

(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) 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。

(6) 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

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

(7) 令和7年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本年度は、昨年以來進めている地震発生場の階層的構造分析、およびIde & Aochi (2005, IA05)モデルを用いたサイクル計算の研究とりまとめを行った。前者では、北海道から関東までの日本海溝沈み込み帯のM3.5-5の繰り返し地震に対して、Chang and Ide (2021)を用いた震源とセントロイドの同時推定を行った。結果、多くの地震について破壊伝播は、沈み込み帯の深部方向への顕著な方位依存性を示す。これは固有構造が沈み込み方向へ伸びていること、および多くのモデルで仮定されるような深部からの核形成は支配的でないことを示唆する。結果はScience Advancesに投稿、審査中である。後者では三陸沖をターゲットとした、IA05モデルの準動的地震サイクルシミュレーションの結果をJournal of Geophysical Research誌に投稿した。主な結論としてはGR則を満たすイベントの再現と、ほとんどの地震が小地震からのカスケードアップで発生することなどが含まれる。また新たに、P波初動からの地震規模の予測可能性について、気象庁緊急地震速報にも取り入れられているB-delta法の検証も含めた分析を行った。P波初動は動的応力降下量を表し、初めの動的応力降下量の大きな地震は、最終的にも応力降下量が大きい傾向があることを示した。この成果はEarth, Planet and Space誌にて出版された。別の新たな試みとして、沈み込み帯におけるGR則のb値が、断層傾斜角に強く依存することを発見し、それが断層方向と応力場方向の一致度で説明できることを示した。

・「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

2-(2)-ア. 地震発生物理モデルに基づく予測と検証、に対しては地震発生場の階層性がカスケード的地震成長を生み出すことと、沈み込み帯では方位依存性がみられることを明らかにできた。また動的応力降下量は、破壊成長中の地震の性質をある程度規定することを明らかにし、限定的予測可能性を明らかにした。1-(3)地震発生過程の解明とモデル化、に対しても基礎的なモデル構築は役立つ。また6-(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、に対しては東京大学における地震物理学の講義、地球物理学観測実習における自然地震観測実習を中心に貢献した。

(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

Ide, S., & Yoshida, K. (2026). Predictable and unpredictable aspects of earthquakes from P-wave onsets of acceleration seismograms. Earth, Planets and Space.

・学会・シンポジウム等での発表

井出 哲・吉田 圭佑, Predictable and Unpredictable Aspects of Earthquakes from P-wave Onsets: Vigorous Ruptures Finish Quickly, JpGU2025, SCG45-01

中田 令子・堀 高峰・青地 秀雄・井出 哲, Foreshocks, mainshocks, and aftershocks in multi-scale circular patch model of quasi-dynamic numerical simulation of earthquake generation cycle, JpGU2025, SCG45-P46

井出 哲・古市 幹人・佐藤 大佑, 超巨大地震はなぜ超低角断層で起きるのか?, 日本地震学会2025年度秋季大会, S08-13

中田 令子・堀 高峰・青地 秀雄・井出 哲, 4階層の円形パッチモデルを用いた長期的な準動的地震発生サイクルシミュレーション, 日本地震学会2025年度秋季大会, S08-20

中田 令子・堀 高峰・青地 秀雄・井出 哲, マルチスケール円形パッチモデルを用いた準動的地震発生サイクルシミュレーション, 日本地震学会2025年度秋季大会, S08-21

(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:

(10) 令和8年度実施計画の概要:

現在とりまとめを行っている地震発生場の階層的構造分析、およびIde & Aochi (2005, IA05)モデルを用いたサイクル計算の研究について、論文を出版させる。また沈み込み帯におけるGR則のb値の傾斜角依存性について、研究とりまとめを行うとともに、この観察を一般化するための分析を、世界の他地域で行う。これらの分析結果から、階層性を持つ断層における破壊成長可能性を定量化するモデル開発を行う。

(11) 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

(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:
電話:
e-mail:
URL:

(13) 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