

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5 月 22 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011 ~ 2012

課題番号：23654155

研究課題名（和文） モデル実験によるスローアースクエイクの直観的理解

研究課題名（英文） Intuitive understanding of slow earthquakes using model experiments

研究代表者

並木 敦子 (NAMIKI ATSUKO)

東京大学・大学院理学系研究科・助教

研究者番号：20450653

研究成果の概要（和文）：スローアースクエイクは通常の地震より深い場所で起こる。地球を構成する深部の岩石は長い時間スケールでは粘性流体として振る舞うと考えられる。弾性/粘性の境界付近で起きる変形を理解する事を目的として緩和時間を持つ流体を用いた実験を行った。その結果、地震は発生するものの、その地震においてすべての歪は解放されない場合がある事を発見した。これは、歪蓄積過程の変形は緩和時間よりも長く、歪解放は緩和時間よりも十分に速い現象である為に起こると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Slow earthquakes are observed beneath the seismogenic zone. The rock consisting the Earth is frequently modeled as a Maxwell fluid which behaves elastically only when it deforms at a time scale which is sufficiently short compared to the relaxation time scale. However, it still remains unclear how the seismicity changes with these brittle/ductile and elastic/viscous transition. Here, we perform shear deformation experiments using quasi-Maxwell fluid under different strain rates, and show that the same material can cause earthquakes associated with elastic rebound as well as viscous flow. Around the threshold, both earthquakes in which ruptures propagate at a shear wave velocity and viscous relaxation occur simultaneously.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：数物系化学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：地震現象

1. 研究開始当初の背景

(1) 日本付近では、沈み込むプレートに引きずられた上盤が元の位置に戻る（すべる）時に巨大地震が発生する、と多くの人が理解している。しかし、すべる時に必ず巨大地震が起きる訳ではない。2001-2005年にかけて東海地方において、巨大地震想定域の深部ですべりが発生した。すべりにより解放されたエネルギーはマグニチュード7.1の巨大地震に相当するが、時間をかけてすべった為被害

を起こすような地震はおきていない。このような現象はスローアースクエイクと呼ばれている。スローアースクエイクの中にはその活動中に非火山性微動と呼ばれる現象が観測される物もある (Rogers and Dragert, 2003, Science)。非火山性微動は通常の地震よりも小さい振幅かつ低い卓越周波数の振動が数時間から数日の間継続する現象である (Obara, 2002, Science)。類似の現象として深部超低周波地震も報告されている (Ito, et

al., 2007, Science)。両者はプレートと上盤の間の断層がゆっくりとすべる時に小さな地震を起こしたと解釈できる(Ide, et al., 2007, Nature)。しかし、何故、速くすべって大きな地震を起こす場合と、ゆっくりすべって小さな地震を起こす場合があるのか、良くわかっていない。

(2) 地震はアスペリティと呼ばれる特定の場所で発生する。アスペリティではプレートと上盤の間の摩擦が大きい為、プレートが沈み込む時に部分的に固着し上盤の一部をせん断変形する。これが剥がれると巨大地震が起きる。大きなアスペリティが存在し巨大地震が発生する場所は概ねモホ面より浅部に限られている。ここでは地殻とプレートが接している。より深部のマントルとプレートが接する場所では巨大地震はあまり発生しない。

(3) 上述のように、沈み込み帯の地震は沈み込むプレートに引きずられた上盤が元の位置に戻る時に発生する。これは上盤が弾性変形し、これにより蓄えられた歪エネルギーを解放する現象である。しかし、地球を構成する岩石は長い時間スケールでは必ずしも弾性体として振る舞うとは限らない。深部の岩石は、長い時間スケールではひずみエネルギーを蓄積せずに変形する粘性流体として振る舞う事が知られている(図1)。実際、固体の地球の深部を構成する岩石でできたマントルは粘性流体として対流している。スローアースクエイクは通常の地震が起きる深さよりも深部で起きる事が知られている(Lay et al., 2012)。しかし、なぜその深さでスローアースクエイクが起きるのか、わかっていない。

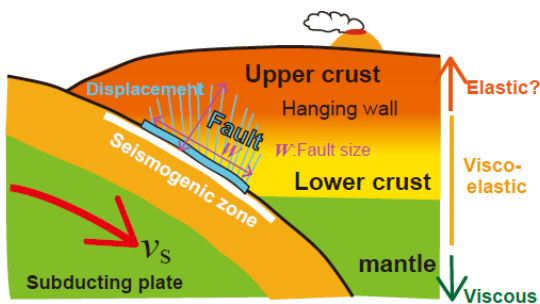


図1：沈み込み帯の模式図

2. 研究の目的

スローアースクエイクは地震が起きる深さと起きない深さの境界付近で観測される事から、本研究では、岩石の粘弾性的性質がスローアースクエイクの滑りのメカニズム決

定に重要な役割を果たすと考えた。粘弾性体の破壊を伴う変形は解析的、数値的取扱いが難しい。そこで本研究では地震学分野ではこれまであまり行われてこなかったモデル実験により、粘弾性体のすべりのメカニズムを研究した。

3. 研究の方法

(1) 実験で使用する岩石の模擬物質

本研究では岩石を Maxwell fluid 的な物質と仮定した(図2)。Maxwell fluid は速い変形に対しては弾性的に振る舞うが、遅い変形に対しては粘性流体として振る舞う。この変形の仕方が変わる時間スケールは緩和時間として知られている。本研究では岩石のアナログ物質としてスライムを用いた。スライムも岩石と同様のレオロジーを示す。緩和時間より速い変形に対しては弾性的に振る舞い、これより遅い変形に対しては粘性流体として振る舞う。岩石の非弾性的な振る舞いに関しては、Newtonian か Non-Newtonian か、Power law creep か否か、Dislocation creep か Diffusion creep か、など、数々の議論があるが、ここでは単に弾性エネルギーを貯めない物質と考える。スライムは四方酸ナトリウムとポリビニルアルコールの水溶液を混合する事で作成した。

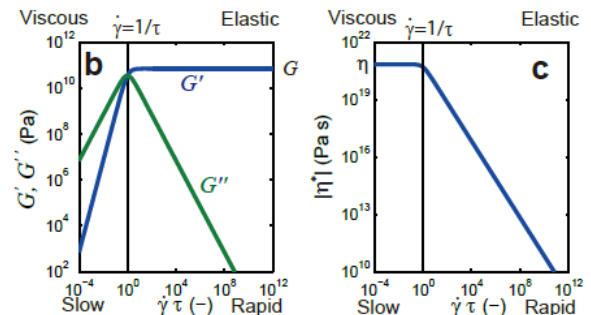


図2：Maxwell fluid の動的粘弾性。

(2) 実験方法

実験は図3に示す装置を用いて行った。上盤に見立てたスライムを沈み込む海洋プレートに見立てたアクリル板の上に置く。アクリル板を水平に移動させ、その上部に置いたスライムをせん断変形する事で、スラブの沈み込みによる地殻・マントルの変形を模擬する。アクリル板の速度をスライムの厚さで割った値を歪速度と定義する。スライムの変形の様子を高速度カメラで撮影し、Maxwell fluid 上で起きる地震の詳細を明らかにする。また、ロードセルを用いてアクリル板を動かすのに必要な力を測定する。

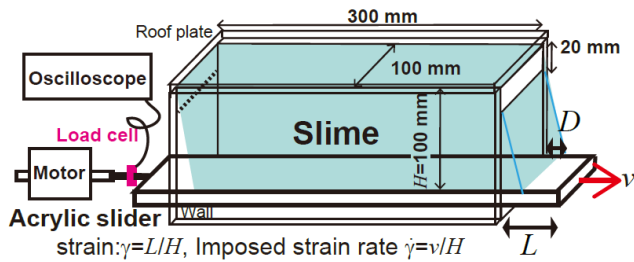


図 3：実験装置の模式図。

4. 研究成果

(1) 高速度カメラによる観察

図 4 に高速度カメラを用いて観察したスライムの変形の様子を示す。

上から、速い、中くらい、遅い歪速度の実験である。各写真の上下が変形前後のスライムの写真である。歪速度が遅い、一番下の写真の場合にはスライム中の気泡が引き伸ばされている様子が分かる。この実験ではプレートにみたくてたアクリル板を動かす為に必要な力があまり時間変化しない。画像解析と力の時間変化の様子から、地震は起きず、粘性変形が起きていると結論した。一方、歪速度が速い、一番上の写真の場合にはスライムの変形は顕著ではない。変形に必要な力の時間変化は大きく時間変化する。この結果から、地震が起きていると結論した。中段の写真は変形速度がその中間の実験の様子を示す。この実験では地震が起きると同時に応力を貯めない非弾性の変形も起きている事が観察された。

(2) スローアースクエイクへの応用

実験の結果は、地震は発生するものの、その地震においてすべての歪は解放されない場合がある事を示している。これは、歪蓄積過程の変形は緩和時間よりも長く、歪解放は緩和時間よりも十分に速い現象である為に起こると考えられる。

地球深部のマントル物質はプレートと固着し、ほぼ同じ速度で対流していると考えられる。これに対し、地球浅部ではプレートと上盤は長い時間スケールでは別の速度を持ち、上盤は沈み込まない。プレートとその周辺物質との相対速度に、地球浅部と深部では、ギャップがある事になる。本実験で明らかになった、非弾性変形と地震が同時に起きるような変形がスローアースクエイクを起こしているとすれば、地球浅部と深部における、プレートとその周辺物質の相対速度のジャンプがなだらかにつながっていると考えられる。

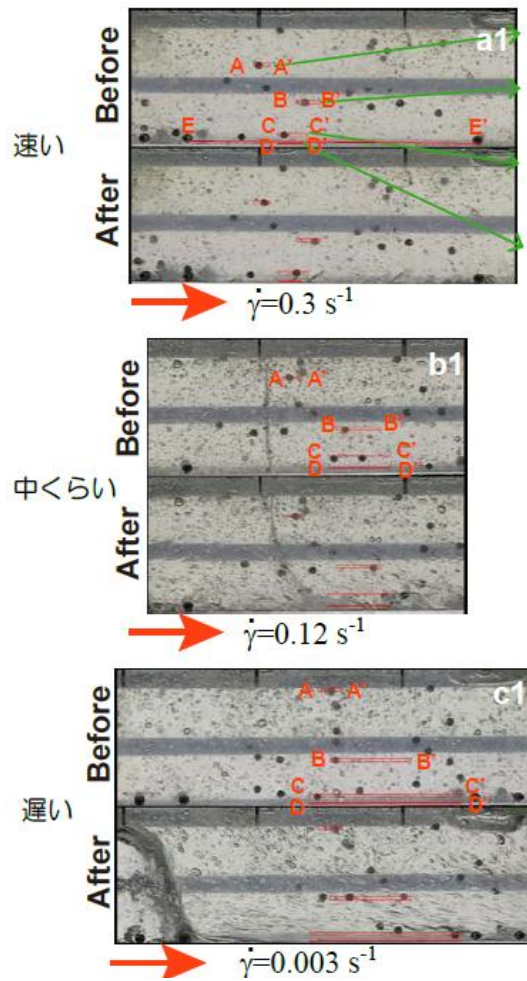


図 4：実験のスナップショット

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)

[学会発表] (計 1 件)

- ① Atsuko Namiki, Tetsuo Yamaguchi, Ikuro Sumita, Takehito Suzuki, Satoshi Ide, Simultaneous occurrence of earthquakes and viscous relaxation, A laboratory evidence, AGU fall meeting, 2012 December 5, San Francisco, CA, USA

[その他]

ホームページ等

<http://www-solid.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~namiki/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

並木 敦子 (NAMIKI ATSUKO)
東京大学・大学院理学系研究科・助教
研究者番号：20450653

(2) 研究分担者

井出 哲 (IDE SATOSHI)
東京大学・大学院理学系研究科・准教授
研究者番号：90292713

(3) 連携研究者

山口 哲生 (YAMAGUCHI TETSUO)
九州大学・工学研究院・准教授
研究者番号：20466783
鈴木 岳人 (SUZUKI TAKEHITO)
東京大学・大学院理学系研究科・特任助教
研究者番号：10451874