

論文

広島県吉舎地域・高田期の「双三火山—深成複合岩体」
—斜長石 Sr 同位体比組成からのアプローチ—

松本 一郎*・沢田 順弘**・加々美 寛雄***

**Futami Volcano-plutonic complex, Cretaceous Takada period,
Kisa area, Hiroshima prefecture, Southwest Japan
—Evidence from Sr isotopic ratios of plagioclase in Takada Rhyolites—**

Ichiro Matsumoto*, Yoshihiro Sawada** and Hiroo Kagami***

Abstract

Cretaceous volcanic and plutonic rocks are widely distributed in the central part of Chugoku district, southwest Japan. The Cretaceous igneous rocks in and around Kisa-cho in northern Hiroshima Prefecture, are divided into the Kisa Volcanics, the Takada Rhyolites and granitoids. Takada Rhyolites, which erupted immediately following the Kisa Volcanics, is composed mainly of rhyolitic pyroclastic flow deposits. We called this volcano-plutonic complex in Kisa-cho, Futami Volcano-plutonic complex.

Two samples of plagioclase from the lapilli tuff of the Takada Rhyolites have Sr isotopic ratios of 0.70648 ± 2 and 0.70672 ± 1 . Sr isotopic ratios of the host rocks of the plagioclases are not available. Initial Sr isotopic ratios of the plagioclases differ from the andesite-dacite group, but are similar to those of granitoids of the Futami Volcano-plutonic complex.

Key words: Futami Volcano-plutonic complex, Takada rhyolites, Kisa Volcanics, Sr isotopic ratio, plagioclase, cauldron, central Chugoku district

はじめに

西南日本内帯には、広く白亜紀～古第三紀の珪長質火成岩類が分布している(第1図)。1980年代以降、詳細な地質調査、全岩化学組成および Sr 同位体比などにより多くのコールドロン(ここでは Smith and Bailey (1968) の定義に従う)の存在が明らかになってきた。コールドロン構成岩の中には火山—深成複合岩体から構成されるものがある(例えば Sawada, 1984; 尾崎・松浦, 1988; 松本, 1990; 沢田ほか, 1994; Ishihara and Imaoka, 1999; 佐藤ほか, 1999; 武田・今岡, 1999; 井川・今岡, 2001)。中国地方西部～中部にかけては、多くの白亜紀珪長質火山岩類が分布している。これら白亜紀火山岩類は、中国地方西部地域では下位より、関門層群、周南層群、匹見層群、阿武層群に区別されている(村上・今岡, 1986)。一方、中国地方中部地域の白亜紀火山岩類は

下位の吉舎火山岩類と上位の高田流紋岩類に分類されている(吉田, 1961)。つまり、白亜紀コールドロンの相次ぐ発見は、これら大規模白亜紀火山岩類の噴出源が明らかにされ、火山体としてのユニット識別が成されつつあることを意味する。

今回報告する双三火山—深成複合岩体(新称: 以下に記載)は、吉舎火山岩類、高田流紋岩類、および花崗閃緑岩の順に活動しており火成活動としては一連であるが、Sr 同位体組成的には初期の吉舎火山岩類と後期の深成岩類とは異なる結果が得られている(松本ほか, 1994; 1995)。つまり、双三火山—深成複合岩体は連続した火成活動の産物であるにも関わらず、Sr 同位体組成的には起源物質が異なることを意味する。また、複合岩体の下位には、高マグネシア安山岩が存在しており(松本ほか, 1994; 1995)、大規模珪長質火山活動との物理・化学的関連においても注目される。

ここでは、高田流紋岩類の凝灰岩中の斜長石の Sr 同位体比組成を報告し、吉舎火山岩類および、深成岩体(西川・海渡花崗閃緑岩体)の Sr 同位体比組成と比較することにより、火成活動の因果関係を推定する。なお、高田流紋岩類からの Sr 同位体比組成の報告は本報が初めてである。

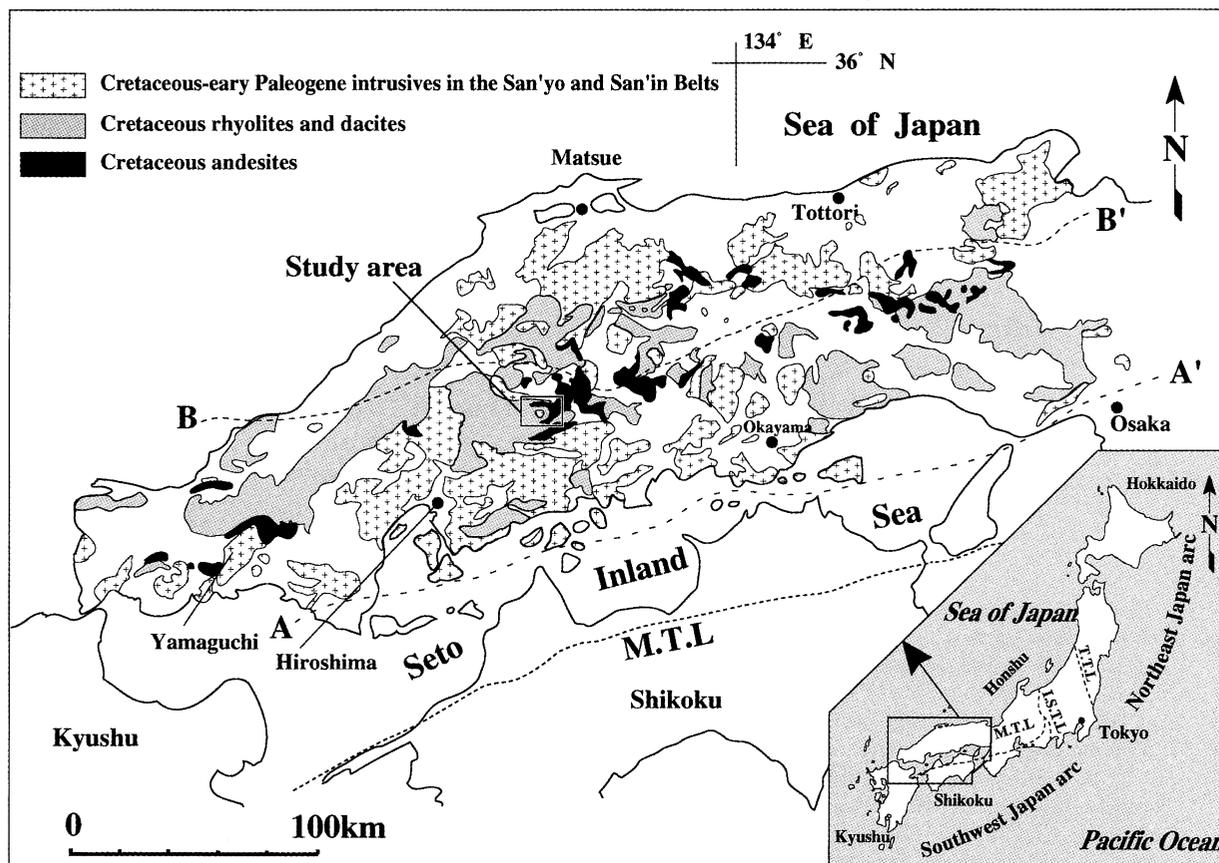
地質概説

広島県下に分布する白亜紀火成岩類を吉田(1961)は下位

* 島根大学教育学部理科教育研究室
(e-mail: chromim@edu.shimane-u.ac.jp)
Department of Earth Sciences, Faculty of Education, Shimane University,
Matsue 690-8504

** 島根大学総合理工学部地球資源環境学科
Department of Geoscience, Shimane University, Matsue 690-8504

***新潟大学大学院自然科学研究科
Graduate School of Science and Technology, Niigata University,
Niigata 950-2181



第1図 西南日本内帯中国地方における白亜紀火成岩類の分布
M.T.L., 中央構造線; A-A', 領家帯と山陽帯の境界; B-B', 山陽帯と山陰帯の境界

の吉舎火山岩類と上位の高田流紋岩類に区分した。吉舎火山岩類は苦鉄質～珪長質岩を主とする溶岩，岩脈および火砕岩からなる火山岩類であり（竹田，1967；松本ほか，1995），高田流紋岩類により覆われている。高田流紋岩類はその大部分が珪長質の火砕流堆積物から構成され，一部に湖沼堆積層を介在している（吉田，1961）。吉舎地域においては，吉舎火山岩類と高田流紋岩類との間には地質構造上大きなギャップは存在しないことが示され，一種の火山深成複合岩体として吉舎火山体と名付けられた（第2図：松本，1990）。しかし，吉舎火山体としたものの中には，高田流紋岩類や花崗閃緑岩体なども含まれるため，名称的な混乱が予想されることから，本論では「吉舎火山体」を「双三火山—深成複合岩体」として以下のとおり再定義する。

1. 双三火山—深成複合岩体（新称）

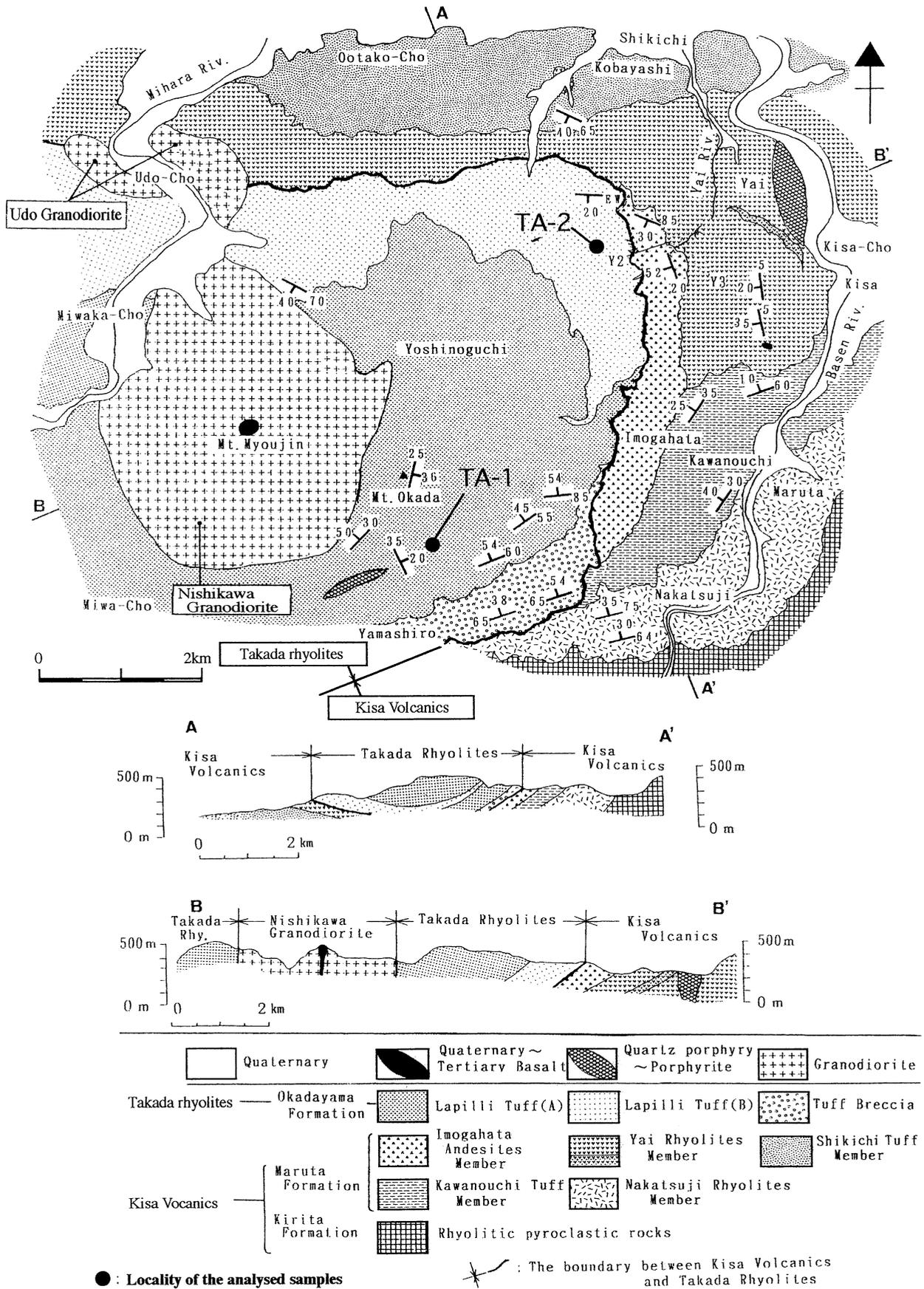
〈定義〉 吉舎町周辺の火山岩類は，三次市と双三郡吉舎町境界の上田町（三次市）に分布するストック状の西川—海渡花崗閃緑岩体を取り囲むように，下位の吉舎火山岩類丸田類層と上位の高田流紋岩類岡田山類層が共に半ベーズン構造を示す（第2図）。また，吉舎地域において，吉舎火山岩類と高田流紋岩類とは火山活動として一連であり，西川—海渡花崗閃緑岩体によりその構造が切られているが，明瞭な接触変成作用が火山岩類には認められず火成活動としては一連であ

る。つまり，吉舎火山岩類丸田類層，高田流紋岩類岡田山類層および西川—海渡花崗閃緑岩体から形成される火山—深成複合岩体を以後「双三火山—深成複合岩体」と定義する。

2. 双三火山—深成複合岩体の地質

吉舎火山岩類丸田類層は吉田（1964）によって記載され，その後松本（1990）により下位より中辻流紋岩層，川之内凝灰岩層，敷地凝灰岩層，矢井流紋岩層および芋ヶ畑安山岩層の5部層に細分された。芋ヶ畑安山岩層からは，高マグネシア安山岩が報告された（松本ほか，1994）。一方，高田流紋岩類岡田山類層は，主に結晶粒を比較的多く含んだ火砕流堆積物から構成されている（吉田，1964）。

高田流紋岩類は同じ広島県の三原市東部（河原，1978）や福山市（河原，1984）で火山層序学的な研究が行われ，高田流紋岩類の記載岩石学的特徴を把握するのに有用なデータが得られている。高田流紋岩類の年代としては，広島県戸内町の凝灰質砂岩頁岩互層（鹿籠頭層）から白亜紀後期ヘトナイ世を示す球果植物スギ科 *Cunninghamia* 属の球果の報告がある（河原・番本，1983）。双三火山—深成複合岩体を構成している岩石の年代値は，吉舎火山岩類の矢井流紋岩溶岩から 83.9 ± 13.2 Ma の，西川・海渡花崗閃緑岩体からは 84.4 ± 6.3 Ma の Rb-Sr アイソクロン年代がそれぞれ得られている（松本ほか，1994）。



第2図 広島県吉舎町周辺の地質図および地質断面図。松本(1990)を一部修正加筆。

高田流紋岩の岩石記載

高田流紋岩類岡田山層は、詳細なフローユニットに区分することは、露頭状況の良くない本地域では、困難であるが、松本 (1990) が示したように岩石を構成する鉱物の比率、鉱物種の構成比でみると比較的明瞭に岩相の違いを識別できる (第3図)。すなわち、高田流紋岩類岡田山層は、凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩 (A) および火山礫凝灰岩 (B) に分けられる (第2図)。

凝灰角礫岩は、溶結構造が比較的顕著に認められる場合が多く、数 cm~50 cm 程度の岩片を含んでいる。構成岩片種としては、主に同質の流紋岩質凝灰岩およびヒン岩から構成されるが、頁岩の岩片も少量観察される。顕微鏡下の観察では数 mm 程度の岩片と鉱物片が同じ程度観察される。鉱物としては石英、斜長石が大部分を占めるが、不透明鉱物や緑泥石によって置換された苦鉄質鉱物も認められる。石英は新鮮であり、斜長石は、変質の進んだものも存在するが比較的新鮮なものが多い。また、鉱物粒には機械的に破碎されたものも存在する。基質部分のガラス質部分はカルセドニーなどのシリカ鉱物もしくは方解石により置換されていることが多い。また、緩やかな波形を呈した溶結構造が観察される。

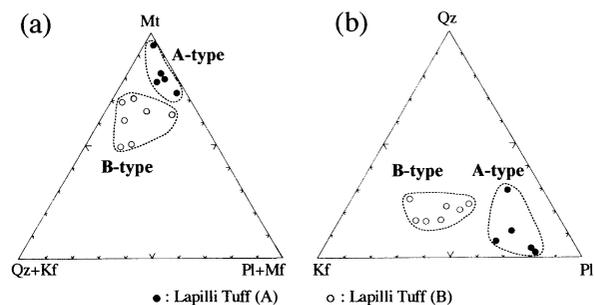
火山礫凝灰岩は、前述のとおり鉱物量と鉱物種の割合で火山礫凝灰岩 (A) (以下 A タイプと呼称) と火山礫凝灰岩 (B) (以下 B タイプと呼称) とに区別される (第3図)。すなわち、A タイプの岩石は斑状結晶に比較的乏しく、基質部分が岩石全体の約7割以上を占める (第3図)。また、A タイプの岩石は石英—カリ長石—斜長石比でみると、6割以上が斜長石斑状結晶から構成される (第3図)。一方、B タイプの岩石は斑状結晶に比較的富み、岩石全体の4~2割程度を斑状結晶が占める (第3図)。石英—カリ長石—斜長石比でみると、B タイプの岩石は斜長石斑状結晶の比率が全体の半分以下である。両タイプの代表的な顕微鏡写真を第4図に示した。

A タイプおよびBタイプの火山礫凝灰岩ともに、鉱物—基質比率や、鉱物種構成比率の違いを除けば、斑状結晶自体の粒径や光学的特徴等についての違いは認められない。顕微鏡下では、斑状結晶は数2 mm~0.5 mm 程度の大きさを示す。岩片 (同質の凝灰岩がほとんど全てを占め、希に泥質岩片を含む) についても少量その存在が確認される。鉱物としては斜長石、石英およびカリ長石が大部分を占めるが、不透明鉱物や緑泥石によって置換された苦鉄質鉱物も少量認められる。斜長石は一部に変質の進んだものも目立つが、比較的新鮮なものも存在する。基質部分のガラス質部分はカルセドニーなどのシリカ鉱物や方解石により置換されている場合がある。また、弱い溶結構造が多く岩石に観察される。

Sr 同位体比

1. 測定方法

Sr 同位体比測定に用いた試料は、高田流紋岩岡田山層中の A タイプおよび B タイプの火山礫凝灰岩から分離した斜長石である。斜長石を用いたのは、比較的新鮮な部分を残し



第3図 吉舎町周辺の高田流紋岩類の火山礫凝灰岩の斑状結晶のモード組成図
Qz, 石英; Kf, カリ長石; Mt, 基質; Pl, 斜長石; Pl+Mf, 苦鉄質鉱物

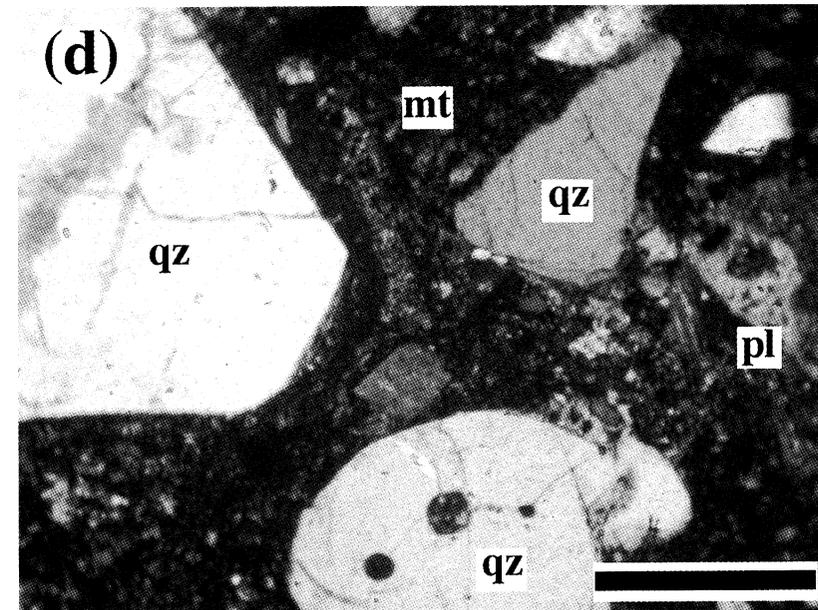
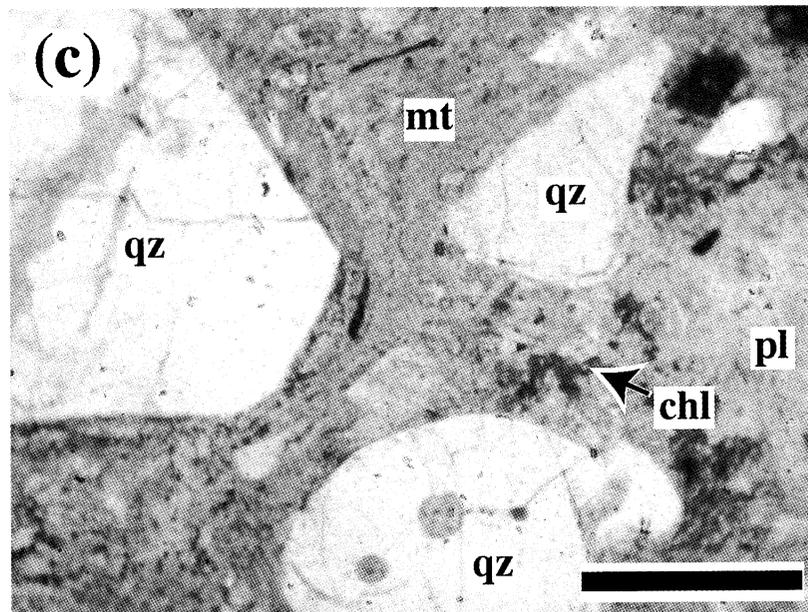
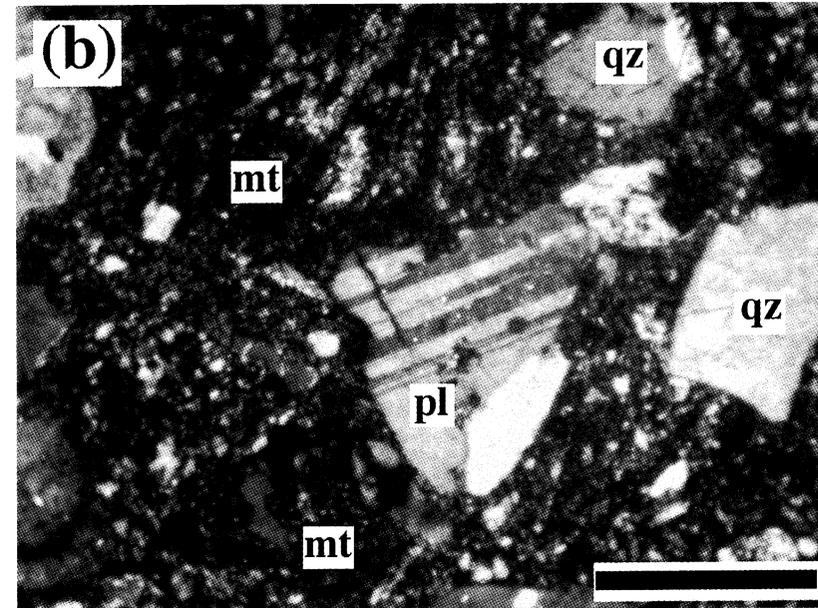
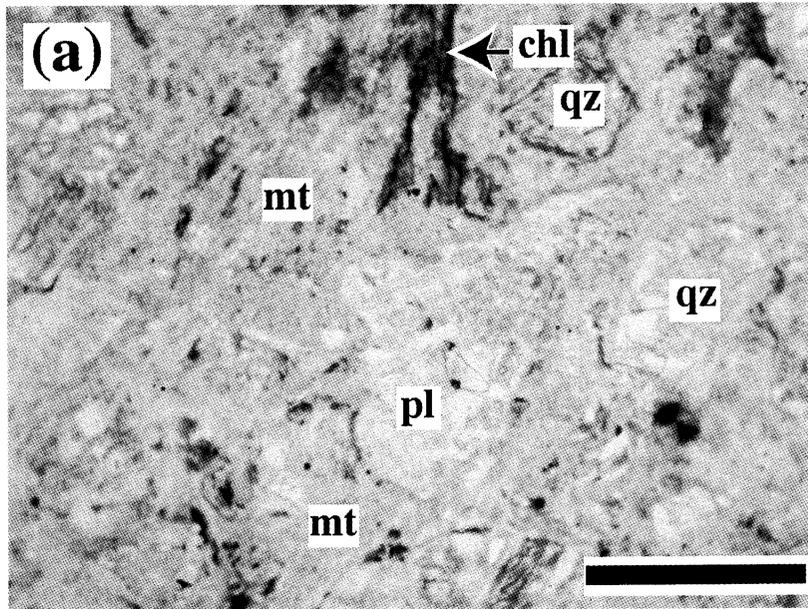
ている斑状結晶が多いことと、斜長石の Rb/Sr 比は一般に小さく、すなわち Sr 同位体比初生値に近いことからである。

測定に用いた試料は A タイプの火山礫凝灰岩から分離した斜長石、TA-1 P と B タイプの火山礫凝灰岩から分離した斜長石、TA-2 P の2試料である。斜長石の分離については、岩石表面の風化した部分を岩石カッターで除去した後、ジョークラッシャー、およびタングステンカーバイト乳鉢を用いて粉碎した。試料はフルイにて 80-200 メッシュサイズを分離したものを使用した。その後、アイソダイナミックセパレーターにて磁選し、斜長石を多く含む部分を分離した。分離後、顕微鏡下にて変質の認められるものや、他の鉱物と接するか包有しているもの等をハンドピッキングにて分離除去し、新鮮な斜長石のみを集めた。集めた斜長石は、その試料の一部で薄片を作成し変質の有無をチェックした後、分析に供した。また、磁選と顕微鏡下でのハンドピッキングは2~3回程度、同一の分割試料で繰り返し新鮮な試料の確保に努めた。1つの斜長石試料を分離するのに要した岩石は、総重量で約 12 kg であった。最終的に脱イオン水で超音波洗浄、110℃ で乾燥したものを Sr 同位体比測定用試料とした。

Rb・Sr 濃度と Sr 同位体比測定は、加々美ほか (1982)、Kagami et al. (1987, 1989) の方法により岡山大学地球内部センター (現、固体地球研究センター) のフィニガン・マツ社の MAT 261 表面電離型質量分析計を用いて行った。Rb/Sr 比の測定誤差は約 3% と見積もった。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は、 $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.1194$ で規格化した。測定期間中における標準試料 NBS 987 の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比の平均値は 0.710255 ± 0.000022 (2σ mean, $N = 8$; 松本ほか (1994) と同条件) であった。

2. 測定結果

測定結果を第1表に、また $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 図を第5図に示した。なお、2つの斜長石試料とともに斜長石を分離した母岩である溶結凝灰岩についても、比較的新鮮な箇所を選んで、全岩の同位体比を測定した。測定結果は、2つの斜長石試料 TA-1 P, TA-2 P がそれぞれ 0.70648 ± 2 (2σ), 0.70672 ± 1 (2σ), 全岩試料 TA-1, TA-2 がそれぞれ 0.70932 ± 2 (2σ), 0.70752 ± 1 (2σ) であった。今回得られた高田流紋岩の2地点からの斜長石の Sr 同位体比初生値は、双三火山—



第4図 高田流紋岩、火山礫凝灰岩の顕微鏡写真
 qz, 石英; pl, 斜長石; Mt, 基質; chl, 緑泥石; スケールは全て0.5 mm
 (a) Aタイプ火山礫凝灰岩(オープンニコル) (b) 同上同箇所(クロスニコル) (c) Bタイプ火山礫凝灰岩(オープンニコル) (d) 同上同箇所(クロスニコル)

第1表 高田流紋岩産斜長石の Rb, Sr 濃度と Sr 同位体比

sample	plagioclase		tuff (whole rock)	
	TA-1P	TA-2P	TA-1	TA-2
Rb (ppm)	65	56	135	81
Sr (ppm)	363	409	145	181
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	0.5194	0.3967	2.6894	1.2848
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} (\pm 2\sigma)$	0.70648 \pm 2	0.70672 \pm 1	0.70932 \pm 2	0.70752 \pm 1
I.R.(Sr)	0.70586	0.70625	0.70611	0.70598
ϵ Sr	20.7	26.2	24.2	22.5
Age	84	84	84	84

深成複合岩体の形成年代である 84 Ma で求めた場合、それぞれ 0.70586 および 0.70625 であった (第1表)。

考 察

1. 斜長石と全岩の Sr 同位体比

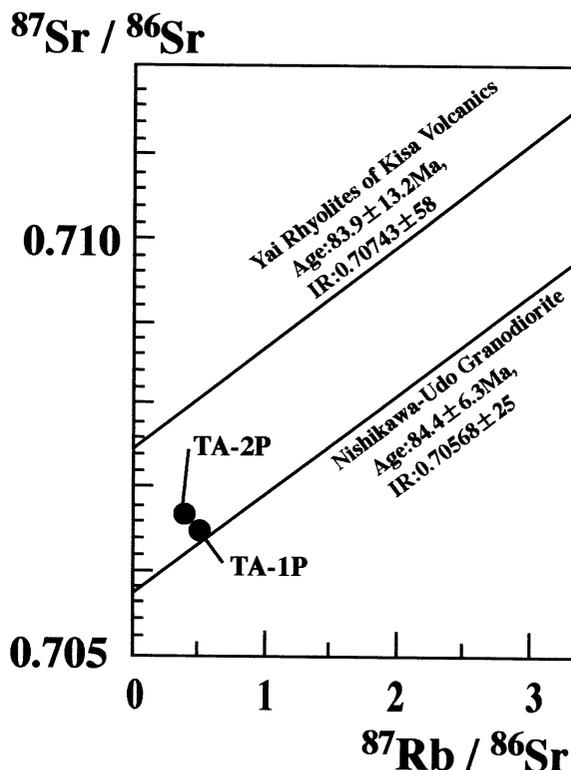
今回、主に高田流紋岩の双三火山—深成複合岩体中での火成活動の因果関係を明らかにするために、 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 比が Sr 同位体比初生値に近い斜長石を用いたが、合わせて斜長石母岩である火山礫凝灰岩についても測定した。斜長石母岩の Sr 同位体初生値は双三火山—深成複合岩体の形成年代 (84 Ma) で求めた場合、それぞれ 0.70611 および 0.70598 を示し、分離斜長石とも矛盾のないように見える。しかし、分離斜長石との2点でのアイソクロンを考えた場合、地質や層序で得られている年代とはかけ離れるため、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ — $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 図 (第5図) には斜長石母岩の値は示していない。つまり、母岩部分については、肉眼や顕微鏡下では観察が難しい基質部分での変質 (ガラスの変質) や、異質岩片でも特に堆積岩岩片の影響があるものと推定される。一方、今回得られた斜長石の Sr 同位体比は Sr 同位体初生値に近く、後述するように吉舎火山岩類および深成岩体との地質関係とも良い対応関係を示し、その有用性が示されたといえる。

2. Sr 同位体比からみた吉舎火山岩類、高田流紋岩類および西川・海渡花崗閃緑岩体の関係

今回の結果に吉舎火山岩類矢井流紋岩および西川・海渡花崗閃緑岩のアイソクロンを合わせて示したものが第5図である。これは、火成活動として一連でありながら起源物質が Sr 同位体比組成的に異なる吉舎火山岩類と深成岩体とのどちらに、高田流紋岩類が類似するか、もしくはどちらにも類似しないかという問題に答えを示した。つまり、高田流紋岩の斜長石は西川・海渡花崗閃緑岩の Sr 同位体比初生値と誤差の範囲で重なることが明らかとなった。このことから、この地域の高田流紋岩類は深成岩体である西川・海渡花崗閃緑岩体の噴出相である可能性が高く、吉舎火山岩類とは連続した火成活動であるが、Sr 同位体比からみて起源物質が異なることが明らかとなった。

3. 同位体比からみた2つの起源物質と火成岩類の帯状配列との関係

Kagami et al. (1992), 松本ほか (1995) および Iizumi et al.



第5図 高田流紋岩産斜長石の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ — $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 図. 吉舎火山岩矢井流紋岩と西川・海渡花崗閃緑岩体のアイソクロンは松本ほか (1994) による

(2000) は中国地方の主に珪長質岩類の示す Sr や Nd の同位体比初生値等から、同位体的に組成の異なる地殻が東西に帯列に分布している可能性を指摘した。また、松本ほか (1995) は吉舎火山岩類の分布が、三郡帯の超マフィック岩体の分布 (例えば Arai, 1980; 松本ほか, 1995) と重なることなどから、異なる組成の地殻物質が中国地方中部の深部で接している可能性を示した。今回の結果は、この考えを支持するものであるといえる。つまり、大規模な珪長質の火成活動は2つの異なる同位体比組成を有する地殻の境界で起こっており、異なる地殻物質の接する縫合線の地表延長部分に双三火山—深成複合岩体が形成されたと考えられる。

おわりに

本論では、双三火山—深成複合岩体の火成活動の関係を Sr 同位体比組成から議論したが、西南日本内帯には広範囲に吉舎火山岩類、および高田流紋岩類相当層が分布している。今後、西南日本内帯の白亜紀火成活動の詳細を明らかにするためには、これらの地質学的・岩石学的データの蓄積が必要であり今後の課題といえる。

本論文は、中山勝博先生の追悼号として主に筆者の一人松本が島根大学で得た研究成果を基にまとめたものである。特に、松本は、平成13年4月に赴任したばかりであり、中山先生から大学教育や研究面でいろいろとご教授して頂きたいと願っていた矢先の御不幸に、深い悲しみを禁じ得ません。

中山先生の御意志を引き継ぎ、今までにも増して教育・研究に精進したいと考えております。どうぞ安らかにお眠り下さい。

謝辞：本研究を進めるにあたり、分析手法や内容について当時(平成2~3年)の島根大学の岩石鉱物学ゼミ、および岡山大学地球内部研究センター(現固体地球研究センター)の同位体岩石学ゼミの方々にはさまざまなご助言、御討論を頂いた。以上の皆様に感謝致します。

参 考 文 献

- Arai, S., 1980, Dunite-harzburgite-chromitite complexes as refractory residue in the Sangun-Yamaguchi zone, western Japan. *J. Petrol.*, **21**, 141-165.
- Iizumi, S., Imaoka, T. and Kagami, H., 2000, Sr-Nd isotope ratios of gabbroic and dioritic rocks in a Cretaceous-Paleogene granite terrain, Southwest Japan. *The Island Arc*, **9**, 113-127.
- 井川寿之, 今岡照喜, 2001, 山口県中央部, 白亜紀阿武層群の火山層序・構造と佐々並コールドロンの発見. *地質雑*, 107, **4**, 243-257.
- Ishihara, S. and Imaoka, T., 1999, A proposal of caldera-related genesis for the roseki deposits in Mitsuishi mining area, Southwest Japan. *Resource Geol.*, **49**, 157-162.
- Kagami, H., 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 Cretaceous to Paleogene igneous activity in space and time. *Geochem. Jour.*, **22**, 69-79.
- Kagami, H., Iizumi, S., Tainosho, Y. and Owada, M., 1992, Spatial variation of Sr and Nd isotope ratios of Cretaceous-Paleogene granitoid rocks, Southwest Japan Arc. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **112**, 165-177.
- 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*, **4**, P 16.
- 加々美寛雄, 岡野 修, 須藤 宏, 本間弘次, 1982, MAT 260 による Sr 同位対比測定及び Rb・Sr 定量分析. *岡山大温泉研報*, **52**, 51-70.
- 河原富夫, 1978, 広島県三原市東部地域の“高田流紋岩類”地質雑, **84**, 425-432.
- 河原富夫, 1984, 広島県福山市南方の高田流紋岩類. *地質雑*, **90**, 577-587.
- 河原富夫, 番本正和, 1983, 高田流紋岩類から産出した *Cunninghamia* の球果について. *地質雑*, **89**, 469-470.
- 松本一郎, 1990, 広島県吉舎町周辺の白亜紀火成活動. 島根大学地質学研究報告, **9**, 55-63.
- 松本一郎, 荒井章司, 村岡弘康, 山内英生, 1995, 三郡帯のダナイト-ハルツバーチャイトークロミタイト複合岩体の記載岩石学的特徴. *岩鉱*, **90**, 1, 13-26.
- 松本一郎, 沢田順弘, 加々美寛雄, 1994, 白亜紀吉舎火山岩類および周辺花崗岩類の Rb-Sr アイソクロン年代とその地質学的意義. *地質雑*, **100**, 6, 399-407.
- 松本一郎, 沢田順弘, 加々美寛雄, 1995, 中国地方中部における起源物質を異にする多様な白亜紀火成岩類の成因. 日本地質学会第102年学術大会演旨, 253.
- 村上允英, 今岡照喜, 1986, 西中国および周辺地域の酸性~中性火成活動. 山口大学教養部紀要, 村上允英教授記念号, 43-120.
- 尾崎正紀, 松浦浩久, 1988, 三田地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 93 p.
- 佐藤英一, 今岡照喜, 板谷徹丸, 1999, 岡山県北西部, 白亜紀新見コールドロン. *地質学論集*, **53**, 189-198.
- Sawada, Y., 1984, Subterranean structure of collapse caldera associated with andesitic and dacitic eruptions—structural evolution of the Miocene Kakeya cauldron, southwest Japan. *Bull. Volcanol.*, **47**, 551-568.
- 沢田順弘, 加々美寛雄, 松本一郎, 杉井完治, 中野聰志, 周琵琶湖花崗岩団研グループ, 1994, 琵琶湖南部白亜紀環状花崗岩体と湖東コールドロン. *地質雑*, **100**, 3, 217-233.
- Smith R.L. and Bailey R.A., 1968, Resurgent Cauldrons. *U.S. Geological Survey*, **116**, 613-662.
- 武田賢治, 今岡照喜, 1999, 山口地域の白亜紀環状岩脈とコールドロン. *地質学論集*, **53**, 199-219.
- 竹田史郎, 1967, 広島県双三郡吉舎町付近の後期中生代火山岩類. *地質雑*, **73**, 2, 137.
- 吉田博直, 1961, 中国地方中部の後期中生代の火成活動. *広島大地球研報*, **8**, 1-39.
- 吉田博直, 1964, 白亜紀火山岩類. *広島県地質図説明書*, 73-86.

(受付：2001年12月10日, 受理：2001年12月17日)