

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：82113

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04139

研究課題名（和文）スロー地震とスラブ内地震の関係モデルの高度化

研究課題名（英文）Advanced study of relationship between intraslab and slow earthquakes

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） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：当初想定よりも、短期的スロースリップの研究に関しては、それが発生した後、より浅部のプレート境界である遷移域にスロースリップが伝搬していき、それに伴い応力集中が遷移域から南海トラフ地震想定震源域に移っていくと言う、海溝型巨大地震の応力蓄積過程まで見えてきた。これは、本研究の行ったスラブ内地震のモニタリングの方法論が研究プレート境界で発生しうる巨大地震の発生監視に役立つ可能性を持つことを意味する。また、現在進行中の長期的スロースリップの研究においても、スラブ内地震とスロースリップと相似地震との間に見られる相互関係についてより調べていくことが重要と思われる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スロースリップは、海溝型巨大地震の前兆現象を担う可能性がシミュレーション研究から示されている。近年になって見つかったスロースリップは、1世紀以上にわたり研究されてきた一般的な地震研究と比べてその研究は進んでいない。海溝型巨大地震が発生すれば大被害をもたらすこともあり、海溝型地震の前兆の可能性のあるスロースリップにまつわる研究成果は社会的に見ても意義がある。本研究ではスロースリップとスラブ内地震の連動性の原因が、スラブからプレート境界への流体の移動であることを示した。地球惑星科学分野では、地球内部の物質循環機構の解明は重要な研究課題であり、地震学のみならず地球惑星科学分野全体への波及効果もある。

研究成果の概要（英文）：To understand the relationship between intra-slab earthquakes and slow slip, which is thought to be one of precursor phenomena of megathrust earthquakes, we examined temporal variations in stress field and seismicity using focal mechanism data and hypocenters for intra-slab earthquakes beneath Kii Peninsula and Bungo channel, southwestern Japan. In Kii Peninsula, we found that microearthquakes of intra-slab earthquakes became active ~1 month before the occurrence of short-duration slow-slip events with tremors (ETS) and a clear change in orientation of stress axes at the timing of ETS times in the oceanic crust beneath Kii Peninsula. We identified another small slow slip event from observations of repeating earthquakes that occurred in the updip zone after ETS events. The present study shows that the strain accumulation process before the occurrence of the anticipated Nankai megathrust earthquake should be detectable via the monitoring of intraslab earthquakes.

研究分野：地球物理学（地震学）

キーワード：スロー地震 スロースリップ スラブ内地震 地震活動 b値 応力場 時間変化 西南日本

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

陸プレートと海洋性プレートの境界ではスロースリップと呼ばれる非地震性のすべりが発生している。本研究では、プレート境界でゆっくり滑りが発生すればその下の海洋性プレートでの応力場や地震活動も変化する」と考えた。紀伊半島での予備的研究(北ほか、2019年地震学会高騰発表)では、スロースリップの発生前後で、スラブ内地震の発生数、b値の低下、応力場の変化を見つけて報告した。このスラブ内地震のb値の変化は、誘発地震実験でのそれと似ていることから、スラブからプレート協会へ地殻流体の移動がスロースリップとスラブ内地震を結びつけると予想した。

Ujiie (2019 Nature)では、「石英脈の形成サイクルがスロースリップの発生周期と関わる」とするモデルを提案しており、さらに石英脈の形成には流体の移動によるシリカ成分の蓄積が必要なため「石英脈形成と流体がスロースリップとスラブ内地震を介在する」とするモデルを申請者もそれだけが唯一の有力な説と考えていた。しかし詳しく見ると、スロースリップ域の直下とそれよりも海溝軸側では、応力変化が異なる傾向が予備的研究でわかった。応力場の空間変化が、巨大地震が起こりうるプレート境界での固着状況を反映している可能性がある。その結果、石英脈の影響を考えなくとも、スラブ内とスロースリップの発生するプレート境界との応力変化との関係が説明できる可能性も出てきた。

以上のような背景より、本課題では「スラブ内地震とスロースリップとの活動の相互関には、石英脈の介在があるかないか」についての検証を行うこととした。

2. 研究の目的

地震学的解析研究を行い、その結果に対して学際的な検討を行い、スラブ内地震とスロー地震との関係モデルの構築を目指す。地質学者とも連携し、プレート境界で形成が予想される石英脈が、スロー地震とスラブ内地震と連動に介在するかも検討する。それらを総合し、「巨大地震のアスペリティとスロースリップとの連動性」のモデルにおける、スラブ内地震や地殻流体の役割の理解を進める。

3. 研究の方法

当初の予定では、紀伊半島と四国と房総半島を研究対象地域としていた。スロースリップ(スロー地震の一種)の発生前後に起きる、海洋性プレート内部(スラブ内)での(1)応力場、(2)地震のb値、(3)地震発生数の変化、(4)繰り返し地震(相似地震)および測地学的データ等の時空間変化とも比較する。

4. 研究成果

令和2年度は、過去25年間に発生した相似地震活動とスロースリップ(深部低周波微動や相似地震も含む)の時空間変化の関係を紀伊半島にて調べた。そして、紀伊半島にて明確な相似地震が2グループ、相似地震の可能性のある地震活動クラスターが1グループ発生し、それらはスロースリップの発生直後もしくは数ヶ月後に、スロースリップ発生域よりも海溝軸寄りの領域で、発生することを見出した(図1)。この成果は、これまで知られているスロースリップ以外に、ゆっくりとしたプレートの動きが海溝軸付近でも発生している可能性を示している。

令和3年度は、昨年度までに見出していた紀伊半島での相似地震活動の意味について考える研究を行った。前年度までに紀伊半島周辺では、志摩半島からその沖にかけて、南海トラフ地震の想定震源域があり、その縁(本報告書では遷移域と呼ぶ)で相似地震が発生することがわかった。そして、相似地震活動は短期的スロースリップの発生直後もしくは数ヶ月後に、発生することを見出していた。詳しく検討したところ、発生周期6ヶ月の紀伊半島での短期的スロースリップ発生前後でのスラブ内の応力軸の変化量は、短期的スロースリップ発生域よりも遷移域のほうが大きく(12度)、そして後者は3ヶ月かけて元に戻っている。もし、その時期には小さなスロー地震(今回の場合は相似地震)が遷移域で起きることによる地殻変動により応力軸が元に戻るとすれば、説明可能なことがわかった。相似地震は小さな規模のスロースリップ発生のインディケータとして知られているが、Igarashi [2020]の論文1で報告されている相似地震カタログを調べると、紀伊半島の短期的スロースリップの発生後に相似地震が2グループ起きていることがわかった。この「これまで指摘されてなかった遷移域での小さなスロースリップ」の重要性は、下記の通りである。短期的スロースリップが発生した後、より浅部のプレート境界である遷移域にスロースリップが伝搬していき、それに伴い応力集中が遷移域から南海トラフ地震想定震源域に移っていくと言う、海溝型巨大地震の応力蓄積過程が見えてきたことを意味するからである(図2)。これらの成果を含む内容は、米国地球物理学会での口頭発表、Nature Communicationsの論文発表等で公表した。

令和4年度は、豊後水道における長期的スロースリップとスラブ内地震の連動性に関する研究を進めた。豊後水道のスロースリップの発生前後でも応力軸の変化は短期的のそれよりも大きく最大20度以上で回転し(dip方向)、さらには長期的スロースリップ開始前の「前兆現象」が見つかった。すなわち、スロースリップ開始前の1年の間に、スラブの応力軸(圧縮軸、sigma1)

が一時的に回転していることを見つけた。この結果は他の手法などでの検証も必要な段階ではあるが、少なくとも豊後水道ではスロースリップ発生時期予測が可能かもしれないことを意味する。これらの成果は、5月に日本地球惑星科学連合、9月に国際研究集会、10月に日本地震学会にて研究成果を発表した。11月にはロサンゼルスへ1週間滞在し、研究協力者のHeidi Houston教授の所属する米国カリフォルニア州ロサンゼルス市にある南カリフォルニア大に赴き、地震データ解析研究の打ち合わせ、追試、論文作成等を行った。加えて、南カリフォルニア大学の近郊のカリフォルニア工科大学にも出向き、金森博雄名誉教授等との研究打ち合わせも行い、日米の最新の研究動向に関する知見交換も行った。

なお、当初予定していたよりも、短期的スロースリップの研究に関しては、それが発生した後、より浅部のプレート境界である遷移域にスロースリップが伝搬していき、それに伴い応力集中が遷移域から南海トラフ地震想定震源域に移っていくと言う、海溝型巨大地震の応力蓄積過程まで見えてきた。これは、スラブ内地震のモニタリングがプレート境界で発生しうる巨大地震の発生監視に役立つ可能性を持つことを意味する。また、現在進行中の長期的スロースリップの研究においても、スラブ内地震とスロースリップと相似地震との間に見られる相互関係についてより調べていくことが重要と思われる。

近年、地震観測に関する新技術 DAS が世界的に注目されてきている。そのような業界の最先端の動向を考慮し、本研究でも新たに DAS を用いた地震活動の観測研究も含むことにした。本研究の研究協力者である産業技術総合研究所の矢部優研究員とともに、国土交通省四国地方整備局所有の光ケーブルを用いて令和3年度末に愛媛県内で行った DAS を用いた地震観測実験では、スラブ内地震のデータも収録することができ、令和4年度からデータ解析を開始した。今後は、既存の観測網によるデータのみならず、新しい技術による観測データの活用を含む研究開発の検討も行なっていきたい。

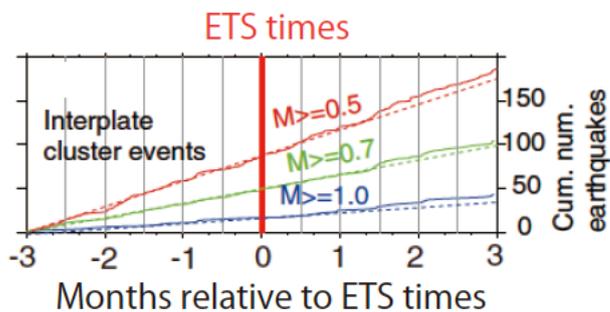


図1：本研究での研究成果のうち、紀伊半島での相似地震に関するもので、約17年間の累積発生個数データをETS（深部低周波微動とスロースリップが同期して発生する現象のこと）の発生時からの相対時間でスタックしたものの。ETSの発生よりも1.5ヶ月後に相似地震が活発になることがわかる。

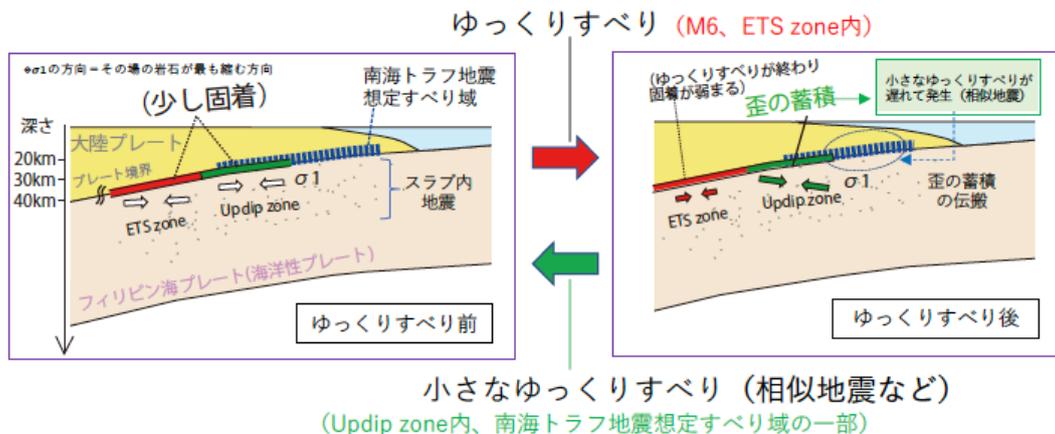


図2：本研究での研究成果の模式図。海溝型巨大地震、スラブ内地震、短期的スロースリップ（スロー地震もしくはゆっくりすべり）および相似地震の相互関係が表現されている。

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 2件）

1. 著者名 Saeko Kita, Heidi Houston, Suguru Yabe, Sachiko Tanaka, Youichi Asano, Takuo Shibutani & Naoki Suda	4. 巻 12
2. 論文標題 Effects of episodic slow slip on seismicity and stress near a subduction-zone megathrust	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 7253(1-7)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-021-27453-8	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 Takahashi Hiroaki, Takai Nobuo, Chigira Masahiro, Meng Guojie, Kita Saeko, Yamada Takuji	4. 巻 72
2. 論文標題 Special issue “The 2018 Hokkaido Eastern Iburu Earthquake and Hidaka arc?arc collision system”	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 65
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40623-020-01176-4	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

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 1件/うち国際学会 7件）

1. 発表者名 北 佐枝子, Heidi Houston, Roland Burgmann, 浅野 陽一, 木村 武志, 矢部 優
2. 発表標題 Effects of long-term slow slips on in-slab stresses in Bungo Channel, southwestern, Japan
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北佐枝子
2. 発表標題 コロナ禍中の米国パークレでの長期在外研究
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北 佐枝子、Heidi Houston、Roland Burgmann、浅野 陽一、木村 武志、矢部 優
2. 発表標題 Effects of long-term slow slip events on in-slab stresses and seismicity in Bungo Channel, Southwestern, Japan
3. 学会等名 International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北 佐枝子、Heidi Houston、Roland Burgmann、浅野 陽一、木村 武志、矢部 優
2. 発表標題 豊後水道下の長期的スロースリップの発生に伴う海洋性プレート内での応力変化
3. 学会等名 日本地震学会2022年秋季大会 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wahyudi Nasrul Pratama, Saeko Kita and Kazutoshi Imanishi
2. 発表標題 Construction of Stress Map in Indonesia Region Using Earthquake Focal Mechanisms.
3. 学会等名 2022AGU fall meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Saeko Kita, Heidi Houston, Suguru Yabe, Sachiko Tanaka, Youichi Asano, Takuo Shibutani & Naoki Suda
2. 発表標題 Effects of ETS on seismicity and stress in the subducting oceanic plate
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Saeko Kita, Heidi Houston, Suguru Yabe, Sachiko Tanaka, Youichi Asano, Takuo Shibutani & Naoki Suda
2. 発表標題 Relationship of in-slab events with episodic tremor and slip and detection of updip slow slip near the locked megathrust in the Nankai subduction
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北 佐枝子、ヒューストン ハイジ、矢部 優、田中 佐千子、浅野 陽一、澁谷 拓郎、須田 直樹
2. 発表標題 紀伊半島下のゆっくりすべり，スラブ内地震と内陸地震
3. 学会等名 日本鉱物科学会2021年年会・総会（招待講演）
4. 発表年 2021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 Ocean slab seismicity and stress state affected by episodic slow slip near a subduction-zone megathrust
3. 学会等名 日本地震学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ngun Za Ian, 北 佐枝子
2. 発表標題 Completeness magnitude of earthquakes and b-value in Myanmar
3. 学会等名 日本地震学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

南海トラフ地震の詳細な固着はがれの検出に成功！
<https://www.kenken.go.jp/japanese/information/information/press/2021/535.pdf>

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	矢部 優 (Yabe Suguru)		
研究協力者	氏家 恒太郎 (Ujiie Kotaro)		
研究協力者	ヒューストン ハイジ (Houston Heidi)		
研究協力者	澁谷 拓郎 (Shibutani Takuo)		
研究協力者	木村 武志 (Kimura Takeshi)		

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4件

国際研究集会 日本地球惑星科学連合 スラブ内地震に関する国際セッション(S-IT20)	開催年 2021年～2021年
国際研究集会 日本地球惑星科学連合 スラブ内地震に関する国際セッション(S-CG43)	開催年 2022年～2022年
国際研究集会 日本地球惑星科学連合 スラブ内地震に関する国際セッション(S-CG46)	開催年 2023年～2023年
国際研究集会 日本地球惑星科学連合 スラブ内地震に関する国際セッション(S-IT18)	開催年 2022年～2022年

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			
インドネシア	BMKG (インドネシア地球物理 庁)			
米国	UCバークレ	南カリフォルニア大学	カルフォルニア工科大学	
米国	UCバークレ	南カリフォルニア大学	スタンフォード大学	他2機関
米国	南カリフォルニア大学	UCバークレ	コーネル大学	