

( 1 ) 実施機関名：

千葉大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

電磁気学的な地震先行現象の総合的研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) 関連研究分野との連携強化

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

本課題は平成 30 年度まで実施された東海大学の課題 2501 を継続・発展させるものである。平成 26 年度には高知県に新規地震電磁気観測点を 2ヶ所設置し観測を開始した。また VLF 帯パルス電磁波観測装置を再興し、平成 30 年度では 5ヶ所で定常観測を実施している。また過去データの検証として VHF 帯電波伝播異常観測について北海道・襟裳観測点をモデルとして統計的な評価手法を提案した。

平成 27 年度には各種電磁気観測点を維持しながら、特に宏観異常と地震前の電離層全電子数(GNSS-TEC)変化に関する評価を実施した。また統計評価に関する "予測マップ"を用いた評価方法を提案し、実際に北海道・襟裳観測点の 10 年以上の観測データについて予測マップを作成し評価を行ったところ、先行時間を 4 日とした場合に最も高い確率利得が得られる事が判明した。また東北地方太平洋沖地震の直前 1 時間以内に観測された GNSS-TEC 変化に関するケーススタディを実施し、GNSS データが存在する 8 例のマグニチュード 8 以上の地震すべてで同様の現象が発生している事を確認した。

平成 28 年度には熊本地震が発生し、この地震に対して複数の手法による地震学的な解析を実施し、地震発生密度解析や静穏化解析で明瞭な準備過程が存在していた事を示す事に成功した。VHF 帯の電波伝播異常観測では、従来は見通し外伝搬を主な観測対象としてきたが、見通し内伝搬も有望である可能性のある事が判明した。また巨大地震直前の GNSS-TEC 研究においては、特に 2015 年にチリで発生した Illapel 地震で電離層の 3 次元トモグラフィを実施し、磁場に沿って低高度に正の異常が、高高度に負の異常が並んで生じる構造を見出した。

平成 29 年度においては、気象庁柿岡地磁気観測所の地磁気 3 成分データの統計解析が進み、Molchan Error Diagram (MED) 解析の結果として、確率利得が最大となったのは先行時間が 8 日で警告期間を 1 日とした場合に  $PG=2.3$  となる事が判明した。統計評価の研究では、 $M>6$  もしくは 7 に対して統計的に有意であることが示された。

平成 30 年度は特に本研究課題と関わりが深い、統計的に有意と判断される先行現象に特化した国際シンポジウムを初めて予知協議会主催という形で 5 月に実施した。VHF 帯電波伝播異常の統計的検出方法について、リアルタイムでの即時検出に応用できるようにその時点での異常検出基準を、その時点から過去 30 日のデータを使って算出し、異常判定を実施した。具体的にはその時点から過去  $x$  時間を振り返り、データ中  $y$  % 以上異常が検出されている場合に  $L$  日間継続して警報を出すことにした。その結果、過去  $x$  時間中 50 % 以上の異常で警報を ON にした場合には、その時点から過去 24 時間のデータを参照し、警報継続期間  $L$  を 3 日にしたときにもっとも良い結果が求まった。VLF 帯パルス電磁波観測は、現在中部地方の 5 点で連続観測を行っている。今年度は観測期間中かつ観測ネットワーク内で発生した最大の内地震であった 2017 年 6 月 25 日の長野県西部の地震 ( $M5.6$ ) の 2 日前に観測された電磁パルスについて詳細な解析を実施した。解析の結果、観測された 7 個信号のうちの 2 個は極めて波源が良く求まり、さらに観測波形も極めて類似していた。巨大地震直前の GNSS-TEC 異常について東北地方太平洋沖地震の前に観測された GNSS-TEC の異常は、今期の本研究課題の最大のトピックの一つであった。これまで北海道大学のグループは精力的に事例解析を実施してきたが、H30 年度はこの現象がはたしてより小さな地震を用いて統計的にも確認できるかどうか GEONET のデータを用いて検証した。1997 年以降、東北地方太平洋沖地震までに陸域近傍で発生した  $M5$  以上の地震 (279 個) を対象として解析した結果、地震直前の 4 時間前に弱いながら正のピークがある事が確認された。予察的な解析としては、 $M5$  から  $M7$  クラスの地震でも、地震直前に TEC の正の異常が存在していた可能性を示唆する結果である。

(7) 本課題の 5 か年の到達目標 :

地震に先行する様々な電磁気現象が報告され、そのうちのいくつかの観測パラメータについては統計的な有意性が示唆される論文が出版されるようになってきた。しかし、1 つの観測パラメータの解析では、現実的な予測の観点から、予測成功率が十分であるとはいえない。そこで、統計的な有意性を示す複数の観測パラメータを組み合わせることにより、短期・直前予測の実現に資する研究を実施し、前兆現象の発生や伝搬機構の理解を進める。

また、現在確認されている地震前兆現象として統計的な有意性を示す観測パラメータについて、他の観測点のデータ解析で検証するとともに、地震の規模や深さ、タイプ、時空間的な関係を調査する。前兆現象の物理機構を解明することに資する室内実験や観測研究を実施し、電磁気学的な先行現象発現メカニズムを定性的・定量的に検証する。また自前の観測データ以外に、既存の GNSS-TEC 等の他機関データの活用や、中国、台湾、米国、イタリア、ロシア等の研究者とも協力し、国際的に短期地震予測研究を実施する。

(8) 本課題の 5 か年計画の概要 :

本計画では、統計的な有意性を示す複数の観測パラメータを組み合わせることにより、短期・直前予測の実現に資する研究を実施する。そのために、前期の課題 2501 を継続しつつ、次の事項を実施する。(i) 地震に伴う電磁気現象を正確に捕捉する観測パラメータの調査と観測・データ蓄積、(ii) データ

解析法（予測精度の高度化（信号弁別や時系列データ処理などの信号処理法や統計的評価法）の開発、電磁気学的、力学的、地震学的データとの関連性評価、(iii) 室内実験やモデルによる地震電磁気信号発生機の物理機構解明、に資する研究を遂行する。(i) (ii) では研究期間全体を通して、衛星・地上マルチセンサネットワークによるリアルタイム監視システムの構築に資する調査研究を実施する。観測パラメータの検討とその統合（SensorWEB、ビッグデータ収集）、予測精度の高度化のための観測や解析技術などを調査・研究する。地上や衛星に搭載されたセンサによって、巨大地震の準備段階で発生する前兆的な異常変動を検知し、海溝部や内陸で発生する M7 クラス以上の地震に対して、確度の高い予測情報を出力するシステムの開発を国際共同研究として検討する。地震前兆的な現象を記録している観測パラメータ（ULF 電磁場、VLF/VHF 電磁場、電離層電子数 (GNSS/TEC)、衛星温度異常、GPS 地表変位、地震活動度、ラドン濃度等）の地震活動との統計的有意性および前兆性が示されるかどうかを調査検討し、その統合を目指す。また、その物理機構解明に資する調査研究も行う。観測項目は固定せず、研究開発の進展に応じて、追加や削除が可能な open なシステムとする。いずれの観測項目でも、観測網を良好に維持し、ケーススタディを積み重ねる。また、必要に応じて観測点周辺の比抵抗構造を測定し、また室内実験等を行い、先行現象の発現・伝搬メカニズムの理解を進める。前期の課題 2501 で作成を開始した第三者が評価可能な電磁気学的な先行現象データへアクセスをさらに充実させる。これらのため、先行現象研究が行われている ロシア、キルギス、フランス、中国、台湾、ギリシャ、米国、インド、イタリア等の研究者と連携し、各種既存のデータの発掘・再解析を実施する。

#### (1) 観測

- ・ ULF 帯、VLF 帯、VHF 帯電磁場観測を維持、短期予測に資するデータ収集（期間全体）
- ・ 地圏 大気圏 電離圏結合の観測学的研究のための観測装置の開発

地震に先行する TEC 異常の発生原因の 1 つと考えられている電場異常について観測学的に検証可能な装置を開発する。地中および地表付近の Rn 濃度や大気電場等を測定する。着手（初年度）テスト観測（2-3 年度）定常観測（3-5 年度）の予定。

#### (2) 解析

- ・ VHF 帯観測データについては、予測マップを作成し、統計的な評価を実施する。またリアルタイム解析システムを開発（1-3 年度を予定）
- ・ VLF 帯観測データについては、波源を自動解析するシステムを構築する（1-2 年度を予定）
- ・ GNSS-TEC 解析では、Heki が指摘している直前変動の統計解析に着手（初年度）し、成果をまとめる（2-3 年度）また GNSS-TEC 解析の数日前の日変化パターンについては、地磁気擾乱日を考慮した前兆性の評価に着手（初年度）し、Molchan Error Diagram 等で評価する（2-3 年度）準リアルタイム解析システムを開発（3-4 年度）
- ・ イオノゾンデデータの解析による電離圏電子密度変動と地震との相関の調査（1-3 年度）
- ・ 電離圏トモグラフィによる電離圏電子密度変動の可視化と変動予測（1-5 年度）
- ・ 新規観測パラメータの統計的有意性や前兆性評価の検証（随時）
- ・ 電磁気学的、力学的、地震学的データとの関連性評価（随時）
- ・ 各種パラメータの組み合わせによる予測成功確率の変動の調査（2-5 年度）
- ・ 海外で報告されている衛星観測データ地震前兆現象の検証に着手する（衛星熱赤外データ（TIR：ひまわりや LEO データなど）In-situ プラズマ計測データ/電磁場データ SWARM 衛星、中国張衡 1 号など：初年度）統計的有意性や前兆性評価の検証（2 年度～）
- ・ slowslip に関する電磁気データの検討開始（3-5 年度）

#### (3) 室内実験および計算機実験

- ・ 地殻電磁場発生モデルの構築と電離層電子密度変化のシミュレーションを実施し、地震前の TEC 異常現象の物理の解明。コード開発（1-4 年度）Heki-TEC 異常モデル構築検討（5 年度）
- ・ 地殻温度条件下における応力誘起岩石分極実験の実施（1-3 年度）その結果を用いて、モデルの定量的検証（3-4 年度）Heki-TEC 異常モデル構築検討（5 年度）

#### (4) 国際ワークショップの開催。

5年度の前半に本研究開発の成果と国際動向を調査するため日本で国際ワークショップを開催する。

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

千葉大学：大学院理学研究院 服部克巳、佐藤利典、津村紀子

他機関との共同研究の有無：有

北海道大学：橋本武志、日置幸介

東京大学地震研究所：中谷正生、上島誠、小河勉

京都大学防災研究所：吉村令慧

京都大学大学院情報学研究科：梅野健

九州大学：松島健、相澤広記

大阪大学：山中千博

東海大学：長尾年恭、

東京学芸大学：織原義明

静岡県立大学：鴨川仁

群馬大学：本島邦行

中部大学：井筒潤

高知工科大学：山本真行

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：千葉大学大学院理学研究院

電話：043 - 290 - 2801

e-mail：

URL：

(11) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：服部克巳

所属：千葉大学大学院理学研究院