高知県足摺岬産第三紀火成岩類の微量元素

Trace elements in the Tertiary igneous rocks from Cape
of Ashizuri, Kôchi Prefecture, Southwest Japan

村 上 允 英 (Nobuhide Murakami)*

増 田 康 之 (Yasuyuki Masuda)**

Thirteen trace elements, Co, Sc, Ba, Th, Rb, Cs, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb and Lu in the Tertiary igneous rocks from Cape of Ashizuri, Southwest Japan, were analyzed by the instrumental neutron activation technique and in part by X-ray fluorescence method. The obtained data exhibit a relatively good correspondence to those in the A-type granites after Loiselle and Wones (1979) and those from NE Australia (Collins *et al.*, 1982), excluding some small differences. This confirms the previous results obtained on the major element geochemistry and also on the petrographic characters. The chondrite-normalized REE patterns of the rocks investigated show a marked enrichment in the light and middle rare earth elements in comparison with those on the granitic rocks from Chugoku area, Southwest Japan (Masuda *et al.*, 1974). One of the investigated specimen, syenite porphyry, has a high enhancement also in the heavy rare earth elements. This seems to be due to the late crystallizing amphibole and other minerals from the liquids enriched in volatiles as discussed by Bowden and Whitney (1974). Distinct negative Eu anomaly which tends to become small with increase of quartz, is recognized in the most of the investigated rocks with the exception of gabbro, alkali dolerite and one specimen of syenitic rocks. This Eu-depletion is interpreted to be related to the fractionation of feldspars during magmatic differentiation or formation of magma (partial melting) from source rock. Some considerations on the cause of absence and very small magnitude of Eu-depletion are also described.

I. はじめに

高知県足摺岬産第三紀火成岩類が西南日本外帯産火成岩類としては特異な A-type granites に類似していることは村上ら (1983) により指摘された。それは全岩の主要化学成分・フッ素含有量、含有鉱物の産状などにより総合的に判断されたものである。しかし、A-type granites の化学的特徴に、主成分のほか、稀土類・微量元素のあげられることが Loiselle and Wones (1979), Collins *et al.* (1982) などにより指摘されている。例えば Loiselle and Wones (1979) は A-type granitoids は有色珪酸塩鉱物に compatible な Co・Sc・Cr・Ni や長石類に compatible な Ba・Sr・Eu などに乏しく、これらに incompatible な REE (Eu を除く)・Zr・Nb・Ta などに富むと記している。

このたび共著者の 1 人増田により足摺岬産 14 個の

火成岩について、Co・Sc・Ba・Th・Rb・Cs・La・Ce・Sm・Eu・Tb・Yb・Lu の 13 の微量元素の定量が行なわれた。その結果、足摺岬産火成岩類がこれらの元素についても日本の他地域の花崗岩類と大きな差異のあることが明らかとなったので報告する。

II. 微量成分

上記のとおり、Th・Co・Sc・Ba・Rb・Cs の 6 元素と稀土類 7 元素について定量が行なわれた。分析は Rb のみはエネルギー分散型蛍光 X 線分析法で、その他の元素の分析は非破壊放射化分析法によった。その詳細は Masuda *et al.* (1974)・増田ら (1983) に述べられている。全岩分析値・モード分析値を Table 1, 微量成分分析値を Table 2 に示す。以下各元素について検討結果を簡単に記す。

1. トリウム (Th)

* 山口大学教養部地学教室

** 前大阪府立大学総合科学部地学教室

Table 1. Major element and modal analyses

No.	M-001	B-005	511-07	312-17	501-02	C-006	306-01	318-23	C-011	D-020	A-005	H-002	D-001	D-007
SiO ₂	50.35	52.50	63.85	64.02	65.08	63.90	71.02	75.51	64.02	68.98	72.11	75.45	48.80	70.88
TiO ₂	1.24	1.67	0.13	0.22	0.49	0.70	0.18	0.00	0.59	0.70	0.28	0.23	1.63	0.33
Al ₂ O ₃	15.46	14.57	16.29	15.67	15.79	16.64	14.48	12.34	16.51	14.69	13.77	12.51	15.89	11.85
Fe ₂ O ₃	2.15	2.73	1.96	2.36	0.91	0.42	0.99	0.84	0.82	0.20	0.14	0.80	3.40	1.98
FeO	7.58	6.21	3.48	2.75	2.77	2.71	1.24	0.61	3.12	2.13	1.93	0.90	6.48	1.62
MnO	0.17	0.19	0.13	0.05	0.09	0.14	0.05	0.02	0.13	0.08	0.06	0.01	0.24	0.23
MgO	5.18	3.77	0.26	0.13	0.31	0.18	0.17	0.34	0.28	0.30	0.41	0.12	5.98	0.14
CaO	9.89	7.05	1.63	1.31	1.52	1.84	0.80	0.34	2.60	2.10	1.06	1.12	7.18	0.55
Na ₂ O	4.38	5.05	5.77	5.70	5.36	5.95	5.63	4.46	6.13	5.02	4.12	3.05	2.83	6.75
K ₂ O	2.41	3.91	5.67	5.72	5.73	5.66	4.65	4.32	5.30	5.45	5.51	5.02	3.37	5.12
P ₂ O ₅	0.14	0.18	0.05	0.05	0.41	0.02	0.01	0.01	0.09	0.04	0.06	0.05	0.34	0.11
H ₂ O(+)	1.27	1.52	0.91	1.44	1.39	1.02	0.61	0.43	0.84	0.56	0.48	0.11	3.42	0.41
H ₂ O(-)	0.33	0.35	0.42	0.45	0.19	0.51	0.12	0.18	0.20	0.12	0.09	0.08	0.62	0.06
T.	100.55	99.70	100.55	99.87	100.04	99.69	99.95	99.40	100.63	100.37	100.02	99.45	100.18	100.03
Olivine				1.2										
Clinopyr.	24.4	7.9	6.6	8.5	2.4									
Hornbl.	2.1	30.1	1.4	4.2	3.4	7.2	0.1		7.2	3.4	0.2			
Biotite	22.2	2.7	4.0	1.8	2.3	2.6	4.9	2.7	2.6	4.5	3.5	5.7	n.d.	n.d.
Plagio.	46.9	45.4	3.8	3.7	8.4	11.3	1.2	1.9	11.3	19.7	20.4	20.2		
K-fel.		11.1	76.2	70.5	72.0	76.9	72.1	67.0	76.9	48.0	47.3	33.2		
Quartz		0.6	6.4	7.6	11.0	1.3	20.6	28.3	1.3	23.6	28.0	40.2		
Others	1.7	2.2	1.6	2.6	0.6	0.7	1.0	0.1	0.7	0.8	0.6	0.7		

M-001-B-005: Gabbro. 511-07 — 501-02: Melanocratic syenite. C-006: Syenite.
 306-01-318-23: Alkali granite. C-011-D-020: Coarse-grained syenitic rock.
 A-005-H-002: Coarse-grained granite. D-001: Alkali dolerite. D-007: Syenite porphyry.

Analyst: N. Murakami

Table 2. Trace element analyses

No.	M-001	B-005	511-07	312-17	501-02	C-006	306-01	318-23	D-020	C-011	A-005	H-002	D-001	D-007
Co	33.2	27.5	2.4	3.0	2.5	—	2.9	1.7	2.6	1.5	3.3	1.7	30.5	—
Sc	27.2	24.8	3.4	3.7	2.0	3.3	0.51	0.36	5.4	4.9	3.7	1.7	22.1	0.4
Ba	1210	870	160	220	790	1410	160	40	610	1990	470	390	870	—
Th	18.1	14.1	19.3	30.7	75.3	29.8	63.0	93.5	32.2	14.6	33.5	46.6	6.1	79.3
Rb	90	130	189	175	125	245	270	676	176	162	188	250	188	304
Cs	1.7	1.8	4.3	3.8	2.2	3.3	4.2	26.9	2.2	3.9	3.4	5.5	2.1	0.5
La	55.9	44.6	104	103	243	69.5	150	22.4	93.9	28.6	73.6	64.8	33.0	178
Ce	112	102	160	159	351	144	232	49.2	197	66	128	117	67	308
Sm	8.7	8.6	9.6	9.7	13.4	10.5	10.9	6.5	13.3	6.3	7.7	6.6	6.4	21
Eu	2.6	1.9	1.06	1.24	1.98	2.2	0.39	0.093	0.92	2.2	0.85	0.56	1.8	0.53
Tb	1.3	1.4	1.3	1.2	1.1	1.5	1.1	n.d.	2.2	1.1	1.0	0.6	1.0	4.2
Yb	3.5	4.4	3.1	4.3	3.1	6.6	3.5	n.d.	5.9	3.4	4.4	2.7	4.1	15.1
Lu	0.41	0.74	0.86	1.17	0.80	1.0	0.88	n.d.	0.87	0.60	0.74	0.55	0.52	2.25

Data in ppm. —: negligible. n.d.: not determined.

Analyst: Y. Masuda

Numbers correspond to those in Table 1.

6.1~93.5 ppm の広い範囲の含有量を示す。村上ら (1983) の区分による V 期火成岩中のアルカリドレイトが最低で、II 期中のアルカリ花崗岩が最高である。全体としてみると、I 期の斑れい岩ではやや低い。II 期では優黒質閃長岩では低い値を示すが、石英閃長岩、アルカリ花崗岩と分化の進むにつれて Th 含有量は増加

する。III 期では低~中、IV 期では中で、V 期では上記のようにアルカリドレイトは低い、閃長斑岩は逆に高い値を示す。これらの値は石原ら (1969) により求められた足摺岬産 7 個の分析値と大差がない。石原ら (1969) は足摺岬産火成岩中の Th と U が西南日本外帯の他地域産花崗岩類ばかりでなく、日本の諸地域

Fig. 1. Relation between SiO_2 (wt. %) and Th (ppm) contents.

1, Gabbro (Stage I); 2, Melanocratic syenite (Stage II); 3, Quartz syenite (Stage II); 4, Alkali granite (Stage II); 5, Coarse-grained syenitic rock and rapakivi granite (Stage III); 6, Coarse-grained biotite granite (Stage IV); 7, Alkali dolerite and syenite porphyry (Stage V); 8, A-type granites from southeastern Australia (Collins *et al.*, 1982); 9, Late Mesozoic to Palaeogene granites from Chugoku district (Masuda *et al.*, 1983). Dashed line represents the approximate range of the granites after Masuda *et al.*, (1983).

の花崗岩類に比べて全般的に高い値を示すことを指摘している。Fig. 1 は足摺岬産火成岩類の SiO_2 と Th 量との関係を示す図で、 SiO_2 の増加に伴って Th の増加することを示している。この図には中国地方の白亜紀-古第三紀花崗岩類 (増田ら, 1983) と Collins *et al.* (1982) による東南オーストラリア産 A-type granites の Th 量を併せ示している。図より明らかなように、足摺岬産火成岩類は全体として中国地方の花崗岩類よりも高く、さらに東南オーストラリア産 A-type granites よりも高い Th 量を有している。

2. コバルト (Co)

Co 量は中国地方の白亜紀-古第三紀花崗岩類の値より高い斑れい岩・アルカリドレライトと、それより低いその他の岩類として 2 分され、両者の中間値を示すものは認められない (Fig. 2)。前者は 28~33 ppm で、JB-1 の値 (38.0 ppm) に近い。一方、後者は negligible~3 ppm で岩類による大差は認められない。後者は東南オーストラリア産 A-type granites の値に類似していることが強調される。

3. スカンジウム (Sc)

Sc 含有量は 0.4~27 ppm の広い範囲の値を示す。Fig. 3 に示すとおり、JB-1 の値 (27.4 ppm) に近い値を示す斑れい岩・アルカリドレライト、<1 ppm のきわめて低い値を示すアルカリ花崗岩・閃長斑岩、2~5 ppm の中間的値を示すその他の岩類に 3 分される。中間的値は大部分の中国地方産花崗岩類の値に類似している。

4. バリウム (Ba)

Ba 含有量は negligible (閃長斑岩) から 1990 ppm (粗粒閃長岩質岩) の広い範囲を示す。II 期の優黒質閃長岩の一部とアルカリ花崗岩・閃長斑岩を除き、他の火成岩類は中国地方産花崗岩類と同程度かそれより高い Ba 値を有する (Fig. 4)。東南オーストラリア産 A-type granites の Ba 値も後者に類似している。

5. ルビジウム (Rb)

Rb 量は 90~676 ppm の広い範囲の値を示す。斑れい岩において最も低く、アルカリ花崗岩・閃長斑岩において最も高い。Fig. 5 に示すように、これらの高い

Fig. 2. Relation between Th and Co contents.
Data of JG-1 and JB-1 are also shown for
comparison. Symbols are the same as in
Fig. 1.

Fig. 3. Relation between Th and Sc contents.
Symbols are the same as in Fig. 1.

Rb 値は中国地方産花崗岩類の Rb 値よりやや高く、アルカリ花崗岩・閃長斑岩以外の岩類の Rb 値は中国地方産花崗岩類のうち高い値のものに類似している。東南オーストラリア産 A-type granites の Rb 値も足摺岬産火成岩類の Rb 値に類似している。

Fig. 4. Relation between Th and Ba contents.
Symbols are the same as in Fig. 1.

Fig. 5. Relation between Th and Rb contents.
Symbols are the same as in Fig. 1.

なお、深成岩類の K と Rb との関係は Fig. 6 に示すとおりで、V 期の火成岩類については Shaw (1968) による通常の火成岩にみられる進化経路、すなわち進化に伴う Rb の増加・K/Rb の多少の減少を示しているように思われるが、II 期の火成岩については進化経路はこれと大きな角度で斜交する傾向を示しており、Bowden and Turner (1974) による peralkaline rock の傾向に似ている。今後測定数を増してこの傾向を確認する必要がある。

6. セシウム (Cs)

Fig. 6. Relation between Rb and K contents.
K/Rb ratios are shown as straight lines. Dashed line represents the main trend of K/Rb fractionation in average magmatic rocks after Shaw (1968). Symbols are the same as in Fig. 1.

Fig. 7. Relation between Th and Cs contents.
Symbols are the same as in Fig. 1.

Fig. 8. Relation between Th and La contents.
Symbols are the same as in Fig. 1.

Cs 含有量は最も低い閃長斑岩 (0.5 ppm) と最も高いアルカリ花崗岩の一部 (26.9 ppm) を除いて、他は中国地方産花崗岩類と類似の値を示す (Fig. 7)。東南オーストラリアの A-type granites はこれらよりやや高い Cs 値を有する。

7. 軽稀土類元素 (LREE: La・Ce)

La 量は 22.4 ppm (アルカリ花崗岩) から 243 ppm (優黒質閃長岩) の範囲を示す。斑れい岩・アルカリドレライトでは全体として値が低い、その他の岩類ではステージ、岩型による差は明瞭でない。中国地方産花崗岩類と比較すると 3 個を除いて、他はいずれも高く、ほぼ 2~10 倍の量を示す (Fig. 8)。東南オーストラリア産 A-type granites の値も全般に高く、足摺岬産火成岩類の値に類似している。

Ce 量は 49~351 ppm の範囲で、49 ppm の値 (アルカリ花崗岩) を除き、他はいずれも中国地方産花崗岩類により高い値を示す。最高値は後者の約 7 倍に達している (Fig. 9)。東南オーストラリア産 A-type granites の値も同様に高い。

8. 中稀土類元素 (MREE: Sm・Eu・Tb)

Sm 量は 6.3~21 ppm の範囲で、最高値は閃長斑岩である。中国地方産花崗岩類と比較すると全般的にこれらの値 (大部分 < 6 ppm) より高く 2~5 倍に達する (Fig. 10)。東南オーストラリアの A-type granites もこれに類似した値を有する。

Eu 量は 0.1~2.6 ppm の範囲の値を示すが、大部分の岩石の値は 0.5~2.5 ppm の範囲内にある。中国地方産花崗岩類の大部分が 0.2~1 ppm の値を示すので、足

Fig. 9. Relation between Th and Ce contents. Symbols are the same as in Fig. 1.

Fig. 10. Relation between Th and Sm contents. Symbols are the same as in Fig. 1.

Fig. 11. Relation between Th and Eu contents. Symbols are the same as in Fig. 1.

摺岬火成岩類中の Eu は全体として前者中の Eu より高い傾向を示すといえる (Fig. 11)。東南オーストラリア産 A-type granites の Eu 値も足摺岬産火成岩類の Eu 値に似て比較的高い値を示す。

閃長斑岩中の Tb 量は 4.2 ppm と著しく高いが、その他の岩類の Tb 量は 0.6~2.2 ppm と狭い範囲を有している。中国地方産花崗岩類の Tb 量が大部分 0.4~1.2 ppm の範囲内にあるので、足摺岬の火成岩類の Tb は前者中の Tb より全体として高いことになる。この傾向は Fig. 12 に明らかに示されている。東南オーストラリア産 A-type granites では Tb の記載が行われていない。

Fig. 12. Relation between Th and Tb contents.
Symbols are the same as in Fig. 1.

Fig. 13. Relation between Th and Yb contents.
Symbols are the same as in Fig. 1.

9. 重稀土類元素 (HREE: Yb・Lu)

Fig. 13 に示すように、足摺岬産火成岩類中の Yb 量は 2.7~15.1 ppm である。従って、最高値の閃長斑岩を除けば、他は 2.7~6.6 ppm の範囲で、中国地方産花崗岩類の Yb 値の範囲 (0.8~10 ppm) 内に入る。しかし、後者の Yb 値には 2.7 ppm 以下のものもかなり含まれているので、全体として足摺岬産火成岩類の Yb 値は中国地方産花崗岩類中に比較的高い値に対比されることになる。東南オーストラリア産 A-type granites は足摺岬産火成岩類よりやや高い Yb 値を示す (Fig. 13)。

Fig. 14. Relation between Th and Lu contents.
Symbols are the same as in Fig. 1.

Lu 量は閃長斑岩 (2.25 ppm) を除き、0.41~1.17 ppm の範囲内にあり、中国地方産花崗岩類中の Lu 量と大差がない。東南オーストラリア産 A-type granites の Lu 量は上記諸岩類の Lu 量のうち比較的高い値のものに対比される (Fig. 14)。

III. Chondrite 標準化された REE 値の変化パターン

稀土類元素の全岩/chondrite 比の変化パターンを Figs. 15・16 に示す。図に明らかなようにパターンはすべて LREE が高く、HREE が低い右下りの傾向を示す。

全体としてパターンの特徴をまとめると次のとおりである。

(1) 中国地方の花崗岩類と比べると、一部 (アルカリドレライト、粗粒閃長岩質岩、アルカリ花崗岩のうち 1 試料) を除き LREE に富み、また、ほとんどのものが MREE にもやや富む。しかし、閃長斑岩を除き HREE には両者間には大きい差は認められない。

(2) 閃長斑岩は LREE ばかりでなく、MREE・HREE にも著しく富む。

(3) 斑れい岩・アルカリドレライトは粗粒閃長岩質岩による熱変成のため角閃石・黒雲母・カリ長石を多く生じているため一試料 (B-005) を除き一様に濃縮されたスムーズな曲線を示し、Eu アノマリーはほとんど認められない。

(4) 粗粒閃長岩質岩には Eu アノマリーのほとんど認められないもの (C-011) が存在する。

(5) その他の岩石には Eu の負のアノマリーが存在する。全体として石英量の多い岩石においてアノマ

Fig. 15. Chondrite-normalized REE patterns in the rocks of Stages I and II. Stippled area represents the late Mesozoic to Palaeogene granites from Chugoku district after Masuda *et al.* (1983). Numbers correspond to those in Table 1.

リーが顕著で、石英の少ない優黒質閃長岩・石英閃長岩ではアノマリーが小さい。

IV. 討論と結論

上に述べたように、足摺岬産火成岩類は一般の花崗岩類、とくに西南日本内帯の花崗岩類に比べて Th・U・Rb・LREE・MREE に富み、Co (斑れい岩・アルカリドレライトを除く) に乏しい傾向を示す。Sc・Ba・Cs・HREE には大差のない値を示すものが多い。これを Loiselle and Wones (1979) による A-type granites と比べると、Eu に富み、Sc・Ba 値がそれ程低くなく、HREE があまり高くないなど多少の不一致点はあるが、全体として両者は類似した微量成分を有しているといえる。また、Collins *et al.* (1982) による東南オー

ストラリアの A-type granites と比較すると、Sc・Sm・Yb・Lu にやや乏しい点を除けば他の元素は両者類似した値を示す。Imeokparia (1982) による Nigeria の Younger granite (A-type) の微量成分もこれに類似している。これらのことから足摺岬産火成岩類は主化学成分ばかりでなく微量成分においても A-type granites に類似しているということができよう。

次に REE 値の変化パターンについて検討すると、LREE に著しく富むのはアルカリ岩系の岩石の特徴 (Koljonen and Rosenberg, 1974; Bowden and Turner, 1974) とされている。足摺岬産花崗岩・閃長岩類は既述のように中国地方の花崗岩類に比べ、これらより高いか、同程度の LREE 値を有し、アルカリ岩的であることを物語っている。塩基性岩については、斑

Fig. 16. Chondrite-normalized REE patterns in the rocks of Stages II, III, IV and V. Stippled area is the same as in Fig. 15. Numbers correspond to those in Table 1.

れい岩・アルカリドレライト共に、ソレイ岩系及び石灰アルカリ岩系の塩基性岩に比べ、REE(特にLREE)値に富み、右下りのスムーズなREEパターンを示すことから、同様にアルカリ岩系の傾向(Cullers and Graf, 1984)を有していると考えられる。なお、斑れい岩(M-001)は後から貫入した粗粒閃長岩質岩による熱変成のため、相当量の黒雲母を生じている(Table 1)。しかし、そのREEパターン*は一般のアルカリ岩系玄武岩類のパターン(Cullers and Graf, 1984)と大差がない。これはHanson (1978)の述べているよう

に、黒雲母の生成がREEパターンに大きな影響を支えないため、このパターンが斑れい岩の変成前のパターンを示しているためと解せられる。村上・今岡(1980)は、斑れい岩中の残存単斜輝石の化学組成より、この斑れい岩がアルカリ岩系のものと推定したが、この推定は上記のようにREEパターンからも裏付けられた。

このように足摺岬の火成岩類はLREEに著しく富んでいるが、Figs. 15・16に示されているようにMREEにも富んでいる。これはA-type granitesの一

* 斑れい岩のうちB-005はFig.16に示すように、著しくはないがEuの負のアノマリーを有する。この岩石はTable 1に示されているように、粗粒閃長岩質岩による熱変成のため、黒雲母のほかカリ長石・石英をも生じている。カリ長石は一般に斜長石よりもEuに乏しい(Hanson, 1978; Gromet and Silver, 1983)ので、このEuのアノマリーはカリ長石による斜長石の交代に原因している可能性が大きい。なお、このような交代の場合には当然Ba・Srも減少することが予想される。Table 2では、B-005はM-001に比べ著しいBaの減少を示している。

般的特徴 (Collins *et al.*, 1982; Imeokparia, 1982) で、足摺岬では特に II 期の優黒質閃長岩～アルカリ花崗岩において明瞭である。これらの岩石には村上ら (1983) により述べられているように、角閃石や黒雲母のような含水珪酸塩が最末期に晶出するという特徴が存在する。Bowden and Whitney (1974) は、ナイジェリアの younger granites において、晶出作用の後期に揮発性成分に富んだアルカリ溶液から生じた角閃石が MREE の増加をもたらしたと推論している。足摺岬の場合も同様に後期の角閃石の生成に伴って MREE の増加した可能性が考えられる。

Fig. 16 に示しているように、閃長斑岩 (D-007) の REE 値は LREE～HREE のすべてにわたって高く、例えば HREE の値は他の岩石中の HREE 値の 3～4 倍に達している。この岩石では斑晶は少量のアルカリ長石のみであるが、石基に多量 (20～30%) の微細な自形～半自形・針状のアルカリ角閃石 (アルヴェド閃石) が生じており (村上・今岡, 1980), また螢石にも富む。林ら (1969) はこの岩石における異常に高い U 含有量を報告しているが、これは多量のジルコン・その他の U 含有鉱物の存在を物語っている。Bowden and Whitney (1974)・Taylor *et al.* (1981) は peralkaline granite における晶出作用後期に揮発性成分・アルカリに富む熱水溶液の交代作用に伴って、著しい HREE の増加が行なわれる例をあげている。これは熱水交代作用に伴い、M-HREE に富む角閃石・ジルコンなどの鉱物 (Hanson, 1978; Gromet and Silver, 1983) の生成したためと考えられており、溶液中の F 濃度の高いほど REE 成分の流動は促進される (Koljonen and Rosenberg, 1974)。足摺岬の閃長斑岩が熱水交代をうけているか否かは明らかでないが、少なくともマグマの固結の後期に多量のアルカリ角閃石及び螢石・ジルコンの生成が行なわれたことは明らかで、この作用が M-HREE の濃集に原因しているものと考えられる。村上ら (1983) により述べられているように、閃長斑岩の F 量は著しく高く、M-HREE の濃集に関係した可能性が大きい。なお、負の Eu アノマリーの明瞭な点から見て、この多量の M-HREE は閃長斑岩マグマの生成時において、既にマグマ中に存在していたものであろう。

次に REE パターンにおける Eu アノマリーについて検討しよう。一般に花崗岩における負の Eu アノマリーは、 Eu^{2+} が長石に選択的に多く含まれることに関

係し、マグマの分化中、あるいはマグマの発生時における長石の fractionation がこのアノマリーの原因になっていると考えられている (Hanson, 1978; Frey *et al.*, 1978)。足摺岬産優黒質閃長岩～アルカリ花崗岩・粗粒黒雲母花崗岩・閃長斑岩には明瞭な負の Eu アノマリーが存在するが、アノマリー度は石英に富み、 SiO_2 量* の多いアルカリ花崗岩・粗粒黒雲母花崗岩・閃長斑岩において特に大きい。このことにより、これらの岩石における Eu のアノマリーは斜長石あるいはカリ長石の fractionation によるものと推定される。優黒質閃長岩・石英閃長岩においてアノマリー度の小さいのは、長石の fractionation があまり大きくなかったことを物語っているであろう。増田ら (1983) も花崗岩類の中、石英量の少ない塩基性の岩石では Eu の負のアノマリーの小さいことを示している。

なお、粗粒閃長質岩の中 C-001 の REE パターンには Fig. 16 のように Eu の負のアノマリーがほとんど認められない。花崗岩には時に正の Eu アノマリーを示すことがあり (Pride and Muecke, 1982; Emmermann, 1975), これは正の Eu アノマリーを有する花崗岩マグマの原物質の影響によるものと考えられている。筆者らはこの粗粒閃長岩質岩 C-011 が石英に乏しく長石、特にカリ長石に富む (Table 1) ことから、Eu に富むマグマの分化の間、あるいは Eu に富む原物質からのマグマ発生時において長石の fractionation が小さかったためか、分化の間カリ長石の集積されたためであろうと考えられているが、今後更に同位元素の面からもこの問題の検討を進めるつもりである。

謝 辞 序文に述べたように、微量成分の分析は著者の 1 人増田により行なわれ、その後論文の計画がたてられていた。しかし、増田は 1983 年 6 月病死し、この計画は実行されないまま終った。村上がその遺志をついでこの論文を執筆したが、連絡が十分でなかったこともあり、故人の意志をどの程度文章化できたか不安に思っている。京都大学の西村進教授は村上がこの論文を執筆することを奨めて下さったばかりでなく、粗稿に目を通し御批判いただいた。厚く御礼申し上げる。増田康之氏の未亡人増田マリ子さんは、村上の希望に応じ論文の執筆を快く御許し下さった。謝意を表すると共に、増田康之氏の御冥福を衷心より御祈りする。

微量元素の放射化分析は京都大学原子炉 (KUR-1)

* SiO_2 量が極端に多くなると、Eu の負のアノマリーは逆に小さくなる傾向を示す (Masuda *et al.*, 1976)。

の共同利用研究で実施された。原子炉実験所の岩田志郎教授ほか所員の方々には大変御世話になった。

引用文献

- Bowden, P. and Turner, D.C. (1974), Peralkaline and associated ring complexes in the Nigeria-Niger Province, West Africa. *In* The alkaline rocks. (Sørensen, H. Ed.), John Wiley and Sons, London-New York-Sydney-Toronto, 330-354.
- Bowden, P. and Whitney, J.F. (1974), Rare earth patterns in peralkaline and associated granites. *Lithos*, **7**, 15-21.
- Collins, W.J., Beams, S.D., White, A.J.R. and Chappell, B.W. (1982), Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **80**, 189-200.
- Cullers, R.L. and Graf, J.L. (1984), Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust: predominantly basic and ultrabasic rocks. *In* Rare earth element geochemistry (Henderson, P. Ed.), Elsevier, Amsterdam-London-New York, 237-250.
- De Albuquerque, C.A.R. (1978), Rare earth elements in 'Younger' granites, northern Portugal. *Lithos*, **11**, 219-229.
- Emmermann, R. (1975), Petrologic significance of rare earths distribution in granites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **52**, 267-283.
- Frey, F.A., Chappell, B.W. and Roy, S.D. (1978), Fractionation of rare earth elements in the Tuolumne intrusive series, Sierra Nevada Batholith, California. *Geology*, **6**, 239-242.
- Gromet, L.P. and Silver, L.T. (1983), Rare earth element distributions among minerals in a granodiorite and their petrogenetic implications. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **47**, 925-939.
- Hanson, G.N. (1978), The application of trace elements to the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **38**, 26-42.
- 林昇一郎, 石原舜三, 坂巻幸雄(1969), 現地残留鉱床に伴うウラン—高知県足摺岬におけるウラン・トール石. 地調報告, 232, 93-103.
- Imeokparia, E.G. (1982), Geochemistry and relationships to mineralization of gaitic rocks from the Afu Younger Granite Complex, Central Nigeria. *Geol. Mag.*, **119**, 39-56.
- 石原舜三, 関根節郎, 望月常一, 大場きみじ(1969), 花崗岩中のウランおよびトリウム量とその地質学的意義. 地調報告, 232, 179-219.
- Koljonen, T. and Rosenberg, R.J. (1974), Rare earth elements in granitic rocks. *Lithos*, **7**, 249-261.
- Loiselle, M., and Wones, D.R. (1979), Characteristics and origin of anorogenic granites. *Geol. Soc. Amer. Abstracts with Programs*, **11**, 468.
- Masuda, Y., Nohda, S. and Okamoto, K. (1976), Major trace element geochemistry of the Nohi Rhyolitic Volcanic Rocks, Central Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, **82**, 595-601.
- Masuda, Y., Yagi, S. and Asayama, T. (1974), Instrumental neutron activation analysis of 13 trace elements in volcanic rocks. *Bull. Univ. Osaka Pref. Ser. A*, **23**, 203-213.
- 増田康之, 八木伸二郎, 三辻利一, 西村 進(1983), 西南日本の花崗岩質岩石中の微量元素(1). 中国地方, 岩鉱, **78**, 41-50.
- 村上允英, 今岡照喜(1980), 四国西南部の深成岩類の化学性—とくに足摺岬深成岩類の特徴. 甲藤次郎教授還暦記念論文集「四万十帯の地質学と古生物学」, 57-70.
- 村上允英, 蟹沢聰史, 石川賢一(1983), 高知県足摺岬産第三紀火成岩類の高フッ素含有量. 岩鉱, **78**, 497-504.
- Pride, C. and Muecke, G.K. (1982), Geochemistry and origin of granitic rocks, Scourian Complex, N.W. Scotland. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **80**, 379-385.
- Shaw, D.M. (1968), A review of K/Rb fractionation trends by covariance analysis. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **32**, 573-601.
- Taylor, R.P., Strong, D.F. and Fryer, B.J. (1981), Volatile control of contrasting trace element distributions in peralkaline granitic and volcanic rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **77**, 267-271.