

平成 21 年 6 月 2 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2006 ～ 2008

課題番号：18540473

研究課題名 (和文)

沈み込むスラブが部分溶融する物理条件の推定

研究課題名 (英文)

The estimation for PT condition of the slab melting

研究代表者 柴田 知之 (Tomoyuki Shibata)

京都大学・理学研究科・助教

研究者番号：40332720

研究成果の概要：沈み込むスラブが部分溶融する物理条件を推定するため、日本の第四紀アダカイトマグマの分布範囲を明瞭にし、その分布と沈み込み帯の構造から、スラブの部分溶融を規制する条件は温度であるという結論をえた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
18 年度	900,000	0	900,000
19 年度	900,000	270,000	1,170,000
20 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,600,000	510,000	3,110,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：スラブメルトン、アダカイト、深発地震、物質循環、西南日本弧、フィリピン海プレート、半自動同位体分析

## 1. 研究開始当初の背景

沈み込むスラブが“若くて (1500 万年以下) 熱い”島弧では、スラブは部分溶融しマグマの発生が始まると Defant と Drummond が 1990 年に主張した。それ以来、スラブの部分溶融によって生成されるマグマ (アダカイトマグマ) に関する研究が盛んに行われるようになった。しかしながら、研究開始当初、スラブが部分溶融を可能とする制約条件に関する研究は少なかった (例 Yagodzinski et al., 2001, Nature)。そのため、アダカイトの分布と分布域の沈み込み帯の構造を、より詳細に解明することが、当時、非常に重要な課題であった。

## 2. 研究の目的

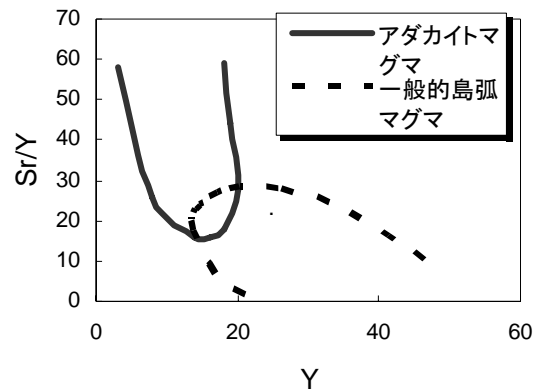
島弧で沈み込む海洋プレートスラブが部分溶融することで形成されるアダカイトマグマの空間分布を、微量元素・同位体組成を用いて、フィリピン海プレートが沈み込む北関東から九州にかけての地域で、詳細に明らかにする。この分布パターンと沈み込むスラブの地球物理学的特徴との相互関係を検討し、スラブが部分溶融するための物理条件を推定する。さらに、アダカイトマグマが存在し、かつ、第四紀火山が島弧横断方向に配列する地域で、火山岩の微量元素・同位体組成の水平変化傾向を解析し、部分溶融したスラブにその後の沈み込みに伴い何が起こるのか、そして、それによって島弧内でどのよう

な物質の移動が起こるのかを推定することを目的とした。

島弧は、スラブがマントル内へ沈み込む場であり、それに起因する大規模なマグマ生成場である。島弧マグマの発生は、沈み込むスラブの脱水反応（例 Tatsumi, 1989, *J. Geophys. Res.*; Miller 他, 1994, *Nature*; Shibata & Nakamura, 1997, *J. Geophys. Res.*）および部分溶融（例 Defant & Drummond, 1990, *Nature*）の二つの機構をきっかけとすると考えられている。フィリピン海プレートが沈み込む北関東から九州にかけての地域では、スラブの脱水反応を源とするマグマ（一般的島弧マグマ）と部分溶融を源とするマグマ（アダカイトマグマ）の両者が分布している（例 Ujike 他, 1999, *J. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*; Kimura 他, 2005, *Island Arc*）。この地域で、我々は、アダカイトマグマが産する火山直下ではフィリピン海プレートの沈み込みに由来する深発地震は観察されないこと、逆に深発地震が認められるところではアダカイトマグマは観察されないことを、予察的ではあるが発見した（柴田他, 2005, 火山学会）。これを発展させ、当該地域での一般的島弧マグマとアダカイトマグマの空間分布を詳細に定め、その分布パターンに対応し変化する地球物理学の特徴（特に深発地震の有無）を比較検討することで、スラブの部分溶融に対する制約条件を明らかにしようとするのが、本研究の具体的な目的である。さらには、フィリピン海プレートの深発地震が認められず、かつ、島弧横断方向に第四紀火山が配列している場（乗鞍火山列・中部九州）で、島弧横断方向の化学・同位体組成の変化を調べる。これにより、部分溶融した後、よりマントル深部に沈み込んでゆくスラブがどのような物理化学的变化を蒙るのか、それに伴いスラブから島弧下マントル（マントルウェッジ）へ放出される物質がマグマへ与えるであろう影響などの解明が期待される。これにより、スラブが部分溶融するときの島弧での物質循環を地球化学的に議論するにとどまらず、現在と異なり多くの島弧でスラブが部分溶融していたと考えられる太古代 (Martin, 1986, *Geology*) での、地殻-マントル間の物質循環に関しても新たな知見を与えることを目指すことが、本研究の全体構想である。

### 3. 研究の方法

①一般的島弧マグマとアダカイトマグマを区別するのに、Defant & Drummond (1990, *Nature*)が提案したイットリウム (Y) 濃度とストロンチウム (Sr) / Y 比の相関図が広く用いられている。第一方法として、コンパイルとデータ空白域の新たな分析を元に、Y 濃度



スラブは沈み込みに伴い、その環境はより高圧となり、ある一定圧力を超えると高圧安定相の柎榴石が生じる。この鉱物は重希土類元素に対する分配係数が大きいいため重希土類元素と類似した特徴を持つ Y を多く取り込む。そのため、柎榴石存在下で部分溶融が起こると、発生するマグマ中の Y 濃度は低くなり Sr/Y 比は高くなる。そのため、図中に示される領域にプロットされることとなる。

と Sr/Y 比に注目し、アダカイトマグマの特徴をもつ火山とない火山の分布を明らかにする。そして最近明らかになりつつあるフィリピン海プレートの地球物理学的特徴（例野口, 1998, 地震研彙報; Zhao & Asamori, 2000, *Geophys. Res. Lett.*; 本多・中西, 2002, 北大・地物。研究報告）との相互関係について検討する。そして、スラブが部分溶融している深度を限定し、一般的島弧マグマだけが観察される火山と比較する。両者の火山フロント直下のスラブ深度に大きな差が無ければ、同じフィリピン海プレートが沈み込んでいるのだから、温度圧力条件だけがスラブの部分溶融の制約条件ではないことになる。また、もしスラブ深度に違いができれば、温度圧力が主たる制約条件であることになるだろう。

②中部地方の御嶽・乗鞍・穂高や中部九州の由布・鶴見・九重・阿蘇などのフィリピン海プレート由来する深発地震が認められずかつ島弧横断方向に第四紀火山が配列している地域で、化学・同位体組成の島弧横断方向での変化傾向について調べる。このことから、部分溶融したスラブが、その後さらに沈み込むのに伴い、どのような物理化学的变化をしているのかを解明する。

### 4. 研究成果

#### ①アダカイトの分布域

日本列島の第四紀火山のうち、直下にフィリピン海プレートが存在するものを抽出し、既に公表されているデータをコンパイルし、さらに甲府北川山地に位置する黒富士、北部九州の姫島、両子山、由布・鶴見の主要元素・

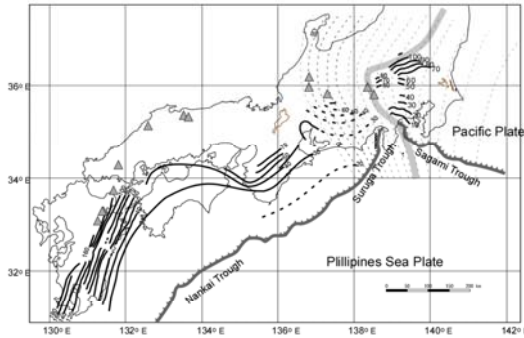
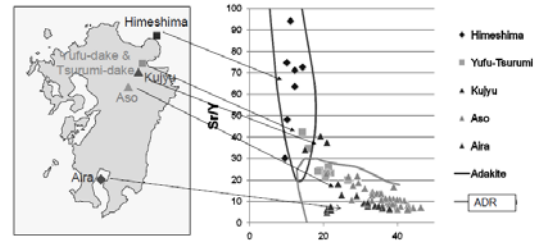


Fig. Distribution of Quaternary adakite in Japanese Islands. Solid lines indicate the depth to the Philippines Sea Plate (Noguchi, 1998: *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo*, 73; Uehira et al., 2001: *Gekkan Chikyū*, Miyoshi and Ishibashi, 2002: *Proc. Meeting 13K-7, DPRI, Kyoto Univ.*)

微量元素及び Sr・Nd・Pb 同位体組成を測定した。その結果、Sr/Y 比が高く Y 濃度が低い特徴を持ち、Mg に富むなどの主要元素組成や、相対的に枯渇した同位体組成現を示す等の特徴から、スラブの部分溶融を起源とするマグマの活動が認められる火山を上図に示した。現在得られているデータをもとにすると、黒富士がその北東端であり、九州地方の九重連山が西南端であることがわかった。沈み込むフィリピン海プレートの火山直下の深度は、本州では約 70km 程度と推定されるのに対し、九州では 120km 以深である。同じフィリピン海プレートが沈み込む中部日本・西南日本と九州で、スラブの部分溶融の起こる深度に 50km 以上の大きな差があることが明らかになった。中部日本・西南日本で観察される深度約 70km でのスラブの部分溶融は、他の沈み込み帯でスラブの部分溶融が観察されるときに深度と同程度の深度である。120km 以深でのスラブの部分溶融が観察されたのは、おそらく、九州の第四紀火山が初めてであろう。このことは、スラブの部分溶融を規制するのは圧力ではないことを示す。次に、九州でスラブの部分溶融が他の地域と比べて 50km 以上深くなる理由を検討する。九州ではプレートの沈み込み角度が著しく急で、そのため鉛直方向の沈み込み速度は中部日本・西南日本と比べ大きいと考えることができる。沈み込むプレートはマントルウェッジの熱により温められ、部分溶融が起こる温度条件を獲得すると考えると、スラブの部分溶融深度の違いを説明可能となる。すなわち、鉛直方向の沈み込み速度が大きいとき、プレートが十分加熱される前により深い深度に達する可能性がある。もしそうであれば、九州地域で沈み込むフィリピン海プレートの沈み込みに伴う温度上昇速度は中部日本・西南日本と比べ遅く、その結果としてより深い深度に達して初めて部分溶融が起こったと考えることが可能である。これら

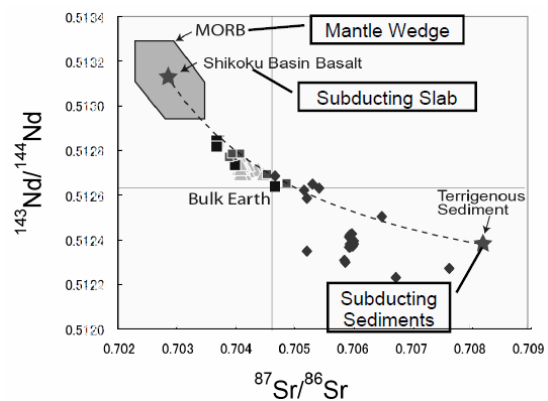
の考えが正しければ、沈み込むスラブの部分溶融を規制する物理条件は、これまで理論的に考えられてきたように圧力ではなく温度であることを、天然のマグマから実証できたことになる。

## ②九州地域第四紀マグマの島弧縦断方向の地球化学的变化

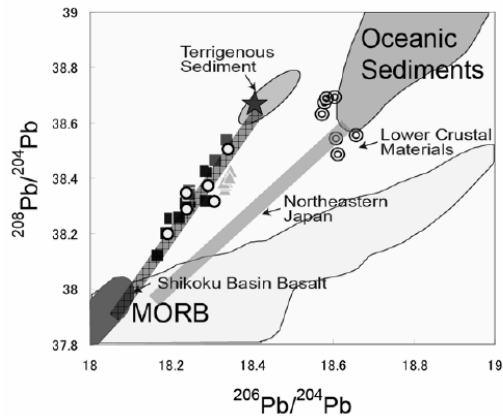


九州の第四紀マグマの Sr/Y 比と Y 濃度の変化図

九州の第四紀マグマの Sr/Y 比と Y 濃度の島弧縦断方向での変化を上図に示した。Sr/Y 比は北部の姫島で最も高い値を示し、大局的に南に向かいその値は減少する傾向が認められる。この図の中で、姫島の第四紀マグマは全てアダカイトの領域にプロットされる。由布・鶴見および九重のマグマはアダカイトと一般的な島弧マグマ (ADR) の領域の両方にまたがってプロットされる。阿蘇以南に産する第四紀マグマで、アダカイトの領域にプロットされるものは観察されていない。由布・鶴見のマグマがアダカイトと ADR の領域にまたがってプロットされるのは、沈み込むフィリピン海プレートとその上に堆積した陸源性堆積物の部分溶融物と、その上に存在するマントルウェッジがプレートから放出された流体層の付加を受け部分溶融したものの相互作用によって説明できることを、Sr・Nd・Pb 同位体組成 (以下に図示) と微量元素



組成を用いたモデル計算で明らかにした (詳細は Sugimoto et al. (2006) で報告済)。姫島の示す Sr/Y 比はアダカイト領域にプロットされるものの、他の地域で観察されるアダカイトと比べると、比較的低い値を示す。従って、姫島にお



いても、マントルウェッジの部分融解物の関与があると考えられる。これらのことから推論すると、九州の第四紀マグマの起源は、北部の姫島、由布・鶴見、九重では、フィリピン海プレートと流体の付加を受けたマントルウェッジ、それぞれの部分溶融物がマグマの起源であり、スラブ溶融物の比率は北から南に向けて減少している。さらに、阿蘇以南では、スラブメルトの関与は今のところ認められないと結論できる。

### ③スラブの部分融解が認められる地域での島弧横断方向の地球化学的変化

島弧横断方向の地球化学的変化を検討するため、雲仙火山の地球化学的データのコンパイルと新たな同位体分析を行った。その結果、Pb同位体組成は、上図に示した、フロント側の第四紀マグマの示す直線的なトレンドの上にプロットされる。このことは、背弧側の雲仙においても、そのマグマの起源は、沈み込むフィリピン海プレートとマントルウェッジに求めることが可能なことを示す。雲仙直下から、フィリピン海プレートの沈み込みにより発生する深発地震は、観察されない。そのため、これまで当火山のマグマの起源は、OIB的な火成活動で説明されてきた。しかし最近、Wang and Zhao (2006)が、地震波トモグラフィーから、雲仙直下にもフィリピン海プレート由来の物質が到達している可能性を指摘している。このことと、我々の今回の結果は、調和的である。現時点では、データの数も少ないため、結論付けるには至っていないが、今後も継続して研究を続けてゆく。

## 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 Sugimoto T., Shibata T., Yoshikawa M. and Takemura K., Sr-Nd-Pb isotopic and major and trace element

compositions of the Yufu-Tsurumi volcanic rocks: Implications for the magma genesis of the Yufu-Tsurumi volcanoes, northeast Kyushu, Japan, *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 101, 207-275, 2006, 査読有.

- ② Ujike O., Goodwin A. M. and Shibata T., Geochemistry and origin of Archean volcanic rocks from the Upper Keewatin assemblage (ca 2.7 Ga), Lake of the Woods Greenstone Belt, Western Wabigoon Subprovince, Superior Province, Canada, *Island Arc*, 16, 191-208, 2006, 査読有.
- ③ Hanyu T., Tatsumi Y., Nakai S., Shibata T., Yoshida T., Contribution of slab melting and slab dehydration to magmatism in the NE Japan arc for the last 25 Ma: Constraints from geochemistry, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 7・8, 10.1029/2005GC0012, 2006, 査読有.
- ④ Shibata T., Yoshikawa, M. and Sugimoto, T, Semi-automatic Chemical Separation System for Sr and Nd isotope analyses *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 102, 298-301, 2007, 査読有.
- ⑤ 柴田知之・芳川雅子・輿水達司, 甲府盆地北縁周辺に分布する火山岩類の地球化学的特徴の時間変化と沈み込み帯の構造との関係, *MAGMA*, 89, 1-16, 2008, 査読無.
- ⑥ 古川邦之・三好雅也・新村太郎・柴田知之・荒川洋二, 阿蘇カルデラ北西壁に分布する先阿蘇火山岩の地質学・岩石学的研究: 先カルデラ火山活動における噴火活動とマグマ供給系, *地質学雑誌*, 印刷中, 査読有.

[学会発表] (計 4件)

- ① 柴田知之・伊藤順一・氏家治・竹村恵二, 日本列島第四紀アダカイト質マグマの分布域, 地球惑星科学連合大会, 幕張メッセ, 千葉, 2006年5月.
- ② 柴田知之・小林哲夫・西村光史・杉本健・竹村恵二, 九州-琉球弧第四紀マグマの島弧縦断方向化学変化傾向, 火山学会, 阿蘇, 2006年10月.
- ③ 柴田知之・芳川雅子・杉本健, The try of data mass production for Sr, Nd and Pb isotope ratios of rock samples, 地球惑星科学連合大会, 幕張メッセ, 千葉, 2007年5月.

- ④ T. Shibata, Y. Tatsumi and A. Sakayori, Geochemistry of tholeiitic and calcalkaline volcanic rocks from Zao volcano, Northeastern Japan Arc, Goldschmidt2007, Cologne, Germany, 2007年9月.
- ⑤ T. Shibata, T. Kobayashi, K. Sugimoto, O. Ujike, J. Itoh and K. Takemura, The lateral variations of Sr, Nd and Pb isotopic and trace element compositions for Quaternary volcanics from Kyushu, Japan, Asia Oceania Geosciences Society, 釜山, 韓国, 2008年6月16日.
- ⑥ 柴田知之・芳川 雅子・輿水 達司, 甲府盆地北縁に分布する火山岩類の地球化学的時間変化に対するフィリピン海プレートへの役割, 鉱物科学会, 秋田, 2008年9月20日.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

柴田 知之 (Tomoyuki Shibata)  
京都大学・理学研究科・助教  
研究者番号:40332720

### (2) 研究分担者

氏家 治 (Osamu Ujike)  
富山大学・理学部・教授  
研究者番号:10176662  
(平成19年度まで)

### (3) 連携研究者

氏家 治  
(Osamu Ujike)  
富山大学・理学部・教授  
研究者番号:10176662  
(平成20年度から)