

山口県における白亜紀吉部コールドロンおよび関連岩類の K-Ar 年代： 西中国地域における白亜紀火山-深成活動の時空変遷

K-Ar ages of Cretaceous Kibe cauldron and related rocks in Yamaguchi Prefecture: spatiotemporal variation of Cretaceous volcano-plutonism in western Chugoku district, SW Japan

Abstract

K-Ar analyses of hornblendes and biotites separated from the Kibe cauldron that is a type locality of the Shunan Group and the associated intrusives (Iwagoyama granite), and from the Yamaguchi cauldron and Shikuma plutonic complex that are correlated with the Kibe cauldron, are carried out to reveal temporal and spatial variations of Cretaceous volcano-plutonism in the western Chugoku district, SW Japan. The age results including the previous radiometric ages on the Shunan Group and the closely associated intermediate intrusive rocks have revealed that a series of volcano-plutonism of the Shunan Group occurred between 100 and 90 Ma in the restricted southern part of the Chugoku Mountain ranges (Setouchi side). Volcanic rocks of the Kanmon Group predating the Shunan stage are inferred to be 110-100 Ma in age, being spreaded over the whole western Chugoku district from Japan Sea side to Setouchi side. The volcano-plutonism of the Abu Group and the related intrusive rocks following the Shunan stage is dated to be 90-80 Ma, and expands on the northern part of the Chugoku Mountain ranges (Japan Sea side).

Key words: Cretaceous, cauldron, K-Ar age, volcano-plutonism, Shunan Group, Yamaguchi Prefecture

岸 司* 今岡照喜**
東風平 宏*** 西村祐二郎**
板谷徹丸****

*Tsukasa Kishi**, *Teruyoshi Imaoka***,
*Hiroshi Kochihira****, *Yujiro Nishimura***
*and Tetsumaru Itaya*****

2007年4月18日受付.

2007年7月10日受理.

* アイドルエンジニアリング株式会社
IDOWR Engineering Co., Ltd., Umesato 1-7-7, Suginami-ku, Tokyo 166-0011, Japan

** 山口大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering,
Yamaguchi University, Yoshida 1677-1, Yamaguchi 753-8512, Japan

*** 基礎地盤コンサルタンツ株式会社九州支店
Kiso-Jiban Consultants Co., Ltd., Hara, Sawara-ku, Fukuoka 814-0022, Japan

**** 岡山理科大学自然科学研究所
Research Institute of Natural Sciences,
Okayama University of Science, 1-1 Ridai-cho, Okayama 700-0005, Japan

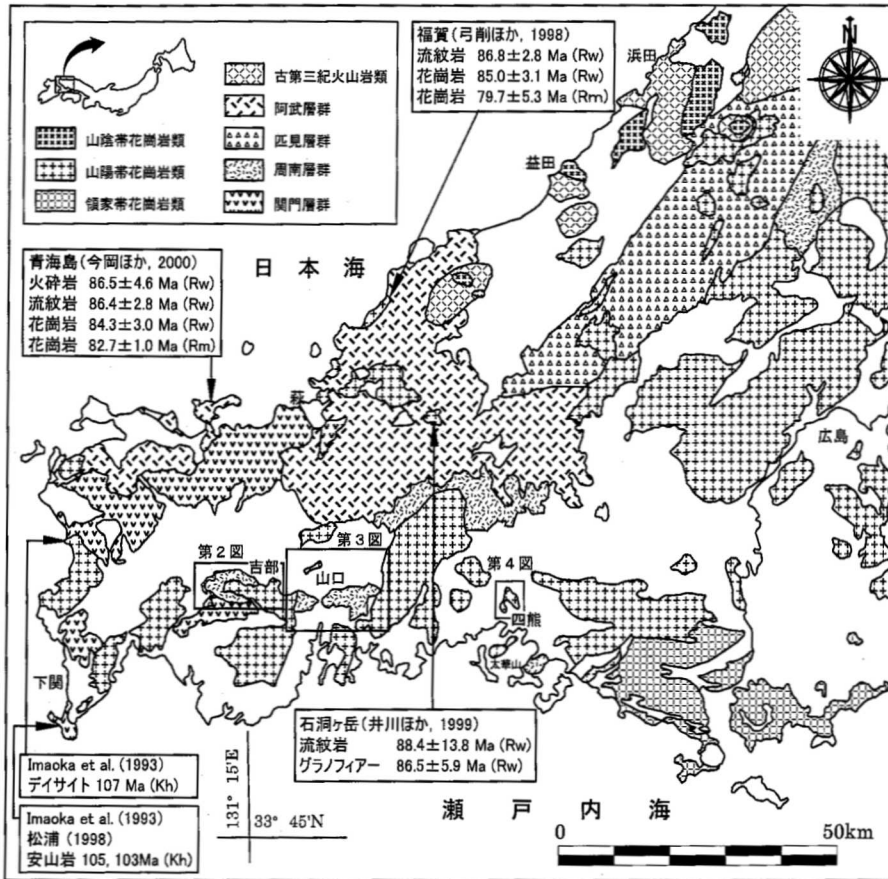
Corresponding author; T. Imaoka,
imaoka@yamaguchi-u.ac.jp

はじめに

西南日本内帯においては白亜紀-古第三紀に火山-深成活動が活発に行われ、大規模な珪長質火山活動の産物とその地下での固結体である花崗岩類が広く分布している。これら火成岩類の時空分布に関する情報は、西南日本における火成岩類の成因や白亜紀-古第三紀テクトニクスを解明する上でも重要である。西南日本内帯における花崗岩類は、その産状、岩相、岩石や鉱物の化学組成、帯磁率、放射年代などの特徴によって、中央構造線から北に向かって領家帯・山陽帯・山陰帯の3帯に区分されている (Ishihara, 1971, 1977; Murakami, 1974; 飯泉ほか, 1985)。領家帯と山陽帯には白亜紀の火成岩類が、山陰帯には後期白亜紀-古第三紀の火成岩類が広く分布している (第1図)。このうち山陰地域に分布する火成岩類はその系統的な年代測定に基づいて、後期白亜紀火山岩類とそれを貫く80 Ma前後の年代を示す用瀬期貫入岩類、75-50 Maの年代を示す因美期貫入岩類と随伴火

山岩類、および44-30 Maを示す田万川期火山岩類と貫入岩類に区分される (西田ほか, 2005)。一方、山陽帯に分布する白亜紀火山岩類は、中国地方西部では下位から関門層群、周南層群^{しゅうなん}、匹見層群および阿武層群に層序区分されてきた (村上・今岡, 1986)。しかし、それらの放射年代については、上記火山岩層の大半が火砕岩類で構成されること、普遍的に変質作用が進んでいること、およびしばしば花崗岩類によって接触変成作用を受けていることから放射年代測定に適した試料を得がたく、関門層群と阿武層群を除いて明らかではない (第1図)。また花崗岩類については、放射年代データの蓄積に伴って山陽帯に分布する花崗岩類のステージ区分 (古期, 中期および新期: 村上, 1985) が試みられてきたが、その後の年代データをも踏まえたステージ区分については未検討である。このように、白亜紀の大規模な珪長質-中間質火成岩類の時空分布を明らかにするには至っていない。

上記白亜紀火山岩層のうち周南層群は、中国脊梁山地以南に分布する安山岩溶岩やデイサイト-流紋岩質火砕岩からな



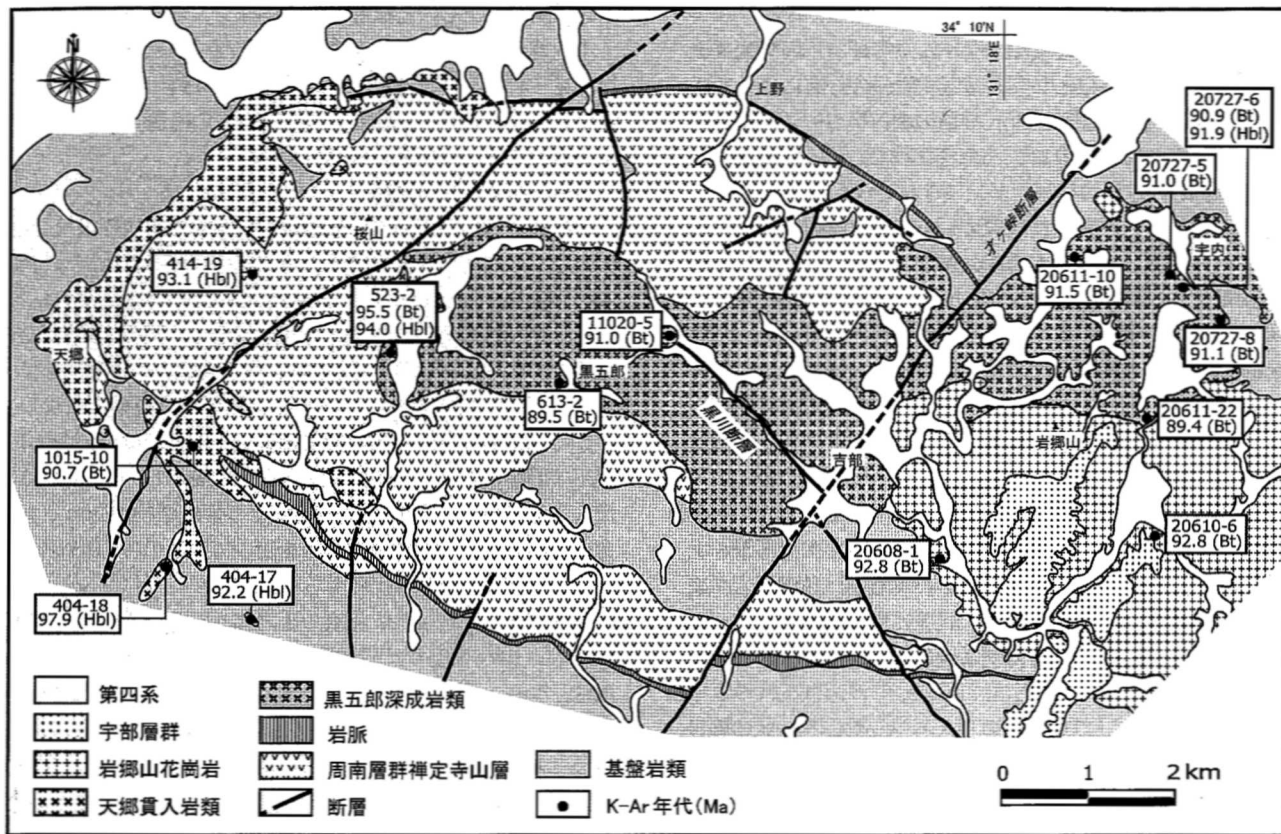
第1図. 西中国地域における白亜紀-古第三紀火成岩類の分布 (今岡, 1986 を改変) と白亜紀火山岩類および関連貫入岩類の K-Ar および Rb-Sr アイソクロン年代. Rw: Rb-Sr 全岩アイソクロン年代, Rm: Rb-Sr 鉱物-全岩アイソクロン年代, Kh: 角閃石 K-Ar 年代.

り, 石英閃緑岩や花崗閃緑岩, 少量の斑れい岩を密接に伴う (第1図). 本層群は禪定寺山層と物見ヶ岳層に2分される (村上・長谷, 1967). Murakami and Matsusato (1970) は禪定寺山層を構成する火山岩体を広域的に検討し, それらを西側から吉部岩体, 禪定寺山岩体, 平野岩体および太華山岩体と呼称し, 太華山岩体を除くそれぞれの火山岩体がコールドロンを形成していると認定した. その根拠として, ①火山岩層と基盤岩の間に環状断層が存在すること, ②湖成の凝灰質砂岩や頁岩などは, カルデラ湖で形成されたものであること, ③斑れい岩-花崗閃緑岩が環状の破碎構造に沿って貫入したと推定されること, があげられている. その後, 筆者らも吉部岩体の地質・構造を再検討し, これがコールドロンを埋積する禪定寺山層, 環状岩脈をなす天郷貫入岩類および中央深成岩体を構成する黒五郎深成岩類からなるコールドロンを形成していることを確認したので, 吉部コールドロンの名称を用いる. また, 武田・今岡 (1999) は山口地域において禪定寺山岩体や平野岩体を取り囲む環状岩脈を見出し, 山口コールドロンを提唱している. これによって禪定寺山岩体や平野岩体は山口コールドロンを充填していた火山岩類の残存物と見なされるようになった.

吉部コールドロンの放射年代については, 石英斑れい岩について 84.7 ± 4.2 Ma の全岩 K-Ar 年代, 石英閃緑岩について 86.5 ± 4.4 Ma のジルコンによるフィッシュトラック (FT) 年代, およびデイサイト質溶結凝灰岩について $85.2 \pm$

5.1 Ma のジルコンによる FT 年代が村上 (1985) によって報告されている. しかし, 前者の K-Ar 年代は深成岩であるにもかかわらず全岩年代であり, 後二者の FT 年代は FT 年代測定較正法の標準化に関する国際勧告 (Hurford, 1990) 以前の年代であるため, 吉部コールドロンの正確な形成年代を求めるためには再検討が必要である.

本研究では, 西南日本, とくに西中国地域における白亜紀火成岩類の時空分布に関する研究の一環として周南層群とそれに密接に伴う深成岩類に焦点をあて, まず模式地である吉部コールドロンを構成する火成岩類の K-Ar 年代について検討する. 次に, 同時期の火成活動の空間的広がりを明らかにするために, 吉部コールドロンに対比されてきた山口コールドロンの火山岩類, および同じ山陽帯にあって吉部コールドロンの深成岩類と類似した岩質や貫入関係を示す四熊地域の深成岩類の K-Ar 年代測定を行い, それらの白亜紀火山-深成活動における年代学的位置づけについて議論する. なお, これまで禪定寺山層 (Zenjoji-yama Formation) や物見ヶ岳層 (Monomidake Formation) と記載されてきた地層名については, 本報告では地層命名の指針に基づいて, それらの定義を変更することなく, 「累」をとって禪定寺山層および物見ヶ岳層と記述する. 英語名に変更はない. また最後に, 西中国地域における白亜紀火山-深成活動のステージ区分とその広がりについても議論する.



第2図. 山口県吉部地域の地質図と K-Ar 年代. Hbl: 角閃石 K-Ar 年代 (Ma), Bt: 黒雲母 K-Ar 年代 (Ma).

吉部コールドロンおよび関連岩類の地質・岩石の概略

本章では、おもな研究対象とした吉部コールドロンとその周辺地域における地質・岩石の概略について記述し、次に関連岩類として比較検討を行う山口コールドロンと四熊地域の深成岩類について述べる。

1. 吉部コールドロン

吉部コールドロンは、山口県美祿市南東部から宇部市北部にかけて位置し、東西約 15 km、南北約 7 km のほぼ楕円形の形態を示す (第 1 図)。コールドロンの基盤は多様な地質体から構成され、古い方から石炭-ペルム系の秋吉石灰岩層群、大田層群および常森層、トリアス-ジュラ紀の変成年代を示す周防変成岩、トリアス系の厚保層群と美祿層群、ならびに下部白亜系関門層群に区分される。吉部コールドロンは、上部白亜系周南層群禪定寺山層、岩脈、黒五郎深成岩類および天郷貫入岩類からなり、東側でより新期の広島花崗岩類に相当する岩郷山花崗岩に貫かれ、古第三系宇部層群に不整合で覆われる (第 2 図)。

禪定寺山層は黒五郎深成岩類を取り巻くようにコールドロン内に広く分布する。岩脈はコールドロン南部と北部の一部において、禪定寺山層と基盤岩類との境界部に比較的連続性よく分布し、珩長岩や石英斑岩からなる。

黒五郎深成岩類はコールドロンの中央-東部に東西約 11 km、南北最大約 3 km の細長い形態で分布し (第 2 図)、中

央深成岩体をなす。石英モンゾ斑れい岩、石英閃緑岩、花崗閃緑岩、花崗岩 (IUGS Subcommission, 1973 による) およびアプライト質花崗岩からなる。禪定寺山層を貫き、それに接触変成作用を与えている。また、岩体東部の岩郷山付近では岩郷山花崗岩に貫入され、接触変成作用を受けている。接触部付近の岩石は、部分的に鏡下で明瞭なグラノプラスチック組織を示し、黒雲母、角閃石、単斜輝石、斜長石、石英、電気石などの変成鉱物が認められ、角閃岩相高温部に達している。なお、調査地域中央部の黒五郎以東に分布する深成岩類の貫入関係や岩石記載については、村上・光田 (1954)、村上 (1960) および瀬尾 (1976) によって報告されている。

天郷貫入岩類はコールドロンの北西部-西部-南西部の基盤岩類と禪定寺山層の境界部にアーチ状に分布し、環状岩脈を構成する。おもに斑状組織の顕著な石英閃緑岩や石英モンゾ斑れい岩からなり、一部に閃緑ひん岩やグラノフィアを伴う。

コールドロンの東部には吉部付近を北東-南西方向のオケ峠断層 (Kobayashi, 1941 によるオケ峠構造線) が通過しており、本地域の岩相分布から判断すれば、左横ずれのセンスを有する断層と考えられる。この断層は本地域の北東方で山口コールドロンの北西部 (第 3 図) にその延長部が見られる。また、吉部から黒五郎北東に見られる断層は黒川断層と呼ばれる確実度 II の活断層である (第 2 図)。

2. 山口コールドロン

山口県中央部の山口地域にはペルム系宮野層、周防変成岩および関門層群を基盤とし、複合環状岩脈の分布によって示される長径 15 km, 短径 13 km 規模の楕円形コールドロンが認定され、山口コールドロンと命名されている (第 3 図; 武田・今岡, 1999).

削剥が進み、コールドロン内にも上記の基盤岩類が広く分布する。コールドロンの南西部の禪定寺山周辺や中東部の黒河内山周辺には、Murakami and Matsusato (1970) によって周南層群の禪定寺山岩体および平野岩体と呼ばれた火山岩体がそれぞれ分布する。これらを構成する火山岩類はおもにデイサイト質火砕岩からなり、その上に流紋岩質結晶凝灰岩が重なる。この流紋岩質結晶凝灰岩は、岩相・岩質から周南層群ではなく、阿武層群に属する可能性が高い。

複合環状岩脈は、溶結火山礫凝灰岩、出葉酸性岩類および桂ヶ岳花崗斑岩から構成される古期環状岩脈と阿武層群の火山岩噴出後に貫入したと考えられる石英斑岩、花崗斑岩および貫入性角礫岩からなる新期環状岩脈に区分される。コールドロン内には、環状岩脈とは別系統の石英斑岩も分布している。

山口コールドロンでは 2 回のピストンシリンダー状の陥没が認められ、古期と新期の環状岩脈はそれぞれ第 1 次と第 2 次の陥没に対応して環状断層にそって貫入したものである。第 1 次と第 2 次陥没はそれぞれ周南層群と阿武層群の火山

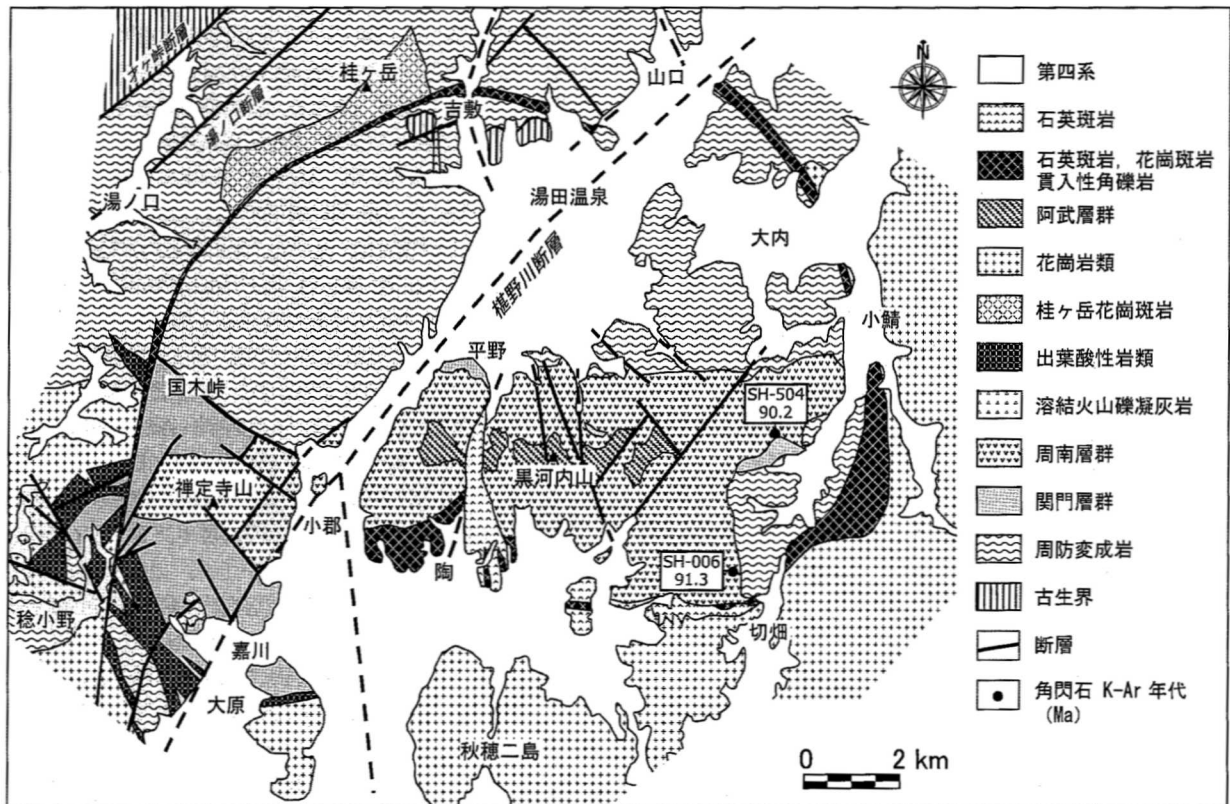
活動に関連したものと推定されている。

本地域には北東-南西方向および北西-南東方向の高角断層が見られるが、コールドロン中央部の榎野川断層によって環状岩脈が 2.6 km ずれている。同方向の断層としては、湯ノ口断層やオヶ峠断層も規模が大きい。

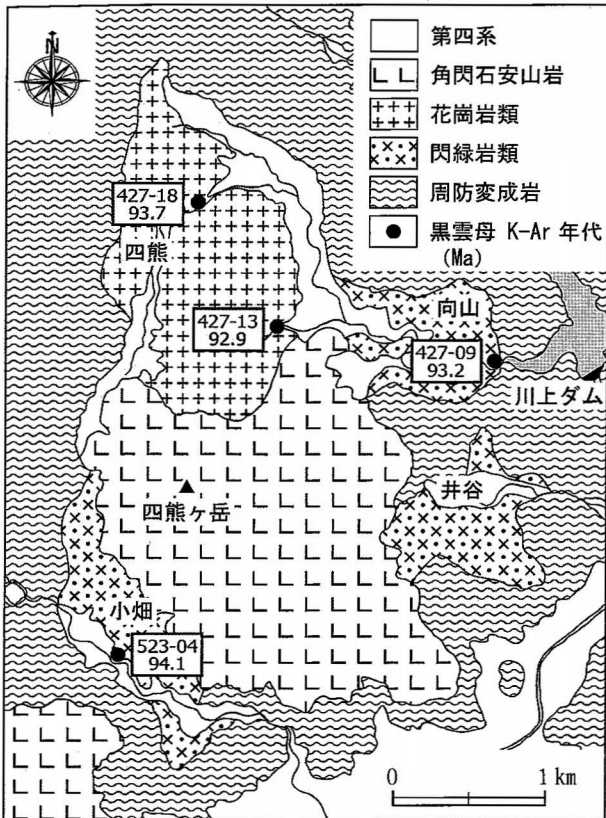
3. 四熊地域の深成岩類

本岩類は山口県周南市四熊地域に分布する小規模な複合岩体をなし、周防変成岩を貫き、第四紀の角閃石安山岩 (青野火山岩古期; Furuyama et al., 2002) に不整合に覆われる (第 4 図)。深成岩類は岩相と分布状況から、閃緑岩類と花崗岩類とに区分されるが、閃緑岩類と花崗岩類との接触関係は、角閃石安山岩に不整合に覆われているため、観察されない。しかし閃緑岩類は、花崗岩類に近接する部分では、部分的に鏡下で明瞭なグラノプラスチック組織を示し、黒雲母、角閃石、単斜輝石、斜長石、石英などの変成鉱物が認められ、角閃岩相高温部の接触変成作用を受けているので、花崗岩類より先に貫入したものと考えられる。

花崗岩類は 1 x 2 km 程度の小岩体をなし、肉眼では優白質で細-中粒を呈し、岩相変化に乏しい。モード組成では IUGS Subcommission (1973) による花崗岩に分類される。一方、閃緑岩類としたものは四熊ヶ岳の角閃石安山岩に覆われるために地表では向山、井谷および小畑に小岩体として散在分布するが、地下では連続し、直径約 3.5 km に及ぶ岩体をなすと予測される。肉眼的には、優黒質で細-粗粒の岩石



第 3 図. 山口県山口地域の地質図 (武田・今岡, 1999 を一部簡略化) と K-Ar 年代.



第4図. 山口県四熊地域の地質図と K-Ar 年代

(向山, 井谷地域) と, 優白質で中粒の岩石 (小畑地域) とに区分される。これらはモード組成的には, 石英閃緑岩-トータル岩-花崗閃緑岩の領域にプロットされ, 岩相変化に富み, 漸移的に変化している。

K-Ar 年代

まず, 吉部コールドロンの形成時期を明らかにするために, 周南層群禪定寺山層の安山岩, 黒五郎深成岩類, 天郷貫入岩類および岩郷山花崗岩の角閃石や黒雲母の K-Ar 年代を測定した。次に, 吉部コールドロンの形成と同時期の火成活動の時空分布を明らかにするために, 従来それに対比されてきた山口コールドロンを構成するデイサイト質凝灰岩の角閃石 K-Ar 年代, および吉部コールドロンの貫入岩類と類似した岩質や貫入関係を示す四熊地域の深成岩類の黒雲母 K-Ar 年代についても検討した。

I. 測定試料

火成岩類の冷却年代の解明を目的とした K-Ar 年代測定試料の選択においては, 接触変成作用の影響の全くない試料を選択するのが理想的であることは言うまでもない。しかし, 今回検討したすべての岩体の周辺でより新期の広島花崗岩類の活動が知られている。そこで測定試料の選択にあたっては接触変成作用の有無に留意しつつ, 得られた K-Ar 年代への接触変成作用の影響を評価するために, 接触変成作用の認められない岩石だけでなく, 接触変成帯最外側部 (緑色片岩相の最低温部) で弱い接触変成作用を被った岩石についてもあ

わせて年代測定を行った。また, 角閃石は黒雲母より Ar 保持能力が高く (Hart, 1964), 閉鎖温度も高いことを考慮して, 良好な角閃石を含む岩石試料からはできるだけ角閃石を分離・測定するようにした。下記に測定試料の概要を述べ, その一覧と採取位置を第1表に示す。第1表では, 弱い接触変成作用の認められる試料には試料番号の後に*をつけて区別している。個々の岩石記載については, 付録を参照されたい。

吉部コールドロンからは禪定寺山層の角閃石両輝石安山岩溶岩 (no. 414-19) 中の角閃石を, 黒五郎深成岩類の石英閃緑岩 (nos. 523-2, 20611-10, 20727-6, 20727-8, 20727-5, 20611-22) と石英モンゾ斑れい岩 (nos. 11020-5, 613-2) 中の角閃石と黒雲母を, 天郷貫入岩類の閃緑ひん岩 (nos. 404-18, 404-17) と閃緑岩 (no. 1015-10) 中の角閃石と黒雲母を, それぞれ分離して測定に供した。

岩郷山花崗岩では, 花崗岩 2 試料 (nos. 20608-1, 20610-6) の黒雲母を分離して測定に供した。

山口コールドロンからは, 岩体の東部でデイサイト質凝灰岩を 2 試料 (nos. SH-504, SH-006) を採取し, 本質斑晶とみなされる角閃石を分離して測定に供した。

四熊地域の深成岩類では, 石英閃緑岩 2 試料 (nos. 523-04, 427-09) および花崗岩 2 試料 (nos. 427-18, 427-13) の黒雲母を分離して測定に供した。

2. 測定試料の調整と測定方法

測定試料とした鉱物の分離は, 岩石の新鮮な部分を切り取り, それをまずステンレスの鉢で小さく砕き, その後旋回粉砕器を用いてさらに細かくした。その粉末のサイズを標準篩で整えた (第1表)。そして, 混在している不純物を取り除くために電磁分離と重液分離を繰り返した。角閃石については塩酸処理を施し, それに付着している磁鉄鉱などの不純物を取り除き精製した。分離の精度はいずれも 99 % 以上である。年代測定は岡山理科大学自然科学研究所において行った。

K および Ar の分析法と年代計算法は, 長尾・板谷 (1988) および Itaya et al. (1991) に従った。また, 年代値の算出には Steiger and Jäger (1977) の壊変定数を用いた。

3. 測定結果

測定結果を第1表ならびに第2, 3 および 4 図に示す。吉部コールドロンの角閃石両輝石安山岩溶岩中の角閃石で 93.1 ± 4.7 Ma が得られた。黒五郎深成岩類については, 石英閃緑岩と石英モンゾ斑れい岩について検討した。石英閃緑岩の角閃石で 94.0 ± 4.8 と 91.9 ± 4.6 Ma, 黒雲母では 95.5 ± 2.1 , 91.5 ± 2.0 , 90.9 ± 2.0 , 91.1 ± 2.0 , 91.0 ± 2.0 および 89.4 ± 2.0 Ma が得られた。最も古い年代 (角閃石の 94.0 ± 4.8 Ma, 黒雲母の 95.5 ± 2.1 Ma) を示す試料 (523-2) は, 岩体の西端から得られたものである (第2図)。石英モンゾ斑れい岩では, 黒雲母で 91.0 ± 2.0 と 89.5 ± 2.0 Ma が得られた。天郷貫入岩類については, 角閃石で 97.9 ± 2.2 と 92.2 ± 2.1 Ma, 黒雲母で 90.7 ± 2.0 Ma が得られ, 黒五郎深成岩類と誤差範囲で一致する。

岩郷山花崗岩の黒雲母は, 2 試料とも同じ 92.8 ± 2.0 Ma を示した (第2図)。

第1表 K-Ar年代測定結果

試料 no. (鉱物名)	採取位置 (緯度・経度)	サイズ (#)	K含有量 (wt.%)	放射起源 ^{40}Ar (10^{-8}ccSTP/g)	K-Ar年代 (Ma)	非放射起源 Ar (%)
禅定寺山層(角閃石両輝石安山岩)						
414-19 (角閃石)	34°8'32" 131°12'03"	60-80	0.41±0.02	153.5±2.1	93.1±4.7	27.1
黒五郎深成岩類(石英閃緑岩)						
523-2 (角閃石)	34°8'04" 131°13'10"	100-150	0.42±0.02	156.1±2.4	94.0±4.8	33.0
523-2 (黒雲母)		60-100	7.48±0.15	2844±28	95.5±2.1	4.2
20611-10* (黒雲母)	34°8'44" 131°18'33"	80-150	7.54±0.15	2748±29	91.5±2.0	3.9
20727-6 (角閃石)	34°8'28" 131°19'34"	80-150	0.40±0.02	144.5±1.7	91.9±4.6	13.1
20727-6 (黒雲母)		80-150	7.33±0.15	2652±27	90.9±2.0	3.2
20727-8* (黒雲母)	34°8'13" 131°19'43"	80-150	7.24±0.15	2623±27	91.1±2.0	3.5
20727-5* (黒雲母)	34°8'30" 131°19'25"	80-150	7.69±0.15	2785±29	91.0±2.0	5.2
20611-22* (黒雲母)	34°7'46" 131°19'06"	80-100	7.27±0.15	2585±28	89.4±2.0	7.1
黒五郎深成岩類(石英モンゾ斑れい岩)						
11020-5 (黒雲母)	34°8'07" 131°15'25"	80-150	7.64±0.15	2768±32	91.0±2.0	7.4
613-2 (黒雲母)	34°7'48" 131°14'32"	80-150	7.81±0.16	2779±29	89.5±2.0	3.8
天郷貫入岩類(閃緑ひん岩, 閃緑岩)						
404-18 (角閃石)	34°6'26" 131°11'32"	80-150	0.68±0.02	266.3±3.1	97.9±2.2	15.0
404-17 (角閃石)	34°6'10" 131°12'15"	60-80	0.72±0.01	265.1±3.2	92.2±2.1	14.8
1015-10* (黒雲母)	34°7'33" 131°11'33"	80-150	7.36±0.15	2656±30	90.7±2.0	9.7
岩郷山花崗岩						
20608-1 (黒雲母)	34°6'35" 131°17'32"	80-100	6.88±0.14	2541±26	92.8±2.0	4.9
20610-6 (黒雲母)	34°6'44" 131°19'18"	80-100	7.41±0.15	2737±27	92.8±2.0	2.4
山口コールドロン(デイサイト質凝灰岩)						
SH-006* (角閃石)	34°5'33" 131°29'30"	80-150	0.50±0.01	181.1±2.4	91.3±2.1	25.4
SH-504 (角閃石)	34°7'05" 131°30'09"	80-150	0.51±0.01	182.5±1.9	90.2±2.0	8.6
四熊地域の深成岩類(石英閃緑岩)						
523-04 (黒雲母)	34°5'30" 131°45'11"	100-140	7.24±0.15	2712±28	94.1±2.1	2.1
427-09 (黒雲母)	34°6'33" 131°46'47"	100-140	7.52±0.15	2790±28	93.2±2.0	2.4
四熊地域の深成岩類(花崗岩)						
427-18 (黒雲母)	34°7'05" 131°45'29"	100-140	7.09±0.14	2695±26	93.7±2.0	1.9
427-13 (黒雲母)	34°6'40" 131°45'52"	100-140	7.29±0.15	2695±27	92.9±2.0	2.6

$^{40}\text{K}\lambda_{\beta} = 4.962 \times 10^{-10}/\text{y}$, $^{40}\text{K}\lambda_{\alpha} = 0.581 \times 10^{-10}/\text{y}$, $^{40}\text{K}/\text{K} = 0.01167 \text{ atm.}\%$

*: 弱い接触変成作用が認められるもの

山口コールドロンのデイサイト質凝灰岩中の角閃石では、 91.3 ± 2.1 と 90.2 ± 2.0 Ma が得られた。両者は誤差範囲で一致する(第3図)。

四熊地域の深成岩類の黒雲母は、石英閃緑岩が 94.1 ± 2.1 と 93.2 ± 2.0 Ma を、花崗岩が 93.7 ± 2.0 と 92.9 ± 2.0 Ma を、それぞれ示す(第4図)。

考 察

1. 接触変成作用による K-Ar 年代への影響

既述のように、吉部コールドロンの黒五郎深成岩類は東部地域において、岩郷山花崗岩によって貫かれ、角閃岩相高温部から緑色片岩相の最低温部くらいに接触変成作用を受けている。岩郷山北東部から宇内にかけての地域では、緑色片岩相の最低温部くらいのごく弱い接触変成作用を受けている試料(接触変成帯の最外側部)についても検討した(第2図)。この地域で年代を測定した試料のうち、接触変成作用の影響が鏡下で認められる4試料からの黒雲母は $91.5-89.4 \pm 2.0$ Ma を、接触変成作用の影響が鏡下で確認できない1試料の

黒雲母は 90.9 ± 2.0 Ma、角閃石は 91.9 ± 4.6 Ma を示す。これらはいずれもほぼ同じ $92-89$ Ma の年代を示す。一方で、岩郷山花崗岩中の黒雲母は2試料とも 92.8 ± 2.0 Ma を示し、上で述べた黒五郎深成岩類の年代と誤差の範囲内で一致する。このように岩郷山花崗岩は黒五郎深成岩類に接近して分布し、年代も一致するが、化学組成(未公表資料)や帯磁率(Imaoka and Nakashima, 1983)が異なるので、より新期の広島花崗岩類の活動によるものと考えられる。

オケ峠断層より西側の黒五郎深成岩類は接触変成作用を受けていないと見なされるが、黒五郎付近の試料では 91.0 ± 2.0 Ma と 89.5 ± 2.0 Ma (いずれも黒雲母) を示し、上記の岩体東部の年代と誤差範囲で同じである。しかし、岩体西縁部の試料では、黒雲母で 95.5 ± 2.1 Ma、角閃石で 94.0 ± 4.8 Ma の比較的古い年代を示す。

天郷貫入岩類の分布域では、まれに弱い接触変成作用(緑色片岩相の最低温部)を受けた岩石が産出している。その試料の黒雲母では 90.7 ± 2.0 Ma の年代を示すが、接触変成作用が認められない試料の角閃石では 97.9 ± 2.2 Ma と

92.2 ± 2.1 Ma で、前者は誤差を超えた古い年代を示す。

高見ほか (1993) は山口県東部の弱変成ジュラ紀付加体について、花崗岩の接触変成作用の影響によって、接触変成帯内だけでなく黒雲母アイソグランドより外側の泥質岩の白雲母 K-Ar 年代が系統的な若返りを示すことを明らかにした。それによれば、白雲母中の放射性アルゴンの逸脱は、黒雲母アイソグランドの外側 500 m の領域 (花崗岩との接触面から少なくとも 2.5 km 離れた地点) から始まり、黒雲母帯の低温部で急激に進行して、黒雲母帯高温部に至って完了するとされている。Miller et al. (1991), Leake (1998) および Jappy et al. (2001) は、黒雲母や白雲母 K-Ar と Rb-Sr 年代だけでなく、それより閉鎖温度の高いとされる角閃石を用いた K-Ar 年代や Rb-Sr 年代も、後のステージの花崗岩などからもたらされた低温の流体が同位体系へ影響をもたらす、リセットされることを示した。さらに、彼らは流体の循環による年代値のリセットは流体の温度 (275 ± 15 °C, Jappy et al., 2001) が角閃石における Ar 閉鎖温度 (冷却速度が 100 °C/m.y. の時, 500–550 °C, Harrison, 1981) 以下でも起こり得ること、流体の影響を受けた角閃石の K-Ar 年代の変化が水素同位体比の変化と相関することから、正確な年代を求めるためには、年代測定試料の水素同位体比測定を行い、流体の影響がないことを示す必要があることも指摘している。

本研究では上で述べたように、①黒五郎岩体西縁部の接触変成作用の影響が認められない試料で 95.5 ± 2.1 Ma (黒雲母) と 94.0 ± 4.8 Ma (角閃石) の比較的古い年代が得られている。②岩郷山北東部に分布する黒五郎深成岩類の角閃石の年代 (91.9 ± 4.6 Ma) は①で記述したものと誤差の範囲内で一致するものの、黒雲母の示す年代は接触変成作用の影響が確認できるかできないかに関わらず、全て 91.5–89.4 ± 2.0 Ma の一致した年代を示し、①で記述した黒雲母よりも誤差の範囲を超えて若い年代を含む。これらのことは高見ほか (1993) が指摘しているように黒雲母アイソグランドの外側 500 m の領域 (非接触変成帯) でも K-Ar 年代の若返りを起こしていることと整合的であり、岩郷山北東部で得られた 92–89 Ma の黒雲母の年代は、岩郷山花崗岩の貫入による若返り年代と見なされる。また、黒五郎付近の 91.0 ± 2.0 と 89.5 ± 2.0 Ma の年代についても、岩郷山北東部の年代と一致することや、近傍でより古い年代が得られていることから、岩郷山花崗岩あるいはそれと同時に活動したより新期の広島花崗岩類の活動によって若返っている可能性が高い。したがって、黒五郎深成岩類の冷却年代としては、接触変成作用の影響の及んでいないと考えられる 95.5 ± 2.1 Ma の黒雲母年代や 94.0 ± 4.8 Ma の角閃石年代を採用するのが妥当である。

天郷貫入岩類の 92.2 ± 2.1 Ma (角閃石) は 97.9 ± 2.2 Ma (角閃石) の角閃石年代と比較すると誤差範囲を超えて若く、上記の黒雲母の若返り年代 92–89 Ma に一致することや上記 Miller et al. (1991) などの角閃石年代のリセットに関する指摘を踏まえると、若返り年代と考えられる。97.9 ± 2.2 Ma (角閃石) の角閃石年代を冷却年代と考えるのが妥当である。

以上のように、黒五郎深成岩類と天郷貫入岩類は岩郷山花崗岩やそれに比較されるより新期の広島花崗岩類によって接触変成作用を受けて、K-Ar 年代が若返っていることを指摘してきた。次に、その若返りの程度を見積もってみよう。接触変成作用を受けていない後山火山岩の 93.1 ± 4.7 Ma を噴出年代、それを貫く黒五郎深成岩類の 94.0 ± 4.8 Ma (角閃石) と 95.5 ± 2.1 Ma (黒雲母) および天郷貫入岩類の 97.9 ± 2.2 Ma (角閃石) をそれぞれの冷却年代と見なしても、これらの年代値はより新期に貫入し接触変成作用を与えた岩郷山花崗岩の 92.8 ± 2.0 Ma (黒雲母) とは誤差範囲内の僅差を示すにすぎない。また、既述の若返り年代と考えられる 92–89 Ma と比較すると、黒五郎深成岩類の若返りは誤差範囲内の数 m.y. であり、天郷貫入岩類の若返りは最大でも 5 m.y. 程度と見積もることができる。

山口コールドロンでも 91.3 ± 2.1 Ma の試料に接触変成作用の影響が認められるので、高見ほか (1993) や Miller et al. (1991) などの指摘を踏まえると、91.3 ± 2.1 Ma だけでなく 90.2 ± 2.0 Ma の角閃石年代にも若返りの可能性がある。コールドロンを構成する環状岩脈などを含めた系統的な年代測定がなされていないので、その程度を評価することはできないが、数 m.y. と予測される。

四熊地域では、閃緑岩類が花崗岩類に貫入されていることが明らかのため、鏡下で接触変成作用の認められない石英閃緑岩の黒雲母について年代測定がなされ、94.1 ± 2.1 と 93.2 ± 2.0 Ma が得られている。高見ほか (1993) の指摘によれば、これらの値は花崗岩 (93.7 ± 2.0 と 92.9 ± 2.0 Ma) 貫入による若返り年代の可能性もある。若返りの程度を予測するデータはないが、上に示したのと同じように、数 m.y. と推定される。

以上のように、今回 K-Ar 年代測定を実施した全ての火成岩体は、より新期の広島花崗岩類に貫入され、接触変成帯の最外側部 (緑色片岩相の最低温度) ないしその外側 (非接触変成帯) の試料でも K-Ar 年代の若返りが認められる。しかし、若返りの程度は数 m.y. であり、最大でも 5 m.y. くらいと見積もられる。

2. 既報年代値との比較

今回、吉部コールドロンと岩郷山花崗岩、山口コールドロンおよび四熊地域の火成岩類について年代測定を行ったが、後二者については、既報の放射年代がないので吉部地域についてだけ既報年代との関係を述べる。

Seki (1978) は黒五郎深成岩類について 94 ± 4 Ma の Rb-Sr 黒雲母-全岩アイソクロン年代を報告している (第 5 図)。これは岩体の冷却年代を示すと考えられ、今回得られた黒雲母と角閃石の K-Ar 年代から、96–94 Ma を冷却年代と見なしたことも調和的である。

また、Iizumi et al. (2000) は黒五郎深成岩類について 100.6 ± 9.1 Ma (9 試料)、天郷貫入岩類について 86.7 ± 6.8 Ma (6 試料) の Rb-Sr 全岩アイソクロン年代 (Iizumi et al., 2000) を、加々美 (2005) は天郷貫入岩類について 83.6 ± 6.2 Ma (5 試料) の同年代を報告している。これらの報告ではアイソクロン図や年代計算結果だけが示され、岩石記載や

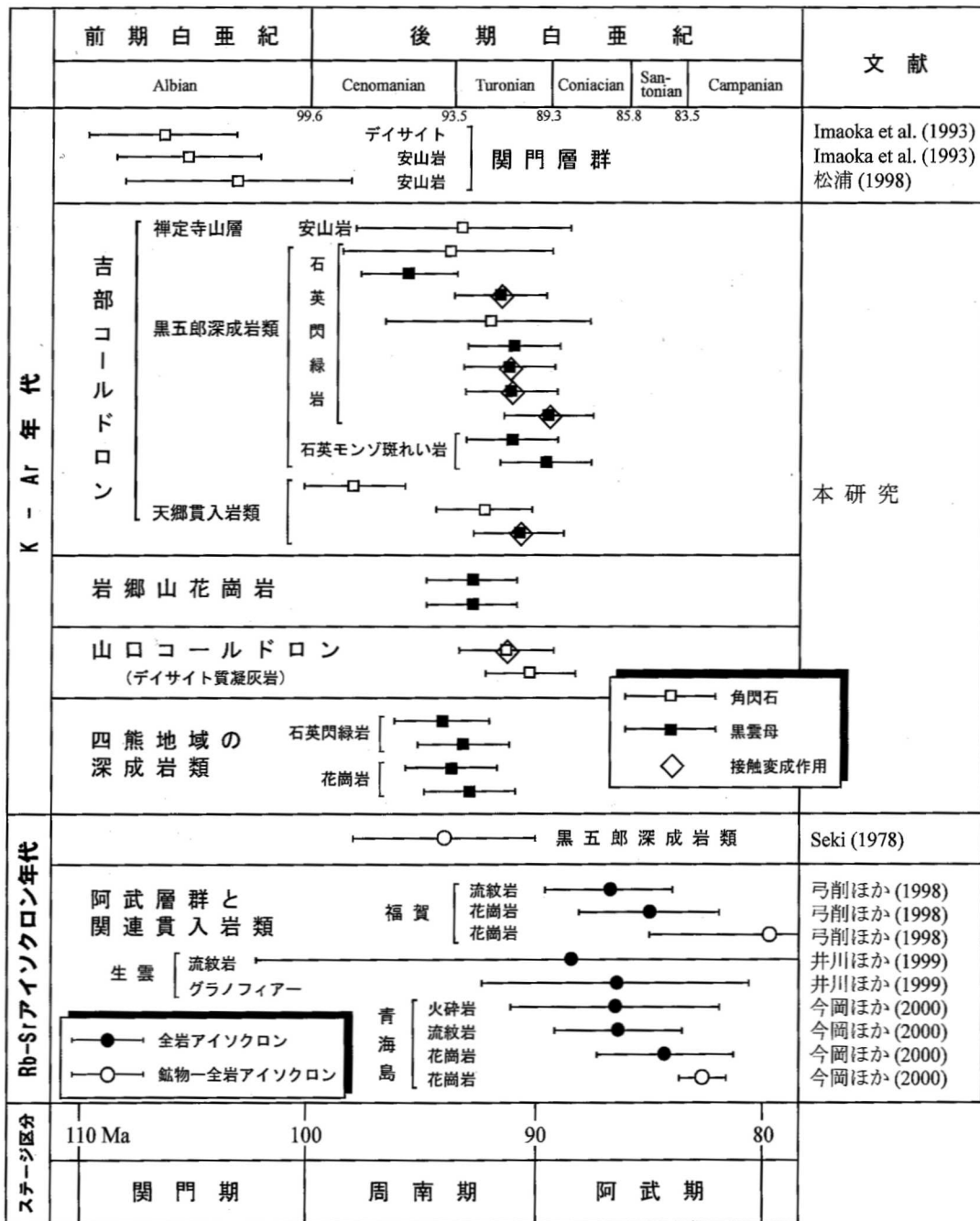
同位体データの提示がなされていないため、全岩アイソクロン年代の再検討ができないので、ここでは議論の対象にしない。

なお、既述のように村上 (1985) は、黒五郎深成岩類と見なされる石英斑れい岩について 84.7 ± 4.2 Ma の全岩 K-Ar 年代、および石英閃緑岩について 86.5 ± 4.4 Ma のジルコンによる FT 年代を、また禪定寺山層のものと見なされるデイサイト質溶結凝灰岩で 85.2 ± 5.1 Ma のジルコンによる FT

年代を報告している。しかし、これらは深成岩類の全岩 K-Ar 年代であったり、FT 年代測定較正法の標準化に関する国際勧告 (Hurford, 1990) 以前に測定された年代であるため、本報告の年代と比較はしない。

3. 西中国地域における白亜紀火山-深成活動の時空変遷

既述のように西中国地域における白亜紀火山岩類は、関門層群、周南層群、匹見層群および阿武層群に区分されてきた。この節では、これらの火山岩類や関連貫入岩類に関して今回



第5図. 西中国地域における白亜紀火山岩類と関連貫入岩類の K-Ar 年代および Rb-Sr アイソクロン年代ならびに火山-深成活動のステージ区分。

新たに得られた年代と既報年代、およびそれらの分布状況を踏まえて西中国地域の火山-深成活動のステージ区分および空間分布について検討する。

(1) 火山-深成活動のステージ区分 白亜紀火山岩類の既報年代に関しては、今岡ほか (1994) や西村・今岡 (1995a, b) によって当時までのデータが総括されている。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によるものであり、FT 年代測定法に関する国際勧告 (Hurlford, 1990) 以前に報告されたものなので議論の対象にしない。

関門層群の年代に関しては、模式地である下関地域の安山岩やデイサイトについて 107-103 Ma の角閃石 K-Ar 年代が報告されている (第 1, 5 図, Imaoka et al., 1993; 松浦, 1998)。

阿武層群の年代については、Seki (1978) によって得られた 112 ± 4 Ma の年代が古すぎることは、その後、弓削ほか (1998) によって議論されているので、ここでは繰り返さない。上記の放射年代の総括以降、阿武層群の火山岩類とそれに密接に伴う花崗岩類について信頼できる Rb-Sr アイソクロン年代がいくつか報告されており、また Sr, Nd 同位体比初生値から火山岩類と花崗岩類は同じマグマ溜まりからもたらされたものと推定されている。それによれば、山口県福賀地域の流紋岩で 86.8 ± 2.8 Ma とそれを貫く花崗岩で 85.0 ± 3.1 Ma の全岩アイソクロン年代、および 79.7 ± 5.3 Ma の鉱物-全岩アイソクロン年代が報告されている (弓削ほか, 1998)。生雲地域では、流紋岩で 88.4 ± 13.8 Ma、それを貫く石洞ヶ岳グラノフィアールで 86.5 ± 5.9 Ma の全岩アイソクロン年代が報告されている (井川ほか, 1999)。青海島地域では、火砕岩とその本質レンズで 86.5 ± 4.6 Ma、流紋岩で 86.4 ± 2.8 Ma、およびそれを貫く花崗岩で 84.3 ± 3.0 Ma (今岡ほか, 2000) の全岩アイソクロン年代、ならびに花崗岩で 82.7 ± 1.0 Ma の鉱物-全岩アイソクロン年代 (今岡ほか, 2000) が報告されている (第 1, 5 図)。

これらのデータから、関門層群の火山岩類の活動時期を関門期、周南層群の火山岩類と関連貫入岩類の活動時期を周南期、阿武層群の火山岩類と関連貫入岩類の活動時期を阿武期とすると、関門期はおおよそ 110-100 Ma、周南期は 100-90 Ma、阿武期は 90-80 Ma にそれぞれステージ区分される (第 5 図)。このステージ区分は、従来、野外で組み立てられてきた火山層序や火成活動史と整合的である。なお、匹見層群とその関連貫入岩類、および火山岩類との前後関係の不明な花崗岩類の活動時期については、今後の検討課題である。

(2) 火山-深成活動の空間分布 前項で述べた、関門期、周南期および阿武期の火山-深成活動の西中国地域における空間分布について検討しよう。

まず、関門層群や関連貫入岩類は、その模式地である下関地域をはじめとし、瀬戸内側では、今回検討した吉部コールドロンや山口コールドロンの内外に分布している。さらに下関市北部から長門、萩地域など日本海側にも広く分布している。また、島根県六日市地域など西中国地域の脊梁山地にも点在している (村上, 1985)。このように関門期 (110-100

Ma) の活動は、瀬戸内側から日本海側までの広い地域で行われた。

周南層群は、新編山口県地質図 (西村ほか, 1995) では禅定寺山層、物見岳層および田床山層 (萩付近の山陰部) からなるものとされていたが、筆者らのその後の検討では田床山層は阿武層群に所属するものと考えられている (第 1 図)。これらのことから、周南期は 100-90 Ma に活動し、山口県の脊梁山地南側 (瀬戸内海側) に限定され、東西方向の広がりを示すことが明らかとなった。かつて Murakami and Matsusato (1970) は周南層群禅定寺山層が東西方向に線状配列することを指摘したが、K-Ar 年代の上からもそれを再確認することができた。

一方、阿武期 (90-80 Ma) になると、阿武層群や関連貫入岩類が山口県中央部から北部の福賀地域と山口県北西部の長門-青海島地域に広く分布していることによって示されるように、その火山-深成活動の舞台は、周南期のそれとは対照的に脊梁山地およびその北側 (日本海側) へ移行した (第 1 図)。

ま と め

西中国地域における白亜紀火山-深成活動の時空変遷解明の一貫として、山口県に分布する周南層群の模式地である白亜紀吉部コールドロンとそれを貫く岩郷山花崗岩およびそれらに対比されると考えられる山口コールドロンと四熊地域の深成岩類について、K-Ar 年代を測定し、それらの火成活動の年代学的位置づけとその広がりを検討した。

1. 吉部コールドロンを構成する周南層群禅定寺山層中の安山岩の角閃石 K-Ar 年代は 93.1 ± 4.7 Ma、黒五郎深成岩類の K-Ar 年代は角閃石で 94.0 ± 4.8 と 91.9 ± 4.6 Ma、黒雲母で 96-89 Ma、天郷貫入岩類の K-Ar 年代は角閃石で 97.9 ± 2.2 と 92.2 ± 2.1 Ma、黒雲母で 90.7 ± 2.0 Ma を示す。岩郷山花崗岩の黒雲母 K-Ar 年代は、2 試料とも 92.8 ± 2.0 Ma を示す。これらのうち、黒五郎深成岩類と天郷貫入岩類からの 92-89 Ma の年代は、岩郷山花崗岩やそれに比較されるより新期の広島花崗岩類の接触変成作用による若返りと見なされるので、これらの冷却年代は 98-94 Ma と考えられる。
2. 山口コールドロンのデイサイト質凝灰岩では、 91.3 ± 2.1 と 90.2 ± 2.0 Ma の角閃石 K-Ar 年代が得られたが、両者とも若返りの可能性がある。四熊地域の深成岩類の黒雲母 K-Ar 年代は、花崗岩が 93.7 ± 2.0 と 92.9 ± 2.0 Ma を、石英閃緑岩が 94.1 ± 2.1 と 93.2 ± 2.0 Ma とを、それぞれ示す。石英閃緑岩は接触変成作用の認められない試料が測定されているが、花崗岩類の貫入によって若返っている可能性がある。
3. 今回検討した火成岩体は、より新期の広島花崗岩類に貫入され、K-Ar 年代の若返りが起こっている。若返りの程度は数 m.y. であり、最大でも 5 m.y. くらいと見積もられる。
4. 山口県の周南層群禅定寺山層とそれに伴う貫入岩類の活動年代は、より新期の広島花崗岩類の接触変成作用によ

る若返りを考慮すると、おおよそ100-90 Maと考えられる。この活動年代は下部白亜系関門層群から上部白亜系阿武層群およびそれに伴う貫入岩類の活動への移行期として位置づけられる。

5. 西中国地域における白亜紀火山-深成活動の時空変遷は、次のようにまとめられる。関門層群の火山活動(関門期: 110-100 Ma)は瀬戸内側から日本海側までの広い地域で行われた。周南層群と関連貫入岩類の活動(周南期: 100-90 Ma)は中国脊梁山地の南部(瀬戸内海側)に限定されるが、それに引き継がれる阿武層群やそれに密接に伴う貫入岩類の活動(阿武期: 90-80 Ma)は脊梁山地およびその北側(日本海側)に移行した。

謝辞 K-Ar年代測定にあたり、岡田利典(蒜山地質年代学研究所)、安藤俊彦(元宇部興産コンサルタント)の両氏にお世話になった。また、山口コールドロンの年代測定試料の採取にあたっては、武田賢治氏(山口大学)にご教示いただいた。沢田順弘(島根大学)、松浦浩久(産総研)、川野良信(佐賀大学)の3氏には、論文を改善する上で有益なコメントをいただいた。以上の方々に心から感謝いたします。

文 献

- Furuyama, K., Nagao, K. and Murata, M., 2002, K-Ar ages of andesites from two volcanic arrays in western Chugoku, Southwest Japan. *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, **47**, 481-487.
- Harrison, T. M., 1981, Diffusion of ⁴⁰Ar in hornblende. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **78**, 324-331.
- Hart, S. R., 1964, The petrology and isotopic-mineral age relations of a contact zone in the Front Range, Colorado. *Jour. Geol.*, **72**, 493-525.
- Hurford, A. J., 1990, Standardization of fission track dating calibration: recommendation by the Fission Track Working Group of the I.U.G.S. Subcommission on Geochronology. *Chem. Geol.*, **80**, 171-178.
- 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. *Island Arc*, **9**, 113-127.
- 飯泉 滋・沢田順弘・先山 徹・今岡照喜, 1985, 中国・四国地方の白亜紀~古第三紀火成活動-火成岩類の対比を中心として-。地球科学, **39**, 372-384.
- 井川寿之・鬼村雅和・今岡照喜・加々美寛雄, 1999, 山口県中央部白亜紀石洞ヶ岳文象斑岩と随伴流紋岩類の岩石記載とSr, Nd同位体比。地質学論集, no. 53, 333-348.
- 今岡照喜, 1986, 山陰西部における古第三紀火成活動。広島地学研報, no. 26, 1-109.
- 今岡照喜・永松秀崇・井川寿之・秋山美代・加々美寛雄, 2000, 火山活動と深成活動-西中国の例-。月刊地球/号外, no. 30, 127-133.
- Imaoka, T., Nakajima, T. and Itaya, T., 1993, K-Ar ages of hornblendes in andesite and dacite from the Cretaceous Karmon Group, Southwest Japan. *Jour. Min. Pet. 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。岡山理大自科研報, no. 20, 3-57.
- Ishihara, S., 1971, Modal and chemical composition of the granitic rocks related to the major molybdenum and tungsten deposits in the Inner zone of southwest Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **77**, 441-452.
- Ishihara, S., 1977, The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geol.*, **27**, 293-305.
- Itaya, T., Nagao, K., Inoue, K., Honjou, Y., Okada, T. and Ogata, A., 1991, Argon isotope analysis by a newly developed mass spectrometric system for K-Ar dating. *Mineral. Jour.*, **15**, 203-221.
- IUGS Subcommission, 1973, Plutonic rocks. Classification and nomenclature recommended by the IUGS subcommission on the systematics of igneous rocks. *Geotimes*, Oct. 26-30.
- Jappy, T. G., Leake, B. E. and Fallick, A. E., 2001, Relationships between hornblende K-Ar ages, chemical composition and hydrogen isotopes, Connemara, western Ireland: evidence for a massive extinct hydrothermal system. *Jour. Geol. Soc., London*, **158**, 843-854.
- 加々美寛雄, 2005, 本州弧に分布する白亜紀~古第三紀花崗岩の活動と起源物質。地質雑, **111**, 441-457.
- Kobayashi, T., 1941, The Sakawa orogenic cycle and its bearing on the origin of the Japanese Islands. *Jour. Fac. Sci., Imp. Univ. Tokyo, Sec. 2*, **5**, 219-578.
- Leake, B. E., 1998, Widespread secondary Ca garnet and other Ca silicates in the Galway Granite and its satellite plutons caused by fluid movements, western Ireland. *Mineral. Mag.*, **62**, 381-386.
- 松浦浩久, 1998, 下関亜層群と香春花崗閃緑岩(若松岩体)のK-Ar年代。岩鉱, **93**, 307-312.
- Miller, W. M., Fallick, A. E., Leake, B. E., Macintyre, R. M. and Jenkin, G. R. T., 1991, Fluid disturbed hornblende K-Ar ages from the Dalradian rocks of Connemara, Western Ireland. *Jour. Geol. Soc., London*, **148**, 985-992.
- 村上允英, 1960, 中国西部における白亜紀及び古第三紀火成活動。山口大理科報告, **11**, 21-126.
- Murakami, N., 1974, Some problems concerning late Mesozoic to early Tertiary igneous activity on the inner side of Southwest Japan. *Pacific Geol.*, **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・長谷 晃, 1967, 西南日本内帯における後期中生代火山岩層の層序と対比。地研研専報, no. 13, 1-24.
- 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。山口大教養紀要, 村上允英教授記念号, 419p.
- Murakami, N. and Matsusato, H., 1970, Intrusive volcanic breccias in the late Mesozoic Zenjoji-yama formation in western Chugoku and their possible relevance to the formation of caudron structure. *Jour. Japan. Assoc. Min. Pet. Econ. Geol.*, **64**, 73-94.
- 村上允英・光田 武, 1954, 山口県吉部深成岩体の研究。山口大理学会誌, **5**, 77-100.
- 長尾敬介・板谷徹丸, 1988, K-Ar法による年代測定。地質学論集, no. 29, 5-21.
- 西田和浩・今岡照喜・飯泉 滋, 2005, 山陰中央部における白亜紀~古第三紀火成活動: Rb-Sr アイソクロン年代からの検討。地質雑, **111**, 123-140.
- 西村祐二郎・今岡照喜・宇田村 謙・亀谷 敦, 1995, 新編山口県地質図(15万分の1)。山口地学会。
- 西村祐二郎・今岡照喜, 1995a, 山口県放射年代図(15万分の1)。山口地学会。
- 西村祐二郎・今岡照喜, 1995b, 山口県の放射年代-1994年総括。山口地学会誌, no. 32, 1-13.
- 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., Geol. & Min.*, **45**, 71-110.
- 瀬尾孝文, 1976, 山口県厚狭郡吉部付近に分布する深成岩類及び三部変成岩類について。小島丈児先生還暦記念文集, 276-284.
- Steiger, R. H. and Jäger, E., 1977, Subcommission on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**, 359-362.
- 高見美智夫・磯崎行雄・西村祐二郎・板谷徹丸, 1993, 弱変成付加体のK-Ar年代測定による碎屑性白雲母の混入と接触変成作用の影響-山口県東部ジュラ紀付加体の例-。地質雑, **99**, 545-563.
- 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, no. 53, 199-219.
- 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組成およびSr, Nd同位体比。地質雑, **104**, 159-170.

付 録

414-19 角閃石両輝石安山岩溶岩 (角閃石; 測定試料, 以下同じ), 周南層群禪定寺山層, 山口県美祢市長谷

斑状組織, ピロタキシティック組織を示し, 斑晶として斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石, 角閃石および不透明鉱物が認められる。斜長石は自形—半自形を示し, 累帯構造が顕著である。また, 集斑状組織を示すものもある。斜方輝石は半自形で粒状—短柱状を示し, 不透明鉱物を包有し, 緑泥石化していることが多い。単斜輝石は自形—半自形を示し, 不透明鉱物を包有している。角閃石は褐色で自形のものもあるが, 融食を受けて半自形, 他形を示すものもある。周辺がオパサイト化しているが, 分離時にその部分は取り除いた。石基は短冊状の斜長石, 単斜輝石および不透明鉱物からなる。緑泥石, 緑れん石, 方解石などの2次鉱物が生じているが, 接触変成作用の影響は認められない。

523-2 石英閃緑岩 (黒雲母, 角閃石), 黒五郎深成岩類, 山口県美祢市堀越

完晶質斑状組織を呈している。斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石, 角閃石, 黒雲母, カリ長石, 石英, 磁鉄鉱およびチタン鉄鉱からなり, 副成分鉱物として燐灰石やチタン石が見られる。斜長石は自形—半自形を示し, 累帯構造が顕著である。比較的大きな結晶は, 粒状の単斜輝石や Fe-Ti 酸化鉱物を包有する。斜方輝石は短柱状で半自形を示し, 周辺部は黒雲母に交代されていることがある。単斜輝石は粒状ないし短柱状で半自形—他形を示す。角閃石は緑色で半自形—他形を示し, 単斜輝石のまわりに産出することが多い。黒雲母は自形—半自形板状を示し, 自形斜長石の間隙を充填するものもある。石英とカリ長石は半自形—他形で他結晶の間隙を充填し, しばしば顕著な微文象組織を示す。Fe-Ti 酸化鉱物は粒状半自形—他形で, 黒雲母の中に産出することが多い。かつて村上・光田 (1954) によって, 石英ヒペル岩 (quartz hyperite) として記載された岩石である。

20611-10 石英閃緑岩 (黒雲母), 黒五郎深成岩類, 山口県宇部市荒滝

完晶質斑状組織を示す。斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石, 角閃石, 黒雲母, カリ長石, 石英, 磁鉄鉱およびチタン鉄鉱からなり, 副成分鉱物として燐灰石, チタン石およびジルコンが見られる。鏡下では斜長石は自形—半自形を示し, 累帯構造が顕著である。斜方輝石は短柱状—長柱状で半自形—自形を示し, 緑泥石などの粘土鉱物に変質していることがある。また, 黒雲母を包有している。単斜輝石は粒状ないし短柱状で半自形—他形を示す。周辺部や劈開に沿って, あるいは全体が淡緑色の角閃石に交代されている。斜方輝石と単斜輝石はしばしば連晶をなす。角閃石は淡緑褐色で, 単斜輝石の周辺部や劈開に沿って産する。黒雲母は半自形板状を示す。ジルコンのまわりはメタミクト化している。石英とカリ長石は, ともに他形で間隙充填的に産し, 両者はしばしば微文象組織を示す。Fe-Ti 酸化鉱物は半自形—他形で, 斜長石に包有されたり, 苦鉄質鉱物に密接に伴う。

粒状の黒雲母や針状の角閃石がわずかに認められ, 弱い接

触変成作用を受けている。

20727-6 石英閃緑岩 (黒雲母, 角閃石), 黒五郎深成岩類, 山口県宇部市宇内

完晶質斑状組織を示す。斜長石, 単斜輝石, 角閃石, 黒雲母, カリ長石, 石英, 磁鉄鉱およびチタン鉄鉱からなり, 副成分鉱物として燐灰石, チタン石およびジルコンが見られる。鏡下では斜長石は自形—半自形を示し, 累帯構造が顕著である。単斜輝石は粒状ないし短柱状で半自形—他形を示す。角閃石は淡緑褐色で, 単斜輝石の周辺部や劈開に沿って, あるいは全体を置き換えている。黒雲母は半自形板状で, 結晶周辺や劈開に沿って緑泥石化していることがある。ジルコンのまわりはメタミクト化している。石英とカリ長石はともに他形で, 間隙充填的に産する。Fe-Ti 酸化鉱物は半自形—他形で, 斜長石に包有されたり, 苦鉄質鉱物に密接に伴う。

接触変成作用の影響は認められない。

20727-8 石英閃緑岩 (黒雲母), 黒五郎深成岩類, 山口県宇部市宇内

おもな特徴は no. 20727-6 と同様であるが, 淡緑褐色で細粒の黒雲母や針状の角閃石がわずかに認められ, 弱い接触変成作用を受けている。

20727-5 石英閃緑岩 (黒雲母), 黒五郎深成岩類, 山口県宇部市宇内

おもな特徴は no. 20727-6 と同様であるが, 再結晶作用による淡緑褐色で細粒の黒雲母や針状の淡緑色角閃石が認められ弱い接触変成作用を受けている。

20611-22 石英閃緑岩 (黒雲母), 黒五郎深成岩類, 山口県宇部市上小野

完晶質斑状組織を示す。斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石, 角閃石, 黒雲母, カリ長石, 石英, 磁鉄鉱およびチタン鉄鉱からなり, 副成分鉱物として燐灰石, チタン石およびジルコンが見られる。鏡下では斜長石は自形—半自形を示し, 累帯構造が顕著である。斜方輝石 (仮像) は短柱状—長柱状で半自形—自形を示し, 緑泥石や接触変成鉱物の集合体によって置き換えられている。単斜輝石 (仮像) は粒状ないし短柱状で半自形—他形を示す。角閃石は緑色で, 周辺部や劈開に沿って, あるいは全体を交代している。黒雲母は半自形板状を示す。ジルコンのまわりはメタミクト化している。石英とカリ長石は, ともに他形で間隙充填的に産し, 両者はしばしば微文象組織を示す。Fe-Ti 酸化鉱物は半自形—他形で, 斜長石に包有されたり, 苦鉄質鉱物に密接に伴う。

接触変成作用を受け, 斜方輝石や単斜輝石は再結晶黒雲母や角閃石の集合体で部分的に置き換えられている。カリ長石や斜長石上には小さな緑色角閃石の集合体が見られる。黒雲母の内部や周辺には, 針状の緑色角閃石が見られる。

11020-5 石英モンソ斑れい岩 (黒雲母), 黒五郎深成岩類, 山口県宇部市藤ヶ瀬

完晶質斑状組織を示す。斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石, 黒雲母, カリ長石, 石英, 磁鉄鉱およびチタン鉄鉱からなり, 副成分鉱物として燐灰石, チタン石およびジルコンが見られる。鏡下では斜長石は自形—半自形を示し, 累帯構造が顕著である。斜方輝石は短柱状—長柱状で, 半自形—自形を示す。

単斜輝石は粒状ないし短柱状で、半自形-他形を示す。黒雲母は半自形を示し、斜方輝石のまわりに産する。石英とカリ長石はともに他形で間隙充填的に産し、両者はしばしば微文象組織を示す。Fe-Ti 酸化鉱物は半自形-他形で、斜長石に包有されたり、苦鉄質鉱物に密接に伴う。

613-2 石英モンソ斑れい岩 (黒雲母), 黒五郎深成岩類, 山口県宇部市黒五郎

完晶質斑状組織を呈する。斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石, 角閃石, 黒雲母, カリ長石, 石英, 磁鉄鉱およびチタン鉄鉱からなり, 副成分鉱物として燐灰石やチタン石が見られる。斜長石は自形-半自形を示し, 累帯構造が顕著である。斜方輝石は短柱状で半自形を示す。単斜輝石は粒状で半自形-他形を示す。角閃石は淡緑褐色で半自形-他形を示し, 単斜輝石のまわりに産出することが多い。黒雲母は自形-半自形を示し, Fe-Ti 酸化鉱物を包有することが多い。石英とカリ長石は半自形-他形で他結晶の間隙を充填し, しばしば顕著な微文象組織を示す。

404-18 閃緑ひん岩 (角閃石), 天郷貫入岩類, 山陽小野田市奥ヶ浴

斑状組織が顕著で, 斑晶は斜長石, 単斜輝石, 斜方輝石, 角閃石および不透明鉱物からなる。斜長石は自形で, しばしば集斑状を示す。斜方輝石は自形で, 緑泥石に変質している。単斜輝石は自形を示す。角閃石は淡褐色で, 自形-半自形を示す。石基は微細な石英, 斜長石および不透明鉱物からなる。緑泥石や緑れん石などの2次鉱物が生じている。

404-17 閃緑ひん岩 (角閃石), 天郷貫入岩類, 山陽小野田市新入道

no. 404-18 と同じ岩相を示す。

1015-10 閃緑岩 (黒雲母), 天郷貫入岩類, 美祢市中村

完晶質斑状組織を示す。斑晶状結晶として斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石, 角閃石, 黒雲母, カリ長石, 石英, 磁鉄鉱(±) およびチタン鉄鉱が認められる。斜長石は自形-半自形を示し, 一般に累帯構造が顕著である。また, 斜方輝石や単斜輝石を包有している。斜長石は自形-半自形を示し, 累帯構造が顕著である。斜方輝石は短柱状で自形-半自形を示し, 磁鉄鉱とチタン鉄鉱を包有している。しばしば単斜輝石と連晶している。周辺や劈開に沿って黒雲母に交代されていることがある。単斜輝石は粒状ないし短柱状で, 半自形-他形を示し, 磁鉄鉱やチタン鉄鉱を包有している。角閃石は淡緑色で, 単斜輝石を置き換えている。黒雲母は単独で自形を示すものと, 斜方輝石を交代する0.05 mm 以下の小結晶とがある。年代測定に使用した黒雲母は径0.1 mm 以上なので, 後者は測定試料に含まれない。カリ長石は他形を示す。石英は他形で, 波動消光を示す。チタン鉄鉱は自形結晶あるいは細長いラメラ状の結晶として産し, 粒状の磁硫鉄鉱や黄銅鉱を包有することがある。石基は0.2 mm 以下の粒状結晶で, 斜長石, カリ長石, 石英および黒雲母からなる。石英とカリ長石は粒状結晶として見られたり, 両者が微文象組織を示すこともある。副成分鉱物として燐灰石, チタン石およびジルコンが見られる。

20608-1 細粒黒雲母花崗岩 (黒雲母), 岩郷山花崗岩, 山口

県宇部市広河原

細粒で優白質等粒状組織を示す。斜長石, カリ長石, 石英, 黒雲母とごく少量の角閃石を含む。斜長石は顕著な累帯構造を示す。カリ長石にはパーサイト構造が発達している。石英は半自形-他形である。黒雲母は自形-半自形で, ごく一部を除いてほとんど緑泥石化しておらず, 試料の状態は良好である。角閃石は淡緑色で, 他形を示す。副成分鉱物として, 褐れん石, チタン鉄鉱, 燐灰石およびジルコンが見られる。

20610-6 細粒黒雲母花崗岩 (黒雲母), 岩郷山花崗岩, 山口県宇部市下小野

no. 20608-1 とほとんど同じであるが, 黒雲母の量がやや少ないことと, 角閃石が緑褐色を示すことが異なる。

SH-006 デイサイト質凝灰岩 (角閃石), 山口コールドロン, 山口県防府市切畑

斑晶状結晶として, 斜長石, 単斜輝石, 角閃石, 石英, 磁鉄鉱およびチタン鉄鉱が見られる。斜長石には完全自形のものや, 一部融食されたもの, その場で破片状粉砕された他形のものがある。単斜輝石も自形, 半自形, 他形のものがある。角閃石は自形で, 斜長石を含有している結晶や半自形のもの, 破片状他形のものがあるが, 全て褐色の多色性を示し, 同質の斑晶とみなされる。また, 変質作用を受けていないので, 試料の状態は良好である。石英は破片状他形である。磁鉄鉱は自形でチタン鉄鉱のラメラを有する。石基には, 頁岩や砂岩などの岩片, ならびに安山岩や珪長岩の類質岩片が見られる。

花崗岩との接触部から水平距離で0.9 km の場所で採取されているが, 鏡下では微細な針状の緑色角閃石が生じており, 弱い接触変成作用を受けている。

SH-504 デイサイト質凝灰岩 (角閃石), 山口コールドロン, 山口県山口市上小鯖宮ノ馬場北西

no. SH-006 と同じ岩相を示す。

花崗岩との接触部から水平距離で1.9 km の場所で採取されているが, 接触変成作用の影響は全く認められない。

523-04 石英閃緑岩 (黒雲母), 四熊地域の深成岩類, 山口県周南市引地

粗粒で, 完晶質等粒状組織を示す。斜長石, 斜方輝石, 単斜輝石, 角閃石, 黒雲母, カリ長石, 石英および不透明鉱物からなり, 斜長石は自形-半自形で, 累帯構造が顕著である。単斜輝石と斜方輝石は自形-半自形を示し, それらは部分的に角閃石や黒雲母で交代されている。角閃石は半自形-他形を示す。黒雲母は半自形-他形で, 新鮮である。石英とカリ長石は他形で, 他鉱物の間隙を充填している。鏡下観察では, 接触変成作用や変質作用の影響は認められない。

427-09 石英閃緑岩 (黒雲母), 四熊地域の深成岩類, 山口県周南市向山

no. 523-04 と同じ岩相を示す。

427-18 花崗岩 (黒雲母), 四熊地域の深成岩類, 山口県周南市播磨

完晶質等粒状組織を示し, 斜長石, カリ長石, 石英, 黒雲母, 不透明鉱物からなる。斜長石は自形-半自形で, 累帯構造が顕著である。カリ長石は半自形-他形で, パーサイト組

織が認められる。石英は他形を示す。黒雲母は半自形-他形で、ほとんど緑泥石化していない。
427-13 花崗岩 (黒雲母), 四熊地域の深成岩類, 山口県周

南市里四熊
no. 427-18 と同じ岩相を示す。

(要 旨)

岸 司・今岡照喜・東風平 宏・西村祐二郎・板谷徹丸, 2007, 山口県における白亜紀吉部コールドロンおよび関連岩類の K-Ar 年代: 西中国地域における白亜紀火山-深成活動の時空変遷. 地質雑, **113**, 479-491. (Kishi, T., Imaoka, T., Kochihira, H., Nishimura, Y. and Itaya, T., 2007, K-Ar ages of Cretaceous Kibe cauldron and related rocks in Yamaguchi Prefecture: spatiotemporal variation of Cretaceous volcano-plutonism in western Chugoku district, SW Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **113**, 479-491.)

西中国地域における白亜紀火山-深成活動の時空分布を明らかにするために、山口県に分布する周南層群禪定寺山層の模式地である吉部コールドロンとそれを貫く岩郷山花崗岩、およびそれらに対比される山口コールドロンと四熊地域の深成岩類の角閃石と黒雲母の K-Ar 年代を測定した。

今回得られた年代と既報年代は、周南層群と関連貫入岩類の活動がおおよそ 100-90 Ma に行われたことを示し、前期白亜紀関門層群と後期白亜紀阿武層群の中間に位置づけられる。関門層群の火山活動 (関門期: 110-100 Ma) は西中国地域の瀬戸内側から日本海側までの広範囲で行われた。周南層群と関連貫入岩類の活動 (周南期: 100-90 Ma) は中国脊梁山地の南部 (瀬戸内海側) に限定されるが、それに引き継ぐ阿武層群と関連貫入岩類の活動 (阿武期: 90-80 Ma) は脊梁山地およびその北側 (日本海側) に移行した。