

令和 2 年 6 月 6 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05700

研究課題名(和文)若いスラブの沈み込み火成活動とアダカイト質マグマ発生の限界

研究課題名(英文) Igneous activity of young slab subduction and the limit of adakitic magma generation

研究代表者

加々島 慎一 (Kagashima, Shin-ichi)

山形大学・理学部・准教授

研究者番号：70361243

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究地域に分布する花崗岩類の多様性について議論を進めた。Sr, Nd同位体比初生値(SrI, NdI)の変化幅は小さくマントル列上にプロットされる。特にSrI値は0.7035～0.7041と非常に低い値を持ち、パーアルミナス花崗岩では他に報告が見つからない。ケウラト岩体は、苦鉄質岩を起源物質としてモード溶融モデル計算を行い、Pl:Hbl:Cpx=5:4:1で約30%溶融させることで、トータル岩質マグマが生成されることが示された。また、プエルトシスネス花崗岩の成因は、分化したトータル岩質マグマに変堆積岩を約20%同化させ、さらに約40%分別する同化分別結晶作用(AFCモデル)で説明できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

北部パタゴニア地方の花崗岩類の分布は既知データとしてあるが、そのほとんどは地球化学的特徴、年代、成因について不確かであり、現地調査と高精度な化学分析が必要であった。全岩主成分・微量成分組成、希土類元素組成、鉱物化学組成、Sr・Nd同位体組成、ジルコンのU-Pb年代など、パタゴニアバソリスの研究を発展させる上で不可欠なデータを得ることができた。また火山フロントより前弧側に深成岩が分布すること、Sタイプ質花崗岩であるにも関わらず非常に低いSr同位体比をもつことは、この地域が未成熟な活動的大陸縁辺であることを示す。未成熟であるということは、初期地球の大陸地殻形成を解明する手掛かりとなりうる。

研究成果の概要(英文)：The Miocene plutonic rocks of north Chilean Patagonia are divided into three parts：Puerto Cisnes Granites(PCG), Queulat Diorites and Tonalites(QDT) and Queulat Diorites and Porphyries (Parada et al., 2000). We classified samples in this study in five main rock types. These are S-type like rock (Kfs-free) or (Kfs-bearing), tonalite, mafic rock and diorite. The lithology ranges from diorite to Grt-bearing peraluminous granite. Initial Sr and Nd ratios of these rocks are 0.70351 - 0.70412 and 0.51264 - 0.51287, respectively. SrI of metasedimentary rock is 0.70525. The igneous activity of this region was considered from the geochemical characteristics. This study presumed that QDT tonalite was formed by 30% degree of partial melting of the mafic rock. Geochemical modeling shows that the petrogenesis of the S-type like rock (Kfs-bearing) can be explained by assimilation and fractional crystallization between the QDT tonalite magma and the metasedimentary rock.

研究分野：地質学, 岩石学

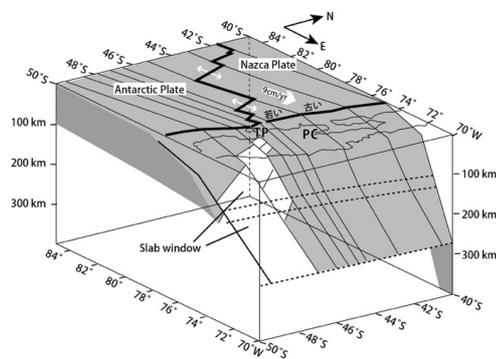
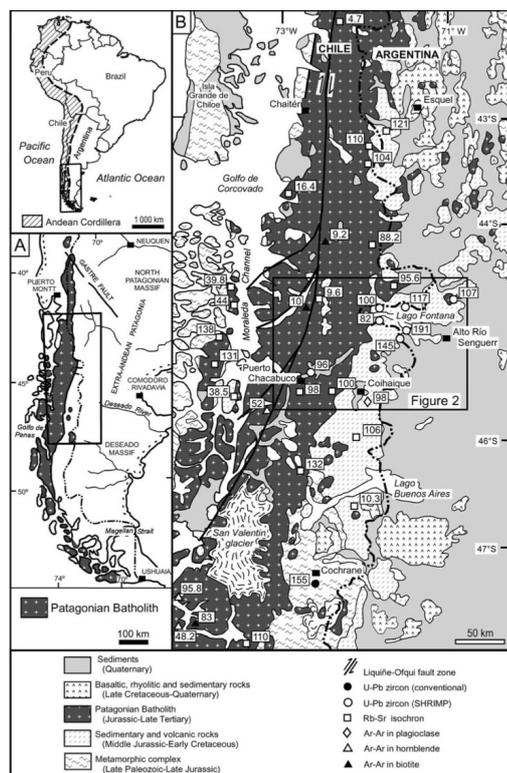
キーワード：パタゴニア・バソリス low Sr initial ratio 花崗岩 部分溶融 AFCモデル

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

沈み込み帯火成活動における花崗岩類の形成において、東北日本弧のように冷たく重たいスラブが沈み込むような比較的高角の沈み込み帯では、沈み込んだスラブはソリダスに達しなく直接溶融することはない。およそ 100 km 以深で沈み込んだスラブからの脱水によるマンツルの部分溶融が起こり、高温のマグマ上昇・地殻下部への底付けによって、地殻の部分溶融が起こる。地殻物質が堆積岩起源物質であれば S タイプ花崗岩、火成岩起源物質であれば I タイプ花崗岩が形成される。これは大陸地殻のリサイクル過程において一般化された考えである。一方、若いスラブが沈み込む、あるいは速い速度で沈み込む低角沈み込み帯では、沈み込むスラブの溶融 (アダカイト質花崗岩) が期待される。下図は Roland et al.(2002)より引用した、パタゴニア・バソリスは暗色で塗色されている。低角沈み込み帯で巨大なバソリスを作った火成活動はどのようなメカニズムであったのか研究するには格好のフィールドであるが、Roland et al.(2002)はジルコンを用いた年代値の報告であり、花崗岩類の成因については不明である。

研究代表者による予察的な研究より、プエルトシスネス花崗岩類は、アダカイト質、Mタイプ質、Sタイプ質の特徴があり、低角沈み込み帯火成活動により形成されたアダカイト質マグマとマンツル・地殻物質との反応によって、数 km 程度の狭い分布範囲に多様な花崗岩類が存在しているとするモデルを提案した。Murdie and Russo (1999)によるチリ三重会合点における地下構造図を基に火成活動の検討を行っている過程で、スラブの年齢とアダカイト質マグマの発生について明らかにすることができる着想を得た。タイタオ半島 (図中の TP) のアダカイト質花崗岩は、海嶺沈み込みによるスラブウィンドウによって、スラブが直接溶融しているのに対して、プエルトシスネス花崗岩 (PC) は、沈みこんだ海嶺よりも北方にあり、海嶺沈み込みとスラブウィンドウには直接関与しないが、比較若く若いスラブの直接溶融が考えられる。一方、ノースパタゴニアバソリスは更に北方まで広がっており、北へ行くほど古いスラブの沈み込みが変わっている。古いスラブではアダカイト質マグマの発生は期待できず、従って、プエルトシスネスから北方に連続的に分布する花崗岩類を調べることで、スラブの年齢とアダカイト質マグマの発生の限界について明らかにできると考えた。



### 2. 研究の目的

チリ三重会合点より北方の北部パタゴニアバソリスの位置と年代値および海嶺の位置関係によって、スラブメルトティングとそのスラブの年齢との関係性を、連続的に分布する花崗岩類を用いて検討することができる可能性がある。上記断面図をみると、プエルトシスネス (PC) のすぐ

北では海嶺からの距離が遠くなっている。この境界付近の同時代の花崗岩類の成因に大きな差異が認められると予想した。海嶺の拡大スピードから沈み込んだスラブの年齢を求めれば、どの程度の“若さ”のスラブまでがアダカイト質マグマを発生することができるのか、興味深い結果が得られることが期待された。北部パタゴニア地方では花崗岩類の分布は既知データとしてあるが、そのほとんどは地球化学的特徴、年代、成因について不確かであり、現地調査と高精度な化学分析が必要である。本研究では、パタゴニア・バソリスにおいて岩石試料採取を行い、全岩・鉱物化学組成、同位体組成、モデル計算等により、低角沈み込み帯における花崗岩類の成因モデルを構築することを第一とし、その結果としてアダカイト質マグマ発生の限界を見いだすことを目的としている。

### 3. 研究の方法

花崗岩類の成因論が進んでいない地域であり、地球化学的データの取得と公表が重要であるため、【1】現地調査・サンプリング、【2】花崗岩類の成因論（全岩・鉱物化学分析）、【3】花崗岩類の年代論の3段階に分け、それぞれで独立した成果が出るようにし、これらの結果は最終的に一つのモデル作成に関与する。

### 4. 研究成果

#### 【1】現地調査・サンプリング

現地調査は研究期間中2度実施した。何れもカナダ・トロントを經由しチリへ入国した。国内線で北部パタゴニア・アイセン州へ移動後、レンタカーにて調査地へと向かう。平成29年度は、12月1日～15日の期間中5日間の現地調査を実施した。調査地は、北部パタゴニア地方アイセン州のプエルトシスネス周辺および北方のプユワピへ向かうアウストラル街道の途中までである。この街道には切り通しの露頭が連続する箇所があり、優白質～優黒質岩が混在する不均質な花崗岩、角閃石を含む均質なトータル岩などの詳細な観察と岩石試料採取を行った。このほか、現地宿泊施設での翌年度の調査サポート依頼、チリ国内の大学関係者との連絡を行った。採取した試料は35試料である。

平成30年度は、年度末の3月10日～24日の期間中5日間の現地調査を実施した。調査地は、プエルトアイセン、プエルトチャカブコ、プエルトシスネスである。アウストラル街道沿いの露頭のほか、山間部への未舗装道路を利用し、前年度よりも広範囲からサンプリングを行った。閃緑岩質包有岩を含む中粒黒雲母花崗岩、粗粒角閃石斑れい岩、中粒優白色花崗岩、細粒閃緑岩、トータル岩質片麻岩、含ざくろ石片麻状花崗岩、含ざくろ石片麻状石英閃緑岩など、多様な岩石を見いだした。チリ・カトリカ大学のEugenio Andores Veloso 准教授のサポートを得て、アイセン州からの岩石試料持ち出しも順調に行うことが出来た（アイセン州からの岩石を含む自然物の持ち出しは厳しく制限されている）。採取した試料は21試料40kgである。

Queulat Diorites and Tonalites : Seno Queulat area



トータル岩の連続露頭

MMEを多量に含む

Puerto Cisnes Granite : Rio Cisnes area

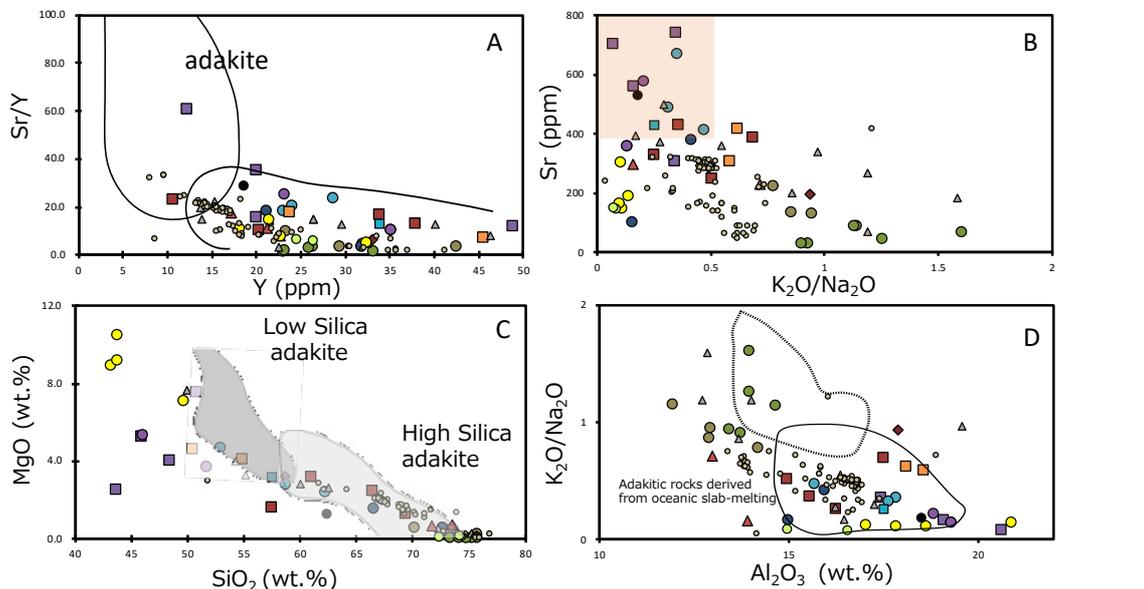


## 【2】花崗岩類の成因論（全岩・鉱物化学分析）

2度の現地調査および日本への岩石試料移送によって入手した56試料を用いて、岩石スラブ作成、岩石薄片作製、偏光顕微鏡観察、岩石記載を行い、比較的新鮮な50試料を用いてXRFによる全岩主要・微量化学分析を行った。その他、選別した試料に関しては、ICP-MSによる希土類元素分析（20試料）、TIMSによるSr, Nd 同位体分析（22試料）、EPMAによる鉱物化学分析（各岩相）を行った。

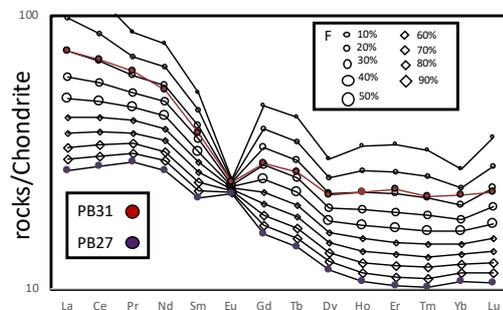
### ・アダカイトの検討

先行して行った予察研究ではアダカイト質岩の存在が示唆されていたが、本研究試料の全岩データからアダカイト判別図（Sr/Y vs Y 図）を用いて検討を行ったところ、一部の mafic rock とトータル岩がアダカイトの領域にプロットされるが、ほとんどの試料は島弧 ADR の領域にプロットされる。他のアダカイト判別図においても、一部の試料のみアダカイトの領域にあり、本研究地域に産する花崗岩類は、一般的なアダカイトの可能性は低い結果となった。



### ・Queulat Diorite and Tonalite (QDT)の火成活動

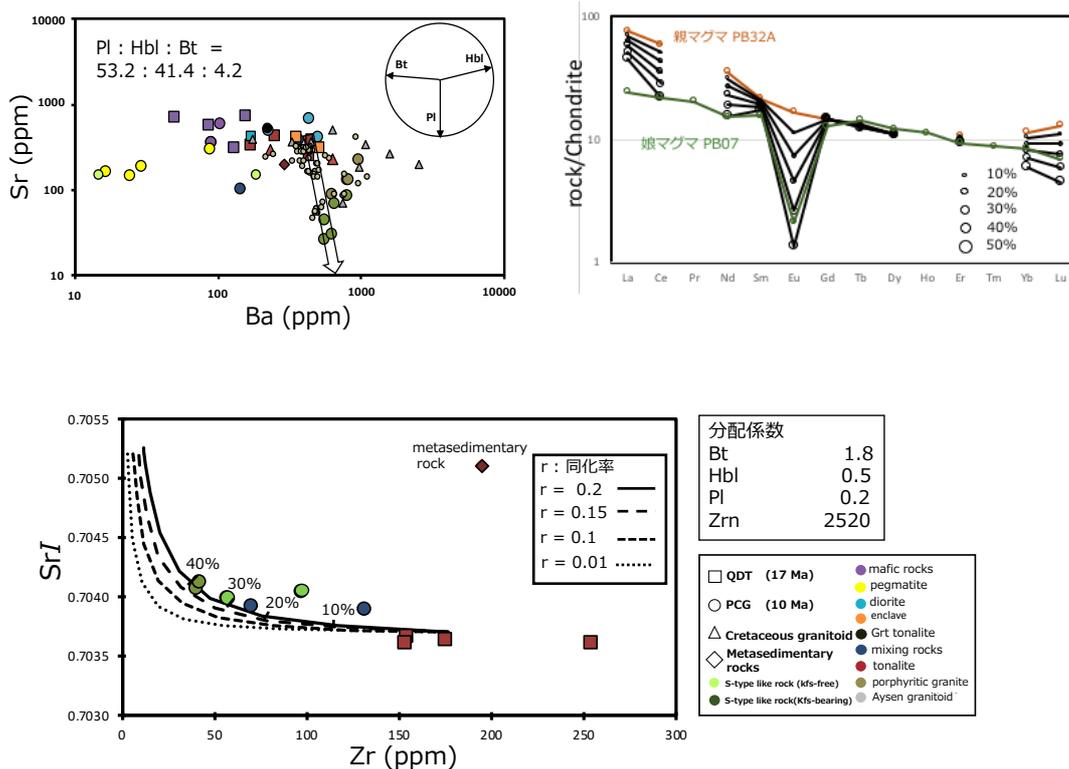
主に mafic rock とトータル岩が分布する。Parada et al.(2000)により閃緑岩から  $17.2 \pm 0.2$  Ma の年代値が報告されている。この年代値を用いて、Sr, Nd 同位体比初生値計算を行った。SrI 値は  $0.7035 \sim 0.7037$  と一般的なトータル岩よりも低い値を持ち、また変化幅が小さいことから、共通の起源物質に由来すると考えられる。起源物質として  $\text{SiO}_2$  が少ない試料 (mafic rock) を用いて平衡バッチ溶融モデル計算を行ったところ、斜長石：角閃石：単斜輝石 = 5：4：1 で約 30% 溶融するとトータル岩の組成を求めることができる。



### ・Puerto Cisnes Granite (PCG)の火成活動

PCGには主に mafic rock, diorite, S-type like rock (Kfs-bearing), S-type like rock (Kfs-free) が分布しており、S-type like rock は Herve et al.(1993)により 9.6 Ma の年代値が報告されている。本研究では S-type like rock を 2つのタイプに分けている。Kfs-free は  $\text{K}_2\text{O}$ , Ba, Rb に乏しく、ざ

くろ石はほとんど含有しない。Kfs-bearing は Eu の負の異常が顕著で、ざくろ石を多く含有する。このことから、S-type like rock (Kfs-bearing) は著しく分化したマグマであると示唆される。同一岩体内の分別結晶作用のマスバランス計算を行ったが有意な数値は得られず、先行貫入している QDT のトーナル岩を親マグマとして仮定したところ、斜長石 21.52%、角閃石 16.83%、黒雲母 1.79%の分別により親マグマから娘マグマへの組成変化を説明できる。この割合を用いてレイリー分別モデル計算をしたところ、40%の分別で実測値と近い組成の計算値を得られた。QDT と PCG の SrI 値のわずかな差は、本研究地域に広く分布する変堆積岩の同化が考えられ、AFC モデル (同化分別結晶作用) 計算結果は、同化率  $r=0.2$  で最も高い SrI 値をもつ花崗岩の成因を説明できることが示された。



### 【3】花崗岩類の年代論

研究期間内では、QDT の 1 試料のみ分析をする機会を得られたが、その他の試料については、ジルコンの分離作業を進めているところであり、今後分析を行う予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 加々島慎一, 三浦大和, 高橋俊郎
2. 発表標題 チリ・パタゴニア地方, アイセン州北部地域における花崗岩質岩の多様性
3. 学会等名 日本地質学会第126年学術大会 (山口大)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三浦大和, 加々島慎一, 高橋俊郎, 野原里華子
2. 発表標題 チリ・パタゴニア地方北部に分布する中新世花崗岩類の地球化学的特徴
3. 学会等名 日本地質学会第126年学術大会 (山口大)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三浦大和, 加々島慎一, 高橋俊郎, 野原里華子
2. 発表標題 ノースパタゴニアに産する花崗岩類の多様性
3. 学会等名 日本鉱物科学会2019年年会 (九州大)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究分担者	高橋 俊郎  (Takahashi Toshiro)  (20392946)	新潟大学・自然科学系・准教授    (13101)	

## 6. 研究組織（つづき）

	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	三浦 大和  (Miura Hirokazu)		