

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)	1-1-2-1 位置	地球上の位置（水平位置、垂直位置）について地理院地図で学ぶ			
作成者名	岡谷 隆基	作成日	2019/2022/2023	Ver.	1.2
キーワード 510 個程度	地球上の位置 VLBI GPS GNSS みちびき 地理院地図 電子基準点 ジオイド 標高				

(1) 地球上の位置はどのようにして測られるのかを理解する。

皆さんが移動される際には、カーナビやスマートフォンの経路検索を良く使われると思います。これらは、自動車や携帯電話にある受信機が GPS 衛星からの信号を受信することで実現しています。それでもある程度正確な位置はわかるのですが、国としての位置はもっと正確な VLBI (Very Long Baseline Interferometry : 超長基線電波干渉法) を使って求めています (図 1)。

VLBI では宇宙遠方にあるクエーサーという電波星が放った電波を地球上に点在するアンテナで受信します。アンテナによって天体からの距離が異なるため電波を受信する時刻にズレ (遅延時間) が生じます。この遅延時間に電波の速さをかけ、天体の方向を考慮することでアンテナ間の距離が分かります。この観測を多数の天体に対して行うことで数千 km 離れたアンテナの距離を数 mm の精度で測ることができます (図 2 ; 参考 URL1)。

VLBI は我が国の位置を正確に決めるものですが、それを国全体に広げるには費用等の点から現実的ではありません。そこで、やや精度は劣りますが GPS 衛星などを受信して位置を計測する電子基準点を運用しています。電子基準点は約 20km 間隔の密度で全国に約 1300 点配置されています (図 3)。GPS のような役割をする人工衛星 (GNSS 衛星 : Global Navigation Satellite System, 全球測位衛星システム) は米国の GPS のほか、日本の「みちびき」、ヨーロッパの Galileo、ロシアの Glonass などがあり、これらの衛星の信号を継続的に受信することで正確な位置を求めています (参考 URL2)。例えば、街中で GPS 衛星などを受信する機械を使った作業を見たことがある人もいかもしれませんが、電子基準点の観測データと組み合わせることで数 mm~数 cm の精度で位置を正確に測ることができます。

(2) 地理院地図の位置の正確さがどうやって実現されるかを理解する。

例えばカーナビで自動車の位置を正確に地図に表示させるには、地図の位置も正確でなければなりません。地理院地図ではこれを正しい場所に表示させるために、電子基準点などの基準点を使います。電子基準点の位置は数 mm~数 cm の精度で正確に分かりますので、これがいわば地図を地球上の正しい位置にとめるためのピンの役割をします。

実際、従前の地図作成では写真撮影の際に三角点と呼ばれる位置の基準が明確に写るように撮影を行い、これで位置合わせをしていました。現在では測位衛星の発達により、電子基準点等を活用することで三角点を必要としないケースが多くなりましたが、いずれにしても位置が正確に分かっている点を使って地図の位置を決めることが重要です。地図では正確な位置の情報を持つ電子基準点や三角点が図上の正しい場所に示されています (図 4)。

この正確な基準点を使って地図を作ることが、基盤地図情報の精度を保つ上でも重要です。基盤地図情報は、都市計画区域は 2.5m、それ以外では 25m の水平位置精度を有する我が国の「位置の基準」ですが、それは基盤地図情報にも含まれている基準点はその骨格をおさえることで実現しています。



図1 VLBI アンテナ (石岡測地観測局)

(<https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/vlbi-igos.html>)

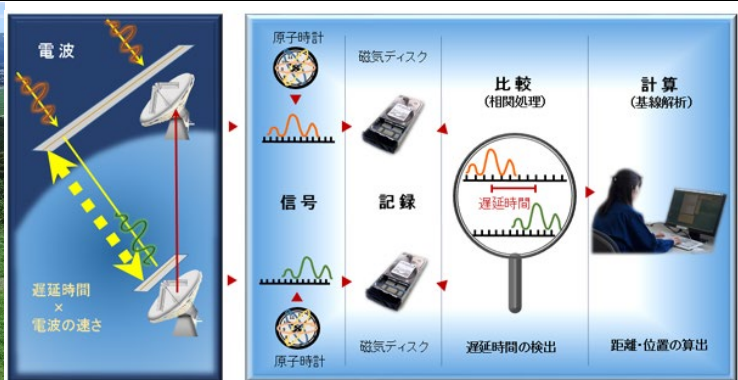


図2 VLBI の原理

(<https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/vlbi-about.html>)



図3 電子基準点と電子基準点網

(https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi_about_GEONET-CORS.html)



図4 地理院地図における基準点の表現

(https://maps.gsi.go.jp/#15/36.101666/140.084567/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1_j0h0k010u0t0z0r0s0m0f1)

3) 地理院地図で位置がどう求められるかを理解する。

地理院地図（参考 URL 3）で、目標の位置（緯度、経度、標高）を求めることは非常に簡単です。位置を計測したい場所画面中央の十字マークを移動し、後は画面中央下部の上向き矢印を左クリックするだけです。1 回クリックすると標高、2 回クリックすると住所や経緯度の情報が表示されます（図 5）。地理院地図を開いた際に表示される地図は我が国を概ね覆う縮尺の小さい地図ですので、大きく表示したい場合はマウスのホイールボタンを奥に向かって転がすか、画面上部の検索窓に地名（例：茨城県つくば市）や地物名称（例：国土地理院）を入力して検索すれば、直接大きな縮尺の地図を表示することができます。

以下、位置の基準や地図の歪みについてももう少し詳しく説明します。

位置の基準については、その基準を決める測地系について我が国では GRS80 楕円体と ITRF94 座標系を使っています（参考 URL 4）。地球は完全な球体ではなく、球体からラグビーボールに若干近づけた形に近いです。この完全には球体ではないラグビーボール状の立体を回転楕円体と呼ぶのですが、我が国では地球の形状に近い楕円体として他国でも使われている GRS80 を採用しています。また、地表上の位置は地球内部のどこかを原点とした XYZ の値で示すことが可能ですが、この原点と XYZ の軸について ITRF94 という座標系を採用しています。図 6 で説明すると、表示されている球のようなものが地球表面を近似した回転楕円体（GRS80）で、重心と XYZ の 3 軸から構成されるものが座標系（ITRF94）となります。この 2 つの組合せで、自分の位置の緯度、経度、楕円体からの高さを求めることができます。

ただ、実は海面（標高 0m の面）は単純な回転楕円体ではなく凸凹しています。この凸凹は地殻の厚さや密度分布の違いなどにより重力が場所によって異なるため生じ、その面をジオイドと呼びます。標高はこのジオイドからの高さで求めることができます。地表の重力の微妙な違いはこれまで現地に行って直接測るか、人工衛星で観測して大雑把に求めるかといったところでしたが、近年航空機を使って効率的かつ高密度に測る手法が実用化されてきており、国土地理院でも航空機を使ったジオイド計測を始めています（参考 URL 5）。「回転楕円体」、「座標系」に加えて、この「ジオイドと楕円体の高さの差」の 3 つが決まれば、そこから自分の位置の緯度、経度、標高が求められます。地理院地図ではこうやって求めた緯度、経度、標高を表示します。

ところで地図は球体に近い曲面を平面に近似したものでありその際に歪みが生じます。地理院地図では Webメルカトルという図法を採用しています。メルカトル図法は正角図法であり、狭い範囲での形状は歪みが少ないのですが、メルカトル図法の特徴として良く知られているように、高緯度ほど同じ面積が大きく表示されます。地理院地図のデータは経緯度の値で細かく切ったタイルに分かれており、拡大・縮小を行うたびにタイルの経緯度差が半分・2 倍になります（参考 URL 6）。同じ経緯度差でも実際の長さは南北で変わりますので、北海道と沖縄で比較を行う際には注意が必要です（図 7）。紙の地形図は、投影法は UTM (Universal Transverse Mercator : ユニバーサル横メルカトル図法) でありそもそも地理院地図と異なりますが、実際の距離に基づいて現実世界を縮小表示しているため、高緯度だからといって同じ面積が見た目に大きさが変わって表示されるということはありません。

参考 URL サイト （2023 年 1 月参照確認）

参考 URL 1 <https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/vlbi.html> VLBI

参考 URL 2 <https://www.gsi.go.jp/eiseisokuchi/eiseisokuchi41012.html>
GEONET GNSS 連続観測システム (GNSS Earth Observation Network System)

参考 URL 3 <https://maps.gsi.go.jp/> 地理院地図

参考 URL 4 <https://www.gsi.go.jp/KIDS/KIDS13.html> 世界測地系 (中学生のページ)

参考 URL 5 https://www.gsi.go.jp/buturisokuchi/grageo_agsoverview.html 航空重力測量

参考 URL 6 <https://maps.gsi.go.jp/development/siyou.html> 地理院タイル仕様



図5 地理院地図上の特定の場所に対する位置情報
(緯度、経度、標高)

<https://maps.gsi.go.jp/#15/36.104127/140.085640/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k010u0t0z0r0s0m0f2>

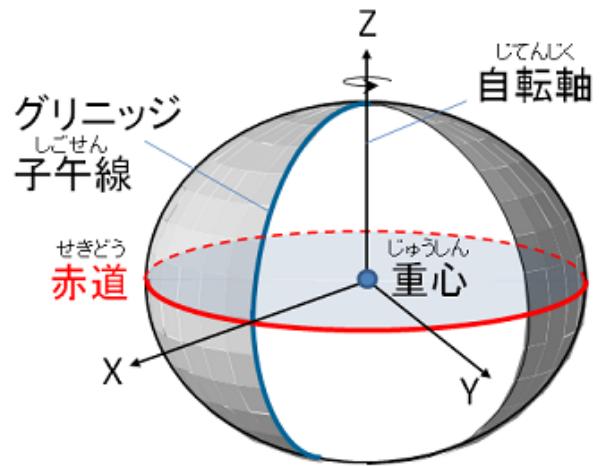


図6 楕円体と座標系

(<https://www.gsi.go.jp/KIDS/KIDS13.html>

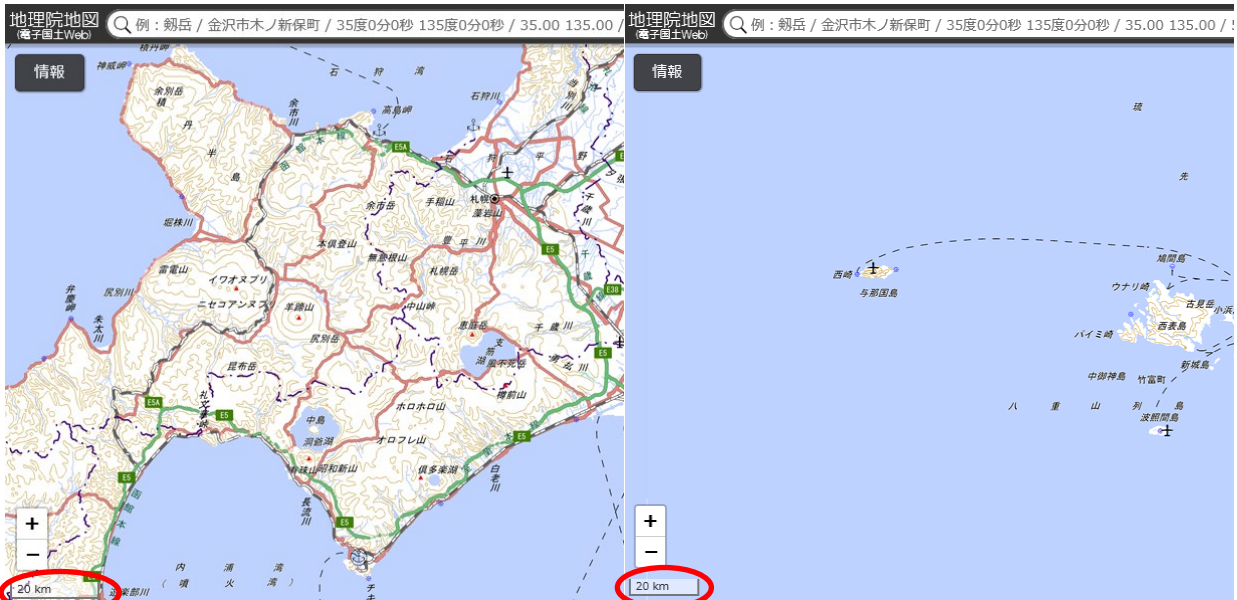


図7 地理院地図 (レベル9) における表示例 (同じレベルでも縮尺が違うことに注意)

(<https://maps.gsi.go.jp>

)