

神鍋火山におけるアルカリ玄武岩マグマの生成と起源

(株) 建設技術研究所 大阪本社 高橋 峻

1. はじめに

西南日本の第四紀火山列は、プレート融解起源と考えられているアダカイト質火山岩(第四紀)の分布も含めて、これまでフィリピン海プレートの沈み込みに伴って形成されたと考えられていた(Kimura *et al.*, 2003¹⁾)。近年、地震波トモグラフィを用いた研究により、西南日本において、フィリピン海プレートが存在する地域と存在しない地域があること、深部に太平洋プレートが存在する地域があることが示された(図1: Huang *et al.*, 2013²⁾)。

そこで本研究では、山陰地域東端のフィリピン海プレート欠損部地域に位置する神鍋火山の化学的特徴(全岩主成分元素・微量元素組成、同位体比)を分析し、山陰地域の他の火山とのマグマの生成・分化過程を比較し、噴火の規模や形態を決定づけている要因を考察した。

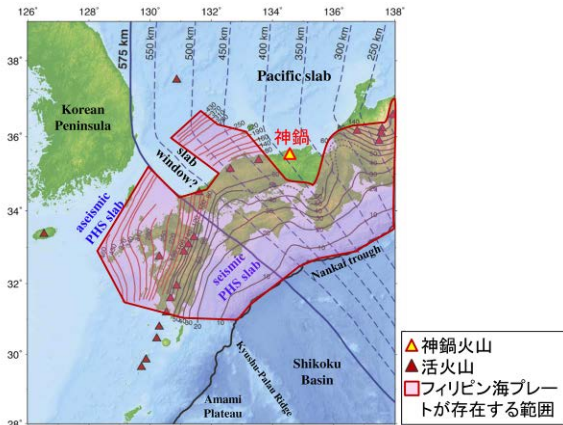


図1 西南日本の火山列とプレート(スラブ)存在深度(Huang *et al.*, 2013²⁾を一部加筆)

2. 神鍋火山

神鍋火山は兵庫県豊岡市日高町に位置する第四紀アルカリ玄武岩火山である。その火山活動は、神鍋溶岩が始良Tn火山灰層と鬼界火山灰層に挟まれていることから、2万5千年前(松本ほか, 1987³⁾)~7300年前(福沢仁之, 1995⁴⁾)に噴出したとされる(古山ほか, 1993⁵⁾)。神鍋溶岩は複数の噴出源が確認されており、噴出順に日高溶岩、荒川溶岩、十戸溶岩、シワガ野溶岩の4枚の溶岩流に分類される(図2: 古山, 1973⁶⁾)。

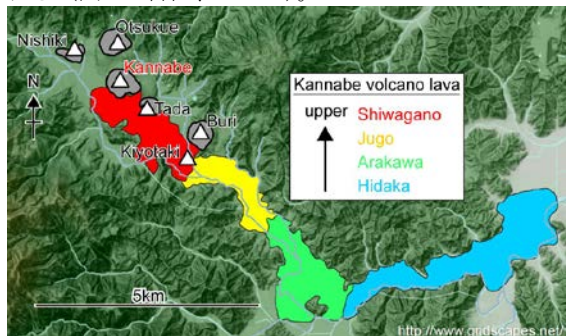


図2 神鍋火山周辺地域の火山と神鍋の溶岩の広がり(古山, 1973⁶⁾を一部加筆)

3. 研究手法と結果

マグマの性質は、マグマだまり内の組成変化とマグマの本源的組成により特徴づけられる。本研究では、噴出物の化学組成から上記のマグマプロセスの特定を試みた。

3.1 マグマだまり内の組成変化の検討

マグマだまり内で地殻混入が起きた際に、マグマの微量元素比と元素同位体比の変化が出ることが知られる。本研究では、まず、この変化を数式化したAFC(Assimilation and Fractional Crystallization)モデル(DePaolo, 1981⁷⁾)による微量元素比・同位体比から地殻混入の有無を分析した(図3)。

マグマにはんれい岩が混入した場合、AFCモデルを使うとAラインが推定される。その下位の部分ははんれい岩が混入した可能性のあるゾーンである(Aゾーン)。マグマに花崗岩が混入した場合、AFCモデルを使うとBラインが推定される。同様にその下位をBゾーンとする。対象火山の分析結果がどちらのゾーンにも入らない場合、地殻混入はなかったと推定できる。

微量元素比(Zr/Y, Nb/Y)と同位体比(Sr, Nd)、取り込む地殻物質として花崗岩(山陰花崗岩: 西田ほか, 2013⁸⁾)およびはんれい岩(西南日本: Takagi *et al.*, 2010⁹⁾; Iizumi *et al.*, 2000¹⁰⁾)を用いて行った。神鍋火山の分析結果は、同位体比においてBゾーンの範囲に入るが、微量元素比ではどちらのゾーンにも入らない(図3)。したがって、神鍋火山のマグマは地殻混入の影響を受けていないと言える。これはマグマ生成から噴火まで外部からの影響をほとんど受けず、マグマ生成当時の情報を色濃く残した状態で噴火に至ったことが示唆される。

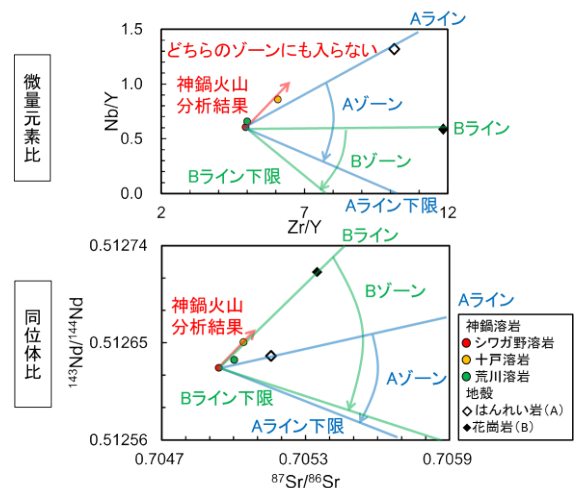


図3 AFCモデルによる地殻混入の可能性の検討結果

3.2 マグマの本源的組成の検討

この検討は地殻混入の可能性が否定された場合の検討手法である。

マントルで生成される初期マグマが上昇し地殻でマグマだまりとなるまでの間に、かんらん石を分離することが知られている。

初期マグマの全岩主成分元素組成を α 、現在採取できる岩石の全岩主成分元素組成を β_1 とする。 β_1 の組成から晶出されるかんらん石の組成を「ol₁」とする。Tatsumi *et al.* (2005)¹¹⁾ の手法に従い、 β_1 を初期マグマの組成に近づけるために $\beta_2 = \beta_1 + \text{「ol}_1\text{」}$ 、 $\beta_3 = \beta_2 + \text{「ol}_2\text{」}$ 、...、 $\beta_{N+1} = \beta_N + \text{「ol}_N\text{」}$ を、「ol_N」の組成がマントルと同等になるまで繰り返す。この手法により $\alpha (= \beta_{N+1})$ を推定した(図 4(a)、(b))。求めた α の Ne'、Ol'、Qtz' の割合を求め、マントルかんらん岩の融解実験データ (Irvine & Baragar, 1971¹²⁾) と比べることで融解圧力を推定した(図 4(c))。その融解圧力と α の MgO 含有量を用いて Sakuyama *et al.* (2014)¹³⁾ の手法に従い融解温度の推定を行った。

その結果、マグマの生成条件は 2.0-2.5 GPa (深さにすると 70-80 km)、1400-1430 °C (H₂O = 1.0-1.2 wt%) であることがわかった(図 4)。

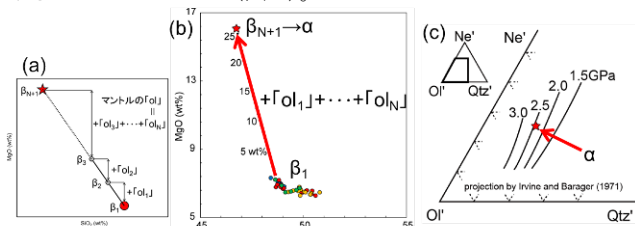


図 4 マグマの生成過程の検討図
(a) : (b)の解釈図
(b) : マグマ生成時の組成の検討
(c) : マグマ生成時の融解圧力の検討

4. 考察

マグマの生成深度は、地震波トモグラフィーの研究結果 (Nakajima & Hasegawa, 2007¹⁴⁾) を用いて比較した。神鍋火山におけるマグマの生成深度は山陰地域におけるフィリピン海プレートの存在深度 (70-80 km) にほぼ相当する。この深度で融解が起きた場合、起源物質の 1 つとしてプレートに含まれる海洋地殻が考えられる。しかし、フィリピン海プレートが火山下に確認されている山陰地域とは異なり、神鍋火山周辺ではプレート融解起源とされるアダカイト質の火山岩は噴出していない。また、Nakajima & Hasegawa (2007)¹⁴⁾ では、地震波低速度異常域と神鍋火山におけるマグマの生成深度が一致する(図 5)。以上のことから、神鍋火山はフィリピン海プレート由来ではないことが示唆される。

同位体比 (Nd, Pb) からマグマ生成に関与したプレート脱水流体の起源について Nakamura *et al.* (2008)¹⁵⁾ に従い検討を行った。神鍋溶岩の同位体比は、太平洋プレートの脱水流体の組成範囲に入ってくるため、神鍋火山を形成したマグマの生成起源は、太平洋プレートの脱水流体物質であるということが示唆される(図 6)。

したがって、神鍋火山を形成したマグマは、山陰・山陽地域におけるフィリピン海プレートの存在深度に相当する深度において太平洋プレート起源の脱水流体の影響で生成され、地殻の混入のない分化過程を経て噴出したものとわかった。

今回の研究結果から、こうした西南日本の第四紀火山の溶岩起源となっている海洋プレート脱水流体には地域性があることが判明した。太平洋プレートとフィリピン海プレート由来の脱水流体物質の違いは、噴火の規模や形態、火山体の規模や内部構造にも関わってくる可能性があることがわかった。

また、西南日本では島根県や山口県にも、神鍋火山と類似の噴火の規模や形態を示すアルカリ玄武岩(阿武単成火山群など)が分布し、フィリピン海プレートが存在しない地域とされていることから(図 1)、神鍋火山と同様の成因の可能性があると考えられる。

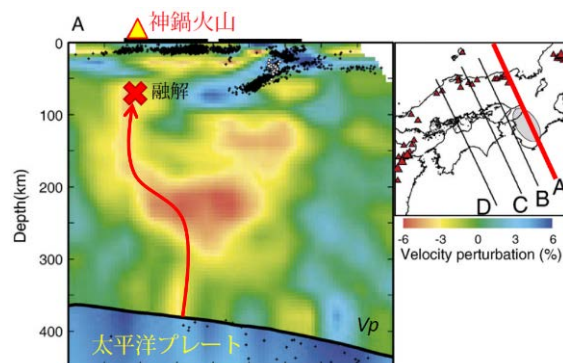


図 5 地震波トモグラフィーの断面図 (Nakajima & Hasegawa, 2007¹⁴⁾ を一部加筆)
赤×は神鍋火山を形成したマグマの生成深度を示す。
赤矢印は湧昇する太平洋プレート脱水流体を示す。

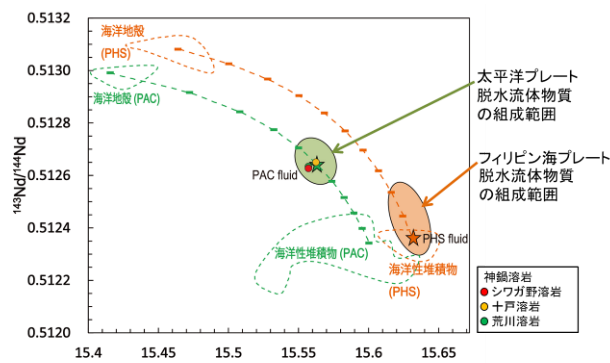


図 6 太平洋プレート (PAC) およびフィリピン海プレート (PHS) の脱水流体物質と神鍋溶岩の同位体比 (Nakamura *et al.*, 2008¹⁵⁾ を一部加筆)

参考文献

- Kimura J.-I., Kunikiyo T., Osaka I., Nagao T., Yamauchi S., Kakubuchi S., Okada S., Fujibayashi N., Okada R., Murakami H., Kusano T., Umeda K., Hayashi S., Ishimaru T., Ninomiya A., & Tanase A.: Late Cenozoic volcanic activity in the Chugoku area, southwest Japan arc during back-arc basin opening and reinitiation of subduction. *The Island Arc*, **12**, 2003, 22-45.
- Huang Z., Zhao D., Hasegawa A., Umino N., Park J., & Kang L.B.: Aseismic deep subduction of the Philippine Sea plate and slab window. *Journal of Asian Earth Sciences*, **75**, 2013, 82-94.
- 松本英二・前田保夫・竹村恵二・西田史郎: 始良 Tn 火山灰 (AT) の ¹⁴C 年代。第四紀研究, **26** (1), 1987, 79-83.
- 福沢仁之: 天然の「時計」・「環境変動検出計」としての湖沼の年縞堆積物。第四紀研究, **34** (3), 1995, 135-149.
- 古山勝彦・長尾敬介・笠谷一弘・三井誠一郎: 山陰東部、神鍋火山群及びその近傍の玄武岩質単成火山の K-Ar 年代。地球科学, **47**, 1993, 377-390.
- 古山勝彦: 神鍋火山群の火山層序。地質学雑誌, **79**, 1973, 399-406.
- Depaolo D.J.: Trace element and isotopic effects of combined wallrock assimilation and fractional crystallization. *Earth and Planetary Science Letters*, **53**, 1981, 189-202.
- 西田和浩・今岡照喜・君波和雄・長松 雄・飯泉 滋: 西南日本山陰帯と韓国慶尚盆地の花崗岩類における白亜紀最末期の Sr-Nd 同位体組成変化とその意義。地質学雑誌, **119**(4), 229-248.
- Takagi T., Naito K., & Kamei A.: Petrographic contrast between ilmenite- and magnetite-series gabbroids in the Ryoke and San'in belts, southwestern Japan Arc. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, **105**, 2010, 194-214.
- Iizumi S., Imaoka T., & Kagami H.: Sr-Nd isotope ratios of gabbroic and dioritic rocks in a Cretaceous-Paleogene granite terrain, Southwest Japan. *The Island Arc*, **9**, 2000, 113-127.
- Tatsumi Y., Shukuno H., Yoshikawa M., Chang Q., Sato K., & Lee M.W.: The Petrology and Geochemistry of Volcanic Rocks on Jeju Island: Plume Magmatism along the Asian Continental Margin. *Journal of Petrology*, **46**, 2005, 523-553.
- Irvine T. & Baragar W., 1971, A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian journal of earth sciences*, **8**(6), 523-548.
- Sakuyama T., Nakai S., Yoshikawa M., Shibata T., & Ozawa K.: Thermal and melting history of high temperature diapiric upwelling in a back arc region: High potential temperature of Cenozoic volcanism in the Kita-Matsuura area, northwestern Kyushu, southwestern Japan. *Journal of Petrology*, **55**, 2014, 1083-1128.
- Nakajima J. & Hasegawa A.: Tomographic evidence for implications for arc magmatism. *Earth and Planetary Science Letters*, **264**, 2007, 90-105.
- Nakamura, H., Iwamori, H. and Kimura, J.-I.: Geochemical evidence for enhanced fluid flux dueto overlapping subducting plates. *Nature Geoscience*, **1**, 2008, 380-384.