

## 再び地震直前の電離圏電子数上昇について：移動性の識別と受信機周波数間バイアスの推定 Preseismic ionospheric electron enhancements, revisited : Discrimination from TID and interfrequency receiver bias estim

日置 幸介<sup>1\*</sup>  
HEKI, Kosuke<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学理学研究院自然史科学  
<sup>1</sup>Dept. Natural History Sci., Hokkaido University

日置 (GRL 2011) は、GNSS 観測に基づき、東北沖地震を含む M9 クラスの地震の約 40 分前から電離圏全電子数 (TEC) が上昇することを報告した。それに関して Kamogawa & Kakinami (JGR 2013) は、津波によって生じる地震後の TEC 急減と、地磁気活動による TEC の非地震性のゆらぎの双方の効果で生じた見かけの変化であると主張した。その後、Heki & Enomoto (JGR 2013) は、鉛直 TEC (VTEC) と他センサー (イオノゾンデ、地磁気偏角、GPS 掩蔽) のデータを用いてこれに反論し、かつ非地震性の TEC 変動を判別する可能性について論じた。本講演では地震直前の電子数上昇に関して残された諸問題から、(1) 地磁気活動に起因する移動性擾乱との識別、(2) 鉛直 TEC の計算に必要な受信機固有周波数間バイアスの国外局での推定、(3) 中緯度域と赤道域での TEC 上昇量の違い、(4) 地震前の上昇と地震後の TEC 減少との量的関係、等について論じる。図の説明と参考文献は英語版参照のこと。

### 1. 移動性擾乱との数値的識別

地震と関係ない TEC の変動は珍しくないが、半球スケールで発生する太陽フレアによる TEC 急増と、空間スケールが数十 km 以下と小さいスポラディック E (Maeda & Heki, Radio Sci. 2014) に関しては、それらの識別は難しくない。

磁気嵐に伴ってオーロラ帯で励起された内部重力波は、大規模移動性電離圏擾乱 (LSTID) として日本列島に南下してくる。これらは数百キロから千キロにおよぶ空間スケールを持つため、移動性の有無から地震直前の異常と識別する必要がある。本講演では日本列島に沿って適当な数選んだ GNSS 局の TEC 時系列間で相互相関をとる数値的手法について論じる。それらの発生を日本列島北部で把握することによって、日本列島中央部で発生した TEC 異常が、それらが伝搬したものであることを自動的に判別する方法を探る。

### 2. 受信機内周波数間バイアスの推定

GPS で観測される斜め TEC には衛星の移動に伴う見かけの変化が含まれ、実際の変化の直観的把握が難しい。Heki & Enomoto (2013) では、電子航法研究所が日々公開している受信機固有および衛星固有の周波数間バイアスと、コードと位相の比較から求めた整数値不確定性を補正の上、F 層への入射角の余弦をかけて求めた VTEC の時系列を議論することで、この問題を回避した。本講演では、受信機固有の周波数間バイアスが公開されていない国外局について、全球電離圏マップ (GIM) 等を用いてそれらを簡便に求める手法について論じる。さらにそのようにして求め周波数間バイアスを用いて計算した、2007 年や 2012 年のスマトラ島周辺の巨大地震や 2010 年マウレ地震直前の VTEC 変化を議論する。

### 3. 中緯度域と赤道域の比較

これまでに発生直前に TEC 異常が見られた地震における、代表的な TEC 時系列の例を添付の図に示す。Heki (2011) 以降に解析した地震としては、2007 年ブンクル地震 (Mw8.5) と 2012 年北スマトラ沖地震 (Mw8.6) とその最大余震 (Mw8.2) が含まれている (Cahyadi & Heki, JGR 2013)。2004 年スマトラ・アンダマン地震 (Mw9.2) を含めると、これらの赤道域で発生した地震の前の TEC 異常は、日本やチリなどの中緯度域で発生した異常より一回り大きいように思われる。赤道域では本来の TEC が大きく、かつ地磁気伏角が浅いため電離圏内で電子が水平移動しやすい。これら二点が大きな振幅に影響している可能性を議論する。

### 4. 地震前の TEC 上昇と地震後の TEC 減少との量的関係

Shinagawa et al. (2013 GRL) は、地震約 10 分後に音波が到来した後に、電子数が短いパルス状の増加を見せた直後に減少する事について、数値計算によってモデル化した。地震前の上昇と地震 10 分後の減少は違う物理現象に基づいており、それらの量が短い時間スケールで厳密に一致する (減少後の TEC が前兆開始前の状態に戻る) 可能性は低い。2004 年スマトラ・アンダマン地震や 2007 年ブンクル地震の例では、地震後の急減が過剰であるためある種の overshoot が見られ、その後減衰振動を繰り返しながら本来の太陽天頂角に見合った量に収束する様が見える。逆に 2012 年スマトラ北東沖地震のように減少不足で 10 分以上かけて徐々に本来の状態に戻るように見える地震もある。

キーワード: GNSS, GPS, 電離圏, 地震, 前兆, 全電子数  
Keywords: GNSS, GPS, ionosphere, earthquake, precursor, TEC

MIS29-04

会場:313

時間:4月29日 15:00-15:15

