

(1) 実施機関名：

東京大学理学系研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

（和文）階層性破壊すべりモデルの高度化と高速低速地震予測への活用

（英文）Hierarchical earthquake modeling for fast and slow slip process

(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

ア. 地震発生の物理モデルに基づく予測と検証

(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

イ. 観測データに基づく経験的な予測と検証

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

(1) 南海トラフ沿いの巨大地震

6 観測基盤と研究推進体制の整備

(4) 国際共同研究・国際協力

(6) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 令和5年度までの関連する研究成果（または観測実績）の概要：

「地震発生場のテクトニクスとマルチスケール地震現象の予測可能性」

本研究では、階層的な地震現象のイメージング手法として、規模の違う地震の波形の立ち上がりの比較、地震発生帯における階層構造の破壊開始点とセントロイドを使った定量化を行った。これらの手法を用いて、ある地域で階層的なパッチが相互作用しながら破壊を繰り返すという地震の基本的な震源の性質を解明した。また階層性の乏しい現象として、スロー地震に注目し、その様々な分析手法を開発した。基本的なテクトニック微動の検出震源決定ツール、複雑な微動波形から単純な波形を抽出する手法、微動活動の地域的な特徴抽出のための統計的標準モデルなどである。これらを用いて地域的な微動活動の特徴抽出と将来の活動予測実験を行った。

データ分析から得られる階層構造を説明する数値モデルの開発も行った。階層間のカスケードアップ可能性の伝播速度依存性を調べたり、階層構造を持つ地震発生帯における地震サイクルシミュレーションを行った。

地震とスロー地震を比較しながら研究することで、普通の地震が持つ階層性の意味を明らかにすることができた。最終年度のまとめ的な成果として、スロー地震と普通の地震は何が違うか？という論文を執筆し、両者が異なる物理プロセス（波動と拡散）であることを指摘した。地震研究者にとって地震は普通の現象だが、地球内部の変形プロセスとしては、珍しいものであることを示した。

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地震の始まりはプレスリップモデル、カスケードモデルの2つのエンドメンバー、もしくはその中間的なモデルで表されるという認識が確立されようとしている。とくにカスケードモデルでは、最終的

な巨大破壊に至る過程で、階層的構造を破壊していくプロセスの理解が重要である。

一方、地震発生場に固有な性質があるという認識も広まり、繰り返し地震の特徴や予測についての研究が進歩している。但し単純な孤立的繰り返し地震だけを対象にしては、理解には限界がある。

より複雑な、階層性のある繰り返し地震の理解を進めなければいけない。

当グループは、階層的破壊すべりの特性化において、世界の研究をリードしてきた。また近年階層性のある、準繰り返し地震というべき現象の詳細な分析法に道を拓いた。それでも発見から約20年たつスロー地震などの低速すべり現象は、現在の特性化の枠組みに含まれていない。これは地震準備プロセスのうちプレスリップモデルと特に深いかわりを持つ現象であり、いかに階層的破壊モデルに取り込むかが、重大な懸案となっている。

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）では、特に地震発生の物理モデルに基づく予測と検証において、階層的構造の解明が重要テーマに掲げられている。そこで本課題では、階層的破壊すべりモデルの高度化と適切に低速すべりを取り込む方法論、およびそれを用いた地震現象の将来予測手法を目的とした研究を行う。

#### (7) 本課題の5か年計画の概要：

地震の破壊には、ある程度の規則性がある。単純な繰り返し地震はその極端な例であり、最近は繰り返し地震の中に含まれる階層的な構造を使って、大小様々な地震が中途半端に繰り返す例（準繰り返し地震）も知られるようになってきた。本研究室では、これまでOkuda and Ide (2018)やChang and Ide (2021)によって、階層的構造の特性化手法を開発してきた。この手法を高度化すること、および他の地域に適用することによって、地震発生場の階層性の特徴把握を進める。すでに研究が進んでいる東北沖地域を中心に手法の改良と適用を進めるとともに、同じような手法を日本ほど十分なデータがない世界の他地域に適用するため方法論を明らかにする。具体的作業には、大量の地震・測地データを効率よく利用するためのデータベースの再構築も含まれる。

階層的構造のカスケード的破壊モデル化の高度化を進める。Ide and Aochi (2005)の基本モデルIA05を、様々な摩擦法則と計算条件のもとで、現実的な地震サイクル計算できるように拡張する。その際、背景領域にスロー地震の影響を取り込む。東北沖では階層的破壊とスロー地震が近接し、一種の相互作用が期待される。上記データ分析の拡張によって、相互作用の特徴抽出をし、それを階層的破壊すべりモデルで再現するためのモデル改良を行う。

将来予測については、これまでに単純な繰り返し地震への確率的予測モデルがあり、スロー地震についてもIde and Nomura (2022)がプロトタイプ的なモデルを開発している。これらのモデルを改善するとともに、階層的破壊すべりである、準繰り返し地震の確率的予測のためのモデル開発を行う。開発したモデルを実際の現象に適用し、リアルタイムで予測結果を更新できるシステム開発を行う。

年次計画：

令和6年度 東北沖地域を中心としたデータ分析、IA05の拡張、既存データベースの再構築

令和7年度 海外データも含めたデータ解析、IA05拡張モデルの適用、予測モデルの整備

令和8年度以降 データ解析の高度化・多様化、IA05拡張モデルによる予測、リアルタイム化

#### (8) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

井出哲（東京大学大学院理学系研究科）

他機関との共同研究の有無：無

#### (9) 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：

電話：

e-mail：

URL：

#### (10) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：井出哲

所属：東京大学大学院理学系研究科