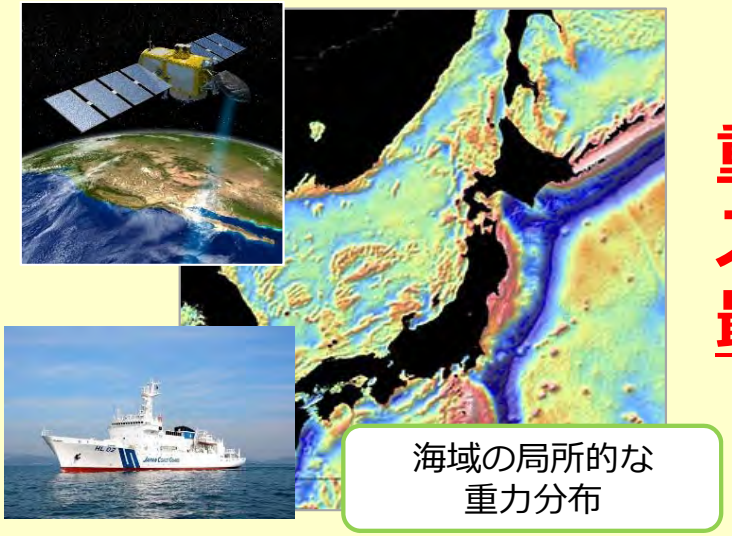
様々な重力データを利用して計算



地上重力データ



衛星重力データ

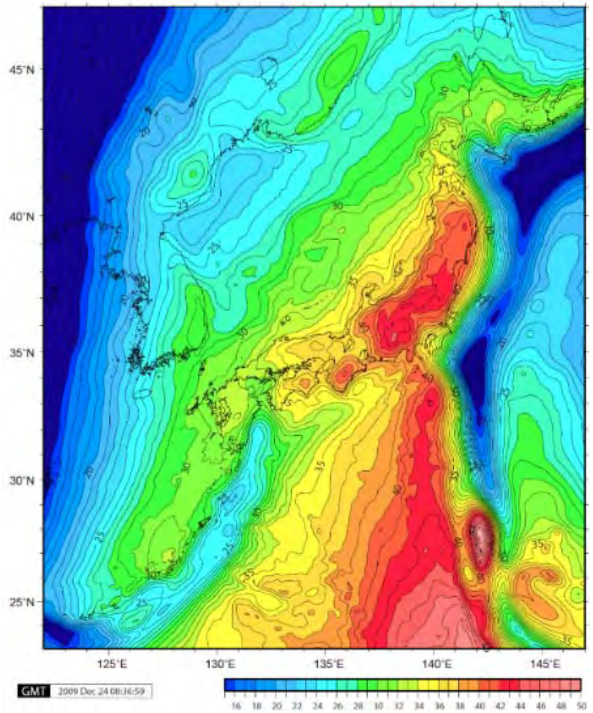


海上重力データ
（衛星海面高度計・験潮）

重力データの
ストークス積分により
最も調和的な値を算出

$$N = \frac{R}{4\pi\gamma}\iint_{\sigma} \Delta g S(\psi)\, d\sigma,$$

重力ジオイド



JGEOID2008

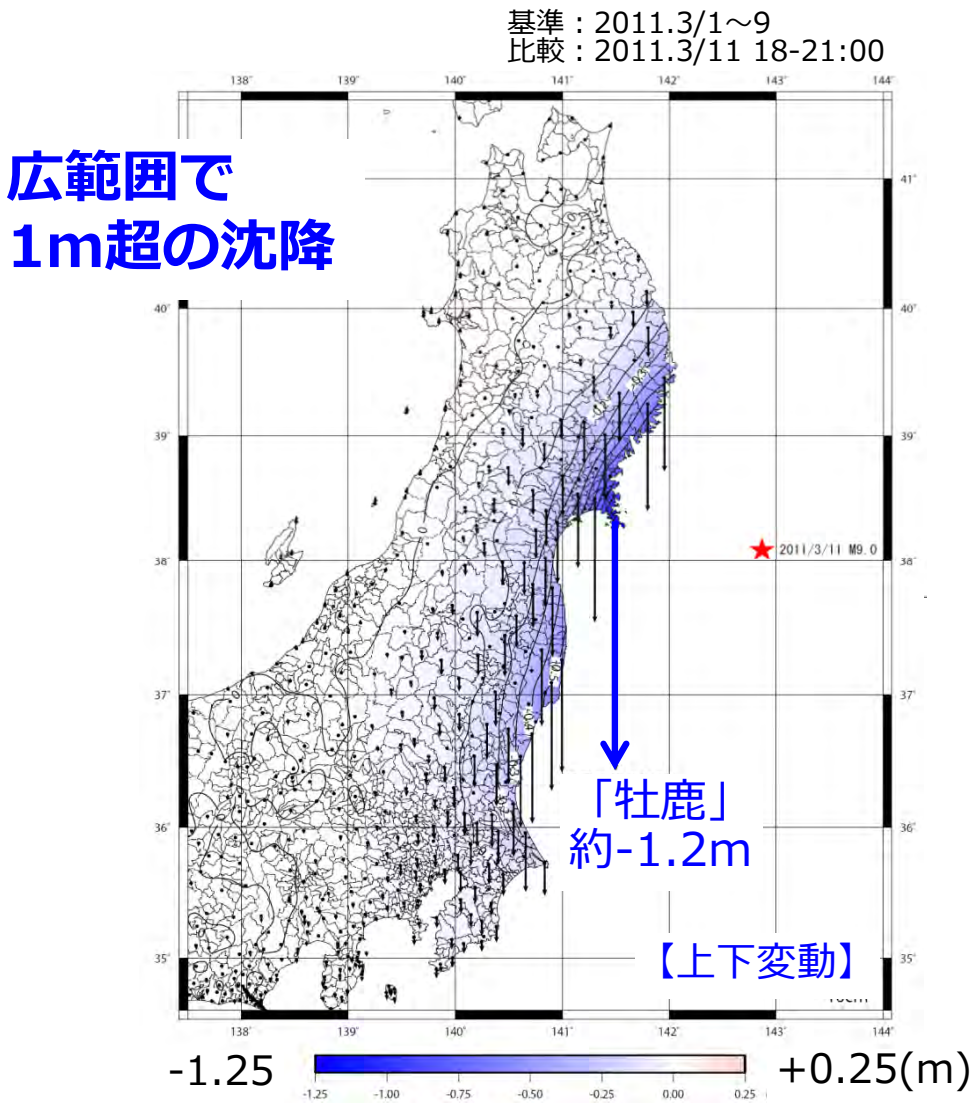
実測ジオイドとの差

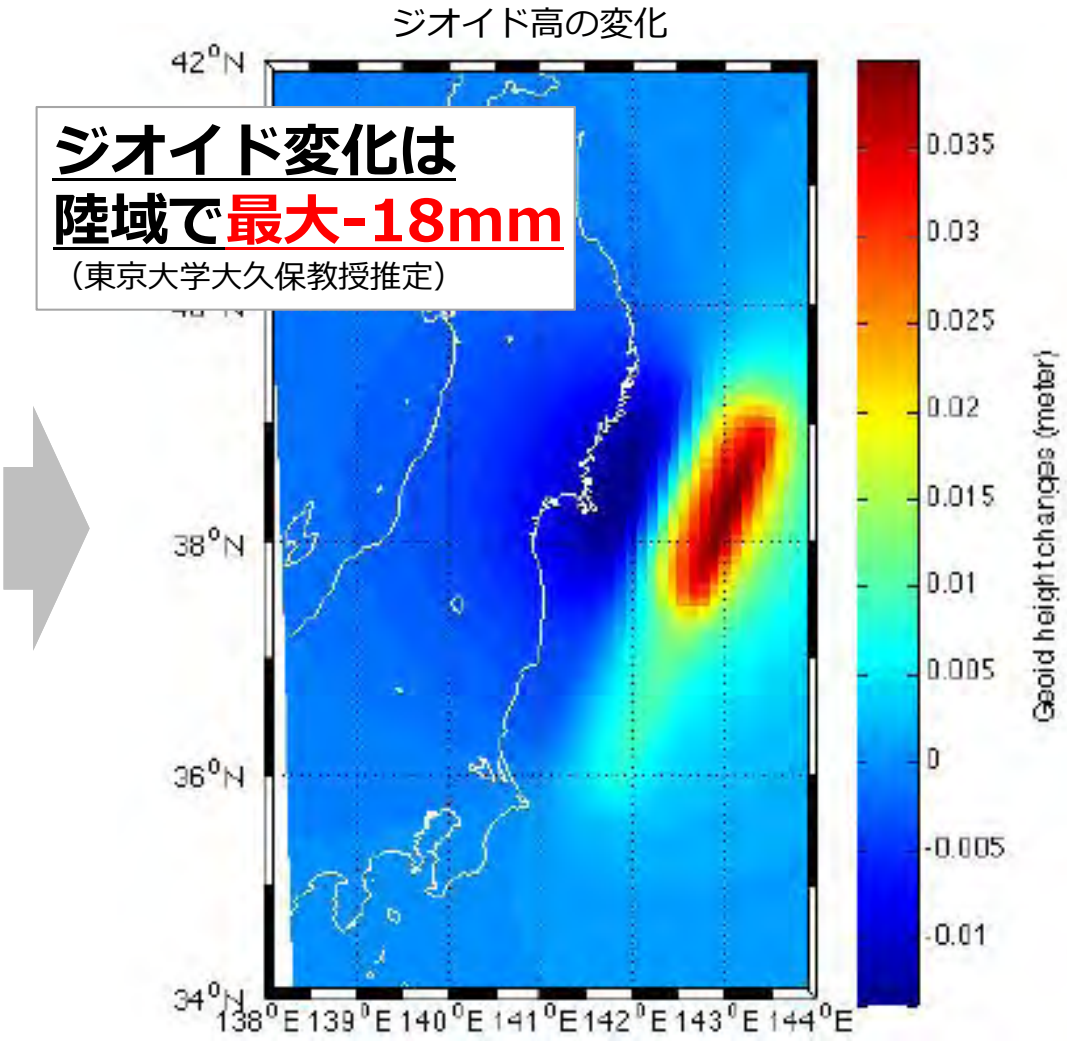
平均　　：**-20.2cm**

標準偏差：　**8.4cm**

重力ジオイドの特徴

重力ジオイドは地表の上下変動に対し非常に安定





2011年東日本大震災時の上下方向の地殻変動量及び推定されたジオイド高の変化

現在の日本のジオイド

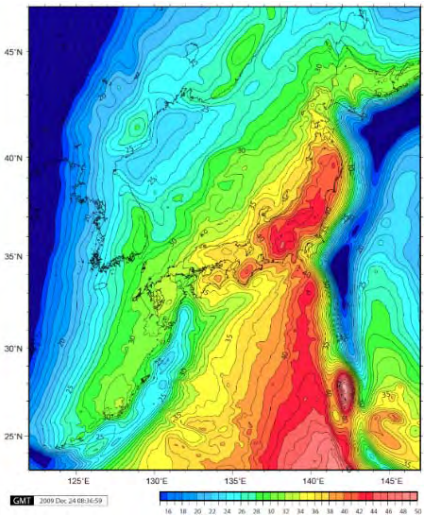
重力ジオイドと実測ジオイドを組み合わせて構築

→重力ジオイドに含まれる誤差の補正
→既存の水準標高に衛星測位の結果を整合させる役割

重力ジオイド

↑

重力データ



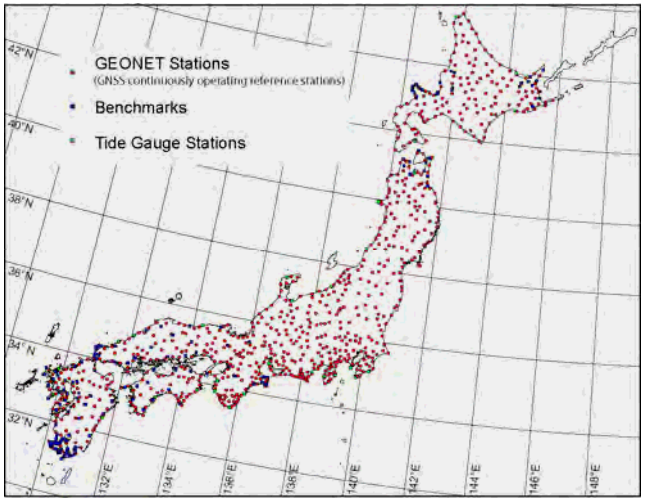
JGEOID2008

＋

実測ジオイド

(楕円体高－標高)

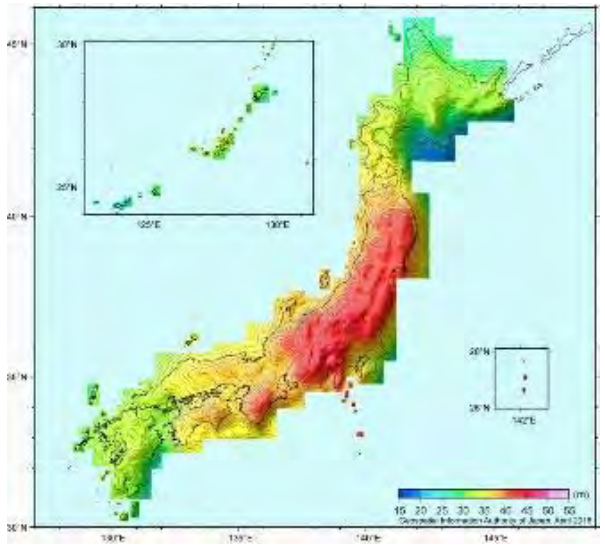
↗ 衛星測位　　水準測量 ↖



実測ジオイド

＝

日本のジオイド



日本のジオイド2011(ver.2)
(GSIGEO2011 ver.2)

日本のジオイドの課題

地殻変動が起きると標高の値が変わり使えなくなる

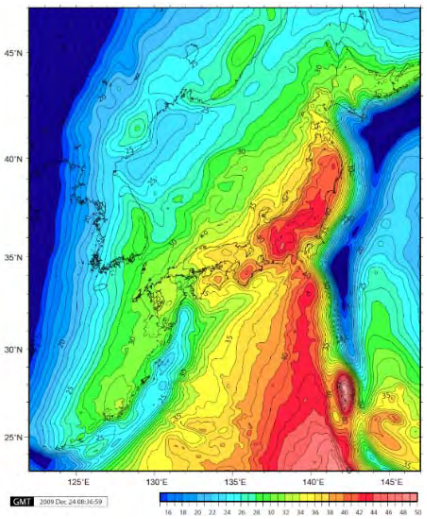
→ 標高の再整備には水準測量による膨大な時間と費用

→ 地殻変動にも安定な重力ジオイドをそのまま使いたい

重力ジオイド

↑

重力データ



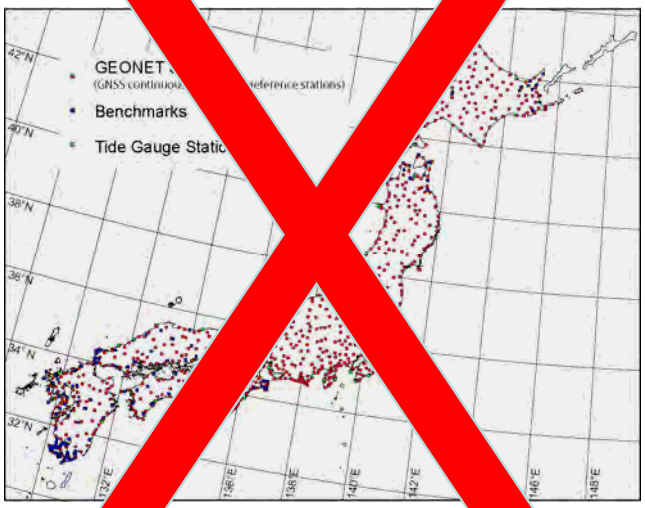
JGEOID2008

＋

実測ジオイド

(楕円体高－標高)

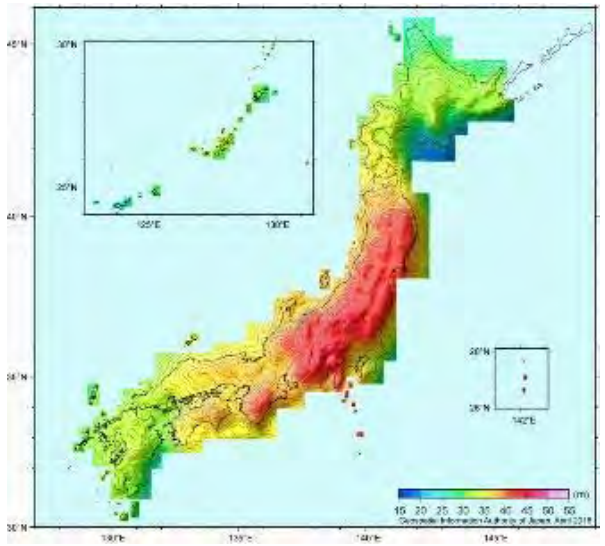
↗ 衛星測位　　水準測量 ↖



実測ジオイド

＝

日本のジオイド



日本のジオイド2011(ver.2)
(GSIGEO2011 ver.2)

Contents

・これまでの標高の仕組みと課題

・現在のジオイドと課題

・**新たな標高の仕組みへ**

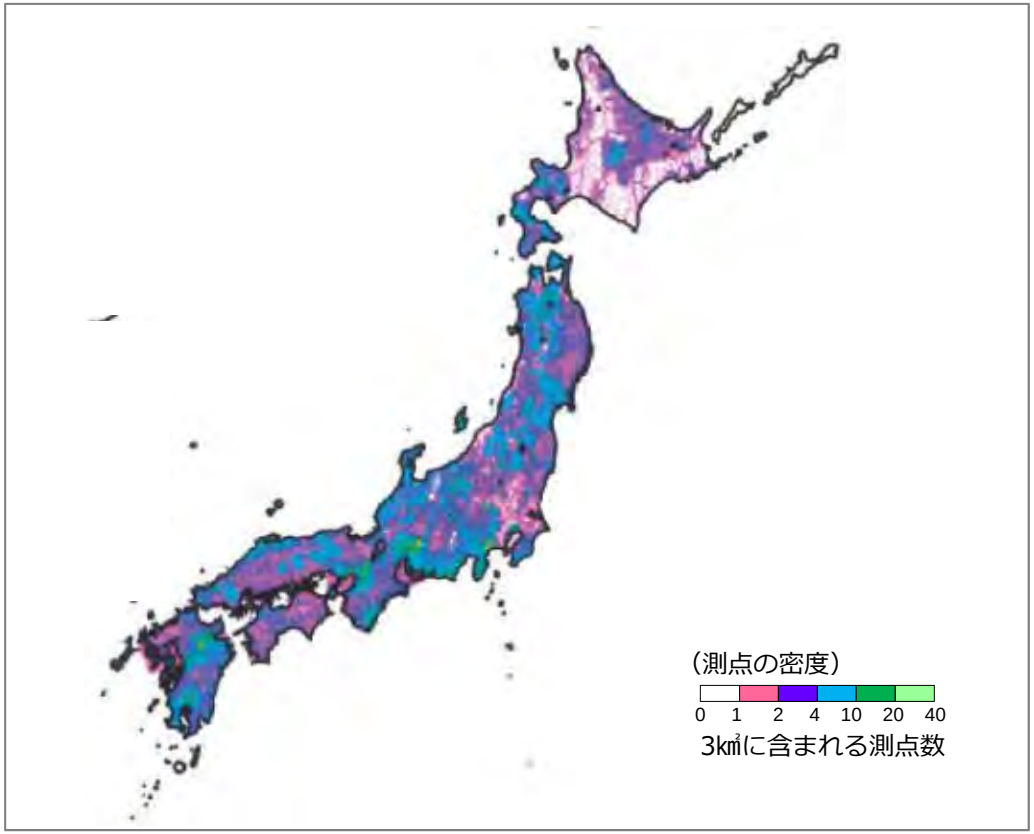
・まとめ

現在の重カジオイドの課題

重カジオイドの精度
→重カデータの品質に依存

既存の地上重カデータの問題

- 大部分が70～80年代に観測
- 過去の基準（JGSN1971）
- 地震等の影響が未反映
- 精度の悪い観測点位置情報
- 山岳部/沿岸海域での空白域



地上重カデータの状況

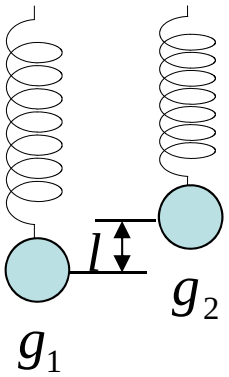
地上で再観測するのは時間的/費用的に非現実的

高品質な重カデータを効率的に整備するには…？

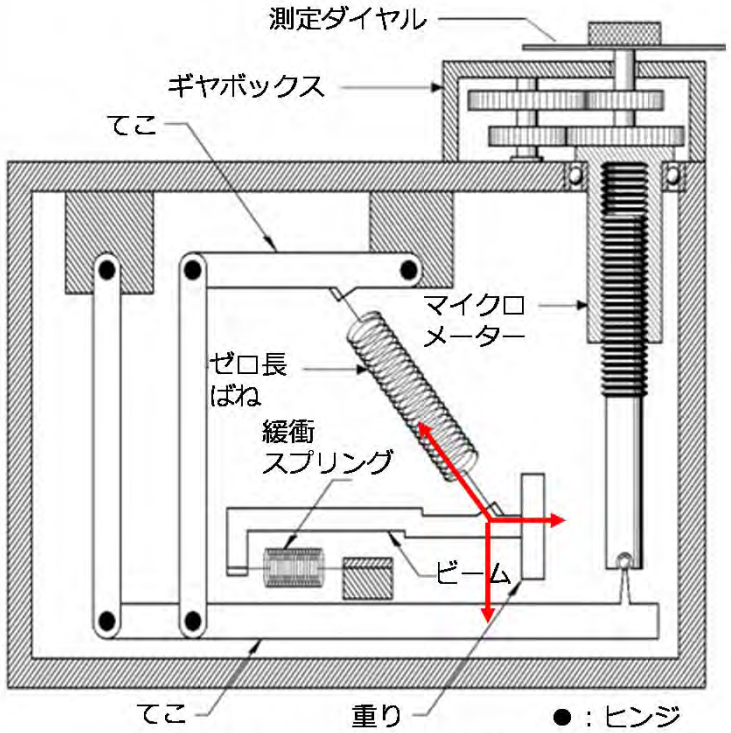
上空からの新たな挑戦

航空重力測量

- 航空機に相対重力計を搭載しデータを取得
- NZ(2013~14)や米国(2012~22)等で実績
- 国内では初の試み

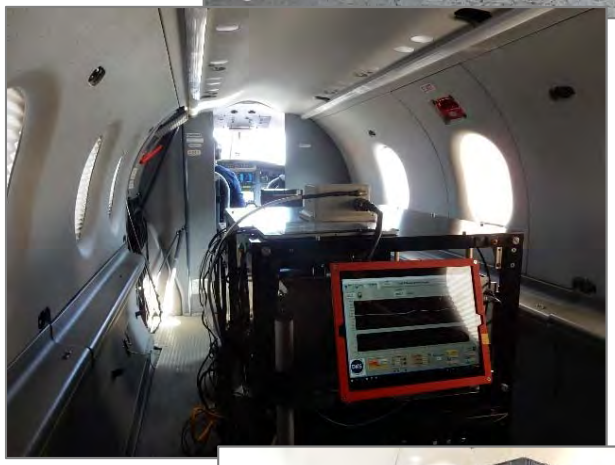


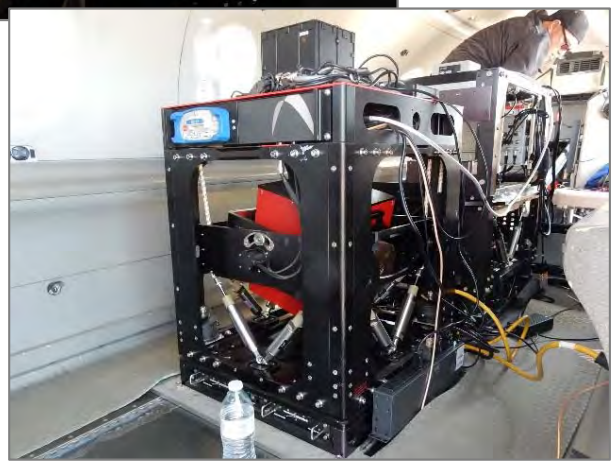
バネの伸びから
重力差を測定



Lacoste & Romberg(2004)に加筆

地上重力計の構造
（ラコスト重力計 G型）





観測風景（米国測地測量局）

航空重力測量の実施計画

【長所】

- 地上測定よりも効率的
- 山岳部/沿岸海域も測定可能
- 最新の基準（JGSN2016）
- 最新の重力値を取得
- 衛星測位による正確な位置情報
- 海外の先行事例の知見

【想定スケジュール】

2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度
航空重力計調達	関東中部	東北近畿	道西部中国四国	道東部九州	精密重力ジオイド計算	新たな標高体系

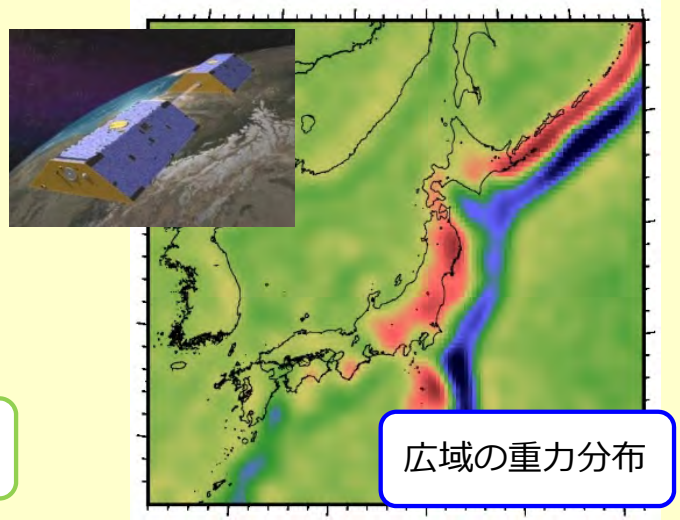
※沖縄及び離島部は2023年度以降に順次観測

精密重力ジオイドの構築

航空重力データを加えた精密重力ジオイドの構築

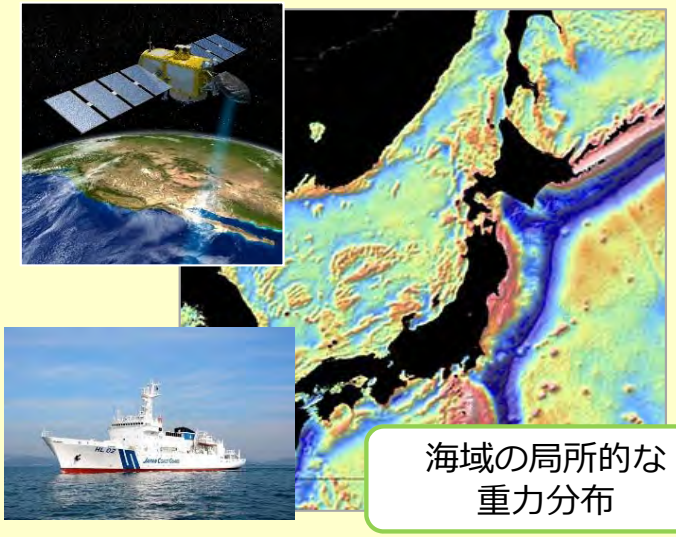
JGSN2016に
基づく地上重力

地上重力データ



広域の重力分布

衛星重力データ



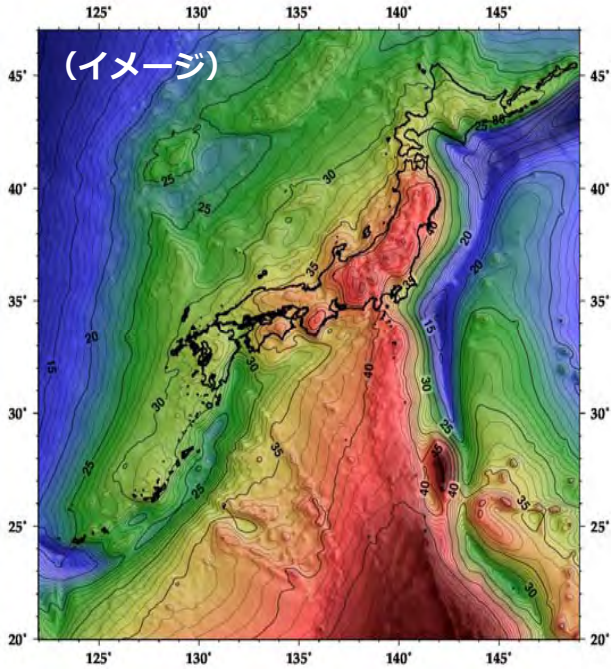
海域の局所的な
重力分布

海上重力データ
（衛星海面高度計・験潮）

山岳部･沿岸海域
含む重力分布

航空重力データ

精密重力ジオイド



目標精度 ~3cm

衛星測位でどこでも
信頼できる標高を取得

明治以来の標高の仕組みを大転換

国土地理院

水準測量による標高の仕組み

衛星測位（楕円体高）及び
精密重力ジオイド（標高の基準）
による標高の仕組み

より便利に

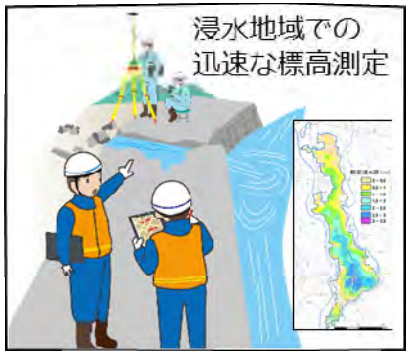
- 衛星測位で誰でも標高を利用
- ３次元位置を活用したサービス
- 公共工事等での生産性向上

より強く

- 迅速な復旧/復興作業の実現
- 適切な津波避難情報等への活用

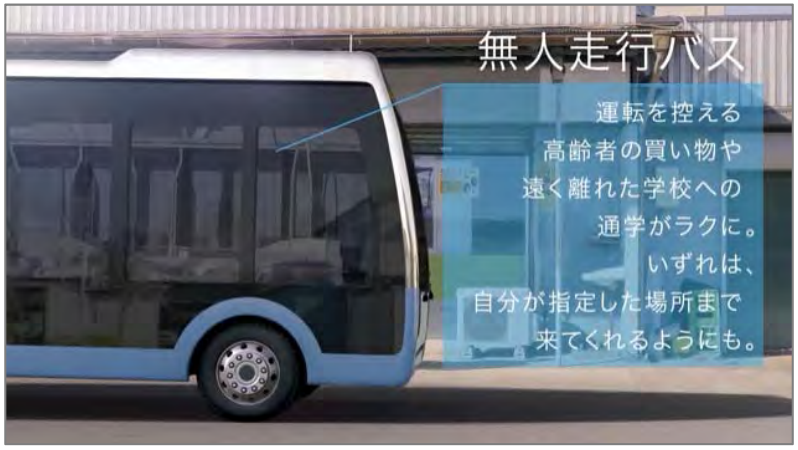
より安心に

- GEONETを核に全国均質な標高
- 地殻変動等の現況変化を適切に反映



新たな未来へ

標高を含む正確な三次元の位置情報が未来を支える基盤となる



Society 5.0
ソサエティ

（出典）内閣府 http://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/

Contents

- これまでの標高の仕組みと課題
- 現在のジオイドと課題
- 新たな標高の仕組みへ
- **まとめ**

まとめ

- **明治以来の標高の仕組みを大転換**
  →水準測量から衛星測位による標高決定へ

- **航空重力測量プロジェクトを新たにスタート**
  →2018年度に機器調達及び計測準備
  →2019年度から4年計画で全国の重力データを整備
  →高品質な重力データから精密重力ジオイドを構築

- **いつでも・どこでも信頼できる標高が使える社会へ**
  →2024年度から新たな仕組みへ移行予定
  →利便性の向上, 災害への対応力向上, 適切な維持管理