

瀬戸内海西部，愛媛県大三島の後期中新世芸予火山岩類

—K-Ar 年代と岩石学的特徴—

妹尾 護・松浦 浩久*

倉敷芸術科学大学国際教養学部

*産業技術総合研究所

(2001年9月28日 受理)

1. はじめに

瀬戸内海西部の広島県から愛媛県にかけては，中新世の小規模な火山岩類が点在しており，それらは瀬戸内火山岩類¹⁾および芸予火山岩類^{2,3)}から成る。これら火山岩類の中で，妹尾・松浦²⁾は，広島県～愛媛県に位置する芸予諸島の中新世火山岩類について，7.8–8.4 Ma の全岩 K-Ar 年代を示す後期中新世火山岩類の存在を指摘し，中期中新世瀬戸内火山岩類と区別して芸予火山岩類と命名した。このことは，瀬戸内海西部において，後期中新世に一つの火山活動地域が存在したことを意味し，それら火山岩類の活動年代や岩石学的特徴は，西南日本の中新世のマグマティズムやテクトニクスを考察する上で，重要なデータになるものと考えられる。しかし，妹尾・松浦²⁾の報告では，調査地域が限定されていたため，後期中新世火山岩類の分布は東西約15km程度と，その空間的および時間的な広がりについても不明な点が残されていた。そこで，今回さらに検討を進めた結果，愛媛県大三島においても，後期中新世の年代を示す安山岩が存在することが明らかになったので，火山岩の産状，岩石記載，全岩 K-Ar 年代測定結果および全岩化学組成上の特徴などについて報告する。そして，瀬戸内海西部の芸予火山岩類の時空的な分布について述べる。

2. 地質の概要と後期中新世火山岩の産状

(1) 地質の概要

愛媛県大三島には（図1），基盤岩類としてジュラ紀堆積岩類と白亜紀花崗岩類が広く分布しており，本研究の後期中新世火山岩は岩脈として花崗岩類中に貫入している。

ジュラ紀堆積岩類は泥岩を主とし，砂岩・層状チャート・レンズ状石灰岩の小岩体を少量含む。ジュラ紀堆積岩類はほとんどが白亜紀花崗岩類の接触変成によってホルンフェルスや晶質石灰岩を生じており，それらはルーフペンダント状に分布する。

白亜紀花崗岩類は中粒～粗粒の黒雲母花崗岩が量的に多く，それらは部分的に角閃石を含む。暗色包有物はほとんど認められない。この岩体は芸予諸島に広く分布するいわゆる広島型花崗岩に属する。大三島の南部と西部には，量的に少ないが，中粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩が分布しており，わずかに葉理構造を示す。また，閃緑岩質の暗色包有物を含

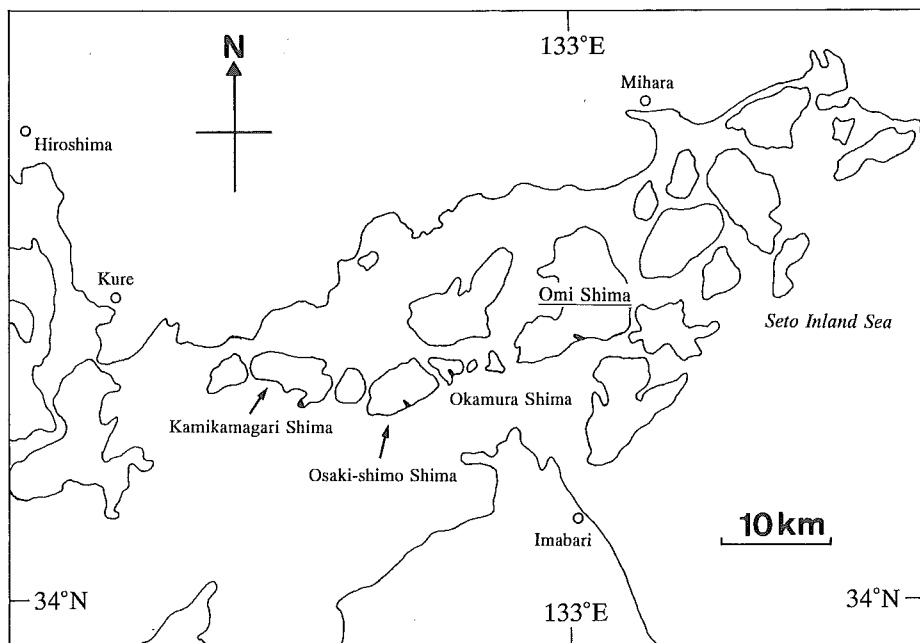


図1 愛媛県大三島の位置および瀬戸内海西部における後期中新世火山岩類の分布

各火山岩の K-Ar 年代：上蒲刈島； $8.4 \pm 0.4\text{Ma}^{8)}$ ，大崎下島； $8.2 \pm 0.7\text{Ma}^{2)}$ ，岡村島； $7.8 \pm 0.4\text{Ma}$ ， $8.0 \pm 0.4\text{Ma}^{2)}$ ，大三島； $9.2 \pm 0.5\text{Ma}$ （本研究）

み、葉理構造の方向にやや伸長した形態をもつ。この岩体は愛媛県高縄半島に広くみられる松山型花崗岩類に対比される³⁾。その他、小岩体あるいは岩脈状に細粒黒雲母花崗岩が大三島の中央部付近に認められる。この岩体は広島型花崗岩の一亜相とみなされる。

岩脈としては、本研究の安山岩質の岩石の他に、黒雲母花崗斑岩や角閃石曹長石閃長岩が認められている³⁾。

(2) 火山岩の産状

大三島の安山岩岩脈は島の南海岸に分布する中粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩に幅約15mの規模で貫入している。海岸での調査では約200m程度連続することが確認されている。貫入面の走向は西北西～東南東方向で $70-50^\circ$ 北側へ傾斜している。岩脈はやや波打ってはいるが、花崗岩との接触部はシャープである。花崗岩との接触部においては、幅約5cm程度が赤褐色に変質しており、この部分が急冷部とみなされる。岩脈の断面が観察される露頭では、四角形の柱状節理が貫入面に直交する方向に顕著に発達している（図2）。火砕岩類は伴わない。肉眼的には、角閃石斑晶の散点する灰黒色ち密な岩石である。

3. 岩石記載

大三島の安山岩岩脈は角閃石含有普通輝石かんらん石安山岩で、斑晶としてかんらん石（径0.25mm以下）、普通輝石（径0.20mm以下）、角閃石（Z=褐色、最大長径1.5cm）および

斜長石（径0.40mm以下）を含む。かんらん石斑晶は自形で微斑晶サイズの結晶がほとんどを占めるが，全く変質を受けておらず新鮮である。普通輝石斑晶は自形～半自形で，セクター構造が認められる。角閃石斑晶は半自形～他形で，融食を受けている結晶が多い。また，結晶全体が単斜輝石と不透明鉱物に変化している場合もある。時々，斜長石結晶を包有する斑晶も認められる。斜長石斑晶は自形で，柱状～長柱状を呈する。ほとんどの斑晶は新鮮であるが，一部の結晶には蜂の巣構造を示すものもある。石基は斜長石，普通輝石，斜方輝石，不透明鉱物およびガラス（淡褐色）から成り，インターサタル～ハイアロオフィティック組織を示す。なお，モード組成としては，かんらん石斑晶：1.5%，単斜輝石斑晶：0.7%，角閃石斑晶：0.5%，斜長石斑晶：1.0%，石基：96.3vol%で，総斑晶量4 vol%以下の無斑晶質岩に近い。

4. K-Ar 年代

大三島の安山岩岩脈の全岩 K-Ar 年代測定では，岩石の新鮮な部分を粉碎し10－16メッシュにそろえた後，できる限り異質物や斑晶鉱物を取り除いたものを分析試料とした（試料採取地点；34°12'26"N，133°00'58"E）。年代測定は米国アレゲニー・テクノロジー社（旧テレダイン・アイソトープ社）によって行われた。年代値の算出は Steiger and Jager⁴⁾による。

表1に K-Ar 年代測定結果を示す。得られた値は 9.2 ± 0.5 Maで，後期中新世に相当する。この年代値は，測定誤差を含めると，妹尾・松浦²⁾による瀬戸内海西部の後期中新世芸予火山岩類の値（7.8–8.4Ma）にほぼ近く，瀬戸内海西部に分布する中期中新世の瀬戸内火山岩類の年代値；12–17Ma^{2,5,6,7,8,9)}とは異なる。したがって，年代値と地理的關係から

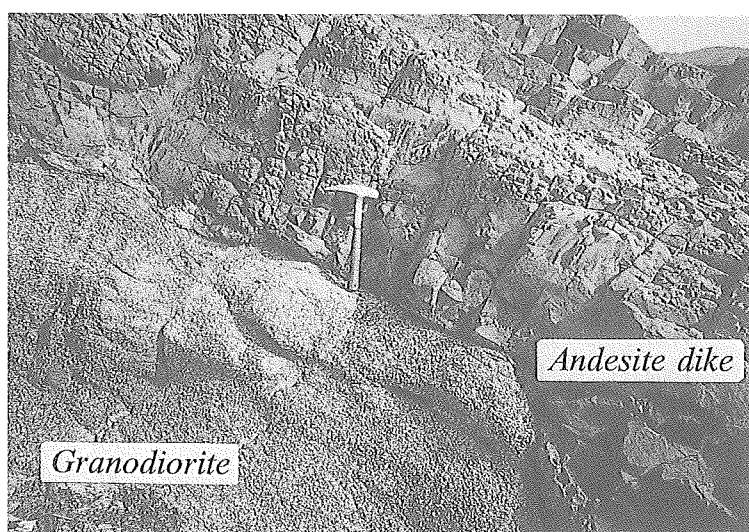


図2 大三島の後期中新世安山岩岩脈の露頭写真

判断して、愛媛県大三島の角閃石含有普通輝石かんらん石安山岩岩脈も後期中新世芸予火山岩類の一員とみなすことが可能である。

5. 全岩化学組成

主成分元素組成は、約1000℃で粉末試料を灼熱した後、四ホウ酸リチウムと混合してガラスビードを作成し（1：9）、蛍光X線分析装置（倉敷芸術科学大学、理学電機工業製 RIX-2100）を用いて測定した。したがって、主成分元素濃度は無水重量パーセントとして得られている。灼熱減量は測定値の合計とは別に示した。一方、微量元素については、粉末試料をプレスした粉末ブリケットを用いて測定した。測定に用いた検量線は、地質調査所の標準試料とこれまでに妹尾が行った湿式分析の試料を用いて作成した。表2にはその分析結果を示す。

表1 大三島の安山岩の全岩 K-Ar 年代測定結果

Sample	Rock type	Analyzed material	Rad ⁴⁰ Ar (10 ⁻⁶ mlSTP/g)	Rad ⁴⁰ Ar (%)	K (wt%)	Radiometric age (Ma)
OMS-1	Hb. Cpx. Ol andesite	whole rock	0.59, 0.59	77.6, 77.7	1.65, 1.65	9.2 ± 0.5

試料採取地点；34°12'26"N, 133°00'58"E

Hb；角閃石, Cpx；単斜輝石, Ol；かんらん石

λ_B ； $4.962 \times 10^{-10}/\text{yr}$, λ_E ； $0.581 \times 10^{-10}/\text{yr}$, $^{40}\text{K} / \text{K} = 1.167 \times 10^{-2} \text{atom\%}$ (Steiger and Jäger¹⁾)

分析者；アレグニー・テクノロジーズ社

表2 全岩化学組成

Sample	OMS-1		
SiO ₂	58.40(wt%)	Ba	251 (ppm)
TiO ₂	0.56	Cr	80
Al ₂ O ₃	18.78	Nb	4.2
Fe ₂ O ₃ *	6.06	Ni	31
MnO	0.11	Pb	20
MgO	3.19	Rb	66
CaO	6.64	Sc	16
Na ₂ O	3.82	Sr	501
K ₂ O	2.13	Th	5
P ₂ O ₅	0.20	V	102
Total	99.89	Y	15.0
Ignition loss	1.47	Zr	105
FeO* / MgO	1.71	La	16
		Ce	30
		Nd	14

Fe₂O₃*, FeO*；全鉄としての Fe₂O₃, FeO

全岩化学組成は SiO_2 : 58.4wt% で，安山岩組成を示す。本安山岩は斑晶としてかんらん石を含むが， MgO は比較的少なく (3.2wt%)， FeO^*/MgO 比は1.71とやや高い値を示す。これは今までに化学分析が行われた芸予火山岩類^{2,8)} (上蒲刈島，大崎下島，岡村島) の中では，最も MgO 含有量が少ない。瀬戸内海西部においては，中期中新世の瀬戸内火山岩類も分布しており，それらには高マグネシア安山岩¹⁰⁾ ($\text{MgO} > 6 \text{ wt}\%$) が多く伴われるが¹¹⁾，本研究の大三島の安山岩も含めて芸予火山岩類には高マグネシア安山岩相当の岩石は認められない (図3)。

微量元素の濃度については，Cr (80ppm)，Ni (36ppm) の両者とも100ppm以下で， MgO 含有量が少ないことと調和的である。しかしながら，Sr 濃度は約500ppmと高く，大三島の南西に位置する大崎下島の後期中新世かんらん石安山岩のその濃度に近い (Sr: 570–580 ppm; 妹尾，未公表データ)。これは，瀬戸内海西部の瀬戸内火山岩類の化学的性質¹¹⁾ とは異なる。図4には，N-MORB¹²⁾ で規格化した図 (スパイダーダイアグラム) を示す。この図には比較のため，白木ほか¹¹⁾ による瀬戸内海西部の瀬戸内火山岩類中の高マグネシア安山岩の平均値をプロットした。大三島の安山岩はLIL元素に富み，一方でHFS元素に乏しいことがみてとれる。また，Nbの負異常も認められる。この性格は瀬戸内海西部の芸予火山岩類に共通した特徴⁹⁾ であると言える。また第4図では，大三島の安山岩は瀬戸内海西部の瀬戸内火山岩類に一般的である高マグネシア安山岩類 (平均値) と比較しても，HFS元素であるNb，Zr，Ti，Y (Pを除く) に乏しいことがわかる。

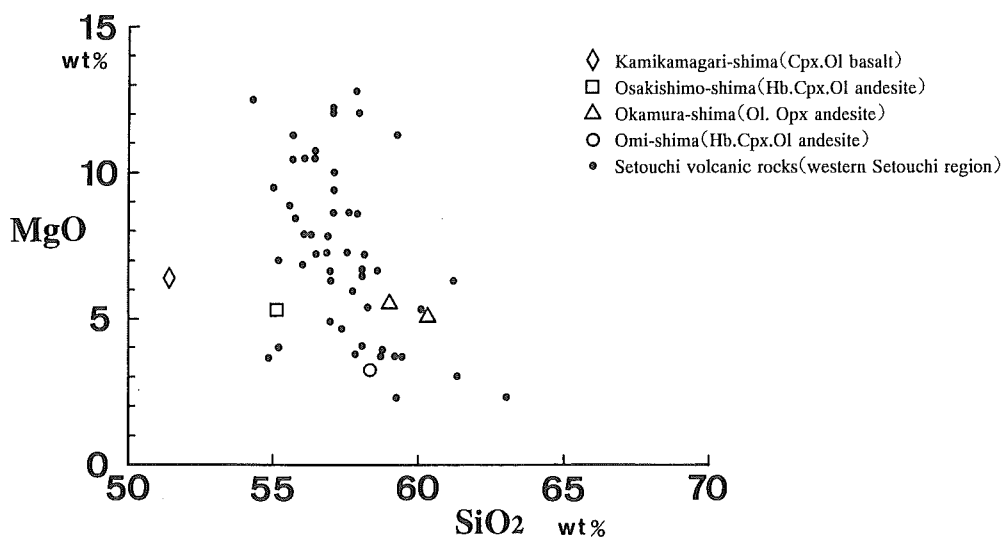


図3 MgO– SiO_2 図

後期中新世芸予火山岩類 (上蒲刈島，大崎下島，岡村島，大三島) の分析値は松浦⁸⁾，妹尾・松浦⁹⁾ および本研究による。また，瀬戸内海西部の中期中新世瀬戸内火山岩類 (流紋岩類は除く) の分析値は白木ら¹¹⁾ による。

Cpx; 単斜輝石，Ol; かんらん石，Hb; 角閃石，Opx; 斜方輝石

6. まとめと考察

瀬戸内海西部、芸予諸島の愛媛県大三島において、角閃石含有普通輝石かんらん石安山岩岩脈が見いだされた。貫入方向は西北西～東南東で、火砕岩は伴わない。その全岩 K-Ar 年代値は $9.2 \pm 0.5 \text{ Ma}$ で、後期中新世を示す。妹尾・松浦²⁾は瀬戸内海西部に分布する中新世火山岩類の中で、7.8–8.4Ma の後期中新世火山岩類の存在を指摘し、中期中新世瀬戸内火山岩類と区別して芸予火山岩類と命名した。本研究の愛媛県大三島の安山岩もその年代値、岩石学的特徴および地理的關係から、同様に後期中新世の芸予火山岩類の一員と考えられる。したがって、瀬戸内海西部の芸予火山活動の時期は、妹尾・松浦²⁾によって報告された 7.8–8.4Ma よりも少し広がり、7.8–9.2Ma となる。しかし、K-Ar 年代測定の影響を考慮しても、その活動期間は約 200 万年以内といえる。さらに、妹尾・松浦²⁾では、芸予火山岩類の分布は東西方向約 15km 程度の範囲としたが、本研究の大三島の安山岩を含めると、西南西～東北東方向約 30km の範囲と広がったことになる。芸予火山岩類は岩頸や岩脈など、すべて単成火山的活動の産物で、いずれも北西～南東あるいは西北西～東南東方向²⁾に伸長した共通点をもつ。

一方、個々の火山岩の化学的性格については、芸予火山岩類は高アルカリソレライト質玄武岩～安山岩から成るが^{2,8)}、分析値をみる限り、最も西側に位置する広島県上蒲刈島のかんらん石玄武岩 (SiO_2 : 51.5wt%) から広島県大崎下島のかんらん石安山岩 (SiO_2 : 55.3wt%)、愛媛県岡村島の古銅輝石・かんらん石安山岩 (SiO_2 : 59.1, 60.7wt%)、本研究の愛媛県大三島のかんらん石安山岩 (SiO_2 : 58.4wt%) へと、東側に行くにつれて一般に SiO_2 含有量に富む傾向がある。本研究の大三島の安山岩は瀬戸内海西部に分布する中期中新世の瀬戸内火山岩類¹¹⁾と比較すると、MgO, Cr, Ni 含有量に乏しく、芸予火山岩類全体についてみても、瀬戸内火山岩類を特徴づける高マグネシア安山岩相当の岩石は認められない。また、大三島の安山岩は、瀬戸内海西部の瀬戸内火山岩類¹¹⁾よりも、Sr 濃度が高く、一方 HFS 元素としての Nb, Zr, Ti, Y (P は除く) に乏しい。この傾向は芸予火山岩類に共通した性格であるといえる¹³⁾。

広島県上蒲刈島から愛媛県岡村島までの芸予火山岩類は LIL 元素に富み、一方 HFS 元素に乏しく、Nb の負異常を示すことが指摘されている¹³⁾。この化学的性質は本研究の大三島の安山岩についても同様で (図 4)、沈み込み帯火山岩を特徴づけるものである¹⁴⁾。しかし、西南日本では、中期中新世の瀬戸内火山活動後、すなわち後期中新世において、フィリピン海プレートの沈み込みは停止していたか、あるいは沈み込みを行っていたとしても弱く、火山活動を引き起こすまでには至らなかったと考えられている¹⁵⁾。このことから、妹尾・松浦²⁾は、瀬戸内海西部の芸予火山岩類の成因を、同時期の活動である中国山地の冠高原、世羅台地および吉備高原などのアルカリ玄武岩類の成因と同様に¹⁶⁾、深部からのダイアピルの上昇に関係づけた。中国山地のアルカリ玄武岩類の各火山群の分布範囲 (20–30km) が単一のマントルダイアピルの直径を反映し^{16,17)}、そして本報告の大三島の安

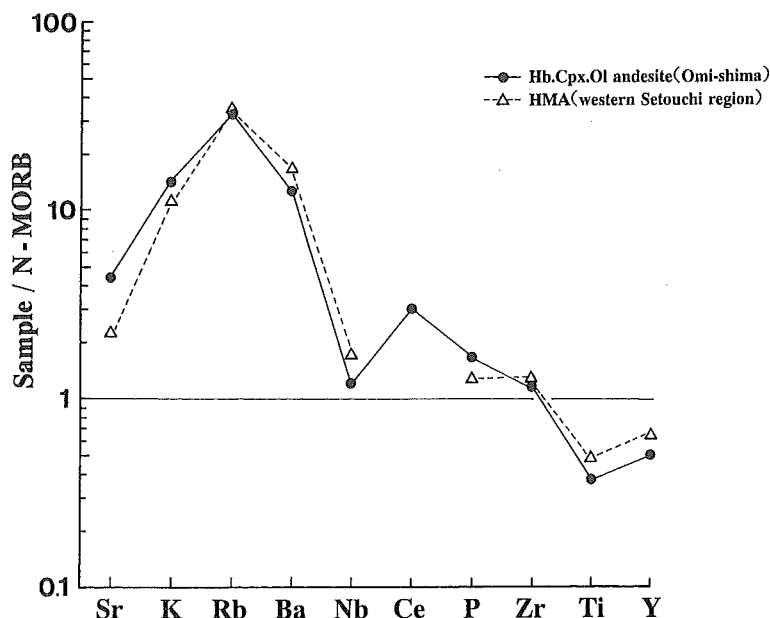


図4 N-MORB 規格図

N-MORB の値は Pearce¹²⁾による。また，瀬戸内海西部の高マグネシア安山岩 (HMA) の値は白木ら¹¹⁾による。Hb; 角閃石, Cpx; 単斜輝石, Ol; かんらん石

山岩が，妹尾・松浦²⁾による上蒲刈島から岡村島の芸予火山岩類を生じたのと同じダイアピルに起源をもつと考えると，瀬戸内海西部の芸予火山岩類の活動範囲は中国山地のアルカリ玄武岩類の各火山群とほぼ同規模となる。また，大三島の安山岩の年代値を含め，芸予火山岩類の活動期間が200万年以内であることも，中国山地の後期中新世アルカリ玄武岩類の各火山群が個々のダイアピルの寿命に対応して100-200万年以内¹⁷⁾に活動を終えたことと一致する。したがって，後期中新世の西南日本では，中国山地側にアルカリ玄武岩類を主体とした火山活動が，一方，南側の瀬戸内海地域では非アルカリ質の玄武岩～安山岩の活動がほぼ同様な活動期間および規模で起こっていたことになる。

しかしながら，芸予火山岩類については，深部からのダイアピルの上昇により，どのようなメカニズムによって安山岩質マグマが形成されたのか，つまり，安山岩質マグマが上部マントルで生成された初生安山岩質マグマ（高マグネシア安山岩）に起源をもつものなのか，あるいは玄武岩質マグマとのマグマ混合は起こっていないのか，などの問題点が残る。これらの点については，各火山岩の鉱物の化学組成，微量元素および同位体組成 (Sr・Pb など) を今後検討して，それらを明らかにする必要がある。

引用文献

- 1) 巽 好幸，鳥居雅之，石坂恭一：瀬戸内火山岩類の火山活動時期および分布範囲について—瀬戸内火山岩類の年代測定，その5—。火山，第2集，25，171-179 (1980)。

- 2) 妹尾 護, 松浦浩久: 瀬戸内海西部, 芸予諸島の後期中新世火山岩類 (芸予火山岩類) 及び前-中期中新世火山岩類 (瀬戸内火山岩類) について, 岩石鉱物科学, 29, 20-27 (2000).
- 3) 松浦浩久: 5 万分 1 地質図幅「三津地域の地質」及び同説明書, 地質調査所, 58p (2001).
- 4) Steiger, R. and Jager, E.: Subcommission on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth planet. Sci. Lett.*, 36, 359-362 (1977).
- 5) 巽 好幸, 横山卓雄, 鳥居雅之, 石坂恭一: 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, 102-104 (1980).
- 6) 山崎俊嗣, 鳥居雅之, 石坂恭一: 四国北東部および北西部の瀬戸内酸性火山岩類のフィッシュ・トラック年代と K-Ar 年代-瀬戸内火山岩類の年代測定, その 6 - 岩鉱, 76, 276-280 (1981).
- 7) 田村洋子, 佐野 栄, 加賀美寛雄, 柚原雅樹: 愛媛県中島・興居島の瀬戸内火山岩類の岩石学的地球化学的特徴. 日本地質学会第103年学術大会講演要旨, 270 (1996).
- 8) 松浦浩久: 瀬戸内海西部, 倉橋島及び柱島地域の中期中新世安山岩-デイサイトと後期中新世玄武岩. 岩鉱, 92, 63-68 (1997).
- 9) 角井朝昭: 瀬戸内海西部地域における中新世瀬戸内火山岩類の K-Ar 年代. 地質学雑誌, 106, 609-619 (2000).
- 10) 白木敬一: 瀬戸内海地域における高マグネシア安山岩の形成. 地質学論集, 第42号, 255-266 (1993).
- 11) 白木敬一, 長尾憲治, 永尾隆志, 角縁 進, 松本徭夫: 瀬戸内海西部産瀬戸内火山岩の微量成分の特徴. 岩鉱, 86, 459-472 (1991).
- 12) Pearce, J. A.: Role of sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In Hawkesworth, C. J. and Norry, M. J., eds., *Continental basalts and mantle xenoliths*, Siva, 230-249 (1983).
- 13) 妹尾 護, 松浦浩久: 瀬戸内地域の中新世後期の火山活動. 日本地質学会第104年学術大会講演要旨, 279 (1997).
- 14) Gill, J.: *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. 390 p, Springer-Verlag, Berlin (1981).
- 15) 鎌田浩毅: 中部九州の火山活動とテクトニクス-島弧会合部の観点からの概説-. 月刊地球, 17, 418-426.
- 16) Iwamori, H.: Zonal structure of Cenozoic basalts related to mantle upwelling in southwest Japan. *J. Geophys. Res.*, 96, 6157-6170 (1991).
- 17) 宇都浩三: 火山と年代測定: K-Ar, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代測定の現状と将来. 火山, 特別号, S27-S46 (1995).

Late Miocene Geiyo Volcanic Rocks from Omi-shima Island, Ehime Prefecture, in the western Setouchi region, southwest Japan : K-Ar age and petrological feature

Mamoru SENO, Hirohisa MATSUURA*

Faculty of College of Liberal Arts and Science for International studies,

Kurashiki University of Science and the Arts,

2640 Nishinoura, Tsurajima-cho, Kurashiki-shi, Okayama 712-8505, Japan

**National Institute of Advanced Industrial Science and Technology,*

1-1-1 Higashi, Tsukuba-shi, Ibaragi 305-8567, Japan

(Received September 28, 2001)

Late Miocene volcanic rock was discovered in Omi-shima Island, Ehime Prefecture, western Setouchi region of southwest Japan. This occurs as dike with the trend of WNW-ESE. The volcanic rock is nearly non-porphyritic hornblende-bearing augite olivine andesite. Chemically, the volcanic rock is poor in MgO, Ni and Cr, and rich in Sr concentration. This characteristics differs in that of the Middle Miocene Setouchi volcanic rocks in the western Setouchi region.

Whole rock K-Ar age determination was carried out on the volcanic rock. The result gives a Late Miocene age of 9.2 ± 0.5 Ma. Judging from the radiometric age, petrography and whole rock chemistry, it follows that this volcanic rock is also a member of the Late Miocene Geiyo volcanic rocks, which distinctively distribute in the western Setouchi region. This means that the Geiyo volcanism took place at 7.8-9.2 Ma.

Accordingly, it was clear that the Geiyo volcanic rocks distribute in the direction of WSW-ESE, extending to the range of about 30 km. Also, the duration of volcanic activity estimated to be less than 2 million years. These imply that activity of the Late Miocene Geiyo volcanic rocks in the western Setouchi region is comparable, in space and time, to that of each volcanic region of mainly of alkali-basalts occurred in the Chugoku district of southwest Japan through Late Miocene age.