

K-37

地震に先行する電離圏変動現象の観測衛星 Prelude の地震検知数解析

Number of earthquakes detected by the Prelude satellite for observation of ionospheric phenomena preceding earthquakes

○武田龍亮¹, 保坂勇人¹, 山崎政彦²*Ryosuke Takeda¹, Hayato Hosaka¹, Masahiko Yamazaki²

Abstract: We are designing and developing the 6U CubeSat, called "Prelude". The satellite mission is to observe electromagnetic field, to statistically evaluate the ionospheric variations that precede seismic and to elucidate their mechanisms. In this paper, we present a comparison of the number of earthquakes detected by DEMETER with the number of earthquakes detected by Prelude during its assumed two-year operation period.

1. 背景及び目的

統計的手段を用いた地震予測情報として、気象庁の発表する長期予測がある。一方で緊急地震速報のような地震発生後の地震波検知による直前予測が実用化されている。しかし、社会生活に有効な地震発生の数週間から数日前に警報を出す地震短期予測システムの実現が期待されている。

短期予測には前兆現象の検知が有用であり、前兆現象に関係のあるとみられる電磁気学的先行現象として、フランスの DEMETER 衛星によって観測された夜間 VLF 帯電磁波強度減少がある^[1]。この現象は、マグニチュード 4.8 以上の地震発生約 4 時間前以内かつ震央約 550 km 以内に、夜間 VLF 帯電磁波強度が周波数 1.7 kHz 周辺において 4~6 dB ほど減少するというものである。しかし、低軌道衛星 DEMETER 1 機では世界で起きる地震の全てを検知出来ない。この問題の解決策として、人工衛星を複数機異なる軌道に投入することで地球全体を稠密に観測することができる。複数機の投入には開発コストが低く、生産性の高いキューブサット (CubeSat) の利用が実現性が高く、現在、本現象を検知可能なキューブサット Prelude の開発を行っている。本衛星はまずは単機で、軌道上で 2 年 3 ヶ月間運用することで、地震に先行する現象の物理機構の解明が進み、短期地震予測の可能性が検討できると考えている。

本衛星と同等の衛星を複数機投入することで稠密な観測が可能となるが、地震に先行して起こる VLF 帯電磁波強度減少の統計的評価を説明するためには、VLF 帯電磁波信号強度のデータに含まれる地震に先行して発生する電場変動の特徴量を抽出する必要がある。特徴量を抽出するには、先行現象を含んだ電場データのサンプルが数多く必要になる。そのため、本稿では先

行現象の観測に特化した Prelude 衛星が取得できる地震の検知数の見込みについて解析した結果を述べる。

2. DEMETER 衛星のデータ解析

DEMETER 衛星の VLF 帯電場データの取得方法は Survey mode と Burst mode に分けられる。Survey mode のデータは、水平電場 1 成分について 2.048 秒ごとに 20 kHz 幅を 1024 点のスペクトルデータで常時記録しているのに対し、Burst Mode のデータは全球の地震活動活発領域で波形データを取得しており、水平電場 1 成分をサンプリング周波数 40 kHz で観測する時系列データとなっている。

先行現象の原因は、電離圏 D 領域の電子密度上昇によるものだと考えられている。そして、D 領域を通過する雷由来の VLF 帯電磁波の内、ホイッスラー波と呼ばれる磁場方向に伝播する電磁波がある。電離圏 D 領域の変化によって影響を受ける雷ホイッスラー波を解析することは先行現象の解明に近づくと考えられる。しかし、雷ホイッスラー波は多くがミリ秒スケールの現象である。そのため、ホイッスラー波よりも高いサンプリング周波数のデータを取得する Burst mode による解析を行うことで、先行現象検知の高精度化、並びに先行現象の発生機構解明に期待できる。

Table1. Burst mode データにおける電場データの事例数と時間幅 t

時間幅 t	事例数
0 秒以上	98
40 秒以上	52
70 秒以上	24
100 秒以上	15

1: 日大理工・学部・航宇 2: 日大理工・教員・航宇

Table1. は、衛星軌道と震央の距離が最も近くなる時刻、震央最接近時刻から前後 t 秒以上の時間幅が取得できている電場データの事例数の関係である。なお、軌道データと対象の地震を一对一対応させる必要があることから、本震余震含む全ての地震データから本震のみを抽出するデクラスタリング処理を行なっている。処理の条件として、まずある地震を基準に前後 30 日以内かつ 30 km 以内の地震における、規模が最も大きい地震を本震とし、その本震を基準に 30 日以内かつ 30 km 以内の地震を余震と定めた。デクラスタリングの結果、DEMETER 衛星の運用期間である 2004 年 11 月から 2010 年 12 月までに発生したマグニチュード 4.8 以上の地震は 14496 個存在したが本震は 8474 個であった。また、先行現象による電場強度の減少は衛星軌道と震央の距離が 550 km 以内で見られ、330 km 以内であるとより顕著に見られる事が確認されている^[4]。DEMETER 衛星は 1 秒に約 7.6 km 進むことを考慮すると、先行現象による電場強度の減少を確認するためには最低でも震央最接近時刻から前後共に 40 秒以上の電場データを確保する必要がある。しかし、本震に対して時間幅 $t \geq 0$ を満たす軌道 98 個中、時間幅 40 秒以上を持つサンプルは 52 個であった。そのため、Burst mode におけるデータの取得領域の拡大、及び取得するデータ量の増大を狙う必要があると言える。

3. Prelude 衛星の地震検知数

軌道解析を行うにあたって軌道条件を示す(Table2).

Table2. 各衛星における軌道条件

衛星名	Prelude	DEMETER
軌道種類	太陽同期回帰軌道	太陽同期準回帰軌道
軌道高度	560 km	660 km
回帰日数	1 日	13 日
降交点通過地方時	9:30	14:30

回帰軌道は数周回公転した後、一日で元の地点の上空に戻る軌道である。また、数日経過して元の地点の上空に戻る軌道を準回帰軌道と呼び、準回帰軌道で元の位置に戻るまでの日数を回帰日数と呼ぶ。太陽同期準回帰軌道とは、衛星の軌道面と太陽光の角度が常に一定となるように飛行する準回帰軌道のことである。降交点通過地方時は天体が軌道上を運行する際に、黄道面を北から南に通過する時刻を意味する。

Prelude 衛星が地震を検知する条件は、本震に対し、衛星が地震発生の 4 時間前以内に震央 550 km 圏内を通過しているものとし、かつ緯度が ± 60 度以内であるものとする。Prelude 衛星の Burst mode の地震検知数を示す(Fig1).

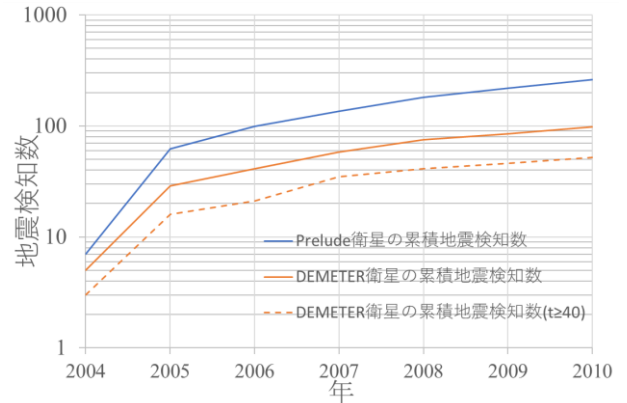


Figure1. Prelude 衛星と DEMETER 衛星による累計地震検知数の推移の比較

結果から、約 5 年間 8474 個の本震に対して Prelude 衛星 1 機当たり 262 個検知することが出来た。しかし、先行現象は夜間時のみ見られることと、地震発生 4 時間前にみられるという特徴から、24 時間のうち 16 時間分の地震のみ検知可能となる。そのため、Prelude 衛星を複数機導入することを考慮すると最大で本震 8174 個の 66% である約 5449 個を検知出来ると考えられる。地球の円周を 40000 km とすると、半径 550 km の範囲で全球を観測するには緯度方向に等間隔で約 18 機、また検知可能時間幅の 16 時間に対して、先行現象が生じてから地震発生まで 4 時間のリードタイムがあることから、経度方向に 4 機の計 72 機の衛星で地球を覆うことで、夜間時の観測で出来るだけ効果を高めることができると考えられる。

4. 結論

Prelude 衛星の Burst mode の地震検知数を測ることで、Prelude 衛星の場合、DEMETER 衛星よりも多くの地震の検知が可能である事が確認できた。また、夜間時の観測で出来るだけ効果を高めるためには、計 72 機の Prelude 衛星による稠密観測が必要であると考えられる。

5. 参考文献

[1] Němec, F. O.Santolík, M.Parrot, J.J.Berthelie : 「Spacecraft observations of electromagnetic perturbations connected with seismic activity」, Geophys.Res.Lett., 2008.