



島弧火山への沈み込んだスラブの影響

西ノ島マグマへの スラブ影響

佐野 貴 司
栗 岩 薫
谷 健一郎

Slab Affection in Nishinoshima Magma

Takashi Sano • Kaoru Kuriwa • Kenichiro Tani

さの たかし : 国立科学博物館
くりいわ かおる : 国立科学博物館
たに けんいちろう : 国立科学博物館

2013～2017年に噴火した西ノ島火山の地下3～6 kmに温度が約1000°Cのマグマ溜まりがあることが分かった。さらに太平洋プレートと共に沈み込んだ海山の一部がマグマ中に含まれる可能性が示唆された。

1. はじめに

2013年11月に最初の噴火活動が確認された小笠原諸島の西之島火山は、活発にマグマを噴出し、2年間で島の面積が13倍にも成長した(図1)。この島は絶海の孤島であり、アクセスが限られているため、火山噴出物の採取は困難であった。しかし、白尾元理(火山写真家)および清川昌一(九州大学)が海上保安庁へ届けた上で、2014年6月3日に西之島へ船で近づき、火山灰の採取を行なった。この火山灰に加えて、国立科学博物館に管理・保管されていた西之島の1973–1974年の火山噴出物、西ノ島溶岩(1702年以前に噴出)も記載や化学分析を行って比較したところ、マグマの発生や分化を知る上で重要な事実が明らかになり、その成果は2016年に公表された^[1]。

噴火は2015年秋に終息したように見えた。しかし、2017年4月からストロンボリ式噴火が再開し、夏にかけて活発にマグマを吹き出した。本論文の共著者である栗岩薫は、海上保安庁に届け出た上で、2017年6月10日に西之島へ船で近づき(図2)、噴出した火山灰を採取した。ここでは2016年の公表論文を紹介するとともに、2017年に採取された火山岩の記載・化学分析結果を報告し、これまでに分かった西之島マグマへのスラブ影響やマグマ溜まりの情報について言及する。

2. 地質概況および試料

西之島を含む伊豆–小笠原弧はフィリピン海プレートの東端部に分布し、この地下深部には東側から白亜紀(1億3500万年前)の太平洋プレートが沈み込んでいる。この島弧の火山前線の北端は富士山であり、南はマリアナ弧の北端まで続いている(図1)。伊豆–小笠原弧からマリアナ弧まで続く火山列は、沈み込んだ太平洋プレート由来の

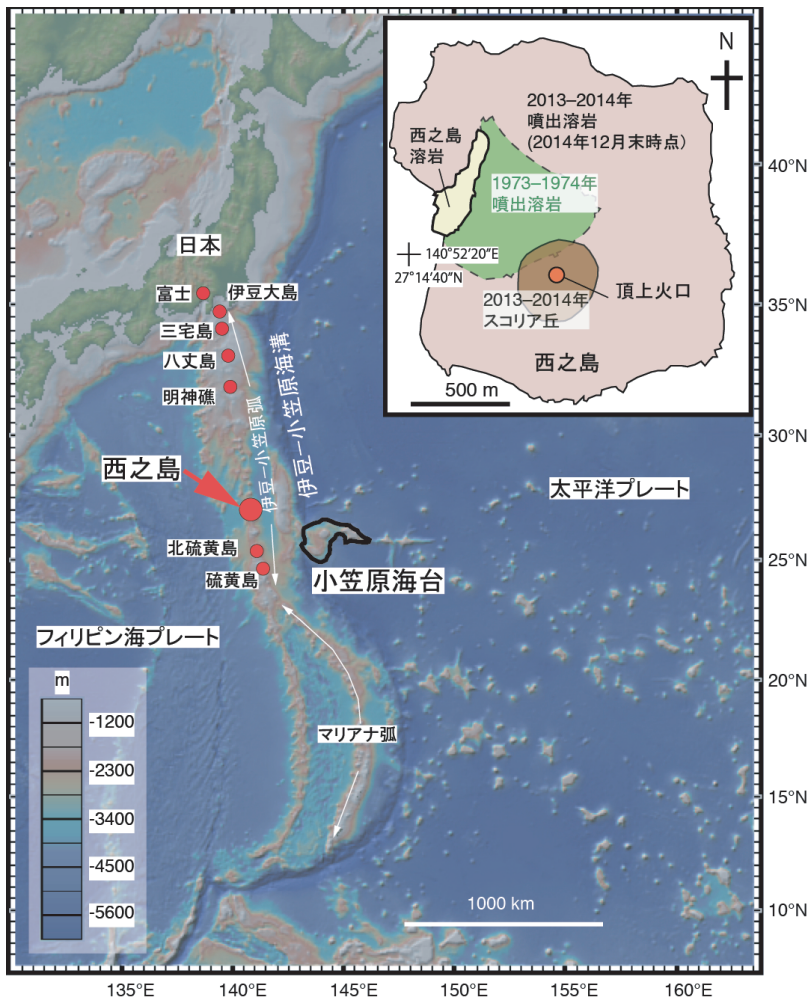


図1 西之島の位置. 右上は2014年度末時点での西之島の地図. この島は西之島溶岩(1702年以前に噴火), 1973-1974年に噴出した溶岩, 2013年11月以降に噴出した溶岩とスコリア丘, の3種類によりつくられている.



図2 2017年6月10日に海上から栗岩薫が撮影した西之島.

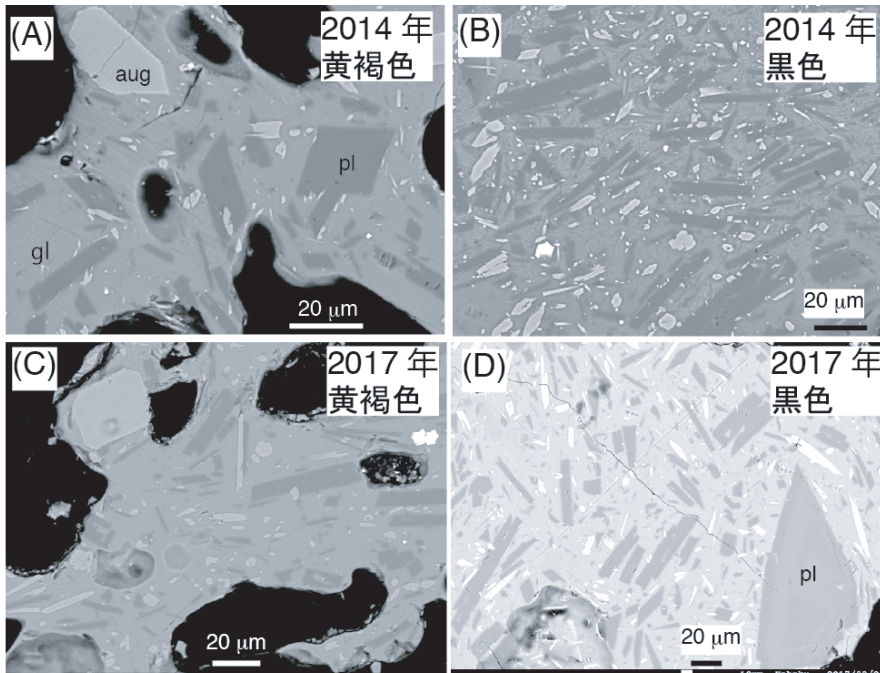


図3 (A, B) 2014年6月3日と(C, D) 2017年6月10日に採取されたスコリアの電子顕微鏡写真. aug: 普通輝石, pl: 斜長石, gl: ガラス

流体の影響を受けてマントルウェッジが部分溶解したマグマが噴出して形成したと考えられている。

西之島火山は伊豆-小笠原弧の南部に位置し、その山体は次の3層序から構成されている(図1右上)。(1) 西之島(または旧島)溶岩(噴出年代は不明であるが、西之島が最初に発見された1702年よりは古い)、(2) 西暦1973-1974年に噴出した溶岩とスコリア(以後、1973年火山岩と記述する)、(3) 西暦2013年11月以降に噴出したスコリアと溶岩。

西暦2014年6月に採取された火山灰(スコリア)は0.18gと少量であったが、新鮮であり、詳細な記載ができ、確度の良い鉱物組成および全岩化学組成の分析データを出すことができた。このスコリアは2種類に区分された。1種類は発泡した黄褐色スコリア、もう1種類は黒色スコリアである。黄褐色スコリアは多孔質で石基の結晶度が低い試料(図3A)、黒色スコリアは気泡が少なく石基の結晶度が高い試料であった(図3B)。これら2種

類の2014年噴出スコリアは共に両輝石、斜長石、磁鉄鉱を斑晶とする安山岩であり、1973年火山岩と同じ斑晶組み合わせであった。2017年6月に採取されたスコリアも2014年スコリアと同様に黄褐色と黒色の両方のスコリアが確認できた。さらに、斑晶組み合わせや石基の特徴も2014年スコリアと同様であった(図3C, D)。

3. 鉱物組成および全岩化学組成の特徴

2014年スコリアに含まれる斑晶鉱物である斜長石、単斜輝石、斜方輝石の化学組成は1973年火山岩の斑晶鉱物の組成に類似し、単斜輝石は普通輝石、斜方輝石は紫蘇輝石の組成を示した。全ての斑晶鉱物のコア組成はほぼ均質であり正規累帯構造を示していた。2017年スコリアに含まれる斜長石と斜方輝石も類似した組成であったが、単斜輝石は確認できなかった。これは観察した試料数がまだ少ないことに起因すると考えている。

1973年火山岩と2017年スコリアは、 SiO_2 含有量が59重量%のほぼ均一な組成であった。西之島

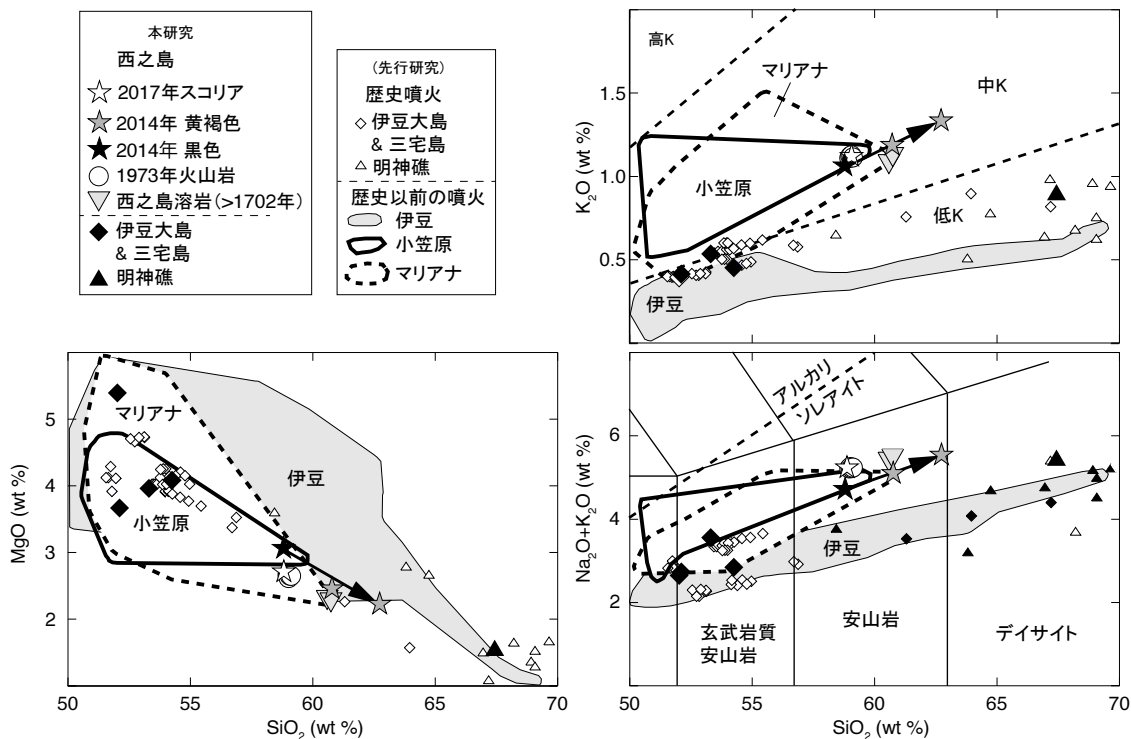


図4 西之島火山岩を含む伊豆-小笠原-マリアナ弧の火山岩のSiO₂に対するMgO, K₂O, Na₂O+K₂Oのプロット^[1].

(旧島) 溶岩も均一であるが、少し分化した組成であった (SiO₂: 60–61 重量%)。一方、2014年スコリアの組成は SiO₂ 含有量が 58–62 重量% とばらついた (図4)。これら西之島火山岩は中 K 安山岩であり、小笠原弧やマリアナ弧の他の火山岩と類似し、低 K 安山岩である伊豆弧 (明神礁以北) とは異なっていた。この西之島火山岩の組成には、SiO₂ 含有量の増加とともに FeO, MgO, CaO 含有量が減少し、Na₂O, K₂O 含有量が増加するという傾向が確認できた。この傾向は斑晶鉱物である斜長石、普通輝石、紫蘇輝石、磁鉄鉱の分別結晶作用により説明可能である。最小 2 乗法による差し引き計算を行ったところ (図4の矢印)、最も分化した安山岩組成は最も未分化な組成から斜長石 7 重量%、普通輝石 5 重量%、紫蘇輝石 2 重量%、磁鉄鉱 5 重量% を分別することにより説明可能で

あった。

4. 議論

4-1. マグマ溜まりの深さ、温度、含水量

全岩組成、鉱物組成、斑晶モード組成を用いて計算される石基 (メルト) 組成を用いると、斑晶がマグマと平衡共存していた深さの推定が可能であり、これはマグマ溜まりの深さと考えられている。西之島マグマを含む伊豆-小笠原弧マグマのメルト組成と岩石溶融実験の結果を比較したところ、マグマは 200 MPa (約 6 km の深さに相当) よりは低圧で斑晶鉱物を結晶化したと推定された^[1]。また両輝石の組成を利用した輝石温度計を用いて計算を行ったところ^[2,3]、西之島の 1973 年火山岩も 2014 年スコリアも約 1000°C という結果が出た (図 5A, B)。なお、前述の通り、2017 年スコリア

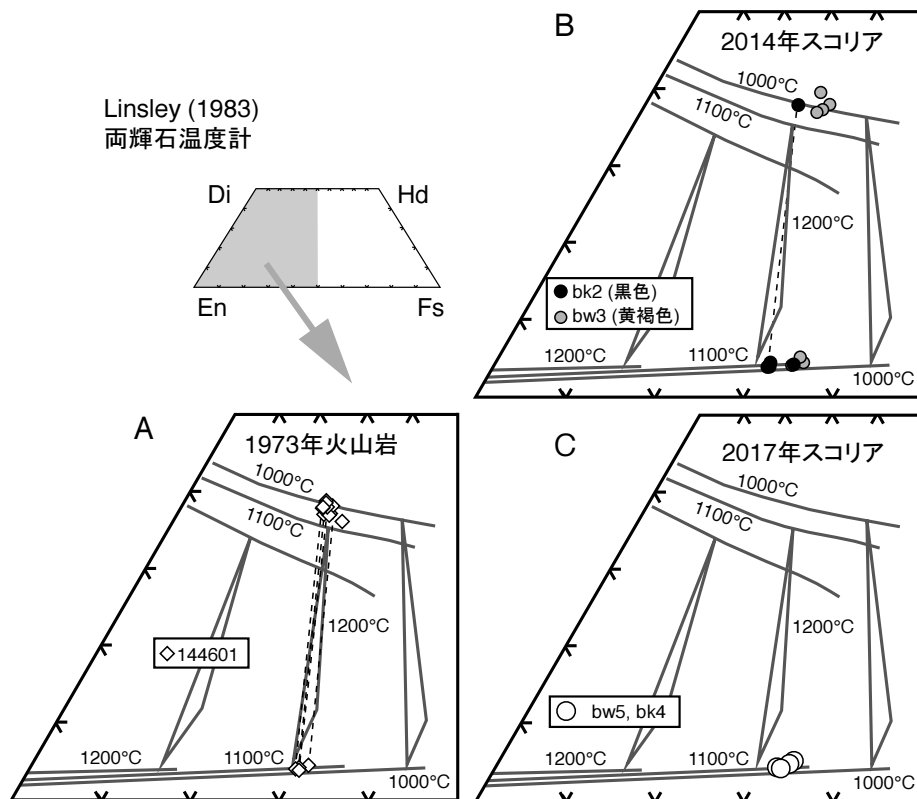


図5 (A) 1973年火山岩, (B) 2014年スコリア, (C) 2017年スコリアの輝石組成, および両輝石温度計により推定した温度^[2]. 隣同士で接する普通輝石と紫蘇輝石の組成は直線で結んで示した.

には普通輝石が確認できなかったため、温度推定は行っていない。しかし、紫蘇輝石の化学組成から判断すると、1973年火山岩や2014年スコリアと同様の温度と考えられる(図5C)。

マグマ中の含水量は斜長石とメルト組成を用いて推定が可能である^[4]。含水量の見積値は1973年火山岩が3.2–3.9重量%、2014年スコリアが3.3–3.7重量%であった(図6)。また2017年スコリアについて見積もった含水量は2.4–4.0重量%と、少し見積値幅がひろくなった。これら含水量の見積もりは、マグマ溜まりの深さに関して制約を与えることができる。この理由は、含水量が2.4–4.0重量%を超えるメルトは、60–130 MPa(深さ約3 km)よりも浅部では過飽和となってしまうからで

ある(図6)。なお、本当の圧力はこの見積値よりは高いはずである。実際にメルトに溶け込んでいる揮発性成分は水だけでなくCO₂も存在するからである。

以上のように、マグマ溜まりの深さはメルト組成と岩石溶融実験の比較から推定した最大値(約6 km)と含水量を基に見積もった最小値(約3 km)との間であると考えられる。そして、このマグマ溜まりの温度は約1000°Cと推定される。

4-2. 西之島マグマへの沈み込んだ海山の影響
噴出時代が新しくなっていくと西之島マグマの特徴がどのように変化するかを見るため、微量元素を調べた。ここで注目したのは、Nb, Zr, Ha, Hfという難水性元素である。これらは流体

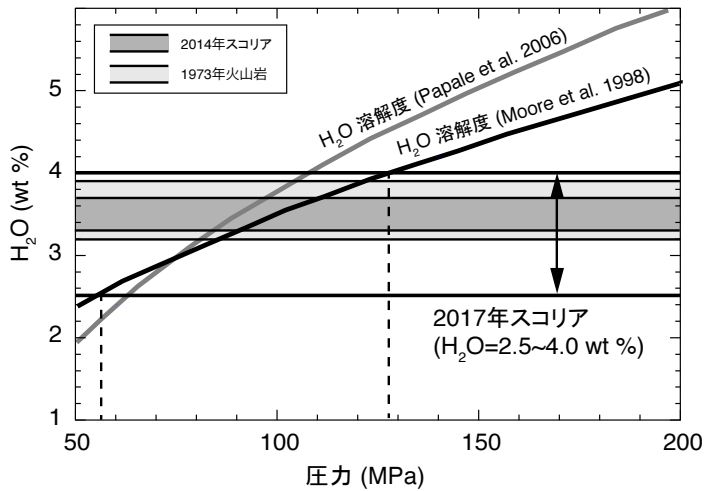


図6 西之島マグマ中の含水量推定値およびマグマ中の水の溶解度の圧力依存性^[5,6].

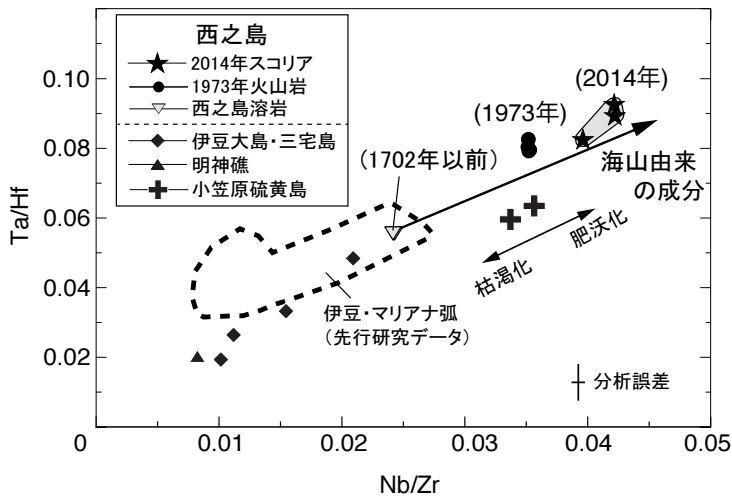


図7 西之島火山岩のNb/Zrに対するTa/Hfのプロット. 1702年以前, 1973年, 2014年と, 新しい噴出物になるほど海山由来の成分(高Ta/Hf, Nb/Zr)が増加することが分かった.

にほとんど分配されないという特徴を持つので、通常のスラブ由来の流体以外の影響を見るために有効な元素である。そしてNb/ZrとTa/Hfという元素比に注目した。この理由は、部分熔融によりマグマが生産されるときも、マグマ溜まり内で分別結晶作用が起きたときも、これら微量元素の比はほとんど変わらないため、マグマ源（マグマが生産される前のマントル）の情報を知ることができるからである。

図7を見ると、1702年以前の噴出物（西之島溶岩）、1973年火山岩、2014年スコリアと、時代と

共にNb/ZrとTa/Hfが増加していることが分かる。この増加の原因は何であろうか？通常、マグマ源からマグマが繰り返し生産されると、新しいマグマはNb/ZrやTa/Hfが減少し、これを枯渇化（depletion）と呼ぶ。従って、火山からのマグマ噴出が繰り返されると、時代とともにマグマは枯渇化していくことが想定される。ところが、西之島マグマは時代とともに肥沃化(enrichment)している。マグマ源を肥沃化させる成分は海山（海洋島玄武岩）に多く含まれることが知られている。そして西之島の東側から地下深部に沈み込んでいる太平

洋プレートを見ると、小笠原海台が存在することに気がつく(図1)。小笠原海台は規模の大きな海山である。これら事実を考え合わせると、「スラブと共に西之島の下に沈み込んだ海洋島玄武岩成分がマグマ源に付加してきた」と提案できる^[1]。NbやTaに富む海山成分がマグマ源へ加わると部分溶融度が高くなるため、現在、西之島火山から多量のマグマが噴出している要因の1つは沈み込んだ海山の影響であるかもしれない。

5. 今後の研究

海山成分の検出は、今回用いたNb/ZrやTa/Hfよりはストロンチウム、ネオジウム、鉛などの同位体を用いる方が効果的である。そのため、今後、西之島火山岩中の同位体分析を行い、「沈み込んだ海山の島弧マグマへの影響」についての検証をする必要がある。また、小笠原海溝から島弧の下に沈み込もうとしている海山の火山岩を採取し、記載や化学分析を行って、過去に沈み込んだ海山成分を推定することも必要であろう。

謝辞：本研究で用いた2017年スコリアを採取する際に科研費基盤(C)17K07548(代表者：栗岩薫)を使用致しました。

参考文献

- [1] Sano T., Shirao, M., Tani, K., Tsutsumi, Y., Kiyokawa, S., Fujii, T. (2016): *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 319, 52-65. doi:10.1016/j.volgeres.2016.03.004.
- [2] Linsley, D. H. (1983): *Am. Mineral.*, 68, 477-493.
- [3] Putirka, K. (2008): *Min. Soc. Am. Rev. Miner. Geochem.*, 69, 61-120.
- [4] Lange, R. A., Frey, H. M. and Hector, J. (2009): *Am. Mineral.*, 94, 494-506.
- [5] Moore, G., Vennemann, T. and Carmichael, I. S. E. (1998): *Am. Mineral.*, 83, 36-42.
- [6] Papale, P. (1999): *Am. Mineral.*, 84, 477-492.

