

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 4月 12日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23740329

 研究課題名（和文）北海道下における島弧衝突過程と
それに伴う太平洋スラブの変形機構の解明

 研究課題名（英文）Examination of the Arc-arc collision process and its relationship with
deformation mechanism of the Pacific slab, beneath the Hokkaido

研究代表者

北 佐枝子（SAEKO KITA）

東北大学・大学院理学研究科・COE フェロー

研究者番号：10543449

研究成果の概要（和文）：稠密地震観測網と臨時地震観測網による観測データを使用して北海道日高地方下での地震波速度構造を推定し、日高地方下で深部より深さ 10km 程度まで貫入する、特異な高速度異常域（マントル物質に相当）を数か所で見つけた。これらの高速度異常域と地殻物質との境界のうち2つは 1970 年 M6.7 日高地震，1982 年 M7 浦河沖地震の断層面に一致し、急激な速度変化面（マントル→地殻）で発生した地震である可能性を示した。

研究成果の概要（英文）：Using travel time data from both a nationwide dense seismic network and a dense temporary seismic network, we obtain a high-resolution three-dimensional seismic velocity structure beneath the Hokkaido corner. Our results suggest that these two large and anomalously deep inland earthquakes occurred at sharp material boundaries under a northeast-southwest compressional stress field caused by ongoing arc-arc collision process.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	1,500,000	450,000	1,950,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：地震現象・地震波速度構造トモグラフィ

1. 研究開始当初の背景

日本列島は、千島弧、東北日本弧、西南日本弧、琉球弧などの島弧から形成されている。島弧は、プレートの収束境界（海溝）近くで形成され、火成活動や付加作用によって成長し、やがて他の島弧と衝突し、より大きな大陸に成長していく[木村, 2002, プレート集束帯のテクトニクス学]。地球は、このような大陸の形成と、プレートの誕生・消滅を繰り返すことで、物質を循環しながら進化してきた。これまで、大陸（および島弧）は一方向的に増加するだけで、地球内部に物質を戻す役割を持っていないと考えられてきたが、近年の研究により地球内部へ物質を戻す役割も担う可能性が指摘されるようになってきた[木村,

2002]。よって、その初期段階である島弧と島弧が隣り合って衝突する場所（島弧会合部）を研究することは、大陸地殻の成長過程を解明すると同時に、地球内部における物質循環機構の解明にもつながる。

日本における島弧会合部（島弧が他の島弧と隣り合っている部分）は、伊豆、北海道、九州に認められる。そのうち、北海道島弧会合部は、他の島弧会合部と比較して、太平洋プレート内部（スラブ内）地震と内陸地震活動を含め、地震活動が最も活発であることが知られている。

1996 年の兵庫県南部地震以降、日本列島には、世界で最も高感度の基盤稠密地震観測網（観測点間隔は約 20km）が構築された。そ

れにより、これまで不可能だった M1 台の地震の検知も可能となったため、世界の地震学をリードする重要な研究成果が上がってきている[たとえば Obara, 2002]. 地下構造のイメージング法(地震波トモグラフィ法)などの多くの地震学的手法において、使用できる地震数の飛躍的な増加は、詳細で正確な解析を行うことに直結する。よって、地震発生数の最も多い会合部である北海道において、上記観測網を使用して会合部の構造を詳細に調べれば、世界をリードする成果が上がる事が期待される。

北海道島弧会合部では、太平洋プレートの斜め沈み込みにより、千島前弧が南西方向に動き(スリバー運動)日高山脈(日高変成帯)下で東北日本弧と衝突している。その結果、千島前弧の地殻が上下に引き裂かれ、分裂した地殻の下側がマントル中に沈み込んでいることが、地質学的研究、および浅部(深さ 0-30km)での物理探査から推定されている[木村, 1999, Ito 2000 など]. 地震波トモグラフィ法を用いた先行研究である Katsumata et al. [2006]でも、北海道会合部において展開された集中観測網(期間 1999-2001年, 観測点間隔 10km 以下)のデータを用いて地下構造をイメージし、千島弧の地殻がマントル中に沈み込んでいることを指摘している。

上記 Katsumata et al. では、集中観測データを中心として内陸地殻領域のみに焦点を当てたイメージングをしていたが、申請者は島弧衝突が内陸地殻の変形だけではなく、太平洋スラブも同時に変形していることを予想した。そこで、申請者は予備的研究として、稠密観測網のデータのみを用い、太平洋スラブで発生した地震も使って DD トモグラフィ[Zhang and Thurber, 2003; 2006]を行い、詳細なイメージングを試みたところ、深さ 0-120 km において(深さ、水平方向とも)分解能 20km 弱(深さ、水平方向とも)の精度を持つイメージングを行うことに成功した。得られた結果では、日高山脈よりも西側で低速度異常($V_p=7.0-7.2$, $V_s<4.2$)が深さ 35-90 km に見られ、それは東北日本弧の地殻から連続的に分布しているように見えていた。これは、千島弧の地殻物質がマントル中に沈み込む、というこれまでのすべての先行研究の見解とは異なるものである。さらに、日高山脈下では高速度異常域(20 km x 90 km x 35km)が深さ 0-35km に見つかり、その速度($V_p>8.0$, $V_s>4.5$)は、マントル物質である橄欖(かんらん)岩の速度に対応していた。この橄欖岩の速度に相当する異常域の空間分布を平面図で見ると、日高変成帯の分布と非常によく一致する。過去の岩石学的研究により、日高変成岩帯の南端では、幌満橄欖岩体とよばれる十数キロの橄欖岩体の露出が確

認されている[新井田, 高澤, 2007]. すなわち、この予備的研究結果が正しければ、高速度領域は、幌満橄欖岩の“根”に相当する橄欖岩ということになる。

幌満橄欖岩の起源については、これまでの岩石学的研究ではマントルから偶然放出され地表に出た捕獲岩、と考えられ、地下深部に“根”があるという考え方[たとえば Sawaguchi, 2003]は極めて少数派であった。それは、地震学的な先行研究では、橄欖岩の速度を持つ部分は報告されていなかったこと、重い物質である橄欖岩(比重 3.6 程度)が、より軽い物質である大陸地殻物質(玄武岩または斑糲岩(比重 2.6)を押し退けて上昇する機構を考えるのは、難しかった為である。また、申請者は、予備的研究として発震機構解と地震活動を調べたところ、北海道島弧会合部では、下盤側の太平洋プレートも、島弧-島弧衝突の影響を受け、日高変成帯下にて局地的に変形している可能性を見出した。これは、大陸地殻の衝突が、大陸地殻領域の変形にとどまらず、その下の太平洋スラブも巻き込んでいることを示唆する結果であり、世界で初めて観測データよりその関係性を指摘した結果である。

2. 研究の目的

北海道下では、太平洋プレートの斜め沈み込みにより、千島前弧スリバーが西進し、東北日本弧と衝突している。世界で最も稠密で高感度である我が国の基盤稠密地震観測網に加え、この地域に展開した集中地震観測網のデータを用いて詳細なトモグラフィ解析、震源決定、メカニズム解決定、応力テンソルインバージョンを行う。それにより、この地域で進行している島弧-島弧の衝突過程と、島弧地殻の大変形に伴ってその下のスラブの変形も生じているか否かを明らかにする。また、マントルウエッジに特異的に沈み込む地殻物質の正体と、地表近くに達する橄欖岩(幌満橄欖岩)の謎にも迫る。それらを通し、大陸地殻の成長過程の研究に貢献したい。

3. 研究の方法

北海道島弧会合部の、東北日本弧と千島弧とが衝突している最前線の日高山脈を中心として、内陸地殻領域(深さ 0-35km)からスラブ領域(深さ 160 km)までを研究対象範囲とし、統合データ(稠密地震観測網データ 2000-2011年+集中観測データ 2年分)を用いて、詳細な地震波速度構造の推定、震源決定、発震機構解の決定を行う。それらを通し、東北日本弧と千島弧の地殻同士の位置関係と、島弧とスラブの同時変形の形態について明らかにし、島弧変形のモデル(連動変形モデル)を提案する。また、この地域の内陸地

殻領域の最大地震である、M6.8 浦河沖地震の発生原因についても別途考察し、地震発生過程の理解を進める。

研究をより効率的に行うために、①地震学と岩石学の両方の分野の研究者を研究協力者として迎え、②島弧会合部の岩石学的研究の現場見学を含む、北海道での研究集会も開催する。

4. 研究成果

■ 23年度

23年度は、統合データ（稠密地震観測網および臨時地震観測網[勝俣ほか、2002]の統合データ）を用いて、①北海道日高地方下の地震波速度構造を推定し、②この地域の過去の大地震のメカニズム解を決定し、③過去の大地震の断層面と得られた速度構造との比較研究を行った。それにより、日高地方下で深部より深さ 10km 程度まで貫入する、特異な高速度異常域（マントル物質に相当）を数か所で見つけた。これらの高速度異常域と地殻物質との境界は、地質境界もしくは衝上断層の深部延長上に存在することが分かった。また、うち2つは、同地域の大規模地震である 1970 年 M6.7 日高地震、1982 年 M7 浦河沖地震の断層面に一致していた。これらの内陸地震は、異常に深部で発生しているが、その原因は長らく不明であった。しかし、本研究により、これらは、急激な速度変化面（マントル→地殻）を利用し発生した地震であることを明らかにした。このようにして得られた成果は、アメリカ地球物理学会で発表し、また内容をまとめて国際誌（JGR）にも投稿した。上記の結果は、表層から深部まで続く複数の地質断層が島弧衝突帯形成を担うことを、詳細な解析結果により世界で初めて示したもので、従来の島弧衝突モデル[例えば、伊藤、2000]を覆した画期的な成果である。

さらに、岩石学者（東大・小澤教授、新潟大・高澤博士、JAMSTEC 阿部博士など）と共同研究を行った。それにより、世界のレルゾライト研究上で非常に重要な幌満橄欖岩が、地下深部での捕獲岩起源ではなく、深部から内陸地殻領域まで連続的に貫入するマントル物質の一部である可能性を指摘した。すなわち、地表近くに達する橄欖岩（幌満橄欖岩）の起源に対して、従来の学説を覆す研究成果をあげた。また、これらの結果は、北海道島弧会合部での現在の地質史の再考の必要性を示唆している。

本研究の研究協力者のうち4名の方々（新潟大学・高澤准教授、東京大学地震研究所・新井研究員、東洋大学・澤口准教授、JAMSTEC・阿部なつ江研究員）と共に北海道・日高地方に赴き、現地調査および研究集会「島弧衝突過程の解明にむけて」（開催日：

10月1日、口頭発表者数3名）を開くことができた。なお、この研究集会については、別の研究集会「Ocean Mantle Dynamics: From Spreading center to Subduction zone」（http://ofgs.aori.u-tokyo.ac.jp/intrid/gej/WS_2011/ 開催日：10月4-6日）による現地巡検（開催日：10月2日）の前日準備中に開催したことにより、研究協力者以外の参加者も多数あった（参加者22名）。それにより、研究成果を、国内外の本分野の研究者へ効果的に発信することができた。

■ 24年度

24年度は、前年度までに行った北海道日高地方下の地震波速度構造に対して、その解像度を確かめる為の研究活動を行った。解像度を確かめるための1つの手法であるチェッカーボードテストでは、本研究による速度イメージングが約10km程度の解像度を持つことを示した。さらに他2つの手法による解像度チェックも行うことにより、前年度までに得た結論が変わらないことを示した。すなわち①日高地方下で深部より深さ10km程度まで貫入する、特異な高速度異常域（マントル物質に相当）が存すること、②その高速度異常域と地殻物質との境界は、地質境界もしくは衝上断層の深部延長上に存在し、うち2つは、同地域の大規模地震である1970年M6.7日高地震、1982年M7浦河沖地震の断層面に一致していることを確かめた。このようにして得られた成果は、前年度に投稿していた国際誌の論文（JGR）のリバイズ時に本文へ加筆することができた。なお、論文は今年度9月に受理された。

本年度も国内外の研究協力者の所属する研究機関に出向き、研究打ち合わせを行うことが出来た。それにより、北海道日高地方下の岩石学と地震学との間の学際的な議論を深めることが出来た。また、国内外の共同研究者との議論により、地震波速度構造と同様に地下構造を示す値の1つである地震波減衰構造を当該地域で推定すれば、その推定結果からも上記のような地下異常構造の検出が期待されることがわかってきた。そこで、北海道下における減衰構造の推定についても研究を開始した。減衰構造の推定結果についての予備的な結果とその考察に対しては、本年度の米国地球物理学連合秋季大会にて発表を行った。それにより、国内外に対して本研究による成果をアピールすることが出来た。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計6件）

1. Abers, G. A., J. Nakajima, P. E. van Keken, S. Kita, B. R. Hacker, Thermal-petrological controls on the location of earthquakes within subducting plates, *Earth Planetary Science Letters*, Vol. 369-370, 178-187, doi:10.1016/j.epsl.2013.03.0222, 013, 2013 (担当頁 179,181,183).

2. Kita et al., High-resolution seismic velocity structure beneath the Hokkaido corner, northern Japan: Arc-arc collision and origins of the 1970 M 6.7 Hidaka and 1982 M 7.1 Urakawa-oki earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, doi:10.1029/2012JB009356, Vol. 117, B12301, 2012.

3. van Keken, P. E., S. Kita, and J. Nakajima, Thermal structure and intermediate-depth seismicity in the Tohoku-Hokkaido subduction zones, *Solid Earth*, 3, 355 - 364, doi:10.5194/se-3-355-2012, 2012 (担当頁 355-356, 360-362).

4. Goto, H., Y. Yamamoto and S. Kita, Dynamic rupture simulation of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake: Multi-event generation within dozens of seconds, *Earth, Planets and Space*, doi:10.5047/eps.2012.06.002, 2012 (担当頁 1, 3-4).

5. Nakajima, J., A. Hasegawa, S. Kita, Seismic evidence for reactivation of a buried hydrated fault in the Pacific slab by the 2011 M9.0 Tohoku earthquake, *Geophysical Research Letters*, Vol. 38, doi:10.1029/2011GL048432, 2011 (担当頁 2-4).

6. Ohta, Y. S. Miura, M. Ohzono, S. Kita, T. Iinuma, T. Demachi, K. Tachibana, T. Nakayama, S. Hirahara, S. Suzuki, T. Sato, N. Uchida, A. Hasegawa, and N. Umino, Large intraslab earthquake (2011 April 7 M7.1) after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake (M9.0): Coseismic fault model based on the dense GPS network data, *Earth, Planets and Space*, 63, 1207-1211, doi:10.5047/eps.2011.07.01, 2011 (担当頁 1209-1210).

[学会発表] (計 7 件)

1. Kita, S. et al., High-resolution seismic attenuation structure beneath the

Hokkaido corner, northern Japan: Arc-arc collision and M7 class deep inland earthquakes, AGU 2012 Fall meeting, 2012 年 12 月 6 日, San Francisco (USA).

2. Kita, S. et al., Imaging the arc-arc collision process beneath the Hokkaido corner, Japan, Friday Brown Bag Seminar, UC Davis (招待講演), 2012 年 11 月 2 日, Davis (USA) .

3. 北佐枝子ほか, 北海道下の 3 次元地震波減衰構造: 島弧 - 島弧衝突と M7 クラス内陸大地震, 日本地震学会 2012 年秋季大会, 2012 年 10 月 17 日, 函館.

4. Kita, S. et al., Detailed seismic velocity and seismic attenuation structures beneath Hokkaido corner, northeastern Japan: Arc-arc collision and its relation to M7 inland earthquake, Achievements of G-COE Program for Earth and Planetary Dynamics and the Future Perspectives, 2012 年 9 月 26 日, 仙台.

5. 北佐枝子ほか, 日高地域下の 3 次元地震波減衰構造: 島弧 - 島弧衝突過程のイメージング, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 2012 年 5 月 22 日, 幕張.

6. Kita et al., Precise seismic velocity structure beneath the Hokkaido corner, northern Japan: Arc-arc collision and the 1970 M 6.7 Hidaka region earthquake and the 1982 M 7.1 Urakawa-oki earthquake, 2011 AGU fall meeting, 2011 年 12 月 8 日, San Francisco (USA).

7. 北佐枝子ほか, 日高地域下の詳細な地震波速度構造: 島弧 - 島弧衝突と 1982 年浦河沖地震, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011 年 5 月 26 日, 幕張.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北 佐枝子 (SAEKO KITA)

東北大学・大学院理学研究科・COE フェロー

研究者番号: 10543449