

衛星データを用いた地殻変動の監視と予測

Crustal Activity Monitoring and Prediction Using Satellite Data

服部克巳 (千葉大学大学院理学研究科)、劉正彦、蔡龍治 (台湾国立中央大学)、
高野忠 (日本大学理工学部)、前田崇 (JAXA)、Michell Parrot (フランスLPCE)

1. はじめに

火山については共同研究報告会にてポスター発表を行ったため、本報告では地震に関連する電離圏異常について報告する。近年、様々な地震活動に先行する電磁気現象が報告されており、非地震学的な手法による地震の短期予測の可能性が指摘されている。その中でも、地震に先行する電離圏総電子数 (Total Electron Content: TEC) 異常の調査・研究は短期地震予知の有力な候補として注目を集めている。TEC異常を統計的に解析した結果を紹介する。Liuらは台湾で発生した $M \geq 5.0$ の地震の1-5日前に、また中国で発生した $M \geq 6.3$ の地震の3-5日前に負のTEC異常が統計的に有意であることを明らかにしている[1][2]。更に西橋はインドネシアで発生した $M \geq 6$ の地震の4-12日前に負のTEC異常が統計的に有意であることを明らかにしている[3]。

そこで本研究では日本地域でのTEC変動と地震の関係性を調査することにした。ヨーロッパ軌道決定センター (CODE) が算出している全球のTECグリッドデータであるGIM (Global Ionosphere Maps)を利用して、事例解析として2007年新潟県中越沖地震と2008年岩手宮城内陸地震の前のTEC変動を解析した。また約10年間の統計解析を行った。

2. 解析手法

GIMの空間分解能は緯度方向: 2.5° ・経度方向: 5° であり、時間分解能は2時間である。解析では線形補間を行い、時間分解能を1時間とした。TECは太陽放射に起因する規則的な日変動を示す。そこで地震に関連する非定期的な変動を抽出するためには、日変動を除去する必要がある。本研究ではGIMTECから過去15日間の同時刻の移動平均 $GIMTEC_{mean}$ を引き、その標準偏差 σ で規格化した $GIMTEC^*$ を定義した。

$$GIMTEC^*(t) = \frac{GIMTEC(t) - GIMTEC_{mean}(t)}{\sigma(t)}$$

3. 事例解析

(a). 新潟県中越沖地震

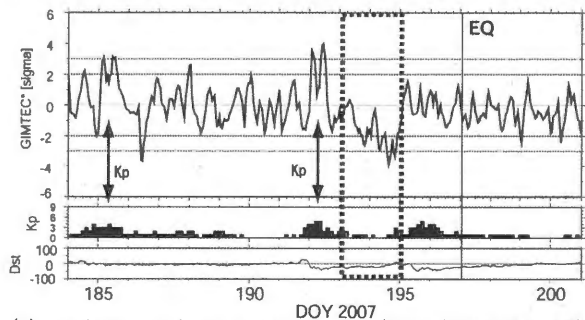
新潟県中越沖地震 ($M6.8$, 深さ: 17km , 震央 138.61°E , 37.56°N) は2007/7/16 01:13 UT に発生した。Fig1.(a) に 140°E , 37.5°N グリッドのGIMTEC*時系列を示す。地震3-4日前の地磁気静穏期間に負のTEC異常が出現していることがわかる。

(b). 岩手宮城内陸地震

岩手宮城内陸地震 ($M7.2$, 深さ: 8km , 震央: 140.88°E ,

39.03°N) は2008/6/13 23:43 UT に発生した。Fig1.(b) に 140°E , 40°N グリッドのGIMTEC*時系列を示す。地震1-2日前の地磁気静穏期間に正のTEC異常が出現していることがわかる。

(a) 140°E , 37.5°N のGIMTEC* (新潟県中越沖地震)



(b) 140°E , 40°N のGIMTEC* (岩手宮城内陸地震)

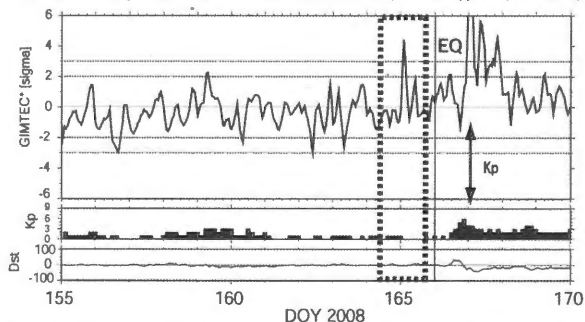


Fig1. グラフは上からGIMTEC*, Kp指数, Dst指数を表す。DOY197, 165の直線がそれぞれの地震発生日を示し、点線はTEC異常を表している。地磁気擾乱に伴うと思われる異常は矢印で示してある。

4. 統計解析

統計解析はSuperposed Epoch Analysis (SEA)という手法を用いた。本研究では、地震日を基準日(0日)として、その前後30日間のGIMTEC*に対してSEAを行った。3日間ごとに閾値を超える異常の有無を判断し、異常が存在すれば1カウントとする。すべての地震に対してこの処理を行い、3日間ごとにカウントを積算してGIMTEC*異常と地震の相関性を検討した。

1998/05-2009/01の約10年間分の、 140°E , 37.5°N グリッドのGIMTEC*時系列に対してSEAを行った。ただしDst指数が $-70[\text{lnT}]$ を超えた場合、地磁気嵐と定義し、地磁気嵐の主相一回復相開始の2日後までを地磁気擾乱期間として、解析から除外した。

地震カタログは気象庁一元化地震データを使用し、

対象とする地震は $M \geq 6.0$, 深さ $\leq 40\text{km}$ である。解析領域は $140^\circ \text{E} \cdot 37.5^\circ \text{N}$ を中心として地震の個数が 30 個になるように, A 領域 ($0 \leq R < 500\text{km}$) と B 領域 ($500 \leq R < 1357\text{km}$) を設定した (Fig2 参照)。

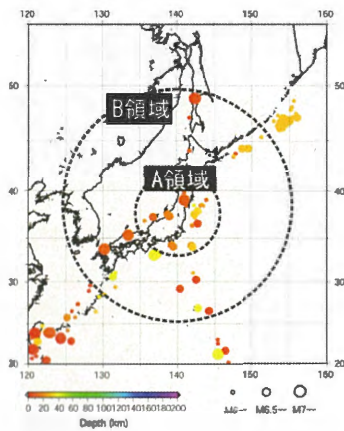


Fig2. 解析対象地震の領域. 解析期間内の A 領域 ($0 \leq R < 500\text{km}$), B 領域 ($500 \leq R < 1357\text{km}$) 内の地震の数が 30 個になるように設定。

Fig3 は A 領域での SEA の結果である。(a)は -2σ を下回る負の TEC 異常数のカウント, (b)は $+2\sigma$ を上回る正の TEC 異常数のカウントである。ただし SEA の結果をより統計的に判断するために“10 年間のデータの中から, 任意の 30 日を選び SEA を行う”というランダム抽出を行い, 1000 回繰り返した。このランダム抽出の平均と標準偏差を算出し閾値としている。

Fig3 より $+2\sigma$ を上回る正の TEC 異常数が地震の 3-5 日前にかけて統計的に有意に上昇していることがわかる。

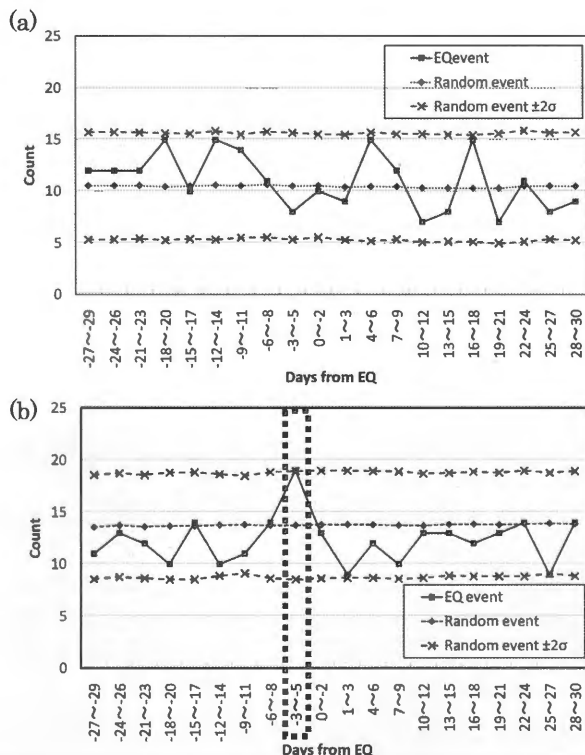


Fig3. SEA の結果.

- (a): -2σ を下回る負の TEC 異常数のカウント.
- (b): $+2\sigma$ を上回る正の TEC 異常数のカウント.

Fig4 では, A 領域, B 領域での SEA の結果を比較している。比較をするために, ランダム抽出の平均を引き, 標準偏差で割って規格化した値を用いている。

(b)の $+2\sigma$ を上回る正の TEC 異常数が地震の 3-5 日前に A 領域で統計的に有意に上昇している。

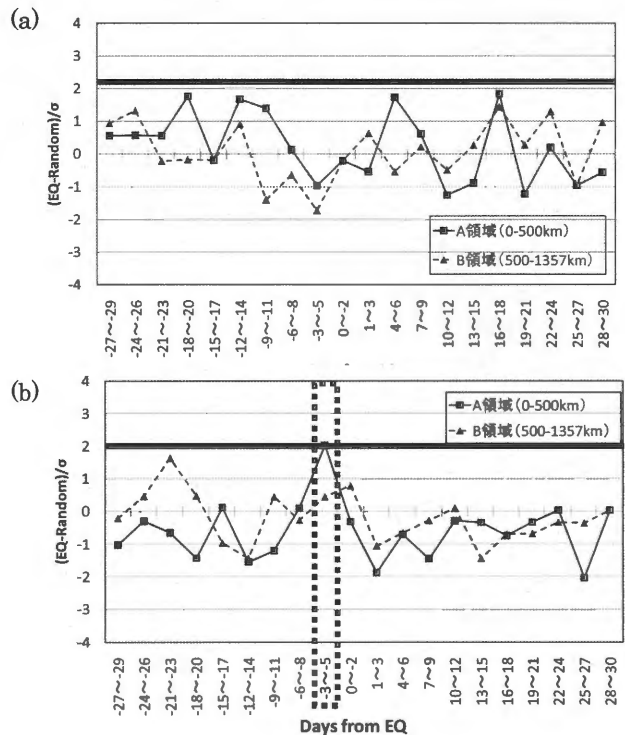


Fig4. A, B 領域の比較.

- (a): -2σ を下回る負の TEC 異常の数の領域比較.
- (b): $+2\sigma$ を上回る正の TEC 異常の数の領域比較.

5. まとめ

事例解析では, 新潟県中越沖地震の 3-4 日前に負の TEC 異常が, 岩手宮城内陸地震の 1-2 日前に正の TEC 異常がそれぞれ観測された。約 10 年間の 140°E , 37.5°N グリッドの GIM データに対して, 日本付近の $M6.0$ 以上・深さ 40km 以浅の地震を対象として統計解析を行った結果, A 領域 ($0 \leq R < 500\text{km}$) で発生した地震の 3-5 日前に正の TEC 異常が統計的に有意であることが判明した。この結果は, Liu らや西橋の地震の前に負の TEC 異常が統計的に有意であるという結果と一致しない。磁気赤道域と中緯度では電離圏を支配する物理が異なるので, 磁気緯度依存性を考慮する必要がある。また, 地磁気嵐の継続時間や地震パラメータを検討して統計解析をする必要がある。

参考文献

- [1] J.Y.Liu et al (2004), *Ann. Geophys.*, 22, 1585-1593
- [2] J.Y.Liu et al (2009), *J. Geophys. Res.*, 114, A04320
- [3] 西橋政秀 (2009), 千葉大学大学院博士論文