

四国北西部の中央構造線に沿う酸性火山岩の起源とK-Ar年代

田崎耕市*・加々美寛雄**・板谷徹丸***・永尾隆志****

**K-Ar ages and the origin of acidic volcanic rocks along
the Median Tectonic Line at northwest Shikoku, Japan**Koichi Tazaki*, Hiroo Kagami**, Tetsumaru Itaya***
and Takashi Nagao****

Abstract In northwest Shikoku, igneous activity of Miocene age have been known as 1) Setouchi high magnesian andesite suite, and 2) Ishizuchi calcalkaline suite. Both igneous suite have been accompanied with acidic volcanic rocks as rhyodacite to rhyolite. These acidic rocks are classified into : 1) Acidic volcanic rocks as the later product of fractional crystallization of high magnesian andesite magma, 2) Acidic volcanic rocks as initial volcanism of the Ishizuchi cauldron. Along the Median Tectonic Line in northwest Shikoku, several acidic volcanic rocks of Miocene age are distributed. They are considered to be one of the consisting members of Ishizuchi supergroup, calcalkaline volcanic suite. Petrogenetic relationship between these acidic rocks and Ishizuchi calcalkaline rocks have not been clarified. This study determined K-Ar age of the acidic volcanic rocks and also focussed on geochemistry to consider the origin of these rocks. The K-Ar age of these rocks are from 13.9 to 14.3 and 14.1 Ma on average, which is 1Ma younger than that previously reported for an andesitic intrusion along MTL. SrI ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio at 14Ma) of the acidic volcanic rocks are divided into three groups as follows: 1) Taisanji type; 0.70967, 2) Myojin-yama type; 0.70688. Major element chemistry and Sr isotope ratios suggest that: 1) Taisan-ji type magma having extremely high SrI and K_2O contents may be produced by the partial melting of per-aluminous rocks similar to pelitic hornfels xenolith with high SrI included in Takatsukiyama granitoid, and 2) Myojin-yama type one has the same origin as the per-aluminous granitoid of the SW Japan outer zone because they have similar $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ isotope ratios to those of Takatsukiyama granitoid and also have the same metamorphic xenoliths such as basic to acidic gneisses.

*愛媛大学教養部地学研究室. Earth Science Laboratory, Ehime University, Matsuyama 790 Japan.

**岡山大学地球内部研究センター. Institute for Study of the Earth Interior, Okayama University, Misasa, Tottori 682-01, Japan.

***岡山理科大学蒜山研究所. Hiruzen Research Institute, Okayama University of Science, Okayama 700 Japan.

****山口大学理学部地質学鉱物科学教室. Department of Geology and Mineralogical Science, Yamaguchi University, Yamaguchi 753 Japan.

はじめに

四国北西部の中央構造線に沿って貫入する安山岩質岩脈のうち、断層運動による変形を受けていない比較的新鮮な試料のK-A年代が、 $15.3 \pm 0.4\text{Ma}$ であることをさきに報告した(田崎ほか, 1990a)。

この地域には、従来、黒雲母安山岩類(堀越, 1964)とよばれてきた比較的大きな酸性火山岩が、中央構造線に沿って数カ所に分布する。四国北西部

の瀬戸内火山活動は石鎚層群として知られるが、この地域の酸性火山岩はその分布が高マグネシア安山岩類とは独立しており、活動の時期についての火山層序上の位置付けが明らかでなかった。一方、これらの岩体は、中央構造線の東西性の延長が南北に屈曲する位置にあり、その貫入は中央構造線の南北屈曲を生じた運動に伴っているとする意見もある(竹下, 1991a)。石鎚コールドロンの北縁には夜明峠変質デイサイト~安山岩類が分布するが(Yoshida, 1984)、これと上述の酸性火山岩との関係は不明である。また、松本ほか(1964)によりカリに富むデイサイト質な溶結凝灰岩とされた松山市太山寺の松山溶結凝灰岩についても、比較のために主化学成分とSr同位体について再検討した。

瀬戸内火山活動は、流紋岩ないしデイサイトの活動で始まるのが五色台や小豆島、山口県の平郡島その他では確認されている(Sato, 1982; 白木・副島, 1989)。Yoshida(1984)によれば石鎚コールドロンの火山活動も夜明峠デイサイトの酸性マグマを先駆として始まっている。同様な見解は堀越(1957)の石鎚山付近の地質調査報告においても述べられている。

今回、中央構造線に沿った酸性火山岩および石鎚層群、天狗岳火砕流のK-Ar年代を明らかにすることで四国北西部における瀬戸内火山活動の年代区分を再検討するとともに、この酸性火山岩の起源についての主化学成分およびSr同位体組成にもとづいた検討結果を報告する。

地質概略

四国北西部に位置する石鎚山(1982m)は四国第一の高峰で、火砕流を主とした石鎚コールドロン(Yoshida, 1984)とこれを貫く酸性貫入岩体からなる。石鎚山の西方には、第三紀中新世の瀬戸内火山活動による高マグネシア安山岩から流紋岩までの幅広い成分変化をしめす火山性堆積物が5 km前後の幅と約30kmの延長をもち帯状に分布する。石鎚コールドロンとこれらの火山性堆積物をあわせて石鎚層群とよぶ(永井, 1956)。石鎚層群は下部の酸性火砕岩を主とする高野累層と安山岩質火砕岩を主とする上部の黒森峠累層及び最上部の皿ヶ嶺累層からなる(永井・堀越, 1955; 堀越, 1957; Yoshida, 1984; 山本, 1984)。

中央構造線に沿う、いわゆる黒雲母安山岩類につ

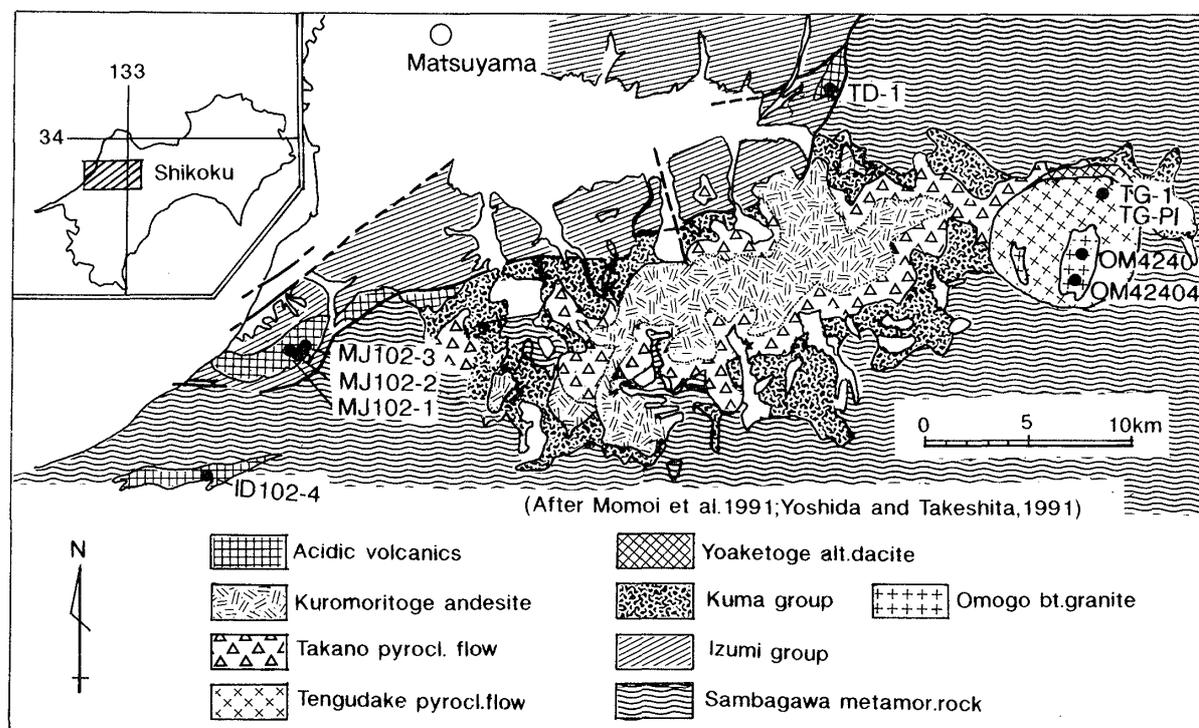


Fig. 1 Generalized geologic map of the Northwestern part of Shikoku, showing locality (solid circle), and specimen number (bold print) of the samples studied.

いて堀越(1964)は、これを石鎚層群上部の黒森峠層に含めているようであるが、その分布は黒森峠火山岩類(高橋, 1986)の北側にあつて独立しており、Yoshida(1984)の黒森峠層もこれを含んでいないようである。これまで黒雲母安山岩類といわれてきた岩石は、黒雲母安山岩、黒雲母石英安山岩、あるいは黒雲母石英斑岩などからなるとされてきた(堀越, 1964)。これらの岩石は後に述べるように、安山岩というより流紋岩と言われるべきもので、今回明神山型酸性火山岩とした。

この明神山型酸性火山岩の主要な岩体には、東西性の延長をもつ中央構造線が南北に方向を変える桜樹屈曲部にそつた、1)川内町の土谷岩体、2)中央構造線の西方延長が伊予灘にぬける位置にある犬寄屈曲にそつた双海町上灘の明神山岩体、3)三波川変成岩を貫く内子町の石畳岩体がある(Fig. 1)。これら酸性火山岩のうち、犬寄屈曲にそつ明神山岩体や石畳岩体は構造運動による破碎は軽微であり、変質も肉眼ではわずかに認められる程度である。一方、桜樹屈曲にそつ土谷岩体は、岩体の中心部では変形や破碎は認められないが、中央構造線に近づくと破碎が顕著になる。少なくとも岩体の周辺部は断層運動の影響をうけているようである。

松山市北部、太山寺のカリ流紋岩質凝灰岩は永井(1956)、永井・堀越(1955)により上部中新世の黒崎層とされたもので、植物化石を含む礫岩層をおおう凝灰岩質砂岩とその上部の溶結凝灰岩からなり、石鎚層群に対比されてきた。この溶結の著しい部分を松本ほか(1964)は松山溶結凝灰岩とよんだ。山崎ほか(1981)によれば、このカリ流紋岩質溶結凝灰岩のK-Ar年代は 14.2 ± 0.8 Maである。今回このカリ流紋岩質凝灰岩を太山寺型酸性火山岩とよぶ。本地域の酸性火山岩には、このほか三坂峠のサニデインをふくむ流紋岩がある。

岩石記載

明神山型酸性火山岩：明神山岩体に代表される酸性火山岩は、細粒、ちみつで新鮮なものは淡灰色であるが、変質がすすむに従い灰白色から淡黄ないし淡褐色になる。野外では節理面にそつて赤褐色の酸化鉄被膜が発達する。

鏡下の観察によれば、岩石はすべて斑状完晶質で斑晶として斜長石、石英、黒雲母およびザクロ石などが認められる。石基は完晶質で、細粒、等粒状の不定形をした石英、サニデイン、斜長石と少量の鱗

片状の黒雲母からなる。

斑晶の斜長石(~ 1.5 mm)は自形性で、累帯構造を示す。割れ目やへき開にそい方解石が生成する場合があり、その程度が著しいものでは、斜長石はほとんど方解石に置換され僅かにしか残っていない。黒雲母は他形性で比較的新鮮であるが、一部に周囲が融蝕し磁鉄鉱の生成しているものがある。アンドラダイト質のザクロ石(~ 0.5 mm)は粒状で、内部に針状の斜長石を含む場合がある。カリ長石の微斑晶には内部に柱状ないし不定形の斜長石、黒雲母およびカリ長石を含み固相分離を示唆するものがある。三好(1989, MS)によれば、明神山岩体に少量含まれる捕獲岩には変成鉱物としてコランダム、スピネル、十字石が認められる。

太山寺型酸性火山岩：松本ほか(1964)による松山溶結凝灰岩に相当する岩体で、新鮮なものは淡灰色ガラス質である。鏡下ではガラス質の流理構造が明瞭で、半自形および破碎した斜長石、石英およびカリ長石、有色鉱物として黒雲母、斜方輝石が斑晶状に散点する。斑晶状の鉱物の一部には融蝕の著しいものがあり、長さ1mm前後の大形のものには融蝕を特徴とするものがおおい。

細粒黒雲母花崗岩：面河溪の鉄砲石川にそつて分布し、石鎚コールドロンの主体である安山岩質火砕流堆積物に貫入している。

鏡下の観察によれば、半自形性の微斜長石構造が部分的に発達するカリ長石と累帯構造の著しい斜長石および粒状の石英からなる、等粒状組織を示す。黒雲母は短冊状で無色鉱物の粒間を占める。

全岩主化学成分

酸性火山岩類、細粒黒雲母花崗岩および安山岩類の主化学成分を山口大学の蛍光X線分析装置(JSX-60S7)を用いて求めた。試料はジョウ・クラッシャーで径5mm以下に砕き、風化皮膜や脈を取り除いた後、蒸留水で数回洗浄し、乾燥させた後、タンゲステン・カーバイトのボール・ミルとめのう乳鉢で調製した。分析には融剤と試料の割合を1:2で作製したガラス・ビーズを用いた。

分析結果のうち、流紋岩質火山岩類のものをTable 1-1に、黒雲母花崗岩と安山岩類をTable 1-2に示す。明神山型の酸性火山岩は、 SiO_2 量が約70~74%で明らかに流紋岩質である。 Al_2O_3 量は約15~16.5%と多く、 CaO は2~3%であり、アルカリはすべて $\text{K}_2\text{O} < \text{Na}_2\text{O}$ である。一方、カリに富む太山寺型酸

Table 1-1. XRF analyses of Acidic volcanic rocks

No.	1	2	3	4	5	6	7	8
Sample	MJ1021	MJ1022	MJ1023	ID1024	TD-1	TS62601	TS62603	TS62602
SiO ₂	74.36	74.08	72.61	69.77	70.08	73.15	72.77	71.69
TiO ₂	0.08	0.07	0.07	0.17	0.12	0.50	0.50	0.51
Al ₂ O ₃	14.83	14.84	14.56	15.62	16.49	14.31	14.30	14.17
Fe ₂ O ₃	1.01	1.04	1.77	2.46	1.86	1.63	2.04	2.05
MnO	0.01	0.01	0.03	0.07	0.03	0.03	0.03	0.03
MgO	0.30	0.28	0.43	0.64	0.54	0.26	0.35	0.37
CaO	2.01	2.07	2.13	2.72	3.10	1.17	1.23	1.41
Na ₂ O	3.28	3.29	3.20	3.42	4.24	2.02	2.22	2.27
K ₂ O	2.87	2.85	2.80	3.15	2.47	4.62	4.56	4.56
P ₂ O ₅	0.06	0.07	0.07	0.10	0.10	0.19	0.19	0.18
Total	98.81	98.60	97.67	98.12	99.03	97.87	98.19	97.24

MJ1021-MJ1023; Myojinyama type acidic volcanic rocks (Myojinyama), ID1024; Myojinyama type acidic volcanic rock (Ishidatami), TD-1; Myojinyama type acidic volcanic rock (Tsuchidani), TS62601-TS62603; Taisanji type acidic volcanic rock (Taisanji)

Table 1-2. XRF analyses of andesite and Omogo granites

No.	1	2	3	4	5	6
Sample	TK2606	KMO	SM10801	TG-1	OM42401	OM42404
SiO ₂	58.73	59.79	59.57	60.04	74.35	73.75
TiO ₂	0.63	0.93	1.16	0.71	0.12	0.15
Al ₂ O ₃	14.15	18.00	17.73	15.87	14.23	14.25
Fe ₂ O ₃	6.65	5.55	6.10	6.18	1.80	1.96
MnO	0.13	0.10	0.10	0.11	0.03	0.03
MgO	6.96	2.59	3.28	2.85	0.33	0.36
CaO	6.03	5.98	5.75	4.36	0.90	1.11
Na ₂ O	2.65	2.96	2.57	3.39	3.32	3.43
K ₂ O	2.07	2.55	1.87	2.85	4.97	4.89
P ₂ O ₅	0.21	0.19	0.23	0.19	0.05	0.04
Total	98.20	98.64	98.36	96.55	100.03	99.98

TK2602; bronzite andesite (Takahama), KMO; andesite dyke (Kami-onda), SM10801; two pyroxene andesite (Saragamine), TG-1; pyroclastic flow (Tengudake), OM42401; fine grained biotite granite (Omogo), OM42404; fine grained biotite granite (Omogo).

性火山岩は、今回の分析結果によれば SiO_2 が70~73%で、 CaO は1.5%をこえない。アルカリは $\text{Na}_2\text{O} < \text{K}_2\text{O}$ で、かつ $4.5\% < \text{K}_2\text{O}$ であり、明らかに明神山型とは異なる。

三坂峠のサニディンをふくむ流紋岩は堀越(1967)によれば SiO_2 ;72.3%, Al_2O_3 ;15.1%, CaO ;2.2%で、アルカリも $\text{K}_2\text{O} < \text{Na}_2\text{O}$ であるが K_2O が3.2%と明神山型にくらべ、やや多い。

石鎚コールドロンに貫入する細粒黒雲母花崗岩は Al_2O_3 が約14%, アルカリは $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} > 8.0\%$ で $\text{Na}_2\text{O} < \text{K}_2\text{O}$ であり、 CaO は1.0%前後と少ない。

天狗岳火砕流と上音田の安山岩岩脈(KMO)および皿ヶ嶺層群下部の黒森峠安山岩(SM10801)は SiO_2 が約60%, MgO が3.0%前後、 Al_2O_3 を15.9~18.0%含み成分的に類似する。高浜の斜方輝石安山岩は MgO を約7%含み高マグネシア質である。

これらの岩石のうち、流紋岩質火山岩と西南日本外帯の代表的花崗岩について、 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (mol)と $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}$ (mol)の関係をFig. 2に示した。カリに富む太山寺型酸性火山岩、および瀬戸内火山岩類とみなされている平郡島や中島の流紋岩は、過アルミナ質であるのになら、明

神山型の一部および面河の黒雲母花崗岩は $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}$ (mol)の値が1.1前後とやや低い。また $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (mol)は明神山型でもっとも低くなっている。

K-Ar年代測定結果

酸性火山岩の全岩および天狗岳火砕流の全岩と分離した斜長石についてK-Ar年代を測定した。測定は岡山理科大学の質量分析計(長尾・板谷, 1988)を用い、分析法、測定方法については、長尾ほか(1984)、長尾・板谷(1988)によった。測定結果をTable2に示す。

明神山岩体(MJ102-1~MJ102-3)の測定結果は13.9, 14.0, 14.3Maで平均値は14.1Maである。土谷岩体(TD-1)および石畳岩体(ID102-4)についても14.1+0.3Maが得られた。天狗岳火砕流堆積物の試料において、分離した斜長石(TG-P1)は15.4+0.5Maで、田崎ほか(1990a)が報告した瀬戸内火山岩類の15.3+0.4Maとよい一致を示す。全岩(TG-1)からは、12.8+0.3Maが得られているが、全岩と斜長石で2Ma以上の差が検出された事で示されるように、火砕流堆積物試料からマグマの固結年代を得るためには、

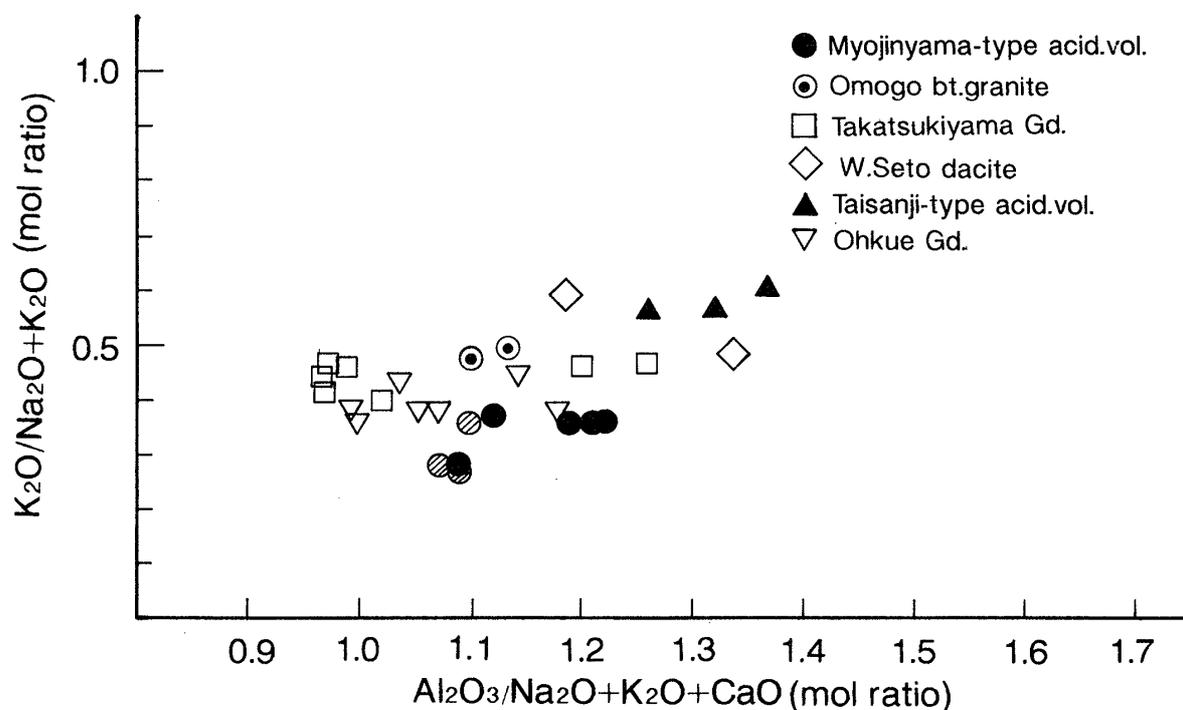


Fig. 2 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}$ relation of the rocks. Striped circle is published data of Myojin-yama type acid volcanics(Horikoshi, 1963).

Table 2. K-Ar ages of the Myojinyama type acidic volcanic rocks and Tengudake pyroclastic flow

Sample	Rock type	K(wt%)	Rad. ⁴⁰ Ar (10 ⁸ ccSTP/g)	K-Ar age	Non-Rad. ⁴⁰ Ar(%)
MJ1021	Acid.Vol.	2.378±0.048	132.5±1.6	14.3±0.3	4.8
MJ1022	Acid.Vol.	2.371±0.047	129.1±1.3	14.0±0.3	7.0
MJ1023	Acid.Vol.	2.380±0.048	128.5±1.3	13.9±0.3	8.6
ID1024	Acid.Vol.	2.657±0.053	145.9±1.5	14.1±0.3	8.7
TD-1	Acid.Vol.	2.007±0.040	109.9±1.4	14.1±0.3	20.9
TG-1	Pyrocl.flow.	2.366±0.047	117.7±1.8	12.8±0.3	34.7
TG-PL	Pl. of TG-1	1.153±0.023	69.1±2.0	15.4±0.5	59.6

MJ1021 - TD-1; Myojinyama type acidic volcanic rock.

MJ1021-MJ1023; Myojinyama, ID1024;Ishidatami(Uchikocho),

TD-1;Tuchidani(Kawauchicho). TG-1; Tengudake pyroclastic flow.

TG-PL; Plagioclase in TG-1.

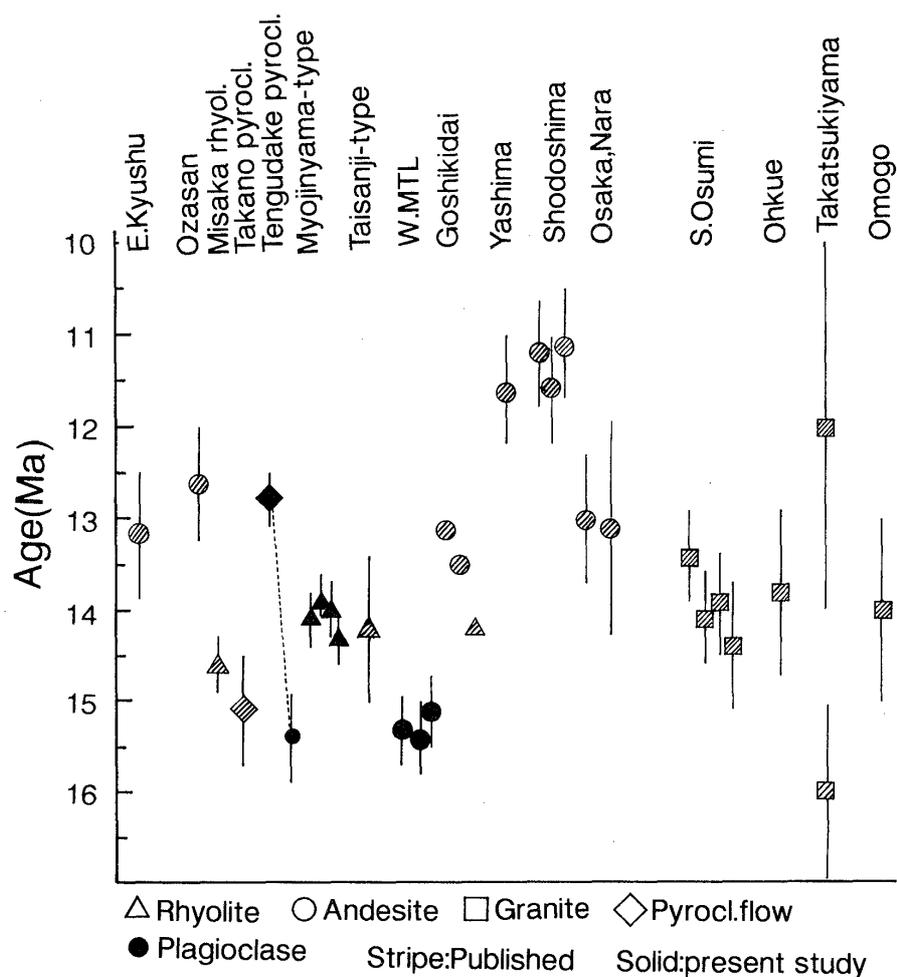


Fig. 3 K-Ar ages of acidic volcanics and the related plutonic rocks.

Data source are all listed in references.

Table 3. Rb,Sr contents and Sr isotope ratio of the acidic volcanic rocks, Omogo bt.granites and andesites

Sample	Rock type	Rb(ppm)	Sr(ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	SrI(14Ma)
MJ1023	Acid.Vol.	122.	185.	1.908	0.70741±1	0.7070
ID1024	Acid.Vol.	145.	188.	2.232	0.70717±2	0.7067
TS62601	Acid.Vol.	184.	88.4	6.019	0.71090±1	0.7097
TS62602	Acid.Vol.	172.	104.	4.772	0.71084±1	0.7099
OM42401	Bt.granite	191.	64.3	8.600	0.70838±1	0.7065*
OM42404	Bt.granite	198.	66.7	8.574	0.70831±2	0.7064*
TG-PL	Pl of TG-1	23.1	560.	0.120	0.70646±1	0.7064*
TK2603	High Mg And.	105.	639.	0.474	0.70600±1	0.7059
K M O	Aphy.And.	96.3	363.	0.767	0.70614±1	0.7060

MJ1023, ID1024; Myojinyama type acidic volcanic rock.

TS62601, TS62602; Taisanji type K rich acidic volcanic rock.

OM42401, OM42404; Omogo biotite granite. TG-PL; Plagioclase in Tengudake pyroclastic flow(TG-1). TK2603; Takahama high magnesian andesite.

K M O; Aphyric andesite dyke at Kamionda, Kawauchi-cho. SrI=Initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. SrI*(15.5Ma).

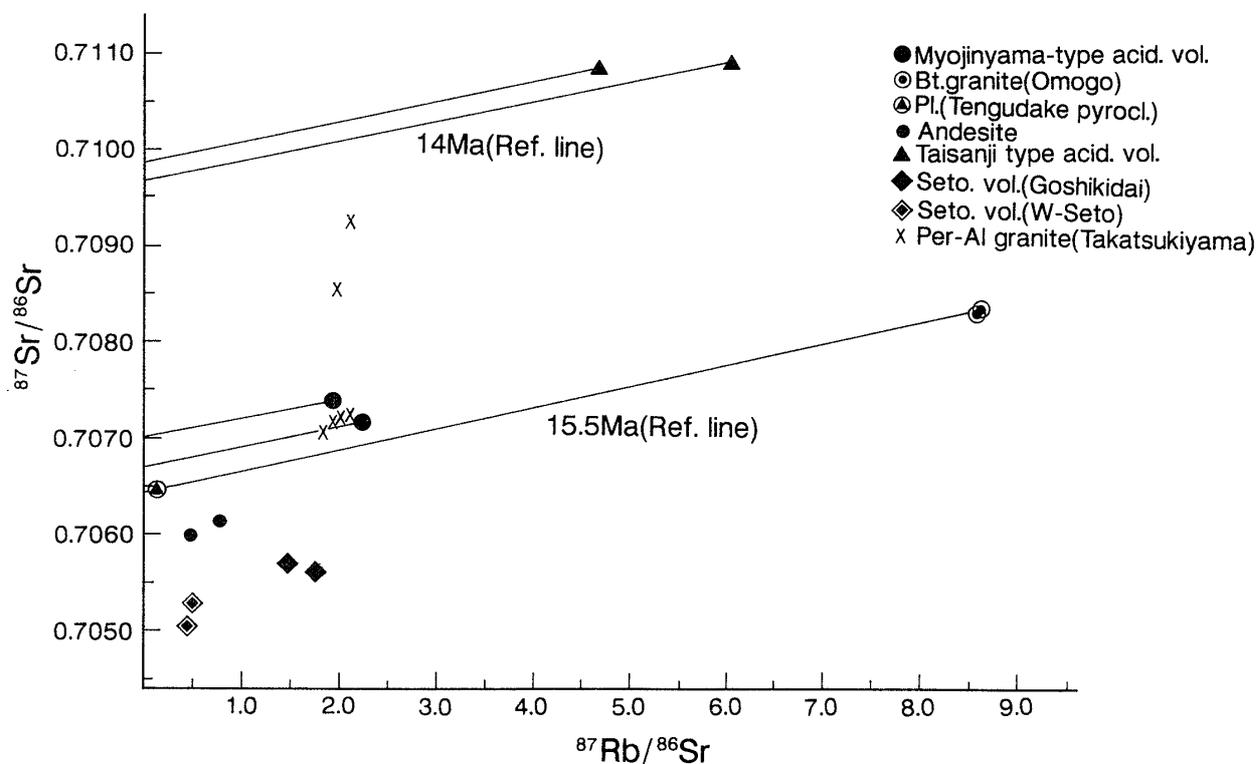


Fig. 4 Sr-Rb isotope diagram of the acidic volcanics and the related rocks.

Seto. vol(Goshikidai) includes rhyolite and dacite(Sato, 1989). Seto. vol(W-Seto) is high magnesian andesite(Ishizaka & Carlson, 1983). Data of Takatukiyama granite are from Okamoto & Honma(1983).

可能であるかぎり全岩よりも鉱物を用いるべきであることが示された。今回新しく得られたK-Ar年代を、これまでに公表されている瀬戸内火山岩の年代および比較のために外帯花崗岩の年代とあわせFig. 3に示した。

Sr同位体測定結果

明神山と石畳の明神山型酸性火山岩、太山寺のかりに富む太山寺型酸性火山岩、瀬戸内火山岩類に属する高浜の斜方輝石安山岩、黒森峠安山岩類に属する川内町上音田の斜方輝石安山岩岩脈、石鎚コールドロンに貫入する面河酸性岩の中粒黒雲母花崗岩、および天狗岳火砕流から分離した斜長石、のそれぞれについてSr同位体比とSr, Rbの含有量を測定した。Sr同位体比の測定およびRb, Srの同位体希釈法による定量は岡山大学地球内部研究センターの同位体岩石学部門で表面電離型質量分析計MAT261を用いておこなった。Rb, Srの抽出と測定法については、加々美ほか(1982)およびKagami *et al.*(1987)に従った。測定期間中における標準試料NBS 987の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 値は $0.710256 + 0.000008 (2\sigma)$ である。測定結果をTable 3, およびFig. 4に示す。Table 3には $\lambda^{87}\text{Rb} = 1.42 \times 10^{-11} \text{y}^{-1}$ と14Maを用いて計算したSr同位体比初生値(以下SrIと略す)も示した。

明神山型酸性火山岩(MJ102-3, ID102-4)の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 現在値は0.70741, 0.70717で、高浜の斜方輝石安山岩や川内町上音田の安山岩脈の0.70600, 0.70614より有意に高い値を示す。面河酸性岩の細粒黒雲母花崗岩(OM42401, OM42404)は0.70838, 0.70831で天狗岳火砕流中の斜長石(TG-P1)の値は0.70646である。一方、太山寺型酸性火山岩は0.71090, 0.71084で明神山型に比べ著しく高い値をもつ。以上の測定結果を五色台の酸性火山岩類(佐藤, 1989), 西瀬戸の高マグネシア安山岩(Ishizaka & Carlson, 1983)および高月山花崗岩類(岡本・本間, 1983; 石川・加々美, 1992)の測定値とともにFig. 4に示した。高月山花崗岩類のうち、Sr同位体比が0.7080を越す2個の試料は堆積岩ないし変成岩類の捕獲岩を多量に含むものである。この2試料を除いた高月山の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比, $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 比と、明神山型酸性火山岩類のそれとはきわめて良い一致を示す。

討 論

1) 主化学成分および Sr同位体からみた酸性火山岩の特徴

酸性火山岩はFig. 2に見られるように $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ と $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}$ が相対的に低い明神山型と比較的高い太山寺型に区分される。また、酸性火山岩のSrI値は明神山型が0.7067, 0.7070であるのに対して太山寺型のSrI値は0.7097, 0.7099と著しく高く、同一の起源とは考えにくい。火山層序が詳しく調査されている香川県五色台で初期の火山活動を示すとされる酸性火山岩のSr同位体比は0.7056~0.7057で高マグネシア安山岩と変わらない低い値を示し(佐藤, 1989), 上記の酸性火山岩とは別の成因をもつと考えられる。このように、瀬戸内火山活動に伴うとされてきた酸性火山岩には、Sr同位体比からみて、少なくとも3種類の起源を異にするタイプ、すなわち、

- 1): Sr初生値が0.7056~0.7057の五色台型の酸性火山岩
- 2): Sr初生値が0.7067~0.7070の明神山型の酸性火山岩,
- 3): Sr初生値が0.7097~0.7099の太山寺型の酸性火山岩, が区別されようである。

1)の起源について、佐藤(1989)は南海トラフのaccretional prismと似た構成の堆積物からなる沈み込み体の部分溶融を可能性としてあげており、Ishizaka & Carlson(1983)や高橋(1986)もほぼ同様な見解を示している。2)の明神山型酸性火山岩はSrI値で見ると、本地域の南に分布する高月山花崗岩~花崗閃緑岩(SrI=0.7067~0.7069)とほぼ等しく、高浜の高マグネシア安山岩やその他瀬戸内火山活動にともなう安山岩類などに比べると、SrI値は明らかに高い。以上のようにSr同位体比から明神山型の酸性火山岩は高マグネシア安山岩マグマの単純な結晶分化では生成し難いと考えられる。ほぼ同時期の活動であり、主化学成分やSr同位体の性質がきわめて類似しているといった事から、明神山型のマグマが花崗岩マグマの噴出相である可能性は否定できない。この点で、明神山岩体に含まれる変成岩ゼノリスと、高月山花崗岩に包有される変成岩ゼノリスの鉱物組合せに多くの共通点が認められること(小松, 私信), は興味ふかい。すなわち、明神山型酸性火山岩のマグマが噴出の過程で、高月山花崗岩マグマが捕獲した変成岩片と似た組成の変成岩類を伴って上昇してきたことを示すもので、さらに言うならば、この両者は類似した生成過程によって導かれた可能性がある。一方、面河花崗岩は吉田(1972)およびYoshida(1984)により石鎚コールドロンを作っ

たカルク・アルカリ岩マグマの、マグマ溜り内部における組成分化により形成されたセントラル・プルトンと考えられている。今回得られた天狗岳火砕流中の斜長石のK-Ar年代(15.4Ma)をもとにした、天狗岳火砕流と面河花崗岩についてのSrI値(15.5Ma)がそれぞれ0.70643, 0.70645とほぼ等しい値を示すことは、火砕流から花崗岩までを一連のマグマによる活動とする吉田(1972)の説を支持するものであろう。

太山寺型酸性火山岩の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 値は明神山型に比べて著しく高く、同一起源とは考えられない。こうしたSr同位体比が初生的に高い酸性岩マグマの起源物質として一般には古期の堆積岩の溶融、塩基性マグマによるこれら堆積岩の同化作用、または地殻下部の塩基性変成岩の部分溶融が推定されている。当地域で太山寺型の基盤をなしているのは、高縄半島のトータル岩から花崗閃緑岩までの変化にとむ領家帯花崗岩類(越智, 1982)である。この花崗岩類のSr同位体の現在値は0.7090~0.7173であり、Rb-Sr年代は92.6Ma ($\text{SrI}=0.70773$)が全岩アイソクロンで得られている(本間ほか, 1983)。その後、Kagami *et al.* (1988)は93.1Ma ($\text{SrI}=0.70769$)と新しい年代を報告した。太山寺型酸性火山岩のSr同位体比の変化はこの花崗岩のSr同位体の進化帯に含まれる。Kagami *et al.* (1992, 1993)は西南日本に分布する白亜紀~古第三紀の花崗岩類のSrおよびNdの同位体比について詳しく検討し、瀬戸内地域を主とする南帯の花崗岩類は高いSrI値と低いepsilon Nd初生値で特徴づけられ、これらと伴うハンレイ岩や火山岩中の苦鉄質グラニュライト・ゼノリスも同様な同位体の特徴をもつことを見いだした。また、一部のケイ長質グラニュライト・ゼノリスは苦鉄質のものより高いSr同位体比(0.7100, 14Ma)をもつことを明らかにした。そして、地殻下部にひろく存在が予想される、このような塩基性岩を起源物質として南帯の花崗岩類のマグマが生じたと述べている。そうであるとすれば、高縄半島の領家帯花崗岩類の起源物質うち、14Maの頃に太山寺型の初生値0.7098 (aver.)に相当するSr同位体比をもつような、0.7100程度の上述のケイ長質岩が溶融することが出来れば、太山寺型のマグマが生じることは可能かも知れない。しかし、田崎ほか(1990b)が明らかにしたように、この花崗岩類に貫入する酸性岩岩脈のK-Ar年代が82Maであり、高縄半島における酸性岩脈を含む花崗岩類の急激な上昇、削剥と和泉層群の堆積盆の形

成が時期を同じくして進行していたこと、およびOhno *et al.* (1989)の重力調査の結果によって、高縄半島付近の中央構造線は北に26~19の傾斜で地下へ延長しており、同半島の花崗岩類の底は10kmより浅いことが予想されることなどを考慮すると、このような可能性は低いであろう。Ohno *et al.* (1989)は、また高縄半島付近の三波川変成帯のうち密度の高い変成岩(緑色片岩?)の厚さを2.5km未満と見積もっている。以上のように太山寺型のマグマの起源を領家帯の花崗岩類やその起源物質、または三波川変成岩の溶融に求めることは困難である。残された可能性は三波川変成帯の下部に存在するかもしれないSr同位体比の高いaluminousな堆積岩起源の変成岩類、たとえば、高月山の花崗閃緑岩に捕獲されている四万十帯の泥質ホルンフェルスで代表されるような $\text{SrI}>0.7090$ をしめす岩石(岡本・本間, 1983; 石川・加々美, 1992)の比較的低い圧力下での部分溶融であろう。

従来、瀬戸内火山活動は初期のデーサイトや流紋岩など酸性マグマの活動で始まるとされてきたが、これまでに明らかとなっている岩石学的性質と今回のSr同位体の測定結果から、少なくとも三種類以上の起源を異にする酸性火山岩マグマの活動、すなわち

1) Sr同位体比の低い、南海トラフのaccretional prismと似た構成の堆積物からなる、沈み込み体の部分溶融によりもたらされたと考えられる酸性マグマ(五色台型石英安山岩~流紋岩質マグマ; 佐藤, 1989; Ishizaka & Carlson, 1983, 高橋, 1986)

2) 西南日本外帯の過アルミナ質花崗岩マグマを生じた起源物質と同様な起源物質からもたらされたと考えられる酸性マグマ(明神山型流紋岩質マグマ),

3) 四万十帯の泥質ホルンフェルスと類似したSrIの高い堆積岩起源変成岩の部分溶融によって生じたと考えられる酸性マグマ(太山寺型カリ流紋岩質マグマ), が区別されるであろう。

2) 石鎚層群のK-Ar年代

今回得られた酸性火山岩を含め、石鎚層群および瀬戸内火山岩類のK-A年代について整理をしてみる。四国北西部では、瀬戸内火山岩類の活動は15Maで石鎚山の天狗岳火砕流もほぼ同時期の活動である。明神山で代表される流紋岩質の明神山型酸性火山岩と、太山寺で代表されるカリ流紋岩質の太山寺型酸性火山岩は14Maで1Ma若い(山崎ほか, 1981)。石

鉋層群下部, 高野累層の高野火砕流および三坂峠のサニディンを含む流紋岩の黒雲母について, それぞれ15.1, 14.6Maが得られている(竹下, 1991a,b). 現在までのところ, 四国北西部では14Maより若い時期の活動は報告されていない. 一方, 四国北東部の五色台では, 初期のデーサイトの活動が14Maに始まり, 最末期の安山岩は13Maで, ほぼ1Maの活動期間が知られている(佐藤, 1989). 近畿の二上山や三笠山の13Maも同時期であるが, 小豆島や屋島では11Maと約2Ma遅れている(巽・横山, 1978; 巽・石坂, 1978). このように瀬戸内火山活動および随伴する火山活動の時期は15Maから11Maまでにわたっているが, 主要な活動期は15~13Maにあったと言えよう. 外帯花崗岩類の年代は, 広域的にはほぼ14Ma(柴田, 1978; Shibata & Nozawa, 1968)で, 宮地(1990)も南九州の20~23Maとされていた花崗岩類について14~15Maのフィッシュン・トラック年代を得ており, 瀬戸内火山岩類に知られるような11Ma頃の活動時期を示す岩体は測定精度の低い時代の測定値以外には知られていない.

ま と め

四国北西部の中新世火成活動は高マグネシア安山岩で代表される瀬戸内火山活動と石鎚コールドロンを形成した中性~酸性の火山-深成作用で特徴づけられ, 両者とも, デーサイト~流紋岩質の酸性火山岩の活動を伴っている. 酸性火山岩は活動の時期および伴う岩石の違いにより, 以下のように区分されてきた.

- 1) 高マグネシア安山岩を主とする瀬戸内火山活動の初期の先駆的な酸性火山岩;
- 2) 高マグネシア安山岩マグマの結晶分化作用の晩期の酸性火山岩;
- 3) コールドロン形成の初期に位置づけられる酸性火山岩;
- 4) 上記以外の酸性火山岩.

1)に相当するものとして, 石鎚層群下部の高野累層の酸性凝灰岩があげられ, 2)に相当するのは, 山本(1984)による石鎚層群最上部, 皿ヶ嶺累層の流紋岩である. また, 3)にあたるものとしてYoshida(1984)による夜明峠デーサイトがある. 明神山や石畳の酸性火山岩および太山寺のカリ流紋岩などは4)に相当し, これまで石鎚層群に含まれるとされてきたが, その起源等については不明の部分が残されてきた.

本論文は明神山, 石畳などの酸性火山岩のK-Ar年代が14.1Ma, 石鎚コールドロンの天狗岳火砕流のK-A年代がその斜長石から15.4Maであることを明らかにした. Sr同位体比に基づくと, そのSrI値(14Ma)は a)太山寺のカリ流紋岩が0.70980(aver.), b)明神山や石畳の酸性火山岩が0.70688(aver.), c)天狗岳火砕流が0.70643, と大きな差が認められる. 顕微鏡下の組織, 造岩鉱物の特徴, 主化学成分およびSr同位体比にもとづき, 以下のような起源物質, 即ち

a)太山寺型のカリ流紋岩質酸性火山岩は四万十帯の泥質ホルンフェルスに類似したSrI値の高い変成岩の部分溶融によって生じたマグマ;

b)明神山型の流紋岩質酸性火山岩は西南日本外帯の過アルミナ質花崗岩の噴出相あるいはこれと類似したマグマ;

c)天狗岳火砕流はカルク・アルカリ質の安山岩マグマ;

が推定される. 今回は上に述べた4)の酸性火山岩を主にしたが, 佐藤(1983)は香川県五色台で, 1)のデーサイト~流紋岩が, 低いSrIをもつaccretional prismと似た構成の堆積物からなる, 沈み込み体の部分溶融に由来する可能性をあげている. 本地域でも, 1)や2)に区分される酸性火山岩の起源について不明の部分が少なくないので, 今後その解明が必要である.

謝辞 本研究を行うに当たり, 愛媛大学教養部の鹿島愛彦教授から天狗岳火砕流の試料をいただき, かつ石鎚層群の層序および構造地質学上の問題などにつき貴重な助言をうけた. 同大学教育学部の高橋治郎助教授には明神山の調査と試料採取に協力をいただいた.

以上の方々に感謝申し上げます. Sr同位体の測定は岡山大学地球内部研究センターの共同利用研究として行った. また, 本研究の費用の一部に文部省科学研究費(課題番号: 03640646)を使用した. 関係当局に感謝申し上げます.

文 献

- 本間弘次・加々美寛雄・岡本康成, 1983, 四国高縄半島の領家および広島型花崗岩類の酸素・ストロンチウム同位体比. MAGMA, No. 67, 115-121.
- 堀越和衛, 1957, 四国石鎚山付近の地質. 愛媛大紀要, 自

- 然科学, 2, 127-145.
- , 1963, 西南日本瀬戸内岩石区の火山岩類の化学成分(I). 愛媛大紀要, 4, 153-168.
- , 1967, 西南日本外帯における火山岩類および火山碎屑岩類を伴う二三の第三紀酸性火成岩類の化学成分. 柴田秀賢教授退官記念論文集, 14-23.
- 石川 玲・加々美寛雄, 1992, 高月山花崗岩質岩に包有される火成岩及び変成岩捕獲岩類のRb-Sr, Sm-Nd 同位体組成. 島根大学地質学研究報告, no. 11, 1-6.
- Ishizaka, K. and Carlson, R. W., 1983, Nd-Sr systematics of the Setouchi volcanic rocks, southwest Japan: A clue to the origin of orogenic andesite. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 64, 327-340.
- 加々美寛雄・岡野 修・須藤 宏・本間弘次, 1982, MAT260によるSr同位体比測定及びRb, Sr定量分析. 岡山大温研報, no. 52, 51-70.
- Kagami, H., Iwata, M., Sano, S. and Honma, H., 1987, Sr and Nd isotopic compositions and Rb, Sr, Sm and Nd concentrations of standard samples. *Tech. Rep. ISEI Okayama Univ.*, B, no. 4, 1-16.
- , Honma, H., Shirahase, T. and Nureki, T., 1988, Rb-Sr whole rock isochron ages of granites from northern Shikoku and Okayama, Southwest Japan: Implications for the migration of the Late Cretaceous to Paleogene igneous activity in space and time. *Geochem. J.*, 22, 69-79.
- , Iizumi, S., Tainosho, Y. and Owada, M., 1992, Spatial variations of Sr and Nd isotope ratios of Cretaceous-Paleogene granitoid rocks, Southwest Japan Arc. *Contrib. Mineral Petrol.*, 112, 165-177.
- , ——, Iwata, M. and Nureki, T., 1993, Sr-Nd isotope systematic of xenoliths in Cenozoic rocks from SW Japan. *Proc. Japan Acad.*, 69, Ser. B, no. 2, 1-6.
- 松本征夫・宮久三千年・石橋 澄・山内 齊・松本幡郎, 1964, 愛媛県高浜付近の松山溶結凝灰岩. 岩鉱, 52, 147-163.
- 宮地六実, 1990, 南九州薩摩半島の第三紀花崗岩類のフィッシュン・トラック年代. 地質雑, 96, 155-157.
- 三好信子, 1988MS, 松山周辺の酸性火山岩中のザクロ石と捕獲岩. 愛媛大学地球科学, 卒業論文.
- 永井浩三, 1956, 石鎚山第三紀層の地質時代と西部日本古第三紀の古地理. 愛媛大紀要, 2, 145-154.
- ・堀越和衛, 1955, 愛媛県温泉郡黒森峠付近の地質. 愛媛大紀要, 2, 141-152.
- 長尾敬介・板谷徹丸, 1988, K-Ar法による年代測定. 地質論集, no. 29, 5-21.
- ・西戸裕嗣・板谷徹丸・緒方惟一, 1984, K-Ar法による年代測定. 岡山理科大学蒜山研究所報告, no. 9, 19-38.
- 越智秀二, 1982, 四国高縄半島の領家花崗岩類. 地質雑, 88, 511-522.
- 岡本康成・本間弘次, 1983, 西南日本外帯に分布する花崗岩類の酸素・ストロンチウム同位体比. *MAGMA*, No. 67, 143-149.
- Ohno, I., Takaichi, K., Endo, Y., Goto, R., Takahashi, A., Ishii, M., Okada, S., Saiki, Y., Ohtani, E., and Kato, M., 1989, Gravity survey in northwestern Shikoku, Japan and subsurface structure of the Median Tectonic Line. *J. Phys. Earth*, 37, 385-400.
- Sato, H., 1982, Geology of Goshikidai and adjacent areas, northeast Shikoku, Japan: Field occurrence and petrography of Sanukitoid and associated volcanic rocks. *Sci. Rep. Kanazawa Univ.*, 27, 13-70.
- 佐藤博明, 1989, 高マグネシア安山岩類の生成環境に関する研究, 科研費研究成果報告書.
- 柴田 賢, 1978, 西南日本外帯における第三紀花崗岩貫入の同時性. 地質調査所 月報, 29, 551-554.
- Shibata, K. and Nozawa, T., 1967, K-Ar ages of granitic rocks from the outer zone of southwest Japan. *Geoch. Jour.*, 1, 131-137.
- and ——, 1968, K-Ar ages of granitic rocks of Ashizurimisaki, Takatsukiyama and Omogo, Shikoku, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 19, 223-228.
- 白木敬一・副島浩一, 1989, 山口県平郡島および室津半島の火山岩. 日本の高マグネシア安山岩, 91-105.
- ・大田真一郎・熊本和子, 1989, 山口県周防大島の高マグネシア安山岩. 日本の高マグネシア安山岩, 107-117.
- ・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.
- 茂野 博・山口 勝, 1976, 柳井地方の領家帯における変成作用・深成作用のSr同位体比およびRb, Sr含有量による研究. 地質雑, 82, 687-698.

- 高橋治郎, 1986, 愛媛県松山市周辺地域の“中央構造線”.
愛媛大学教育学部紀要, 6, 1-44.
- 高橋正樹, 1986, 日本海拡大前後の“島弧”マグマ活動.
科学, 56, 103-111.
- 竹下 徹, 1991a, 日本海拡大変動と大陸リソスフェアの流
動. 地球科学, 45, 319-332.
- , 1991b, 火成岩の変形微細構造より推察される日
本海拡大期(15Ma)の西南日本の強圧縮. 地球, 14, 204-
208.
- , 1992, 日本海拡大に伴う西南日本弧の内部変形
(その2). 地質学会, 要旨集, 327.
- 巽 好幸・横山卓夫, 1978, 香川県小豆島, 新第三紀火山
岩類のK-Ar年代. 岩鉱, 73, 262-266
- ・石坂恭一, 1978, 香川県屋島産Sanukitoidの
K-Ar年代. 岩鉱, 73, 355-358.
- ・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. 岩鉱, 75, 102-104.
- ・鳥居雅之・石坂恭一, 1980, 瀬戸内火山岩類の活
動時期および分布範囲について. 火山, 第二集, 25, 1
71-179.
- 田崎耕市・高橋治郎・板谷徹丸・グレープス, R. H.・鹿
島愛彦, 1990a, 四国北西部の中央構造線に貫入した
安山岩のK-Ar年代. 岩鉱, 85, 155-160.
- ・板谷徹丸・グレープス, R. H., 1990b, 松山市北部
の領家花崗岩類に貫入する酸性岩岩脈のK-Ar年代.
岩鉱, 85, 455-458.
- 山本 浩, 1984, 石鎚コールドロン西方の火砕流堆積物. 地
質雑, 90, 597-599.
- 山崎俊嗣・鳥居雅之・石坂恭一, 1981, 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ン・トラッ
ク年代とK-Ar年代. 岩鉱, 76, 276-280.
- Yoshida, T., 1984, Tertiary Ishizuchi cauldron, south-
western Japan arc: Formation by ring fracture
subsidence. *Jour. Geophy. Research*, 89, 8502-
8510.
- 吉田武義・竹下 徹, 1991, 石鎚山第三系と石鎚コールド
ロン. 日本地質学会, 見学旅行案内書(1991), 139-155.