

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

（和文）断層破壊過程の解明と強震動予測に関する研究

（英文）Study on earthquake source rupture process and strong motion prediction

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 本課題の5か年の到達目標：

これまでの成果も踏まえつつ、本計画期間内及びそれ以前に発生した国内外の顕著な地震の断層破壊過程の解析を継続的に行う。特に、本課題では、地殻構造や応力場の不均質性と破壊過程との関係などを重点的に調査し、災害誘因の事前評価としては重要な強震動予測のための震源モデル設定に必要な地震シナリオ想定に有用な知見を得る。そのために必要な、震源インバージョン解析手法の改良や適用周波数帯域の拡張を目指すほか、他課題等でなされる地殻構造・地盤構造に関わる成果も活用し、動力的破壊シミュレーションから得られる知見なども参考にしながら、時空間的に複雑な断層破壊過程と震源域の強震動特性の関係解明のための研究を行う。

また、過去の地震の断層破壊過程の分析で得られた震源モデルから、平均的な地震像だけでなく、強震動予測に必要な各々の断層パラメータのばらつき（不確実性）を評価することのできる情報を抽出し、広帯域強震動予測に活用できる形で整理・提案することを目標とする。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

震源断層破壊の物理解明に加え、地震被害に係る強震動生成メカニズムの解明やその事前評価手法の高度化のために、強震記録等を用いて実際に発生した国内外の大～巨大地震の断層破壊過程を解析することで、時空間的に複雑な断層破壊過程と建物被害に直結する震源域の強震動特性の関係を明らかにする。震源断層の破壊過程の分析の観点としては、地殻構造や応力場の不均質性と破壊過程との関係などを重点的に調査し、災害誘因の事前評価としては重要な強震動予測のための震源モデル設定に必要な地震シナリオ想定に有用な知見を得る。その際は、平均的な地震像だけでなく、強震動予測に必要な各々の断層パラメータのばらつき（不確実性）を評価することのできる情報を抽出する。これには、現行計画以前の各課題等で蓄積されてきた解析結果も活用することができる。また、広帯域強震動予測のための震源モデル高度化のため、震源断層内の小スケールの空間不均質を適切に表現できる震源モデル化手法の開発を継続する。これらのために、より高度な解析手法の開発、波形インバージョンの適用周波数帯域の拡大や動力的破壊シミュレーションから得られる知見の導入等も視野に入れながら研究を進める。

本課題の研究期間内に新たに発生した地震についても、断層破壊過程の分析や特徴的な地震動の生成メカニズム解明を継続する。得られた震源モデルについては、他課題等の研究でも活用できるように、これまでと同様に成果の迅速な発信やデジタルデータの公開を推進する。

今後30年以内に高い確率での発生が予測されている南海トラフ地震を前にした、関西地方の内陸地震活発化の可能性（例：2018年大阪府北部の地震）も踏まえ、関西地方で観測される地震の震源特性や強震動特性を高精度に把握することを目指し、京都盆地及びその周辺地域の堆積層及び岩盤での広

帯域速度型強震計を中心とした強震観測を継続する。加えて、前計画期間以前から観測・収集している強震波形記録の適正な保管、整理、利活用を行う。また、定常・機動的強震観測や微動観測のための観測機材維持と利用も適切に行う。

以上の研究実施に際しては、関係する大学院生の協力も得ながら実施する。

令和6年度：強震記録等を用いた断層破壊過程と強震動生成メカニズムの解析（手法改良も含む）、過去の地震の震源モデル収集と整理、強震観測の維持管理、過去の強震記録の整理保存方法の検討

令和7年度：強震記録等を用いた断層破壊過程と強震動生成メカニズムの解析（手法改良も含む）、断層破壊過程と地殻構造不均質等の比較、強震観測の維持管理、過去の強震記録の整理保存方法の検討の継続

令和8年度：強震記録等を用いた断層破壊過程と強震動生成メカニズムの解析（手法改良も含む）、断層破壊過程と地殻構造や応力場不均質等の比較、強震観測の維持管理

令和9年度：強震記録等を用いた断層破壊過程と強震動生成メカニズムの解析（手法改良も含む）、断層パラメータのばらつき評価、強震観測の維持・管理

令和10年度：強震記録等を用いた断層破壊過程と強震動生成メカニズムの解析（手法改良も含む）、断層パラメータのばらつき評価継続、本研究課題の成果を踏まえた強震動予測のための震源モデル設定法の整理と提案、強震観測の維持管理

## (7) 令和6年度の成果の概要：

### ・今年度の成果の概要

時空間的に複雑な断層破壊過程と地震被害に直結する震源域の強震動特性の関係解明やその事前評価手法の高度化や震源断層破壊の物理解明のため、強震記録を用いた大地震の断層破壊過程の解析を、前計画（課題番号DPRI09）より引き継いだ。令和6年度は主として、前計画の最終年度内の2023年5月5日に能登半島で発生した地震（ $M_{JMA}$  6.5）及び2024年1月1日に発生した令和6年能登半島地震の本震（ $M_{JMA}$  7.6）の断層破壊過程の解析とそれらの結果の検討を重点的に行った。2023年5月5日の地震については、三次元速度構造モデル（JIVSM）によるGreen関数を用いた震源インバージョン解析結果（使用した強震波形の帯域0.05～1 Hz）では、深さ8～11 kmの範囲に最大すべり量0.8 mのすべりの大きな領域が見られている（前計画令和5年度成果で報告済；Asano and Iwata, 2025）。この最終すべり量分布とMatsubara et al. (2022)の走時トモグラフィによる不均質地殻速度構造を比較したところ、すべりの大きい領域と低 $V_p/V_s$ 比の領域が空間的に対応し、すべりの大きな領域の周囲は比較的高い $V_p/V_s$ 比の領域で取り囲まれていることが分かった（図1）。2024年能登半島地震本震については、地震後に各機関から公表されている余震分布や海域活断層分布などの情報をもとに、傾斜角が深さで異なる断層も含む複数の断層面で構成される震源断層モデルを仮定し、強震波形（0.03～0.4 Hz）による震源インバージョン解析を実施した結果、能登半島北西岸付近と禄剛崎北東沖海底下の2カ所にそれぞれ最大8m程度のすべりの大きな領域が存在することが分かった。富山トラフ西縁付近の西傾斜の断層では、浅部にすべりの集中が見られるものの、すべり量は他の断層面に比べると相対的に小さかった。それぞれのすべりの強震波形への寄与を確認したところ、能登半島北西部～南部にかけて観測された強震波形には、能登半島北西岸沿いの震源断層を南西に向かって進展した破壊の寄与が支配的であった。一方、能登半島北東部の珠洲市や佐渡島の強震波形には、珠洲市付近から北東沖に向かって遅れて開始した破壊の寄与が大きいことが確認された。なお、2023年5月5日の $M_{JMA}$  6.5の地震の断層破壊過程については、査読論文として投稿中であり、令和6年度中または令和7年度初頭での出版公表を目指している。

動力的破壊特性と強震動生成メカニズムの関係に関する知見を得るため、海外での先行研究を参考にしつつ、強震波形記録を用いた動力的震源インバージョン手法の解析コードの開発を進めた。すべりの時空間分布を未知数として解く運動学的震源インバージョン解析と異なり、動力的震源インバージョンでは、震源断層面上の初期せん断応力、ピーク摩擦係数、臨界すべり量の空間分布をMCMC法によって解く。平成28年熊本地震の最大前震（ $M_{JMA}$  6.5）を模擬したテスト用動力学震源モデルから生成した波形データを入力して、手法のテスト及び改良を実施した。その結果、断層が破壊し地震波を放射した領域については、与えた動力的震源パラメータを一定の精度で復元できることを確認した。一方、既往の研究でも指摘されていることではあるが、限られた周波数帯域の波形から臨界すべり量を精度よく拘束することは相対的に難しいことを確認した。

関西地方で観測される地震の震源特性や強震動特性を高精度に把握することを目指した、京都盆地

及びその周辺地域の堆積層及び岩盤での広帯域速度型強震計を中心とした強震観測を継続し、強震波形記録を収集・整理した。このうち、令和5年6月に教育活動を終了した京都市立塔南高等学校吉祥院校地（京都市南区）に設置されていた強震観測点について、跡地への京都市学校給食センター（仮称）の建設がPFI事業で実施されることとなったため、令和7年2月末で広帯域速度型強震計による観測を終了し、地震計等を撤収した。炭山観測室（宇治市）は、令和7年1月初めに加速度型強震計の観測を終了し、令和7年度に観測室建物を解体する予定である。定常・機動的強震観測や微動観測のための観測機材については、データ収録装置のGPS時計のロールオーバーに対応するためのファームウェアの更新、収録装置の内蔵鉛蓄電池や地震計の電源ユニットの交換など、適切な維持管理を実施した。連続記録を学内ネットワーク経由でリアルタイム受信している京都大学宇治構内及び京都大学百周年時計台記念館で観測された有感地震の波形記録はホームページで公開している。

また、前計画期間以前から観測・収集している強震波形記録の適正な保管、整理、利活用についても検討を進めた。平成7年兵庫県南部地震以前に京都大学防災研究所旧地震動研究部門によって大阪平野や滋賀県などに設置され、同地震の貴重な本震記録等が得られているものの、現在は廃止されている強震観測点の観測波形記録については、観測点情報が当時の日本測地系で記録されているため、世界測地系への変換と併せて、地理院地図や写真情報などを用いて、当時設置されていた観測点の正確な位置を特定し直すことで、観測点座標の位置精度の見直し作業を進めた。

以上の通り、概ね計画に沿った進捗が得られた。

・「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

建議の項目「3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究 (1) 地震の災害誘因の事前評価手法の高度化 ア. 強震動の事前評価手法」における「地震被害を起こしうる大地震や巨大地震の震源特性を強震記録等により解析し、時空間的に複雑な断層破壊過程と震源近傍の強震動特性の関係を明らかにする。また、過去の地震の断層破壊過程の分析で得られた震源モデルから、将来発生する地震の広帯域強震動予測のための震源モデル設定に有用となる情報を抽出する」に直接的に貢献することを目指した課題である。令和6年度は能登半島で発生した大地震について、時空間的に複雑な断層破壊過程と震源近傍の強震動特性の関係を明らかにしたとともに、断層破壊過程と地殻速度不均質構造の関係を検討することで、将来発生する地震の広帯域強震動予測のための震源モデル設定に有用となる情報を抽出するための知見のひとつを得た。引き続き、多くの大地震の断層破壊過程について、このような検討事例を蓄積・整理していくことで、地殻内の断層面上のどのような場所がアスペリティ（強震動生成域）の候補になり得るかの知見を獲得し、災害の軽減に不可欠である将来発生する地震を想定した強震動予測の不確実性を抑えることに繋がると期待できる。

(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

浅野公之, 2024, 令和6年能登半島地震の地震動, 日本地震工学会誌, 52, 6-9, 査読無, 謝辞無

浅野公之, 2025, 内陸地震の地震ハザード評価のための震源像の理解, 日本地震学会広報誌なるふる, 140, 4-5, 査読無, 謝辞無

Asano, K. and T. Iwata, 2025, Source Rupture Process of the Mw 6.2 Earthquake in the Noto Peninsula, Central Japan, on May 5, 2023, Earth Planets Space, revision in review, 査読有, 謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

浅野公之・岩田知孝, 2024, 強震波形による2024年能登半島地震の震源破壊過程, 日本地球惑星科学連合2024年大会, U15-P20.

浅野公之・岩田知孝, 2024, 2024年能登半島地震（M7.6）の強震動と震源過程, 日本地震学会2024年秋季大会, S22-07.

宮本 英・浅野公之・岩田知孝, 2024, 強震動生成メカニズムの理解に向けた動的震源インバージョン

手法の性能検証, 日本地震学会2024年秋季大会, S15-10.

浅野公之, 2024, 令和6年能登半島地震の震源モデル, 第52回地盤震動シンポジウム, pp. 3-12.

Asano, K. and T. Iwata, 2024, Source Rupture Process and Its Strong Ground Motions During the 2024 Noto Peninsula Earthquake, Japan, AGU 2024 Fall Meeting, N51B-05.

Miyamoto, T., K. Asano, and T. Iwata, 2024, Investigation on Generating Mechanisms of Strong Ground Motion through Dynamic Source Inversions, AGU 2024 Fall Meeting, S41G-3393.

(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 : 地震 : 地震 : 強震動地震観測

概要 : 広帯域速度型強震計または加速度型強震計による強震観測。トリガー観測が主体であるが、一部観測点は連続観測。

既存データベースとの関係 :

調査・観測地域 : 京都府宇治市・京都市 34.91014 135.80216

調査・観測期間 : 昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況 : 公開留保中 (協議のうえ共同研究として提供可) <https://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/kyoto/>

(10) 令和7年度実施計画の概要 :

令和6年度に引き続き、令和6年能登半島地震本震 ( $M_{JMA}$  7.6) などの詳細な断層破壊過程の解析を継続するとともに、他の地震の既往の解析結果の収集・分析もあわせて、震源断層での破壊過程と地殻構造や応力場の不均質性との関係などについて系統的な分析を進める。断層破壊過程の解析手法の高度化の一環として、動力的震源インバージョンの開発を継続する。京都盆地及びその周辺地域の堆積層及び岩盤での広帯域速度型強震計を中心とした強震観測を継続する。過去の強震波形記録の情報整理や利活用方法の検討を継続する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

浅野公之 (京都大学防災研究所), 関口春子 (京都大学防災研究所)

他機関との共同研究の有無 : 無

(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 : 京都大学防災研究所地震災害研究部門強震動研究分野

電話 :

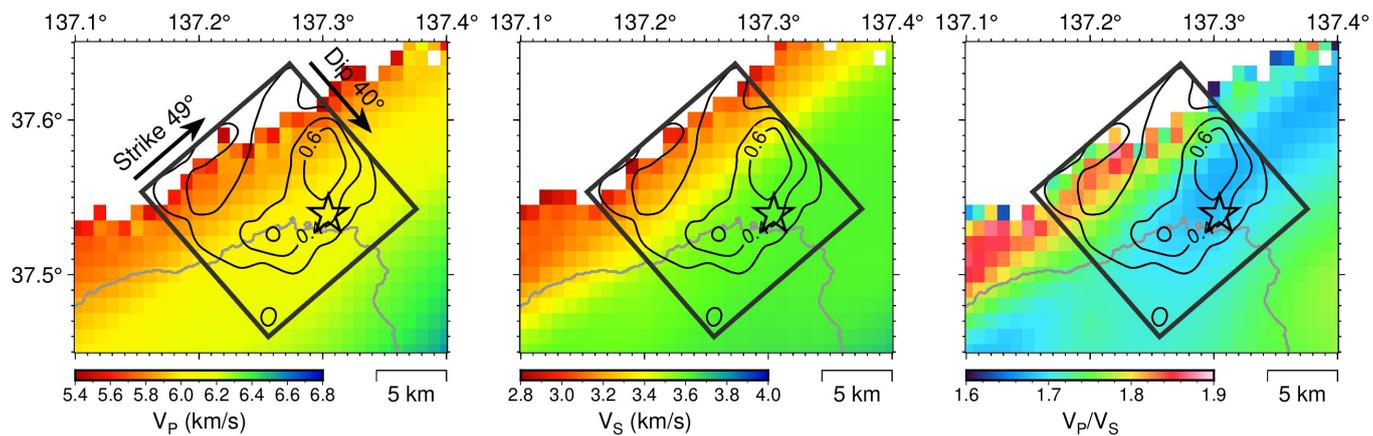
e-mail :

URL : <https://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 浅野公之

所属 : 京都大学防災研究所地震災害研究部門強震動研究分野



2023年5月5日能登半島の地震 ( $M_{JMA}$ ) の最終すべり量分布とMatsubara et al. (2022)の速度構造モデルから抽出したP波速度 (左)、S波速度 (中)、 $V_P/V_S$ 比 (右) の比較