

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

（和文）経験的アプローチによる大地震の確率予測の高度化

（英文）Improvements of probabilistic earthquake forecast by empirical approach

(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：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

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

ア. 地震発生の物理モデルに基づく予測と検証

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(4) 地震・火山噴火の災害誘因予測・リスク評価を防災情報につなげる研究
地震

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

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

(4) 内陸で発生する被害地震

(5) 本課題の5か年の到達目標：

地震活動など様々な観測データにみられる異常の地震先行性を、対象範囲を拡大して評価し、地学情報等と比較して異常の由来の解明を進める。機械学習等も取り入れて、予測手法の性能の向上をはかるとともに、入力する地震活動データの質・量を向上させるための技術開発を行う。地震発生確率の長期間にわたる予測値時系列の特徴を、地震予報として社会実装した場合に期待される効果という観点からレビューする。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

以下、サブテーマごとに記述する。

A. (1-3年目)中期的なb値低下および静穏化の巨大地震に対する先行性を全世界の沈み込み帯で調査する。(3-5年目)機械学習手法等も取り入れて、多数の活動指標の組合せによる中期予測手法の最適化、および新たな活動指標の探索を行う。

B. (1-3年目)潮汐や地震動による地震トリガ現象の調査をより多くの地域で行う。(4-5年目)トリガの受け易さと地震発生確率の相関を調査する。また、応力場の時空間変動と地震発生確率の相関も調査する。

C. (1-3年目)様々な地域で前震識別手法の有効性を調査する。機械学習等も用いて前震識別の性能向上を試みる。(4-5年目)高精度カタログを用いて、小地震の前震現象を調査する。(1-5年目)ETASなど統計地震学的確率予測モデルの改良は継続的に行う。詳細に観測された地震活動事例については、随

時詳細な解析を行い、因果メカニズムを推測する。

D. (1-3年目)中規模地震発生や群発時など地震活動が活発な時期におけるb値等の地震活動指標の推移と続発地震の関係を事例調査する。(3-5年目)同じ時期の統計地震学的発生確率予測モデルと比較する。

E. (1-2年目)一元化データを用いて既存の深層学習検測器の再訓練を行う。(3-5年目)一元化データの豊富なデータを活かし、より表現力のある深層学習検測器を作成して、後続プロセスを含めてカタログ作成手法を向上させる。(1-5年目)歴史史料からの地震活動推定については、随時行う。また、精密なカタログを用いた地震活動指標値の確率密度分布、その異常と大地震の関係の再調査も随時行う。

F. (1-3年目)巨大地震直前の電離層異常について、同様形態の異常の平時出現率を求める。また、先行性が指摘されている関東地域のGNSS変位異常についても、原データに立ち戻って異常の由来を調べる。(3-5年目)前者については、太陽活動との関連を調べ、地殻活動由来でありうる異常の平時頻度を求める。後者については、異常の由来を参考に予測性能の向上を試みる。

G. (1-3年目)ETASを用いた常時確率計算システムを過去のデータに適用し、性能評価を行うとともに、特に高い確率が出た事例と、大地震直前期に出ていた確率を洗い出し、成功、空振り、見逃しの年表を作る。(3-5年目)上記の年表について人間の感覚での講評を行う。また、中期的先行現象と合わせた場合の予測確率時系列を作成する。(1-5年目)常時更新確率計算の地図表示プラットフォームにCSEPで検証してきたいくつかのモデルを組み込む。

(7) 令和7年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

以下のようにおおむね計画通りに実施した。

地震活動以外の前兆

Dst が -100 nT 以下となる強い磁気嵐があった日付の並び (1957-2020年でトータル660日)と、M7.5以上の地震があった日付(トータル259日)の並びを比べると、磁気嵐のあと27-28日目くらいに地震がおきやすい傾向がある。これによる確率利得 (PG) は2.5程度だが、カイ二乗値は16もありp値は0.1%以下と統計的有意性は非常に強い (ただし、磁気嵐の発生自体がある程度の規則性をもつためか、地震の発生日だけをランダム化したシミュレーションにおいては、実際に観察された程度以上の相関が約7%の確率で出現するという点は気がかりである)。磁気嵐が地震をトリガするメカニズムの候補としては界面動電作用が考えられ、これは地中に0.01MPa程度と地震活動に影響しうる有効圧変化をもたらす。また、27-28日というタイムラグの値が太陽の自転周期や月の朔望周期に近いことには意味があるかもしれないが、周期がタイムラグに変換されるメカニズムは思いつかない。なお、磁気嵐指標として Kp (7以上) を用いても似たような相関がえられるが、PG が1.48、二項確率が12%と明瞭さが劣る (Chen+, 2025, GRL)。

2001-2010年に柿岡から100 km以内でおきた218個の地震 (M4以上、60km以浅)に対する事後予測実験を行った。予測モデルは、時間 ETAS の予測に、ULF 磁場異常 (JMA柿岡観測所; Han+, 2017, GJI) および地表一酸化炭素濃度 (CO) 異常 (NASAの維持する MERRA-2データセットの調査地域での値を Zhang+ (2024, IEEE Trans.)の手法で異常判定)を加味して、地震発生確率密度 λ を逐時予測するものである。ULFおよびCO異常については、それぞれ一定のタイムラグ・継続時間でいくばくかの λ がETASによるものに加算されると仮定して、これらのパラメタを実際の地震系列をよくフィッティングするように決めたもので、ULF異常の先行時間は5.4日 \pm 1.5日、CO異常の先行時間は9.2日 \pm 0.15日と推定された。統合モデルの性能は、ETASのみによる予測に比べて、地震1個あたりのPGが1.24から1.28に1.032258倍改善されており、地震218個全体では、 $1.03232258^{128} = 1013.55$ 倍のPG改善となる。なお、異常の発生時刻をランダム化するとこれらの改善が失われたので、モデルの改善はオーバーフィッティングによるものではないと確認できる。ETASモデルでは実際におきた地震の81%が背景イベント(ランダムPoisson)、19%がETAS(余震的トリガリング)効果によるものと解釈されていたが、統合モデルでは、背景イベントの割合が69%に減少し、ULF異常によるものが10%、CO異常によるものが4%となった。ETASによる割合は17%と少ししか下がっておらず、おおざっぱに言えば、ULF異常およびCO異常の前兆がついた地震の分だけ、予測される地震が増えたということになる (Zhang+, 2025, GRL)。

電磁気的地震先行現象検知のために、日本大学・静岡県立大学・東海大学等で共同開発を行っている超小型人工衛星「PRELUDE」は、約7年間にわたる開発期間を経て、宇宙航空研究開発機構

(JAXA)の革新的衛星技術実証4号機のプログラムとして2025年度内(2026年3月まで)の打ち上げ

が予定されている。本年度は、昨年度行った CSES 衛星及び DEMETER 衛星データの再解析の結果を参考に、衛星搭載ソフトウェアを開発・実装した。また、フライトモデル（実際に打ち上げ・宇宙で運用されるモデル）がロケット打ち上げ環境に耐えうることを確認するための振動試験も行った (Sone+, 2025, 76th International Astronautical Congress; Kamogawa+, 2025, 76th International Astronautical Congress)。

地震検測手法

事前情報や学習データを必要とせずに地震波の到達波をピックアップし、初動の極性を決定する新たな確率的手法を作った。この手法は、ノイズレベル分布と結びついた固有値方程式を用いて到達時刻を特定し、極性確率を導出する。合成および実測の波形データセットを用いた検証では、手動ピックアップと高い一致性を示し、98%の精度を達成した。本手法はニューラルネットワークベースの手法と同等の性能を発揮しつつ、異なる地震カタログ間での高い移植性と一貫性を提供する (Pei+, 2025, EPS)。

微小地震の把握は前震活動の検出やその物理過程の理解に不可欠である。観測点が少なく、また波形のS/N比も低いような条件下でも微小地震の震央を決定することを目指して、単一観測点の波形データから震央距離と方位を推定する機械学習手法を開発した。本手法を四川地域のテストデータに適用し、震央距離の平均誤差約3km、方位誤差約22度の精度を達成した。この手法を用いることで、検出・震央決定された微小地震の数が既存カタログの約1.4倍に増加した (Zhang+, 2025, EPS)。

日本の約2000地点で継続的に記録されている定常地震観測データから、より高品質な地震イベントカタログを開発するため、気象庁 (JMA) が取得した20年間の到達時間データを用いて、深層学習ベースの走時検出器を訓練した。性能向上のため、コンピュータビジョン分野（特にセマンティックセグメンテーション）で実証済みの技術を、最も広く使用されているニューラル走時検出器の一つである PhaseNet に組み込み、新モデル PhaseNeXt を開発した。このモデルは DeepLabv3+ に着想を得たアーキテクチャを採用し、パラメータ効率の高い ConvNeXt ブロックを残差接続で連結することで、勾配消失を緩和し、大規模な訓練データセットへの拡張適応を可能にしている。さらに、詳細な手動検査を受けていない到着時刻の測定値（自動読み取りまたは簡易確認済み）を学習プロセスに含めることで、小規模地震に対する性能向上が実証された。これらの知見を活用し、2002~2023年の気象庁統一カタログ記載イベントに関連する2500万の波形を用いて、異なるパラメータサイズの3つの深層ニューラルネットワークモデルを訓練した。現行の気象庁ワークフローに統合した場合、最高性能モデルは気象庁カタログ記載イベントの約3.5倍の事象を検出した (直井, 2025, JpGU; 直井+, 2025, SSJ; 直井+, 2026, 地震研究所共同利用研究集会; Naoi+, submitted to EPS)。

地殻状態のモニタ

背景微動を用いた地震波干渉法で、2010年10月1日から2012年7月31日までの富山、長野北部、新潟あたりの地殻の地震波速度の時間変化(1日ごとに分析して、30日の移動平均)をみた。Brenquier+ (2014, Science)と似た結果だが、2011年M9東北地震の後1.5年までやったことと移動平均のおかげで、Brenquier+ (2014)が見たM9のコサイスマックな速度低下 (M9による揺れと相関、火山地域で顕著で0.1%くらい落ちた)に加えて、低下した速度が指数関数的に回復していく様子が見えた。2012年7月31日時点では、まだ完全に戻った地域はなく、今後調査期間を延長する。また、M9の13時間後にこの地域の中心でおきたMw6.2長野県北部地震の影響は見られなかった (Bagot+, 2025, SSJ)。

地震活動解析

昨年度開発した(時間版の) ETAS モデルと RSF 則に基づく地震活動モデル (Dieterich モデル)の混合モデル (Iwata, 2025, J. Agricult. Biologi. Environ. Stats.)を時空間へと拡張した。2004年新潟県中部地震などの余震データに対しては、時空間 ETAS モデルよりも混合モデルの方がよいことが示された (Iwata, 2025, International Symposium on Earthquake Forecasting to Commemorate the 50th Anniversary of the 1975 Haicheng M7.3 Earthquake, 岩田, 2026, ISM STAR-E研究集会)。

時空間ETASモデルにおけるクラスターの空間分布 (空間カーネル) について、非等方性を入れたものを提案した。同様の試みは時空間ETASモデルの原論文であるOgata (1998)でも行われているが、それを簡便化したものであり、広域ではなく余震域など比較的狭い領域に対しては、本提案カーネルの方がよいことが示唆される (岩田, 2025, SSJ; Iwata, 2025, ACES International Workshop)。

2024年1月1日の M7.6能登半島地震から3ヶ月間の余震の b 値の空間分布と本震の滑り量の空間分布を比較したもの。断層全域を約1000個の小断層にわけ、それぞれの小断層の b 値をロバストな実用

手法とされている b-positive 法 (van der Elst, 2021, JGR)と小断層の中心からの震源距離にもとづく重み (Tormann+, 2015, Nature Geoscience)を用いて求め、その小断層の滑り量と相関をとった。Wiemer and Katsumata (1999, JGR)が神戸地震で示したのと同じく、大滑り域が高 b、小滑り域が低 b なのは明瞭である。全体でも、断層構造にあわせた7つのセグメント別にみても、この相関は明瞭で統計的に有意である。いっぽう、能登半島でおきた他の大きな地震(2007, 2022, 2023)に関して同じことをやったが、相関ははっきりしなかった (Morita+, 2025, JpGU)。

前震

Yamashita+ (2021, Nature Communications)が長さ1.5 m x 幅0.1 m の大型試料でおこなった実験では41回のstick-slipがおきた。長手方向の剪断応力分布はひずみゲージをならべてモニタされている。各stick-slipイベント(本震)直前の0.5秒についてIshiyama+ (2024, JpGU)の改良マッチトフィルタ法を用いたAEの検出・震源決定を行ったところ、前震が少い場合と多い場合があり、連続するサイクルにおいて両極端がみられることもあるので、累積変位に応じて徐々に変化する表面状態の発展による違いではない。サイクル初期に剪断応力が空間的に不均質であるほど多くの前震がおきる傾向が見い出された。そのような場合には、前震に続いて短命な局所的 slow slip が複数回おきることも多かった。この slow slip は長期的に本震に向かって成長するわけではなく nucleation 的な描像にはあわない。それでも前震(および slow slip) の活動は空間的に順次伝播しており、前震(および slow slip)がおきて、断層の応力不均質がならされ、大きな地震の成長を妨げないようにする役割は果たしていると考えられる。一方、前震が少なかった回は、サイクル初期の剪断応力が空間的に不均質が少なく、また slow slipも見られない。前震は本震に近い場所に起きており、cascade modelのように、前震が本震をトリガしていると解釈できる。本実験ではサイクル初期の剪断応力不均質は前回の本震の滑り分布で決まったはずで、これは自然地震でもそうだろうから、前震活動と本震発生のタイミングは、過去の本震情報に基づいてある程度予測可能かもしれない (Ishiyama+, 2025, JpGU)。

最近の大地震での事例

2025年7月30日にカムチャッカ沖でおきた Mw8.8の巨大地震には、その前10日ほどにわたって非常に活発な前震活動があった (Stein+, 2025, Temblor; 原田・石辺, 2025, SSJ)。Mw8.8の震源から約120 kmにある陸上観測点 (IU.PET) の三成分連続地震波形にPhasenetを適用して、7月20日から本震までの間に地震を854個自動検出した。それらの方位と震源距離から、約 7 km/日程度での過渡的な震源移動が複数回、いずれも南向きにおきていたことが見い出された。この移動速度は沈み込み帯の SSE の移動速度と同程度であり、SSEによる応力変化が本震の短期的な準備プロセスに貢献した可能性がある (Zhang+, submitted to GRL)。2025年Mw8.8は1952年Mw9.0の再来と考えられるが、その間の期間、震源域の地震活動はずっと低かった。このことも、最後の10日間の活発な活動がMw8.8の切迫と強く関係するものだったことを示唆する (Nanjo+, 2025, SCEC meeting)。

2023年2月のトルコM7.7・M7.5連動地震について、ETAS・b値・クーロン応力を統合して地震活動を解析した。主震前には活動の活発化と低b値を確認し、低b値域は破壊開始部の大すべり域と一致した。一方、主震後の最大級の余震は高応力域で発生していることを確認した。余震系列は減衰中だが、継続期間は2.7~5.5年と推定された (Nanjo+, 2025, Geosciences)。

流体による地震活動

能登地方の2000-2024年の地震活動を3次元有限断層時空間ETASモデル (Guo+, 2019, GRL; Guo+, 2021, JGR)で解析した。2007年Mw6.7、2023年Mw6.2、2024年Mw7.5の地震の余震生産性に強い空間的不均一が認められ、高生産性異常は地表からそれぞれ深さ15, 15, 27kmまで続いていた。さらに確率的再構築法 (Zhuang+, 2004, JGR)を用いて、主要モデルパラメータ (生産性、トリガ強度、減衰率、b値) が空間的・時間的に顕著に変動し、特に南西部と北東部の2地域(M7.5地震の大滑り域とかぶる)で高い生産性、低い α 値、低いp値、高いb値がみられた。これらの異常は2021年から2023年にかけての群発活動において最も顕著であり、群発活動と複雑な余震活動が半島の下部地殻または上部マントルにおける流体移動の影響を受けたものであることを示唆する (Guo+, 2025, JGR)。

2001年5月末より奈良県南西端の和歌山県との境界付近で、次いで2002年7月末より奈良県中央部において群発地震活動が開始した。前者は発生から約10年間継続し、後者は20年以上経過した現在でも継続中である。波形相関に基づいた震源再決定カタログからは、これらの群発地震活動には拡散的なゆっくりとした震源移動が認められ、非定常ETASモデルからは、群発地震活動の背景地震強度の増

加がみられ、同タイミングで面積歪に短縮傾向の鈍化が現れた。これらの結果は流体の貫入を示唆する。推定した拡散係数や浸透率は、これまで報告されている群発地震活動の中では小さめであり、経験的に期待される群発地震活動の長寿命化と整合する。本研究の結果及び先行研究（地震探査、地震波トモグラフィ解析、希ガス・主要元素組織解析）から、本解析領域にはスラブから脱水した流体がマントルウェッジを經由し、北～北西傾斜の弱面に沿って上昇していると考えられる。スラブ起源の流体が群発地震活動に関与していることから、将来も定期的に流体の貫入による群発地震活動の発生が予想される（弘瀬・中村, 2025, SSJ）。

火山活動モニタ

伊豆半島東部は頻繁にマグマ活動による群発地震をおこしており、1970-90年代は地表の隆起に示唆される深部からのマグマ上昇が背景と考えられていた。いっぽう2000年代には、深部から地殻へのマグマ貫入を示唆する地殻隆起鎮静化しているが、通常地震(0-20 km深)、LFE(30-40 km深)とも継続的に発生しており、2006年4月と2009年12月に始まり約1ヶ月続いた群発地震(どちらも走向5 km、鉛直10 km程度のクラスタであり、隣接している)は顕著なものであった。また、気象庁カタログには、群発域の深部(30-40 km深)にLFEが47個示されている。2005年から2020年までの期間について、これらの群発を含む15 x 20 km程度の領域でおきた通常地震 (M1以上、約4500個)、および気象庁検出のLFEをテンプレートとしてマッチトフィルタ法で求めたLFE (CC0.25以上で894個)のうちM0.3以上の約200個の活動をETASで変化点分析した。2例とも、通常地震は、群発地震と同時あるいは少し遅れて静穏化した。LFEはそれより数ヶ月から1年程度遅れて静穏化した。地殻内マグマ溜りからのマグマの動きに起因するとして以下のような解釈が可能である：まずマグマ溜りの浅部からマグマが周辺の地殻浅部の亀裂に入り込み(貫入)、群発地震が起きる。このときマグマ溜りからマグマが出たことでマグマ溜りの浅部およびその周辺の応力が下がり通常地震の静穏化をおこす。マグマ溜り浅部でおきたマグマ圧の減少は、やがてマグマ溜りの深部に伝播し、LFEの静穏化をおこす(Nanjo+, 2025, J. Volcanology and Geothermal Res.)。

コンゴ東部のニラゴンゴ火山は、20年間の休眠を経て2021年5月22日に側方噴火を起こし、30人以上の死者を出したほか、甚大な経済的損失をもたらした。火山頂部下で発生した地震を分析し、b値の大きな変動を見出した(差応力との逆相関を期待)。まず噴火数日前から、b値は平常値 (= 0.94)を大きく上回って上昇し、噴火2日前に1.55でピークに達した後、噴火中には平常値を59%下回る値まで一時的に急落、その後6時間ほどは平常値の90%前後でふらついた。噴火前の高いb値は、火山周辺へのマグマ流入による微小亀裂の活性化を反映している可能性が高い。用いた地震カタログは、欠測期間やMcの変動を含む明らかに不完全なものであったが、確率的手法によるカタログ補充(Zhuang+, 2017, EPS; Stallone and Falcone, 2021, Earth Space Sci.)を行っても、上記のb値変動は同様にみられた。さらに、ETASで抽出した噴火直前の背景活動度の大きな増加を、クーロン応力変化履歴と地震活動度を結ぶ理論式(Dieterich, 1994, JGR)で解釈すると、10.5 MPaの応力増加が示唆された。この事例は、最近の高度な活動解析手法を用いることで、十分とはいえない地震観測でも噴火の予測につなげうることを示唆する(Bantidi+, 2025, J. Volcanology and Geothermal Res.)。

様々な地域における地震活動の分析による中-長期予測

Wang+ (2021, EPSL)は、雲南の2000年から2019年までの5年間におけるb値の地震予測性能を評価し、2020年から2024年にかけてのM \geq 5.0地震の予測を行った。PD(予知率-アラームフラクション)を大きくとるという意図で、警報分率が20%程度になるようにbが0.92以下の地域を赤く塗った。蓋をあけてみれば、10個のM \geq 5.0のうち5個、3個のM \geq 5.5のうち2/3個が警報域でおき、期待されていた程度に当たっていた。今回、2025-2029の予測を作成するにあたって、ETASの背景レートも用いることを検討した。過去25年のデータに関してレトロに5年予知をしてみると、背景レートにも有用なゲインがあり、b値と背景レートの両者を考慮すると最もに性能がよいことがわかったため、この手法で2025-2029年を対象とした新たな先行予測を発表した(Zhang, 2025, Entropy)。

チベット高原北東部は高応力・低ひずみ地域であり、地震観測が限定的であることと発生頻度の低さから地震カタログは完全なものではない。そこで、発生する地震のマグニチュードと発生時刻は独立であるということだけを仮定して、とりもたしたイベントを補充するBi-scale empirical probability integral transformation (BEPIT, e.g., Zhuang+, 2017, EPS)により、2009年以降の6つのM \geq 6.0前後のカタログのとりもたしを補充して、ETASパラメータとb値を推定した。その結果、b値が低く、背景地震活動が非常に低く、余震の減衰が急速で、余震の多くは本震によって直接的に誘

発された1次余震であることが明らかになった。また、前震によるETASトリガが大きく貢献して起きたと思われるのは6つのうち1つだけであった。このような状況では地震活動の推移から大きな地震を予測することは難しく、他の前兆の観測が必要である (Wang+, 2025, Entropy)。

Megharoui+ (2016, Episodes J. Int. Geosci.) の地震テクトニクス区分に従ってアフリカ全土を6つの地域に分け、うち東アフリカ地溝帯はさらに3つにわけETASモデルを用いて各地域の地震活動度を評価した。USGS-NEICカタログ(M4以上)を用いて、Davidon-Fletcher-Powell最適化アルゴリズム (Jalilian and Zhuang, 2019, R package; Fletcher and Powell, 1963, Comput. J.) によって各地域のETASパラメタをきめた。地域によってパラメタはかなり違い、それは地質・地物的な要因による差異もあるようだが、余震の生産性 (α)、時間的減衰 (c)、空間的分布 (d, γ)については、カタログのとりこぼしによるとと思われる大きな分散がある。今後10年以内にM7以上の地震がおきる確率は、高い順に、北西アフリカ地域(24%)、東アフリカ地溝帯の西部(13%)、南部アフリカ(8%)である (Bantidi+, 2025, EPS)。

大きな余震の予測

学習期間である本震後3時間から余震活動の定量的予測を出し続けられる、早くてロバストな状態空間モデルによる大森-宇津則パラメタ、 b 値、 M_c 等を逐時ベイズ推定しつつ準リアルタイム予測する手法 (Omi+, 2013, SR; Omi+, 2019, SRL) を用いて、2014年 (Mw5.4、41 km深、Maraseti地域) および2023年 (Mw5.4、14 km深、Gorj地域) というルーマニアの2つの地殻内地震の余震の(事後)予測を試みた。どちらの地震も b や p はいわゆる普通の値だったが、2023の方が余震生産性が高く、 M_c に影響されない予測として、本震より大きい地震がおきる確率をみると、2023の方が10倍近く高い。また、両者とも、余震活動の時間変化も当てられていた。Omi+的な余震活動の準リアルタイム予測は、さまざまな環境において実用に利する情報を提供できることが示唆される (Ghita+, 2025, EPS)。さらに、同じ手法をモロッコの最近のいくつかの余震系列に適用し、やはり有望な結果を得た (Hamdache+, 2026, Physics and Chemistry of the Earth)。

大地震のあとの余震クラスタの最大マグニチュードを予測する Nestore という機械学習アルゴリズム (Gentili+, 2023, SRL)は、イタリア、スロベニア、ギリシャ等ではトップレベルの予測性能を示したが、日本への適用では、地震活動が複雑かつ、大きな余震がおきる余震クラスタの割合が低いせいであまりうまくいかなかった。そこで、ETASにもとづく確率的デクラスタ (Zhuang+, 2002, J. Am. Stat. Ass.)とグラフベースの決定論的選択アルゴリズムを取り入れてNestoreを補完し、さらに、大きな余震がおきるクラスタ (type A) が、おきないクラスタ (type B)より圧倒的に少ないという日本の特徴に対応した新しいクラスタ評価手法REPENSEを開発した。1973-2004年のデータ (type Aが7個、type Bが43個)で訓練し、2005-2023年の事象 (type Aが4個、type Bが27個)で検証したところ、type Aの75%、type Bの96%を正確に予測し、精度0.75、正味精度0.94を達成した。この手法は準リアルタイムで使える。2011年東北地震については、2日前のM7.3から始まった群発活動がtype Aと分類され、それは当たっていた。2024年4月四国M6.6の余震活動はType Bと分類され、それも当たった (Gentili+, 2025, Geosciences Frontiers)。

地震活動の臨界性と予測可能性

1つの地震がおこす余震数の期待値は分岐比と呼ばれ、これが1以上ならSOC状態で大きな地震はいつでもおきる(完全に予測不能)。地域的なカタログにもとづいて従来の方法 (たとえばETASパラメタとG-R則から) で求めた分岐比は1を大きく超えることも下回ることもある。しかし、非常に大きな合成カタログを用いて調べてみると、従来の分岐比推定は現実の地震カタログのもつカタログ境界・サンプル数制限・マグニチュードカットオフによるバイアスを受けていたことがわかった。高度なクラスタリングモデルによってこのバイアスを補正する方法を編み出し、カリフォルニア、ニュージーランド、四川-雲南、能登 (2018年1月1日から2024年2月19日) について真の分岐比を推定した。能登は0.95から0.85に下方修正されたが、他の三地域では上方修正となったが、推定された真の分岐比はいずれも有意に1より小さく、0.70ないし0.85と亜臨界域にあった (Li+, 2025, JGR)。

日本列島の太平洋側で過去にM9クラスの超巨大地震を起こした、2011年M9東北地方太平洋沖地震の震源域 (以後A地域) と北海道東方沖 (以後B地域、内陸到達津波堆積物の調査から、平均して約400年に一度の頻度でM9クラスをおこしており、最新のものは17世紀である) について、M2.5以上で求めた b 値とM5.7以上に着目した相対的静穏化を鍵として最近の地震活動の総合的な解釈を試みた。A地域では2011年M9の前10年程度の期間にM9震源域周辺で b 値が約0.6まで低化した(Nanjo+, 2012)が、

2011年M9以後は増加を続け現在は1.1前後で、いまま応力は比較的低い状態にあり、すぐにM9クラスの地震が再来する可能性 (Tormann+, 2015, Nature Geoscience) は小さいと思われる。一方、現在B地域で最もb値が低い、2003年M8十勝沖地震の震源東側地域では、余効滑りが続いた2008年までb値が増えていたが、以降は下がり続け、現在は約0.6まで落ちている。B地域では2008年10月から現在まで相対的静穏化も続いている。直近のM9クラスからの経過時間が10年強のA地域で応力が低く、約400年のB地域で応力が高いという観察は、M9クラスの超巨大地震が、「いつ起きてもおかしくない完全なランダム現象」ではなく、地下にたまる応力の状態に応じて、ある程度特徴的な間隔で繰り返している可能性を示唆する (Nanjo+, 2026, comm. E&E)。

マグニチュード (実際はエネルギー = モーメント) を発生順に並べた数列に基いて、複雑系の臨界状態への発展を判断するナチュラルタイム解析では、いくつかの異常指標が提案されている。昨年度報告した日本への適用例 (Varotsos+, 2024) を参考にして、台湾の1981年以降の地震活動 (M>3.9で2712個) に基づく前兆の同定を試みた。まず、この期間におきた最大の地震2つ (1999年9月21日のMw7.6 Chi-Chi地震、2024年4月3日のMw7.4Hualien地震) の前の期間を調べると、Chi-Chi地震の1ヶ月前、Hualien地震の7ヶ月前に強い異常があった。そこで、解析期間を74個の7ヶ月長の期間に分けて調べたところ、同様の強い以上があった期間は上記の2つ以外には1つだけであり、異常期間の占める割合 (Alarm Fraction) は3/74 \approx 4%となる。2つの大地震がともにこの期間におきたのが偶然である確率は0.75%となり、ナチュラルタイム異常の前兆性は統計的に有意と評価できる (Varotsos+, 2005, geosciences)。

地震活動に対するナチュラルタイム解析 (e.g., Varotsos, 2010, EPL) で最初に提案された地震活動の秩序パラメタ κ_1 が0.07を超えると数ヶ月以内に本震が発生するという説について、統計的に有意かどうかの検証を2003年9月26日のMw8.3十勝沖地震を予測対象として行った。十勝沖地震の前約10年間、Mw8.3の震源域周辺 (40-44N, 141-147E) について、時間グリッド1ヶ月、空間グリッド0.1°で、各グリッドから150 km円内のM3.8以上、深さ100 km以浅の地震を用いて κ_1 を求めた。2003年6月から9月には、本震の大滑り域に κ_1 異常が出ており、少くとも見逃しではない。 κ_1 異常(0.07超え)はこの時空間以外にもおきていたが、 κ_1 を評価した全時空間グリッドのうち κ_1 異常(0.07超え)がおきたのは7.02%とAlarm Fractionは小さく、上述の本震前異常がおきたのは偶然ではない可能性が高い (勝俣, 2025, SSI)。

・「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

2(2)イ に関して、長期間にわたる観測データがある先行現象に関しては、時間依存する点過程確率密度関数のフィッティングという統計的取扱いが定着し、ETASと他の複数の先行現象を組み合わせることで定量的確率予測の性能向上など直球の成果が得られた。現時点で予測性能の大半を稼いでいるETASについては、余震の物理メカニズムの考慮、非等方な空間カーネルの採用などさらなる改良も提案された。電磁氣的先行現象については、統計的に有意と思われるものが新たに提案された。電磁氣的先行現象を観測するための衛星が打ち上げ間近で、異常の実体解明のためのデータ取得が期待される。前震に関しては、地震サイクル初期に剪断応力の空間的不均質が大きいと前震と短期的SSEが顕著になる可能性が大型試料のスティック-スリップ実験から示唆された。前震の物理的意義についての新たなアイデアであり、**2(2)ア**、**1(3)**にも貢献する。2025年カムチャッカM8.8の顕著な前震に見られた複数回のマイグレーションにも関係する可能性がある。**1(3)** に関しては、2011年M9東北地震によって低下した地殻の地震波速度が1年以上かけて指数関数的に回復する様子をとらえた。また、2024年1月1日の能登半島地震の余震のb値の空間分布を高い分解能で求め、大滑り域が高b、小滑り域が低bという明瞭な相関を見つけた。現時点での予測手法の二本柱であるb値とETAS (i.e., 余震的トリガ) に関する経験則の高度化・物理メカニズムの解明につながる可能性がある。

1(3)、**2(2)ア**、**2(2)イ** において、地震現象の臨界性は根本的な問題だが、その指標と期待される余震分岐比は、現実の地震カタログの不完全さによってかなりのバイアスを受けていることがわかり、それを補正すると世界の異った4地域全てで亜臨界となった。これは、東北M9震源域と北海道東方沖での最近数十年の地震活動の分析から、地震サイクルの序盤と終盤における臨界への近さの違いが現れるとする最近の研究結果とも整合する。また、台湾と十勝沖における長期にわたる地震活動のナチュラルタイム解析では、臨界的とされる振舞いが、最大級地震の数ヶ月前に選択的に出現したことを見出した。これらはもちろん**2(2)イ** への直接的な貢献でもある。

2(3) に関しては、伊豆東部での顕著な群発事例に関して、地震とLFEの推移をETAS解析し、地殻内

マグマ溜りの内部および周辺でのマグマの動きを推定した。コンゴのニーラゴンゴ火山の2021年噴火時の地震活動では、b値とETAS解析によって噴火の数日前からの微小亀裂の活性化や、噴火直前の応力の急増が示唆され、十分とはいえない観測網でも準リアルタイムの噴火予測ができる可能性を示した。これらは、3(4)にも貢献する。

3(4)に関しては、さらに、これまで提案してきた地震活動の観測に基く様々な経験的予測手法を世界のあちこちで実践することを試みた。地震の観測網が十分でない地域では、以前に提案した統計的なとりもし補充法が非常に役立った。日本で開発された、中規模以上の地震に続く余震活動に対して、ETASやGR則のパラメタを逐次更新することで準リアルタイムにロバストな予報を出す状態空間モデルを用いた手法を、ルーマニアとモロッコの複数の事例に適用し有望な結果を得た。また、ヨーロッパで開発され成功していたが、日本に適用するとうまくいかなかった、余震クラスタの最大マグニチュードを予測する機械学習アルゴリズムに、日本の地震活動の特徴を考慮した追加アルゴリズムを加えることで大きく改善した。中長期的な大地震の確率に関して、ETASやb値を用いての推定を世界の様々な地域で行った。雲南地域については、2020-2024年の5年間に対して発表していたb値にもとづくM5以上のハザードマップが所期の性能を達成したことを確認し、新たにETASの背景レートも参照して性能向上をはかった2025-2029年のハザードマップを出版した。チベット高原北東部においては、2009年以降の6つのM6以上地震の余震をETAS解析し、本震発生にETAS効果が貢献したのは一例だけで、地震活動の推移から大きな地震を予測するのが比較的難しい地域であると指摘した。アフリカ大陸については地震テクトニクスを参考に8地域にわけてETAS解析し、それぞれの地域での今後10年以内にM7以上の地震がおきる確率を発表した。また、予測手法の礎たる地震カタログを向上させる技術開発でも成果があり、観測の乏しい地域での検出・位置標的の改善に資する技術も提案した。4(2)に関しては、確率的な地震の予測情報に関する一般向け、専門家向けの講演を積極的に行った。5(4)に関しては、以前に提案した3次元有限断層時空間ETASモデルを2000年以降の能登地方に適用して、地殻の深くまで続く余震生産性やb値などの強い空間不均質を見出し、2021年以降の群発活動やその余震活動が下部地殻または上部マントルにおける流体移動の影響を受けた可能性を示した。また奈良-和歌山県境で時折おきる群発地震について、震源移動の発見と非定常ETAS解析から、従前から地球化学的証拠によって提案されているスラブ起源の流体貫入による活動という見立てを支持する結果を得た。

災害の軽減に貢献するという目的に関しては、上述のように様々な予測手法を世界の様々な地域での観測状況や地活動の特徴に適応して活用する実践的な取り組みが多く行われた。

(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

Hirose, F. and A. Kobayashi, 2025, Tidal correlation of deep tectonic tremors increases during long-term slow slip events in the Bungo Channel, southwest Japan, *Earth Planets and Space*, 77, 18, <https://doi.org/10.1186/s40623-025-02145-5>, 査読有, 謝辞無

Zhang, J., A. Kato, H. Zhu, and J. Zhang, 2025, Small earthquake location via machine learning with insufficient data, *Earth Planets and Space*, 77, 133, <https://doi.org/10.1186/s40623-025-02258-x>, 査読有, 謝辞無

Varotsos P. A., N. V. Sarlis, E. S. Skordas, Q. Huang, J-Y. Liu, M. Kamogawa and T. Nagao, 2025, Twenty-Five Years After the Chi-Chi Earthquake in the Light of Natural Time Analysis, *Geosciences*, 15, 198, <https://doi.org/10.3390/geosciences15060198>, 査読有, 謝辞無

Nanjo, K.Z., T. Kumazawa, J. Izutsu, T. Hori, T. Nagao, and K. Oike, 2025, Seismicity before and after the 2023 M7.7 and M7.5 Turkey Quakes, *Geosciences*, 15, 113, <https://doi.org/10.3390/geosciences15040113>, 査読有, 謝辞有

Nanjo, K.Z., Y. Yukutake, and T. Kumazawa, 2025, Changes in Seismicity in a Volcanically Active Region of the Izu Peninsula, Japan, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 465, 108355, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2025.108355>, 査読有, 謝辞有

- Nanjo, K.Z., T. Hori, and D. Iwata, 2026, Non-Randomness of Japan Megaquakes Implied by Stress Recovery and Accumulation, *Communications Earth & Environment*, 7, 101, <https://doi.org/10.1038/s43247-025-03075-6>, 査読有, 謝辞有
- Iwata, T., 2025, Mixture of Linear and Nonlinear Hawkes Processes and Its Application to Real Earthquake Sequences, *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, <https://doi.org/10.1007/s13253-025-00681-x>, 査読有, 謝辞有
- Bantidi, T. M., T. Nishimura, K.Z. Nanjo, B. Enescu, T. Ishibe, and G. M. Tuluka, 2025, What Triggered the 2021 Eruption at Nyiragongo Volcano (D.R. Congo)? Unraveling the Complex Interplay between Tectonism and Magmatism, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 467, 108429, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2025.108429>, 査読有, 謝辞無
- 原田智也・西山昭仁・石辺岳男, 2025, 『大地震見聞録』に記録された安政江戸地震による土浦の被害, *歴史地震*, 40, 81-107, 査読有, 謝辞無
- Bantidi, T. M., T. Nishimura, T. Ishibe, B. Enescu, and G. M. Tuluka, 2025, Variability of Epidemic-Type Aftershock-Sequence Parameters and relation to physical processes for earthquakes in Africa, *Earth Planets and Space*, 77, 29, <https://doi.org/10.1186/s40623-025-02151-7>, 査読有, 謝辞無
- Petrescu, L. and B. Enescu, 2025, Seismicity of a Relic Slab: Space–Time Cluster Analysis in the Vrancea Seismic Zone, *Earth, Planets, and Space*, 77, 6, <https://doi.org/10.1186/s40623-025-02136-6>, 査読有, 謝辞無
- Poveda, B. V., K. Nishida, B. Enescu, and R. Takagi, 2025, Ocean Microseisms Recorded by the Cuban Seismic Network: Time Variation, Spectral Features, and Source Directionality Characteristics, *Seismological Research Letters*, 96, 758-771, <https://doi.org/10.1785/0220240351>, 査読有, 謝辞無
- Ghita, C., B. Enescu, A. Marinus, I.-A. Moldovan, C. Ionescu, E. G. Constantinescu, and L. An, 2025, Aftershock Analysis and Forecasting for the Crustal Seismicity in Romania, *Earth, Planets, and Space*, 77, 48, <https://doi.org/10.1186/s40623-025-02174-0>, 査読有, 謝辞有
- Inoue, N., R. Yamaguchi, Y. Yagi, R. Okuwaki, B. Enescu, and T. Tadapansawut, 2025, A Multiple Asymmetric Bilateral Rupture Sequence Derived from the Peculiar Tele-Seismic P-Waves of the 2025 Mandalay, Myanmar Earthquake, *Seismica* 4, <https://doi.org/10.26443/seismica.v4i1.1691>, 査読有, 謝辞無
- Yamaguchi, R., Y. Yagi, R. Okuwaki, and B. Enescu, 2025, The Complex Rupture Evolution of the Long and Slow, Tsunamigenic 2021 South Sandwich Islands Earthquake, *Scientific Reports*, 15, 1770, <https://doi.org/10.1038/s41598-025-02043-6>, 査読有, 謝辞無
- Hamdache, M., B. Enescu, J. Henares, and J. A. Peláez, 2026, Forecasting Analysis of Aftershock Sequences in Morocco, *Physics and Chemistry of the Earth*, 142, 104312, <https://doi.org/10.1016/j.pce.2026.104312>, 査読有, 謝辞無
- Zhang, Y., P. Han, H. Chen, C. Zhan, Y. Niu, J. Zhuang, and K. Zhu, 2025, Incorporating Non-seismicity Precursors into Earthquake Probabilistic Forecasting Model, *GRL*, 52, e2025GL117972, <https://doi.org/10.1029/2025gl117972>, 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, *JGR Solid Earth*, 130, e2025JB031544, <https://doi.org/10.1029/2025jb031544>, 査読有, 謝辞無
- Li, J., D. Sornette, Z. Wu, J. Zhuang, and C. Jiang, 2025, Revisiting Seismicity Criticality: A New Framework for Bias Correction of Statistical Seismology Model Calibrations, *JGR Solid Earth*, 130, e2024JB029337, <https://doi.org/10.1029/2024jb029337>, 査読有, 謝辞無

- Chen, F., D. Wang, S. Xu, B. Yan, J. Zhang, Y. Guo, D. Yao, J. Zhuang, G. Suárez, and P. Shearer, 2025, Bi-segment Fault Rupture and Long-lasting Intraslab Aftershock Activity during the 2017 Mw 8.2 Tehuantepec, Mexico Earthquake, *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 130, e2024JB030699, <https://doi.org/10.1029/2024jb030699>, 査読有, 謝辞無
- Pei, W., J. Zhuang, and S. Zhou, 2025, Stochastic Determination of Arrival Time and Initial Polarity of Seismic Waveform, *Earth, Planets, and Space*, 77, 36, <https://doi.org/10.1186/s40623-025-02161-5>, 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, <https://doi.org/10.1029/2024gl108590>, 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. Chang, and P. Han, 2025, Earthquake Forecasting Based on b Value and Background Seismicity Rate in Yunnan Province, China, *Entropy*, 27, 205, <https://doi.org/10.3390/e27020205>, 査読有, 謝辞無
- Gentili, S., G. D. Chiappetta, G. Petrillo, P. Brondi, and J. Zhuang, 2025, Forecasting Strong Subsequent Earthquakes in Japan Using an Improved Version of NESTORE Machine Learning Algorithm, *Geoscience Frontiers*, 16, 102016, <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2025.102016>, 査読有, 謝辞無
- Wang, Y., R. Wang, P. Han, T. Zhao, M. Miao, L. Su, Z. Jin, and J. Zhuang, 2025, Statistical Characteristics of Strong Earthquake Sequence in Northeastern Tibetan Plateau, *Entropy*, 27, 174, <https://doi.org/10.3390/e27020174>, 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

- 直井 誠, 2025, 気象庁一元化カタログに最適化された深層学習検測器のためのモデル改善, 日本地球惑星科学連合2025年大会, SCG60P-01.
- 直井 誠, 溜瀧功史, 下條賢梧, 20年分の気象庁一元化カタログを用いた深層学習走時検測モデルの開発, 日本地震学会2025年度秋季大会, S22-03.
- 直井誠, 下條賢梧, 溜瀧功史, 2026,日本の地震基盤観測網に最適化した深層学習走時検測器の開発, 地震のリアルタイムモニタリングと即時予測情報の活用(地震研究所共同利用研究集会).
- 弘瀬冬樹・中村雅基, 2025,流体の貫入と拡散を示唆する背景地震活動度の時間変化と震源移動: 奈良県とその周辺における群発地震活動, 日本地震学会2025年度秋季大会, P23-07.
- 長尾年恭・楠城一嘉・鴨川仁・井筒潤, 2026,地震災害予測のための地球観測データのデジタルアースへの適用-地震活動のNatural Time解析-, 中部大学「問題複合体を対象とするデジタルアース共同利用・共同研究拠点」2025年度成果報告会.
- Sone, N., M. Yamazaki, and M. Kamogawa, 2025, Flight Model Design and Development of the W6U-Size PRELUDE for Investigating Ionospheric Earthquake Precursor Phenomena, 76th International Astronautical Congress.
- Kamogawa, M., M. Yamazaki, N. Sone, R. Miura, and PRELUDE development team, 2025, Are Preseismic Ionospheric Disturbances Precursors of Earthquakes?—Designing a CubeSat Mission for Phenomenon Verification, 76th International Astronautical Congress.
- Nanjo, K.Z., J. Yazbeck, and J. B. Rundle, 2025, Analysis of the 2025 Kamchatka, Russia Earthquake Sequence: Preliminary Results, 2025 SCEC Annual Meeting, SCEC Contribution 14697, <https://central.scec.org/publication/14697>.

- Iwata, T., 2025, Mixture of the rate-and-state seismicity and ETAS models and its application to real earthquake sequences (invited), International Symposium on Earthquake Forecasting to Commemorate the 50th Anniversary of the 1975 Haicheng M7.3 Earthquake.
- 岩田貴樹, 2026, ETASモデルと摩擦構成則地震活動モデルの混合モデルの時空間への拡張, ISM STAR-E 2025年度研究集会.
- 岩田貴樹, 2025, 時空間ETASモデルにおける簡便化された非等方空間カーネル, 日本地震学会2025年度秋季大会, P09-13.
- Iwata, T., 2025, An extension of the non-stationary ETAS model to the space-time modeling, The 12th ACES International Workshop.
- 勝俣 啓, 2025, 2003年十勝沖地震前の地震活動のNatural time解析と統計的有意性, 日本地震学会2025年度秋季大会, S09-03.
- Ishiyama, R., B. Enescu, E. Fukuyama, F. Yamashita, and K. Okubo, 2025, Analysis of acoustic emissions and stress evolution in large-scale laboratory experiments to reveal the foreshock occurrence mechanism, Japan Geoscience Union Meeting 2025, SSS10-27.
- Morita, K., B. Enescu, A. Mirwald, and R. Enomoto, 2025, Changes in b-values before and after the 2024 Noto Peninsula Earthquake, Japan Geoscience Union Meeting 2025, SSS12-P09.
- Bagot, L., B. Enescu, F. Brenguier, N. Paris, Q. Higuieret, S. Ohmi, M. Miyazawa, and T. Takeda, 2025. Estimation of long-term crustal seismic velocity variations in the Nagano region, Japan, using seismic interferometry, 2025 Fall Meeting of the Seismological Society of Japan, P06-06.
- Bantidi, T.M., K.Z. Nanjo, T. Ishibe, T. Nishimura, B. Enescu, and A.M. Besa, 2025, Retrospective Forecasting of Volcanic Eruptions Based on b-value Time Series Analysis: A Step Towards a Near Real-Time 'Volcano Traffic Light Alert System (VTLAS)', American Geophysical Union Annual Meeting 2025.
- Bantidi, T.M., T. Ishibe, and R.S. Matsu'ura, 2025, A Phenomenological Reconstruction of the 1755 Great Lisbon Earthquake Source Based on Tsunami, Intensity, and Stress Modeling, Asian-tsunami-Workshop.
- Bantidi, T.M., T. Nishimura, K.Z. Nanjo, T. Ishibe, B. Enescu, and G.M. Tuluka, 2025, Uncovering the Interplay Between Tectonism and Magmatism During the 2021 Nyiragongo Eruption (D.R. Congo), The 2025 international symposium on "Volcanology in Practice".
- Bantidi, T.M., T. Nishimura, T. Ishibe, B. Enescu, and G.M. Tuluka, 2025, Variability of ETAS Parameters and Their Relationship with Physical Processes for Earthquake Forecasting in Africa, The 2025 Science and Technology Conference (SnT2025), Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty (CTBT).
- Bantidi, T.M., K.Z. Nanjo, T. Ishibe, T. Nishimura, B. Enescu, and A.M. Besa, 2025, Analysis of Precursory Seismicity and Transient Changes in b-Value for Near-Real-Time Volcanic Eruption Forecasting, 日本地震学会2025年度秋季大会, S09-04.
- Bantidi, T.M., T. Nishimura, K.Z. Nanjo, B. Enescu, T. Ishibe, and G.M. Tuluka, 2025, The 2021 Eruption of Nyiragongo Volcano (Democratic Republic of Congo): Uncovering the Complex Interplay between Tectonism and Volcanism, Japan Geoscience Union Meeting 2025, SVC30-02.
- 原田智也・石辺岳男, 2025, 千島海溝南部で発生した(巨)大地震の顕著な前震活動, 日本地震学会2025年度秋季大会, P25-01.

堀 高峰, 楠城一嘉, 2025, 北海道・東北沖の地震のサイズ分布 (b値) の分布, 地震調査委員会(2025年12月8日青森県東方沖の地震).

堀 高峰・楠城一嘉, 2025, 北海道・東北沖の地震のサイズ分布 (b値) の時空間変化, 第249回地震予知連絡会.

Nanjo, K.Z., 2025, Advancing earthquake forecasting: Integrating physics-based and statistical approaches to seismicity in Japan and worldwide (invited), Earth and Planetary Sciences Colloquium, UC Davis.

山本 揚二郎・矢田 修一郎・楠城一嘉・高橋成実, 2025, DONET2地震波形による室戸沖における超低周波地震と通常地震の分布, 日本地震学会2025年度秋季大会, P09-08.

Nanjo, K.Z., 2025, Seismicity understood by ideas of composite materials ~Some views of similarities between earthquakes and the failure of composite materials~ (invited), -TISI Collaborative Research Project Phase 3-, Similarities and differences between earthquakes and failure of composite materials.

Nanjo, K.Z., 2025, Toward detecting anomalies that differ from ordinary seismic and geodetic patterns ~Possible directions for future joint initiatives~ (invited), Seismic risk: From Emergency Management to Multi-year Planning.

Nagao, T., J. Izutsu, and K.Z. Nanjo, 2025, Quantitative evaluation of earthquake precursors based on a comprehensive analysis of seismic activity and how to disclose this information to society (invited), International Symposium on Earthquake Forecasting to commemorate to the 50th Anniversary of the 1975 Haicheng M7.3 Earthquake.

Nanjo, K.Z., T. Kumazawa, J. Izutsu, T. Hori, T. Nagao, and K. Oike, 2025, Characteristics of seismicity before and after the 2023 M7.7 and M7.5 Turkey earthquakes, revealed by integrating physics-based and statistical approaches, Japan Geoscience Union Meeting 2025, SSS12-P15.

Nanjo, K.Z., Y. Yukutake, and T. Kumazawa, 2025, Time-dependent activity of low-frequency earthquakes and ordinary earthquakes in the eastern side of the Izu Peninsula, Japan, Japan Geoscience Union Meeting 2025, SVC30-05.

Nanjo, K.Z., S. Sakai, T. Akiyama, M. Kageshima, Y. Noda, and A. Watanabe, 2025, Research on crustal activities of the Southern Alps in the northern Shizuoka Prefecture: A preliminary report, Japan Geoscience Union Meeting 2025, MIS12-06.

(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：

項目：ソフトウェア開発（解析）

概要：最も広く使用されているニューラル走時検出器の一つであるPhaseNetにコンピュータビジョン分野（特にセマンティックセグメンテーション）で実証済みの技術を組込んだ新モデルPhaseNeXt、およびJMAの2002-2023年の波形データで訓練した重み。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：

調査・観測期間：

公開状況：公開中（データベース・データリポジトリ・Web）

<https://github.com/mktnaoi/JMAuniPicker>

(10) 令和8年度実施計画の概要：

地震活動や地殻変動データから得られ、有意な地震先行傾向をもつとされている各種の指標を同一プラットフォームでリアルタイムに解析するシステムを構築する。

2023年から毎日データとモデルパラメタを更新しYouTubeやXに投稿してきたHIST-ETASの1日予測の成績評価。モデルパラメタを固定した場合との比較も行う。

Natural time解析の κ_1 にもとづく大地震の予測についての性能評価の対象を全世界のM8級地震に拡げる。

統計的手法による余震予報をさまざまなテクトニック環境へ適用して、さらなる性能改善の糸口を探る。

ETASとDieterichモデルの混合による余震活動モデルについて、背景地震活動の時空間変化を認めることで、性能の改善を試みる。

地震カタログの取り漏らしによるETASモデルへの影響の問題に対処するための確率論的フレームワークを作る。ベイズ推定によって真のイベント列の従うモデルパラメタや見逃しの起き方をその不確定性とともにも与え、統計的に矛盾のない取り漏らし補充やそれに伴う不確定性の評価を可能にする。

前震から本震にいたる物理メカニズムの解明を進めるために、微小地震の検出と位置標定の手法を改善する。

Prelude衛星で取得したデータの品質チェック。

地震の相対震源決定に広く使われているHypoDDはDouble Difference アルゴリズムのFORTRAN実装であるが、大規模な地震群に適用することはメモリや計算速度の問題で困難である。実装方法と行列解法の修正でメモリボトルネックを解消しGPUを活用した高速な実装を行うことで大規模問題への対応を試みる。

地震波動による動的トリガリングの事例を系統的に探し、その地球物理的なメカニズムを探る。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

中谷 正生（東京大学地震研究所），鶴岡 弘（東京大学地震研究所），加藤 愛太郎（東京大学地震研究所），福田 淳一（東京大学地震研究所），中川 茂樹（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

勝俣 啓（北海道大学），直井 誠（北海道大学），Enescu Bogdan（京都大学大学院理学研究科），長尾 年恭（東海大学），織原 義明（東京学芸大学），楠城 一嘉（静岡県立大学），岩田 貴樹（県立広島大学），井筒 潤（中部大学），弘瀬 冬樹（気象研究所），Zhuang Jiancang（統計数理研究所），野村 俊一（早稲田大学），石辺 岳男（地震予知総合研究振興会），永田 広平（気象庁）

(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：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：中谷正生

所属：東京大学地震研究所