

学 位 審 査 報 告 書

(ふ り が な) 氏 名	う ら た ゆ み 浦 田 優 美
学 位 (専 攻 分 野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学 位 授 与 の 日 付	平 成 24 年 3 月 26 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 地 球 惑 星 科 学 専 攻
(学 位 論 文 題 目) Effect of thermal pressurization with dilatancy and phase transitions of pore water on spontaneous dynamic rupture propagation (ダイ ラ タ ン シ ー と 間 隙 水 の 相 変 化 を 考 慮 し た thermal pressurization の 自 発 的 破 壊 伝 播 へ の 影 響)	
論 文 調 査 委 員	(主 査) 久 家 慶 子 准 教 授 平 原 和 朗 教 授 中 西 一 郎 教 授

京都大学	博士（理学）	氏名	浦田 優美
論文題目	Effect of thermal pressurization with dilatancy and phase transitions of pore water on spontaneous dynamic rupture propagation		
(論文内容の要旨)			
水が地震に影響を及ぼすことは頻繁に言われるが、どのように、どの程度に、地震の破壊過程に影響するかはよくわかっていない。本論文は、水の効果として thermal pressurization (TP) に着目し、それを取り入れたせん断すべり断層モデルを、3次元自発的破壊伝播数値実験から調べた研究である。 TP とは、間隙水が存在する時、断層すべりの摩擦熱によって間隙圧が上がる現象である。間隙圧の上昇は、実効法線応力を小さくし断層強度を下げる。その結果、断層はすべりやすくなる。本論文は、まず、TP が働く場合、自発的破壊伝播がどのような仕組みでどのように影響を受けるかを示している。TP が働くと、仮定したすべり弱摩擦則が断層上一様であっても、すべりとせん断応力の関係が場所によって変わるようになる。応力降下とすべり速度の促進により、TP は破壊伝播に強い正のフィードバックをかける。その表れとして、破壊伝播速度が S 波速度を超えるまでの断層長が短くなる現象が現われる。また、最終すべり量が大きくなる。 一方、このような破壊伝播に対する強い正のフィードバックは、実際の地震の観測とは必ずしも調和的ではない。S 波速度を超える破壊伝播速度が TP の数値実験で予想されるが、多くの地震で観測されてはいない。TP だけを考慮したモデルの不完全さを示唆する。そこで、本論文では、TP に加えて、間隙水の相変化やダイラタンシーを考慮したモデルを検討している。 TP は間隙水の温度と圧力の上昇によっておきる。温度や圧力が高いと、水はもはや液体ではなく、相変化する。予想される超臨界水への相変化では、拡散に影響する水の物性値が大きく変化する。本論文は、水の物性値の変化を取り入れた数値実験を実施することによって、この相変化により自発的破壊伝播が受ける影響を調べている。そこでは、相変化に関連する、2つの相反する効果に着目している。この相反する効果は、TP が適度に働く場では互いに相殺し、影響が破壊伝播に現れない。しかし、断層幅がうすく圧力が高い TP が強い場では、これが崩れ、動的応力降下後の応力回復が促進し、すべり量の増加が抑えられる。また、超臨界水への相変化は、主に最終すべり量を抑え、破壊伝播速度には影響しないことをみつけている。 破壊の成長による空隙率の増加がダイラタンシーであり、これにより間隙圧が低下する。本論文では、従来除外視されてきたダイラタンシーと透水率との間の冪乗関係を考慮して、TP にダイラタンシーの効果を加えた数値実験を実施している。さまざまな冪数とダイラタンシー係数における自発的破壊伝播が調べられた結果、冪数の増加が、破壊伝播速度に影響を与えずに最終すべり量を抑制する一方、ダイラタンシー係数の増加は、最終すべり量と破壊伝播速度の両方を抑制することを明らかにしている。 本論文は、TP が自発的破壊伝播へ与える影響を示すとともに、間隙水の相変化やダイラタンシーの効果を加えたモデルにおいて、自発的破壊伝播の特性を明らかにしている。そして、TP に間隙水の相変化やダイラタンシーの効果が加わることによって、より実際の地震に近づいたモデルになりうることを示している。			

(論文審査の結果の要旨)

Thermal pressurization (TP) は 1970 年代に提唱され、すべり弱化距離の実験値と地震観測値の違い、断層帯での熔融岩の欠如等を説明しうる点から、重要視される。近年岩石実験等から推定される岩石の透水率や摩擦係数、断層岩調査などの結果も、TP が地震時に断層で働いている可能性を支持する。TP を取り入れた動的破壊伝播の数値実験は、熱・流体拡散方程式を解いたり、応力やすべり速度の全履歴を保持したりする必要があるために数値計算の負担が大きく、これまでの実施は限られる。基本的な TP の性質は指摘されるも、地震のモデルとしての評価は、調査や議論の余地が多く残る。このため、本論文のテーマは、地震の動的破壊過程の理解に重要である。

本論文の最も評価できる成果は、TP に加えて、間隙水の超臨界水への相変化やダイラタンシーの効果を、世界で初めて 3 次元自発的破壊過程数値実験に導入し、その影響を明らかにしたことである。TP が地震の素過程に与える影響を理解するための基礎的かつ重要な成果であり、今後の研究のリファレンスになることが予想される。

TP は間隙水の温度と圧力の上昇によっておきるため、間隙水の相変化はごく自然に予想される。しかも、超臨界水への相変化では、TP に関わる物性値が大きく変化する。しかし、この間隙水の相変化によって破壊伝播がどのように変化するかはこれまで全く調べられていない。この点で、本論文は非常に独創的な着眼点をもつ。水の物性値の変化を考慮した自発的破壊伝播の数値実験では、超臨界水への相変化に関係する、2 つの相反する効果に着目した。この相反する効果は、TP があまり強くない場では相殺する一方、TP が強い場では、これが崩れて、断層での応力回復の促進により、すべり量の増加を抑制する。このような性質は、本論文で初めて明らかになった。また、断層での応力回復の促進は、断層でのより大きな温度上昇を意味する。従来、断層の熔融を妨げる要因とされてきた TP だが、超臨界水への相変化がおけると、その効果が期待できない場合があることを発見した。従来の断層幅と TP の強さの関係も、相変化によって崩れることをみつけた。本論文は、これまでに提唱された TP の特徴が超臨界水への相変化によって変化するという重要な結果を提示している。

ダイラタンシーの効果は、これまで、動的破壊伝播ではほとんど調べられていない。また、ダイラタンシーは透水率との間に冪乗関係が指摘されているが、その冪乗関係の破壊伝播への影響はまったく未知である。本論文では、この点に着目して、ダイラタンシーと透水率との間の冪乗関係を考慮して TP の数値実験を実施し、冪数とダイラタンシー係数の自発的破壊伝播への影響を調べた。冪数とダイラタンシー係数の増加がいずれも破壊伝播を抑制する効果をもつ一方、その抑制の仕方が 2 つの間で異なることを発見している。

以上のことから、本論文は、地震の素過程に関連して動的破壊伝播数値シミュレーション分野に新たな局面を切り開く、非常に独創的な研究である。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認めた。また、平成 24 年 1 月 24 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った。その結果合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降