

大気遅延と局位置の怪しい関係

On the mysterious relationship between atmospheric delays and site coordinates

日置 幸介 [1]

Kosuke Heki [1]

[1] 国立天文台地球回転研究系

[1] Div. Earth Rotation, National Astron. Obs.

全地球測位システム（GPS）等のマイクロ波を用いた宇宙測地技術では大気遅延の適正な取り扱いが局位置の正確な推定に欠かせない。本講演では大気遅延と局位置の一方を既知とした場合にもう一方に生じる系統誤差、および大気遅延勾配がもたらす局位置や天頂大気遅延の推定誤差について理論的および数値的に評価する。

GPSでは衛星の電波を地上の観測局で受信し、その位相あるいは位相差をデータとして地球回転やプレート運動、地殻変動等を推定する。大気の「海の底」にあ

る地上観測局に到達する前に電波は乾燥大気や水蒸気により余剰光路長で2 mを超える「遅延」を受ける。この大気遅延は気象データとモデルを用いて計算してあ

らかじめ補正するか、独立なパラメータとして局位置等と同時に推定する必要がある。GPSの気象学的な応用では局位置を既知として大気遅延を推定する場合もある。

いずれの場合でも局位置と大気のどちらか一方のモデルが不完全であればもう一方の推定値に系統誤差が生じる。ある局で受信した衛星または準星の信号の位相の

南北、東西、上下の局位置三成分に関する偏微分係数は、電波源の仰角・方位角の関数である。大気遅延は視線方向の遅延と天頂方向の遅延の比である「マッピング

関数」を偏微分係数として、天頂遅延をパラメータ推定する。実際に使われるマッピング関数は地球の曲率や大気による屈折を反映して複雑な形をしているが大局

的には仰角の正弦の逆数に近い。一般的に二つのパラメータが相関を持つ場合、一方のパラメータの誤差がもう一方のパラメータの誤差につながる。たとえばAのパ

ラメータを実際と異なる値に固定してBのパラメータを推定すると、Bのパラメータの推定値に系統誤差が生じる。両者同時に推定すればこの系統誤差は消えるが、

分離性の悪い両パラメータを無理に推定した影響がランダム誤差の増大をもたらす。これらを局位置と天頂大気遅延にあてはめると、誤った大気遅延に固定すると

局位置（主に鉛直位置）に系統誤差が生じ、両方推定すると系統誤差は小さくなるが標準偏差がやたら大きくなる。

大気遅延と局位置を同時推定した時の上下位置のランダム誤差の増大を抑えるために、大気遅延を気象学的に求められた値に固定または強く拘束するというのは気

象学から測位精度向上への寄与として有力な手段の一つである。しかし固定した大気遅延の真値からのずれがもたらす局位置推定誤差をあらかじめ定量的に把握し

ておくことは重要であろう。天頂大気遅延を誤った値に固定したときに生じる局位置系統誤差は大気に関する偏微分係数を局位置に関する偏微分係数で割ったもの

を天空全体にわたり積分して求められる。衛星分布を一樣とすると積分の結果水平位置の系統誤差はゼロになり、上下位置誤差は固定した天頂大気遅延の真値からの

ずれを最低仰角の正弦で割ったものになる。GPSの気象学的な応用では逆に局位置を固定して天頂遅延を推定することが多い。この場合天頂遅延の推定誤差は逆に上

下に関する偏微分係数を大気遅延に関する偏微分係数で割ったものを積分して得られる。固定GPS局の場合は長期間の観測によっておおむね正しい局位置が与えら

れているが、地球潮汐や海洋荷重、大気荷重による上下位置変動等の時間変化分を正確にモデル化することが大気遅延の時間変化を正確に追う上で重要である。衛星

分布が一樣という仮定はGPS衛星の軌道傾斜角の関係で成り立たず、天の北極を中心に半径35度程度の「空白域」が生じる。その影響は主に大気遅延との相関を持

つ局位置成分に新たに南北が加わることである。現実的な影響は実際の衛星軌道に基づいた仮想的なデータに局位置や大気遅延の一方に誤差を人為的に与えた上で

もう一方をパラメータ推定することによって見積もることができる。

大気が不均一であれば視線方向の遅延に方位角依存性が生じる。このような大気遅延勾配の効果は大気の成層構造がGPS衛星の方向を計算する際に用いた楕円体

に対して傾いていることと等価である。水平位置は大気遅延が最小となる方位角の方向にずれて推定され、その大きさは天頂遅延と同様の計算によって最低仰角の関数として表せる。また大気の南北勾配は前に述べた空白域の影響で上下位置や天頂大気遅延の推定値にも影響する。気象学的大気遅延勾配の原因の多くは水蒸気の地域的な偏在であろう。その場合勾配は天頂遅延の水平方向の空間変化率と水蒸気層の高度を通じて関係づけられる。非気象学的原因としては鉛直線偏差に起因する永年的大気遅延勾配等が考えられる。