

## 西南日本花崗岩類のレアアース特性: 足摺岬の新第三紀深成岩類と山陽帯の後期白亜紀花崗岩類

石原舜三<sup>1</sup>・村上浩康<sup>2</sup>

Shunso Ishihara and Hiroyasu Murakami (2006) Characteristics of REE distribution in granitoids of SW Japan: Miocene plutonic rocks at Ashizuri-misaki and late Cretaceous granitoids of the Sanyo Belt of SW Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 57(3/4), p.89 - 103, 7 figs, 6 tables.

**Abstract:** Three gabbroids and nine granitoids from the Miocene pluton at Ashizuri-misaki, Outer Zone of SW Japan were analyzed for major and trace elements. These plutonic rocks are composed of gabbroids and granitoids, which are alkaline in nature plotted in the shoshonite fields in the alkali-silica diagrams. The granitoids are high in Ba, Zr, Nb, and Zn; implying the rocks are of A-type affinity. The REE contents are the highest among the Japanese granitoids, having an average of REE+Y=453 ppm and LREE/HREE=11.

The late Cretaceous granitoids (20 samples) from the Sanyo Belt were also studied in four areas where the highest levels of calc-alkaline ilmenite-series granitoids are exposed. The REE+Y contents are generally lower than 300 ppm, but are relatively high in the Naegi Granite (ave. 246 ppm) and Tanakami Granite (ave. 213 ppm); both are rich in HREE (LREE/HREE=2.8-2.4). These granites are high in F and well fractionated (according to the Rb/Sr ratios), which are considered the main reasons for the REE concentration. An anomaly with 1,804 ppm REE+Y was discovered in a mafic enclave of the Tanakami Granite of the Kinki district.

**Keywords:** REE, granitoids, Miocene, late Cretaceous, alkaline, Naegi Granite

### 要 旨

足摺岬深成岩類(n=12)及び西南日本の山陽帯花崗岩類の浅成花崗岩類(n=20)の化学分析を実施し、希土類元素量とその分布特性の解明を試みた。足摺岬のアルカリ花崗岩類はアルカリに富み、Ba, Zr, Nb, Znが多いなど、弱いながらもAタイプの性格をもつ。この花崗岩類は我が国では最も希土類元素に富み、その総量は平均453 ppmに達するが、軽希土類に富み重希土類に乏しい(LREE/HREE=11)。山陽帯の花崗岩類では、苗木花崗岩が平均246 ppm、田上花崗岩が平均213 ppmであり、総量は少ないが、重希土類に富んでいる(LREE/HREE=2.8~2.4)。このような地域差は原マグマの起源物質と固結前の分化作用の相違に基づいている。田上花崗岩中の苦鉄質エンクレーブでは、1,804 ppm REE+Yに達する新発見があった。

### 1. まえがき

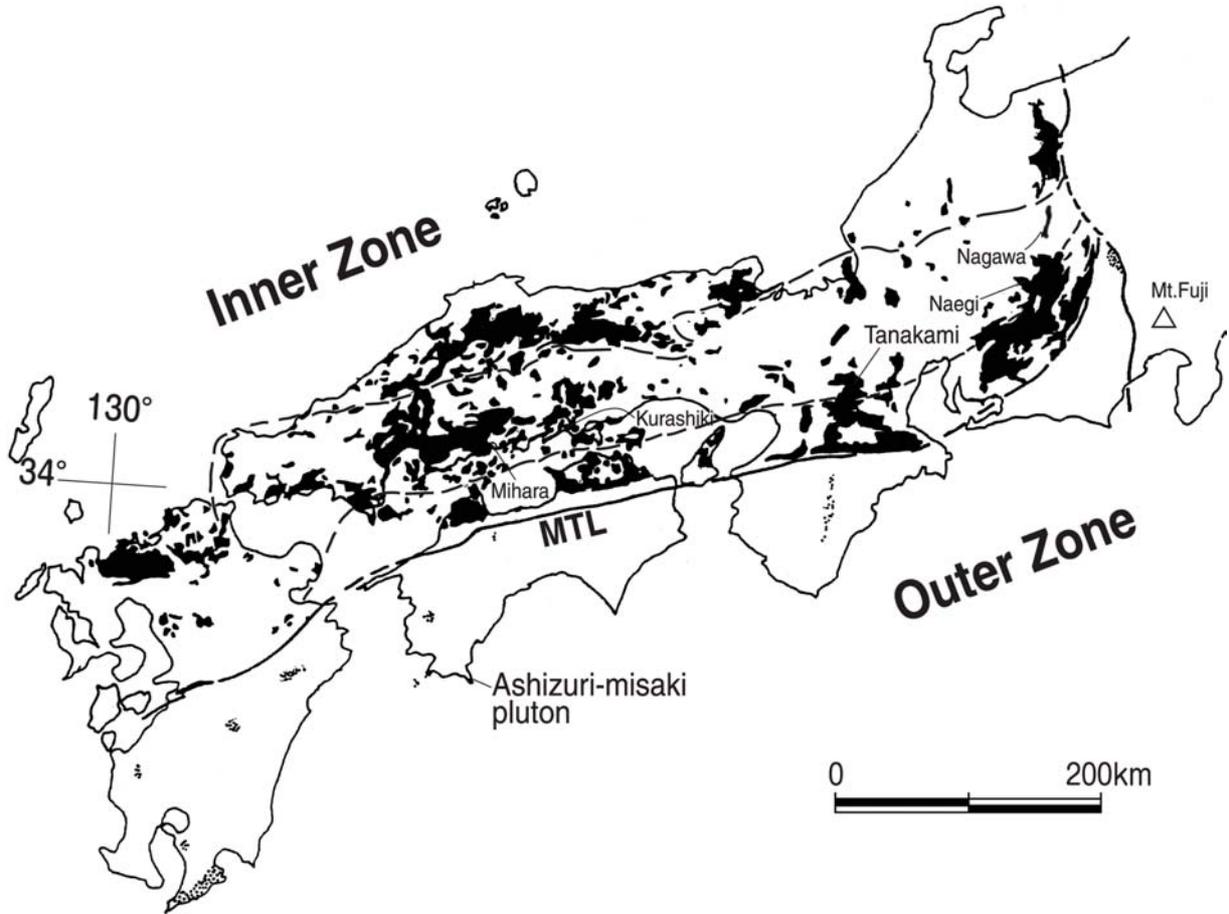
近年の自動車産業界における省エネルギー及び環境対策の必要性から、重希土類元素の需要が増加しており、それに対する対応策が求められている。希土類元

素は特定の花崗岩類やカーボナタイト、あるいは類似岩類に濃集し、かつ関連した初生鉱床に濃集するほか、風化作用によっても移動・濃集し希土類元素に富む重要な表成鉱床を形成する(Wu *et al.*, 1990; 石原・村上, 2005)。したがって、カーボナタイトを産しない我が国においては、花崗岩類に関連する資源を検討することが必要である。希土類元素はAタイプ花崗岩類に伴って濃集することが多い(石原, 1988)。Aタイプ花崗岩類は一般に非造山帯に産出するが、我が国では造山帯である四万十層群の付加帯形成後のポスト造山期に、足摺岬で生成している。

足摺岬の新第三紀花崗岩類はGaに富み、Aタイプのと分類された(今岡ほか, 1991)。これまでの部分分析によると、日本の花崗岩類でもっとも高い希土類元素量が得られており(村上・増田, 1984; Stein *et al.*, 1994)、REEを含む希産鉱物が知られている(Imaoka and Nakashima, 1994a; Nakashima and Imaoka, 1998)。また花崗岩生成後に貫入した流紋岩質岩脈類も高い値を示し(Ishihara *et al.*, 1990)、そのREEは主としてフッ化セリウム石、バストネサイトに含まれている(Imaoka and Nakashima, 1994b)。これらは主に軽希土類に富むもので、重希土類に富むものは、岐阜県苗

<sup>1</sup>産業技術総合研究所 (Geological Survey of Japan, AIST).

<sup>2</sup>地圏資源環境研究部門 (Institute for Geo-Resources and Environment, GSI).



第1図 西南日本の花崗岩類の分布(黒色部と打点部)と研究地点の位置。

Fig. 1 Distribution of granitic rocks and locality of the studied granitoids in the Southwest Japan. MTL, Median Tectonic Line; ISF, Itoigawa-Shizuoka Fault. Solid, Late Cretaceous-Paleogene; dotted, Miocene granitoids.

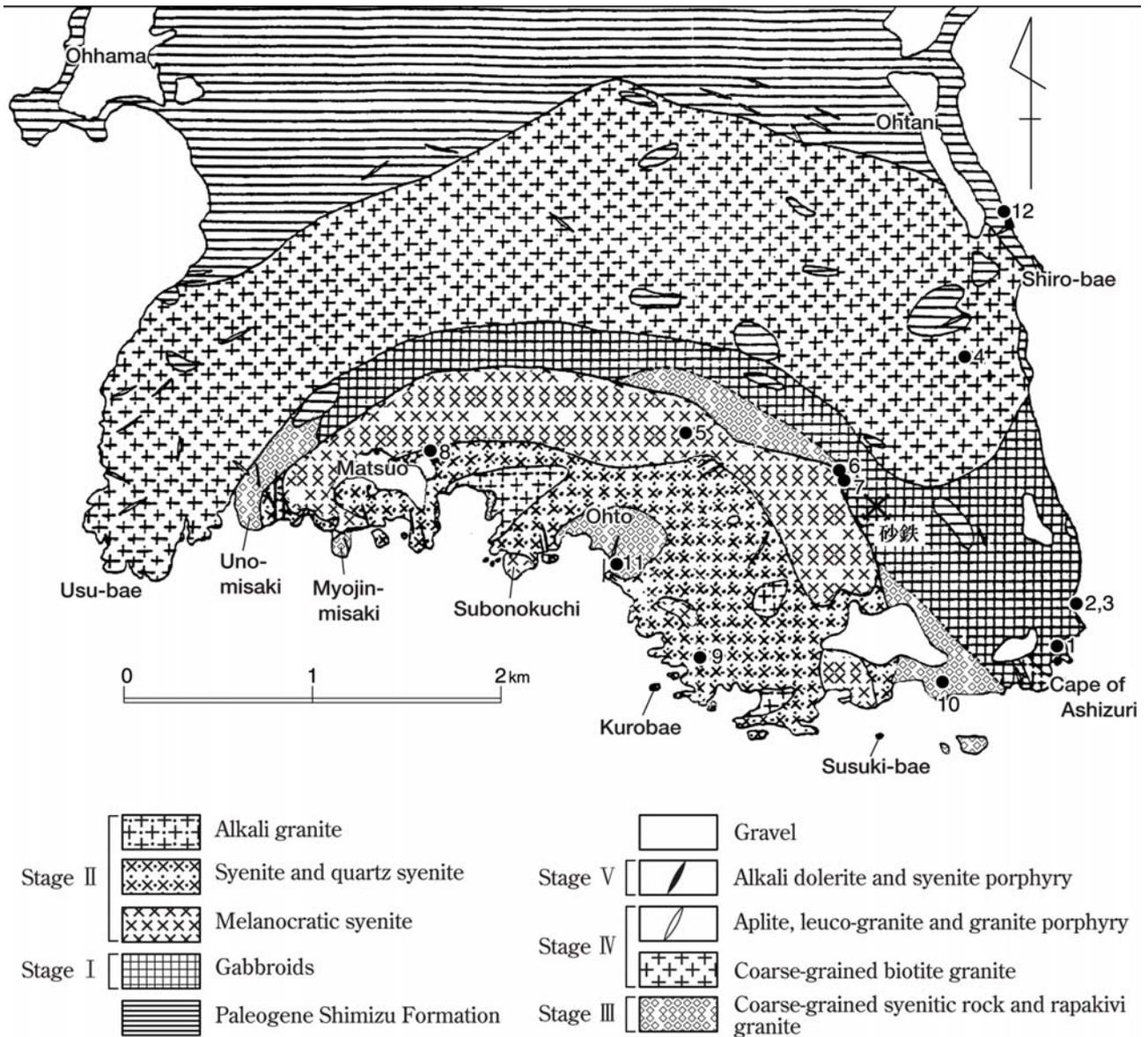
木地域、滋賀県田上地域など、西南日本内帯山陽帯のチタン鉄鉱系優白質花崗岩類で断片的に知られていた (Ishihara and Wu, 2001; 石原ほか, 2005)。これらの報告を補強する目的で新たに野外調査を実施し、希土類元素の完全分析を行なった結果、幾つかの新事実を得たので、既存データと合わせて総括し、我が国における希土類元素に富む花崗岩類の化学的性格、及び特に重希土類特性について報告する。

調査地域は高知県足摺岬の新第三紀深成岩体及び西南日本内帯の山陽帯の後期白亜紀花崗岩類である。調査地点を第1図に示す。化学分析は主成分と測定可能な微量成分について偏光XRFで実施し、別に希土類元素を含む微量成分についてはICP-ICP/MSで実施した。一部の試料についてはイオン電極法 (IES) によりFを測定した。

## 2. 高知県, 足摺岬深成岩体

高知県の足摺岬深成岩体は四万十帯の古第三紀層で

ある清水層群中の小岩体であり、それに熱変成作用を与える。中新世の同位体年代を持つから堆積岩類の圧密、変形後に貫入・固結したものと考えられる。アルカリに富むこと (村上ほか, 1983)、花崗岩類が主体であるが斑れい岩類が共存し、両者のマグマ混交 (吉倉・熱田, 2000) が見られる場として著名である。岩体の規模は東西に約5.4 km、南北に1.4~3.3 km、村上ほか(1983)によると、岩相は東西に延び南方へ開いた弧状を呈して中心に斑れい岩類が、その南側にアルカリ岩類が、北側に石英に富む一般の黒雲母花崗岩が分布し(第2図)、環状複合体を形成する (村上ほか, 1989)。各岩相の貫入・晶出時期としては、第I期の斑れい岩類の南側に第II期の優黒質閃長岩とアルカリ花崗岩及び第III期の粗粒閃長質岩とラパキビ花崗岩、斑れい岩の北側には第IV期の粗粒黒雲母花崗岩が広く分布し、これはアプライト・ペグマタイトなどを伴う。第V期にはドレライトや過アルカリ流紋岩の岩脈類が岩体南部に主に南北走行で貫入する。最下段の海蝕台地を覆って砂礫層が局在する (村上ほか, 1983)。



第2図 足摺岬深成岩類の地質図と分析試料の位置。

Fig. 2 Geology and sample location of the studied plutonic rocks in the Ashizuri-misaki area. Geology after Murakami *et al.* (1983).

足摺岬深成岩体では、その苦鉄質岩相の風化物からチタン砂鉄がかって採掘され、その残鉱からウラン・トリウムが発見された。また花崗岩類はモード鉱物組成上でモンゾ花崗岩からカリ長石端へかけて分布し、アルカリ岩的な性格が報告された(林ほか, 1969)。砂鉄は鉄チタン酸化物に富む斑れい岩/閃長岩の混在部(表紙写真)の内陸風化表土から水別選鉱された。これらの事実はこの深成岩類が希土類元素に富むことを暗示する。村上・増田(1984)は12試料の花崗岩類の希土類元素7成分の部分分析からREE+Y量が614 ppm以下、Stein *et al.* (1994)は5個の花崗岩類からREE+Y=451 ppmの最高値を得ている。一方、Ishihara *et al.*(1990)は最末期の過アルカリ流紋岩岩脈から最高 REE+Y=

962 ppmの希土類元素量を報告した。

今回の研究では、1958年調査時の岩石試料を中心に12個の完全分析を実施した。分析試料位置を第2図に、分析結果を第1, 2表に示す。

足摺岬花崗岩類は一般にアルカリとFに富み、 $Al_2O_3$ とCaOに乏しく、したがってノルム珪灰石を算出し、サーラ輝石・アルカリ角閃石を含む(村上・今岡, 1980; 村上ほか, 1983)。Ga含有量は、高ガリウム系列(23~27 ppm Ga)と低ガリウム系列(23~15 ppm Ga)系列とに分けられ、前者がより広く分布するため今岡ほか(1991)はこの花崗岩類のAタイプのな特徴を強調した。

閃長岩類(分析番号4~10, 12)は $K_2O=5.2\sim6.1\%$ であり、 $K_2O+Na_2O$ は10.3~11.8%、共に著しく高い値を

第1表 足摺岬深成岩類の偏光XRF分析結果.

Table 1 Polarized XRF analyses of the plutonic rocks of the Ashizuri-misaki pluton.

Assay no.	Stage I gabbroids			Stage II melanocratic syenite				Stage II syenite		Stage III	Stage IV	Dike
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sample no.	AZR1	58A153	58A151	AZ2105	AZ2106	AZ2104	58A111	58A125	58A122	AZ2003	58A139	58A141
SiO <sub>2</sub>	46.96	52.55	63.19	62.77	62.81	65.54	69.67	62.61	63.04	69.95	73.18	60.49
TiO <sub>2</sub>	1.34	2.10	0.95	0.58	0.53	0.44	0.24	0.60	0.50	0.19	0.22	1.15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.32	15.46	14.70	16.58	15.87	15.55	15.00	16.12	16.81	13.58	13.52	15.67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.83	9.95	5.07	5.18	6.30	4.80	2.50	5.49	4.48	2.87	1.80	6.67
MnO	0.16	0.17	0.08	0.15	0.18	0.12	0.05	0.13	0.11	0.08	0.02	0.15
MgO	12.50	3.97	1.82	0.40	0.25	0.28	0.06	0.37	0.34	0.09	0.33	1.24
CaO	10.09	7.31	3.59	1.58	1.94	1.39	0.50	1.74	1.40	0.70	0.93	3.08
Na <sub>2</sub> O	2.25	3.68	3.82	5.27	5.62	4.35	5.05	5.06	6.01	4.97	3.59	5.11
K <sub>2</sub> O	1.23	2.98	4.68	5.98	5.62	6.13	5.93	5.78	5.74	5.59	5.47	5.19
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.28	0.49	0.24	0.09	0.07	<0.01	<0.01	0.09	0.08	<0.01	0.02	0.40
S	0.10	0.03	0.02	0.04	0.04	0.01	0.02	0.24	0.02	0.01	0.02	0.02
F	0.09	0.15	0.13	0.05	0.07	0.10	0.04	0.11	0.22	0.38	0.15	0.18
CO <sub>2</sub>	0.25	0.15	0.09	0.12	0.06	0.06	0.10	0.12	0.36	0.08	0.19	0.11
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	1.45	1.16	0.76	0.59	0.48	0.85	0.26	0.75	0.65	0.41	0.32	0.48
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.23	0.21	0.10	0.24	0.23	0.24	0.17	0.41	0.13	0.03	0.24	0.08
Total	100.08	100.36	99.24	99.62	100.07	99.86	99.59	99.62	99.89	98.93	100.00	100.02
Rb	36	116	171	141	141	224	226	175	250	293	228	129
Sr	379	392	213	70	17	25	17	115	71	9.9	70	242
Ba	434	890	710	1480	580	496	155	1890	1460	172	575	1590
Zr	109	180	185	173	196	449	558	157	366	439	160	409
Hf	4.3	3.5	4.0	3.1	5.1	10.8	11.9	5.2	9.5	12.0	5.4	7.6
Nb	35	64	58	88	110	125	137	142	139	152	38	138
Ta	<6	6.0	4.9	3.8	7.7	8.0	7.8	7.6	8.5	13.0	5.2	6.9
Y	17	33	38	28	32	60	42	49	48	54	26	52
La	30	53	79	19	99	150	260	55	66	143	70	95
Ce	50	96	129	37	159	166	387	110	111	229	118	176
V	242	318	108	<5	<5	7	<3	9	<5	2	14	43
Cr	850	7	25	16	8	10	30	43	52	13	39	22
Co	94	23	12	<7	<8	<7	<5	<7	<7	<5	<4	10
Ni	292	15	13	<1	<1	1	6	3	8	<1	6	3
Cu	49	26	8.6	8.7	2.4	1.2	1.6	3.9	3.9	6.0	1.9	4.6
Zn	2	73	50	109	72	86	39	104	75	49	26	73
Pb	2.9	3.1	6.3	14	7.7	6.1	5.4	12	9.3	8.6	12	6.2
Ga	14.1	18.9	18.4	19.7	21.2	20.1	23.2	22.0	23.2	23.7	18.3	20.7
Ge	<1.5	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.0	1.7	1.2	1.1	1.6	1.5
As	<0.4	0.6	0.5	1.4	<0.3	<0.3	<0.3	2.8	0.9	2.4	<0.4	1.1
Se	1.3	0.2	0.2	0.2	0.6	0.3	0.4	0.3	0.5	0.3	0.2	0.2
Mo	1.5	1.4	1.7	2.8	3.8	0.9	8.2	1.2	8.2	1.4	0.7	5.0
Sn	1.0	2.1	3.2	3.0	1.7	3.7	4.0	3.0	5.9	4.4	1.7	1.4
Sb	2.6	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.6	<0.5	<0.5
Cs	2.2	0.9	2.1	9.5	<1.5	<1.5	<1.5	8.2	4.4	9.1	6.5	2.0
Tl	2.4	0.6	0.9	0.5	1.8	0.9	1.6	0.7	1.1	1.0	1.2	0.4
Bi	1.4	<0.4	<0.3	<0.3	0.9	<0.3	0.7	0.6	0.7	0.6	<0.3	<0.3
Th	3.9	10.1	21	4.7	11.5	27	52	8.6	21	48	29	13.4
U	<0.5	1.7	4.5	0.9	<0.5	5.8	9.7	1.3	6.3	7.4	4.8	2.1
ZST(°C)	(638)	(706)	(758)	764	763	862	890	755	827	856	783	816
A/CNK	0.57	0.69	0.82	0.92	0.84	0.95	0.96	0.91	0.90	0.88	1.00	0.80
Ga/Al*10 <sup>4</sup>	2.00	2.31	2.37	2.25	2.53	2.44	2.92	2.58	2.61	3.30	2.56	2.50
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	3.48	6.66	8.50	11.25	11.24	10.48	10.98	10.84	11.75	10.56	9.06	10.30
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0.55	0.81	1.23	1.13	1.00	1.41	1.17	1.14	0.96	1.12	1.52	1.02
Rb/Sr	0.1	0.3	0.8	2.0	8.3	9.0	13.3	1.5	3.5	29.3	3.3	0.5
Th/U	7.8	5.9	4.7	5.2	2.3	4.6	5.4	6.6	3.3	6.5	6.0	6.4

Analyst: B. W. Chappell, GEOMOC, Sydney. F, Ion sensitive electrode (ISE) by Actlabs. ZST: Zircon saturation temperature (Watson and Harrison, 1983).

西南日本花崗岩類のレアアース特性(石原・村上)

第2表 足摺岬深成岩類のICP-ICP/MS及びISE分析結果.

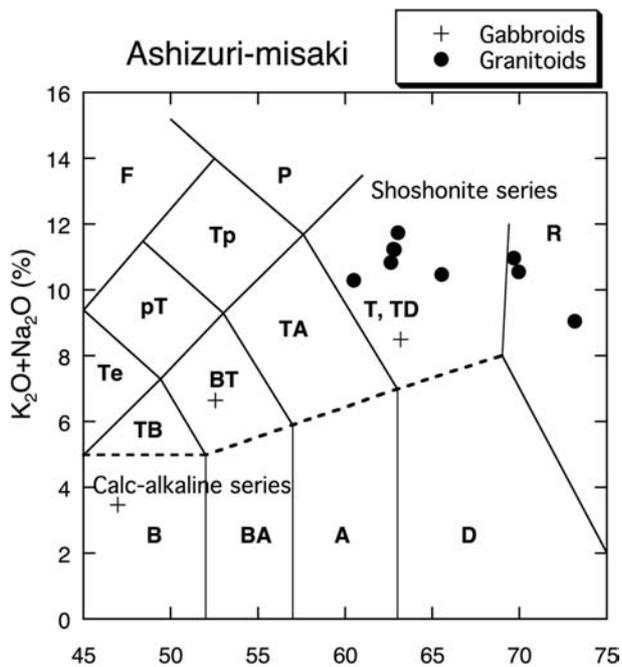
Table 2 ICP-ICP/MS and ISE analyses of the plutonic rocks of the Ashizuri-misaki pluton.

Analyses nos.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sample nos.	AZR1	58A153	58A151	AZ2105	AZ2106	AZ2104	58A111	58A125	58A122	AZ2003	58A139	58A141
V	192	253	100	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	13	50
Cr	690	30	20	< 20	< 20	< 20	20	20	30	< 20	30	< 20
Co	86	25	11	1	< 1	< 1	< 1	1	1	< 1	2	5
Ni	270	30	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Rb	38	123	174	143	125	226	231	186	261	308	238	132
Sr	354	379	208	71	13	28	17	119	75	14	71	239
Ba	451	975	760	1640	480	559	174	2080	1600	203	619	1730
Cs	1.6	3	3.6	4.9	1.8	2.4	2.1	4.6	4	9.2	4.9	1.9
Ga	15	22	21	21	20	24	28	26	26	29	22	24
Ge	1.2	1.4	1.4	1.3	1.6	1.9	1.7	1.3	1.6	1.7	1.6	1.5
La	29.1	58.2	80.5	26.1	93.6	152	240	64.6	77.8	131	71.8	108
Ce	60	116	152	56.7	156	207	354	143	151	246	147	220
Pr	6.33	12.00	13.90	6.51	16.60	30.20	41.90	15.30	14.40	22.60	14.10	22.30
Nd	23.2	41.6	44.5	24.7	51.7	94.3	122.0	54.5	46.5	68.5	45.1	73.5
Sm	4.67	8.29	8.33	5.53	8.54	16.00	18.00	11.10	8.72	12.30	8.32	13.30
Eu	1.50	2.26	1.37	2.28	1.73	1.62	0.78	2.82	2.25	0.54	0.91	2.20
LREE	124.8	238.4	300.0	121.8	328.2	501.1	776.7	291.3	300.7	480.9	287.2	439.3
Gd	4.50	7.79	7.26	5.48	6.67	14.60	14.50	10.20	7.89	10.70	6.96	11.30
Tb	0.73	1.30	1.27	0.91	1.10	2.13	1.91	1.78	1.45	1.97	1.18	1.87
Dy	3.95	7.12	7.22	5.21	5.96	11.70	9.86	10.00	8.52	11.20	6.41	10.30
Ho	0.76	1.38	1.43	1.03	1.16	2.24	1.82	1.92	1.76	2.30	1.24	2.00
Er	2.17	4.09	4.46	3.05	3.48	7.08	5.72	5.75	5.53	7.34	3.80	6.18
Tm	0.308	0.599	0.690	0.451	0.541	1.130	0.880	0.860	0.891	1.160	0.575	0.944
Yb	1.87	3.65	4.24	3.04	3.72	7.10	5.56	5.19	5.56	7.40	3.37	5.90
Lu	0.279	0.527	0.607	0.508	0.577	1.080	0.827	0.779	0.783	1.060	0.481	0.845
HREE	14.6	26.5	27.2	19.7	23.2	47.1	41.1	36.5	32.4	43.1	24.0	42.0
Y	20.3	37.8	40.1	30.4	30.1	62.5	46.8	53.9	52.7	66.4	33.6	55.0
HREE+Y	34.9	64.3	67.3	50.1	53.3	109.6	87.9	90.4	85.1	109.5	57.6	97.0
Zr	121	266	284	217	230	564	649	241	458	555	230	525
Hf	3	6.2	7.4	4.3	4.6	12.9	14.2	5.9	10.4	14.2	6.4	11.7
Nb	37.7	72.9	64.5	94.8	113	132	146	158	148	174	46.1	146
Ta	2.6	5.0	4.9	4.6	5.5	7.6	8.1	8.6	9.8	12.9	3.9	8.9
Sn	< 1	2	3	3	< 1	3	3	3	6	4	1	2
W	797	< 0.5	< 0.5	< 0.5	1.8	0.6	3	3.2	2.8	2.5	1.1	4
Tl	0.31	0.31	0.38	0.39	0.28	0.43	0.48	0.34	0.48	0.49	0.73	0.27
Pb	< 5	5	7	13	6	8	< 5	9	9	9	12	6
Bi	0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Sb	3	1.3	1.8	1.4	1.4	1.9	1.5	1.3	2.1	1.8	1.7	1.4
Th	5.01	15.5	23.6	6.44	14.9	32.3	56.1	15.9	24.2	58.3	33.2	18.7
U	1.1	2.7	5.4	1.5	2.4	6.8	7.6	3.8	5.9	11.7	6.5	3.7
REE+Y	159.667	302.606	367.277	171.89	381.478	412.68	864.559	381.699	385.754	556.41	344.843	536.299
L/HREE+Y	3.6	3.7	4.5	2.4	6.2	2.8	8.6	3.0	3.5	4.2	5.0	4.5

In ppm. Analysts: Actlabs, Ltd., by ICP-ICP/MS

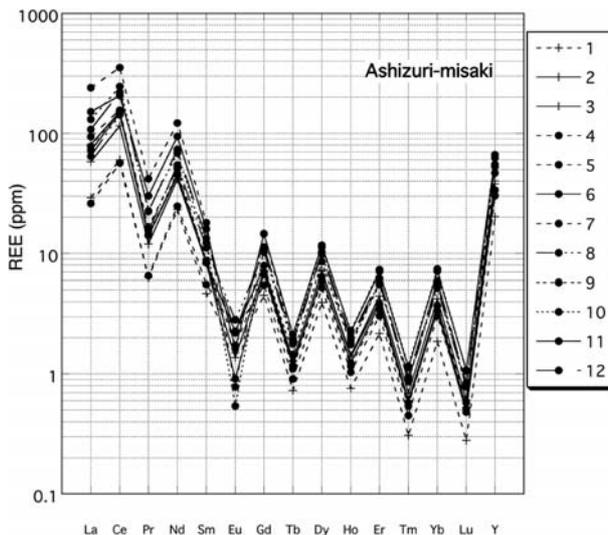
示し、斑れい岩類よりもアルカリ総量に富み、アルカリ-シリカ図でショショナイトの領域にプロットされる(第3図)。なお狭義の花崗岩の $K_2O+Na_2O$ は9.1%とやや低い。アルミナ過剰度を示す $A/CNK$ は1.0より低く、一般にメタアルミナスである。Alを置換するGaは閃長岩類で19.7~23.7 ppmとやや多い。 $Ga/Al \times 10^4 = 2.3$

~3.3であり、一般のカルクアルカリ岩の上限, 2.6 (Whalen *et al.*, 1982) 前後を示し、ややAタイプののである。閃長岩類はAタイプの特徴であるZr, Nb, Zn, Baにも富んでいる(第1表)。Fは斑れい岩類で900~1,500 ppm, 閃長岩類で500~3,800 ppmであり、一般のカルクアルカリ岩より多く含まれる。



第3図 足摺岬深成岩類のアルカリ-シリカ図。  
 Fig. 3 Alkali-silica diagram of Miocene plutonic rocks of the Ashizuri-misaki pluton. B, basalt (gabbro); BA, basaltic andesite; A, andesite (diorite); D, dacite (granodiorite), R, rhyolite (granite); TB, trachybasalt; BT, basaltic trachyandesite; TA trachyandesite; T, trachyte (monzonite); TD, trachydacite (quartz monzodiorite); Te, tephrite and basanite; Pt, phonotephrite; Tp, tephriphonolite; P, phonolite; F, foidite (Le Maitre *et al.*, 1989).

REE+Y含有量は、斑れい岩類で160~367 ppm, 閃長岩類で172~865 ppm, 花崗岩で345 ppmである。全体的に軽希土類元素に富んでいる。分析値の希土類元素パターン(コンドライトで規格化せず)を第4図に示す



第4図 足摺岬深成岩類の希土類元素パターン。  
 Fig. 4 REE pattern of the Miocene Ashizuri-misaki pluton. The numbers correspond to those of Table 2.

が、最高はCe 354 ppm(分析番号7)であり、右下がりに低下する。軽/重希土類元素比(LREE/HREE+Y)は斑れい岩類が3.6~4.5, 閃長岩類は2.4~6.2である。Yは一般に重希土類として扱われるが、この研究では重希土類が重要であるので狭義のLREE/HREE比を求めると、6.2~18.9であり、更に軽希土類の比率が高くなる。最も重希土類元素に富むものは第II期の閃長岩類(47 ppm, 分析番号6; 43 ppm, 分析番号10)で得られた。なお、Dyは最高12 ppm(分析番号6)であった。

### 3. 広島県, 三原鉱山地区

西南日本内帯の後期白亜紀 - 古第三紀花崗岩地帯からは、広島県, 岡山県, 滋賀県, 岐阜県の4地域を選んだ。新たに採取したサンプルの産地と岩石名を第3表に示した。既存試料については、それぞれの文献に記載されているので、参照されたい。

三原市の南南西方約4 km, 宗郷町南部には三原及び神武鉱山として稼行された本邦第2位のホタル石鉱床群がある。鉱床は主にルーフペンダント状に残存する上部古生代の石灰岩類にスカルン鉱体として産する。一部は後期白亜紀の黒雲母花崗岩類中の鉱染状ほたる石鉱床であり、晩年には低品位鉱として出鉱された(石原, 2005)。

鉱床近傍の花崗岩の周縁部には閃長岩が報告されている(添田, 1964)。すなわち、アルカリ岩が存在する点で希土類元素との関連性が興味深く、概査を実施した。青木・肥田(1974)はモード分析に基づき、閃長岩をモンゾニ岩に変更した。モンゾニ岩の産状は、スカ

西南日本花崗岩類のレアアース特性(石原・村上)

第3表 西南日本内帯の分析花崗岩類の産地と岩石タイプ.

Table 3 Locality and rock types of the analyzed granitoids, Inner Zone of Southwest Japan.

Sample Nos.	Locality	Rock type
MH11	広島県, 三原市宗郷町南方, 三原鉱山, 第二堰堤横	緑色鉱物(80%)柘榴石(20%)スカルン
MH13	同上, 三原鉱山, 第一堰堤横	細粒アルバイト化花崗岩
MH15	同上, 三原鉱山	アルバイト化エンドスカルン
KR23	岡山県倉敷市西坂原津, 三吉鉱山下	細粒花崗岩、斑状石英
KR26A	同上, 総社市山手鉱山跡	中粒優白花崗岩
MNK30	滋賀県甲賀郡, 甲西町甲賀ゴルフ場北東方	微粒黒雲母花崗岩
MNK33	同上, 信楽町宮町北側	褐色黒雲母花崗岩
MNK42	同上, 信楽町日産信楽鉱山入口	中粒花崗閃緑岩, 弱風化
MNK43	同上, 信楽町日産信楽鉱山露頭	アプライト
MNK44	同上, 信楽町, 同上	弱粘土化アプライト
MNK45	同上, 信楽町, 同上	カリ長石化花崗岩, 弱変質
MNK46	同上, 信楽町, 同上	白雲母ペグマタイト, 弱変質
MNK50	滋賀県大津市桐生町第二名神高速トンネル	石英閃緑岩
NG53	岐阜県中津川市苗木南南西方 桑原寺六角堂	中粒黒雲母花崗岩 (ペグマタイト含有)
NG64A	岐阜県蛭川村新田, 採石場	中粒黒雲母花崗岩
NG64B	同上	複合アプライト質岩脈(幅32cm)のペグマタイト含有相 (盤際)
NG64C	同上	岩脈のアプライト部 (中心)
KAD1	岐阜県, 瑞浪市, 釜戸長石 (岡野武雄採集)	優白質アプライト
KAD2	同上 (同上)	同上
YAM33	長野県, 藪原長石 (同上)	同上
BYOFD	韓国, Buyeo Feldspar (S. M. Ko 提供)	同上

ルンと黒雲母花崗岩との接触部,あるいはその近くに不規則なレンズ状と述べられているので,花崗岩固結最末期の高温変質作用により生成したものと思われる。また,デーナ石・フェナス石などの希産ベリリウム鉱物が発見・報告されている(青木・肥田,1974)。

当地区からは,第1堰堤地点から中粒モンゾニ岩(MH15)と細粒白色ろう質外観のアルバイト化花崗岩(MH13),第2堰堤地点からざくろ石含有緑色スカルン鉱石(MH11)の3個を分析した。中粒モンゾニ岩は著しくNa<sub>2</sub>Oに富み(9.7%),K<sub>2</sub>Oに乏しく(0.3%),希土類元素総量は,著しく低い(REE+Y=53 ppm,第5表)。

アルバイト化花崗岩はCaOが高く(17.4%),古生層からCaOの供給を受けたものと考えられる。REE+Y量はやや多く(349 ppm),LREE/HREE+Y=2.1,軽希土類に富んでいる。銅鉱化作用を受けており(Cu 0.4%),Sn(82 ppm)とW(68 ppm)も一般の花崗岩類よりは高い(第4表)。緑色ざくろ石スカルンは希土類元素に非常に乏しい(6 ppm)。一方,Snが異常に高い(1.3%)。Watanabe and Hoshino(1991)と渡辺・星野(1992)は

当鉱床産の緑色ざくろ石に4.24% SnO<sub>2</sub>,そして微細なマレイイト包有物を報告しており,筆者らの試料のSn異常もこれらの鉱物に起因するものと考えられる。

#### 4. 岡山県,倉敷北方地域

この地域にも上部古生代堆積岩類に貫入して,後期白亜紀の黒雲母花崗岩類が広く分布する。その周縁相である細粒優白質花崗岩に関連して,三吉・吉備・真備・岡山などの多数の小規模な鉄マンガン重石石英脈鉱床が存在した。また山手鉱山で代表される熱水変質長石鉱床も花崗岩中に分布する(石原・岡野,1994)。分析試料は三吉鉱山直下の若干のグライゼン化を伴う細粒花崗岩(KR23)及び山手鉱山跡の中粒花崗岩(KR26A)から選んだ。これらは高カリウム系列に属する(第5図)。

両試料ともにアルカリ総量で花崗岩領域にプロットされ,Rb/Sr比(69,24)が著しく高く,結晶分化作用が進んでいるものと思われる。希土類元素総量(REE+Y=

第4表 西南日本内帯の後期白亜紀花崗岩類の偏光XRF分析結果.

Table 4 Polarized XRF analyses of the plutonic rocks of the Inner Zone of SW Japan.

Analyses nos. Sample no.	Mihara city			Kurashiki area		Minakuchi Quadrangle, Shiga Prefecture							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	MH15	MH13	MH11	KR23	KR26A	MNK42	MNK43	MNK44	MNK45	MNK46	MNK50	MNK33	MNK30
SiO <sub>2</sub>	64.41	49.84	38.54	76.72	77.41	74.32	76.60	70.19	69.00	76.37	57.62	74.88	75.68
TiO <sub>2</sub>	0.06	0.45	<0.01	0.04	0.04	0.09	0.04	0.02	0.04	0.01	0.81	0.08	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.49	24.39	0.30	12.45	12.02	13.10	13.09	17.88	17.21	13.46	14.26	13.50	12.75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.84	0.30	28.10	1.82	0.75	1.65	0.48	0.34	0.23	0.11	15.42	1.39	0.58
MnO	0.04	0.02	0.54	0.04	0.02	0.04	0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.43	0.05	<0.01
MgO	0.14	0.04	0.23	0.03	0.03	0.07	<0.01	0.02	0.04	<0.01	1.25	0.10	0.09
CaO	4.52	17.36	32.51	0.68	0.56	0.82	0.63	0.08	0.15	0.78	0.69	1.19	0.00
Na <sub>2</sub> O	9.70	5.53	0.28	2.96	3.91	3.35	3.70	9.11	6.23	3.56	2.69	3.52	2.45
K <sub>2</sub> O	0.26	0.22	0.22	4.21	4.58	4.90	4.48	1.26	5.00	4.81	5.59	4.77	7.63
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.29	<0.01	<0.01
S	<0.01	<0.01	0.21	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	<0.01
F	2.36	4.59	0.58	0.69	0.27	0.06	0.05	0.02	0.02	0.03	1.09	0.14	0.07
CO <sub>2</sub>	0.09	0.07	0.14	0.07	0.06	0.57	0.20	0.06	0.93	0.06	0.06	0.08	0.07
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.64	1.16	0.05	0.83	0.32	0.65	0.45	0.61	0.69	0.45	1.41	0.41	0.38
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.14	0.14	0.02	0.05	0.17	0.37	0.15	0.26	0.17	0.16	0.15	0.13	0.16
Total	101.69	104.13	101.72	100.59	100.14	99.99	99.90	99.87	99.73	99.83	101.79	100.25	99.88
Rb	8.7	9.6	<0.4	486	309	152	129	37	152	117	635	167	379
Sr	77	420	<0.2	7.1	13	14	12	55	94	11	8.1	80	41
Ba	11	6	<2	17	37	30	15	70	1180	13	253	392	360
Zr	54	564	<0.2	76	74	61	99	120	42	95	343	89	52
Hf	<13	15.3	<4.9	6.8	6.9	4.3	6.5	6.4	3.6	5.9	29	4.3	5.8
Nb	15	38	<0.2	17.7	14.7	15.6	13.9	<0.2	1.6	4.0	129	5.5	10.9
Ta	<24	2.1	<8	4.7	5.1	3.2	3.0	1.9	1.6	3.2	12.7	2.5	4.7
Y	15	67	<0.2	98	61	48	53	36	36	27	720	39	60
La	4	107	<2	26	26	33	19	16	6	21	84	23	9
Ce	5	201	<3	56	48	52	38	25	11	39	195	43	18
V	11	<5	16	<2	<2	<2	<2	6	6	<2	<6	2	3
Cr	10	<2	48	7	11	15	7	7	17	12	15	25	24
Co	<4	<2	<23	5	<3	<4	<2	<2	<2	<2	65	<4	<3
Ni	4	6	<3	3	3	2	4	4	5	3	<3	2	6
Cu	3940	21	42	3.7	2.6	2.1	1.7	1.5	5.5	2.0	<2	1.9	5.0
Zn	89	33	5438	52	22	55	43	36	38	19	296	37	21
Pb	17	16	0.9	26	26	27	27	3.6	13	31	17	26	23
Ga	29.0	29.4	n.d.	21.3	15.6	17.7	17.9	26.6	19.7	18.9	38.0	15.0	15.9
Ge	3.4	1.7	n.d.	2.3	1.7	1.5	1.5	0.6	0.8	1.5	3.0	1.6	1.4
As	7.5	<0.4	6.7	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.2	<0.3	<0.5	<0.6	<0.5	<0.5
Se	1.0	0.6	0.5	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.6	0.4	0.5	0.2	<0.1
Mo	<0.2	1.3	<0.2	3.6	1.4	0.6	<0.2	<0.2	2.0	1.2	3.3	1.2	1.0
W	<2	68	<15	16	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<4	<1	10
Sn	73	82	12560	11.3	5.0	1.9	3.0	1.5	1.5	1.4	28	1.8	2.4
Ag	64	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cd	0.5	<0.2	66	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.3	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
In	9	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	0.4	<0.3
Sb	25	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.7	<0.5	<0.5	0.6	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Cs	<1.5	2.0	<1.5	16.8	6.4	8.1	1.9	2.9	4.3	4.2	27	3.3	4.7
Tl	1.0	1.4	<1.5	4.4	2.8	1.6	1.6	1.0	2.8	2.0	5.1	1.5	3.6
Bi	24	1.6	11.1	10.2	0.3	<0.3	0.3	0.4	0.7	0.5	<0.6	<0.3	17.8
Th	25	29	0.6	31	31	18.1	23	25	8.1	21	150	13.5	26
U	2.5	4.0	<0.5	17.8	7.0	4.0	6.0	1.7	3.8	2.5	35	2.2	5.2
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	9.96	5.75	0.50	7.17	8.49	8.25	8.18	10.37	11.23	8.37	8.28	8.29	10.08
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0.03	0.04	0.79	1.42	1.17	1.46	1.21	0.14	0.80	1.35	2.08	1.36	3.11
A/CNK	0.7	0.6	0.0	1.2	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.0	1.0
Ga/Al*10 <sup>4</sup>	3.1	2.3	n.c.	3.2	2.5	2.6	2.6	2.8	2.2	2.7	5.0	2.1	2.4
Rb/Sr	0.1	0.0	n.c.	68.5	23.8	10.9	10.8	0.7	1.6	10.6	78.4	2.1	9.2
Th/U	10.0	7.3	>1.2	1.7	4.4	4.5	3.8	14.7	2.1	8.4	4.3	6.1	5.0

Analyst: B. W. Chappell, GEOMOC, Sydney. F, Ion sensitive electrode (ISE) by Actlabs.

第4表 (続き).  
Table 4 (Continued).

Analyses nos.	Gifu, Naegi area				Kamado mine		Yabuhara	Korea
	14	15	16	17	18	19	20	21
Sample no.	NG53	NG64A	NG64B	NG64C	KAD1	KAD2	YAB33	BAYEO
SiO <sub>2</sub>	76.57	76.59	76.11	76.39	75.64	76.10	74.80	73.73
TiO <sub>2</sub>	0.05	0.04	0.02	0.01	0.06	0.01	0.02	<0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.67	12.61	12.59	12.67	13.13	13.51	14.14	14.23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.99	1.03	0.94	0.89	1.01	0.04	0.16	0.42
MnO	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	<0.01	<0.01	0.12
MgO	0.06	0.04	<0.01	0.02	0.11	<0.01	0.09	0.03
CaO	0.86	0.70	0.58	0.52	0.62	0.29	0.32	0.26
Na <sub>2</sub> O	3.84	3.62	4.07	4.12	3.57	5.10	4.62	4.51
K <sub>2</sub> O	4.35	4.75	4.60	4.79	4.13	4.36	5.31	5.82
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
S	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.06
F	0.15	0.13	0.20	0.32	0.09	0.02	0.02	0.02
CO <sub>2</sub>	0.05	0.06	0.06	0.06	0.17	0.06	0.08	0.12
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.32	0.26	0.40	0.19	0.89	0.12	0.18	0.10
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.03	0.08	0.36	0.07	0.40	0.02	0.12	0.08
Total	99.98	99.95	99.97	100.10	99.87	99.65	99.89	99.50
Rb	254	305	395	478	315	322	435	650
Sr	28	14	1.3	<0.1	32	25	13	14
Ba	86	35	6	<2	154	40	42	36
Zr	76	79	100	127	80	32	23	49
Hf	5.2	7.9	11.0	15.6	8.7	7.3	10.6	13.7
Nb	8.1	9.6	35	39	25	12.4	15.4	37.3
Ta	2.2	3.4	6.2	6.5	6.4	19.1	12.2	14.2
Y	56	85	196	203	64	61	203	33
La	27	28	26	14	21	20	28	12
Ce	53	56	35	29	36	36	82	18
V	1	<2	<2	<2	<2	<2	2	<2
Cr	15	6	7	9	13	6	10	13
Co	<3	<3	4	6	5	<1	<2	<2
Ni	3	3	5	3	5	5	5	6
Cu	1.6	2.4	2.0	0.9	11.7	10.1	23	2.0
Zn	20	23	15	27	22	2	11	367
Pb	27	32	45	54	45	25	62	114
Ga	16.1	16.7	20.4	21.1	18.6	23.8	24.5	38.9
Ge	1.5	1.7	2.2	2.6	1.9	2.8	3.2	3.1
As	0.4	0.5	4.2	5.0	<0.6	<0.4	107	<0.9
Se	0.4	0.3	0.5	0.3	0.8	1.0	0.9	0.8
Mo	0.6	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
W	<1	<1	31	1.4	0.6	1.3	2.9	<2
Sn	3.3	5.0	5.1	7.8	3.4	2.6	2.8	1.8
Ag	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cd	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.9
In	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	1.6
Sb	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.4	<0.5
Cs	12.1	9.2	16.4	29	18.6	5.2	17.8	2.2
Tl	2.2	2.7	3.3	3.3	4.3	3.6	4.1	5.2
Bi	0.8	1.0	2.2	0.7	1.6	1.2	1.1	1.2
Th	27	37	41	41	30	15.4	22	12.8
U	6.9	11.4	8.3	9.7	4.2	6.3	9.2	12.9
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	8.19	8.37	8.67	8.91	7.70	9.46	9.93	10.33
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	1.13	1.31	1.13	1.16	1.16	0.85	1.15	1.29
A/CNK	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0
Ga/Al*10 <sup>4</sup>	2.4	2.5	3.1	3.1	2.7	3.3	3.3	5.2
Rb/Sr	9.1	21.8	304	>4780	9.8	12.9	33.5	46.4
Th/U	3.9	3.2	4.9	4.2	7.1	2.4	2.4	1.0

253~174 ppm)はやや高く、重希土類(LREE/HREE+Y=0.7~0.8)に富んでいる。三吉鉱山産試料は微量成分としてのF(0.69%), W(15.4 ppm), Sn(9.0 ppm)に富んでおり、鉱脈中の成分を反映する結果が得られた。

### 5. 滋賀県, 田上図幅地域

この地域にはジュラ紀の丹波帯の付加コンプレックスに貫入して後期白亜紀花崗岩類が広く分布する。水口図幅の作成において、中野ほか(2003)はこれらを観音寺花崗閃緑岩、信楽花崗岩、田上花崗岩と岩脈類に四分した。

信楽周辺に分布する信楽花崗岩類からは5個; 信楽町の日産信楽鉱山入り口から弱変質中粒花崗岩(MNK42), 日産信楽鉱山ピット内の露頭からアプライト(MNK43), 弱粘土化・アルバイト化アプライト(MNK44), 弱変質アルバイト化花崗岩(MNK45), 弱変質白雲母ペグマタイト(MNK46), を分析した。花崗岩やアプライトはK<sub>2</sub>O>Na<sub>2</sub>Oであるが、弱変質岩はNa<sub>2</sub>O>K<sub>2</sub>Oとなり、アルバイト化とより後期の粘土化を受けている(第4表)。信楽花崗岩のREE+Y量は=146 ppm, アプライトにおける総量は174 ppmであって、共に低い値を示す。LREE/HREE+Y比は0.8~0.9である。変質作用によって、REE+Y量は少し減少している。

北部の田上花崗岩類では、中野ほか(2003)の中・粗粒黒雲母花崗岩(Gt3)から2個(MNK50, 33), 同細粒斑状相(Gt2)に相当する微粒黒雲母花崗岩(MNK30)を分析し、別に報告した(石原ほか, 2005)。これらはショショナイト-高カリウム系列に属する(第5図)。MK33花崗岩のREE+Y含有量は178 ppm, LREE/HREE+Yは1.6である。微粒花崗岩はその高いSiO<sub>2</sub>(75.7%), K<sub>2</sub>O(7.6%)及びRb/Sr比(9.2)から、田上花崗岩類のなかで最も分化し

第5表 西南日本内帯の後期白亜紀花崗岩類の ICP-ICP/MS 及び ISE 分析結果。  
Table 5 ICP-ICP/MS and ISE analyses of the plutonic rocks of the Inner Zone of SW Japan.

Analyses nos. Sample nos.	Mihara mine			Kurashiki Area		Minakuchi Quadrangle, Shiga Prefecture							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	MH15	MH13	MH11	KR23	KR26A	MNK42	MNK43	MNK44	MNK45	MNK46	MNK50	MNK33	MNK30
V	<5	<5	11	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	38	<5	<5
Cr	310	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Co	2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1	7	<1	<1
Ni	540	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
As	9	<5	10	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Rb	10	12	<1	491	320	155	139	39	141	119	588	174	391
Sr	70	399	<2	6	12	13	12	52	80	9	11	77	41
Ba	11	7	<3	14	30	18	13	64	1050	13	267	370	354
Cs	0.4	3.7	0.1	13.3	3	1.4	1.3	0.4	1.2	1.1	25.3	2.4	3.8
Ga	30	34	9	26	19	21	22	31	21	22	47	18	20
Ge	2.9	2.3	47.3	2.7	1.8	1.5	1.7	0.7	0.7	1.9	4	1.4	2.1
Zr	72	705	4	102	104	75	134	147	55	106	466	118	77
Hf	3.4	17.8	<0.1	5.2	5.1	3.3	5.8	6	1.9	5	17.6	3.8	4
Nb	17.8	43	1.3	20.5	18.3	18	17.2	3.5	4.9	7.2	141	9.1	14.9
Ta	2.03	2.87	<0.01	4.07	2.87	1.44	1.65	0.45	0.59	1.38	6.87	1.15	1.77
Sn	57	74	>1000	9	3	<1	2	<1	<1	<1	25	<1	1
W	2.9	75.8	92.3	15.4	1.4	3	<0.5	<0.5	<0.5	0.5	2.2	<0.5	12.6
Tl	0.08	0.08	<0.05	3.28	1.96	0.86	0.8	0.34	0.76	0.78	5.17	1.03	2.57
Pb	14	16	8	24	20	24	26	<5	9	33	20	20	20
Bi	18.9	0.3	6.8	8.4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	10
Sb	20.9	1.4	1.9	1.2	1.1	0.9	1.4	1.3	1.2	1.1	1.5	1	1.4
Th	27.3	28.1	0.18	30.1	31.3	17.7	23	22.9	8.19	19.5	192	15.7	24.8
U	2.94	3.71	0.14	11.6	5.92	3.83	6.37	2.89	1.37	3.19	41.2	2.12	3.29
F(%)	2.36	4.59	0.58	0.69	0.27	0.06	0.05	0.02	0.02	0.03	1.09	0.14	0.07
La	3.12	104	0.7	16.5	13.6	11.7	13	9.5	11.6	9.09	90.2	22.3	11.7
Ce	8.74	206	0.85	41.7	32	26.7	32.8	18.8	21	22	204	47.5	26
Pr	1.45	24.3	0.15	5.82	4.29	3.76	4.73	3.37	3.24	2.86	29.4	5.91	4.1
Nd	7.03	83.5	0.5	28.7	20.1	18.9	24.4	17	14.7	14	154	26.8	21.7
Sm	2.11	17.1	0.1	8.48	5.57	5.37	7.52	4.69	3.43	3.71	49.1	5.89	6.8
Eu	0.112	1.03	0.061	0.052	0.066	0.144	0.104	0.122	0.375	0.108	0.164	0.453	0.103
LREE	22.562	237.93	3.361	101.2	75.626	66.574	82.554	53.482	54.345	51.768	526.86	108.85	70.403
Gd	2.49	13.4	0.13	10.4	6.65	6.98	9.06	5.38	4.04	4.09	88.1	6.34	8.87
Tb	0.53	2.16	0.02	2.31	1.43	1.31	1.7	1	0.79	0.77	20.4	1.2	1.86
Dy	3.55	11.2	0.16	15.2	9.51	8.29	10.1	6.17	5.05	4.63	142	7.51	12.1
Ho	0.77	2.09	0.03	3.24	2.03	1.7	1.98	1.29	1.07	0.94	32	1.52	2.53
Er	2.47	6.28	0.11	10.6	6.73	5.3	5.96	4.11	3.37	2.9	99.4	4.67	7.91
Tm	0.421	0.924	0.015	1.75	1.12	0.788	0.882	0.647	0.515	0.443	14.1	0.68	1.18
Yb	3.01	5.32	0.09	10.9	7.31	5.01	5.36	4.04	3.23	2.72	78.4	4.15	7.21
Lu	0.496	0.713	0.011	1.53	1.02	0.696	0.739	0.589	0.441	0.394	10.5	0.579	0.957
HREE	13.737	42.087	0.56	55.93	35.8	30.074	35.781	23.226	18.506	16.887	484.9	26.649	42.517
Y	16.9	69.2	1.9	96.1	63	49.2	55.5	35.7	33	26.9	792	42.1	61.5
HREE+Y	30.637	111.287	2.46	152.03	98.8	79.274	91.281	58.926	51.506	43.787	1276.9	68.749	104.117
REE+Y	53.2	349.2	4.8	253.2	174.4	145.8	173.8	112.4	105.9	95.6	1803.8	177.6	174.5
L/HREE	0.7	2.1	1.4	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.1	1.2	0.4	1.6	0.7

In ppm, analyzed by Actlabs, Ltd. F analyzed by ISE.

た岩相と思われるが、そのREE+Y総量は175 ppm、LREE/HREE+Y=0.7であり、特に高くはない。田上花崗岩体では岩体周縁部でF含有量が低下する傾向が見られ、この特性がやや低いREE含有量と関係している可能性がある。

大津市桐生町付近で第2名神高速道路トンネル工事から運び出された、直径約1 m玉石であった石英閃緑岩(TNK50)は、苦鉄質、特に鉄に富むがアルカリ総量も多く、アルカリ-シリカ図(第5図)で、ショショナイト系列にプロットされる。希土類元素総量は非常に高く

第5表 (続き).  
Table 5 (Continued).

Element:	Naegi area, Gifu Prefecture				Kamado mine		Yabuhara	Korea
	14	15	16	17	18	19	20	21
	NG53	NG64A	NG64B	NG64C	KAD1	KAD2	YAB33	BAYEO
V	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cr	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Co	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Ni	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
As	<5	<5	9	<5	<5	<5	117	<5
Rb	268	291	415	472	312	331	454	580
Sr	27	13	3	<2	27	21	10	12
Ba	86	33	<3	<3	154	40	581	40
Cs	9.5	7.2	13.4	24.4	14.2	4.8	15.9	1.4
Ga	20	18	23	25	23	28	30	46
Ge	1.8	1.4	3.4	2.8	2.2	2.7	3.8	3.2
Zr	103	79	129	160	107	44	40	67
Hf	4.8	3.8	8.5	11.5	5.2	3.1	3.5	12.4
Nb	12.6	12.2	39.6	42	25.7	15.2	18.9	43.4
Ta	1.89	2.3	6.57	3.85	6.41	18.4	10.8	13.4
Sn	2	4	4	6	3	3	3	2
W	1	1.3	40.3	2.9	0.7	0.7	1.6	<0.5
Tl	1.77	1	2.22	2.61	1.88	1.38	1.87	3.76
Pb	26	16	40	50	42	21	52	97
Bi	<0.1	0.2	1.9	0.1	0.1	<0.1	0.1	<0.1
Sb	1.5	0.9	1.4	1.5	1.5	1.3	2	1.3
Th	27.6	34.4	40.7	41.6	30.5	16.3	23.3	17.6
U	6.35	9.81	8.92	10	3.97	6.74	8.9	16.5
F(%)	0.15	0.13	0.2	0.32	0.09	0.02	0.02	0.02
La	24	19.6	19.3	10.8	14.7	10.3	22	4.15
Ce	51.9	45.9	25.3	25.6	31.9	29.1	84.3	10.5
Pr	6.65	6.28	5.97	3.73	4.03	3.46	13.9	1.43
Nd	29.7	29.9	31.5	20.3	20	19	83.6	9.11
Sm	6.6	7.77	10.4	6.79	5.98	7.79	36.1	6.36
Eu	0.171	0.102	0.092	0.012	0.197	0.171	0.066	0.04
LREE	119.02	109.56	92.562	67.234	76.807	69.821	239.97	31.59
Gd	7.17	9.28	15.8	10.5	8.14	10.7	38.7	7.62
Tb	1.4	1.88	3.64	2.71	1.87	2.47	7.17	1.92
Dy	9.08	12.1	25.6	20.5	13.3	15.8	35.8	12.3
Ho	1.92	2.56	5.65	4.82	2.9	2.99	5.55	2.12
Er	6.33	8.32	19	17.7	9.38	8.9	14.9	6.57
Tm	1.03	1.29	3.16	3.21	1.5	1.5	2.43	1.28
Yb	6.74	8.15	20.8	21.5	9.75	9.46	14.6	8.33
Lu	0.958	1.13	3.11	3.17	1.44	1.29	1.98	1.12
HREE	34.628	44.71	96.76	84.11	48.28	53.11	121.13	41.26
Y	61.8	78	199	197	66.2	69.4	207	41
HREE+Y	96.428	122.71	295.76	281.11	114.48	122.51	328.13	123.52
Total REE	215.4	232.3	388.3	348.3	191.3	192.3	568.1	113.9
L/HREE	1.2	0.9	0.3	0.2	0.7	0.6	0.7	0.4

(1,804 ppm), 特にY(792 ppm)に富み, Dy は142 ppmである. したがって, 水平的な希土類分布パターンを示し, その絶対量も飛び抜けて高く(第6図), LREE/HREE+Yが低い(0.4). この球石はサービスエリア造成用に既に処分されており, 地表における露頭の発見が

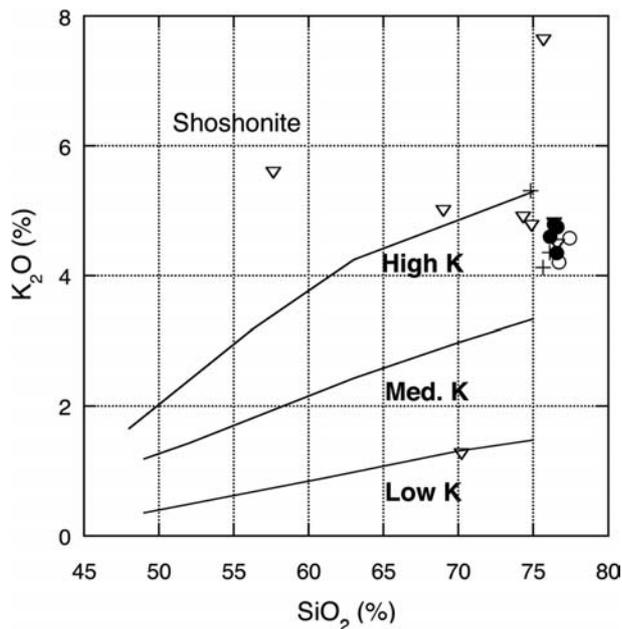
今後の課題である. この岩石は完晶質, 新鮮な岩石で, 鏡下ではごくわずかに絹雲母化を受ける斜長石, 黒雲母, 石英を主成分とし, 若干のカリ長石を含むので石英閃緑岩-花崗閃緑岩境界付近のモード組成を持つ. 多量の高屈折率鉱物が, 主に黒雲母中に見られ, EPMAによる予察的な検討によると, それは主としてゼノタイム, ジルコン, モナズ石であり, これらがREE, U, Thを含むものと考えられる.

## 6. 岐阜県, 苗木地域

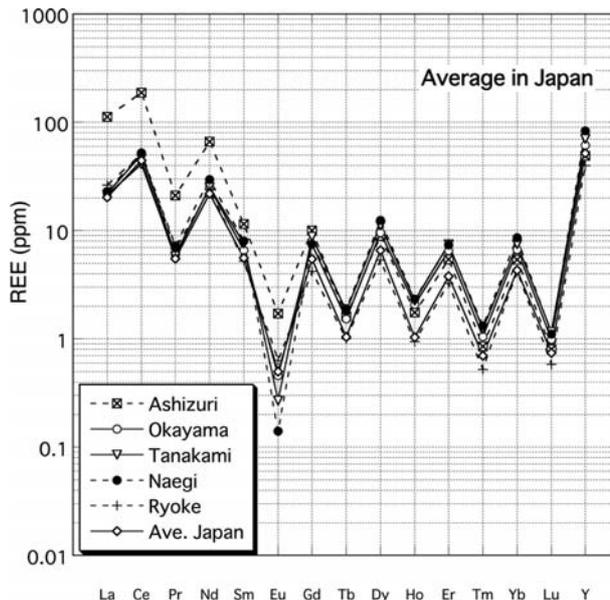
この地域には, 美濃帯のジュラ紀付加コンプレックスを切って後期白亜紀の濃飛流紋岩類が噴出し, これらに花崗岩類が貫入し, 苗木, 土岐などの花崗岩体を構成する (Ishihara and Wu, 2001). 苗木花崗岩体からは中津川市苗木南南西方, 桑原寺六角堂の中粒黒雲母花崗岩を選んだ. これはペグマタイトを含み, 典型的な苗木花崗岩である. そのREE+Y量は216 ppm, LREE/HREEは1.2である(第5表).

恵那郡蛭川村新田の採石場では中粒黒雲母花崗岩から1個(NG64A), それに貫入する幅32 cmの複合アプライト岩脈から盤際のペグマタイト含有アプライト(NG64B)及び中心部のアプライト(NG64C)を選んだ. 中粒花崗岩のREE+Y量は232 ppm, LREE/HREE+Y=0.9, 岩脈の早期晶出と考えられる周縁ペグマタイト含有相のREE+Y量は388 ppm, LREE/HREE+Y=0.3, 最末期固結の中心部のアプライト相のREE+Y量は348 ppm, LREE/HREE=0.2であった. すなわち, 花崗岩固結期からアプライト期に向けて希土類元素は1.6倍程度濃集し, かつ重希土類に富む傾向が認められる.

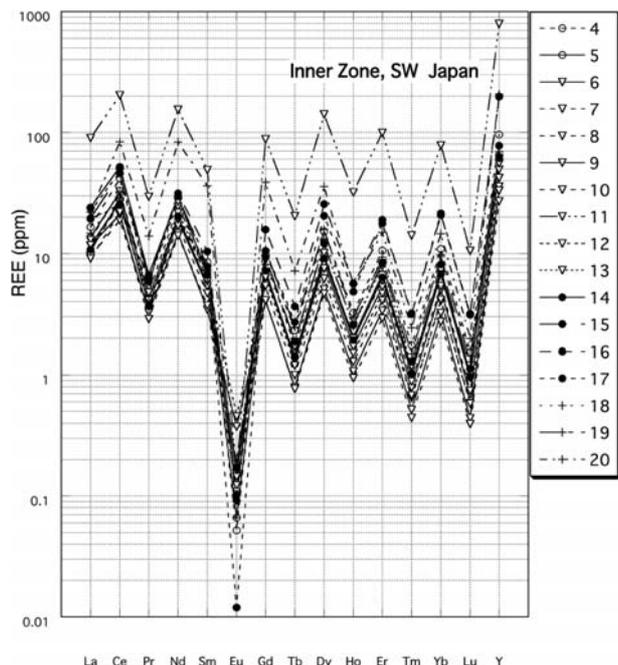
岐阜県瑞浪市釜戸には領家花崗岩類の伊奈川花崗岩に貫入する優白質アプライト岩脈があって, 釜戸長石として窯業用に永年稼行された(石原・岡野, 1994).



第5図 西南日本内帯花崗岩類のアルカリ-シリカ図。  
Fig. 5 Alkali-silica diagram of the late Cretaceous granitoids of the Inner Zone of Southwest Japan. Alphabetical symbols are the same as those of Fig. 3.



第7図 足摺岬深成岩体及び西南日本内帯花崗岩類の希土類元素パターン (平均値)。  
Fig. 7 Average REE patterns (ppm) of selected granitoids in Southwest Japan.



第6図 西南日本内帯花崗岩類の希土類元素パターン。  
Fig. 6 REE pattern of the late Cretaceous granitoids of the Inner Zone. The numbers correspond to those of Table 4.

その2例(KAD1, 2)を第4, 5表に示す。REE+Y量は221 ppmと192 ppmであり、LREE/HREE+Y=0.6~0.7であって上述の苗木花崗岩中の分化岩脈より希土類元素に乏しい。この事実は、釜戸長石の母マグマであった

母岩の領家花崗岩が希土類元素に乏しい(Ishihara and Wu, 2001) ためと考えられる。

同様な岩石は長野県木曾郡木祖村藪原でも、<sup>なご</sup>奈川花崗岩中の変質アプライト岩脈として知られている(須藤・高木, 1994)。この藪原長石(YAB33)は著しくYに富み(207 ppm), REE+Y量が大きく(568 ppm), LREE/HREE+Yが低い(0.7)。この事実は、原マグマの奈川花崗岩が苗木花崗岩と同様な重希土類に富む性質を持つ可能性を暗示している。韓国、大田市郊外からの同様なアプライト長石(BUYEO)を参考値として示したが、これはREE+Y量に乏しい。花崗岩形成の最末期生成物と考えられるアプライトも原マグマの性質によって希土類に関して異なる性質を持つことを示している。

### 7. 希土類元素の岩体別平均値, 分布特性と成因

調査岩体の希土類元素存在量の概要を知り、風化殻との関連性を見るために、主要岩相の平均値を求めた(第5表)。足摺岬岩体では主岩相の閃長岩類7個を第2表から平均した。岡山県南部では万成花崗岩の4個(Ishihara et al., 2005)に今回の倉敷地域2個を加えて平均し、岡山南部と表示した。水口図幅地域では前回(石原ほか, 2005)の6個に今回の1個を加えた田上花崗岩の値として示した。苗木地域では前回(Ishihara and Wu, 2001)の7個に、今回の2個を加えて平均した。比較のために領家花崗岩類と日本の平均値とを示したが、前者はIshihara and Wu (2001)による中部地

第6表 足摺岬深成岩体及び西南日本内帯花崗岩類の希土類元素の平均値。

Table 6 Average REE contents (ppm) of selected granitoids in SW Japan.

Elements	Ashizuri Syenites n=7	Okayama Granites n=8	Tanakami Granites n=7	Naegi Granites n=9	Ryoke Granites n=8	Average Japan n=2
SiO <sub>2</sub>	65.2%	75.4%	75.4%	76.7%	73.4%	72.1%
La	112.2	22.1	21.4	23	26.3	20.3
Ce	187.7	50.2	41.1	52.2	50.5	44.3
Pr	21.10	6.00	5.82	7.19	6.76	5.50
Nd	66	25.04	25.1	29.5	23.9	21.8
Sm	11.50	6.57	7.59	8.04	5.20	5.59
Eu	1.72	0.46	0.27	0.14	0.63	0.50
LREE	369	110.35	101.32	120.07	113.24	97.99
Gd	10.00	7.47	8.77	7.47	4.20	5.47
Tb	1.61	1.53	1.80	1.90	1.00	1.04
Dy	8.92	9.54	11.20	12.40	5.35	6.55
Ho	1.750	2.075	2.260	2.330	0.944	1.030
Er	5.42	6.51	7.51	7.38	3.26	3.78
Tm	0.85	1.05	1.23	1.32	0.52	0.70
Yb	5.37	6.65	7.52	8.57	4.20	4.31
Lu	0.80	0.99	1.16	1.11	0.58	0.74
HREE	34.72	35.821	41.46	42.48	20.05	23.62
Y	49	61.4	70.2	83.4	40	51.9
HREE+Y	83.72	97.22	111.66	125.88	60.05	75.52
REE+Y	452.72	207.57	212.98	245.96	173.29	173.51
L/HREE	10.6	3.1	2.4	2.8	5.6	4.2

Data source. Ashizuri: Nos. 4 to 10 of Table2.

Okayama: KR23 and KR26A of this study, 4 analyses (TO55, TO181, TO287, TO289) of Ishihara (2003), and 2 analyses of the Mannari main phase (Ishihara *et al.*, 2005).

Tanakami: MNK33 and 6 analyses of Ishihara *et al.* (2005).

Naegi: NG53 and NG64A, and 213, 211 N505, N506, N508, N509, N510 of Ishihara and Wu (2001).

Ryoke: T105, T110, T109, T114, T94, T60, T145 and T70 of Ishihara and Wu (2001),

Average Japan: Average of JG2(Naegi granite) and JG3 (Mitoya granodiorite) of Imai *et al.* (1995).

方領家帯北縁部の塊状花崗岩の平均値であり、後者は日本産標準試料 (Imai *et al.*, 1995) から、鳥根県三刀屋の磁鉄鉱系の閃雲花崗閃緑岩 (JG3) と岐阜県苗木の黒雲母花崗岩 (JG2) の値を平均したものである。

これら平均値のREEパターン(無規格化)を第7図に示す。この図から、(i) 足摺岬深成岩類が軽希土類元素を中心として最も希土類元素に富んでいる、(ii) 苗木花

崗岩がEuの著しい負異常を示し、重希土類元素に富んでいる、などが明らかである。

足摺岬花崗岩類のREEは、花崗岩類の2倍程度の高REE含有量を持つ流紋岩脈でフッ化セリウム<(Ce, La)F<sub>3</sub>>、バストネサイト<Ce, La(CO<sub>3</sub>)F>が含まれること (Imaoka and Nakashima, 1994b)、あるいはチェフキナイトの産出例 (Imaoka and Nakashima, 1994a) などから、これら軽希土類元素に富む鉱物に依存する可能性が高い。その検討は今後の課題である。

苗木花崗岩中に多産する小規模なベグマタイトにはフェルグソナイトが最も一般的に産出し、ついでサマルスカイト、モナズ石、恵那石である (小関・松原, 1961)。またREEを多く含むジルコンの変種である苗木石も産出し、苗木花崗岩のREEはごく微量に含まれる上記鉱物に由来するものと考えられる。

希土類元素は大局的に高フッ素花崗岩類(足摺岬、苗木など)と関連しているが、それらの花崗岩質マグマの成因は異なると考えられる。足摺岬深成岩類の斑れい岩の中間生成物は低いSr初生値を持ち (0.7035, Shibata and Ishihara, 1979)、斑れい岩マグマが上部マントル起源であることを示す。閃長岩類は少量の磁鉄鉱を含むこと、メタアルミナスの性格などから四万十帯の堆積岩起源とは考えられず、地殻深所に潜在する苦鉄質火成岩類が、恐らく斑れい岩マグマの上昇によって部分熔融し、発生マグマが少量であったためにアルカリに富む性質を持つに至ったものと考えられる。

山陽帯の優白質花崗岩類はチタン鉄鉱系カルクアルカリ岩に属し、堆積岩を含む珪長質火成岩類起源と思われる (Ishihara and Matsuhisa, 2002) が、苗木花崗岩が最も希土類元素に富み、次いで田上花崗岩である。REEは一般の微量造岩鉱物に含まれるものと思われるが、関連アプライト岩脈については希産鉱物が含まれる可能性がある。苗木・田上花崗岩類はフッ素に富み、

かつマグマ分化が進んでいた性質を持つ。この2点が、山陽帯の一般の花崗岩類の中で、これら花崗岩類が重希土類を中心として希土類元素に富むに至った原因と考えられる。

田上花崗岩中に見られた著しく異常な岩石(1,804 ppm REE+Y, 142 ppm Dy)は苦鉄質であるにもかかわらず苦鉄鉱物は黒雲母のみである。鏡下で完晶質組織を示し、斜長石のアルカリ長石化も顕著ではないので、恐らくマグマ期に苦鉄質マグマとK, REEに富む珪長質マグマとが反応して生成したものと思われる。この試料は高速道路建設のトンネル工事用の貯石場から得られたので産状がはっきりせず、今後、類似岩を発見して更なる解析を進めることが必要である。

## 8. むすび

ハイブリッド車時代に対応する希土類元素確保のための基礎研究の一環として、花崗岩類中の希土類元素量を調査した。その結果、足摺岬花崗岩類が最も希土類元素に富み、平均値で453 ppm REE+Yであり、ついで山陽帯の優白花崗岩類(苗木, 246 ppm REE+Y, 田上, 213 ppm REE+Y)が多く含むことが判明した。これらは今後の風化殻や風化堆積物における希土類元素濃集機構解析の基礎データとなるものである。1,800 ppm REE+Yに達する異常値を持つ包有岩の成因解明は今後の課題である。

## 文 献

青木義和・肥田 昇 (1974) 広島県三原鉱山のベリリウム鉱床の地質と鉱床の成因。鉱山地質, **24**, 201-211.

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・トール石鉱床-。日本におけるウランの産状 その2, 地調報告, no.232, 93-103.

Imai, N., Terashima, S., Itoh, S. and Ando, A. (1995) 1994 compilation of analytical data for minor and trace elements in seventeen GSJ geochemical reference samples, "Igneous rock series". *Geostd. Newslet.*, **19**, 135-213.

Imaoka, T. and Nakashima, K. (1994a) Chevkinite in syenites from Cape Ashizuri, Shikoku Island, Japan. *Neues Jb. Miner. Mh.*, H. 8, 358-366.

Imaoka, T. and Nakashima, K. (1994b) Fluocerite in a peralkaline rhyolite dyke from Cape Ashizuri, Shikoku Island, Southwest Japan. *Neues Jb. Miner. Mh.*, H.12, 529-539.

今岡照喜・中島和夫・村上允英 (1991) 高知県足摺岬A

タイプ花崗岩中のガリウム。岩鉱, **86**, 354-363.

石原舜三 (1988) Aタイプ花崗岩とREE 鉱床。地質ニュース, no.409, 6-24.

石原舜三 (2005) 岐阜県平岩ほたる石鉱床の地質と日本のほたる石鉱床区における重要性。地質調査研究報告, **56**, 167-176.

Ishihara, S. and Matsuhisa, Y. (2002) Oxygen isotopic constraints on the geneses of the Cretaceous-Paleogene granitoids in the Inner Zone of Southwest Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **53**, 421-438.

石原舜三・村上浩康 (2005) いまレアアースが面白い-イオン吸着型鉱床は将来の先端高度産業を支えられるか?。地質ニュース, no.609, 4-18.

石原舜三・岡野武雄 (1994) 花崗岩系列と非金属鉱物資源。地質ニュース, no.484, 13-24.

Ishihara, S. and Wu, C-Y. (2001) Genesis of Late Cretaceous-Paleogene granitoids with contrasting chemical trends in the Chubu District, Central Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **52**, 471-491.

石原舜三・中野聡志・寺島 滋 (2005) 近畿地方田上花崗岩の化学的特性-特に放射性元素と希土類元素の役割-。地質調査研究報告, **56**, 93-98.

Ishihara, S., Yoshikura, S., Horikawa, S., Ogasawara, M., Nishio, I. and Terashima, S. (2005) On the oxidized and reduced granites found in quarries of Okayama city, Southwest Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **56**, 1-8.

Ishihara, S., Tanaka, T., Terashima, S., Togashi, S., Murao, S. and Kamioka, H. (1990) Peralkaline rhyolite dikes at the Cape Ashizuri: -A new type of REE and rare metal mineral resources. *Min-ing Geol.*, **40**, 107-115.

小関幸次・松原秀樹 (1961) 概論: 含ウランペグマタイト鉱床。日本におけるウランの産状, その1. 地調報告, no.190, 13-26.

Le Maitre, R. W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre, J., Le Bas, M. J., Sabine, P. A., Schmid, R., Sorensen H., Streckeisen, A., Wooddey, A. R. and Zanettin, B. (1989) *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. Blackwell, Oxford. 193 p.

村上允英・今岡照喜 (1980) 四国南西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, 57-70.

村上允英・増田康之 (1984) 高知県足摺岬産第三紀火成岩類の微量元素。岩鉱, **79**, 318-328.

村上允英・蟹沢聡史・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.

- 村上允英・今岡照喜・魚住誠司 (1989) 高知県足摺岬の環状複合体とその形成機構. 地団研専報, no.36, 115-142.
- 中野聰志・川辺孝幸・原山 智・水野清秀・高木哲一・小村良二・木村克巳 (2003) 水口地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図福). 地質調査総合センター, 83 p.
- Nakashima, K. and Imaoka, T. (1998) Niobian and zircon ilmenites in syenites from Cape Ashizuri, Southwest Japan. *Mineralogy and Petrology*, **63**, 1-17.
- Shibata, K. and Ishihara, S. (1979) Initial  $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$  ratios of plutonic rocks from Japan. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **70**, 381-390.
- 添田 晶 (1964) 中国地方, 広島県, 三原地区. 国内鉄鋼原料調査第3集, 465-468.
- Stein, G., Charvet, J., Lapierre, H. and Fabbri, O. (1994) Geodynamic setting of volcano-plutonic rocks in so-called "paleo-accretionary prisms": Fore-arc activity or post-collisional magmatism? The Shimanto belt as a case study. *Lithos*, **33**, 85-107.
- 須藤定久・高木哲一 (1994) 長野県, 藪原長石鉍山の交代性長石鉍床—その産状と岩石記載. 地質調月報, **45**, 257-265.
- Watanabe, M. and Hoshino, K. (1991) Tin behavior and its implications for skarn genesis. In *Skarns - Their genesis and metallogeny*. Theophrastus Publications, S. A., Athens, 31-55.
- Watson, E. B. and Harrison, T. M. (1983) Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth Planet. Sci. Let.*, v. 64, 295-304.
- 渡辺 洵・星野健一 (1992) 含錫ガーネットの成因. スカルン型鉍床の生成機構の解明, 平成3年度総研報告書, p.13-18.
- Whalen, J. B., Currie, K. L. and Chappell, B. W. (1982) A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **95**, 407-419.
- Wu, C-Y., Huang, D-H. and Guo, Z-X. (1990) REE geochemistry in the weathered crust of granites, Longnan area, Jiangxi Province. *Acta Geol. Sinica*, **3**, 193-210.
- 吉倉紳一・熱田真一 (2000) 花崗岩体に記録されたマグマ混交・混合現象. 月刊地球/号外, no.30, 140-145.

(受付: 2006年5月1日; 受理: 2006年8月29日)