

中部地方、設楽地域の苦鉄質～中間質火山岩の全岩化学組成（予備報告）

Preliminary report of the whole-rock compositions of the mafic to intermediate volcanic rocks in Shitara district, central Japan

新正裕尚・折橋裕二

Abstract

Whole-rock compositions of basalt and andesite samples from Shitara district were determined. The geochemical characteristics of the samples are briefly discussed in comparison with previously reported data on the volcanic rocks this area. NMORB-normalized incompatible element pattern for the samples with HFSE-depletion and Pb spike suggests island-arc signature of the samples.

はじめに

日本海の拡大に伴う、西南日本の時計回り回転 (Otofuji and Matsuda, 1983) は最近の研究では 1600 万年前ごろまでに終了したものとされる (Hoshi et al., 2015). その回転直後に西南日本では広域的に海溝寄り地域での火成活動が起こった (たとえば Kimura et al., 2005). 西南日本外帯では 14.5 Ma ごろをピークとしてその前後それぞれほぼ 100 万年にわたりて紀伊半島から九州西部の範囲で主に珪長質の火成活動が起こった (Shinjoe et al., 2021). 中央構造線の北側の西南日本内帯ではサヌキトイドや鉄に富むざくろ石斑晶を含む流紋岩、デイサイト、ピッチストンなどの产出が注目される瀬戸内火山岩類の活動があった (Tatsumi, 2006). 瀬戸内火山岩類は従来、大分県の大野火山岩類 (Tatsumi et al., 2003) を西縁とし、東は中部地方の設楽地域までの分布をもつものとされてきたが (Figure 1a), 近年の研究では分布の西縁が九州西部の天草地域に及ぶことはほぼ確実である (Ushimaru and Yamaji, 2022; Shinjoe et al., 2024). さらに天草より数十キロメートル南西の東シナ海の甑島諸島には高 Mg 安山岩組成の岩脈群が見られ、瀬戸内火山岩の活動域が甑島諸島まで広がる可能性が指摘されている (新正ほか, 2024). 紀伊半島から甑島諸島までの範囲の瀬戸内火山岩類にはマントルかんらん岩と平衡にあったとされる, Mg/Fe 比が高く, Cr, Ni に富む高 Mg 安山岩が出現する. これは西南日本弧の時計回り回転直後に沈み込んだ高温の

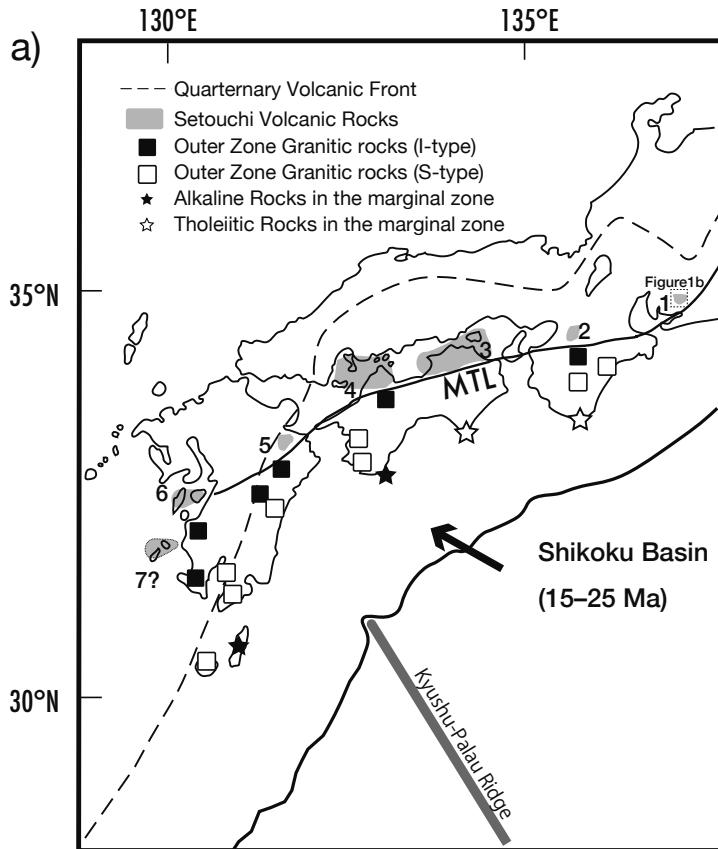


Figure 1 a) Distribution and tectonic setting of the Setouchi volcanic rocks. Seven major volcanic regions are as follows: 1. Shitara, 2. Osaka, 3. Shodo-shima and Sanuki plain, 4. NW Shikoku, 5. Ohno, 6. Amakusa, 7. Koshikijima. In the closer to the trench region, the Outer zone (south of the Median Tectonic Line; MTL) felsic igneous rocks are distributed. Closest to the Nankai trench, alkali and tholeiitic rocks of the marginal zone are distributed.

四国海盆スラブ上面の主に堆積物が融解したメルトがマントルかんらん岩と反応して生成したとされる (Tatsumi and Hanyu, 2003). しかし、瀬戸内火山岩類の分布域の東縁に位置付けられてきた設楽地域の瀬戸内火山岩類からは高 Mg 安山岩の産出が知られていない。当地域で産する苦鉄質～中間質岩は主に高アルカリソレアイトやアルカリ玄武岩およびそれから分化したものである (Kuno, 1960; 沢井・設楽団体研究グループ, 1985). このような岩相面から見た相違については、古くは久野 (1954) が指摘しており、設楽火山岩団体研究グループ (1979) は他の瀬戸内火山岩分布域と共通するのは含ざくろ石松脂岩 (ピッチストン) の存在ぐらいであることに触れ、さらに盆状構造の発達も他の地域には見られない特徴であることを述べている。それにもかかわらず、本地域の火成活動の位置付けについては、瀬戸内火山岩類の一員とする取り扱いが現在まで続いている (巽, 2003; Tatsumi et al.,

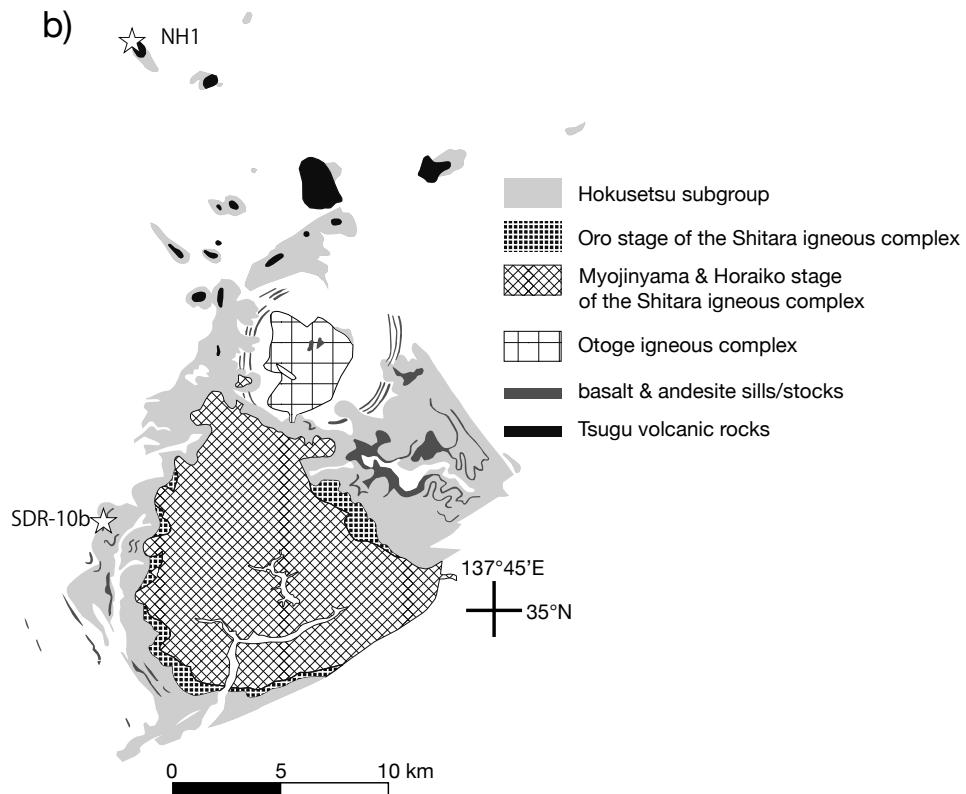


Figure 1 b) Geological map of the Shitara region (modified from Shinjoe and Orihashi (2023), originally drawn after Geological Survey of Japan, AIST (2022) Seamless digital geological map of Japan V2 1: 200,000. and Makimoto et al., 2004). The approximate locations of the samples utilized for analysis are indicated with open stars.

2020). 噴出後の変質を被った岩石が多いこともその一因であろうが、苦鉄質～中間質岩を中心として公開された地球化学的データに乏しくマグマ成因やそのテクトニックな位置付けを議論するためには今もって十分であるとは言えない。我々は先に設楽地域北部の津具火山岩類のデイサイトおよび玄武岩質安山岩の全岩化学組成を報告した（新正・折橋, 2023）。本稿では、その続報として、津具火山岩類の玄武岩 1 試料、設楽岩床群の安山岩 1 試料の全岩化学組成を報告し、その特徴について簡単に述べる。

地質概略と試料

設楽地域周辺の愛知県の北東部から長野県南部にわたる、南北 40 km、東西 20 km の範囲に中新世火山岩類が分布する (Figure 1b)。設楽地域の中新世火山岩類は、南部の設楽火成複合岩体 (設楽火山岩固体研究グループ, 1979; 古儀, 1983; 高田, 1987a), 中央部の大

峠環状複合岩体（沢井, 1979; 高田, 1987b; 下司, 2003; Geshi, 2005），北部の津具火山岩類（高田, 1987a）に大別される。設楽火成複合岩体は、主に珪長質の火山碎屑岩、熔岩からなり、その活動時期の中で2度のコールドロン形成があったとされる。初期のコールドロンは明神山ステージの火成活動で形成され、垂直貫入岩体の分布域から見積もられるマグマ溜まりの広がりは13 km × 11 km以上におよぶ。同様に後期の鳳来湖ステージで形成されたコールドロンのマグマ溜まりの広がりは9 km × 5 km以上と推定されている（高田, 1987a）。大峠環状複合岩体はアルカリ岩質の火山碎屑岩を主とし、それらには設楽火成複合岩体の明神山ステージのデイサイトと同岩質の礫が取り込まれていることから、それよりは若い活動と見られる。初期の苦鉄質岩の活動の後に大峠火碎岩が活動し、約18 km²の広がりを持つコールドロンが形成された。その後、大峠環状小貫入岩体、さらに、アルカリ玄武岩、ミュジアライト、粗面岩からなる大峠コーンシート、大峠ストックが貫入した（杉原・藤巻, 2002; 高田, 1987b）。これらの火成活動の最終ステージに、設楽火成複合岩体においては蓬萊湖を中心とした同心円状の分布を持つ岩床群が貫入した（高田, 1987a）。また、大峠環状複合岩体から設楽火成複合岩体の中央部を南北に貫く分布域に、中央岩脈群が貫入している（高田, 1987a）。中央岩脈群は平行岩脈群で個々の岩脈は南部ではほぼ南北走向であるが、北部にゆくに従って走向は東に振れる。岩脈を構成する岩相は大峠コーンシートと同様にアルカリ岩質である（杉原・藤巻, 2002）。中央岩脈群は大峠コーンシートを切ることが多いが、設楽岩床群との前後関係は不明である（杉原・藤巻, 2002）。津具火山岩類は、北設楽郡設楽町津具から長野県下伊那郡根羽村、愛知県・長野県県境の茶臼山にかけて玄武岩質～安山岩質の火山岩類が散点的に熔岩や岩脈などとして産出するものである。津具火山岩類に対比される岩脈が明神山ステージの初期の大島川火碎岩類を貫くので津具火山岩類は設楽火成複合岩体の活動時期と重複するかそれより若い。

これらの火成活動の時期については主に苦鉄質岩～中間質岩の全岩K-Ar年代あるいは珪長質岩のジルコンフィッショントラック(FT)年代により拘束されている。設楽火成複合岩体については星ほか(2006)により火山層序に対して系統的に採取された試料について数多くのジルコンFT年代測定が行われた。各試料の年代測定の結果は、14.1–15.6 Maの範囲にあり、尾籠ステージ、明神山ステージ、鳳来湖ステージのそれぞれの加重平均年代は14.4 Ma, 14.9 Ma, 15.1 Maであり近接しているので全体としておよそ15 Maごろの短期間の活動であるとしている。津具火山岩類の年代については、いくつかの試料について全岩K-Ar法で求められており活動時期は、およそ15 Maごろとされる。既報の放射年代は新正・折橋(2023)にまとめられている。大峠環状複合岩体については放射年代による活動時代の拘束がない。後期の中央岩脈群についてはTsunakawa et al. (1983)により、15.1 ± 0.5 Maの全岩K-Ar年代が報告されていた。その後、杉原・藤巻(2002)は、中央岩脈群のアルカリ玄武岩、ミュジアライトについて13.1 ± 0.4 Ma, 13.5 ± 0.4 Maの、大峠コーンシ-

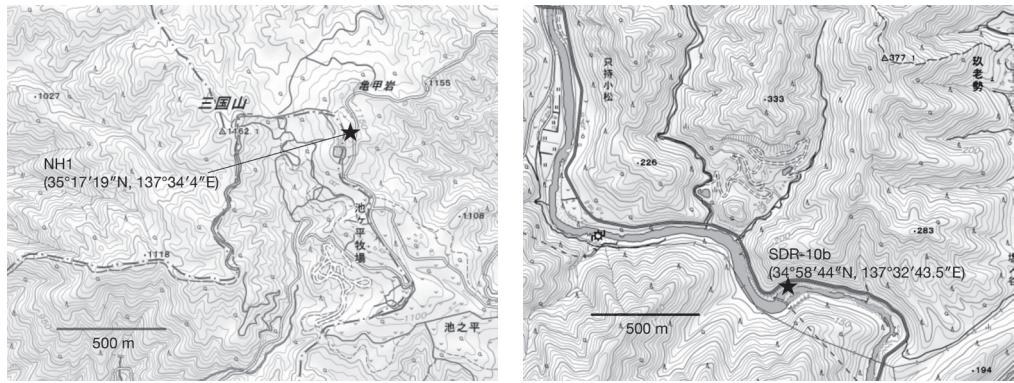


Figure 2 Locality map of the analyzed samples (NH1 and SDR-10b). The base map is the Digital Map of Japan issued by Geospatial Information Authority of Japan.

トのミュジアライトについて 13.6 ± 0.4 Ma の、設楽岩床群のソレアイト質安山岩について、 12.6 ± 0.4 Ma, 13.3 ± 0.4 Ma の全岩 K-Ar 年代を報告した。これらを受けて現状のデータにおいては、当地域の火成活動は全体として 15-13 Ma ごろに起こったものとまとめられている（星ほか, 2006）。

今回分析を行った試料は、豊田市・下伊那郡根羽村境界付近の池ヶ平牧場付近に分布する津具火山岩類の玄武岩（NH1; $35^{\circ}17'19''N$, $137^{\circ}34'4''E$ ）と新城市只持小松の南東方の豊川河岸の安山岩（SDR10b; $34^{\circ}58'44''N$, $137^{\circ}32'43.5''E$ ）である（Figure 2）。池ヶ平～池之平に分布する玄武岩溶岩は古くから知られた産地であり、鈴木ほか（1985）によると本地域の基盤岩は後期白亜紀の伊奈川花こう岩であり、それを不整合で礫岩・砂岩層、酸性凝灰岩層が覆う。それらの上位に玄武岩質火碎岩が重なり、その上に玄武岩溶岩が小丘状に産する。NH1 は黒色緻密な無斑晶質玄武岩でかんらん石、普通輝石、斜長石の間を細粒の普通輝石、斜長石、不透明鉱物が埋める。石基の一部は変質して方解石が見られる。SDR10b は杉原・藤巻（2002）が 13.3 ± 0.4 Ma の全岩 K-Ar 年代を報告した試料（Shd-5）と同一露頭である設楽岩床群に属する安山岩岩床である。黒灰色緻密な安山岩で細粒の石基中に少量の斜長石、かんらん石、普通輝石の斑晶が散在する。

結果

2 試料について蛍光 X 線分析により主成分と微量元素組成の分析を行った。蛍光 X 線分析は、6 倍希釈のガラスピードを用いて弘前大学共用機器基盤センター設置の蛍光 X 線分析装置 Philips PW2400 で測定を行った。測定方法の詳細は基本的に谷ほか（2002）に従った。さらに ActLabs 社 (<https://actlabs.com>) に依頼して希土類元素を含むより多くの微量元素の組成の分析を行った。分析は同社の 4B-2Research パッケージを適応し、四ほう酸リチウ

Table 1 Whole-rock composition of the volcanic rocks in Shitara district

XRF	NH1	SDR-10b	ICP-MS	NH1	SDR-10b
SiO ₂ (wt%)	51.49	59.13	Sn (μg/g)	1	3
TiO ₂	1.59	1.15	Cs	0.7	6.5
Al ₂ O ₃	17.37	14.94	La	12.5	26.6
Fe ₂ O ₃ *	9.13	7.39	Ce	28.7	56.8
MnO	0.16	0.12	Pr	3.68	6.64
MgO	4.91	1.76	Nd	16.0	26.9
CaO	8.76	4.45	Sm	3.97	6.09
Na ₂ O	3.88	4.43	Eu	1.48	1.55
K ₂ O	0.74	2.27	Gd	4.16	6.01
P ₂ O ₅	0.27	0.42	Tb	0.72	0.98
Total	98.37	96.11	Dy	4.55	5.92
Sc (μg/g)	29.5	14.2	Ho	0.89	1.16
V	186	110	Er	2.52	3.20
Cr	20.1	11.5	Tm	0.36	0.46
Co	29.6	12.0	Yb	2.30	2.99
Ni	4.8	4.4	Lu	0.357	0.459
Zn	72.9	77.7	Hf	3.3	4.9
Ga	19.1	20.9	Ta	0.52	0.92
Rb	14.9	69.5	Tl	0.08	0.37
Sr	441	310	Th	1.53	6.65
Y	26.4	36.3	U	0.48	1.91
Zr	163	250			
Nb	7.9	11.3			
Ba	152	377			
Pb	9.7	15.7			

*total Fe as Fe₂O₃

ムによるアルカリ融解による試料分解ののち ICP 質量分析計により行われた。分析結果を Table 1 に示す。

主成分元素をハーカー図にプロットしたものを Figure 3 に示す。津具火山岩について榎原ほか (1987), 白木ほか (2001), 鈴木 (2017), 新正・折橋 (2023) による, 大峠コーンシート, 中央岩脈群について Geshi (2005) による既報データをあわせてプロットしている。プロットはすべてのデータについて全鉄を FeO に, 酸化物の総計を 100% に換算して行っている。NH1 は野外での岩石名としては玄武岩としたが, 換算後の SiO₂ 量は 52.9% で Na₂O+K₂O-SiO₂ 図での分類では玄武岩質安山岩の領域に入る。津具火山岩類の玄武岩～玄武岩質安山岩のデータは, 白木らによるムネバタの 2 試料を除いて Miyashiro (1974) による FeO*/MgO-SiO₂ 図でソレアイトの領域に入る。津具火山岩類の安山岩領域のデータは天狗棚溶岩のもので、ディサイト領域の試料は茶臼山のものである。これらの多くは FeO*/MgO-SiO₂ 図でカルクアルカリの領域に入る。比較のためにプロットした大峠コーンシート, 中央岩脈群のデータは SiO₂ 量は 52.4-62.0% にわたるが, 中央岩脈群の 1 試料を除いて Na₂O+K₂O-SiO₂ 図でアルカリ岩質で粗面玄武岩質安山岩～粗面安山岩の領域にプロットされる。ハーカー図上でも津具火山岩類の作るトレンドに対して, TiO₂, FeO, MnO, Na₂O, K₂O, P₂O₅ に富み, Al₂O₃, MgO, CaO に乏しい領域にプロットされ, 両者の組成差は明確で

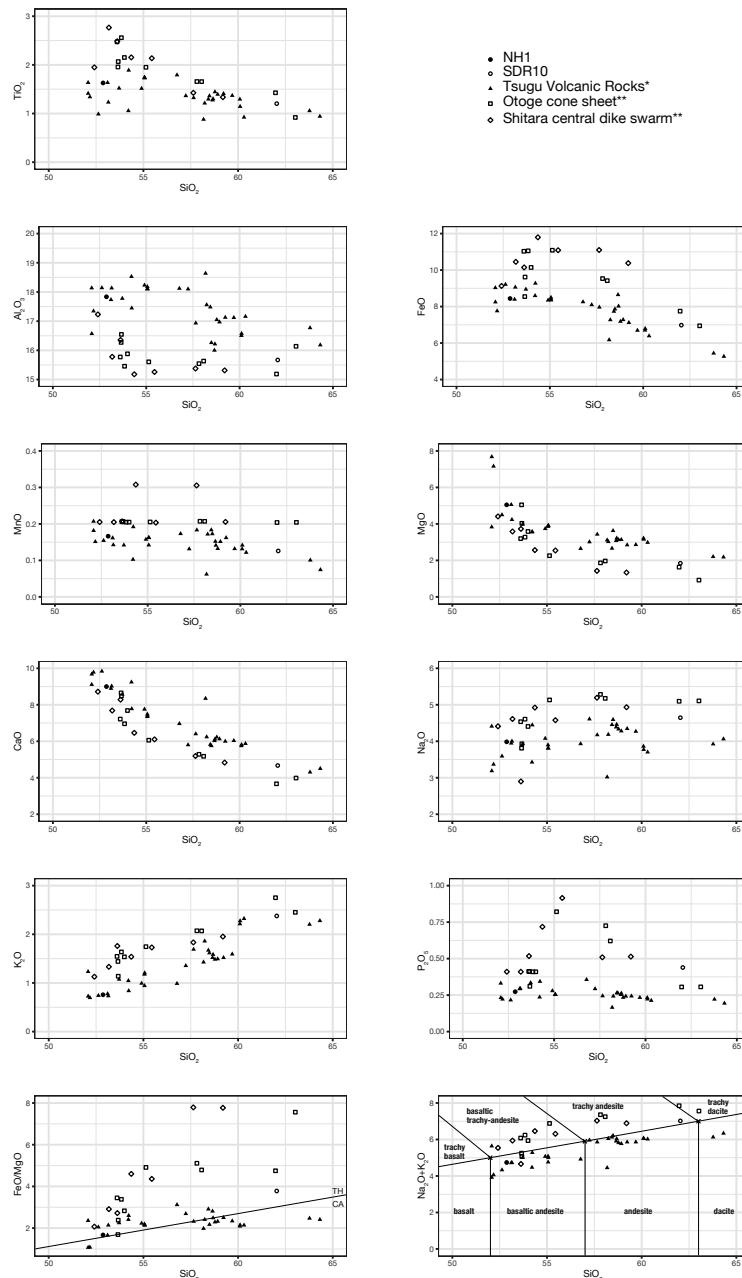


Figure 3 Major-element variation (Harker) diagrams for the analyzed samples. The boundary of the calc-alkaline (CA) and tholeiitic (TH) rock series in $\text{SiO}_2\text{-FeO}^*/\text{MgO}$ diagram is from Miyashiro (1974). *Previously reported analyses of Tsugu volcanic rocks (Sakakibara et al., 1987; Shiraki et al., 2001; Suzuki, 2017; Shinjoe and Orihashi, 2023) including the data of Tengudana, Ikegadaira, Munebata, Chausuyama, and Furumachitakayama/Kinzan. ** Previously reported analyses of Otoge cone sheet and Shitara central dike swarm (Geshi, 2005).

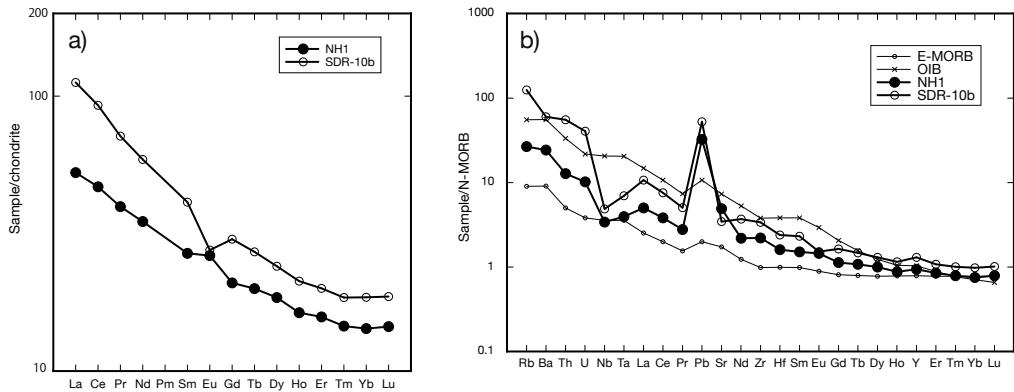


Figure 4 a) Chondrite-normalized (Sun & McDonough, 1989) rare earth element (REE) pattern of the basalt from Ikegadaira (NH1) and andesite from Toyokawa (SDR-10b). b) Whole-rock trace element composition of the basalt from Ikenodaira (NH1) and andesite from Toyokawa (SDR-10b) normalized to normal MORB (N-MORB) composition (Sun & McDonough, 1989). E-MORB (enriched MORB) and OIB (Ocean-island basalt) composition are also from Sun & McDonough (1989).

ある。SDR-10b については杉原・藤巻（2002）によりソレアイト質安山岩とされているものと同一露頭の試料である。換算後の SiO_2 量は 62.0% で $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 図では粗面安山岩の領域にプロットされる。またハーカー図上では多くの元素について津具火山岩類の作るトレンドと大峠コーンシート、中央岩脈群の領域の中間的なところにプロットされる。

Figure 4 にコンドライトで規格化した希土類元素パターンと、NMORB で規格化した微量元素パターンを示す。希土類元素パターンは右下がりで NH1 はごく弱い正の Eu 异常を持ち SDR-10b は負の Eu 异常を持つ、重希土類元素はコンドライトの十数倍程度である。微量元素パターンでは LILE (large-ion lithophile elements) に富み、Nb, Ta に枯渇し、Pb が正のスパイクを示すなど、島弧マグマに類似した特徴を持つ。これらの傾向は新正・折橋（2023）で報告した津具火山岩類の天狗棚の玄武岩質安山岩と共通する。2 試料の比較では分化の程度の大きい SDR-10b の方が全般的に液相濃集元素の濃度が大きい。

前報で記載した天狗棚の玄武岩質安山岩と同様に本報告での池ヶ平玄武岩も島弧的な性格をもつソレアイトであり、当地域の火成活動の中でも 15 Ma ごろに活動した苦鉄質岩～中間質岩を特徴づけるものであろう。これは FeO/MgO 比が低いカルクアルカリ岩を産する瀬戸内火山岩類とは明確に異なるものであり、スラブ融解に関連するとされる瀬戸内火山岩類とは異なる条件下での島弧火山活動としてのマグマ成因を考える必要がある。外帶系珪長質火成岩の分布域の東端付近、紀伊半島南部の外縁部の橋杭岩岩脈からは島弧的な特徴を持つ玄武岩質安山岩組成の包有物の产出が報告されており（和田ほか, 2024），瀬戸内火山岩類とは異なる島弧的な苦鉄質岩としての共通性がある。また、今回報告した設楽岩床群の安山岩

(SDR-10b) の組成は津具火山岩類のソレアイトよりは、大峠コーンシート、中央岩脈群の組成により近いものであった。より多くの試料のデータに基づいた検討が必要であるが、活動の後期に形成された設楽岩床群の組成が大峠環状複合岩体や中央岩脈群のようなアルカリ岩に近いものであれば、15 Ma ごろのソレアイト質マグマの活動からおよそ 200 万年の間にアルカリ岩マグマの活動に移り変わったことになり、当地域の火成活動のテクトニックセッティングを考える上で大きな拘束条件になる可能性がある。今後、活動後期のアルカリ岩を中心とした地球化学的データの蓄積と適切な試料を用いた確度の高い年代測定が必要である。

謝辞

本研究に要した費用の一部は 2023 年度の東京経済大学個人研究助成費（23-14）および科学研究費（基盤研究 C, No. 23K03533）による援助を受けた。蛍光 X 線分析については、弘前大学の佐々木実氏にお世話になった。

文 献

- 下司信夫 (2003) 愛知県設楽地域に分布する中期中新世大峠火山岩体の構造発達過程とそのマグマ供給系. 地質学雑誌, 109, 580-594.
- Geshi, N. (2005) Structural development of dike swarms controlled by the change of magma supply rate: the cone sheets and parallel dike swarms of the Miocene Otoge igneous complex, Central Japan. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 141, 267-281.
- 星博幸・檀原徹・岩野英樹 (2006) 西南日本の中新世テクトニクスに対する新たな年代制約：愛知県設楽地域におけるフィッショング・トラック年代測定. 地質学雑誌, 112, 153-165.
- Hoshi, H., Kato, D., Ando, Y. and Nakashima, K. (2015) Timing of clockwise rotation of Southwest Japan: constraints from new middle Miocene paleomagnetic results. Earth, Planets and Space, 67, 92.
- 古儀君男 (1983) 設楽火山岩体の地質と構造. 地質学雑誌, 89, 487-500.
- 久野久 (1954) 火山及び火山岩. 岩波書店, 255p.
- Kuno, H. (1960) High-alumina basalt. Journal of Petrology, 1, 121-145.
- Kimura, J.-I., Stern, R.J., and Yoshida, T. (2005) Reinitiation of subduction and magmatic responses in SW Japan during Neogene time. Bulletin of Geological Society of America 117, 969-986.
- 牧本博・山田直利・水野清秀・高田亮・駒澤正夫・須藤定久 (2004) 20 万分の 1 地質図幅「豊橋及び伊良湖岬」. 産業技術総合研究所.
- Miyashiro, A. (1974) Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. American Journal of Science, 274, 321-355.
- Otofuji, Y. and Matsuda, T. (1983) Paleomagnetic evidence for the clockwise rotation of Southwest Japan. Earth and Planetary Science Letters 62, 349-359.
- 榎原雄太郎・角田和子・栗原宏美 (1987) 愛知県北設楽郡津具村天狗棚および長野県下伊那郡根羽村池の平・ムネバタ付近に分布する火山岩類. 東京学芸大紀要 (4 部門), 39, 149-163.

- 産総研地質調査総合センター（2022）20万分の1日本シームレス地質図V2. <https://gbank.gsj.jp/seamless> (2022年3月11日版). 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 沢井誠（1979）設楽盆地北部にみられる大峠陥没盆地. 地質学論集, 16, 77-85.
- 沢井誠・設楽団体研究グループ（1985）設楽地域からみた瀬戸内火山岩類. 地団研専報, 29, 131-142.
- 新正裕尚・折橋裕二（2023）中部地方、設楽地域の津具火山岩類の全岩化学組成（予備報告）. 人文自然科学論集, 153, 65-75.
- Shinjoe, H., Orihashi, Y. and Anma, R. (2021) U-Pb ages of Miocene near-trench granitic rocks of the Southwest Japan arc: implications for magmatism related to hot subduction. Geological Magazine, 158, 47-71.
- Shinjoe, H., Orihashi, Y., Akasaka, M., Niki, S., Sasaki, M., and Hirata, T. (2024) Geochronological and petrological investigations of Miocene felsic igneous rocks in the Amakusa Islands, southwest Japan: Possible extension of the Setouchi Volcanic Belt. Island Arc, 33, e12506.
- 新正裕尚・藤内智士・折橋裕二・金指由緒・佐々木実・浅原良浩（2024）鹿児島県甑島の中新生代岩脈の全岩化学組成と火成活動の位置付けの検討. 日本地質学会第131年学術大会予稿集, T7-O-2.
- 設楽火山岩団体研究グループ（1979）愛知県設楽火山岩類の火山層序（概報）. 地球科学, 33, 129-136.
- 白木敬一・野村隆光・伊藤純一・中野鉄也・白木成拓（2001）岐阜県南部蜂屋累層と三河高原北部の第三紀火山岩の微量元素. 名古屋地学, 63, 1-10.
- Sun S.-s. & McDonough, W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Geological Society, London, Special Publications, 42, 313-345.
- 鈴木和博（2017）暫定版「津具地域の火山岩と津具金山」. 鳳来寺山自然科学博物館館報, 46, 71-82.
- 鈴木和博・畠井定士・縣孝之・与語節生・平岩五十鈴（1985）愛知県北東部の火山岩類—予報. 名古屋大総合研究資料館報, 1, 69-88.
- 杉原孝充・藤巻宏和（2002）愛知県設楽地域に分布する瀬戸内火山岩類のK-Ar年代. 岩石鉱物科学, 31, 15-24.
- 高田亮（1987a）設楽火成複合岩体の発達史とコールドロンの構造. 地質学雑誌, 93, 167-184.
- 高田亮（1987b）愛知県設楽地方の大峠環状複合岩体中に存在するコールドロンの構造. 地質学雑誌, 93, 107-120.
- 谷健一郎・折橋裕二・中田節也（2002）ガラスピードを用いた蛍光X線分析装置による珪酸塩岩石の主・微量元素分析: 3倍・6倍・11倍希釈ガラスピード法の分析精度の評価. 東京大学地震研究所技術報告, 8, 26-36.
- 巽好幸（2003）安山岩と大陸の起源 ローカルからグローバルへ. 東京大学出版会, 224p.
- Tatsumi, Y. (2006) High-Mg Andesites in the Setouchi Volcanic Belt, Southwestern Japan: Analogy to Archean Magmatism and Continental Crust Formation? The Annual Review of Earth and Planetary Science 34, 467-499.
- Tatsumi, Y. and Hanyu, T. (2003) Geochemical modeling of dehydration and partial melting of subducting lithosphere: Towards a comprehensive understanding of high-Mg andesite formation in the Setouchi volcanic belt, SW Japan. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 4, 1081, doi.org/10.1029/2003GC000530
- Tatsumi, Y., Shukuno, H., Sato, K., Shibata, T and Yoshikawa, M. (2003) The petrology and geo-

- chemistry of high-magnesium andesites at the western tip of the Setouchi Volcanic Belt, SW Japan. *Journal of Petrology*, 44, 1561–1578.
- Tatsumi, Y., Suenaga, N., Yoshioka, S., Kaneko, K. and Matsumoto, T. (2020) Contrasting volcano spacing along SW Japan arc caused by difference in age of subducting lithosphere. *Scientific Reports*, 10, 15005. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72173-6>
- Tsunakawa, H., Kobayashi, Y. and Takada, A. (1983) K-Ar ages of dikes in Southwest Japan. *Geochemical Journal*, 17, 265–268.
- Ushimaru, K. and Yamaji, A. (2022) Validity of the stress inversion of orientation data from a dike swarm with a radial-parallel pattern transition. *Journal of Structural Geology*, 154, 104485. doi.org/10.1016/j.jsg.2021.104485
- 和田穰隆・新正裕尚・高嶋礼詩・仁木創太・折橋裕二・佐々木実・平田岳史（2024）和歌山県串本町、橋杭岩岩脈の珪長質火山岩と苦鉄質包有物の産状、化学組成、および年代. 日本地質学会第 131 年学術大会予稿集, T15-P-24.