

GPS 時系列に含まれる誤差に関する研究（第3年次）

実施期間 平成15年度～平成17年度
地理地殻活動研究センター
宇宙測地研究室 宗包 浩志

1. はじめに

近年のGPS観測は、観測点の高密度化、連続観測の導入、解析手法の進歩などにより、非常に高精度で位置の変動を捉えることができるようになった。その一方で、精度の向上とともに、従来であれば無視していたような誤差を除去する必要性が現れるようになった。GPS時系列データの誤差要因としては、大気中の水蒸気による電波遅延が注目されているが、他方、降水量や地下水位との相関も指摘されている。また、解析ソフトウェアによる系統誤差も存在するが、その実体は明らかでない。

そこで、本研究では、さまざまな物理現象について、物理量と測位誤差を結びつけるモデルを介してGPS時系列に含まれる誤差を定量的に明らかにするとともに、異なるソフトウェアによる解を相互比較することにより系統誤差を明らかにする。なお、本課題は特別研究として行った。

2. 研究内容

地下水位、観測ピラーの温度など、測位に影響を与えると想定される物理量と測位誤差とを結びつけるモデルを設定し、それぞれの物理量に起因する測位誤差の大きさを評価する。また、GAMIT、GIPSY、BERNESEの3種類の精密測位ソフトウェアで同じデータを解析し、それらの解の相互比較を行ってソフトウェア間の系統誤差を明らかにする。

3. 成果

初年度の研究で、地理院構内の電子基準点の季節的な上下変動のほとんどが、地盤の間隙水圧の変化による帯水層の弾性変形で説明されることを明らかにした。また、平成16年度の本研究では、GEONETのルーチン解に見られたスケール変動が、BERNESEのバグに起因する見かけ上のものであること、本来のスケール変動には半年周変動が卓越し、その変動は電離層遅延高次効果に起因する可能性が高いこと等を明らかにした。

本年度は、地盤の熱変形（鉛直方向の変形）がGPS時系列に及ぼす効果を調べた。地盤の熱変形は気温変化によって引き起こされるが、気温変化では年周変動が卓越するため、ここでは、年周変動のみに着目する。気温変化の年周振幅を ΔT とすると、電子基準点における地盤変動 Δh は次のように表される(e.g. Dong et al., 2002)。

$$\Delta h = \frac{1+\gamma}{1-\gamma} \alpha \Delta T e^{-h/s} \sqrt{\frac{\kappa}{\omega}} \cos\left(\omega t - \frac{b}{s} - \frac{1}{4}\pi\right) \quad (1)$$

ただし、 γ はポアソン比、 α は体積膨張率、 κ は熱拡散率、 ω は年周に相当する角速度、 b はGPS局のピラーが固定されている深さである。 s はスキンドープスであり、気温変動がどの程度の深さまで浸透するかを表す指標となる。 s は次のように与えられる。

$$s = \sqrt{\frac{2\kappa}{\omega}} \quad (2)$$

Dong et al. (2002) で与えられている地盤熱変形の式は、 $b=0$ 、つまり GPS 局のピラーが地表に固定されている場合に相当する。式(1)から、ピラーをスキンドepsより有意に深く固定すれば、地盤の熱変形による上下変動が無視できることが分かる。

次に、スキンドepsの値がどの程度であるか調べるため、北海道の三点（標茶、釧路、虻田）において熱拡散率の測定を行った。熱拡散率は、深さに対する地温の振幅及び位相の変化から決めることができる。そこで、地中 50cm、100cm の 2 箇所 で地中温度計測を行い、また、地表温度（深さ 0 の地温）として、もよりのアメダス観測点（20km 以内）で計測された気温を用いた。それぞれの温度計測値に対して、まず、年周変動を抽出し、その深さ方向の振幅と位相の変化から熱拡散率を推定した。その結果、熱拡散率は、どの観測点においても $2\sim 5 \times 10^{-7} \text{ m/s}^2$ となった。式(2)から対応するスキンドepsを求めると、 $1\sim 3 \times 10^{-7} \text{ m}$ である。

Dong et al. (2002) は、ピラーの固定深度が 0 の場合における地盤熱変形の年周変動を見積もっている。それによると、 $\alpha = 10^{-5}$ 、 $\Delta T = 20^\circ$ 、 $\gamma = 0.25$ 、 $\kappa = 1 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$ の場合、期待される熱変形の振幅は 0.56mm 程度である。次に、式(1)に従ってピラーの固定深度を考慮すると、この熱拡散率に対応するスキンドepsは 3.2m である。ピラーの固定深度を仮に 5 m とすると、式(1)より熱変形の振幅はほぼ 1/5 の 0.12mm 程度となる。今回、3 点の GEONET 観測点で観測された熱拡散率は、この値よりも小さいため、対応する地盤熱変形の振幅は更に小さくなる。従って GEONET では、地盤の熱変形は問題にならないと考えられる。

Prawirodirdjo et al. (2006) は、南カリフォルニアの SCIGN 観測網に見られる網歪み成分が、地盤の熱変形に起因すると主張している。彼らの議論では、GPS 局のピラーの固定深度が 0 であると仮定している。実際は、SCIGN で設置されている GPS 局のピラーは 10m までパイルが打ってあるため、固定深度もほぼ 10m に近いと考えてよい。その場合、熱変形の大きさは上で見積もったものと比較して一桁以上小さくなるため、網歪み成分を地盤の熱変形に帰着させるのは難しいであろう。

4. 結論

本年度は、GPS ピラーの固定深度を考慮した場合の地盤熱変形を考察した。その結果、熱拡散率で決まるスキンドepsが、地盤熱変形の振幅に大きな影響を与えることが分かった。GEONET 観測点におけるスキンドepsの推定値を考慮すると、地盤熱変形による変動は、従来見積もられていたものより更に小さく、0.1mm 程度となり、ほぼ無視できることが分かった。

参考文献

Dong et al. (2002) : J. Geophys. Res., 107, doi:10.1029/2001JB000573.

Prawirodirdjo et al. (2006) : J. Geophys. Res., 111, doi:10.1029/2005JB003716.