

学 位 審 査 報 告 書

(ふ り が な) 氏 名	みつい ゆうた 三井 雄太
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 年 月 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) Study on relationships between frictional strength and long-term fault behavior including evolution of pore pressure (間隙流体圧の時間発展を含む摩擦強度と長期断層挙動と の関係に関する研究)	
論 文 調 査 委 員	(主査) 平原 和朗 教授 飯尾 能久 教授 MORI, James Jiro 教授

理 学 研 究 科

(続紙 1)

京都大学	博士（理 学）	氏 名	三井 雄太
論文題目	Study on relationships between frictional strength and long-term fault behavior including evolution of pore pressure （間隙流体圧の時間発展を含む摩擦強度と長期断層挙動との関係に関する研究）		
（論文内容の要旨）			
プレート境界や断層で繰り返し地震が発生する現象を地震サイクルと呼ぶが、この地震サイクルにおいて、断層に間隙流体が含まれると、摩擦係数のみならず間隙流体圧も大きく変動する。しかしながら、地震サイクルモデリングにおいて、間隙流体圧の変動は、モデリングの困難さや媒質パラメータの不確定性のため、これまでの研究ではあまり考慮されてこなかった。そこで、本論文では、岩石実験から得られた速度・状態依存摩擦則（RSF）を用いた固着―すべりを表す力学的モデルと間隙流体圧変動に関する現象論的モデルに基づく数値シミュレーションを実行し、種々の要因により引き起こされる地震時および地震間における間隙流体圧変動が地震発生に及ぼす影響を系統的かつ定量的に明らかにした。 まず、間隙流体圧の変動を論じる前に、RSF に従う摩擦係数の変動のみを考慮した、地震サイクルシミュレーションを 3 次元均質断層パッチモデルで実行した。このモデルは従来よく研究されてきたが、特に摩擦パラメータと断層サイズが震源核形成前のフェイズにおける非地震性すべりに及ぼす影響を調べ、不安定すべり（地震）の挙動を記述する無次元パラメータを得た。 次に、間隙流体圧の変動を記述する基本的な構成則を導入し、間隙流体圧と RSF に従う摩擦係数の変動の大きさを比較する解析的な式の導出を行った。 続いて、RSF に従う摩擦係数と変動する間隙流体を含む地震サイクルの基本的性質を 1 自由度モデルではあるが数値シミュレーションにより明らかにした。まず、すべりによる間隙率の変化のない場合、地震時におけるすべり摩擦発熱により引き起こされる間隙流体圧上昇（Thermal Pressurization:TP）により地震発生間隔が長くなることが分かった。また、流体散逸が抑えられる低浸透率媒質では繰り返し間隔が長くなるが、摩擦発熱をコントロールするすべり集中帯の幅は、単純には繰り返し間隔に関係しないことが分かった。次に、圧力融解等の化学変化に起因する間隙の目詰まりによって引き起こされる長期的間隙流体圧上昇は地震の繰り返し間隔を狭め断層を安定化し、また通常使われている断層運動駆動モデルでは、みかけ上駆動速度を速くするという問題があることが分かった。さらに断層すべりによる破碎帯の変形に伴う間隙変動は TP の効果を打ち消し、この効果はすべり集中帯幅と有効浸透幅の比で定義される有効断層帯幅により特徴付けられることが分かった。 最後に、2 次元弾性媒質中での断層に沿っての間隙流体圧分布が地震発生に及ぼす以下の影響を数値シミュレーションにより明らかにした。これまで地震発生帯深部では脱水流体による高間隙流体圧がゆっくり地震を引き起こすと考えられてきたが、臨界スティフネスの考えからも、必ずしも高間隙圧がゆっくり地震を引き起こすわけでは無いことを示した。また、断層破碎帯の変形による間隙変動に関連する流体圧変動のため、震源が浅くなる傾向があることを示した。			

(論文審査の結果の要旨)

地震は断層における摩擦現象であるとの認識にたち、岩石の摩擦実験から得られた、摩擦係数がすべり速度と状態に依存する摩擦則 (RSF) を用いた、地震サイクルシミュレーションが行われ、地震発生予測に向けて研究が進められている。しかしながら、クーロン摩擦則に従うと、摩擦力は摩擦係数と有効法線応力 (法線応力から間隙流体圧を引いたもの) であり、従来の RSF に基づくシミュレーションでは、断層帯中の間隙流体圧変動はあまり考慮されてこなかった。本論文は、数値シミュレーションにより、RSF に基づく摩擦係数変動に加えて、地震サイクル中での間隙流体圧変動が地震発生に及ぼす影響を定量的に明らかにした研究である。

間隙流体圧の変動には、地震時摩擦発熱による間隙圧上昇 (Thermal Pressurization: TP)、地震時および地震間における断層破碎帯の変形による間隙増加 (Pore Dilatation: PD) に起因する間隙圧低下、地震間における圧力溶解等による間隙の目詰まり (Pore Compaction: PC) に起因する間隙圧上昇が挙げられる。申請者は、まず、PD のない場合、地震時 TP により地震発生間隔が長くなること、また、流体拡散が抑えられる低浸透率媒質では発生間隔が長くなるが、摩擦発熱をコントロールするすべり集中帯の幅は、単純には発生間隔に関係しないことを示した。次に、PC による長期的間隙流体圧の上昇は地震の発生間隔を短くし断層を安定化し、また通常用いられる断層運動駆動モデルでは、みかけ上駆動速度を速くするという問題があることを示した。さらに地震時および地震間における PD は TP の効果を打ち消し、この効果はすべり集中帯幅と有効浸透率の比で定義される有効断層帯幅により特徴付けられることを示した。最後に、2 次元弾性媒質中での断層に沿っての間隙流体圧分布を仮定したシミュレーションにより、これまで地震発生帯深部では脱水流体による高間隙流体圧がゆっくり地震を引き起こすと考えられてきたが、臨界スティフネスの考えからも、必ずしも高間隙圧がゆっくり地震を引き起こすわけでは無いことを示した。更に、PD による流体圧変動のため、震源が浅くなる傾向があることを示した。

上記の間隙流体圧変動の効果は、これまで定性的には研究者により指摘されてきたが、定式化や間隙流体拡散の数値計算上の難点、および断層帯における媒質パラメータの不確定性のため、動的破壊における TP の効果以外は、定量的かつ系統的評価はあまりなされなかった。申請者は、定式化や数値計算上の工夫を行い、また公表されてきた断層帯における間隙率や透水係数等の媒質パラメータをコンパイルし、単純化した断層モデルではあるが、地震サイクルにおける間隙圧変動が地震発生に大きな影響を与えることを、初めて系統的かつ定量的に示した。これらの成果の多くは既に査読論文として公表されており、本論文は、現状の地震サイクルシミュレーションに警鐘を鳴らした研究として高く評価できる。

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る。また、平成 22 年 12 月 10 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。