

# GPS 受信機網データを用いた地震後の全電子数変動の解析

山矢優（名大 STE 研）、大塚雄一（名大 STE 研）、小川忠彦（名大 STE 研）

## 1. 研究背景

2004 年 12 月 26 日、インドネシア・スマトラ島の西方沖でマグニチュード 9.3 の巨大な地震が発生した。このとき、震央よりも北側では 2–7TECU（1 TECU =  $10^{16}/\text{m}^2$ ）の全電子数(Total Electron Content; TEC)の変動が見られた(図 1)[Otsuka et al., 2006]。一方、震央の南側では、震央の近くで 1TECU 程度の小さな変動が見られたが、震央の東側では全電子数の変動は見られなかった。このように、地震に伴う電離圏全電子数の変動は、震央に対して非等方性を示している。これらの全電子数変動は、この地震によって音波が引き起こされ、高度約 300km 上空の電離圏にまで伝搬したためと考えられる。本研究では、GPS 受信機網データを利用して地震発生に伴う電離圏全電子数変動の研究を行うことを目的とする。

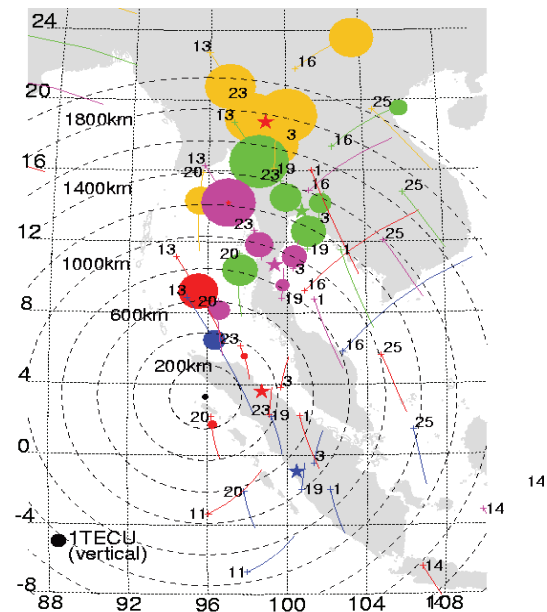


図 1 スマトラ島地震後の電離圏全電子数変動の振幅の水平二次元分布 [Otsuka et al., 2006]

## 2. 研究方法

GPS 受信機網データを用いることにより、GPS 受信機と GPS 衛星間の全電子数を算出することができる。また日本に設置させている GPS 受信機は 1000 点以上あり、図 2 のように TEC の水平二次元分布図を示すことができる。ここでは、各 GPS 衛星と受信機間で得られた TEC の時系列から 15 分移動平均を引くことにより、変動成分を抽出した。

本発表では、2000 年 1 月から 2007 年 10 月までに日本で起こった M6.0 以上の地震を米地質調査所 (United States Geological Survey; USGS) から探索し、その地震後における TEC 変動の水平二次元分布図を作成し解析した結果を紹介する。

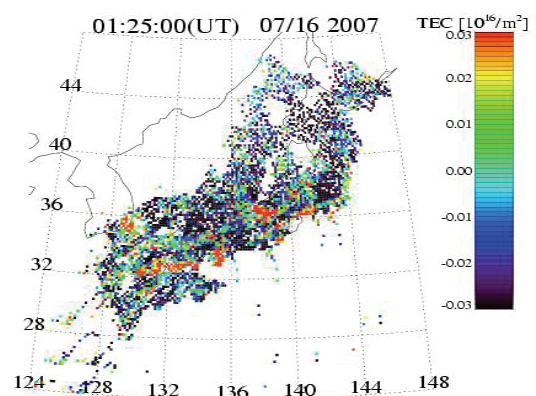


図 2 日本における TEC 変動の水平二次元分布。15 分移動平均を引くことにより、変動成分を観測している。

### 3. 観測結果

2000年1月から2007年10月までに日本で起こった M6.0 以上の地震は、20 例存在した。それらの地震の発生日時、場所、マグニチュードを表 1 に示す。この 20 例の内、地震によって発生した TEC 変動が観測されたものは、2004 年 9 月 5 日の紀伊半島沖地震、2007 年 1 月 13 日の千島列島東方沖地震、2007 年 3 月 25 日の能登半島地震、2007 年 7 月 16 日の新潟県中越沖地震の 4 例であった。今回の発表では、比較的新しい、能登半島地震と新潟県中越沖地震の解析結果について紹介する。図 3 にそれぞれの場合における TEC 変動の水平二次元図を示す。図 3a 及び b は、それぞれ 2007 年 3 月 25 日 0:41UT(9:41JST)に発生した能登半島地震及び 2007 年 7 月 16 日 1:13UT(10:13JST)に発生した新潟県中越沖地震について地震発生から 11 分後(左)、12 分後(中央)、13 分後(右)の TEC 変動を表したものである。図 3a, b のどちらにおいても、TEC 変動は、震央の南側でのみ観測され、震央から遠ざかる方向に伝搬していることが分かる。

この伝搬する TEC 変動の伝搬速度を測定するため、TEC 変動の水平距離・時間変化を調べた。図 4 に、新潟中越沖地震後の東経 138.2°における TEC 変動の水平距離－時間断面図を示す。ここで、水平距離は震央の位置からの距離である。

表 1 2000 年 1 月から 2007 年 10 月までに日本付近で起こった M6.0 以上の地震の発生日時と場所

| 年    | 発生日時(UT)     | 発生場所             | Magnitude |
|------|--------------|------------------|-----------|
| 2000 | 10月6日4時30分   | 35.5° N 133.1° E | 6.7       |
| 2003 | 5月26日9時24分   | 38.9° N 141.6° E | 7.0       |
| 2003 | 10月8日9時6分    | 41.8° N 143.9° E | 6.7       |
| 2003 | 10月31日1時6分   | 37.8° N 142.6° E | 7.0       |
| 2004 | 5月29日20時56分  | 34.1° N 141.0° E | 6.5       |
| 2004 | 9月5日10時7分    | 33.1° N 136.6° E | 7.2       |
| 2004 | 9月6日23時29分   | 33.2° N 136.9° E | 6.6       |
| 2004 | 10月23日8時56分  | 36.8° N 138.3° E | 6.6       |
| 2004 | 11月28日18時32分 | 43.1° N 144.9° E | 7.0       |
| 2004 | 12月6日14時15分  | 42.7° N 145.0° E | 6.8       |
| 2005 | 3月20日1時53分   | 34.3° N 130.1° E | 6.6       |
| 2005 | 7月23日7時34分   | 35.2° N 140.0° E | 6.0       |
| 2005 | 8月16日2時46分   | 38.3° N 142.0° E | 7.2       |
| 2005 | 10月19日11時44分 | 36.0° N 140.9° E | 6.3       |
| 2005 | 11月14日21時38分 | 38.1° N 144.9° E | 7.0       |
| 2005 | 12月2日13時13分  | 38.1° N 141.7° E | 6.5       |
| 2006 | 6月11日20時1分   | 33.4° N 131.1° E | 6.3       |
| 2007 | 1月13日4時23分   | 46.1° N 154.2° E | 8.2       |
| 2007 | 3月25日0時41分   | 37.0° N 136.1° E | 6.7       |
| 2007 | 7月16日1時13分   | 37.2° N 138.2° E | 6.6       |

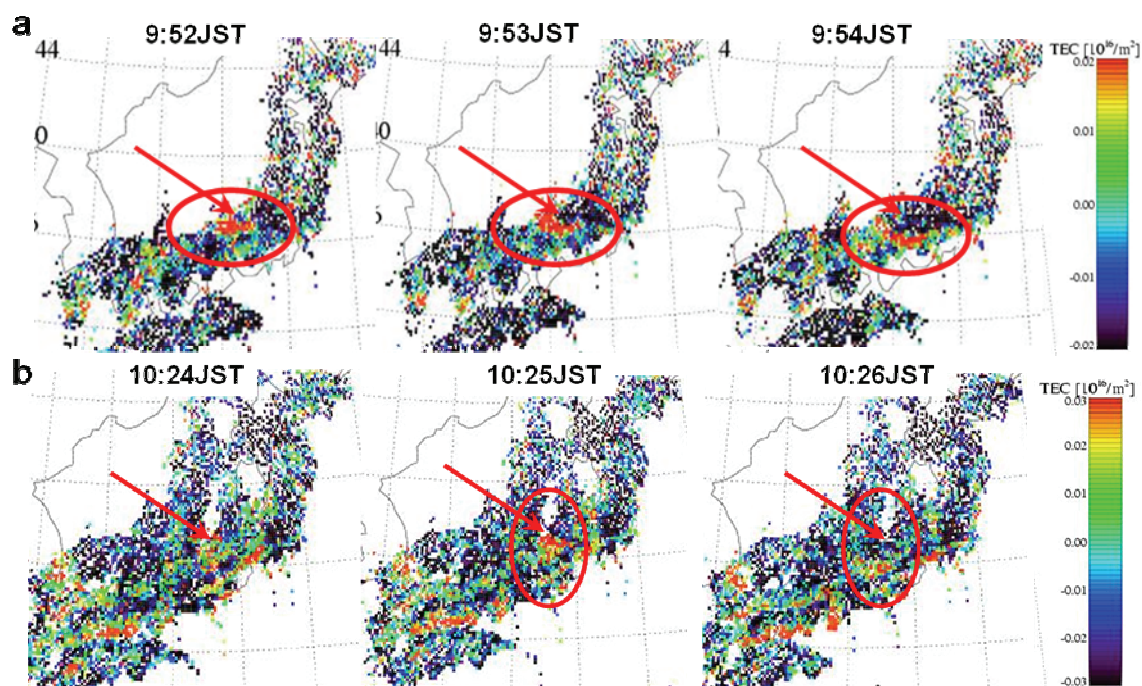


図3 2007年3月25日9:41JSTに発生した能登半島地震、2007年7月16日10:13JSTに発生した新潟県中越沖地震後のTEC変動。矢印の示す先が震央の位置を示しており、震央からTEC変動の極大が伝搬しているのが分かる。

また図中に10:24–10:27JSTの間に見られるTEC変動の極大値に沿う点線を記す。この点線の傾きは、TEC変動の伝搬速度を表している。この傾きより、TEC変動は約2500m/sで南向きに伝搬していることが分かる。

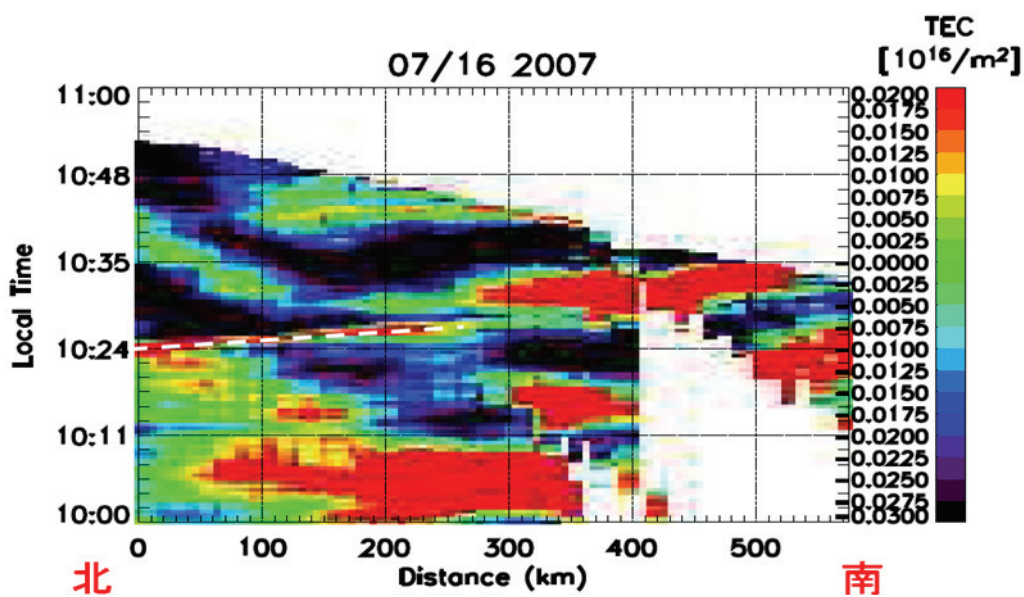


図4 2007年7月16日10:13JSTに発生した新潟県中越沖地震後の東経138.2°におけるTEC変動の水平距離－時間断面図

図 5a に、能登半島地震後の東経 136.1°における TEC 変動の水平距離—時間断面図を示す。また、図 5b, c に、それぞれ震央からの方位角 210°、240°の直線上における水平距離—時間断面図を示す。9:52—9:56JST の間に見られる TEC 変動の極大値を結んだ直線を点線で示す。この点線の傾きから、図 5a, b, c の TEC 変動の伝搬速度は、それぞれ約 3300m/s、2700m/s、2500m/s であることが分かった。

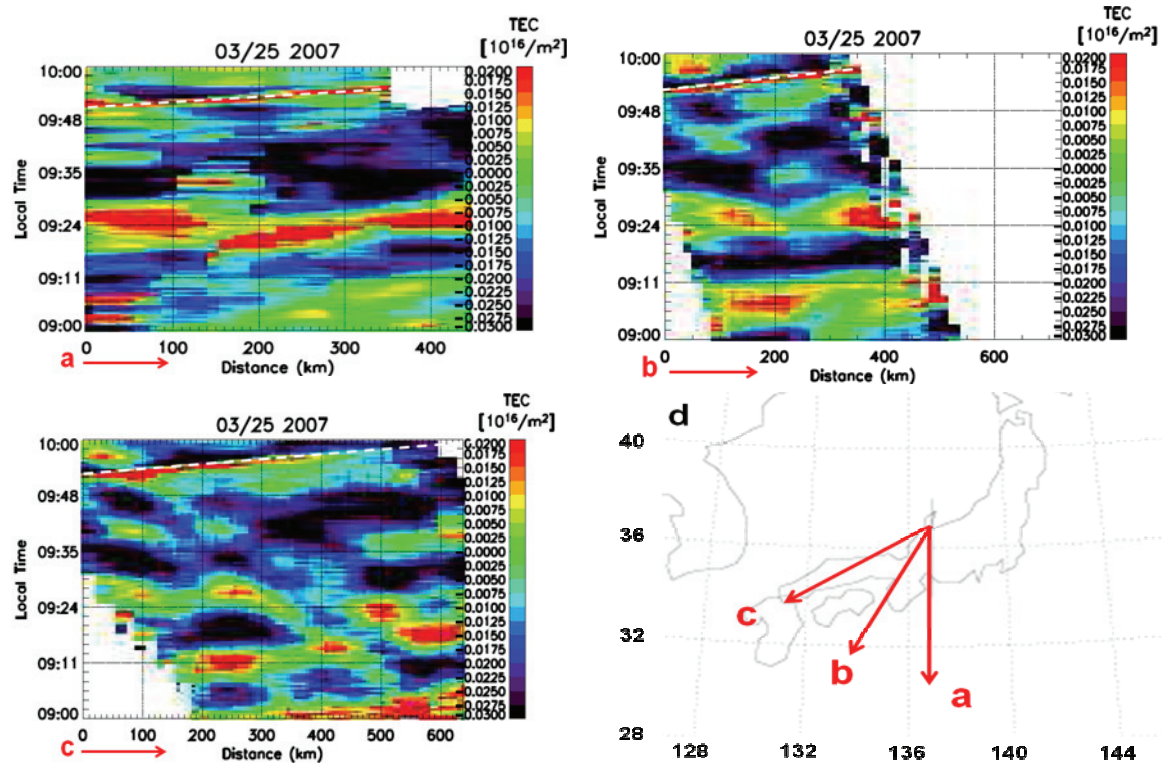


図 5 2007 年 3 月 25 日 9:41JST に発生した能登半島地震後の東経 136.1° における TEC 変動の水平距離—時間断面図。距離は、震央から真南(a)、方位角 210° (b)、方位角 240° (c)の方向の直線上の距離。図 5d にこれらの位置を示す。

#### 4. 考察と結論

日本付近において、2000 年 1 月から 2007 年 10 月までに起こった M6.0 以上の地震は 20 例あった。そのうち 4 例において、地震によって発生したと考えられる伝搬する TEC 変動が観測された。千島列島東方沖地震、能登半島地震、新潟県中越沖地震の 3 例では、TEC 変動の振幅が震央の南側が最も大きいという方位角依存性を確認する事ができた。

このように TEC 変動の振幅が震央に対して方位角依存性を持つ原因として、地震から発生した中性大気振動によって作用する電離圏プラズマの移動方向と磁力線との関係が考えられる。中性大気との衝突により電離圏プラズマは、磁力線の向きに沿って動きやすい。したがって中性大気の振動が磁力線の向きと平行になる南北方向では電離圏プラズマの振動は大きく TEC 変動は大きくなる。一方、中性大気の振動が磁力線の向きと直交する東西方向では、プラズマは動かされにくく、TEC 変動は小さくなると考えられる。

新潟県中越沖地震後及び能登半島地震後に観測された TEC 変動の伝搬速度は、熱圏中の音速よりもはるかに速かった。これは、TEC 変動が、震央から発生した中性大気振動が原因ではなく、震央から地面を伝わるレイリー波から発生した中性大気振動に依るものであることを示唆している。レイリー波が震央から伝わる速度は、2–4km/s であることが知られている [Ducic et al., 2003]。今回観測された TEC 変動の伝搬速度は、このレイリー波の速度に近いことから、このレイリー波が地面を伝わりながら音波を発生させ、鉛直方向に伝搬した音波が TEC 変動を引き起こしたと考えることができる。

## 参考文献

- [1] Ducic, V., J. Artru, and P. Lognonne, Ionospheric remote sensing of the Denali Earthquake Rayleigh surface waves, *Geophysical Research Letters*, 30(18), 1951, doi:10.1029/2003GL017812, 2003.
  
- [2] Otsuka, Y., N. Kotake, K. Shiokawa, T. Ogawa, Effendy, S. Saito, M. Kawamura, T. Maruyama, N. hemmakorn, and T. Komolmis, GPS detection of total electron content variations over Indonesia and Thailand following the 26 December 2004 earthquake, *Earth Planets Space*, 58, 159-165, 2006.