

鹿児島県薩摩半島に分布する中新世花こう岩質岩の全岩化学組成

新正裕尚 角井朝昭

Whole rock composition of the Miocene granitic rocks in the Satsuma Peninsula, Kagoshima prefecture

Hironao SHINJOE, and Tomoaki SUMII

Abstract

Whole rock major and trace element compositions were reported for seven granitic rocks from the Satsuma Peninsula in southern Kyushu, determined by XRF and INAA. Similarity of both major and trace element composition of the granitic rocks in the Satsuma Peninsula with those of I-type granitic rocks of the Outer Zone Kyushu was shown. This fact supports that they should be included in Miocene granitic rocks in the Outer Zone of southwest Japan, which had been suggested based on their radiometric ages.

はじめに

鹿児島県西部の薩摩半島には中新世の放射年代をもつ花こう岩質岩が主に白亜系の四万十累層群を貫いて分布している。これらの岩体は山本ほか（1969）により一括して薩摩半島花こう岩質岩類と呼ばれた。以降の研究例は少ないが、その位置づけについては放射年代の類似性から西南日本外帯の中期中新世花こう岩類との関連が言及されている（たとえば山本ほか、1970）。

今回これらの花こう岩質岩の5岩体から7試

料を採取してその全岩化学組成を蛍光X線分析および中性子放射化分析により測定したので、その結果を報告する。

試料の概略

山本ほか（1969）により一括して薩摩半島花こう岩質岩と呼称され薩摩半島に点在する小規模な花こう岩質岩体群については、その後山本（1970）により全岩の主成分元素組成を含む岩石学的検討が行われた。その後は幾つか個別の岩体について研究が行われている。岩体の分布

は、山本ほか (1969), 山本ほか (1970), 資源エネルギー庁 (1985), 宇都ほか (1997), 川辺ほか (2004) に示されている。しかしながらとりわけ分布の小さい岩体についてはその呼称は統一されていない。宇都ほか (1997) および川辺ほか (2004) に基づく岩体の分布および採取した試料の位置を Figure 1 に示した。

薩摩半島花こう岩質岩は、先に述べたようにその放射年代から西南日本外帯の中新世花こう岩類との一員と考えられている。これらの花こう岩質岩については、従来 Shibata and Nozawa (1968) により K-Ar 年代, 資源エネルギー庁 (1985) により K-Ar 年代およびジルコンフィッシュトラック (FT) 年代, 宮地 (1990) によりジルコン FT 年代が報告されている。それらの大部分はほぼ 15~12 Ma の範囲にあり, Sumii and Shinjoe (2003) がレビューした西南日本外帯の中新世花こう岩類について報告されている K-Ar 年代の集中する範囲 (15.5-13.0 Ma) と概ね重複している。しかし資源エネルギー庁 (1985) が報告した年代の中には 22~20 Ma のものがいくつかある。

本地域の花こう岩質岩の全岩化学組成については、山本ほか (1970) により広域的に収集された試料について、22 点の主成分元素組成が報告されている。また日置 (向江山) 岩体については、山本・山元 (1995) により、6 点の主成分元素組成およびごく少数の微量元素組成についての報告がある。さらに岡本ほか (1987) により、4 点の主成分元素組成および微量元素組成の報告がある。

今回分析に供した試料は 7 個で、試料の内訳は野間岬酸性火成岩類 (山本ほか, 1970) から 2 個 (SA3A, SA3B), 金峰山岩体から 2 個 (SA7,

SA8), 田之尻岩体 (SA9), 赤仁田岩体 (SA10), 日置岩体 (SA12) からそれぞれ 1 個である。各々の岩体の概要を以下に述べる。野間岬酸性火成岩類は南さつま市の野間半島に岩株あるいは岩脈をなして広く分布する (黒岩ほか, 1989)。Shibata and Nozawa (1968) により 12 ± 2 Ma の全岩 K-Ar 年代が報告されている。日置 (向江山) 花こう閃緑岩体は日置市の向江山と矢筈岳に挟まれる位置に東西 1.6 km, 南北 4.2 km 程度の北西—南東に伸長する分布域を持つ (山本・山元, 1995)。Shibata and Nozawa (1968) により 12.2 ± 2 Ma の黒雲母 K-Ar 年代, 資源エネルギー庁 (1985) により 13.1 ± 0.7 Ma の全岩 K-Ar 年代, 宮地 (1990) により 14.4 ± 1.3 Ma のジルコン FT 年代が報告されている。南さつま市の金峰山北西斜面に分布する金峰山岩体は東西 1 km, 南北 1.5 km の拡がりを持つ岩株である。宮地・高井 (1988) により 14.6 ± 1.2 Ma のジルコン FT 年代が報告されている。赤仁田岩体および田之尻岩体 (宮地, 1990) はそれぞれ日置市の赤仁田集落南方, 田之尻集落東方に分布する小規模な岩株である。資源エネルギー庁 (1985) は赤仁田岩体について 20.1 ± 0.6 Ma, 田之尻岩体について 20.9 ± 1.5 Ma の全岩 K-Ar 年代を, 宮地 (1990) は赤仁田岩体について 13.9 ± 1.3 Ma の, 田之尻岩体について 15.3 ± 1.5 Ma のジルコン FT 年代を報告している。なお試料に関する簡単な記述は Appendix に示した。

分析方法

試料を粗割して得られた岩片を洗浄後, タングステンカーバイドの振動ミルで細粉化して分

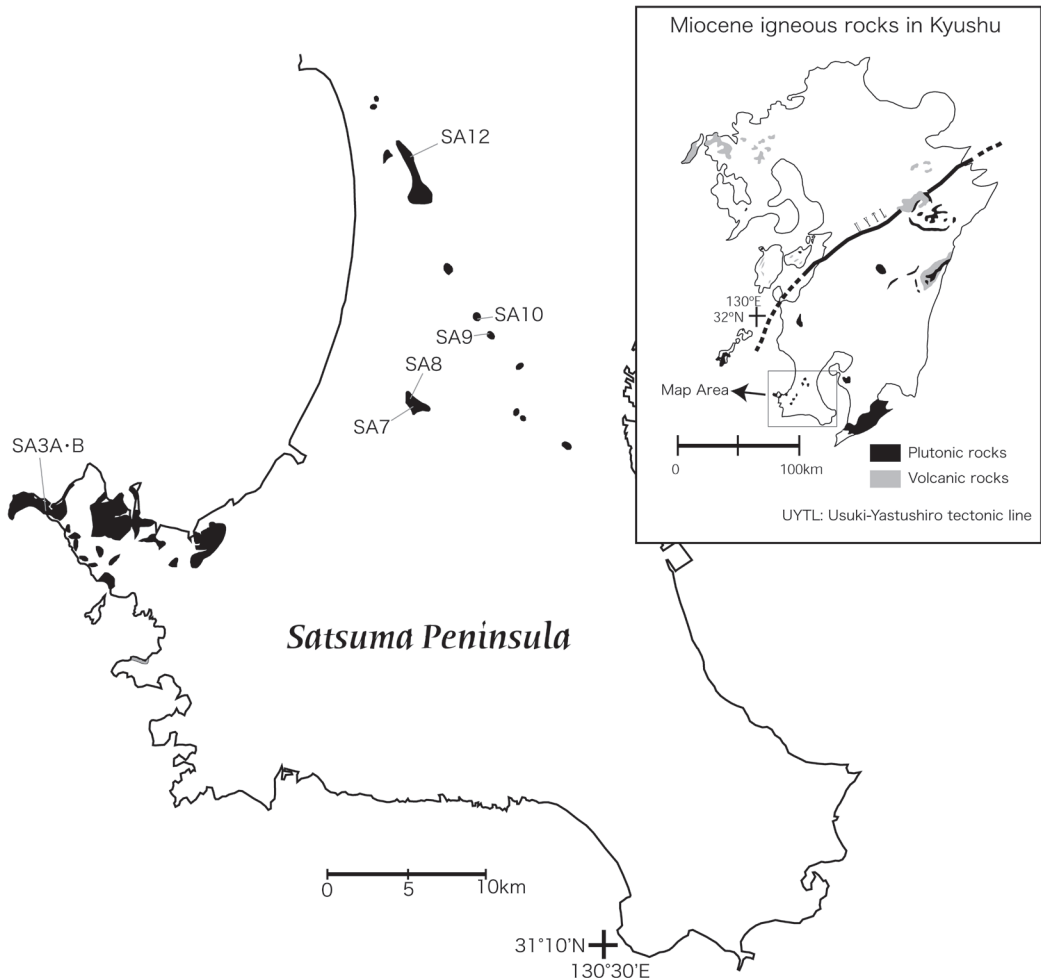


Figure 1 Simplified map of Miocene granitic rocks of the Satsuma Peninsula (modified from Uto et al., 1997, and Kawanabe et al., 2004). Sampling localities are also shown.

析用試料とした。7 試料について東京大学地震研究所の蛍光 X 線分析装置 (Phillips PW 2400) を用いて希釈率 1:2 のガラスビードにより分析を行った。分析方法は谷ら (2002) に従った。そのうち金峰山岩体の 1 試料を除く 6 試料について中性子放射化分析により希土類元素を含むいくつかの微量元素組成を求めた。試料の照射は日本原子力研究所の JRR-4 原子炉で行い、 γ 線の計測は東京大学原子力研究総合センター東海分室 (大学開放研究室) においておこなった。

これらの分析を通じて主成分元素および 28 の微量元素について定量値を得たが、そのうち Co および Ta については、粉碎にタングステンカーバイドの振動ミルを用いたことからミル素材からの混染の可能性があり、報告から除外した。

結果と考察

分析結果を Table 1 に示した。また主成分元素

についてのハーカー図を Figure 2 に示した。ハーカー図には過去に報告された薩摩半島花こう岩質岩の全岩化学組成（山本ほか, 1970；岡本ほか, 1987；山本・山元, 1995；Yamamoto and Yamamoto, 1999）も併せてプロットした。さらに比較のために九州の外帯花こう岩のなかでも I タイプ花こう岩に区分される（中田・高橋, 1979）、大崩山花こう複合岩体（奥村ほか, 1998）、市房山花こう閃緑岩（斎藤ほか, 1996）、紫尾山花こう閃緑岩（山本ほか, 1988）の岩石について過去に報告されているデータもプロットした。これらをプロットするにあたり、全鉄を FeO に、酸化物の総和を 100% に換算している。SiO₂ 量の増加に伴い、全体として TiO₂, Al₂O₃, FeO*, MnO, MgO, CaO, P₂O₅ は減少し、K₂O は増加する。Na₂O は SiO₂ と相関がみられない。今回の分析値は薩摩半島花こう岩質岩についてこれまで報告されているものの分布範囲にほぼ重なる。ただし今回報告した試料の SiO₂ 量は 63.5-69.8%（酸化物の総和を 100% に換算）であり、全体の分布の中では比較的 SiO₂ 量の少ない領域にプロットされる。また他の九州の I タイプ花こう岩のデータも全体として、薩摩半島花こう岩質岩とよく重複する領域にプロットされる。

コンドライトで規格化した、希土類元素パターンを Figure 3 に示す。パターンは各試料についてよく類似しており、全体として右下がり、重希土類元素はコンドライトの 10 倍前後で比較的フラットであり、負の Eu 異常を持つ。このようなパターンの特徴は外帯花こう岩に普通に見られるものである。さらに、微量元素を primitive mantle（Sun and McDonough, 1989）で規格化したスパイダー図を Figure 4 に示した。

比較のために市房山花こう閃緑岩体の SiO₂ 量が今回報告した試料とほぼ同程度（66.4%；酸化物の総和を 100% に換算）の花こう閃緑岩の分析値もプロットした（新正・角井, 未公表）。また日本の上部地殻の平均組成の推定値（Togashi, et al., 2000）も併せて示した。今回報告した試料はスパイダー図上でのパターンはほぼ同じで、全体として右下がり、Ba, Nb, P₂O₅, TiO₂ が下に凸、Pb が上に凸のスパイクを持つ。市房山花こう閃緑岩も、今回報告した薩摩花こう岩質岩の試料の分散の中にほぼ含まれる。上部地殻の平均組成は、Th や軽希土類元素など、幾つかの元素でその含有量にかなり開きが見られるが全体のパターンは薩摩半島の花こう岩類と良く似ている。

ここまで述べたように、主成分元素組成および微量元素の存在度パターンでは、薩摩半島花こう岩質岩は九州に分布する中新世に形成された外帯花こう岩類の I タイプ花こう岩と良く似ている。これは従来その放射年代からこれらを外帯花こう岩の一員に含めるという主張と整合的である。

謝 辞

蛍光 X 線分析を行うにあたっては東京大学地震研究所の共同利用プログラムからの援助を受けた。分析装置の使用に際しては地震研究所の折橋裕二博士、中田節也教授のお世話になった。中性子放射化分析は東京大学原子力研究総合センター全国大学共同利用プログラムによるものである。照射およびガンマ線計測については大学開放研究室の川手稔氏、澤幡浩之氏のご助力をいただいた。研究に要した費用の一部は

Table 1 Whole rock chemical composition of the granitic rocks in the Satsuma Peninsula. Elements with asterisk were analyzed by INAA. The other elements were analyzed by XRF. **Total Fe as Fe₂O₃.

sample code	SA3A	SA3B	SA7	SA8	SA9	SA10	SA12
Pluton	Nomamisaki	Nomamisaki	Kimpozan	Kimpozan	Tanojiri	Akanita	Hioki
SiO ₂	67.78	62.58	66.31	66.39	64.53	64.40	67.73
TiO ₂	0.67	0.95	0.69	0.63	0.86	0.86	0.49
Al ₂ O ₃	14.94	16.16	14.68	14.46	15.66	15.62	14.41
Fe ₂ O ₃ **	3.97	5.59	4.26	3.90	5.16	5.11	3.43
MnO	0.07	0.12	0.07	0.06	0.09	0.08	0.06
MgO	1.56	3.03	1.64	1.47	1.96	1.85	1.34
CaO	2.72	4.78	3.07	2.77	3.91	3.43	2.90
Na ₂ O	2.74	2.87	2.81	2.84	2.97	3.02	3.04
K ₂ O	4.36	2.81	3.78	3.97	3.28	3.45	3.86
P ₂ O ₅	0.16	0.18	0.14	0.13	0.18	0.18	0.12
total	98.97	99.07	97.45	96.62	98.60	98.00	97.38
(ppm)							
Sc	12.9	17.8	13.0	11.3	14.3	13.3	11.8
V	57	82	58	51	63	60	46
Cr	32	113	34	33	33	29	44
Ni	10.3	17.8	11.3	12.0	13.0	12.0	7.8
Zn	56	78	57	60	75	82	82
Ga	16.7	17.0	17.2	18.0	16.7	17.5	18.9
Cs*	5.4	5.9	5.3		9.2	9.2	11.9
Rb	168	92	163	171	132	151	166
Sr	209	260	204	196	226	203	181
Y	28	29	29	29	31	31	21
Zr	215	196	199	187	229	235	153
Nb	18.3	14.5	15.1	14.1	16.6	17.5	16.1
Hf*	5.7	5.1	6.1		6.3	6.4	5.3
Ba	627	468	480	488	563	507	439
Pb	9.4	15.2	24.3	23.0	20.4	26.9	24.5
Th	20.0	12.7	11.4	12.3	13.1	21.3	16.2
U*	3.6	2.4	2.7		2.9	2.9	2.8
As*	n.d.	12.6	25.7		n.d.	23.8	5.3
Sb*	2.1	2.8	0.5		4.8	1.5	1.0
sample code	SA3A	SA3B	SA7	SA9	SA10	SA12	
La*	33.1	26.7	33.1	32.9	34.8	28.2	
Ce*	80.1	70.2	90.4	87.8	92.4	78.5	
Sm*	6.23	5.77	6.78	6.72	7.46	6.82	
Eu*	1.02	1.29	1.13	1.32	1.31	1.04	
Tb*	0.99	1.09	1.17	1.13	1.18	1.07	
Yb*	2.66	2.52	2.46	2.64	3.12	1.88	
Lu*	0.40	0.38	0.38	0.44	0.47	0.26	

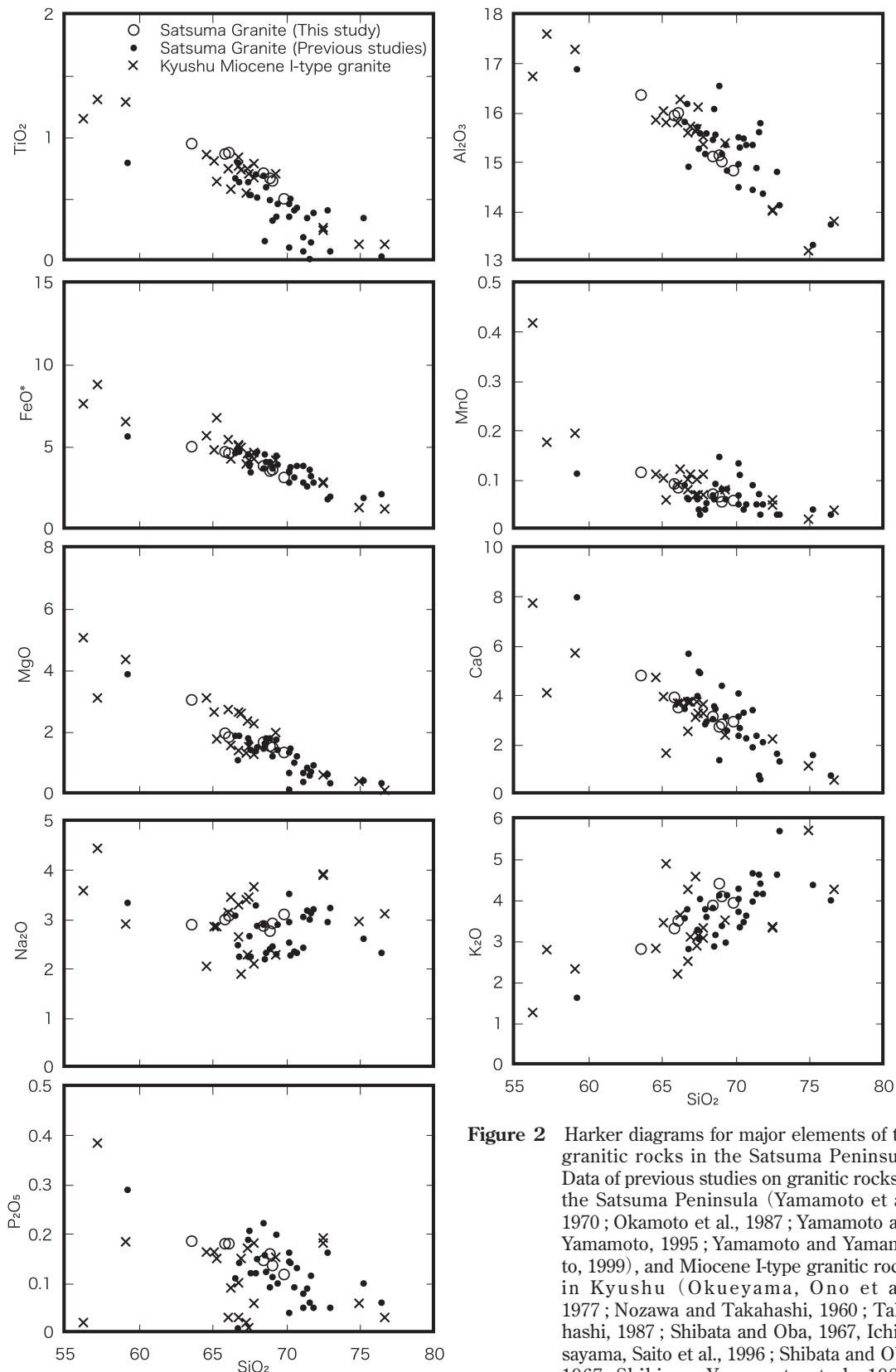


Figure 2 Harker diagrams for major elements of the granitic rocks in the Satsuma Peninsula. Data of previous studies on granitic rocks in the Satsuma Peninsula (Yamamoto et al., 1970; Okamoto et al., 1987; Yamamoto and Yamamoto, 1995; Yamamoto and Yamamoto, 1999), and Miocene I-type granitic rocks in Kyushu (Okueyama, Ono et al., 1977; Nozawa and Takahashi, 1960; Takahashi, 1987; Shibata and Oba, 1967, Ichifusayama, Saito et al., 1996; Shibata and Oba, 1967, Shibisan, Yamamoto et al., 1988; Yamamoto and Nedate, 1989) are also plotted for comparison. Oxides are normalized to total oxide = 100 wt %. FeO*, total Fe as FeO.

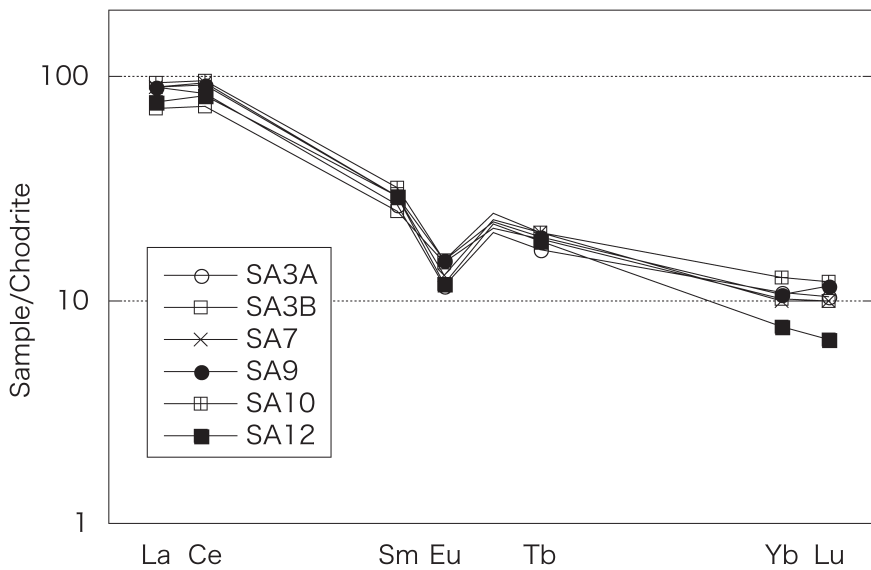


Figure 3 Plot of rare earth elements of the granitic rocks in the Satsuma Peninsula, normalized to CI chondrite composition (Taylor and MacLennan, 1985).

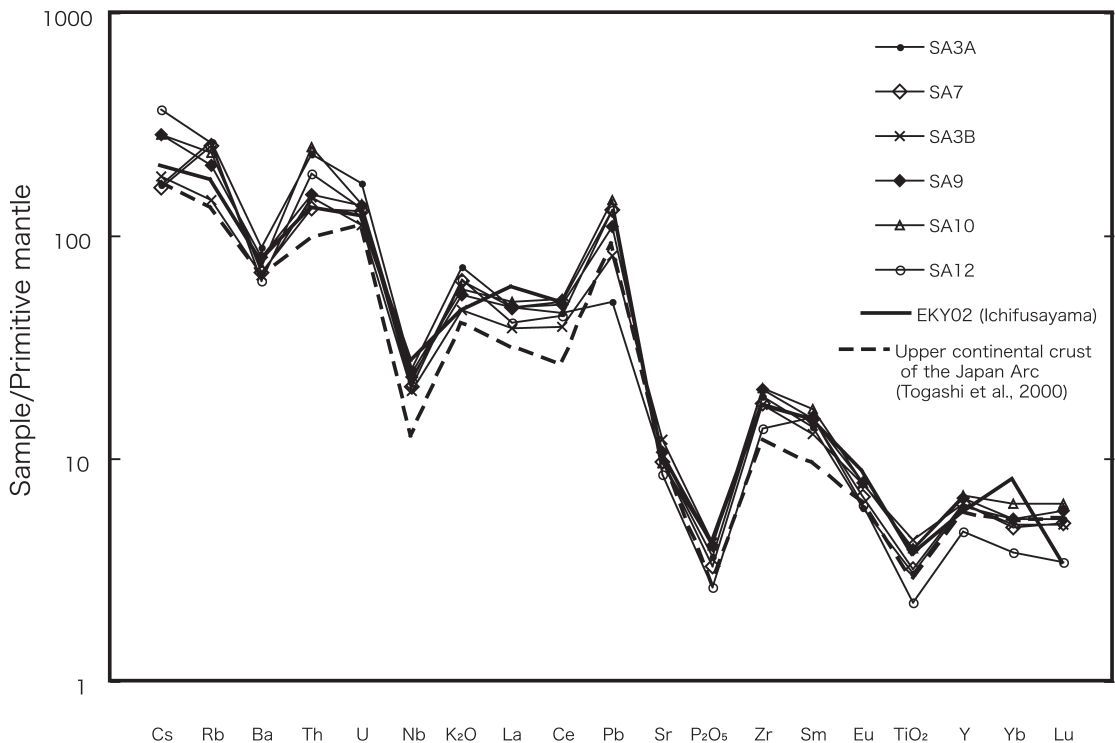


Figure 4 Spider diagram of the granitic rocks in the Satsuma Peninsula normalized to primitive mantle (Sun and McDonough, 1989). Data of Ichifusayama granodiorite (EKY02; Shinjoe and Sumii, unpublished data) and average composition of the upper crust of Japan Arc (Togashi et al., 2000) are also plotted for comparison.

東京経済大学国内研究費（2004年度）からの援助を受けた。以上記して感謝の意を表したい。

引用文献

- 川辺禎久・坂口圭一・斎藤 眞・駒澤正夫・山崎俊嗣 (2004) 20 万分の 1 地質図幅「開聞岳及び黒島の一部」。産業技術研究所 地質調査総合センター。
- 黒岩寛明・富田克利・大庭 昇・山本温彦 (1989) 鹿児島県野間半島地域の地質。鹿児島大学理学部紀要, 22, 43-53.
- 宮地六美 (1990) 南九州薩摩半島の第三紀花崗岩類のフィッシュントラック年代。地質雑, 96, 155-157.
- 宮地六美・高井真夫 (1988) 九州の第三紀花崗岩類のフィッシュントラック年代。九大教養地研報, 26, 1-3.
- 中田節也・高橋正樹 (1979) 西南日本外帯・瀬戸内区における中新世の中性～珪長質マグマの化学組成広域的变化。地質雑, 85, 571-582.
- Nozawa, T. and Takahashi, K. (1960) On the petrochemistry of Shishigawa granodiorite. Bull. Geol. Surv. Japan., 1, 489-502.
- 岡本健二・木下 修・野中健二・八木伸二郎 (1987) 九州第三紀花崗岩のマグマ混合モデル。岩鉱, 82, 257-268.
- 奥村公男・酒井 彰・高橋正樹・宮崎一博・星住英夫 (1998) 熊田地域の地質。地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所。
- 小野晃司・松本征夫。宮下三千年・寺岡易司・神戸信和 (1977) 竹田地域の地質。地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 145 p.
- 斎藤 眞・木村克己・内藤一樹・酒井 彰 (1996) 椎葉村地域の地質。地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 133 p.
- Shibata, K. and Nozawa, T. (1968) K-Ar ages of acid rocks of Noma-misaki and Hioki mountains, Kyushu, Japan. Bull. Geol. Surv. Japan, 19, 21-24.
- 柴田秀賢・大庭 昇 (1967) 西南日本外帯型花崗岩, 『日本岩石誌』2 巻, 朝倉書店, 342-361.
- 資源エネルギー庁 (1985) 昭和 59 年度広域調査報告書——南薩地域——, 180 p.
- Sumii, T., and Shinjoe, H. (2003) K-Ar ages of the Ohmine Granitic Rocks, Southwest Japan, Island Arc, 12, 335-347.
- Sun, S.-S. and McDonough, W. F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In Saunders, A. D. and Norry, M. J. (eds) Magmatism in the Ocean Basins. Geol. Soc. Spec. Pub., 42, 313-345.
- Takahashi, M. (1987) Solidification process of the Okueyama granitic complex, Kyushu, Southwest Japan. J. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sec. II, 21, 283-308.
- 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, 地震研究所技術報告, 8, 26-36.
- Taylor, S.R. and McLennan, S. M. (1985) The continental crust: its composition and evolution. Blackwell Science Pub., Boston, pp. 312,
- Togashi, S., Imai, N., Okuyama-Kusunose, Y., Tanaka, T., Okai, T., and Murata, Y. (2000) Young upper crustal chemical composition of the orogenic Japan Arc. Geochem. Geophys. Geosyst. 1, 2000 GC 000083.
- 宇都浩三・坂口圭一・寺岡易司・奥村公男・駒澤正夫 (1997) 20 万分の 1 地質図幅「鹿児島」。地質調査所。
- 山本英司・山本温彦・大庭昇 (1970) 鹿児島県薩摩半島花崗岩質岩類について。岩鉱, 64, 95-103.
- 山本温彦・山本英司・上中博之・大庭昇 (1969) 鹿児島県薩摩半島南西部, 野間半島および加世田一枕崎地域の地質。鹿児島大学理学部紀要,

2, 13-25.

山本温彦・大庭昇・富田克利 (1988) 鹿児島県紫尾山花崗閃緑岩体の岩相変化. 鹿児島大学理学部紀要, 21, 35-49.

山本温彦・根建心具 (1989) 鹿児島県紫尾山花崗閃緑岩体中のオートリスとゼノリス. 鹿児島大学理学部紀要, 22, 165-182.

山本温彦・山元泉太郎 (1995) 鹿児島県日置花崗岩体および関係花崗岩脈類. 鹿児島大学理学部紀要, 28, 143-152.

Yamamoto, M. and Yamamoto, S. (1999) Cumulus gabbro-diorite dikes associated with the Hioki granite stock, Kagoshima Prefecture, Japan. J. Japan Assoc. Min. Petr. Econ. Geol., 94, 37-45.

Appendix 分析試料の記載 (括弧内は採取地点の日本測地系 2000 にしたがった緯度, 経度, 標高である)

【野間岬酸性火成岩類】

*SA3A (31°24'44"N, 130°7'49", 5 m)

花こう閃緑斑岩. 斜長石を斑晶にもつ. 苦鉄質鉱物, 石基は変質している. 斜長石も多くは変質している.

*SA3B (採取地点は同上)

花こう閃緑斑岩. 石英, 斜長石を斑晶にもつ. 苦

鉄質鉱物, 石基は変質している. 斜長石も多くは変質している.

【金峰山岩体】

*SA7 (31°28'3"N, 130°22'27"E, 320 m)

中粒黒雲母花こう閃緑岩. 一部の黒雲母が緑泥石化している以外は新鮮である.

*SA8 (31°28'35"N, 130°22'3"E, 170 m)

中粒黒雲母花こう閃緑岩. 一部の黒雲母が緑泥石化している以外は新鮮である.

【田之尻岩体】

*SA9 (31°30'49"N, 130°25'23"E, 250 m, 沢の転石)

中粒黒雲母ホルンブレンド花こう閃緑岩. ホルンブレンドはすべて変質して緑泥石に変化している.

【赤仁田岩体】

*SA10 (31°31'16"N, 130°25'0"E, 190 m)

中粒黒雲母ホルンブレンド花こう閃緑岩. ホルンブレンドはすべて変質して緑泥石や方解石に置き換えられている. 黒雲母の多くも変質して緑泥石に変化している.

【日置 (向江山) 岩体】

*SA12 (31°36'38"N, 130°22'12"E, 100 m)

細粒斑状黒雲母斜方輝石普通輝石花こう閃緑岩. 斜長石, 石英を斑晶にもつ. 概ね新鮮である.

