

山口県阿武地域における白亜紀流紋岩類と花崗岩類の全岩化学組成および Sr, Nd 同位体比

Whole-rock chemistry and Sr and Nd isotope ratios of Cretaceous rhyolites and granitoids in Abu district, Yamaguchi Prefecture, Southwest Japan

Abstract

弓削智子* 今岡照喜**
飯泉 滋***

Tomoko Yuge*, Teruyoshi Imaoka**
and Shigeru Iizumi***

1997年6月2日受付.
1997年11月25日受理.

* 山口大学理学部地質学鉱物科学教室.
Department of Geology and Mineralogical
Sciences, Faculty of Science, Yamaguchi
University, Yamaguchi 753-8512, Japan
現在, 株式会社日本パブリック関西支社.
Kansai Branch, Nihon Public Co., Ltd.,
Higashiyodogawa-ku, Osaka 533-0033, Japan

** 山口大学理学部地球科学教室.
Department of Earth Sciences, Faculty of
Science, Yamaguchi University, Yamaguchi
753-8512, Japan

*** 島根大学総合理工学部地球資源環境学教室.
Department of Geoscience, Faculty of Science
and Engineering, Shimane University, Matsue
690-8504, Japan

Cretaceous felsic volcanic and granitic rocks, which are widely distributed in the Chugoku district, SW Japan, frequently constitute typical volcano-plutonic complexes. The Fukuga Formation of the Abu Group in the northeastern part of Yamaguchi Prefecture unconformably overlies the Cretaceous Kanmon and Shunan Groups. The Fukuga Formation, which is mainly composed of rhyolite to rhyodacite lavas and pyroclastic rocks, is intruded by a granitic stock, suggesting that the volcanic and granitic rocks comprise a volcano-plutonic complex. We have examined the genetic relationship between the volcanic and granitic rocks using major and trace element chemistry and Sr and Nd isotope ratios.

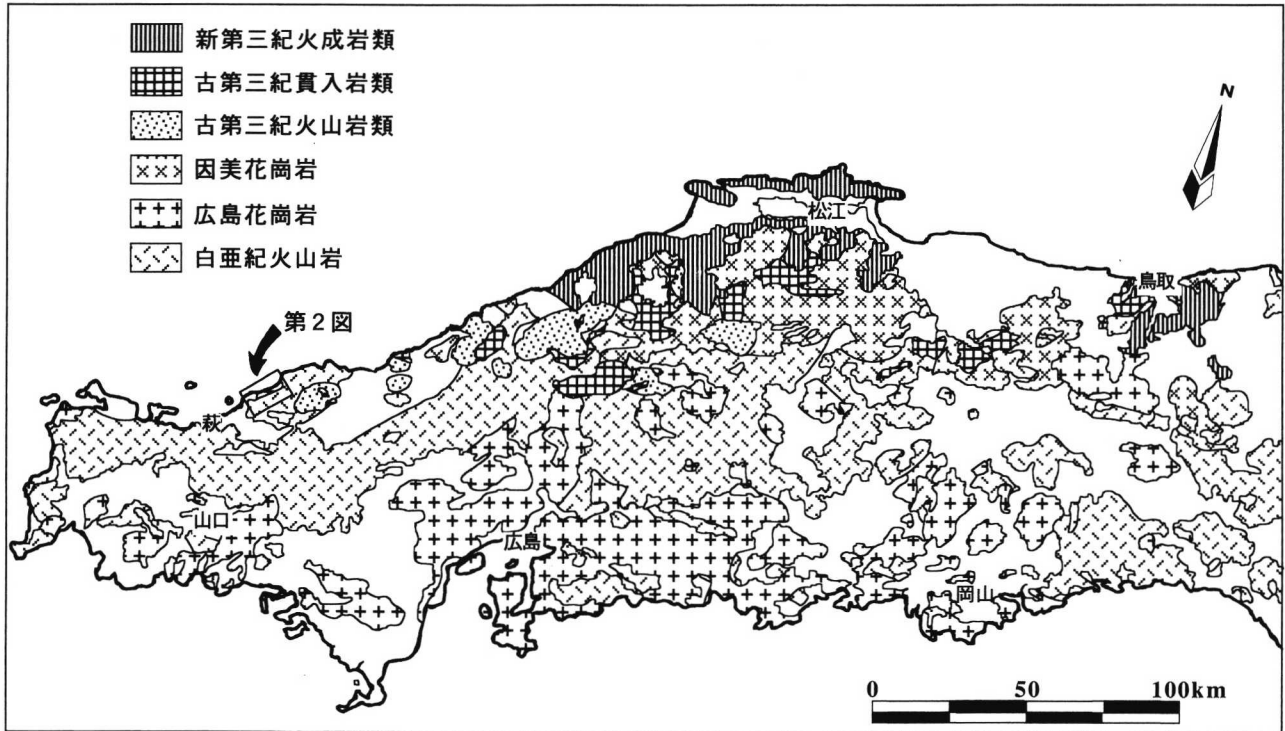
The rhyolites and granites have similar major and trace element chemistry except for Ba, which is lower in the granitic rocks and decreases markedly in concentration from biotite granite to aplite. Ba vs. Sr relations indicate K-feldspar fractionation in the granitic magma chamber. Ten rhyolite samples of the Fukuga Formation and eight granite samples yield similar, well-defined Rb-Sr whole rock isochrons. The Fukuga suite gives an isochron of 86.8 ± 2.8 Ma (2σ) with an initial Sr isotope ratio of 0.70544 ± 0.00024 , and the granites give an isochron of 85.0 ± 3.1 Ma (2σ) with an initial ratio of 0.70526 ± 0.00023 . All rhyolites and granites give a single combined isochron of 87.0 ± 3.1 Ma (2σ) with the initial ratio of 0.70526 ± 0.00025 . While plagioclase, K-feldspar, whole rock samples from a biotite granite give an isochron age of 79.7 ± 5.3 Ma (2σ) with an initial ratio of 0.70521 ± 0.00017 . The petrographical, petrochemical and Sr and Nd isotope data indicate that the rhyolite of the Fukuga Formation and the granitic rocks were derived from a common source, which were slightly enriched source (probably lower crust), contrasting with other Cretaceous volcanic rocks in the Chugoku district.

Key words: granite, rhyolite, Rb-Sr isochron age, Nd isotope, Cretaceous, SW Japan

序 論

火山-深成複合岩体は、火山岩とそれを供給したマグマ溜まりの化石と考えられるプルトンの両者が地表に露出する程度の削剝レベルに達したものであり、「火山の根」あるいは「火山の下部構造」(荒牧・横山, 1979)とみることができる。活動を終えた火山とプルトンの両者を地表で観察できる火山-深成複合岩体の岩石学的研究からは、マグマ溜まりの中でのプロセスや進化を解明する上で、第四紀の火山からは容易に得られない長時間にわたる重要な情報を引き出せる可

能性が高い。火山岩はマグマ溜まりの早期の情報を凍結しているであろうし、深成岩は分別結晶作用などマグマの冷却過程を凍結しているであろう。これらを総合すれば、マグマ溜まりの進化についての情報を引き出せる可能性がある(高橋, 1990)。中国地方には白亜紀の流紋岩類(匹見層群や阿武層群相当層)とその地下での固結体である花崗岩類(広島花崗岩)が広く分布しており(第1図)、これらはいくつかのステージの火山-深成作用によって形成されたものとして理解されている(Murakami, 1974; 村上・今岡, 1986)。それら火成岩類の岩石学的ならびに同位体的研究からは上述の間



第1図. 中国地方における白亜紀～第三紀火成岩類の分布図（地質調査所，1992を簡略化）。

題解明のための情報が得られるものと期待されるが、両者の成因の関係は必ずしも明らかではない。

白亜紀阿武層群は、主として乾陸上に噴出した火砕岩から構成されるために年代測定に有効な試料が得られにくいことや時代特定に有効な化石の産出が乏しいこともあって、時代が十分に特定されていない。表題地域（第1図）の阿武層群は比較的多量の溶岩を含むこと、詳細な火山層学の研究が行われていること、関連すると考えられる花崗岩を随伴していることから、本研究においては、表題地域の阿武層群の流紋岩溶岩および花崗岩類を研究対象とし、この地域の火山-深成作用を明らかにすることを目的として全岩の主成分および微量元素成分，Sr，Nd 同位体比について検討した。

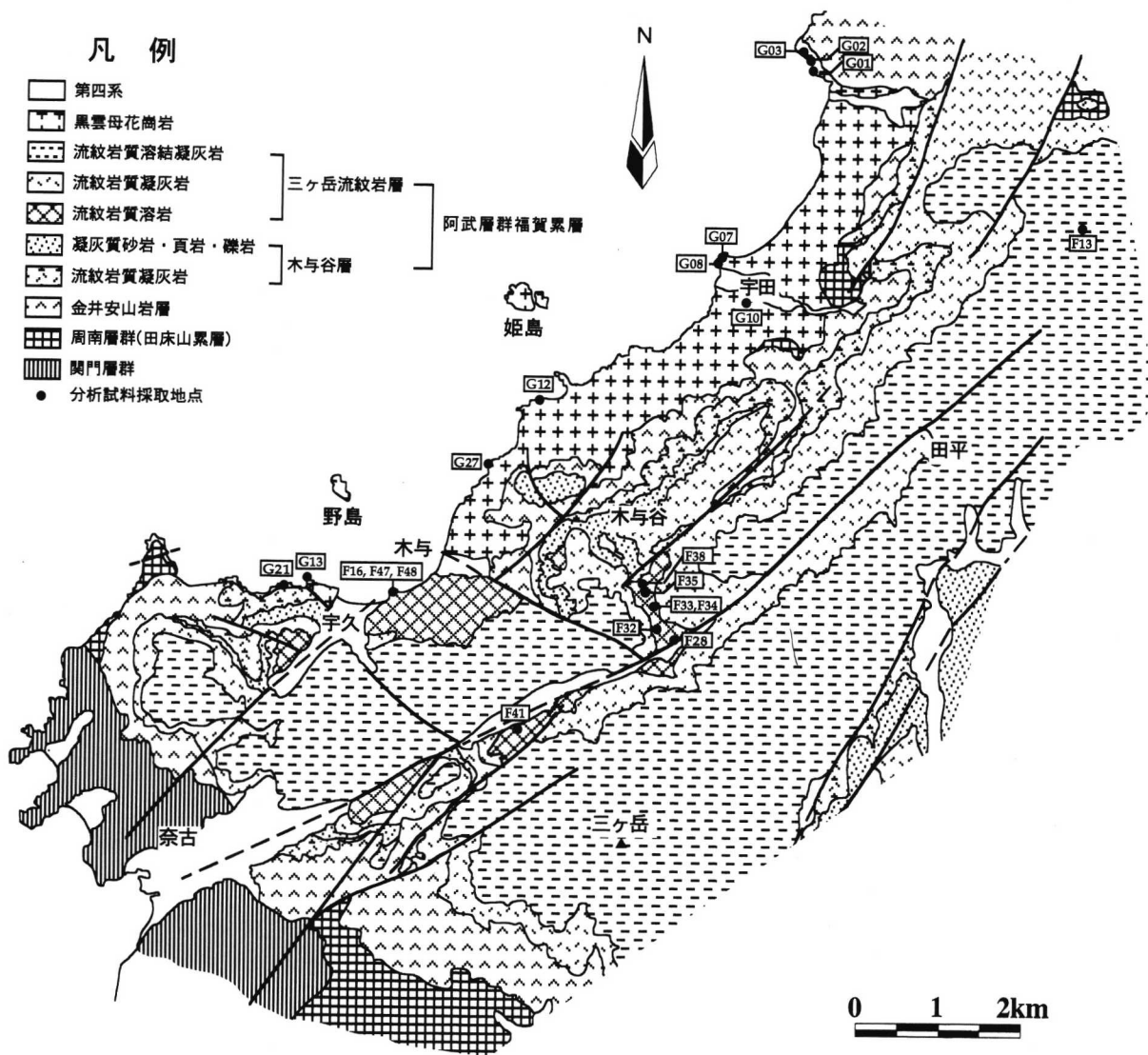
地質と岩石の概要

西中国地域の白亜紀火山岩層は、下位から関門層群，周南層群，匹見層群および阿武層群に層序区分される（村上・今岡，1986）。このうち阿武層群は中国地方西部の脊梁山地から山陰にかけて分布し、広大な分布域を有している。本層群を構成する岩石は、乾陸上に堆積した流紋岩質～流紋デイサイト質溶結凝灰岩および溶岩を主とし、凝灰質砂岩や頁岩などの湖水堆積層を伴う（今岡ほか，1984；村上・今岡，1986）。本層群は山口県北西部地域では下位の青海累層と上位の熊野岳累層に、県中央部では下位から篠目累層，舞谷累層および江舟累層に、標題地域のは福賀累層として層序区分されている（村上・今岡，1986；西村ほか，1995）。

阿武地域（第1図）の地質については村上（1968）の編集による5万分の1須佐図幅が公表され、その後神谷（1974b）

によって層序・構造が再検討され、その詳細が報告されている。ここではその概略について記述する。この地域の地質は主として白亜紀の関門層群，周南層群および阿武層群福賀累層とこれらに貫入する花崗岩類によって構成されている（第2図）。関門層群は脇野垂層群の黒色頁岩層，下関層群の変質安山岩類と礫岩・砂岩・赤色頁岩の互層からなり、この地域の西部に分布する。これを不整合に覆う周南層群田床山火山岩類は流紋岩類を主としている。福賀累層はこれらを不整合で覆い、本地域では下位から金井安山岩層，木与谷層および三ヶ岳流紋岩層に区分され、全層厚は1,800～2,000 mと推定される。金井安山岩層は輝石安山岩溶岩および同質凝灰岩を主とし、デイサイト質凝灰岩を伴う。最大層厚は約300 mである。木与谷層は下部では流紋岩質凝灰岩が優勢であるのに対し、上部では凝灰質砂岩・シルト岩・頁岩などの陸水堆積物が優勢である。本層の最大層厚は約400 mである。三ヶ岳流紋岩層は流紋岩溶岩，同質凝灰岩および溶結凝灰岩からなり、最大層厚は約1,100 mに達する。その大半は流紋岩質溶結凝灰岩で占められる。溶結凝灰岩中の本質レンズについて 67.2 ± 2.2 Ma（本稿では、K-Ar年代はすべて Steiger and Jäger, 1977 による新しい壊変定数で再計算した値を記す）の全岩 K-Ar 年代が報告されている（柴田・神谷，1974）。

花崗岩類は日本海の海岸線に沿って露出するほか、野島と姫島にも分布する（第2図）。主として黒雲母花崗岩からなり、アプライトを伴う。神谷（1974b）によれば黒雲母花崗岩は阿武層群福賀累層の下底に水平な板状形態を有して貫入し、それらに対して著しい接触変成作用を与えている。



第2図. 山口県阿武地域の地質図(神谷, 1974 b) および分析試料採取地点.

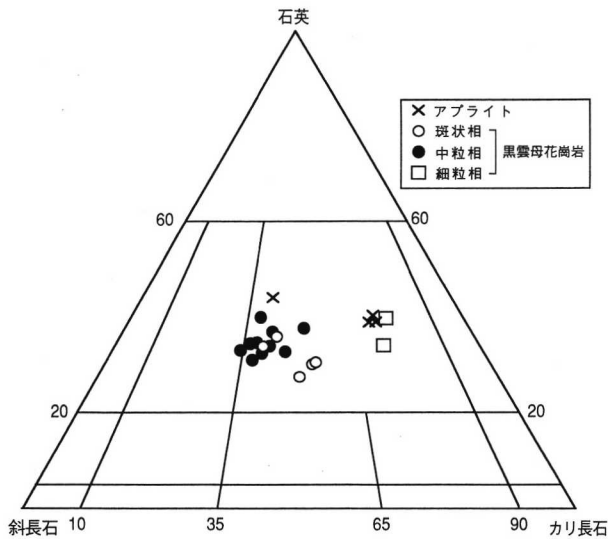
Kamitani (1977) は黒雲母花崗岩は火山活動後あまり時間間隙のない時期に貫入したものであろう、と記述している。花崗岩については、93 Ma の黒雲母 K-Ar 年代(河野・植田, 1966) と 91 Ma の Rb-Sr 黒雲母-全岩アイソクロン年代(Seki, 1978) が報告されている。帯磁率は 50×10^{-6} emu/g 以下の低い値を示し、イルメナイト系列に属する(Imaoka and Nakashima, 1983)。黒雲母花崗岩は肉眼および鏡下観察の結果から中粒相、細粒相および斑状相に細分できるが、それらは漸移的に変化し、相互に貫入関係は認められない。細粒花崗岩は一般に岩体の周縁相を形成する。また、岩体の周縁部では白雲母が増加し、黒雲母が減少すると同時に、小規模ながら多数の白雲母-カリ長石-石英のペグマタイトが認められる。この地域には熱水変質帯が広範囲に分布し、その一部がろう石鉱床としての経済性を有し、古くからその研究が行われてきた(岩生, 1950; 神谷, 1974 a)。熱水変質帯の白雲母 K-Ar 年代として、 84.3 ± 2.7 Ma と 83.8 ± 2.6 Ma (柴田・神谷, 1974) が報告されている。

全岩化学組成

1. 分析試料

阿武層群福賀累層三ヶ岳流紋岩層中の代表的な流紋岩溶岩および花崗岩類(黒雲母花崗岩, アプライト)について全岩の主成分および微量元素成分の化学分析を行った。分析試料の採取地点を第2図に示す。約 0.5~2 kg の試料をタングステンカーバイト乳鉢で粗砕し、その一部を四分法で取り分け、メノウのボールミルで約 10 ミクロン以下に粉砕した。

流紋岩溶岩は主に阿武町木与から木与谷にかけて分布するものを採取した。本岩は淡灰色~淡緑色を呈し、肉眼で顕著な流理構造が観察される。鏡下では斑晶として石英、斜長石、黒雲母、不透明鉱物とごく少量のカリ長石、希に角閃石が見られる。一般に斜長石は自形を呈する。石英は著しく融食されているが、ごくまれに自形の石英を観察できる。石基は隠微晶質~微晶質組織を示し、しばしば球顆構造が観察される。流紋岩溶岩はこの地域の金井安山岩層や木与谷層の岩石



第3図. 花崗岩類の石英-カリ長石-斜長石容量比.

に比較して新鮮である(神谷, 1974b).

花崗岩類としたものは黒雲母花崗岩とアプライトに大別される。黒雲母花崗岩は肉眼および鏡下観察の結果から中粒のもの(中粒相)、細粒のもの(細粒相)、カリ長石の斑状組織の顕著なもの(斑状相)に細分できるが、組織変化は連続的である。本岩の主な構成鉱物は斜長石、石英、カリ長石、黒雲母で、白雲母を含むことがあるが、角閃石は認められない。また、副成分鉱物としてはジルコン、アラナイト、不透明鉱物が含まれる。斜長石はアルバイト式双晶をなし、また斑状相においてはパッチゾーニングが特徴的に観察される。また、斜長石のコアは若干セリサイト化している。石英は一般に他形を示し、カリ長石と微文象構造を呈している。カリ長石にはパーサイト構造が見られる。斑状相のカリ長石は大きいものでは長径が約2cmに達する。黒雲母は緑泥石化が著しいものもある。化学分析した花崗岩類のモード組成を第3図を示す。命名はIUGS Subcommission (1973)に従った。本地域の黒雲母花崗岩の主岩相である中粒相や斑状相は花崗岩の領域の中でも花崗閃緑岩側にプロットされ、細粒相やアプライトはやや石英に富む。斑状相は中粒相に比較し、ややカリ長石に富む。

2. 分析方法

分析は山口大学機器分析センターに設置の理学電機製全自動蛍光X線分析装置(RIX 3000)を用いて行った。測定方法は角縁ほか(1989)に従った。主成分元素の分析は岩石1に対し、メルク社製四ほう酸リチウム5(重量比)で作成したガラスビードで行った。微量元素成分(V, Cr, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Ba, Y, Zr, Nb)の分析は、岩石1に対してメルク社製四ほう酸リチウム1(重量比)を混合し、さらにポリビニルアルコールを混ぜてプレスして固めた粉末ペレットで行った。FeOは、過マンガン酸カリウム滴定法によって定量した。

3. 分析結果

主成分および微量元素成分の分析結果を第1表および第

4, 5図に示す。

グラフの横軸にD.I.(分化指数)をとった主成分の組成変化を第4図に示す。縦軸の各元素は、無水に換算している。流紋岩溶岩のSiO₂は74.1~80.4wt.%であり、それらのほとんどはSiO₂が75wt.%以上の高シリカ流紋岩組成を示し、D.I.は83.3~95.3である。また、花崗岩類のSiO₂は73.1~78.4wt.%、D.I.は84.6~94.7であり、流紋岩溶岩のそれと類似した値を示す。TiO₂, Al₂O₃, FeO*, MgO, CaO, P₂O₅はD.I.の増加とともに減少する傾向がみられるが、K₂OはD.I.の増加とともに増加する傾向にある。流紋岩溶岩も花崗岩類もすべてノルムコランダムが算出される。どの元素についても流紋岩溶岩と花崗岩類の組成には明瞭な違いは認めにくい。

微量元素の組成変化を第5図に示す。Cr, Yには流紋岩溶岩よりも花崗岩の方が若干高い値を示す傾向がみられる。ただしCrはいずれも10ppm以下の低い値である。花崗岩類、とくにアプライトのBaは流紋岩溶岩に比較し、低い値を示す。全体的にV, Ga, Sr, Zrには右下がりのトレンドが、Rbには右上がりのトレンドがみられる。しかし、その他の成分については流紋岩溶岩と花崗岩類の組成には明瞭な違いは認めにくい。

K₂Oの増加と、Al₂O₃, CaO, Srの減少は斜長石の分別によって、TiO₂, FeO*, MgO, V, Znの減少はイルメナイトをはじめとするマフィック鉱物の分別によって、P₂O₅の減少、Zrの減少はそれぞれアパタイト、ジルコンの分別で説明され、これらは流紋岩溶岩と花崗岩類に共通に見られる現象である。しかし、既述のようにBaについては花崗岩類が流紋岩溶岩に比較し、低い値を示す。また、流紋岩溶岩はD.I.の増加とともにBaの顕著な現象が見られないが、黒雲母花崗岩からアプライトにかけてBaは顕著に減少している。

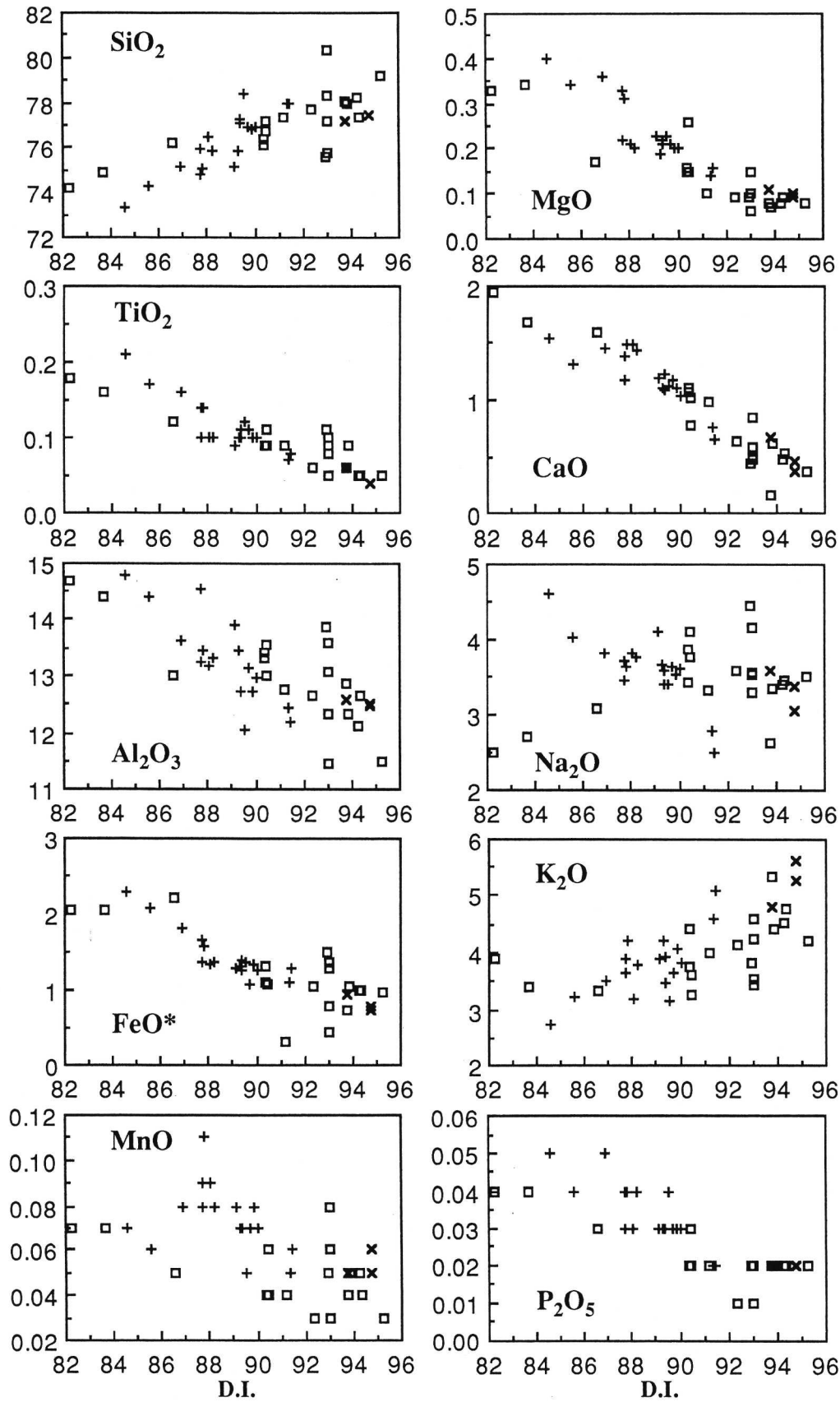
第6図にBa-SrおよびRb-Sr図を示す。これらの図には黒雲母・カリ長石・斜長石の分別トレンドを示した。分別トレンドはHanson(1978)で示された分配係数を使用した。花崗岩類はBaが100~900ppm, Srが30~200ppm, Rbが100~200ppmの間で変化している。花崗岩類はBaが増加するにつれてSrも増加し、Rbが増加するとSrが減少する傾向がある。第5図や第3, 4図に示した組成変化図から流紋岩溶岩や花崗岩類の組成変化はカリ長石と斜長石の分別結晶作用、とくにカリ長石の分別によって説明されると考えられる。結局、微量元素の挙動に見られる花崗岩類と流紋岩溶岩の間の違いを生じさせた主要な鉱物はカリ長石であろう。

SrおよびNd同位体比

1. 測定試料

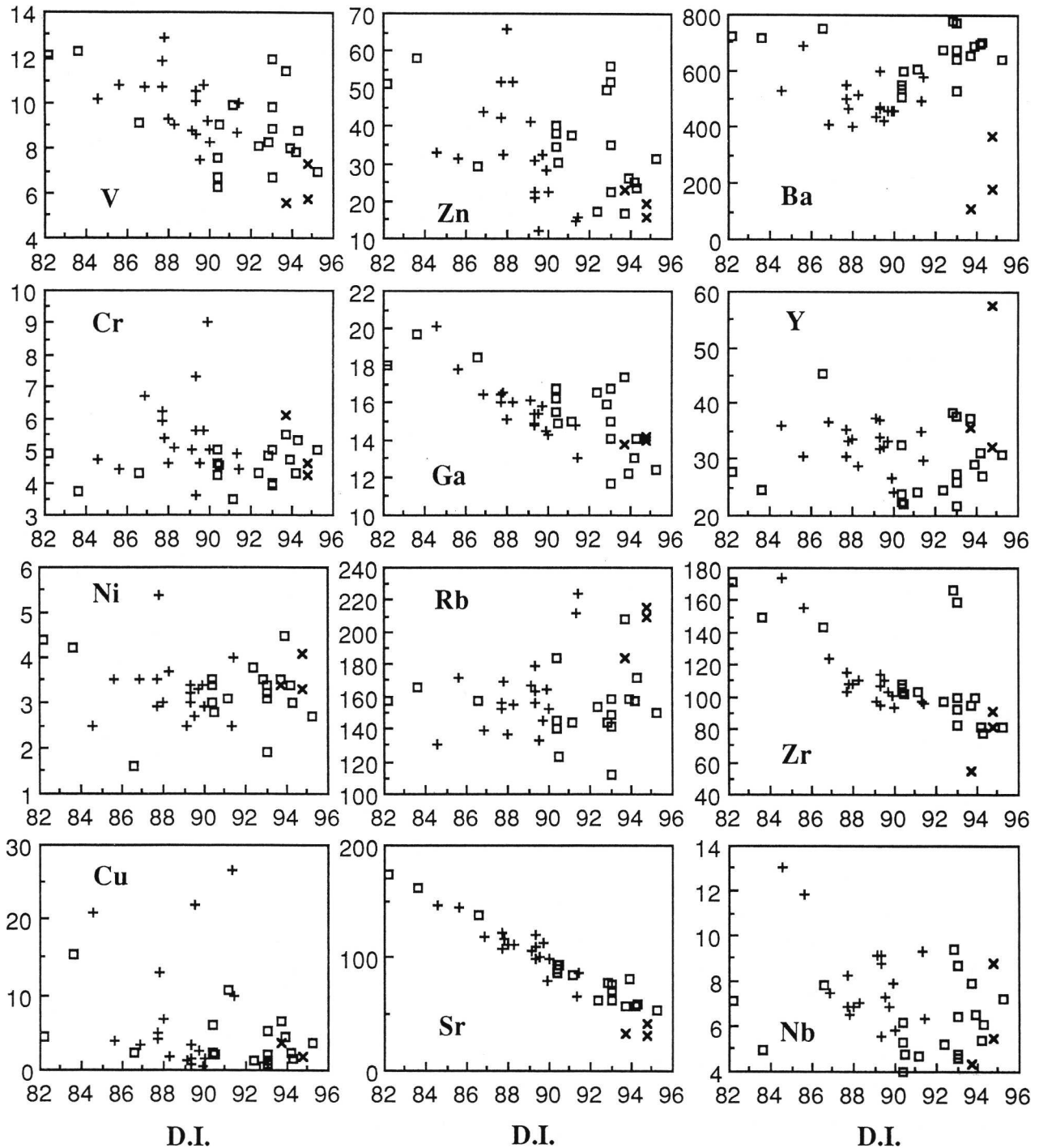
阿武層群福賀累層のうち、流紋岩溶岩の産出する三ヶ岳流紋岩層の流紋岩溶岩8試料、花崗岩類を代表する全岩8試料と鉱物2試料を同位体分析に用いた。試料の採取地点を第2図に示す。流紋岩溶岩の試料は模式地の木と海岸をはじめとして、地質図上で散在する流紋岩溶岩分布域からもれなく採取した。分析した岩石の化学組成を第1表に示す。

花崗岩類は既述のように黒雲母花崗岩(中粒相・細粒相・



□ 流紋岩溶岩 + 黒雲母花崗岩 × アプライト

第4図. 阿武層群
流紋岩溶岩および
花崗岩類の主成分
変化図.

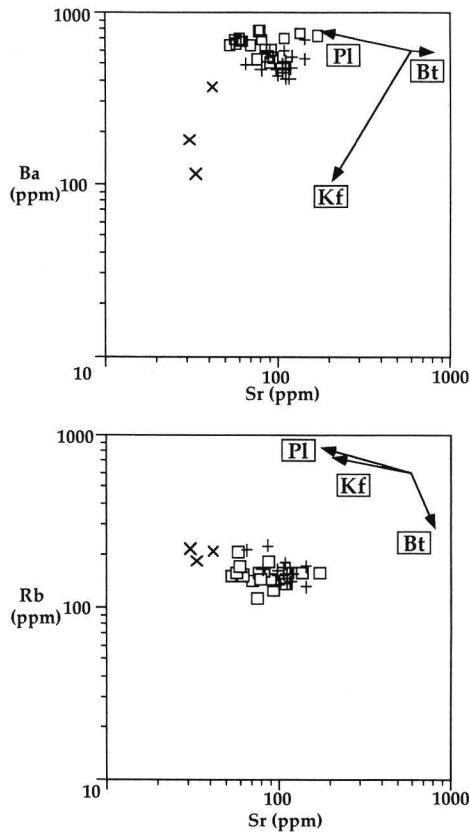


第5図. 阿武層群流紋岩溶岩および花崗岩類の微量元素変化図.
凡例は第4図と同じ.

斑状相) とアプライトに区別されるが、それぞれの代表的な試料を分析に供した。分析した岩石のモード組成および化学組成を第1表に示す。このうちG07については、斜長石とカリ長石を分離した。分離方法は、岩石を旋回粉碎機で粉碎後、粉末のサイズを標準フルイで80-150メッシュに整え、洗浄・乾燥した。そして磁鉄鉱などの強磁性鉱物を磁石で取り除き、電磁分離と重液（クレリチ重液）分離を繰り返す、精選した。

2. 測定方法

流紋岩質溶岩を代表する全岩10試料、花崗岩類を代表する全岩8試料と鉱物2試料についてSr, Nd同位体比の測定を行った。Sr, Nd同位体比、鉱物のSr, Rb濃度、全岩のNd, Sm濃度の測定は、島根大学総合理工学部のMAT262型質量分析計を使用し、測定方法は飯泉(1996)に従った。この方法によるSrやNd同位体用の標準試料(NBS987, La



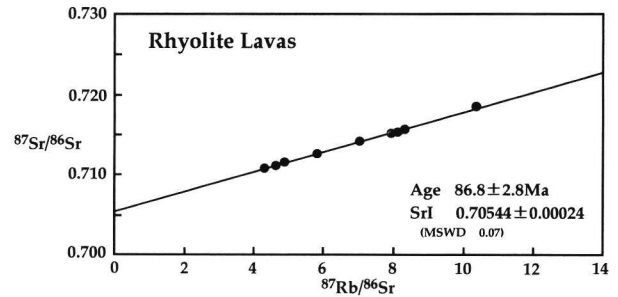
第6図. 阿武層群流紋岩溶岩および花崗岩類の Ba-Sr, Rb-Sr 変化図. 凡例は第4図と同じ.

Jolla) や地質調査所 (GSJ) の標準試料についての測定結果については Iizumi et al. (1994, 1995) に報告されている. アイソクロンは York (1966) の方法で求めた. ϵSr , ϵNd 初生値を求めるのに用いた CHUR (Chondritic Uniform Reservoir) のパラメーターは次のとおりである. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (present) = 0.7045, $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ (present) = 0.0827, $\lambda^{87}\text{Rb} = 1.42 \times 10^{-11} \text{y}^{-1}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ (present) = 0.512638, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ (present) = 0.1966, $\lambda^{147}\text{Sm} = 6.54 \times 10^{-12} \text{y}^{-1}$. 第2表に示す試料の測定期間中に Sr 同位体標準試料 NBS 987 および Nd 同位体標準試料 La Jolla の測定を併せて行った. NBS 987 は期間中3回測定し, それらの $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 値は, 0.710263 ± 0.000009 (2σ), 0.710265 ± 0.000008 および 0.710271 ± 0.000009 であった. また, La Jolla は2回測定し, これらの $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 値は, 0.511851 ± 0.000009 (2σ) および 0.511847 ± 0.000009 を示した. これらの値は, 多くの研究機関から公表されているデータと一致していることから, 測定されたデータについての標準試料による補正は行っていない.

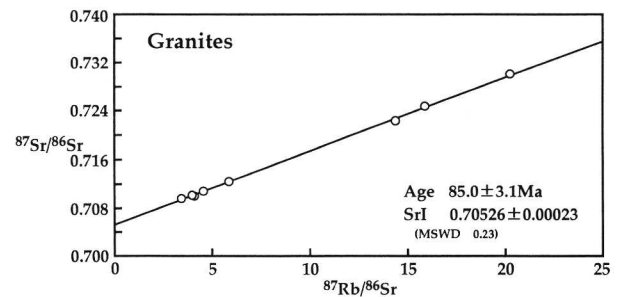
3. 測定結果

第2表に流紋岩溶岩, 花崗岩類の Rb, Sr, Nd, Sm 含有量, $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 比, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比の測定結果を示す. このデータをもとにアイソクロン法を用いて Rb-Sr 年代を求めた.

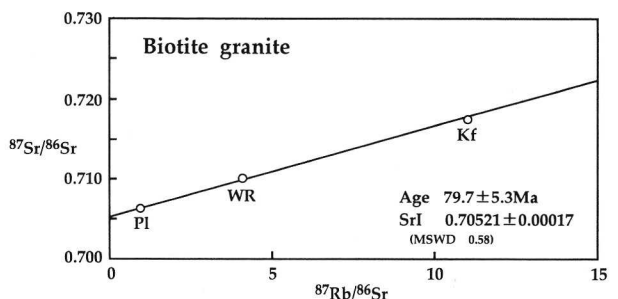
流紋岩溶岩の全岩アイソクロン図を第7図に示す. 年代は



第7図. 阿武層群流紋岩溶岩の全岩アイソクロン図.



第8図. 花崗岩類の Rb-Sr 全岩アイソクロン図.



第9図. 黒雲母花崗岩の Rb-Sr 全岩-鉱物アイソクロン図.

$86.8 \pm 2.8 \text{ Ma}$, Sr 同位体初生値 (以下 SrI 値と示す) は 0.70544 ± 0.00024 (2σ) を示し, MSWD (Mean Square Weighted Deviation) は 0.07 と非常に低い値を示す.

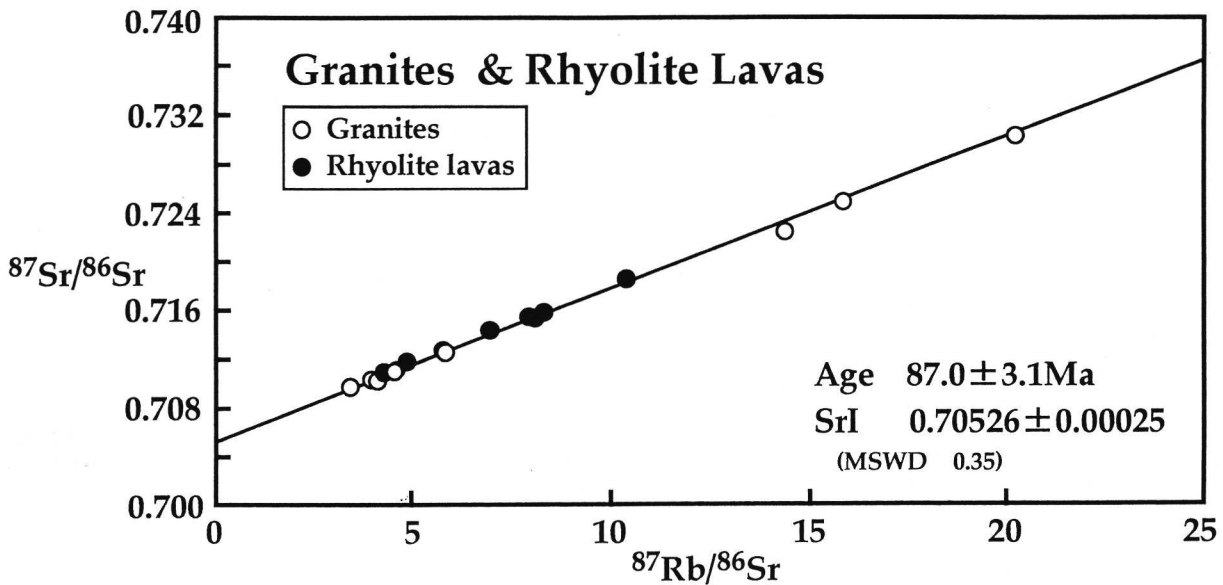
花崗岩類の全岩アイソクロン図を第8図に示す. 年代は $85.0 \pm 3.1 \text{ Ma}$, SrI 値は 0.70526 ± 0.00023 (2σ) が得られた. また, MSWD は 0.23 である. 流紋岩溶岩とは誤差範囲で重複する. 黒雲母花崗岩の全岩-斜長石-カリ長石アイソクロン図を第9図に示す. 年代は $79.7 \pm 5.3 \text{ Ma}$, SrI 値は 0.70521 ± 0.00017 (2σ) が得られた. また, MSWD は 0.58 である. 年代の中央値は全岩アイソクロン年代と比較しやや若い年代を示すが誤差範囲で一致する.

流紋岩溶岩と花崗岩類全サンプルで求めた全岩アイソクロンを第10図に示す. 分析された岩石はすべて同一アイソクロン上になっている. 年代は $87.0 \pm 3.1 \text{ Ma}$, SrI 値は 0.70526 ± 0.00025 (2σ) であり, MSWD は 0.35 である.

ϵNd 初生値についてみると, 流紋岩溶岩は $0.1 \sim 0.6$, 花崗岩類は $-0.2 \sim 0.6$ で, いずれも変化幅は小さく, 両者は類似

第 2 表. 阿武層群福賀累層の流紋岩溶岩および花崗岩類の Rb, Sr, Nd, Sm 含有量および Sr, Nd 同位体比.

No.	岩石名	Rb ppm	Sr ppm	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	Initial ε Sr (85Ma)	Nd ppm	Sm ppm	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	Initial ε Nd (85Ma)
阿武層群福賀累層											
F32	流紋岩質溶岩	140	94	4.30	0.710762 (14)	16.5	53.0	3.78	0.043	0.512567 (17)	0.3
F34	流紋岩質溶岩	145	91	4.62	0.711096 (14)	15.8	25.0	3.66	0.089	0.512581 (09)	0.1
F28	流紋岩質溶岩	144	86	4.86	0.711523 (18)	17.8					
F35	流紋岩質溶岩	142	71	5.82	0.712602 (09)	16.6	22.8	3.51	0.093	0.512606 (08)	0.5
F13	流紋岩質溶岩	153	63	7.03	0.714150 (10)	17.9					
F47	流紋岩質溶岩	157	57	7.93	0.715122 (15)	16.2	27.9	4.96	0.108	0.512619 (08)	0.6
F16	流紋岩質溶岩	149	53	8.13	0.715267 (14)	14.9	23.0	4.15	0.109	0.512609 (14)	0.4
F48	流紋岩質溶岩	172	60	8.33	0.715670 (10)	17.2					
F41	流紋岩質溶岩	208	58	10.4	0.718497 (08)	22.3	20.0	4.06	0.124	0.512618 (17)	0.4
花崗岩類											
G13	細粒黒雲母花崗岩	172	145	3.43	0.709531 (13)	14.0	26.0	4.24	0.099	0.512581 (09)	-0.1
G10	中粒黒雲母花崗岩	154	111	4.01	0.710117 (10)	12.4					
G07	斑状黒雲母花崗岩	153	108	4.11	0.709997 (11)	9.1	20.9	3.90	0.113	0.512594 (13)	0.1
	斜長石	138	425	0.94	0.706264 (09)						
	カリ長石	349	92	11.0	0.717401 (10)						
G02	細粒黒雲母花崗岩	167	107	4.54	0.710798 (09)	13.0	20.6	3.91	0.115	0.512582 (11)	-0.2
G12	斑状黒雲母花崗岩	164	81	5.89	0.712361 (09)	12.0	20.4	3.61	0.107	0.512618 (12)	0.6
G01	アブライト	209	42	14.4	0.722178 (22)	6.2	23.2	4.29	0.112	0.512607 (09)	0.3
G08	アブライト	184	34	15.9	0.724643 (09)	15.1					
G03	アブライト	215	31	20.3	0.730049 (14)	16.8					



第 10 図. 花崗岩類および阿武層群流紋岩溶岩の Rb-Sr 全岩アイソクロン図.

した値を示す (第 2 表).

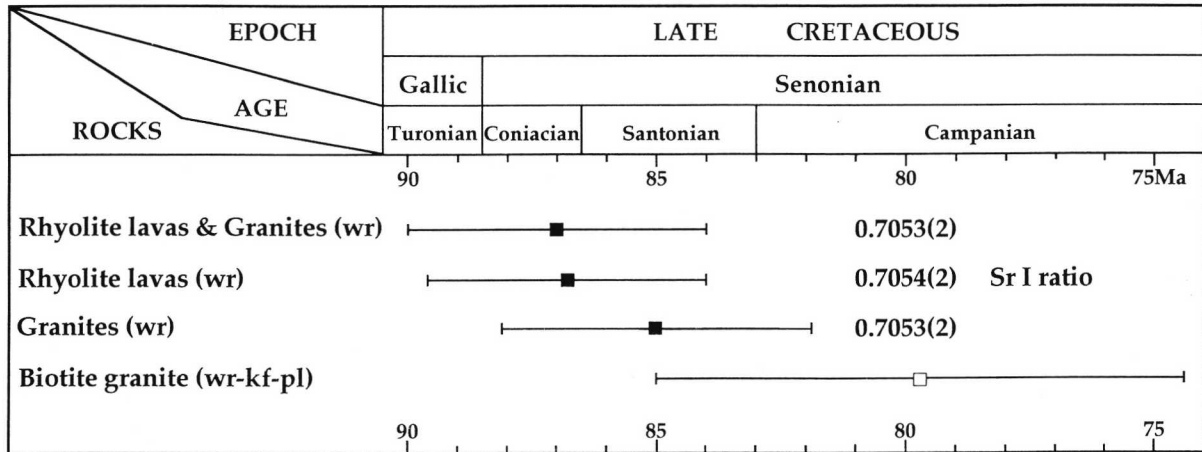
考 察

1. 既報年代値との関係について

中国・四国地方における白亜紀～第三紀火成岩類の放射年代については今岡ほか (1994) によって総括されている。このうち、阿武層群についてみると、青海累層について 93.8 ± 2.2 Ma, 94.7 ± 2.4 Ma, 91.8 ± 3.3 Ma のジルコン FT 年代 (上田・西村, 1982), 熊野累層については 78.6 ± 5.2 Ma のジルコン FT 年代 (上田・西村, 1982) が報告されている。篠目累層については 92.1 ± 6.3 Ma (村上, 1985) のジルコン FT 年代, 112 ± 4 Ma の Rb-Sr 全岩年代 (Seki, 1978) が報告

されている。福賀累層については流紋岩溶結凝灰岩に対し 84.5 ± 5.7 Ma のジルコン FT 年代 (村上, 1985), 84 Ma と 84 Ma の白雲母 K-Ar 年代と 67 Ma の全岩 K-Ar 年代 (柴田・神谷, 1974), 87.1 ± 2.6 Ma のセリサイト K-Ar 年代 (Kitagawa et al., 1988) がある。

これらの既報年代値のうち、FT 年代はいずれも火砕岩中のジルコンであり、Hurford (1990) の FT 年代測定法に関する国際勧告以前に報告されたものである。また Seki (1978) の 112 ± 4 Ma は、西南日本の白亜紀火山岩類の Rb-Sr 年代測定を最初に試みた中でその一貫として報告されたものであるが、層序的に阿武層群の下位にある関門層群の安山岩やデイサイト中の角閃石 K-Ar 年代 105.2 ± 3.3 Ma, 106.7 ± 3.3



第 11 図. 流紋岩溶岩および花崗岩類の Rb-Sr アイソクロン年代のまとめ.

Ma (Imaoka et al., 1993) と逆転している.

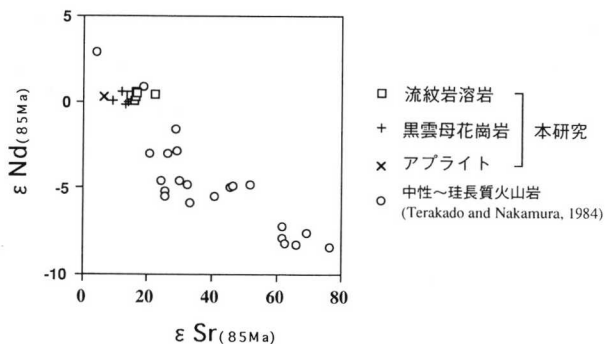
本地域の黒雲母花崗岩に対して河野・植田 (1966) は 93 Ma の黒雲母 K-Ar 年代を, さらに Seki (1978) は 92.9 ± 4.4 Ma の Rb-Sr 全岩-黒雲母-カリ長石-斜長石アイソクロン年代を報告している. また, 柴田・神谷 (1974) は黒雲母花崗岩中のペグマタイトの白雲母について 80.9 ± 2.6 Ma の K-Ar 年代を報告している. 本研究で得られた 79.7 ± 5.3 Ma の全岩-カリ長石-斜長石アイソクロン年代は, 河野・植田 (1966) や Seki (1978) と比較すると誤差範囲を越えてより若い年代を示すが, 柴田・神谷 (1974) のデータとは誤差範囲で一致する. 宇久鉦山の熱水変質岩中の白雲母 K-Ar 年代, 84 ± 2.7 Ma と 84 ± 2.6 Ma (柴田・神谷, 1974), セリサイト K-Ar 年代 87.1 ± 2.6 Ma (Kitagawa et al., 1988) は本報告の花崗岩類の全岩アイソクロン年代と誤差範囲で一致する. このことは鉦床の形成が花崗岩の貫入・定置とほぼ同時に行われた結果と解釈される. 野外における流紋岩溶岩と花崗岩類の貫入関係と本研究のアイソクロン年代が整合的であること, 全岩アイソクロン年代と全岩鉦物アイソクロン年代が誤差範囲で一致すること, さらに火山岩と深成岩の全岩化学組成 (第 4~6 図), SrI 値 (第 2 表) および後述する ϵ Sr- ϵ Nd (第 12 図) の一致から考えて本研究で得られた花崗岩のアイソクロン年代は信頼できるものといえる.

2. 阿武層群の流紋岩溶岩と花崗岩類の成因的關係について

阿武層群福賀累層の流紋岩溶岩とそれを貫く花崗岩類の主成分および微量元素成分について検討した結果, いずれについても明瞭な違いは認めにくく, 分化に伴いほぼ同一の組成変化を示すことが分かった. この事実は両者が同じ化学組成のマグマから形成されたことを示す. しかし, 花崗岩類は流紋岩溶岩に比較し, 同じ分化指数の岩石の比較において Ba 含有量が低い. さらに, ハーカー図 (第 3, 4 図) 上で花崗岩にみられるトレンドや Ba-Sr, Rb-Sr 図 (第 5 図) は花崗岩の分化を示し, それはマグマ溜まりにおいてカリ長石, 斜長石およびジルコンの分別結晶作用が起こったことを示している.

第 11 図は今回得られた流紋岩溶岩と花崗岩の Rb-Sr 年代をまとめたものである. 今回得られた Rb-Sr 年代は, 流紋岩溶岩の全岩年代が 86.8 Ma, 花崗岩類の全岩年代が 85.0 Ma, 黒雲母花崗岩の全岩-鉦物年代が 79.7 Ma, さらに流紋岩溶岩・花崗岩の全岩年代が 87.0 Ma である. すべての全岩年代は誤差範囲で一致し, さらに花崗岩の全岩年代と全岩-鉦物年代も誤差範囲で一致している. また, 流紋岩溶岩の SrI 値は 0.70544 ± 0.00024 (2σ), 花崗岩の SrI 値は 0.70526 ± 0.00023 (2σ) と誤差範囲で一致している. 火山岩と深成岩の SrI 値が誤差範囲で一致していることは興味深い. また, 第 12 図に ϵ Sr 初生値と ϵ Nd 初生値の関係を示す. この図には Terakado and Nakamura (1984) による中国地方に分布する白亜紀火砕岩類のデータも同時にプロットした. 本地域の流紋岩溶岩および花崗岩類は全地球 (Bulk Earth) よりやや enrich した組成を示し, ϵ Nd の変化幅が小さく同じ領域にまとまってプロットされる. このことは火山岩と深成岩が同じ起源物質 (おそらく下部地殻) に由来していることを示唆している. また, Terakado and Nakamura (1984) の白亜紀火砕岩類のデータと比較すると, より枯渇した起源物質に由来していることを示唆している.

以上の結果をもとに本地域の火山-深成作用について考察する. 阿武地域の流紋岩溶岩と花崗岩類は, 野外で密接に伴って産出し, 全岩の主成分および Ba を除く微量元素成分, Rb-Sr 全岩年代, SrI 値や ϵ Nd 初生値が一致することから両者は同じマグマ溜まりに由来すると考えられる. 流紋岩溶岩と花崗岩類の示す全岩アイソクロン年代 87.0 Ma はそれらを供給したマグマ溜まりが Rb-Sr 系に関して閉鎖系となった年代, すなわちマグマ溜まりの形成年代と解釈できる. Rb-Sr 全岩系の閉鎖温度については Stern et al. (1975) や Stern and Wyllie (1981) などの溶融実験のデータから $700 \pm 50^\circ\text{C}$ と考えられる. マグマ溜まりの形成年代とほぼ時期を同じにして流紋岩溶岩が 86.8 Ma に噴出した. また, 一般に花崗岩の全岩アイソクロンが示す年代は岩体の貫入年代と考えられる. したがって本研究で得られた 85.0 Ma という花崗岩の全岩年代も花崗岩体の貫入年代と考えられる. これらの



第 12 図. 阿武層群流紋岩溶岩および花崗岩類の εSr 初生値と εNd 初生値の関係.

火成岩類を供給したマグマ溜まりでは、斜長石、カリ長石、ジルコンの分別結晶作用が行われたが、流紋岩が噴出後、花崗岩からアプライトが形成される段階においてはとくにカリ長石の分別が顕著に行われたものと推定される。

以上のことより阿武地域に分布する福賀累層の流紋岩溶岩とそれを貫く花崗岩類は共通の Sr, Nd 同位体初生値をもつ起源物質に由来する同じマグマ溜まりからの一連の火山-深成作用によって形成されたものであると考えられる。

結 論

1. 阿武層群福賀累層の流紋岩溶岩とそれを貫く花崗岩類には主成分および Ba を除く微量元素成分いずれについても明瞭な違いが認めにくく、分化に伴いほぼ同一の組成変化を示す。さらに、花崗岩類にみられる Ba のトレンドはカリ長石の分別の影響によるものと考えられる。

2. 流紋岩溶岩および花崗岩類について、以下の Rb-Sr 年代と Sr 同位体初生値を得た。

流紋岩溶岩 (全岩) : 86.8 ± 2.8 Ma, 0.70544 ± 0.00024 (MSWD 0.07)

花崗岩類 (全岩) : 85.0 ± 3.1 Ma, 0.70526 ± 0.00023 (MSWD 0.23)

黒雲母花崗岩 (全岩-鉱物) : 79.7 ± 5.3 Ma, 0.70521 ± 0.00017 (MSWD 0.58)

流紋岩溶岩・花崗岩 : 87.0 ± 3.1 Ma, 0.70526 ± 0.00025 (MSWD 0.35)

流紋岩溶岩と花崗岩の Rb-Sr 年代および Sr 同位体初生値はすべて誤差範囲で一致している。これらの年代は地質関係と矛盾せず、阿武地域において信頼できるはじめての Rb-Sr アイソクロン年代といえる。

3. 福賀累層の流紋岩溶岩と花崗岩類は εSr-εNd 図上で同じ領域にプロットされること、全岩の主成分および微量元素成分が類似することから阿武地域の火成岩類は共通の Sr, Nd 同位体比をもつ起源物質に由来し、同じマグマ溜まりから一連の火山-深成作用によって形成されたものと考えられる。

謝 辞

島根大学総合理工学部の赤坂千秋さんには微量元素の抽出に関してご指導いただくとともに有益な助言をいただいた。

蛍光 X 線分析装置の使用にあたっては山口大学機器分析センターの永尾隆志助教授、森福洋二技官に使用の便宜を図っていただいた。また、本研究の費用の一部に文部省科学研究費補助金を使用した。以上の方々および関係当局に厚くお礼を申し上げます。

文 献

荒牧重雄・横山 泉, 1979, 火山の深部構造と浅部構造, マグマ溜まり. 岩波講座地球科学, 7, 157-172.
 地質調査所, 1992, 100 万分の 1 日本地質図 第 3 版.
 Hanson, G. N., 1978, The application of the trace elements to the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 38, 26-43.
 Hurford, A. J., 1990, Standardization of fission track dating calibration: Recommendation by the Fission Track Working Group of the I. U. G. S. Subcommittee on Geochronology. *Chem. Geol.*, 80, 171-178.
 飯泉 滋, 1996, 表面電離型質量分析計, MAT 262 による岩石・鉱物試料の Sr, Nd 同位体組成の測定. 島根大地球資源環境学研報, no. 15, 153-159.
 Iizumi, S., Maehara, K., Morris, P. A. and Sawada, Y., 1994, Sr isotope data of some GSJ rock reference samples. *Mem. Fac. Sci. Shimane Univ.*, 28, 83-86.
 Iizumi, S., Morris, P. A. and Sawada, Y., 1995, Nd isotope data for GSJ reference samples JB-1 a, JB-3 and JG-1 a and the La Jolla standard. *Mem. Fac. Sci. Shimane Univ.*, 29, 73-76.
 Imaoka, T., Nakajima, T. and Itaya, T., 1993, K-Ar ages of hornblendes in andesite and dacite from the Cretaceous Kanmon Group, Southwest Japan. *Jour. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*, 88, 265-271.
 Imaoka, T. and Nakashima, K., 1983, Temporal and spatial variations of magnetic susceptibility of Cretaceous to Neogene igneous rocks from the central and western Chugoku Province, Japan. *Jour. Sci. Hiroshima Univ., Ser. C*, 8, 1-30.
 今岡照喜・大平 武・沢田順弘・板谷徹丸, 1994, 中国・四国地方における白亜紀～第三紀火成岩類の放射年代. 岡山理科大学自然科学研報, no. 20, 3-57.
 今岡照喜・上田 薫・村上允英・鈴木哲夫・脇坂安彦・甲斐野信一・横山義人・佐々木浩, 1984, 山口県十種ヶ峰周辺の白亜紀阿武層群. 山口大教養部紀要, 18, 79-101.
 IUGS Subcommittee, 1973, Plutonic rocks, classification and nomenclature recommended by the IUGS Subcommittee on the systematics of igneous rocks. *Geotimes*, 18, 26-30.
 岩生周一, 1950, 山口県宇田郷名振鉱山の蠟石鉱床について. 地調月報, 1, 1-7.
 角縁 進・永尾隆志・今岡照喜・松本雅夫・白木敬一, 1989, 蛍光 X 線分析装置による岩石中の微量元素の定量. 山口大教養部紀要, 23, 43-54.
 神谷雅晴, 1974 a, 山口県宇久ろう石鉱山の熱水変質作用. 鉱山地質, 24, 31-43.
 神谷雅晴, 1974 b, 山口県阿武地域白亜系の層序および地質構造—阿武地区ろう石鉱床の研究 その 1—. 地調月報, 25, 105-118.
 Kamitani, M., 1977, Genesis of the andalusite-bearing Roseki ore deposits in the Abu district, Yamaguchi Prefecture, Japan. *Rept. Geol. Surv. Japan*, 28, 201-264.
 河野義礼・植田良夫, 1966, 本邦火成岩の K-Ar dating (V) —西南日本の花崗岩類—. 岩鉱, 56, 191-206.
 Kitagawa, R., Nishido, H. and Takeno, S., 1988, K-Ar ages of pyrophyllite ("Roseki") deposits in the Chugoku district, Southwest Japan. *Mining Geol.*, 38, 357-366.
 村上允英, 1968, 地質図「須佐」図幅, 山口県地質図 (5 万分の 1).
 Murakami, N., 1974, Some problems concerning late Mesozoic to early Tertiary igneous activity on the inner side of Southwest Japan. *Pacific Geol.*, no. 8, 139-151.
 村上允英, 1985, 中国地方西部における中生代後期～古第三紀火成活動史. 地質雑, 91, 723-742.

- 村上允英・今岡照喜, 1986 編, 「西中国および周辺地域の酸性～中性火成活動」, 山口大教養部紀要, 村上允英教授記念号, 419 pp.
- 西村祐二郎・今岡照喜・宇多村 譲・亀谷 敦, 1995, 新編山口県地質図 (1:150,000), 山口地学会.
- Seki, T., 1978, Rb-Sr geochronology and petrogenesis of the Late Mesozoic igneous rocks in the Inner Zone of the southwestern part of Japan. *Mem. Fac. Sci. Kyoto Univ.*, **45**, 71-110.
- 柴田 賢・神谷雅晴, 1974, 山口県阿武地区ろう石鉱床の K-Ar 年代—阿武地区ろう石鉱床の研究 その 2—, 地調月報, **25**, 323-330.
- Steiger, R.H. and Jäger, E., 1977, Subcommission on geochronology, convention on the use of decay constants in geo- and cosmo-chronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**, 359-362.
- Stern, C.R. and Wyllie, P.J., 1981, Phase relations of I-type granite with H₂O to 35 kilobars: the Dinkey Lakes biotite-granite from Sierra Nevada batholith. *Jour. Geophys. Res.*, **86**, 10412-10422.
- Stern, C.R., Wuu-/Liang and Wyllie, P.J., 1975, Basalt-andesite-rhyolite-H₂O: Crystallization interval with excess H₂O and H₂O-undersaturated liquidus surfaces to 35 kilobars, with implication for magma genesis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **28**, 189-196.
- 高橋正樹, 1990, マグマ溜まり: 形態・構造・進化. 火山, **34**, S 83-S 98.
- Terakado, Y. and Nakamura, N., 1984, Nd and Sr isotopic variations in acidic rocks from Japan: significance of upper-mantle heterogeneity. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **87**, 407-417.
- 上田 薫・西村 進, 1982, 阿川-湯本および青海島地域に分布する白亜紀後期火山岩類の層序とフィッショソ, トラック年代. 日本地質学会第 89 年学術大会講演要旨, 382.
- York, D., 1966, Least-squares fitting of a straight line. *Can. Jour. Phys.*, **44**, 1079-1086.

(要 旨)

弓削智子・今岡照喜・飯泉 滋, 1998, 山口県阿武地域における白亜紀流紋岩類と花崗岩類の全岩化学組成および Sr, Nd 同位体比. 地質雑, **104**, 159-170. (Yuge, T., Imaoka, T. and Iizumi, S., 1998, Whole-rock chemistry and Sr and Nd isotope ratios of Cretaceous rhyolites and granitoids in Abu district, Yamaguchi Prefecture, Southwest Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **104**, 159-170.)

山口県阿武地域に分布する白亜紀阿武層群の流紋岩とそれを貫く花崗岩類の成因的關係について検討した. 両者には全岩化学組成 (Ba を除く) について顕著な差異は認められない. 流紋岩および花崗岩類はそれぞれ, 86.8 ± 2.8 Ma (SrI 値 0.70544 ± 0.00024), 85.0 ± 3.1 Ma (0.70526 ± 0.00023) の Rb-Sr 全岩年代と Sr 同位体初生値を示す. それらの全試料からは, 87.0 ± 3.1 Ma (0.70526 ± 0.00025) のアイソクロンが求められた. 一方, 花崗岩の全岩-鉱物アイソクロン年代は 79.7 ± 5.3 Ma (0.70521 ± 0.00017) を示す. 両者の産状, 全岩組成, Sr, Nd 同位体比のデータから, 阿武地域の流紋岩と花崗岩類は, 共通の Sr, Nd 同位体比をもつ起源物質に由来し, 同じマグマ溜まりから一連の火山-深成作用によって形成されたものと考えられる.