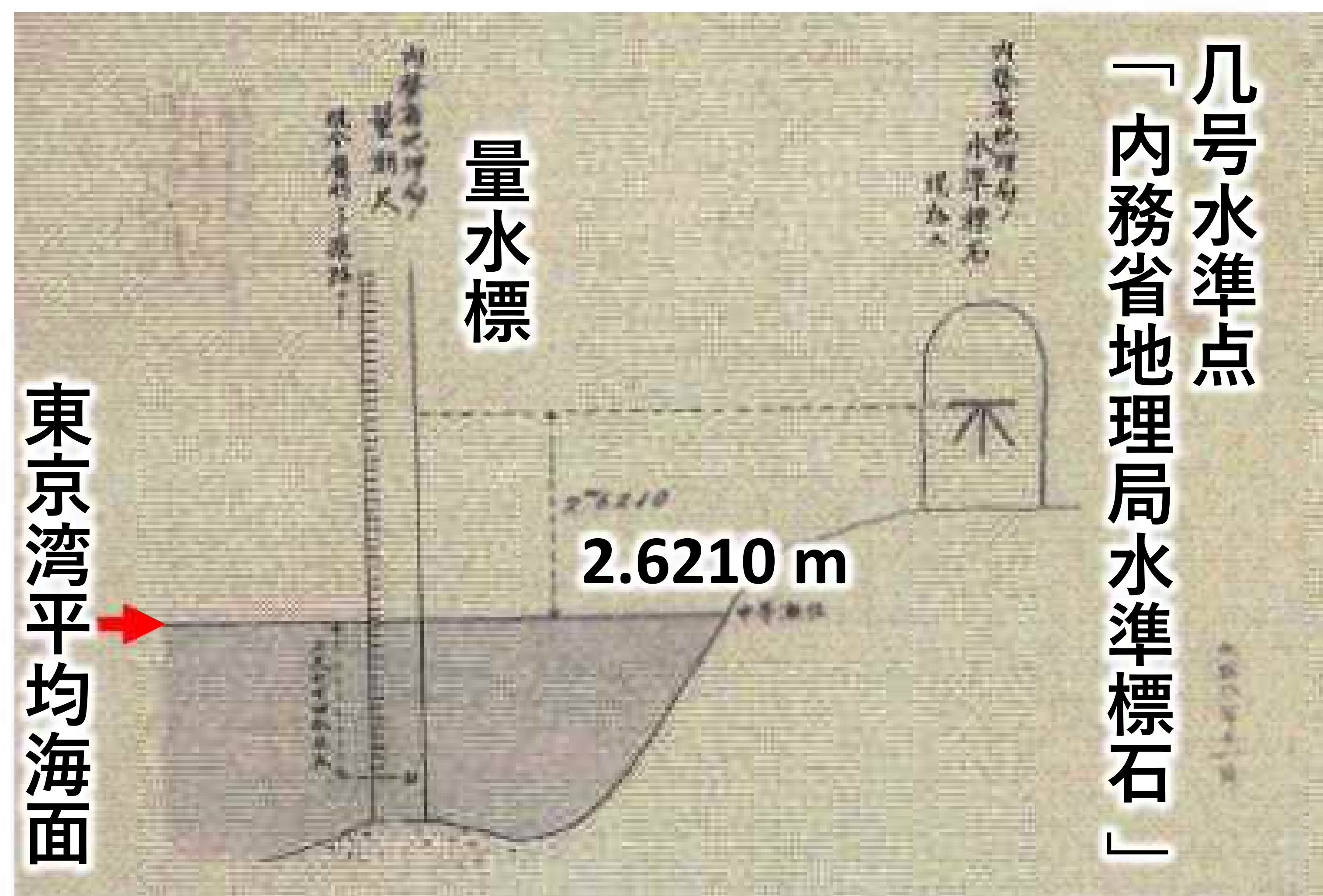


高さってどこからの高さ？

明治6年から明治12年に東京湾の霊岸島（現在の中央区新川）で量水標と呼ばれる水位を測る尺を設置し潮の満ち引き（海水面の変化）を毎日記録して、平均的な水位を決めました。これを**東京湾平均海面**といいます。

この海面を0mとして、^{きごう}几号水準点「内務省地理局水準標石」に高さを取り付けられました。この海面からの高さを**標高**といいます。

地形図に載っている高さや測量で使う高さは、この標高です。



標高のはじまりの関係図（大正8年作成）



霊岸島潮位観測の位置
明治17年（1884） 5千分の1 東京測量原図



潮位観測の近隣に設置された水準点（標高2.03m）がある。

高さの原点「日本水準原点」

下の写真の石造りの建物の中には、日本国内の高さの基準となる**日本水準原点**が設置されています。

土地の高さ（標高）は平均海面を0mとして、そこからの高さで表しますが、実用的には地上のどこかに標高の基準となる点を表示しておく必要があります。このため、明治24年（1891年）に陸地測量部では、この地に標高の基準となる点（水準原点）を造りました。当時、隅田川河口の霊岸島で行われていた潮位観測（6年間の平均値）と、霊岸島からこの地までの高さの観測（水準測量）結果を用いて、建物内部の水晶板目盛りの0表示の高さを、**東京湾平均海面上24.500m**としました。

その後、大正12年（1923年）の関東大震災により地殻変動が生じたため、地震による影響のなかった地域からの水準測量データや神奈川県三浦市三崎の**油壺験潮場**の験潮データを用い、原点が86mm沈降したことを確認し、原点数値は昭和3年（1928年）3月に**24.414m**と改定されました。

さらに、平成23年（2011年）3月に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動で24mm沈降したため、同年10月に原点数値が **24.3900m**に改定されました。



東京都千代田区永田町1-1-2 （国会前庭北地区憲政記念館構内）

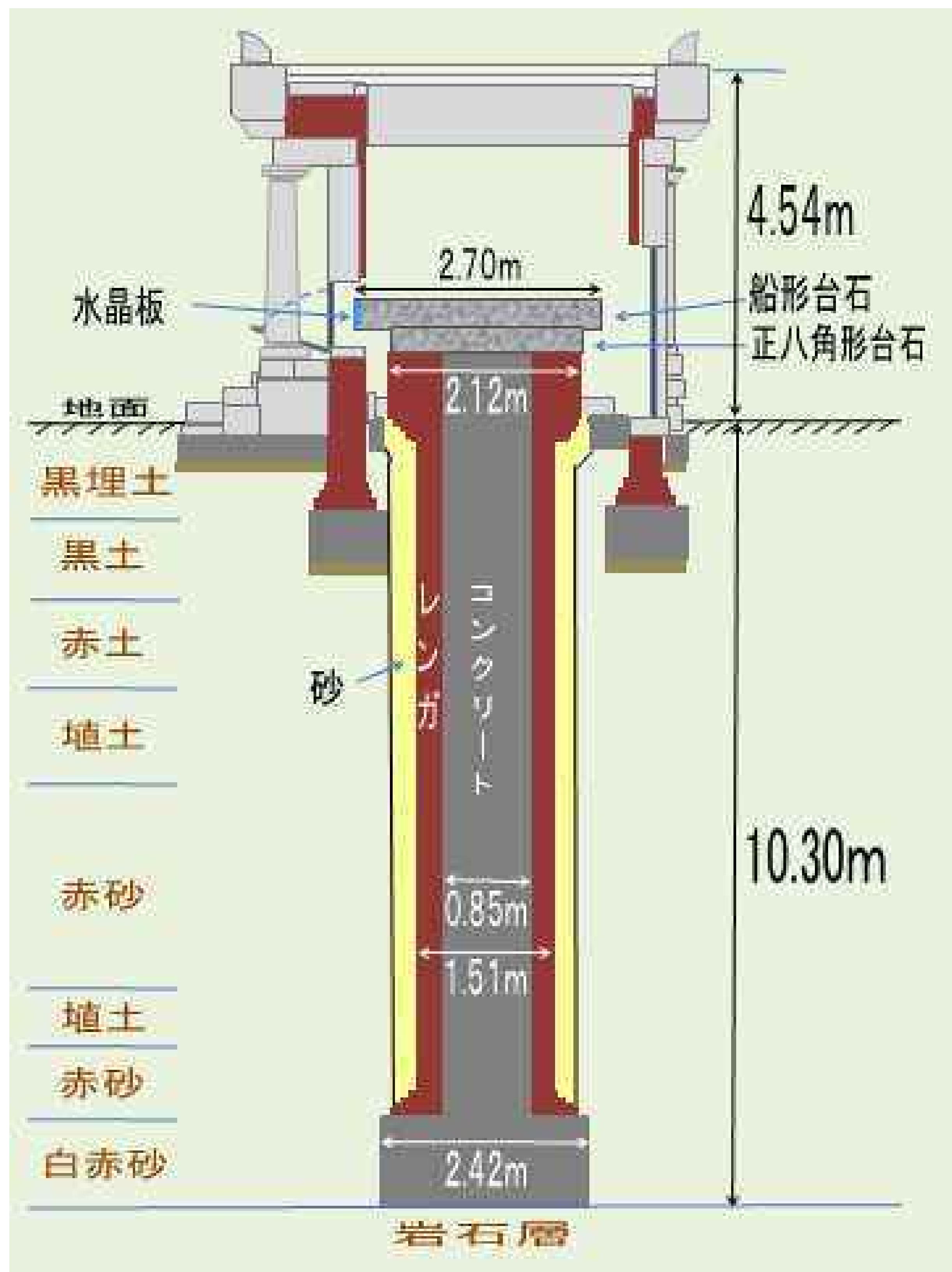
原点はなぜこの地に設置されたの

「日本の中央であり地盤が堅硬な所となると京都が適地となるが、政治の中心地であり、道路やすべてのことが周囲より寄り集まるのは東京である。ここは東に偏っていて海に近く、しばしば地震で揺れるが首都であり皇居のある所である。さらに天文台も建設されており東京に選定するのが当然である。しかし、天文台内にするか参謀本部内にするか当局者は大いに苦心した結果、参謀本部構内陸地測量部の庭園に選定することにした。」

三角測量方式草案（明治34年陸地測量）より。

「日本水準原点」の内部

日本水準原点の基礎は、地下10m余の地盤の上にコンクリートの基礎部があり、その上に外側を煉瓦（れんが）積み、内側をコンクリート詰めにした塔が築かれています。この基礎の上部に花崗岩（かこうがん）のできた正八角形の台石があり、その上に水晶板がはめ込まれた船形台石が設置されています。



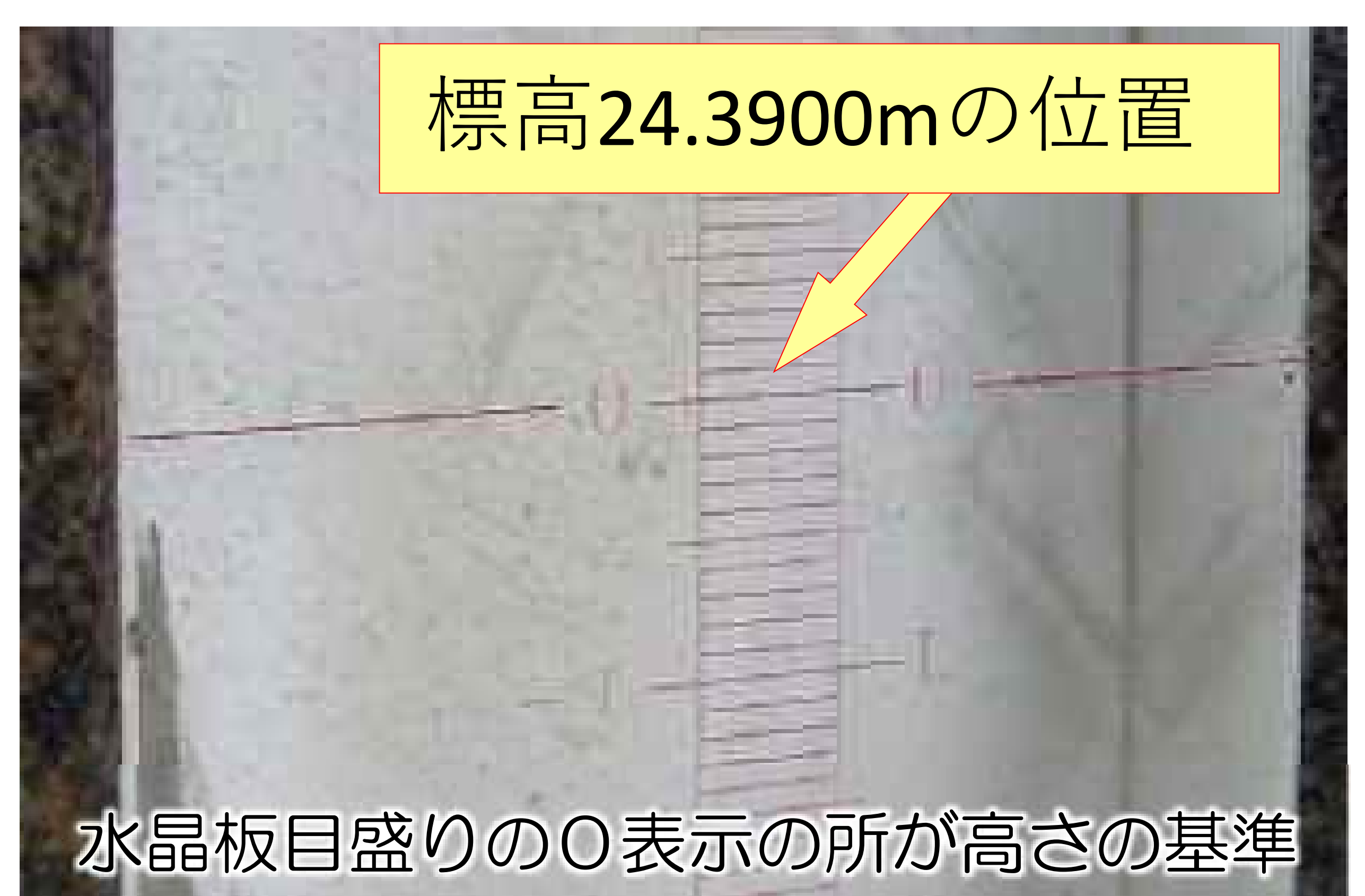
原点建築の意匠（工夫、趣向）

「水準原点を永遠に保存するため堅硬な地層の上に設置し、地震による影響と温度、雨、露による風化を考慮した構造を備えとした。これらを満足するため、原点は堅硬緻密な花崗岩とし、雨露による風化を防ぐため、覆いを設ける。また基礎には地震による上下動や水平動を軽減するため基台の周囲は細かな砂で充填する。温度の変化による影響を少なくするため硬石、煉瓦、コンクリートを用いる。零位尺には甲州産の水晶を用いた。」

三角測量方式草案（明治34年陸地測量）より。

標庫の設計者“佐立七次郎”

佐立七次郎（さたちしちじろう：1856-1922）は、香川県高松市に生まれ、1873年工部大学校造家学科に入学。教師として招聘され日本近代建築の父と呼ばれた英国人建築家ジョサイア・コンドルの一番弟子です。生涯で設計に関与した建物は34棟を数え、現存しているのは、「日本水準原点標庫」と「旧日本郵船株式会社小樽支店（国指定重要文化財）」の2棟だけです。佐立は工部大学校卒業後、工部省、海軍省、通信省を経て、1897年（明治30年）頃から日本郵船の設計顧問となり、各地の支店を設計しました。



油壺(あぶらつぼ)験潮場

国土地理院では、高さの基準として東京湾平均海面を用いています。この平均海面と日本水準原点の変動を監視するため、神奈川県三浦市に油壺験潮場を設置して潮位の変化を計測し、油壺験潮場と日本水準原点との間で毎年水準測量を実施しています。

海面の昇降（潮位変化）を測ることを「験潮」といいます。

人工衛星による観測（GNSS測量）を併せて実施しています。
“海面が上がったのか”、“地面が下がったのか”？



油壺験潮場の位置

水準測量

油壺験潮場（神奈川県三浦市）～日本水準原点（東京都千代田区）までの約100kmの水準測量を実施して、**日本水準原点の高さに変動が無いかを確認**しています。



日本水準原点での水準測量



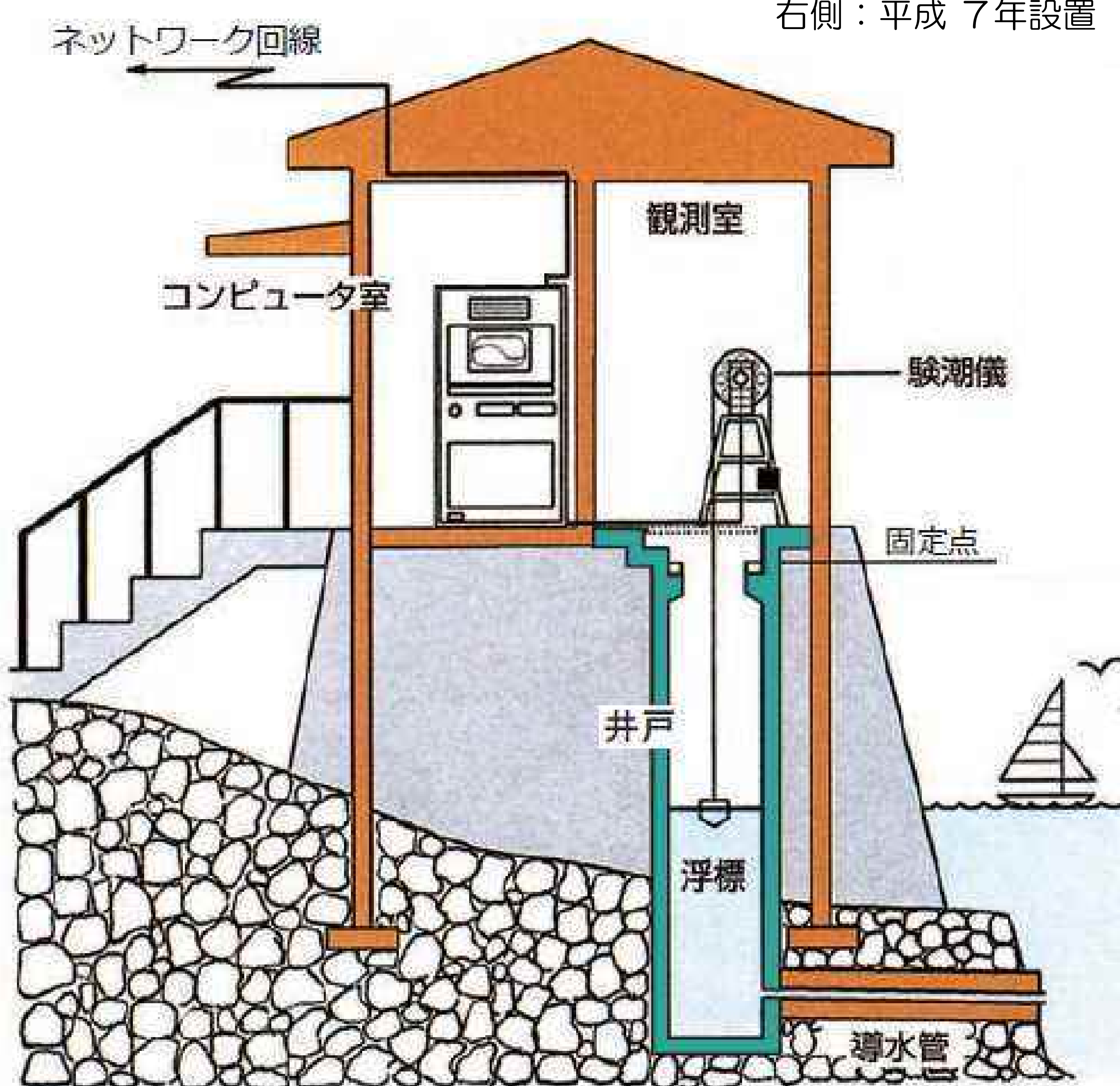
油壺験潮場の建屋

左側：明治27年設置 旧験潮場
右側：平成 7年設置 新験潮場

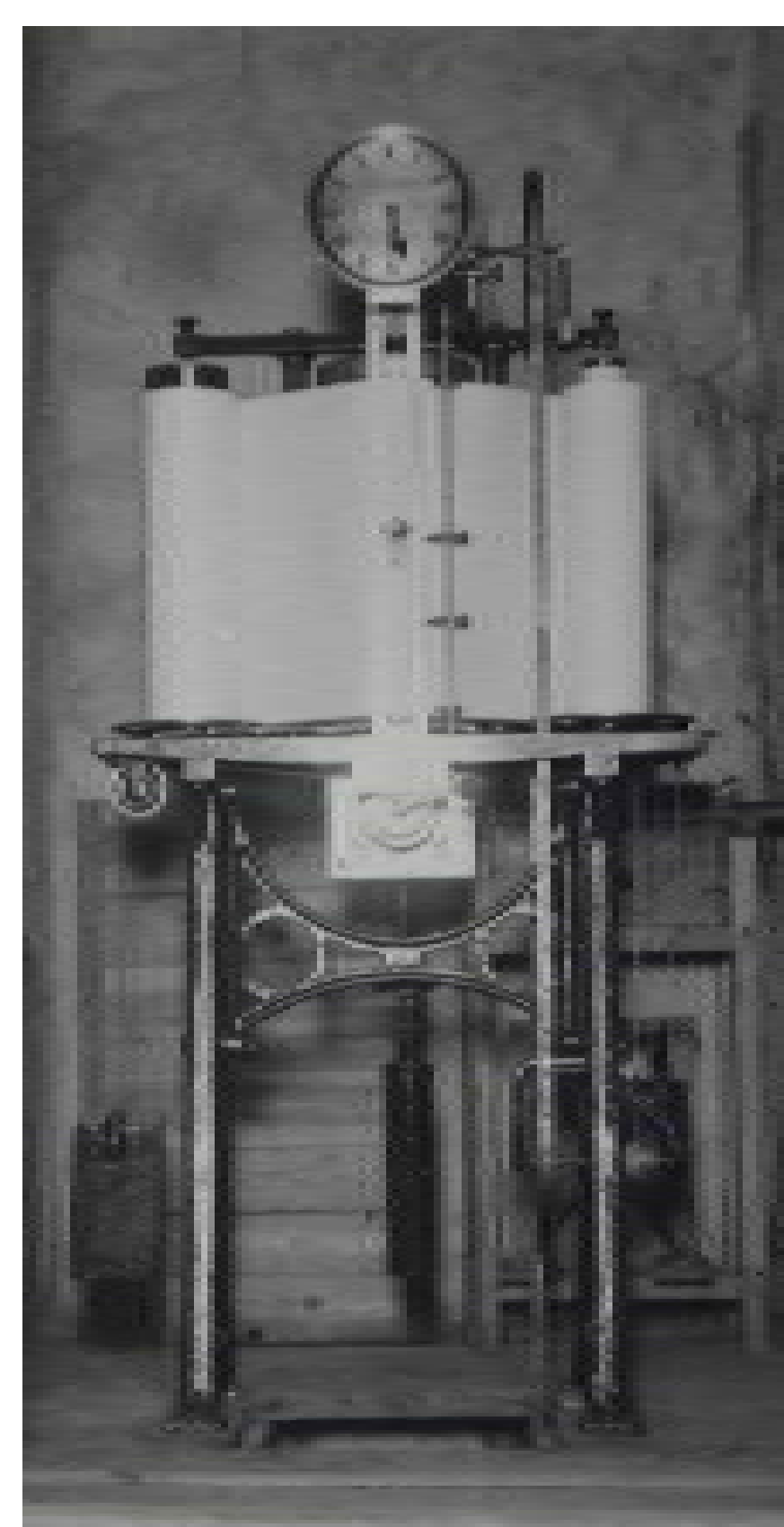
地震前の海面

現在の海面

大正12年（1923年）の関東大地震で陸地が約1.4m隆起しました。



験潮場構造図



旧験潮場に設置されていた験潮儀
(ケルビン型験潮儀)



現在の験潮儀
(高精度自動験潮儀)



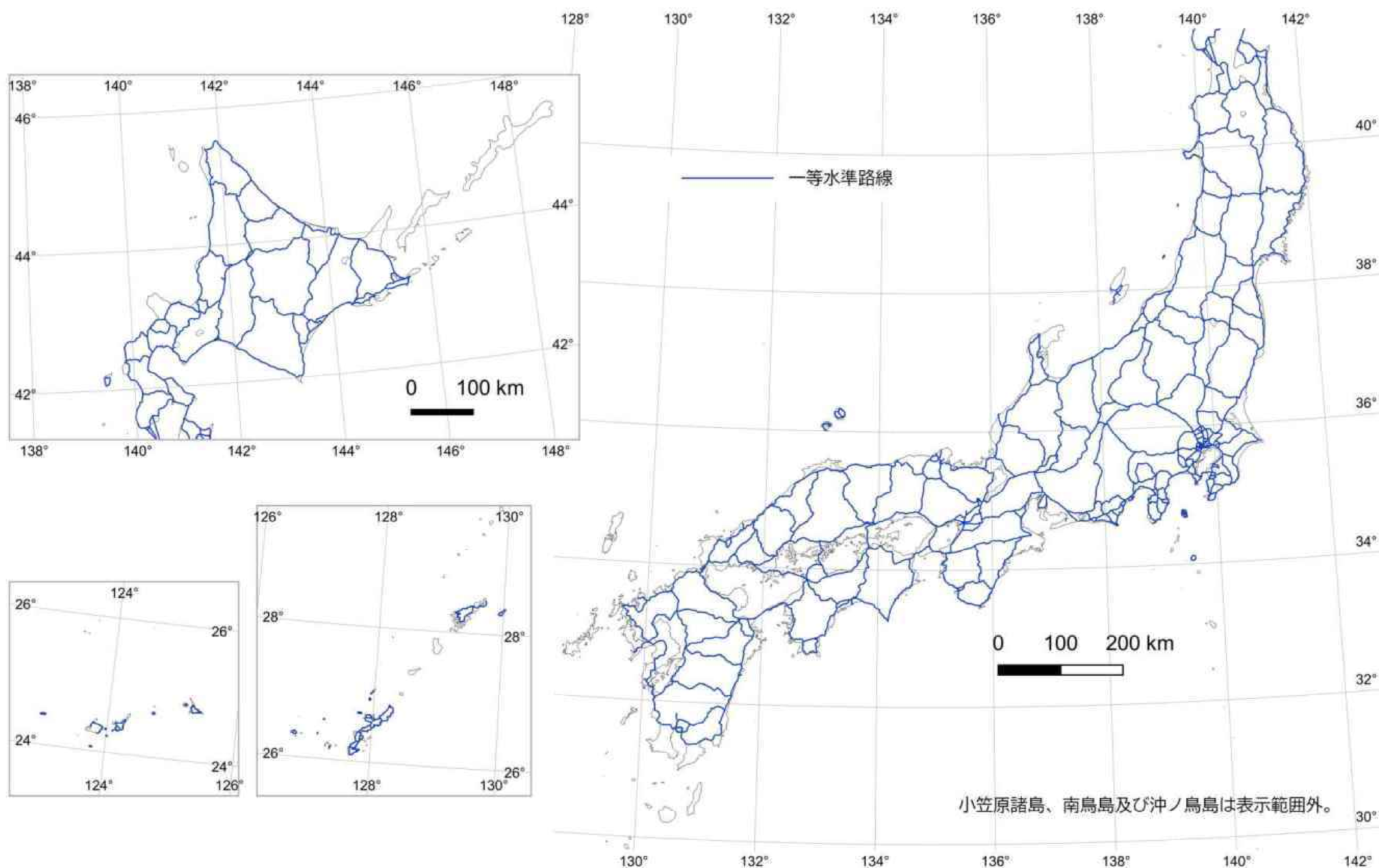
浮標

験潮は、導水管を通して井戸に出入りする海水の昇降を験潮儀から吊した浮標の上下動でとらえて記録します。

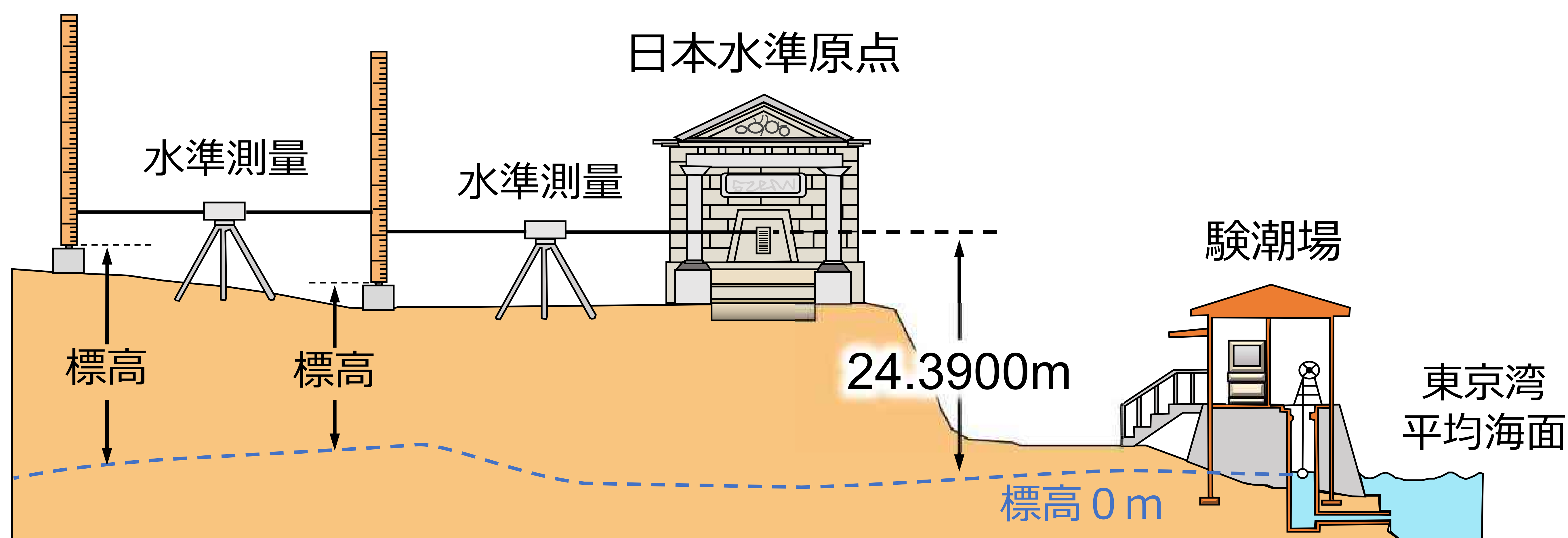
全国の水準路線

水準点は、国土の高さの基準を示す国家基準点です。全国の主要国道等に約2キロメートルごとに設置されており、これを水準路線といいます。

国土地理院では、明治16年から現在まで高低差を精密に測る水準測量によって約1万6千点の水準点を管理しています。



日本全国に設置されている水準点の高さは、日本水準原点を基点として決められています。

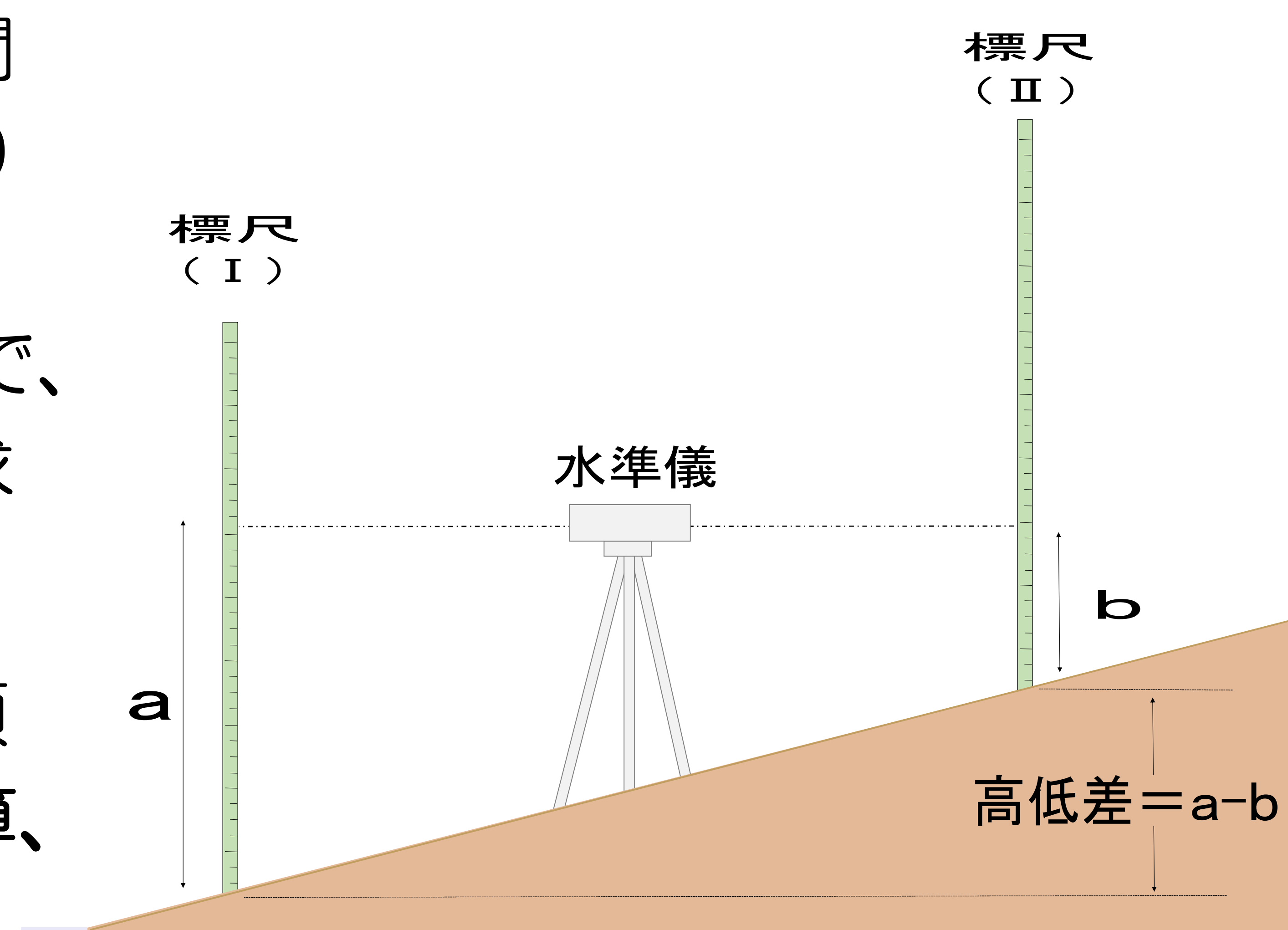


水準測量

水準測量は、2地点に標尺を立て、その間にレベルを水平に設置し、前後の標尺の目盛りを読み、その差から高低差を求める測量です。標尺を立てる2地点の距離は最大100mほどで、これを繰り返すことで、水準点の間の高さを求めます。

坂道では数mしか進めないこともあり、山頂の高さを水準測量で測るには多くの時間、予算、労力を要します。

大きな地震があったときは、復興のため再測量が行われます。



標尺：水準測量で用いる3mのものさし
レベル（水準儀）：標尺に書かれている値を読む器械



大正7年の測量風景



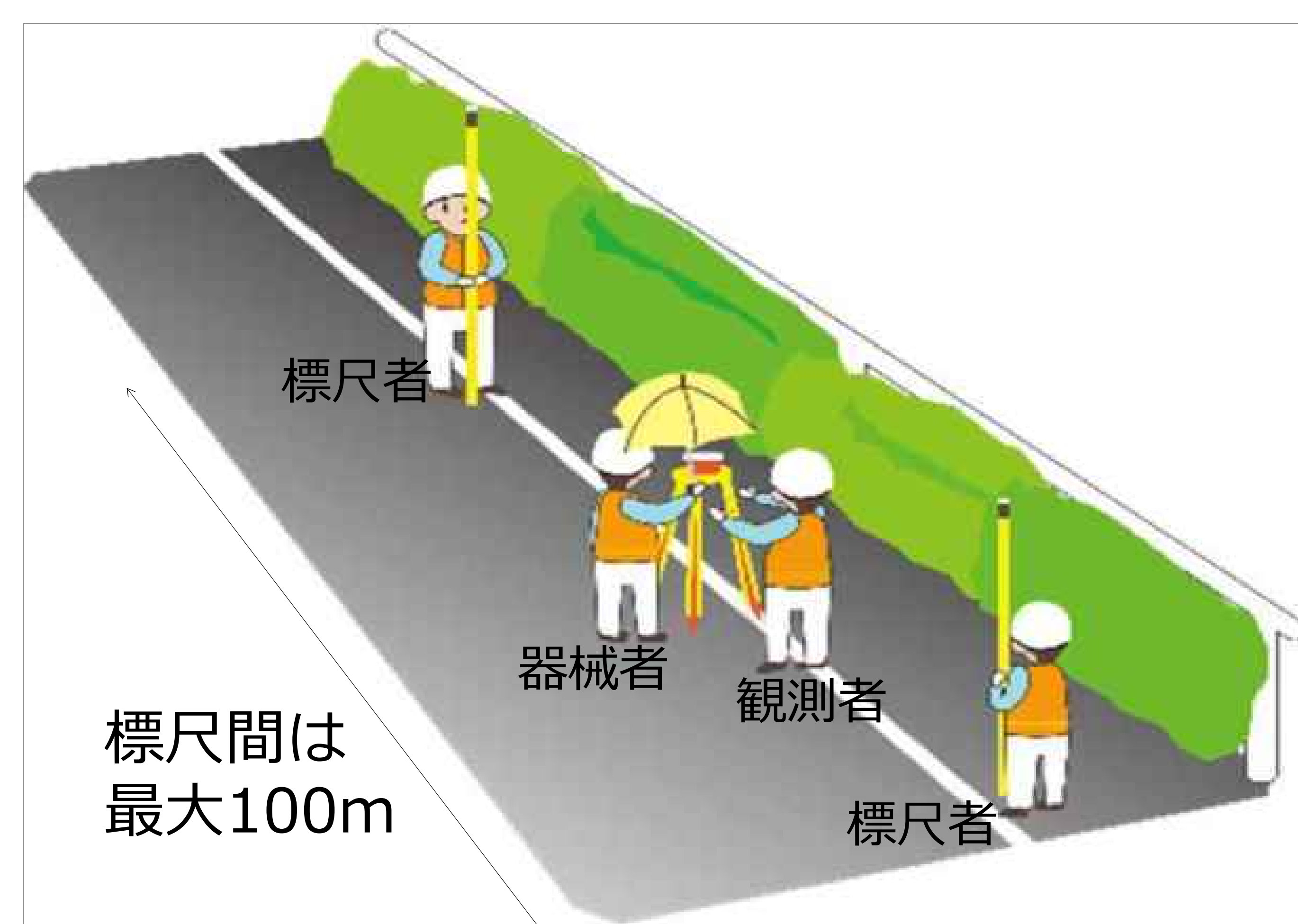
昭和時代の測量風景



現在の測量風景



東日本大震災からの復興のための再測量

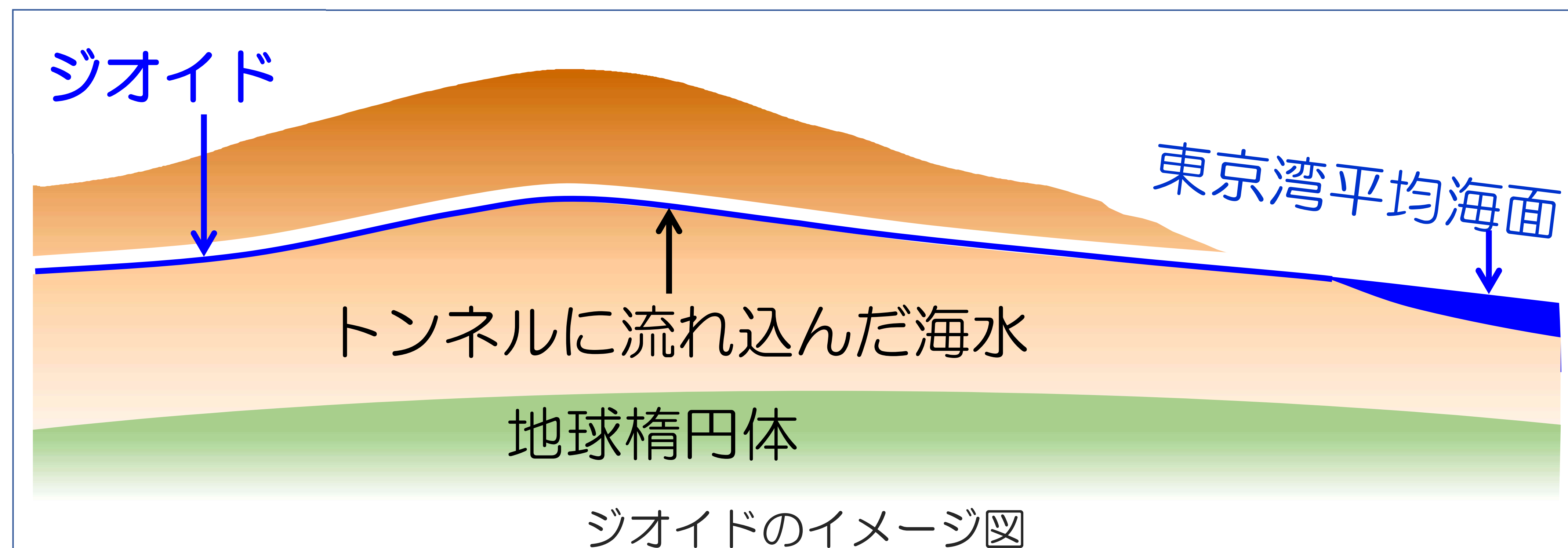


標高基準を与えるジオイド

■平均海面のジオイドとは？

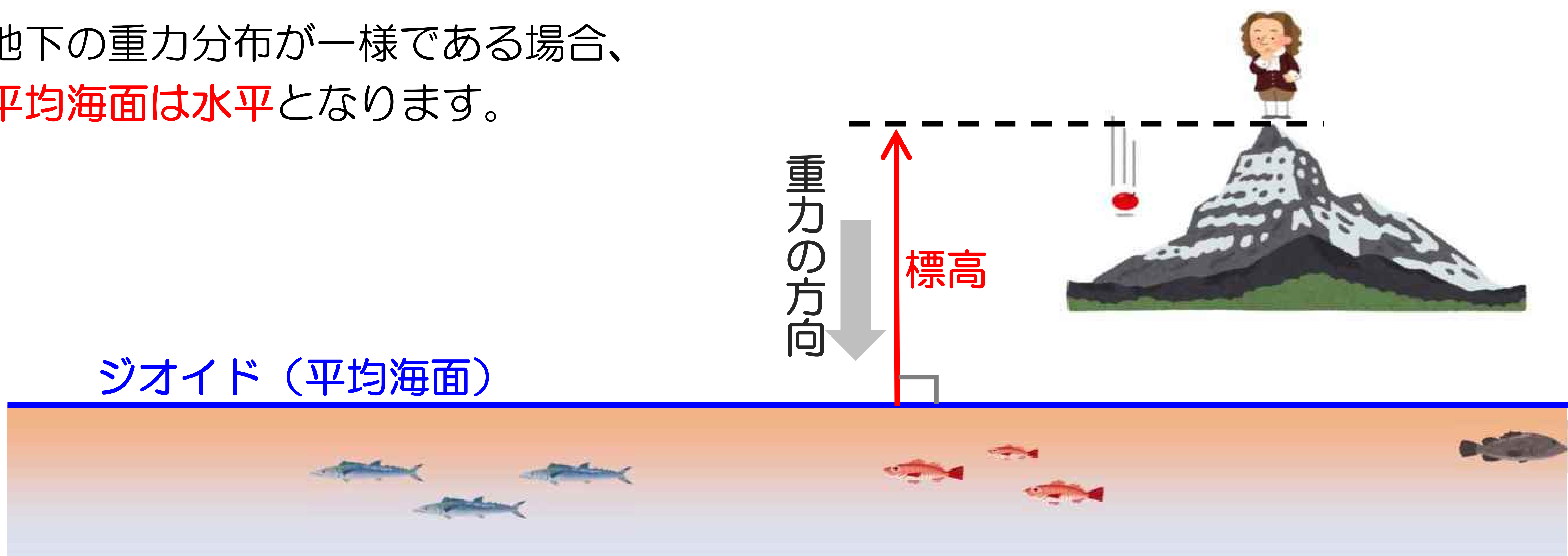
日本の高さ（標高）の基準は、測量法により東京湾の平均海面を基準（標高0m）として定められています。この平均海面を陸地に延長した仮想的な面をジオイド（Geoid）といいます。

海の水が流れ込むように陸地にトンネルを掘ったとき、その流れ込んだ海水が作る海面が「ジオイド」です。



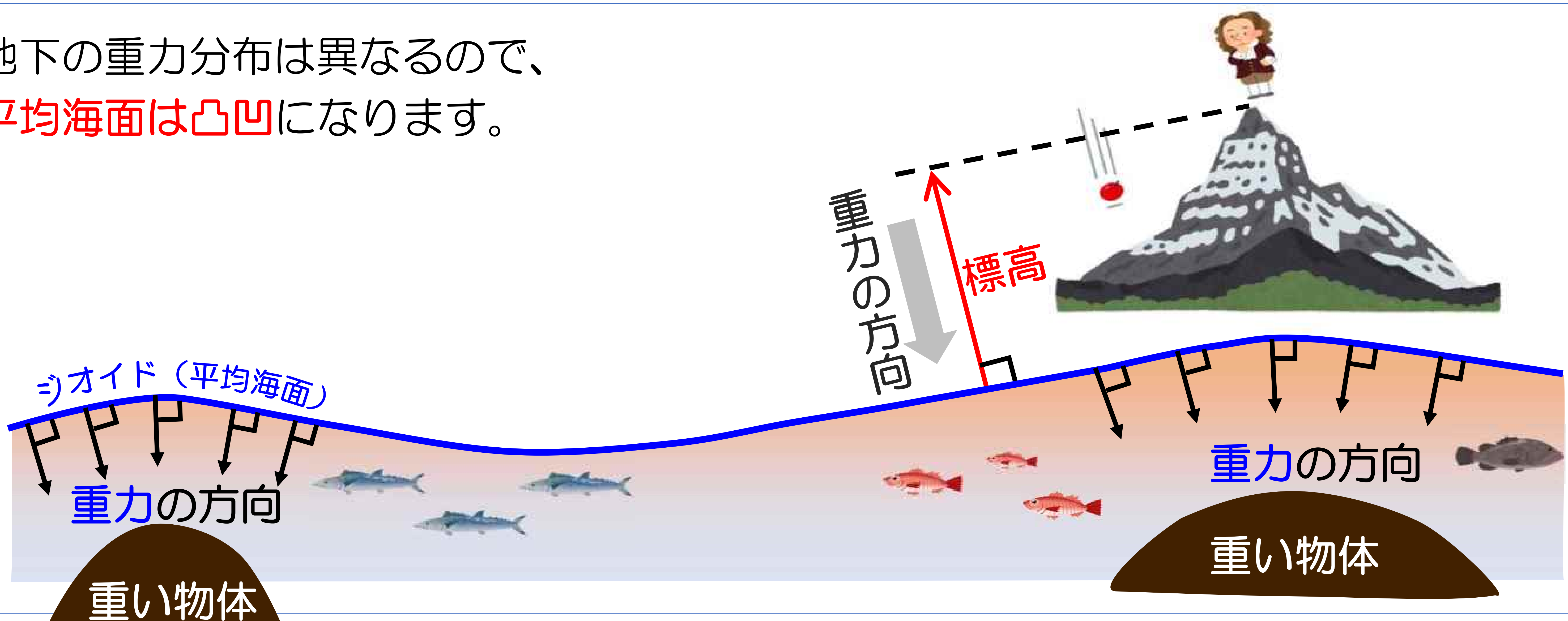
■ジオイドの性質

地下の重力分布が一様である場合、**平均海面は水平**となります。



▼ 実際は？

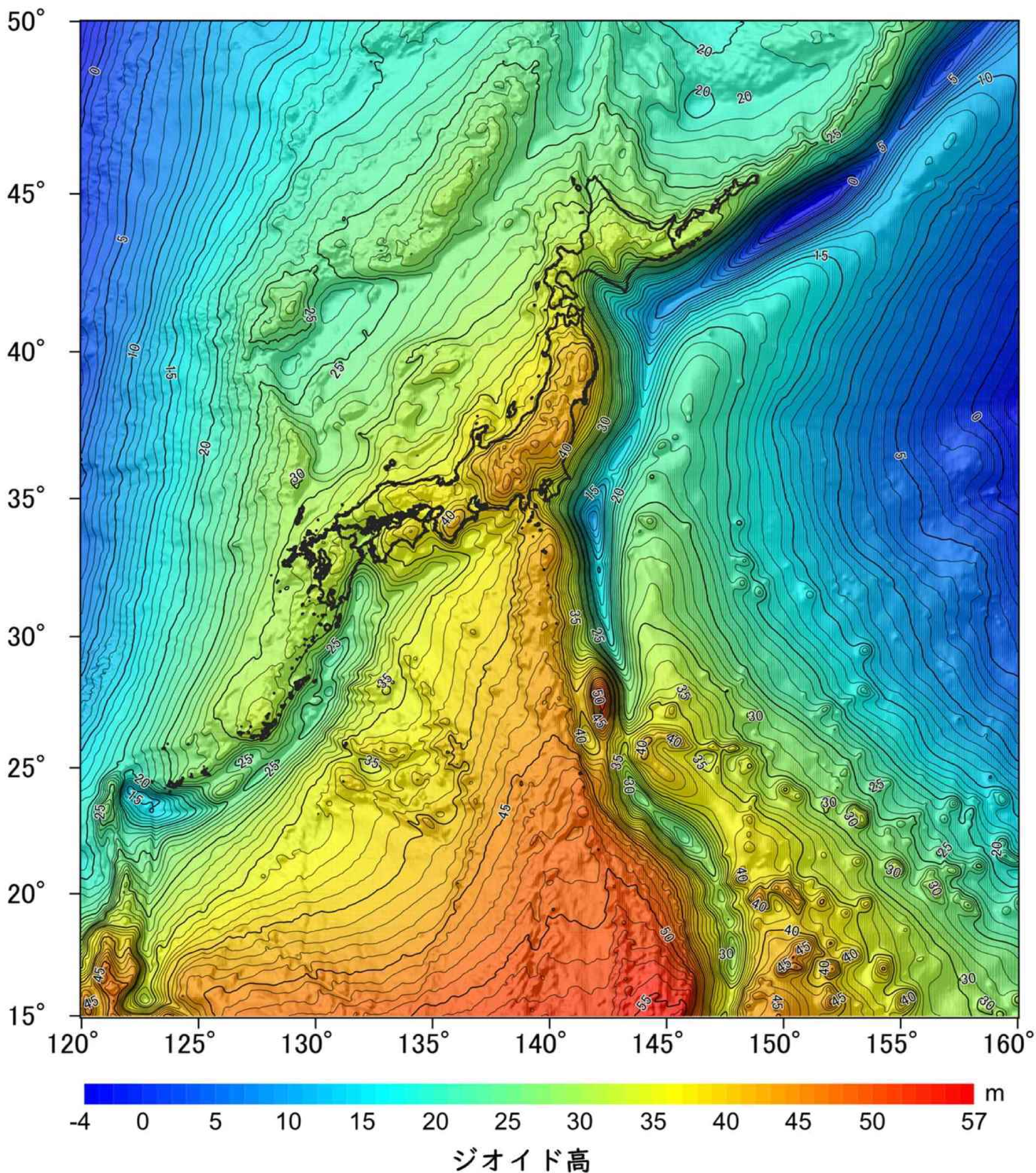
地下の重力分布は異なるので、**平均海面は凸凹**になります。



地下の様子がわかると平均海面（ジオイド）の凸凹がわかる

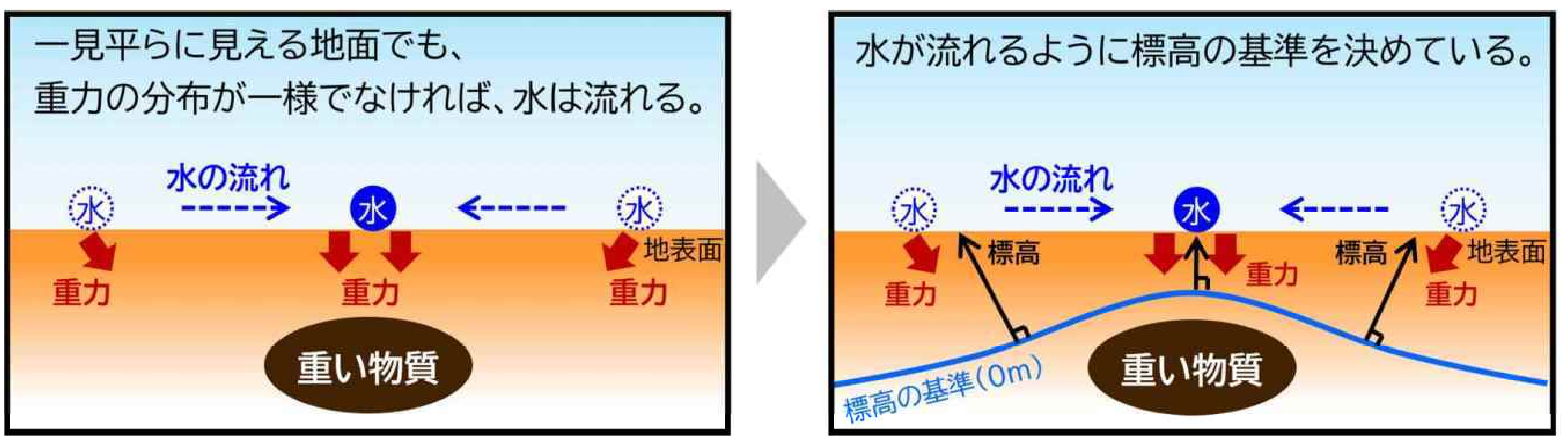
ジオイド

この図は、標高の基準（ジオイド）、つまり標高0mの面を表しています。
この面には起伏がありますが、この面上では水は流れません。
ジオイド高は、地球楕円体の表面からジオイドまでの高さになります。



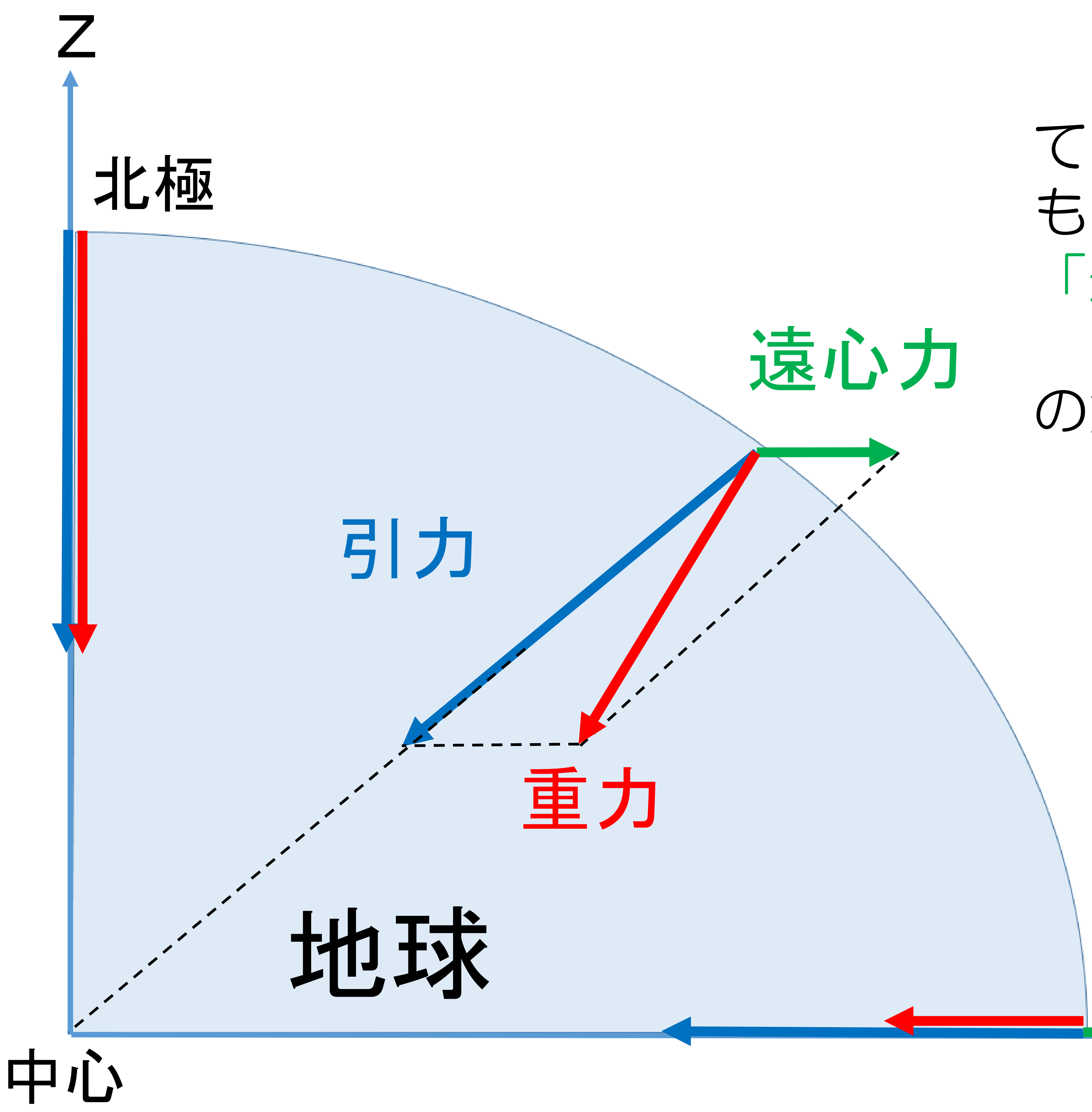
「標高」と「ジオイド」と「重力」

水は高いところから低いところに流れます。地図に記される高さ（標高）は、水道などのインフラ整備や、津波や洪水等から命を守る上でとても大切な情報ですが、実はその標高は地形の起伏だけでは決められません。平らに見える地表面でも、重力の分布が一様でなければ、水は流れます。そのため、正確な標高を知るためには、見た目の高さ（地形の起伏）に加えて、重力の分布も把握する必要があります。



標高、重力、ジオイドの関係（イメージ図）

■重力の正体



地球上の物体には、地球の引力が働いており、また、地球の自転による遠心力も働いています。この地球の「**引力**」と「**遠心力**」の合力が「**重力**」です。
重力の方向は、物が落ちる方向、重力の大きさは、**加速度※の大きさ**で表します。

※加速度
1 秒の間に速度が変化する量

万有引力の法則の発見

■ガリレオとニュートンをご存じですか？



ガリレオ・ガリレイ
(1564-1642)
天文学の父

Galileo Galilei

画像出典: <https://commons.wikimedia.org/wiki/>



アイザック・ニュートン
(1642-1727)

重力加速度の単位「Gal（ガル）」は、ガリレオ・ガリレイにちなんで名付けられました。

ガリレオ・ガリレイは、「ピサの斜塔」から大小2つの玉を落とし、物体の落下速度は その物体の重さによらず一定であることを発見しました。

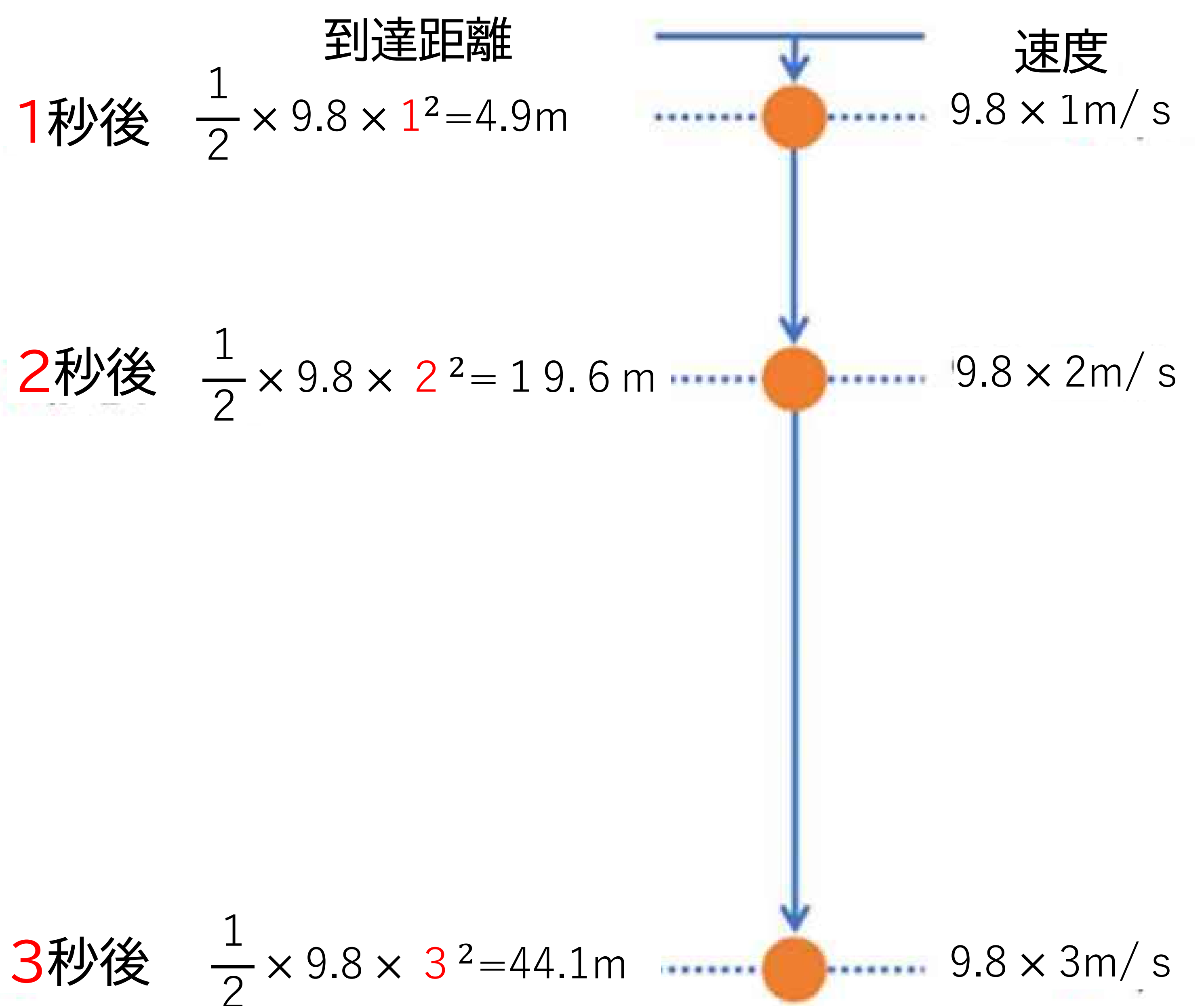
アイザック・ニュートンは、万有引力の法則を発見しました。

重力加速度の表し方

地上の重力加速度

$$9.8 \text{ [m/s}^2\text{]} = 980 \text{ [cm/s}^2\text{]} = 980 \text{ [Gal]}$$

9.8 [m/s²] は、落下速度が1秒ごとに秒速9.8m速くなっていくことを示しています。



$g=9.8\text{m/s}^2$ で物体が落下するイメージ

重力の単位

重力の大きさは、それによる加速度（重力加速度）の大小によって表現されます。高校の物理では、地球の重力加速度を $g=9.8\text{m/s}^2$ （=980Gal）の定数として扱うことがほとんどです。

測地学や地球物理学では重力加速度を表す際には「Gal（ガル）」（=0.01m/s²）という単位を用います。

時間や場所による重力の変化を捉えるためには、より細かい単位での表現が必要です。

国土地理院では、目的に応じて、1Galの1,000分の1を表す1mGal、1Galの100万分の1を表す1μGalの精度で、日本全国の重力を測量しています。