

論文

## 山陰中央部における白亜紀～新生代火成岩類の K-Ar 年代

沢田 順 弘 \*

### K-Ar ages of Cretaceous to Pleistocene igneous rocks in the central San'in district

Yoshihiro Sawada\*

#### Abstract

This report presents a compilation of K-Ar ages of the Cretaceous to Pleistocene igneous rocks in the central San'in district, including previously published ages. (1) Cretaceous and early Paleogene granodiorites have biotite ages of  $69.0 \pm 1.4$  Ma and  $54.9 \pm 1.1$  Ma, respectively. (2) Late Paleogene volcanic rocks have a hornblende age of  $38.6 \pm 2.0$  Ma, but seven whole rock ages range from 35 Ma to 30 Ma. The younger whole rock ages indicate Ar loss caused by alteration. A hiatus in magmatism occurred from ca. 50 Ma through to 43 Ma. (3) A second hiatus in magmatism extended from ca. 30 Ma to 21 Ma. The Miocene succession in the area south of Lake Shinji and Nakaumi lagoon consists of the Sada (20-17 Ma), Hata (17-15 Ma), Kawai-Kuri (around 15 Ma), Omori (around 14.5 Ma), Fujina (around 14 Ma), Jinzai (around 13.5 Ma) and Matsue (around 12 Ma) formations, in ascending order. In Shimane Peninsula, the Koura Formation is correlative with Sada Formation, the Jyosoji Formation with the Hata and the Kawai-Kuri formations, and the Ushikiri Formation with the Omori Formation. Basalt from the Tako area in Shimane Peninsula yields a whole rock age of  $12.6 \pm 0.9$  Ma, younger than the age of Ushikiri Formation, and overlapping those of the Jinzai and Matsue formations. (4) Plutonic rocks around the Kakeya Cauldron have ages close to those of Hata Formation volcanic rocks suggesting that these igneous rocks together formed a volcano-plutonic complex. (5) Clockwise rotation of SW Japan accompanied by opening of the Japan Sea took place across the time gap between the Sada and the Hata formations which occurred at around 17 Ma. The depositional environment in Shimane Peninsula changed from fresh to brackish water during accumulation of the Koura Formation, but paleomagnetic direction of the lower part was about  $90^\circ$  east, indicating that rotation did not take place at that site. (6) Pleistocene basalts in the Yonago area yield 1.3 Ma whole ages, whereas dacite is dated 0.6 Ma. Whole rock and plagioclase ages of andesite from Shigeguri volcano in Miho Bay are  $0.9 \pm 0.3$  Ma and  $0.91 \pm 0.06$  Ma, respectively. Basalt from a drillcore sample beneath the new Eshima Ohashi bridge yielded a whole rock age of  $0.19 \pm 0.01$  Ma.

**Key words:** K-Ar age, igneous activity, volcanism, Miocene, Pleistocene, paleomagnetic direction, San'in district

#### はじめに

山陰地方は白亜紀以降第四紀に至るまで、火成活動が断続的に起こったところである。山陰地域の中でも、その中央部にあたる島根県東部地域から鳥取県西部にかけての地域は、白亜紀以降、第四紀に至るまでの時代の多様な火成岩類が分布しており、活動的な大陸縁や島弧における火成活動の歴史とそれらの成因を明らかにする上で重要な地域である。

山陰地方における火成活動史を明らかにする上で基礎となる放射年代は、深成岩類を対象として河野・植田 (1966) による K-Ar 年代、早瀬・石坂 (1967) による Rb-Sr アイソクロン年代などを先駆的研究として、1960 年代の後半から報告されてきた。松田 (1979, 1980) は深成岩類のみならず、火山岩類についてもジルコンを用いたフィッショントラック年代 (以下 FT 年代と略す) を報告した。1970 年代には Shibata and Ishihara (1974) による K-Ar 年代の報告があるが、1980 年代に入ると多数の K-Ar 年代 (例えば、服部ほか, 1983; 鹿野・

吉田, 1984, 鹿野・中野, 1985a など), Rb-Sr アイソクロン年代 (Iizumi *et al.*, 1984, 松浦, 1989 など), Sm-Nd 全岩アイソクロン年代 (田中・星野, 1987 など) をはじめとして多数報告され、火成活動史の全容の解明に貢献してきた。

筆者は 1980 年代後半から山陰地方中部における白亜紀以降の火成岩類の K-Ar 年代を多数測定し、地質学会等で報告した (沢田・板谷, 1987)。しかし、出雲湾入部における最下部中新統とされてきた「波多層」の模式地における年代は中期中新世の年代を示し、それまでの見解とは異なる結果となった。放射年代、とりわけ K-Ar 年代は変質による Ar の逸散やエクセス Ar の問題もあり、地質を抜きにして K-Ar 年代のみで層序を組み立てることは問題であることから、論文を公表することを控えてきた。その後、出雲湾入部において系統的に地質調査を行い、その結果、沢田 (1978a) によって波多層とその上位の川合層との間に構造的なギャップがあるとされた点は誤りで、両者は連続的に形成されたという結論となった (沢田ほか, 2013)。また、地質と K-Ar 年代を基礎にして古地磁気方位を系統的に調べた結果、17Ma 前後を境にして、方位はそれ以前の  $40 \sim 50$  度東偏した状態から、それ以

\* 島根大学名誉教授

降、現在とほぼ同じか、またはその逆であることが判明した(沢田ほか, 2013)。また、従来、川合層とされていた火山岩の中には古地磁気方位が40~50度東偏し、20~17Maの年代を示すものがあり、それを「佐田層」とした。波多層の古地磁気方位は現在とほぼ同じか、またはその逆であり、年代は17~15Maであることがわかった。また、波多層に引き続く川合層との間の時間間隙はほとんどないことも判明した。

沢田ほか(2013)では出雲湾入部における中新統のK-Ar年代を中心にして報告したが、出雲湾入部以外の中新統の全岩年代、白亜紀から古第三紀にかけての年代、また、第四紀の火山岩類の年代は未発表であった。近年、K-Ar全岩年代はほとんど報告されなくなったが、鉬物年代も全岩年代と同様、Arの逸散やエクセスArの問題をかかえている。放射年代は絶対的なものではなく、地質学や記載岩石学を基礎にして考えなくてはならない。本論文ではそのような観点からK-Ar年代値を火成活動史解明の一助として報告する。また、特に中新統の対比についても提案する。

## 地 質

山陰地域には白亜紀以降の火成岩類が広く分布する(第1図)。山陰地方の白亜紀以降の地質については多数の本や研究論文として公表されている。中新統を中心にした広域地質調査は1960年代後半から1970年代にかけて通商産業省(1967, 1969, 1970)、金属鉬物探鉱促進事業団(1970, 1971, 1972a, b)、1990年代前半には金属鉬業事業団(1990, 1991, 1992, 1993)によって報告されている。1980年代以降について代表的なものでは、日本の地質『中国地方』編集委員会編(1987)、日本地質学会編「中国地方」(2009)などの地方地質誌や島根県地質図説明書編集委員会編「島根県の地質」(1985)や、新編島根県地質図編集委員会(1997)による地質図としてまとめられている。また、島根半島も含め安来市から江津市に至る地域の詳細な地質は地質調査所(現産業総合研究所)による地質図幅として公表されている(服部ほか, 1983; 鹿野・吉田, 1985; 鹿野・中野, 1985b, 1986; 鹿野ほか, 1989, 1994, 1998, 2001; 松浦, 1990, 松浦ほか, 2005)。

山陰中央部における白亜紀以降の火成活動史は大まかに見て次の3つのステージに区分される。(1)白亜紀~古第三紀、(2)前・中期中新世、(3)末期中新世以降。ここで報告する地域の地質や火成活動を中心にして以下に述べる。

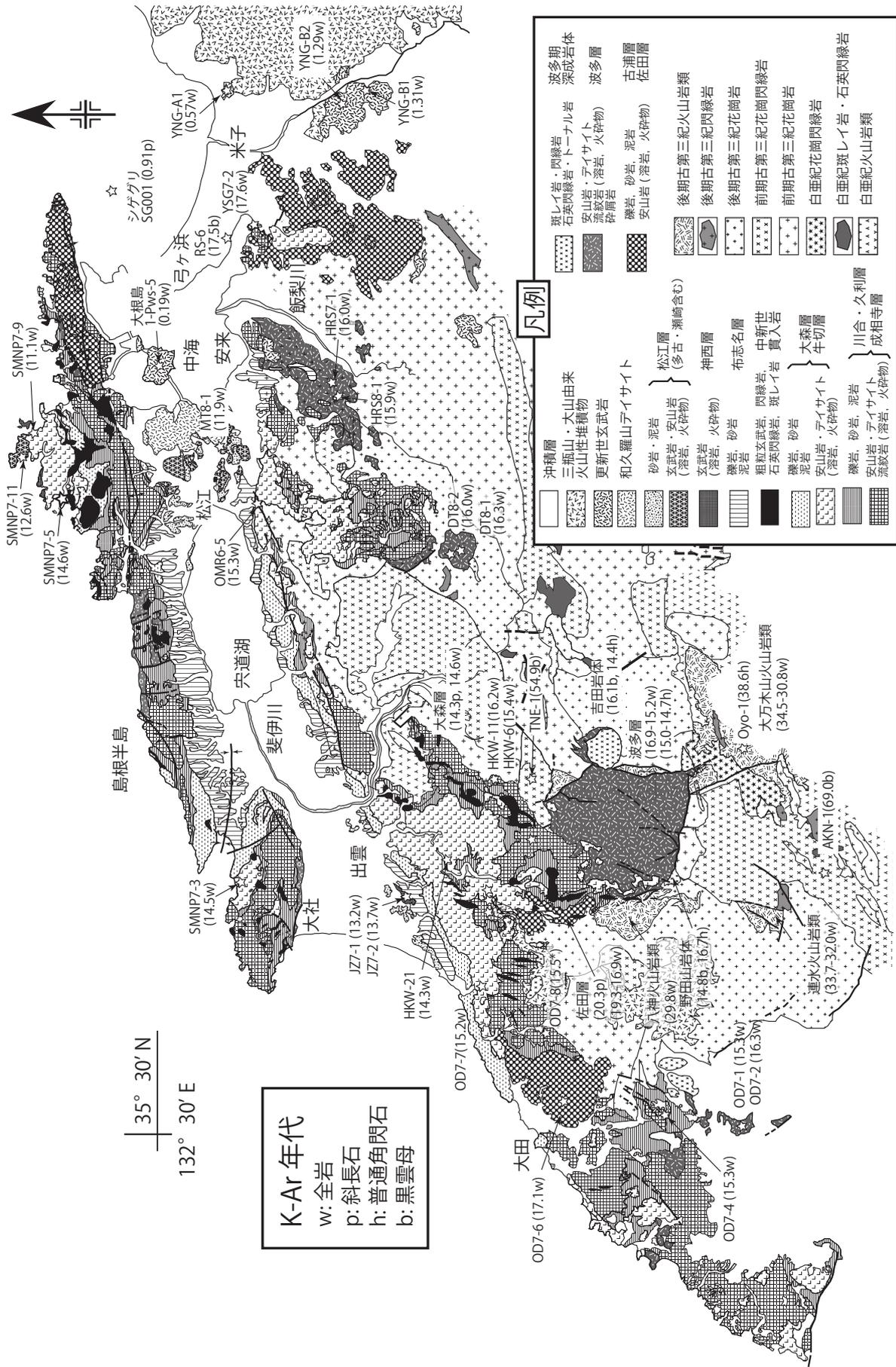
(1) 白亜紀~古第三紀 この期の火成活動史については飯泉ほか(1985)、西田ほか(2005, 2013)によってまとめられている。彼らによればこの期の火成活動は後期白亜紀火山岩類、後期白亜紀の古期因美期火成岩類(深成岩類)、末期白亜紀から前期古第三紀の新时期因美期火成岩類、後期古第三紀の田万川期火成岩類に区分される。新时期因美期と田万川期の間の50Maから43Maの間には火成活動の休止期があったとしている。

後期白亜紀火山岩類は中国脊梁とその南に広大に分布するが、山陰中央部では島状に点在分布する。古期因美期火成岩類は赤名、大東、多根などの花崗閃緑岩、乙原、布部、根雨、

下久野、上久野、鶴などの花崗岩のバソリス状やストック状の岩体を主とし、少量の石英閃緑岩や斑レイ岩を伴う。黒雲母K-Ar年代測定を行ったAKN-Gd1は飯石郡飯南町上来島から採取したもので、新編島根県地質図編集委員会(1997)の地質図では前期古第三紀花崗閃緑岩とされる領域にある。新規因美期火成岩類は西田ほか(2005, 2013)によれば再末期白亜紀の火山岩類(大東火山岩)があるが、他は前期古第三紀の深成岩類であり、山陰中央部に広く分布し、多くはストック状ないしバソリス状として産する。黒雲母K-Ar年代測定を行ったTNE-Gd1は雲南市掛合町多根から採取したもので、大東花崗閃緑岩に属するものである。

ここで扱った後期古第三紀火山岩類である大万木山火山岩類、八神火山岩類、連水火山岩類は田万川期の火成岩類に属するもので、飯石郡飯南町を中心にして分布するものである。いずれも流紋岩~デイサイトを主とし、安山岩を伴う。火山岩類は沢田(1978a)や松浦(1989)による高山層群(高山、連水、八神、大万木山火山岩類)と日本海沿岸にほぼ平行して分布する田万川帯のコールドロン群の火山岩類(村上・今岡, 1986)や作木火山岩類が含まれる。大万木山火山岩類は島根県-広島県境の大万木山や琴引山を中心に分布し、流紋岩の溶岩、ストックおよび火砕岩を主とし、少量の安山岩、ごく少量の玄武岩質安山岩の溶岩、岩脈、火砕岩を伴う。八神火山岩類は島根県雲南市八神を中心に分布し、安山岩、デイサイト、流紋岩の溶岩と火砕岩からなる。これらの火山岩類は白亜紀~前期古第三紀の花崗岩や花崗閃緑岩の岩片を含むとともに、後期古第三紀の石見花崗岩の貫入を受け、一部で接触変成作用を被っている。なお、田万川期火成岩類にはこれらの火山岩類より後に活動した石見、阿須名、梅木などの花崗岩体、川本花崗閃緑岩体などがある。

(2) 前・中期中新世 山陰中央部におけるこの期の火山岩類は島根半島と宍道湖・中海以南の日本海沿岸に沿って広く分布する。宍道湖・中海以南の中新統は日本海に沿うものと湾入状に南部に広がって分布するものに分けられる。後者は西より大田、出雲、松江、意東、米子の湾入部と呼ばれている(第1図)。島根半島を除く中新統はこれまで下位より波多層、川合・久利層、大森層、布志名層、松江層に区分され、最下部の波多層は下部中新統とされてきた。しかし、沢田ほか(2013)は波多層の模式地を含む出雲湾入部の地質、K-Ar年代、古地磁気方位を報告し、その結論として下部中新統に当たる佐田層を提案するとともに、波多層の時代は17-15Maであり、下部中新統ではないとした。佐田層はそれまで川合層とされてきたもの(沢田, 1978a; 新編島根県地質図編集委員会, 1997; 鹿野ほか, 1998など)であるが、K-Ar年代が20-17Maであり、古地磁気方位が約50度東偏していることから新たに提案したものである。なお、高安・中村(1984)は出雲湾入部北部に「神西層」を提案したが、彼らや鹿野ほか(1998)はそれを松江層相当層とした。その後、高安・沢田(1989)は神西層中の玄武岩や布志名層を貫く安山岩岩脈のK-Ar年代から「神西層」は布志名層中・上部と同時異相で、松江層より下位であるとした。すなわち宍道湖・中海以南の下部・中部中新統を下位より、佐田層、波多層、川合・



第 1 図 山陰中央部の地質図と本報告で扱った年代値。地質図は新編島根県地質図編集委員会 (1997) と鳥取県 (1966) に基づき、一部、改変。

久利層, 大森層, 布志名層 (神西層), 松江層とする。島根半島における中新統は下位より古浦層, 成相寺層, 牛切層, 古江層, 松江層に区分されてきた。鹿野・吉田 (1985) は松江層と同時期の地層として島根町高渋山以北の地層について高渋山層を設定した。

波多層およびその火山岩類に密接に伴われる深成岩を含む貫入岩体の地質や岩石については沢田 (1978a, b, c), Sawada (1984) により, 年代, 古地磁気方位に関しては沢田・板谷 (1987) や沢田ほか (2009, 2013) によって報告されている。出雲湾入部最南部の波多層は玄武岩質安山岩から流紋岩に至る火山岩類を主とし最下部と中部に堆積岩を伴う。波多層の火山岩類は斑レイ岩, 石英閃緑岩, トーナル岩からなる深成岩類 (吉田, 野田山, 民谷の各岩体) を密接に伴ない, 火山-深成複合岩体を形成している。また, これらは東西・南北約 11 km の火山性陥没体をなしており, 掛合コールドロンと呼ばれている (Sawada, 1984)。

波多層相当層とされる地層は出雲湾入部の他, 大田, 松江, 意東, 米子の湾入部南部に分布するとされ, いずれも安山岩~流紋岩の溶岩, 火砕岩を主とし, 少量の堆積岩を伴う。

川合・久利層は海成の砂岩・泥岩を主とし, 安山岩, デイサイト, 流紋岩の溶岩, 火砕岩を伴う。大森層は溶岩と火砕岩を主とし, 凝灰岩質砂岩 (来待石) などの碎屑岩を伴う。火山岩類は安山岩とデイサイトを主とし, 玄武岩や流紋岩も見られる。布志名層は浅海成の碎屑岩を主とし, 一部で, 凝灰岩と凝灰質砂岩を伴う。神西層は浅海成の碎屑岩を主とし, アルカリ玄武岩の溶岩, 火砕岩, 岩脈を伴う (鹿野ほか, 1998; Kano, 1998)。前述のように高安・中村 (1984) や鹿野ほか (1998) は神西層を松江層相当層としたが, 高安・沢田 (1989) は神西層中の玄武岩の K-Ar 年代から布志名層中・上部と同時異層とした。松江層は浅海成の碎屑岩を主とし, 玄武岩, 粗面玄武岩や粗面安山岩の溶岩, 火砕岩を伴う。

島根半島における中新統の最下部にあたる古浦層は礫岩・砂岩・泥岩, 安山岩~デイサイトの火砕岩からなる (鹿野・吉田, 1985)。堆積環境は中・下部は淡水環境であるが上部は汽水から海水へと環境が変わり, 海進が始まっている (古金ほか, 1994; Sakai *et al.*, 2013)。しかし, 古浦層下部中の泥岩の古地磁気方位の高温成分 (500-620°C) はおよそ 90 度東偏しており, 岩盤の時計回り回転運動以前の生成物である (沢田ほか, 2009b)。鹿野・吉田 (1985) によれば成相寺層は泥岩, 安山岩・流紋岩の溶岩, 火砕岩, 牛切層は泥岩・砂岩, デイサイト~流紋岩質火砕岩, 古江層は泥質岩, 高渋山層は玄武岩・安山岩の溶岩, 火砕岩からなるとした。しかし, 後述のように, 高渋山層としたものの中で, 最北端の島根町多古地域以外は牛切層とするのが妥当とする年代を示す。

(3) 末期中新世から第四紀 この期の火山活動は末期中新世の和久羅山・嵩山デイサイトと後期更新世~完新世の火山岩類に区分される。

和久羅山・嵩山デイサイトは和久羅山から嵩山とその東側にかけて分布するドーム状溶岩で, 無斑晶質デイサイトからなる。全岩 K-Ar 年代として  $6.34 \pm 0.19\text{Ma}$  (川井・広岡, 1966),  $4.96 \pm 0.25\text{Ma}$ ,  $4.99 \pm 0.25\text{Ma}$  (Morris *et al.*, 1990),  $6.49 \pm 0.19\text{Ma}$

(Uto, 1989) が報告されている。デイサイトはアダカイト的な全岩化学組成の特徴を持ち, マグマはフィリピン海プレートのスラブ融解によってできたものと推定される (佐藤ほか, 2011)。

後期更新世の火山岩類は島根県の仁多郡奥出雲町横田, 安来市伯太町, 松江市東出雲町野呂, 鳥取県伯耆町から南部町にかけて点在分布する 1~2Ma の玄武岩 (Uto, 1989; Kimura *et al.*, 2003), 三瓶山 (流紋岩・デイサイト) や大山 (安山岩・デイサイト) の大型火山体, 宍道地溝帯中軸部の大根島-江島玄武岩, 美保湾のシゲグリ安山岩からなる。大根島-江島は海上に出ているのは火山体のごく一部にすぎず, 基底部は中海のほぼ全域を占め, 東は弓ヶ浜まで広がっている。大根島や江島大橋で行われたボーリングによれば地下約 60 m まで玄武岩が存在し, 底面は比較的フラットである (沢田ほか, 2001, 2009a)。大根島と江島のボーリングコアを見ると両者は異なる火山体ではあるが, 化学組成変化に共通性があり, 同時期に形成されたものと推定される (沢田ほか, 2009a)。また, 活動の長期間の休止期を示すような風化帯はないことから短期間に形成されたものと考えられる。大根島-江島の岩石の全岩化学組成から 5~6 回のサイクルの噴火があったと推定されている (沢田ほか, 2009a)。玄武岩溶岩には水に晒された証拠は全くなく, 陸上で噴出したものである。大根島玄武岩を覆って大山-松江軽石 (DMP) と三瓶-木次軽石 (SK) が分布する。三瓶山の活動は約 4000 年前まで続く (島根県立三瓶自然館, 2014)。

## K-Ar 年代測定

### 分析試料の準備

全岩年代用試料はジョークラッシャーとタングステンカーバイトまたは鉄製乳鉢にて粉碎し, 篩がけした  $423\sim 318\ \mu\text{m}$  の試料を用い, 磁性鉱物を除去した後, 脱イオン・蒸留水で洗浄,  $110^\circ\text{C}$  で, 約 12 時間乾燥させたものを使用した。

角閃石と黒雲母試料はジョークラッシャーと乳鉢にて粉碎し, 篩がけした  $508\sim 127\ \mu\text{m}$  の試料を水洗, 乾燥後, 磁性鉱物を除去し, 角閃石はアイソダイナミック・セパレータと重液による分離を繰り返す。最終的にはハンド・ピッキングによって純度の高い (モードで 98% 以上) 試料を準備した。黒雲母はタッピングも併用し, ハンド・ピッキングによって純度の高い試料を選別した。それを脱イオン・蒸留水で洗浄,  $110^\circ\text{C}$  で, 約 12 時間乾燥させたものを使用した。

### 分析方法

K と Ar の分析方法は長尾ほか (1984) と Itaya *et al.* (1991) に従った。K の定量は炎光分析法によって, 2000 ppm の Cs バッファーを添加して行った。炎光分析用試料は蓋付きテフロン・ビーカー中でフッ酸・硝酸混液によって分解して, 試料溶液とした。地質調査所 (現産業技術総合研究所) 標準試料 JG-1 と JB-1 による分析誤差は 3% 以内である。Ar の定量は岡山理科大学設置の軌道半径 15 cm, 偏向角  $90^\circ$  扇形磁場, 斜入射型質量分析装置を用い,  $^{38}\text{Ar}$  をスパイクとした同位体希釈法で行った。 $^{40}\text{K}$  から  $^{40}\text{Ar}$  と  $^{40}\text{Ca}$  への壊変定数 ( $\lambda\epsilon$ ,  $\lambda\beta$ )

第1表 山陰中央部における白亜紀以降の火成岩類の K-Ar 年代. 沢田ほか (2013) によるデータもあわせて示した. 分析試料物質は試料番号に表した. P: 斜長石, H: 普通角閃石, B: 黒雲母, 他は全岩年代.

試料番号	岩石種	K含有量 (wt.%)	Rad. <sup>40</sup> Ar (10 <sup>-8</sup> ccSTP/g)	K-Ar年代 (Ma)	Non Rad. <sup>40</sup> Ar (%)
<b>花崗閃緑岩</b>					
AKN-Gd1-(B)	花崗閃緑岩	7.00 ± 0.14	1910.6 ± 11.0	69.0 ± 1.4	2.7
TNE-Gd1-(B)	花崗閃緑岩	6.87 ± 0.14	1487.7 ± 8.9	54.9 ± 1.1	2.3
<b>大万木火山岩類</b>					
Oyo-1	斑状安山岩	0.52 ± 0.02	63.7 ± 1.0	31.3 ± 1.3	27.8
Oyo-1-(H)	斑状安山岩	0.44 ± 0.02	66.6 ± 1.0	38.6 ± 2.0	31.4
Oyo-2	無斑晶質安山岩	1.15 ± 0.06	152.0 ± 2.5	33.7 ± 1.8	27.8
Oyo-3	斑状安山岩	0.67 ± 0.04	90.7 ± 1.7	34.5 ± 2.1	35.7
Oyo-8	無斑晶質流紋岩	2.31 ± 0.12	278.6 ± 3.6	30.8 ± 1.6	10.4
<b>八神火山岩類</b>					
HKM-5	斑状安山岩	0.76 ± 0.04	88.5 ± 1.6	29.8 ± 1.6	32.6
<b>連水火山岩類</b>					
HKM-14	斑状安山岩	1.17 ± 0.02	154.3 ± 2.2	33.7 ± 0.7	16.1
HKM-18	無斑晶質流紋岩	2.57 ± 0.05	322.1 ± 4.2	32.0 ± 0.7	4.4
<b>佐田層</b>					
HKW-1	斑状安山岩	0.22 ± 0.01	15.2 ± 1.2	17.7 ± 1.6	80.0
HKW-2	斑状安山岩	1.19 ± 0.02	79.5 ± 0.7	17.1 ± 0.4	28.8
HKW-3	斑状安山岩	0.94 ± 0.02	70.6 ± 1.7	19.3 ± 1.1	43.8
HKW-10	斑状流紋岩	2.95 ± 0.06	206.7 ± 1.6	18.0 ± 0.4	13.1
HKW-19	無斑晶質安山岩	1.25 ± 0.03	82.5 ± 1.7	16.9 ± 0.5	28.1
08072302a-(P)	玄武岩質安山岩	0.136 ± 0.007	11.50 ± 1.1	21.8 ± 2.4	85.4
08072302c-(P)	玄武岩質安山岩	0.139 ± 0.007	10.09 ± 0.52	18.7 ± 1.3	73.0
<b>佐田層相当層</b>					
OD7-6	斑状安山岩	0.62 ± 0.02	41.3 ± 1.9	17.1 ± 1.0	66.9
YNG7-1	斑状安山岩	0.77 ± 0.02	52.7 ± 1.1	17.6 ± 0.6	40.9
RS6-1-(B)	流紋岩	6.811 ± 0.14	464.2 ± 5.3	17.5 ± 0.4	12.0
<b>波多層</b>					
HT2-2	斑状安山岩	0.38 ± 0.02	25.0 ± 0.9	16.9 ± 1.1	61.7
HT2-3	斑状安山岩	0.36 ± 0.02	21.0 ± 1.8	14.9 ± 1.5	82.4
HT2-4	無斑晶質安山岩	0.71 ± 0.04	45.6 ± 1.7	16.5 ± 1.1	64.1
HT2-8	斑状安山岩	0.57 ± 0.02	36.3 ± 1.1	16.3 ± 0.8	55.1
HT2-9	斑状安山岩	0.54 ± 0.03	31.7 ± 1.3	15.1 ± 1.0	66.2
HT2-12	斑状安山岩	0.73 ± 0.04	44.9 ± 2.1	15.8 ± 1.1	69.6
HT2-14-(H)	デイサイト溶結凝灰岩	0.29 ± 0.02	16.6 ± 0.3	14.7 ± 0.8	57.7
HT3-5	斑状安山岩	0.77 ± 0.04	46.5 ± 1.7	15.5 ± 1.0	64.0
HT3-7a	真珠岩	0.84 ± 0.03	50.9 ± 4.9	15.5 ± 1.6	84.3
HT5-2	無斑晶質デイサイト	1.41 ± 0.07	82.0 ± 2.2	14.9 ± 0.8	52.1
HT5-3-(H)	デイサイト溶結凝灰岩	0.33 ± 0.02	18.7 ± 0.5	15.0 ± 1.0	55.9
08072401-(P)	斑状安山岩	0.265 ± 0.013	16.3 ± 2.3	15.8 ± 2.4	89.3
HKW-11	斑状安山岩	1.06 ± 0.02	67.1 ± 1.3	16.2 ± 0.4	38.1
<b>波多層相当層</b>					
OD7-1	斑状安山岩	0.66 ± 0.02	39.3 ± 1.3	15.3 ± 0.7	56.6
OD7-2	斑状安山岩	0.99 ± 0.02	63.1 ± 1.5	16.3 ± 0.5	43.3
HKW-23	斑状安山岩	1.03 ± 0.02	50.7 ± 0.5	16.6 ± 0.4	25.5
HRS7-1	無斑晶質デイサイト	1.25 ± 0.03	77.9 ± 1.4	16.0 ± 0.5	39.6
HRS8-1	微斑晶質安山岩	0.87 ± 0.03	53.8 ± 1.3	15.9 ± 0.7	51.7

は  $\lambda e = 0.581 \times 10^{-10}$ ,  $\lambda \beta = 4.962 \times 10^{-10}$ ,  $^{40}\text{K}$  の存在度 ( $^{40}\text{K}/\text{K}$  比) は  $1.167 \times 10^{-4}$  を用いた (Steiger and Jäger, 1977).

#### 測定試料と分析結果

ここで報告する分析試料は全岩 52 試料, 角閃石 3 試料, 黒雲母 5 試料, 斜長石 3 試料である. ただし, これらの中には

沢田ほか (2001, 2006, 2013) によって報告されたものも含まれる. 測定結果は第 1 表に, 測定地点の位置情報は第 2 表に, 岩石記載は第 3 表にそれぞれ示した. K-Ar 年代を地質図上に記載したものを第 1 図に示した.

#### 1) 白亜紀末～前期古第三紀

分析した試料は飯石郡飯南町上来島の花崗閃緑岩 (AKN-

第1表 (続き)

試料番号	岩石種	K含有量 (wt.%)	Rad. $^{40}\text{Ar}$ ( $10^{-8}\text{ccSTP/g}$ )	K-Ar年代 (Ma)	Non Rad. $^{40}\text{Ar}$ (%)
<b>波多期貫入岩</b>					
YS-Qgb	石英斑レイ岩	0.36 ± 0.02	22.9 ± 0.6	16.3 ± 1.0	49.2
YS-Qd	石英閃緑岩	0.75 ± 0.02	43.6 ± 1.0	14.9 ± 0.5	43.8
YS-Qd-(H)	石英閃緑岩	1.20 ± 0.02	67.1 ± 0.6	14.4 ± 0.3	31.7
YS-Qd-(B)	石英閃緑岩	6.02 ± 0.12	377.8 ± 5.6	16.1 ± 0.4	14.7
NDY-Qd-(H)	石英閃緑岩	0.25 ± 0.01	16.3 ± 0.5	16.7 ± 1.0	74.5
NDY-Qd-(B)	石英閃緑岩	4.24 ± 0.08	243.9 ± 1.9	14.8 ± 0.3	17.0
HT1-9	斑状安山岩	0.76 ± 0.04	46.8 ± 1.1	15.8 ± 0.9	45.1
HT1-11	粗粒玄武岩	0.48 ± 0.02	28.4 ± 0.7	15.2 ± 0.7	44.7
DT8-1	斑状安山岩	0.31 ± 0.02	19.7 ± 1.1	16.3 ± 1.2	76.4
DT8-2	細粒閃緑岩	0.34 ± 0.02	21.2 ± 0.6	16.0 ± 0.9	56.2
<b>川合・久利層</b>					
HKW-6	斑状安山岩	0.81 ± 0.03	48.7 ± 0.9	15.4 ± 0.6	31.9
HKW-13	斑状デイサイト	1.25 ± 0.03	73.7 ± 1.8	15.1 ± 0.5	39.5
HKW-20	斑状玄武岩質安山岩	0.55 ± 0.03	32.5 ± 3.8	15.1 ± 1.9	87.1
OD7-4	無斑晶質安山岩	0.51 ± 0.02	30.4 ± 0.7	15.3 ± 0.6	44.5
OD7-7	無斑晶質安山岩	0.73 ± 0.02	43.2 ± 1.2	15.2 ± 0.6	53.6
OD7-8b	無斑晶質安山岩	0.87 ± 0.03	49.8 ± 2.2	14.7 ± 0.8	70.6
OD7-8c	無斑晶質安山岩	1.92 ± 0.04	116.0 ± 1.6	15.5 ± 0.4	25.8
<b>大森層</b>					
HKW-15	斑状デイサイト	1.02 ± 0.05	58.0 ± 1.3	14.6 ± 0.8	42.4
08072304a(P)	斑状デイサイト	0.309 ± 0.015	17.83 ± 0.74	14.8 ± 1.0	69.7
08072304b(P)	斑状デイサイト	0.383 ± 0.019	20.46 ± 0.39	13.7 ± 0.7	38.0
HKW-21	斑状デイサイト	1.13 ± 0.06	61.5 ± 3.2	14.0 ± 1.0	73.5
HKW-22	無斑晶質安山岩	0.97 ± 0.03	52.6 ± 1.8	13.9 ± 0.6	53.5
OMR6-5	斑状安山岩	1.44 ± 0.03	85.9 ± 1.9	15.3 ± 0.5	42.5
<b>神西層</b>					
JZ-1	斑状玄武岩	2.10 ± 0.04	107.6 ± 1.7	13.2 ± 0.3	34.8
JZ-2	斑状安山岩	2.02 ± 0.04	108.1 ± 2.2	13.7 ± 0.4	45.3
<b>松江層</b>					
MT08021901	斑状粗面安山岩	2.481 ± 0.050	114.5 ± 1.4	11.86 ± 0.28	18.4
<b>島根半島</b>					
SMNP7-3c	無斑晶質デイサイト	0.64 ± 0.02	36.2 ± 1.9	14.5 ± 0.9	72.6
SMNP7-5	斑状デイサイト	1.84 ± 0.04	104.8 ± 6.1	14.6 ± 0.9	75.9
SMNP7-9	斑状安山岩	1.20 ± 0.02	51.7 ± 3.3	11.1 ± 0.7	78.3
SMNP7-10	斑状玄武岩	1.16 ± 0.02	41.7 ± 2.3	9.2 ± 0.6	76.3
SMNP7-11	斑状玄武岩	0.47 ± 0.02	23.0 ± 1.2	12.6 ± 0.9	74.5
<b>大根島・江島 (更新統)</b>					
Pws-5	カンラン石玄武岩	1.651 ± 0.030	1.20 ± 0.09	0.19 ± 0.01	79.6
<b>鳥取県西部地域 (更新統)</b>					
YNG-b1	斑状玄武岩	0.83 ± 0.03	4.22 ± 0.15	1.31 ± 0.07	48.5
YNG-b2	斑状玄武岩	0.84 ± 0.03	4.22 ± 0.24	1.29 ± 0.09	69.2
YGG-a1	無斑晶質デイサイト	1.09 ± 0.02	2.43 ± 0.13	0.57 ± 0.03	63.6
SG001-(P)	斑状安山岩	1.043 ± 0.02	3.68 ± 0.23	0.91 ± 0.06	77.4
SG001		1.25	0.0045	0.9 ± 0.3	90.6

Gd1) 中および雲南市掛合町多根の花崗閃緑岩 (TNE-Gd1) 中の黒雲母試料である。いずれの試料も新鮮である。AKN-Gd1 と TNE-Gd1 の年代はそれぞれ  $69.0 \pm 1.4\text{Ma}$  と  $54.9 \pm 1.1\text{Ma}$  である。

## 2) 後期古第三紀

この期の火山岩類は変質を受けており、緑泥石、沸石、緑廉石、曹長石、炭酸塩鉱物、粘土鉱物などの二次鉱物を生じているものが多い。大万木山火山岩類の Oyo-1 中の角閃石の年代

は  $38.6 \pm 2.0\text{Ma}$  である。それに対し全岩年代は  $34.5 \pm 2.1\text{Ma}$  ~  $31.3 \pm 1.3\text{Ma}$  を示す。八神火山岩類は  $29.8 \pm 1.6\text{Ma}$  の全岩年代を示す。連水火山岩類の全岩年代は  $33.7 \pm 0.7\text{Ma}$ ,  $32.0 \pm 0.7\text{Ma}$  である。

## 3) 前期中新世の佐田層とその相当層

出雲湾入部南部にあたる佐田地域には  $20 \sim 17\text{Ma}$  の佐田層が分布する (沢田ほか, 2013)。同じ玄武岩質安山岩 (08072302) から分離した斜長石の年代は  $21.8 \pm 2.4\text{Ma}$ ,  $18.7 \pm 1.3\text{Ma}$  である。

第 2 表 試料採取地点の位置情報

試料番号	試料採取地点	緯度	経度
<b>花崗閃緑岩</b>			
AKN-Gd1	飯石郡飯南町上米島	35°01' 22" N	132°43' 35" E
TNE-Gd1	雲南市掛合町多根	35°14' 29" N	132°48' 47" E
<b>大万木火山岩類</b>			
Oyo-1	飯石郡飯南町頓原	35°04' 54" N	132°49' 23" E
Oyo-2	飯石郡飯南町小田	35°01' 48" N	132°47' 57" E
Oyo-3	飯石郡飯南町小田	35°02' 33" N	132°48' 13" E
Oyo-8	飯石郡飯南町頓原	35°05' 26" N	132°50' 34" E
<b>八神火山岩類</b>			
HKM-5	飯石郡飯南町八神	35°06' 46" N	132°42' 30" E
<b>連水火山岩類</b>			
HKM-14	邑智郡美郷町酒谷	35°03' 53" N	132°41' 34" E
HKM-18	邑智郡美郷町酒谷	35°03' 42" N	132°41' 38" E
<b>佐田層</b>			
HKW-1	出雲市佐田町石場	35°13' 22" N	132°41' 32" E
HKW-2	出雲市佐田町萱野	35°13' 42" N	132°41' 36" E
HKW-3	出雲市佐田町川南上	35°14' 15" N	132°41' 46" E
HKW-10	出雲市佐田町高津屋	35°12' 22" N	132°41' 38" E
HKW-19	出雲市佐田町川北下	35°15' 16" N	132°42' 42" E
08072302a, c	出雲市佐田町石場	35°13' 25" N	132°41' 20" E
<b>佐田層相当層</b>			
OD7-6	大田市久手町江谷	35°12' 25" N	132°31' 45" E
YNG7-1	安来市島田町八尋鼻	35°25' 42" N	133°18' 02" E
RS6-1	米子市彦名町粟島	35°26' 35" N	133°17' 31" E
<b>波多層</b>			
HT2-2	雲南市掛合町松笠	35°12' 44" N	132°47' 19" E
HT2-3	雲南市掛合町掛合	35°11' 53" N	132°48' 38" E
HT2-4	雲南市掛合町上刀根	35°07' 47" N	132°45' 37" E
HT2-8	雲南市掛合町恩谷	35°07' 37" N	132°44' 40" E
HT2-9	雲南市掛合町恩谷	35°07' 39" N	132°46' 10" E
HT2-12	雲南市掛合町掛合	35°11' 01" N	132°48' 59" E
HT2-14	雲南市掛合町波多	35°07' 57" N	132°44' 54" E
HT3-5	雲南市掛合町竹之尾	35°09' 15" N	132°47' 58" E
HT3-7(a)	雲南市掛合町竹之尾	35°09' 10" N	132°47' 38" E
HT5-2	雲南市掛合町滝谷	35°11' 15" N	132°46' 48" E
HT5-3	雲南市掛合町波多	35°09' 40" N	132°44' 08" E
08072401	雲南市掛合町魚切	35°07' 58" N	132°46' 54" E
HKW-11	雲南市三刀屋町深谷	35°15' 41" N	132°47' 38" E
<b>波多層相当層</b>			
OD7-1	邑智郡美郷町京寛原	35°03' 55" N	132°30' 06" E
OD7-2	邑智郡美郷町京寛原	35°03' 55" N	132°30' 12" E
HKW-23	出雲市佐田町川北上	35°15' 43" N	132°41' 31" E
HRS7-1	安来市広瀬町半場	35°22' 51" N	133°09' 40" E
HRS8-1	安来市広瀬町面ノ子	35°22' 27" N	133°08' 49" E

試料番号	試料採取地点	緯度	経度
<b>波多期貫入岩</b>			
YS-Qgb	雲南市吉田町吉田	35°11' 04" N	132°50' 28" E
YS-Qd	雲南市吉田町吉田	35°11' 08" N	132°50' 32" E
NDY-Qd	雲南市掛合町野田山	35°07' 32" N	132°43' 38" E
HT1-9	雲南市吉田町民谷	35°06' 20" N	132°49' 36" E
HT1-11	雲南市吉田町民谷	35°06' 17" N	132°49' 35" E
DT8-1	雲南市大東町篠淵	35°17' 16" N	133°00' 16" E
<b>川合・久利層</b>			
HKW-6	出雲市佐田町三代	35°13' 43" N	132°45' 00" E
HKW-13	出雲市佐田町反辺	35°15' 41" N	132°47' 38" E
HKW-20	出雲市佐田町八幡	35°13' 11" N	132°43' 20" E
OD7-4	大田市川合町忍原	35°06' 13" N	132°31' 05" E
OD7-7	出雲市田伎町小田	35°16' 13" N	132°37' 55" E
OD7-8b, c	大田市富山町才坂	35°12' 56" N	132°35' 38" E
<b>大森層</b>			
HKW-15	出雲市佐田町反辺慶正	35°14' 53" N	132°42' 39" E
08072304a, b	出雲市佐田町反辺慶正	35°14' 31" N	132°43' 00" E
HKW-21	出雲市乙立町立久恵峽	35°17' 39" N	132°44' 03" E
HKW-22	出雲市佐田町反辺	35°14' 14" N	132°43' 09" E
OMR6-5	松江市東忌部町下急部	35°25' 33" N	132°03' 08" E
<b>神西層</b>			
JZ-1	出雲市東神西町籠東	35°19' 13" N	132°42' 33" E
JZ-2	出雲市知井宮町保知石	35°18' 45" N	132°43' 04" E
<b>松江層</b>			
MT08021901	松江市竹矢町塩桶島	35°26' 58" N	133°06' 37" E
<b>島根半島</b>			
SMNP7-3c	出雲市唐川町君野	35°25' 55" N	132°43' 34" E
SMNP7-5	松江市島根町加賀桂島	35°33' 54" N	132°03' 10" E
SMNP7-9	松江市島根町瀬崎	35°35' 49" N	133°06' 23" E
SMNP7-10	松江市島根町多古	35°35' 49" N	133°05' 35" E
SMNP7-11	松江市島根町多古	35°35' 49" N	133°05' 35" E
<b>大根島・江島</b>			
Pws-5	境港市渡町	35°31' 14" N	133°12' 16" E
<b>鳥取県西部地域(更新統)</b>			
YNG-b1	西伯郡南部町高塚山	35°20' 32" N	133°25' 07" E
YNG-b2	西伯郡南部町萩名越敷山	35°21' 54" N	133°24' 05" E
YGG-a1	米子市淀江町壺瓶山北	35°26' 52" N	133°24' 56" E
SG001	美保湾シゲグリ	35°31' 59" N	133°20' 56" E

全岩年代としては  $19.3 \pm 1.1\text{Ma}$  ~  $16.9 \pm 1.3\text{Ma}$  の値を得ている。

佐田層の年代に近い値を示す火山岩が大田市久手町江谷の安山岩溶岩 (OD7-6) で、全岩年代が  $17.1 \pm 1.0\text{Ma}$ 、安来市島田町八尋鼻の安山岩溶岩 (YNG7-1) で、全岩年代  $17.6 \pm 0.6\text{Ma}$  がある。沢田ほか (2006) は弓ヶ浜の米子市彦名町粟島の流紋岩中の黒雲母年代として  $17.5 \pm 0.4\text{Ma}$  を報告している。

#### 4) 波多層および同時期の深成岩 (掛合火山-深成複合岩体)

波多層は出雲湾入部最南部、雲南市南部から出雲市佐田町南部にかけて分布する。大田湾入部や松江湾入部、意東湾入部の最南部に分布する中新統も波多層相当層とされてきた。波多層火山岩類には深成岩体が密接に伴われ、火山深成複合岩体を構成しており (掛合火山-深成複合岩体) (沢田, 1978a, b)。また、火山性陥没体を示すことから、沢田 (1978a)、Sawada (1984) はこの火山構造を掛合コールドロンと呼んだ。K-Ar 年代の一部は沢田ほか (2013) によって報告されている。

火山岩類はデイサイト熔結凝灰岩 (HT2-14 と HT5-3) 中

の角閃石年代がそれぞれ  $14.7 \pm 0.8\text{Ma}$  と  $15.0 \pm 1.0\text{Ma}$  である。斑状安山岩 (08072401) からの斜長石年代は  $15.8 \pm 2.4\text{Ma}$  である。波多層に密接に伴われる岩脈にはカンラン石や斜方輝石が変質を免れ残っている新鮮な試料がある (斑状安山岩 HT1-9、粗粒玄武岩 HT1-11) が、それらの全岩年代は  $15.8 \pm 0.9\text{Ma}$  と  $15.2 \pm 0.7\text{Ma}$  である。変質をほとんど受けていないか、またはそれが微弱な試料 (HT2-3, HT2-12, HT3-5, HT3-7) では、全岩年代値は  $14.9 \pm 1.5\text{Ma}$ ,  $15.8 \pm 1.1\text{Ma}$ ,  $15.5 \pm 1.0\text{Ma}$ ,  $15.5 \pm 1.6\text{Ma}$  である。鉱物年代と全岩年代の範囲は  $16.9 \pm 1.1$  ~  $14.7 \pm 0.8\text{Ma}$  である。

波多層の一部に熱変成を与えている吉田および野田山深成岩体の年代として次のような結果を得た。吉田深成岩体の全岩年代として石英斑レイ岩が  $16.3 \pm 1.0\text{Ma}$ 、石英閃緑岩が  $14.9 \pm 0.5\text{Ma}$  であるが、後者はやや変質を受けアクトノ閃石や緑泥石を生じていることから、年代はやや若返っている可能性がある。石英閃緑岩中の黒雲母年代は  $16.1 \pm 0.4\text{Ma}$  であり、石英斑レイ岩の全岩年代に近い値を示す。

野田山深成岩体の石英閃緑岩中の角閃石年代は  $16.7 \pm 1.0\text{Ma}$ 、黒雲母年代は  $14.8 \pm 0.3\text{Ma}$  である。後者は緑泥石を含むことから変質の影響を受けている可能性がある。

第3表 年代測定をおこなった岩石試料の記載.

試料番号	岩石種	産状	SiO <sub>2</sub> (wt%)	Na <sub>2</sub> O (wt%)	K <sub>2</sub> O (wt%)	構成鉱物		変質
						斑晶	石基	
<b>花崗閃緑岩</b>								
AKN-Gd1	花崗閃緑岩	岩株				Pl, Kf, Qtz, Hbl, Bt, Op		
TNE-Gd1	花崗閃緑岩	岩株				Pl, Kf, Qtz, Hbl, Bt, Op		
<b>大万木山火山類</b>								
Oyo-1	普通角閃石安山岩	岩脈または溶岩	53.99	3.76	1.68	Pl, Hbl	Pl, Hbl, Op	Ac, Ch, Ep, Hm, Cm
Oyo-2	無斑晶質安山岩	溶岩	56.37	3.22	1.57	Pl*	Pl, Op	Ch, Ep, Cm
Oyo-3	斑状両輝石安山岩	溶岩	61.79	3.63	1.72	Pl, Cpx, (Opx), Op	(Gl)	Ch, Ab, Ep
Oyo-8	無斑晶質流紋岩	溶岩	74.25	5.42	2.75	Pl*, KF*, Op*	Pl, Op, (Gl)	Ch, Ep, (Gl)
<b>八神山火山岩類</b>								
HKM-5	斑状単斜輝石安山岩	岩脈	58.47	2.88	0.95	Pl, Cpx, Hbl, Op	Pl, Cpx, Hbl, Op	Ac, Ch, Cm
<b>連水山火山岩類</b>								
HKM-14	斑状両輝石安山岩	溶岩	61.85	3.37	1.81	Pl, Cpx, (Opx), Op	Pl, Am, Op	Ch, Cm, Ac
HKM-18	無斑晶質流紋岩	溶岩	75.9	4.02	4.33	Pl*	(Gl), Pl, Qtz, Op	Al, Cm, Ep, Ch
<b>佐田層</b>								
HKW-1	カンラン石含有両輝石玄武岩質安山岩	溶岩	52.97	2.87	0.42	Pl, Ol, Opx, Cpx	Pl, Cpx, Mg, (Gl)	Sp, Id
HKW-2	斑状両輝石安山岩	溶岩	58.16	3.91	1.40	Pl, Opx, Cpx, Mg	Pl, Cpx, Opx, Mg, (Gl)	Bs, Ch, Hm
HKW-3	斑状両輝石安山岩	溶岩	60.45	3.84	1.30	Pl, Opx, Cpx, Mg	Pl, Cpx, Mg, (Gl)	Ch, Cb, Hm
HKW-10	無斑晶質流紋岩	溶岩	77.08	3.91	1.84	Pl, Am, Mg	Pl, Am, Qtz	Ch, Cm, Hm
HKW-19	無斑晶質安山岩	溶岩	64.76	3.99	1.38	Pl*	Pl, Cpx, Op, Am, (Gl)	Ch, Cm, Ab
08072302	斑状両輝石玄武岩質安山岩	溶岩				Pl, Opx, Cpx, Mg	Pl, Cpx, Mg, (Gl)	Ch
<b>佐田層相当層</b>								
OD7-6	斑状単斜輝石安山岩	溶岩				Pl, Cpx, (Mf), Op	Pl, Cpx, Sm, Op	Ch, Ab
YNG7-1	斑状両輝石安山岩	溶岩				Pl, Cpx, (Opx), Op	Pl, Cpx, (Opx), Op, (Gl)	Ch, Cb
RS6-1	黒雲母流紋岩	溶岩	78.69	3.19	3.8	Pl, Qtz, Bt	Pl, Qtz, (Gl)	
<b>波多層</b>								
HT2-2	斑状両輝石安山岩	溶岩	56.18	2.74	1.06	Pl, Cpx, (Opx), Op	Pl, Cpx, Qtz, (Opx), Op	Ch, Cb, Ze, Ab
HT2-3	斑状両輝石安山岩	溶岩	56.31	2.52	0.51	Pl, Cpx, Opx, Op	Pl, Cpx, Opx	Ch, Cb
HT2-4	無斑晶質安山岩	溶岩	56.4	3.24	0.95	Pl*, Cpx*	Pl, Cpx, Op	Ch, Ze, Ab, Hm, Cm, Cb
HT2-8	斑状両輝石安山岩	溶岩	57.78	3.32	0.79	Pl, Cpx, (Opx), Op	Pl, (mf), Op	Ch, Ab, Cb
HT2-9	斑状両輝石安山岩	溶岩	57.88	3.46	0.57	Pl, Cpx, (Opx), Op	Pl, Sm, (mf), Op	Ch, Hm
HT2-12	斑状両輝石安山岩	溶岩	59.45	3.24	1.02	Pl, Cpx, (Opx), Mg	Pl, Cpx, Am, Op, (Gl)	Ch, Ba, Hm
HT2-14	デイサイト溶結凝灰岩	火砕岩				Pl, Hbl, Qtz, Cpx, Mg		
HT3-5	斑状両輝石安山岩	溶岩	62.58	3.5	1.44	Pl, Cpx, (Opx), Mg	Pl, Cpx, (Mf), Op, (Gl)	Ch, Ba, Hm, Ze, Ab
HT3-7(a)	真珠岩	溶岩	74.23	2.81	1.59	Pl, Cpx, Opx, Mg	Gl, Crystallite	
HT5-2	無斑晶質デイサイト	溶岩	66.72	4.02	1.76	Pl*	Pl, Op	Ab, Cb, Ep
HT5-3	デイサイト溶結凝灰岩	火砕岩				Pl, Qtz, Hbl, Cpx, Op		
08072401	斑状両輝石安山岩	溶岩				Pl, Cpx, (Opx), Op	Pl, Cpx, Am, Op	Ch, Ab
HKW-11	斑状両輝石安山岩	溶岩	57.89	2.81	1.25	Pl, Cpx, (Opx), (Hbl), Op	Pl, Am, Op	Ch, Ep, Ab, Cb, Ac, Cm
<b>波多層相当層</b>								
OD7-1	斑状単斜輝石安山岩	溶岩				Pl, Cpx, Op	Pl, Qtz, Cpx, Op	Ze, Cr, Ch, Ab, Cm
OD7-2	斑状単斜輝石安山岩	溶岩				Pl, Cpx, Op	Pl, Qtz, Cpx, Op	Ze, Cr, Ch, Ab, Cm, Pr
HKW-23	斑状両輝石安山岩	溶岩	63.30	3.76	1.30	Pl, Opx, Cpx, Mg	Pl, Cpx, Mg, (Gl)	Ch, Ab
HRS7-1	無斑晶質デイサイト	溶岩					Pl, Cpx, Op	Ch, Cb
HRS8-1	微斑晶質安山岩	溶岩				Pl, Cpx, Op	Pl, Cpx, Op	Ep, Ch, Cb, Hm

## 5) 波多層相当層および同時期の貫入岩

新編島根県地質図編集委員会 (1997) の地質図で波多層相当層とされた大田, 大東, および広瀬地域において以下の試料について全岩年代を測定した. 大田地域 (邑智郡美郷町京覧原) の斑状安山岩溶岩 (OD7-1 と 7-2) はそれぞれ  $15.3 \pm 0.7\text{Ma}$  と  $16.3 \pm 0.5\text{Ma}$  である. 佐田町川北上の斑状安山岩 (HKW-23) の全岩年代  $16.6 \pm 0.4\text{Ma}$  である. 雲

南市大東町篠淵の斑状安山岩岩脈 (DT8-1) の全岩年代は  $16.3 \pm 1.2\text{Ma}$ , 石英閃緑岩 (DT8-2) は  $16.0 \pm 0.9\text{Ma}$  である. 安来市広瀬地域の火山岩の全岩年代は無斑晶質デイサイト溶岩 (HRS7-1) が  $16.0 \pm 0.5\text{Ma}$ , 微斑晶質安山岩溶岩 (HRS8-1) が  $15.9 \pm 0.7\text{Ma}$  である.

## 6) 川合・久利層

佐田地域においてカンラン石が一部変質しているが, 石基の

第3表 (続き)

試料番号	岩石種	産状	SiO <sub>2</sub> (wt%)	Na <sub>2</sub> O (wt%)	K <sub>2</sub> O (wt%)	構成鉱物		変質
						斑晶	石基	
<b>波多期貫入岩</b>								
YS-Qgb	石英斑レイ岩	岩株	51.56	1.93	0.52	Pl, Qtz, Cpx, Opx, Pig, Hbl, Bt, Op		
YS-Qd	石英閃緑岩	岩株(ボス)	59.30	3.27	0.88	Pl, Kf, Qtz, Cpx, Hbl, Bt, Op		
NDY-Qd	石英閃緑岩	岩株				Pl, Qtz, Opx, Cpx, Hbl, Bt, Op		
HT1-9	斑状両輝石玄武岩質安山岩	岩脈	54.05	1.33	0.92	Pl, Cpx, Opx, Mag	Pl, Cpx, Bt, Mag, Il	
HT1-11	粗粒玄武岩	岩脈	55.96	1.48	0.78	Pl, Cpx, Opx, Pig, Ol, Hbl, Bt, Qtz, Mag, Il		
DT8-1	斑状斜方輝石安山岩	岩脈				Pl, (Opx)	Pl, Cpx, (Opx), Qtz, Op	Cgh, Ep, Cb
DT8-2	細粒閃緑岩	岩脈				Pl, Qtz, Hbl, (Bt), Op		Ac, Ep, Ch, Cb
<b>川合・久利層</b>								
HKW-6	斑状両輝石安山岩	溶岩	64.5	4.29	1.14	Pl, Cpx, (Opx), Mg	Pl, Cpx, Mg, (Gl)	Ch, Bs, Hm, Ab
HKW-13	斑状デイサイト	溶岩	73.18	3.94	1.88	Pl, (Mf), Mg	Pl, Mg	Cb, Cm, Hm
HKW-20	斑状カンラン石含有単斜輝石玄武岩質安山岩	溶岩	52.15	3.32	0.71	Pl, Cpx, Ol, Mg	Pl, Cpx, Pig, Mg, Gl	Ch, Cm
OD7-4	無斑晶質安山岩	溶岩					Pl, Cpx, Op, Gl	Ch
OD7-7	無斑晶質安山岩	溶岩	57.06	3.77	0.91		Pl, Cpx, Op, (Gl)	
OD7-8b, c	無斑晶質安山岩	溶岩	58.92	3.26	1.04		Pl, Cpx, Op, (Gl)	Cb, Cm
<b>大森層</b>								
HKW-15	斑状角閃石含有単斜輝石デイサイト	溶岩	68.12	3.57	1.50	Pl, Qtz, Cpx, (Opx), Mg	Pl, Qtz, Cpx, (Opx), Gl	Ch, Cm
08072304	斑状角閃石含有単斜輝石デイサイト	溶岩				Pl, Qtz, Cpx, (Opx), Mg	Pl, Qtz, Cpx, (Opx), Gl	Ch, Cm
HKW-21	斑状デイサイト	溶岩	68.28	3.36	1.34	Pl, Cpx, Opx, Mg	Pl, Cpx, (Mf), Mg, (Gl)Ch, Ze, Cm	
HKW-22	無斑晶質安山岩	溶岩				Pl*, Cpx*	Pl, Cpx, Op, Bt, (Gl)	Ch, Cm,
OMR6-5	斑状両輝石安山岩	溶岩	61.09	3.04	2.20	Pl, Cpx, Opx, Op	Pl, Cpx, Op, Bt, (Gl)	Ch, Cb, Hm, Cm
<b>神西層</b>								
JZ-1	斑状カンラン石、黒雲母含有普通角閃石・単斜輝石玄武岩	溶岩	50.78	3.61	2.66	Pl, (Ol), Hbl, Cpx, Bt	Pl, Hbl, Bt, Cpx, Op	Se, Cb
JZ-2	斑状普通角閃石単斜輝石安山岩	岩脈	60.78	3.49	2.78	Pl, Cpx, Hbl, Op	Pl, Cpx, Hbl, Op,	Cm
<b>松江層</b>								
MT8-1	単斜輝石含有普通角閃石粗面安山岩	溶岩	55.25	3.79	3.52	Pl, Cpx, Hbl	Pl, Hbl, Am, Op	Ch, Ad
<b>島根半島</b>								
SMNP7-3c	無斑晶質デイサイト	溶岩				Pl*, Op*	Pl, Cpx, Op, Sm	Ch, Ep, Ze, Cm
SMNP7-5	斑状デイサイト	溶岩				Pl, Am, Op	Pl, Am, Op, Gl	Ch, Ad
SMNP7-9	斑状両輝石安山岩	溶岩				Pl, Cpx, Opx, Op	Pl, Cpx, Op, Gl	
SMNP7-10	カンラン石両輝石玄武岩	溶岩				Pl, (Ol), Cpx, Opx, Op	Pl, Cpx, Opx, (Ol), Op, Gl	Sp
SMNP7-11	カンラン石単斜輝石玄武岩	溶岩				Pl, Ol, Cpx	Pl, Cpx, Op, Gl	
<b>大根島・江島</b>								
Pws-5	カンラン石玄武岩	溶岩	46.79	3.41	2.05	Ol/Cpx/Pl	Pl, Ol, Cpx, Op	
<b>鳥取県西部地域(更新統)</b>								
YNG-b1	斑状カンラン石玄武岩	溶岩				Ol	Pl, Ol, Cpx, Op	Id
YNG-b2	斑状カンラン石玄武岩	溶岩				Ol	Pl, Ol, Cpx, Op	
YNG-a1	無斑晶質デイサイト	溶岩				Pl*	Pl, Cpx(?), Op	
SG001	斑状安山岩	溶岩	60.24	3.76	1.73	Pl, Qtz, Opx, Cpx	Pl, Kf, Qtz, Opx, Cpx, Hbl, Act, Cum, Ph, Sp, Gl	

Pl:斜長石, Qtz:石英, Kf:アルカリ長石, Ol:カンラン石, Cpx:単斜輝石, Opx:斜方輝石

Hbl:普通角閃石, Bt:黒雲母, Mg:磁鉄鉱, Il:チタン鉄鉱, Op:不透明鉱物。\*は極少量を表す。

メソスタシス, アパタイト, ジルコン, スフェン, アラナイト, モナザイトなどは記載していない。

Ch:緑泥石, Ep:緑簾石, Cb:炭酸塩鉱物, Cm:粘土鉱物+絹雲母, Ze:沸石, Sm:シリカ鉱物, Ab:曹長石

Sp:蛇紋石, Hm:ヘマタイト, Ba:バスタイト, Id:イディングス石, Pr:ブドウ石, Am:変質苦鉄質鉱物, (Gl):脱ガラス物質, Ad:アミグデュール

ガラスが残っている玄武岩質安山岩溶岩 (HKW-20) の全岩年代は  $15.1 \pm 1.9\text{Ma}$  である。斜方輝石がバスタイトに交代されている斑状安山岩溶岩 (HKW-6) の全岩年代は  $15.4 \pm 0.6\text{Ma}$  を示す。斑状デイサイト溶岩 (HKW-13) の全岩年代は

$15.1 \pm 0.5\text{Ma}$  である。

大田地域で脱ガラス化され、少量の緑泥石を含む無斑晶質安山岩溶岩 (OD7-4) の全岩年代は  $15.3 \pm 0.6\text{Ma}$  を示す。大田市富山町の無斑晶質安山岩溶岩 (OD7-

第4表 地質から見て異常な値を示す試料や、同一地点で採取した岩石試料で著しく異なる値を示す試料の年代値。

試料番号	層準	岩質	産状	K含有量 (wt.%)	Rad. $^{40}\text{Ar}$ ( $10^{-8}\text{ccSTP/g}$ )	K-Ar年代(Ma)	Non Rad. $^{40}\text{Ar}$ (%)
OMR6-1	大森層	安山岩	岩脈	0.61 ± 0.02	47.0 ± 2.5	19.7 ± 1.2	67.3
OMR6-2		粗粒玄武岩	岩脈	0.29 ± 0.01	23.6 ± 2.7	20.8 ± 2.5	87.1
OD7-5(1)	久利層	無斑晶質	溶岩	0.07 ± 0.007	5.9 ± 2.9	21.6 ± 10.8	96.8
OD7-5(2)		玄武岩		0.07 ± 0.007	2.45 ± 0.61	9.0 ± 2.4	94.1
SMNP7-3a	牛切層	斑状安山岩	溶岩	0.32 ± 0.02	17.0 ± 3.2	13.7 ± 2.6	91.6
SMNP7-3b		無斑晶質デイスайト	岩脈	0.79 ± 0.02	39.5 ± 1.2	12.8 ± 0.5	55.5

OMR6-1: [斑晶] 斜長石, [石基] 斜長石, 単斜輝石, 斜方輝石(緑泥石), 磁鉄鉱, [二次鉱物] 緑泥石, 粘土鉱物, 赤鉄鉱。  
石英, 斜長石, アルカリ長石, 黒雲母の捕獲結晶や花崗岩の捕獲岩を含む。

OMR6-2: [微斑晶] 斜長石, [石基] 斜長石, 単斜輝石, 斜方輝石(一部緑泥石化), 磁鉄鉱, メソスタシス  
[二次鉱物] 緑泥石, 粘土鉱物, 炭酸塩鉱物, 杏仁状構造を持つ。

OD7-5: 斜長石, 単斜輝石, 斜方輝石, 不透明鉱物, 緑泥石, 炭酸塩鉱物, 杏仁状構造を持つ。

SMNP7-3a: [斑晶] 斜長石, 単斜輝石, 斜方輝石(変質), 不透明鉱物 [石基] 斜長石, 単斜輝石, シリカ鉱物, 不透明鉱物。  
[二次鉱物] 緑泥石, 粘土鉱物, 沸石, 曹長石, 杏仁状構造を持つ。

SMNP7-3b: [斑晶] ごく少量 斜長石, 変質苦鉄質鉱物, 不透明鉱物, [石基] 斜長石, 単斜輝石, 変質苦鉄質鉱物, 不透明鉱物。  
[二次鉱物] 緑泥石, 粘土鉱物, 曹長石, 赤鉄鉱

OMR6-1 雲南市三刀屋町根波別所 35° 17' 8" N; 132° 48' 29" E

OMR6-2 出雲市稗原町鐘築 35° 19' 26" N; 132° 47' 11" E

OD7-4 大田市川合町川合 35° 8' 34" N; 132° 30' 54" E

SMNP7-3a, b SMNP7-3cと同じ露頭

8b, c) の全岩年代は  $14.7 \pm 0.8\text{Ma}$  と  $15.5 \pm 0.4\text{Ma}$  である。出雲市田儀町の無斑晶質安山岩溶岩 (OD7-7) の全岩年代は  $15.2 \pm 0.6\text{Ma}$  である。

#### 7) 大森層

出雲市佐田町慶正のデイスайト溶岩 (08072304a, b) 中の斜長石年代は  $14.8 \pm 1.0\text{Ma}$  と  $13.7 \pm 0.7\text{Ma}$  である。これと同じ溶岩 (HKW-15) の全岩年代は  $14.6 \pm 0.8\text{Ma}$  である。出雲市佐田町反辺の無斑晶質安山岩溶岩 (HKW-22) の全岩年代は  $13.9 \pm 0.6\text{Ma}$  である。出雲市乙立町立久恵峡の斑状デイスайト溶岩 (HKW-21) の全岩年代は  $14.0 \pm 1.0\text{Ma}$  である。松江市東忌部町の斑状安山岩溶岩 (OMR6-5) の全岩年代は  $15.3 \pm 0.5\text{Ma}$  である。

#### 8) 神西層・松江層

出雲市東神西町麓東の斑状安山岩 (JZ7-2) は布志名層を貫く岩脈で、全岩年代は  $13.7 \pm 0.4\text{Ma}$  を示す。玄武岩 (JZ7-1) は神西層最下部を構成する溶岩 (高安・中村, 1984, 鹿野ほか, 1998, Kano, 1998) で、 $13.2 \pm 0.3\text{Ma}$  の年代が得られた。

大橋川にある小島, 塩楯島は松江層の斑状粗面安山岩 (MT08021901) の溶岩とスパターを含むスコリア丘である (第2図)。全岩 K-Ar 年代として  $11.9 \pm 0.3\text{Ma}$  を得た。

#### 9) 島根半島部

分析した試料は牛切層から2試料, 出雲市唐川町君野の無斑晶質溶岩 (SMNP7-3c) と松江市島根町加賀桂島の斑状デイスайト溶岩 (SMNP7-5), および松江市島根町瀬崎・多古 (鹿野・吉田, 1985 の高洪山層最上部) の斑状安山岩溶岩 (SMNP7-9) と斑状玄武岩溶岩 (SMNP7-10, 11) である。SMNP7-3c は粘土鉱物を含むものの, 変質はさほど著しくはない。全岩 K-Ar 年代は  $14.5 \pm 0.9\text{Ma}$  を示す。SMNP7-5 は新鮮なデイスайト溶岩で全岩年代は  $14.6 \pm 0.9\text{Ma}$  である。

瀬崎の安山岩溶岩 (SMNP7-9) は新鮮な試料で、全岩年代は  $11.1 \pm 0.7\text{Ma}$  である。上位の玄武岩溶岩の全岩年代は SMNP7-10 が  $9.2 \pm 0.6\text{Ma}$ , SMNP7-11 が  $12.6 \pm 0.9\text{Ma}$  を示す。SMNP7-10 中のカンラン石は仮像であるが、SMNP7-11 は斑晶カンラン石

の多くは二次鉱物に交代されているものの、一部は変質を免れている。

#### 10) 非合理的な年代値を示す中新統

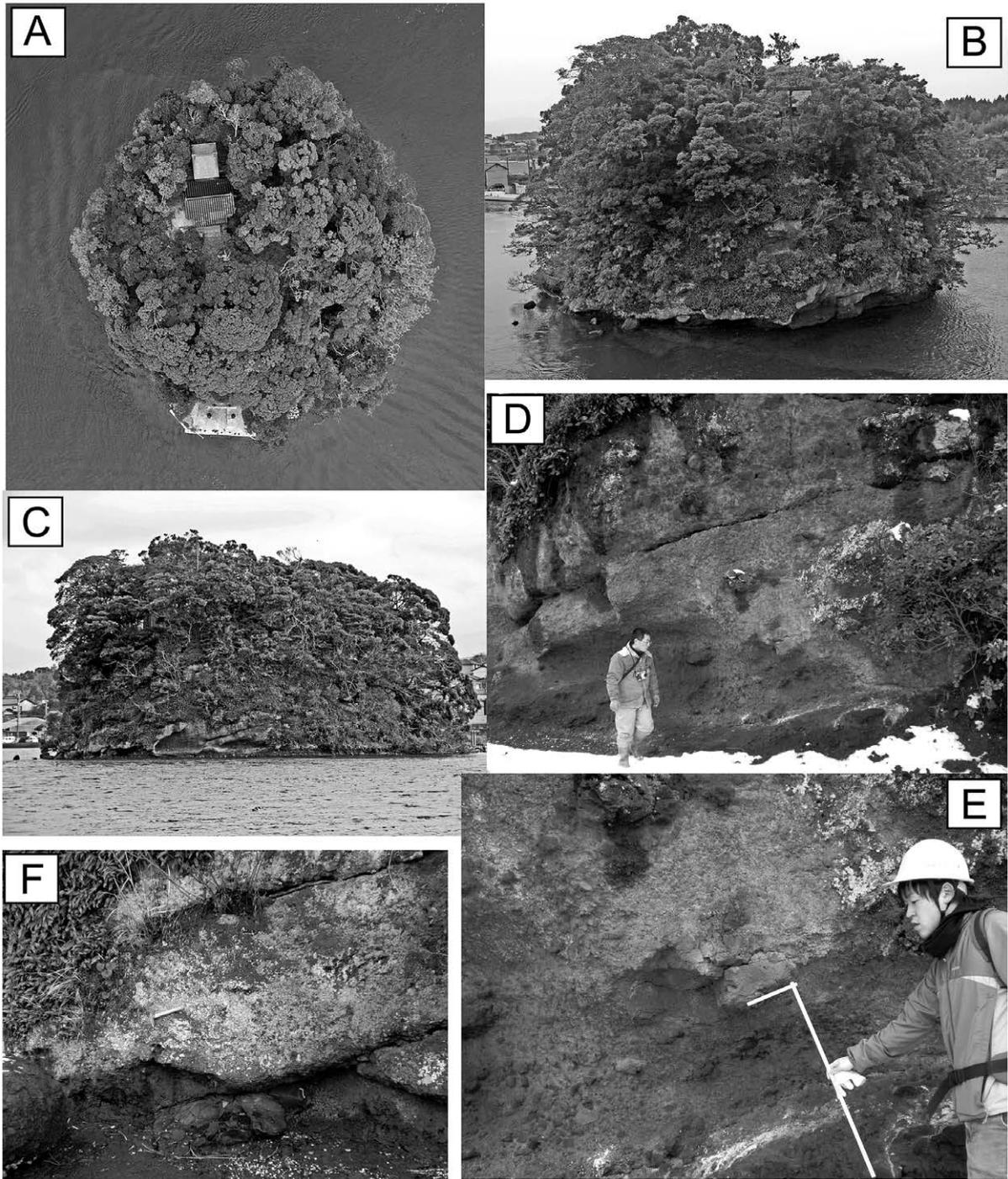
地質や試料および他の年代から判断してかけ離れた年代値を示す結果を第4表に示した。雲南市三刀屋町根波別所と出雲市稗原町鐘築で、大森層の海成泥岩中に貫入する安山岩岩脈 (OMR6-1) と粗粒玄武岩岩脈 (OMR6-2) は全岩年代で、それぞれ  $19.7 \pm 1.2\text{Ma}$  と  $20.8 \pm 2.5\text{Ma}$  を示す。大田市川合町川合で久利層中の玄武岩溶岩について同一試料から異なるフラクション2試料の全岩年代を測定した。結果は  $21.6 \pm 10.8\text{Ma}$  と  $9.0 \pm 2.4\text{Ma}$  で非放射性  $^{40}\text{Ar}$  をそれぞれ 97% と 94% も含み、誤差も著しく大きなものであった。SMNP7-3a, b は SMNP7-3c (第1, 2表参照) と同一露頭から採取したものであるが、SMNP7-3a は下位の安山岩溶岩, b はそれを貫くデイスайト岩脈である。SMNP7-3a と b は変質を受けており、単斜輝石は変質を免れているものの、斜方輝石は緑泥石や粘土鉱物に交代されており、他に沸石, 曹長石, 赤鉄鉱などを生じている。全岩 K-Ar 年代は SMNP7-3a が  $13.7 \pm 2.6\text{Ma}$ , b が  $12.8 \pm 0.5\text{Ma}$  を示す。

#### 11) 更新世火山岩類

鳥取県西伯郡南部町に分布するカンラン石玄武岩 (YNG-b1, b2) の全岩年代は b1 が  $1.31 \pm 0.07\text{Ma}$ , b2 が  $1.29 \pm 0.09\text{Ma}$  である。米子市淀江町壺瓶山北方の無斑晶質デイスайト (YNG-a1) の全岩年代は  $0.57 \pm 0.03\text{Ma}$  である。美保湾中の海底に存在する火山体の斑状安山岩 (SG001) の全岩年代については沢田ほか (2001) によって  $0.9 \pm 0.3\text{Ma}$  が報告された。今回、斜長石年代として  $0.91 \pm 0.06\text{Ma}$  の値を報告した。

### 中新世火成岩類の既存の年代値

山陰中央部における白亜紀以降の火成岩類の放射年代は鹿野・吉田 (1984), 今岡ほか (1994), 地質調査所 (産総研) の図幅などによってまとめられている。以下に上記に述べた年代をのぞく中新世の火成岩類についての年代を第5表にまと



第2図 塩桶島の写真。A, Bはドローンによる撮影（藤井基礎設計事務所提供、永海飛鳥氏撮影）。  
Cは北西方向から撮影した写真。D, Eはスパターを含む粗面安山岩のスコリア層。Fは溶岩。

めた。なお、地層区分は新編島根県地質図編集委員会（1997）による地質図に基づいている。

#### 白亜紀～更新世火成岩類の既存の放射年代との比較

##### 1) 白亜紀末～前期古第三紀

花崗閃緑岩 AKN-Gd1 の黒雲母年代は  $69.0 \pm 1.4\text{Ma}$  を示すが、この岩体と同じ岩体（赤名花崗閃緑岩）の黒雲母 K-Ar

年代として  $64.3 \pm 3.2\text{Ma}$  および Rb-Sr アイソクロン年代として  $63.4\text{Ma}$  が報告されている（服部ほか、1983）。今回得られた黒雲母 K-Ar 年代はそれらの値より幾分か古い年代を示している。新編島根県地質図編集委員会（1997）の地質図では試料採取地点は前期古第三紀の花崗閃緑岩分布域になっているが、この北東方向に前期白亜紀の花崗閃緑岩が分布している。また、西田ほか（2005, 2013）によれば  $70\text{Ma}$  あたりに下萩花崗閃緑岩や高田花崗閃緑岩がある。花崗閃緑岩 AKN-Gd1 は

第5表 中新世の火成岩類の既存の年代値. 文献は以下の通りである. 1: 鹿野ほか (2005), 2: 鹿野ほか (1998), 3: 鹿野・吉田 (1984), 4: 鹿野ほか (1994), 井上ほか (1999), 6: Otofujii *et al.* (1991), 7: Morris *et al.* (1990), 8: 鹿野・中野 (1985), 9: Uto (1989), 10: 木村・辻 (1992), 11: 大平 (2015), 12: 鹿野ほか (1989).

地層名と試料採取地点	岩石種	分析方法	年代(Ma)	文献
<b>佐田層・波多層相当層</b>				
邑智郡美郷町小松地	デイサイト	K-Ar(W)	18.9 ± 0.9	3
		Z-FT	18.4 ± 3.4	3
雲南市大東町清久山	安山岩	K-Ar(W)	13.2 ± 0.3	1
雲南市大東町	デイサイト溶結凝灰岩	Z-FT	16.0 ± 1.5	4
安来市飯梨町飯梨	デイサイト溶結凝灰岩	Z-FT	20.4 ± 2.7	4
八雲村と広瀬町境界	安山岩溶岩	K-Ar(W)	9.2 ± 1.0	4
安来市久白町	安山岩	K-Ar(W)	12.4 ± 3.4	4
<b>安来市広瀬町(意東火山岩類)</b>				
高丸・車山・経塚	玄武岩質安山岩	K-Ar(W)	19.6 ± 0.4 ~17.2 ± 0.4	5
高丸・喜吾郎・桑原・金比羅・川平 車山・面子・岩坪・経塚・滝山	玄武岩質安山岩・安山岩	K-Ar(W)	16.4 ± 0.4 ~15.3 ± 0.4	5
<b>波多層とそれに随伴する貫入岩類</b>				
雲南市掛合町松笠	デイサイト	K-Ar(P)	15.4 ± 0.7	1
波多層上部	溶結凝灰岩	Z-FT	17.6 ± 0.9	2
雲南市掛合町竜頭が滝	細粒閃緑岩	Z-FT	17.6 ± 0.8	1
吉田深成岩体	石英閃緑岩	K-Ar(B)	17.6 ± 0.10	1
野田山深成岩体	石英閃緑岩	K-Ar(B)	17.6 ± 0.11	3
	石英閃緑岩	K-Ar(W)	17.6 ± 0.12	3
<b>川合層・久利層</b>				
出雲市佐田町東村川南上南方	安山岩	K-Ar(W)	18.3 ± 0.4	6
出雲市佐田町原田三代	安山岩	K-Ar(W)	17.5 ± 1.4	6
出雲市佐田町寺尾	安山岩	K-Ar(W)	16.2 ± 0.4	6
出雲市佐田町宮内山中南方	安山岩	K-Ar(W)	15.2 ± 0.4	6
出雲市佐田町宮内山中東方	安山岩	K-Ar(W)	13.7 ± 0.3	6
出雲市佐田町御幡北東方	安山岩	K-Ar(W)	13.8 ± 0.4	6
雲南市三刀屋町根波別所	安山岩	K-Ar(W)	16.4 ± 0.4	6
雲南市三刀屋町高窪	安山岩	K-Ar(W)	17.3 ± 1.3	6
雲南市大東町中屋赤川	安山岩溶岩	K-Ar(W)	11.9 ± 2.1	4
雲南市大東町	安山岩溶岩	K-Ar(W)	9.2 ± 1.0	4
雲南市大東町北村	デイサイト質凝灰岩	Z-FT	17.1	10
松江市八雲町	デイサイト	K-Ar(W)	16.0 ± 0.4	6
安来市荒島町	流紋岩凝灰岩	Z-FT	15.3 ± 0.8	4
安来市広瀬町	流紋岩溶結凝灰岩	Z-FT	14.8 ± 0.9	4
安来市広瀬町	流紋岩溶結凝灰岩	Z-FT	14.1 ± 0.9	4
安来市上吉田町	流紋岩岩脈	Z-FT	14.1 ± 1.1	4
<b>大森層</b>				
大田市	デイサイト	K-Ar(W)	15.8 ± 0.9	7
出雲市	デイサイト	K-Ar(W)	16.0 ± 0.9	7
出雲市多伎町小田	安山岩	K-Ar(W)	15.7 ± 0.6	6
		K-Ar(W)	15.3 ± 0.6	6

分析方法 K-Ar(W) : K-Ar全岩年代, K-Ar(B) : K-Ar黒雲母年代, K-Ar(P) : K-Ar斜長石年代  
Z-FT : ジルコン, フィッション・トラック年代

それらと同じ時代のものと考えられる。

多根花崗閃緑岩 (TNE-Gd1) の黒雲母 K-Ar 年代は 54.9 ± 1.1Ma を示す。多根花崗閃緑岩の分布域付近には大東花崗閃緑岩などいくつかの花崗閃緑岩体が分布するが、それらの黒雲母 K-Ar 年代として 51Ma (河野・植田, 1966), 58Ma, 46Ma, 44Ma (石原, 1971) や 52.8 ± 1.1Ma, 52.2 ± 1.1Ma, 51.5 ± 1.1Ma (資源エネルギー庁, 1987; 1988) が報告されている。西田ほか (2013) は大東花崗閃緑岩の放射年代を 66.8 ~ 52.2Ma としている。ここで報告した花崗閃緑岩 (TNE-Gd1) の年代はこの範囲に入る。

## 2) 後期古第三紀

この期の火山岩類は大万木山火山岩類, 八神火山岩類, 連水火山岩類である。大万木山火山岩類の玄武岩質安山岩

(Oyo-1) の角閃石 K-Ar 年代が 38.6 ± 2.0Ma であるのに対し、全岩年代は 34.5 ~ 29.8Ma を示す。八神火山岩類を貫く石見花崗岩の K-Ar 年代は黒雲母が 31.6 ± 1.6Ma (服部ほか, 1983), 白雲母で 31.6 ± 1.6Ma と 31.2 ± 1.6Ma である (松浦, 1989) ことから、これらの年代より若い値を示す火山岩類の全岩年代は変成や変質による若返りの年代と考えられる。従って、Oyo-1 の角閃石 K-Ar 年代の 38.6 ± 2.0Ma が噴出年代と考えるのが妥当である。広島県の作木火山岩類の角閃石 K-Ar 年代も 37.8 ± 2.6Ma を示し (松浦, 1989), 大万木山火山岩類の年代に近い。鳥根県下においてこの期の火成岩類については例えば浜田市の国府火山岩類 (44 ~ 30Ma) (今岡ほか, 1990) など多数の年代値が報告されている。

## 3) 佐田層とその相当層

第 5 表 (続き)

地層名と試料採取地点	岩石種	分析方法	年代	文献
<b>大森層</b>				
出雲市湖陵町	安山岩	K-Ar(W)	13.0 ± 0.5	6
出雲市佐田町朝原三楨	安山岩	K-Ar(W)	13.9 ± 0.6	6
出雲市佐田町寺尾南方	粗粒玄武岩	K-Ar(W)	14.9 ± 0.9	6
出雲市船津町	玄武岩	K-Ar(W)	16.2 ± 1.4	6
出雲市古志町	玄武岩	K-Ar(W)	14.4 ± 0.3	6
		K-Ar(W)	13.8 ± 0.3	6
出雲市見々久町	デイサイト	K-Ar(W)	15.3 ± 0.4	6
玉湯町布志名	安山岩	K-Ar(W)	13.0 ± 0.3	6
	安山岩	K-Ar(W)	12.6 ± 0.3	6
松江市乃白町	安山岩	K-Ar(W)	14.4 ± 0.3	6
松江市西忌部町	安山岩	K-Ar(W)	14.1 ± 0.3	6
松江市玉湯町花仙山	安山岩溶岩	K-Ar(W)	13.9 ± 0.7	3
松江市八雲町	デイサイト	Z-FT	17.1 ± 0.9	4
<b>古浦層</b>				
松江市美保関町七類	デイサイト凝灰岩	Z-FT	22.6 ± 2.2	3
		Z-FT	25.8 ± 4.0	3
松江市美保関町	凝灰岩	Z-FT	18.2	10
松江市美保関町七類	凝灰岩	Z-FT	16.8 ± 0.8	11
松江市美保関町才	凝灰岩	Z-FT	17.4 ± 0.7	11
<b>成相寺層</b>				
松江市東持田納蔵	流紋岩	Z-FT	21.7 ± 3.0	3
松江市美保関町北浦南東方	粗面玄武岩	K-Ar(W)	14.2 ± 0.8	7
松江市鹿島町上講武袖谷北方	流紋岩	Z-FT	16.6	10
<b>牛切層</b>				
出雲市平田町河下	火砕流堆積物	Z-FT	14.3 ± 1.4	12
松江市美保関町北浦	玄武岩	K-Ar(W)	14.2 ± 0.8	7
松江市島根町佐波	安山岩	K-Ar(W)	13.4 ± 0.8	7
松江市島根町桂島	流紋岩	K-Ar(W)	13.1 ± 1.2	7
松江市美保関町白島	デイサイト質凝灰岩	Z-FT	14.8	10
松江市美保関町黒カスカ島	デイサイト質凝灰岩	Z-FT	14.4	10
<b>島根町多古の火山岩類</b>				
松江市島根町多古	玄武岩	K-Ar(W)	9.3 ± 2.4	3
松江市島根町多古	安山岩	K-Ar(W)	9.6 ± 1.6	9
松江市島根町多古	安山岩	Z-FT	14.0	10
<b>松江層</b>				
松江市東津田町	玄武岩	K-Ar(W)	11.1 ± 0.6	7
		K-Ar(W)	11.2 ± 0.6	7
松江市東津田町	粗面玄武岩質安山岩	K-Ar(W)	11.5 ± 0.6	8
松江市西川津町	粗面玄武岩質安山岩	K-Ar(W)	11.9 ± 0.6	8
松江市古志原	カンラン石玄武岩	K-Ar(W)	10.7 ± 0.5	7
		K-Ar(W)	10.8 ± 0.6	7
松江市雑賀町	カンラン石玄武岩	K-Ar(W)	10.7 ± 0.7	7
		K-Ar(W)	11.7 ± 0.8	7
松江市矢田町茶臼山	カンラン石玄武岩	K-Ar(W)	12.1 ± 0.5	9

出雲市佐田町地域で、従来、川合層とされていたものの中で 20~17Ma の年代を示し、古地磁気方位が約 50 度東偏している溶岩が存在するが、沢田ほか (2013) は、これらを川合層から切り離し、「佐田層」(新称) として提案した。Otofuji *et al.* (1991) も佐田町付近の火山岩類から 18.3 ± 0.4Ma や 17.5 ± 1.4Ma の全岩年代を報告しているが、彼らはこれらを川合層としている。

大田市東方に分布する安山岩溶岩 (OD7-6) の全岩年代は 17.1 ± 1.0Ma である。安来地域で全岩年代として 17.6 ± 0.6Ma を示す安山岩溶岩、17.5 ± 0.4Ma の黒雲母年代を示す弓ヶ浜の流紋岩溶岩などは佐田層相当層と考えられる。

これまで報告された年代値として大田湾入部の小松地デイサイト: 全岩 K-Ar 年代 18.9 ± 0.9Ma (鹿野・吉田, 1984) や安来市飯梨町飯梨の閃石デイサイト溶結凝灰岩: ジルコン FT 年代 20.4 ± 2.7Ma (鹿野ほか, 1994) なども佐田層の年代である。

4) 波多層と同時期の深成岩 (掛合火山-深成複合岩体) の年代

この期の火成岩類の年代に関しては沢田ほか (2013) によって地質と古地磁気方位をあわせて報告されている。結論的には波多層の年代は 16.9 ± 1.1Ma ~ 14.9 ± 0.8Ma の範囲にある。下位の佐田層との直接的な地質関係は不明であるが、前述のように佐田層の古地磁気方位は約 50 度東偏しているのに対し、波多層の多くは現在と同じか、あるいはその逆である。すなわち佐田層形成期から波多層形成期にかけて時計回り回転運動があったことになる。一部の波多層には回転途中の可能性のある古地磁気方位が 20 度ほど東偏しているものもある。この古地磁気方位の変化は Otofuji and Matsuda (1983) が指摘した日本海の開口に伴う西南日本の時計回り回転に相当する。波多層と上位の川合層の間は整合的である。松浦ほか (2005) は波多層の年代を 18Ma かそれより古いとしてい

るが、 $15.4 \pm 0.7\text{Ma}$  の斜長石年代を示すデイサイト溶岩をシートとするなど地質的にも問題がある。

波多層火山岩類には成因的に密接に関連した深成岩体（吉田、野田山、民谷深成岩体）が伴われる、一部は波多層に熱変成を与えている。吉田深成岩体中の石英閃緑岩は変質を受けアクチノ閃石や緑泥石を生じているが、黒雲母年代は  $16.1 \pm 0.4\text{Ma}$  である。一部アクチノ閃石化している角閃石の年代は  $14.4 \pm 0.3\text{Ma}$ 、全岩年代で  $14.9 \pm 0.5\text{Ma}$  を示すが、やや若返った年代の可能性が高い。石英斑レイ岩の全岩年代は  $16.3 \pm 1.0\text{Ma}$  であり、黒雲母年代に近く、急速に冷却したためにはほぼ同じ年代となったと考えられる。野田山深成岩体の角閃石年代は  $16.7 \pm 1.0\text{Ma}$ 、黒雲母年代は  $14.8 \pm 0.3\text{Ma}$  で、吉田深成岩体や波多層中の火山岩類の年代とほぼ同じである。すなわち、沢田 (1978a, b, c)、Sawada (1984) が述べたようにこれらの火成岩類は火山-深成複合岩体を形成していると結論づけられる。

野田山深成岩体の石英閃緑岩中の角閃石年代は  $16.7 \pm 1.0\text{Ma}$ 、黒雲母年代は  $14.8 \pm 0.3\text{Ma}$  である。後者は緑泥石を含むことから変質の影響を受けている可能性がある。

#### 5) 波多層相当層の年代

上述のように大田湾入部における波多層相当層 (OD7-1, 7-2) の全岩年代は  $15.3 \pm 0.7\text{Ma}$ 、 $16.3 \pm 0.5\text{Ma}$  で出雲湾入部の波多層の年代と類似している。大東町でも波多層相当層とされた角閃石デイサイト溶結凝灰岩中のジルコン FT 年代で  $16.0 \pm 1.5\text{Ma}$  を示すものがある (鹿野ほか, 1994)。井上ほか (1999) は荒島湾入部における波多層相当層とされてきた意東火山岩類について多数の全岩 K-Ar 年代を報告したが、その結果は  $17.2 \pm 0.4\text{Ma}$  から  $15.1 \pm 0.3\text{Ma}$  であり、出雲湾入部の波多層に類似する。

#### 6) 川合・久利層

出雲湾入部における川合・久利層の年代は  $15.5 \pm 0.4\text{Ma}$  ~  $14.7 \pm 0.8\text{Ma}$  である。Otofujii *et al.* (1991) は佐田町周辺の川合・久利層とされる火山岩類の全岩 K-Ar 年代を報告しているが、前述のように佐田層が含まれ、また、地質・岩石記載が不十分であるので、よくわからないが、 $15.2 \pm 0.4\text{Ma}$  から  $13.7 \pm 0.3\text{Ma}$  の範囲のものが川合相当層であろう。松江市南方では川合・久利層とされる火山岩類の全岩 K-Ar 年代として  $16.0 \pm 0.4\text{Ma}$  (Otofujii *et al.*, 1991)、 $11.9 \pm 2.1\text{Ma}$  や  $9.2 \pm 1.0\text{Ma}$  (鹿野ほか, 1994) が報告されている。ジルコン FT 年代としては久利層として  $15.3 \pm 0.8\text{Ma}$  ~  $14.1 \pm 0.9\text{Ma}$  (鹿野ほか, 1994) が報告されている。

#### 7) 大森層

今回報告した大森層の K-Ar 年代は斜長石年代が  $14.8 \pm 1.0\text{Ma}$ 、 $13.7 \pm 0.7\text{Ma}$ 、全岩年代が  $15.3 \pm 0.5\text{Ma}$  ~  $13.9 \pm 0.6\text{Ma}$  である。

Otofujii *et al.* (1991) によって出雲市からは  $16.2 \pm 1.4\text{Ma}$  ~  $13.4 \pm 0.3\text{Ma}$  の全岩年代が、松江市からは  $14.4 \pm 0.3\text{Ma}$  ~  $12.6 \pm 0.3\text{Ma}$  が報告されている。鹿野・吉田 (1984) は花仙山の安山岩の全岩 K-Ar 年代を  $13.9 \pm 0.7\text{Ma}$  とした。Morris *et al.* (1990) は安来市の大森層中の玄武岩の全岩 K-Ar 年代を  $15.5 \pm 1.0\text{Ma}$  とした。松江市の八雲村のデイサイトからのジルコンの FT 年代は  $17.1 \pm 0.9\text{Ma}$  である (鹿野ほか, 1994)。

#### 8) 松江層

大橋川の塩桶島における松江層中の粗面安山岩の全岩 K-Ar 年代として  $11.9 \pm 0.3\text{Ma}$  を報告した。松江層中の火山岩類の全岩 K-Ar 年代として鹿野・中野 (1985) により  $11.9 \pm 0.6\text{Ma}$  と  $11.5 \pm 0.6\text{Ma}$  が、また Morris *et al.* (1986) によって  $11.7 \pm 0.8\text{Ma}$  ~  $10.7 \pm 0.5\text{Ma}$  が、Uto (1989) により  $12.1 \pm 0.5\text{Ma}$  が報告されている。これらの年代値は今回報告した  $11.9 \pm 0.3\text{Ma}$  は鹿野・中野 (1985) や Uto (1989) による値と Morris *et al.* (1986) によるもっとも古い年代値に近い。

#### 9) 島根半島部

今回報告した牛切層中のデイサイトの全岩 K-Ar 年代は  $14.6 \pm 0.9\text{Ma}$  と  $14.5 \pm 0.9\text{Ma}$  である。鹿野ほか (1989) は出雲市平田町の火砕流堆積物中のジルコン FT 年代として  $14.3 \pm 1.4\text{Ma}$  を報告している。Morris *et al.* (1990) は美保関町や島根町の玄武岩と安山岩から  $14.2 \pm 0.8\text{Ma}$  と  $13.4 \pm 0.8\text{Ma}$  の全岩 K-Ar 年代を報告している。Morris *et al.* (1990) は桂島の流紋岩の全岩 K-Ar 年代として  $13.1 \pm 1.2\text{Ma}$  を報告しているが、桂島におけるデイサイトの全岩 K-Ar 年代は  $14.6 \pm 0.9\text{Ma}$  であり、Morris *et al.* (1990) による報告値より古い値を示す。

鹿野・吉田 (1985) が高洪山層としたその上位の安山岩溶岩 (SMNP7-9) は新鮮な試料で、全岩年代は  $11.1 \pm 0.7\text{Ma}$  である。それより上位の玄武岩溶岩の全岩 K-Ar 年代は SMNP7-10 が  $9.2 \pm 0.6\text{Ma}$ 、SMNP7-11 が  $12.6 \pm 0.9\text{Ma}$  を示す。SMNP7-10 中のカンラン石は仮像であるが、SMNP7-11 は斑晶カンラン石の多くは二次鉱物に交代されているものの、一部は変質を免れているものもある。島根町多古の紫蘇輝石含有かんらん石普通輝石玄武岩について鹿野・吉田 (1985) は  $9.3 \pm 2.4\text{Ma}$  を、Uto (1989) は高アルカリ・ソレアイト質安山岩について  $9.3 \pm 2.4\text{Ma}$  の全岩 K-Ar 年代を報告しているが、この値は SMNP7-10 の値に近い。

#### 10) 更新世火山岩類

中国山地の脊梁部からその北側にかけて後期新生代の玄武岩～玄武岩質安山岩が点在分布する (鷹村, 1973)。Uto (1989) は横田地域では  $2.38 \pm 0.21\text{Ma}$  ~  $1.11 \pm 0.13\text{Ma}$ 、安来市野呂の玄武岩質安山岩では  $1.09 \pm 0.19\text{Ma}$ 、伯太の玄武岩で  $1.33 \pm 0.06\text{Ma}$  を報告した。Kimura *et al.* (2003) も横田地域で  $0.72 \pm 0.12\text{Ma}$  ~  $2.17 \pm 0.05\text{Ma}$  と  $7.87 \pm 0.25\text{Ma}$  を、伯太の玄武岩で  $1.33 \pm 0.06\text{Ma}$  のいずれも全岩年代値を報告している。ここで報告した鳥取県西伯郡南部町の玄武岩の全岩年代 ( $1.31 \pm 0.07\text{Ma}$ 、 $1.29 \pm 0.09\text{Ma}$ ) はこれらの年代値に近いものである。

大山およびその周辺における火山活動は古期と新期に分けられる (津久井ほか, 1985)。津久井ほか (1985) によれば古期のものは下蒜山デイサイト溶岩  $0.91 \pm 0.05\text{Ma}$  (全岩年代) を最古として、考霊山デイサイト溶岩の  $0.30 \pm 0.05\text{Ma}$  (全岩年代) までの年代値を示すが、 $0.6$  ~  $0.4\text{Ma}$  の全岩年代を示す溶岩が多い。Kimura *et al.* (2003) は大山周辺の火山岩の全岩 K-Ar 年代として茶臼山の安山岩の  $4.84 \pm 0.22\text{Ma}$  を最古として、船上山のデイサイトの  $1.02 \pm 0.02\text{Ma}$  から烏ヶ山デイサイトの  $0.06 \pm 0.02\text{Ma}$  を報告している。ここで報告した  $0.57 \pm 0.03\text{Ma}$  の全岩年代を示す米子市淀江町の無斑晶質デイ

サイト溶岩もこれらの一連の活動の産物と考えられる。

大根島の玄武岩の全岩 K-Ar 年代として  $0.10 \pm 0.12\text{Ma}$ ,  $0.02 \pm 0.12\text{Ma}$  (Morris *et al.*, 1990) と  $0.05 \pm 0.23\text{Ma}$  (Kimura *et al.*, 2003) が報告されている。沢田ほか (2006) は江島大橋下のボーリングコアから  $0.19 \pm 0.01\text{Ma}$  の全岩 K-Ar 年代を報告した。大根島の玄武岩は大山・松江軽石 (DMP) と三瓶・木次軽石 (SK) によって覆われることからそれらの年代より古いものである。DMP は  $180 \pm 60\text{ka}$  のジルコン FT 年代が報告されている (木村ほか, 1999) が、誤差が大きい。SK は  $100 \pm 20\text{ka}$  のジルコン FT 年代 (木村ほか, 1999) と  $110 \pm 14\text{ka}$  の熱ルミネッセンス年代 (下岡ほか, 2009) が報告されている。ここで報告した江島大橋下のボーリングコアの全岩 K-Ar 年代  $0.19 \pm 0.01\text{Ma}$  は妥当な値と考える。

### 山陰中央部における中新世と更新世火成岩類の年代に関する諸問題

#### 1) 中新統の層序と年代

既に述べたように、従来、山陰地方の宍道湖・中海以南における下部・中部中新統の層序は下位より波多層、川合・久利層、大森層、布志名層、松江層 (神西層) に区分されてきた。しかし、以下の問題点が存在する。

1) 佐田層と波多層の年代、2) 川合・久利層、大森層の年代、3) 布志名層、松江層 (神西層) の関係と年代。

(1) 佐田層と波多層の年代 松浦ほか (2005) は波多層をこの地域の中新統の最下部とし、その年代は  $18\text{Ma}$  ないしそれより古いとした。この見解と沢田ほか (2013) による波多層の古地磁気方位に従うならば、 $18\text{Ma}$  ないしはそれ以前に回転運動は終了していたことになる。ところが  $20 \sim 17\text{Ma}$  の年代を示す佐田層の古地磁気方位は約  $50$  度東偏しており、松浦ほか (2005) の説と矛盾する。このことは素直に上述したように佐田層の年代を  $20 \sim 17\text{Ma}$ 、波多層の年代は  $17\text{Ma}$  より若く、この時間間隙に西南日本の回転運動が起こったと考えること合理的に説明できる。沢田ほか (2013) によって報告された波多層の一部に  $30 \sim 20$  度程度東偏した古地磁気方位を示すものがあるが、これは回転運動の途中を示している可能性がある。

(2) 川合・久利層、大森層の関係と年代 波多層と上位の川合層の間は整合的である。また、年代にも大きなギャップはない。久利層は川合層上部と同時移層の関係にある。川合・久利層と上位の大森層の関係も整合的である。川合・久利層と大森層の放射年代は広い幅を示すが、川合・久利層を  $15\text{Ma}$  前後、大森層を  $14.5\text{Ma}$  前後とする。林ほか (投稿中) による出雲湾入部中部中新統の微化石層序も本報告と矛盾はない。

(3) 布志名層、松江層 (神西層) の関係と年代 高安・中村 (1984) や鹿野ほか (1998) は神西層は島根県東部における松江層に対比されるとした。しかし、神西層中の玄武岩の年代が  $13.2 \pm 0.3\text{Ma}$  であることから、高安・沢田 (1989) は神西層は布志名層中・上部と同時異相の関係にあり、松江層より下位であるとした。布志名層を貫く安山岩岩脈が

$13.7 \pm 0.4\text{Ma}$  を示すことから、層序を布志名層、神西層、松江層とすることが良いかもしれないが、神西町周辺における岩脈によって貫かれる布志名層周辺と神西層の関係について地質的に解明することが必要である。松江層の火山岩の年代は  $12.1\text{Ma} \sim 11.7\text{Ma}$  が妥当であろう。

#### 2) 宍道湖 - 中海以南と島根半島中新統の対比

島根半島の中新統の層序は下位より古浦層、成相寺層、牛切層、古江層、松江層に区分されている。

古浦層の年代は鹿野・吉田 (1984) によってデイサイト凝灰岩中のジルコンの FT 年代として  $22.6 \pm 2.2\text{Ma}$  と  $25.8 \pm 4.0\text{Ma}$  が報告された。その後、ジルコン FT 年代として  $18.2\text{Ma}$  (木村・辻, 1989) や  $16.6 \pm 0.8\text{Ma}$ ,  $17.4 \pm 0.7\text{Ma}$  (大平, 2015) が報告された。最近、Sakai *et al.* (投稿準備中) によって珪長質凝灰岩中のジルコンの FT 年代として  $20.2 \pm 1.2\text{Ma}$ ,  $18.0 \pm 0.7\text{Ma}$ ,  $16.6 \pm 0.7\text{Ma}$  が、また U-Pb 年代として  $19.2 \pm 0.2\text{Ma}$  と  $19.2 \pm 0.8\text{Ma}$  が測定された。古浦層下部の泥岩の古地磁気方位が測定されたが、高温成分 ( $500 \sim 620^\circ\text{C}$ ) はおよそ  $90$  度東偏している (沢田ほか, 2009b)。すなわち古浦層下部形成以降に時計回り回転運動が起こったことを示している。古金ほか (1994) は泥質岩の有機炭素・硫黄濃度から古浦層下部・中部は淡水環境にあったが、上部では汽水ないし海水環境へと変わったとした。同様に Sakai *et al.* (2013) は堆積相、また、野村ほか (2018) は有孔虫化石から同様な変化を報告した。すなわちこれらの研究は古浦層上部形成期に海が入ってきたことを示している。高安ほか (1992) は古浦層と成相寺層の境界の年代を  $16.5\text{Ma}$  としたが、この年代は波多層の下限に近い。野村ほか (2018) は古浦層と成相寺層は整合関係にあり、境界の年代を  $17.8\text{Ma}$  あたりに推定した。

年代と回転運動の時期から考えて、佐田層は古浦層に対比されると考えてよい。成相寺層の古地磁気方位は高温相が不明瞭であるが、中温相 ( $350 \sim 500^\circ\text{C}$ ) は現在と同じ方位を示す (沢田ほか, 2009b)。成相寺層より上位の牛切層の年代は  $14.6 \sim 14.2\text{Ma}$  前後とすると、大森層に対比される。一方、波多層、川合・久利層は連続して形成されたと考えられ、成相寺層に対比される。

鹿野・吉田 (1985) は松江市島根町の高洪山以北を高洪山層として牛切層から区別し、松江層相当層とした。この地域の地層は新編島根県地質図編集委員会 (1998) の地質図では大森層 (牛切層相当層) とされているものである。本報告で島根町加賀桂島のデイサイトの全岩 K-Ar 年代を  $14.6 \pm 0.9\text{Ma}$  としたが、この値は牛切層の年代である。鹿野・吉田 (1985) はこの地域を高洪山層にしているが、桂島の東方延長にある模式地の高洪山も含め牛切層とするのが妥当である。一方、ここで報告したように多古周辺の年代は同じ層準で採取した試料 (SMNP7-10, 11) であるにもかかわらず  $9.2 \pm 0.6\text{Ma}$  と  $12.6 \pm 0.9\text{Ma}$  の異なる全岩 K-Ar 年代を示す。  $9.2 \pm 0.6\text{Ma}$  は変質によるアルゴンロスがあったと考えるのが妥当であろう。玄武岩年代の  $12.6\text{Ma}$  は神西層と松江層の年代の間にある。これらを鹿野・吉田 (1985) に従い高洪山層とするのはそもそも模式地の高洪山が牛切層の分布する地域にあるので、ふさわしくない。年代のみで地層名を決める訳ではないので、今

後、地質を明らかにして、多古地域の地質体の帰属や地層名を決めるのが望ましい。

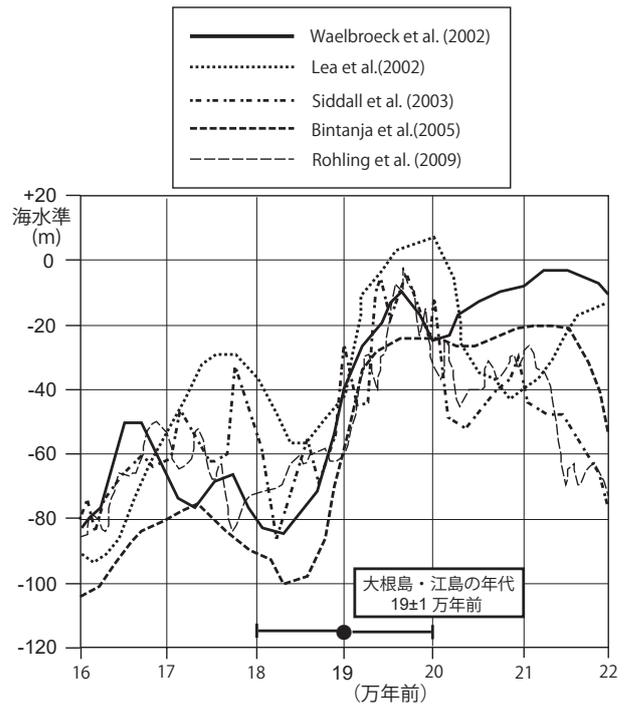
### 3) 更新世火山岩の問題

美保湾の海底下の岩礁シゲグりを構成する安山岩については沢田ほか(2001)に報告されている。ここでは新たに斜長石の K-Ar 年代 ( $0.91 \pm 0.06\text{Ma}$ ) を報告したが、沢田ほか(2001)によって報告された全岩年代 ( $0.9 \pm 0.3\text{Ma}$ ) と同じである。一方、ジルコン FT 年代は  $0.16 \pm 0.04\text{Ma}$  であり、年代の不一致が認められる。シゲグリアン山岩体の古地磁気方位は現在と逆の方向(沢田ほか、未発表資料)であり、K-Ar 年代から考えられる松山逆磁極期に形成されたとするのが妥当である。しかし、K-Ar 年代とジルコン FT 年代の不一致の問題は未解決である。

江島大橋の建設に先立つボーリング調査で得られたコア試料の全岩 K-Ar 年代は  $0.19 \pm 0.1\text{Ma}$  である。江島と大根島は異なる火山体ではあるが、両者のボーリング試料の比較や玄武岩の全岩化学組成の検討から溶岩は同時期に形成されたと結論づけられた(沢田ほか、2009a)。大根島も江島も地下約 60m まで玄武岩の溶岩が続くが、それらはすべて陸上で噴出したものである。すなわち現在は島となっているが、陸上で噴出し、その後、海没したものである。第3図に 22 万年前から 16 万年前までの間の海水準変動をまとめた図を示した。手法によって推定される変化曲線は異なるが、いずれの図でも 20 万年前から急速に海面が低下し、19 万年前から 18 万年前にかけて -60m ないしはそれ以下まで低下したことが示されている。K-Ar 年代の誤差を考えると大根島-江島は 20 万年~18 万年前に形成ことになる。ボーリングコアを調べると地表から地下 60m までの間に火山活動の長い休止期を示すようなものはないので、比較的短期間に火山体が形成されたと推察される。海水準変動は海面と地盤の上下運動の相対的なものである。地盤が火山体形成後におよそ 60m 沈降しても同じような結果になるが、中海周辺でおよそ 20 万年前に 60m も沈降するような変動は考えられない。すなわち、大根島-江島は 19 万年前から 18 万年前にかけて海面が 60m 以下に低下した時期に形成されたと結論づけることができる。年代としては 18.5 万年前が妥当なところであろう。

### ま と め

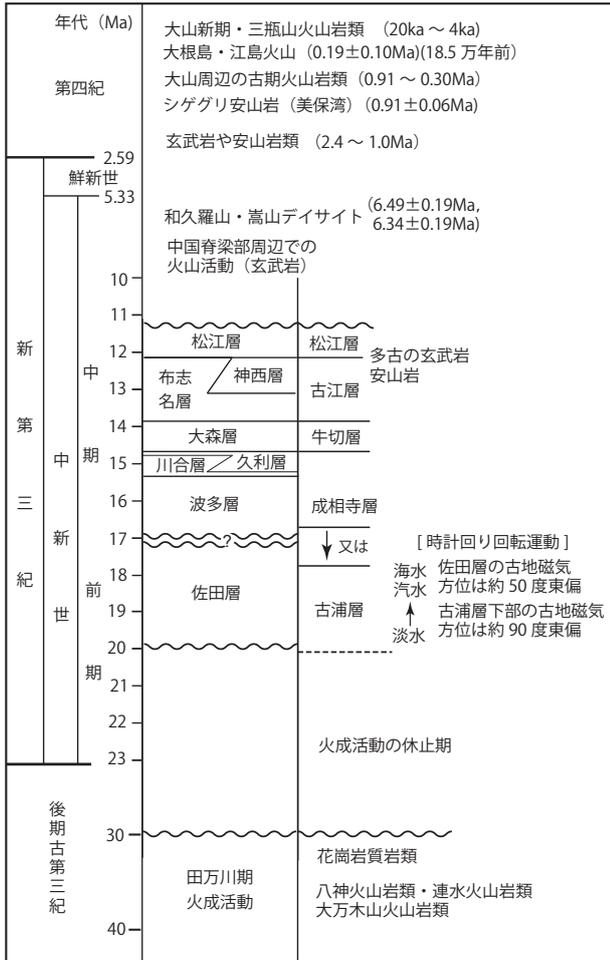
- (1) 白亜紀~古第三紀の深成岩として飯石郡飯南町の白亜紀花崗閃緑岩(黒雲母 K-Ar 年代:  $69.0 \pm 1.4\text{Ma}$ )と雲南市掛合町の前期古第三紀花崗閃緑岩(黒雲母 K-Ar 年代:  $54.9 \pm 1.1\text{Ma}$ )を報告した。後期古第三紀の火山岩類の普通角閃石年代と全岩年代を報告した。大万木山火山岩類中の安山岩の普通角閃石 K-Ar 年代 ( $38.6 \pm 2.0\text{Ma}$ ) が火山岩の噴出年代に近いものとする。
- (2) 山陰中央部では 30Ma から 20Ma にかけて火成活動の休止期があった。
- (3) 山陰中央部における下部・中部中新統の層序は下位より佐田層 (20Ma~17Ma)、波多層 (17Ma~15Ma)、川合・久利層 (15Ma 前後)、大森層 (14.5 前後)、布志名層、神西



第3図 ささまざまな研究者による 22 万年前から 16 万年前にかけての海水準変動の推定。引用文献は図中に示した。

層(布志名層中・上部と同時異相)(13.5Ma 前後)、松江層(12Ma 前後)に分けられる。波多層上部と川合層の間は整合的で短期間に形成された。新編島根県地質図編集委員会(1998)による地質図で、波多層相当層とされている地層の多くは波多層の年代と類似している。一方、川合層とされている火山岩の中には前期中新世の年代を示すものがある。

- (4) 山陰中央部における宍道湖-中海以南の中新世火成活動は湾入部の最南部から始まるとされてきた。しかし、ここで報告したように、火成活動は前期中新世に日本海に沿う地帯から発生し、その後、より南方へと拡大した後、北方へと移動していったと言える。これらの中新世火成活動の場は大陸縁の分裂と日本海の形成を引き起こしたリフトである。代表的な活動的リフトである東アフリカ大地溝帯においてもリフトに沿う火山活動から始まり、その活動が続くとともに、ケニア山、キリマンジャロ山、エルゴン山などリフトの外側に巨大な火山体(off-rift volcanoes)が形成される。山陰中央部における中新世火成活動に見られる活動の場の変遷は、現象的には東アフリカ大地溝帯における火山活動の場とその推移に類似している。さらに、遅くとも前期中新世には火山活動を伴って形成された宍道地溝帯のリフト底(中軸部)には末期中新世以降の火山である嵩山-和久羅山、シゲグリアン山、大根島-江島があるが、これらの火山体も位置的には東アフリカ大地溝帯のリフト底に多く見られる火山体に類似する。
- (5) 島根半島における古浦層の年代として Sakai *et al.* (投稿準備中)によって凝灰岩中のジルコンの U-Pb 年代  $19.2 \pm 0.2\text{Ma}$  と  $19.2 \pm 0.8\text{Ma}$  が測定された。この年代は佐田層の年代に相当する。牛切層の全岩 K-Ar 年代として



第4図 山陰中央部における後期古第三紀以降の火成活動史および層序。田万川期の火成活動と年代は本報告と西田ほか(2013)に基づく。中新統の層序と年代、宍道湖・中海以南と島根半島の対比は沢田ほか(2013)と本報告, Sakai *et al.* (投稿準備中)に基づく。古浦層と成相寺層の境界の地質関係と年代は高安ほか(1992)によれば16.5Maであるが、野村ほか(印刷中)によると17.8Ma付近である。古浦層の堆積環境の変化は古金ほか(1994), Sakai *et al.* (2013), 野村ほか(2018)による。古地磁気方位は沢田ほか(2009b, 2013)による。後期中新世以降の火山活動史と年代に関しては以下の文献を参考にした。Uto (1989), 川井・広岡 (1966), 沢田ほか (2001, 2006), 津久井ほか (1985), 島根県立三瓶自然館 (2014), 本報告。

14.6 ± 0.9Ma, 14.5 ± 0.9Ma を報告した。鹿野・吉田 (1985) が提案した「高洪山層」については模式地である高洪山も含む下部は牛切層に相当する。最上部の玄武岩の全岩 K-Ar 年代として 12.6Ma を得た。この年代は神西層ないしは松江層に相当するので、牛切層とは区別する必要があるが、地質関係を明らかにして、新たな地層名を提案するべきである。

(6) 沢田ほか (2009b, 2013) による地質、年代と古地磁気方位、および本報告から日本海の開口に伴う中国地方(西南日本)の時計回り回転運動は佐田層と波多層の間、すなわち 17Ma 頃に起こった。古浦層下部の古地磁気方位の高温相 (500~620℃) は著しく東偏しており、回転運動前である。

(7) 島根県東端部から鳥取県西端部にかけて分布する更新世の火山岩類の全岩と斜長石の K-Ar 年代を報告した。とりわけ美保湾中のシゲグリ安山岩火山の斜長石 K-Ar 年代は 0.91 ± 0.06Ma で、沢田ほか (2001) による全岩 K-Ar 年代と同じである。古地磁気方位は現在と逆であり、松山逆磁極期に形成されたものと考えてよい。しかし、ジルコンの FT 年代は 0.14Ma であるが (沢田ほか, 2001), 不一致年代の原因は不明である。江島大橋下の玄武岩の全岩 K-Ar 年代は 0.19 ± 0.01Ma であるが、当時の推定された海水準を考えると年代は 18.5 万年前とするのが妥当である。

(8) 最後に、本報告では放射年代、特に K-Ar 年代に基づいて年代と層序を議論してきた。いうまでもなく絶対年代は層序や地質年代を組み立てる上で重要ではあるが、「絶対的」なものではない。あくまでも層序や地質年代、あるいは化石の年代を決める上で基礎となるのは地質学と記載岩石学であり、これらを抜きにした年代は無意味と言っても過言ではない。層序と年代の不一致が地質や記載岩石学によって合理的に説明できた好例として、筆者も関係したイラン、マラゲイ地域の化石を多産する後期中新統の研究 (Sawada *et al.*, 2016) がある。この研究では軽石中の普通角閃石と斜長石の K-Ar 年代を測定した結果、一部で下位より上位の年代が古くなる場所があった。同地域の地質を調べた Sakai *et al.* (2016) によれば古い年代を示す軽石層は洪水性堆積物であり、下位のものに再堆積した可能性があるという結論で、軽石の記載岩石学もそのことを支持している。このように詳細な地質や岩石・鉱物記載は放射年代を考える上で不可欠なものである。

最近、筆者も参加した人類進化史上重要な化石であるアウストラロピテクス・アファレンシスの研究において、その化石を含む火山泥流の放射年代としてジルコンの U-Pb を測定し、3.4~3.6Ma (誤差 3~6%) の年代を得て (Mbua *et al.*, 2016), ジルコンの U-Pb 年代が有効なものであることを実感した。いうまでもなくジルコンは風化や変質に強く、そのような岩石や地層からも採取され年代測定に供される。また、閉止 (閉鎖) 温度も高いことから、最終的なマグマの定置年代のみならず、その履歴もわかる可能性がある。山陰中央部の火成活動史を明らかにする上で、ジルコンの U-Pb 年代は有効であろう。

前述したように地質年代の推定はあくまでも地質と地層・岩石記載が基礎であるが、この上にならば生層序や放射年代を加味すれば真実を反映した地質年代を確立することができる。ここではほとんど扱わなかったが、野村 (1986), 野村ほか (1984, 2018) や林ほか (2013, 投稿中) などによる微化石層序も重要である。これらを総合して山陰中央部における中新統層序を確立し、地層の分布や帰属も再検討する必要がある。

謝 辞

K-Ar 年代の測定にあたっては、岡山理科大学に在職した板谷徹丸博士、岡田利典博士、蒜山地質年代研究所の八木公史

博士にお世話になった。酒井哲弥博士には古浦層の堆積環境についてご教示頂いた。野村律夫博士には古浦層と成相寺層の有孔虫に関する論文を教えて頂いた。大平寛人博士には古浦層のFT年代を教えて頂いた。林 広樹博士と入月俊明博士には化石層序についてご教示頂いた。斎藤文紀博士には第四紀の海水準変動についてご教示頂いた。亀井淳志博士には論文投稿にあたり、便宜をはかって頂き、匿名の査読者とともに投稿原稿の不備な諸点を指摘して頂いた。Barry Roser博士には英文の内容についてコメントと添削をして頂いた。藤井基礎設計事務所と永海飛鳥氏には塩楯島のドローンによる撮影を行い、写真を提供して頂いた。以上の方々にお礼を申し上げます。

## 文 献

- Bintanja, R., van de Wal, R.S.W., and Overlemaans, J., 2005, Modelled atmospheric temperatures and global sea levels over the past million years. *Nature*, **437**, 125–128.
- 井上多津男・長尾敬介・田崎和江・川谷芳弘, 1999, 鳥根県東部に分布する中新世意東火山岩類のK-Ar年代. 地球科学, **53**, 75–80.
- 服部 仁・鹿野和彦・鈴木隆介・横山勝三・松浦浩久・佐藤博之, 1983, 三瓶山地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 168p.
- Iizumi, S., Mishima, H., Okamoto, Y., and Honma, H., 1984, A strontium isotope study on the Neu granitic pluton and its mafic inclusion, San'in zone, Southwest Japan. *Jour. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*, **79**, 89–100.
- 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.
- 早瀬一・石坂恭一, 1967, Rb-Srによる地質年令 (I). 西南日本. 岩石鉱物鉱床学会誌, **58**, 201–212.
- 林 広樹・橋野慎平・野村律夫・田中裕一郎, 2013, 鳥根県大田市の模式地における久利層の生層序. 地質雑, **119**, 300–311.
- 林 広樹・荻原雅幸・田中裕一郎, 出雲市佐田町須佐地域の原田川ルートにおける川合層-久利層の微化石層序. 鳥根県地学会誌. 投稿中
- 今岡照喜・板谷徹丸・松本俊雄・山崎博史・沢田順弘, 1990, 山陰西部国府火山岩類のK-Ar年代. 地質雑, **96**, 945–948.
- 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究所研究報告, no.20, 3–57.
- 石原舜三, 1971, 日本の主要モリブデン鉱床および関連する花崗岩質岩類. 地質調査所報告, no.239, 1–178.
- Itaya, T., Nagao, K., Inoue, K., Honjiyo, T., 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.
- 鹿野和彦・中野 俊, 1985a, 山陰地方新第三系の放射年代と対比について. 地調月報, vol. 36, 427–438p.
- 鹿野和彦・中野 俊, 1985b, 美保関地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 28p.
- 鹿野和彦・中野 俊, 1986, 恵曇地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 30p.
- 鹿野和彦・吉田史郎, 1984, 鳥根半島中・東部新第三系の放射年代とその意義. 地調月報, vol. 35, 159–170.
- 鹿野和彦・吉田史郎, 1985, 境港地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 57p.
- 鹿野和彦・山内靖喜・高安克己・松浦浩久・豊 遙秋, 1994, 松江地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 129p.
- 鹿野和彦・松浦浩久・沢田順弘・竹内圭史, 1998, 石見大田及び大浦地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 39p.
- 鹿野和彦・竹内圭史・大嶋和雄・豊 遙秋, 1989, 大社地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 58p.
- 鹿野和彦・竹内圭史・松浦浩久, 1991, 今市地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 79p.
- Kano, K., 1998, A shallow-marine alkali-basalt tuff cone in the Middle Miocene Jinzai Formation, Izumo, SW Japan. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **87**, 173–191.
- 鹿野和彦・宝田晋治・牧本 博・土谷信之・豊 遙秋, 2001, 温泉津及び江津地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 129p.
- 川井直人・広岡公男, 1966, 西南日本新生代火山岩類若干についての年代測定結果. 総合討論会資料「年代測定結果を中心としてみた日本の酸性火山岩類の形成時期」日本地質学会, 5.
- Kimura, J.-I., Kunikiyo, T., Osaka, I., Nagao, T., Yamauchi, S., Kakubuchi, S., Okada, S., Fujibayashi, N., Okada, R., Murakami, H., Kusano, T., Umeda, K., Hayashi, S., Ishimura, T., Ninomiya, A., and Tanase, A., 2003, Late Cenozoic volcanic activity in the Chugoku area, southwest Japan arc during back-arc basin opening and reinitiation of subduction. *The Island Arc*, **12**, 22–45.
- 木村純一・岡田昭明・中山勝博・梅田浩司・草野高志・麻原慶憲・館野満美子・壇原 徹, 1999, 大山および三瓶火山起源テフラのフィッション・トラック年代とその火山活動史における意義. 第四紀研究, **38**, 145–155.
- 古金典隆・今岡祐作・上田康博・三瓶良和・鈴木徳行, 1994, 鳥根半島中新世古浦層・成相寺層境界部泥岩の有機炭素・硫黄濃度からみた日本海海進. 鳥根大学地質学研究报告, no.13, 57–67.
- 河野義礼・植田良夫, 1966, 本邦産火成岩のK-A dating (V) - 西南日本の花崗岩類 -. 岩鉱, **56**, 191–211.
- 木村勝弘・辻 喜弘, 1992, 堆積盆発展過程の研究. 平成3年度石油開発技術センター年報, 石油公団石油開発技術センター, 90–98.
- 金属鉱業事業団, 1990, 平成元年度精密調査報告「北島根地域」84p.
- 金属鉱業事業団, 1991, 平成2年度精密調査報告「北島根地域」67p.
- 金属鉱業事業団, 1992, 平成3年度精密調査報告「北島根地域」56p.
- 金属鉱業事業団, 1993, 平成4年度精密調査報告「北島根地域」55p.
- 金属鉱物探鉱促進事業団, 1970, 昭和43年度精密調査報告書「北島根地域」, 105p.
- 金属鉱物探鉱促進事業団, 1971, 昭和44年度精密調査報告書「北島根地域」, 139p.
- 金属鉱物探鉱促進事業団, 1972a, 昭和45年度精密調査報告書「北島根地域」, 123p.
- 金属鉱物探鉱促進事業団, 1972b, 昭和46年度精密調査報告書「北島根地域」, 93p.
- 松田高明, 1979, 山陰中央部・第三系中部のフィッション・トラック年代. 日本地質学会第86年学術大会講演要旨, 132.
- 松田高明, 1980, 山陰中-西部の白亜紀-古第三紀火成岩類のフィッション・トラック年代. 日本地質学会第87年学術大会講演要旨, 124.
- Lea, D.W., Martin, P.A., Pak, D.K., and Spero, H.J., 2002, Reconstructing a 350ky history of sea level using planktonic Mg/Ca and oxygen isotope records from a Cocos Ridge core. *Quat. Sci. Rev.*, **21**, 283–293.
- 松浦浩久, 1989, 山陰地方中部に分布する白亜紀後期-古第三紀火成岩類の区分と放射年代. 地調月報, vol. 40, 479–495.
- 松浦浩久, 1990, 赤名地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 73p.
- 松浦浩久・鹿野和彦・石塚吉浩・高木哲一, 2005, 木次地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅). 産総研地質調査総合センター, 72p.
- Mbua, E., Kusaka, S., Kumimatsu, Y., Geraads, D., Sawada, Y., Brown, B., Sakai, Boisserie, J.-R., Saneyoshi, M., Omuombo, C., Muteti, S., Hirata, T., Hayashida, A., Iwano, H., Danhara, T., Bobe, R., Jicha, B., and Nakatsukasa, M., 2016, A new *Australopithecus* site on shoulders of the Rift Valley, near Nairobi, Kenya. *Jour. Human Evolution*, **94**, 28–44.
- Morris, P.A., 1986, Geochemistry of some Miocene to Quaternary igneous rocks bordering an ensialic marginal basin - and example from eastern

- Shimane Prefecture and Oki-Dozen Island, southwest Japan. *Mem. Fac. Sci. Shimane Univ.*, **20**, 115–131.
- Morris, P.A., Itaya, T., Watanabe, T., and Yamauchi, S., 1990, Potassium/argon ages of Cenozoic igneous rocks from eastern Shimane Prefecture - Oki Dozen Island, southwest Japan and the Japan Sea opening. *Jour. Southeast Asian Earth Sci.*, **4**, 125–131.
- 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, 419p.
- 日本の地質『中国地方』編集委員会編, 1987, 日本の地質7 中国地方, 増補版, 共立出版, 290p.
- 日本地質学会編, 2009, 日本地方地質誌6「中国地方」, 朝倉書店, 536p.
- 長尾敬介・西戸裕嗣・板谷徹丸・緒方惟一, 1984, K-Ar 法による年代測定. 岡山理科大森山研報, no.9, 19–38.
- 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.
- 西田和浩・今岡照喜・君波和雄・長松 雄・飯泉 滋, 2013, 西南日本山陰帯と韓国慶尚盆地の花崗岩類における白亜紀最末期の Sr-Nd 同位体組成変化とその意義. 地質雑, **119**, 229–248.
- 野村律夫・田中裕一郎・辻本 彰, 2018, 鳥根半島中新統, 成相寺層下部から産出した有孔虫群集とその意義. 地質雑. (印刷中)
- 野村律夫, 1986, 鳥根半島中央部中新統の地質—その2 底生有孔虫化石群集について—. 地質雑, **92**, 461–475.
- 野村律夫・吉田史郎・鹿野和彦, 1984, 鳥根半島東部新第三系からの底生有孔虫化石. 地調月報, vol. 35, 261–268.
- 大平寛人, 2015, 鳥根半島に分布する中新世火砕岩のジルコンの FT 年代. フィッション・トラック ニュースレター, no.28, 1–5.
- Otofujii, Y., Itaya, T., and Matsuda, T., 1991, Rapid rotation of southwest Japan – paleomagnetism and K-Ar ages of Miocene volcanic rocks of southwest Japan. *Geophys. Jour. Intern.*, **105**, 397–405.
- Otofujii, Y., and Matsuda, T., 1983, Paleomagnetic evidence for the clockwise rotation of Southwest Japan. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **62**, 349–359.
- Rohling, E.J., Grant, K., Bolshaw, M., Roberts, A.P., Siddal, M., Hemleben, Ch., and Kucera, M., 2009, Antarctic temperature and global sea level coupled over the past five glacial cycles. *Nature Geosci.*, **2**, 500–504.
- Sakai, T., Furukawa, A., and Kawano, S., 2013, Stepwise environmental changes in the lower Miocene Koura Formation, southwest Japan, associated with Japan Sea evolution. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **119**, 285–299.
- Sakai, T., Zaree, G., Sawada, Y., Ataabadi, M.M., and Fortelius, M., 2016, Depositional environment reconstruction of the Maragheh Formation, East Azarbaijan, Northwestern Iran. *Palaeobio Palaeoenv*, **96**, 383–398.
- Sakai, T., Sawada, Y., Yoshii, Y., Takano, O., and Danhara, T., U-Pb and FT ages from the Miocene Koura and Jyosoji Formations, Southwest Japan and their implications for evolution of the early Japan Sea. 投稿準備中
- 佐藤大介・松本一郎・亀井淳志, 2011, 鳥根県松江市, 和久羅山デイサイトの岩石記載と全岩化学組成. 地質雑, **117**, 439–450.
- 沢田順弘, 1978a, 鳥根県出雲市南方の地質. 地質雑, **84**, 111–130.
- 沢田順弘, 1978b, 鳥根県掛合陥没体に伴われる貫入複合体—非アルカリ岩のマグマ型と岩石系列に関する2, 3の問題—. 地質雑, **84**, 177–200.
- 沢田順弘, 1978c, 鳥根県吉田複合岩体の Al, Cr に富む輝石とパーガス閃石. 地質学雑誌, **84**, 601–620.
- 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・板谷徹丸, 1987, 鳥根県東部における第三紀火山岩類の K-Ar 年代. 日本地質学会第 94 年学術大会講演要旨, 412.
- 沢田順弘・今井雅浩・三浦 環・徳岡隆夫・板谷徹丸, 2006, 鳥根県江島の更新世玄武岩と鳥取県弓ヶ浜砂州南東端粟島の中新世流紋岩の K-Ar 年代. 鳥根大学地球資源環境学研究報告, no.25, 17–23.
- 沢田順弘・門脇和也・藤代祥子・今井雅浩・兵頭政幸, 2009a, 大山・大根島: 山陰地方中部の対照的な第四紀火山. 地質雑, **115** (補遺), 51–70.
- 沢田順弘・木村純一・山内靖喜・徳岡隆夫, 2001, 鳥根県八束町入江における大根島玄武岩ボーリング調査 (1998 年) 結果の報告. 鳥根大学地球資源環境学研究報告, no.20, 227–229.
- 沢田順弘・三代喜弘・酒井哲弥・板谷徹丸・兵頭政幸, 2009b, 鳥根県東部における後期新生代の地質学, 年代学, 古地磁気学. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会予稿集, CD-ROM, G120–003.
- 沢田順弘・三代喜弘・今岡照喜・吉田聖典・稲田理沙・今井和徳・近藤 仁・兵頭政幸, 2013, 鳥根県出雲市南方地域における中新統の K-Ar 年代と古地磁気方位. 地質雑, **119**, 267–284.
- Sawada, Y., Zaree, G.R., Sakai, T., Itaya, T., Yagi, K., Imaizumi, M., Ataabadi, M.M., and Mikael Fortelius, M., 2016, K-Ar ages and petrology of the late Miocene pumices from the Maragheh Formation, northwest Iran. *Palaeobio Palaeoenv*, **96**, 399–431.
- Shibata, K., and Ishihara, S., 1974, K-Ar ages of the major tungsten and molybdenum deposits in Japan. *Economic Geol.*, **69**, 1207–1214.
- Siddal, M., Rohling, E.J., Almogi-Labin, A., Hemleben, Ch., Meischner, D., Schmelzer, I., and Smeed, D.A., 2003, Sea-level fluctuations during the last glacial cycle. *Nature*, **423**, 853–858.
- 資源エネルギー庁, 1987, 昭和 61 年度希少金属鉱物資源の賦存状況調査報告書「松江地域」, 149p.
- 資源エネルギー庁, 1988, 昭和 62 年度希少金属鉱物資源の賦存状況調査報告書「松江地域」, 135p.
- 鳥根県立三瓶自然館, 2014, 三瓶火山／松井・福岡資試料データベース.
- 鳥根県地質図説明書編集委員会, 1985, 鳥根県の地質. 鳥根県, 646p.
- 新編鳥根県地質図編集委員会, 1997, 新編鳥根県地質図 (20 万分の 1), 鳥根県.
- 下岡順直・福岡 孝・長谷川歩・草野高志・長友恒人, 2009, 三瓶火山噴出物の熱ルミネッセンス (TL) 年代測定. 鳥根県立三瓶自然館研究報告, 7, 15–24.
- Steiger, R.H., and Jäger, E., 1977, Submission on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmo-chronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**, 359–362.
- 鷹村 権, 1973, 中国地方新生代玄武岩類の岩石学的並びに岩石化学的研究. 広島大学地質学研究報告, no.18, 1–167.
- 高安克己・中村武史, 1984, 宍道湖南岸のデスモスチルス産出層と貝化石からみたその古環境. 地研専報, no.28, 91–99.
- 高安克己・沢田順弘, 1989, 出雲層群のアルカリ玄武岩の活動時期についての新知見. 科学研究費補助金 (総合研究 A)「日本海沿岸後期新生代層の層序と古環境の変遷」(代表: 小林巖雄) 報告書「古日本海」78–79.
- 高安克己・山崎博史・上田哲郎・赤木三郎・松本俊雄・野村律夫・岡田昭明・沢田順弘・山内靖喜・吉谷昭彦, 1992, 山陰地方の中新統層序と古地理. 地質学論集, no.37, 97–116.
- 田中 剛・星野光雄, 1987, 隠岐変成岩の Sm-Nd 年代とその地質学的意義. 日本地質学会第 94 年学術大会講演要旨, 492.
- 鳥取県, 1966, 鳥取県地質図および同説明書. 109p.
- 津久井雅志・西戸裕嗣・長尾敬介, 1985, 蒜山火山群・大山火山の K-Ar 年代. 地質雑, **9**, 279–288.
- 通商産業省, 1967, 昭和 41 年度広域調査報告書「北鳥根地域」. 26p.
- 通商産業省, 1969, 昭和 42 年度広域調査報告書「北鳥根地域」. 23p.
- 通商産業省, 1970, 昭和 43 年度広域調査報告書「北鳥根地域」. 44p.
- 通商産業省, 1986, 昭和 60 年度希少金属資源の賦存状況調査報告書「松江地域」. 149p.
- 通商産業省, 1987, 昭和 61 年度希少金属資源の賦存状況調査報告書「松江地域」. 149p.
- 通商産業省, 1988, 昭和 62 年度希少金属資源の賦存状況調査報告書「松江地域」. 128p.
- Uto, K., 1989, Neogene volcanism of Southwest Japan: Its time and space based on K-Ar dating. *Univ. Tokyo Ph. D. Thesis*, 184p.
- Waelbroeck, C., Labeyrie, I., Michel, E., Duplessy, J.C., McManus, J.F., Lambeck, K., Ballou, E., and Labracherie, M., 2002, Sea-level and deep water temperature changes derived from benthic foraminifera isotope records. *Quat. Sci. Rev.*, **21**, 295–305.