

論文審査の結果の要旨

氏名 矢部 優

沈み込み帯のプレート境界面上では、様々な規模の普通の地震に加え様々な種類のスロー地震を含む多様な地震現象が隣接・混在して発生する。このため、沈み込み帯全体の歪蓄積・解放過程を理解するためには、地震現象の多様性を生じる震源物理を理解することが必要である。本論文では、スロー地震のひとつである深部低周波微動のカタログを用いてその潮汐応答性を解析し、結果として得られた摩擦不均質断層モデルについて、数値計算によりその滑り挙動を明らかにした。この結果は、多様な地震現象の震源物理の理解を進めるうえで、重要な貢献を果すものとして評価される。

本論文は5章からなる。第1章はイントロダクションであり、スロー地震を中心とした断層滑り現象の多様性について、観測研究及びモデル研究の両面からレビューを行なうとともに、論文提出者がこれまでにこなしてきたスロー地震に関する研究（筆頭論文4、共著論文5）を概観したうえで、今後の課題及び本論文の位置づけが述べられている。

第2章は、西南日本や Cascadia における深部低周波微動活動と潮汐応力との比較から、応力が高いほど時間当たりの微動発生数が指数的に高くなることを見出した。その潮汐応答性と、微動のパルス幅や振幅の空間分布と比較したところ、相関関係の存在が明らかになった。また、特に Cascadia では、振幅の大きな微動が発生する場所ほど、微動活動後半に潮汐応答性が上昇する。これらの結果は、プレート境界面上の摩擦則が速度状態依存摩擦則であることを示唆し、断層面上の摩擦パラメータが不均質であるというモデルと定性的に調和すると解釈された。

第3章では、上記の結果を受け、不均質摩擦分布を示す速度状態依存摩擦則に従う断層における滑り挙動を最も単純な系で数値的・解析的に調べた。外的応力载荷が無い場合、速度弱化域の占める割合によって挙動が変化し、その割合が小さいときは速度弱化域内で stick slip が生じるのに対し、割合が大きいときは断層全体が固着する挙動を示し、また aging law の場合、摩擦パラメータ $a-b$ の空間変化がゼロになるときにこの遷移が生じることが明らかになった。一方、時間とともに外的応力载荷が増加する場合、速度弱化域の割合が大きいときは断層全体で stick slip が生じ、その境界は $a-b$ の空間平均がゼロの近傍と一致した。このように、滑り挙動の遷移境界付近において、地震性滑りと非地震性滑りが相互作用する複雑な滑り挙動が発生することを示した。さらに、特徴的長さとともに速度強化域の割合が増加する摩擦分布において断層全体で地震性

すべりが起きるとき、断層全体の平均すべりと応力から求めた近似的破壊エネルギーが特徴的長さとともに増加することが確認された。このことは、速度強化域の割合のスケール依存により、破壊エネルギーのスケール依存性も説明できる可能性を示唆する。

第4章は、より現実的な不均質断層モデルの例として、速度強化域の中に速度弱化パッチがクラスター状に存在するモデルにおいて3次元数値シミュレーションを行なった。その結果、クラスター内の速度強化域の $a \cdot b$ を変化させると滑り挙動が変化し、全体が地震性すべりを示す場合、全破壊の前に内部で小破壊が生じる一方、全破壊の後には余震が発生しないという、釜石沖繰返し地震と似た挙動を再現した。

第5章は、本論文の結果に基づく考察である。特に、これまで比較沈み込み学として、通常の地震の最大規模や地震活動の統計的特徴が沈み込み帯間で比較されてきたが、今後は、普通の地震にスロー地震を加えた多様な地震現象が摩擦不均質性によって特徴付けられるという観点での新たな比較沈み込み学の展望を示すとともに、摩擦不均質断層モデルを発展させるために必要な、今後推進すべき研究テーマを複数提案している。

以上のように、論文提出者が観測及びモデリングの両面において実施した研究は、普通の地震からスロー地震までを含む多様な地震現象における震源物理の発展に大きな進展をもたらす優れた業績であると判断される。

なお、本論文は、指導教員である井出哲教授との共同研究であるが、論文提出者が主体となって手法開発、検証および解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であったと判断する。その証拠として、第2章、及び第3章の内容は、論文提出者を筆頭著者とした論文がそれぞれ既に公表されていることを申し添える。

以上の理由により、博士（理学）の学位を授与できると認める。