

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 25 年 6 月 28 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22740334

研究課題名（和文） 地震断層運動にともなう水素発生と地下生命圏のリンケージ

研究課題名（英文） Hydrogen generation by earthquake faulting
and its implication for sub-surface biosphere

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・主任研究員

研究者番号：40470124

研究成果の概要（和文）：地震活動によって断層から発生した水素が、その水素をエネルギー源にして有機物をつくり出す地下微生物圏を育んでいるという仮説を検証するため、地震時の高速断層すべり運動を再現できる摩擦実験によって地震時に発生する水素量を見積った。その結果、地震によって含水断層帯で生じうる水素ガス濃度は大変高く（数 mmol/kg）、地震断層起源の水素ガスを「えさ」とする地下生態系が存在しうる可能性があることがわかった。

研究成果の概要（英文）： High velocity friction experiments were performed aimed to verify whether faulting can generate abundant H₂ to sustain subsurface chemolithoautotrophic microorganisms, such as methanogens. Our results show that H₂ generation increases with frictional work (i.e., earthquake magnitude) and that a H₂ concentration of more than few mmol/kg of fluid can be achieved in a fault zone after earthquakes of even small magnitudes. The estimated earthquake-derived H₂ concentration is sufficiently high to sustain a H₂-based subsurface lithoautotrophic microbial ecosystem.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：地震，断層，水素，メタン菌，地下生命圏

1. 研究開始当初の背景

初期生命誕生の場は、水素に富む海底熱水噴出孔であったという仮説が有力である。しかし、その水素の起源については明らかとなっていない。一つの説として、『地震活動によって断層から水素が発生し、その水素をエネルギー源にして有機物をつくり出す化学合成独立栄養微生物が地下生命圏を育んでいる』というモデルが提唱されている。その

他の水素の起源としては、蛇紋化作用および放射性元素による水の分解作用が考えられている。しかし、このような3つの水素の起源を定量的に評価・比較して、地下生命圏への寄与を評価できていないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究では、地震活動にともなって発生する水素が地下微生物圏（例えばメタン菌）に

影響を与えている可能性を、地震断層運動を実験室で再現できる高速摩擦実験によって検証した。実験では、地震時の断層すべり運動によって発生する水素ガス発生量を測定し、地震発生時の水素発生量を見積もった。そして、海底下の微生物が地震起源の水素をエネルギー源としている可能性を定量的に探った。

3. 研究の方法

実験には、高知コア研究所に設置されている高速摩擦試験機をもちいた。実験では、地震断層運動を圧力容器内部で再現して、発生する水素ガスを、ガスクロマトグラフを用いて測定した。実験には、地殻を構成する主要な岩石（花崗岩・玄武岩・斑レイ岩・大理石・砂岩）を円筒型と円柱型に加工して、それぞれの試料端面をくっつけることによって模擬断層を再現した。地震性の高速すべり運動は、試料の片側を固定してもう片方を高速で回転させることによって再現している。実験では、断層面から水分を飛ばした場合と、蒸留水で濡らした場合で水素発生量に変化があるかを検討した。実験条件は、すべり速度とすべり量をそれぞれ 1.3 m/s と 10 m で固定し、垂直応力を 0.5~2.5 MPa の間で変化させることによって、断層面に与えるエネルギー量（地震の規模の違い）と水素発生量との相関関係を調べた。

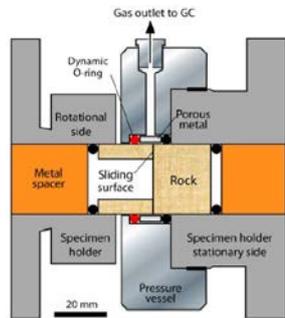


図. 高速摩擦実験用の小型圧力容器内部に実験試料（黄土色部分）をセットして、左側のサンプルホルダーを高速で回転させることによって地震断層運動を再現している。

4. 研究成果

実験の結果、下記の4つのことが明らかとなった。

- (1) 摩擦仕事量が大きくなるとともに水素の発生量が増える。これは、仕事量が増えることによって断層面上で鉱物の破碎・細粒化がすすみ、断層面近傍の水とラジカル反応がより進行することに起因すると考えられる。
- (2) 水素発生量は岩石の種類によらない。このことは、どのようなテクトニクス場における地震断層運動においても、水素ガスが発生することを示唆する。

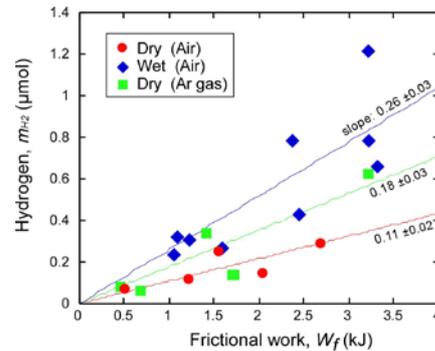


図. 玄武岩の水素発生量（縦軸）と摩擦仕事量の相関関係。

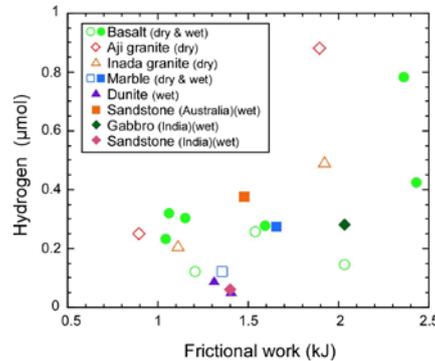


図. 地殻を構成する様々な岩石を使って再現した模擬断層からの水素発生量（縦軸）と摩擦仕事量の相関関係。

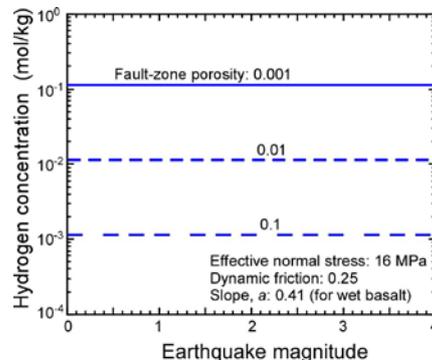


図. 断層帯の水素濃度と地震のマグニチュードとの相関関係。

(3) 乾燥断層面での実験でも水素が発生する。これは、鉱物粒界に存在する水や、岩石内の含水鉱物が断層摩擦発熱によって脱水分解され放出される水が、ラジカル反応に利用されたと考えられる。

(4) 断層の摩擦仕事量（地震のマグニチュード）と水素ガス発生量との間にきれいな相関関係が確認された。この相関関係を用いて、地震時に発生する水素ガス量を見積もったところ、私たちが揺れをほとんど感じないほどの小規模な地震でも、断層帯の流体中の水素ガス濃度が 1.1 mol/kg 以上になりうるこ

とがわかった。

これまでに知られている海底熱水噴出孔の水素ガス濃度は高々0.02mol/kg であるため、断層帯で生じうる水素ガス濃度は大変高いと言える。また、地震断層起源の水素フラックスは、蛇紋化作用や放射性元素による水の分解作用によって発生する水素フラックスと比較すると、7 オーダー近く大きいことがわかった。

これらの実験データおよび解析結果は、地震断層起源の水素ガスを「えさ」とする地下生態系が存在していることを示しており、微小地震が継続的に起こっている沈み込み帯や中央海嶺近傍の断層帯にも、未発見の大規模な地下・海底下生物圏が広がっている可能性を示唆している。本研究で示した高い水素ガス濃度やそれに依存した生態系が地震断層帯に実在するか、断層帯の掘削調査などによって今後検証されることが期待される。

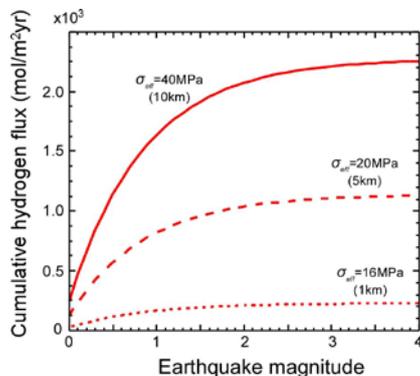


図. 地震起源の水素の年間フラックスと地震のマグニチュードとの相関関係。

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 5 件)

- ① Han R., and Hirose T., (2012), Clay clast aggregates in fault gouge: An unequivocal indicator of seismic faulting at shallow depths? *Journal of Structural Geology*, 43, 92-99. 査読あり
- ② Hirose T., Kawagucci S., and Suzuki K., (2012), Correction to “Mechanoradical H₂ generation during simulated faulting: Implications for an earthquake-driven subsurface biosphere,” *Geophys. Res. Lett.*, 39, L23304, doi:10.1029/2012GL054539. 査読あり
- ③ Oohashi K., Hirose T., Kobayashi K., and Shimamoto T., (2012), The occurrence of graphite-bearing fault

rocks in the Atotsugawa fault system, Japan: origins and implications for fault creep, *Journal of Structural Geology*, 38, 39-50. 査読あり

- ④ Hirose T., Mizoguchi K., and Shimamoto T., (2012), Wear processes in rocks at slow to high slip rates, *Journal of Structural Geology*, 38, 102-116. 査読あり
- ⑤ Hirose T., Kawagucci S. and Suzuki K., (2011), Mechanoradical H₂ generation during simulated faulting: Implications for an earthquake-driven dark energy biosphere, *Geophysical Research Letters*, 38, L17303, doi:10.1029/2011GL048850. 査読あり

[学会発表] (計 7 件)

- ① Hirose T., Kawagucci S. and Suzuki K., (2012) Hydrogen generation during simulated faulting: Implications for an earthquake-driven dark energy biosphere. Gordon Research Conference, Feedback Processes in Rock Deformation, August 20, 2012, Proctor Academy, Andover, NH, USA.
- ② Suzuki K., Shibuya T., Yoshizaki M., Masaki Y., Hirose T., Kawagucci S., (2012) Experimental constraints on hydrogen generation in the hydrothermal and fault systems and their linkage to the eco-system in ridge and subduction systems. Abstract OS22A-04 presented at Fall Meeting, AGU, December 5, 2012, San Francisco, CA, USA.
- ③ 鈴木勝彦, 渋谷岳造, 吉崎もと子, 正木裕香, 廣瀬丈洋 (2012) 室内実験による水素生成反応と海嶺生態系へのリンケージ. 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 平成 24 年 5 月 21 日, 幕張・千葉.
- ④ 佐藤佳子, 廣瀬丈洋, 熊谷英憲, 田村肇, 坂口真澄, 鈴木勝彦 (2012) 雰囲気コントロール下での断層摩擦実験による希ガスの脱ガスと挙動. 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 平成 24 年 5 月 22 日, 幕張・千葉.
- ⑤ 廣瀬丈洋, 川口慎介, 鈴木勝彦 (2012) 地震断層水素ガスと地下生命圏のリンケージ. 日本地質学会第 119 年学術大会, 2012 年 9 月 16 日, 大阪府立大学, 大阪.
- ⑥ Hirose T., Kawagucci S., Suzuki K., (2010) Hydrogen Generation during earthquake faulting: its implication for subsurface microbial evolution. Joint Meeting of Korean and Japanese Geological Societies -Muroto Geopark,

August 24, 2010, Muroto, Kochi.

- ⑦ 廣瀬丈洋, 鈴木 勝彦 (2010) 地震断層運動にともなう水素の発生と地下生命圏のリンケージ. 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, , 2010 年 5 月 24 日, 幕張, 千葉.

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・主任研究員

研究者番号：40470124