

(1) 実施機関名：

千葉大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

（和文）電磁気学的な各種先行現象の総合的研究

（英文）Comprehensive study of pre-earthquake electromagnetic phenomena

(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

(2) 地震発生確率の時間更新予測

イ. 観測データに基づく経験的な予測と検証

(4) その他関連する建議の項目：

5 分野横断で取り組む地震・火山噴火に関する総合的研究

(2) 首都直下地震

6 観測基盤と研究推進体制の整備

(1) 観測研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) 国際共同研究・国際協力

(5) 本課題の5か年の到達目標：

2023年度までの課題において、地球磁場変動や電離圏電子数変動などの地球物理観測データの統計解析により地震との有意相関性や地震前兆性を示す現象の存在が明らかとなってきた。しかし、単独の現象の解析では、現実的な予測の点からは合格点には至っていない。そこで本計画では、2023年度までの課題に加えて、機械学習(AI)やデータ同化などの技術を用いて、地球観測ビッグデータの波形解析・特徴量分析を実施し、地震準備過程を精度よく把握・理解するとともに、地震前兆に関する情報をタイムリーに必要な品質で精度よく抽出し、マルチパラメータを入力とするデータ駆動型の地震発生確率数理モデルの構築に資する研究を実施する。具体的には点過程を仮定したEpidemic Type Aftershock Sequence (ETAS) を手本とする発生確率予測モデルにさまざまな地震前兆現象を組込んだ新しい地震予測手法の確立を目指す。有望な予測パラメータ調査も引き続き実施し、特に電離圏電子数変動の准リアルタイム解析・可視化システムの開発とラドン散逸量（地中フラックス）のネットワーク観測とリアルタイム解析技術の開発を実施する。また自前の観測データ以外に、前述のモデルに組み込む既存の他機関データ（GNSS-TEC等）の活用や、中国、台湾、米国、イタリア、ロシア、インド等の研究者とも協力し、国際的に短期地震予測研究を推進する。さらに、電磁気学的な先行現象発現メカニズムについて、室内実験等でいくつかの仮説について観測量を定性的・定量的に説明できるかについて検証を試みる。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

研究内容は、2019-2023年度に実施した課題のCBA_01の(1)地震に伴う電磁気現象を正確に捕捉する複合観測とデータ蓄積、(2)データ解析法の確立（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）、(3)室内実験やモデルによる地震電磁気信号発生の物理機構解明、(4)電磁気学的、力学的、地震学的データとの関連性評価に資する研究に加えて、下記を遂行する。ア)地震前兆現象を用いた時変地震予測確率数理モデルの構築と応用、イ)AI・機械学習による地震前兆情報抽出とその発生機構の検討、ウ)国際ワークショップの観点を増強し、複数の地球物理学的前兆情報を組込んだ

包括的な地震予測確率数理モデルの構築を目指す。具体的には、下記のとおりである。

[1]. 観測（現行の(1)の継続）：全期間

- ・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LF帯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。

短期的な先行現象として統計的有意性を示した地磁気3成分観測およびVLF帯パルス電磁波の観測、さらに北海道大学、千葉大学、群馬大学を中心に行われてきたVHF帯放送波の散乱観測を継続する(ただし機材の更新は困難)。また、電離圏電子数変動（GNSS-TECデータ、イオノゾンデデータ）など、衛星熱赤外異常の解析を継続して実施する。いずれの観測項目でも、観測網を良好に維持し、事例を積み重ねる。本グループでは地震に先行する電離圏電子数変動や気象衛星ひまわりで観測された熱赤外温度異常について、統計的な有意相関とReceivers Operating Characteristics (ROC)的解析による前兆性を報告しているが、因果関係は未解明である。これらの原因の1つとして地震前の地中からの放射性ラドンガスの異常放出による地圏-大気圏-電離圏結合が提案されている。一方、地震活動に伴うラドン変動は1995年神戸地震の際に神戸薬科大学のYasuokaらが大気ラドン濃度の上昇を、および産総研のIgarashiらが地下水ラドン濃度の上昇を報告している。また、活断層直上でラドン濃度が増加することも報告されている。

そこで、特に[3]と連携し、地中ラドンflux計測のネットワーク観測システムを開発し、ラドンの地表への散逸量変動などの地表変動や地殻応力（歪）との関係の調査等に資するデータを蓄積する(南東北・能登・台湾等が候補地)。地中ラドンfluxは大気ラドン濃度よりも大気による拡散の影響や遠方由来の影響が小さく、その場の感度が高い。地下水ラドン濃度の観測は観測井が必要となり一般にコストがかかる。大気ラドン濃度の変動は別グループで研究されているが、大気ラドン濃度の変動と地震との関係を証明するためには、地中からのラドン放出異常とそれに続く大気ラドン濃度変動の観測学的な実証も必要で、彼らとの連携も期待できる。我々は、地中ラドン濃度、大気ラドン濃度、気象要素の予想的試験観測を行い、マルチチャンネル特異スペクトル解析によって気象由来の変動を弁別することで、地中から大気へのラドンfluxの推定およびflux変動と地殻変動との関係を調査してきた。その結果、ラドンfluxとGNSSによる地表歪との相関を示唆する結果を得た。そこで、地震活動が活発な地域において自動ネットワーク観測を実現すべくシステムの開発を実施する。気象等によるラドン変動の要因をマルチチャンネル特異スペクトル解析で弁別し、ラドンfluxが推定でき、複数観測点のデータをルーチン的に管理できるシステムを開発する。設置場所は地震活動と冬季の気候を考慮し、北関東・南東北あるいは積雪の少ない地域にて3点観測を実施し、システムの検証を行うとともに、地震や地殻変動によるラドン異常を観測学的に研究する。また、電離圏電子数変動ではその変動の自動解析と電離圏トモグラフィーによる3次元構造推定の準リアルタイム化も検討する。

[2]. 地震前兆現象を用いた時変地震予測確率数理モデルの開発と応用（現行の(2)(4)の発展版）：

- ・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（1-5年度を予定）。
- ・GNSS-TEC解析では、数日前の日変化パターンについては、準リアルタイム解析システムを開発（1-3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の準リアルタイム解析システムの開発（1-3年度）。
- ・電離圏トモグラフィーによる電離圏電子密度変動の連続可視化と変動予測システム構築（1-4年度）。準リアルタイムシステム構築（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（随時）。
- ・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（1-5年度）
- ・ b値や歪データ等と電磁気データの比較検討（1-5年度）
- ・ 個別の地震前兆現象を用いた時変地震予測確率数理モデルの開発・評価（1-5年度）
- ・ 複数の地震前兆現象を用いた時変地震予測確率数理モデルの開発・評価（3-5年度）
- ・ 時空間地震予測確率数理モデルの検討（3-5年度）

機械学習 (AI) やデータ同化等のビッグデータ解析技術を駆使した新しいデータ解析手法の開発と高精度観測データの充実により、地震準備過程で発生する弱い変化の前兆情報の検出精度を大幅に向上させ、複数の地球物理学的前兆情報を組み込んだ包括的な地震予測確率数理モデルを構築する。上記に示したデータ解析（統計的有意性やROC解析等）や新しいデータ解析手法の開発については、従来通り継続して実施する(令和6年度から令和10年度)。地震発生予測に関して、現在世界で最も優れた確率数理モデルはETASモデルである。ETASモデルは点過程モデルで、地震カタログを分析して、地震の背景レートと地震の自己励起による発生予測情報から地震（余震）発生確率の時間変化を予測する。本計画では、ETASの点過程モデルの条件付き強度の加法性を利用して、地上または衛星観測された前兆異常による予測情報を外部励起部分として追加した包括的な地震予測モデルを構築する。各種前兆現象のカーネル関数は前兆現象の特徴に応じて個別に開発する。前兆現象として、地上観測データ（ULF電磁場、ELF/VLF/LF電磁場、GNSS電離圏電子数変動、イオノゾンデ電離圏電子数変動、地震活動度、GNSS地表変位、ラドン濃度等）、衛星観測データ（衛星熱赤外変動（HimawariやMODIS等）、衛星電磁場、衛星高度電子数変動等）を調査する。前兆パラメータは固定せず、研究の進展に応じて、追加や削除が可能なopenシステムとするが、地震活動との統計的ROC的解析による前兆性が追加の条件である。まずは、統計的有意性や前兆性が担保されているULF磁場変動、GNSS電離圏電子数変動、衛星熱赤外変動について高精度時変モデルを開発し（令和6年度から3年間程度）、時空間へ拡張する（令和9年度から2年間程度）。また、短期予測精度の向上はROC解析にてAUC(Area Under Curve)が左上方向を通過する曲線に改善されることでもある。従来は個別パラメータについて調査してきたが、複数パラメータを用いたAUCの改善も試みる。

[3]. AI・機械学習による地震前兆情報抽出とその発生機構の検討（現行の(2)(3)(4)の発展版）：

[2]で同定された地震前兆変動について、AI・機械学習で自動検知できるシステムを必要に応じて構築し、リアルタイム監視に向けた調査を行う。また、室内実験や計算機実験等を行い、先行現象の発現・伝搬メカニズムの理解を進める。

- ・ AI・機械学習による地震前兆情報抽出手法の検討とアルゴリズム構築（1-3年目）
- ・ AI・機械学習による地震前兆情報抽出アルゴリズムの評価（4年目）
- ・ AI・機械学習による地震前兆情報抽出アルゴリズムの実装（5年目）
- ・ AI・機械学習による地震前兆情報抽出アルゴリズムの高度化（3-5年目）
- ・ 地震前兆情報の発生機構の検討（1-5年目）
- ・ 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・地震動や津波によるTEC異常現象の物理の解明を行う（1-5年度）。
- ・ 水槽実験や岩石破壊実験、計算機実験等でelectrokinetic（地下流体の流動による電流励起）による電磁現象の発生について検討する（1-5年度）。

新規に実施する主な事項は、数理モデルに組み込む、地震活動との統計的有意性およびROC的解析による前兆性が担保されたパラメータは、地震準備過程で生じる特異な変動を検知している可能性が高い。前兆現象の波形、周波数、振幅、発生時間・場所等の特徴を詳細にかつ定量的に分析・評価し、深層学習やAI技術を用いた異常検知の実時間処理を検討する。これらのデータは前兆現象の発生機構（地震準備過程）の解明に資する。2002年10月および2007年8月の房総slowslipイベント時には、深夜に矩形電磁場変動が観測された。その波形の振幅や極性から地下に線電流源を仮定すると現象を説明でき、electrokinetic（地下流体の流動による電流励起）による電磁現象の発生を示唆している。岩石に圧力を印加すると、岩石中の流体の移動（electrokinetic効果）によって電流が励起され、類似した波形が記録される。同様な波形は地震前兆発生時にも観測されており、実際の観測データと室内岩石実験の結果と比較し、electrokineticモデルの妥当性（(1)地下応力変化により震源域から観測点近傍にて地下流動が発生、(2)それによる電磁場の発生、(3)観測点への伝搬、(4)多点観測された矩形波信号の振幅や継続時間等の特徴）をシミュレーション等で検討する。必要に応じて水槽に土層を敷詰め

水流を流す、水槽実験による検証も行う。また、電磁場変動とGNSS地表変位や歪、b値やラドンの地表への散逸量変動などの地表変動や地殻応力（歪）との関係も調査する。また、電離圏電子数変動ではその変動監視の自動化および準リアルタイム可視化を実施する。電離圏電子数層トモグラフィーによる3次元構造推定解析（発生メカニズム）も進める。

[4]. 国際ワークショップおよび成果報告会の開催：

初年度、3年度、最終年度に国際ワークショップを開催する。また、年1回（例えば12月頃）に学会等のセッションも利用しつつ、成果報告会を実施する。

(7) 令和7年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

研究内容は、2019-2023年度に実施した課題のCBA_01の(1)地震に伴う電磁気現象を正確に捕捉する複合観測とデータ蓄積、(2)データ解析法の確立（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）、(3)室内実験やモデルによる地震電磁気信号発生の物理機構解明、(4)電磁気学的、力学的、地震学的データとの関連性評価に資する研究に加えて、下記を遂行する。(5)地震前兆現象を用いた時変地震予測確率数理モデルの構築と応用、(6)AI・機械学習による地震前兆情報抽出とその発生機構の検討、(7)国際ワークショップの観点を増強し、複数の地球物理学的前兆情報を組込んだ包括的な地震予測確率数理モデルの構築を目指す。具体的には、下記のとおりである。

[1]. 観測

2019-2023年度にCBA_01で実施した下記の項目について、保守点検、移設、新規設置等の観測を実施した。

- ・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
- ・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
- ・地中ラドン観測装置の開発と定常観測

R7年度：四国・九州の観測点保守は3月に実施予定である。NTTのINS64回線廃止に関連して、対象となる観測点（房総・伊豆地域）の光通信・無線通信等への検討を実施した。光通信への変更過程で樹木伐採などが必要になる可能性がNTTより指摘され、地主等との調整を実施中である。ほかの観測点は概ね順調に稼働している。旭観測点に設置した地中ラドン観測器について、60 cmと100 cmの2つの異なる深さでの観測を継続している。また機器不良が発生し修理とWin11およびデータ収録装置の小型化への対応作業を実施した。容量性平板アンテナによるLF帯広帯域干渉計システムの開発について千葉大における連続観測と3点による干渉計観測の予察的な解析を実施した。

[2]. データ解析について

概ね順調に計画通り実施してきている。

A. ULF磁場データの地震前兆性に関する統計解析

昨年度に引き続き、統計的有意性、ROC的前兆性の評価を行っている。これらの結果は、地震電磁気現象を理解するのに役立ち、ULF電磁アプローチに基づく予測モデルを改善することができる。この研究で提案された方法論は、予測方針を評価し、短期的な地震予測のために他の種類の測定を最適化するのにも役立つと考えている（Han et al., Entropy 2020）。また他の統計的有意性、ROC的前兆性が確認されたパラメータと合わせて、ETASモデルへの前兆現象の取込みについて引続き調査を行っている。具体的にはJpGU等の学会において、柿岡観測点のULF磁場変動について、これまでに報告した論文に基づいたROC調査を行い、予測すべき地震を選定し、そのための最適パラメータを決定し、hindcastを実施した結果を報告した。それを用いた地震予測をR5年度から研究室内で実施している。また本成果をETASモデル（世界最高の余震発生数理確率モデル）への前兆現象を同化・組込み、本震予測に挑戦している。

また宇宙天気地球内部の応力場に影響を与え、ひいては地震発生に影響を与えるかどうかの影響をシフト近傍マッチング相関（SNMC）と呼ばれる手法を用いて、磁気嵐と地震の関係を調査した。約1世紀にわたる強力な磁気嵐と世界中のM7.5以上の地震のデータを分析し、異なる時間差をシフトさせることで、それらの関連性を検証した。その結果、強力な磁気嵐の約27～28日後に地震が増加することがわかった。二項分布確率とカイ二乗検定により、この結果は有意であることが確認された。

地震をランダム系列に置き換えると、SNMC法に基づく統計的有意性は低下することがわかった。大きな磁気嵐の27-28日後に地震が有意に増加することは、地磁気嵐現象の固有の特性であることを反映している (Chen et al., GRL 2025)。

B. 地中ラドン濃度解析

千葉県旭市、茨城県美浦にて α 線を計測する地中ラドン濃度観測データの解析を継続中である。旭観測点において深さ60 cmと100 cmに地中ラドン計測装置を設置し、降雨や気象の影響、計算した地中ラドンフラックスの妥当性を検証している。これまでにラドンフラックスを求める手法を提案したが、2時間の降雨量が20 mmを超える場合に有意なラドンフラックスの増加があることがわかった (小島ら J. Atmos. Electr. 2020)。これが降雨による雨水の浸透による地中ラドンフラックス増加が原因であることを観測的に確認し、そのモデルを検討した (根本ら J. Atmos. Electr. 2021) が、新たに観測されたデータでは強い降雨とラドンフラックスとの間に有意な関係がない結果も得られており、降雨に関しては再検討が必要である。

また本機材についてWin10を基盤とする観測システムであったため、Win11を基盤とするシステムかつ小型化・省電力化を図った。新システムは台湾の中央研究院が運用している台湾東海岸の花蓮近郊の地球化学・地球物理総合観測点への設置を企画している (2025年9月の台風の影響で延期)。

C. 電離圏電子数変動の解析

(1) 中国地震電磁気衛星 (CSES-1) データ解析 中国・台湾等との共同研究

2018年2月2日に打ち上げられた中国の地震電磁気衛星 (CSES-1) のIn-situ 電離圏電子数変動との変動について引き続き調査を行っている。

(2) Coseismic / Preseismic (直前) 電離圏電子数変動

2023年2月に発生したトルコ・カフラマンマラシュ地震 (エルビスタン地震、マグニチュード7.6) について、トルコに設置されたGNSS受信機ネットワークのデータを利用し、電離圏におけるレイリー表面波の特徴を調査した。その結果、震源の南西方向に、衛星の視線方向では説明できない、著しく大きな電離層擾乱信号が検出された。これは地震計とGNSSの運動学的解析による地上観測によって、この地震は南西方向に強いレイリー波を放射したと考えられ、おそらくその方向における断層破壊の速度が極めて速いことを反映していると考えられる (Bagiya et al., GRL, 2025)。

また2008年中国四川地震の直前に震源地から北東約450~550kmの3か所で虹彩雲が観測された。これらの雲は、太陽直下に位置する断片的な虹のように見え、その寿命はわずか1~10分と短いことが特徴である。さらに、虹色領域内には縞模様が見られ、外部電場の影響を示唆していた。これらの特徴は、気象現象である環水平アークでは十分に説明できず、別の起源の可能性が示唆された。本論文では本震直前に断層系に沿って発生した電気擾乱が上方伝播し、電離層と相互作用することで局所的な電場を形成したというモデルを提案した。この電場が電気光学効果を引き起こし、太陽光の散乱を変化させ、巻雲に虹色模様を投影することで、観測された現象を説明した

(Enomoto et al., Atmosphere 2025)。

(3) 電離圏総電子数変動GNSS-TEC/GIM-TEC (地震の数日から数週間前)

電離圏総電子数の全球のグリッドデータであるGIM (Global Ionosphere Map) を用いたTEC解析 (GIM-TEC) について、いくつかの事例解析と全球のM7以上について大規模地震の統計解析 (2000-2024年) を実施した。GIMはCODEが公開しているものを使用した。緯度経度の分解能がそれぞれ2.5度および5度、時間分解能が1時間であるため空間分解能が粗い。日本地域についてGIM-TECとイオノゾンデの最大電子密度数NmF2の変動の準リアルタイム解析を実施し、研究室内で地震予測を開始した。

(4) 津波による電子数変動の解析 台湾との共同研究

項目(6)で開発した線形正則化電離圏トモグラフィーを用いて2011年のM9.0東北地方太平洋沖地震に発震後の3次元構造を調査したところ、地震に伴い発生する主要な3種の大気波動 (1. レイリー波起因のCIDs、2. 震源由来の音響重力波、3. 津波由来の内部重力波) それぞれが、全く異なる垂直伝播特性を持つことを世界で初めて体系的に示した。具体的には、地震発生から約4分後に電離層に現れた音波パルスによる円形の擾乱を検知した (従来の2次元手法よりも6分早く検知)。このことは、3次元

再構成技術が地震による大気の応答をより早期に捉えられることを実証している。さらに研究グループは、音波の速度が高度によって異なること、地磁気の傾きが、音波が上層大気に伝播するかどうかに影響を与えることを発見した。また、地震発生から約40分後、津波によって発生した内部重力波が遠方で逆円錐状の擾乱を形成し、その位相が下向きに伝播していることも観測した。これは大気重力波の理論的特性と一致している。これらの微細構造を3次元的に鮮明に示した例は、世界初である (Song et al., Scientific Reports, 2025)。

また、台湾のCW-HFドップラー探査システムで記録されたドップラー周波数シフト (DFS) が用いて2000年から2022年にかけて台湾近海で発生したM5.5以上の地震波によって引き起こされた地震伝播性電離層擾乱 (STID) を調査した。2022年9月18日発生したM6.8台東地震によって誘発されたDFSにおいて、初めて顕著なSTIDを観測した。このSTIDを詳細に調査するため、CW-HFドップラー探査システムの9つの受信局ネットワークで記録された5つの探査周波数のDFS (震源分布) と、地上設置型GPS受信機35台から得られた全電子数 (TEC)、イオノグラム、地震記録を併せて検証した。その結果、6.1 MHz探査周波数のDFSとTECにおける重要なSTIDの水平速度は、それぞれ1.4 km/sと1.3 km/sであることが示された。5つの探査周波数のDFSから、反射高度が高度約160~225 kmである地点で、音速0.72 km/sで上向きに伝播すると推定された。さらに、2022~2023年に台湾近海で発生した上位9つの地震に関連するDFSを検証した結果、近距離観測においては、地震の規模に加えて、地震の震度がSTIDの発生に重要な役割を果たすことがわかった (Liu et al., JGR SP, 2025)。

(5) イオノゾンデ統計解析

近年、地震に先行する電離圏電子数異常の報告が多くされている。例えば、Kon et al., 2011では、日本上空における電離圏総電子数(TEC)は浅いM>6の地震1-5日前に正の有意相関があることを示した。しかし、GNSSデータは1990年代以降しか存在しない。そこで、1958年以降の長期にわたるデータの存在する地上の電離圏観測機器であるイオノゾンデに注目し、電離圏の最大電子密度 (NmF2) とその高度 (hmF2) について地震との相関解析を行った。NmF2について前15日間の中央値と四分位範囲 (IQR) を用いて、観測値が中央値+1.5IQR、または中央値-1.5IQRを超える場合、異常と定義した。さらに、Molchan's Error Diagram (MED) 解析を適用し、地震前後45日間のNmF2の前兆性の評価も実施した。地震のマグニチュードが大きく、観測点に震央距離が近く、浅い地震ほど統計的有意性や前兆性が高くなることがわかった。30日以前の有意性についても認められたが、孤立地震についてはその影響が小さくなる傾向があることがわかった。今年度は特に地磁気嵐の影響を除去する手法の開発に取り組んだ。具体的には、地磁気嵐を開始時刻・規模・季節に基づいて分類し、各クラスでのNmF2異常を調査した。その結果、正・負の異常で発生タイミングに違いが認められた。異常の発生は開始時刻や規模や季節に依存することが示唆される(Sasanuma et al., 投稿準備中)。地磁気嵐の影響を除去したうえでNmF2異常の地震前兆性を再評価したところ、前兆性の改善を示した。

(6) 電離圏トモグラフィーによる電離圏電子密度変動の可視化と変動予測

地震に先行する電離圏電子数の発生物理メカニズムは未解明である。物理機構を推定するために、電離圏電子分布の3次元構造を理解することは重要である。Hirooka et al., 2012では、擾乱電離圏に適用可能な、ニューラルネットを用いた非線形電離圏トモグラフィーを開発し、GEONETデータに適用してきた。しかし、この手法は夜間にTECデータのSN比が低下すると電子密度分布の推定が不安定となる欠点があった。地震先行電離圏異常は昼夜問わず継続的に発生している。したがって、電離圏電子分布の継続的な再構成が可能な電離圏トモグラフィーの開発した

(Song et al., JGR SP 2021)。R6度までの研究において、Phillips-Tikhonov正則化法が有効であることがわかった。電離圏擾乱時にこの3次元密度分布を適切に連続的かつ準リアルタイムで再構成することが可能なトモグラフィー手法を引き続き開発中である。

D. 大気圏熱赤外異常解析 気象衛星ひまわりデータの解析 イタリアとの共同解析

本研究成果をまとめた N. Genzano, C. Filizzola, K. Hattori, N. Pergola, and V. Tramutoli, Statistical correlation analysis between thermal infrared anomalies 1 observed from MTSATs and large earthquakes occurred in Japan (2005–2015), J. Geophys. Res. SE, 126, e2020JB020108, 2021, doi:10.1029/2020JB020108 がJGR2021-2022のtop cited articleに選出された。2026年1月現在、top10%論文となっている。

昨年度に引き続きひまわり8-9号については、2018年新燃岳の溶岩噴出を例に、火山活動に伴う温度異常、特に溶岩流出や溶岩ドーム形成に関連する温度異常を検出するアルゴリズムの開発を行っている。具体的には、地殻変動観測衛星ひまわり8号に搭載された高時間分解能センサAdvanced Himawari Imager (AHI) の赤外データを用いて、2018年の新燃岳火口周辺の地表温度の時空間統計解析を行った。雲判別手法や地表面温度変化の特性について、精緻化・高度化した結果、夜間だけでなく太陽光のある日中も含めた10分間サンプリングの輝度温度データを用いて、最初の火山噴火の数時間前に高い特異点異常を検出できることを示した。ひまわり8号の輝度温度データが火山溶岩活動の監視や溶岩流出の迅速な検知に有効であることが示唆された(北出ら, JAE, 2026)。現在雲判別の客観化に取り組んでおり、北出らより雲班別の精度が上がり、最初の温度異常を検知する時間も早くなっていることを確認している。また、第3世代静止気象衛星はひまわり8/9号AHIと同じセンサを搭載しており、米国、欧州、中国などの衛星と連携させることで全球をカバーする解析が可能となる。今後は、本研究のアルゴリズムをこれらの衛星データにも適用し、全世界の活火山を対象とした地表面温度異常の常時監視体制の構築を目指す。また、地震前兆的温度異常や森林火災などへの応用も展開していく予定である。

E. 中国の孔内歪計データの解析(中国・吉林大学との共同研究)、および地震統計解析(中国南方科技大学等との共同研究)

Yu et al. (2021) は、中国西部の孔内ひずみ計7点を利用したネットワーク結合度(NetworkDegree)の解析を実施し、地震発生前の統計的に有意な先行異常を検出した。この成果は、ひずみのネットワーク解析が地震準備過程における異常を捉える手法として有効であることを示唆している。しかし、日本国内のひずみ計は設置地域や数が限定的である。そこで本研究では、全国約1300点を有する国土院の高密度GNSS観測網(GEONET)を活用し、「疑似ひずみ計」ネットワークを構築する。本稿では2016年熊本地震を対象事例とし、同ネットワークの時空間変動解析を通じて、疑似ひずみ計ネットワークによる地震前兆検知手法の有用性を検証した。本研究では、近接する4つのGNSS観測点を1つの単位とし、2つの基線の交点に疑似的なひずみ計が位置すると定義した。九州地方に設置されたGNSS観測点に基づき疑似ひずみ計ネットワークを構築し、2016年熊本地震を対象として、次数およびネットワーク結合度の時空間解析を行った。その結果、2016年熊本地震(本震 M7.3、前震 M6.5)において、地震発生と同期した次数およびネットワーク結合度の有意な上昇を確認した。さらに、本震発生に対する先行現象の有無について検討したところ、X方向(南北成分)では約1~2か月前、Y方向(東西成分)では約7日前の段階で、震源付近の次数およびネットワーク結合度の有意な上昇が認められた。これらの上昇期において、指標に影響を与えるような顕著な地震活動は確認されず、変動が地震発生によるものでなく、地震の前兆現象である可能性を示唆することがわかった。

F. VLF帯およびLF帯電磁放射の解析

LF帯の地震前電磁放射については多くの報告があるが、その多くは狭帯域パルスの強度に関するものであり、発生源の位置に関する議論は少ない。そこでLF帯広帯域干渉計の開発を進めている。昨年度までに、干渉計素子の開発が終了し、素子による連続観測を行っている。波形解析の予備的な結果、対地雷によるLF/VLF波形信号を正常に記録することがわかった。そこで、本年度はノイズとなる雷放電素過程の同定および除去を適切に行うシステムの構築を目的に次の2つのアプローチに取り組んだ。1つ目は単観測点で得られたデータから機械学習を用いて特徴が既知である雷放電電磁パルスを同定および除去するアプローチである。特徴量パラメータ40個から5種類の雷放電素過程(PB, K-event, RS, CCD, 遠隔雷)に分類するランダムフォレストを構築した。その結果、90%以上の精度での分類が可能であることがわかった。また2023年5月の観測データに本モデルを適用し、その分類結果を考慮したパルス数変動調査(ランダムフォレストにおける最大分類確率が0.50未満のものを地震に関連している可能性があるunknown信号とする)を行った。その結果、約90%のパルスが既知の雷放電ノイズとして同定・除去でき、1時間当たりのunknownパルス数の平均+2 σ を超える異常増加を計34時間検出した。ある時間帯のUnknown波形を精査したところ、一部を除き、特徴が既知の雷ノイズがほぼ除去できており、Unknown波形の典型例に関しても、妥当であることが確認できた。

次に干渉計素子を3観測点で同時観測した2024年8月1日~13日のデータについて、干渉計を用いて電磁波放射位置推定を行った。推定精度を評価するために、気象庁の雷観測システムLIDENのデータと比較した。対象とする波形は、位置推定したパルスのうち、機械学習によってCID、RSと判定され

たもので、干渉計内部で距離差が3.63km、干渉計外部100km以内では距離差30km、角度差が約5度、100km以遠では距離差数百km、角度差が5度となり、干渉計内部では波源位置はほぼ同じ、干渉計外部100km程度までは方位推定に十分な精度があるといえることがわかった。今後は干渉計素子数を増加して精査する必要がある。以上のように地震に関連するVLF/LF信号の調査においてノイズとなる雷放電パルスについて、機械学習を用いた波形からの識別、干渉計を用いた時空間的な変化の検出をすることで弁別を可能とした。さらに、機械学習モデルによる分類・干渉計による位置推定を行ったデータ、気象庁のLIDENの雷放電位置データ、地震データを地理院タイルの上に可視化し、時空間的な分布を可視化できるシステムを構築した。

G. VHF帯の解析

昨年度に引き続き、見通し内VHF帯放送波の伝搬異常と地震発生との関連性の統計解析や中波（MF帯）のレイトレーシングによる伝搬機構の解析を実施した。

[3]. 室内実験やモデルによる地震電磁気信号発生の物理機構解明

[4]. 電磁気学的、力学的、地震学的データとの関連性評価に資する研究

[3][4]についてまとめて記す。前年度に引き続き、地下水動態の2次元および3次元シミュレーションによる界面動電現象モデルと水槽実験との比較検証、インターステーション変換関数法とマルチ特異スペクトル解析法を用いたノイズを除去する手法の開発を実施した。

[5]. 地震前兆現象を用いた時変地震予測確率数理モデルの開発と応用（上記(2)(4)の発展）

これまでの地震予測研究は、地震カタログに基づく統計解析やプレート境界の長期的評価が中心であり、本震の短期予測は不可能とされてきた。その最大の理由は、「発生件数が限られる大地震に対して信頼できる予兆パラメータが確立していない」ことにある。本研究は、この壁を突破するために、統計的に有意な相関と前兆性が実証された観測データ(地球磁場変動・電離圏変動・衛星赤外異常など)を、世界最高水準のETASモデルに直接組み込むという新しいアプローチを提案する。従来のETASモデルは余震予測に強みをもっていたが、前兆現象を加えることで、世界で初めて「本震の短期予測」に挑戦する。この手法は、単なる予測モデルの改良にとどまらず、『地震準備過程の物理を前兆現象から解明する』という新しい学術分野を切り拓く創造的試みである。今年度は、ETAS統計モデルと地磁気異常データを統合（LinLinモデルを構築）し、過去データ(関東地方：2001-2010)について予察的に調査した。その結果、LinLinモデルは、M5クラスではあるものの地磁気異常の影響を受けた地震も予測できることがわかった。KS統計ゲインおよび情報ゲインを含む残差解析の結果、LinLinモデルはETASモデルよりも優れた性能を示し、短期地震予測の精度向上に寄与する可能性を示唆した。

さらにULF磁気異常とCO異常という2種類の前兆現象を外部励起として時間ETASモデルに組み込み、2001から2010年の間に日本のKAK観測点周辺で発生したM \geq 4.0の地震に適用した。提案したETAS + ULF + COモデルは、時間に依存しないポアソンモデルと比較して最大53.89の情報ゲインを達成した。一方、純粋な時間ETASモデルでは46.39のゲインしか得られなかった。ULF + COの外部励起は有意ではないが、複数の前兆現象が組合わされている場合、短期地震予測の性能向上に寄与できることが示唆された（Zhang et al, GRL, 2025）。

[6]. AI・機械学習による地震前兆情報抽出とその発生機構の検討（(2)(3)(4)の発展版）

[2]FのVLF帯およびLF帯電磁放射の解析において機械学習による既知の波形弁別に取組んでいる。

[7]. 国際ワークショップ等の企画

- JPGUにおける国際セッションInterdisciplinary studies on pre-earthquake processes（幕張メッセ、2025年5月25日、講演数：口頭18件、ポスター12件）
- 9th Int'l Workshop on Earthquake Preparation Process（千葉大学、2025年5月27日-28日、講演数：口頭29、ポスター17件、参加者約70名（海外からの参加者45名））
- 第75回地震電磁気セミナー（千葉大学（hybrid形式）、2025年8月22日）、講演数：口頭発表1件、参加者数約15名、うち海外からの参加者2名）

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

(8) 令和7年度の成果に関連の深いもので、令和7年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
・論文・報告書等

Chen H., P. Han, J. Zhuang, K. Hattori, M. Miao, K. Hu, and T. Tao, 2025, On solar-terrestrial interactions: correlation between intense geomagnetic storms and global strong earthquakes, *Geophys. Res. Letts*, 52(6), e2024GL108590, doi: 10.1029/2024GL108590, 査読有, 謝辞無

Liu JY., TH. Kao, YC. Chen, J. Chum, WY. Chang, BS. Huang, J. Urbár, K. Hattori, YX. Hao, IC. Yang, CH. Lu, and YC. Chang, 2025, Doppler Frequency Shifts Associated With the 18 September 2022 M6.8 Taitung Earthquake Observed by Local CW-HF Doppler Sounding Systems in Taiwan, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 130(9), doi: 10.1029/2025JA033876, 査読有, 謝辞無

Chang Y., R. Wang, P. Han, J. Wang, M. Miao, Z. Zeng, W. Wu, C. Jiang, L. Meng, H. Shi, and K. Hattori, 2025, b-Value Evaluation and Applications to Seismic Hazard Assessment, *Entropy*, 27(9), 958, doi: 10.3390/e27090958, 査読有, 謝辞無

Song R., K. Hattori, X. Zhang, JY. Liu, and C. Yoshino, 2025, A case study of the three-dimensional co-seismic ionospheric disturbance evolution, *Scientific Reports*, 15(42209), doi: 10.1038/s41598-025-26074-1, 査読有, 謝辞有

北出明嗣, 金子稔, 吉野千恵, 服部克巳, 佐伯奎吾, 2026, AHIデータを用いた火山溶岩活動検知：2018年新燃岳の溶岩噴出活動の予察的结果, *Journal of Atmospheric Electricity*, Vol.45, 54-63, doi: 10.1541/jae.45.54, 査読有, 謝辞無

Yu Z., X. Jing, M. Yang, J. Zhang, K. Zhu, D. Marchetti, K. Hattori, and H. Zheng, 2026, A Review of Earthquake Precursor Anomaly Extraction Techniques for Geophysical Time Series Observations, *Surveys in Geophysics*, doi: 10.1007/s10712-026-09927-w, 査読有, 謝辞無

Zhang Y., R. Wang, H. Shi, M. Miao, J. Zhuang, Y. Chang, C. Jiang, L. Meng, D. Li, L. Liu, Y. Su, Z. Zhang, and P. Han, 2025, Earthquake Forecasting Based on b Value and Background Seismicity Rate in Yunnan Province, China, *Entropy*, 27:205, doi: 10.3390/e27020205, 査読有, 謝辞無

Chen H., P. Han, J. Zhuang, K. Hattori, M. Miao, K. Hu, and T. Tao, 2025, On solar-terrestrial interactions: Correlation between intense geomagnetic storms and global strong earthquakes, *Geophysical Research Letters*, 52:e2024GL108590, doi: 10.1029/2024GL108590, 査読有, 謝辞無

Yang X.-H., P. Han, J. Zhuang, Y. Zhou, G. Bai, R. Li, W. Zhang, and X. Chen, 2025, Identification of Higher-mode Numbers in Dispersion Curves for Rayleigh Wave Inversion, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 63:4506713, doi: 10.1109/TGRS.2025.3589016, 査読有, 謝辞無

Guo Y., J. Zhuang, G. Yin, and H. Zhang, 2025, Statistical Characteristics of Seismicity Correlated With Crustal Fluids in the Noto Region, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 130:e2025JB031544, doi: 10.1029/2025JB031544, 査読有, 謝辞無

Zhang Y., J. Zhuang, K. Zhu, P. Han, H. Chen, C. Zhan, W. Li, and Y. Niu, 2025, Incorporating Non-Seismicity Precursors into Earthquake Probabilistic Forecasting Model, *Geophysical Research Letter*, 52:e2025GL117972, doi: 10.1029/2025GL117972, 査読有, 謝辞無

Diba, D., H. Song, M. Uyeshima, and Y. Usui, 2025, Three-dimensional magnetotelluric inversion with structurally guided regularization constraint, *Phys. Earth Planet. Int.*, doi: 10.1016/j.pepi.2025.107333, 査読有, 謝辞無

Usui, Y., M. Uyeshima, S. Sakanaka, Y. Yamaya, Y. Ogawa, M. Ichiki, Y. Honkura, and H. Kuroki, 2025, Crustal fluids and their relation to seismic activities in the Nikko-Ashio area of

Northeastern Japan inferred by electrical resistivity imaging, *Tectonophys.*, doi: 10.1016/j.tecto.2025.230958, 査読有, 謝辞無

Varotsos, P. A., N. V. Sarlis, and T. Nagao, 2024, Complexity measure in natural time analysis identifying the accumulation of stresses before major earthquakes, *Scientific Reports*, 14:30828, doi: 10.1038/s41598-024-81547-z, 査読有, 謝辞無

Bagiya, M., H. Paul, S. K. Rajewar, V. K. Gahalaut, and K. Heki, 2025, Strong Rayleigh wave radiation toward southwest from ionospheric observations of the Elbistan earthquake of the 2023 Kahramanmaras, Turkiye, doublet, *Geophys. Res. Lett.*, 52, e2024GL112923, doi: 10.1029/2024GL112923, 査読有, 謝辞無

Enomoto, Y., K. Heki, T. Yamabe, and H. Kondo, 2025, Unusual iridescent clouds observed prior to the 2008 Wenchuan earthquake and their potential link to preseismic activity, *Atmosphere*, 16(5), 549, doi: 10.3390/atmos16050549, 査読有, 謝辞無

Heki, K., 2026, Origin of the ionospheric changes immediately before the 2022 January 15 eruption of the Hunga-Tonga Hunga-Ha'apai submarine volcano, *Atmosphere*, 17(1), 30, doi: 10.3390/atmos17010030, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

Hattori K., Y. Ota, C. Yoshino, and N. Imazumi, 2025, Construction of a VLF/LF band interferometer using a capacitive circular flat-plane antenna and discrimination and identification of observed VLF/LF band signals by machine learning: Preliminary results, *EGU General Assembly 2025*, EGU25-10447

Han P., R. Wang, M. Miao, C. Zhao, R. Lu, H. Lei, M. Yao, J. Zhuang, Q. Huang, and K. Hattori, 2025, Stress-informed ETAS model and its application to reservoir earthquakes, *日本地球惑星科学連合2025年大会*, MIS09-04, Invited

Li W., K. Hattori, C. Yoshino, and J. Zhuang, 2025, Integrating Seismo-Magnetic Anomalies and the ETAS Model for Earthquake Precursors: A Case Study in the Kanto Region, Japan, *日本地球惑星科学連合2025年大会*, MIS09-06

Song R., K. Hattori, C. Yoshino, and JY. Liu, 2025, The 3-D ionospheric Ne disturbances prior to M9.0 Tohoku-Oki Earthquake on March 11, 2011, *日本地球惑星科学連合2025年大会*, MIS09-10

Sasanuma C., S. Mitsuishi, C. Yoshino, K. Hattori, and JY. Liu, 2025, Study on an optimal short-term earthquake forecast using long-term ionosonde data 1958-2024, *日本地球惑星科学連合2025年大会*, MIS09-P03

Enomoto K., C. Sasanuma, C. Yoshino, and K. Hattori, 2025, Statistical Analysis of Ionospheric Total Electron Content Anomalies Associated with large earthquakes ($M > 7$) in globe during 2000-2024 Using GNSS Data, *日本地球惑星科学連合2025年大会* MIS09-P04

Ota Y., K. Hattori, K. Miura, T. Ono, C. Yoshino, and N. Imazumi, 2025, A novel LF/VLF signal discrimination using random forest and interferometer approaches; identification of lightning discharge and possible seismo-EM signals, *日本地球惑星科学連合2025年大会*, MIS09-P05

Noda Y., K. Hattori, Y. Fujinawa, J. Najima, and C. Yoshino, 2025, New Developments in Crustal Deformation Research Using Pseudo-Strain Gauges with GNSS Data, *日本地球惑星科学連合2025年大会*, MIS09-P06

Kaneko S., T. Mogi, C. Yoshino, and K. Hattori, 2025, A development of noise reduction method for ULF band electromagnetic data using Multi-channel Singular Spectrum Analysis (MSSA) (4), *日本地球惑星科学連合2025年大会*, MIS09-P10

- Hattori K. and J. Tetuko Sri Sumantyo, 2025, Creation of AI disaster mitigation sustainable studies, 日本地球惑星科学連合2025年大会, MIS09-P12
- Li W., C.Yoshino, K. Hattori, and J. Zhuang, 2025, Incorporating Seismo-Magnetic Precursor Anomalies into ETAS Model for Earthquake Forecasting, 9th International Workshop on Earthquake Preparation Process - Observation, Validation, Modeling, Forecasting - (IWEP9), O09&P12
- Ariizumi H., K. Hattori, and C. Yoshino, 2025, Monitoring groundwater flows with using 3D selfpotential tomography, 9th International Workshop on Earthquake Preparation Process - Observation, Validation, Modeling, Forecasting - (IWEP9), O15&P10
- Sasanuma C., S. Mitsuishi, C. Yoshino, K. Hattori and JY. Liu, 2025, Statistical significance and Molchan' s Error Diagram analyses for long-term Ionosonde data from 1958-2024 at Kokubunji, Japan, 9th International Workshop on Earthquake Preparation Process - Observation, Validation, Modeling, Forecasting - (IWEP9), O16&P11
- Song R., K. Hattori, X. Zhang, JY. Liu, and C. Yoshino, 2025, The three-dimensional ionospheric electron density disturbances following the 2011 M9.0 Tohoku-Oki earthquake in Japan, 9th International Workshop on Earthquake Preparation Process - Observation, Validation, Modeling, Forecasting - (IWEP9), O18
- Chen H., P. Han, and K. Hattori, 2025, Seismo-geomagnetic precursor signal recognition based on a novel high-precision interstation transfer function method, 9th International Workshop on Earthquake Preparation Process - Observation, Validation, Modeling, Forecasting - (IWEP9), P01
- Hattori, K., C. Sasanuma, C. Yoshino, R. Song, and JY. Liu, 2025, Statistical Analysis and Assessment of Ionospheric Electron Density (NmF2) Anomalies Preceding Earthquakes in Japan, Int. Sympo. on Earthquake Forecasting to Commemorate the 50th Anniversary of the 1975 Haicheng M7.3 Earthquake (HCEQ2025), oral
- Chen, H., R. Wang, J. Zhuang, Q. Huang, K. Hattori and P. Han, 2025, Earthquake Modeling Incorporating Physical Observations, Int. Sympo. on Earthquake Forecasting to Commemorate the 50th Anniversary of the 1975 Haicheng M7.3 Earthquake (HCEQ2025), S05-29P
- Hattori K., Y. Noda, C. Yoshino, Y. Fujinawa, and J. Najima, 2025, New developments in crustal deformation research using pseudo-strain gauges with GNSS data; Application to the 2016 Kumamoto earthquake (M7.3), Japan, Int. Sympo. on Earthquake Forecasting to Commemorate the 50th Anniversary of the 1975 Haicheng M7.3 Earthquake (HCEQ2025), S10-07P, Invited
- Hattori K., A. Kitade, R. Tsutsumi, C. Yoshino, and N. Genzano, 2025, Monitoring and Forecast of Volcanic and Earthquake Activity through Spatiotemporal Analysis of Thermal Infrared Data, CAS Seminar at Institute of Earthquake Forecasting (IEF) and China Earthquake Administration (CEA), Invited
- Hattori K., 2025, Challenge to Short-term Earthquake Forecast, 吉林大学計測科学・電気工学部創立20周年記念学術講演会, oral, Invited
- Hattori K., Y. Noda, and C. Yoshino, 2025, Crustal Deformation Research Using Pseudo-Strain Gauges with GNSS Data; preliminary study for the 2016 Kumamoto earthquake (Mj7.3), Japan, IAGA/IASPEI Joint Scientific Meeting, oral
- Hattori, K., C. Sasanuma, C. Yoshino, R. Song, and JY. Liu, 2025, Challenge to short-term earthquake forecast; Establishing a safe and secure society from earthquake and tsunami

- disasters, The 10th Indonesia Japan Joint Scientific Symposium (IJSS), oral, Invited
- Hattori K., C. Sasanuma, C. Yoshino, R. Song, and JY. Liu, 2025, Challenge to short-term forecast of geohazards; ~ Establishing a safe and secure society from earthquake, tsunami, and volcanic disasters ~, Guest Lecture at Graduate School at Univ. Gadjah Mada, Yogyakarta, oral, Invited
- Hattori K., C. Sasanuma, C. Yoshino, and JY. Liu, 2025, Statistical Analysis and Assessment of Ionospheric Electron Density (NmF2) Anomalies Preceding Earthquakes in Japan, 2025 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS), oral
- Song R., K. Hattori, X. Zhang, JY. Liu, and C. Yoshino, 2025, The Three-dimensional Ionospheric Electron Density Disturbances Following the 2011 M9.0 Tohoku-Oki Earthquake in Japan, 2025 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS), oral
- Hattori, K., C. Sasanuma, C. Yoshino, R. Song, and JY. Liu, 2025, Challenge to Short-term Earthquake Forecast, 2025 International Symposium on Earth and Space Environment Monitoring and its Application to Disaster Risk Reduction, oral
- Liu JY., K. Hattori, and Y. Chen, 2025, Traveling Ionospheric Disturbances Triggered by the 29 July 2025 M8.8 Kamchatka Earthquake Observed in Taiwan and Japan, The 30th CEReS International Symposium & The 28th CEReS Environmental Remote Sensing Symposium, oral
- Han P., H. Chen, K. Hattori, J. Zhuang, and Q. Huang, 2025, On Solar-Terrestrial Interactions: Correlation Between Intense Geomagnetic Storms and Global Strong Earthquakes, The 30th CEReS International Symposium & The 28th CEReS Environmental Remote Sensing Symposium, oral
- Song R., K. Hattori, X. Zhang, JY. Liu, C. Sasanuma, and C. Yoshino, 2025, The Pre-Earthquake Ionospheric Anomalies and the Possible Coupling Mechanism Related to the M8.8 Kamchatka Earthquake on July 29, 2025, The 30th CEReS International Symposium & The 28th CEReS Environmental Remote Sensing Symposium, oral
- Li W., C. Yoshino, K. Hattori, J. Zhuang, and P. Han, 2025, Incorporating GeoMagnetic Precursor Anomalies into ETAS Model for Earthquake Forecasting, The 30th CEReS International Symposium & The 28th CEReS Environmental Remote Sensing Symposium, P-128
- Genzano N., A. Falconieri, K. Hattori, A. Higuchi, N. Pergola, and F. Marchese, 2025, Monitoring active volcanoes using Himawari-8 SWIR observations, The 30th CEReS International Symposium & The 28th CEReS Environmental Remote Sensing Symposium, P-210
- Najima J., Y. Noda, K. Hattori, Y. Fujinawa, and C. Yoshino, 2025, Proposal of a New Strain Analysis Method Using GNSS Data, The 30th CEReS International Symposium & The 28th CEReS Environmental Remote Sensing Symposium, P-214
- Liu W., C. Yoshino, K. Hattori, J. Zhuang, and P. Han, 2025, Statistical Modeling of Seismic? Geomagnetic Interactions Using an Extended ETAS Model with ULF Geomagnetic Anomalies, 日本地震予知学会 第12回学術講演会, 25-01, oral
- 笹沼千夏, 宋鋭, 吉野千恵, 服部克巳, 劉正彦, 2026, 電離圏電子数変動を用いた短期地震予測に関する研究-地磁気嵐の影響の除去について-, 日本大気電気学会第104回研究発表会, P1-1
- 名嶋純平, 野田洋一, 服部克巳, 藤縄幸雄, 吉野千恵, 2026, GNSSデータを用いた新しいひずみ解析手法, 日本大気電気学会第104回研究発表会, P1-2
- 佐伯奎吾, 北出明嗣, 金子柊, 吉野千恵, 服部克巳, 2026, ひまわりAHIデータを用いた溶岩噴出前の地表熱異常の検知, 日本大気電気学会第104回研究発表会, P1-3
- 小野拓海, 太田悠一郎, 服部克巳, 三浦健伸, 吉野千恵, 今住則之, 2026, VLF/LF帯干渉計で観測された

- 雷放電過程の機械学習による識別と放電位置推定, 日本大気電気学会第104回研究発表会, P4-6
- 服部克巳, 2026, 課題番号CBA_01 電磁気学的な地震先行現象の総合的研究, 「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画(第3次)」令和7年度成果報告シンポジウム, P1-43
- Wang R., Y. Zhang, P. Han, H. Shi, M. Miao, J. Zhuang, Y. Chang, C. Jiang, L. Meng, D. Li, L. Liu, Y. Su, and Z. Zhang, 2025, Earthquake forecasting based on b value and background seismicity rate in Yunnan Province, China, 日本地球惑星科学連合(JpGU)2025年大会, oral
- Wang, R., Y. Zhang, H. Shi, M. Miao, J. Zhuang, Y. Chang, C. Jiang, L. Meng, D. Li, L. Liu, Y. Su, Z. Zhang and P. Han, 2025, b-Value and Background Seismicity Rate Based Earthquake Forecasting in Yunnan, China, 海城地震50周年記念国際地震予測シンポジウム (HCEQ2025), oral
- Zhang, Y., J. Zhuang, P. Han and K. Zhu ,2025, Incorporating Non-Seismic Precursors into Earthquake Probabilistic Forecasting Model, 海城地震50周年記念国際地震予測シンポジウム (HCEQ2025), poster
- Zhuang, J., 2025, Earthquake predictability and probability forecast, 12th ACES International Workshop, oral
- Kamogawa M., M. Uyeshima, and C. Tsurudome, 2025, Geomagnetic Variations Originating from Acoustic Waves Excited by the 2011 Mw9.0 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, AOGS2025 22nd Annual Meeting, SE21-A001, oral
- Kamogawa M., M. Uyeshima, and C. Tsurudome, 2025, Various geomagnetic variations caused by acoustic waves excited by the 2011 Mw9.0 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, IAGA/IASPEI Joint Scientific Meeting, oral
- Motojima K., 2025, Equivalent sunset time delay on MF radio waves propagation prior to earthquakes, 9th International Workshop on Earthquake Preparation Process – Observation, Validation, Modeling, Forecasting - (IWEP9), pp.32, oral
- 山口真一, 本島邦行, 2025, 見通し外MF帯放送波の伝搬異常と地震発生との関連性解析, 日本地震予知学会 第12回学術講演会, 25-07, oral
- 柏瀬修平, 本島邦行, 2025, STL分解を用いた見通し内VHF帯放送波の伝搬異常と地震発生の関連性解析, 日本地震予知学会 第12回学術講演会, 25-08, oral
- Heki, K. and W. Zhan, 2025, Ionospheric changes immediately before the 2025/3/25 Myanmar eq., 9th International Workshop on Earthquake Preparation Process - Observation, Validation, Modeling, Forecasting - (IWEP9), oral, Invited
- Heki, K. and W. Zhan, 2025, Did ionosphere change immediately before the 2025/3/25 Myanmar eq?, Int. Sympo. on Earthquake Forecasting to Commemorate the 50th Anniversary of the 1975 Haicheng M7.3 Earthquake (HCEQ2025), oral, Invited
- 日置幸介, M. Bagiya, and W. Zhan, 2025, GNSS-TECによる2025年ミャンマー地震とカムチャッカ地震の電離圏地震学的研究, 日本測地学会秋季講演会, oral

(9) 令和7年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報 :

(10) 令和8年度実施計画の概要 :

- (1) 地震に伴う電磁気現象を正確に捕捉する複合観測とデータ蓄積
ラドン濃度観測について、台湾の共同研究者が花蓮地区に展開している地球化学総合観測点に千葉大学のラドン観測装置の予備機を設置し、共同観測を実施する予定である。
- (2) データ解析法の確立 (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)

- リアルタイムあるいは準リアルタイム処理化と自動処理化の検討。
- (3) 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
 - (4) 電磁気学的、力学的、地震学的データとの関連性評価に資する研究
 - (5) 地震前兆現象を用いた時変地震予測確率数理モデルの構築と応用
ETASへのULF磁場変動や電離圏電子数変動などの前兆現象を融合させる研究の展開を加速させる。
 - (6) AI・機械学習による地震前兆情報抽出とその発生機構の検討
AI・機械学習による地震前兆情報抽出による波形検知等のアルゴリズム開発を加速させる。
 - (7) 国際ワークショップ
EGU、JpGU、AOGS、EMSEV等の国際会議におけるセッション企画開催およびIWEP10の開催。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

服部 克巳（千葉大学大学院理学研究院）、佐藤 利典（千葉大学大学院理学研究院）、津村 紀子（千葉大学大学院理学研究院）、小槻 峻司（千葉大学国際高等研究基幹/環境リモートセンシング研究センター）

他機関との共同研究の有無：有

庄 建倉（統計数理研究所）、中谷 正生（東京大学地震研究所）、上嶋 誠（東京大学地震研究所）、小河 勉（東京大学地震研究所）、梅野 健（京都大学大学院情報学研究所）、鴨川 仁（静岡県立大学グローバル地域センター）、本島 邦行（群馬大学大学院理工学部）、井筒 潤（中部大学理工学部）、長尾 年恭（東海大学海洋研究所 名誉教授）、日置 幸介（北海道大学大学院理学研究院 名誉教授）

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：千葉大学大学院理学研究院
電話：043-290-2801
e-mail：khattori@faculty.chiba-u.jp
URL：

(13) 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