

(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6年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

地震カタログの作成、地震活動の解析、地震動の予測、地殻変動に関係した測地データ解析に関する機械学習の応用をレビューした論文を出版した(Kubo+, 2024)。深層学習を用いた有名な地震波検測ツールであるPhaseNetを、2013-2022年の日本の定常観測データによって再訓練した。カリフォルニアのデータで訓練されたモデルで見えていたバイアス等がなくなり、性能が改善したことが確認できた。気象庁のデータ処理に使われるPF法を使ってカタログを作成したところ、内陸の小さい地震をより多く検出できるようになった(Naoi+, 2024)。

歴史地震の震源位置や規模は史料に記述された被害や揺れの強さから推定される震度分布に基づいて推定される。そこで、まず、震度4以上を記録した近年の30地震の震度分布データ(震度分布画像)から震央位置と規模を推定する機械学習モデルを構築し、良好な結果をえた。さらに歴史地震への適用を鑑み、学習モデルの構築時に用いた仮想観測点数をランダムにサンプリングした50点に減らしても推定精度に顕著な低下が見られないことを確認した(石辺+, 2024JpGU)。

地震活動の解析において、マグニチュード等のパラメタの一貫性は非常に重要であり、複数の地震観測ネットワークを統合してカバレッジを増すためにはこの問題を解決する必要がある。どのネットワークで決めたマグニチュードも、真のマグニチュードに線形な値の回りにガウス分布しているという仮定のもと、ベイズ推定で統合カタログ用のマグニチュードを作るアルゴリズムを提案した。人造カタログでテストしたところ、事前分布には、現実に近いGR的なものを取り入れるよりも、むしろ一樣分布の方が検出率の場所による変化などの影響を受けず正しい結果が得られる傾向にある。また、イタリアの5つの観測網からのカタログのマグニチュードをこの方法で統合してみたところ、ロバストな結果が得られた(Si+, 2024)。

多数のGNSS観測点での5分間隔のGNSS記録から、プレスリップで期待される方向の成分をスタックしたところ、2011年3月11日のM9東北地震の2時間前からMw6.9相当の加速的なプレスリップが見い出されたという報告(Bletery & Nocquet, 2023, 以下BN2023)は大いに注目されたが、Bradley & Hubbard (2023)は、GNSS観測特有の同相ノイズを補正するとBN2023のみつけたプレスリップ状の変化は見えなくなると反論した。そこで、GNSS以外の地殻変動観測手段である傾斜計を用いてBN2023と同様の手法で東北地震から500 km以内にあるHi-netの傾斜記録をスタックしたところ、2時間前に加速するような変化はみられなかったので、当該時期の傾斜記録ノイズレベルに相当するMw6.4を超えるような直前数時間のプレスリップはなかったと結論できる(Hirose+, 2024)。

ETASの余震トリガリング作用による地震クラスターについて、その中で最大の地震のマグニチュード、発生時刻、発生位置、に期待される確率分布を陽な形で導いた。マグニチュード、発生時刻について具体的な解析解と数値シミュレーションが整合することも確かめられた。この成果によって、現在進行中の地震活動について、(大き目の)地震が一つ起きるたびに、それが最大のものである(今後、今迄以上に大きいのは起きない)確率がどの程度かという質問に答えられるため、防災対応の参考にな

りうる(Spassiani+, 2024)。

大きな地震が起きた直後の時期は多数の余震が起きるため、ETAS以外の方法でも活動状況の変化を迅速に更新でき、防災情報として提供しうる。b値は応力に負の依存性をもつと考えられており、多くの大地震の前にb値の減少が観察されている。大きな地震が起きてしばらくの間は、地震の発生レートが非常に高く、それだけでも同程度以上の地震が短時間内に起きる確率は大きくなる(例えばM6級の地震がおきたあと5日以内に、より大きい地震が近辺で起きる確率は約5%)が、なかでも最初の地震以降のb値が低下していた場合には、その確率が75%にもなり、市民生活を変えるレベルの強い短期警報を出しうる(Gulia & Wiemer, 2019)。大地震直後は小さい地震の検出率が低下・変動するためb値のリアルタイム推定が難しいが、この点は、連続した地震のマグニチュード差の分布に着目するb-Positive法(van der Elst, 2021)で克服できる。そこで、遠地地震波から世界の地震センターで大地震後1時間以内に算出される断層面解を自動取得して自動的に解析領域を決め、準リアルタイムで更新される地域の地震カタログを逐次入手してb値追跡・警報の判定・更新を専門家の関与なしに自動的に行えるスキームを開発した。Gulia & Wiemer (2019)など開発の際参照した約20例については、同程度に正確な(失敗は偽陽性の一例のみ)判定結果が得られ、その後に起きた6事例についても全て正解(真陽性1例、真陰性5例)した(Gulia+, 2024)。

地震活動の低い南海トラフの海域などで地震活動モニタリングには、海底に埋め込まれてSN比の高いDONETの海底地震計が重要であり、特にb値を得るためには、完全に検知できる地震の下限マグニチュードを知る必要がある。JAMSTECが維持しているDONET (= DONET1 + DONET2)の検出カタログを用いてそれぞれの観測点で地震が検知できた割合を調べ、一つの観測点での検知確率を地震の大きさと観測点からの距離の関数として経験的に構築した。次に、これを用いて任意の位置で起きた任意の大きさの地震が、その時点で稼働中のDONETの観測点のうち3つ以上で検知される確率を計算した。任意の検知もれ許容確率を設定すれば、これをネットワーク検知下限マグニチュードの地図に変換できる。例えば検知もれ率 $1E-6$ 以下を完全検知とみなして完全検知下限マグニチュード(M_p)の空間分布を描くと、 M_p は観測点が密集した部分ではM1を下回り、DONETの周縁域ではM2程度、DONETの外側でも、その目標監視域である(32-34N, 134-138E)全域でM2.5以下である。また、ノードの故障による検知能力の低下(M_p が約1悪化)は当該ノード域の2倍程度の領域に限定される。b値監視の例として、2017年から2018年にかけて海溝軸近くで起きたM6.6の浅部SSE(GNSS-Aで検知された)に関して、SSEの海溝側および陸側領域それぞれプレート境界下25km程度での地震活動のb値を、上記のローカルな M_p 情報を与えた上で求めたところ、SSE開始まではどちらでも $b=1.5$ 程度であったものが、SSE期間には海溝側が $b=1$ 程度、海溝側が $b=2$ 程度となり、明らかに有意な変化が見えた。これはSSEによる応力の増減から期待されるセンスの変化である(Nanjo+, 2024)。

例えば大きな地震等をきっかけに、真のb値が不連続に変化したと思われる例は多いが、b値の時間変化を追跡するときに、(重みつき)移動平均を使う従来の方法は追従が悪いと考えられる。そこで、真のb値の遷移を状態空間モデルで表して、それを粒子フィルターで推定する手法を開発した。2011年M9東北地震の震源域に適用したところ、2015年から2022年にかけてb値が1.1から1.3に上昇しており、Tormann+ (2015)が指摘したような大地震のリスク上昇は示唆されない。他方、2016年のM7熊本地震の後2019年末までの周辺領域のb値の解析で唯一b値が低下しており大地震のリスクを警告していた布多川断層中部の10 km程度の領域(Nanjo+, 2019)について、新しい解析法で2023年半ばまでb値の推移を調べたところ、現在も0.7程度の低い値が維持されているため、相変わらず心配な状況と考えられる(Iwata & Nanjo, 2024)。

流体によって駆動される群発地震活動では、ETASモデルにおける背景項が連続的に変化する可能性が考えられる。イタリア南部のPollino山地方は典型的な群発地震地域でM6以上の歴史地震が知られていない典型的な群発地震域である。ここで2010年から2014年にわたって続いた長期間の群発地震活動は、背景項が連続的に変化する非定常ETASモデルでよくフィッティングでき、群発活動の複雑な消長の主要因は背景項が2桁程度増減していたことであると読み解けた。この群発活動では高い過剰間隙圧も推定されており(De Matteis+, 2021)、群発活動とゆっくり滑り速度の呼応も見られることから(Cheloni+, 2017)、流体とゆっくり滑りが影響しあって複雑に変化したことで、非定常ETASを要求するほど複雑で大きなテクトニック駆動力の連続的な変化が生じたと考えられる(Petrillo+, 2024)。

能登半島北部の地震活動について、2020年11月からの活発な群発活動が始まる前の2018年初頭から2024年1月1日M7.6能登半島地震後の2024年2月19日まで、能登半島地震の余震域(北西-南東走向、160 km程度)を対象に、25,711個の地震(気象庁カタログ: M1.3以上)の相対震源位置をhypoDDにより決定した。上記領域の中央部分25 km四方程度にあたる群発活動域については、解像度を増すた

め2023年1月1日から2024年2月19日までM1.0以上の11,980個の地震に対して相対震源決定をおこなった。M5以上の地震については手動検測も行い相対走時データの精密を期した。2024年1月1日のM7.6地震の余震分布は、走向160 kmにおよび、南東傾斜のF43断層(内閣府, 2014)と一致するが、最北部は北西傾斜のF42断層の南端部にかかっている。M7.6地震の破壊開始点を含む群発活動域では、深さ15 km程度からスプレー状に3枚にわかれる南東45°前後に傾斜した断層が推察され、深さ15 km以深では、群発活動をもたらした高压流体の侵入による開口と非地震性滑りが推定されている傾斜の浅い断層(Nishimura+, 2023)に続くようである。3枚の断層のうち最も上位にあるのはF43断層の中央部(珠洲沖セグメント)で、M7.6地震の主要な滑りはこの断層で起きた。いっぽう、M7.6地震の破壊開始、240秒前のM5.5前震、14秒前のM5.9前震、2023年5月のM6.5地震の破壊開始はいずれも中位の断層で、120秒前のM4.6前震と2022年6月のM5.4の地震は最下位の断層で起きた。いずれも12–17 kmと深く、上述の深部低角断層からの高压流体の影響が考えられる。水平位置も10 km以内に集まっており、M7.6地震に至る一連の活動は、近接した複数枚の断層間での応力および間隙水压を介した複雑な相互作用によるものだと推察される。さらに、本震破壊開始点直近の地震計では240秒前のM5.5前震から14秒前のM5.9前震の間に、多数の小さな前震が連発しており、非地震性プレスリップの可能性を示唆する。実際、3つの直前前震のうち最初に起きた240秒前のM5.5による滑りは、本震や14秒前のM5.9の破壊開始点に地震が起きにくくなる向きの応力を加えており、前震–本震の因果関係を単純なカスケード破壊として理解することはできない。さらに、M7.6地震の遠地波形のバックプロジェクションは、最初の11秒程度は破壊開始点周辺での勢いの弱い破壊であり、そのあと南東および北西に勢いの強い破壊が伝播したことを示している。本震14秒前のM5.9前震を既に本震の一部とみれば、低調な初期破壊フェーズは25秒も続いたことになる。強い破壊が始まるまでに時間がかかったのは、先述した複数枚の近接断層間での破壊の乗り移りや流体圧の再分配に加えて、F43断層の走向が10°弱折れ曲っているところから始まった地震であることが寄与したかもしれない。また、群発域での2018年からの地震活動は少しずつ走向（北東–南西）方向に拡大し、2020年末に5 km程度になってからは加速的に拡大して2021年半ばに15 kmとなり、そのあと2023年5月のM6.5地震までは一定の活動域を維持した。深さ方向については、2020年末から2021年度後半にかけて深さ18 kmを起点に水理拡散係数 $0.2 \text{ m}^2/\text{s}$ で浅部へ活動域が広がった。2021年末からは上方拡大は止み、2023年5月のM6.5地震まで群発地震は深さ11 km以深にとどまった。一方、M7.6地震の発生後、余震域は端部において時間の対数に対して線形に数十km拡大した。これは余効すべりの伝播が起きた可能性を意味する(Peng+, 2025)。

能登半島北部の群発地震が5つの領域(N, E, W, Ss, Sd)に明瞭にわかれて起きていた2022年末までの時期について、20km以浅でおきたM1.3以上の地震のうち余震でないものについて潮汐の影響を調べたところ、潮汐の影響が見られたのは、群発域南東部の深さ14–18 kmにあるSdクラスタの活動だけであった。Sdクラスタはb値も異常に大きく(1.85前後)、有効封圧が非常に低く岩石強度が非常に小さくなっているため、潮汐の影響も受けやすいのだと考えられる(Hirose+, 2024)。2023年5月5日にE領域を震央とするM6.5が起きたあとは活動域の境界が曖昧になったため、2023年1月から2024年1月1日M7.6(震央はN, E, S領域の境界点)までの活動を上記5領域をまとめて解析した(Hirose+, 2024JpGU)が、2023年1月1日から5月5日のM6.5前まで、M6.5の余震が落ち着いた7月1日から2024年1月1日M7.6まで、2023年1月1日から2024年1月1日M7.6まで、の3つの期間いずれでも潮汐の影響は見られなかった。ただし、この期間のほとんどの地震はN, E領域で起きたので、実質的には、もともと潮汐の影響を受けていなかったN, E領域の活動は、M6.5やM7.1が迫っていた時期でも潮汐の影響を受けない状態のままだったことを確認した、ということになる。

豊後水道における深部微動と潮汐との相関の長期的な時間変化を調査した。その結果、LSSE域の深部縁(以後領域Ba)の微動は、潮汐せん断応力または見かけの摩擦係数が非常に小さなクーロン破壊応力と有意な相関を持ち、断層すべりを促進する方向に作用する潮汐応力値が大きいほど発生しやすいことがわかった。さらに、潮汐感度はLSSE発生期で相対的に高く、それ以外の期間では低いことも判明した。LSSE域は領域Baを概ね含んでいるため、LSSE期の領域Baの断層カップリングはそれ以外の期間に比べて間違いなく小さい。このように低摩擦状態下にあるため、lithostaticな応力よりも遥かに小さな潮汐応力ですら深部微動の発生に影響を与え、LSSE期の潮汐感度がそれ以外の期間よりも高くなると考えられる(Hirose & Kobayashi, in press)。

潮汐より長い周期の繰り返し载荷として積雪等による季節変化があり、それに呼応した地震活動の季節変化も指摘されている(e.g., Heki, 2023)。36N以北の東北地方の陸域について、2004–2010年のGNSSの上下変位から同相ノイズを補正した上で、周期1年と+周期半年の正弦変化でモデル化した

季節変動成分を取り出し(振幅1 cm程度)、その空間分布から弾性変形(PREM構造)を仮定して地表荷重(振幅5 kPa程度)の空間分布を、月毎に逆推定した。HIST-ETASで余震を除去したあとの地震(M3以上、20 km以浅)について、地震発生時に表面荷重がその場所の応力場(Terakawa & Matsu'ura, 2008, 2010)から期待される向きの断層面に及ぼした応力増減(振幅数kPa)と地震発生レートの増減(20%程度)の関係を調べると、東北地方全域をまとめて解析した場合には、山陰(Ueda & Kato, 2019)やカリフォルニア(Johnson+, 2017)で確認されたよりは弱いながらも、理論的に期待されるセンスの相関がみられた。しかし、日本海側に限った解析では有意な相関は認められなかった。日本海側では積雪と表面荷重に雪の密度から期待される通りの関係が明瞭であることを考えると、これは不思議な結果だが、一つの可能性として、テクトニックな载荷レートが高いために積雪荷重の影響が目立たないことが考えられる(Ueda+, 2024)。

いっぽう、短期的な応力擾乱による地震の誘発現象として、(大)地震からの地震波によって地震が誘起される動的トリガリングと呼ばれる現象がある。日本では動的トリガリングを起こすのに振幅30 kPa以上の地震波が必要と指摘されていた(Van der Elst & Brodsky, 2010)が、2016年M7熊本地震からの地震波による動的トリガリングが遠く離れた中部地方から北海道にかけて数kPaの波動で起きたことがわかり、2011年3月11日のM9東北地震によって、東北日本の地殻状態が変わって動的トリガが起きやすくなったのではないかと提唱され、また、動的トリガが見られたのは火山地域が多かったため、流体圧の増加を介した効果だろうと推察された(Enescu+, 2016)。そこで、東北地震後に群発活動が起きた5つの地域(山形-福島県境、秋田駒ヶ岳南西、飛騨、いわき、山形中央; いわき以外は火山地域)において、東北日本に1-50 kPa程度の表面波を届けた49個の遠地地震(東北地震より前が25個、東北地震より後が24個)それぞれについて、表面波の振幅と、それによって誘発された地震の有無を調べた。山形-福島県境、秋田駒ヶ岳南西、飛騨で誘発事例数は東北地震の(前→後)でそれぞれ(4→8)、(3→6)、(7→10)、誘発に成功した表面波の振幅の最低値はそれぞれ(8.7 kPa → 1.1 kPa)、(8.7 kPa → 1.5 kPa)、(3.8 kPa → 1.3 kPa)と、東北地震より後の方が誘発が起きやすいように見える。有意水準5%のK-Sテストで誘発応力の分布が変わったとは言えなかったが、それはサンプル数が足りないだけのこともかもしれない。いっぽう、山形中央の誘発事例は東北地震より前の1つだけで、1.6 kPaの表面波で起きた。それよりずっと大きい表面波が来ていた多くの例で一度も誘発されなかったので、この1例も誘発ではなく、偶然のタイミングの一致だったのかもしれない。いわきは、火山もなく地熱地帯でもないが、誘発事例数が(0→4)と増加し、また最低誘発応力は(31.6 kPaでも誘発できなかった → 1.6 kPa)と大きく下がったので、M9によってトリガされやすくなったように思われる(Takeda+, 2024)。

2024年1月1日M7.6能登半島地震(破壊域長150 km)からの表面波も、北海道から鹿児島まで広い範囲で、主に火山地域で動的トリガリングを起こし、最低誘発応力は10 kPa程度であった。420 km離れた秋田焼山地域では、M7.6本震からの表面波通過時の動的トリガリングに加えて、能登半島地震の約1週間後から地震活動が顕著に活発化し3週間ほど続いた。また、能登半島地震の南東約100 kmにある弥陀ヶ原火山では本震後30分ぶ起きたM4.0の地震を皮切りに24時間にわたってM0.1-M2.4の地震21個が群発的に起きた。能登半島地震がこの地点へ及ぼした静的応力変化は被誘発地震の深さに応じて40-70 kPa、表面波振幅は100 kPa超であった(An+, 2024)。

沈み込み帯でしばしば巨大地震に先行する長期静穏化現象について、南米地域で最近発生した3つの巨大地震(2010年M8.8Maule地震、2014年Mw8.2Iquique地震、2015年M8.3Illapel地震)に先行した静穏化域と本震のすべり量分布を比較したところ、静穏化域はいずれも本震の大すべり域の縁辺部に位置していた。本震の断層破壊は静穏化域で阻止され、走向方向の進展が停止したように見える(勝俣, 2024JpGU)。

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タイム解析において、エントロピーと発生順を逆転したときのエントロピーの差の標準偏差として定義される Λ_i (i はエントロピーを求めるのに使う窓に含まれるイベント数)は、系の状態の複雑度の指標になると考えられている(Sarlis+, 2015)。1984年から2023年11月までの気象庁カタログの日本周辺域(25-46N, 125-148E)のM3.5以上の地震すべてからなるナチュラタイム系列から $i = 2000, 3000, 4000$ の Λ_i の時系列を求めた(Varotsos+, 2024)。たいていの時期では $\Lambda_{2000} > \Lambda_{3000} > \Lambda_{4000}$ なのだが、この関係が崩れたという異常が3回あった。一つ目の異常は1993年3月8日から1994年7月24日までであり、2ヶ月半後の1994年10月4日にM8.2北海道東方沖地震が起きた。二つ目の異常は2008年6月14日から2010年8月5日まで、もしくは2010年12月22日のM7.8父島近海地震まで続いた異常で、父島近海地震の3ヶ月弱後に2011年3月11日M9東北

地震が起きた。三つ目の異常は、2022年10月27日から2023年6月27日までであり、その約6ヶ月後の2024年1月1日のM7.6能登半島地震が起きた。なお、この論文は2023年12月5日に投稿されており(ArXivあり)、そこでは三つ目の異常の成り行きについて注意深く見守ると述べており、出版された版には能登半島地震はこの三つ目の Λ_i の異常から予期されていたと書いてある。しかし、この論文の本来の主張は、出版された版のアブストラクトにも書いてある通り、 Λ_i の異常はM8.2以上の地震の前兆ということであり、実際、2015年5月30日のM7.9小笠原諸島西方沖深発地震には前兆らしき Λ_i のふるまいがなかったことも論じられている。したがって、2023年12月5日(ArXiv)時点で予測していたのは、解析領域のどこかで数ヶ月程度以内にM8.2以上の地震が起きるということであり、四角四面にとれば、M7.6である能登半島地震は予期されていた地震に該当しない。

ETASモデルによる地震予測は、最尤法で推定したパラメタによるモデルの確率的シミュレーションによるが普通であるが、使用するカタログが小さい場合などにはロバスト性に不安がある。そこで、ベイズ的なアプローチによる予測を試行した。南加のM7級の3つの地震(1992年Landers, 1999年Hector Mine, 2010年Baja California)について、それぞれ、本震の1ヶ月前の地震活動を学習して、8つのETASパラメタの事後分布を求め、それに基づいて本震後1ヶ月間の地震活動を確率予測してみた。結果は良好でCSEPのL-test、S-testに合格した。本震後1ヶ月間の地震数の予測は、Landers地震については、最尤法ETASによる予測と同じく過少評価となったが、残りの2件ではベイズETASが勝った。ベイズ推定ETASによる予測は、標準的な最尤法ETASによるものより予測幅が広い傾向にあるが、これは不確定性込みでパラメタを推定するベイズETASがロバストということでもある(Petrillo & Zhuang, 2024)。

ETASモデルと速度・状態依存摩擦構成則に基づく地震活動モデル(Dieterichモデル)は、余震活動のような誘発性において、その効果が「和」であるか「積」であるかという対照的な特徴を持つ。この両者を混合したモデルを、1960年代に生じた松代群発地震と2023年5月以前の群発性の強かった時期の能登半島北東部の地震活動に適用してみた。その結果、ETAS、Dieterichモデルそれぞれを単独で適用した場合に比べて、実際の地震発生時系列への適合度が良くなることが示された(Iwata, in press)。

ETASで利用する活動履歴の情報に震源深さも用いる3D-ETAS(Guo+, 2015)について、余震トリガリング効果の深さ方向へ影響範囲が、本震のマグニチュードに正依存するように改造した。カリフォルニアの主要な断層を含む600 km四方程度の広い範囲の1990年初頭-2023年末のM2以上の地震を用いて2000年以降の地震活動(地震数59,756個)をフィッティングしたところ、この改造によってAICが955改善した。得られたモデルによれば、研究領域での地震数に占める背景地震の割合は、深さが5 kmあたりでは約20%、深さ12 kmで約50%、深さ25 kmで約80%と深さに強く依存しており、これは、余震生性がこの範囲で約1桁、深さとともに低くなっていることに起因している。また、研究領域内の主要な断層の長期滑りレートが0.1 mm/年以上の部分では、背景地震レートが長期滑りレートの0.46乗に比例していることがわかった。また、地表でクリープがモニタされているサンアンドレアス断層の中央部では、クリープ速度と背景地震レートに正の相関がみつかった(Guo+, 2024)。

高緯度地方などで必要になる、地球の曲率を考慮した球面版のETAS (SETAS, Xiong & Zhuang, 2023)を、震源深さ情報も用いるように改造した3D-SETASを開発した。2000-2021年のアリューシャン-アラスカ地域 (46N-72N, 165E-230E)での深さ200 kmまでのM4以上地震活動に対する適用と比較したところ、3次元球面化によるフィッティングの改善が認められた。また、深さ情報を含めた余震トリガリカーネルの様々な要素への依存性に仮定した関数形は、この適用事例において実際の活動の様子をうまくモデリング・予測できていた。背景活動レートは期待通り沈み込み境界の3次元形状に沿って高く、深さそのものに強い依存性はなかった。いっぽう、浅部の活動では余震の占める割合が高いことが見いだされた。また、2013年頃から背景活動レートが有意に高くなるという結果が出たが、これは使用カタログにおいてM4-4.5の地震の取り漏らしが減ったことを反映しているにすぎない可能性が高い(Li+, 2024)。

CSEPは、時-空-マグニチュード空間でグリッド分割されたセルそれぞれに起きる地震の数や大きさを予測する実験であり、その評価スコアにはグリッドごとの振舞いが独立という前提のものも多い。点過程に対する尤度(比)関数がイベントの発生数、場所、時刻、大きさなどの各要素についての利得の積に分解できるという数学的考察から、これらのに関する予測の成績評価は全て尤度関数に基いて直接行えること示し、それらの値を正確に求める具体的な計算方法までをまとめた。さらに、その考察の延長により、セル間の活動の相関による利得への寄与も評価できることを示し、よって、グリッドに分割してそれぞれのグリッドの予測成績を独立に評価すると、セル間に相関がある場合にはそのぶん過大評価になることを指摘した。尤度関数は、時-空-マグニチュード空間のグリッド分割とは関係

なく定義されるものなので、予測性能の評価値は、その様々な要素ごとの利得への分解も含めて、グリッド分割などせず周辺尤度から直接求めればよいだけの話である(Zhuang, 2024)。

また、CSEPのテーマである業務的に日常からアップデートされる地震確率予測について、それを様々なエンドユーザーに提供する方法についての世界の取り組みをレビューした(Mizrahi+, 2024) おおむね計画通りに実施した。

・「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
有望な先行現象の新たな解析方法がいくつか提案され、2(2)イに貢献した。2011年M9東北地震に関して最近提案された直前2時間のMw6.9級preslipの存在を強く否定する証拠をみつけ、2(3)アに貢献した。2024年M7.6能登半島地震に関しては、複数の準平行断層にまたがった前震活動や非常に長い初期破壊過程を見い出し、2(3)ア、1(3)、5(4)に貢献した。ETASなど地震活動の確率予測モデルについては、モデルの様々な改良や検証が進んだだけでなく、その出力から、さらなる大地震の誘発可能性を算出する方法を開発した。また、b値を用いた大地震確率の短期予測について、大きな地震が発生した直後から、さらなる大地震の短期的な発生確率を迅速に自動更新評価する、実戦シーンを意識したスキームが提案され、短期予測が災害対応の意志決定を直接的に左右する可能性が現実的になった。これらは2(3)イ、5(4)および3(4)に貢献する。地震活動を用いて火山活動に関連した地殻状態の推移を追跡し、他の証拠から提案されている流体の役割と整合的な結果を得た。また、地震活動への応力変化への反応度によって地殻の状態を診断する研究を様々な時間スケールで行った。これらは、2(3)アおよび1(3)に貢献する。また、観測データ自体の質の評価や改良のための手法もいくつか開発された。いっぽう、最も出口側の貢献として、業務的に日常からアップデートされる地震確率予測のエンドユーザーへの提供についての世界的なレビューは、中短期予測業界が3(4)、4(2)のリスクコミュニケーションの問題を実務的なレベルで捉えていることを示す。

(8) 令和6年度の成果に関連の深いもので、令和6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

Naoi, M., K. Tamaribuchi, K. Shimojo, S. Katoh, and S. Ohyanagi, 2024, Neural phase picker trained on the Japan Meteorological Agency unified earthquake catalog, *Earth Planets and Space*, 76:150, doi:10.1186/s40623-024-02091-8, 査読有, 謝辞有

Kubo, H., M. Naoi, and M. Kano, 2024, Recent Advances in Earthquake Seismology using Machine Learning, *Earth Planets and Space*, 76:36, doi:10.1186/s40623-024-01982-0, 査読有, 謝辞有

Hirose, F., K. Tamaribuchi, A. Kobayashi, and K. Maeda, 2024, Relation between Earthquake Swarm Activity and Tides in the Noto Region, Japan, *Earth Planets and Space*, 76:37, doi:10.1186/s40623-024-01985-x, 査読有, 謝辞無

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*, in press, 査読有, 謝辞無

Hirose, H., A. Kato, and T. Kimura, 2024, Did short-term preseismic crustal deformation precede the 2011 great Tohoku-oki earthquake? An examination of stacked tilt records, *Geophysical Research Letters*, 51, e2024GL109384, doi:10.1029/2024GL109384, 査読有, 謝辞有

Ueda, T., A. Kato, C.W. Johnson, and T. Terakawa, 2024, Seasonal modulation of crustal seismicity in northeastern Japan driven by snow load, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 129, e2023JB028217, doi:10.1029/2023JB028217, 査読有, 謝辞無

Peng, Z., X. Lei, Q. Wang, D. Wang, P. Mach, D. Yao, A. Kato, K. Obara, and M. Campillo, 2025, The Evolution Process between the Earthquake Swarm beneath the Noto Peninsula, Central Japan and the 2024 M 7.6 Noto Hanto Earthquake Sequence, *Earthquake Research*

Advances, 5:100332, doi:10.1016/j.eqrea.2024.100332,查読有,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,查読有,謝辞無

Iwata, T., 2025, Mixture of linear and non-linear Hawkes processes and its application to real earthquake sequences, *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*, in press,查読有,謝辞無

An, L., B. Enescu, Z. Peng, M. Miyazawa, H. Gonzalez-Huizar, and Y. Ito, 2024, Dynamically triggered seismicity in Japan following the 2024 Mw7.5 Noto earthquake, *Earth Planets and Space*, 76:181, doi:10.1186/s40623-024-02127-z,查読有,謝辞有

Gulia, L., S. Wiemer, E. Biondini, B. Enescu, and G. Vannucci, 2024, Improving the Foreshock Traffic Light Systems for Real-Time Discrimination Between Foreshocks and Aftershocks, *Seismological Research Letters*, 95, 3579–3592, doi:10.1785/0220240163,查読有,謝辞無

Bantidi, T.M., T. Ishibe, G.M. Tuluka, and B. Enescu, 2024, Estimating spatio-temporal variable parameters of Epidemic Type Aftershock Sequence model in a region with limited seismic network coverage: a case study of the East African Rift System, *Geophysical Journal International*, 239, 882–900, doi:10.1093/gji/ggae299,查読有,謝辞無

An, L., F. Grigoli, B. Enescu, M. Buttinelli, M. Anselmi, I. Molinari, and Y. Ito, 2024, Offshore Fault Geometry Revealed from Earthquake Locations Using New State-of-Art Techniques: The Case of the 2022 Adriatic Sea Earthquake Sequence, *Seismological Research Letters*, 95, 2779–2790, doi:10.1785/0220230264,查読有,謝辞無

Takeda, Y., B. Enescu, M. Miyazawa, and L. An, 2024, Dynamic Triggering of Earthquakes in Northeast Japan before and after the 2011 M 9.0 Tohoku-Oki Earthquake, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 114, 1884–1901, doi:10.1785/0120230051,查読有,謝辞有

Petrescu, L. and B. Enescu, 2025, Seismicity of a relic slab: space-time cluster analysis in the Vrancea Seismic Zone, *Earth Planets and Space*, in press, doi:10.1186/s40623-025-02136-6,查読有,謝辞無

Poveda-Brossard, 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*, in press,查読有,謝辞無

Ishibe, T., T. Terakawa, A. Hashima, M. Mochizuki, and R. S. Matsu'ura, 2024, Can the Regional 3D Stress Field According to the Wallace–Bott Hypothesis Predict Fault Slip Directions of Future Large Earthquakes?, *Earth Planets and Space*, 76:26, doi:10.1186/s40623-023-01955-9,查読有,謝辞無

Guo, Y., J. Zhuang, and H. Zhang, 2024, Statistical modeling of 3D seismicity and its correlation with fault slips along major faults in California, *Earth and Planetary Science Letters*, 638:118747, doi:10.1016/j.epsl.2024.118747,查読有,謝辞無

Li, Y., J. Zhuang, S. Chen, Y. Guo, and Z. Xiong, 2024, A 3D spherical ETAS model: A case study in the Alaska-Aleutian region, *Seismological Research Letters*, 95, 3161–3173, doi:10.1785/0220230440,查読有,謝辞無

Nanjo, K. Z., Y. Yamamoto, K. Ariyoshi, H. Horikawa, S. Yada, and N. Takahashi, 2024, Earthquake detection capacity of the Dense Oceanfloor Network system for Earthquakes and Tsunamis (DONET), *Journal of Seismology*, 28, 787–810, doi:10.1007/s10950-024-10219-2,查読有,謝辞有

Iwata, D. and K. Z. Nanjo, 2024, Adaptive estimation of the Gutenberg-Richter b value using a

state space model and particle filtering, Scientific Reports, 4, 4630,
doi:10.1038/s41598-024-54576-x,査読有,謝辞有

楠城一嘉, 2024, 北海道・東北沖の地震サイズ分布(b値)の時空間変化, 地震予知連絡会会報, 111,
549-553,査読無,謝辞有

Zhuang, J., 2024, Earthquake predictability and forecast evaluation using likelihood based
marginal and conditional scores, Seismological Research Letters, 95, 3593-3603,
doi:10.1785/0220240256,査読有,謝辞無

Petrillo G., T. Kumazawa, F. Napolitano, P. Capuano, and J. Zhuang, 2024, Fluids-Triggered
Swarm sequence supported by a non-Stationary Epidemic-like description of Seismicity,
Seismological Research Letters, 95, 3207-3220, doi:10.1785/0220240056,査読有,謝辞無

Bernabeu A., J. Zhuang, and J. Mateu, 2024, Spatio-temporal Hawkes point processes: a review,
Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics,
doi:10.1007/s13253-024-00653-7,査読有,謝辞無

Mizrahi, L., I. Dallo, N. J. van der Elst, A. Christophersen, I. Spassiani, M. J., Werner, P. Iturrieta,
J. A. Bayona, I. Iervolino, M. Schneider, M. T. Page, J. Zhuang, M. Herrmann, A. J. Michael, G.
Falcone, W. Marzocchi, D. Rhoades, M. Gerstenberger, L. Gulia, D. Schorlemmer, J., Becker, M.
Han, L. Kuratle, M. Marti, and S. Wiemer, 2024, Developing, Testing, and Communicating
EarthquakeForecasts: Current Practices and Future Directions, Reviews of Geophysics,
62:e2023RG000823, doi:10.1029/2023RG000823,査読有,謝辞無

Liu Y., J. Zhuang, Y. Guo, C. Jiang, Q. Tain, Y. Zhang, and F. Long, 2024, Background and
clustering characteristics of recent seismicity in Southwestern China. Geophysical Journal
International, 238, 1291-1313, doi:10.1093/gji/ggae211,査読有,謝辞無

Si, Z., J. Zhuang, S. Gentili, C. Jiang, and W. Wang, 2024, A Bayesian merging of earthquake
magnitudes determined by multiple seismic networks, Seismological Research Letters, 95,
3221-3233, doi:10.1785/0220230404,査読有,謝辞無

Spassiani, I., G. Petrillo, and J. Zhuang, 2024, Distribution related to all samples and extreme
events in the ETAS cluster, Seismological Research Letters, 95, 3234-3242,
doi:10.1785/0220230324,査読有,謝辞無

Petrillo, G. and J. Zhuang, 2024, Bayesian earthquake forecasting approach based on the
Epidemic Type Aftershock Sequence model, Earth Planets and Space, 76:78,
doi:10.1186/s40623-024-02021-8,査読有,謝辞無

長尾年恭, 地震予知研究の最前線, Ocean Newsletter, 570, 6-7 https://www.spf.org/opri/newsletter/570_3.html, 2024.,査読無,謝辞無

Heki, K., M. Nakatani, and W. Zhan, 2024, Ionospheric Changes Immediately before the 2008
Wenchuan Earthquake, Advances in Space Research, 73, 4539-4545,
doi:10.1016/j.asr.2024.02.011,査読有,謝辞無

石辺岳男・寺川寿子・橋間昭徳・望月将志・松浦律子, 2024, 三次元広域応力場から将来発生する大
地震のすべり方向(すべり角)を予測可能か?, 地震ジャーナル, 78, 54-66.
<https://www.adep.jp/public/public.html>,査読無,謝辞無

楠城一嘉, 2024, 富士山直下で発生する低周波地震, 金属, 94, 44-46,
<https://www.agne.co.jp/kinzoku/kin1094.htm>,査読無,謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

直井 誠・溜瀧功史・大柳修慧・加藤慎也, 2024, 一元化震源データによる深層学習検測器の再学

習, Japan Geoscience Union Meeting 2024, SCG50-02

久保久彦・直井 誠・加納将行, 2024, 機械学習による地震学の牽引(招待講演), Japan Geoscience Union Meeting 2024, U12-03

弘瀬冬樹・溜渕功史・小林昭夫, 2024, 能登半島の群発地震活動と潮汐の関係: 2023年~2024年1月1日M7.6, Japan Geoscience Union Meeting 2024, U15-P17

Nagao, T., 2024, In memory of Professor Seiya Uyeda, founder of EMSEV Working Group (invited), Workshop on Electromagnetic Studies of Earthquakes and Volcanoes

Nagao, T., M. Kamogawa, K. Z. Nanjo, and M. Uyeshima, 2024, Multifaceted Monitoring Aimed At Improving The Accuracy of Eruption Predictions for Mt. Fuji Using Total Magnetic Field Observations and Seismological Matched Filters (invited), Workshop on Electromagnetic Studies of Earthquakes and Volcanoes

長尾年恭, 2024, 令和6年能登半島地震の衝撃 一将来の南海トラフ巨大地震との関係は一, 地震・津波のメカニズムを学ぶ, 静岡県立大学グローバル地域センター・新潟大学合同シンポジウム

An, L., B. Enescu, Z. Peng, and H. González-Huizar, 2024, Dynamically triggered seismicity in Japan following the 2024 Mw7.5 Noto earthquake, Japan Geoscience Union Meeting 2024, SSS04-06

Ishiyama, R., B. Enescu, E. Fukuyama, F. Yamashita, and K. Okubo, 2024, Development of a Modified Matched Filter Technique for Foreshock Detection in Large-Scale Laboratory Rock Friction Experiments, Japan Geoscience Union Meeting 2024, SSS05-19

Gulia, L., S. Wiemer, E. Biondini, B. Enescu, and G. Vannucci, 2024, The performance of the Foreshock Traffic Light System for the period 2016-2024, EGU General Assembly 2024, EGU24-6097, doi:10.5194/egusphere-egu24-6097

Ishibe, T., 2024, Toward Homogeneous Estimates of Seismicity During Historical Periods Using Felt Reports Documented in Historical Materials (invited), The International Workshop on Mega Earthquakes and Tsunamis — Progress in 20 Years since the 2004 Sumatra-Andaman Earthquake and Future Perspectives

西山昭仁・石辺岳男・片桐昭彦, 2024, 有感記録に基づく1802年享和佐渡小木地震の地震像の検討, 日本地震学会2024年度秋季大会, S10-03

石辺岳男・小川陽子・西條裕介・古村美津子・松浦律子, 2024, 震度点群データを用いた機械学習による震源推定の試みー歴史地震への適用可能性の検討ー, 日本地震学会2024年度秋季大会, S10-07

石辺岳男・小川陽子・木内亮太・西條裕介・古村美津子・松浦律子, 2024, 機械学習を用いた震度データからの震源推定の可能性検討, 第41回歴史地震研究会(木曾御嶽大会), O-11

原田智也・西山昭仁・石辺岳男, 2024, 歴史地震カタログに含まれる実在が疑わしい地震, Japan Geoscience Union Meeting 2024, SSS11-P13

勝俣 啓, 2024, 地震時大すべり域の縁辺部における地震活動の長期静穏化, Japan Geoscience Union Meeting 2024, SSS08-06

勝俣 啓, 2024, 2024年能登半島地震発生前の地震活動のNatural time解析, 日本地震学会2024年度秋季大会, 特別セッション令和6年能登半島地震, S22-04

Nanjo, K. Z. and T. Hori, 2024, Likelihood and unlikelihood of megaquake recurrence implied by earthquake size- distribution off the Japanese Pacific coast, 2024年度日本地震予知学会第11回学術講演会, 24-02

Nanjo, K. Z. and T. Hori, 2024, Frequency-magnitude distributions of earthquakes imply likelihood and unlikelihood of megaquake recurrence in Japan, AGU2024, S43F-07

堀 高峰, 楠城一嘉, 2024, 北海道・東北沖の地震のサイズ分布 (b値) の時空間変化: その後, 第244回地震予知連絡会

楠城一嘉, 行竹洋平, 熊澤貴雄, 2024, 伊豆東部の地震活動と地殻変動の解析について, 日本地震学会2024年度秋季大会, S09P-05

楠城一嘉, 熊澤貴雄, 井筒 潤, 堀 高峰, 長尾年恭, 尾池和夫, 2024, 2023年2月6日にトルコで発生したM7.8とM7.5の地震前後の地震活動について, 日本地震学会2024年度秋季大会, S09-26

Nanjo, K., 2024, Spatiotemporal Changes in Stress State Off the Coast of Hokkaido and Tohoku Districts, Japan, AOGS2024, SE04-A021

Nanjo, K. and T. Hori, 2024, Space and time changes in stress state and b-value off the coast of Tohoku and Hokkaido districts, Japan Geoscience Union Meeting 2024, SSS08-09

岩田貴樹・飯尾能久, 2024, 2016年鳥取県中部地震余震域における空間応力パターン推定, 日本地震学会2024年度秋季大会, S12-P01

(9) 令和6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: 2013-2022年の気象庁一元化震源データを用いて訓練したPhasenetおよびPhasenetNCの重み。
関連論文: Makoto Naoi, Koji Tamaribuchi, Kengo Shimojo, Shinya Katoh, Shukei Ohyanagi (2024) Neural phase picker trained on the Japan Meteorological Agency unified earthquake catalog, Earth Planet Space, 76, 150, doi:10.1186/s40623-024-02091-8. にて使用。

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7年度実施計画の概要:

機械学習による地震検測について、より大きなデータセットでの訓練ができるモデルアーキテクチャを検討する。

2016年のPF法の導入以降のカタログに含まれる手動処理されていない微小な地震に対する検測記録の活用によって、S-netなど2016年以降に導入されたネットワークにおける微小地震の検出性能を担保できるか検討する。

東北日本での次のメガスラスト地震の切迫性を評価するという観点から、様々なスロー滑りや地震活動からの知見を総合的に考察する。

大地震前後でのb値変化推定の様々な手法を比較する。

ETASモデルと摩擦構成則に基づく地震活動モデルを混合したモデルは、今のところ時間のみに依存するモデルだが、これに空間依存性を取り入れることを試みる。ETASモデル自体についても様々な改良・検証・応用を進める。

静的/動的な応力によるトリガリングの起きやすさを定量的に評価する手法を改良し、応力状態との相関を探す。

室内実験における地震サイクルのパターンや予測性を調査する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

中谷 正生 (地球計測系研究部門), 鶴岡 弘 (日本列島モニタリング研究センター), 加藤 愛太郎 (地震予知研究センター), 福田 淳一 (地震予知研究センター), 中川 茂樹 (日本列島モニタリング研究センター)

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（気象大学校）

（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