

鹿児島県北西部，紫尾山花こう閃緑岩の 全岩化学組成

新正裕尚・角井朝昭

Whole rock composition of Shibisan Granodiorites, northwestern Kagoshima prefecture

Hironao SHINJOE and Tomoaki SUMII

Abstract

Whole rock major and trace element compositions analyzed by XRF and INAA are reported for granodiorite samples from Shibisan body, northwestern Kagoshima prefecture. Shibisan granodiorite body, one of the member of the Middle Miocene granitic rocks in the Outer Zone of southwest Japan, has been classified to I-type granite. Characteristics of whole rock composition of the Shibisan granodiorite are discussed in comparison with those of Outer Zone granitic rocks in Kyushu. Variations of the whole rock composition within the pluton are also described briefly.

はじめに

西南日本の海溝寄り地域には，日本海拡大と西南日本弧の時計回り回転と重複する時期に，短期間の火成活動（12～17 Ma; Kimura et al., 2005）で形成された火成岩類が広範囲に分布する。それらは，海溝から遠い側より，瀬戸内火山岩類（Morimoto et al., 1957; Shibata, 1962 など），外帯花こう岩類（あるいは外帯酸性岩; Shibata, 1962 など），および外縁帯の火成岩類（高橋，1986）に一般に区分される。外帯花こう岩類は西南日本外帯に広く分布し，九州についても南大隅，尾鈴山，大崩山など大規模なバソリスや，火山深成複合岩体の他に，より規模の小さな貫入岩体が多数見られる。そのような比較的小規模の貫入岩体の一つである，紫尾山花こう閃緑岩体は鹿児島県の北西部，出水平野の南東に位置する出水山地の主峰である紫尾山を中心に分布する。本岩体より採取した試料について蛍光X線分析および中性子放射化分析により全岩の主成分・微量元素組成を求めたので，結果を報告し，周辺の外

鹿児島県北西部，紫尾山花こう閃緑岩の全岩化学組成

帯花こう岩類の組成と比較する。

地質・試料の概略

紫尾山花こう閃緑岩は，鹿児島県出水市，薩摩郡さつま町，薩摩川内市にまたがり，白亜紀の四万十累層群を貫く南北約 11 km，東西幅最大約 4 km の滴型の形状をもつ岩体である (Fig. 1)。主岩体の北方の鋒立山山頂付近にも小露出がある (山本ほか，1988)。また，主岩

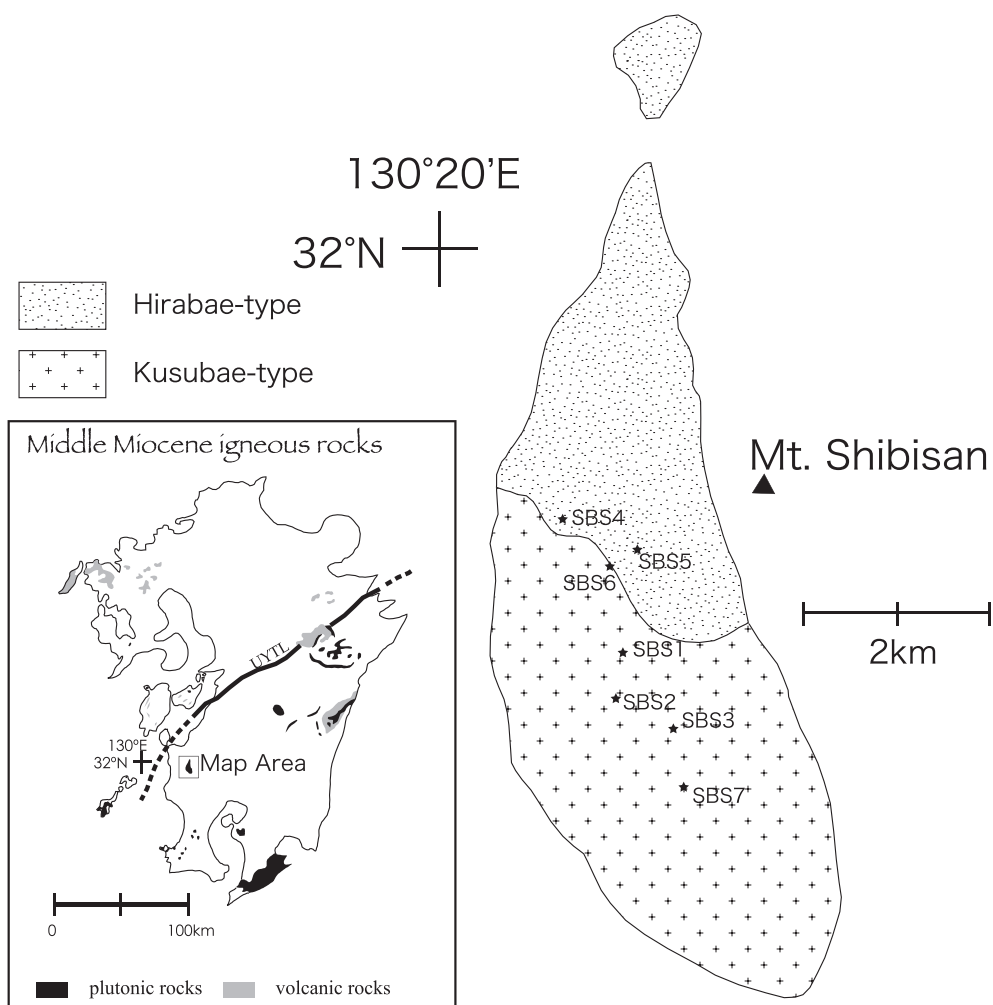


Figure 1 Sketch map showing sample localities and the distribution of the lithological classification of Shibisan granodiorite body (modified from Yamamoto et al. 1988). Index map of the distribution of middle Miocene igneous rocks in Kyushu (modified from Hamazaki et al., 1997) are shown in the box. UYTL, Usuki Yatsushiro Tectonic Line.

体西方の東郷町本俣藤ノ元間および堀切峠西方に花こう閃緑斑岩の小岩脈が報告されており、前者はN60°W、後者はN25°Wの走向を持つ(山本ほか, 1988)。さらに山本・牛島(1994)により多くの花こう閃緑斑岩～石英閃緑斑岩の岩脈の存在が示された。鉾立山の衛星岩体を貫くもののほか、野田町越地、東郷町榎段、野田・東郷町境および高尾野・東郷町境の紫尾林道沿い、宮之城町山田上、城下に産する。

主岩体の岩相については、大庭(1957, 1962)により岩体北部を構成する楠八重(くすばえ)型、南部を構成する平八重(ひらばえ)型に区分され、以後その岩相区分が踏襲されている(Fig. 1)。さらに山本ほか(1988)により、岩体内部の岩相変化について総括された。それによると、楠八重型は中粒普通角閃石黒雲母花こう閃緑岩～黒雲母花こう岩からなり、平八重型は中～細粒普通角閃石含有黒雲母花こう閃緑岩～黒雲母花こう閃緑岩からなる。両者とも副成分鉱物としては単斜輝石、ざくろ石、カミングトン閃石、アクチノ閃石、ジルコン、アパタイト、チタン鉄鉱、磁硫鉄鉱を含む。また本岩体の花こう閃緑岩にはカリ長石の巨斑晶がしばしば認められることが特徴とされ、楠八重・平八重両岩型の漸移部で最も多い(山本ほか, 1988)。

全岩の主成分元素組成は、大庭(1962)および山本ほか(1988)において報告されている。また岩体に含まれる暗色包有物については山本・根建(1989)により、主成分元素組成を含む詳細な記載が行われている。しかし、これまで微量元素組成までを含めた全岩化学組成の報告はない。

放射年代としては河野・植田(1966)により13.6 Ma、Miller et al.(1962)により 15 ± 4 Maの黒雲母K-Ar年代が、Miyachi(1985)により 12.7 ± 1.2 Maおよび 12.3 ± 1.0 Maのジルコンフィッシュョントラック年代が報告されている。このように報告された年代にはやや幅があるが、外帯花こう岩類の年代範囲(Sumii and Shinjoe, 2003)に含まれる。

外帯花こう岩類については、海溝に近い側にSタイプ、遠い側にIタイプ花こう岩が出現するという帯状分布を示すことが提案されており、紫尾山岩体については一般にIタイプ花こう岩に含められている(中田・高橋, 1979など)。上記のようにホルンブレンドを含む花こう閃緑岩という主岩相は記載岩石学的にIタイプ花こう岩としての特徴を持つと言えるが、一方、パーアルミナスな鉱物であるざくろ石をしばしば含むという点が、他の外帯花こう岩類のIタイプ花こう岩と異なる特徴である。

Figure 1に山本ほか(1988)にもとづく岩相区分と試料採取位置を示した。7地点から10試料を採取した。試料採取位置の緯度・経度をTable 1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、鉄乳鉢およびメノウ自動乳鉢で細粉化して分析用

Table 1 Localities of analyzed samples.

sample code	Latitude	Longitude
SBS1	31° 57'52"N	130° 21'06"E
SBS2	31° 57'32"N	130° 21'08"E
SBS3	31° 57'22"N	130° 21'25"E
SBS4	31° 58'36"N	130° 20'40"E
SBS5	31° 58'31"N	130° 21'15"E
SBS6	31° 58'23"N	130° 21'04"E
SBS7	31° 57'09"N	130° 21'28"E

試料とした。10 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 PW2400) 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。分析方法は谷ほか (2002) に従った。そのうち 6 試料を選び中性子放射化分析により希土類元素およびいくつかの微量元素 (U, Ta, Hf, Cs, Sb, As) の組成を求めた。試料の照射は日本原子力研究開発機構原子力科学研究所の JRR-3 および JRR-4 原子炉で行い、1 週間および 1 カ月冷却

後に γ 線の計測を行なった。産業技術総合研究所地質調査総合センターの岩石標準試料 JB-1, JR-2 を同時に照射し、それらを標準とした比較法で定量を行なった。 γ 線計測は東京大学大学院工学系研究科原子力専攻・共同利用管理本部 (大学開放研究室) において行なった。これらの分析を通じて主成分元素および 29 の微量元素について定量値を得た。

結果と考察

蛍光 X 線分析および中性子放射化分析の結果を Table 2 に示す。10 試料の SiO_2 量は 67.4 ~ 68.9 wt.% (全鉄を FeO に、total を 100% に換算した値) ときわめて狭い範囲にある。

主成分元素についてのハーカー図を Figure 2 に示した。比較のため紫尾山岩体について過去に報告された分析値 (大庭, 1962; 山本ほか, 1988) および、九州の外帯花こう岩類の既報分析値 (新正・角井, 2003) をあわせてプロットした。紫尾山花こう閃緑岩は九州外帯花こう岩の I タイプ花こう岩の組成範囲内にほぼプロットされる。先に述べたように SiO_2 量の範囲が狭く全体的に組成範囲は狭いが、九州の外帯花こう岩類が全体として示すトレンド同様に、 SiO_2 量に対して、 TiO_2 , Al_2O_3 , FeO^* (全鉄を FeO に換算), MnO , MgO , CaO 量は減少する傾向にある。また、1.5 wt.% 程度の SiO_2 量の変動範囲において、 K_2O 量が 1 wt.% 程度も変動することが特徴的である。Figure 3 に K_2O に対する FeO^* および Ba のプロットを示した。 K_2O の増加に対して、 FeO^* は減少し、Ba は増加する傾向が見られる。従って、この K_2O の分散はカリ長石の含有量の変化によるものとみられる。先述したように紫尾山花こう閃緑岩にはカリ長石の巨斑晶がしばしば見られ、分析した試料について、そのモードの不均質があった可能性が考えられる。Figure 4 に SiO_2 量に対する FeO^*/CaO 比を示した。中田・高橋 (1979) は外帯花こう岩類の FeO^*/CaO 比は、より海溝に近い S タイプ花こう岩の分布域で高く、海溝から遠い I タイプ花こう岩の分布域で低い傾向があることを示し、紫尾山岩体は I タイプ花こう岩の分布域にありながら例外的に FeO^*/CaO 比が高いと述べている。Figure 4 において、同一の SiO_2 量で見ると、紫尾山花こう閃緑岩の $\text{FeO}^*/$

Table 2 Major and trace element compositions of the Shibisangranodiorites.

Sample code	SBS1A	SBS1B	SBS2A	SBS2B	SBS2C	SBS3	SBS4	SBS5	SBS6	SBS7
(wt.%)										
SiO ₂	68.80	67.36	67.54	67.82	68.80	68.15	68.42	67.23	67.56	67.67
TiO ₂	0.65	0.75	0.61	0.59	0.60	0.61	0.56	0.71	0.70	0.71
Al ₂ O ₃	15.09	15.45	15.33	15.32	14.75	15.11	15.49	15.40	15.14	15.42
*Fe ₂ O ₃	4.70	5.59	4.41	4.33	4.30	4.28	4.11	5.39	5.37	5.11
MnO	0.08	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.08	0.10	0.10	0.09
MgO	1.21	1.42	1.17	1.14	1.13	1.11	1.01	1.36	1.38	1.30
CaO	2.38	2.58	2.88	2.89	2.71	2.96	2.36	2.76	2.77	2.71
Na ₂ O	3.05	3.05	3.29	3.34	3.09	3.26	3.22	3.07	3.04	3.19
K ₂ O	4.22	4.00	4.79	4.70	4.74	4.36	4.98	4.06	3.97	4.05
P ₂ O ₅	0.20	0.22	0.18	0.17	0.17	0.18	0.18	0.23	0.23	0.24
Total	100.37	100.52	100.27	100.39	100.39	100.08	100.40	100.29	100.26	100.48
(ppm)										
Sc	9.2	11.1	8.4	9.1	9.5	9.1	9.4	11.5	9.9	9.8
V	54	64	49	50	46	47	45	58	57	54
Cr	18.0	20.8	7.8	8.9	8.1	8.6	8.6	20.3	20.0	14.6
Co	8.4	9.7	6.6	7.4	8.0	7.7	7.7	9.6	10.1	8.6
Ni	10.2	9.7	4.7	4.8	3.9	4.8	5.2	9.1	11.8	9.3
Zn	64	69	56	56	54	52	52	74	70	65
Ga	18.8	20.6	18.2	18.0	17.6	18.5	17.8	20.1	19.4	19.3
Rb	193	188	205	208	206	197	196	177	174	192
Sr	207	218	237	234	213	221	242	230	221	223
Y	30.5	31.6	29.2	29.5	26.7	29.2	29.4	30.8	29.7	29.9
Zr	216	243	226	226	198	231	190	222	225	229
Nb	42.5	46.0	42.4	42.4	43.0	42.4	37.7	43.8	43.6	45.1
Ba	714	668	1127	969	707	602	1276	769	735	704
Pb	26.1	25.1	17.5	18.3	19.1	17.4	18.5	21.0	23.8	23.8
Th	19.6	19.0	19.2	22.5	15.0	22.5	19.0	18.0	18.9	19.3
U	1.98		2.94				4.24	3.60	4.69	2.50
Ta	3.34		3.39				3.79	3.46	3.29	2.99
Hf	5.76		5.52				4.80	5.97	5.60	5.32
Cs	7.68		8.28				8.67	10.04	8.77	8.24
Sb	0.36		0.60				0.77	0.46	0.41	0.29
As	3.84		5.47				3.82	9.44	n.d.	2.05
La	54.4		56.0				48.5	55.9	48.0	50.9
Ce	98.5		91.2				81.1	102.5	101.2	89.6
Nd	37.2		30.8				28.4	40.7	39.0	38.1
Sm	6.22		5.98				5.49	7.12	6.64	6.41
Eu	1.24		1.20				1.29	1.41	1.31	1.16
Tb	1.05		0.97				0.92	1.13	1.06	0.90
Yb	2.76		2.82				2.67	3.30	2.38	2.87
Lu	0.40		0.48				0.46	0.54	0.46	0.46

* total Fe as Fe₂O₃

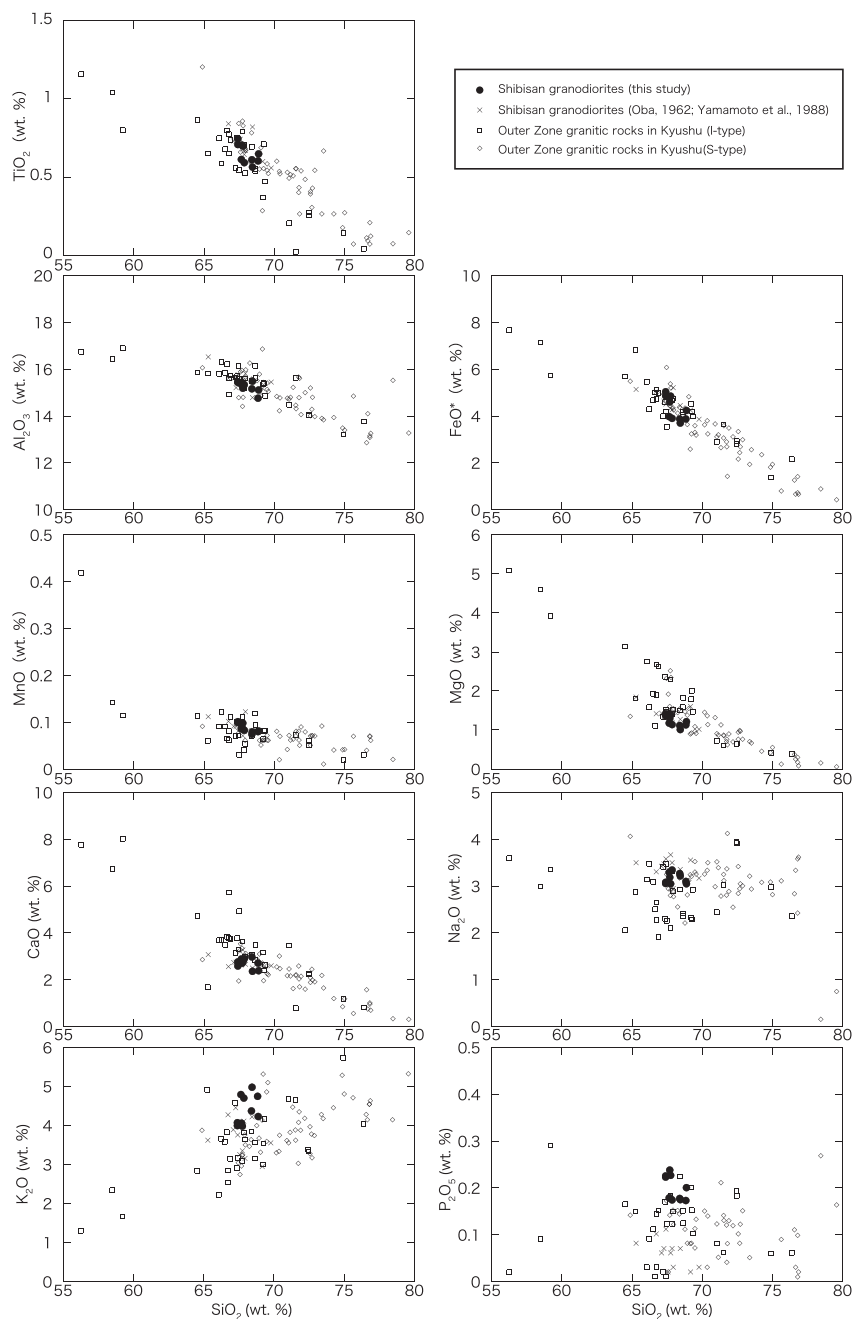


Figure 2 Harker variation diagrams for the major element compositions of the granodiorites in the Shibisan body. Previously reported data of Shibisan body (Oba, 1962; Yamamoto et al., 1988) and those of Outer Zone granitic rocks in Kyushu compiled by Shinjoe and Sumii (2003) are also plotted for comparison. FeO*, total Fe as FeO.

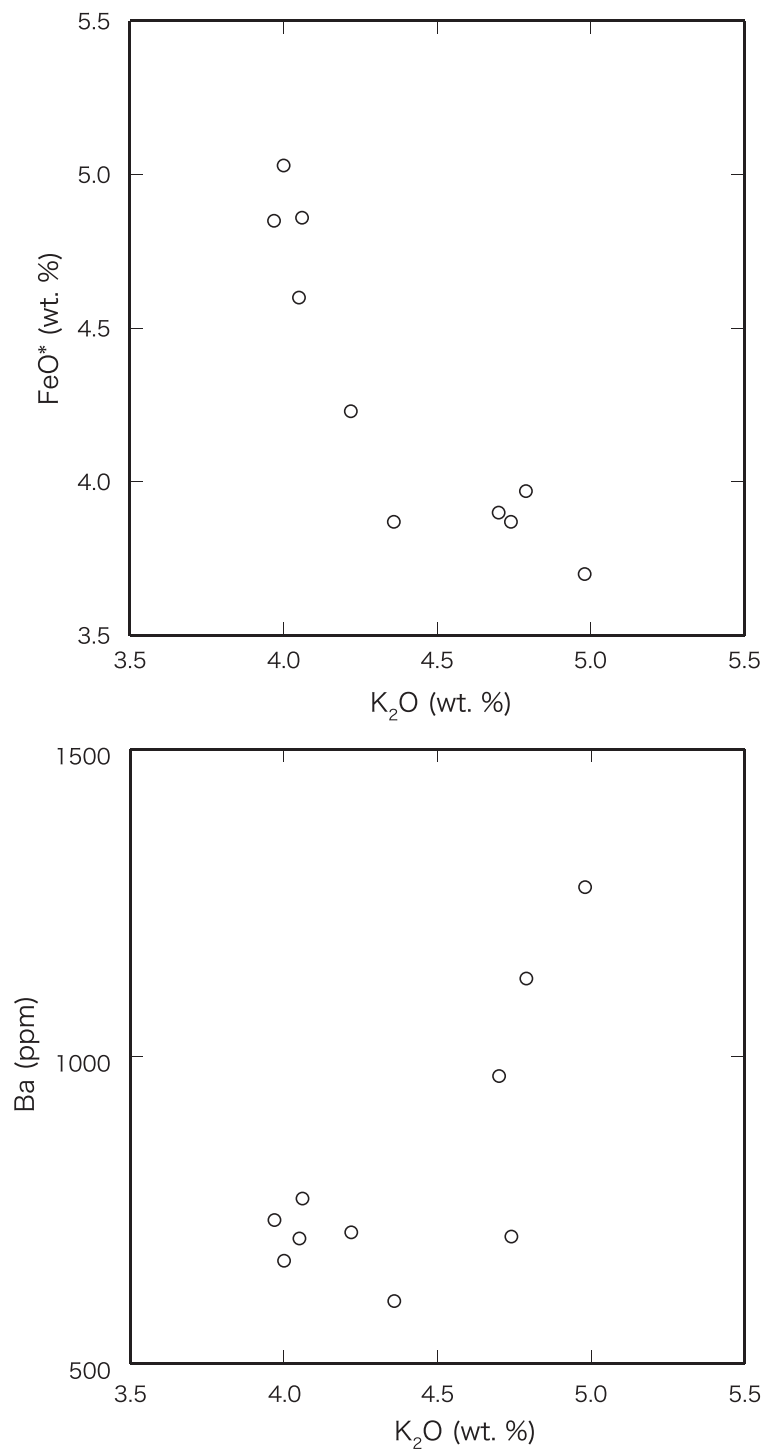


Figure 3 Plots of (a) K₂O versus FeO*/CaO, (b) K₂O versus Ba of the Shibisan granodiorites.

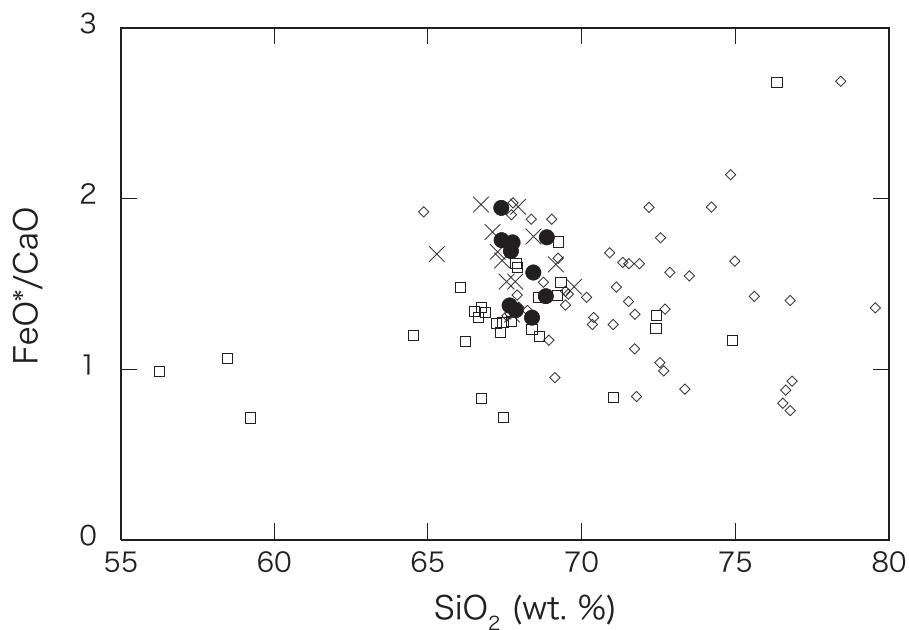


Figure 4 Plot of SiO_2 versus FeO^*/CaO ratio of the Shibisan granodiorites. Symbols are the same as those in Figure 2.

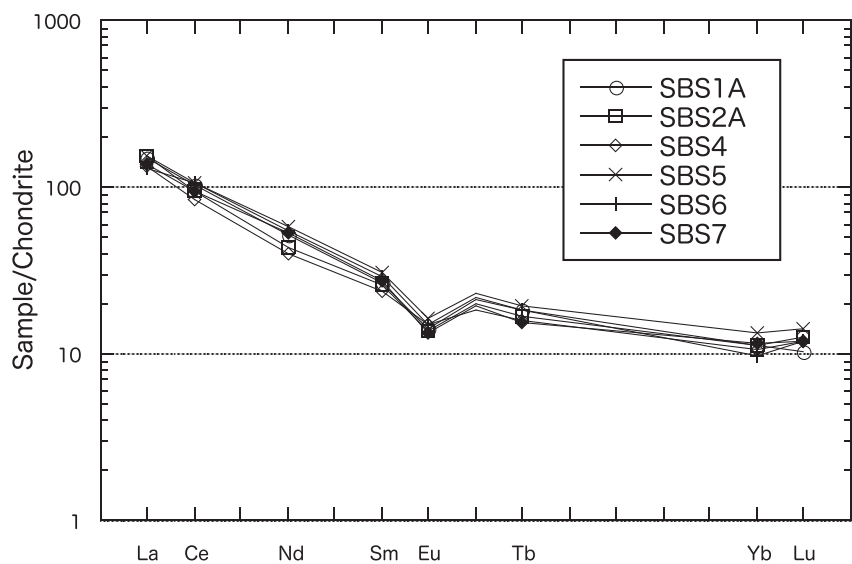


Figure 5 Plots of rare earth elements of the Shibisan granodiorites normalized to C1 chondrite composition.

CaO 比は S タイプ花こう岩のそれと重複する、やや高い範囲のものが多いが、比は 1.3~1.9 とかなり分散し、低いものは I タイプ花こう岩のそれと重複する。

コンドライトで規格化した希土類元素パターンを Figure 5 に示す。軽希土類元素に富み、コンドライトの 10~20 倍程度のフラットな重希土類元素パターンを示し、負の Eu 異常を持つ。これらの特徴は、たとえば紀伊半島の外帯花こう岩類について報告されているもの（新正ほか、2007）と同様である。

これまで述べたように、紫尾山花こう閃緑岩の全岩化学組成は、外帯花こう岩類の中で特異なものではなく、他地域に分布するものと、マグマ成因において共通性があるものであろう。なお、先述したように、従来報告されている放射年代は、やや分散が大きく他地域の外帯花こう岩類との同時性を議論するためには、今後、より精度の高い年代測定を行なう必要がある。

謝 辞

中性子放射化分析については東京大学大学院工学系研究科原子力専攻・共同利用管理本部の原子力機構共同利用研究制度の援助を受けた。試料の照射およびガンマ線測定において大学開放研究室の澤幡浩之氏、川手稔氏よりご助力を頂いた。蛍光 X 線分析については東京大学地震研究所の共同研究プログラムからの援助を受けた。分析の際に地震研究所の折橋裕二博士よりご助力をいただいた。研究の取りまとめに関して、2010 年度東京経済大学個人研究助成費（研究番号 10-14）からの援助を受けた。ここに記して感謝の意を表したい。

引用文献

- 浜崎聡志（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.
- Kimura, J., Stern, R. J., and Yoshida, T. (2005) Reinitiation of subduction and magmatic responses in SW Japan during Neogene time. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 117, 969-986.
- 河野義礼・植田良夫（1966）本邦産火成岩の K-A dating (V)。岩鉱, 56, 191-211.
- Miller, J. A., Shibata, K. and Kawachi, Y. (1962) Potassium-Argon ages of granitic rocks from the Outer Zone of Kyushu, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 13, 712-714.
- Miyachi, M. (1985) Fission track ages of some granitic rocks in the Outer Zone of Kyushu, Japan. *J. Japan Assoc. Min. Petr. Econ. Geol.*, 80, 406-409.
- Morimoto R., Huzita K., and Kasama T. (1957) Cenozoic Volcanism in Southwestern Japan with special reference to the history of the Setouchi (Inland Sea) Geologic Province. *Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ.*, 35, 35-45.
- 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.
- 大庭 昇（1957）鹿児島県北西部の紫尾山花崗閃緑岩および捕獲岩類。鹿児島大理科報告, 6, 83-

鹿児島県北西部，紫尾山花こう閃緑岩の全岩化学組成

98.

大庭 昇（1962）紫尾山および下甕島花崗閃緑岩における汚染影響. 地質雑, 68, 190-199.

Shibata H. (1962) Chemical composition of Japanese granitic rocks in regard to petrographic provinces: Part X, petrographic provinces of Japan. Sci. Rep. Tokyo Univ. Education, Ser. C, 8, 33-47.

新正裕尚・角井朝昭（2003）西南日本前弧の中期中新世火成岩体カタログ：その3九州地方. 東京経済大学人文自然科学論集, 115, 31-71.

新正裕尚・折橋裕二・和田穰隆・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. 地質雑, 113, 310-325.

Sumii, T. and Shinjoe, H. (2003): K-Ar ages of the Ohmine Granitic Rocks, Southwest Japan. Island Arc, 12, 335-347.

高橋正樹（1986）日本海拡大前後の特異な島弧マグマ活動. 科学, 56, 103-111.

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.

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・牛島 明（1994）鹿児島県北薩地域の花崗岩質岩脈類, 鹿児島大学理学部紀要, 27, 91-99.