

座標系の基礎知識 日本での位置の基準となる測地系

1 測地系とは？

国またはいくつかの国からなる地域単位で採用され、測量、地図作成、土地の管理、大規模土木工事などの基準となる測地体系のこと。

国家測量機関（国土地理院）が地球の形と大きさ、経緯度原点、高さの基準などの定義や維持を行っている。

2 地球上の位置を表すにはどうするか？

地球上の位置を緯度、経度、高さで表すには、あらかじめ決められた基準面の上で、地球上の位置は表現する必要がある。

3 何を基準面にすればよいか？

実際の地球の形・・・山や谷や海があり、基準面としては複雑すぎて実用的ではない。

ジオイド・・・ジオイドも複雑な起伏があるので基準面としては不適。

⇒できるだけ地球の形に近く、できるだけシンプルな形の基準面がいろいろ便利ははず

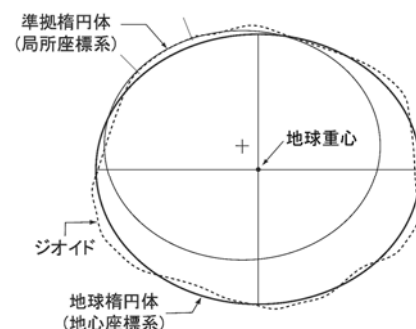
ジオイドによく似るように決められた回転楕円形を考え、地球の形を代表するものとする。

これを地球楕円体と呼び、代表的な地球楕円体は以下のとおり。

地球楕円体の概要			
楕円形	年代	赤道半径 (m)	扁平率の逆数 (1/f)
ベッセル楕円体	1841	6,377,397.155	299.152813
クラーク楕円体	1880	6,378,249.145	293.4663
クラソフスキー楕円体	1943	6,378,245	298.3
測地基準系 1980 (GRS80) 楕円体	1980	6,378,137	298.257222101

4 地球楕円体上の位置は、実際の地球上の位置と異なるが大丈夫か？

地球楕円体を測量の基準にするためには、楕円体の表面が地球の表面とぴったり合っている必要があるが、実際には山や谷があって無理である。そこで、楕円体の中心を地球の中心からずらして、できるだけ地球楕円体の表面と地球の表面が一致する様にしておき、その後の位置決定手順は次ページの測地基準点成果に委ねている。よって、楕円体の中心を実際の地球上のどの位置に、またその楕円体の座標軸が実際の地球のどこを通るかということを決めておく必要がある。この位置と方向が決められた地球楕円体を準拠楕円体と呼ぶ。



測地基準系と測地基準点成果

5 測地基準系（測地系）とは？

地球上の位置を経度・緯度で表わすための基準。

地球の形に最も近い回転楕円体で定義（長半径[赤道半径] a 及び扁平率 f の値）されている。

6 経度・緯度を示す経線・緯線は、本当の地球の表面の上にはない。どこにあるか？

地球の形に最も近い扁平な回転楕円体を想定して、経度・緯度の測定に関する測定の基準とする。

経線・緯線は、この楕円体上にあり、地図を作るための基準となっている。

なぜなら、地球の地表面は凹凸が大きいので、そのままでは地図を作るための基準面として不適。

7 地表にある土地の経度・緯度は、どうやって測るのか？

① 日本の「経緯度原点」を設置する。 ※8参照

東京都港区麻布台二丁目 18 番 1

経度：東経 139 度 44 分 28 秒 8869

緯度：北緯 35 度 39 分 29 秒 1572

原点方位角：32 度 20 分 46 秒 209

⇒ 真北の方向のこと

測量法施行令により、日本経緯度原点において「真北を基準として右回りに測定した茨城県つくば市北郷1番地内つくば超長基線電波干渉計観測点金属標の十字の交点の方位角」として定められている（第2条第1項第2号）。原方位ともいう。



② 上記①の原点以外で、位置の目印になる「基準点」を全国にできるだけ一様になるように設置。

③ 原点に隣接する基準点までの距離と角度を測量すれば、この隣接する基準点の位置関係が求まる。

④ 上記③を繰り返して、基準点網を形成する基準点の位置関係を全て求める。

⑤ 経緯度原点の絶対位置がわかっているならば、全ての基準点の絶対位置を求められる。

⑥ 地表における基準点の位置関係を楕円体の上に投影し、楕円体上で定義されている経度・緯度を求める。

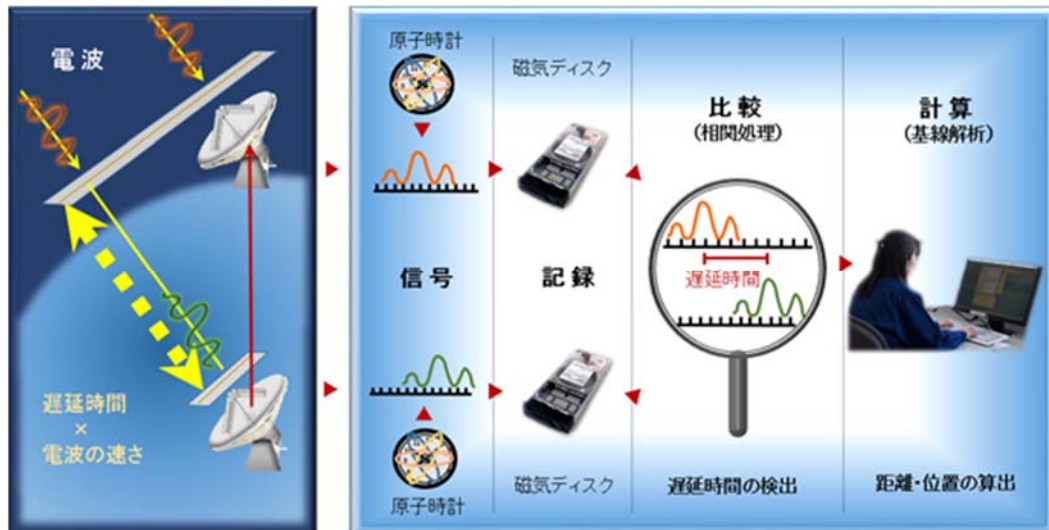
⑦ 上記手順で求めた基準点の経度・緯度の数値を「測地基準点成果」（あるいは単に「測地成果」）という。あらかじめこのような測地基準点成果が計算されていれば、個々の土地の経度・緯度は、最寄りの基準点との相対位置関係を測量するだけで簡単に求められる。

測地基準系、基準点網、そして測地基準点成果をあわせて、「国家基準点体系」または「基準点体系」という。

8 そもそも経緯度原点の位置は、どうやって測ったのか？

経緯度原点の位置は、VLBI、GNSS 等の宇宙測地技術によって構築された世界測地系（地球重心系）に従って地球上のどの位置にあるか決められている。

VLBI の原理



1. はるか遠くにある天体（クエーサー）が放った微弱な電波を、いくつかのパラボラアンテナで受信する。
2. アンテナの位置によって天体からの距離がわずかに違うため、アンテナが電波を受信する時刻も少しだけ（0.02 秒以下）違ってくるので、それぞれのアンテナで電波を受信した時刻を非常に正確な時計を使って測っておく。
3. それぞれのアンテナで記録した時刻を比較して、電波を受信した時刻の差「遅延時間」を計算する。
4. 遅延時間に電波の速さを乗じて、アンテナ間の距離が判明する。
5. このような観測をたくさんの天体に対して行い、アンテナ間の位置関係を求める。数千キロメートル離れたアンテナの距離も、わずか数ミリメートルの精度で測ることができる。

地球重心系

地球重心系は世界測地系と同義。

世界測地系という言葉が「世界共通であること」に重点をおいた表記であるのに対し、地球重心系という言葉は「座標系の原点を地球重心にもつこと」に重点をおいた表現である。

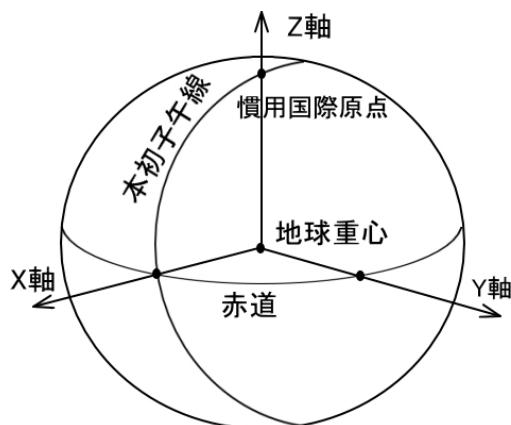
地球重心系は、人工衛星の軌道計算のように、地球の重心のまわりを運動する物体を扱う場合によく使われる。

つまり、人工衛星などを利用して宇宙から行う測量は、地球の重心が重要な意味を持つ。

9 地球の重心は、地球表面上の位置の決定にどう関係するのか？

ITRF 座標系 (International Terrestrial Reference Frame : 国際地球基準座標系) は、IERS (国際地球回転観測事業) という国際的な学術機関が構築している 3 次元直交座標系 (地心座標系) である。

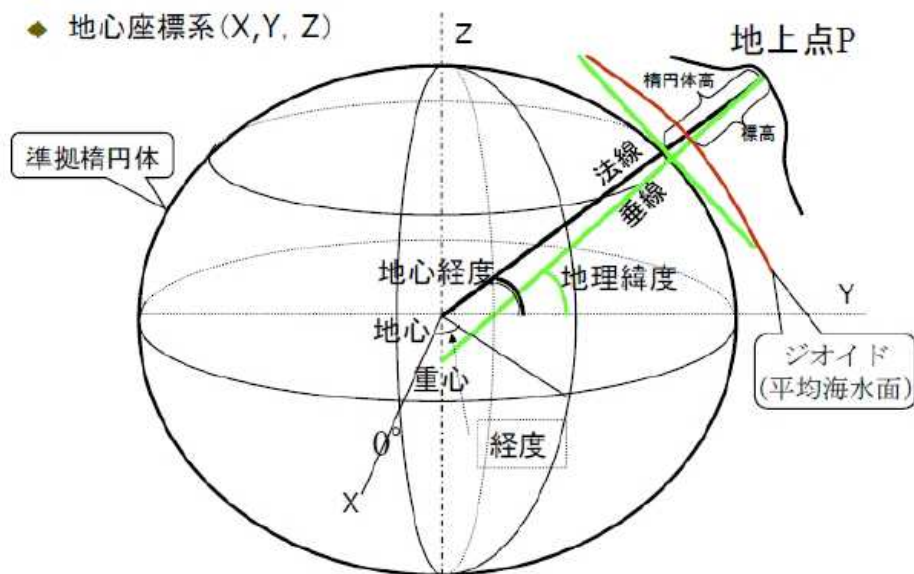
この座標系は、地球の重心に原点を置き、X 軸をグリニッジ子午線と赤道との交点の方向に、Y 軸を東経 90 度の方向に、Z 軸を北極の方向にとって、空間上の位置を X、Y、Z の数字の組で表現する。ITRF 座標系は、常に最新の宇宙測地データを使って更新されていくので今後も精度を上げるような変更があるが、すでに十分な精度が得られているので、日本の測地基準系を変更する必要は無い。



地球上の位置を経度、緯度、高さで表すには、地球楕円体を基準にする。その楕円体の形状は、3 次元直交座標系を用いれば、比較的簡単に、かつ厳密に記述することができる。したがって、原点を地球重心に持ち、地球とともに回転する 3 次元直交座標系(地球基準座標系)を定義しておく、と、楕円体を基準に位置を表現する際にも、何かと便利である。また、楕円体面のはるか上空を運動する人工衛星の位置は、楕円体を基準とするより、直交座標系で表すほうがより自然である。最近の位置決定手法の主流となっている GPS, VLBI, SLR などの宇宙測地技術も、直交座標系である ITRF を基準としている。つまり、最近では、位置の直交座標 3 成分が先に決定され、直交座標系と楕円体の関係式を用いて経度、緯度、高さに変換される、というケースが一般的になりつつある。

◆ 地理座標系 (L, B, H)

◆ 地心座標系 (X, Y, Z)



地球上で生活するものにとって地球基準座標系は便利であるが、この系は地球とともに回転しており、厳密にはニュートンの慣性の法則が成り立たない非慣性座標系である。一方、天体や人工衛星の運動は、宇宙空間に固定された慣性座標系でのみ厳密に記述することができる。これらを地球基準座標系に変換するには、宇宙から見た地球回転運動を知らねばならない。これには、歳差、章動、極運動といったものが含まれる。宇宙測地データの解析ソフトウェアにはこれらの運動モデルが内蔵されているが、より高度な解析には、全地球規模の実測データに基づいた地球回転情報が必要である。

10 世界測地系とは何か？

世界測地系は、世界で共通に利用できる位置の基準、つまり、世界共通となる測地基準系のことである。

測量法では、世界測地系を次のように定義している。

世界測地系とは、地球を次に掲げる要件を満たす扁平な回転楕円体であると想定して行う地理学的経緯度の測定に関する測定の基準をいう。

- 一 その長半径及び扁平率が地理学的経緯度の測定に関する国際的な決定に基づき政令で定める値であること。
- 二 その中心が、地球の重心と一致するものであること。
- 三 その短軸が、地球の自転軸と一致するものであること。

これまで、各国の測地基準系が測量技術の制約等から歴史的に主に自国のみを対象として構築されたものであるのに対し、世界測地系は世界各国で共通に利用できることを目的に構築された。

日本では準拠楕円体として、ITRF 座標系 GRS80 楕円体を採用している。

準拠楕円体概要 準拠楕円体 測地基準系 1980 (GRS80) 楕円体

長半径 6,378,137m

扁平率 1/298.257222101

世界測地系は、地球を良く近似している楕円体（準拠楕円体）で地球上の位置（経度・緯度及び平均海面からの高さ）を表し、これに代えて地球重心を原点とする 3 次元直交座標系を用いて表わすこともできる。世界測地系は、VLBI、GPS 等の高精度な宇宙測地技術により構築維持されている。

11 世界測地系は、世界に一つしかないのか？

世界測地系は、概念としてはただ一つのものである。しかし、国ごとに採用する時期や構築に当たった詳細な手法及び実現精度が異なり、代表的なものに、ITRF 系、WGS 系、PZ 系の 3 種類がある。

ITRF 系は、日本をはじめ多くの国家が陸域で採用。

WGS 系は、米国が構築・維持しており、GPS は軍事用で開発されたため、WGS 系で運用される。

現在、ITRF 系に接近し、現在ほとんど同一のものといえる。船舶ナビゲーション等に採用。

PZ 系は、ロシアが採用。