

令和 2 年 5 月 21 日現在

機関番号：82113

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05637

研究課題名(和文) 長期的スロースリップおよび石英脈とプレート境界でのS波反射効率の空間変化との関係

研究課題名(英文) Spatial variation of S-wave reflection efficiency on plate boundary associated with long-term slow slip events

研究代表者

北 佐枝子 (Kita, Saeko)

国立研究開発法人建築研究所・国際地震工学センター・主任研究員

研究者番号：10543449

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：プレート境界でのS波の反射波の反射効率の空間変化を見るにあたり、反射波を出す地震やプレート境界上での反射点となりうる場所の特定に役立つように、西南日本のうち紀伊半島の地震活動の特徴を詳細に調べた。三重県の尾鷲市と大阪府の堺市を結ぶ線を境に、この地域の3タイプの地震活動のb値はどれも大きく変化していることを見つけた。この紀伊半島を横断する境界線は、過去の大規模スラブ内地震の震源が2つ分布し、スロースリップのセグメント境界にも対応していることが明らかになった。また、スラブ内地震のb値の時間変化も、スロースリップの発生時期と対応が見られていた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の研究成果は、スロースリップの発生様式はスラブ内地震の地震活動の時空間変化と非常に密接に関わることを示唆している。スロースリップをはじめとしたスロー地震現象は、巨大地震発生の準備過程に深く関与することが、数値シミュレーション研究から予想されている。本研究は、巨大地震の準備過程についてモニタリングする手法として、スラブ内地震の地震活動の時空間変化の把握が使えるかもしれないことを見出したと言える。

研究成果の概要(英文)：In order to search the spatial change in the reflection efficiency of the S wave reflected at the plate boundary, I firstly examined characteristics of earthquakes on the Kii Peninsula in southwestern Japan. I found that the b-value of the seismic activity both in the slab and overlying plate greatly changed at the line connecting Owase City in Mie Prefecture and Sakai City in Osaka Prefecture. This boundary line across the Kii Peninsula corresponds to the segment boundary of deep low-frequency tremor (short-term slow slip). In addition, the b-value of the intraslab earthquakes changed at the times of the occurrence of short-term slow slip.

研究分野：地震学

キーワード：ゆっくりすべり スロースリップ セグメント境界 スラブ内地震 b値 含水量 石英脈

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

日本列島には世界で最も高密度の地震観測を行う基盤稠密地震観測網(観測点間隔は約 20km)の整備が 2002 年に完了し、その観測データの解析結果からスロー地震と呼ばれるプレート境界でのゆっくりとしたすべり現象が世界で初めて報告され[Obara, 2002]、その後も次々と世界に対抗できるような重要な研究成果が上ってきている。スロー地震とは、深部低周波微動、深部低周波地震、短期的および長期的スロースリップイベント等の現象の総称である。なお西南日本(東海地域~豊後水道)にて長期的スロースリップの発生は 5 地域で報告されている[Hirose et al., 2010; Kobayashi, 2010; 2014]。これらスロー地震活動は、巨大地震(東南海地震)発生の準備過程に深く関わることで、数値シミュレーション研究から予想されている。

これまでの地下深部構造の推定研究による解析結果では、プレート境界付近でのシリカ(石英脈)の濃集、流体と深部低周波微動の発生とがスロー地震の発生機構と関わる可能性が指摘されている[Matsubara et al., 2009; Shelly et al., 2009]。しかしながら、石英脈形成とスロー地震がどう関わるかについての詳しい物理は明らかになっていない。一方で最新の地下構造解析結果では、プレート境界よりも上盤側(陸プレート内)では地震波減衰が小さく、上盤側では広域にわたって流体が存在するわけではないこともわかってきた[Kita and Matsubara, 2016; 高岡ほか, 2012]。

そこで報告者は、減衰構造や速度構造推定などの地下構造解析では分解能的には見ることが出来ないくらいの厚さ(厚さ数キロ程度)の石英脈濃集帯が現在のプレート境界面にも形成されていると予想し、石英脈がプレート境界上での透水性を弱め、プレート境界での流体圧を高めて長期的スロースリップが発生しやすい環境になるのではと考えた。そのような環境で長期的スロースリップが発生する場合、石英脈の存在があればプレート境界では地震波の反射効率や変換効率が高くなると予想される。

### 2. 研究の目的

プレート境界での地震波の反射は既往研究より報告され、紀伊水道の長期的スロースリップの断層面でも地震波の変換効率が周辺域より高いと報告されている[Akuhara and Mochizuki, 2015]。地質学的研究からも、長期的スロースリップの断層面のあるプレート境界深さ(深さ 20-30km 程度)での石英脈の形成が予想されている。本計画では、「プレート境界のうち、長期的スロースリップの断層面には石英脈が形成され、地震波の反射・変換効率が高い」という仮説をたて、その検証の為に西南日本のプレート境界における地震波(S波)の反射効率の空間変化を調べる。地質や減衰・速度構造の推定結果も融合し、学際的な長期的スロースリップの発生環境モデルを構築する。

### 3. 研究の方法

本研究計画では調査地域を西南日本(紀伊半島から豊後水道)とする。その領域にて内陸地震の S 波のプレート境界での反射波を見つけ、プレート境界上での反射効率(直達 S 波と S 波反射波の振幅比)の空間変化を推定する。そして、長期的スロースリップの断層面の中心部と縁に関しては特に注目して、優先的に反射効率の特徴を調べる。

本研究によるプレート境界における S 波の反射効率の空間変化の推定結果は、既存の速度構造や減衰構造のイメージング結果、地質・岩相(特に石英脈)の空間変化と比較検討をする。それらを通し、プレート境界上での石英の濃集と長期的スロースリップの発生とが関係するとする仮説の検証に挑む。

### 4. 研究成果

平成 29 年度は、反射波を出す地震やプレート境界上での反射点となりうる場所の特定に役立つように、西南日本のうち紀伊半島の地震活動の特徴を詳細に調べた。連携研究者の京都大学防災研究所の澁谷教授による不連続面の情報に基づき紀伊半島の震源分布を 1) スラブ内地震(海洋性地殻および海洋性マントル)、2) 内陸地殻内地震、3) マントルウエッジ内地震に分類し、それぞれの特徴や b 値について調べた。また、地震波減衰構造(Qp 構造)についても調べ、それとの比較検討も同時に行った。

紀伊半島で発生する地震の b 値は、スラブ内地震(0.82)、内陸地殻内地震(1.01)、マントルウエッジ内地震(1.06)の順に値が大きくなっていった。さらにスラブ内地震について海洋性地殻と海洋性マントルに区分すると、海洋性地殻の b 値(1.01)は、海洋性マントルの b 値(0.74)と比べ大きく、三重県の尾鷲市と大阪府の堺市を結ぶ線を境に、この 2 種類のスラブ内地震の地震活動の b 値が大きく変化していた。この紀伊半島を横断する境界線は、過去の大規模スラブ内地震の震源が 2 つ分布し、Miyoshi and Ishibashi (2004; 2005)の指摘した「スラブの断裂」の場所、熊野酸性岩の北端や深部低周波微動のセグメント境界にも対応していた。海洋性地殻内地震と海洋性マントル内地震の b 値を比べると、境界線の東側地域(0.92 および 0.66)は西側地域(1.06 および 0.76)よりもそれぞれ小さくなる。一方でマントルウエッジ内の地震では、上記の境界線の東側地域の b 値(1.28)は、西側地域(0.99)に比べ大きい値を示していることがわかった。Ferrand et al. [2017]による室内実験地震の結果では、試料(橄欖岩)の含水量が増えるほど b 値が大きくなる傾向が示されている。Qp 値の空間変化も踏まえてこれらの結果を総合すると、紀伊半島下の海

洋性マントルは、上記の境界線より南西部の方が北東部より含水化が大きい一方、マントルウエッジ領域では、西側の方が東側よりも含水化が小さいと考えられる。

平成 29 年度の研究成果をまとめると、深部低周波微動のセグメント境界は、スラブ内地震およびマントルウエッジの地震活動も変化する場所にあたり、特に  $b$  値の空間変化にその影響が見られることがわかった。深部低周波微動(短期的スロースリップ)と長期的スロースリップとは再来間隔が異なるが、いずれにせよどちらもプレート境界でのゆっくりとしたすべり現象であり、 $b$  値に関する理論的研究がここ数年活発になった国内外の学会での情勢の変化も踏まえ、30 年度以降はスラブ内地震の  $b$  値とスロースリップとの間に関係が見られることに注目し、その関係を探求する研究活動を行うこととした。スロースリップの発生時期とスラブ内地震の地震活動の発生時期にある程度関係が見られることについては、南カリフォルニア大学の Heidi Houston 教授および John Vidale 教授が Han et al. [2014]にて指摘していたため、本課題の研究協力者に加わっていただくこととし、南カリフォルニア大学にてスラブ内地震とスロー地震に関する地震データ解析を行う在外短期研究を行った。

平成 30 年度-令和元年度の研究成果は下記のとおりである。紀伊半島北東部にてプレート境界の下のプレート内部地震の特徴を調べ、短期的スロースリップの発生時期との関連を検討したところ、短期的スロースリップの発生時期の前と後 2 ヶ月分の時期を比較すると、(a)海洋性プレート内(スラブ内)では、地震発生数の上昇が減速し、(b) $b$  値(発生する地震の平均マグニチュードと関係する数値)も減少し、(c)スラブ内の応力場も変化することを見出した。スラブ内の応力場の変化のパターンは、スラブマントルとスラブ地殻でも異なっていた。これらの成果は、スラブ内地震とスロー地震との発生時期に対応が見られることを、複数の観測データが示したことを意味する。

上記のような、スロー地震の発生タイミング前後でスラブ内地震  $b$  値が変化することへの理解を深めるためには、 $b$  値の理論的研究を理解する必要があると考え、実験岩石学者である Thomas Ferrand 博士(カリフォルニア大学サンディエゴ校研究員)の招聘を行い、実験岩石学から見たスラブ内地震の  $b$  値の解釈について知見をご教示いただき、岩石実験に関するセミナーも建築研究所等にて行っていただいた。これらのセミナーは、他の研究所・大学の研究者にも参加していただき、スラブ内地震とスロー地震全般に関する議論も行うことができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Saeko Kita and Thomas Pascal Ferrand	4. 巻 8
2. 論文標題 Physical mechanisms of oceanic mantle earthquakes: Comparison of natural and experimental events	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific reports	6. 最初と最後の頁 17049
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-018-35290-x	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 該当する

1. 著者名 Delbridge, B. G., S. Kita, N. Uchida, C. W. Johnson, T. Matsuzawa, and R. Burgmann	4. 巻 44
2. 論文標題 Temporal variation of intermediate-depth earthquakes around the time of the M9.0 Tohoku-oki earthquake	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Geophys. Res. Lett.	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/2017GL072876	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 該当する

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 1件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Saeko Kita and Thomas Pascal Ferrand
2. 発表標題 Physical mechanism of oceanic mantle earthquakes: Comparison of b-values of natural and lab earthquakes.
3. 学会等名 2018 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Saeko Kita and Thomas Pascal Ferrand
2. 発表標題 Dehydration-Driven Stress Transfer Evidenced Beneath NE Japan
3. 学会等名 AOGS2018 meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 広瀬 勇樹・北佐枝子
2. 発表標題 Spatial distribution and b-values of earthquakes beneath Kii Peninsula, southwestern Japan
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北佐枝子
2. 発表標題 胆振東部地域下における三次元速度構造を用いたDD法による震源再決定
3. 学会等名 日本地震学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Saeko Kita and Heidi Houston
2. 発表標題 Variations in seismicity rate, stress orientations and b-values before and after ETS events in the subducting slab beneath Kii Peninsula
3. 学会等名 International Joint Workshop on Slow Earthquakes 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Thomas Pascal Ferrand , Alexandre Schubnel , Nadge Hilairet , Loc Labrousse , Saeko Kita
2. 発表標題 Dehydration-driven stress transfer: from the lab to the field
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北 佐枝子, Heidi Houston, 田中佐千子, 浅野陽一, 澁谷拓朗, 須田直樹
2. 発表標題 Variations in b-values and stress orientations in the subducting slab under Kii peninsula
3. 学会等名 日本地震学会2018年度秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Delbridge, B.G., S. Kita, C. Johnson, N. Uchida, T. Matsuzawa, R. Burgmann
2. 発表標題 Temporal variation of intermediate-depth earthquakes around the time of the M 9.0 Tohoku-oki earthquake
3. 学会等名 2017 AGU-JpGU joint meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kita, S. and T. Shiina
2. 発表標題 Characteristics of the stress drops for intraslab earthquakes beneath Tohoku and Hokkaido, northeastern Japan
3. 学会等名 2017 AGU-JpGU joint meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 椎名 高裕, 中島 淳一, 松澤 暢, 豊国 源知, 北 佐枝子
2. 発表標題 The depth variations in seismic velocity and intermediate-depth seismicity in the subducting crust of the Pacific slab
3. 学会等名 2017 AGU-JpGU joint meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 北佐枝子・松原誠・澁谷拓郎
2. 発表標題 西南日本の地震波減衰構造とスロー地震． - 地震テクニクス 的な検討 -
3. 学会等名 日本地質学会第 124 年学術大会（2017 愛媛大会）（招待講演）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<a href="https://sites.google.com/view/kitasaeko/publications">https://sites.google.com/view/kitasaeko/publications</a>
---

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
研究協力者	ヒューストン ハイジ  (Houston Heidi)	南カリフォルニア大学・教授	
研究協力者	フェランド トーマス  (Ferrand Thomas)	カリフォルニア大学サンディエゴ校・研究員	
研究協力者	ビダーレ ジョン  (Vidale John)	南カリフォルニア大学・教授	

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	山口 飛鳥 (Yamaguchi Asuka) (30570634)	東京大学・大気海洋研究所・准教授  (12601)	
連携研究者	汐見 勝彦 (Shiomi Katsuhiko) (20500375)	防災科学技術研究所・地震津波防災研究部門・主任研究員  (82102)	
連携研究者	伊藤 喜宏 (Ito Yoshihiro) (30435581)	京都大学・防災研究所・准教授  (14301)	
連携研究者	澁谷 拓郎 (Shibutani Takuo) (70187417)	京都大学・防災研究所・教授  (14301)	