

大分県中部の火山岩類のK-Ar年代

鎌田浩毅* 村岡洋文**

KAMATA, Hiroki and MURAOKA, Hirofumi (1982) K-Ar ages of the volcanic rocks in the central part of Oita Prefecture, southwestern Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 33 (11), p. 561-567.

Abstract: On the northern foot of Kuju Volcano, silicic and intermediate volcanic rocks have been erupted since Neogene time (Table 1). K-Ar age determinations are carried out on the whole rock samples from the studied area (Fig. 1, 2), and the results are shown in Table 2. These samples are scarcely suffered from alteration. Haneyama lavas (rhyolite) are dated at 0.7 ± 0.3 and 0.8 ± 0.3 Ma, which are older than the previously dated age (Table 3; c). Hōhi volcanic rocks (pyroxene andesite) give ages of 0.9 ± 0.4 and 0.7 ± 0.4 Ma, which agree well with the already dated ages (Table 3; d,e). Silicic volcanic rocks of the Kusu Group; such as Nakamura pumice flow deposit (dacite), Ikiryu lava (dacite), and Machida lava (rhyolite), are dated at 0.5 ± 0.3 , 0.5 ± 0.3 and 0.7 ± 0.3 Ma respectively. These ages are much younger than the generally accepted geological ages. These results indicate that the age of volcanic activity of the Kusu Group is Pleistocene, and is also prospective as a heat source in the Hōhi geothermal area. The cross check between the age determination and the geomagnetic polarity data (Fig. 3) of these volcanic rocks will lead more precise conclusion.

要 旨

豊肥地熱地帯における火山岩の噴出時代を明らかにするために大分県中部九重火山北麓に分布する火山岩類の全岩 K-Ar 年代測定を行った。万年山山頂付近の万年山溶岩(流紋岩)は 0.7 ± 0.3 及び 0.8 ± 0.3 Ma の値を示し、従来考えられていた 0.53 Ma よりも古い可能性が示唆される。豊肥火山岩類(輝石安山岩溶岩)は 0.9 ± 0.4 及び 0.7 ± 0.4 Ma の値を示し、従来の値 0.84 Ma とほぼ近い値を得た。玖珠層群中の珪長質火山岩類は 0.5 ± 0.3 Ma (中村軽石流堆積物中のデイサイト溶岩), 0.5 ± 0.3 Ma (生竜溶岩), 0.7 ± 0.3 Ma (町田溶岩)の値を示し、玖珠層群の時代が更新世であることがほぼ確実となった。以上の結果から上記火山岩類の地熱熱源としての可能性が考えられる。

1. はじめに

大分県中部の九重火山北麓地域は新第三紀から第四紀にかけて大規模な火成活動が起こり、主として珪長質～中性の火山岩が大量に堆積した地域である。更新世末には九重火山及び阿蘇火山の火砕流堆積物が覆い現在に至っても温泉等の地熱活動が活発である。

筆者らは1980年及び1981年に九重火山北麓地域におい

て地形構造調査の一環として地質調査を行った。調査地域は深部地熱ボーリングの実施されている地域の北縁にあたる大分県九重町及び玖珠町である(第1図)。この地域に一部露出する火山岩類は豊肥地熱地帯¹⁾の地熱流体貯留岩を成すと考えられるだけでなく、その一部は地熱熱源としての可能性を持つ。本地域の火山岩の地質及び時代論は既にくつか報告されているが、いずれも放射年代の資料のほとんど無い時期のものであった(松本, 1963など)。他方近年得られつつある年代測定値(兼岡・小嶋, 1970; KANEOKA and SUZUKI, 1970; 松本ほか, 1977; 磯・池田, 1979; 玉生, 1980; 渡辺ほか, 1981)は九州中北部の火山岩類の時代論を再認識させるものである。本報では地熱探査上の基礎資料として火山岩類のK-Ar法による年代測定結果を報告し、併せて最近得られた他の年代測定データを参照して本地域の火成活動の時代を考察する。

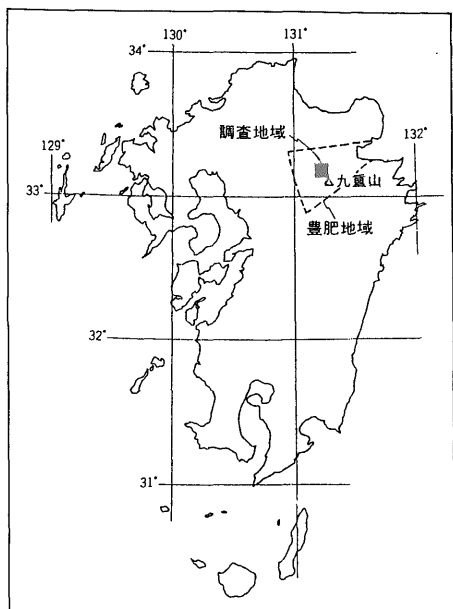
本調査の際に重要な示唆を頂き、原稿を読んで頂いた長谷紘和氏・小川克郎氏と、原稿を読み不備を指摘して頂いた柴田賢氏・小野晃司氏に厚く謝意を表します。

2. 年代測定を行った火山岩類の層序

今年年代測定を行った火山岩類の分布地域を含む九州

1) 豊肥地熱地帯とは九重火山西縁において資源エネルギー庁による大規模深部地熱発電所環境保全実証調査の行われている地域(北緯 $33^{\circ}2'30''$ - $33^{\circ}14'30''$ 及び東経 $131^{\circ}1'30''$ - $131^{\circ}16'30''$)を指す。

* 元地熱熱部 (現新エネルギー総合開発機構) ** 地熱熱部



第1図 調査地域位置図

Fig. 1 Index map of the area studied.

中部に広範囲に分布する火山岩類の模式的層序を第1表に示す。九重火山北麓地域にはこのうち下位より玖珠層群、豊肥火山岩類²⁾、万年山溶岩、九重火山岩類が分布し、これらの上位を阿蘇火砕流堆積物及び九重火砕流堆積物が覆う。鎌田ほか(1981)及び村岡ほか(1981)は従来本地域において松本ほか(1973)により中新統宇佐層群とされていた緑色変質凝灰岩・凝灰角礫岩は、玖珠層群下部層が緑色変質を受けたものであることを明らかにし、本地域に露出する最下部層は流紋岩溶岩(町田溶岩)であることが判明した。今回は玖珠層群中の珪長質火山活動の中から、下部層より町田溶岩・生竜溶岩、及び中部層から中村軽石流堆積物に伴う水冷破砕溶岩の各1試料計3試料のK-Ar年代測定を行った。採取した試料はいずれもほとんど変質を受けていない。

玖珠層群の上位には松本(1963)により豊肥火山活動と呼称された火山活動の産物である輝石安山岩質の豊肥火山岩類が不整合に覆う。豊肥火山岩類は九州中北部に広範囲に分布する普通輝石紫蘇輝石安山岩質溶岩及び凝灰

2) 松本(1963)の「豊肥火山活動における筑紫溶岩」、松本ほか(1972)の「豊肥溶岩」、松本ほか(1973)の「豊肥火山岩類」及び渡辺ほか(1981)の「筑紫溶岩」に相当する。

第1表 中部九州における火山岩類の模式的層序表

Table 1 General stratigraphy of the volcanic rocks in the central Kyushu district.

時代 Epochs	地質系 統 Rock Units		
完新世 Holocene	沖積層 Alluvium		
更新世 Pleistocene	阿蘇火砕流堆積物 Aso pyroclastic flow deposits	九重火砕流堆積物 Kuju pyroclastic flow deposits	
	九重火山岩類 Kuju volcanic rocks		
	耶馬溪溶結凝灰岩 Yabakei welded tuff		
	万年山溶岩 Haneyama lava		
	豊肥火山岩類(筑紫溶岩等) Hōhi volcanic rocks (Tsukushi lava etc.)		
	玖珠層群 Kusu Group	凝灰質堆積物 tuffaceous sediments	
		中村軽石流堆積物及びこれに伴う溶岩 Nakamura pumice flow deposit and lava	
	凝灰質堆積物 tuffaceous sediments		
	生竜溶岩 Ikiryu lava		
	凝灰質堆積物 tuffaceous sediments		
	町田溶岩 Machida lava		

第2表 K-Ar 年代測定結果

rhy: 流紋岩, da: デイサイト, and: 安山岩, hb: 角閃石, bi: 黒雲母, aug: 普通輝石, hyp: 紫蘇輝石

Table 2 K-Ar ages of the volcanic rocks of the studied area.

rhy: rhyolite, da: dacite, and: andesite, hb: hornblende, bi: biotite, aug: augite, hyp: hypersthene

No.	Sample No.	Rock Type	Stratigraphy	Isotopic Age (Ma)	Scc Ar ⁴⁰ Rad/ gm×10 ⁻⁶	%Ar ⁴⁰ Rad	%K
(1)	K78102506	hb-bi rhy	万年山溶岩 Haneyama lava	0.7±0.3	0.009 0.009	9.2 8.4	3.01 2.98
(2)	K80020303	bi-hb rhy	万年山溶岩 Haneyama lava	0.8±0.3	0.009 0.011	24.5 27.3	3.25 3.20
(3)	K80020310	aug-hyp and	豊肥火山岩類(溶岩) Hōhi lava	0.9±0.4	0.007 0.008	13.7 14.0	2.25 2.26
(4)	K800213021	hyp-bearing aug and	豊肥火山岩類(溶岩) Hōhi lava	0.7±0.4	0.005 0.007	11.5 10.7	2.35 2.31
(5)	K80020404	bi-hb da	中村溶岩 Nakamura lava	0.5±0.3	0.005 0.007	14.5 7.9	3.19 3.19
(6)	K80020206	hb-bi da	生竜溶岩 Ikiryu lava	0.5±0.3	0.006 0.007	16.0 10.6	3.15 3.18
(7)	K80020203	bi-hb rhy	町田溶岩 Machida lava	0.7±0.3	0.007 0.007	9.4 8.9	2.72 2.75

角礫岩から成り、台地状の産状を呈す。今回は万年山山頂下の輝石安山岩溶岩台地面と柴やかた峠付近の丘陵を形成する輝石安山岩溶岩の各1試料計2試料について K-Ar 年代測定を行った。

豊肥火山岩類の上位には黒雲母流紋岩質の万年山溶岩がのる。今回は万年山山頂及び山腹から流紋岩溶岩を各1試料計2試料採取し K-Ar 年代測定を行った。

本地域では以上の火山岩類の上位を九重火山岩類・阿蘇火砕流堆積物・九重火砕流堆積物が不整合に覆う。

3. 年代測定試料

本報の K-Ar 年代測定は TELEDYNE ISOTOPE 社に依頼して行ったものである。K 及び Ar の測定は全岩試料について行い、測定は各2回行った。これらの測定結果は第2表に示す。今回得られた測定値は、後述する従来の測定値(第3表)に比較して誤差の範囲が1桁高い。TELEDYNE ISOTOPE 社では spike ³⁹Ar の誤差の見積もりを5%としている。以下には各試料についての採取地点と肉眼及び顕微鏡観察による特徴を記す。また第2図では地形図上に×印で採取地点を示す。

(1) 角閃石黒雲母流紋岩溶岩(万年山溶岩)

産地: 万年山山頂1140.2m三角点の西南西100m。

岩石: 灰赤紫色の流理構造の顕著な流紋岩溶岩で流理

に平行な板状節理が発達する。斑晶として斜長石・黒雲母・角閃石を含む。石基は斜長石・不透明鉱物を含みカルセドニー様結晶の成すスフェリチック構造が発達する。変質はほとんど受けていないが斜長石斑晶の周囲に赤鉄鉱・セリサイト等の微粒の二次鉱物が見られる。

(2) 黒雲母角閃石流紋岩溶岩(万年山溶岩)

産地: 万年山北東888mピークの南東280m。

岩石: 角閃石斑晶の多く見られる暗灰色の流紋岩溶岩で(1)と比較すると流理構造はさほど顕著ではない。斑晶に斜長石・角閃石・黒雲母・不透明鉱物を含み、副成分鉱物として燐灰石・ジルコンが見られる。石基は変質をほとんど受けていないが一部はカルセドニー様結晶の成すスフェリチック構造を示し微粒の不透明鉱物が見られる。

(3) 普通輝石紫蘇輝石安山岩溶岩(豊肥火山岩類)

産地: 万年山北東1055mピークの東650m。

岩石: 暗緑色塊状の安山岩溶岩で斑晶として斜長石・紫蘇輝石・普通輝石・不透明鉱物を含む。石基はごく細粒で斜長石・輝石・不透明鉱物その他が見られる。変質は受けていない。

(4) 紫蘇輝石含有普通輝石安山岩溶岩(豊肥火山岩類)



第2図 年代測定試料採取位置図

〔この地図は、国土地理院発行の5万分の1地形図(森)及び(宮原)を使用したものである〕

Fig. 2 Sampling localities.

産地：柴やかた峠東894mピークの北北東350m.

岩石：暗緑灰色塊状の安山岩溶岩で斑晶として斜長石・普通輝石・紫蘇輝石・不透明鉱物を含み捕獲結晶が多い。普通輝石にはしばしば双晶が見られる。副成分鉱物としてスフェーンを含み、石基は細粒で斜長石・輝石・不透明鉱物その他から成る。変質は受けていない。

(5) 黒雲母角閃石デイサイト溶岩(中村軽石流堆積物に付随)

産地：九重町豊後中村駅北方250mの道路東岸。

岩石：中村軽石流堆積物の下部に含まれる放射状割れ目の顕著な水冷破碎溶岩。灰白色塊状でごく軽微な変質を受けている。斑晶として斜長石・石英・角閃石・黒雲母・不透明鉱物を含み、まれに普通輝石・紫蘇輝石を含む。普通輝石・紫蘇輝石はしばしば反応縁状の角閃石に囲まれており捕獲結晶と考えられる。石基はガラス・不

透明鉱物等から成り、一部に緑泥石が見られる。

(6) 角閃石黒雲母デイサイト溶岩(生竜溶岩)

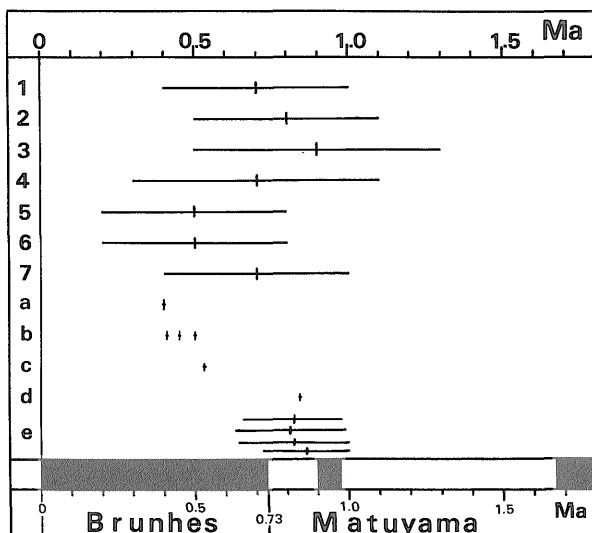
産地：九重町生竜部落の550mピークの西300m.

岩石：白色塊状の溶岩でしばしば節理がみられる。斑晶として石英・斜長石・黒雲母・角閃石・不透明鉱物を含む。副成分鉱物として燐灰石・スフェーンを含む。石基はガラスから成り黒雲母の微粒が見られる。変質は受けていない。

(7) 黒雲母角閃石流紋岩溶岩(町田溶岩)

産地：九重町生竜部落町田川の北西岸。

岩石：流理構造の顕著な暗赤紫色の流紋岩溶岩で、流理構造に平行に節理が発達する。斑晶として斜長石・黒雲母・角閃石を含む。副成分鉱物として燐灰石を含む。石基は潜晶質で斜長石・不透明鉱物等から成る。カルセ



第3図 中部九州の火山岩類の K-Ar 年代測定値及びフィッション・トラック年代測定値とその誤差範囲図

図の下端は自然残留磁気方位を示し、黒色が正磁極期、白色が逆磁極期を表す

Fig. 3 K-Ar and fission track ages of the volcanic rocks in the central Kyushu district. Error bars and ages are shown in this figure. Geomagnetic polarity scale is based on MANKINEN and DALRYMPLE (1979). Black pattern indicates the period of normal polarity, and the white pattern shows the period of reverse polarity.

ドニー様のシリカ鉱物の脈がまれに見られ軽微な変質を受けている。

4. 結果と考察

今回行った K-Ar 年代測定の結果(第2表)について従来の年代測定値(第3表)³⁾と比較して本地域の火山岩類の時代を考察する。第3図にはこれらの結果について年代測定の中央値と誤差範囲を表示した。壊変定数は $\lambda_{\beta}=4.962 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$, $\lambda_{\alpha}=0.581 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$, $K^{40}=1.167 \times 10^{-4} \text{ atom/atom}$ である。

万年山溶岩の測定値(第2表の(1), (2))は 0.7 ± 0.3 及び $0.8 \pm 0.3 \text{ Ma}$ を示し、従来万年山溶岩の年代測定値とされたもの(第3表の b, c)の示す約 0.5 Ma よりやや古い値が得られた。今回の試料は万年山山頂及び山腹で採取した試料を測定したものである。これに対して b は万年山から約 30 km 離れた阿蘇カルデラ内壁坂梨に産する黒雲母流紋岩中の黒曜石の年代であり、c は万年山山頂の南西約 5 km (大分県玖珠町第二大原野)の流紋岩溶岩の

年代である。b は K-Ar 及びフィッション・トラック両年代測定値が良い一致をみているものの万年山からの距離を考慮すれば松本ほか(1972)及び松本ほか(1977)のように万年山溶岩として一律に扱おうるか否かには議論の余地がある。よって万年山山体を構成する万年山溶岩に限定すれば、従来の年代測定値としては c のフィッション・トラック法による 0.53 Ma のみと考えられる。これに対して今回得られた $0.7-0.8 \text{ Ma}$ の年代測定値は万年山溶岩の時代がやや古くなる可能性を示唆するが、測定誤差が大きいのので厳密な議論はできない。

豊肥火山岩類(筑紫溶岩)については第2表の(3), (4)で示す値 (0.9 ± 0.4 , $0.7 \pm 0.4 \text{ Ma}$) が得られた。従来は第3表の d, e で示すような K-Ar 年代及びフィッション・トラック年代が得られている。d ($0.84 \pm 0.03 \text{ Ma}$) は阿蘇カルデラ妻子ヶ鼻に産する輝石安山岩溶岩の K-Ar 年代測定値であり、e ($0.81-0.86 \text{ Ma}$) は大分県九重町川底・九酔溪・八丁原・菅原に産する輝石安山岩溶岩のフィッション・トラック年代測定値である。今回得られた測定値は、誤差範囲は大きい中央値は従来の値に近い。長瀬(1979)は火山岩の自然残留磁気(N. R. M.)方位の測定から、豊肥火山岩類にプリュヌ正磁極期初期のものと松山逆磁極期に属するものが共に存在することを

3) KANEOKA and SUZUKI (1970) 及び兼岡・小嶋 (1970) では K-Ar 年代測定の壊変定数に $\lambda_{\alpha}=0.585 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$, $\lambda_{\beta}=4.72 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$, $^{40}\text{K}/\text{K}=1.19 \times 10^{-4} \text{ mole/mole}$ を用いている。第3表の b 及び d の K-Ar 年代測定値を本報で用いた壊変定数で計算しなおすと、b は 0.42 ± 0.04 , 0.46 ± 0.03 ; d は $0.86 \pm 0.03 \text{ Ma}$ となる。

第3表 中部九州における火山岩類の既存の年代測定値
(⁴⁰Ar, K 等の記載のあるもの) FT: フィッション・トラック法, KA: K-Ar 法

Table 3 Previous results of the age data for the volcanic rocks in the central Kyushu district.
(*) FT means fission track method. KA means K-Ar method.

	Stratigraphy	Rock type	Age (Ma)	Method(*)	References
a	耶馬溪溶結凝灰岩 Yabakei welded tuff	augite-hornblende andesite	0.40	FT	松本ほか(1977)
b	坂梨黒曜岩 Sakanashi obsidian	biotite rhyolite	0.41±0.04 0.45±0.03 0.50±0.05	KA KA FT	KANEOKA and SUZUKI (1970)
c	万年山溶岩 Haneyama lava	biotite-hornblende rhyolite	0.53±0.06	FT	磯・池田(1979)
d	豊肥火山岩類 (筑紫溶岩) Hōhi volcanic rocks (Tsukushi lava)	pyroxene andesite	0.84±0.03	KA	兼岡・小嶋(1970)
e	豊肥火山岩類 (筑紫溶岩) Hōhi volcanic rocks (Tsukushi lava)	pyroxene andesite	0.82±0.16 0.81±0.18 0.82±0.18 0.86±0.14	FT	渡辺ほか(1981)

述べている。これは磁極の逆転期に当たる約0.73 Ma (MANKINEN and DALRYMPLE, 1979)前後に豊肥火山岩類の噴出があったことを意味し、今回の結果とも調和的である。現在のところ九州中北部に広範囲に分布する輝石安山岩溶岩は、精密な対比が行われなまま一括して豊肥火山岩類または筑紫溶岩と呼称されているが、それぞれが同一時代の噴出物が否かについては疑問があり、自然残留磁気方位による区分と各種放射年代測定とのクロスチェックが今後必要と思われる。

第2表の(5)(0.5±0.3 Ma), (6)(0.5±0.3 Ma), (7)(0.7±0.3 Ma)で示される玖珠層群中の珪長質火山岩類の時代は、従来松本ほか(1973)により中新世後期と考えられたものである。しかし村岡ほか(1980)及び鎌田ほか(1981)はこの地域において従来宇佐層群とされてきた地層は玖珠層群中の部層が変質を受けたものであることを明らかにし、造構史の解析から玖珠層群が鮮新-更新統である可能性を指摘した。今回の年代測定結果により玖珠層群中の火成活動の時代が更新世であることが裏づけられた。また今回の測定値は第3図に示すように、万年山溶岩・豊肥火山岩類の年代と玖珠層群の火山岩類の年代とが層序とは逆の結果を示している。玖珠層群の火山岩類の試料は変質をほとんど受けておらず、極く軽微な変質が年代値に対して層序と逆の結果を示す原因であると考えられない。誤差範囲を含めれば玖珠層群中の火山岩類の活動は少なくとも万年山溶岩・豊肥火山岩類と比較的近接した時代に起こり、かついずれもが1 Maより

も若い火山活動であると考えられる。今回の年代測定値が層序に対して逆転した結果を示したことは、今後各種放射年代測定及び自然残留磁気方位の測定を併用して検証すると共に層序の再検討も必要であろう。

今回の結果からは、従来比較的若いと考えられていた万年山溶岩と玖珠層群中の珪長質火山岩類が同時代であることが判明し、玖珠層群中の火山岩類もまた地熱熱源としての可能性を持つことが示唆された。このことは今後の地熱探査に新たな指針を与えると考えられる。

例えば SMITH and SHAW (1975)及び玉生(1980)は火山岩の地熱熱源としての可能性をその年代と体積から推定している。今後地熱熱源としての精密な評価を行うためには、地表地質調査・物理探査等を用いて各火山岩類の体積を求め定量的な地熱熱源量評価を行う必要がある。

文 献

- 磯 望・池田安隆(1979) 中部九州万年山周辺の万年山溶岩のフィッション・トラック年代。第四紀研究, vol. 18, p. 165-168.
- 鎌田浩毅・村岡洋文・長谷紘和(1981) 九重火山北麓地域の地質と層序(演旨)。地質学会第88年学術大会演旨, p. 312.
- 兼岡一郎・小嶋 稔(1970) 日本の火山岩の放射性元素年代。火山 第2集, vol. 15, p. 10-21.
- KANEOKA, I. and SUZUKI, M. (1970) K-Ar and

- fission track ages of some obsidians from Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, vol. 76, p. 309-313.
- MANKINEN, E. A. and DALRYMPLE, G. B. (1979) Revised geomagnetic polarity time scale for the interval 0-5m.y. B.P. *Jour. Geophys. Res.*, vol. 84, no. B2, p. 615-626.
- 松本徂夫(1963) 北中部九州における後期新生代の火山活動. 九大生産研報告, no. 34, p. 1-10.
- ・宮地貞憲・宮地六美・西田民雄(1972) 大分県玖珠川流域の火山地質. 九大教養地研報告, no. 17, p. 7-24.
- ・坂田輝行・松尾孝一・林 正雄・山崎達雄(1973) 大分県九重火山北麓の火山地質. 九大生産研報告, no. 57, p. 1-15.
- ・西村 進・田島俊彦(1977) 九州の新生代火成岩の fission-track 年代. 長崎大教養紀要, vol. 17, p. 63-75.
- 村岡洋文・鎌田浩毅・長谷紘和(1980) 九重火山北麓地域に見出された更新世の転倒褶曲とその意義. 地調月報, vol. 31, p. 599-608.
- 村岡洋文・鎌田浩毅・長谷紘和(1981) 豊肥地域の造構環境(演旨). 地調月報, vol. 32, p. 303-304.
- 長瀬泰信(1979) 九州北西部に分布する鮮新-更新世火山岩類の古地磁気について(演旨). 火山 第2集, vol. 24, p. 92.
- SMITH, R. L. and SHAW, H. R. (1975) Igneous-related geothermal systems, in WHITE, D. E. and WILLIAMS, D. L. eds., Assessment of geothermal resources of the United States-1975: *U.S. Geological Survey Circular*, no. 726, p. 58-83.
- 玉生志郎(1980) 放射年代測定からみた九州豊肥地熱地域の熱源評価(演旨). 火山 第2集, vol. 25, p. 113-114.
- 渡辺公一郎・林 正雄・石橋 澄(1981) 中部九州に分布する筑紫溶岩のフィッション・トラック年代と岩石学的性質(演旨). 三鉱学会昭和56年度秋期連合学術講演会演旨, p. 102.

(受付: 1982年3月24日; 受理: 1982年6月16日)