

電離圏トモグラフィを用いた中規模移動性電離圏擾乱の季節特性の比較

Comparison of Seasonal Characteristics of Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbances

Using Ionospheric Tomography

米山慧 梅野健

Satoru Yoneyama Ken Umeno

京都大学大学院 情報学研究科数理工学専攻 物理統計学分野

Department of Physical Statistics, Division of Mathematical Engineering, Graduate School of Informatics, Kyoto University

1. 背景

電離圏では小規模な擾乱が様々発生し、GPS 測位などの精度に影響を与える。これらのうち中規模移動性電離圏擾乱(MSTID)は、日本上空で頻繁に発生する典型的な電離圏擾乱である。そのため、様々な種類の手法で研究がなされ、発生メカニズムや擾乱の構造が解析されている。GPS-TEC と二次元 TEC マップを利用した研究により、MSTID の発生時期に応じて、その特性が変化することが知られている。

しかし、これらの特性について TEC データを利用した電離圏トモグラフィを用いて、MSTID について複数の事例について統計的な調査を行った研究は未だない。

電離圏トモグラフィは、電離圏三次元電子数密度構造を復元する手法である。弱点はあるものの、電離圏の垂直構造を広範囲かつ継続的に推定することができる。これを用いることにより、よく行われている水平面上の二次元での解析では知り得ない垂直構造を考慮できる。しかし計算コストが大きいなどの理由により、長期間の調査に用いることは難しかった。

本研究では電離圏トモグラフィの新たな高速アルゴリズムを考案し、それらを用いて長い期間で発生した MSTID の構造について総合的に調査を行った。

2. 手法

2-1. GNSS-TEC と電離圏トモグラフィについて

GNSS-TEC 法により得られる物理量は、上空の GNSS 衛星と地上の受信局間の電子数の積分値である(式(1)第二辺)。

$$TEC = \int_r^s \rho(t, x) ds \approx \sum_{j=0}^N \rho_{j,t} d_j$$

このようなデータを複数集め、以下の式を解くことにより電子数密度構造を復元する技術が電離圏トモグラフィである。

$$y = Ax$$

2-2. 実験の詳細

2023 年に発生した MSTID から「夏季夜間」「冬季昼間」「冬季夜間」に発生したものをいくつか選び、その三次元構造を、電離圏トモグラフィを用いて復元した。その結果からいくつかの特徴量を抽出し、発生時期ごとの傾向を調査した。

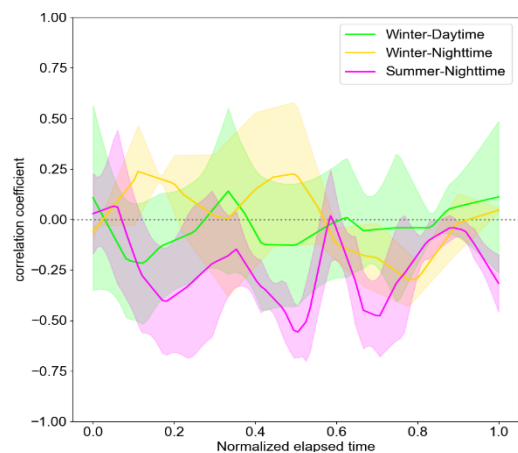
3. 結果

得られた結果は大きく分けると以下の三点である。

一つ目は夏季夜間の MSTID は他の時期に比べて、最高電子数密度の変動が大きいことである。二次元での TEC マップでも、同様に夏季夜間の短期変動は大きいこと、それを反映したものと考えられる。

二つ目は夏季夜間の MSTID について、最高電子数密度と最高電子数密度高度の短波成分は逆位相で変動する傾向があることである(下図)。これはすでに提唱されている振動電場モデルから得られる特徴と合致するものである。

三つ目は冬季昼間の MSTID は他の時期に比べて、最高電子数密度高度の変動が小さいことである。この原因については、今のところ不明である。



4. 参考文献

- [1] Otsuka, Y., Suzuki, K., Nakagawa, S., Nishioka, M., Shiokawa, K., and Tsugawa, T. (2013). GPS observations of medium-scale traveling ionospheric disturbances over Europe, *Ann. Geophys.*, 31, 163–172..
- [2] Shiokawa, K., Otsuka, Y., Ihara, C., Ogawa, T., and Rich, F. J. (2003), Ground and satellite observations of nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbance at midlatitude, *J. Geophys. Res.*, 108, 1145,
- [3] Seemala, G. K., M. Yamamoto, A. Saito, and C.-H. Chen (2014), Three-dimensional GPS ionospheric tomography over Japan using constrained least squares, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 119, 3044–3052