

(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：

動的破壊と非地震性すべりの不均質性とスケール法則の解明

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

(3-2) 地震破壊過程と強震動

ア．断層面の不均質性と動的破壊特性

(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：

本課題は地震の動的破壊時及び非地震性滑り進行時における不均質性の特徴とそのスケール依存性、摩擦と破壊の素過程との対応の解明を長期的目標としている。5 か年の現実的目標は(1) 地震破壊の不均質性を解明するためのデータ解析手法の改良及び適用例の増加、(2) 断層近傍観測の成功と分析、(3) 非地震性滑りの新たな特徴の発見、及び(4) 地震性・非地震性滑りの統一モデルのためのプロトタイプの開発である。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度は 5 か年計画の基礎となる研究体制を整備する。特にマルチスケール断層滑りインバージョン法の計算コードを一般に利用しやすいように整備する。パークフィールド地域での地震解析例を増やし、その結果を基に地震破壊成長のスケールリングを議論する。また、ネットワーク相関震源決定法のコードを整備し、東海から四国までの全域の低周波地震に適用する。世界の微動活動の比較のためのデータの収集を始める。平成 22 年度は新たな断層滑りインバージョンモデルの追加と深部低周波地震の地震活動の定量化を重点的に行う。世界各地の微動データの収集も続ける。南アフリカ金鉱山の断層近傍の地震計で強震が観測された場合にはデータから破壊伝播速度を推定する。平成 23 年度にも新たな断層滑りインバージョンモデルの追加と深部低周波地震の地震活動の定量化を行う。深部低周波微動の時系列の統計的な特徴を明らかにし、世界各地の微動データをプロトタイプモデルである 1 次元ブラウン運動地震モデルと比較する。平成 24 年度には断層滑りインバージョンモデル、深部低周波地震、微動の分析結果をもとに地震性・非地震性滑りの統一モデルのプロトタイプ開発を始める。平成 25 年にはこのモデルのプロトタイプを完成させる。

(7) 計画期間中(平成 21 年度～25 年度)の成果の概要：

H21 年度は米国パークフィールド地域の微小地震について経験的グリーン関数法を用いた滑りインバージョンを行い、それを過去のマルチスケール断層滑りインバージョン法の結果と比較し、地震破壊過程のスケールリングを議論した。小規模から大規模までの地震の破壊過程は自己相似的な破壊成長モデルと整合的であり、動的破壊がスケールに依存せずに成長することを示唆する。非地震性滑りの研究では、深部低周波地震について全国的にネットワーク相関震源決定法を用いて震源再決定を行った。東

海から、紀伊半島をへて四国まで、すべての地域において再決定された震源は面状の分布を示し、その傾斜は地域的な海洋モホ面の傾斜角と良い相関を示した。これらの地震がプレート面上の滑り運動であるという仮説を裏付ける証拠がまた増えたことになる。世界の微動活動の比較研究の手始めとして南海沈み込み帯と同様に研究の良く進んだカスケード沈み込み帯の地震データを収集し、南海とカスケードの微動の時間関数の比較から両者が異なる時定数を持つことを示した。

H22年度はこれまで行ってきた2つの研究を完了することができた。一つは米国パークフィールド地域の微小地震を題材とした地震破壊過程スケールリングについての研究で、解析結果の信頼性評価などを行い、M2からM6までの地震を統一的な手法で分析した結果、地震破壊成長が自己相似的スケールに依存しないことが示唆された。もうひとつは深部低周波地震についてのネットワーク相関震源決定法を用いた震源再決定の研究である。震源位置とプレート境界の位置についての詳細検討を修正し2011年1月に掲載された。これらの深部低周波地震がプレート境界近傍のごく狭い領域で発生していることがわかった。新しいデータ解析のために世界中の地震波記録の収集を開始した。

H23年度には2011年3月11日発生した東北地方太平洋沖地震（東北沖地震）の発生を受けて、地震の震源プロセスを解明すべく波形インバージョンを実施した。地震は(1)初期破壊(2)40秒までの深部高周波破壊(3)60-70秒を中心とした海溝近傍の破壊(4)100秒前後での深部高周波破壊に分けられることを同定した。海溝での破壊が動的過剰す引き起こし、沈み込み帯の応力状態を反転させたことも明らかになった。また沈み込み方向への顕著な方位依存性を明らかにし、エネルギーの推定を行った。その結果、この地震が通常の意味での「津波地震」には該当しないものの海溝での破壊が単体で起きれば津波地震的だったことが示唆された。東北沖地震についてさらに研究を進め、このような破壊プロセスの複雑さを説明するためにIde and Aochi (2005)のマルチスケール断層モデルを用いた震源のモデル化の予備的解析も行った。特に海溝での大きな破壊が60-70秒後に発生したということは単純な一つの破壊単位では説明できず、破壊開始点から階層的に破壊が連鎖するプロセスが必要であることを示した。世界の微動についての研究は日本、カスケード、メキシコ、チリ、ニュージーランドについて行った。

H24年度は東北沖地震の複雑な破壊プロセスを動的破壊モデルで説明するために、Ide and Aochi (2005)の階層パッチモデルのパッチ表現を具体的に東北のプレート境界に設定した。この地域の過去の地震の一つ一つがサイズに比例した一定の破壊エネルギーを持つパッチに相当するとしてパッチの空間分布を仮定する。さらに浅部に同じ比例則に従って大きなパッチを仮定し、破壊開始点から動的破壊を開始させると、ほぼ4つのステージを再現できる。東北沖地震の地震破壊成長はこのような破壊エネルギーの階層的不均質性で説明できることがわかった。同様の手法は比較的大きな地震の過去の活動がわかっている他の地域について、動的地震破壊シナリオ作成のために適用可能である。世界の深部テクトニック微動についての研究では、九州とニュージーランドの微動についてカタログを整備した。またメキシコGuerrero地域、台湾でもデータを入力し微動の検出が可能であることを確認した。

H25年度は東北沖地震適用したIde and Aochi (2005)の階層パッチモデルの論文を出版し、研究を完了した。さらに同様の手法が、北海道地域での動的地震活動をモデル化するために使用できるか検討した。階層パッチモデルに関する一連の研究をまとめ、その地震予測研究における意義付けを行った。深部テクトニック微動・地震の多様性についての研究ではこれまで収集した全世界の微動記録をもとに、微動の発生時系列の解析から沈み込み帯内、および沈み込み帯間での微動活動の特徴を定量化した。微動の発生様式は地下の構造不均質を反映したものであることが分かった。

- (8)平成25年度の成果に関連の深いもので、平成25年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
Ide, S., and H. Aochi, Historical seismicity and dynamic rupture process of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Tectonophysics*, 600, 1-13, doi:10.1016/j.tecto.2012.10.018, 2013.

- (9)実施機関の参加者氏名または部署等名：
井出哲・内出崇彦(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：有
中谷正生・三宅弘恵（東京大学地震研究所）

（10）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先
部署等名：東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻
電話：03-5841-4281
e-mail：
URL：<http://www.eps.s.u-tokyo.ac.jp/index.html>

（11）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地球惑星科学専攻