

令和 4 年 4 月 28 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K13640

研究課題名(和文)水の放出・移動によるスラブ内地震発生の仕組みの解明

研究課題名(英文)Effects of fluid migration on the generation of intermediate-depth seismicity

研究代表者

森重 学 (Morishige, Manabu)

東京大学・地震研究所・助教

研究者番号：70746544

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)：特に日本やアメリカの沈み込み帯に焦点を当て、多様な物性や地球物理学的観測結果を考慮した温度構造を数値モデリングにより求めた。具体的には(1)物性や観測データの不確かさまで取り入れることによる温度構造のより定量的な推定、(2)熱伝導率の異方性(考える方向により物性が異なること)が温度構造に及ぼす影響の評価、を行った。そして得られた温度構造を用いて、スラブ内における脱水位置の推定を行った。また単純な場合に対して、岩石変形に伴って生じる圧力勾配が水の移動に及ぼす影響を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スラブ内地震の発生には、スラブから放出される水が重要な役割を果たすと考えられている。そしてスラブからの水の放出率と発生場所は温度に大きく支配される。本研究では沈み込み帯の温度構造を、データ科学的手法を用いて物性や観測データの不確かさまで含めて評価する枠組みを構築することに成功した。また岩石変形が水の移動に及ぼす影響に関しても新たな知見を得た。その結果、スラブ内地震発生の仕組みをより定量的に議論することが可能になった。

研究成果の概要(英文)：I constructed a framework to predict the thermal structure of subduction zones including its uncertainty based on Bayesian inversion. The obtained depth uncertainties for isotherms are about 10 and 20 km for the 600 and 1200C isotherms, respectively. When this uncertainty is considered, the location of the serpentinite-out boundary matches that of the lower plane of double seismic zone in Tohoku region. It suggests that dehydration may be important in triggering intermediate-depth seismicity. I also conducted numerical modeling to investigate possible impact of anisotropic thermal conductivity in the mantle wedge on the subduction zone thermal structure. I found that the obtained temperature differences between the anisotropic and isotropic cases are only up to 30C within the slab. The effects of rock deformation on fluid migration is also tested in a simple model setting.

研究分野：固体地球物理学

キーワード：沈み込み帯 スラブ内地震 温度 水 データ科学

1. 研究開始当初の背景

いくつかの沈み込み帯では沈み込むプレート(スラブ)内部の深さ約 50-300 km で発生するやや深発地震が上下 2 つの地震面からなることが知られており、これは 2 重深発地震面と呼ばれる。そのような地震の発生には含水鉱物の脱水によって生じた水の存在が重要である可能性が指摘されているが、その水がスラブ内部のどこからどれだけ放出されるか、また放出後の水はどのように移動するののかに関しては未解明な部分が多い。さらに水の放出・移動はスラブ内地震だけではなくプレート境界地震や火山活動、また数千万年から数億年という長い時間スケールにおける地球内部の物質循環にも関わる重要な問題である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、主に東北地方から北海道にかけて観測されるスラブ内地震の様々な特徴を、水の放出・移動によって説明可能かどうかを明らかにすることである。本研究では次のようなスラブ内部の水の移動を想定している。(A) アウターライズの断層に沿ってある程度の深さまで水が取り込まれ、含水鉱物を作り出す。(B) スラブの沈み込みに伴い含水鉱物も移動する。(C) 高温高圧条件下で含水鉱物が分解することで放出された水がスラブ内部を移動する。数値計算に基づきこのような考えを定量的に検討することを目指す。

3. 研究の方法

スラブの形状やスラブ内地震についてこれまで最も精力的に調べられてきた場所の 1 つである、スラブが沈み込む方向が海溝に対してほぼ垂直である、という理由から主に東北地方を対象としたモデルを構築する。研究は以下に示す 3 つのステップで行う。

(1) 沈み込み帯全体をモデル化し、岩石部分の温度場・流れ場・変形に伴って生じる圧力場を計算する。上盤プレートは変形しないと仮定し、マントルウェッジの速度はスラブ表面にのみ沈み込み速度を与えることで計算する。モデルの妥当性は、得られた温度場を地殻熱流量などの観測データと比較することで評価する。

(2) (1) で得られた温度場・圧力場とスラブ内部を構成する岩石の相図とを組み合わせることで、スラブ内部に最大どれだけの水が入り得るか(最大含水量)、スラブ内部のどの部分からどれだけの水が放出されるかを計算する。ここで圧力は深さのみによって決まると考える。得られた水の放出場所と実際に観測されたスラブ内地震の分布を比較し、スラブ内地震発生の仕組みについて考察を行う。

(3) (1) で得られた岩石速度と(2) で得られた水の放出場所・放出率を入力パラメータとしてスラブ周辺における水の移動を計算する。沈み込む前のスラブ内部のどの深さにまで水が入り込んでいるのかはよく分かっていないため、これを入力パラメータとして扱う。仮定する浸透率やレオロジーなどを変えながら、それらが水の移動に与える影響を検証する。

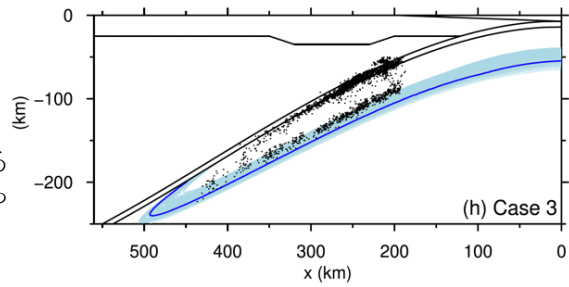
4. 研究成果

(1) 沈み込み帯温度構造をより定量的に評価するための枠組みの構築

従来のモデリング研究では、入力パラメータや計算結果の制約に用いる観測データの不確かさを定量的に取り入れていないという問題があった。そこでベイズ推定を用いてこれらの不確かさを取り入れる枠組みを構築した。沈み込む直前のスラブの温度構造を地殻熱流量と海洋底深さをを用いて制約した場合では、600 度と 1200 度に対応する等温線深さの不確かさがそれぞれ ±10 km と ±20 km となった。これらの不確かさを考慮すると、東北地方で見られる 2 重深発地震面の下面とモデルから予測した脱水反応の位置が一致する(図 1)。これはスラブ内地震の発生

に水が重要な役割を果たすことを示唆している。これらの内容に関する論文を 2 編、国際誌で発表した (Morishige and Kuwatani, 2020; Morishige, 2022)。

図 1 東北地方のある断面におけるスラブ内地震(黒い点)とモデルから予測した脱水場所(青線)



(2) 熱伝導率の異方性が沈み込み帯温度構造に及ぼす影響の解明

地球内部の岩石は変形することにより、その構成鉱物がある特定の方向に揃うように回転することが知られている。これは地球内部の物性が異方的(考える方向によって物性値が異なる)であることを意味する。しかしこれまで多くのモデリング研究では物性値は等方的である(考える方向によらず値が一定)と仮定されてきた。本研究では東北地方沈み込み帯を対象に、マントルウェッジにおける熱伝導率の異方性が温度構造に及ぼす影響を調べた。その結果異方性が大きくなる場所は上盤プレート底部とスラブ直上の 2 箇所であることが分かった(図 2)。これらはスラブの沈み込みに伴う変形が最も大きくなる、つまり鉱物の方向がより特定の方向に揃う場所に対応している。しかし熱伝導率の異方性がスラブの温度に及ぼす変化は 30 度以下であり、水の放出に与える影響は限定的であると言える。これらの内容に関する論文を 1 編、国際誌で発表した (Morishige and Tasaka, 2021)。

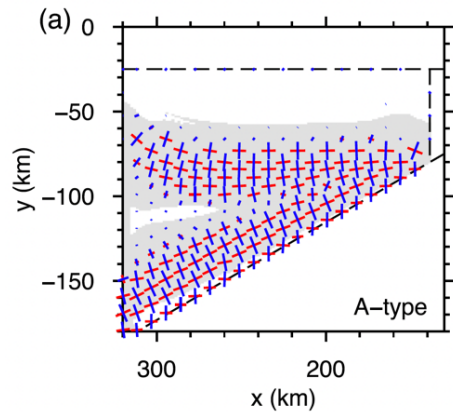


図 2 東北地方マントルウェッジ内部における熱伝導率の異方性。赤線や青線の長さが長いほど異方性が大きなことを示す。

(3) 沈み込むプレート境界近傍における水の挙動の解明

岩石変形に伴って生じる圧力場(動圧力)が水の移動に及ぼす影響を解明するため、単純な場合として沈み込むプレート境界近傍に存在する低粘性層内部における水の挙動を調べた。低粘性層のレオロジーとして、粘性率が一定の場合と歪速度に依存する場合の 2 種類を考慮した。粘性率が一定の場合では、粘性率が大きいほどスラブの沈み込みによる動圧力勾配が大きくなり、低粘性層内部を水が速く移動することが明らかになった。一方粘性率が歪速度に依存する場合は低粘性層中央部付近に比較的高粘性の領域が生じるため、水が低粘性層の深部にトラップされながら移動するという振る舞いを見せた(図 3)。

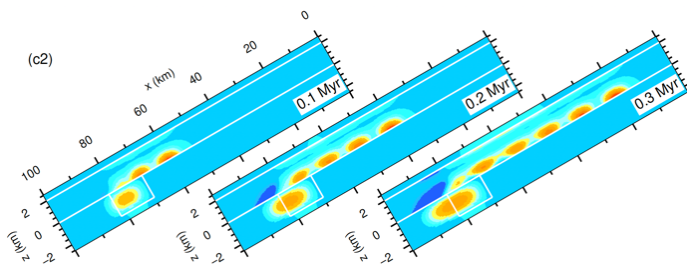


図 3 低粘性層内部における水の移動。低粘性層は $z=0$ km と 2 km の間に位置する。赤い色ほど水の量が多いことを示す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Morishige M., Tasaka M.	4. 巻 820
2. 論文標題 Limited impact of anisotropic thermal conductivity in the mantle wedge on the slab temperature in the Tohoku subduction zone, Northeast Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Tectonophysics	6. 最初と最後の頁 229110 ~ 229110
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.tecto.2021.229110	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Morishige M	4. 巻 229
2. 論文標題 The thermal structure of subduction zones predicted by plate cooling models with variable thermal properties	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	6. 最初と最後の頁 1490 ~ 1502
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/gji/ggac008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Morishige M, Kuwatani T	4. 巻 222
2. 論文標題 Bayesian inversion of surface heat flow in subduction zones: a framework to refine geodynamic models based on observational constraints	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	6. 最初と最後の頁 103 ~ 109
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/gji/ggaa149	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 2件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 森重学
2. 発表標題 海洋プレート冷却モデルが東北地方沈み込み帯の温度構造に与える影響
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森重学、田阪美樹
2. 発表標題 熱伝導率の異方性を考慮した東北地方沈み込み帯温度構造のモデリング
3. 学会等名 日本地震学会2021年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Morishige, M.
2. 発表標題 Rheological effects on aqueous fluid migration near the subducting plate interface
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Morishige, M. and Kuwatani, T.
2. 発表標題 Bayesian inference of model parameters controlling the thermal structure of subduction zones
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森重学、桑谷立
2. 発表標題 地殻熱流量データに基づく沈み込み帯温度構造の不確かさの推定
3. 学会等名 日本地震学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Morishige, M. and van Keken, P.E.
2. 発表標題 Migration of aqueous fluid near the subducting plate interface
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Morishige, M.
2. 発表標題 Mechanism of aqueous fluid migration through a thin, low-viscosity layer near the subducting plate interface
3. 学会等名 日本地震学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Morishige, M. and van Keken, P.E.
2. 発表標題 Migration of aqueous fluid in a subducting slab with implications for intermediate-depth seismicity
3. 学会等名 日本地球 惑星科学連合2018 年大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Morishige, M.
2. 発表標題 Mechanism of fluid flow near the plate interface: the importance of a thin, low-viscosity layer
3. 学会等名 AGU fall meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

森重学のページ
<https://sites.google.com/site/manabumorishige/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------