

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：13801

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25800279

研究課題名(和文)沈み込み帯物質の摩擦実験によるスロー地震の発生機構の解明

研究課題名(英文) Interpretation of the generation mechanisms of slow earthquakes examined by friction experiments on subduction zone materials

研究代表者

平内 健一 (Hirauchi, Ken-ichi)

静岡大学・理学部・講師

研究者番号：10633290

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、大型二軸摩擦試験機を用いた岩塩ガウジのスティック・スリップ実験を行った。実験は、法線応力を10-120 MPaまで段階的に変化させて行った。岩塩ガウジの変形様式は、法線応力の増加にしたがって、脆性から準脆性へと遷移した。スティック・スリップの特徴は、脆性・準脆性遷移にともなって、高速すべりからゆっくりすべりへと変化した。両者のすべりにおける継続時間の差は約2桁におよび、これは通常の地震とスロー地震(微動など)の継続時間の差に類似する。さらに、ガウジ試料の組織解析結果は、深部スロー地震が準脆性領域における断層面上の摩擦特性の不均質に起因して発生している可能性を示唆する。

研究成果の概要(英文)：I conducted stick-slip experiments on halite gouges, using a large biaxial friction machine, at a range of normal stresses (10-120 MPa). with increasing normal stress, the halite gouge exhibited a transition from brittle to semi-brittle behavior. The brittle to semi-brittle transition resulted in the emergence of slow stick slip. The duration of slow slip is two orders of magnitude longer than that of normal fast slip, consistent with the difference in duration between regular and slow (e.g., tremor) earthquakes. Textural analyses also indicate that the generation of deep slow earthquakes are attributed to the heterogeneity of frictional properties on the plate interface at the semi-brittle regime.

研究分野：構造地質学

キーワード：岩塩 沈み込み帯 スティック・スリップ スロー地震 断層ガウジ

### 1. 研究開始当初の背景

近年の地殻変動観測技術の向上に伴い、沈み込みプレート境界域においてスロー地震（非火山性微動・低周波地震・スロースリップなど）と呼ばれる断層すべり現象が数多く観測されている(Obara, 2002 など)。スロー地震は通常地震と比較して非常に長い継続時間(数秒~数ヶ月)や小さい応力降下量(0.01~0.1 MPa)などの震源パラメータをもつことで知られる(Ide et al., 2007)。深部スロー地震は、固着域と安定すべり域の遷移領域(脆性・塑性遷移)で発生すると考えられている。固着域では、高い応力で特徴付けられる巨大なアスペリティが均質に存在すると考えられ、比較的長い周期で地震が発生する。一方、スロー地震が発生する遷移域には、小さいアスペリティが不均質に存在すると想定されている(Ando et al., 2010)。しかし、こうした断層面上の不均質性を考慮した摩擦すべり実験はほとんど行われていなかった。また、ヒクラギ沈み込み帯のプレート境界面で発生する非火山性微動は、造岩鉱物の脆性・塑性遷移温度である 600 の等温線に沿って分布する(Yabe, et al., 2014)。このことは、スロー地震の発生が鉱物の脆性・塑性遷移にしたがって摩擦の速度依存性( $a-b$ )が変化することに起因することを示唆する。

### 2. 研究の目的

上記の研究背景から、本研究課題では長大な断層面を用いて岩塩ガウジの摩擦すべり実験を行い、1) 脆性から準脆性への変形様式の変化にともなってゆっくりすべりが発現するか、2) 断層面上に形成される摩擦特性の不均質性は断層のすべり様式にどのような影響を与えるのかを検証することを目的とした。岩塩は、室温下において、法線応力の増加にともなって脆性から塑性へと変形様式が変化する物質として知られる(Hiraga and Shimamoto, 1987; Chester, 1988)ため、本研究では岩塩を沈み込み帯プレート境界に分布する石英やかんらん石などの造岩鉱物のアナログ物質として用いた。そして、得られた摩擦パラメータと実験後の岩塩ガウジ試料の微細構造解析の結果から、断層深度の増加にともなう地震の震源パラメータの変化、(2) 深部スロー地震(特にヒクラギ沈み込み帯)の発生に対する鉱物の変形機構の遷移の影響について議論する。

### 3. 研究の方法

本研究では、大型二軸摩擦試験機を用いた岩塩ガウジのスティック・スリップ実験を行った。実験は、室温(13~28 )および乾燥(37~50 %)条件下で行った。各実験は一定の法線応力条件下で行い、10 MPa から 120 MPa まで段階的に変化させた。各実験において、すべり速度 10  $\mu\text{m/s}$  の下ですべり変位量が 5 mm に達して以降、計 4 回速度ステップテ

ス(10  $\mu\text{m/s}$  と 1  $\mu\text{m/s}$  の)を実施し、岩塩ガウジの摩擦強度と摩擦のすべり速度依存性( $a-b$ )を測定した。また、模擬断層面(長さ 16 cm)近傍に歪ゲージ・渦電流式変位計を設置し、法線応力毎の摩擦パラメータ(破壊伝播速度・すべり速度・すべり弱体化距離)の測定を行った。

実験後、供試体断層面上の試料を撮影し、3種類の変形領域(破壊領域・延性領域・準延性領域 S-C)の分布域を測定した。

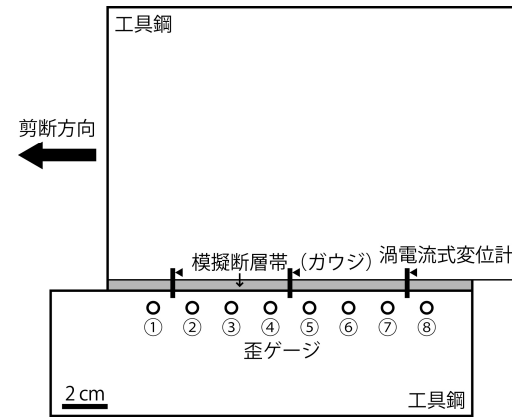


図1. 試料アセンブリの図

### 4. 研究成果

実験した全ての法線応力条件下において、スティック・スリップが発生した。岩塩ガウジの変形様式は、法線応力の増加にしたがって脆性から準脆性へと遷移した。摩擦のすべり速度依存性( $a-b$ )は、脆性・準脆性遷移にもなって速度弱体化から速度強化へと変化した(図2)。

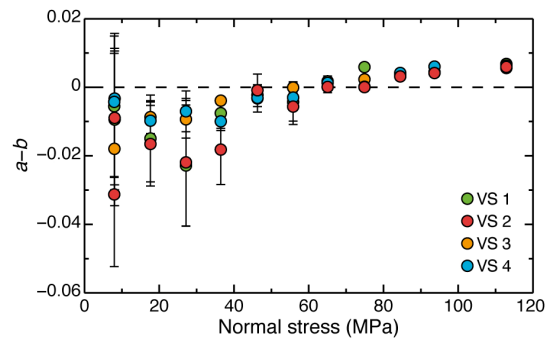


図2.  $a-b$  値に対する法線応力依存性。  
VS: 速度ステップ

また、スティック・スリップの特徴は、( $a-b$ )値の増加にしたがって、継続時間が短く応力降下量の大きいすべりから継続時間が長く応力降下量の小さいすべりへと変化した(図3)。特に、継続時間の差は約 2 桁におよび、これは通常地震と非火山性微動・低周波地震の継続時間の差に類似する。さらに、断層面近傍に設置した歪ゲージから得られた局所剪断応力値から、準脆性領域において剪断破壊の成長長さ( $L_c$ )が増加することが明らかになった。実験後のガウジ試料表面の組織解析から、法線応力の増加にしたがって、カタラスティックな領域が減少し、代わりに S-C 構造および S-C-C' 構造で特徴付けられ

る延性領域・準脆性領域がそれぞれ増加することがわかった。各領域は高法線応力下においても、それぞれ不均質に分布する。

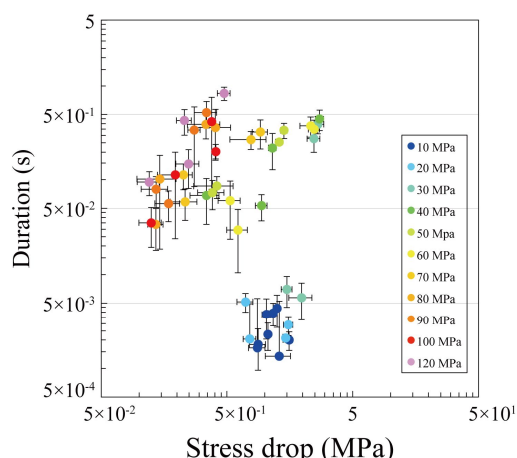


図3. スティック・スリップ時の継続時間と応力降下量の関係

これらの結果は、ヒクラング沈み込み帯プレート境界で認められる、ある等温線に沿って分布する非火山性微動が脆性・塑性遷移領域における断層面上の摩擦特性 ( $a$ - $b$  値) の不均質に起因して発生している可能性を示唆する。こうした  $a$ - $b$  値の不均質分布域は、大きなスケールにおいては速度強化を示すような領域であり、プレート境界面を構成する鉱物種の多様性や断層面上の凹凸によってもたらされると考えられる。

#### 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4件)

平内健一・片山郁夫, 2015. 蛇紋岩の力学的性質とそのテクトニックな意義. 地学雑誌, 124, 371 - 396, doi:10.5026/jgeography.124.371. (査読有り)

Hirauchi, K., Muto, J., 2015. Effect of stress state on slow rupture propagation in synthetic fault gouges. Earth, Planets and Space 67, 25, doi 10.1186/s40623-015-0199-x. (査読有り)

Hirauchi, K., Katayama, I., 2013. Rheological contrast between serpentine species and implications for slab-mantle wedge decoupling. Tectonophysics 608, 545-551, doi:10.1016/j.tecto.2013.08.027. (査読有り)

Katayama, I., Iwata, M., Okazaki, K., Hirauchi, K., 2013. Slow earthquakes associated with fault healing on a serpentinized plate interface. Scientific Reports 3, 1784,

doi:10.1038/srep01784. (査読有り)

[学会発表](計9件)

平内健一・吉田佳明・矢部康男・武藤潤, 2015, 岩塩ガウジのスティック・スリップ挙動に対する塑性の効果. 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, S-SS30, 千葉県・幕張.

水谷知世・平内健一・林為人・澤井みち代, 2015, スメクタイトの摩擦特性における温度と圧力の効果: 南海トラフプレート境界地震への影響. 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, S-SS29, 千葉県・幕張.

福島久美・平内健一・木戸正紀・武藤潤, 2015, 熱水条件下におけるかんらん岩の高圧変形実験: リソスフェアの強度弱化における含水反応の効果. 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, S-CG59, 千葉市・幕張.

Hirauchi, K., Yamamoto, Y., den Hartog, S.A.M., 2014, Effect of metasomatic alteration on frictional behavior of subduction megathrusts. American Geophysical Union, T51A-4603, San Francisco, U.S.A.

Hirauchi, K., Spiers, C.J., 2014, Metasomatic fault-zone weakening of subduction plate boundary faults. Geofluid 3: Nature and Dynamics of Fluids in Subduction Zones, 03-10, Tokyo, Japan.

平内健一・Spiers, C.J., 2014, Metasomatic fault-zone weakening of subduction plate boundary faults. 日本地球惑星科学連合大会, SIT04-08, 神奈川県・横浜.

Hirauchi, K., Muto, J., Otsuki, K., 2013, Effect of stress state on slow rupture propagation in subduction fault zones. American Geophysical Union, T41A-2550, San Francisco, U.S.A.

Hirauchi, K., J. Spiers, C.J., 2013, Effect of Si-metasomatism on subduction fault-zone rheology. American Geophysical Union, T43G-02, San Francisco, U.S.A. (招待講演)

平内健一・den Hartog, S.A.M.・Spiers, C.J., 2013, スラブ-マントル境界のレオロジーに対するシリカ交代作用の影響. 日本地球惑星科学連合大会, SCG63-09, 千葉県・幕張. (招待講演)

[図書](計 件)

[産業財産権]  
出願状況(計 件)

名称:  
発明者:

権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況（計 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

平内 健一 (HIRAUCHI, Ken-ichi)  
静岡大学・理学部・講師  
研究者番号：10633290

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：