

令和元年6月19日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(A) (海外学術調査)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02630

研究課題名(和文)プレート境界沈み込みに伴う南部チリ弧火成作用の多様性とマグマ生成過程の全容解明

研究課題名(英文)Global understanding variation of arc volcanism in southern Chile, accompanied with subducted plate boundary and their magma processes

研究代表者

折橋 裕二 (Yuji, Orihashi)

弘前大学・理工学研究科・教授

研究者番号：70313046

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 30,780,000円

研究成果の概要(和文)：比較的若い形成年代を持つナスカプレートが沈み込んでいる南部チリ弧では海洋地形から破碎帯(線状変質帯)が沈み込んでいる地域を明瞭に把握できる。本研究により、この破碎帯が沈み込む直上に位置する第四紀島弧火山を構成する火山岩類はそれ以外の周囲の火山に比べ、非常に高い親水性元素(例えば、Cs, Rb, Ba, K, Pb, Sr, Sbなど)の濃集が認められた。このことから、破碎帯が沈み込んでいる直上に位置する火山においては、通常の島弧火成作用よりも流体の付加が大きくなり、マントルウェッジの部分融解量が増大し火成活動が活発化していることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今回、南部チリ弧に分布する島弧火山帯において、沈み込む海洋プレートに発達する断裂帯直上の第四紀火山の島弧火成活動は通常の地域の火山に比べ流体の付加が増大し、活発化していることが明らかになった。南部チリ弧では比較的若い海洋プレートが沈み込んでいるため、海底地形から破碎帯の位置は明瞭に把握できるが、古い海洋プレートが沈み込んでいる東北日本弧や伊豆・小笠原弧ではその上に厚い堆積物が覆っているためその位置は明確でない。しかし、今回得られた地球化学的解析法を駆使すれば、環太平洋火山地帯全域の第四紀火山において、どの火山が今後活発化するか推定できうる重要な基礎データになる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：Nasca Plate having relatively younger age subducts southern Chile Trench. On this province, obvious fracture zones (linear altered zones) formed in the plate are recognized on recent submarine topography. In this study, we have revealed that volcanic rocks composing of the Quaternary arc-volcanoes above the subducted fracture zones in the plate were so far more enriched in hydrophile elements (for example, Cs, Rb, ba, K, Pb, Sr, Sb, etc) than those in the volcanoes above the non-fracture zone in the plate. This fact suggests that fluids from the subducted fracture zones were more enriched and degree of partial melting of the mantle wedge beneath the Quaternary volcanoes were increased, as a result, the Quaternary volcanoes above the subducted fracture zones to be recently more active.

研究分野：地球化学，火成岩岩石学

キーワード：島弧火成作用 プレート境界沈み込み マグマ生成過程 南部チリ弧

1. 研究開始当初の背景

環太平洋火山地帯は全長 40,000 km に及ぶ第四紀火山弧であり、太平洋・ナスカ・南極プレートの収束プレート境界に沿って発達している。この火山弧を司る大陸弧(島弧)火成作用は、沈み込んだプレート上面からの流体(主に H₂O)により加水されたマントルウェッジ最下部(カンラン岩)が加圧されることで脱水・部分融解することで生じる。この脱水反応は、カンラン岩中に共存する複数の含水鉱物の安定領域に支配され、マントルウェッジの温度構造が高い場合(若い海洋プレートの沈み込み)、より浅部で脱水反応が起こり、低い場合(古い海洋プレート)、より深部(< 200 km)まで継続して起こる(例えば、Tatsumi & Eggins, 1995; Iwamori, 1998)。プレート収縮境界で沈み込む海洋プレートは生成年代が異なるが均質な剛体であるかという点、そうではない。太平洋のように古い海洋プレートでは遠洋堆積物が厚く堆積し、一見、衛星画像解析で得られた海洋地形では不均質性は無いように見える。しかし、比較的若いナスカ・南極プレートには数多くのトランスフォーム破砕帯(横ずれプレート境界)が発達することが海洋地形から読み取れる。実際にジュラ系海洋プレートが沈み込む日本列島、東北地方近傍の大陸斜面においてもトランスフォーム破砕帯に類似した断裂帯が海溝に直行する方向に発達していることが指摘されている(Umino ら, 1990)。このことは、トランスフォーム破砕帯を主体とする線状不均質性を持つ海洋プレートの沈み込みが環太平洋火山地帯において頻繁に起こっていることを示唆し、これが同火山帯の大陸弧火成作用に何らかの影響を与えている可能性が高い。

南米・チリ弧南部には明瞭なトランスフォーム破砕帯を数多く有するナスカプレートと南極プレートが沈み込んでいる。この両プレートは発散型プレート境界(中央海嶺)で分けられ、南緯 46 度付近で三重点(チリ三重点)を形成している。この三重点近傍約 350 km では火山フロントが消滅し非火山地帯となる。それよりも以北のハドソン火山から首都サンチアゴ(南緯 33 度)に至る全長約 1,200 km の範囲には南部火山帯と呼ばれる大陸弧火成作用により形成された 57 の第四紀火山が連なる(Stern, 2004)。Onuma & Lopez-Escobar (1987)は南部火山地帯の火成作用の多様性とトランスフォーム破砕帯の位置関係について最初に着目し、Sr/Ca vs. Ba/Ca プロット図から

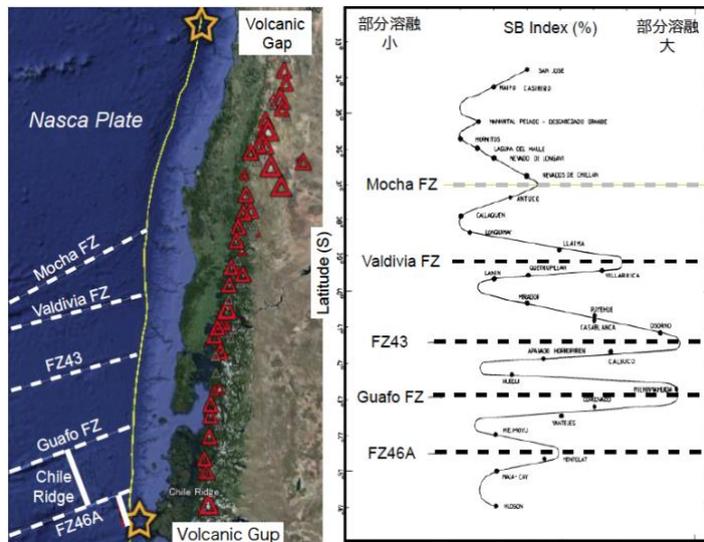


図1(左) チリ三重点から首都サンチアゴ近郊に伸びる(南緯 46° ~ 33°)南部火山地帯の第四紀火山とナスカ海洋プレートに発達するトランスフォーム破砕帯の位置関係。(右) 南部火山地帯を構成する火山岩の部分融解度(SB Index)とトランスフォーム破砕帯の関係。破砕帯直上の火山岩ほど部分融解度が大きい(Onuma & Lopez-Escobar, 1987)。

得られた各火山の SB Index(無水カンラン岩の部分融解度を示すファクター)が破砕帯直上部でピークを持つ波状振幅を示すことを見出した(図1右)。この結果に基づき彼らは、沈み込んだ破砕帯がプレート下のアセノスフェア上昇流を誘発したため、特異な部分融解度の増加となったと論じている。一方、対象火山数は 13 と少ないが、我々研究グループも同火山帯について予察的研究を行っている(Shinjoe ら, 2013; 遠山ら, 2014)。我々は特に B やハロゲン元素, LIL 元素といった流体に親和性を持つ元素濃度に着目した全岩化学分析とデータ解析を行い、現段階では不明瞭ながら、SB Index と流体の付加量間に正の相関があることを見出した。このことは、トランスフォーム破砕帯に沿って加水した変質帯が通常より大量の流体をマントルウェッジに持ち込み、大陸弧(島弧)火成作用を活発化させるという新たなマグマ生成過程の構築の必要性を予期させる結果となった。我々研究グループは、これを作業仮説として、南部火山地帯中央部~南部域(図1左)の火山を対象に、火山地質・地形解析、年代測定・全岩化学分析、高压岩石実験で得られた盤石な総合データに基づき、大陸弧(島弧)火成作用での新しいマグマ生成過程の構築を目指す。

2. 研究の目的

環太平洋火山地帯は全長 40,000 km に及び、収束プレート境界(海溝)に沿って分布する。同火山地帯は大陸弧(島弧)火成作用により形成され、沈み込む海洋プレートから供給された流体により加水されたマントルウェッジ最下部が加圧・脱水・部分融解することで形成される。しかし、海洋リソスフェアは多くのトランスフォーム破砕帯(横ずれプレート境界)が発達する線状不均質剛体である。我々は、同破砕帯に沿って加水した線状変質帯が通常より大量の流体をマントルウェッジに持ち込み、定常的な大陸弧火成作用を活発化させる、というマグマ生産量に関する新たな定量的モデルを提案する。本研究の目的は、チリ弧、南部火山帯を模式地とし、盤石な火山地質・地形解析・年代学・地球化学・高压

実験データに基づき、これを実証することである。

3. 研究の方法

チリ弧，南部火山地帯中央～南部域を構成する 35 火山について，「地質調査班」は平成 27・28 年度に火山岩組成分布図作成と岩石試料の系統サンプリングを行なった。これと併行して，「地形解析班」は各火山のマグマ生成量と分布の特徴，海洋プレート内トランスフォーム破砕帯との関連性を解析した。「岩石化学分析班」と「年代測定班」は得られた岩石試料を平成 27～30 年度の4年間で化学分析を行い，各火山の噴火ステージとマグマ生成過程での多様性を押えた。これら4分野の詳細なデータに基づき，大陸弧（島弧）火成作用を活発化させる新たなマグマ生成機構を構築した。

4. 研究成果

南部チリ弧には5本の断裂帯（線状変質帯）を持つナスカプレートが沈み込んでいる。この沈み込んだ断裂帯がその直上にある島弧火山の火成作用にどのような影響を与えているかを検証するため，南部チリ，南部火山地帯（Southern Volcanic Zone，以下，SVZ）を構成する27火山（南緯 38～44°）について第四紀火山岩類の系統サンプリングを行い，約 250 試料の火山岩試料を採取した。特に南緯 38°以南の 10 火山については陸路によるアクセスが困難な地域であり，これまでほとんど研究が進んでいない火山であるが，今回，2回にわたるヘリコプターによる系統サンプリングを行い，中央から南部 SVZ においてサンプル空白地帯の無い緻密な火山岩試料のコレクションを構築することができた。これら 250 試料の内，選定した約 150 試料について XRF とレーザーアブレーション ICP 質量分析装置による全岩化学組成の分析を行い，さらに親水性元素であるハロゲン元素（特に F や Cl）や Sb, Tl についても定量分析を行なった。これらの結果から島弧火成作用における along-arc での流体関与の程度の変化を詳細に明らかにした。これにより，ナスカプレートに発達する断裂帯が沈み込んでいる直上の第四紀島弧火山では流体の付加がその周辺の火山に比べ増大し，それに伴いマントルウェッジの部分熔融度が増加していることが新たに解明された。また，その一部の火山においてマグマ生産量が増加していることが地形解析による火山山体の体積量から明らかとなった。以上のことから，海洋プレートに発達する断裂帯は，断裂帯の無い海洋プレートに比べ大量の流体をマントルウェッジに供給するキャリアーとなっており，島弧火成活動を活発化させる要因になっていることが本研究により実証された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 11 件）

- 1) 新正裕尚, 折橋裕二, ホウ素含有量から見た,若い海洋プレート沈み込みに伴う火成活動：南米アンデス弧と中新世西南日本弧の例, 月刊地球, 査読無, 40, 5, 272-279, 2018. DOI 無.
- 2) Grosse, P., Y. Orihashi, S.R. Guzman, H. Sumino and K. Nagao, Eruptive histories of Incahuasi, Falso Azufre and El Cóndor Quaternary composite volcanoes, southern Central Andes (~27°S), Bull. Volcanol., 査読有, 80:40, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00445-018-1221-5>
- 3) Massafarro, G.I., Y. Orihashi, V. Africa, T. Jalowitzki and D. Hirata, Chemical characteristics of major and trace elements of Sierra Cuadrada Formation at Meseta del Cancel, Proceedings of XX Congreso Geológico Argentino, 査読無, 4, 69-74, 2017. DOI 無.
- 4) Medialdea T., Somoza L., Gonzalez F. J., Vazquez J. T., de Ignacio C., Sumino H., Sanchez-Guillamon O., Orihashi Y., Leon R., Palomino D., Evidence of a modern deep water magmatic hydrothermal system in the Canary Basin (eastern central Atlantic Ocean), Geochem. Geophys. Geosys., 査読有, 18, 3138-3164, 2017. DOI: [10.1002/2017GC006889](https://doi.org/10.1002/2017GC006889).
- 5) Jalowitzki, T., F. Gervasoni, R. V. Conceição, Y. Orihashi, G. W. Bertotto, H. Sumino, M. Schilling, K. Nagao, D. Morata and P. Sylvester, The role of subducted Aluk plate beneath Chilean Patagonia during Paleocene-Eocene: mixing between depleted mantle peridotite and slab-derived components in the mantle wedge, Lithos, 査読有, 292-293, 179-197, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.09.008>

- 6) 市原美恵・Claudia Adam・Valerie Vidal・Pablo Grosse・三部賢治・折橋裕二, 「点と線」に注目した沈み込み帯の火山とテクトニクス, 地学雑誌, 査読有, 126, 181-193, 2017. DOI: 10.5026/jgeography.126.181
- 7) Bertotto, G.W., M.H. Hitch, A. D. Ponce, Y. Orihashi and H. Sumino, Petrography and geochemistry of Toscales basaltic eruptive center. Extra-Andean back-arc zone of Mendoza province, Rev. Asoc. Geol. Argentina, 査読有, 73, 3, 330-340, 2016. DOI無.
- 8) Jalowitzki, T., H. Sumino, R. V. Conceição, Y. Orihashi, K. Nagao, G.W. Bertotto, E. Balbinot, M. Schilling and F. Gervasoni, Noble gas composition of subcontinental lithospheric mantle: an extensively degassed reservoir beneath southern Patagonia, Earth Planet. Sci. Lett., 査読有, 450, 263-273, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.09.008>
- 9) Shin, K.-C., R. Anma, T. Nakano, Y. Orihashi and S. Ike, The Taitao ophiolite-granite complex: a ridge-trench interaction oceanic lithosphere on-land and origin of calc-alkaline I-type granites, Episodes, 査読有, 38, 285-299, 2016. DOI: 10.18814/epiugs/2015v38iugs/82424
- 10) Calabozo, F. M., J. A. Strelin, Y. Orihashi, H. Sumino and R. A. Keller, Volcano-ice-sea interaction in the Cerro Santa Marta area, northwest James Ross Island, Antarctic Peninsula, J. Volcan. Geotherm. Res., 査読有, 297, 89-108, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.03.011>
- 11) Bernardi, M.I., G.W. Bertotto, T.L.R. Jalowitzki, Y. Orihashi and A.D. Ponce, Emplacement history and inflation evidences of a long basaltic lava flow located in Southern Payenia Volcanic Province, Argentina, J. Volcan. Geotherm. Res., 査読有, 293, 46-56, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.02.001>

[学会発表] (計 14 件)

- 1) 新正裕尚、折橋裕二、安間了、角井朝昭、和田穰隆、周藤正史, Reexamination of the radiometric ages of the middle Miocene near trench magmatism in SW Japan, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, 幕張メッセ, 2018.
- 2) 遠山知亜紀, 岩森光, 角野浩史, 新正裕尚, 折橋裕二, 南部アンデス弧におけるフッ素・塩素の島弧縦断変化, 2018 年度日本地球化学会, 琉球大学, 2018.
- 3) Massaferrro, G.I., Y. Orihashi, V. Africa, T. Jalowitzki and D. Hirata, hemical characteristics of major and trace elements of Sierra Cuadrada Formation at Meseta del Cancel, XX Congreso Geologico Argentino, Tukumán, 2017.
- 4) ジョージナ M. ルビアーノ ロレンゾニ・グスタボ W. ベルトット, 折橋裕二, 角野浩史, Petrogenetic and geochronologic study of the rocks from Nevado volcano area, and eastern Payenia Volcanic Province, Central-West Argentina, 2017 年度同位体比部会, 滋賀, 2017.
- 5) 折橋裕二, 安間了, 新正裕尚, ホセ・A・ナランホ, CHRISTIMASSY 研究グループ, チリ火山研究アウトリーチとしての TV 番組制作「体感!グレートネイチャー:目撃!煮えたぎる地底のマグマ-チリ・巨大火山地帯-, 2017 年度同位体比部会, 滋賀, 2017.
- 6) Shinjoe, H., M. Sudo, Y. Orihashi and T. Sumii, Miocene alkaline magmatism in the region close to the trench of Southwest Japan, 017 AGU Fall Meeting, California, USA, 2017.
- 7) Shinjoe, H., Y. Orihashi, and T. Sumii, Boron and other trace element constraints on the slab-derived component of high-Mg andesite; Implications for short-lived forearc magmatism in Miocene SW Japan, IAVCEI 2017, Oregon, USA, 2017.

- 8) Orihashi, Y., Y. Takaku, R. Anma, H. Shinjoe and J.A. Naranjo, Behaviors of As, Se, Sb, Te, Cs, Tl and Bi on fractional crystallization in arc magma, Lonquimay volcano, Southern Volcanic Zone of the Andes, 7th Asia-Pacific Winter Conference on Plasma Spectrochemistry, Shimane, Japan, 2017.
- 9) 折橋裕二・市原美恵・安間 了・新正裕尚・遠山知亜紀・角野浩史・ホセ・ナランホ・三部賢治・中井俊一, プレート内破砕帯沈み込みに伴う南部チリ弧火成活動 の多様性とマグマ生成過程の解明, 2016 年度日本地球化学会, 大阪市立大学, 2016.
- 10) Shinjoe, H. and Y. Orihashi, Age and petrochemistry of the felsic member of the Setouchi Volcanic Rocks, SW Japan, Goldschmidt Conference, Yokohama, Japan, 2016.
- 11) Jalowitzki, T., H. Sumino, R. V. Conceicao, Y. Orihashi, K. Nagao, G.W. Bertotto, E. Balbinot, M. Schilling and F. Gervasoni, Noble gas composition of subcontinental lithospheric mantle: an extensively degassed reservoir beneath southern Patagonia, Goldschmidt Conference, Yokohama, Japan, 2016.
- 12) Anma, R., K.-C. Shin, Y. Orihashi and T. Nakano, Shallow melt exsolution and geochemical recycling at the Chile Ridge subduction zone, Goldschmidt Conference, Yokohama, Japan, 2016.
- 13) Toyama, C., Y. Orihashi, H. Shinjoe, H. Sumino and Y. Muramatsu, Behavior of Fluorine in Arc Magmatism of Southern Volcanic Zone, Chile, Goldschmidt Conference, Prague, Czech, 2015.
- 14) 遠山知亜紀・折橋裕二・新正裕尚・角野浩史・岩森 光・村松 康行, 南部アンデス弧におけるフッ素の島弧縦断変化と挙動, 日本地球化学会第 62 回年会, 横浜国立大学, 2015.

6. 研究組織

(1) 研究分担者

1) 研究分担者氏名: 市原 美恵

ローマ字氏名: ICHIHARA Mie

所属研究機関名: 東京大学

部局名: 地震研究所

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 00376625

2) 研究分担者氏名: 安間 了

ローマ字氏名: ANMA Ryo

所属研究機関名: 徳島大学

部局名: 大学院社会産業理工学研究部(理工学域)

職名: 教授

研究者番号(8桁): 70311595

3) 研究分担者氏名: 新正 裕尚

ローマ字氏名: SHINJOE Hironao

所属研究機関名: 東京経済大学

部局名: 経営学部

職名: 教授

研究者番号(8桁): 60312013

4) 研究分担者氏名: 角野 浩史

ローマ字氏名: SUMINO Hirochika

所属研究機関名: 東京大学

部局名:大学院総合文化研究科

職名:准教授

研究者番号(8桁):90332593

5) 研究分担者氏名:三部 賢治

ローマ字氏名:MIBE Kenji

所属研究機関名:東京大学

部局名:地震研究所

職名:助教

研究者番号(8桁):10372426

6) 研究分担者氏名:中井 俊一

ローマ字氏名:NAKAI Shunichi

所属研究機関名:東京大学

部局名:地震研究所

職名:教授

研究者番号(8桁):50188869

7) 研究分担者氏名:高久 雄一

ローマ字氏名:TAKAKU Yuichi

所属研究機関名:公益財団法人環境科学技術研究所

部局名:環境影響研究部

職名:研究部長

研究者番号(8桁):40715497

8) 研究分担者氏名:遠山 知亜紀

ローマ字氏名:TOYAMA Chiaki

所属研究機関名:独立行政法人海洋研究開発機構

部局名:地球内部物質循環研究分野

職名:ポストドクトラル研究員

研究者番号(8桁):30649273

9) 研究分担者氏名:大野 剛

ローマ字氏名:OHNO Takeshi

所属研究機関名:学習院大学

部局名:理学部

職名:准教授

研究者番号(8桁):40452007

9) 研究分担者氏名:瀬野 徹三

ローマ字氏名:SENO Tetsuzo

所属研究機関名:東京大学

部局名:地震研究所

職名:名誉教授

研究者番号(8桁):10216567

(2)研究協力者

研究協力者氏名:平田 大二

ローマ字氏名:HIRATA Daiji