

令和 6 年 10 月 4 日現在

機関番号： 8 2 1 1 3

研究種目： 国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(A））

研究期間： 2019 ~ 2023

課題番号： 1 8 K K 0 3 9 2

研究課題名（和文）短期的スロースリップの発生とスラブ内の地震活動および応力場の時間変化との関係

研究課題名（英文）Relationship between short-term slow slip event, intraslab earthquakes and stress change in the oceanic slab

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： 1 0 5 4 3 4 4 9

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 9,700,000 円

渡航期間： 13 ヶ月

研究成果の概要（和文）：本項では主な成果である、準トップ誌への2つの論文の内容について記す。2021年出版のNature communicationsでの国際共同論文では、紀伊半島下にてM6程度のスロースリップの発生の際に、海洋性プレート内の応力状態と地震活動のパターンが変化することを見つけた。また、プレート境界伝いに南海トラフ地震の想定震源域までスロースリップが伝搬していく様子も捉えることに成功した。2024年Science Advancesにて出版の国際共同論文では、東北地方下にて20年分の地震観測データを調べた。すると、M9地震前後で海洋性プレート内にて応力中立面の4km程度の深部拡大を世界で初めて見つけた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2021年出版の国際共同論文で執り行った解析手法は、気象条件の良し悪しに左右されない基盤的地震観測網の地震観測データを使用している。すなわち、本研究は純粋科学への進歩への貢献だけでなく、海溝型巨大地震の準備過程に関する安定した新たな監視手法としてスラブ内地震が役立つことを示した点も非常に重要である。2024年出版の国際共同論文はM9後にスラブ内大地震が起きやすくなった事実の理由を説明できる内容である。M9地震後の東北地方でのスラブ内大地震である2022M7.4福島沖地震の発生後は東北新幹線の運行停止期間が1ヶ月起きており、今後の地震工学分野などとの連携による研究の発展も重要と思われる。

研究成果の概要（英文）：Two important papers were published in top 10% journals due to activities supported by this JSPS fund. In Kita et al. (2021, Nature Communications), we found that activity patterns of seismicity and stress field in the oceanic plate change relative to the times of short-term slow slip events with 6 month intervals in Kii Peninsula. Propagation of small magnitude slow slips along the plate boundary to the anticipated Nankai Trough megathrust earthquake was also found by monitoring of seismicity and stress field. In Delbridge et al. (2024, Science Advances), we examined 20 years of earthquake observation data under the Tohoku region. In that paper, I had a role of analysis of focal mechanisms and gave a concept of the paper. I found the stress neutral plane in the oceanic plate shifted 4 km to deeper portion after a M9 earthquake.

研究分野： 地球物理学（地震学）

キーワード： 海洋性プレート スラブ内地震 スロースリップ スロー地震 応力場 沈み込み帯 地震活動 海溝型巨大地震

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

当該科研費の基課題となる基盤研究(C)「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」(課題番号:17K05637)では、「長期的スロースリップの断層面の中央部では石英の濃集の為に反射強度が周辺域よりも大きく、同断層面の縁や周辺域での反射強度は小さい」という仮説の検証を地震学者と地質・岩石学者の連携研究者と共に西南日本で実施していた。スロースリップとはスロー地震(ゆっくりすべり)の一種で、大地震の発生準備過程と関わると考えられるプレート境界でのゆっくりとしたすべり現象で、継続時間により長期的、短期的スロースリップと区別して呼ぶ。この基課題では、長期的スロースリップの分布と、内陸地震の放出するS波のプレート境界における反射効率の空間変化との関係との検証を行っていた。また、「プレート境界における石英脈の形成がスロースリップの発生やセグメント化(グループ化)と関わる」指摘があるため(Audet and Bürgmann, 2014)、地質学者とも石英脈の形成とスロースリップとの関連性について議論し、学際的な長期的スロースリップの発生環境モデルの構築を目指している。この課題を応募時、基課題は開始2年目で申請者は地震波のプレート境界での反射効率の推定場所の優先度を検討していた。

そのような状況の中、上記の反射効率の推定する場所の優先度を検討するため南カリフォルニア大学のHouston教授と共に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下記(a)から(c)に記す面白い結果が出た。すなわち、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。これらの成果は、1地域での予備的研究とはいえ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手法から指摘した世界初の事例で、これまでの常識を覆す大変重要な成果と考えられた。

2. 研究の目的

そこで、当該科研費では1での予備的研究成果の検証をするべく、紀伊半島・四国・カスケディアを研究対象地域とし、短期的スロースリップ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)地震発生数の変化について調べることにした。そして、スロー地震とスラブ内地震の変化発生時期に関係が見えるかについての理論構築を測地学者と、地質学者との議論もしつつ、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し、留学用科研費の趣旨に沿うよう、在外研究の機会を最大限活かしつつ、国内での研究活動も並行して行う。そのようにして「短期的スロースリップとスラブ内地震の活動時期になぜ関係が見えるか?」のメカニズム解明も挑むことにした。

3. 研究の方法

2019年11月より研究活動の執行を開始し、コロナ禍の影響による延長などのため2024年3月まで実施した。留学先や渡航先はコロナ禍のため予定を変更せざる得なく、試行錯誤した。主要な滞在先を米国カリフォルニア大学バークレ校とし、カリフォルニア州内の複数の大学への短期滞在は行った。一方で、カナダでの在外研究は取りやめた。

(平成31年度・令和元年度)

本科科研費による研究開始は2019年11月頃とした。2020年4月(令和2年4月)開始予定だった長期在外研究の準備のため、計算機環境の構築等を行った。12月に開催された米国地球物理学会の秋季大会にて招待講演として発表を行った。

(令和2年度)

令和2年度は、渡航予定の大学からの要請で渡航時期を数ヶ月遅らせる対応を行った。結果として2021年1月から11月末まで長期在外研究を実施することになった。2021年1月の渡米後はカリフォルニア大学バークレ校に客員研究員として研究活動を始めた。紀伊半島下のスラブ内における応力変化の時空間変化と、プレート境界でのゆっくりすべりの時空間変化とが対応することを見つけ、地震活動及びスラブ内の応力場のモニタリングの方法が、想定東南海地震の断層面を含む紀伊半島でのプレート境界の状態監視に使える可能性を示した。この内容をまとめた論文は学術誌に投稿した(令和3年度にNature Communicationsにて受理)。

(令和3年度)

前年度から続く長期在外研究を2021年11月末まで行った。カリフォルニア大学バークレ校には、6月から大学に入構可能となり、以後大学内での対面活動を活発化させた。南カリフォルニア大学へは8月と10月に現地訪問し、対面活動をする事ができた。

令和3年度の研究活動としては、スロー地震とスラブ内地震の関係について理解を深めるための研究活動を行った。紀伊半島での研究を引き続き行っていたが、新たに豊後水道での研究にも取り組み始めた。豊後水道でも、紀伊半島と同様に、長期的スロースリップの発生前後にスラブ内での応力軸の時間変化の検知に成功した。また米国カスケディア地方での地震活動及び地殻変動現象として継続時間の短いスロー地震(短期的スロースリップ)以外に、その発生域よりも

海側で長期的スロースリップがあるかもしれない兆候が米国での観測データに見られることを在外研究での文献調査により知ることができた。

上記以外の活動としては、カリフォルニア工科大学およびカリフォルニア大学デービス校（U C Davis）へは短期間の訪問を行った。E E R I（米国の建築基準法を作る団体）、日本鉱物科学会、広島大学に対してはオンライン環境での招待講演を行った。また複数の国内外の学会にオンライン参加した。Stanford 大学、U C Berkeley、南カリフォルニア大学、ワシントン州立大学、マサチューセッツ工科大学、ボストン大学とも、オンラインでの研究打ち合わせやセミナー参加を行った。

（令和 4 年度）

令和 4 年度は、8 月に 2 週間、11 月に 1 週間、米国に渡航して本研究課題を遂行した。8 月の渡航では、米国西海岸の複数の大学（UC バークレ、スタンフォード大学およびカリフォルニア工科大学）を訪問し、スロー地震及びスラブ内地震に関する在外研究活動を行った。11 月には南カリフォルニア大にて在外研究を 1 週間行った。東北地震の後のスラブ内地震の起震応力場に対する影響に関する研究など、米国の共同研究者がメインで行う共著論文の研究を対面で十分に進めることができた（令和 5 年度に Science Advances）にて受理。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。渡航時に親交を深めた Allen 教授には、日本地球惑星連合 2023 年春季大会にて招待講演をしていただくことになるなど、在外研究の機会を最大限活かした。

（令和 5 年度）

最終年度は、本課題で得られた成果の総まとめの年度とした。まず国内では、6 月と 9 月にはスロー地震に関する野外巡検に紀伊半島と房総半島で参加した。9 月には国際研究集会では、途上国研修の内容を反映させつつ、スラブ内地震とスロー地震に関する研究に関する海外の最新情報の収集・情報発信・意見交換を行なった。

9 月には UC バークレとスタンフォード大学にて 2 週間の在外研究を行った。2 月には、南カリフォルニア大にて在外研究を 1 週間行った。フィリピン、トルコなど途上国での地震研究に関する情報交換を行った。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った。

4. 研究成果

本項では主な成果である、準トップ誌への 2 つの論文の内容について記す。2021 年出版の論文 1) は、南カリフォルニア大学、防災科学技術研究所、産業技術総合研究所、広島大学理学研究科、京都大学防災研究所との共同研究の成果である。この共同研究では、南海トラフ・紀伊半島下に於て収録された 17 年分の地震観測データを調べた。すると、M6 程度のゆっくりすべり（スロースリップ）が起きるたびに、沈み込む海洋性プレート内部の応力状態（力のバランス）と地震活動のパターンが変化することを見つけた。さらに、その原因が海洋性プレート内部からプレート境界（大陸プレートと海洋性プレートとの境界）への水（地殻流体）の移動であることを、17 年分の観測データをスロースリップの発生時期に合わせて地震活動の特徴が変化することを示したデータ解析結果等により明らかにした。また、地下深部（約 30-40km）だけでなく、プレート境界に近い南海トラフ地震の想定震源域（深さ 20-30km）までゆっくりすべりが伝搬していく様子も、地震観測データから世界で初めて捉えることに成功した。執り行った解析手法は、気象条件の良し悪しに左右されない基盤的地震観測網の地震観測データを使用している。すなわち、本研究は純粋科学への進歩への貢献だけではなく、海溝型巨大地震の準備過程に関する安定した新たな監視手法としてスラブ内地震が役立つことを示した点も非常に重要である。

2024 年出版の論文 2) は、防災科学技術研究所、カリフォルニア大学バークレ校、米国ロスアラモス国立研究所との共同研究の成果である。論文では、東北地方下に於て 20 年分の地震観測データを調べた。すると、沈み込む海洋性プレート内部の応力状態の M9 地震前後での変化を見つけた。論文の中では、海洋性プレート内の応力場について M9 地震前 10 年間と、後 10 年間について比較し、陸域下の海洋性プレート内にて（逆断層型の地震の原因となる）圧縮場の 4km 程度の拡大を世界で初めて見つけた。この観測事実は、M9 地震発生による海洋性プレート内での圧縮場の拡大を意味している。M9 地震前と比較して頻繁に発生するようになった、海洋性プレート内の M7 クラスの逆断層型地震の発生も、この圧縮場の拡大およびスロースリップによる効果が重なり発生したと考えられる。例えば、M9 後のスラブ内大地震である 2022M7.4 福島沖地震の発生後は東北新幹線の運行停止期間が 1 ヶ月起きており、今後の地震工学分野などとの連携による研究の発展も重要と思われる。

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 2件/うちオープンアクセス 3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 Saeko Kita, Heidi Houston, Suguru Yabe, Sachiko Tanaka, Youichi Asano, Takuo Shibutani & Naoki Suda	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

1. 著者名 Kita Saeko	4. 巻 71
2. 論文標題 Characteristics of relocated hypocenters of the 2018 M6.7 Hokkaido Eastern Iburu earthquake and its aftershocks with a three-dimensional seismic velocity structure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 71-122
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40623-019-1100-0	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12件（うち招待講演 2件/うち国際学会 9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 年度秋季大会 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wahyudi Nasrul Pratama, Saeko Kita, Kazutoshi Imanishi
2. 発表標題 Construction of Stress Map in Indonesia Region Using Earthquake Focal Mechanisms.
3. 学会等名 AGU 2022 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 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 2021 AGU fall meeting (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 Effects of ETS on seismicity and stress in the subducting oceanic plat
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 Ngun Za lang and Saeko Kita
2. 発表標題 Completeness magnitude of earthquakes and spatial variations of b-VALUE in Myanmar
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 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 lan, 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

1. 発表者名 Kita, S., H. Houston, S. Tanaka, Y. Asano, T. Shibutani and N. Suda
2. 発表標題 Effect of episodic slow slip on oceanic slab stress state and seismicity near a subduction-zone megathrust, beneath Kii peninsula, southwestern Japan
3. 学会等名 2020 AGU Fall Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>プレスリリース原稿 (2021年12月) https://www.kenken.go.jp/japanese/information/information/press/2021/535.pdf プレスリリース原稿 (2024年3月) https://www.kenken.go.jp/japanese/information/information/press/2023/599.pdf</p>
--

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
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	バーグマン ローランド (Burgmann Roland)	カリフォルニア大学バークレ校・地球惑星科学科・教授	
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	ヒューストン ハイジ (Houston Heidi)	南カリフォルニア大学・地球惑星科学科・教授	

	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
その他の研究協力者	矢部 優 (Yabe Suguru) (30802699)	産業技術総合研究所・研究員	
その他の研究協力者	浅野 陽一 (Asano Youichi) (00399362)	防災科学技術研究所・主任研究員	
その他の研究協力者	田中 佐千子 (Tanaka Sachiko) (30551535)	防災科学技術研究所・主任研究員	

6. 研究組織（つづき）

	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
その他の研究協力者	須田 直樹 (Suda Naoki) (10222069)	広島大学・教授	
その他の研究協力者	澁谷 拓郎 (Shibutani Takuo) (70187417)	京都大学・教授	

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			
米国	UB Berkeley	南カリフォルニア大学	ロスアラモス国立研究じょ	
カナダ	カナダ地質調査所			
インドネシア	BMKG			
フィリピン	フィリピン火山地震研究所			