

GPS 単独測位で測定された地球表面の変動

基準座標系 : WGS-84

変動の物理的意味は何か

2009/7/1 小野房吉

現在、地震予知の手段の一つとして GPS 衛星を利用した、地殻変動測定が、関係機関で行われているが、精度を確保するため、最寄りの基準点との相対変化を到来電波の位相差測定で求め、幾つかの仮定をおいて測地座標に結合している。所謂間接測定である。一方 GPS の単独測位は何の仮定もなく、直接測地座標が求まるから**絶対測定**と云える。本来地殻変動とは、該点の測地座標が変動することであるから、基準座標系に対する変化として測定されなければならない。しかし、従来これを高精度に測定する方法が無かったので、次善の策として相対測定が採用されたものと解する。つまり GPS 単独測位が当初から分解能が高く、所要の精度が確保できる手法であったなら、この方法も重要な役割を果たしていただろう。

さて、GPS の単独測位であるが、確かに 10 年程前、安定度±20m 前後で精度が高いとは云えなかった。何故か、一言でいえば**受信回路の感度が低かった**である。感度が低いと同時に受信できる衛星電波の数が少なくなる。測地座標を受信機で計算する為には、同時に最低 4 個の衛星電波の受信が必要だが、精度を確保する為には最低では不足で、常時 6~10 個程度の電波受信が求められる。衛星が地(水)平線から上昇し、その電波が受信機で補足されるまでに感度が低いと時間がかかる。また、衛星の高度が低くなり電波が弱ると受信切断が早まる。また電波の伝播経路に雲や雨滴等、水蒸気が存在すると電波が減衰、時に受信不能になったりする。これらが全て測位精度を低下させる原因だった。

現在、市販の受信機の受信感度は、相当高くなっており、森の中や豪雨でも確実に衛星電波を捕捉し、測位が可能になった。かつて受信機は、良好な環境でも、朝晩の電離層激変時間帯では、受信不能がしばしば生じた。現在はそのようなことは無い。従って固定点で連続測位する場合、平均値の品質低下が生じなくなった。次に、かつてソフトウェアは、条件の良い受信電波のみ選択利用するということがあったが、今受信機は受信できる電波の全てを利用している。重みは加味している。選択利用では、設計者の恣意的判断が、却って精度低下を招くことに気がついたのだろう。かくて、電離層の激変時間帯でも、平面測位にその影響に相関する変動は見られなくなった。

常識的に考えれば、その影響がないはずはないのだが、多数衛星、長時間連続受信では、東西南北あらゆる方向の上空から電波が到来するため、平面では誤差がキャンセルされてしまうものと思われる。実測では、高さに常識では考えられない大きな変動が観測され、電離層の影響が出ている可能性はある。

ところで、電離層は昼間密度が高く、高さが低い。夜間は密度が低く高さが高いから、これが仮に測位に影響するとすれば、その変動は日出没時に変曲点を持つ台形が想定される。しかし、結果にそのような兆候はなく、少なくとも**平面**では結果的に電離層の影響は認められなかった。電離層の影響が生じない、もう一つの証拠は、長期連続観測結果が示す変動波形の位相が季節変化していることが認められたことだ。電離層は日出没に密接に関連した変化であるから、正しく日周でなければならず、季節によって位相が変わるといった変動が生じるのは不自然だ。

さて、GPS 単独測位の精度がかくも高くなったのは、この種の受信機の開発が民間に委ねられ、多数の企業の競争の結果と思われるが、これだけ精度が高くなると地殻変動観測が一部プロ集団の独占ではなく、国民の誰でもが容易にアタックできるインフラが整ったと云える。GPS 単独測位は、測定分解

能が多少低くても基準座標系に対する偏差が、直接求まる長所は他に代え難い。今後 GPS 単独測位の良さが認識されれば、地球の活動の探究に新たな I ページを開くものと思われる。私はこのような考えに基づいて数年前から市販のローコスト GPS 受信機を買い求め、測位データの取得を始めました。その結果、相対測位では観測にかからなかった地球の運動について、新たな発見があった。標題の周期的変動である。

私の観測手法

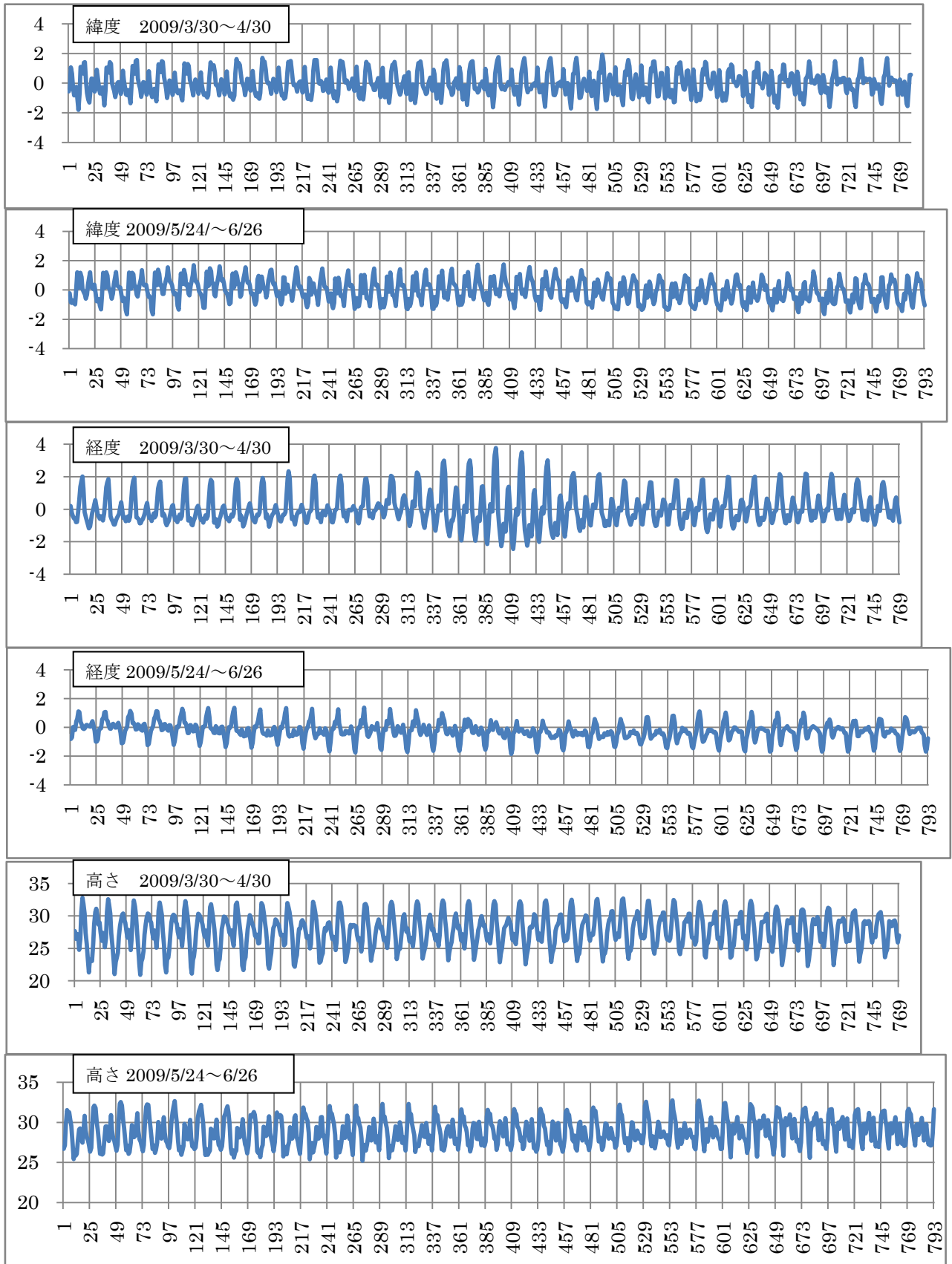
市販の GPS 受信機を購入し、アンテナを自宅のベランダに支持棒で、3m 程立ち上げ、水平にとり付ける。電波受信面の径は 3cm ϕ 程なので水平に上を向いていれば向きは適当でよい。受信機には不揮発性メモリが内蔵しており、約 10 万個(経度、緯度、高さ)のデータが蓄積できる。分解能は、緯度・経度共[0.01"]、高さ 0.1m。分解能が低いように思われるが、固定点でデータ量を稼ぎ、平均すれば数倍から一桁程度の分解能向上が期待できる。5 秒間隔で、経度・緯度・高さのデータを取得し、時刻と共にメモリに蓄積、1 日に一回 CPU にダウンロード、データ処理を行う。処理は生データに間隔 2 時間の移動平均を行った後、毎 1 時間値を抽出、グラフ化する。このグラフに明らかな日周変動が浮かび上がった。さらにランダムな誤差を減衰させ、信号成分を浮き上がらせるため 5 日間のデータの同じ時刻の値を平均する処理を行った。これをグラフ化したのが、第 1 図である。見事な日周変動が見える。

日周の他に半日周成分もあるようで、これが日の経過とともに位相が少しずつずれていることが分かる。高さの変動の振幅が大き過ぎるが、これは観測できる衛星が水平面より上空にあり、負の高度データが無いため、昼夜で異なる電波伝播速度の影響が相殺されないためと思われます。経度の変動は、比較的綺麗であるが、緯度には更に幾つかの短周期成分があるようで波形が多少乱れている。GPS 単独測位に現れたこの変動は一体何であらうか。単独測位の精度の限界か？ しかし、それは無いだろう。誤差がこれほど規則的であるはずがないからだ。

変動が地球の活動の一端を示しているとするれば、従来、国の関係機関が行ってきた、精度 1cm を誇る観測成果に、このような変動の報告が無かったことが不可解だ。私は理由を次のように考えます。

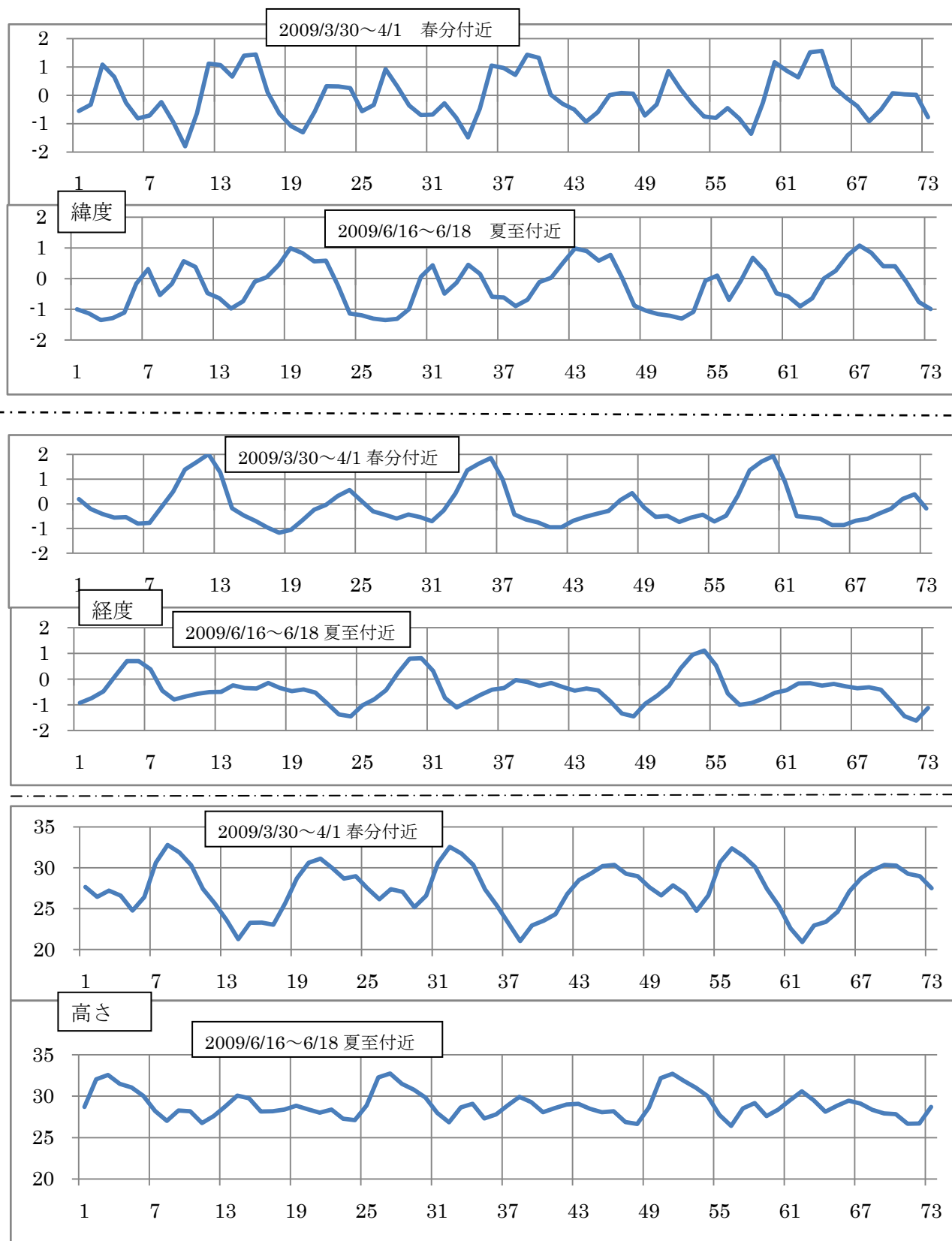
VLBI,SLR,GPS 位相差等の観測の分解能は高いけれど相対観測、しかも観測が、目的の星や衛星が**当該測点**で見えている間だけの観測。加えて**条件のよい時間帯**だけの測定であることです。このような断片的な観測から地球の変動の全体像把握は困難かと思えます。これでは分解能は、高くても木を見て森を見ない観測と言わざるを得ません。*地球の活動の全体像把握には 1 日 24 時間を通した観測が必要と考えます。* さて、最近の観測データを概観しておぼろげに推定できることは、どうもこの変動が地球の公転と相関がありそうなことです。(春分付近の変化と夏至付近の変化で振幅と位相が異なる) しかし、これについては、更に長期のデータの蓄積が必要と考えます。現在までのデータで云えることは、振幅が春分点付近で大きく夏至付近で小さくなっていることと、位相が約 90° 進んでいることです。3 か月で 90° は 1 年で 1 日位相が進むことを意味します。これを解釈すると測位は太陽時、位相の変化は恒星時に沿った変化を示したと云えます。以下、データについて検討します。

第 2 図は、第 1 図の最初の 3 日間の拡大表現。春分付近と夏至付近のデータの図を各成分を並べて見たもの。これを見れば、変化の位相と振幅が異なることが一目瞭然です。このことは、観測された変化が、電離層でないことを示しています。第 2 高調波が見えていることも、電離層の影響でないことを示している傍証と云えましょう。電離層であれば日出没時を変曲点とする台形の変化になることが想定されるからです。以上から、この観測で得られた結果は、従来は観測できなかった天文現象による地球の変動が、私の観測にかかったような気がします。



第1図 地球表面のGPS衛星軌道から見た変動成分

単位:m. 時間軸:1 div. 1日、数値は経過時間



第2図 地球表面のGPS衛星軌道から見た変動成分(春分付近と夏至付近)

単位:m. 時間軸: 1 div. 6時間、数値は経過時間

以上のついて、コメントがある方は、松戸市二十世紀が丘中松町 33-8 小野房吉宛、ご連絡ください。