

畑中雄樹 (国土地理院)

Y. Hatanaka (Geospatial Information Authority of Japan)

はじめに

電離層遅延のモデル化手法については数多くの研究がなされている。地上GPS観測網のデータを用いる場合は鉛直方向の分解能が低いため、電離層を上空のモデル面において鉛直方向に積分された総電子数 (VTEC) の水平分布としてモデル化し、GPS観測から得られる、衛星への視線がモデル面を貫通する位置における視線方向の電子数 (STEC) と関係づけることによって、VTECの水平分布のパラメータを推定するのが一般的である。しかし、上空の電子の分布を厚さのないモデル面に代表させること、及びモデル面の高度を仮定することに伴うモデル誤差のため、放送層で提供されるKlobucherモデルの代用やアンビギュイティー決定性能の向上には効果があるが、精密測位のための距離補正に最適化されたものとは言い難い。

一方、基線解析時の距離補正は、例えばネットワーク型RTKにおいても行なわれているが、基本的には二重位相差を精度よく補正できればよいので、衛星毎及び観測点毎のバイアス成分を除いた相対値の精度に主眼を置き、二重差アンビギュイティー決定を行なった上で、衛星毎の電離層遅延補正情報が求められる。このとき、電離層遅延モデルの推定に用いられる観測点が衛星によって異なると、観測点毎のバイアスのモデル内挿値に対する影響量に衛星による差が生じるため、二重差で打ち消されない誤差が残る。そのため、二重差による基線解析においても、基準点毎のバイアスの影響を常に無視できるわけではない。

本稿では、一周波GPS観測による精密基線解析への適用を目的とした電離層遅延補正モデルの推定手法の一つを考案したので、それを紹介する。推定手法の考案においては、その過程で得られる中間生成物が、電離層の状態把握のための基礎データとして利用可能とすることにも配慮した。

電離層遅延補正モデル生成手法の概要

構築した電離層遅延補正モデルの生成手法は、次の5つのステップからなる。

観測点毎の STEC データ (DCB 未補正) の生成

各 GEONET 点について、RINEX ファイルの二周波観測量を基に電離層(幾何フリー)フリー線系結合をとり、DCB の補正されていない STEC 観測量のファイルを生成する。STEC 観測量はコード平滑化によるもの(変化量を位相から求め、バイアスを擬似距離に合わせて調整したもの)として算出する。

二重差方程式の構成

Bernese ソフトを用いて、GEONET のルーチン解析と同様のクラスター処理による二重位相差アンビギュイティー決定を行ない、電離層線形結合についての二重差方程式を構成する。整数化できなかったアンビギュイティーは、この方程式の中で未知数として扱われる。

VTEC モデルおよび DCB を分離

ステップ において算出した STEC をデータとして、衛星 DCB、受信機 DCB および電離層モデル面上の緯度経度格子点で与えられる VTEC グリッドモデルを分離推定する。用いる手法は、Ma & Maruyama(2003)の方法に準じたものであるが、それを格子モデル用に改良して平滑化条件を課す。モデル化の対象領域は、日本陸域で仰角 15 度以上の衛星への視線の貫通点をカバーする範囲とする。

二重差方程式を用いたアーキバイアスの調整

ステップ で求められたバイアス込みの STEC データから衛星 DCB および受信機 DCB を差し引くと、バイアスが調整された電離層遅延量が得られるが、このバイアスの精度は擬似距離の誤差を平均したものと同じレベルである。この値を a priori 値、ステップ で構成した二重差方程式を観測方程式、バイアスを未知パラメータとして、更に調整計算を行なう。これによって、観測点毎衛星毎の STEC 値が、ステップ で推定された VTEC モデルを a priori 値とし、二重差が位相観測値の精度を持ち、かつアンビギュイティー決定の結果を反映されたものとなる。

衛星毎の電離層遅延補正モデルの推定

ステップ で得られた STEC 値をデータとして、衛星毎に電離層遅延補正モデルを推定する。モデル

は、地表における $1^\circ \times 1^\circ$ の緯度・経度格子点において観測される各衛星についての5分毎の STEC 値をパラメータとし、空間については双一時内挿、時間については線形内挿（つまり tri-linear 内挿）が適用されるものとする。

ステップ 4 で推定される電離層遅延補正モデルは、空間分布に関して格子点上の値となっているが、最終的には、これを隣接する4つの格子点で囲まれる区画に対応する双一次補間式に変換し、その内挿係数を区画毎のファイルとして出力する。利用者は観測点と参照点をカバーする区画のモデルだけを用いれば、電離層遅延補正適用時の補間処理が可能である。また、ステップ 4 で得られる VTEC モデルやステップ 5 で得られる観測点毎・衛星毎の STEC 値は、電離層の状態把握に利用することが可能である。

一周波 GPS 解析における電離層遅延補正効果の評価

GEONET の各観測点について最短距離にある観測点を与点として基線を組み、上記の手法で得られた電離層遅延補正モデルを適用して、L1 一周波のデータのみによる基線解析を実施した。評価対象期間は、太陽活動の極大期にあり、地震等のイベントやアンテナ交換等も少ない 2003 年 7 月 26 日～9 月 24 日の約 3 ヶ月間である。

全期間・全点を通しての、L1 アンビギュイティーの決定率は 96%（平均基線長 15.7km）であった。ちなみに、15 次の球面調和関数展開による地域電離層モデルを適用した場合には、93.6%である。各観測点について、最短距離にある観測点との間の基線の基線ベクトル成分から直線トレンドを除去した残差により、基線再現性を評価した結果を、基線長を横軸にプロットしたものを図に示す。全基線についての残差のばらつきの RMS は 2.2/8.0mm(水平/上下)であり、F3 解について同じ基線群について評価した値(1.7/6.7mm)の概ね 2~3 割増しである。ただし基線長依存性は F3 解よりもやや大きく、長さ 2~3km 以内の基線についての RMS は、F3 解よりも小さい。基線長がこの範囲であれば、電離層遅延補正の影響は小さく、むしろ、電離層補正線形結合よりもノイズの小さな L1 観測量を用いることの利点が効いているものと考えられる。また、球面調和関数展開によるモデルを適応した場合の RMS(4.2/13.9mm)に比べ格段によい結果となっている。

得られた基線ベクトル値と F3 解間には基線毎に異なる系統差があり、GEONET 全点についての系統差の標準偏差は約 4mm(水平)および約 12mm(上下)である。系統差は、参照点と同じ PCV タイプの観測点が小さ目となる傾向があることから、PCV の補正誤差の影響によるものである可能性がある。

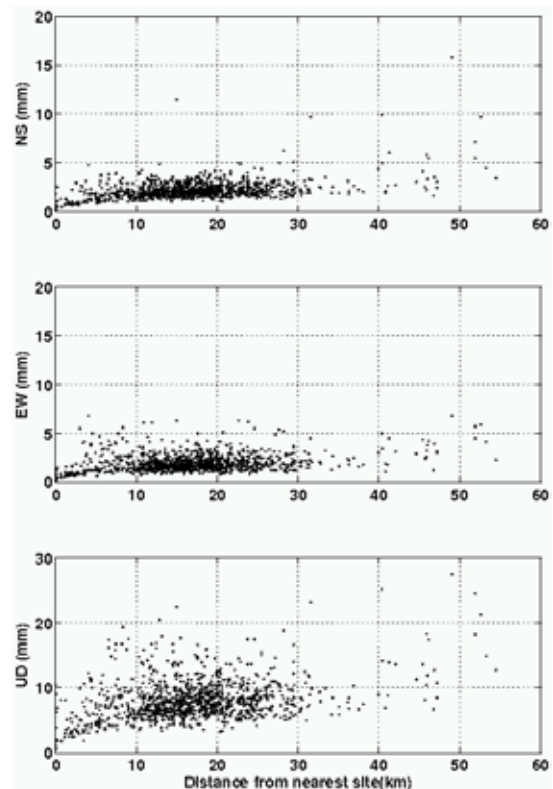


図 基線再現性のプロット。上から、南北、東西、および、上下成分。

まとめ

一周波 GPS 観測データを用いた精密基線解析における電離層遅延補正に適用するため、GEONET の二周波観測データを基に電離層遅延補正モデルを推定する一手法を構築した。この手法を用いて電離層遅延補正モデルを生成し、それを GEONET 観測点のデータに適用して一周波のみにより行なった基線解析結果を評価した結果、基線解のばらつきは F3 解に比べておおむね 2~3 割増しであった。

参考文献

Ma G. and T. Maruyama (2003), Ann. Geophys., 21, 2083–2093.