

地震先行電離圏変動現象の地震との相関分析と超小型衛星 PRELUDE による観測計画

Correlation analysis of earthquake-preceding ionospheric fluctuation phenomena with earthquakes and observation plan by nano-satellite PRELUDE

○曾根風紗¹, 山崎政彦²

*Nagisa Sone¹, Masahiko Yamazaki²

Abstract: Many earthquakes occur around the world, and the resulting damage is severe. In 2004, observations by the French DEMETER satellite revealed an electromagnetic seismic precursor before earthquakes. Togo et al. developed an anomaly model using the DEMETER satellite observation data, but the accuracy of the model was low, and it was thought necessary to develop an anomaly model that matched the characteristics of the earthquake. In this study, we analyze the relationship between the decrease in electric field strength and earthquakes (magnitude, depth, latitude, and longitude) in order to construct an anomaly model.

1. 研究背景と目的

米国地質調査所(USGS)の統計^[1]によると, M7.0以上の地震の年間発生件数の平均は約15回であり, 地震に伴う人的被害も深刻である. 現在の地震予測は, 緊急地震速報のように地震発生数秒前から数十秒前に発令する直前予測と, 南海トラフ地震のように過去の経験則から推定される数年から数十年先の地震を予測する長期予測である. これらの予測法では, 地震発生までのリードタイムが極端なため, 効果的な被害対策を行うためには, 地震発生数時間前から数週間前の短期予測の実現が期待されている.

2004年~2010年に運用された仏のDEMETER衛星の観測結果より, M4.8以上の地震発生4時間前以内かつ震央約550km以内に, 電離圏D領域の夜間VLF帯電磁波強度が周波数1.7kHz周辺において4~6dB減少するという短期地震予測に有効な電磁気学的現象が有望視された.^[2] DEMETER衛星は①サンプリング周期0.488HzのSurvey modeと, ②サンプリング周期40000HzのBurst modeの2種類のモードがある. ①はスペクトル分解したデータ, ②は波形データである.

東郷らは, ①を用いてM4.8以上の地震発生4時間前以内かつ震央330km以内の電場強度減少の平均をとり異常モデルを作成し, 地震予知率・的中率を算出した.

^[3]異常モデルと電場強度減少の間に相関があることが分かったが, 的中率を上げるには, 電場強度減少と, 地震(マグニチュード, 震源深さ, 緯度, 経度)との関係を解析し, 地震の特徴にあった異常モデル構築が必要だと考えた. 本論では, 異常モデル改善のために, 電場強度減少と地震の相関分析の手法検討(2章)を行った. また, 異常の詳細な解析には②のデータが必要だが, 観測範囲は地震活発地域のみであったためデ

ータ数は多くない. そこで, ②の観測領域を緯度±60度の全領域に拡張した6Uサイズ(100mm x 226.3mm x 366.0mm)の超小型衛星PRELUDE衛星を開発中である. そこで, PRELUDE衛星の優位性を示すため地震検知数解析(3章)の結果と考察を述べる.

2. 地震先行電場強度減少の相関分析

2.1 解析に使用するデータと前処理

解析には, 1) データ量が多く統計的評価に優位かつ1で示した通り先行研究で電場強度減少を確認できたDEMETER衛星のSurvey modeデータと2) DEMETER衛星運用期間に起きた全地震データ^[4]を用いる. 1)では, 定常状態の電場値は磁気強度, 太陽活動等, 各地点, 時期で異なるため, Table 1に示した条件により分類し, 各グループの中で電場強度最大値を1, 最小値を0として変化を比較できるように正規化を行う.

Table 1 グループ条件分け

	条件	範囲
位置	磁気緯度	10[deg] step
	磁気経度	2[deg] step
時間	季節	春(3~5月) 夏(6~8月) 秋(9~11月) 冬(12~2月)
磁気状態	Kp index	Quiet(0,0+,1-1)
		Monderate(1+,2-,2,2+)
		Disturbed(3--)

2)では, 地震と地震発生前の電場減少を1対1で結び付けるために, 地震発生30日後以内, 30km以内で一番マグニチュードが大きい地震を本震とし抽出するデクラスタリング処理を行った. デクラスタリング前後の累計地震数を以下のFig.1に示す.

1: 日大理工・学部・航宇 2: 日大理工・教員・航宇

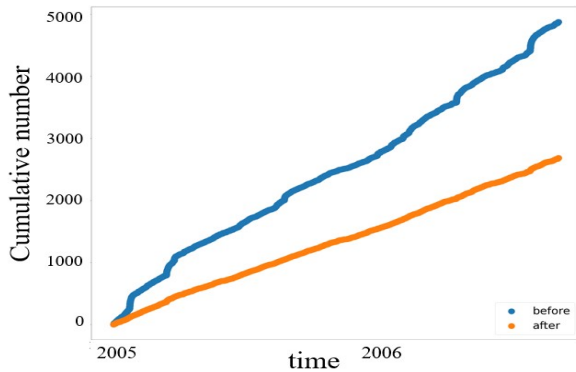


Fig.1 デクラスタリング比較(上:処理前, 下:処理後)

縦軸が累積地震数, 横軸が時間である. 処理前 (上) の地震は 4879 個, 処理後 (下) の地震は 2686 個である. 処理前ではある時間で急激に地震累積数が増加している箇所が見られ, これは本震に伴う余震の影響が考えられる. 処理後では, 累計地震の推移は時間に対して線形に近く, 本震のみを抽出できたと考えられる.

2.2 電場減少度合と地震のパラメータの相関分析

正規化した各グループの電場データを地震発生の有無で分ける. 地震有と無しの電場データの平均をそれぞれ算出し, その差を電場減少度とする. 電場減少度と地震(マグニチュード, 震度深さ, 緯度, 経度)の間の相関係数を算出することで, 相関を確認する.

3. PRELUDE 衛星の地震検知数解析

3.1 解析に使用するデータ

解析には, 1) PRELUDE 衛星の軌道データ 2) その期間に世界で起きた地震データ[4]を使用する. 1) 軌道は現在予定している高度, 軌道傾斜角, 昇降点地方時を満たす TLE を元に, 軌道データを作成した.

3.2 解析手順

先行研究で電場異常がみられる地震発生 4 時間前以内に, 震央距離 550km 以内を衛星が通過した回数を地震検知数とする.

3.3 解析結果と考察

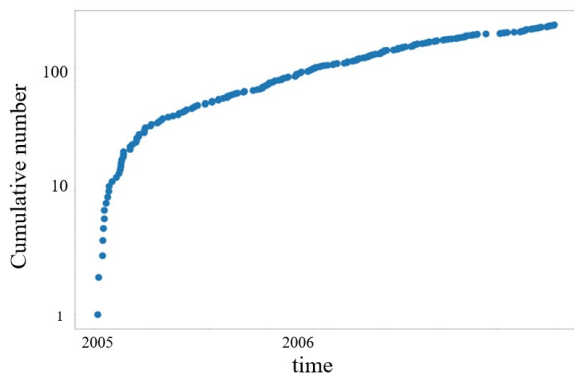


Fig.2 PRELUDE 検知数

DEMETER 衛星の Burst mode データは 6 年で 98 件^[5]に対し, Fig.2 より PRELUDE 衛星は 2 年間の運用で 226 件の地震を検知できることが分かった. このことから, PRELUDE 衛星は DEMETER 衛星のデータ数の少なさを改善し, 電離圏先行現象の物理メカニズムを解明することに寄与すると考えられる.

4. 結論

PRELUDE 衛星は観測領域を広げることで, DEMETER 衛星よりも観測期間の少ない 2 年で DEMETER 衛星より多くのデータが取得できる事を示せた.

5. 課題

電場強度減少と地震の相関解析手法を示したが, 実際の解析結果を出せていないため, 今後解析結果をだし, それを元に異常モデルを作成する必要がある.

6. 謝辞

本研究は東京大学地震研究所共同利用(2023-K0B031)の援助, Yahoo!基金「2023 年度 防災減災活動支援助成プログラム」の援助, WNI 気象文化創造センター2023 年度国内助成の援助, 日本大学理工学研究所プロジェクト研究助成金の援助を受けました.

また, 静岡県立大学の鴨川仁特任准教授に解析方法に関するご指導を賜りました. 心から感謝申し上げます.

7. 参考文献

[1] 気象庁 令和 4 年(2022 年)の地震活動について <https://www.jma.go.jp/jma/press/2301/12a/2212jishin2022.pdf>

[2] Némec, F. O.Santolík, M.Parrot, J.J.Berthelier: Spacecraft observations of electromagnetic perturbations connected with seismic activity. Geophys. Res. Lett., 2008. VOL.35

[3] 東郷翔帆, 新田英智, Jean-Jacques Berthelier, 鴨川仁: 衛星高度で観測された雷起源電磁波データを用いた地震先行電離圏擾乱発生高度領域の推定. 大気電気学会, 2017, p69, 114-115

[4] USGS 地震カタログ <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>

[5] 武田龍亮, 地震先行電離変動の特徴解析及び地球観測衛星 Prelude の地震検知数解析, 2022 年