

2026年2月14日地球物理学教室同窓会講演概要(予稿)

【退職教員記念講演】

「異常気象を伴う大気循環偏差の形成メカニズムと 予測可能性」

向川 均 教授 (地球物理学教室・大気圏物理学講座)

[概要]

私は、ブロッキングに代表される、対流圏中高緯度で異常気象を引き起こす半球あるいは領域規模の、準定常的で再帰性を持つ特徴的な大気循環偏差の形成メカニズムとその予測可能性に興味を持って研究を進めてきました。まず、簡略化した大気力学モデルを用いて、カオス的な非周期運動で、秩序構造を持つ大気循環偏差が出現する力学的根拠を検討しました。また、大気循環偏差の形成に伴う大気運動の予測可能性変動や、冬季成層圏循環偏差が異常気象発生に及ぼす影響などについても解析してきました。本講演では、研究の契機となった様々な出会いにも焦点を当て、これまでの研究の軌跡を振り返りたいと思います。

【新任准教授自己紹介講演】

「気象庁日本近海モデルの開発とその利用」

坂本 圭 准教授 (地球物理学教室・水圏地球物理学講座)

[概要]

気象庁では、沿岸防災、気候変動の監視、水産業の支援、海上交通の安全などを目的に、日々「海の天気予報」を行っています。そこでは、船舶、人工衛星、漂流ブイなどの多様な観測と、物理法則を基に構築した海洋シミュレーション・モデルを組み合わせることで作成された、実況・予測データが基盤情報として用いられ

ています。私は 2024 年度まで気象庁と気象研究所に勤務し、海洋モデルの開発とその成果の社会発信に携わってきました。本講演では、現業で用いられている最新の海洋モデルの概要と、気候変動の下で変わりつつある日本近海の状況について紹介します。

「スロー地震観測の地震予測への活用を目指して」

西川 友章 准教授（防災研究所・地球計測研究領域）

【概要】

沈み込み帯のプレート境界面では、スロー地震と総称される低速な断層滑り現象が頻繁に発生しています。スロー地震は大地震の固着域近傍で発生することが多く、また、大地震に先行して発生する事例が複数報告されています。このことから、スロー地震が大地震の発生過程に関与している可能性が指摘されています。このような背景のもと、私たちの研究グループでは、スロー地震観測を地震予測へ活用することを目指した研究を進めています。本講演では、昨年 11 月 9 日に日本海溝沈み込み帯で発生した大地震と、それに先行したスロー地震の活動について紹介し、大地震の発生過程と予測可能性について考えます。

「情報科学を用いた断層すべりモニタリングに向けて」

加納 将行 准教授（防災研究所・地震情報研究領域）

【概要】

私は、プレート沈み込み帯で現在どのような断層すべりが起きているのか、またそれが短期的にどのように推移していくのかに興味を持って研究しています。このようなことが実現可能な手法として数値天気予報に代表されるデータ同化に注目し、学生時代から研究を行ってきました。また最近では機械学習とデータ同化を融合した研究にも取り組んでいます。本講演では、断層すべりモニタリングに向けたこのような取り組みについて紹介予定です。

【令和7年秋 瑞宝大綬章受章記念特別講演】

「活断層のリスクと恩恵 ～京都盆地に生まれた変動帯の文化～」

尾池和夫 名誉教授（元京大総長）

【概要】

自然を知ることによって地球社会の調和ある共存を暮らしの基本とすることができます。地球全体のことを知って、その上に自分の住む地域を知ることが重要です。京都は西南日本内帯に属する地域で、活断層運動によって形成された京都盆地には、世界的に珍しい城壁のない都が置かれました。盆地の豊かな地下水から、茶の湯を初めとする「変動帯の文化」が生まれました。活断層のリスクとともにその恩恵を知ること大切で。

日本列島には地震と火山の噴火とそれらによる津波があります。自然現象である地震のことを知ることによって、社会的現象である震災に備えることができます。西南日本内帯の活断層に起こる浅い大地震は都市の直下に起こります。近畿の活断層のことを知って、その地震に備えます。

歴史資料の分析から得られた内陸地震の活動期の統計モデルから、私は西日本全体に影響を及ぼす南海トラフの巨大地震の発生時期を2038年頃と予測しています。いずれは確実に起こる巨大地震に備えて各地で防災対策が実行されています。

安全の反対は危険、安心の反対は不安です。それらの間の関係を理解して、自然現象を正しく恐れることが重要です。自然現象を理解することによって、正しく災害に備えることが可能となります。災害に備えるためには足腰を鍛えておくことも重要で、そのためには吟行して俳句を詠みます。

これらのことを皆さまと一緒に考えてみたいと思います。

【2025 年度修士論文賞受賞者講演】

「不均質断層の複雑な挙動の再現と予測：マルチスケール断層構成則による現実的な地震のスケール則の再現と、AI を用いたモデル地震の予測」

乗杉玲壽 (NORISUGI, Reiju) (地震学及び地球内部物理学分科)

形状や摩擦特性が不均質な断層の振る舞いを表現し、その性質を明らかにすることは、震源物理の根本的な理解に繋がる重要な問題である。不均質は断層破壊の伝播と停止を支配する重要な要素の一つであり、その結果として現れる様々なマグニチュードの地震を特徴づける震源パラメータは、普遍的なスケール則を示すことが知られている。震源パラメータの一つである地震学的に推定される破壊エネルギーは、地震すべり量に対して広い範囲でスケールリングすることが示唆されており、その要因の一つとして断層のフラクタル的な形状(粗さ)が指摘されている。一方で、従来の粗さの消長を考慮した摩擦構成則はすべり速度依存性を含んでおらず、地震間の低速すべりから地震中の高速すべりを表現する摩擦構成則としては不十分であり、実際に破壊エネルギーのスケール則を再現できるかどうかは不明であった。そこで本研究では、断層面の粗さの消長を考慮した摩擦構成則を速度依存性を含む形に修正し、地震サイクル計算に適用することで、破壊エネルギーを含む震源パラメータのスケール則が再現できることを示した。これにより、既存の破壊エネルギーのスケール則を説明するメカニズムと合わせて、より広い条件下でスケール則を説明できるようになった。なお、観測されているスケール則のスケール指数には大きなばらつきがあり、このばらつきの物理的な起源は未だ明らかになっていない。また、スケール則を再現するような複数の物理過程を組み合わせた際の影響も十分に調査されておらず、これらを明らかにすることは今後の重要な課題である。

「拡張カルマンフィルターを用いた機械学習による地磁気永年変化推定」

佐藤 匠 (SATO, Sho) (太陽惑星系電磁気学分科)

本研究では、地磁気永年変化の分析および予測に向けた、新たな機械学習アプローチである「拡張カルマンフィルタ学習型回帰型ニューラルネットワーク (EKF-RNN)」を提案します。アーキテクチャに単純な回帰型ニューラルネットワーク (RNN) を採用し、非線形現象を扱う際のノイズ管理や過学習の防止に効果的な手法として、拡張カルマンフィルタを用いた学習を行いました。EKF-RNN の学習には、主に MCM-2024 地磁気モデルから得られた地磁気スナップショットと、フィルタリング済みの「一日の長さ」(LOD) データを用いました。LOD データは、核 (コア) 内部のダイナミクスに関連する地球時転角速度の変動を捉えた観測です。その結果、EKF-RNN は永年加速 (SA) エネルギーにおける約 3 年周期の準周期的な変動を捉えることに成功しました。さらに、SA データのみを用いた学習では 2014 年から 2015 年にかけての地磁気ジャーク時の変動構造を正確に学習することが困難であったのに対し、LOD データを取り入れることで、非線形イベント中の学習精度が大幅に向上し、局所的な SA の特徴をより良好に再現できるようになりました。この改善は、LOD を SA の時系列データと組み合わせた場合にのみ選択的に観察されました。これは、新たに開発された EKF-RNN が、磁気 SA と LOD 時系列の間に潜む相関関係を学習できたことを示唆しています。EKF-RNN による 2025-30 年の予報は、第 14 世代国際標準地球磁場 (IGRF-14) に貢献しました。

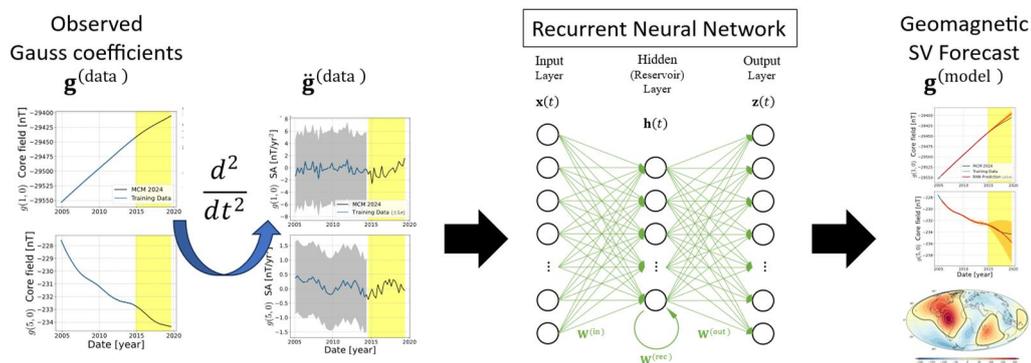


図: EKF-RNN による地磁気永年変化予測の概念図

「有限要素法に基づいて地殻変動・地上重力変化から推定された2015年桜島膨張イベントの圧力変動源」

小濱瑞希 (KOHAMA, Mizuki) (測地学及び地殻変動論分科)

はじめに

火山活動に伴う地下での物質移動は、地殻変動や重力変化として地上で観測されることがある。地殻変動は変動源の位置や大きさ、形状、体積変化量の推定に、重力変化は地殻変動に表れない質量移動や地殻変動に関与した物質の密度推定に役立つため、これらの観測データを用いた火山活動のモデリングは頻繁に行われている。モデリングには均質等方の半無限媒質を仮定した解析解が広く用いられている。しかし、地表形状・媒質不均質などが無視できない状況下で解析解を使用すると、モデルパラメータの推定結果にバイアスが乗ることが指摘されている。

例えば、桜島火山では2015年8月15日に急激な地殻変動と地上重力変化が観測された。地殻変動に基づいた圧力変動源モデリングの結果、複数の先行研究が昭和火口付近に北東-南西方向に走向をもつダイクを推定した (e. g. Hotta et al., 2016; Morishita et al., 2016)。しかし、これらのダイクモデルに基づいて地上重力変化から貫入物質密度を推定すると、ダイクモデルによって密度推定値が大きく異なることが報告されている (風間ほか, 2016)。この原因として、モデリングに用いられた解析解 (Okada, 1985; Okubo, 1992) や標高補正 (Williams and Wadge, 1998) が、地形や媒質不均質の効果を無視したり簡略化したりしていることが考えられる。そこで本研究は、有限要素法 (Finite Element Method; FEM) を用いて桜島の地形と不均質構造を考慮して圧力変動源を再推定した。

手法

本研究では、国土地理院の数値標高モデルと日本海洋データセンターの水深データに基づいて地形を、桜島の浅部P波速度構造に基づいて不均質構造を有限要素モデルに取り入れた (Fig. 1)。そして、FEMによって地殻変動を計算して、GNSSとInSARデータのジョイントインバージョンを行うことでダイクのモデルパラメータを推定した。インバージョンを効率よく行うために、線形パラメータは最小二乗法で、非線形パラメータはモンテカルロ法と滑降シンプレックス法の混合法 (Albino et al., 2021) で推定した。また、GNSSデータに対するInSARデータの重みをハイパーパラメータで調整し、ハイパーパラメータの最適値も同時推定した。つづいて、モデルパラメータの推定結果に基づいて地上重力変化を計算し、これを有村重力点における地上重力変化の観測値と

比較することで貫入物質密度を推定した。なお、地上重力変化の計算には本研究が開発した手法を使用した。

結果

ダイクのモデルパラメータのうち幅・傾斜角・体積増加量は先行研究の値よりも大きく推定された。これにより、本研究のダイクの位置は火山構造性地震の発生位置 (Koike and Nakamichi, 2021) とより整合的になった (Fig. 2)。また、最適なモデルパラメータに基づく貫入物質密度の推定値は $(2.00 \pm 0.21) \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ と求めた。この値はダイク上端における母岩密度 (2200 kg/m^3) と近いこと、ダイク上端が浮力中立点に到達した、または近づいたことで駆動力が減少してダイクが停止した可能性が示唆された。一方で、ダイクモデルの不確実性を考慮すると、貫入物質密度の推定値は約 $\pm 500 \text{ kg/m}^3$ 変化しうることがわかった。このことは、有村重力点だけの地上重力変化の観測値から貫入物質密度を拘束することの限界を示していると考えられる。

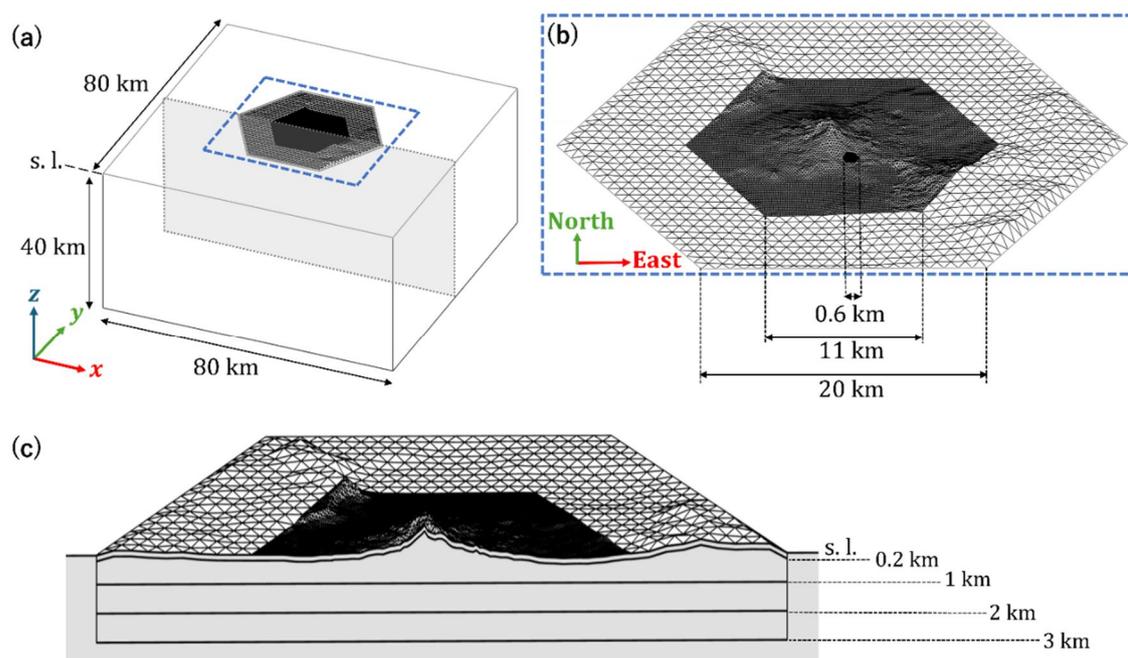


Figure 1. FEMの計算に使用したモデル。(a) 鳥瞰図。破線の長方形はパネル (b) の範囲を、灰色で示された領域はパネル (c) の鉛直断面の範囲をそれぞれ示している。(b) モデルに組み込んだ桜島火山周辺の地形。(c) モデル中心部における鉛直断面図。不均質構造は均質な背景媒質の中に埋め込まれた4つの層で構成されている。

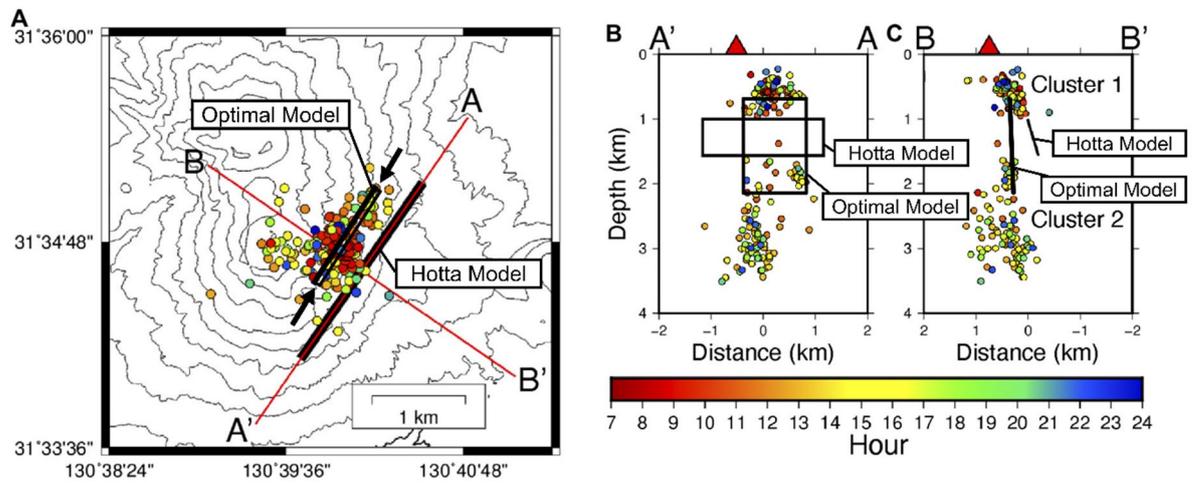


Figure 2. 火山構造的な地震の震源とHotta et al. (2016)のダイクモデルと本研究が推定した最適ダイクモデルの位置関係。本図はKoike and Nakamichi (2021)のFig. 13に加筆する形で作成されている。(A) 平面図。(B-C) 測線A-A' およびB-B' における鉛直断面図。