

巨大竜巻・地震後に観測された電離圏変動

西岡未知^a, 津川卓也^a, 久保田実^a, 石井守^a

^a (独) 情報通信研究機構

【はじめに】

近年、GPS 精密測位や衛星通信に影響を与える電離圏の変動において、下層大気からの影響が無視できないことがわかってきた。しかし、電離圏の観測が不十分であったため、地震や竜巻など、極端な気象現象が電離圏に及ぼす影響はこれまで明らかにされてこなかった。我々は、世界中に展開されている GPS 受信機網を利用して電離圏全電子数 (Total Electron Content; TEC) 観測システムを構築した (<http://seg-web.nict.go.jp/GPS/DRAWING-TEC/>)。この TEC 観測システムを用いると、広範囲で高分解能な TEC の二次元マップが得られるため、電離圏内で発生する波動を詳細に捉えることができる。今回、この観測システムを利用して、2011 年 3 月 11 日の東北沖大震災と 2013 年 5 月の米国オクラホマ州ムーア市で発生した巨大竜巻の後に顕著な電離圏擾乱を捉えることに成功した。

【2011 年 3 月 11 日の東北沖大震災後に観測された電離圏変動】

図 1 に、2011 年 3 月 11 日発生した東北地方太平洋沖地震 (震央北緯 38.3 度、東経 142.4 度、マグニチュード 9.0) の 4 分後から 99 分後までの TEC 変動成分を示す。TEC の変動は、地震の震央から、約 170km 南東にずれた場所 (以下「電離圏震央」) を中心として、地震の約 7 分後から波が現れ始め、同心円状に広がった。この電離圏震央は、海底津波計等で推定された津波の最初の隆起ポイントとほぼ一致していた。

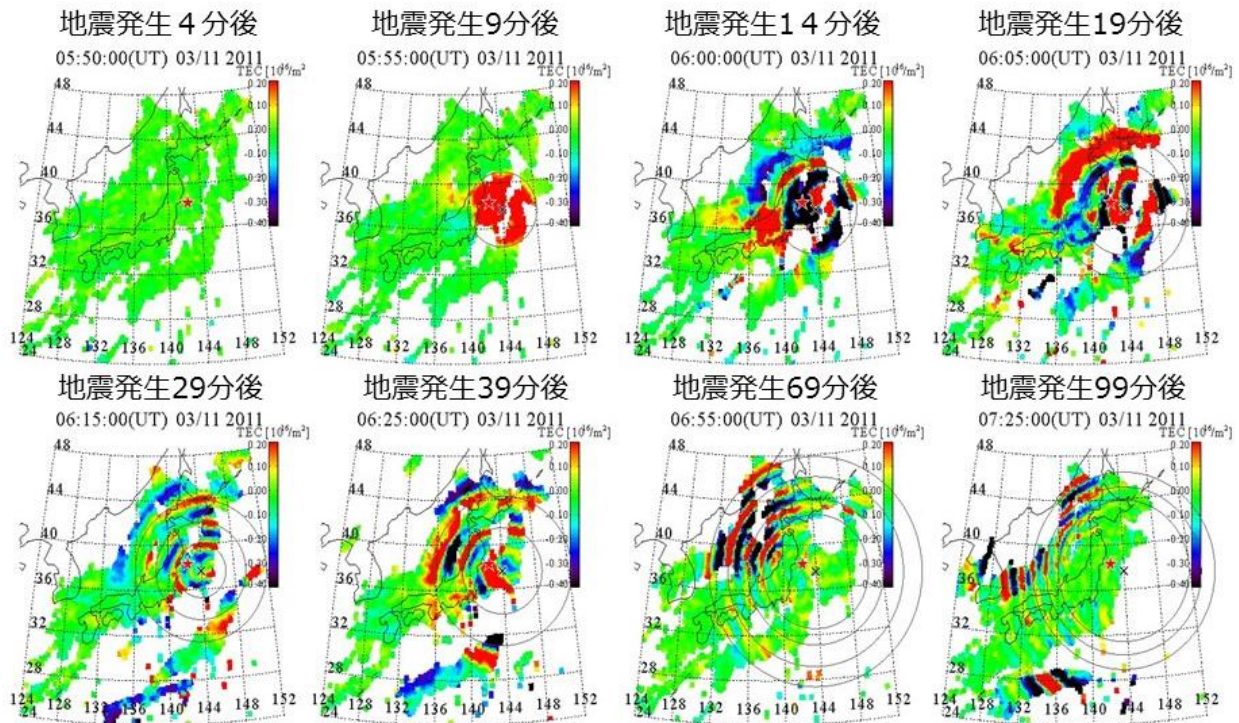


図 1.地震発生 4 分後から 99 分後までの日本上空の TEC 変動成分(10 分以下)、★は地震の震央を、×は TEC 波状構造の中心位置 (電離圏震央) を示す。(Tsugawa et al., EPS, 2011 より)

図1のTEC変動の経度-時間変動を示したのが図2である。伝搬速度の異なる波が次々と発生していたことがわかる。第一波の伝搬速度 3,457m/s は、レイリー波の伝搬速度とほぼ一致しており、レイリー波によって励起されたと考えられる。また、第3波以降の同心円状の波動は2次元非静水圧中性大気モデルにより再現されており[Matsumura et al., EPS, 2011]、大気重力波が起源で発生したと考えられる。また、電離圏震央付近には約4分周期のTEC変動とTECの減少が見られた[Saito et al., EPS, 2011]。前者は海面-熱圏下部の音波共鳴で説明され[Matsumura et al., EPS, 2011]、後者は津波隆起による熱圏大気密度の変化により説明されている[Shinagawa et al., GRL, 2013]。

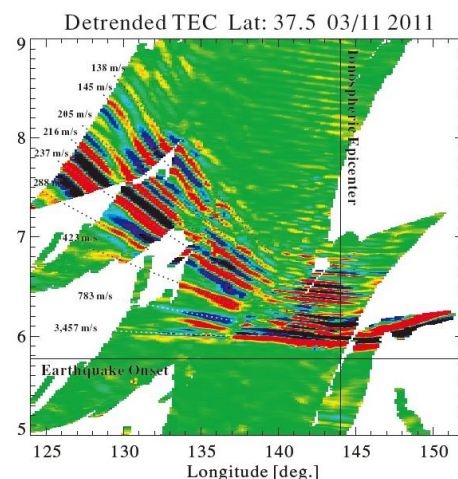


図2. TEC変動の経度-時間変化
(Tsugawa et al., EPS, 2011 より)

【2013年5月20日のムーア市で発生した巨大竜巻後に観測された電離圏変動】

2013年5月20日に発生した巨大竜巻発生前後の北アメリカ大陸上空でのTEC変動成分(20分以下)を図3a-3cに示す。図3d-3fには、気象衛星GOESの赤外雲画像を示しており、ムーア市に巨大竜巻をもたらした親雲である巨大積乱雲(スーパーセル)の成長の様子が捉えられている。スーパーセルの発達約3時間後、ムーアを中心に同心円状のTEC変動が発生し(図3b)、アメリカ大陸全体に広がった(図3c)。

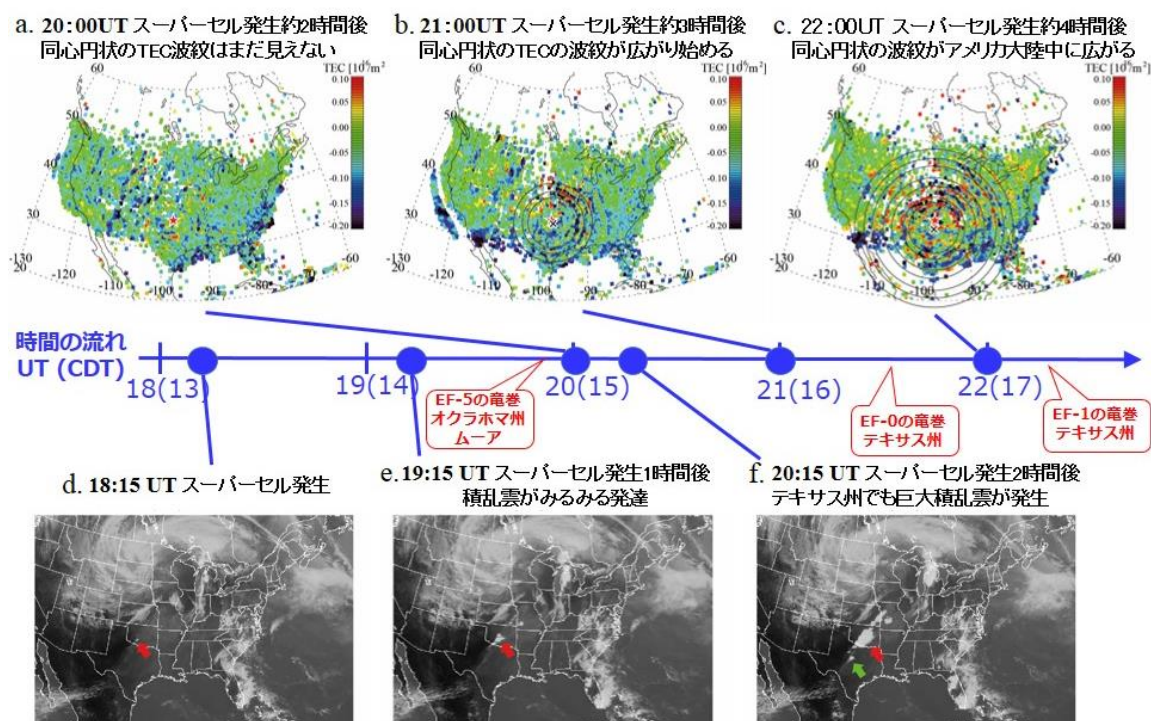


図3. 巨大竜巻発生前後の北アメリカ上空でのTEC変動成分(20分以下、3a-3c)および気象衛星GOESによる赤外雲画像(3d-3e) (Nishioka et al., GRL, 2013 より)

ムーア市の位置する経度における TEC 変動成分の緯度-時間断面図が図 4 である。スーパーセル発達約 3 時間後に出現した同心円状の TEC 構造は、約 15 分の周期で約 120m/s の速度で伝搬し、7 時間以上にわたって存在・伝搬し続けたことがわかる。この同心円状の TEC 構造は、スーパーセルの出現場所に対応しており、スーパーセル起源の重力波が TEC 変動となって現れたと解釈できる。

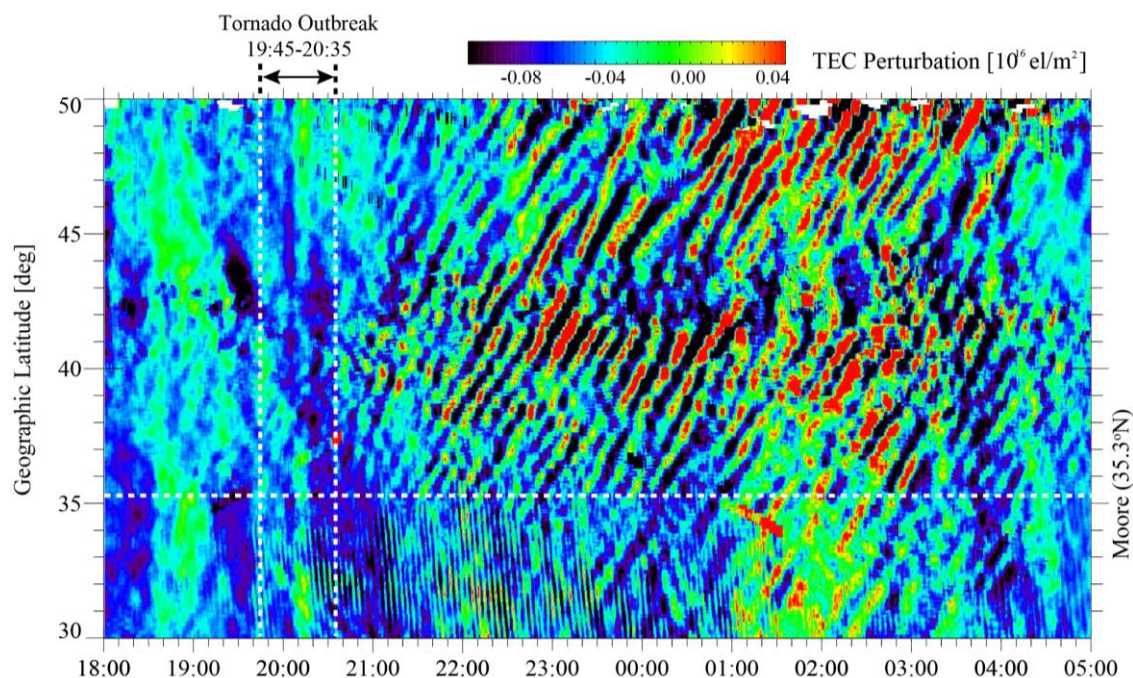


図 4. ムーア市の経度における TEC 変動成分 (20 分以下) の緯度-時間断面図
(Nishioka et al., GRL, 2013 より)

また、ムーア上空から南方にかけて、短周期 TEC 振動も観測された (図 4)。短周期 TEC 変動の周期は約 4 分で、地上-熱圏下部での音波共鳴の周期とほぼ一致する。雲画像との比較により、短周期 TEC 振動はスーパーセルの直上で起きていることがわかり、短周期 TEC 変動はスーパーセルから出た音波が地面と熱圏下部の間で共鳴し、TEC 変動となって現れたと解釈できる。

【今後の展望】

今回の観測は、衛星測位や衛星通信等に影響を与える電離圏の変動に、下層大気がどのように影響を及ぼしているかの一端を示すものである。また、宇宙の観測を利用して、津波監視や気象に関する情報を得るといった実利用にも応用できる可能性を示している。

References:

Nishioka, M., Takuya Tsugawa, Minoru Kubota, and Mamoru Ishii (2013), Concentric waves and short-period oscillations observed in the ionosphere after the 2013 Moore EF5 tornado, JGR, VOL. 40, 5581–5586, doi:10.1002/2013GL057963.

Matsumura, M., A. Saito, T. Iyemori, H. Shinagawa, T. Tsugawa, Y. Otsuka, M. Nishioka, and C. H. Chen (2011), Numerical simulations of atmospheric waves excited by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Earth Planets Space, 63, 885–889.

Tsugawa, T., A. Saito, Y. Otsuka, M. Nishioka, T. Maruyama, H. Kato, T. Nagatsuma, and K. T. Murata (2011), Ionospheric disturbances detected by GPS total electron content observation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Earth Planets Space, 63, 875–879.

Saito, A., T. Tsugawa, Y. Otsuka, M. Nishioka, T. Iyemori, M. Matsumura, S. Saito, C. H. Chen, Y. Goi, and N. Choosakul (2011), Acoustic resonance and plasma depletion detected by GPS total electron content observation after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Earth Planets Space, 63, 863–867.

Shinagawa, H., T. Tsugawa, M. Matsumura, T. Iyemori, A. Saito, T. Maruyama, H. Jin, M. Nishioka, and Y. Otsuka (2013), Two-dimensional simulation of ionospheric variations in the vicinity of the epicenter of the Tohoku-oki earthquake on 11 March 2011, Geophys. Res. Lett., 40, 5009–5013, doi:10.1002/2013GL057627.