岐阜県土岐川沿いに露出する高マグネシウム安山岩岩脈の K-Ar 年代

K-Ar age of high magnesium andesite dikes at the Toki River in Gifu Prefecture, central Japan.

及川輝樹* 眞島英壽** 棚瀬充史***
二ノ宮 淳*** 梅田浩司**

*Teruki Oikawa**, *Hidehisa Mashima***,
*Atsushi Tanase****, *Atsusi Ninomiya **** and
*Koji Umeda***

2006年6月22日受付.

2006年9月22日受理.

* 産業技術総合研究所地質情報研究部門
Institute of Geology and Geoinformation, Geological Survey of
Japan, AIST, central 7, Higashi 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-
8567, Japan

** 日本原子力研究開発機構
Japan Atomic Energy Agency, 959-31 Jorinji, Izumi-cho, Toki
509-5102, Japan.

*** 住鉱コンサルタント (株)
Sumiko Consultants Co. LTD., 2-18-4 Kita-Ueno, Taito-ku,
Tokyo 110-0014, Japan.

Corresponding author; T. Oikawa, teruki-oikawa@aist.go.jp

Abstract: A high-magnesium andesite dike swarm intruding into the Jurassic mélange of the Mino-Tamba Belt and the Cretaceous Toki Granite is exposed along the Toki River in central Japan. At the time of intrusion, the direction of the maximum horizontal compressive stress was E-W in this area, as indicated by the predominant direction of the dike swarm. New K-Ar age dating suggests that the intrusive age of the dike swarm is 60-70 Ma. We point out of possibility that high-magnesium andesite magmatism occurred at 60-70 Ma in the eastern part of Inner Zone of Southwest Japan.

Keywords: high magnesium andesite, dike, K-Ar dating, stress field, Inner Zone of Southwest Japan, Mino-Tamba Belt.

はじめに

高マグネシウム安山岩 (以下, 高 Mg 安山岩と記す) は含水マントルの融解による初生安山岩マグマの直接的な産物と考えられており, 安山岩成因論の観点から注目されている (例えば, 巽, 2003). さらにその成因は, 沈み込んだスラブからの水が重要な役割を果たすことのほか, 背弧海盆の形成などの特異なテクトニクスが関係することが指摘されている (巽, 2003). そのため, 高 Mg 安山岩のマグマの活動年代を知ることは, 火成活動当時の造構史を解明するうえで重要である. 西南日本内帯, 特に美濃-丹波帯からは, 白亜紀に形成されたと推定される高 Mg 安山岩およびそれに類似する火

Fig. 1. Index map and geological map of the dike swarm of Toki River in central Japan. MTL: Median Tectonic Line, ISTL: Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, N: Nagoya, K: Kyoto, O: Osaka.

成岩類の産出が報告されており (例えば, Suzuki and Shiraki, 1980; 木村・貴治, 1993), 岐阜県土岐川河床には美濃帯のジュラ紀付加体と後期白亜紀花崗岩の土岐花崗岩に貫入する高 Mg 安山岩質の小規模な岩脈群の存在が知られている (新正ほか, 1999). しかし, この高 Mg 安山岩質岩脈群の形成・貫入時期は, 後期白亜紀以降という以上ことは不明であった. 本報告は, この岩脈群の産状の記載と K-Ar 年代値を報告し, 周辺地域に分布する高 Mg 安山岩の活動との時空的関係について議論する.

地質概説

対象の高 Mg 安山岩質岩脈群は岐阜県土岐, 多治見市市境付近の土岐川沿いに露出する (Figs. 1, 2). この岩脈群は美濃帯のジュラ紀付加体と土岐花崗岩に貫入している. 岩脈の貫入するジュラ紀付加体は黒色泥岩, 層状チャート, 礫質泥岩, 砂岩, 緑色岩からなる堆積物で, 黒色泥岩からジュラ紀新世後期の放散虫化石が報告されている (尾崎・鈴木, 1997). ジュラ紀付加体に貫入する土岐花崗岩 (石原・鈴木, 1969)

は、濃飛流紋岩 (山田ほか, 1971) に貫入した広義の苗木・上松花崗岩 (河田ほか, 1961) に属する花崗岩体で (山田・赤羽, 2005), 粗粒な黒雲母花崗岩を主岩相とする。また, ジュラ紀付加体に顕著な熱変成を与えている (尾崎ほか, 1996)。土岐花崗岩からは, Rb-Sr 全岩アイソクロン年代値として 72.3 ± 3.9 Ma (Shibata and Ishihara, 1979), モナザイト CHIME 年代値として 68.3 ± 1.8 Ma (Suzuki and Adachi, 1998), ジルコン FT 年代値として 58.5 ± 2.1 , 61.4 ± 2.2 Ma (笹尾ほか, 2006) が報告されている。それぞれの年代系の閉鎖条件 (例えば, 兼岡, 1998; 鈴木, 2005) を考慮に入れると, 土岐花崗岩は約 70 Ma の後期白亜紀に貫入し, 約 60 Ma にはおよそ $300 \sim 200$ °C までに冷却していたと考えられる。

岩脈の産状と記載岩石学的特徴

土岐川沿いにおいて幅 0.1 ~ 1.2 m の岩脈が 9 本 (TOK-1 ~ 9) 露出しており, それらは平行岩脈群をなし平均貫入方位は $N77^\circ E$ である (Table 1, Fig. 2.1, 2.2)。

岩脈の母岩となる美濃帯のジュラ紀付加体は熱変成を受けた泥質岩である。もう 1 つの母岩である土岐花崗岩は, しばしばペグマタイト脈やアプライト脈を含む等粒状の粗粒な黒雲母花崗岩である。これらアプライト脈と岩脈の伸張方向は直交ないし斜交し, 岩脈がアプライト脈を切る産状を示す (Fig. 2-1)。岩脈と母岩 (アプライト脈を含む) との境界は

いずれもシャープで (Fig. 2-1), 母岩との接触部分で幅 2 ~ 0.3 cm 程度のガラス急冷縁をもつことから, 岩脈は花崗岩が固結後に貫入したと推定される。

岩脈を構成する岩石は無斑晶質で, 単斜輝石の斑晶が少量見られるが緑泥石や炭酸塩鉱物に置換されているものが多い (Fig. 2.3)。全体に変質しているが, まれに新鮮な部分もある。

変質の程度の低い TOK-01, 02, 06, 08 の 4 試料について

Table 1. Mean orientation and width of the dike swarm.

Name	Orientation strike dip	Width (m)	Rock type	Host rocks
TOK-01	N71°E 85° N	1.2	Pyroxene andesite	Granite
TOK-02	N78°E 86° S	0.7	Pyroxene andesite	Granite
TOK-03	N78°E 82° N	0.8	Pyroxene andesite	Muddy matrix mélange
TOK-04	N81°E 86° N	0.1	Pyroxene andesite	Muddy matrix mélange
TOK-05	N83°E 85° S	0.5	Pyroxene andesite	Granite
TOK-06	N58°E 90	0.4	Pyroxene andesite	Granite
TOK-07	N87°W 90	0.1	Pyroxene andesite	Granite
TOK-08	N73°E 90	0.3	Pyroxene andesite	Granite
TOK-09	N73°E 90	0.4	Pyroxene andesite	Granite

Table 2. Major element, Ni, and Cr analyses of the andesites from dike swarm of the Toki river.

	TOK-01	TOK-02	TOK-06	TOK-08
(wt. %)				
SiO ₂	56.56	56.38	56.07	56.32
TiO ₂	0.84	0.91	0.83	0.80
Al ₂ O ₃	15.02	15.91	14.93	14.47
Fe ₂ O ₃	8.92	8.31	8.15	9.36
MnO	0.15	0.16	0.19	0.39
MgO	7.59	6.39	7.32	8.54
CaO	7.41	8.12	8.72	7.21
Na ₂ O	1.67	1.23	1.60	1.56
K ₂ O	1.26	1.67	1.45	1.46
P ₂ O ₅	0.18	0.19	0.18	0.18
Total	99.60	99.27	99.44	100.29
Ni (ppm)	77	56	73	83
Cr (ppm)	363	291	351	459
FeO* / MgO	1.06	1.17	1.00	0.99
FeO*: total Fe as FeO.

Fig. 2.1. Photograph of the dike (TOK-08) intruded in the Toki Granite. A hammer is shown for scale (33cm long). 2. Rose diagram of the dike swarm orientation. 3. Photomicrograph of the andesite from the dike of TOK-01 (plane polarized light). cpx: clinopyroxene. pl: plagioclase.

Table 3. K-Ar dating results of the andesite sample from dike (TOK-01).

Sample name	Sampling site			Potassium (wt.%)	Rad. argon 40 (10^{-8} ccSTP/g)	K-Ar age** (Ma)	Weighted Mean (Ma)	Non Rad. Ar(%)
	Latitude*	Longitude*	Altitude					
TOK-01	35° 21' 11" N	137° 10' 05" E	120m	1.068 ± 0.021	246.6 ± 2.9	58.5 ± 1.3	59.6 ± 1.4	12.8
					255.4 ± 3.0	60.6 ± 1.4		13.7

*Based on the WGS84 Datum. ** Errors are given as 1σ uncertainty levels.

て、東濃地科学センター設置の蛍光 X 線測定装置 Rigaku System3270E を用いて全岩化学測定を行った。測定は、950 °C で 2 時間加熱し揮発成分を取り除いた試料を、眞島 (2005) に従い、四硼酸リチウムで 6 倍に希釈し製作したガラスビードを用いた。検量線の作成は高純度試薬混合により合成試料を作成し行なった。分析結果を Table 2 に示す。岩脈群を構成する岩石の化学組成は、SiO₂: 56.1 ~ 56.6 wt.%, MgO: 6.4 ~ 8.5 wt.%, FeO*/MgO: 1.0 ~ 1.2, Ni: 56 ~ 83 ppm, Cr: 291 ~ 459 ppm で、低い FeO*/MgO 比や安山岩にしては高い MgO, Ni, Cr 含有量を持つ。これらは、新正ほか (1999) で報告された全岩化学組成の特徴と一致し、白木 (1993) の定義 (SiO₂: 53 wt.% 以上, MgO: 6 wt.% 以上) した高 Mg 安山岩の特徴を示す。

年代測定とその結果

年代測定用試料として岩脈 TOK-01 (Fig. 1, Table 2) から、石基、斑晶とも変質の影響が軽微で新鮮なものを採取した。試料は、斑晶として最大長径 1 mm 程度の単斜輝石を少量含む無斑晶質の単斜輝石安山岩である。石基は間粒状組織を示し、斜長石と少量の輝石、鉄鉱物、角閃石で構成されている (Fig. 2.3)。単斜輝石斑晶の一部は緑泥石化しているが、石基を構成する斜長石などの鉱物は新鮮である。

粉砕後、斑晶を取り除いた石基を分析試料とし、蒜山地質年代学研究所に依頼し K-Ar 年代測定を行った。分析手順と年代値の算出は長尾ほか (1984)、Itaya et al. (1991) に従った。アルゴン同位体比は ³⁸Ar 濃縮スパイクを用いた同位体希釈法でそれぞれ 2 回ずつ測定し、カリウムの定量は 2000 ppm のセシウムをイオン化制御剤として用いた炎光光度法を用いた。カリウムの壊変定数は、Steiger and Jäger (1977) の値を使用した。測定結果を Table 3 に示す。試料の大気アルゴン混入率は低く、2 回の繰り返し測定で得られた年代値は誤差範囲 (1σ) で一致する。年代値の重み付け平均は 59.6 ± 1.4 Ma である。

一般に、カリウムを含む鉱物・相が変質しておらず、ガラス質でなく微完晶質である火山岩の石基は、アルゴンの散逸の可能性が低く K-Ar 年代測定に適した試料であるとされている (宇都・石塚, 1999; など)。今回の測定試料は、斑晶の単斜輝石の一部が緑泥石化しているが、測定に用いた石基部分の斜長石などには風化・変質の影響が認められず、石基組織も微完晶質である (Fig. 2)。よって、アルゴンの散逸などの影響は少ないと判断される。

得られた年代値は、母岩の土岐花崗岩の貫入年代 (約 70 Ma) より若く、貫入関係とは矛盾しない。しかし、土岐

花崗岩のジルコン FT 年代値と今回得られた岩脈の K-Ar 年代値には有意な差が認められない。岩脈の石基を主に構成する斜長石の閉鎖温度は 230 °C 程度であり、ジルコン FT 年代の閉鎖温度とはほぼ一致する (例えば、兼岡, 1998)。そのため、今回得られた K-Ar 年代値は岩脈貫入後の徐冷時期を示している可能性がある。岩脈は貫入後すぐに斜長石 K-Ar 年代系の閉鎖温度まで冷却されたのではなく、周囲の母岩と共に徐冷され 60Ma 頃に閉鎖温度に達した可能性もある。したがって、TOK-1 の貫入年代は今回得られた年代値ないしそれより古い値であると考えられる。

中部日本西部の 60-70 Ma における 高マグネシウム安山岩の活動

土岐川沿いの岩脈は、平行岩脈群をなし、それぞれの岩質や化学組成も類似するので、いずれの岩脈もほぼ同時期に形成したと考えられる。今回得られた年代値と貫入関係を整理すると、岩脈群の貫入時期は花崗岩の貫入年代 (約 70 Ma) より後で、TOK-1 の石基 K-Ar 年代値 (59.6 ± 1.4 Ma) 以前の、およそ 60 ~ 70 Ma の間と考えられる。また、岩脈群の産状からそれらの貫入は花崗岩が十分冷却し固結した後であると判断されるため、岩脈群は約 60 ~ 70Ma 間のうち比較的後半に貫入した可能性が高い。なお、岩脈の卓越伸張方向を利用して地殻応力場の推定する岩脈法 (Nakamura, 1977) に基づくと、その後の地塊の回転を考慮にいれなければ、岩脈貫入時の土岐川の岩脈群周辺の水平最大圧縮応力軸はほぼ東西であったと考えられる。

次に、土岐川の岩脈群と周辺地域の高 Mg 安山岩の活動の時空的関係を議論する。

本調査地域が位置する西南日本弧内帯東部には、数多くの高 Mg 安山岩岩体が存在する。土岐川の岩脈群に隣接した地域の中新統蜂屋層 (Fig. 1) の火山角礫岩中からは高 Mg 安山岩類 (白木・野村, 1989) の産出が報告されているが、その活動年代は K-Ar 年代値に基づき 20 Ma と推定されている (野村, 1992)。そのため、土岐川沿いの岩脈群と蜂屋層の高 Mg 安山岩火山岩類の活動時期は別であることが明らかになった。

また、土岐川の岩脈群が属する美濃—丹波帯には、白亜紀に貫入した高 Mg 安山岩とそれに類似した火成岩が多数知られている (例えば、木村・貴治, 1993)。そのうち活動年代が明らかなものは、愛知県犬山地域、京都府大広谷地域 (Fig. 1) のもので、その形成年代は犬山地域のものが白亜紀最初期以降 85 Ma 以前、大広谷地域のものが約 108 Ma といずれも前期白亜紀のものである (木村・貴治, 1993)。これらの活

動時期は、いずれも土岐川の岩脈群の活動時期と 1500 万年以上も異なる。

その一方、土岐川沿いの岩脈群とほぼ同時期に活動した高 Mg 安山岩質火山岩の存在も知られている。それは、庄川火山-深成複合岩体を構成するシツ谷層中の玄武岩質安山岩溶岩 (棚瀬ほか, 2005a) や奥美濃酸性岩類のタラガ谷層中の玄武岩質安山岩溶岩 (棚瀬, 1982; 棚瀬ほか, 2005b) で、いずれも大規模な珪長質火山活動を伴っている (Fig. 1)。シツ谷層中の玄武岩質安山岩溶岩の石基からは約 55Ma の K-Ar 年代値が報告されているがこの値は何らかの影響で若返った値と考えられており、シツ谷層はそれより下位の火山岩と貫入する花崗岩の年代値から 60 ~ 68 Ma に形成されたと考えられている (棚瀬ほか, 2005a)。また、タラガ谷層中の溶結凝灰岩中の角閃石から 68.1 ± 1.1 Ma の K-Ar 年代が求められており (小井土ほか, 1995)、タラガ谷層は約 68Ma に形成されたと考えられている (棚瀬ほか, 2005b)。さらに、岐阜県西部の貝月山に露出する貝月山花崗岩 (Fig. 1) には、それに貫入する玄武岩-安山岩質の岩脈群 (Suzuki and Shiraki, 1980; 斎藤・沢田, 2000) が知られており、それらの貫入年代は K-Ar 年代測定値から約 81 Ma, 70 Ma, 56 Ma, 17 Ma と 4 つの時期があったとされている (斎藤・沢田, 2000)。そのうち、81 Ma と 70 Ma の年代値が得られた岩脈は高 Mg 安山岩の特徴を示す。つまり、土岐川の岩脈群が形成された 60 ~ 70 Ma の白亜紀末から前期暁新世に、狭く限られた地域である西南日本弧内帯東部 (Fig. 1) において高 Mg 安山岩質の火成活動が起きた。これら土岐川、シツ谷層、タラガ谷層、貝月山の高 Mg 安山岩は、限られた地域において比較的集中した時期に活動したことから、その活動には何らかの共通の原因があった可能性がある。しかし、それぞれの岩脈群の推定活動時期はいずれも 1000 万年程度の幅を持っており、本論文で示したようにこれら火山岩類の年代を精度良く求めるのは困難である場合も多い。今後、この地域の高 Mg 安山岩活動の同時性や時空分布的に密接な関係を待つ珪長質火山活動との関係を明らかにするためにも、これら岩体について更なる高精度の年代学的な検討が必要であろう。

謝 辞

本研究を進める際日本原子力研究開発機構の笹尾英嗣博士、丹羽正和博士には文献収集で、(株)パスコ (当時) の林 浩美氏には薄片の作成でお世話になった。査読者および編集幹事の東京経済大学の新正裕尚助教授、大阪府立箕面東高校の貴治康夫教諭、産業技術総合研究所の角井朝昭主任研究員のご指摘によって本論は改善された。ここに記して感謝いたします。

文 献

石原舜三・鈴木淑夫, 1969, 東濃ウラン鉱床の基盤花崗岩類. 地調報告, no. 232, 113-127.
Itaya, Y., Nagao, K., Inoue, K., Horjo, 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.

兼岡一郎, 1998, 年代測定概論. 東京大学出版会, 315p.

河田清雄・山田直利・磯見 博・村山正朗・片田正人, 1961, 中央アルプスとその西域の地質: その 2 - 濃飛流紋岩類 -. 地球科学, no.54, 20-31.

木村克己・貴治康夫, 1993, 美濃-丹波帯に貫入する高マグネシア安山岩および玄武岩シートの K-Ar 年代. 地質雑, **99**, 205-208.

小井土由光・原山 智・遠藤俊治・下畑五夫, 1995, 両白山地における K-Ar 年代. 岐阜県博調査研報, no.16, 15-20.

眞島英壽, 2005, 島弧会合点における火山活動の研究. 博士研究員による平成 16 年度研究概要報告書, 核燃料サイクル開発機構, 151-156.

長尾敬介・西村裕嗣・板谷徹丸・緒方惟一, 1984, K-Ar 法による年代測定. 岡山理科大森山研究所報告. no.9, 19-38.

Nakamura, K., 1977, Volcanoes as possible indicators of tectonic stress orientation - Principle and proposal. *Jour. Volcano. Geotherm. Res.*, **2**, 1-16.

野村隆光, 1992, 岐阜県南東部, 中新統蜂屋層の層序-瀬戸内区中新世初期の火山活動-. 瑞浪市化石博研報, no. 19, 75-100.

尾崎 淳・鈴木寿志, 1997, 岐阜県土岐-多治見地域の美濃帯堆積岩コンプレックスから産したジュラ紀最末期放散虫化石. 地質雑, **103**, 163-166.

尾崎 淳・北村雅夫・吉田武義・木村純一, 1996, 岐阜県土岐市土岐川流域における接触変成作用に伴う物質移動. 三鉱学会演旨, 116.

斎藤 眞・沢田順弘, 2000, 横山地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 126p.

笹尾英嗣・岩野英樹・檀原 徹, 2006, 岐阜県東濃地方に分布する瑞浪層群土岐夾炭層の凝灰質砂岩のフィッシュン-トラック年代. 地質雑, **112**, 459-468.

Shibata, K. and Ishihara, S., 1979, Rb-Sr whole-rock and K-Ar ages of granitic rocks in Japan. *Geochem. Jour.*, **13**, 113-119.

新正裕尚・尾崎 淳・角井朝昭, 1999, 土岐市西方の高 Mg 安山岩質岩脈群. 火山学会 1999 年秋季大会予稿集, 30.

白木敬一, 1993, 瀬戸内地域における高マグネシア安山岩の形成. 地質学論集, no.42, 255-266.

白木敬一・野村隆光, 1989, 岐阜県美濃加茂市下部中新統蜂屋層の高マグネシア安山岩. 日本の高マグネシア安山岩, 科研費報告書 (1986-88), 143-148.

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.

鈴木和博, 2005, 電子線プローブアナライザを用いた CHIME 年代測定. 地質雑, **111**, 509-526.

Suzuki, K. and Adachi, M., 1998, Denudation history of the high T/P Ryoke metamorphic belt, southwest Japan: constraints from CHIME monazite ages of gneisses and granitoids. *Jour. Metamorphic Geol.*, **16**, 23-37.

Suzuki, K. and Shiraki, K., 1980, Chromite-bearing spessartites from Kasuga-mura, Japan, and their bearing on possible mantle origin andesite. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **71**, 313-322.

棚瀬充史, 1982, 奥美濃酸性岩類-両白山地における白亜紀火成作用-. 地質雑, **88**, 271-288.

棚瀬充史・亀井玄人・原山 智, 2005a, 庄川火山-深成複合岩体. 地団研専報, no. 53, 143-157.

棚瀬充史・笠原芳雄・原山 智・小井土由光, 2005b, 濃飛流紋岩周辺地域の後期白亜紀-古第三紀火山岩類. 地団研専報, no. 53, 159-171.

巽 好幸, 2003, 安山岩と大陸の起源. 東京大学出版会, 213p.

宇都浩三・石塚 治, 1999, K-Ar, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法による第三紀火山岩の年代測定の現状と将来. 石技誌, **64**, 63-71.

山田直利・赤羽久忠, 2005, 濃飛流紋岩を貫く花崗岩類. 地団研専報, no.53, 89-97.

山田直利・河田清雄・諸橋 毅, 1971, 火砕流堆積物としての濃飛流紋岩. 地球科学, **25**, 52-88.