

## 照来コールドロンの K-Ar 年代

古山勝彦\*・長尾敬介\*\*

(2003年4月15日受付, 2004年6月17日受理)

## K-Ar Ages of the Teragi Cauldron

Katsuhiko FURUYAMA\* and Keisuke NAGAO\*\*

K-Ar ages of volcanic rocks from the Teragi cauldron were determined. The earliest volcanic products were the Lower Tuff (about 100 km<sup>3</sup>), which erupted 3.1 Ma, and was succeeded by the Teragi cauldron subsidence (17 km×14 km). The Yudani conglomerate and overlying Haruki mud deposited in the northeast part of the cauldron, and andesitic volcanism (Terada volcanics) began 2.8 Ma in the southwest part. The upper and lower parts of the Haruki mud were intruded or intercalated by andesitic sheet or lava of 2.6 and 2.3 Ma, which show an approximate period of deposition of the mud. The latest volcanic activity was 2.2 Ma, which was characterized by rhyolitic volcanism forming domes and pyroclastic flows mainly around the northeastern cauldron rim. The period of volcanic activity related to the Teragi cauldron was about 0.9 Ma (3.1 to 2.2 Ma).

**Key words:** rhyolites, Teragi cauldron, North Kinki, K-Ar ages, Pliocene

## 1. はじめに

鳥取・兵庫県境周辺には中新統を不整合に覆い種々の火山岩を挟在する鮮新世照来層群が分布する。小室・他 (2002) は本層群の分布域を明瞭ななべ底状の負の重力異常分布構造をすることから照来コールドロンと命名した。既存の研究により本層群を構成する火山岩から 2.8~2.2 Ma の K-Ar 年代値が報告されているが (宇都・他, 1994; 先山・他, 1995 など) 最下部を構成する下部凝灰岩の放射年代報告はまだない。本報では, あらためて本層群最下部を構成する流紋岩質火砕堆積物の年代値とともに, 本層群中の火山岩, 本層群に覆われる鮮新世玄武岩, 本層群を覆う第四紀デイサイトなどの照来層群分布域周辺の火山岩の K-Ar 年代値 (古山・長尾, 2001 で一部発表) を報告する。

## 2. 地質概説

鳥取・兵庫県境周辺に分布する照来層群 (Fig. 1) は弘原海・松本 (1958) により命名・区分が行なわれた。その後松原・他 (1966) は本層群分布域の北東部の地質調

査にもとづき層序を再区分した。Furuyama (1989) は基本的には松原・他 (1966) の地層区分を用いた上で火山岩を細分した。以下では Furuyama (1989) による地層名を用い, 各層について簡単に述べる。

## 2-1 基盤岩

本層群の基盤岩は北部で先第三系花こう岩類, 南西部で三郡変成岩, その他大部分の地域では中新世北但層群の八鹿, 豊岡, 村岡累層である。八鹿累層はおもに塩基性~中性火山岩, 豊岡累層は礫岩・砂岩, 村岡累層は泥岩から構成される (弘原海・松本, 1958)。その他南部の鉢伏山東方で村岡累層を不整合に覆い, 照来層群の火山岩層に不整合で覆われる大笹玄武岩質安山岩, 東部で照来層群下部凝灰岩に覆われる嶋居谷玄武岩質安山岩などのかんらん石玄武岩質安山岩がごく狭い範囲に分布する。

## 2-2 照来層群

## 基底礫岩層

北東部で局地的に分布する基盤の花こう岩を不整合で覆う花こう岩礫を主とする礫岩層 (松原・他, 1966) で

\* 〒558-8585 大阪市住吉区杉本  
大阪市立大学大学院理学研究科生物地球系専攻  
Department of Bio- and Geosciences, Graduate School  
of Science, Osaka City University, Sumiyoshi-ku,  
Osaka 558-8585, Japan.

\*\* 〒113-0033 東京都文京区本郷

東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設  
Laboratory for Earthquake Chemistry, Graduate  
School of Science, University of Tokyo, Hongo,  
Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan.  
Corresponding author: Katsuhiko Furuyama  
e-mail: furuyama@sci.osaka-cu.ac.jp

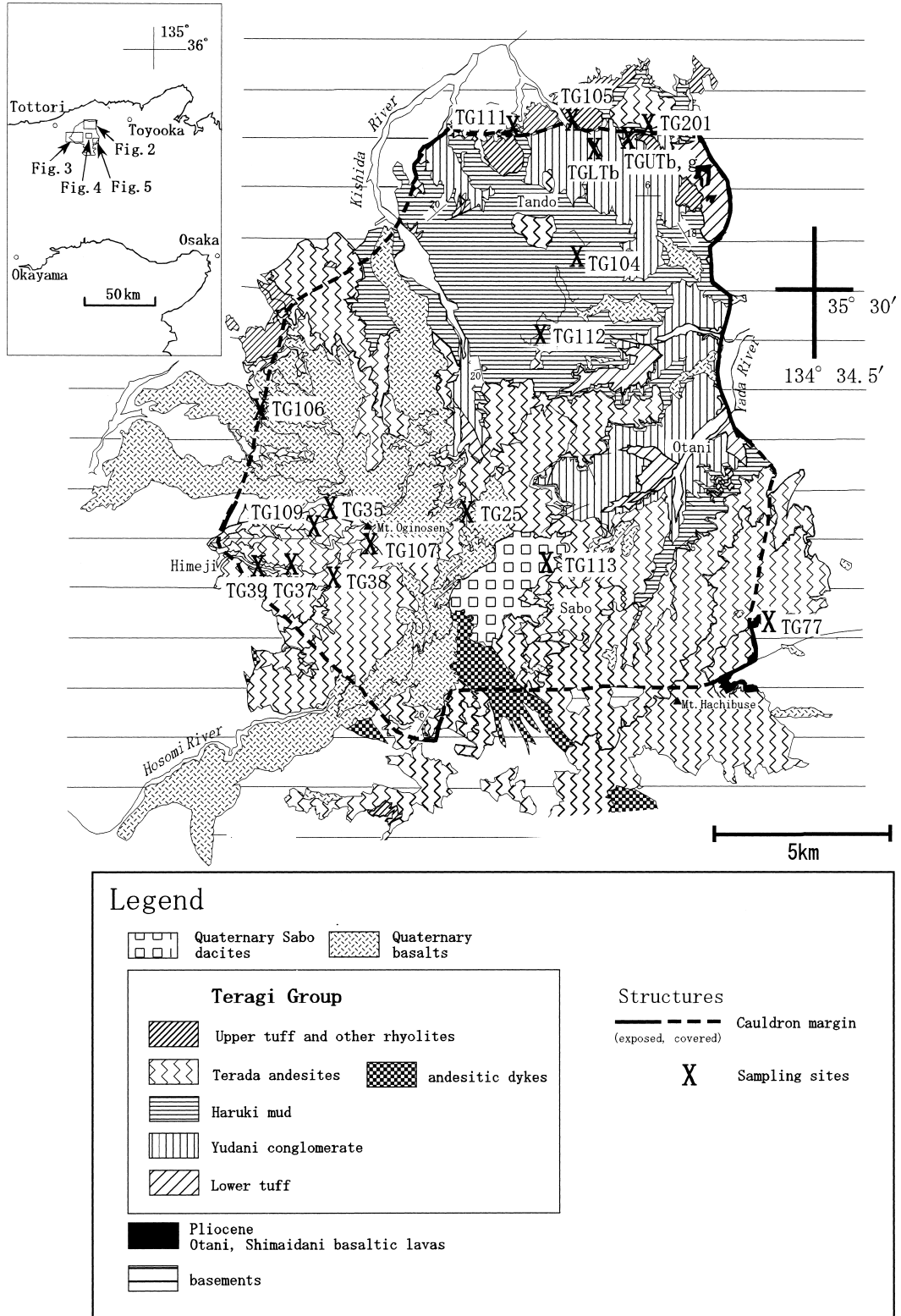


Fig. 1. Index and geological map of the Teragi cauldron. The geological map is simplified based on Furuyama (1989).

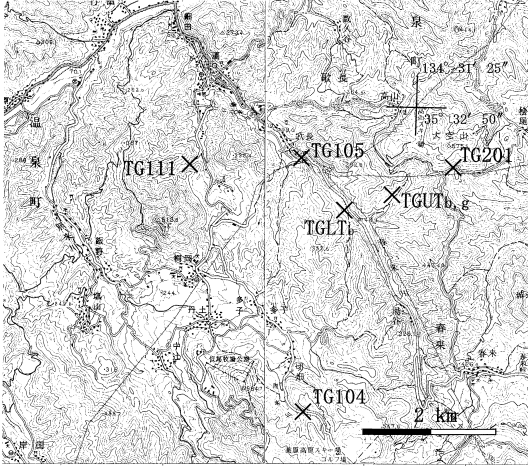


Fig. 2. Sampling points (X) for K-Ar age. Northeast part of the Teragi cauldron. 1: 25000 digital map (Tottori), Geographical Survey Institute is used.

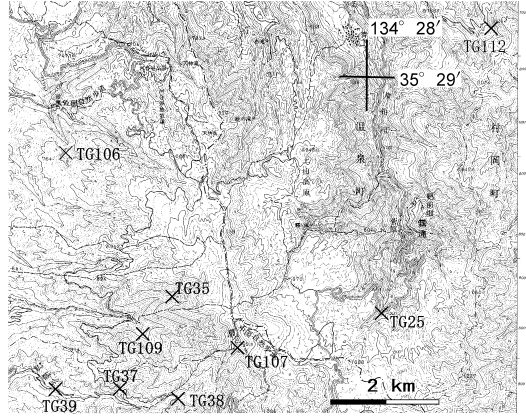


Fig. 3. Sampling points (X) for K-Ar age. West part of the Teragi cauldron. 1: 25000 digital map (Tottori), Geographical Survey Institute is used.

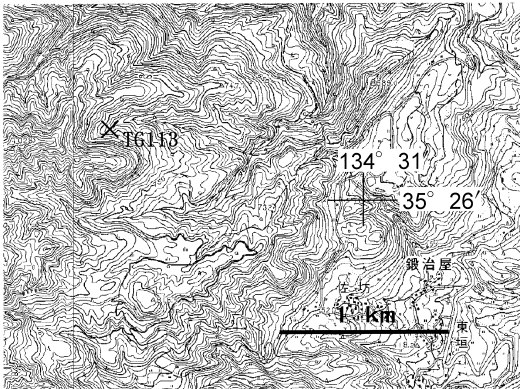


Fig. 4. Sampling points (X) for K-Ar age. South part of the Teragi cauldron. 1: 25000 digital map (Tottori), Geographical Survey Institute is used.

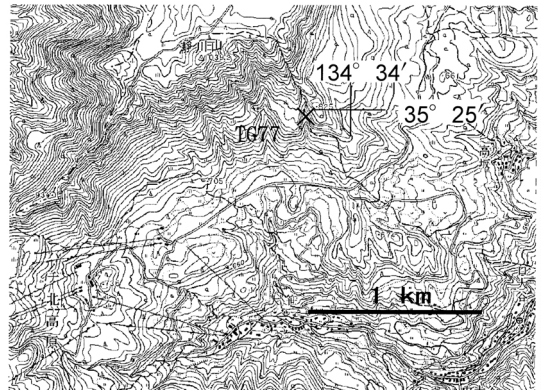


Fig. 5. Sampling points (X) for K-Ar age. Southeast part of the Teragi cauldron. 1: 25000 digital map (Tottori), Geographical Survey Institute is used.

ある。

**歌長流紋岩**

本層群を構成する流紋岩類の総称である。

下部凝灰岩: 本層は上位を湯谷礫岩層に覆われ、照来川・春来川・熊波川・矢田川などの河床・河岸に露出するほか、本層群分布域の東縁部では基盤岩と高角の不整合関係で接する (Fig. 1)。美方町大谷でなされたボーリング・コアの観察では他の火山岩や堆積物をはさまない約 400m 層厚の無層理の火砕流堆積物であり、地表露出部分 (層厚約 100m) を加えると、大谷付近では少なくと

も層厚約 500m である。本層群最初期の火山活動によると思われる。

上部凝灰岩およびその他の流紋岩類: 上部凝灰岩は北東部のごく狭い範囲に分布する湯谷礫岩層を覆う流紋岩質火砕流堆積物である (古山・相川, 1983)。その他の流紋岩類として北部で基盤岩および基底礫岩層を覆う流紋岩質溶岩、湯谷礫岩層や春来泥岩層中に挟まれる流紋岩質の溶岩および火砕流堆積物のほか、本層群の縁辺部にみられる小規模な流紋岩質溶岩・火砕流堆積物などが含まれる。

**湯谷礫岩層**



Table 1. K-Ar ages of volcanic rocks from Teragi cauldron and others.

sample name	locality, rock	K (wt%)	sp weight (g)	$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$	$^{36}\text{Ar}$ ( $10^{-10}\text{ccSTP/g}$ )	$^{40}\text{Ar}$ rad ( $10^{-8}\text{ccSTP/g}$ )	Atm. $^{40}\text{Ar}$ (%)	K-Ar Age (Ma)
<b>Utaosa rhyolites</b>								
TGLTb	Yumura, bt in Lower tuff	6.81 ± 0.17	0.1123	1042.97	11.08	82.85 ± 0.86	28.38	3.13 ± 0.08
TGUTg	Yumura, glass in Upper tuff	4.42 ± 0.11	0.3009	890.23	7.29	43.32 ± 0.45	33.25	2.52 ± 0.07
TGUTb	Yumura, bt in Upper tuff	6.54 ± 0.16	0.0973	360.83	88.88	57.87 ± 0.97	82.03	2.28 ± 0.07
TG111	Yumura, rhyolite lava	4.28 ± 0.11	0.3420	1496.97	3.13	37.57 ± 0.38	19.77	2.26 ± 0.06
TG105	Yumura, rhyolite lava	4.12 ± 0.10	0.2760	711.98	9.02	37.59 ± 0.39	41.54	2.35 ± 0.06
<b>Terada volcanics and others</b>								
<b>Northeast part</b>								
TG201	Ozora-yama, ad	1.73 ± 0.04	0.4996	599.92	5.79	17.61 ± 0.19	49.34	2.61 ± 0.07
TG104	Ad sheet in the Haruki mud	2.26 ± 0.06	0.3337	1087.65	2.84	22.49 ± 0.23	27.17	2.57 ± 0.07
<b>West part</b>								
TG39	Himeji, hornblende ad	1.96 ± 0.05	0.3875	1096.20	2.71	21.74 ± 0.22	26.98	2.85 ± 0.08
TG38	Himeji (Himeji basaltic ad)	1.67 ± 0.04	0.3782	917.94	2.89	17.99 ± 0.18	32.22	2.77 ± 0.07
TG107	south of Mt. Oginosen, ad	1.80 ± 0.05	0.3567	725.67	4.47	19.23 ± 0.20	40.77	2.75 ± 0.07
TG109	Waji (Waji basaltic ad)	1.50 ± 0.04	0.3857	647.21	4.42	15.54 ± 0.16	45.72	2.67 ± 0.07
TG35	Waji (Ad 1)	2.17 ± 0.05	0.3308	383.45	25.20	22.13 ± 0.27	77.12	2.62 ± 0.07
TG106	south of Amedaki (Ad 2)	1.86 ± 0.05	0.3714	899.21	3.22	19.40 ± 0.20	32.91	2.68 ± 0.07
TG37	Himeji (Ad 4)	1.89 ± 0.05	0.3330	941.94	3.05	19.74 ± 0.20	31.41	2.69 ± 0.07
TG25	Sugahara (Sugahara dacite)	2.56 ± 0.06	0.3454	372.27	29.29	22.38 ± 0.29	79.48	2.25 ± 0.06
TG112	Ad lava in the Haruki Mud	0.90 ± 0.02	0.3308	305.86	82.27	8.19 ± 0.39	96.75	2.35 ± 0.13
<b>South part</b>								
TG113	Sabo (Sabo dacite)	2.96 ± 0.07	0.3421	476.56	10.80	19.54 ± 0.22	62.05	1.70 ± 0.05
<b>Southeast part</b>								
TG77	Ozasa (Ozasa basaltic ad)	1.61 ± 0.04	0.3405	854.65	3.78	21.18 ± 0.22	34.59	3.39 ± 0.09

K-Ar ages were calculated using decay constants  $\lambda_{\alpha}=0.581 \times 10^{-10}/\text{y}$ ,  $\lambda_{\beta}=4.962 \times 10^{-10}/\text{y}$  and  $^{40}\text{K}/\text{K}=0.0001167$  (Steiger and Jäger, 1977).

$^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}$ : radiogenic  $^{40}\text{Ar}$ , Atm.  $^{40}\text{Ar}$ : initially trapped atmospheric  $^{40}\text{Ar}$  (%) in all  $^{40}\text{Ar}$  in sample. bt: biotite, ad: andesite

本層群分布域の主として北東半部に分布する。下部凝灰岩をほぼ水平に覆うほか、アバットや断層関係で接する場合もある。基盤の北但層群村岡累層の泥岩を主な構成産種とし、花こう岩その他の基盤岩礫も少量含む不淘汰な亜円礫〜角礫岩層である。北東部の湯谷付近では数 m 層厚の流紋岩溶岩・火砕流堆積物を挟在する。湯谷周辺での層厚は約 200 m である。

#### 春來泥岩層

湯谷礫岩層を整合に覆い、主として北部・東部に分布する。本層は主として数 mm〜1 cm の厚さの平行葉理の発達した、淡灰色の凝灰質シルト岩〜砂岩からなる。しばしば流紋岩質の細粒凝灰岩層、軽石凝灰岩層を挟在する。北東部では安山岩質溶岩ドームや幅 10 m 以下の安山岩シートに貫入されている。最大層厚約 500 m である。

#### 寺田火山岩層

本層群を構成する安山岩を主とし玄武岩からデイサイトに至る多様な火山岩および火山砕屑岩の総称である。本層は主に南部から南西部・西部にかけて広範囲に分布し、中央部では春來泥岩層を一部指交関係で覆い、北東部では春來泥岩層に貫入し断続的に分布する。

#### 2-3 第四紀火山岩

##### 玄武岩類 (扇の山単成火山群および玄武岩質溶岩)

本地域西部で照来層群を不整合で覆い、約 20 の玄武岩質単成火山からなる扇の山単成火山群 (1.2〜0.4 Ma; Furuyama *et al.*, 1993) が分布する。そのほかにも地域内には小規模な玄武岩質単成火山 (1.5〜0.7 Ma; Furuyama

*et al.*, 1993) が散在する。

##### 佐坊デイサイト (新称)

本デイサイトは調査地域南部で NE-SW にやや長い (長径 3.5 km, 短径 1.5 km) 分布をする最大層厚約 200 m の黒雲母・角閃石デイサイト溶岩である。寺田火山岩層および寺田火山岩層に貫入する安山岩質岩脈を不整合で覆う。開析され本来の溶岩流あるいは溶岩ロープの地形は失われている。Furuyama (1989) では本層を寺田火山岩の上部としたが寺田火山岩との不整合関係および後述の年代値から第四紀に噴出した佐坊デイサイトと新称する。

### 3. K-Ar 年代測定

#### 3-1 測定試料

測定試料は北東部に分布する流紋岩・安山岩、南西部に分布する安山岩・デイサイトなどの Furuyama (1989) により照来層群の構成岩とされた火山岩、南部で照来層群を不整合に覆う佐坊デイサイト、および本層群に覆われる大笹玄武岩質安山岩 (Furuyama, 1989), である。試料の採取地点を Fig. 1 (全試料) と Fig. 2〜5 (地域別) に示した。

#### 3-2 測定方法

溶岩試料は粉碎し、250〜150  $\mu\text{m}$  間を篩別し、棒磁石・アイソダイナミックセパレーターで強磁性鉱物と斑晶鉱物を取り除いた石基部分を測定試料とした。上部凝灰岩では溶結ガラス・黒雲母を、下部凝灰岩では黒雲母をアイソダイナミックセパレーターを使用し 99.5% 以

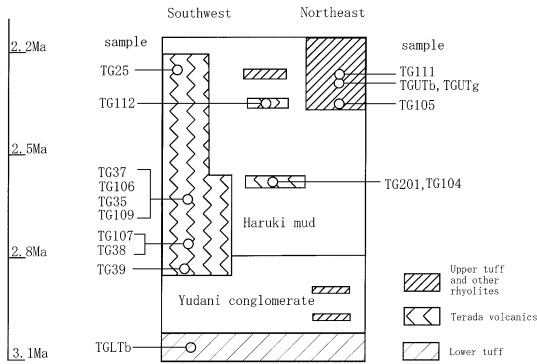


Fig. 6. Stratigraphy and K-Ar ages of the Teragi cauldron.

上に濃集し測定試料とした。K の分析は長尾・他 (1984) の方法により蛍光分析法により大阪市立大学で測定した。Ar 定量は岡山大学固体地球研究センターにおいて同位体希釈法で行った。Ar の分析方法および年代誤差の算出は Nagao *et al.* (1996) にしたがった。年代計算には K の分析誤差を  $\pm 2.5\%$  として計算した。

### 3-3 測定結果

Table 1 に測定結果を示した。Fig. 6 には本層群分布域の北東部から南西部にかけての層序の概要を示し、測定結果を加えた。

#### 歌長流紋岩 (Fig. 2)

下部凝灰岩: 本層群分布の北東部、春来川河床で採取した下部凝灰岩中の黒雲母 (TGLTb) の年代値は  $3.13 \pm 0.08$  Ma を示した。この年代値は以下に述べる本層群を構成する火山岩の中で最も古く、下部凝灰岩が層序的に本層群の最下部であることも矛盾しない。

上部凝灰岩およびその他の流紋岩類: 上部凝灰岩中の黒雲母試料は  $2.28 \pm 0.07$  Ma (TGUTb) の年代値を示した。宇都・他 (1994) も同一火砕流堆積物中の黒雲母試料からほぼ同じ年代値 (TRG03:  $2.28 \pm 0.24$  Ma) を報告している。それらに対し同堆積物基底の溶結部 (厚さ 50–100 cm) のガラスからはやや古い年代値 (TGUTg:  $2.52 \pm 0.07$  Ma) を得た。鏡下では溶結ガラスに perlitic crack は認められるものの風化変質鉱物は認められない。黒雲母に比較し溶結ガラスがやや古い年代を示すのはガラスのもつエクセサルゴンあるいはガラスからの K の溶脱による K 濃度の低下に由来する可能性が考えられる。このため黒雲母試料で得た年代を上部凝灰岩の噴出年代とみなす。北東部で互いに離れて分布し、層序関係の不明な流紋岩溶岩 2 試料の年代測定結果はそれぞれ  $2.26 \pm 0.06$  Ma (TG111),  $2.35 \pm 0.06$  Ma (TG105) の類似の年代である。このうち TG111 は基盤の花こう岩上の基底

礫岩層を覆う流紋岩溶岩から採取した。宇都・他 (1994) は本層 (TG111) より上位の流紋岩溶岩 (Furuyama, 1989) の地質図で春来泥岩層および安山岩質火砕流堆積物を覆い滝谷山 [標高 515.8 m] を構成する) 中の黒雲母を試料として、TG111 の年代値と誤差の範囲内で矛盾しない、 $2.30 \pm 0.10$  Ma (TRG04) ・  $2.42 \pm 0.21$  Ma (TRG05) の K-Ar 年代値を報告している。

#### 寺田火山岩層

試料を採取した地域別に記述する。

北東部 (歌長・丹土) 地域 (Fig. 2): 湯村東方で、春来泥岩を覆う安山岩溶岩 (標高 575.5 m の大空山) から  $2.61 \pm 0.07$  Ma (TG201) の年代値を得た。この年代値は同一溶岩体からの宇都・他 (1994) の年代値 (TRG02:  $2.60 \pm 0.08$  Ma) と一致する。切畑の南 700 m で春来泥岩層の下部に貫入した安山岩シートは  $2.57 \pm 0.07$  Ma (TG104) の年代値を示した。

西部 (姫路、細見川源流、岸田川、菅原) 地域 (Fig. 3): 姫路周辺での寺田火山岩層最下部を構成する角閃石安山岩の年代値は  $2.85 \pm 0.08$  Ma (TG39) であった。先山・他 (1995) は細見川沿いの標高 660 m で採取した安山岩溶岩から  $2.85 \pm 0.08$  Ma (試料 OG2) の K-Ar 年代値を報告している。これら 2 つの年代値が寺田火山岩層から得られたもっとも古い年代値である。本溶岩 (TG39) の上位の火砕岩層に夾在される姫路玄武岩質安山岩から  $2.77 \pm 0.07$  (TG38) の年代を得た。同層準の火砕岩層は細見川沿いにも分布し、扇ノ山山頂南 100 m (標高 1,240 m) の細見川源流部で火砕岩層に挟まれる安山岩溶岩の K-Ar 年代値は  $2.75 \pm 0.07$  Ma (TG107) である。これらの火山岩層を軽微な不整合で覆うと考えられる溶岩が姫路・上地・雨滝周辺に分布する。これらの溶岩の年代は層序的下位から上位へ  $2.67 \pm 0.07$  Ma (TG109; 上地玄武岩質安山岩),  $2.62 \pm 0.07$  Ma (TG35; 安山岩 1),  $2.68 \pm 0.07$  Ma (TG106; 安山岩 2),  $2.69 \pm 0.07$  Ma (TG37; 安山岩 4) で平均  $2.67$  Ma の互いに接近する年代値を示した。これらに対し菅原南 (岸田川上流) の標高 840 m で採取した寺田火山岩上部の無斑晶質デイサイト (TG25;  $2.25 \pm 0.06$  Ma, Furuyama (1989) では地層名をつけていない。本稿では菅原デイサイトとよぶ) および丹土南の標高 700 m で春来泥岩層の上部に挟まれる安山岩溶岩 (TG112;  $2.35 \pm 0.13$  Ma) の年代値は若く、湯村地域の流紋岩と類似の年代である。

南部地域 (Fig. 4): 久須部川上流域に分布する黒雲母・角閃石デイサイト (TG113) は前述のように寺田火山岩層を不整合で覆うが、この不整合を Furuyama (1989) は寺田火山岩層内部での軽微な不整合と考え寺田火山岩の上部層とした。しかし今回の年代測定結果

( $1.70 \pm 0.05$  Ma) から、第四紀の火山活動によることが明らかとなり、佐坊デイサイト（新称）とした。

#### 大笹玄武岩質安山岩 (Fig. 5)

南東部地域、村岡町大笹で北但層群村岡累層の泥岩層を不整合に覆い寺田火山岩層の火山砕屑岩層により覆われる細粒のかんらん石玄武岩質安山岩（大笹玄武岩質安山岩）の K-Ar 年値は  $3.39 \pm 0.09$  Ma (TG77) であった。

## 4. 討 論

### 4-1 照来層群以前、以後の火山岩

照来層群に覆われる大笹玄武岩質安山岩 (TG77;  $3.39 \pm 0.09$  Ma) と類似の岩質のかんらん石玄武岩質安山岩溶岩が東部の嶋居谷川沿いで下部凝灰岩に不整合に覆われて分布する（嶋居谷玄武岩質安山岩）。これらは活動時期・岩質から鮮新世後期に兵庫県北部地域で活動した玄武岩質単成火山の活動 ( $3.8 \sim 2.5$  Ma; Furuyama *et al.*, 1993) に属すると考えられる。

佐坊デイサイトは黒雲母・角閃石斑晶を含む点で、青野山、大山などの中国地域の第四紀火山フロントを形成する安山岩類と類似し、活動時期では大江高山火山噴出物上部の仙山火山噴出物や大江高山溶岩（鹿野・他, 2001）と同時期の第四紀初期の活動である。したがって佐坊デイサイトは中国地域の第四紀火山フロントの最東端に位置する可能性がある。

### 4-2 照来コールドロンの形成年代

小室・他 (2002) は本層群分布域が周囲の基盤岩地帯より約  $10 \sim 15$  mgal 低い明瞭な鍋底状の負の重力異常分布域であり、重力異常の急変部は本層群と基盤岩の高角のアバット境界と一致すること、本層群が最下部の大量の火砕流堆積物と上部の湖成層・火山岩類からなることから、本層群の構造を照来コールドロンとよんだ。また、現在では地形は失われているが当時カルデラが形成されていたと結論した。ここでは年代値と層序をもとに本層群を構成する各層の形成期間を検討する。その概要を Fig. 6 に示す。

$3.1$  Ma に大量の下部凝灰岩（体積  $70 \sim 100$  km<sup>3</sup>; 小室・他, 2002）が噴出した。噴出に伴う陥没でカルデラ（約  $14 \times 17$  km）が形成された。北東部で  $2.3 \sim 2.2$  Ma に活動した流紋岩には基盤の花こう岩を覆うものがあり、カルデラ外に流出したであろう下部凝灰岩は速やかに侵食されたと考えられる。カルデラ陥没後間もない  $2.8$  Ma には西部地域で安山岩質火山活動が開始しており  $2.6$  Ma 頃まで活発であった。 $2.6$  Ma には北東部にも活動域が広がった。照来コールドロンに南接して寺田火山岩上部の鉢伏安山岩が分布するがそれらの年代には  $2.6 \sim 2.5$  Ma のものがあり（先山・他, 1995）この時期には安山岩質

火山活動域が南方へも拡大したと考えられる。安山岩質火山活動は  $2.6$  Ma 以後は衰えたものの  $2.3$  Ma まで継続した。西部で寺田火山岩層最下部層が礫岩層をおおうことから湯谷礫岩層の堆積は下部凝灰岩が噴出しカルデラが形成された後直ちに始まったのであろう。湯谷礫岩層をおおう春來泥岩層の堆積は、下部、上部に挟在される安山岩溶岩やシートの年代から、少なくとも  $2.7$  Ma には北東部で始まっており、 $2.3$  Ma にも堆積を継続していた。 $2.3 \sim 2.2$  Ma の菅原デイサイトやコールドロンの北東縁に沿って分布する流紋岩（溶岩ドーム、火砕流堆積物）、年代測定値はないが西部、南部のコールドロン縁辺に分布する小規模な流紋岩溶岩、岩脈、火砕流堆積物などが照来カルデラ最末期の火山活動を示すと考えられる。以上の年代測定値から照来コールドロンは  $3.1$  Ma の下部凝灰岩の噴出に伴うカルデラ陥没に始まり、湖成礫岩・泥岩の堆積、 $2.8$  Ma にははじまり  $2.6$  Ma に最も拡大した安山岩の活動を経て、 $2.3 \sim 2.2$  Ma の北東部を主とするコールドロン縁辺での流紋岩質火山活動でその活動を終えた。

東北日本脊梁部では中新世後期の約 1000 万年前から鮮新世にかけて径 10 数 km の大型カルデラ火山が次々と活動した（伊藤・他, 1989; 山元, 1992; 1994）。照来カルデラの規模や下部凝灰岩の推定噴出量はこれらの大規模カルデラにほぼ匹敵する。位置的には山陰地方の第四紀火山フロント東端（佐坊デイサイト）にあり、東北日本のカルデラ火山群の位置が第四紀の火山フロントと一致する点でも共通の特徴をもつといえる。層序においても類似点は多いが、照来カルデラではカルデラ形成直後からの安山岩の活動が顕著である。照来コールドロンの輪郭は多角形であるが輪郭に沿って最末期の流紋岩が活動している点や鍋底型の低重力異常を示す（小室・他, 2002）ことなどピストンシリンダー型カルデラ（Smith and Bailey, 1968; 高橋, 1993）と類似する。

## 謝 辞

K-Ar 年代測定は岡山大学理学部地球内部研究センター共同利用研究としておこなった。Andrew J. Martin 氏には英文の校閲をしていただいた。三浦大助氏および一名の匿名の査読者には、本稿を改善する上で重要な助言をいただいた。美方町役場にはボーリング試料の観察の機会をいただいた。以上の方々に感謝する。

## 引用文献

Furuyama, K. (1989) Geology of the Teragi Group, Southwest Japan —with special reference to the Terada Vol-

- canics—*J. Geosci. Osaka City Univ.*, **32**, 123–173.
- 古山勝彦・相川信之 (1983) 兵庫県北西部の鮮新世歌長流紋岩類. *岩鉱*, **78**, 295–305.
- 古山勝彦・長尾敬介 (2001) 鮮新世照来カルデラの形成年代と発達史. *岩鉱学会 2000 年度学術講演要旨集*, 242.
- Furuyama, K., Nagao, K., Mitsui, S., Kasatani, K. (1993) K-Ar ages of Late Neogene monogenetic volcanoes in the east San-in district, Southwest Japan. *Earth Science (CHIKYU KAGAKU)*, **47**, 519–532.
- 伊藤谷生・歌田 実・奥山俊一 (1989) 東北日本脊梁地域に分布する中新世後期～鮮新世のカルデラ群について. *地質学論集*, **32**, 409–429.
- 鹿野和彦・宝田晋治・牧本 博・土谷信之・豊 遥秋 (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, 129 p.
- 小室裕明・古山勝彦・志知龍一・羽木伸幸・山元明彦 (2002) 照来コールドロンの重力異常. *火山*, **47**, 9–15.
- 松原秀樹・坂本 亮・上村不二雄 (1966) 兵庫県北西部の地質—特に照来層群の堆積機構と放射能強度分布について—. *地調月報*, **17**, 65–74.
- 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, 岡山理大蒜山研報告, **9**, 19–38.
- Nagao, K., Ogata, A., Miura, Y. and Yamaguchi, K. (1996) Ar isotope analysis for K-Ar dating using two modified-VG5400 mass spectrometers— I : isotope dilution method. *J. Mass Spectrom.Soc. Japan*, **44**, 39–61.
- 先山 徹・松田高明・森永速男・後藤 篤・加藤茂弘 (1995) 兵庫県北部の鮮新世～更新世火山岩類—K-Ar 年代・古地磁気・主化学組成—. *人と自然 (兵庫県立人と自然の博物館)*, **6**, 149–170.
- Smith, R.L. and Bailey, R.A. (1968) Resurgent Cauldrons. *Geol. Soc. Amer. Memo.*, **116**, 613–662.
- Steiger, R. 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.
- 高橋正樹 (1993) 日本のカルデラ・最近の研究動向. *月刊地球*, **15**, 667–671.
- 宇都浩三・田上高広・内海 茂 (1994) 山陰地方東部, 鮮新世照来層群火山岩類の K-Ar およびフィッシュントラック年代. *地質雑*, **100**, 787–798.
- 弘原海清・松本 隆 (1958) 北但馬地域の新生界層序—近畿西北部の新生界の研究— (その 1). *地質雑*, **64**, 625–637.
- 山元孝広 (1992) 会津地域の後期中新世—更新世カルデラ火山群. *地質雑*, **98**, 21–38.
- 山元孝広 (1994) 猪苗代地域の後期中新世—鮮新世カルデラ火山群. *地質調査所月報*, **45**, 135–155.

(編集担当 伴 雅雄)