

(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。東北沖では階層的な地震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6年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本年度は、地震発生場の階層的構造の特徴的手法の開発と適用、およびIde & Aochi (2005, IA05)モデルのサイクル計算への拡張を重点的に行った。前者では、Chang and Ide (2021)の手法を東北地方全域に適用し、繰り返し地震を含む約40の領域において、震源とセントロイドの同時推定を行った。多くの地域で震源、セントロイドはそれぞれが集中的に起きる場所が限られており、震源破壊プロセスの限定的予測可能性を示す。また海外データへの適用に向けて、カリフォルニアの地震について、Ide (2019)のように大きさの異なる地震が同じ波形を持つ例を調査した。後者では、三陸沖をターゲットとして、過去の地震履歴に基づいて4階層の円形パッチの分布を仮定し、IA05のルールに基づいてそれぞれのパッチにパッチサイズに依存したDcを持つすべり弱摩擦則を与える。このシステムに一定のローディングを与えて、準動的な地震サイクルシミュレーションを行った。このシステムではM6弱からM8までの様々なサイズが発生し、M8の地震はほとんどがM6以下の地震をパッチのどれかから始まる。一方で内部に多数の階層性を持っていても、巨大パッチが孤立して存在する場合には、その周期は小スケールの不均質にあまり影響されない。これらの研究成果は現在公表に向けて準備中である。このような階層的な地震破壊プロセスまで含む、包括的な地震の震源についての教科書として、講談社より「地震学」の書籍を刊行した。その他、国内の地震波形データの整頓を行った。概ね計画通りの成果が出た。

・「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. 地震発生の物理モデルに基づく予測と検証、に対しては地震が空間的に一定の予測可能性を持つことを階層的な地震発生についてのデータ解析とモデルから明らかにすることができた。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、に対しては震源の物理プロセスについての体系的な教科書を出版したことが大きく貢献する。同教科書は予測の現在についても解説しており、災害の軽減への地震研究の貢献可能性について触れている。沈み込み帯における地震発生地域の階層的特性の理解は、将来の地震シナリオ構築へ貢献する。

(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

井出哲, 地震学, 講談社, ISBN-10:4065356393, 査読無, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

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で得られた大地震の繰り返し, 日本地震学会秋季大会, S08-20

(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:

(10) 令和7年度実施計画の概要:

本年度に基本的な分析や計算が終わっている、東北地方全域へのChang and Ide (2021)の適用、カリフォルニアにおけるIde (2019)の適用、IA05を用いた地震サイクルシミュレーションについて、取りまとめて論文公表を行う。階層的構造を特徴づけるための統計学的計算手法を検討する。地震の初期データから地震プロセス全体の何を予測できるか、階層的構造を念頭に分析する。階層性を用いた確率予測モデルのプロトタイプを開発する。

(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