

# 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）

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

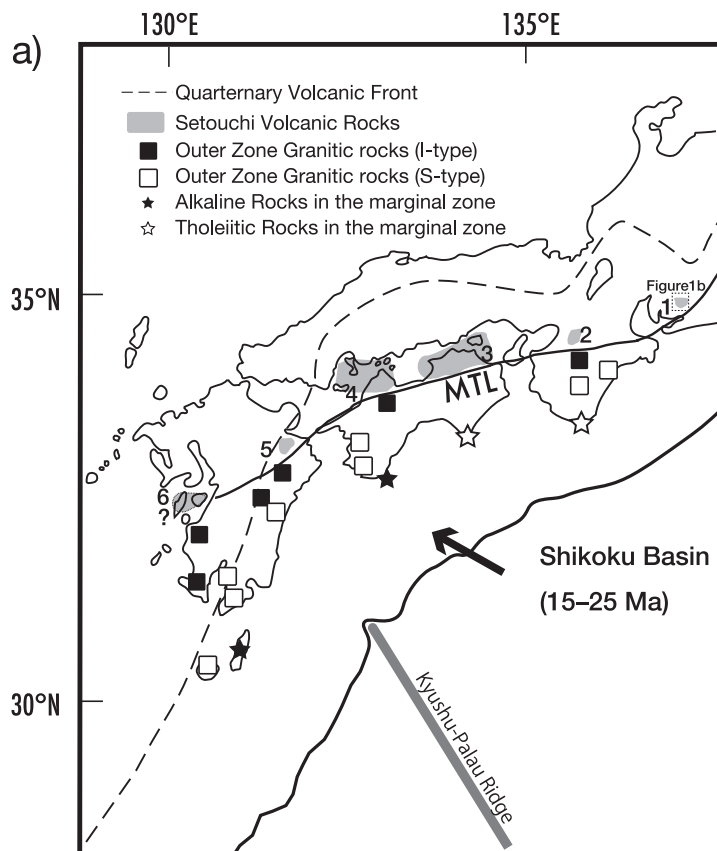
新正裕尚・折橋裕二

## Abstract

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

## はじめに

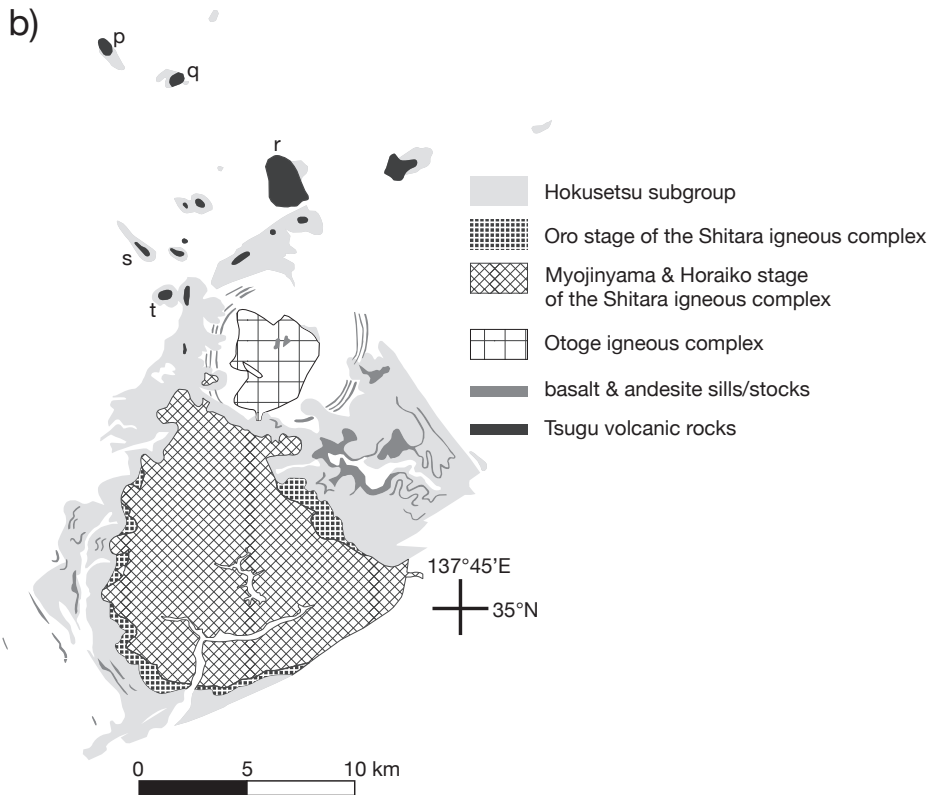
1600 万年前ごろに終了した西南日本の回転直後に西南日本では広域的に海溝寄り地域での火成活動が起こった（たとえば Kimura et al., 2005）。火成活動は極めて多様であるが、中央構造線の北側の内帯域では瀬戸内火山岩類の活動があった（Tatsumi, 2006）。瀬戸内火山岩類の放射年代は 15.5–13.0 Ma の範囲（星ほか, 2002; 2006a; 巽ほか, 2010; 新正・折橋, 2017）にその多くが入り、西南日本弧の時計回り回転直後に高温の四国海盆スラブが沈み込んだことによる比較的短期間の活動時期であるとされる。瀬戸内火山岩類は一般的には西は大分県の大野火山岩類（Tatsumi et al., 2003）から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）、分布の西縁については九州西部の天草地域に至るといいう見解も最近提案されている（Ushimaru and Yamaji, 2021; 新正ほか, 2022）。瀬戸内火山岩類は斜長石斑晶を欠き黒色緻密な安山岩質あるいは玄武岩質の溶岩であるサヌキトイドや鉄に富むざくろ石斑晶をしばしば含む流紋岩、デイサイト、ピッチストーンなどの産出が特徴的であるとされる（巽, 2003）。とりわけサヌキトイドの一部は Mg, Cr, Ni に富み、マントルかんらん岩と平衡に存在できるマグマに由来する高 Mg 安山岩が含まれることが特徴である。さらに、高 Mg 安山岩マグマはスラブ融解メルトが、マントルかんらん岩と反応



**Figure 1** a) Distribution and tectonic setting of the Setouchi volcanic rocks. Six major volcanic regions are as follows: 1. Shitara, 2. Osaka, 3. Shodo-shima and Sanuki plain, 4. NE Shikoku, 5. Ohno, 6. Amakusa. 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.

して生成したというメカニズムが，様々な地球化学的研究に基づいて提唱されている（たとえば Tatsumi and Hanyu, 2003）。また流紋岩，デイサイト，ピッチストーンの一部は重希土元素に枯渇し Eu の負異常が見られないなどの特徴から，ざくろ石を残渣に持つようなマントル深度での堆積岩の部分融解に由来するものであるという見解がある（Shimoda and Tatsumi, 1999; 新正ほか, 2007）。すなわち瀬戸内火山岩類に特徴的に産出する岩石は，高温の四国海盆の沈み込みによるスラブ融解にその成因が関連づけられている。

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おらず，高アルカリソレアイトやアルカリ玄武岩が産出する（Kuno, 1960; 沢井・設楽団体研究グループ, 1985）。その点において，設楽地域の火山岩類が，他の瀬戸内火山岩類と同様のマグマ成因を持つか詳細な検討が必要である。そのた



**Figure 1** b) Geological map of the Shitara region (modified from Geological Survey of Japan, AIST (2022) Seamless digital geological map of Japan V2 1: 200,000. and Makimoto et al., 2004). p-t, igneous bodies referred to in the text: p, Ikegadaira, q, Munebata, r, Chausuyama, s, Tengudana, t, Furumachitakayama.

めには、これらの玄武岩～安山岩質岩について詳細な地球化学的データを蓄積することが必要である。

本稿では、設楽地域の北部に分布し玄武岩～安山岩類からなる津具火山岩類についての予察的研究として分析を行った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

設楽地域は愛知県の北東部から長野県南部にまたがり、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、その北部、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散点的に溶岩や岩脈などとして玄武岩質～安山岩質の火山岩類が分布し、津具火山岩類と一括されて

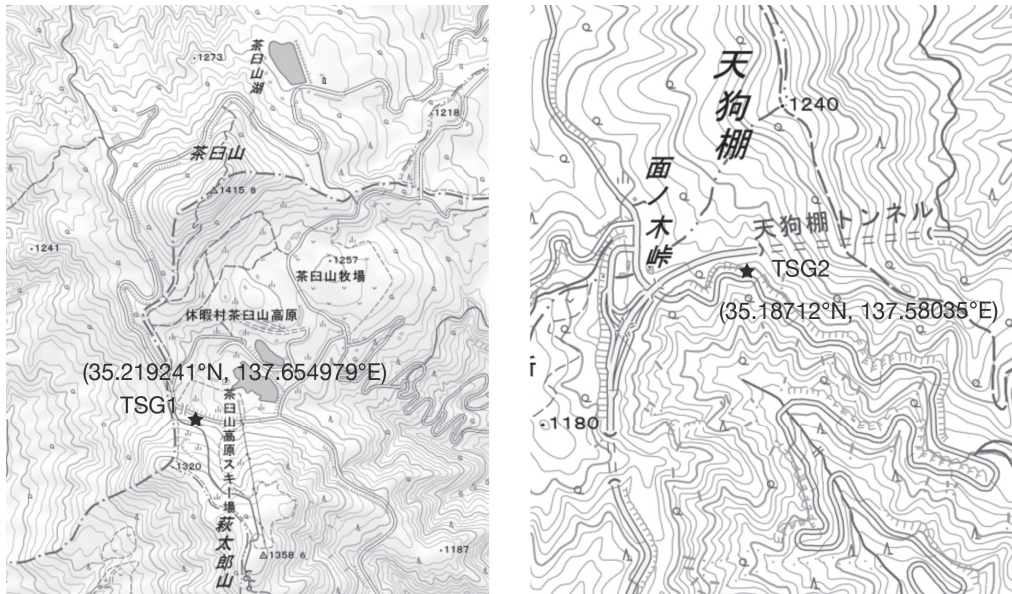
**Table 1** Compilation of the radiometric age reports for Tsugu volcanic rocks.

location	lithology	age	error(1 $\sigma$ )	method	reference
SE of Orimoto-toge	high alumina basalt dike	14.9 $\pm$ 0.5	0.5	wr K-Ar	Tsunakawa (1983)
NE of Taguchi	high alumina basalt dike	16.5 $\pm$ 0.9	0.9	wr K-Ar	Tsunakawa (1983)
Ikegataira	basalt lava	15.0	0.7	wr K-Ar	Uchiumi et al. (1990)
Ikegataira	basalt lava	12.5	0.6	wr K-Ar	Aoyama & Harase (1996)
Tengudana	andesite lava	14.7	0.9	wr K-Ar	Aoyama & Harase (1996)
Chausuyama	andesite lava	15.7 $\pm$ 0.6	0.6	zr FT	Hoshi et al. (2006)
Benten	basalt lava	16.11 $\pm$ 0.54	0.54	pl K-Ar	Sakamoto & Ono (2015)
Ikegataira	basalt lava	15.98 $\pm$ 0.67	0.67	pl K-Ar	Sakamoto & Ono (2015)
Munebata	basalt lava	14.51 $\pm$ 0.53	0.53	pl K-Ar	Sakamoto & Ono (2015)
Guminogawa	basalt dike	15.46 $\pm$ 0.58	0.58	pl K-Ar	Sakamoto & Ono (2015)

wr: whole-rock, zr: zircon, pl: plagioclase, FT: fission-track

いる (久野, 1954; 高田, 1987; 牧本ほか, 2004)。津具火山岩類の活動時期はおよそ 1500 万年前ごろと考えられており (星ほか, 2006a), 先に述べた, 瀬戸内火山岩類の活動時期の範囲に重なる。これまで報告された放射年代測定結果を Table 1 にまとめる。主に K-Ar 法により年代測定が実施されており, 結果は 1500 万年前ごろに集中する。池ヶ平の玄武岩溶岩については  $12.5 \pm 0.6$  Ma の年代も報告されているが (青山・原瀬, 1996), 同一の岩体から,  $15.0 \pm 0.7$  Ma (内海ほか, 1990),  $15.98 \pm 0.67$  Ma (坂本・小野, 2015) の年代が得られている。分析が行われた時期の古いものや分析の詳細について記されていないものもあるので, 年代については再検討が必要である。なお, 津具火山岩類に分類される岩脈が, 設楽火成複合岩体下部の大島川火砕岩類を貫くという観察が報告されている (高田, 1987)。したがって, これらの津具火山岩類の既報 K-Ar 年代は設楽火成複合岩体の珪長質火山岩類のジルコンフィッション・トラック (FT) 年代が 15 Ma ごろに集中する (星ほか, 2006a) こととは矛盾しない。津具火山岩類についての主な既報の全岩化学組成は次のようなものがある。鈴木ほか (1985) は津具火山岩類の多くの岩体について包括的に主成分元素組成を報告している。分析は試料を溶融して作成されたガラスの EPMA 分析と湿式分析による。榊原ほか (1987) は豊田市・北設楽郡設楽町境界の天狗棚, 豊田市・下伊那郡根羽村境界の池ヶ平, 根羽村のムネバタの試料について湿式分析による主成分元素と中性子放射化分析による微量元素組成を報告している。白木ほか (2001) は天狗棚, 池ヶ平, ムネバタ, 愛知県・長野県県境の茶臼山の試料について, 鈴木 (2017) は天狗棚, 設楽町の古山高町・金山の試料についてそれぞれ蛍光 X 線分析による主成分, 微量元素組成を報告している。このようにほぼ同じ産地の試料について繰り返し報告があるが, 同一の試料について多くの微量元素が系統的に分析された例はない。

今回分析を行った試料は, 茶臼山に分布するデイサイト (TSG1;  $35.219241^{\circ}$  N,  $137.654979^{\circ}$  E) と天狗棚の玄武岩質安山岩 (TSG2;  $35.18712^{\circ}$  N,  $137.58035^{\circ}$  E) である。試料採取位置を Figure 2 に示す。TSG1 は星ほか (2006b) が FT 年代を報告した試料とほぼ同一ロカリティである。天狗棚は厚さが 10 m あまりの溶岩であるが, TSG2 はその下部から採取された。



**Figure 2** Locality map of the analyzed samples (TSG1 and TSG2). The base map is the Digital Map of Japan issued by Geospatial Information Authority of Japan.

TSG1は斜長石、普通輝石、直方輝石を斑晶にもつ両輝石デイサイトである。TSG2は斜長石、普通輝石、かんらん石を斑晶にもつ普通輝石かんらん石安山岩である。

## 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倍希釈のガラスビ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。天狗棚の玄武岩質安山岩(TSG2)については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、四ほう酸リチウムによるアルカリ融解による試料分解のうちICP質量分析により行われた。TSG2については合わせて日本原子力研究開発機構原子力科学研究所のJRR-3原子炉熱中性子ビームラインに敷設の即発ガンマ線分析(PGA)装置を用いてホウ素と塩素の定量も行った。分析結果をTable 2に示す。

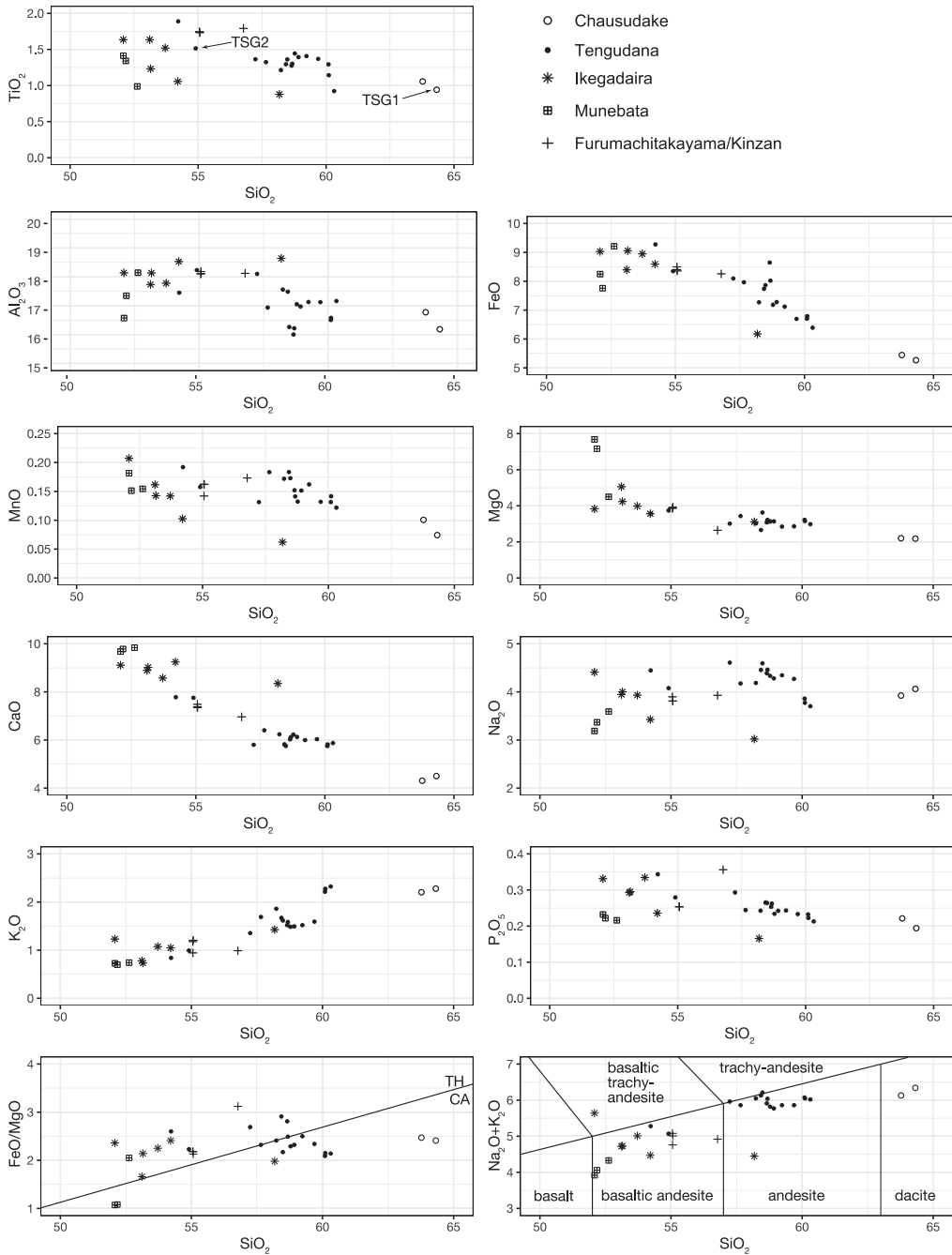
主成分元素をハーカー図にプロットしたものをFigure 3に示す。榊原ほか(1987), 白木ほか(2001), 鈴木(2017)の既報データをあわせてプロットしている。プロットはすべてのデータについて全鉄をFeOに、酸化物の総計を100%に換算して行っている。SiO<sub>2</sub>量はおよそ52~64%の範囲におよぶ。池ヶ平, ムネバタ, 古町高山・金山の試料はおおむね

**Table 2** Whole-rock composition of the Tsugu volcanic rocks.

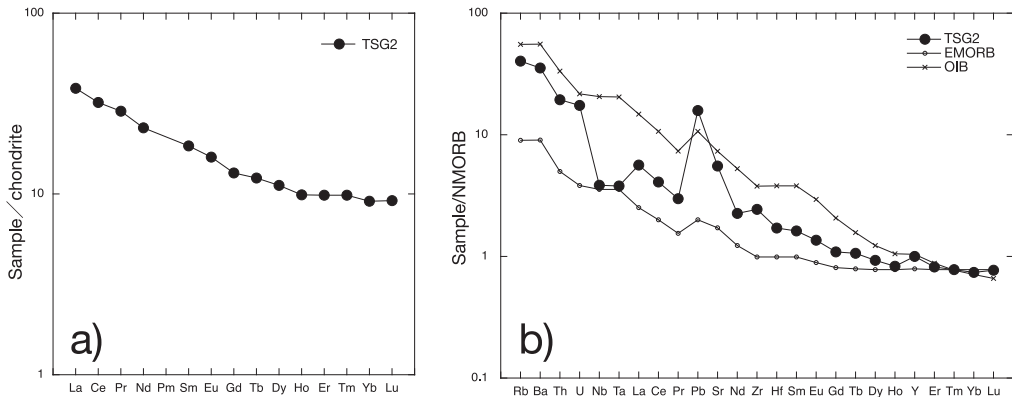
XRF	TSG1	TSG2	ICP-MS	TSG2
SiO <sub>2</sub> (wt%)	63.70	53.44	Sn (ppm)	2
TiO <sub>2</sub>	0.93	1.47	Cs	1.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.03	17.74	La	14.1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	5.79	9.03	Ce	30.7
MnO	0.07	0.15	Pr	3.93
MgO	2.16	3.64	Nd	16.5
CaO	4.46	7.55	Sm	4.26
Na <sub>2</sub> O	4.02	3.97	Eu	1.39
K <sub>2</sub> O	2.26	0.97	Gd	4.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.19	0.27	Tb	0.71
Total	99.61	98.23	Dy	4.25
Sc (ppm)	14.9	22.4	Ho	0.84
V	95.3	127	Er	2.45
Cr	18.4	23.6	Tm	0.354
Co	17.2	25.7	Yb	2.26
Ni	11.8	16.0	Lu	0.349
Zn	66.3	75.9	Hf	3.50
Ga	18.9	19.8	Ta	0.50
Rb	80.4	22.6	Tl	0.09
Sr	265	499	Th	2.33
Y	34.6	27.9	U	0.82
Zr	199	181	PGA	
Nb	8.5	9.0	B (ppm)	14.6
Ba	411	223	Cl	76.1
Pb	19.4	4.8		

\*total Fe as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

玄武岩質安山岩の領域に入り，天狗棚はおおむね安山岩の領域に入る。今回報告した TSG2 は白木ほか（2001）の既報データとともに天狗棚の試料の中では SiO<sub>2</sub> に乏しく，玄武岩質安山岩の領域に入る。茶臼山の TSG1 は白木ほか（2001）の既報データに近い位置にプロットされ，両者ともデイサイトの領域に入る。茶臼山岩体については安山岩溶岩からなるとされていることが多い（たとえば星ほか，2006）。詳細な位置は示されていないが茶臼山北麓から採取されたという白木らのデータと茶臼山の南方から採取された TSG1 の結果がよく一致しているので，主にデイサイト溶岩からなる岩体と修正されるべきかもしれない。プロットでは全体として，SiO<sub>2</sub> 量の増加に対して，TiO<sub>2</sub>，Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，FeO，MnO，MgO，CaO が減少し，K<sub>2</sub>O が増加するトレンドを示すが，白木らにより報告されたムネバタの 2 試料は MgO 量が高く FeO に乏しく他の元素でも全体のトレンドから外れる。榊原らにより報告された池ヶ平のデータのうち安山岩領域に入る 1 試料も全体のトレンドから大きく外れる。この試料は酸化物の総計が低く風化変質等の影響があるのかもしれない。Miyashiro (1974) による FeO\*/MgO-SiO<sub>2</sub> 図で玄武岩質安山岩の試料は白木らによるムネバタの 2 試料を除いてソレライトの領域に入る。一方天狗棚はカルクアルカリ系列のトレンドを示し茶臼山の 2 試料はその延長上にある。FeO\*/MgO 値は白木らによるムネバタの 2 試料を除くと 1.7~3.1 の範囲にあり MgO に富む高 Mg 安山岩に相当する試料はない。TSG1，TSG2 について Cr



**Figure 3** Major-element variation (Harker) diagrams for the analyzed samples. Previously reported analyses of Tsugu volcanic rocks (Sakakibara et al., 1987; Shiraki et al., 2001; Suzuki, 2017) including the data of Tengudana, Ikegadaira, Munebata, Chausuyama, and Furumachitakayama/Kinzan are also plotted. 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).



**Figure 4** a) Chondrite-normalized rare earth element (REE) pattern of the basaltic andesite from Tengudana (TSG2). b) Whole-rock trace element composition of the basaltic andesite from Tengudana (TSG2) normalized to normal MORB (NMORB) composition (Sun & McDonough, 1989). EMORB (enriched MORB) and OIB (Ocean-island basalt) composition are also from Sun & McDonough (1989).

量は 18.4, 23.6 ppm, Ni 量は 11.8, 16.0 ppm と瀬戸内火山岩類の高 Mg 安山岩と比較すると極めて低い。

Figure 4 に天狗棚の試料 (TSG2) の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あり Eu 異常を欠き、重希土類元素はコンドライトの 10 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。SiO<sub>2</sub> 量が約 54% の玄武岩質安山岩であり若干の分化を受けていることを考慮する必要があるが、14.6 ppm のホウ素濃度も、一般的な MORB や OIB (それぞれ <1.5 ppm, <3 ppm; Leeman and Sisson, 1996) より高く島弧玄武岩の範囲 (2-35 ppm; Leeman and Sisson, 1996) に入るものである。

全岩化学組成の既報データを引用した文献において、これら津具火山岩類のマグマ成因についてはあまり議論がなされていないが、鈴木ほか (1985) が主成分元素組成から類似性を示唆した飛驒山脈南部の上野玄武岩 (氏家, 1989) と同様に、マントルダイアピルに起源を持つプレート内玄武岩であるとの指摘が白木ほか (2000) によってなされている。しかし根拠としている低い LILE/HFSE (high field strength elements) 比は彼らのデータからは明確には読み取れず、また上野玄武岩の活動は第四紀である (中野ほか, 2000) ので、この推論は適切ではないであろう。

Shinjo et al. (2021) が外帯の珪長質火成活動の活動年代から議論したように九州西部から紀伊半島までの範囲では西南日本の回転終了直後から、四国海盆の沈み込みによるマグマ活動が一斉に始まったことはほぼ確実である。また、外帯の珪長質火成岩類、瀬戸内火山岩



類ともに類似した岩相がその範囲では島弧伸長方向に並行して分布している。従来瀬戸内火山岩類に含められてきた設楽地域の中新世火成岩もこれらと形成年代はほぼ同じであるが(星ほか, 2006a), 先に述べたように高 Mg 安山岩を欠くなど産出する岩石種には違いがある。今回のデータも, 津具火山岩類に属するこれらの安山岩は, 他地域の瀬戸内火山岩類に見られる沈み込んだ四国海盆スラブの融解に関連づけられる高 Mg 安山岩とは異なる成因の島弧マグマ活動によるものと考えられる。四国海盆沈み込みが当時紀伊半島以東のどの範囲まで及んでいたかをマグマ活動から明らかにすることによって, 当時の伊豆・小笠原弧の位置に対して拘束条件をもたすことができる。そのためには, 今後, 中部地方に散点的に分布する新第三紀の活動と見られる玄武岩~安山岩についてのデータを蓄積して地球化学的特徴を明らかにする必要がある。

#### 謝辞

本研究に要した費用の一部は2021年度の東京経済大学個人研究助成費(21-17)およびJSPS科研費JP20K04136による援助を受けた。蛍光 X 線分析については, 弘前大学の佐藤亜紀氏, 佐々木実氏にお世話になった。即発ガンマ線分析は東京大学大学院工学研究科原子力専攻の原子力機構・量研機構一般共同研究の援助によるものである。分析の実施においては, 原子力機構原子力科学研究所の大澤崇人氏のお世話になった。

#### 文 献

- 青山誠・原瀬能幸(1996)地形・地質, 稲武町誌 自然編. 稲武町教育委員会, 3-111.
- 星博幸・岩野英樹・檀原徹(2002)瀬戸内火山岩類のフィッション・トラック年代測定: 近畿地方, 二上層群の例. 地質学雑誌, 108, 353-365.
- 星博幸・檀原徹・岩野英樹(2006a)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・トラック年代測定. 地質学雑誌, 112, 153-165.
- 星博幸・檀原徹・岩野英樹(2006b)設楽地域, 津具火山岩類のフィッション・トラック年代測定. 愛知教育大学研究報告, 55(自然科学編), 67-70.
- 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.
- Leeman, W.P. and Sisson, V.B. (1996) Geochemistry of boron and its implications for crustal and mantle processes. In *Boron: Mineralogy, Petrology and Geochemistry. Reviews in Mineralogy*, 33, 645-708.
- 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. *Ameri-*

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）

- can Journal of Science, 274, 321-355.
- 中野俊・宇都浩三・内海茂（2000）上野玄武岩類および地蔵峠火山岩類の K-Ar 年代と化学組成の時間変化. 火山, 45, 87-105.
- 榑原雄太郎・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.
- 坂本正夫・小野泰彦（2015）中新世根羽火山群における環状構造の発見. 伊那谷自然史論集, 16, 1-17.
- 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・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.
- Shimoda, G., and Tatsumi, Y. (1999) Generation of rhyolite magmas by melting of subducting sediments in Shodo-Shima island, Southwest Japan, and its bearing on the origin of high-Mg andesites. Island Arc, 8, 383-392.
- 新正裕尚・折橋裕二（2017）九州東部大野火山岩類のジルコン U-Pb 年代. 地質学雑誌, 123, 423-431.
- 新正裕尚・折橋裕二・和田稷隆・角井朝昭・中井俊一（2007）紀伊半島中新世珪長質火成岩類の全岩組成の広域的变化. 地質学雑誌, 113, 310-325.
- 新正裕尚・角井朝昭・折橋裕二（2022）熊本県天草上島に分布する中新世火成岩類の全岩化学組成. 人文自然科学論集, 151, 3-16.
- 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.
- 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・畑井定士・縣孝之・与語節生・平岩五十鈴（1985）愛知県北東部の火山岩類一予報. 名古屋大総合研究資料館報, 1, 69-88.
- 高田亮（1987）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.
- 谷健一郎・折橋裕二・中田節也（2002）ガラスビードを用いた蛍光 X 線分析装置による珪酸塩岩石の主・微量成分分析：3 倍・6 倍・11 倍希釈ガラスビ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 geochemistry of high-magnesium andesites at the western tip of the Setouchi Volcanic Belt, SW Japan. *Journal of Petrology*, 44, 1561-1578.
- 巽好幸・谷健一郎・佐藤佳子・檀原徹・兵藤博信・川畑博・羽生毅・Dunkley, D.J. (2010) マルチ年代測定による信頼性の高い火山活動年代の推定：小豆島に分布する瀬戸内火山岩類への適用。地質学雑誌, 116, 661-679.
- Tsunakawa, H., Kobayashi, Y. and Takada, A. (1983) K-Ar ages of dikes in Southwest Japan. *Geochemical Journal*, 17, 265-268.
- 氏家治 (1989) 上野玄武岩類—非島弧的火成活動の産物。岩鉱, 84, 43-54.
- 内海茂・宇都浩三・柴田賢 (1990) K-Ar 年代測定結果—3—地質調査所未公表資料。地調月報, 41, 567-575.
- 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