

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K17792

研究課題名(和文) 流体の3次元移動の観点に基づくスロー地震の仕組みの解明

研究課題名(英文) Understanding of the mechanisms of slow earthquakes in terms of 3D fluid migration

研究代表者

森重 学 (MORISHIGE, Manabu)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・数理科学・先端技術研究分野・ポストドクトラル研究員

研究者番号：70746544

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：西南日本やカスカディアの沈み込み帯では、沈み込むプレートが陸側に向かって凸状に折れ曲がる場所で短期的スロースリップ(スロー地震の一種)によるすべりが大きくなっているように見える。本研究ではプレート表面上に存在する蛇紋岩内部の浸透率の異方性(水の移動しやすさが方向によって変わる性質)を考慮した数値モデルによって、この観測がプレートの複雑な形状による水の3次元移動を反映している可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：In SW Japan and Cascadia we observe that the amount of slip by short-term slow slip events (which is a type of slow earthquakes) is large where the slab bends away from the trench. In this study we demonstrated that these observations may reflect 3D fluid migration due to complex slab geometries by using numerical models including the effects of permeability anisotropy in the serpentine layer on top of the slab.

研究分野：固体地球物理学

キーワード：短期的スロースリップ 沈み込み帯 水の移動

## 1. 研究開始当初の背景

地震・火山現象や数百万から数千万年といったより長い地質学的な時間スケールにおける物質循環の理解という観点から、これまで沈み込み帯に関して数多くの研究が行われてきた。その中でも近年、世界中の沈み込み帯において、スロー地震と呼ばれる現象に注目が集まっている(例えば Obara and Kato, 2016, Science)。これは通常の地震よりも断層面がゆっくりとずれ動く現象であり、巨大地震の震源域とは隣り合った領域で起きることから、その仕組みの解明は沈み込み帯における地震活動をより深く理解する上で必要不可欠である。いくつかの観測からスロー地震と水の間に密接な関係があると指摘されてはいるが、その関係性について水の振る舞いという観点から調べた研究はほとんどない状況であった。

## 2. 研究の目的

比較的密な観測が行われている西南日本やカスカディアの沈み込み帯では、沈み込むスラブが陸側に向かって凸状に折れ曲がる場所で短期的スロースリップ(スロー地震の1種)によるすべりが大きくなっているように見える(Schmidt and Gao, 2010, JGR; Nishimura et al., 2013, JGR)。スロー地震の発生には水が関与していることを考慮すると、この観測は沈み込んだスラブの複雑な形状によって生じた水の3次元的な移動・分布を反映している可能性がある。この考えを物理法則に基づいた数値モデルを用いて定量的に評価することを目的とした。

## 3. 研究の方法

地球内部の岩石部分とその隙間に存在する水の移動を同時に考慮した固液2相流の数値モデルを用いた。水が短期的スロースリップが発生するマントルウェッジの先端部付近まで移動する仕組みとしてスラブ表面上に存在する蛇紋岩の浸透率(水の通りやすさ)の異方性を考えた(Kawano et al., 2011, Geology; Okazaki et al., 2013, GRL)。これは沈み込むスラブによって変形を受けた蛇紋岩内部ではスラブ表面に並行な方向に水が移動しやすくなるということである。まずは2次元のモデルを用いて、浸透率の異方性が水の移動にどのように影響するのかを調べた。その後モデルを3次元へと拡張し、

沈み込んだスラブの形状が水の移動に与える影響を評価した。ここで蛇紋岩内部の浸透率は、スラブ表面に対して並行な面内ではどの方向でも同じであると仮定した。そして得られた結果を観測された短期的スロースリップによるすべりの空間分布と比較することで、短期的スロースリップ発生の仕組みを制約した。

## 4. 研究成果

2次元の計算領域で、本研究で必要となる数値モデルを確立した。このモデルではまず、沈み込み帯周辺の岩石の流れ場と温度場を計算し、得られた温度場をスラブ内部の各温度・圧力における最大含水量と組み合わせることで水の放出場所を推定する。次にスラブ直上の蛇紋岩内に浸透率の異方性があるとしてスラブから放出された後の水がどのように移動するのかを調べた。浸透率の異方性の大きさを変えながら計算を行った結果、その大きさが50倍あれば水が蛇紋岩内を通過して短期的スロースリップ発生領域の深さまで到達することが分かった。それ以下の大きさだと水が移動する途中で蛇紋岩の層を抜け真上に上昇してしまう。

次にモデルを3次元の計算領域に拡張した。このときスラブの3次元的な形状として、カスカディアと西南日本のスラブ形状を単純化したものを用いた。またスラブ形状の対称性を考慮し、実際には半分の領域のみに対して計算を行った。その結果、水はスラブが沈み込む方向ではなく、スラブの最大傾斜の方向に上昇することが分かった(図1)。またスラブが陸側に向かって凸状に折れ曲がる場所では水が互いに集まるように移動しそこでの水の量が増えることも明らかになった。逆にスラブが海側に向かって凸状に折れ曲がる場所では水が互いに離れるように移動し、そこでの水の量は減少する。

これらの結果から、観測された短期的スロースリップによるすべり量の空間変化はスラブの複雑な形状による水の3次元的な移動を反映している可能性があると考えられる。その具体的な仕組みはまだ明らかではないが、間隙水圧の変化や含水鉱物の形成が重要な役割を果たすのではないかと考えている。これらの結果をまとめたものを国際誌Journal of Geophysical Research: Solid Earthに投稿・受理された。

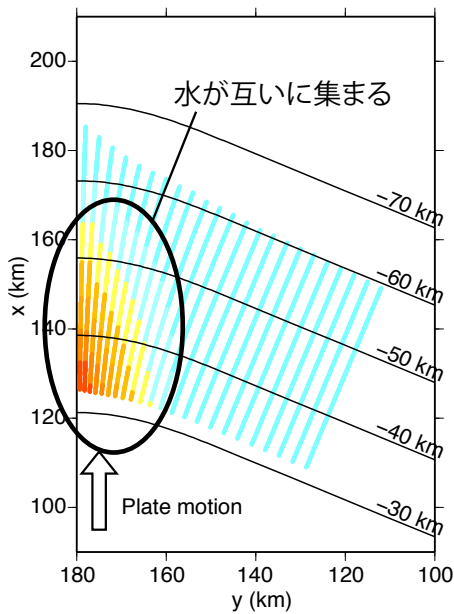


図1：水の3次元的な移動の計算例を上から見たもの。色がついた線は水の移動経路、色は水の量、黒線は沈み込んだスラブ表面の位置を示す。

次に数値モデルの改良を行った。具体的には水のより現実的な振る舞いを表現するために、水の移動に伴う岩石の体積変化の効果を考慮した(例えばSpiegelman, 1993, JFM)。この効果を取り入れることで、抵抗が大きな岩石はその隙間を押し広げることが難しいために水が入り込みにくい一方、抵抗が小さな岩石には水が容易に入り込むといった振る舞いを表現できる。まずは浸透率を等方的と仮定し、岩石の体積変化の効果をとり入れた水の移動の計算を正しく行っているかを以下のように確認した。(1)1次元・2次元・3次元の計算領域で計算を行い、得られた結果を既に出版されているベンチマークテストの結果(Simpson and Spiegelman, 2011, J. Sci. Comput.)と比較した。(2)得られた水の振る舞いをベンチマークテスト以外の先行研究とも比較し、それらと調和的であることを確かめた。

岩石の体積変化の効果を考慮した3次元の数値モデルで計算を行った結果、浸透率が等方的な場合でもスラブが陸側に向かって凸状に折れ曲がる場所では水はその放出源内を互いに集まるように移動することが分かった。またこの結果は、仮定する水の移動しやすさ(浸透率と水の粘性率との比で定義される)に依存しないということも確かめた。これらの結果をまとめたものを国際誌Geochemistry,

Geophysics, Geosystems、国内誌「地震」に投稿・受理された。

その後岩石の体積変化と浸透率の異方性の効果の両方を取り入れた3次元の計算をいくつか行ったが、基本的な水の振る舞いは改良前の数値モデルで得られたものとはほぼ同じであった(図2)。つまりスラブが陸側に向かって凸状に折れ曲がる場所では水が互いに集まり水の量が増える。ただ岩石の体積変化に関する入力パラメータ(体積粘性率と体積弾性率)によっては結果に大きな違いが生じる可能性もあり、それは今後の課題である。

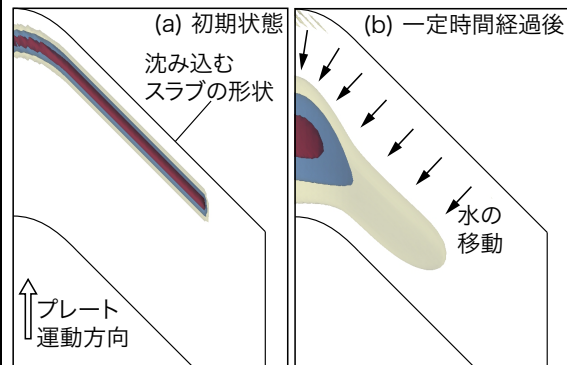


図2：岩石の体積変化と浸透率の異方性の効果を取り入れた水の移動の計算例を上から見たもの。赤、青、白色の領域はそれぞれ水の量が多い、中程度、少ないことを示す。

またこれらの研究内容を日本地球惑星科学連合大会、ゴールドシュミット国際会議、マントルダイナミクスのワークショップ、日本地震学会秋季大会、アメリカ地球物理学連合秋季大会などで発表した。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Morishige, M. and van Keken, P.E., Fluid migration in a subducting viscoelastic slab, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 19, 337-355, doi:10.1002/2017GC007236, 2018. 査読有
- ② 森重 学, 数値モデルと観測との比較に基づく沈み込み帯ダイナミクスの解明、*地震*, 71, 1-11, doi:10.4294/zisin.2017-10, 2018. 査読有

- ③ Morishige, M. and van Keken, P.E., Along-arc variation in short-term slow slip events caused by 3D fluid migration in subduction zones, *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 122, 1-15, doi:10.1002/2016JB013091, 2017. 査読有

[学会発表] (計 6 件)

- ① “Temporal and spatial variation in porosity and compaction pressure for the viscoelastic slab”, Morishige, M. and van Keken, P. E., AGU fall meeting, New Orleans (USA), 2017.12
- ② 数値モデルと観測との比較に基づく沈み込み帯ダイナミクスの研究」, 森重学, 日本地震学会 2017 年度秋季大会, 鹿児島, 2017.10 (招待講演)
- ③ “3D fluid migration due to complex slab geometries and its implications for short-term slow slip events”, Morishige, M. and van Keken, P.E., 日本地球惑星科学連合 2017 年大会, 千葉, 2017.5
- ④ “Spatial variation in slow slip events caused by 3D fluid migration in subduction zones”, Morishige M., 日本地震学会 2016 年度秋季大会, 名古屋, 2016.10
- ⑤ “3D dynamics of subduction zones constrained by observations”, Morishige, M., The 1st Asia-Pacific Workshop on Lithosphere and Mantle Dynamics, Taipei, Taiwan, 2016.9 (招待講演)
- ⑥ “3D fluid migration in subduction zones caused by the effects of slab geometry”, Morishige, M. and van Keken, P.E., Goldschmidt Conference, Yokohama (Japan), 2016.6

[その他]

研究代表者のホームページ等

<https://sites.google.com/site/manabumor>

[ishige/](#)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

森重 学 (MORISHIGE, Manabu)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・数理科学・先端技術研究分野・ポストドクトラル研究員

研究者番号：70746544

### (2) 研究協力者

Peter E. van Keken