

GPS データ解析における大気モデリングに関する研究

実施期間 平成 14 年度
測地観測センター 地震調査官 畑中雄樹

はじめに

地球大気による伝播遅延は GPS 測位にとって大きな誤差要因である。平成 9 ~ 13 年度に文部科学省振興調整費による特別研究「GPS 気象学」によって、GPS で推定される大気遅延量の気象学的な評価や大気モデルの高度化についての研究が行われ、その成果の一部は GEONET のルーチン解析にも取り入れられ、座標値の再現性の向上にも役立っている。しかし、改良された GEONET の座標値には季節変化の様な長周期的なノイズが残っており、大気モデル誤差がその要因の候補としてあげられている。

2. 研究概要

ラジオゾンデや数値モデルなどの気象データを用いて、GEONET で推定される大気遅延量を評価することによって、GPS 解析における大気モデリングの誤差を調査し、特に季節変動的なタイムスケールでの座標変動との関係を考察する。

3. 平成 14 年度実施内容

GEONET の新解析結果の座標解から年周変化成分を抽出した。気象庁のラジオゾンデによるデータから計算された可降水量と最寄りの GEONET 観測点で GPS によって推定された大気遅延量を比較し、座標の年周変化との関連を分析した。

GEONET のルーチン解析で考慮されていない大気遅延勾配の影響を見積もるため、GIPSY/OASIS II ソフトウェアの精密単独測位法を用いて、GEONET の 1996 年以降の全データを

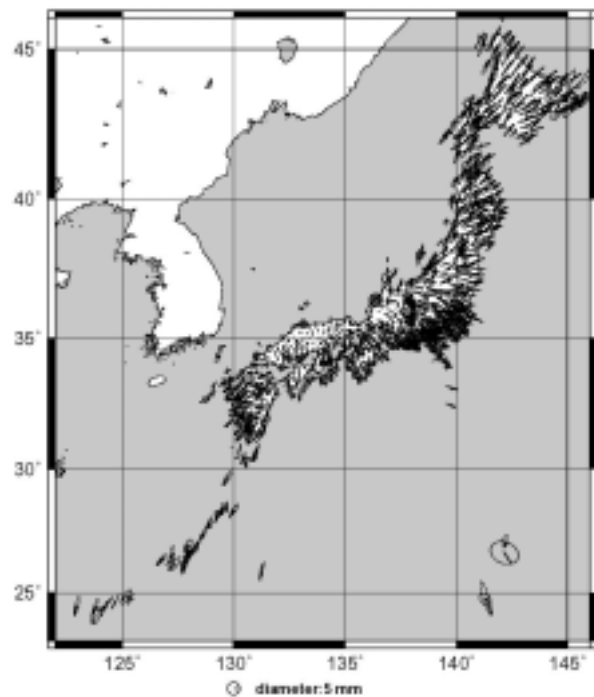


図 1 GEONET の新解析結果を基に抽出した各観測点の年周変化の軌跡を、石川県の小松観測点を固定してプロットしたもの。楕円で示した軌跡の中で夏季の位置を線で示す。

解析し、BERNESE ソフトウェアによるルーチン解と比較した。

4. 得られた成果

図 1 は各観測点の水平座標時系列に含まれる年周変化成分の軌跡である。南西諸島周辺の観測点の動が篩いルーチン解析結果と異なり北東-南西方向となり、この地域のプレート運動の方向と一致しない。したがって、新しい解析結果はプレート運動起源説(Murakami & Miyazaki, 2001)を支持しない。そのかわり、網全体に渡ってスケールの変化が顕著であることが明瞭になった。網の系統的变化を Helmert 変換でモデル化して推定すると、スケールが冬に比べ夏に 6.4ppb 大きくなる成分が年周変化の全パワーの約 70%を占めていることがわかった。ただし、地域によってはスケールの変化だけでは説明できない年周変化が残存している。

スケール誤差につながる要因のうち大気遅延量の推定誤差を分析するため、気象庁のラジオゾンデによるデータから計算された可降水量(板垣・他、1999)を大気遅延量に換算し、GEONETで推定された大気遅延と比較した(図2)。その結果、GPSによる遅延量の推定値がラジオゾンデの結果に対して、夏に 1cm 程度小さめに求められるような年周的なバイアスを持っていることが明らかとなった。また、2000年頃を境に GEONET の座標解に見られる年周変化のパター

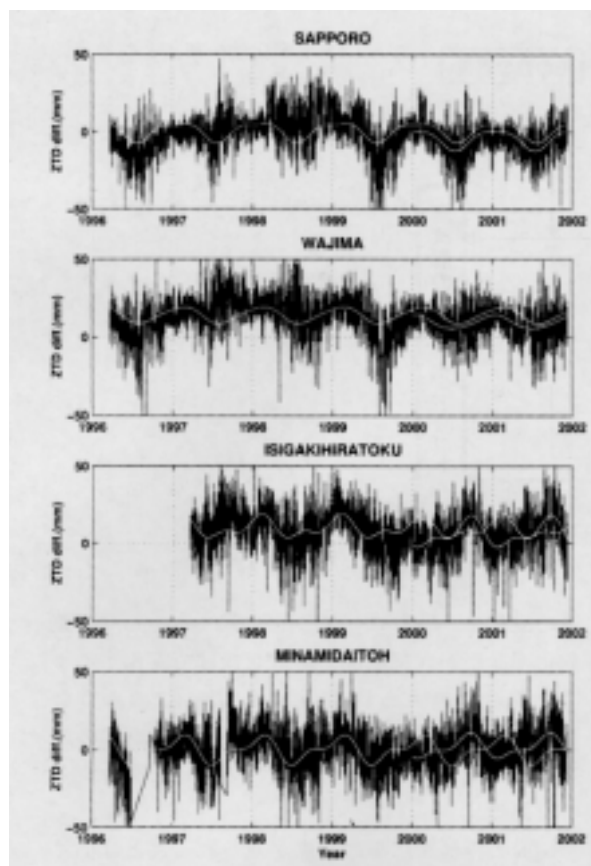


図2 GPSで求められた大気遅延量から気象庁のラジオゾンデによるものを引いた差。これに経験的モデルを当てはめ、1999年までのデータによるものを全期間に、2000年以降のデータのみで当てはめたものを2000年以降のみに重ねてプロットした(白線)。

ンに変化が見られるという報告(山本, 2001)があるが、大気遅延推定値のバイアスに含まれる年周変化もこの時期を境に変化が見られる。これらの事実は、大気遅延の推定誤差が網のスケール誤差に關与していることを支持している。

大気遅延勾配の推定が GPS 解析の短期再現性を向上させることが知られているが(例えば、Bar-Sever, 1997)、現在の GEONET のルーチン解析では大気遅延勾配は無視している。この影響を調べるために、1996 年以降の GEONET の全データを GIPSY/OASYS II ソフトウェアで解析した。精密単独測位法で、大気遅延勾配を推定した場合と推定しない場合の 2 通りの解析を行い比較した結果(図 3) 大気遅延勾配を推定しない場合の基線解の時系列には、ルーチン解と同様の年周変化が卓越するのに対し、大気遅延勾配を推定した結果では特に南北成分の年周変化の振幅が大きく減少することがわかった。大気遅延勾配の南北成分にも年周変化が見られ、その振幅はおおむね低緯度ほど大きくなる傾向がある他、紀伊半島や東海地方などで値が大きいなど地域性が明瞭に認められることがわかった(図 4)。このような地域性は衛星軌道や観測点固有の問題では説明できないので、気象学的なシグナルを捉えている可能性がある。

本研究の過程において、ラジオゾンデや数値モデルなどの気象データが、モデルに含まれる問題点の検出や原因の特定に役立っている。大気遅延推定値の精度が、GPS の解析モデルがうまく機能しているかどうかを占う上で重要な指標となることが示された。

5. 今後の課題

GEONET のルーチン解に見られる網スケールの年周変化と大気遅延推定値のバイアスの年周変化が相關していることは、座標値と大気遅延量という 2 つの推定パラメータ同士の相關を意味するのであって、片方からもう片方への因果関係を示す証拠ではない。したがって、スケールの年周変化に影響する誤差要因の存在を示したことはなるが、その原因を特定したわけではない。原因を特定するためにはより詳細な研究が必要である。

大気遅延勾配の推定が座標解の年周変化の一部をうち消すことは、GEONET の精度向上のために実用上の意味を持つ。GEONET のルーチン解析にも将来取り入れるべきであろう。また、大気遅延勾配推定値の年周変化に地域性が見られることは興味深い結果である。本州西部に見られる南北に伸び縮みする年周変化の大部分が、大気遅延勾配の推定によって消えたことは、これが本物の大気遅延勾配を表していることと、この地域の座標解に見られる年周変化が偽物であることの両方を示唆している。気象データなどによって、大気遅延勾配の年周変化が本物の気象学的シグナルであることが検証できれば、この点を更に補強することができる。

6. 文献

畑中雄樹、GPS による地殻変動観測と季節変動、月刊地球、Vol.25, No.2, 103-108, 2003.

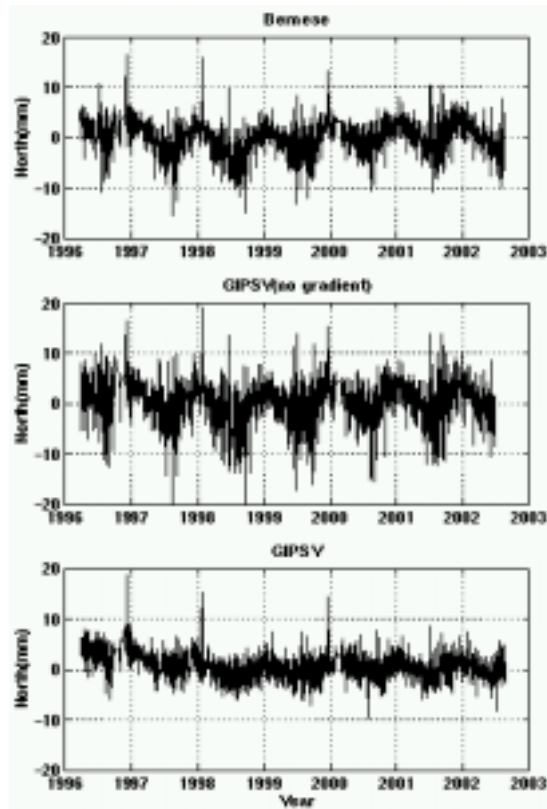


図3 西日本の南北基線の解析手法による比較（丹後 周参見基線、南北成分）。大気遅延勾配を推定せずに GIPSY で解析した結果（中図）は Bernese 解（上図）と同様の季節変動成分を含む。大気遅延勾配を推定すると季節変動の振幅が減少する（下図）。

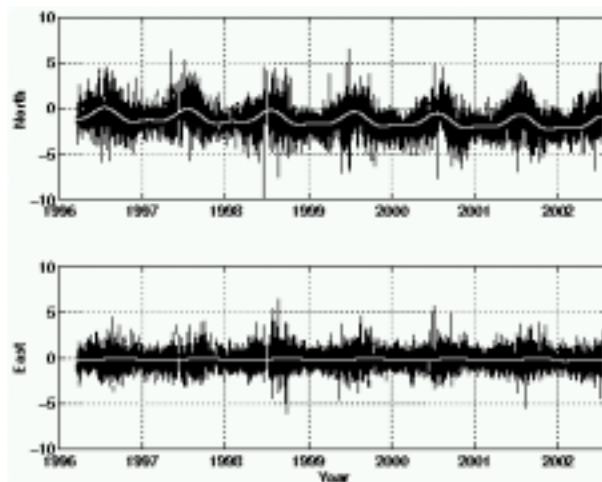


図4 周参見(950377)の大気遅延勾配の時系列。白線はモデルによる当てはめ。縦軸の単位は mm。