

機関番号：12608

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2008～2010

課題番号：20253003

研究課題名（和文）沈み込んだ海嶺の地震学的構造探査：大陸成長機構の解明に向けて

研究課題名（英文）Seismic investigation of subducted ridge: Towards understanding mechanism of continental growth

研究代表者

岩森 光 (Hikaru Iwamori)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：80221795

研究成果の概要（和文）：沈み込んだ海嶺がおよぼす熱的影響とその大陸成長への役割を解明するため、地震学的、堆積学的、岩石・構造地質学および数値シミュレーションの研究を、チリ三重会合点付近および西南日本を主な対象として実施した。その結果、会合付近での自然地震の活動、前弧における沈降と堆積場、火成活動と変形史、および地下温度・熔融構造に制約が与えられ、多量の花崗岩質マグマが海嶺沈み込みに伴って形成されることが分かった。

研究成果の概要（英文）：Thermal effects of subducted ridges and their roles in continental growth have been investigated, based on seismology, sedimentology, petrology-structural geology, and numerical simulation for the triple junction and the surrounding area in Chile and SW Japan. Natural earthquakes, subsidence and sedimentary environment in the forearc region, igneous activity and deformation history, and thermal-melting structure beneath the region have been constrained, indicating that a large amount of granitic melt can be produced associated with ridge subduction.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2008年度	30,800,000	9,240,000	40,040,000
年度			
年度			
総計	35,100,000	10,530,000	45,630,000

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：大陸成長、海嶺沈み込み、OBS、地震波、構造探査、花崗岩、数値計算

## 1. 研究開始当初の背景

大陸地殻形成過程の解明は、地球科学の基礎的問題であり、海嶺の沈み込みはその一つの機構として理論的に可能性が指摘されていた。同時に、海嶺沈み込みが、プレート運動やマントル流動とどのように関わるかも未知であるが、当該地域（チリ三重会合点付近）はアクセスが悪く、地震学的な探査や研究がほとんどなされていない状況であった。しかし、本研究と前後して、アメリカのグループが同様の地域に地震計ネットワークを設置

し、おもにテクトニクスやスラブの形状解明を目的として研究を始めたところであった。

## 2. 研究の目的

地球に固有の大陸地殻、すなわち花崗岩質岩石およびマグマの成因は、地球の特徴や歴史を理解する上で未解明の重要問題である。本研究の大きな目標は、理論的研究によって予測されている海嶺沈み込みに伴う花崗岩質マグマ生成機構や大陸成長過程をその場観察すべく、南米チリの三重会合点付近におい

で地震学的探査を行ない、その結果を、テクトニクス、火成作用および熱・流動モデリングの各面から解析・検証することにある。この一連の観測・解析は、地震波速度構造、温度構造、溶融を含む物質的構造を統一的に結びつけ、大陸成長機構の解明に貢献すると期待される。

### 3. 研究の方法

(1) 地震学的探査：三重会合点を内包する地震計ネットワークを設置し、自然地震の観測により、(A)自然地震の分布と性質、(B)沈み込んだ海嶺とプレート(スラブ)の形状(角度および沈み込んだ海嶺の軸に発達すると予想される‘スラブウィンドウ’(プレート間の隙間)の存在や形状)、および(C)地震波速度構造、特に溶融領域の検出を試みる。対象地域が海洋から前弧にまたがる領域であるため、海底地震計(OBS)と陸域地震計の両方をそれぞれ数台ずつ設置し、同時期に観測する。海底観測には、地震活動度を考慮し、1年間海底に置いて連続観測可能な長期観測型海底地震計を使用し、データの蓄積をはかる。

#### (2) 堆積学的研究：

海嶺沈み込みに伴って上盤の前弧域大陸地殻に期待される変形を理解するため、海洋研究開発機構によって運用される調査船「みらい」によって、6Maに生じた海嶺沈み込み以降、陥没を続けていると考えられる Golfo de Penas (ペナス湾)でシングルチャンネル反射法地震波探査を実施し、断層などの地質構造をマッピングする。また、ピストンコアを用いて、この構造性盆地に堆積した堆積物の柱状試料を採取して、貝殻の<sup>14</sup>C年代から堆積速度を算出し、構造性盆地の形成速度を推定する。

#### (3) 岩石・構造地質学的研究(海嶺沈み込み帯上部の火成作用と変形)：

海嶺沈み込みに関連する火成作用の分布を明らかにするため、海嶺沈み込み帯上部に露出するタイタオ・オフィオライト(のしあげた海洋地殻)とそれに付随する花崗岩類(大陸地殻)の年代を確定するとともに、周辺海域でドレッジを行い、地震研究所の折橋裕二博士の協力を得て、採取した火山岩類の年代や組成を明らかにする。オフィオライトの構造マッピングから、海嶺沈み込みに伴う地殻変形を明らかにする。

#### (4) 数値シミュレーション研究：

熱構造と火成作用を数値シミュレーションによってモデル化し、観測される地震学的構造および地質学・岩石学的構造と比較する。

地殻・上部マントルの熱対流のシミュレーションに、海嶺の沈み込みおよびスラブウィンドウに対応する高温領域を設定することにより、先行研究よりも現実的な温度構造・溶融構造の再現を目指す。また、地殻物質の部分溶融により生じるメルト組成を、既存の融解実験結果に基づいてパラメータ化し、数値シミュレーションに組み込む。この計算により、海嶺沈み込みにより生じるマグマ組成を、観測とモデルの比較検討に用いることができ、より定量的に温度場・溶融場の検証が可能となる。

### 4. 研究成果

#### (1) 地震学的研究

現在の地球上で唯一海嶺沈み込みが起こっているチリ三重会合点付近において、詳細な震源分布や地震波速度構造を求めることは重要である。しかしながら、チリ三重会合点は海底にあり、海域における地震観測が不可欠である。そこで、チリ三重会合点付近、タイタオ半島沖で、長期観測型海底地震計を用いた海底地震観測を行った。同時期に陸域でも臨時観測点による地震観測が行われ、海陸地震観測ネットワークが構築された。この海底および陸上地震観測の目的は、長期の地震観測から詳細な地震活動を明らかにすると共に、制御構造探査実験等により速度構造を求めることである。さらには、海陸ネットワークのデータから、トモグラフィー解析、レーンバ関数解析などにより、より深部の構造を求めることも目的である。

陸上観測は、タイタオ半島周辺の9箇所に地震計を設置し、約1年間の自然地震観測を行った。電力トラブルおよび2010年2月に発生したチリ大地震のために、回収やデータ解析が大幅に遅れ、残念ながらまだ結果が得られていない。海底観測は、長期観測型海底地震計5台を用いることにより、長期にわたって多数の地震を観測し、結果の信頼性を向上させることが特徴である。海底地震観測には、地震研究所で開発された1年間海底で連続観測可能な長期観測型海底地震計を用いた。地震計センサーには、3成分1Hz速度型を搭載し、チタン球を耐圧容器として使用するデジタル収録方式である。設置は、2009年3月1日に、海洋研究開発機構海洋地球研究船「みらい」MR08-06レグ1航海にて行った。設置前にマルチナロービーム測深儀による海底地形調査も行った。5台の海底地震計を30km間隔で設置し、観測を開始した。設置後には、エアガンと海底地震計による広角反射・屈折法地震探査を行うと共に、反射法地震探査を行った。海底地震計の回収は、設置からほぼ1年後の2010年2月12日から13日にかけてチリ海軍の救助サルベージ船BRS-Slightにより行い、5台ともに良

好な記録が得られた。時刻補正などの処理を行い、地震の検出、読み取りを行った。精度よく震源決定可能な海底地震計ネットワーク内で発生した地震も多数記録されており、震源決定の結果、海側では活動的な海嶺で見られる地震活動が海溝まで起こっていることがわかった。これは、海嶺が海洋底拡大を行いつつ、沈み込んでいることを示していると考えられる。今後は、陸上ネットワークデータと併せ、深部の構造を推定する。

## (2) 堆積学的研究

ペナス湾で地震波探査を実施した結果、ペナス湾中央部で北西-南東方向のグラーベン構造を発見した。グラーベン構造中の堆積物は、最上位のものも変位を受けているようであり、活断層である。ピストンコアにより、624 cm長の柱状試料を採取した。海底下271 cmで得られた貝殻の14C年代は5,420年であり、0.5 mm/yの堆積速度が得られた。堆積盆の沈降続度の最小見積もりと考えられる。

## (3) 岩石・構造地質学的研究（海嶺沈み込み帯上部の火成作用と変形）：

チリ海嶺沈み込み帯近傍に露出するタイタオ・オフィオライトとそれに付随する花崗岩の年代関係を明らかにし、海嶺沈み込みイベントと大陸地殻生成過程の同時性を明らかにした (Anma et al., 2009)。また、オフィオライトの脆性変形をマッピングし、海嶺沈み込みに伴う応力場の変遷を議論した (Veloso, Anma and Yamaji, 2009)。海底からドレッジした火成岩類のU-Pb年代測定を地震研究所において行い、チリ海嶺とトランスフォーム断層の沈み込みに関連する火成作用が570万年前から400万年前のごく限られた時間内で生じたことを明らかにした。また、280万年前にもアダカイト質の火山活動が生じたことが明らかになった。

## (4) 数値シミュレーションによる熱構造と火成作用のモデル化：

既存研究 (Iwamori, 2000) をさらに発展させ、沈み込み角度、沈み込み速度、スラブウィンドウに対応する軸部の高温領域の幅、を変数とするプログラムを構築し、さまざまな条件で (あ) 溶融の時空分布、(い) メルトの化学組成を調べた。特に、大陸成長に寄与すると考えられる花崗岩質マグマの生成に注目し、沈み込む海洋地殻および上盤側の弧の地殻が溶融する様子に注目した。その結果、沈み込み角度によらず、海嶺沈み込みによって花崗岩質マグマが生成され、沈み込んだ海洋地殻の溶融が広範囲で起こることが分かった。このことは、チリ三重会合点周辺でアダカイト

質マグマが存在することと調和的である。生成されるマグマの量と時空分布は角度と速度（海嶺沈み込み前と後での速度変化を含む）によって大きく変わることが分かった。沈み込み角度が浅い場合には、火成作用の起こる範囲が全体として広がるが、背弧側下ではマグマ生成深度（沈み込んだ海洋地殻の深さ）が大きくなるため、マグマの上昇に時間がかかり、マントルと反応して地表に達しない可能性があることが分かった。一方、沈み込むプレートの速度は、溶融領域の広がりに対しての影響よりも、むしろ溶融の継続時間（時間分布）に大きく影響することが分かった。チリ周辺での花崗岩の時空分布の詳細はまだ不明であるため、時空分布が良く分かりつつある白亜紀・西南日本の花崗岩活動と、上記のモデル結果を比較した。西南日本では、白亜紀に海嶺が沈み込んだと考えられており (Uyeda and Miyashiro, 1974)、モデルの検証に適する。その結果、西南日本の花崗岩マグマ活動は、浅い沈み込み角度（～20度）および海嶺沈み込み後の遅い net convergence rate により説明が可能であることが分かった (Iida et al., 2011)。さらに、化学組成の再現結果を実際の花崗岩マグマ組成と比較したところ、海嶺軸に対応する部分（およびそれが移動した軌跡）に、モデル計算では安山岩～玄武岩質のマグマが生成され、比較的マフィックな岩石が実際にも存在することが確認された (Iida et al., 2011)。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 5 件)

- ① Anma, R., Armstrong, R., Orihashi, Y., Ike, S., Shin, K-C., Kon, Y., Komiya, T., Ota, T., Kagashima, S., Shibuya, T., Yamamoto, S., Veloso, E. E., Fannin, M. and Herve, F. Are the Taitao granites formed due to subduction of the Chile ridge? *Lithos*, 113, 246-258, 2009. 査読有
- ② Veloso, E. E., Anma, R., Yamaji, A., Ophiolite emplacement and the effects of the subduction of the Chile Ridge System: Heterogeneous paleostress regimes recorded in the Taitao Ophiolite (Southern Chile). *Andean Geology*, 36, 3-16, 2009. 査読有
- ③ 岩森光. 海嶺の沈み込みと三波川-領家変成岩および花崗岩の成因-広域ダイナ

ミクス, 物質循環との関連性-, 地学雑誌, 117. 292-298 (2008). 査読有

- ④ Nakamura, H., Iwamori, H., Kimura, J., Geochemical evidence for enhanced fluid flux due to overlapping subducting plates. *Nature Geoscience* 1. doi:10.1038/ngeo200 (2008). 査読有
- ⑤ Iwamori, H., Thermal and flow structure of subduction zones and water transportation into the deep mantle. *Geochim. Cosmochim. Acta* 72. A416 (2008). 査読有

[学会発表] (計 8 件)

- ① 篠原雅尚、山田知朗、杉岡裕子、伊藤亜妃、Matthew Miller、一瀬建日、Klaus Bataille、岩森光, 長期観測型海底地震計を用いたチリ三重会合点付近における地震活動、日本地球惑星科学連合 2011 年度連合大会、2011 年 5 月 27 日、幕張 (日本)
- ② Iida, K., Iwamori, H., and others, Chronology, Petrology and Numerical Simulation for Cretaceous to Paleogene Granitic Rocks, SW Japan. *Japan Geoscience Union Meeting*, 2011/5/26, Makuhari, Japan.
- ③ Anma, R., Recognition criteria of ophiolites formed due to ridge collision/subduction. *Geological Society of America, Tectonic Crossroads*. 2010/10, Ankara, Turkey.
- ④ 篠原雅尚、山田知朗、杉岡裕子、伊藤亜妃、Matthew Miller、一瀬建日、Klaus Bataille、岩森光, 長期観測型海底地震計を用いたチリ三重会合点付近における地震観測、2010 年度日本地球化学会年会, 2010 年 9 月 8 日、熊谷 (日本)
- ⑤ Anma, R., Shin, K-C., Orihashi, Y., Nakano, T. & Abe, N., Ridge subduction and evolution of continental crust - Chile ridge subduction zone. *Japan Geoscience Union Meeting*, 2010/5/27, Makuhari, Japan (invited).
- ⑥ Anma, R., Shin, K-C., Orihashi, Y., Kon, Y., Nakano, T. and Armstrong, R., Subduction of the Chile Ridge and Generation of Granite Magmas. *EGU General Assembly*, 2010/5, Wien,

Austria.

- ⑦ Anma, R., Orihashi, Y., Veloso, E. A. and Shin, K-C., Magmatism and crustal deformation during subduction and tearing of a ridge-transform system. *EGU General Assembly*, 2010/5, Wien, Austria.
- ⑧ Iwamori, H., Thermal and flow structure of subduction zones and water transportation into the deep mantle. *Goldschmidt Conference*. 2008/07/17, Vancouver, Canada.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

岩森 光 (HIKARU IWAMORI)  
東京工業大学・理工学研究科・教授  
研究者番号: 80221795

### (2) 研究分担者

篠原 雅尚 (MASANAO SHINOHARA)  
東京大学・地震研究所・教授  
研究者番号: 90242172

安間 了 (RYO ANMA)  
筑波大学・生命環境科学研究科・講師  
研究者番号: 70311595