

地震規模及び震源深さと地震先行電離圏電磁波強度変動の関係性評価

Evaluation of the Relationship between Earthquake Magnitude and Epicenter Depth and Ionospheric Electromagnetic wave Intensity Variations

○曾根風紗¹, 山崎政彦², 鴨川仁³*Nagisa Sone¹, Masahiko Yamazaki², Masashi Kamogawa³

Recently, intensity of VLF electromagnetic waves in the ionosphere at night has been focused as a phenomenon for short-term prediction of earthquakes. It was shown that the intensity of VLF electromagnetic waves decreased by 4-6 dB around 1.7 kHz within 550 km of the epicenter within 4 hours before the earthquake of M4.8 or greater by Nemeč et al. Also, Togo et al, created an anomaly model based on this phenomenon and calculated the earthquake accurate and prediction rate, but both of which were low. In this study shows what effects the magnitude and Epicenter depth of an earthquake cause on the electromagnetic field strength.

1. はじめに

2024年能登半島沖地震をはじめとする大地震発生に伴う被害は非常に深刻であるが、現代においても地震短期予測法は確立されていない。一方近年、夜間電離圏のVLF帯電磁波強度変動が地震短期予測に有望な現象とされている。Nemečらは、2004年~2010年に運用された仏のDEMETER衛星で観測された電離圏の電場強度のデータを用い、M4.8以上の地震発生から地震発生4時間前以内かつ震央から半径約550kmの範囲内で、電離圏の夜間VLF帯電磁波強度が周波数1.7kHz周辺において4~6dB減少することを統計的に示した^[1]。

また東郷らは、特に現象が見られるM4.8以上の地震発生4時間前から地震発生4時間以内かつ震央330km以内を通過した軌道(以下地震軌道とする)を抽出し、全地震軌道の電場強度の時系列変動を重ね合わせを地震による電場強度の異常モデル(以下異常モデルとする)とし、地震予知率、適中率を算出したが、確率が共に低いことが課題としてあげられた^[2,3]。

地震予知率、適中率を上げるためには、全地震軌道の重ね合わせではなく、電場強度変動に影響を与える^[4]地震のマグニチュード、震源深さによって、異なる異常モデルを作成し、予知できる地震を増やす必要があると考えた。本論では、今後の異常モデル作成の基盤となる電場強度の時系列変動と、地震の規模や震源深さとの関係性、特徴を示す。

2. 電場強度変動の評価

地震の規模や震度と電場強度の時系列変動の特徴を解析するため、過去に運用されたDEMETER衛星の観測で得られた電場強度データと、DEMETER衛星の運用期間と同期間かつ、M4.8以上、震源深さ40km以内

の過去の地震データとを対応させた解析を行った。観測された電場強度データは、磁気緯度、経度、季節、太陽活動度の影響を受けるため、条件ごとに電場強度のスケールが異なるため、各条件ごとにデータの振り分けを行い、正規化を実施した。電場強度データには、雷による瞬間的な強度変動が含まれるため、データ全体の分布を累積することで瞬間的なノイズの影響を相対的に小さくする特性を持つ累積分布関数(CDF)を使用し正規化を行った。また、地震は、比較的大きな地震が起きると余震が発生するため、電場強度変動と地震を1対1で結びつけることを目的とし、デクラスタリング処理を行い余震を取り除く。地震発生30日以内かつ震源深さ30km以内の地震の中で最もマグニチュードの大きい地震を主震として抽出した^[2,3]地球を楕円体モデルとして扱うVincentyの式を用いて、先行現象が特に見られる震央から半径330km以内を地震発生4時間前に通過した軌道(以下地震軌道と呼ぶ)を抽出し、この時に対応する地震を検知地震として定義する。抽出した地震軌道について、地震に伴う電場強度の全体的な傾向を明確にし、各観測データに含まれるランダムなノイズを平均化して除去するため、震央最接近距離を0秒に合わせ、±200秒間の電場強度の時間変化を重ね合わせて平均(50秒の移動平均)をとる。

地震規模および震源深さに基づいて特徴を評価するため、3つのパターンで解析を行う。1つ目は、地震規模や震源深さを考慮せず、全地震軌道の電場強度データを対象に解析を行い、全体的な傾向を把握する。2つ目は、検知地震規模に応じた電場強度変動の関係を調べるため、検知地震規模でグループ分けを行い、各グループで解析を実施する。3つ目は検知地震震源深

1: 日大理工・院(前)・航宇 2: 日大理工・教員・航宇 3: 静岡県立大学

さと電場強度変動の関係を調べるため、震源深さでグループ分けを行い、各グループで解析を行う。

3. 解析結果

全軌道 28354 軌道中、地震軌道は 355 軌道であった。そのうち衛星と検知地震の最接近時刻を 0 秒とし、その前後±200 秒のデータが取得できていた 317 軌道を解析対象とした。本論では Figure.1 に全地震軌道の電場強度変動を、Figure.2 に検知地震の規模別の電場強度変動を示す。

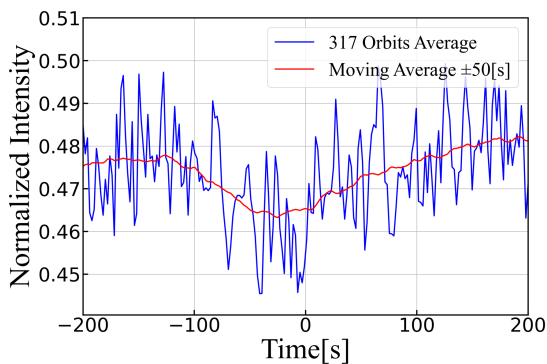


Figure 1. 全地震軌道の電場強度減少の時系列変化

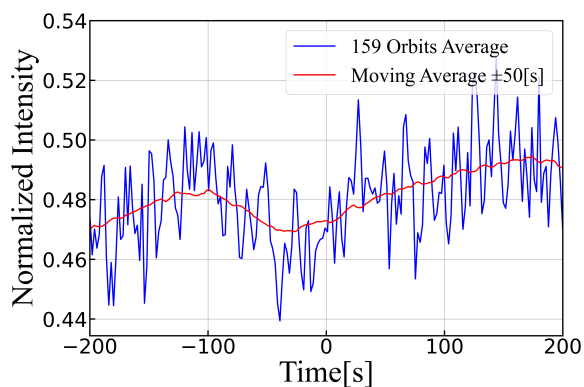
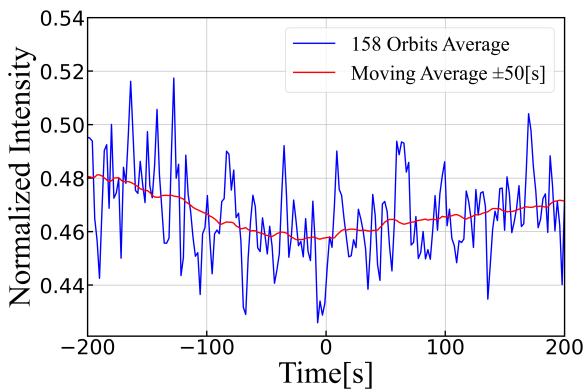


Figure 2. 検知地震規模別の電場強度変動
(上:検知地震が M5.0 以下,下: 検知地震が M5.1 以上)

Figure 1 に示すように全地震軌道を時系列を合わせ重ね合わせ平均を取った時、震央最接近時刻周辺で電

場強度が減少する現象が見られることがわかる。また、Figure 2 に示すように、地震規模別にデータを分けた場合でも、減少現象は見られるが、検知地震規模が大きいデータを使用した場合の方が、現象が顕著に見られた。また、震源深さ別で分けた場合も同様に減少現象は見られるが、震源深さが浅い時、減少は顕著に見られた。検知地震規模、震源深さにより電場強度変動は異なるため、電場強度の時系列変動を異常モデルとし、地震予知を試みる際に、全地震軌道の重ね合わせを異常モデルにするだけでなく、地震規模、震源深さ別にデータを分けそれぞれの場合で異常モデルを作ること、地震予知率・適中率が高まると考えられる。

4. 結論

本論では、モデルを作成するベースとなる電場の時系列変動を地震規模、震源深さ別に、特徴を解析し地震規模や震源深さによるその減少量や時系列変動の特徴を明らかにした。検知地震規模、震源深さにより電場強度変動は異なるため、それぞれの場合で異常モデルを作成することで、予知率的中率の向上につながると考えられ、今後は各条件での電場強度の時系列変動の形状を用い異常モデルの作成を行う。

5. 謝辞

東京大学地震研究所共同利用 (2024-KOBO04) および一般財団法人 WNI 気象文化センターの国内助成の援助を受けました。ここに深く感謝申し上げます。

6. 参考文献

- [1]F. Neřmec, et al. : Spacecraft observations of electromagnetic perturbations connected with seismic activity, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 35, L05109, 2008, doi:10.1029/2007GL032517
- [2]東郷翔帆：衛星高度で観測された地震先行電離圏擾乱に関する研究-雷期限電磁波強度データを用いた地震先行電離圏擾乱発生領域推定-,2016
- [3]宇津徳治:地震予知の適中率と予知率, 日本地震学会地震 第 2 輯, 第 30 巻, pp. 179-185, 1977, https://doi.org/10.4294/zisin1948.30.2_179
- [4]David Piřa, Frantiřek Neřmec, et al. : Additional attenuation of natural VLF electromagnetic waves observed by the DEMETER spacecraft resulting from preseismic activity, GEOPHYSICAL RESEARCH, SPACE PHYSICS, VOL.118, 5286–5295, 2013