

# 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

Whole-rock compositions of the Miocene igneous rocks in Amakusa-kamishima,  
Kumamoto prefecture

新正裕尚・角井朝昭・折橋裕二

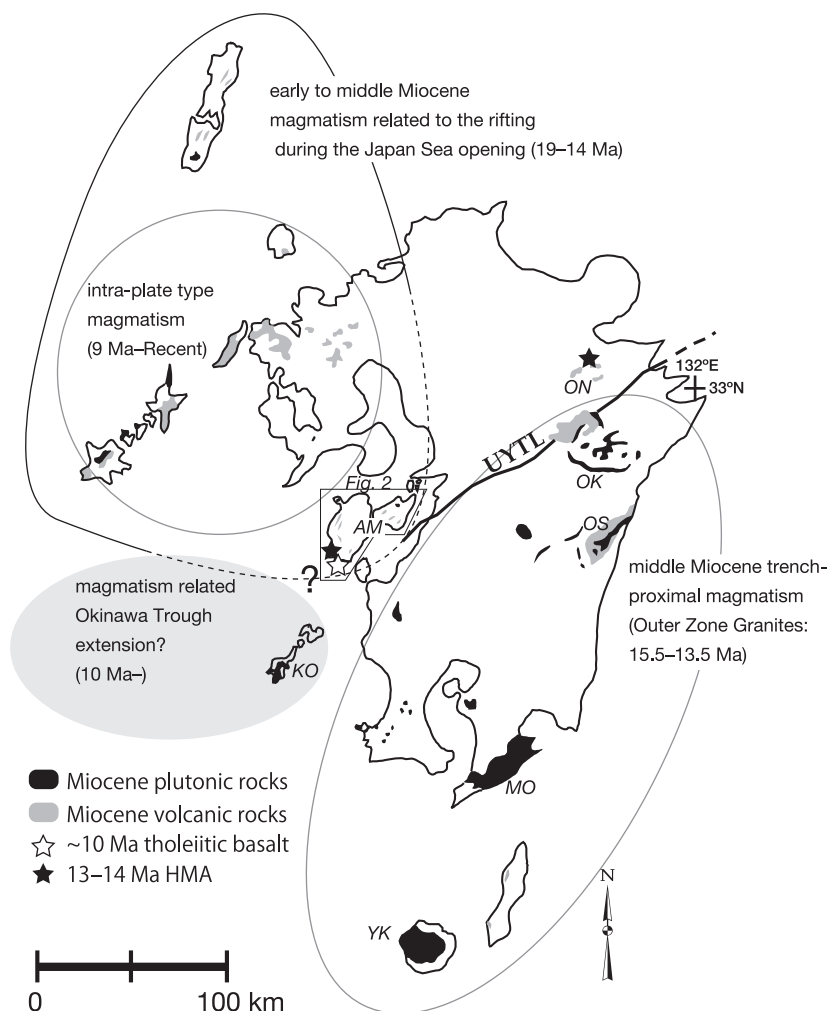
## Abstract

New 10 XRF analyses of the whole-rock chemical compositions are reported for the Miocene igneous rock samples from Amakusa-kamishima in Kumamoto prefecture, southwest Japan. Samples were obtained from the Kuratake and Jindake sills and the Oidake pluton. Igneous rocks are felsic to intermediate composition (ca. 60–70 wt% in SiO<sub>2</sub> contents). Some of them show adakitic trace element signature with low Y contents and high Sr/Y ratios, which is similar to those of the felsic rocks of the Setouchi Volcanic Rocks.

## はじめに

日本列島は2000万年前あるいは3000万年前頃から1500万年前頃にわたる東アジア東縁でのリフティングによる日本海の形成により現位置に至った (Otofuji, 1996; Kano et al., 2007). 日本海の拡大により西南日本弧は時計回りの, 東北日本弧は反時計回りの回転をして大陸から離れ (Otofuji & Matsuda, 1983; Otofuji et al., 1991), 西南日本弧ではフィリピン海プレートが沈み込むようになった. フィリピン海の沈み込みは現在の琉球弧を形成する九州から琉球諸島にかけての第四紀火山のマグマ活動を引き起こしている (たとえば Miyazaki et al., 2016).

西南日本にはこのような中新世以降のテクトニックイベントに伴って多様な火成活動が見られる. 九州の西北部には前期～中期中新世の火成岩が分布し, それらの火成活動の一部は日本海拡大に伴うリフティングと関連して発生したと考えられている (たとえば Shin et al., 2009). さらに海溝寄り地域においては南大隅岩体や屋久島岩体のような大規模なバソリスや大崩山岩体, 尾鈴山岩体などの大規模な火砕流堆積物を伴う珪長質火成岩類 (外帯花こう岩類), 九州東部の大野火山岩類のような, 高 Mg 安山岩を伴う珪長質～苦鉄質の瀬戸内火



**Figure 1.** Distribution of Miocene igneous rocks in Kyushu (modified after Hamasaki, 1997) and major igneous activities and their age ranges (modified after Shinjoe et al., 2021b). The white star indicates the locality of a ca. 10 Ma tholeiitic basalt with an intra-plate type trace-element signature (Nagao et al., 1992). Black stars are the localities of high-Mg andesites (HMAs) formed at 14–13 Ma (Nagao et al., 1992; Tatsumi et al., 2003). AM, Amakusa Islands; ON, Ohno Volcanic Rocks; OK, Okueyama igneous complex; OS, Osuzuyama igneous complex; MO, Minami-Ohsumi batholith; KO, Koshikijima islands; YK, Yakushima batholith; UYTL, Usuki Yatsushiro Tectonic Line, an extension of the Median Tectonic Line.

山岩類が見られる。これらの海溝寄り地域の火成岩類は西南日本弧において島弧伸長方向に分布し (Kimura et al., 2005), 近年再検討されている放射年代は外帯花こう岩類は紀伊半島

から九州西部までおよそ 15.5-13.5 Ma の範囲に (Shinjoe et al., 2021a), 瀬戸内火山岩類は三河地域の設楽から九州東部の大野火山岩類にかけて 15.5-13.0 Ma の範囲 (星ほか, 2006; 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 (Kimura et al., 2005; Shinjoe et al., 2021a). さらに九州西部に見られる後期中新世の火成活動は, 9 Ma ごろから始まった北西九州のプレート内玄武岩を主とする活動 (Uto et al., 2004) や琉球弧の背弧海盆である沖縄トラフの初期のリフティングに関連づけられている (濱崎, 1997; Shinjoe et al., 2021b).

琉球弧の北端付近にある天草諸島には中新世の活動と見られる火成岩類が分布する. それらの多くは岩脈や岩株といった小規模なものであり (たとえば濱崎, 2010), 火成岩岩石学の観点からはこれまで詳細な検討が行われていない. 既報の放射年代のコンパイルに基づく活動の年代レンジの長さからは対馬, 五島などの背弧側に見られる日本海拡大に関連したりリフティングに伴う火成活動との共通性が指摘されている (濱崎, 1997). Figure 1 に示すように, 天草諸島は先に説明した複数の成因に紐づけられる火成活動領域の接点にあり, 火成活動の成因的な位置付けを行うためには精密な放射年代測定と岩石化学的なデータの集積が欠かせない. 本稿では天草諸島の中でも天草上島に分布する中間質～珪長質の中新世貫入岩の全岩化学組成を報告する. その結果に基づき火成活動の位置づけについて議論する.

## 地質概略

天草諸島は琉球弧の北端部に位置し, その大半を白亜紀～古第三紀の正常堆積物が占める. 下位からその一部が前期白亜紀におよぶ白亜紀後期の海成層である御所浦層群, その一部が暁新世におよぶ白亜紀後期の海成層である姫浦層群, 始新世の弥勒層群, 本渡層群, 逆瀬川層群からなる. 始新世の堆積岩は海成から非海成層であり一部に石炭が挟在する (斎藤ほか, 2010). 天草上島はその大半を始新世の弥勒層群, 本渡層群, 逆瀬川層群の砂岩, 泥岩層が占め, 島の南東部に白亜紀後期の姫浦層群が分布する. 上島の中新世火成岩類はこれら始新世の堆積岩を貫いて分布し, 一部に接触変成作用をおよぼしている (濱崎, 2010).

天草上島・下島の中新世火成岩類については, 多くは岩脈や岩床, 岩株といった小規模なものに限られることもあり, これまで, 三木 (1981), 濱崎 (1996), 山本 (2010) などがその大局的な分布を示しているが, 比較するとかなり差異がある. ここでは産業技術総合研究所の 20 万分の 1 地質図幅「八代及び野母崎の一部」(斎藤ほか, 2010) を反映した産業技術総合研究所の 20 万分の 1 シームレス地質図に基づいて記述する (産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2015; Fig. 2). 天草上島には老嶽付近に角閃石黒雲母花こう閃緑岩の岩株が見られる. 北西部の大島子付近に斑状角閃石閃緑岩の岩床が, 倉岳周辺に斑状角閃石閃

**Table 1** Compilation of the radiometric ages of Neogene igneous rocks in Amakusa islands.

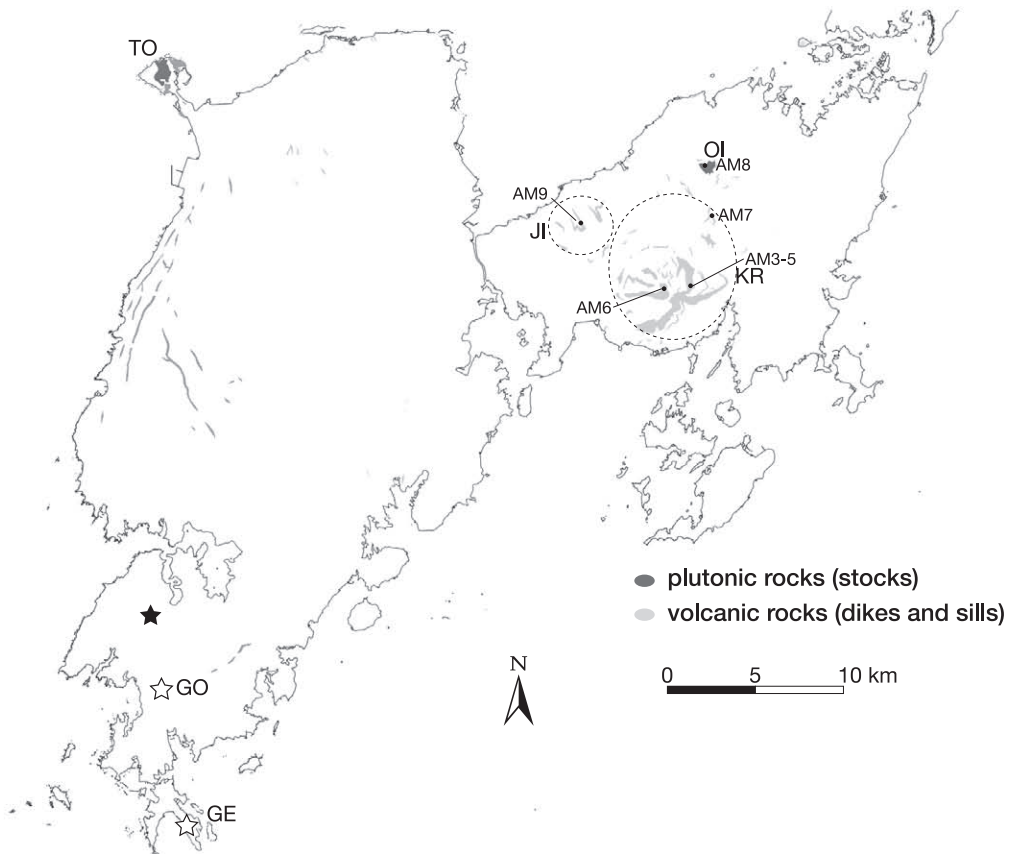
岩石種	岩体	年代		分析手法	対象	出典
天草上島						
hbl-quartz porphyry	倉岳	16.7±0.3	(1σ?)	K-Ar	whole rock	濱崎(1996)
hbl-bt-granodiorite	老嶽	14.6±0.3	(1σ?)	K-Ar	biotite	濱崎(1996)
diorite	陣岳	15.4±0.4	(1σ?)	K-Ar	whole rock	山本ほか(1997)
天草下島						
granodiorite	富岡半島	19.0±0.9	(1σ?)	K-Ar	biotite	柴田・富樫(1975)
granodiorite	富岡半島	13.2±0.5	1σ	FT	zircon	三浦・大平(2012)
rhyolite (dike)	富岡半島	14.9	誤差表記無し	U-Pb	zircon	大平ほか(2012a)
altered rhyolite	浜平鉱	13.3±0.6	(1σ?)	K-Ar	whole rock	柴田・富樫(1975)
sericite vein	皿山脈傳兵衛木場	16.4±0.3	(1σ?)	K-Ar	whole rock	濱崎(1996)
sericite vein	皿山脈傳兵衛木場	16.6±0.8	(1σ?)	K-Ar	whole rock	濱崎(1996)
pottery stone	皿山脈傳兵衛木場	13.76±0.33	(1σ?)	K-Ar	sericite	三浦・大平(2011)
pottery stone	皿山脈傳兵衛木場	13.95±0.33	(1σ?)	K-Ar	sericite	三浦・大平(2011)
sandstone*	皿山脈傳兵衛木場	14.7±0.7	1σ	FT	zircon	三浦・大平(2012)
sandstone*	皿山脈傳兵衛木場	15.1±0.9	1σ	FT	zircon	三浦・大平(2012)
pottery stone	皿山脈傳兵衛木場	14.4	誤差表記無し	U-Pb	zircon	大平ほか(2012a)
pottery stone	海岸脈文七	14.3	誤差表記無し	U-Pb	zircon	大平ほか(2012a)
sandstone**	村山脈五層	14.2±0.7	1σ	FT	zircon	大平ほか(2012b)
mudstone**	村山脈五層	17.0±1.5	1σ	FT	zircon	大平ほか(2012b)
andesite (dike)	亀浦	14.24±0.34	(1σ?)	K-Ar	whole rock	永尾ほか(1992)
basalt	権現山	6.99±0.29	(1σ?)	K-Ar	whole rock	永尾ほか(1992)
basalt	権現山	6.79±0.27	(1σ?)	K-Ar	whole rock	永尾ほか(1992)
basalt	下須島	10.61±0.94	(1σ?)	K-Ar	whole rock	永尾ほか(1992)
basalt	下須島	9.36±0.52	(1σ?)	K-Ar	whole rock	永尾ほか(1992)

\*enclaves in the pottery stones, \*\*baked country rocks of the altered rhyolites.

緑岩や斑状黒雲母角閃石閃緑岩の複数の岩床が分布する(濱崎, 2010). 大島子付近の岩床を山本(2010)は陣岳岩体と呼称している. 天草下島の貫入岩としては, 北西部の富岡半島に細粒角閃石黒雲母花こう閃緑岩の岩株が存在する(高橋, 1965; 柴田・富樫, 1975)ほかは主に岩脈や岩床からなる(高井ほか, 1997; 濱崎, 2010). 岩脈は安山岩から流紋岩まで多様であるが, 特に下島西岸部の規模の大きい変質流紋岩脈は陶石鉱床として採掘され注目を集めた(濱崎・須藤, 1999). このような規模の大きな変質流紋岩岩脈は大局的に NNE-SSW のトレンドを持つことから山元(1991)は琉球弧と並行な  $\sigma_{Hmax}$  を提案した. 牛丸・山路(2020)は岩脈の方位は E-W トレンドのものが卓越することを示し, 全体としてみた場合, 富岡花こう閃緑岩を中心とする放射状の貫入である可能性を含めて, 岩脈方位に基づく応力解析についてはさらに検討を要するとした.

Table 1 に中新世の貫入岩に関連する既報放射年代をまとめた. 珪長質~中間質の貫入岩の年代の多くは 13.2-16.7 Ma の範囲に入り, ほぼ中新世中期の活動であると見られる. 富

岡半島の花こう閃緑岩については、柴田・富樫（1975）により 19.0 Ma の K-Ar 黒雲母年代が報告されていたが、最近三浦・大平（2012）により 13.2 Ma のジルコン FT 年代が報告された。両手法の閉鎖温度の差異を考えてもおよそ 600 万年もの年代差は説明が難しく、年代の再検討が必要である。下島西部の陶石化した変質流紋岩について全岩やセリサイト脈について K-Ar 法による年代測定が行われているが（柴田・富樫, 1975；濱崎, 1996；三浦・大平, 2011）、貫入岩の年代あるいは、源岩の火成年代を表すと見られる陶石のジルコン U-Pb 年代（大平ほか, 2012a）と年代範囲では重なる。天草下島の南部の亀浦には高 Mg



**Figure 2.** Distribution of the Miocene igneous rocks in Amakusa islands (modified after Seamless digital geological map of Japan 1: 200,000. May 29, 2015 version. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology). Locations of samples are also demonstrated. KR, Kuratake; OI, Oidake; JI, Jindake; TO, Tomioka peninsula. White stars are the localities of the late Miocene tholeiitic basalt (GO, Gongenyama; GE, Gesujima; Nagao et al., 1992). Black star indicates the locality of high-Mg andesite dike in Kameura (Nagao et al., 1992).

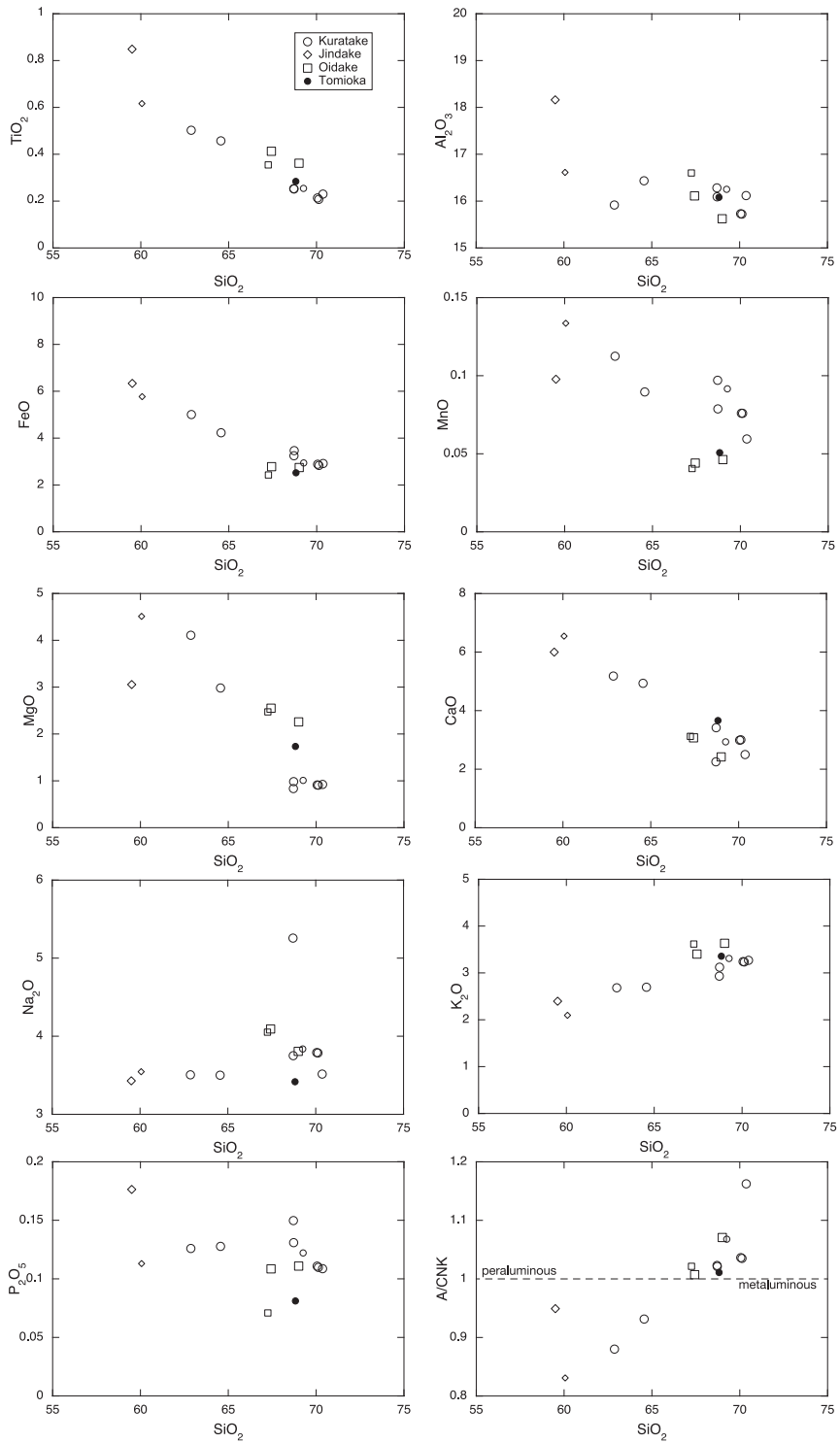
## 熊本県天草上島に分布する中新世火成岩類の全岩化学組成

安山岩の岩脈の報告がある（永尾ほか，1992）．Table 1にも示したように  $14.24 \pm 0.34$  Ma の全岩 K-Ar 年代が報告されており，多くの貫入岩体の既報年代と重複する中期中新世のものであり注目される．また，同じく天草下島南部の権現山の山頂部には玄武岩溶岩が分布し，下須島には玄武岩岩脈が見られる．前者はおよそ 7 Ma，後者はおよそ 10 Ma と天草諸島の貫入岩の形成時期より明らかに若い時代のものであるとともに，全岩の微量元素組成の始原マントル規格化パターンで Nb の枯渇が見られず，プレート内玄武岩に類似したパターンをもつ．永尾ほか（1992）はこれらのデータに基づき島原半島など九州北西部で見られるプレート内玄武岩の活動に関連するものとしている．

火成岩類の全岩化学組成はこれまでほとんど報告されていない．陶石鉱床に関連した変質流紋岩について，いくつかの主成分元素組成が上野（1952）および富樫（1974）に報告されていることを除くと，山本（2010）に主成分元素組成が 4 点「未公表資料」として提示されているのみである．本稿で分析に用いた試料の位置の概略は Figure 2 に示し，採取位置の緯度経度については Appendix に記した．倉岳周辺の岩床から 7 試料，老嶽周辺の岩株あるいは岩床から 2 試料，島北西部の大島子付近の岩床，すなわち山本（2010）による陣岳岩体から 1 試料を得た．

## 結果と議論

天草上島の貫入岩体から採取した 10 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，三倍希釈のガラスビードを用いて東京大学地震研究所の蛍光 X 線分析装置 Philips PW2400 で測定を行った．測定方法の詳細は谷ほか（2002）に従った．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．プロットするにあたり，全鉄を FeO に，酸化物の総計を 100% に換算している．山本（2010）による既報値も合わせてプロットしている．倉岳あるいは陣岳岩体については複数の岩床の集まりであるので，Table 2 および以下でその区分について言及する場合は Figure 2 に示したおおよその分布のくりに従う．SiO<sub>2</sub> 量は 59.5-70.4% にわたるが，陣岳岩体の岩床は既報値を含めて SiO<sub>2</sub> 量が約 60% と最も低く，老嶽岩体の岩石は 67.5-69% 前後である．倉岳岩体で一括している試料は周辺の複数の岩床から採取したものであるため，組成範囲は広く 62.9-70.4% の範囲にわたる．全体としては一部の元素ではずれる試料があるが，概ね 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にある．下島の富岡花こう閃緑岩の 1 点の既報データは，ほぼ老嶽岩体および倉岳岩体の高 SiO<sub>2</sub> メンバーの領域に入る．A/CNK (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / (CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) のモル比) は SiO<sub>2</sub> の増加に伴い増加し，SiO<sub>2</sub> が 65% 以下のものはメタアルミナス，65% 以上のものはパーアルミナスであるが 1 点を除き A/CNK < 1.1 であり，



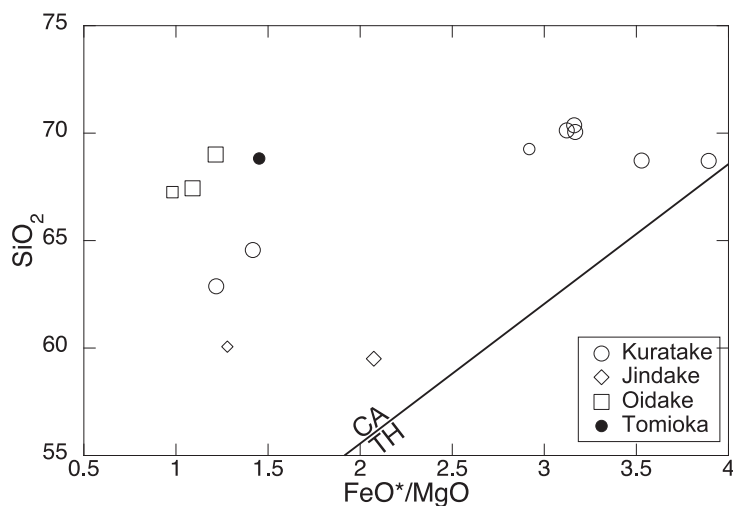
**Figure 3.** Major-element variation (Harker) diagrams for samples from the Amakusa-kamishima island. Previously reported analyses (Yamamoto, 2010) including a datum of the Tomioka granodiorite in Amakusa-shimojima island are also plotted with smaller symbols.  $A/CNK = \text{molar } Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$ .



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

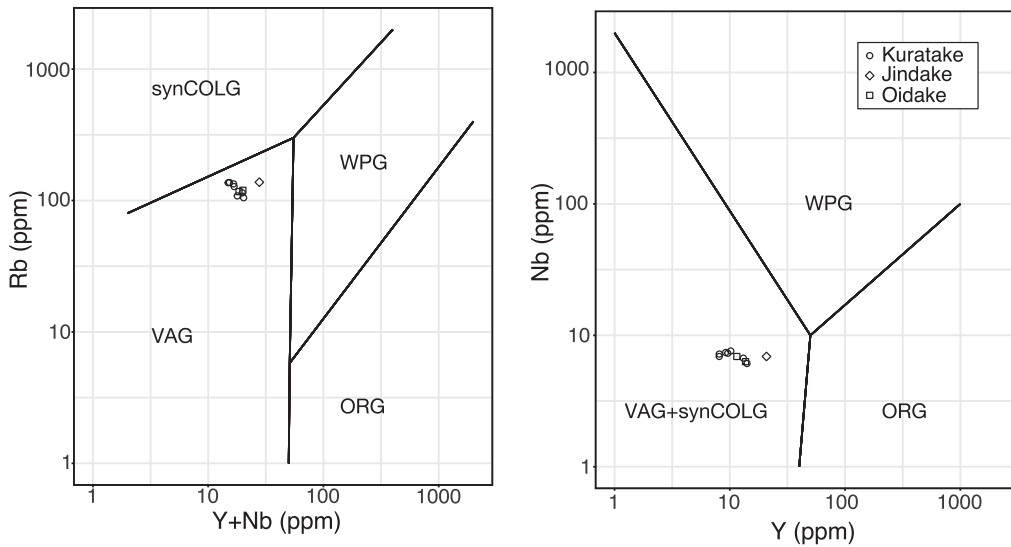
**Table 2** Whole rock compositions of the igneous rocks in Amakusa-kamishima.  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*$ : total Fe as  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

	AM3.1	AM3.2	AM4	AM5.2	AM6.1	AM6.2	AM7	AM8.1	AM8.2	AM9
	Kuratake	Kuratake	Kuratake	Kuratake	Kuratake	Kuratake	Kuratake	Oidake	Oidake	Jindake
$\text{SiO}_2$	68.25	68.35	68.64	67.21	60.92	62.68	66.52	65.86	67.18	56.00
$\text{TiO}_2$	0.21	0.20	0.22	0.25	0.49	0.44	0.25	0.40	0.35	0.80
$\text{Al}_2\text{O}_3$	15.32	15.33	15.72	15.74	15.42	15.96	15.76	15.74	15.21	17.09
$\text{Fe}_2\text{O}_3^*$	3.12	3.07	3.16	3.76	5.39	4.56	3.49	3.02	2.97	6.63
$\text{MnO}$	0.07	0.07	0.06	0.08	0.11	0.09	0.09	0.04	0.05	0.09
$\text{MgO}$	0.89	0.88	0.90	0.96	3.98	2.89	0.81	2.49	2.20	2.88
$\text{CaO}$	2.91	2.93	2.44	3.34	5.02	4.79	2.18	3.00	2.35	5.65
$\text{Na}_2\text{O}$	3.69	3.69	3.43	3.67	3.40	3.40	5.09	4.00	3.71	3.23
$\text{K}_2\text{O}$	3.16	3.15	3.19	3.05	2.60	2.62	2.84	3.32	3.54	2.25
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.11	0.11	0.11	0.13	0.12	0.12	0.15	0.11	0.11	0.17
Total	97.73	97.78	97.86	98.18	97.44	97.55	97.18	97.97	97.65	94.78
(ppm)										
Sc	4.4	5.1	5.0	5.0	15.2	12.4	3.7	8.4	7.8	17.7
V	25.4	23.4	27.2	31.3	96.0	70.2	23.8	46.8	41.0	140.0
Cr	12.6	14.2	12.5	12.9	139.1	76.8	7.1	83.3	71.7	5.7
Co	4.5	3.7	5.4	4.2	16.1	13.0	4.3	9.5	8.7	15.4
Ni	6.2	5.4	4.3	5.3	18.7	17.7	2.3	47.7	42.3	3.0
Zn	52.4	51.4	46.2	46.3	67.6	58.8	59.2	25.8	30.1	53.2
Ga	18.1	18.2	18.7	19.1	19.9	20.0	17.7	21.1	18.8	20.5
Rb	137	136	134	128	105	114	108	117	120	138
Sr	296	305	271	312	315	324	324	293	264	270
Y	8.1	8.1	9.2	9.6	14.1	13.1	10.2	11.5	13.7	20.8
Zr	97.1	99.1	99.9	106	109	115	112	125	117	116
Nb	7.2	6.9	7.4	7.3	6.1	6.7	7.6	6.9	6.3	6.9
Ba	552	558	571	567	438	437	737	418	424	364
Pb	33.0	31.9	30.8	20.3	17.4	19.0	28.5	17.4	20.7	8.1
Th	12.3	12.0	11.5	9.7	9.1	10.1	12.6	11.9	12.5	7.9

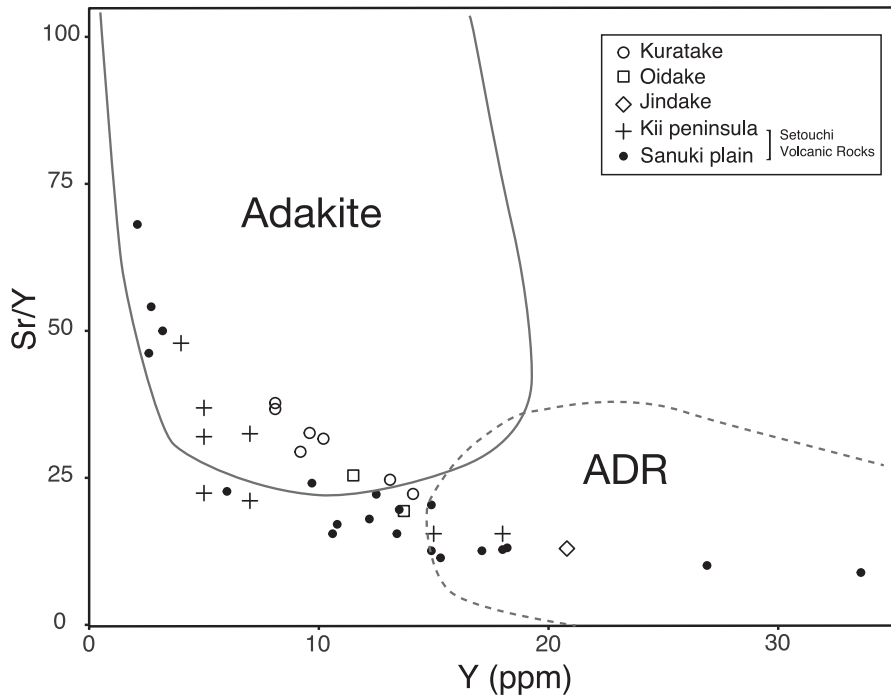


**Figure 4.**  $\text{SiO}_2$ - $\text{FeO}^*/\text{MgO}$  diagrams for samples from the Amakusa-kamishima island. The boundary of the calc-alkaline (CA) and tholeiitic (TH) rock series is from Miyashiro (1974).





**Figure 5.** (Y+Nb)-Rb and Y-Nb discrimination diagrams (Pearce et al., 1984) showing the classification of igneous rocks from the Amakusa-kamishima Island. VAG, volcanic-arc granites; WPG, within-plate granites; ORG, ocean-ridge granites; syn-COLG, syn-collision granites.



**Figure 6.** Sr/Y-Y diagram of the igneous rocks from the Amakusa-kamishima Island. Setouchi Volcanic Rocks in Kii peninsula (Shinjoe et al., 2007) and Sanuki plain (Shinjoe et al., 2016) are also plotted for comparison. Adakite and island arc ADR (andesite, dacite, rhyolite) fields are from Castillo (2012).

濱崎 (1997) が天草諸島の火成岩類を I-type のチタン鉄鋳系列としていることと整合的である。Figure 4 に  $\text{FeO}^*/\text{MgO}$  比と  $\text{SiO}_2$  量をプロットした。陣岳岩体、倉岳岩体の低  $\text{SiO}_2$  メンバー、老嶽岩体については  $\text{SiO}_2$  量に対して  $\text{FeO}^*/\text{MgO}$  比が増加しないカルクアルカリ系列のトレンドを示す。倉岳岩体の高  $\text{SiO}_2$  メンバーについては、他より  $\text{MgO}$  量に乏しく、 $\text{FeO}^*/\text{MgO}$  比が急激に増加する。Pearce et al. (1984) による微量元素に基づく花こう岩のテクトニックな形成場の判別図では火山弧花こう岩 (VAG) の領域に入る (Fig. 5)。今回報告した中間質～珩長質火成岩は、 $\text{SiO}_2$  量の低い陣岳の試料を除くと 8.1-14.1 ppm と低い Y 量が特徴的である。Figure 6 に Sr/Y 比と Y 量をプロットしたものを示す。比較のために瀬戸内火山岩類の中で紀伊半島および讃岐平野の珩長質火成岩のデータ (新正ほか, 2007; 2016) も合わせて示した。陣岳の試料を除くと瀬戸内火山岩類の多くと同様に Castillo (2012) のアダカイト領域に近い位置にプロットされる。

先述のように永尾ほか (1992) は上島南部から見いだした高 Mg 安山岩の岩脈について 14.24 Ma の K-Ar 年代を報告するとともに、全岩組成の類似性から瀬戸内火山岩類の活動に含められる可能性を提案している。ただしこれは岩脈岩ひとつのデータに基づく議論であり、むしろ大量に存在する中間質～珩長質の貫入岩については一切論じていない。山本ほか (1997) は貫入岩が面河地域のそれと類似することや永尾ほか (1992) の高 Mg 安山岩の産出に基づき瀬戸内岩石区の西方延長の可能性を指摘している。また Ushimaru and Yamaji (2022) は天草地域の珩長質火成岩の岩脈・岩床の方位に基づく応力復元を行い、南北伸長場でこれらの岩脈群が形成されたことを示し、他の瀬戸内地域と同様にフィリピン海プレートの沈み込み下でのマグマ活動であるとしている。実際西南日本弧で瀬戸内火山岩類と並走する外帯花こう岩類は、たとえば紫尾山岩体のように九州西部まで分布する。今回報告した、低い Y 量や高い Sr/Y 比で特徴づけられる中間質～珩長質火成岩は瀬戸内火山岩類の分布域の中でも紀伊半島から松山周辺まで広く見られるものである (新正・齊藤, 2017)。瀬戸内火山岩類の西端を九州東部の大野火山岩類とする考えがあるが (Tatsumi et al., 2003)、大野火山岩類より西方域は広く第四紀火山岩に被覆されていることは念頭に置く必要がある。なお大野火山岩類の高 Mg 安山岩については全岩 K-Ar 法による年代が報告されているが大きなばらつきがあり (Tatsumi et al., 2003; 白木ほか, 2006)、現状その形成年代は十分に拘束されていない。大野火山岩類で高 Mg 安山岩が貫く三宅山火砕堆積物については新正・折橋 (2017) が  $14.58 \pm 0.21$  Ma のジルコン U-Pb 年代を報告している。瀬戸内火山岩類については、珩長質マグマの活動が先行し高 Mg 安山岩を含む苦鉄質マグマの活動が引き続くことがあるが、その年代差は紀伊半島では数十万年以内の短期間 (星ほか, 2002)、小豆島では 100 万年程度 (巽ほか, 2010) であることから、大野火山岩類の高 Mg 安山岩についても、約 14.5 Ma の珩長質火成活動から、100 万年を超えて新しいものである可能性は低いであろう。

このような火成活動の対比を行うためには岩石化学の検討に加えて活動年代の拘束が欠かせない。地質概略の章で述べたように、岩床あるいはストック状の貫入岩体の放射年代の多くは、13.2-16.7 Maの範囲に入るが、富岡半島の花こう閃緑岩体からは19.0 Maの黒雲母K-Ar年代が報告されており、まだ貫入時期が十分に拘束されていない。著者らは、他の貫入岩より有意に古いK-Ar年代が報告されていた富岡花こう閃緑岩をふくめた貫入岩試料についてジルコンのウラン・鉛年代測定により形成年代の再検討を行っており、続報でその結果を含めた議論を準備している。

#### 謝辞

本研究の取りまとめに要した費用の一部は2020年度の東京経済大学個人研究助成費(20-13)による援助を受けた。蛍光X線分析については、東京大学地震研究所の共同利用プログラムの援助によるものである。

#### 文 献

- Castillo (2012) Adakite petrogenesis. *Lithos*, 134/135, 304-316.
- 濱崎聡志 (1996) 熊本県天草地域の火成活動とセリサイト化熱水変質作用のK-Ar年代. *地調月報*, 47, 201-207.
- 濱崎聡志 (1997) 熊本県天草地域の火成活動のK-Ar年代と九州内帯・外帯における中新世マグマ活動のレンジの比較. *資源地質*, 47, 121-129.
- 濱崎聡志 (2010) 7. 中新世貫入岩類. 20万分の1地質図幅「八代及び野母崎の一部」. 産業技術総合研究所.
- 濱崎聡志・須藤定久 (1999) 熊本県天草地方の陶石鉱床. *地質ニュース*, 538, 38-47.
- 星博幸・岩野英樹・檀原徹 (2006) 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 (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・トラック年代測定. *地質学雑誌*, 112, 153-165.
- Kano, K., Uto, K. and Ohguchi, T. (2006) Stratigraphic review of Eocene to Oligocene successions along the eastern Japan Sea: implication for early opening of the Japan Sea. *Journal of Asian Earth Science*, 30, 20-32.
- 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.
- 三木孝 (1981) 西九州古第三紀層最下部層の再検討. *九州大学理学部研究報告 (地質学)*, 14, 63-71.
- 三浦千佳・大平寛人 (2011) 有田一天草地域の陶石鉱床の変質作用と熱履歴. *フィッション・トラックニュースレター*, 24, 75-78.
- 三浦千佳・大平寛人 (2012) 熊本県天草地域の陶石の変質作用とフィッション・トラック年代. フ

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

- イッシュン・トラックニュースレター, 25, 46-49.
- Miyashiro, A. (1974) Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *American Journal of Science*, 274, 321-355.
- Miyazaki, K., Ozaki, M., Saito, M. and Toshimitsu, S. (2016) 2e The Kyushu-Ryukyu Arc. In Moreno, T., Wallis, S.R., Kojima, T. and Gibbons, W. (Eds), *Geology of Japan*, 139-174, Geological Society of London.
- 永尾隆志・沢井長雄・板谷徹丸・角縁進 (1992) 熊本県, 天草下島のソレアイト質玄武岩と高マグネシア安山岩の K-Ar 年代. *岩鉱*, 87, 283-290.
- 大平寛人・三浦千佳・田村明弘・荒井章司・竹内浩一・田口幸洋 (2012a) 天草陶石鉱床の熱水変質作用とジルコンの放射年代. *日本地質学会第 119 年学術大会講演要旨*, 196.
- 大平寛人・大島宙眞・加納和樹 (2012b) 天草陶石村山脈五層採掘場の堆積岩のジルコンのフィッシュン・トラック年代. *フィッシュン・トラックニュースレター*, 25, 50-53.
- Otofujii, Y. (1996) Large tectonic movement of the Japan Arc in late Cenozoic times inferred from paleomagnetism: review and synthesis. *Island Arc*, 5, 229-249.
- Otofujii, Y. and Matsuda, T. (1983) Paleomagnetic evidence for the clockwise rotation of Southwest Japan. *Earth and Planetary Science Letters*, 62, 349-359.
- Otofujii, Y., Itaya, T., and Matsuda, T. (1991) Rapid rotation of southwest Japan—palaeomagnetism and K-Ar ages of Miocene volcanic rocks of southwest Japan. *Geophysical Journal International*, 105, 397-405.
- Pearce, J. A., Harris, N.B.W., and Tindle, A.G. (1984) Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25, 956-983.
- 斎藤眞・宝田晋治・利光誠一・水野清秀・宮崎一博・星住英夫・濱崎聡志・阪口圭一・大野哲二・村田泰章 (2010) 20 万分の 1 地質図幅「八代及び野母崎の一部」. 産業技術総合研究所.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (編) (2015) 20 万分の 1 日本シームレス地質図 2015 年 5 月 29 日版. 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 柴田賢・富樫幸雄 (1975) 熊本県天草下島西部に分布する酸性火山岩類の K-Ar 年代. *地調月報*, 26, 187-191.
- Shin, K-C., Kurosawa, M., Anma, R., and Nakano, T. (2009) Genesis and mixing/mingling of mafic and felsic magmas of back-arc granite: Miocene Tsushima pluton, Southwest Japan. *Resource Geology*, 59, 25-50.
- 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・齊藤哲 (2017) 松山市周辺の瀬戸内火山岩類—高 Mg 安山岩から珪長質岩まで—. *地質学雑誌*, 123, 571-584.
- 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・折橋裕二・角井朝昭 (2016) 讃岐平野の瀬戸内珪長質火山岩の全岩化学組成. *人文自然科学論集*, 139, 21-31.
- Shinjoe, H., Orihashi, Y. and Anma, R. (2021a) U-Pb ages of Miocene near-trench granitic rocks of the Southwest Japan arc: implications for magmatism related to hot subduction. *Geologi-*

- cal Magazine. 158, 47-71.
- Shinjoe, H., Orihashi, Y., Niki, S., Sato, A., Sasaki, M., Sumii, T. and Hirata, T. (2021b) Zircon U-Pb ages of Miocene granitic rocks in the Koshikijima Islands: Implications for Neogene tectonics in the Kyushu region, southwest Japan. *Island Arc*, 30. e12383. doi.org/ 10.1111/iar.12383
- 白木敬一・中山由紀・松尾守人・吉岡賢二・松本征夫・小野晃司 (1996) 大分県中部, 大野火山岩類の高マグネシア安山岩岩脈の全岩および鉱物化学組成と年代. 総合研究 (A)「西南日本の新生代火成活動とテクトニクス」研究報告, 128-131.
- 高橋良平 (1965) 熊本県天草郡, 下島, 福岡半島の地質. 九大理研報 (地質学之部), 8, 73-81.
- 高井保明・坊城俊厚・原田種成 (1997) 天草炭田地質図. 日本炭田図, XIV, 地質調査所, 77p.
- 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.
- 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. 地質雑, 116, 661-679.
- 富樫幸雄 (1974) 熊本県天草陶石鉱床における変質作用. 地調月報, 25, 491-508.
- 上野三義 (1952) 熊本縣天草陶石鉱床調査報告. 地調月報, 3, 405-420.
- 牛丸健太郎・山路敦 (2020) 天草下島北部の中新世貫入岩体の方向と応力解析. 地質学雑誌, 126, 631-638.
- 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
- Uto, K., Hoang, N., and Matsui, K. (2004) Cenozoic lithospheric extension induced magmatism in Southwest Japan. *Tectonophysics*, 393, 281-299.
- 山元孝広 (1991) 日本列島の後期新生代岩脈群と造構応力場. 地調月報, 42, 131-148.
- 山本温彦 (2010) 新生代北部 (内帯), 日本地方地質誌 8「九州・沖縄地方」. 朝倉書店, 320-326.
- 山本温彦・新田和也・西戸裕嗣 (1997) 熊本県天草上島の新第三紀貫入岩類の化学的特徴. 日本地質学会第 104 年学術大会講演要旨, 262.

**Appendix** Location of the samples.

sample code	Longitude(°N)	Latitude(°E)
AM3	32.42487	130.32569
AM4	32.42880	130.32664
AM5	32.42801	130.32617
AM6	32.42710	130.31142
AM7	32.46053	130.33715
AM8	32.48680	130.33750
AM9	32.46399	130.26003