

東中国における花崗岩類の微量元素

増田康之*・池田 隆**・西村 進**

Trace element abundances in some granitic rocks from
eastern Chugoku, Southwest Japan.

Yasuyuki MASUDA*, Takashi IKEDA** and Susumu NISHIMURA**

Abstract Trace element abundances were determined for 19 granitic rocks and 3 gabbroic rocks collected from eastern Chugoku district, southwest Japan, by means of the instrumental neutron activation technique. The analytical results were shown in Table 1. Trace elements in the Myoken granodioritic complex were also analyzed as shown in Table 2.

はじめに

マグマの発生と分化の過程における微量元素の挙動は、マグマと鉱物間の元素の分配関係によって基本的に規定されるようにみえる。このことを利用して、岩石中の微量元素含有量から火成岩の成因を解明しようという試みは、1960年代から活発に行われてきた。そして、この試みは、海嶺や島弧・大陸のソレアイトやアルカリ岩、造山帯の安山岩などの塩基性～中性火山岩について、その相互の成因関係に一応のイメージを与えることができた点と、今後、更に高精度の分析・研究を進めることによって、より緻密な議論を展開できる見通しを内包しているという点で、成功を収めているといえよう(GAST, 1968とそれに続く研究)。

ところが一方、造山帯や大陸には莫大な量の明らかに火成起源の酸性深成岩体(花崗岩類)がみられる。この花崗岩類の成因についても主に希土類元素の分析データに基づいて、塩基性岩と同様の試みがなされているが、それほど成功を収めているとは云い難い。その理由は、最近 HANSON (1978) も指摘しているように、玄武岩質マグマの発生と分化の過程は、豊富な高圧実験の資料を参考にしながら比較的シンプルにとらえられるのに対し、酸性マグマの

場合は、非常に複雑である。例えば、起源物質をとっていても、マントル物質、玄武岩質物質、酸性～中性火成岩、堆積岩などを全て一応考慮せねばならない。また、温度、圧力、水の分圧が広範囲にわたることや、酸性マグマの反応速度が遅いこと、花崗岩系の相平衡関係も複雑であることが、微量元素の分配・挙動を説明するモデルをつくることを困難にしている。そればかりではなく、火山岩の場合には試料としての全岩の組成が、多少の斑晶が含まれていても、ほぼ液相(マグマ)の組成を示すと考えられるのに対し、深成岩の全岩では、その分析値がマグマの組成を示すという保証はなく、むしろ早期晶出の鉱物が適当量混入したものを示す恐れがあることにもよる。

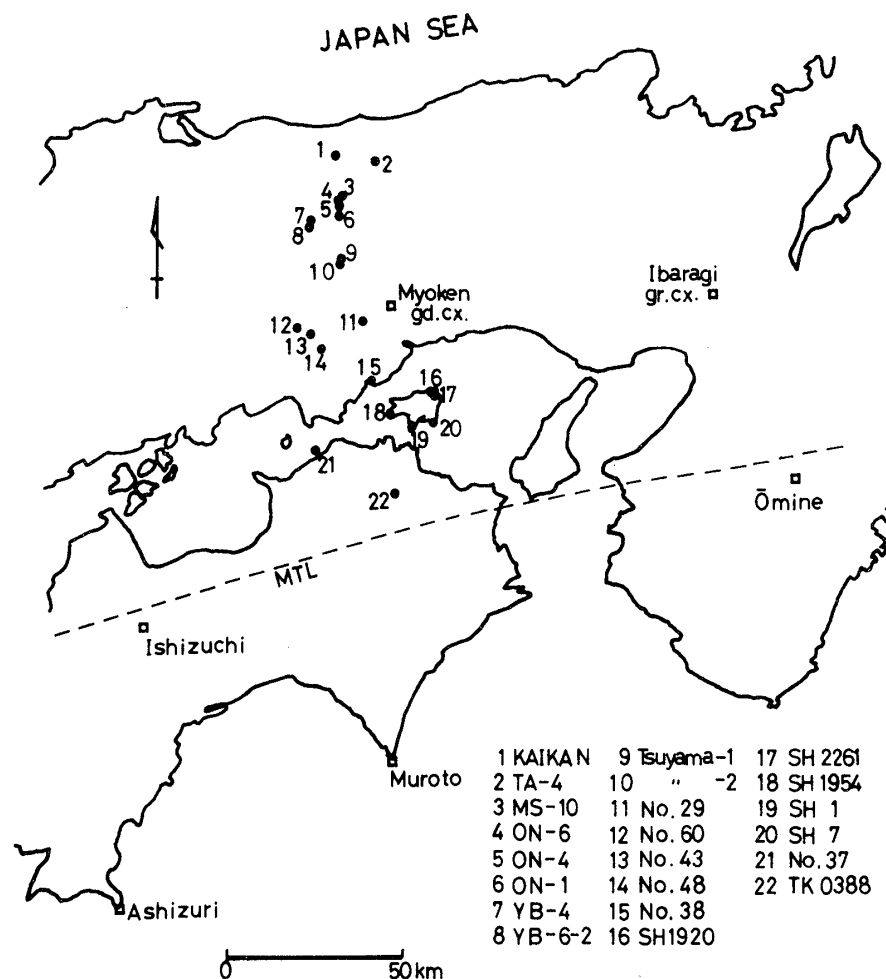
今度、「中生代酸性火成作用」の総合研究の一部として、22個の花崗岩類(斑れい岩を含む)の全岩試料について、微量成分15元素を中性子放射化分析法で分析したが上述の理由と、研究対象の割に試料数の少いこと、今までに日本の花崗岩の微量元素について得られているデータの少いことのため、分析結果に基づいた議論は困難である。今後の研究の参考になれば幸いと考え、その結果を報告する。この意味で、その他のいくつかの花崗岩類の分析結果もこの機会に比較のために報告させていただきたい。

試料・分析方法

分析に供した試料は次のとおりである。

* 大阪府立大学総合科学部地学教室 Department of Geological Sciences, University of Osaka Prefecture, Sakai, Osaka, 591 Japan

** 京都大学教養部地学教室 Institute of Earth Science, Kyoto University, Kyoto, 606 Japan



第1図 分析試料の産地 TA-4・YB-6-2・SH-7：斑れい岩類，その他：花崗岩類

1) 東中国横断の花崗岩類，22試料：岩石名，化学分析値は別に報告される。試料採取地点は第1図に示すように，山陰地方の倉吉付近から四国の高松南方にわたっている。

2) 岡山県妙見山花崗閃緑岩質複合岩体，7試料：白川頼子氏の提供によるものでトータル岩($\text{SiO}_2 = 52.58\%$)～アダメロ岩(69.60%)の組成を持つ。試料ナンバーは白川(1975)のTable 2と同じである。

分析はGe(Li)半導体検出器を用いた非破壊中性子放射化分析法(MASUDA *et al.* 1974)で行った。約100mgの粉末試料をポリエチレン容器に封入し，京都大学原子炉(KUR-1)の圧気輸送管で60分間照射後，大阪府立放射線中央研究所および京都大学RIセンターで γ 線のエネルギー分析を行った。分析誤差は，Co, Sc, Thが5%，Tb, Rbは15%，他は10%程度である。

分 析 結 果

分析の結果を第1・2表に，希土類元素量を平均コンドライト中の含有量で正規化した希土類元素パターン(REEパターン)を第2・3図に示す。

1. 妙見山岩体—希土類元素の分化

岡山県和気北方にトナル岩からアダメロ岩に至る不均質な岩相を呈する小規模な深成岩体があり，妙見山花崗閃緑岩質複合岩体とよばれている。その岩石学的研究は白川(1975)が行った。同岩体の7試料についてのREEパターンは，第3図の上図に示されている。試料のうちで最も塩基性なトナル岩，(試料7)はEuアノマリーの無い軽希土に富んだ直線的なパターンを持っている。他の花崗閃緑岩～アダメロ岩はEuを除いて，全体に濃縮したREEパターンを示し，負のEuアノマリーを持つようになる。しかし，その分化の範囲は，同様な岩体である茨木複合花崗岩体のREEパターンの範囲よりは狭い(第3図

第1表 東中国産花崗岩類および斑れい岩類の微量成分存在度(ppm)

Sample	Co	Cr	Sc	Ba	Hf	Th	Rb	Cs	La	Ce	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu
Kaikan	14.2	4.8	2.8	329	3.2	16.3	135	2.3	36.0	58.2	4.8	0.75	0.78	3.6	0.55
ON-1	13.7	1.8	3.6	710	6.4	13.3	118	3.8	23.5	43.0	3.5	1.28	0.60	2.8	0.46
ON-4	47.3	4.9	8.5	443	1.8	8.0	84	3.7	14.7	28.0	3.3	1.11	0.60	1.9	0.35
ON-6	14.0	4.8	6.7	514	5.0	12.6	106	3.1	24.3	43.9	3.5	1.04	0.59	2.3	0.39
29	9.2	0.6	7.2	641	3.9	10.2	97	3.5	28.7	53.1	4.5	1.31	0.78	2.9	0.44
60	10.2	3.8	5.0	372	3.9	12.7	132	4.2	17.9	32.1	4.6	0.77	0.93	3.7	0.55
MS-10	16.3	3.9	4.8	362	2.9	13.9	121	4.0	20.7	32.9	2.8	0.72	0.49	2.8	0.34
TA-4 *	89.4	439	17.5	86	—	—	—	—	3.1	10.5	1.8	0.69	0.46	1.1	0.18
YB-4	28.8	33	20.8	292	3.2	5.5	56	2.7	14.5	28.9	3.4	1.26	0.46	1.9	0.32
YB-6-2*	53.2	233	28.4	—	—	—	—	—	1.9	6.0	0.9	0.46	0.31	0.3	0.14
SH-1	5.9	1.5	6.8	733	3.8	13.6	88	2.1	48.6	101	4.2	1.13	—	1.5	0.26
SH-7*	36.4	126	34	—	1.2	—	—	—	6.1	18.3	2.3	0.80	0.42	1.1	0.17
38	5.2	2.0	3.0	387	3.0	16.8	162	3.9	28.2	68.0	5.8	0.46	—	3.2	0.55
37	4.2	1.3	4.1	607	3.4	14.3	141	4.2	34.7	80.6	5.7	0.83	0.85	2.7	0.47
43	21.3	18.9	22.5	217	7.5	11.6	117	7.2	20.2	50.8	5.8	1.03	0.94	2.6	0.49
48	8.3	1.9	4.7	417	4.6	13.7	148	3.2	22.0	55.2	5.1	0.61	0.61	2.9	0.51
SH-2261	10.6	1.3	4.8	720	3.9	13.4	139	2.8	22.5	48.5	5.0	0.58	1.19	4.6	0.63
SH-1954	7.4	1.5	4.7	896	3.7	13.7	125	2.9	37.8	76.7	5.4	0.93	0.67	2.0	0.31
SH-1920	12.4	1.2	6.3	851	4.2	16.8	155	3.0	16.0	42.2	6.3	0.41	1.37	4.3	0.63
TK-0388	6.6	2.1	9.5	—	5.4	16.7	128	3.9	38.6	78.0	6.8	1.18	1.04	3.3	0.49
Tsuyama-1	6.0	2.3	7.3	749	6.0	17.9	159	4.0	50.2	125	9.0	0.87	1.4	4.5	0.69
Tsuyama-2	5.5	2.5	10.8	787	7.2	15.6	180	8.2	37.4	95.9	8.5	1.08	1.6	5.3	0.80

* The samples attached star are gabbroic rocks. — : not determined.

第2表 妙見山花崗閃緑岩複合岩体における微量成分存在度(SiO₂:wt.%, 微量成分:ppm)

Sample	SiO ₂	Co	Cr	Sc	Ba	Hf	Th	Rb	Cs	La	Ce	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu
1	64.82	9.0	116	11.9	434	4.6	11.5	91	4.7	23.6	52.5	5.9	1.2	1.1	2.4	0.35
2	66.58	9.4	122	10.7	445	3.9	10.5	100	3.8	20.6	43.6	4.9	0.85	0.79	2.4	0.37
4	62.32	14.2	145	16.8	406	4.4	9.1	77	3.3	19.4	44.5	5.3	1.3	1.04	2.5	0.34
7	52.58	24.1	125	28.3	240	2.1	3.1	28	1.9	12.2	31.8	4.5	1.6	0.92	2.2	0.30
8	59.20	17.0	90	18.2	349	4.2	7.1	66	3.3	16.5	37.8	4.6	1.3	0.99	2.3	0.30
10	69.60	3.9	63	6.7	491	3.4	10.0	97	3.7	21.2	48.5	4.6	0.95	0.82	3.1	0.41
12	61.14	9.5	61	14.7	285	3.0	7.0	62	4.9	17.3	40.9	5.3	1.4	1.3	3.5	0.47

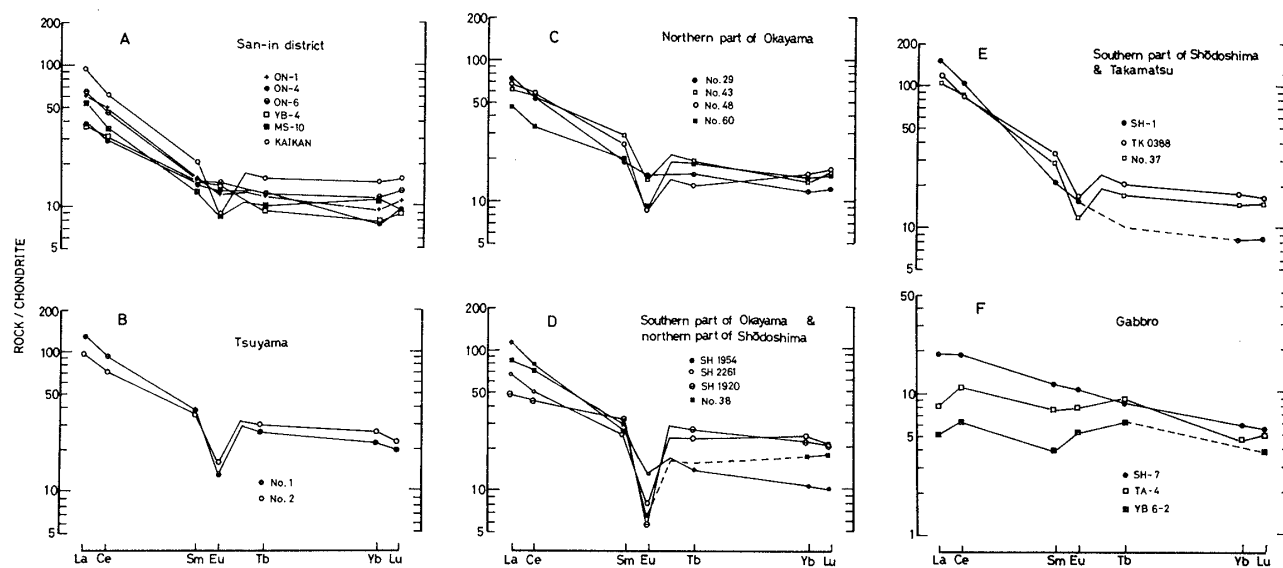
の下図に比較のためにMASUDA *et al.*, 1972より引用した)。

花崗岩質マグマから晶出する鉱物としては、長石類、石英、角閃石類、輝石類、アパタイト、ジルコンなど種々のものが考えられ、これらの鉱物がどの程度晶出するかによって、マグマのREEパターンの形が決ってくる。特にアパタイトやジルコンの希土類元素の分配係数は大きく、10から100の値を持つ(NAGASAWA, 1970)ので、これらの鉱物が、晶出するかどうかで、REEパターンは大きく影響を受けると考えられる。また、濃飛流紋岩体のように、軽希土はあまり変化せず重希土のみが、4.5倍も濃縮する場合もある(MASUDA *et al.* 1976)。おそらく、

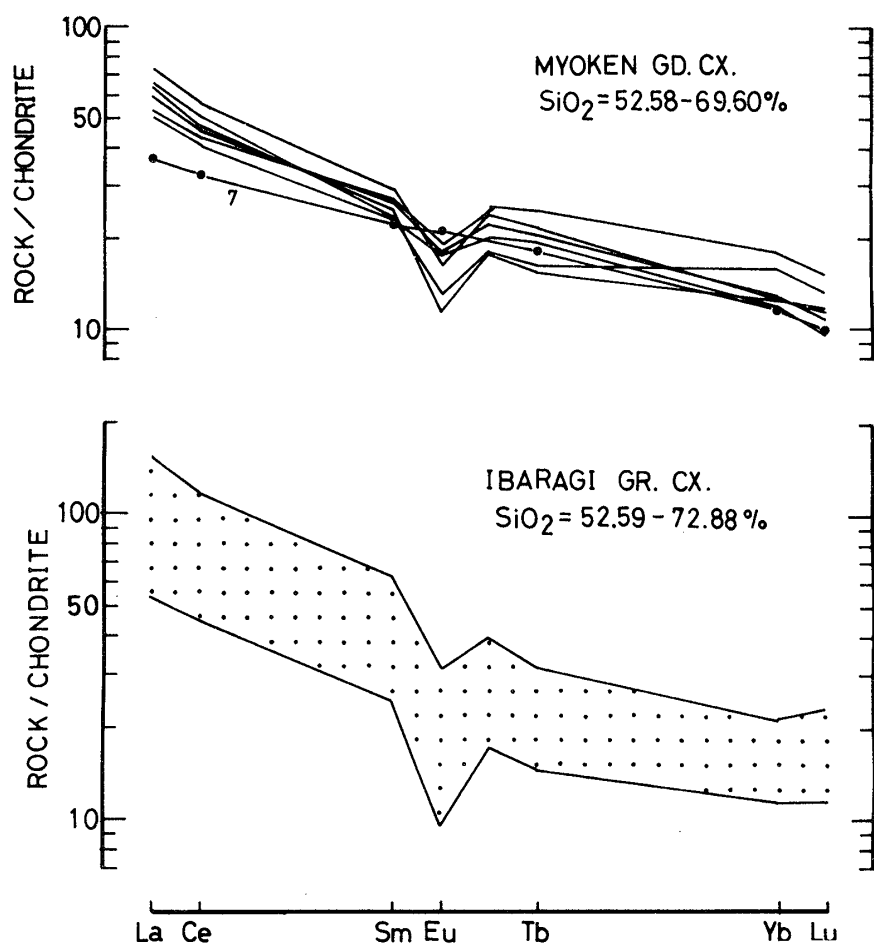
REEパターンの違いは、マグマの組成の他に、分化時のP, T, PH₂O に関係して生じるのであろう。分化によって負のEuアノマリーが生じることは共通して認められるが、このEuアノマリーのできやすさも、マグマ中のEu²⁺/Eu³⁺比の値に関係し、それはマグマの温度、酸素フュガシティーによって決ってくるようである(DRAKE, 1975)。このように、REEパターンの違いをもたらす原因はいろいろと考えられるので、パターンの形だけに基づく議論は、大変な危険を伴う。しかし、東中国の花崗岩類のREEパターンの特徴を示すと次のようになる。

2. 東中国の花崗岩類

東中国の花崗岩類を、便宜上、地理的に5グルー



第2図 コンドライトで規格化した東中国産花崗岩類および斑れい岩類のREEパターン



第3図 コンドライトで規格化した妙見山花崗閃緑岩複合岩体のREEパターン（上部）と
茨木複合花崗岩体におけるREEの範囲（下部）

プに分けて、そのREEパターンを示した。斑れい岩3試料も別にして示した。

(A) 山陰地域, Laの濃縮度 $[La] N=40\sim 100$, Luの濃縮度 $[Lu] N=8\sim 15$. 1試料(KAIKAN)には大きい負のEuアノマリーがあるが, 他の5試料には, 目立ったEuアノマリーはない。

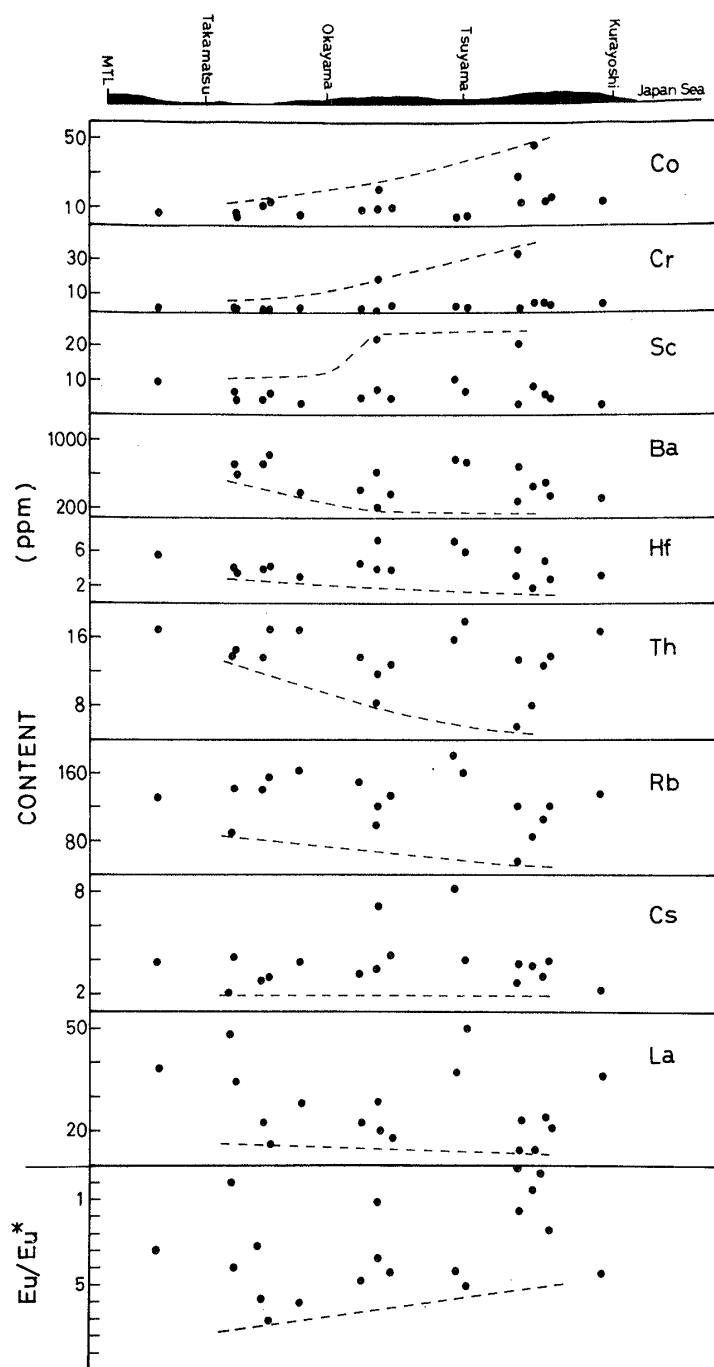
(B) 津山地域, $[Lu] N=約100$, $[Lu] N=20$.

明瞭な負のEuアノマリーがある。

(C) 岡山北部地域, $[La] N=50\sim 80$, $[Lu] N=12\sim 18$. 試料No.60を除いてEuアノマリーがある。

(D) 岡山南部・小豆島北部地域, $[La] N=50\sim 100$, $[Lu] N=10\sim 20$. 負のEuアノマリーが大きく明瞭である。

(E) 小豆島南部・高松地域, $[La] N=110\sim 150$,



第4図 東中国における花崗岩類の微量元素濃度および Eu/Eu^* の南北変化
図中の破線は、プロットの上限または下限を示す。

[Lu]N = 8 ~ 18. 試料SH-1はEuアノマリーが無く、重希土と軽希土の濃縮度の差が最も大きい。

(F)斑れい岩. 斑れい岩の希土類元素量は花崗岩類に比べて明らかに少なく, [La]N = 5 ~ 20, [Lu]N = 4 ~ 6 である. 特にYB6-2は日本の第四紀の島弧ソレアイト (MASUDA & AOKI, 1978) と比べても低い方にはいる。

この斑れい岩と花崗岩類がどのような成因関係にあるかは興味ある問題であるが、今、地理的に近い位置にあるYB-4の花崗岩がYB6-2の斑れい岩の分化物、SH-1がSH-7の分化物であるとし、簡単な計算を試みた。マグマの分化過程をRayleighモデル (GAST 1968), マグマと晶出鉱物全体とのLaの分配係数を0と仮定してみると、計算の結果、斑れい岩のLa濃度が花崗岩のLa濃度にまで濃縮するためには、斑れい岩マグマが少なくとも86%固化する必要がある。実際はLaの分配係数は0ではないから、おそらく90%以上の固化を要することになる。深成岩体の分化にRayleighモデルを適用するのに無理があろうし、野外での岩石の産状も考慮した上で、今後検討していく必要がある。

3. 東中国花崗岩類の微量元素量の南北変化

岩石中の元素含有量の地域差を論じる場合、比較する岩石をある基準のもとに統一するか、その地域内に分布する岩石を十分代表するようなサンプリングを行う必要がある。東中国を横断する広地域の花崗岩体をわずかの試料数で代表させることは、全く不十分であるが、とりあえず、斑れい岩を除いた花崗岩19試料について、その微量元素量の変化を第4図に示した。

一般にCoやCr, Sc はマグマの分化とともに液から取り除かれ減少する。第4図で、山陰側に比べて瀬戸内側にこれらの元素量の多い試料が少ないことは、瀬戸内側の花崗岩類に分化の進んだものの多いことを示唆する。このことは、逆の性質、すなわち分化とともに液中に濃集していく元素、Thなどをみても一応矛盾しない。ただ、Ba, Rb, Csは、もしそうなら、瀬戸内側でもっと濃集してもよいようにおもえるが、それほど明瞭な増加はみられない。Eu/Eu*比はEuアノマリーの大きさを表わす値で、Euは実際のマグマ中のEu量、Eu*はEuが全て3価であったときのマグマ中でのEuの仮想的な量で、REEパターンのSmとTbを直線で結ぶことによって求める値である。このEu/Eu*比も分化とともに減少するから、瀬戸内側にこの比の小さいものがあることは矛

盾しない。しかし、逆に大きいものもあって、実際の現象はもっと複雑で、深成岩体中の微量元素の挙動の解釈は容易でないことを予想させる。

おわりに

ごくわずかの試料の、微量元素含有量だけのデータで何が議論できるかを試みたが、結局、問題点を指摘するだけになった。これはデータの質・量ともに不十分なことから仕方のないことであるが、今後この点は拡充していけるとしても、更に重要なことは、深成岩体を地球化学的に研究していく際の方法論の意識的な開発が必要なことではないかと考えている。妙見山岩体の試料を提供して下さった白川頼子氏、ならびに、京都大学原子炉実験所の西川佐太郎氏、大阪府立放射線中央研究所の真室哲雄氏をはじめ分析・測定でお世話になった方々に深く感謝したい。

文 献

- DRAKE, M. J., 1975: The oxidation state of europium as an indicator of oxygen fugacity. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **39**, 55-64.
- GAST, P. W., 1968: Trace element fractionation and the origin of tholeiitic and alkaline magma types. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **32**, 1057-1086.
- HANSON, G. N., 1978: The application of trace elements to the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **38**, 26-43.
- MASUDA, Y., YAGI, S., NISHIMURA, S. and ASAYAMA, T., 1972: Rare-earth distributions in the Ibaragi granitic complex, Osaka prefecture, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **78**, 521-530.
- , ——— and ASAYAMA, T., 1974: Instrumental neutron activation analysis of 13 trace elements in volcanic rocks. *Bull. Univ. Osaka Pref.*, [A], **23**, 203-213.
- , NOHDA, S. and OKAMOTO, K., 1976: Major and trace element geochemistry of the Nohi rhyolitic volcanic rocks, central Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **82**, 595-601.
- and AOKI, K., 1978: Two types of island arc tholeiite in Japan. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **39**, 298-302.
- NAGASAWA, H., 1970: Rare earth concentrations in zircons and apatites and their host dacites and granites. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **9**, 359-364.
- 白川頼子, 1975: 岡山県和気北方の妙見山花崗閃緑岩質複合岩体について. 岩鉱, **70**, 107-117.