

## GPS-TEC Back Projection 法による津波伝搬の推定 Tsunami wave estimation using GPS-TEC back projection

伊藤 武男<sup>1\*</sup>Takeo Ito<sup>1\*</sup><sup>1</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科<sup>1</sup>Nagoya Univ

### 1. はじめに

地震によって発生した津波は大気を押し上げるため音波が生じる。この音波が電離圏に達して電子密度の擾乱を引き起こすことで、電離圏総電子数 (TEC) に変化を生じさせる。たとえば、Heki (2006) は 2004 年の浅間山噴火によって生じた TEC の変化から火山爆発のエネルギーを推定している。本発表では GPS によって観測された TEC (GPS-TEC) の時間変化から 2011 年東北沖地震 ( $M_w$  9.0) で発生した津波の伝搬を面的に推定する手法を開発したので報告する。

### 2. GPS-TEC Back Projection

Back Projection (BP) 法は地震波の解析などで実績がある (たとえば, Ishii *et al.* (2005))。BP 法を GPS-TEC に適用し、津波伝搬を面的に推定する。GPS-TEC を用いた BP 法は音波速度を用いて波動を逆伝搬させ、音波の発生源 (津波の励起) をイメージングする。ここで、 $S(j,t)$  を音波の発生源とし、 $j$  を発生源の場所、 $t$  を発生時刻とする。観測された GPS-TEC の観測は  $s_k(t)$  とし、 $k$  を GPS-TEC の観測場所、 $t_{j,k}^a$  を音波の伝搬時間とすると BP 法は下記のように記述できる。

$$S(j,t) = \text{Sum}_k s_k(t - t_{j,k}^a)$$

なお、地震波の解析と大きく異なるのは GPS 衛星が時間と共に移動するため、各時刻における GPS-TEC の観測場所も時々刻々と変化する。そのため、計算プログラムは複雑になるが、本質的な違いはない。また、電離圏に存在する電子数は約 300km 上空をピークとして存在しているため、300km 上空での音波伝搬時間を用いるが、BP 法のフォーカシング向上のため、同時に電離圏の高さも簡易的に推定することで、フォーカシングを向上させた。

### 3. GPS-TEC データ

GPS-TEC は GEONET の約 1200 点で観測された 1 秒サンプリングの RINEX データから抽出した。TEC の変化量は 2 つの周波数 ( $f_{L1}$ :1575.42MHz,  $f_{L2}$ :1227.60MHz) で観測された位相情報を用いて

$$\Delta \text{TEC} = (1/40.308) f_{L1}^2 f_{L2}^2 (f_{L1}^2 - f_{L2}^2) \Delta (P_{L1} - P_{L2})$$

のように記述することができる。ここで  $P_{L1}$  と  $P_{L2}$  は観測された位相にそれぞれの波長 ( $L_1$ :0.19m,  $L_2$ :0.24m) をかけた値である。TEC の単位は TECU (視線に沿った底面積  $1\text{m}^2$  の円柱に  $10^{16}$  個の電子が含まれることを意味する) を用いている。本研究では 2011 年 3 月 11 日 14:00 から 16:00 (JST) の 2 時間分を解析した。GPS-TEC の情報は GPS 衛星と GPS 受信機との組み合わせの数だけ存在する。そのため、通常 GPS は 7-10 個程度の GPS 衛星を捉えていることから、GEONET 全体からすると、常に 10,000 箇所以上の GPS-TEC データを観測していることになり、2011 年東北沖地震の震源域上空では各サンプリング毎に平均的に 400 箇所程度の GPS-TEC を用いて逆伝搬を行っている。しかしながら、GPS-TEC の時系列データに Slant TEC と呼ばれる見かけ上の TEC の時間変化が含まれており、それらの影響を 2 次の多項式近似を用いて取り除いた。その後、10s から 300s のバンドパスフィルターを適用させたのち BP 法を適用した。

### 4. 結果

本解析により、津波が断層破壊により生成される様子が GPS-TEC の BP 解析から明瞭に確認できる。このことから、将来的には断層破壊により生じる津波から直接、断層の震源過程を議論することが可能になるかもしれない。また、津波生成を 1 秒毎に面的に捉える事が可能であることから、津波シュミレーションなどは面的な観測データを基に検証する事ができるようになるであろう。

キーワード: GPS, TEC, バックプロジェクション, 津波

Keywords: GPS, TEC, Back Projection, Tsunami