

GPS ネットワークによる電離層の観測手法

Observing ionosphere by GPS terrestrial network

坂井 丈泰[1]

Takeyasu Sakai[1]

[1] 電子航法研究所

[1] ENRI

GPS をはじめとする衛星航法システムは無線信号のドップラシフトあるいは伝搬時間を利用してユーザ位置を測定するから経路上の電離層による影響を受け、たとえば GPS の場合では最大で 300ns 程度の遅延となる。電離層遅延は GPS の主要な誤差要因であるが、逆に位置があらかじめわかっている受信機を利用すれば GPS により電離層を観測することが可能である。電離層による無線信号の伝搬遅延時間は経路上の自由電子の総数である総電子数 (TEC) で決まるから、GPS 受信機のネットワークを用いて GPS 衛星および受信機の組合せ毎に多数の伝搬経路に対応する遅延量を測定すれば、電離層総電子数の空間的・時間的分布を知ることができる。

こうした電離層観測手法についてはいくつかの研究がなされてきているが、主要な問題点は測定誤差の推定および除去にある。整数アンビギュイティやサイクルスリップは従来の手法で除去可能であるが、2 周波数を利用するために生じる周波数間バイアスが特に問題となる。一般的には何らかの電離層モデルを仮定したうえでカルマンフィルタを用いて推定することになるが、この電離層モデルとしては従来は単層薄膜モデルを利用することが多かった。いくつかの電離層モデルの比較を試みたところ、薄膜モデルは有効であり、2 層以上の構造を表現できるモデルが有効であることがわかった。また、低仰角の雑音の大きいデータを使わないために高めの仰角マスクが設定されることが多いが、推定処理の原理上、仰角マスクをあまり高くしないほうが好ましく、具体的には 10~15 度程度に設定するとよい。

電離層モデルの比較には、国土地理院が運用している電子基準点ネットワーク (GEONET) のデータを利用した。対象期間は 2003 年 5 月 28~29 日とした。この 2 日間の地磁気活動は活発で、5 月 29 日夜 (日本時間) には磁気嵐が発生しており、北海道で低緯度オーロラを観測したとの報告もある。地磁気活動が活発な期間のデータであるにもかかわらず、衛星側周波数間バイアスの推定値は航法メッセージに含まれる群遅延パラメータによく一致し、バイアス推定処理は正しく行われている。また、他の地磁気活動が静穏な時期における計算結果とも比較し、受信機側バイアスの計算にも問題はないことを確認した。電離層モデルを変えて推定処理を試みた結果、バイアス推定処理に関しては、(i) 単層モデルより 2 層以上のモデルが優れている、(ii) 2 層以上のモデルであれば衛星バイアスの推定性能はそれほど変わらない、(iii) 電離層高度はあまり高くする必要はない、(iv) 高度設定が適切であれば薄膜モデルより Chapman モデルのほうが有効、といった傾向がみられた。推定精度の点からは 2 層モデルが適当と思われ、3 層モデルの性能が落ちるのは未知パラメータが多くなることが一因と考える。

本報告では実データを使用してバイアス推定性能を測定したが、IRI モデル等を利用して同様の検証を行うことも可能である。電離層遅延の衛星航法システムへの影響を検討するうえでは、磁気嵐の際の電離層遅延量観測データを蓄積し、遅延補正性能やインテグリティ性能を評価することが重要である。

[1] 坂井 他, GPS による電離層総電子数の観測, 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 103, no. 531, pp. 13-18, SANE2003-87, Dec. 2003.