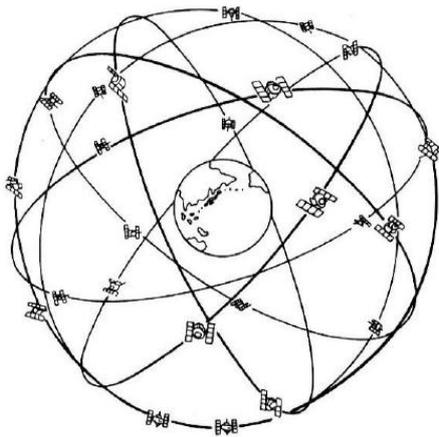


GPS の概要と各種補正

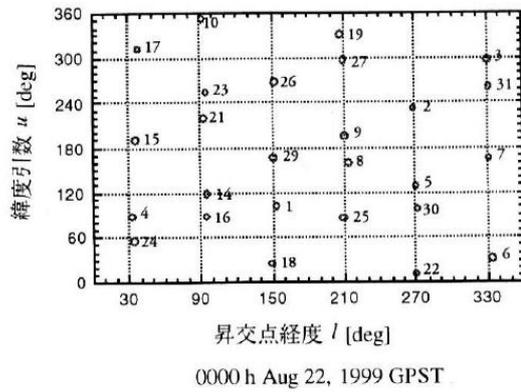
§ GPS(Global Positioning System)の概要

① GPS 衛星

GPS の宇宙部分(space segment)は、高度 20,200 km、傾斜角 55 度、周期 12 時間の円軌道を周回する GPS 衛星 (6 軌道面に 4 機ずつ配置、24 機以上で運用) からなる。GPS 衛星は、利用者が世界中のどこでもいつでも少なくとも 4 機の衛星が利用できるように最適配置され、常に自分の位置と時刻などの航法メッセージを利用者に送信している。



(a) GPS 宇宙部分 (群衛星)



(b) GPS 衛星の配置

図 2.1 GPS 衛星

② GPS 測位原理

原理は極めて明快である。位置が正確に分かっている複数衛星から発する信号伝播時間を測定し、光速度を乗じることで自分の位置と衛星の距離を計算する (図 5.1)。このとき、GPS 受信機の位置は衛星の位置を中心とし半径が測定距離の球面上にある。一般に、3 個の球面の交わりは点であり観測点となる (図 5.2)

全GPS衛星は原子時計による正確なタイミングで測位用信号を発信
各衛星の位置 (と速度および運動方向) は軌道情報により計算可能

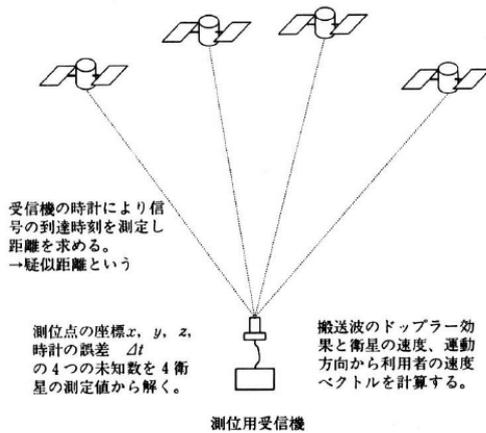


図 5.1 衛星群を用いた測位

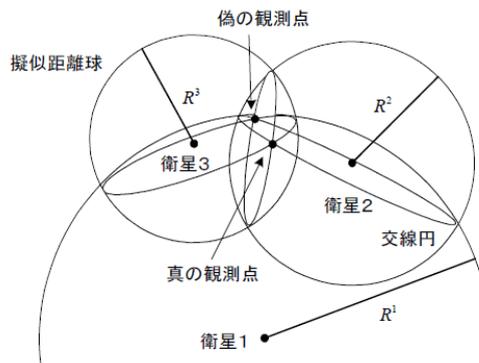


図 5.2 観測点の決定 (3次元)

§ 各種補正

① 地球の自転が一定でない補正

世界時 UT (Universal Time) とは、地球の自転に準拠した時系のことで、地球の自転はだんだん遅くなっており、更に数十年周期の変動（現在は平均よりも遅くならない時期）や年周期の変動（6～8月は速くなる）もある。

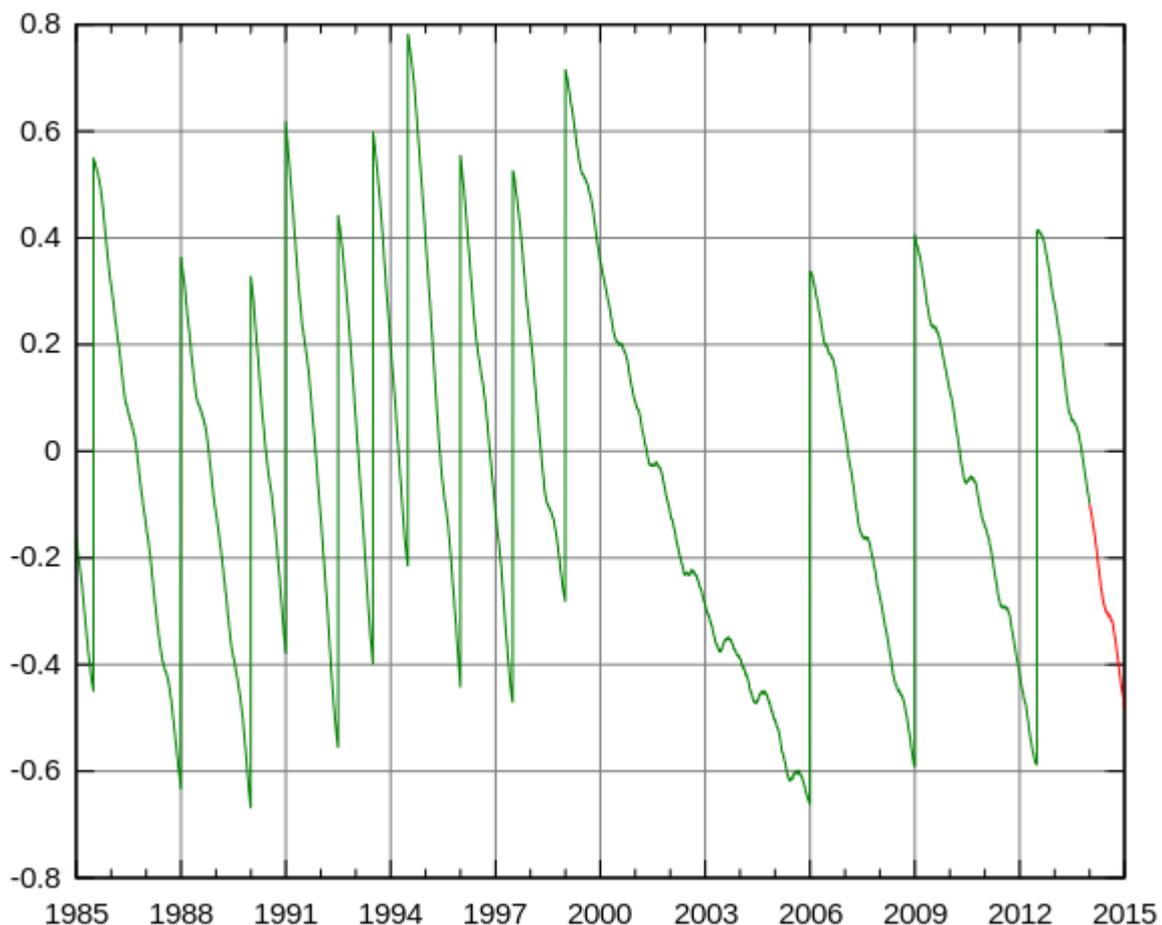
それに対して、国際原子時 TAI (International Atomic Time) は、セシウム原子のエネルギー遷移によるスペクトル線の周波数を基準にする時系で、均一な時の流れを提供し現在の時間の基準となるものである。

この TAI は UT に比較して一般的に進んでしまうため、23:59:59 と 00:00:00 の間に 23:59:60 という閏（うるう）秒 (leap seconds) を入れて UT の秒を調整し 0.9 秒以上ずれないようにしている。

2014年3月現在、協定世界時は国際原子時よりも 35 秒遅れている。

GPS 時 GPST (GPS Time) は、全世界測位衛星システム GPS (Global Positioning System) 衛星内のセシウム原子時計と地上施設の原子時計を総合して管理される時系であり時間刻みは 100ns 程度の小さな誤差を無視すれば国際原子時 TAI と同一である。但し、GPST は 1980 年 1 月 6 日 (日) 0 時 UTC に開始したので、その時の UTC と TAI の差である 19 秒の遅れがある。

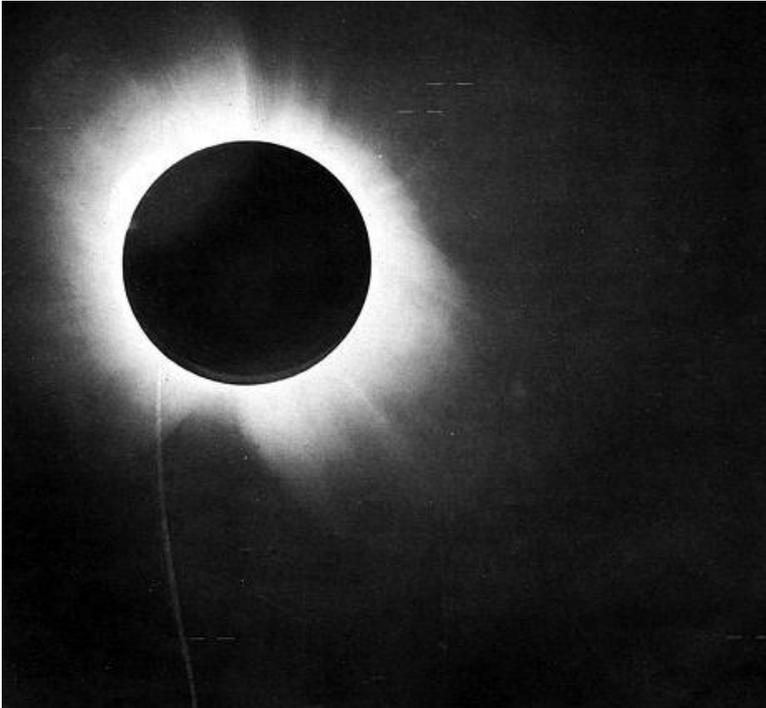
下図は最近の閏（うるう）秒を入れた時期と TAI・UT 間ずれ量の推移。



② 相対性理論効果の補正

一般相対性理論効果（重力が小さい人工衛星上では地上よりも時間が進む）の補正のため TAI に比べ原子周波数標準を約 4×10^{-10} の割合だけ低い周波数で設定されている。GPS では一般相対性理論を使って時刻を補正しないと、1 日で位置情報が約 11 km もずれてしまいます。

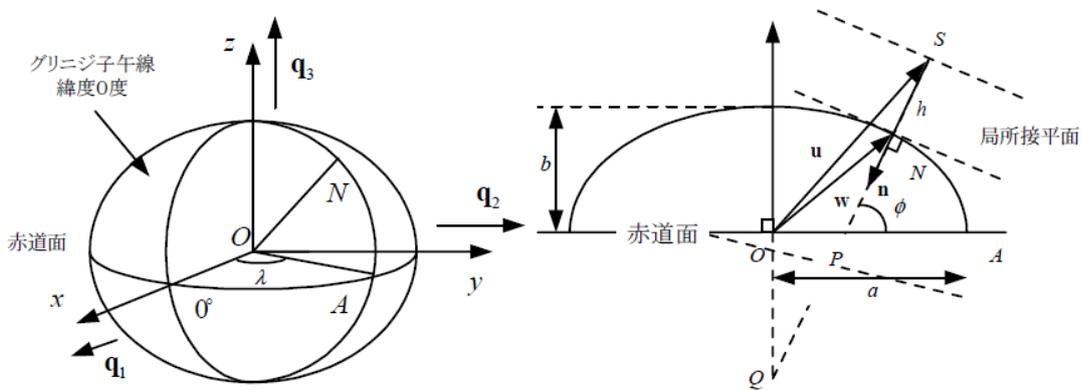
下の写真は重力が大きい太陽の近くを通った星の光が曲がった（時間が遅れて空間が歪んで見える）証拠写真です。



③地球の形状が真球でない補正

WGS-84 によると地球の形状は図 3.1 に示すような楕円体で記述される。赤道面に平行な断面は円であり、半径は地球の平均赤道半径の 6 378 137 m である。

一方、赤道面に垂直な断面は楕円である。この楕円断面の短軸は地球の極軸に対応し、その半短径は WGS-84 では 6 356 752.31425 m と定められている。



(a) WGS-84 準拠 ECEF 座標系 (b) 赤道面に垂直な楕円体断面

図 3.1 地球の楕円体モデル

③ 日本における経度、緯度、標高の補正

日本の測量の基盤となる座標系・日本測地系(Tokyo Datum)は、東京湾の平均海水面を基準に測量されるため、GPS 測位の WGS-84 楕円体を基準とした高さとは異なる。

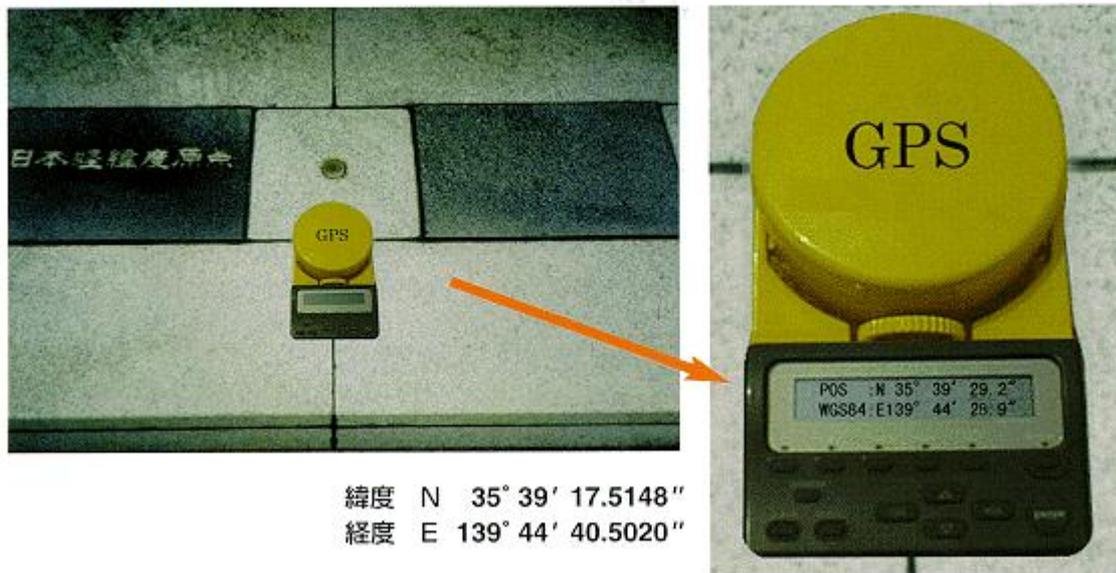
また、緯度と経度も、日本測地系の標準楕円体(Bessel 楕円体)が WGS-84 と違うため異なる。世界測地系に対して、北西に 4 5 0 m ずれている。

日本測地系の緯度、経度、標高に、下記を加えると WGS-84 系の測地座標値に変換できる。

Δ 緯度=11.65 sec, Δ 経度= -11.53 sec, Δ 標高= 38.5 m

下の写真は東京都港区麻布台二丁目 18 番 1 地内日本経緯度原点金属標での GPS 経緯度測定結果

日本経緯度原点



§あとなぎ

今回は我々の生活に必要な不可欠になった GPS 工学についてまとめました。太陽系の惑星やブラックホールの話も面白いですが、実際に見ることができないので、今一ピンと来ないと思います。一般相対性理論も地球上で生活する上では関係ない話だと思っていましたが、GPS では一般相対性理論を使って時刻を補正しないと、1 日で位置情報が約 11 km もずれてしまいます。本当に、強い重力の近くでは時間が遅れて空間が歪んでしまうことが実感できました。