

熊本県合志市二子山に産する高マグネシア安山岩の 化学組成および Sr 同位体比

新 村 太 郎

abstract

Bulk rock chemical compositions and strontium isotopic ratios were determined for three basaltic andesite rocks from Futagoyama in northern part of Kumamoto prefecture, central Kyushu. SiO_2 contents were 56.8-58.4 wt.% and MgO contents were 6.4-6.6 wt.%. This high MgO contents shows these rocks are high-magnesian andesites (HMA). Strontium isotopic ratios ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) were 0.70418-0.70422. These petrological and geochemical characteristics of Futagoyama HMA are not similar to those of Kimpo volcano located at most nearest site, but to Gongenyama HMA located at the western flank of Aso caldera.

1. はじめに

二子山は合志市の西部に位置する丘陵地であり、周辺より10～15m程度高いピークを2つ持つ、東西約200m、南北約120mの小丘である(図1)。ここでは安山岩の露出が数か所で見られる。西合志町教育委員会(1971)はこれらの安山岩およびここで産出される打製石器等は、その見かけから熊本市西方の金峰山に分布するカンラン石玄武岩質安山岩に関連すると報告した。一方、新村(2009)は二子山の安山岩に対する予備調査として、その周辺の道路上に見られる転石の化学組成分析および偏光顕微鏡による観察を行った。その結果、それらは金峰山に見られる火山岩とは関連がなく、西原村の権現山に分布する高マグネシア安山岩(HMA)(新村ほか, 2008)と極めて類似した特徴を示すことを明らかにした。さらにこの転石が二子山起源であると仮定し、二子山HMA(仮称)と定義した。本論はこの結果を受けて、二子山

に見られる3か所の安山岩露頭から直接試料を採取して、化学組成および同位体分析を行った。その結果、二子山に分布する安山岩は新村ほか(2008)で報告されたように、高いマグネシウム含有量をもつHMAであり、化学組成およびSr同位体組成が西原村の権現山HMAとほぼ同一の値を示すことが判明した。

2. 二子山周辺の地形・地質および岩石試料

熊本県合志市は主として白川に関連した中位段丘堆積物(23000～25000B.P.の託麻砂礫層)に覆われた標高50～80m程度の丘陵地にある。古い時代の基盤岩からなる小山が埋没地形として見られ、同市の西部には三郡変成岩類の泥質岩からなる標高約150mの弁天山、南部には後期白亜紀の熊本層群の砂岩層からなる標高約150m、130mの郡山および飯高山がある(熊本県地質図編纂委員会, 2008)。二子山は同市

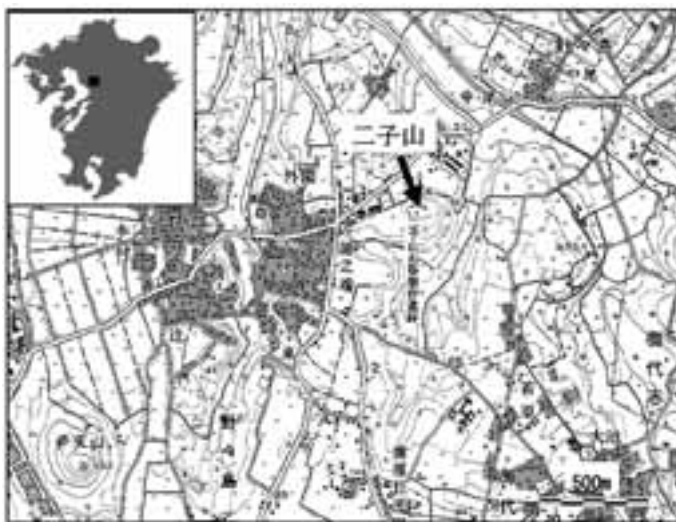


図1 調査地付近の地形と試料採取地点
 国土地理院発行の数値地図25000（地図画像）「植木」を使用。
 表示にはカシミール3D Ver8を使用した。

の西部に位置し、周辺より10～15m程度高いピークを2つ持つ東西約200m、南北約120mの小丘からなる。周辺一帯が丘陵地であるために地形的に特に目立たない。

二子山の表面のほとんどは暗褐色の土壌で覆われている。所々で数十cmから2mの規模で暗青色の安山岩が露出している。西合志町教育委員会(1971)によるトレンチ調査の結果、このような安山岩が地下に広く続いている所も確認されており、同報告書では露頭であると結論付けている。本調査では、東側ピークの東約5m、北約5mおよび西側ピークの北約10mに露出する岩盤からそれぞれ岩石試料を採取した(FTG2301, FTG2302, FTG2303)。新村(2009)で報告した二子山周辺の転石(FTG-01)では、表面は黄褐色に風化しているが、切断面は変質が少なく新鮮な暗青色であった。本調査におけるFTG2301, FTG2302, FTG2303を採取した岩盤は、表面も暗青色で変質の少ない新鮮な岩石からなる。これらを偏光顕微鏡下で観察した結果、以下のように

FTG-01とほとんど同様の特徴がみられた。斑晶として、主として自形から半自形の直径0.5mm以下のカンラン石が少量観察される。これらは、周辺部や内部の亀裂に沿ってイデイングス石化しているものが多い。また、0.3mm以下の単斜輝石も斑晶として少量含まれる。さらにごくまれに長さ0.3mm以下の斜長石斑晶も見られる。石基は主に細粒の斜長石と、少量のカンラン石および単斜輝石からなり、これらはインターサータル組織を示す。

3. 測定方法

全岩化学組成分析には、北九州市立自然史・歴史博物館の蛍光X線分析装置(PANalytical製MagiX PRO)を使用した。分析方法はMori and Mashima(2005)に従った。Sr同位体比($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)の分析には筑波大学の表面電離型質量分析装置(Finnigan社製MAT262)を使用した。試料の処理および分析方法は主としてArakawa(1992)の方法によったが、フィ

ラメントの構成と試料のローディング方は以下の方法で行った。IONI(ionization)とEVE(evaporation)にTa製のダブルフィラメントを使用して、EVA側のフィラメントへは、Ta-solutionで解いた試料をローディングした。測定値は $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}=0.1194$ で規格化した。試料と同時に測定した標準試料NIST987の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 値は $0.710246 \pm 36(2\sigma, n=11)$ であった。

4. 測定結果

今回二子山から試料した3試料FTG-2301, FTG-2302, FTG-2303の全岩主要元素組成の測定結果を表1に、全岩微量元素および希土類元素組成の測定結果を表2に、Sr同位対比の測定結果を表3に示した。

表1 二子山に産する安山岩の全岩主要元素化学組成測定結果(単位は wt.%)

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Tortal
FTG2301	56.83	0.69	16.73	6.33	0.10	6.60	7.64	3.36	0.87	0.19	99.34
FTG2302	56.99	0.70	16.88	6.48	0.10	6.37	7.52	3.35	0.86	0.20	99.47
FTG2303	58.44	0.72	17.24	6.48	0.12	6.59	7.89	3.46	0.89	0.20	102.02

Fe₂O₃* = total iron as Fe₂O₃

表2 二子山に産する安山岩の全岩微量および希土類元素組成測定結果(単位は ppm)

	Sc	V	Cr	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	La	Ce	Nd	Pb
FTG2301	21	128	267	150	9	57	21	497	15	91	8	269	15	27	16	3
FTG2302	19	132	289	161	8	64	25	485	17	93	10	278	19	24	14	4
FTG2303	19	127	330	163	24	65	25	511	17	97	9	294	14	24	16	6

表3 二子山に産する安山岩の Sr 同位体比測定結果

sample	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2σm
FTG2301	0.704179	0.000010
FTG2302	0.704218	0.000010
FTG2303	0.704169	0.000012

全岩化学分析により求められた噴出物のSiO₂量は約57-58wt.%の範囲であり、ほぼ同一とみなすことができる。これらは安山岩の組成範囲である。新村(2009)で報告した二子山周辺の転石(FTG-01)の各化学組成(SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅)は順に、57.07, 0.71, 16.93, 6.33, 0.11, 6.48, 7.99, 3.41, 0.94, 0.19wt.%であり、K₂O量が若干多い他は今回測定した値の範囲内であり、ほぼ同様の主化学組成であるといえる。今回測定した二子山に産する安山岩の主化学組

成について、SiO₂とアルカリ量を比較して分類すると、LeBas *et al.*(1986)のNa₂O+K₂Oを用いた分類では、FTG2303は安山岩、それ以外は玄武岩質安山岩と安山岩の境界上にプロットされる。またGill(1981)のK₂O量による分類では中カリウム、Peccerillo and Taylor(1976)のK₂O量による分類ではカルクアルカリ系列の領域にプロットされる。MgO量は6.4-6.6wt.%であり、一般的な安山岩に比べると非常に多い。全岩主要元素組成のSiO₂量に対するその他の組成のハーカー図を図2に、全岩微量元素

組成について図3に示した。主要元素組成のプロット(図2)において、FTG2303以外はほぼ一ヶ所に集中しており、ほぼ同一の組成であることを示す。FTG2303はSiO₂量およびAl₂O₃量が他に比較して若干多い。一方で、SiO₂量の相違にもかかわらず、他の元素組成はほとんど一致している。全岩微量元素組成(図3)では、Nbの値に若干幅が見られる他は、主要元素組成と同様にFTG2303以外はほぼ一ヶ所に集中しており、組成がほとんど等しいことを示す。また、FTG2303は他とのSiO₂量の差に比較して、Nb以外では微量元素の濃度に差がほとんどない。

Sr 同位体比は0.70417-0.70422の限られた範囲に入り、測定誤差や一般的な同一岩盤中での値のばらつきから考慮すると、主化学組成と同様にほとんど同じ値としてみなすことができる。

5. 考察

5-1. 全岩主要元素組成

白木(1993)は安山岩(SiO₂量が53~63wt.%)のうちMgO含有量が6wt.%を超えるものを高マグネシア安山岩(HMA)としている。新村(2009)で報告したFTG-01と同様に、今回測定した二子山に産する安山岩もHMAとみなすことができる。新村(2009)ではFTG-01の特徴から二子山に産する安山岩の組成を予想し、二子山高マグネシア安山岩(二子山HMA)という仮の新称を提案した。これら3試料がFTG-01と肉眼および偏光顕微鏡下で観察した特徴が酷似していること、全岩主要化学組成がほぼ同じであること、さらに微量元素および希土類元素組成(後述)もほぼ同様であることから、3試料とFTG-01は、一連の火山噴出物を起源とした可能性が高い。今回測定した3試料は、二子山の外側にあった転石FTG-01とは異なり、二子山の地下に分布する岩盤の一部である露頭から採取している。したがってここで正式に、二子山に分布する高いMgO含有量である安山岩を、二子山高マグ

ネシア安山岩(二子山HMA)と定義する。

二子山は第四紀火山である阿蘇火山および金峰山の間に位置する。また、中部から北部九州には高いMgO含有量をもつ高マグネシア安山岩(HMA)が分布している。図4以降では二子山HMAとこれらの分析値を比較した。権現山HMAは新村ほか(2008)で報告された阿蘇山西麓の西原村に分布するHMAで年代は約3.9Maである。大野HMAは、Shiraki *et al.*(1995)で報告された大分市の30~40km南西の大野川中流域に分布する大野火山岩類(15-13Ma(柴田・小野, 1974; Tamanyu, 1978; Tatsumi *et al.*, 1980))や基盤岩類に貫入した高マグネシア安山岩岩脈(大野岩脈、竹中岩脈)である。岩脈そのものの年代は不明であるが、同報告では瀬戸内HMAの西方延長と結論付けている。耶馬溪HMAは、角縁・松本(1990)が報告した耶馬溪地域のソレアイト玄武岩に関する報告の中の、Mg量の多い安山岩に該当する。また、これらの火山岩は松本ほか(1989)により約4Maの年代であると報告されている。英彦山HMAは角縁ほか(1995)が報告した福岡県と大分県の県境にまたがる英彦山地域に分布する玄武岩~玄武岩質安山岩のうち、HMAに相当する岩脈と溶岩(深倉玄武岩(英彦山団研グループ, 1992))である。岩脈のうちの1つはMiyoshi *et al.*(2008)によって約3.6Maの年代が報告されている。天草下島HMAは、永尾ほか(1992)で報告された天草下島の亀浦の安山岩岩脈および下須島玄武岩のうち安山岩組成のものであり、年代はそれぞれ14.2, 9.4Maである。西彼杵HMAは、白木ほか(2000)によって報告されている長崎県の西彼杵半島南部に広く分布するHMAであり、同報告では約8-2Ma, Miyoshi *et al.*(2008)では約6-4Maの年代を報告している。西瀬戸内HMAは、白木ほか(1991)による瀬戸内の西部地域に分布する安山岩のうち高いMgO量をもつHMAであり、巽ほか(1980)によって約12.6Maの年代が報告されている。二子山の

熊本県合志市二子山に産する高マグネシア安山岩の化学組成および Sr 同位体比

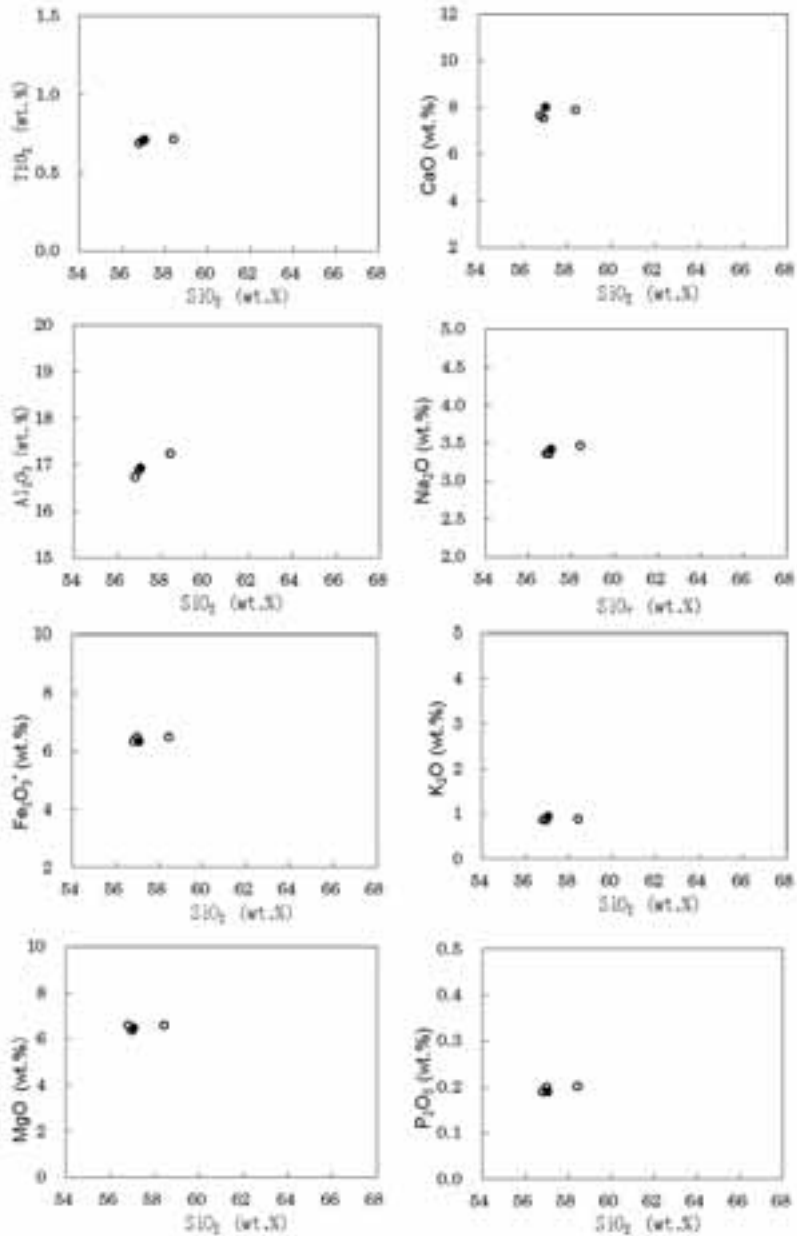


図2 二子山に産する安山岩の全岩主要元素組成のハーカー図

白丸は FTG2301, FTG2302, FTG2303 で、黒丸は FTG-01 (新村, 2009) を示す。横軸の SiO₂量はおよそ安山岩 (53-65wt.%) からデイサイト (62-70wt.%) の組成幅で、縦軸の各元素組成の幅は、日本の火山岩の多くにおいて、横軸の SiO₂量に対応してとる値のバリエーションの範囲に近い。FTG2303以外はほぼ一ヶ所に集中している。FTG2303は SiO₂量が他に比較して若干多いほか、Al₂O₃量も同様に若干多いが、その他の元素では、あまり変わらない。

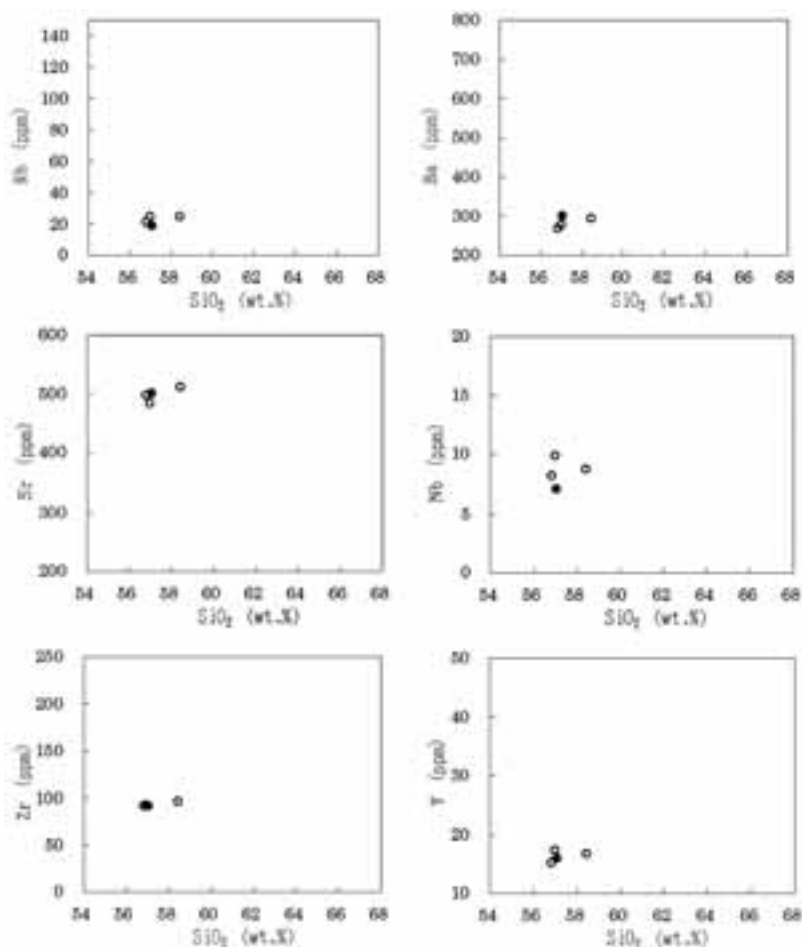


図3 二子山に産する安山岩の全岩微量元素組成のハーカー図

白丸はFTG2301, FTG2302, FTG2303で, 黒丸はFTG-01 (新村, 2009) を示す。横軸のSiO₂量はおよそ安山岩 (53-65wt.%) からデイサイト (62-70wt.%) の組成幅で, 縦軸の各元素組成の幅は, 日本の火山岩の多くにおいて, 横軸のSiO₂量の幅に対応してとる値のバリエーションの範囲に近い。Nb以外は主要元素組成と同様に, FTG2303以外ほぼ一ヶ所に集中している。FTG2303は他とのSiO₂量の差に比較して, Nb以外では微量元素の濃度に差がほとんどない。

南西方向10kmに第四紀火山である金峰山がある。距離が近いためにここに分布する火山岩に関連性がある可能性が考えられること, また西合志町教育委員会(1971)が二子山の安山岩が金峰山のかんらん石玄武岩質安山岩を起源としていると報告している(構成鉱物が類似するという根拠)ため, 倉沢・高橋(1963)で報告

された化学組成のデータもプロットした。さらに約25km東方にある第四紀火山である阿蘇火山の地球化学的データから, 阿蘇火砕流はHunter(1998), 先阿蘇火山岩類および阿蘇中央火口丘群は新村ほか(2010)で報告されているものを使用した。

図4のSiO₂-CaO図では、ほぼすべての地域のデータのプロット領域は、お互いに重なっている。二子山HMAと権現山HMAでは、SiO₂の変化に対してCaO量はほとんど変化しないが、それ以外では右下がりの方向にトレンドを持つ。SiO₂-Al₂O₃図では、HMAは全体的にAl₂O₃量が少なく12~17wt.%の範囲でばらついており、それ以外の火山岩ではSiO₂の変化に対してAl₂O₃の変化に乏しく、若干右下がりのトレンドが見られる。二子山HMAのAl₂O₃量は、HMAとそれ以外の火山岩の中間的な値である。SiO₂-MgO図では、HMAはそれ以外に比較してMgO量が非常に多く、また図上では明瞭なトレンドは見られない。二

子山HMAはすべてHMAの領域の下限(MgO wt.%=6)近くにプロットされる。HMA以外の火山岩は明瞭な右下がりのトレンドを持つ。SiO₂-K₂O図では、阿蘇火砕流および阿蘇中央火口丘群の火山岩は高いK₂O量で、右上がりのトレンドを持つ。その他のHMAを含む火山岩では、同様に右上がりのトレンドを持つが、K₂O量は少ない。特に二子山HMAと権現山HMAはSiO₂の変化に比較してK₂Oの変化に乏しく、含有量は全データのうち同じSiO₂量に対して最も低い値である。金峰山の火山岩と二子山HMAでは、明らかに二子山HMAのK₂O量が少なく、SiO₂-MgO図上と同様に両者は明確に区別される。

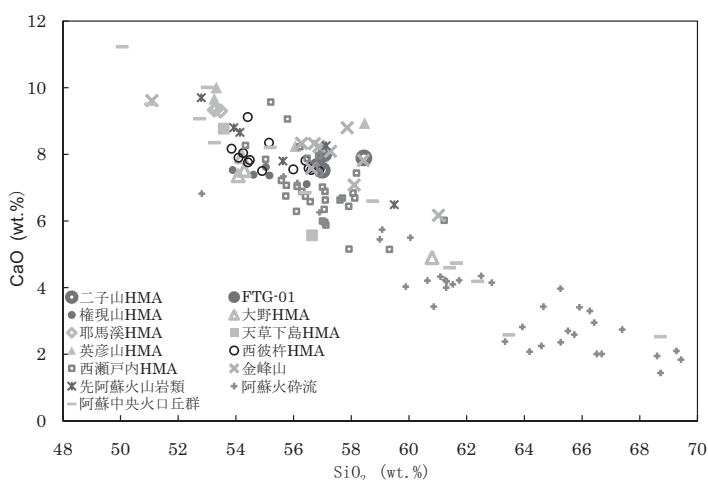
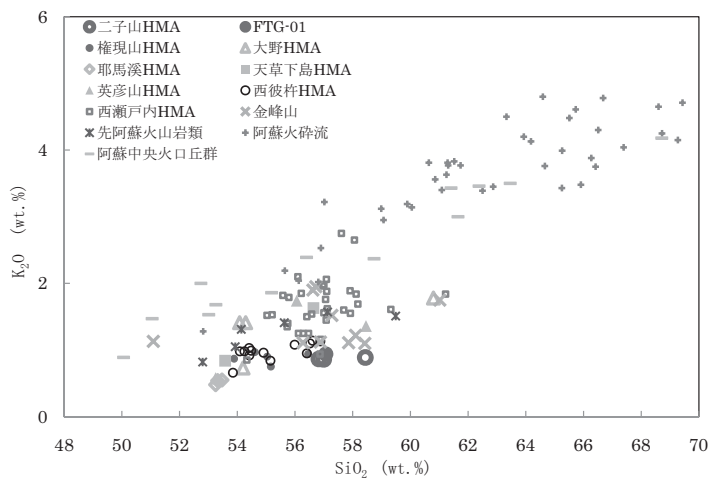
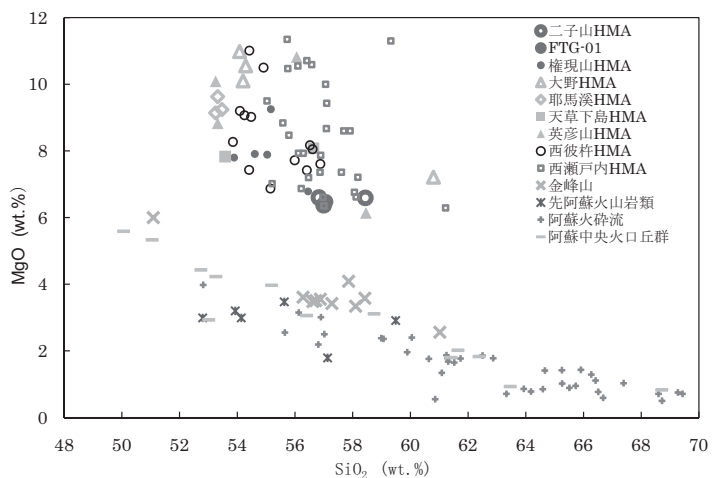
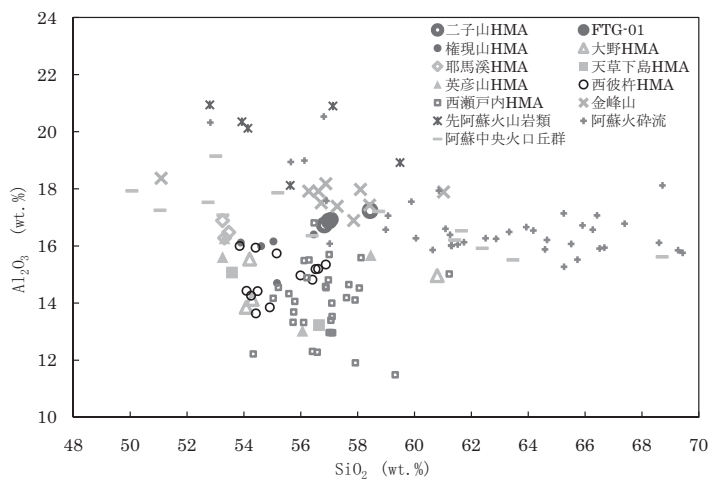


図4 九州中～北部と西瀬戸内地域に分布するHMAおよび阿蘇・熊本地域に分布する火山岩のSiO₂-CaO, SiO₂-Al₂O₃, SiO₂-MgOおよびSiO₂-K₂O図。凡例は各図中に示した。九州中～北部と西瀬戸内地域に分布するHMAのデータは、それぞれの地域における火山岩のうちHMAに相当するものだけを選択してプロットした。データの詳細は文中に記述した。データの用元は、権現山HMAは新村ほか(2008)、大野HMAはShiraki *et al.* (1995)、耶馬溪HMAは角縁・松本(1990)、英彦山HMAは角縁ほか(1995)、天草下島HMAは永尾ほか(1992)、西彼杵HMAは白木ほか(2000)、西瀬戸内HMAは白木ほか(1991)、金峰山は倉沢・高橋(1963)、阿蘇火砕流はHunter(1998)、先阿蘇火山岩類および阿蘇中央火口丘群は新村ほか(2010)である。

新村太郎



5-2. 微量元素組成

図5は今回測定した二子山 HMA と FTG-01, 九州中～北部の HMA, 金峰山および阿蘇火山の火山岩の微量元素組成を MORB で規格化して, スパイダーダイアグラム (Pearce, 1983) 上にプロットしたものである。図5左上の図から, 二子山 HMA は3 試料ともほとんど同じ値であり, LIL 元素に富み HFS 元素が若干枯渇するというパターンで, Nb に大きな枯渇は見られない。FTG-01 は二子山 HMA とほぼ同一の値である。また, 権現山 HMA は主要元素組成においては二子山 HMA と若干異なることもあったが, 微量元素のスパイダーダイアグラム上では Y の枯渇の程度が若干小さいのみで, その他はほとんど

と同じ値である。図5右上の九州中～北部の他の HMA と比較すると, 特に LIL 元素において, 西瀬戸内 HMA に比較して Rb と K が少なく, 逆に Nb は多い。西彼杵 HMA に値とパターンが近い。その他の HMA では, 値やパターンがばらついているので単純な比較は難しい。図5左下の図は阿蘇の火山岩であるが, 先阿蘇火山岩類, 阿蘇火砕流堆積物, 中央火口丘群の火山岩の3つの異なる活動時期では, パターンが異なっている。全体として, Sr 以外ではすべての元素で先阿蘇火山岩類の値が低く, 中央火口丘群の火山岩, 阿蘇火砕流堆積物の順に高くなっている。二子山 HMA は, この中では先阿蘇火山岩類に近い。

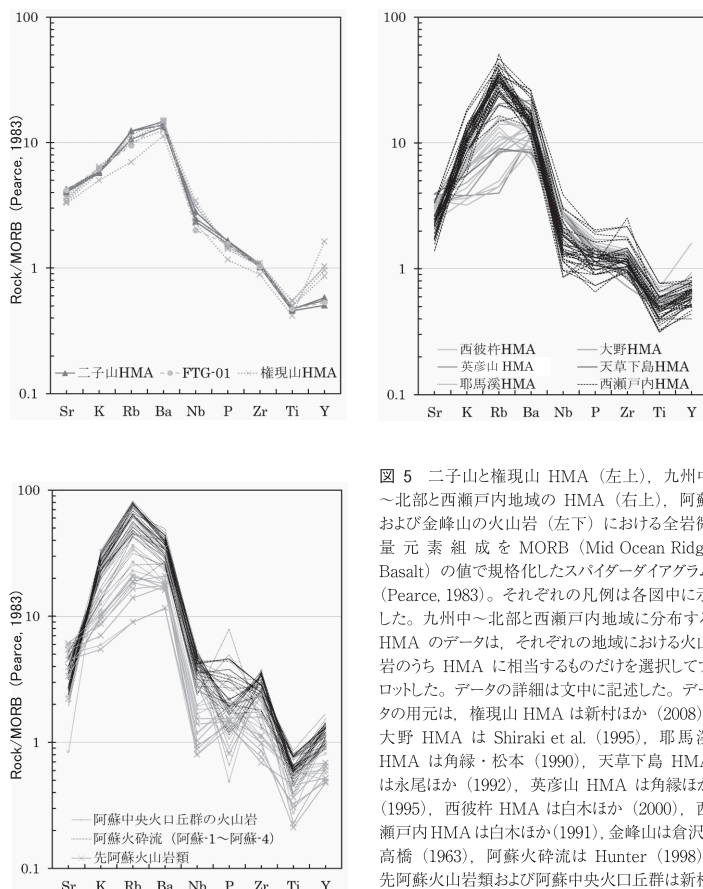


図5 二子山と権現山 HMA (左上), 九州中～北部と西瀬戸内地域の HMA (右上), 阿蘇および金峰山の火山岩 (左下) における全岩微量元素組成を MORB (Mid Ocean Ridge Basalt) の値で規格化したスパイダーダイアグラム (Pearce, 1983)。それぞれの凡例は各図中に示した。九州中～北部と西瀬戸内地域に分布する HMA のデータは, それぞれの地域における火山岩のうち HMA に相当するものだけを選択してプロットした。データの詳細は文中に記述した。データの用元は, 権現山 HMA は新村ほか (2008), 大野 HMA は Shiraki et al. (1995), 耶馬溪 HMA は角縁・松本 (1990), 天草下島 HMA は永尾ほか (1992), 英彦山 HMA は角縁ほか (1995), 西彼杵 HMA は白木ほか (2000), 西瀬戸内 HMA は白木ほか (1991), 金峰山は倉沢・高橋 (1963), 阿蘇火砕流は Hunter (1998), 先阿蘇火山岩類および阿蘇中央火口丘群は新村ほか (2010) である。

5-3. Sr 同位体比

図6は今回測定した二子山 HMA と FTG-01, 九州中～北部の HMA, 金峰山, 阿蘇火山の火山岩の Sr 同位体比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比) の値を 0.0005 間隔での頻度を示したものである。二子山 HMA の 3 試料の測定結果はすべて 0.7040～0.7045 の区間に入っている。権現山 HMA では 6 試料がすべて同様の区間にある。英彦山の 2 試料はこの範囲であるが、他の 2 試料はそれぞれ 0.7045

～0.7050, 0.7060～0.7065 の高い区間に入る。耶馬溪 HMA の 2 試料は二子山 HMA と同様の区間に入る。天草下島 HMA の 1 試料(亀浦安山岩)は 0.7080～0.7085 の非常に高い区間に入る。金峰山の 2 試料は二子山 HMA の前後, すなわち 0.7035～0.704 および 0.7045～0.7050 の区間である。先阿蘇火山岩類, 阿蘇火砕流堆積物, 阿蘇中央火口丘群の火山岩は二子山 HMA と同じ区間 0.7040～0.7045 に大部分が集中している。

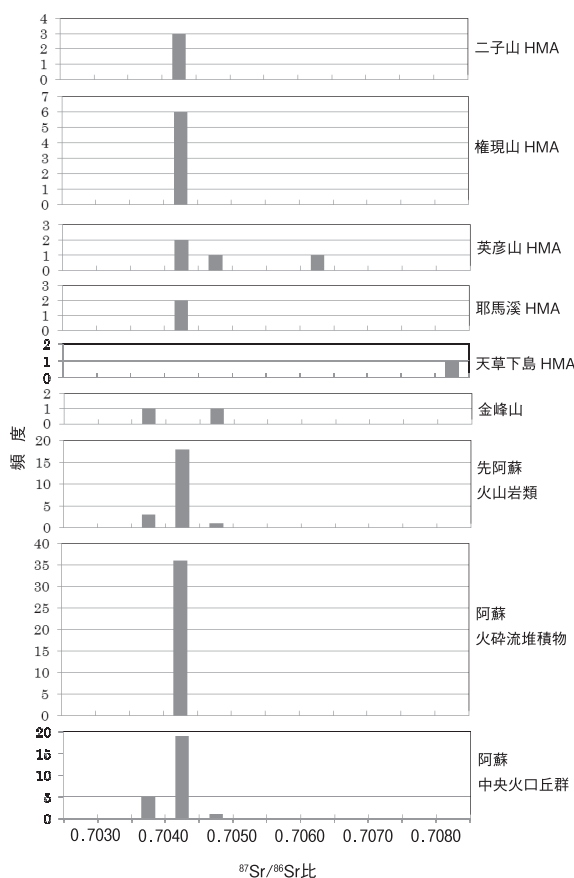


図6 九州中～北部と西瀬戸内地域に分布する HMA および阿蘇・熊本地域に分布する火山岩の Sr 同位体比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比) を、0.0005 間隔でそれぞれの頻度 (測定試料数) を示した。二子山 HMA では 3 試料とも 0.7040～0.7045 の区間に入る。九州中～北部と西瀬戸内地域に分布する HMA のデータは、それぞれの地域における火山岩のうち HMA に相当するものだけを選択してプロットした。データの詳細は文中に記述した。データの用元は、権現山 HMA は新村ほか (2008), 耶馬溪 HMA は角縁・松本 (1990), 英彦山 HMA は角縁ほか (1995), 天草下島 HMA は永尾ほか (2000), 西彼杵 HMA は白木ほか (2000), 西瀬戸内 HMA は白木ほか (1991), 金峰山は倉沢 (1985), 阿蘇火砕流は Hunter (1998), 先阿蘇火山岩類および阿蘇中央火口丘群は新村ほか (2010) である。

5-4. 二子山 HMA の地球化学的特徴と他の火山岩との関連

二子山安山岩の最も大きな特徴は前述の通り、全岩主化学組成から明らかなように高い Mg 含有量を持つ高マグネシア安山岩であることである。そして、主化学組成のハーカー図上での特徴は、南東方向約 18km にあり、現在確認されている HMA の中で地理的に最も近い西原村の権現山 HMA と同様であり、微量元素のスパイダーダイアグラムはかなり類似している。偏光顕微鏡によって観察した斑晶鉱物や石基の様子も類似している。このことから二子山 HMA は、権現山 HMA の一連のマグマ活動と同様の起源を持つ可能性が高い。一方、西合志町教育委員会 (1971) は二子山の安山岩が金峰山のかんらん石玄武岩質安山岩を起源としていると報告したが、最も近接している火山であることと、かんらん石玄武岩質安山岩が産出すること以外の根拠はない。金峰山に分布する玄武岩質安山岩は高マグネシア安山岩ではない。さらに、土志田ほか (2006) の年代測定データから、金峰山の活動は約 140 万年前に始まったとされているが、九州における HMA の活動はすでに終わっている。したがって、二子山 HMA の起源を金峰山に求めることは困難である。二子山 HMA と微量元素のスパイダーダイアグラムのパターンが類似している長崎県の西彼杵半島に分布する HMA の年代は、Miyoshi *et al.* (2008) の報告によると約 6-4Ma の期間に集中している。権現山 HMA の年代は約 3.9Ma である (新村ほか, 2008)。一方で、これらの年代よりずっと古い約 12.6Ma の瀬戸内の HMA (巽ほか, 1980) では、微量元素のスパイダーダイアグラムのパターンが大きく異なっている。以上のことから、二子山 HMA の年代は権現山 HMA や西彼杵 HMA と同程度の年代であることが予想される。そうならば、権現山 HMA、西彼杵 HMA を含めて、サブダクションの横断方向での 6-4Ma 頃の同時間における HMA のプロファイルを描くこ

とが可能となり、当時のマグマ発生のメカニズムが、サブダクションに支配されていたかについて制約条件を与えることになる。そのためには、今後二子山 HMA の年代データ、西彼杵 HMA の地球化学的データの充実が必要である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、平成 22 年および 23 年度熊本学園大学産業経営研究所研究助成金を使用した。全岩化学組成分析においては、九州市立自然史・歴史博物館の森康博士に大変お世話になった。また、筑波大学での Sr 同位体分析においては、同大学大学院生命環境科学研究科の荒川洋二博士に測定する機会をいただいた。以上の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- Arakawa, Y. (1992): 143Nd/144Nd ratio of twelve GSJ rock reference samples and reproducibility of the data. *Geochem. J.*, 26, 105-109.
- GILL, J. (1981): Orogenic andesites and plate tectonics 390p.
- 英彦山団研グループ (1992): 九州北部の新第三紀構造形成史: 英彦山およびその西方地域. *地質学雑誌*, 98 (7), 571-586.
- Hunter, A. G. (1998): Intracrustal controls on the coexistence of tholeiitic and calc-alkaline magma series at Aso Volcano, SW Japan. *J. Petrol.*, 39, 1255-1284.
- 角縁 進・松本征夫 (1990): 大分県耶馬溪地域の未分化ソレアイト玄武岩. *岩鉱*, 85, 12, 559-568.
- 角縁 進・木戸道男・英彦山団研グループ (1995): 九重-別府鮮新世沈降盆地の北西縁に分布する高マグネシア安山岩. *地質学論集 島弧火山岩の時空変遷*, 44, 125-138.
- 熊本県地質図編纂委員会 (2008): 熊本県地質図 (10万分の1) (県北版・県南版・説明書). 社団法人熊本県地質調査業協会, 118p.
- 倉沢 一・高橋 清 (1963): 熊本県金峰火山岩類の化学組成. *地調月報*, 14, 364-376.

- 倉沢 一(1985): 雲仙・多良・熊本金峯地域火山岩類の Sr 同位体組成. 火山, 30, 273-286.
- Le Bas, M. J., LeMaitre, R. W., Streckeisen, A., Zanettin, B.(1986): A chemical classification of volcanic rocks on the total alkali-silicadiagram. J. Petrol., 27, 745-750.
- 松本征夫・山懸茂樹・板谷徹丸 (1989): 大分県耶馬溪地域産玄武岩類の K-Ar 年代. 日本地質学会西日本支部会報, 92, 18-19.
- Miyoshi M., Nasu T., Tajima M., Kido M., Mori, Y., Hasenaka, T., Shibuya H. and Nagao K. (2008): K-Ar of high-magnesian andesite lava from northern Kyushu, Japan. Jour. of Mineral. and Petrol. Sci., 171, 73-87.
- Mori, Y. and Mashima, H. (2005): X-ray fluorescence analysis of major and trace elements in silicate rocks using 1:5 dilution glass beads, Bulletin of the Kitakyushu Museum of Natural History and Human History Series A Natural History, 3, 1-12.
- 長尾憲治・白木敬一・永尾隆志・角縁 進・松本征夫 (1990): 瀬戸内海西部の第三紀火山岩の微量元素(演旨). 三鉱学会連合学術講演会講演要旨集, 47-47.
- 永尾隆志・沢井長雄・板谷徹丸・角縁 進(1992): 熊本県, 天草下島のソレアイト質玄武岩と高マグネシア安山岩の K-Ar 年代と岩石学的特徴. 岩鉱, 87, 7, 283-290.
- 永尾隆志・角縁 進・藤林紀枝・長谷義隆・長峰 智 (2000): 熊本県天草下島玄武岩の微量元素, 希土類元素組成, Sr, Nd 同位体比の特徴. 山口大学機器分析センター報告, 8, 38-43.
- 西合志町教育委員会(1971): 二子山石器製作址-調査報告書-. 西合志町教育委員会, 29p.
- Pearce, J.A.(1983): Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In Hawkesworth, C. J. and Norry, M. J. eds., Continental basalts and mantle xenoliths, Shiva Pub, Nantwich, 230-249.
- Peccerillo, A. and Taylor, S.R. (1976): Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. Contributions to Mineralogy and Petrology, 58, 63-81.
- 柴田賢・小野晃司 (1974): 九州中部, 大野火山岩類の K-Ar 年代. 地調月報. 25, 663-666.
- 新村太郎・荒川洋二・三好雅也・長谷中利昭(2008): 熊本県西原村権現山に産する高マグネシア安山岩の K-Ar 年代, 熊本学園大学論集『総合科学』, 14 (2), 23-37.
- 新村太郎・森 康 (2009): 熊本県合志市の二子山打製石器製作遺跡付近に産する玄武岩質安山岩の起源について. 熊本学園大学論集「総合科学」, 16 (1), 1-28.
- 新村太郎・荒川洋二・三好雅也・柴田知之 (2010): 阿蘇火山における先カルデラから後カルデラ期火山岩の同位体比および全岩化学組成の時間変化(招待講演), 日本地球化学会第57 会年会, 立正大学熊谷キャンパス.
- 白木敬一・長尾憲治・永尾隆志・角縁 進・松本征夫 (1991): 瀬戸内海西部産瀬戸内火山岩の微量元素の特徴. 岩鉱, 86, 459-472.
- 白木敬一(1993): 瀬戸内地域における高マグネシア安山岩の形成. 地質学論集, 42, 255-266.
- 白木敬一・宮本光隆・松尾弘昭・植木有子・東 高照・永尾隆志・松本征夫・田島俊彦(2000): 長崎県西彼杵半島南部の高 Mg 安山岩と玄武岩. 山口大学機器分析センター報告, 8, 24-37.
- Shiraki K., Yoshioka K. and Matsumoto Y. (1995): Magnesian andesites in the Oono volcanic rocks, central Kyushu: westward continuation of the Setouchi volcanic belt. Jour. Geol. Soc. Japan, 101, 5, 387-392.
- Tamanyu, S. (1978): Fission-track dating for glass. Abst. 85th Ann. Meeting Geolog. Soc. Japan, 310.
- 巽 好幸・横山卓雄・鳥居雅之・石坂恭一 (1980): 大阪周辺及び山口県東部に分布する瀬戸内火山岩類の K-Ar 年代-瀬戸内火山岩類の年代測定, その4-. 岩鉱, 75 (3), 102-104.
- Tatsumi, Y., Torii, M. and Ishizaka, K. (1980): On the age of the volcanic activity and the distribution of the Setouchi volcanic rocks. Bull. Volcanol. Soc. Japan, 25, 171-179.
- 土志田潔・宇都浩三・松本哲一(2006): 金峰火山の K-Ar 年代. 火山, 51, 1, 31-40.