

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 12 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21540429

研究課題名（和文） ゆっくり地震および高速地震の統一的理解

研究課題名（英文） Understanding of slow and ordinary earthquakes in a single framework of modeling

研究代表者

山下 輝夫 (YAMASHITA TERUO)

東京大学・地震研究所・教授

研究者番号：10114696

研究成果の概要（和文）：

ゆっくりとした地震と高速地震を一つの枠組みでモデル化することに成功した。このモデル化において最も重要な要因は、流体拡散の滑りへの寄与と断層上での空隙生成である。空隙生成が大きくなったり、透水率が小さくなると、遅い断層成長が得られることがわかった。また、空隙生成率が十分に大きい場合、非火山性の微動がモデル化できる。最近の観測で明らかになりつつある、10-100km/h 程度の微動の逆伝播速度をモデル化するには、断層に沿う流体の流れが必要であることも明らかになった。

研究成果の概要（英文）：

We successfully simulate slow and ordinary earthquake in a single framework of modeling. It has become clear that key elements in the simulation are effects of fluid flow on fault slip and pore creation on the fault. We found that slower fault growth is obtained if we assume smaller permeabilities or larger pore creation rates. We also found that nonvolcanic tremor can be simulated if pore creation rate is large enough. Our calculation actually shows that fluid flow parallel to a fault must be assumed to simulate backward migration speeds of tremors on the order of 10-100km/h.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 21 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
平成 22 年度	800,000	240,000	1,040,000
平成 23 年度	600,000	180,000	780,000
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学

キーワード：地震現象、非線形系

1. 研究開始当初の背景

ゆっくり地震は、通常、高速地震とは異なる枠組みでモデル化されている。しかし、地震現象の深い理解のためには、高速地震からゆっくり地震までの全体を包括的に説明しうるモデルの構築が求められていた。

2. 研究の目的

流体拡散を考慮にいれて、高速地震とゆっく

り地震を、少数の制御パラメタの違いとして同一の動的モデルの枠内で説明しうるモデルの構築を目指す。

3. 研究の方法

まず、単純な 1 次元モデルを用いて、ゆっくり地震の生成機構を解析的に考察した。その後、2 次元モデルを用いて、より現実的なモデルの考察を行った。流体の拡散と断層滑

りを数値的に解くことが、2次元モデルの最も核心部分である。なお、両者は互いに相互作用をしているため、強い非線形性が現れる。計算結果に基づき、高速地震とゆっくり地震の違いを生じる機構を調べた。なお、波動方程式の解法には境界積分方程式法を用いた。しかし、長時間計算を実行するために、効率化の工夫を行った。

4. 研究成果

まずは、1次元モデルによる解析により、系のダイナクスを支配する無次元数二つを求めることに成功した。一つは、空隙生成率に比例したもの (S_u と定義した)、もう一つは、透水率に比例している (S_u' と定義した)。この二つのパラメータを変化させることにより、きわめてゆっくりとした滑りから高速滑りまでをモデル化できた。また、 S_u がある閾値より大きいことが、ゆっくり滑りを生じさせる条件であることが、一次元解析から明らかになった (図1)。

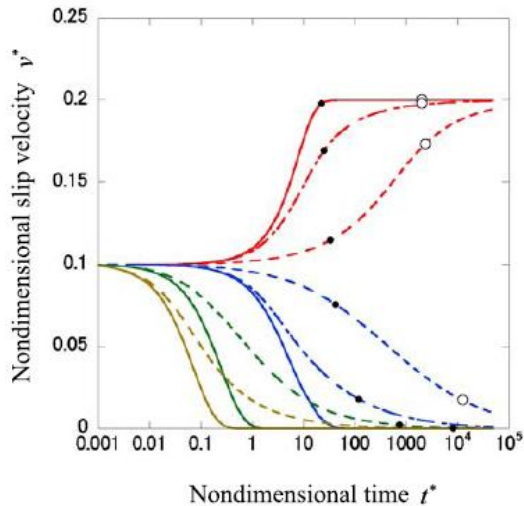


図1 1次元モデルにおける滑り速度の時間発展の様子。赤、青、緑、茶色の曲線は、 $S_u=0.8, 1, 1.5, 15$ の場合を表す。また、実線と虚線は、 S_u' が、 1×10^{-7} および 1×10^{-1} の場合である。縦軸は無次元化した滑り速度、横軸は無次元化した時間である

実際、図1の例では、 S_u が1より大きいことがゆっくりとした滑りを引き起こす条件であることがわかる。また、 S_u が小さいほど滑りが加速しやすいことがわかる。この解析に基づき、より現実的な2次元解析を行った。1次元モデルからの予想どおり、 S_u が大きい

ほどゆっくりとした断層成長起こりうるということがわかった (図2)。

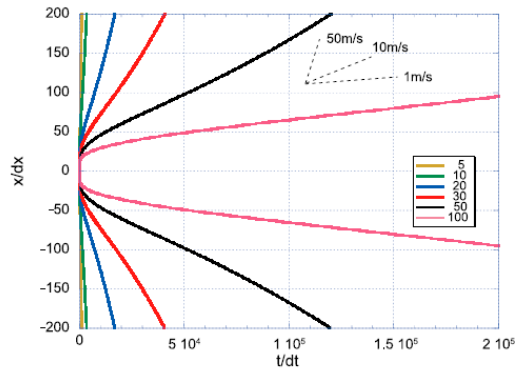


図2 2次元モデルにおける断層端の成長の様子。図中の数字は、 S_u の値。縦軸は断層に沿う無次元化した距離、横軸は無次元化した時間である。

事実、図2から、普通の地震のみならず、1日に10km程度という断層成長速度を持つゆっくり地震の両方を統一的にモデル化できることがわかる。また、空隙生成率が十分に大きい場合には、すべり抵抗が強いためすべりの開始後直ちにすべりを停止する。ただし、空隙に流体が流入するため、一旦停止した滑りの再活動が頻繁に起きることがわかった (図3)。これが、微動のモデルと見なすことができる。微動は、断層端で開始し、すでに滑りが生じた領域に向かって逆伝播することがわかった。最近の観測でもそのような事実が見ついている。流体が断層に直交方向に拡散すると仮定した場合は、その逆伝播速度は、媒質のS波速度となり、観測事実よりもはるかに大きいことが明らかになった。

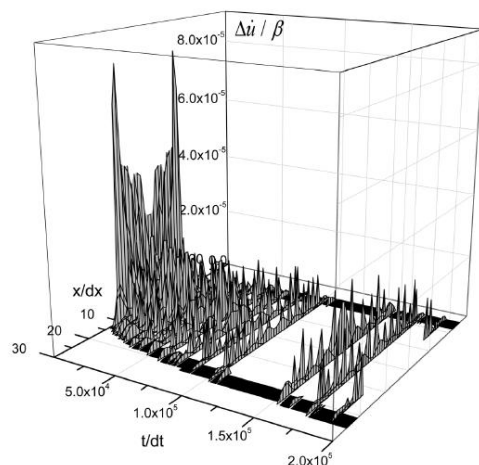


図3 微動のモデル化。x および t は、断層に沿う距離および時間である。また縦軸は S 波速度で無次元化した滑り速度である。微動型の滑りが間欠的に起きていることがわかる。

しかし、断層の露頭観測などによると、断層に平行方向の透水率は直交方向のものよりはるかに大きいことが知られている。そのため、断層に平行方向の流体拡散が大きい場合について計算を行うと、微動の逆伝播速度として、10-100km/h 程度の値が得られ、観測事実と大まかな一致を示す(図4、図5)。このようなゆっくりとした伝播速度が生じる理由は、断層に沿う流れの場合、断層に垂直な方向の流れの場合に比べ、流体圧が上がりにくいためだと考えられる。これによりスロースリップと微動の諸特徴も包括的にモデル化ができたことになる。

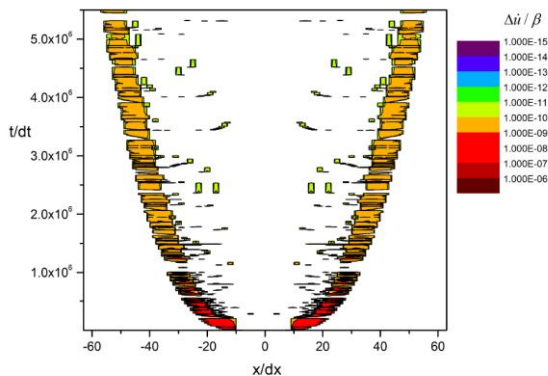


図4 流体が断層に沿って拡散する場合の滑り速度の時空間変化の例。図3と異なり、等高線を用いて表示している。

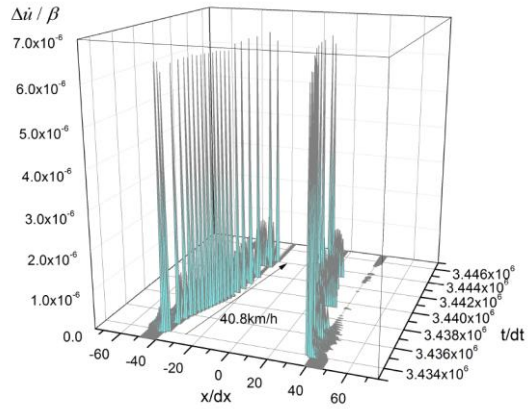


図5 図4の時刻 $t/dt=3.436 \times 10^6$ 付近の微動を拡大したもの。広がって行く断層端付近で生じたすべりが、40km/h 程度の速度で既に破壊した領域に向かって逆伝播していることがわかる。

しかし、計算機の制約のため、モデル化できた時間範囲は、30分程度である。より現実的なモデル化のためには、さらに長時間計算を可能とする計算手法の開発が必須となる。また、本研究は、系のダイナミクスの理基礎的解のためパラメタの空間分布は一様としたが、定量的理解のためには、これらパラメタの空間非一様性の効果を考慮に入れる必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

1. Yamashita, T. and T. Suzuki, Dynamic modeling of slow slip coupled with tremor, *J. Geophys. Res.* (査読有り) ., 116, B05301, doi:10.1029/2010JB008136, 2011

2. Suzuki, T. and T. Yamashita, Nondimensional control parameters governing the behavior of 1-D fault slip: effects of shear heating, inelastic pore creation and fluid flow, *J. Geophys. Res.* (査読有り) ., 115, B02303, doi:10.1029/2009JB006557, 2010.

[学会発表] (計5件)

1. 山下輝夫, Effects of fluid flow direction on the behavior of slow slip, Workshop on recent

developments in seismic wave scattering and heterogeneities in the earth、2011年10月28日、仙台市東北大学青葉記念会館

2. 山下輝夫、スロースリップに対する透水係数の異方性の効果、日本地震学会、2011年10月14日、静岡市静岡県コンベンションアーツセンター・グランシップ

3. 山下輝夫、Modeling of features of slow earthquakes in a dynamical framework、American Geophysical Union 2010 fall meeting、2010年12月14日、アメリカ合衆国サンフランシスコ市モスコーンセンター

4. 山下輝夫、ゆっくり地震の諸特徴の動的枠組みでのモデル化、日本地震学会 2010 年度秋季大会、2010年10月29日、広島市広島国際会議場

5. 山下輝夫、ゆっくり地震の多様性の動的モデル化、日本地球惑星科学連合 2010 年度大会、2010年5月28日、千葉市幕張メッセ国際会議場

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山下輝夫 (YAMASHITA TERUO)

東京大学・地震研究所・教授

研究者番号: 10114696

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし