

平成 22 年 6 月 30 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20740264

研究課題名 (和文) 地震断層内部における動的物理－化学プロセスの解明

研究課題名 (英文) Investigation on physico-chemical processes of earthquake faults

研究代表者

廣瀬 文洋 (HIROSE TAKEHIRO)

独立行政法人海洋研究開発機構・高知コア研究所・研究員

研究者番号：40470124

研究成果の概要(和文):含水条件下で地震性高速断層運動を再現できる試験機を開発することに成功した. その結果, (1)断層摩擦発熱に起因する間隙水圧の上昇に伴って断層の強度が低下すること(有効圧の法則が断層運動時にも適応可能であること), (2)マグニチュード 1 以下の地震においても, 様々なガスの放出と間隙流体の化学組成の著しい変化が起こることが確認された. また, これら断層起源ガスや流体組成の変化が地下生命圏に影響を与える可能性を指摘することができた.

研究成果の概要(英文):Rapid fault sliding during an earthquake under fluid saturated conditions have been successfully reproduced by the modified high-velocity friction apparatus. Experimental results show (1) fault strength gradually decreases with increasing pore-fluid pressure due to frictional heating, and (2) the release of various type of gas and change of pore-fluid chemistry were first confirmed by the high-velocity friction experiments. Such change gas-fluid chemistry at faulting must affect the deep subsurface biosphere.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：数物系科学

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, 断層, 高速摩擦, 間隙水, 摩擦発熱

1. 研究開始当初の背景

大地震発生時には, 断層が秒速 1m 以上の高速ですべるために, 断層面上で急激な摩擦発熱が生じる. この発熱による断層内物質の物理化学特性の劇的な変化に伴って, 断層が著しく弱くなることが 70 年代から指摘され

ていた. しかし, このような地震時の動的すべり現象を検証するための含水条件下における摩擦実験は, 技術的な問題からこれまで困難であった. そのため, 天然の含水条件にある断層が地震時に高速すべりする際の力学挙動は予測の域を超えないのが現状であ

った。

2. 研究の目的

本研究では、含水条件下で地震性の高速すべり運動を再現できるように高速摩擦試験機を設計・改良する。そして、動的すべり挙動に対する(1)水の力学的な効果(摩擦発熱に伴う間隙水圧の変動)と、(2)水の化学的な効果(摩擦発熱によって促進される断層物質と水の固液間化学反応)を実験的に明らかにすることである。

3. 研究の方法

高知コア研究所に設置の既存の高速摩擦試験機に、小型圧力容器を開発・設置することによって含水条件下での高速摩擦運動を再現して、含水条件下での高速摩擦すべり挙動を明らかにすることを試みた。さらに、実験中に発生するガスはガスクロマトグラフィーで、流体の組成変化は液体クロマトグラフィーとICP発行分光を用いて測定することにより、断層運動にともなうガスの放出と流体組成の変化の評価をおこなった。

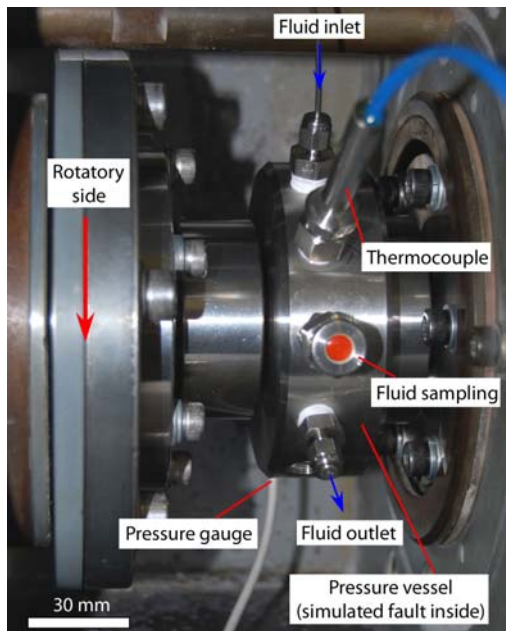


図. 世界に先駆けて開発に成功した高速摩擦実験用の小型圧力容器。断層近傍の流体圧と温度も測定することが可能。ただし、空隙率の大きな岩石はこの圧力容器では完全にシールすることができない。今後開発を継続する必要がある。

4. 研究成果

高速摩擦試験機用の小型圧力容器の開発・作製をおこない(上図)、含水条件下において断層が高速ですべる時の力学的性質、間隙水の化学組成の変化、断層面から放出さ

れるガス、間隙水圧および温度を系統的に測定できるシステムを完成させ、実験データを得ることに世界に先駆けて成功した。

その結果を下記に記す。

(1)摩擦発熱に起因する間隙水圧の上昇に伴って断層の強度が低下することが確認された。このことは、有効圧の法則が高速すべり時にも適応可能であることを示しており、地震の動的強度低下メカニズムの有力候補である Thermal Pressurization を数値計算で解析する前提条件が実験的にはじめて検証された。

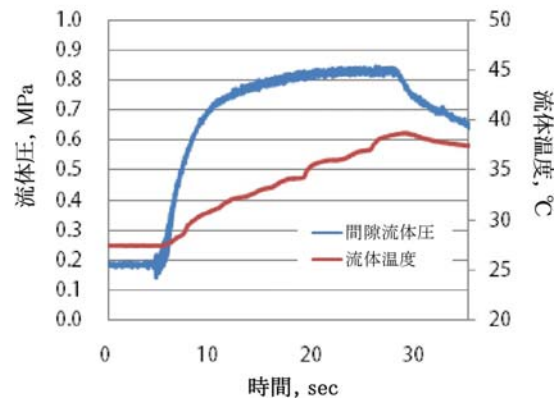
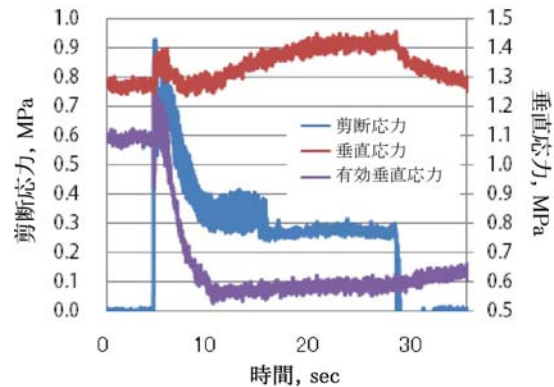
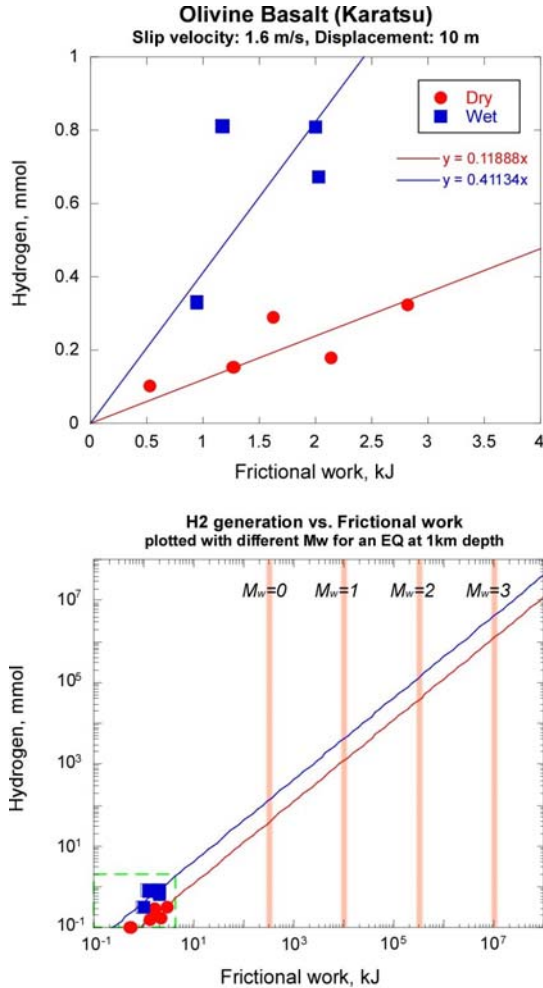


図. 庵治花崗岩を含水条件下で高速すべり(秒速 1.6m)させた時の力学挙動。流体圧の増加とともに、剪断強度が低下していく様子が確認できる。

(2)すべり速度 1.6m/s, 垂直応力 1.0MPa, すべり時間 5sec という条件(モーメントマグニチュードに換算すると-4以下)においても、間隙流体の主要・微量化学組成が著しく変化することが明らかとなった。ただ、Fe が溶出してこないなど、今後メカノケミカルな解析が必要である認識に至った。

(3)高速すべり断層運動にともなって、水素ガスが大量に発生することが確認された。摩擦すべり仕事と水素の発生量の相関を天然に外挿すると、一年間に地球上の $M_w < 4$ の地

震によって発生する水素量が $4 \times 10^9 \text{ mol}$ 程度（水素を餌とする地下生物圏に影響を与える可能性を示唆）になることが明らかとなってきた。水素の起源は、地球史・生命誕生にとって非常に重要な元素であるため、地震断層運動に伴う水素の発生実験については継続しておこなっていく予定である。



上図：摩擦仕事量と水素発生量の関係。玄武岩を秒速 1.6m で 10m すべらせた実験。青色は水を飽和させた試料。赤色は乾燥岩石試料。水に飽和させた試料の方が水素の発生量が大きい。また、摩擦すべり仕事量が増えるに従って水素量がほぼ線形的に増加する傾向が認められる。

下図：実験データを天然の地震の摩擦仕事スケールまで外挿した図面。地下 1km で動摩擦係数を 0.4 として天然の地震の摩擦仕事量を見積もった。この図によってはじめて地震の規模と水素の発生量の相関関係が評価できるようになった。

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 6 件)

- ① 廣瀬丈洋・高橋美紀, 蛇紋岩の摩擦特性と断層運動: 研究レビューと最近の結果, (2010) 月刊地球, 32, 156-161, 査読なし
- ② Tanikawa, W., Sakaguchi, M., Tadai, O. and Hirose, T., (2010) Influence of fault slip rate on shear-induced permeability, *Journal of Geophysical Research*, 115, 印刷中, 査読あり
- ③ Stünitz, H., Keulenb, N., Hirose, T., and Heilbronnerb, R., (2009) Grain size distribution and microstructures of experimentally sheared granitoid gouge at coseismic slip rates - criteria to distinguish seismic and aseismic faults? *Journal of Structural Geology*, doi:10.1016/j.jsg.2009.08.002, 査読あり
- ④ Mizoguchi, K., Hirose, T., Shimamoto, T. and Fukuyama, E., (2009) Fault heals rapidly after dynamic weakening, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99, 3470-3474, 査読あり
- ⑤ Sato, K., Hirose, T., Tamura, H., Kumagai, H. and Mizoguchi, K., (2009) Volatile gas analysis released from simulated faults during frictional melting: experimental technique and preliminary results, *JAMSTEC Report of Research and Development*, IFREE Special Issue, 51-57, 査読なし
- ⑥ Sato, K., Kumagai, H., Hirose, T., Tamura, H., Mizoguchi, K. and Shimamoto, T., (2009) Experimental study for noble gas release and exchange under high-speed frictional melting. *Chemical Geology*, 266, 1-2, 96-103. 査読あり

[学会発表] (計 4 件)

- ① Hirose, T. et al., Hydrogen generation along simulated faults at coseismic slip conditions, American Geophysical Union, 2009 Fall Meeting, 平成 21 年 12 月 18 日, Moscone Center, San Francisco.
- ② 廣瀬丈洋ほか, Frictional properties of serpentinites: Implications for earthquake faulting, 地球惑星科学連合 2009 年大会, 平成 21 年 5 月 19 日, 幕張メッセ国際会議場
- ③ 廣瀬丈洋ほか, Fluid lubrication of faults during earthquakes: Evidence from high velocity experiments on

fluid-saturated gouge, 地球惑星科学連
合 2009 年大会, 平成 21 年 5 月 17 日,
幕張メッセ国際会議場

- ④ Hirose, T. et al., Energy Partitioning
during Frictional Sliding at Coseismic
Slip Rates, American Geophysical Union,
2009 Fall Meeting, 平成 20 年 12 月 19
日, Moscone Center, San Francisco.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

廣瀬 丈洋 (HIROSE TAKEHIRO)

独立行政法人海洋研究開発機構・高知コア
研究所・研究員

研究者番号：40470124

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者