

全電子数推定のための電離圏実効高度

*太田 善久 [1],丸山 隆 [2],奥澤 隆志 [1],大高 一弘 [2],森岡 昭 [3],加藤 浩文 [4]

電気通信大学[1], 通信総合研究所[2]

東北大学大学院理学研究科[3], 東北生活文化大学[4]

Ionospheric effective height for TEC evaluation

*Yoshihisa Ohta[1], Takashi Maruyama [2], Takashi Okuzawa [1]

Kazuhiro Ohtaka [2], Akira Morioka [3], Hirofumi Kato [4]

University of Electro-Communications[1]

Communications Research Laboratory[2]

Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University[3]

Tohoku Seikatsu Bunka College[4]

To evaluate ionospheric TEC by integrating differential Doppler frequency, we need to estimate an integral constant. "Two-station method" is a technique to determine the integral constant, in which differential-Doppler data at two stations are used. The ionosphere is assumed to be a thin layer located at an effective height. However, evaluated TEC values are not independent of the effective height, which cannot be determined from the observations. In this paper, we propose a new technique to determine the effective height based on the differential-Doppler data simultaneously recorded at four stations. By this technique, TEC and effective heights are uniquely determined. The results are compared with the IRI model ionosphere. A physical meaning of the effective height is also discussed.

電離圏全電子数 (TEC) の測定法の一つに差分ドップラー法がある。この方法では周回衛星からの二周波のビーコン電波のドップラー周波数偏移を測定することにより TEC の空間微分量 (勾配) を抽出する。TEC を求めるには、その値を積分する必要があるが、このとき、積分定数を何らかの方法で決めなければならない。

この積分定数の推定法に二点観測法(Leitinger et al., 1975)がある。この手法では衛星軌道に沿って並んだ二ヶ所の地上局で同時に同一の衛星を観測する。ついで、各々の局で得られたデータを積分して得られた TEC の鉛直換算値について両局に共通する観測範囲で残差の自乗和が最小となるように積分定数を決定する。この際、電離圏は厚みのない薄い層であるとみなし、その高度を適当に仮定する。しかし、このようにして求められた積分定数は仮定した高度に依存する。したがって、求められた TEC の値は高度のとり

方による不確定性をもっている。二点観測法では、この高度を観測データから決定することができない。

これまで、国分寺(35.7° N, 139.5° E), 仙台(38.3° N, 140.9° E), 江別(43.1° N, 141.5° E), 稚内(45.4° N, 141.7° E)の4局における N N S S 衛星 (高度約1100 Km, 軌道周期約110分) からの二周波 (150,400MHz) のデータセットについて解析を行ってきた。二局での鉛直換算 TEC の残差が仮定した高度 h の値によって如何に変化するかを調べたところ、その自乗和をデータ数で割った平方根 σ が h の増加とともにいったん減少し、極小値を取った後再び増加する傾向があることを見つけた。ただし、地上局のペアを変えると σ が極小となる高度が著しく異なる場合があり、二局間の距離が大きいと複数の極小をとる場合もあった。そのため、二局のデータセットから実効的な高度を決定することは非常に困難であると判断した。

そこで、鉛直換算 TEC の残差の自乗和を、すべての隣り合ったペアについてあわせたものが最小となるように全局の積分定数を同時に決定することにした。このときの TEC 残差の自乗和をデータ量で規格化した値の平方根 σ' を評価した。その結果、ほとんどすべての場合に、 σ' は高度の変化に対して唯一の極小をとることがわかった。そこで、 σ' が極小値をとるときの高度を電離圏実効高度 (Heff) と呼ぶことにする。

データを季節毎に分けて Heff の日変化を調べたところ、季節によって違いはあるものの昼間は低く夜間は高くなることがわかった。また、この日変化は I R I モデルから求めた最大電子密度高度と電子密度の重心高度 (この高度以下の電子数とこの高度から衛星高度までのそれとが等しくなる高度) のそれとよく似ていることもわかった。このことは、Heff を求める際に電離圏高度について一切の仮定を導入していないので、TEC を求めるための実効高度の妥当性を裏付けている。また、この実効高度は最大電子密度高度よりも常に高くなることがわかった。これは電離圏の上側が下側よりも厚いことに対応している。ただし、この実効高度は電子密度の重心高度よりも低い場合が多い。TEC の鉛直換算や二点観測法に電子密度の重心高度を使用するのが最良であるという従来の仮定の再検討も含めて、実効高度の物理的解釈には、さらなる考察が必要である。