

## 讃岐領家変成帯，庵治花崗岩の微量元素ならびに希土類元素組成

柚原 雅樹

(平成20年6月30日受理)

### Trace and Rare Earth Elements Compositions of the Aji Granite in the Sanuki District of the Ryoke Metamorphic Belt, Southwest Japan Arc

Masaki YUHARA

(Received June 30, 2008)

#### Abstract

Five trace elements (As, Ga, Pb, S, Th) compositions of the rock samples of the Aji, Shido and Shirotori Granites were determined using XRF at Fukuoka University. Six rare earth elements (La, Ce, Eu, Tb, Yb, Lu) and four trace elements (Cs, Hf, Ta, U) compositions also were determined by neutron activation analysis at Ehime University. These new trace and rare earth elements compositions show good agreements with reported data.

Key words: Aji Granite, trace element, rare earth element, Ryoke metamorphic belt.

#### はじめに

Yuhara et al. (2003) は、讃岐地方領家帯に分布する庵治花崗岩と周辺の花崗岩類の主成分、微量元素、Sr・Nd同位体比組成を報告した。その後、本研究室におけるXRFによる測定可能元素数が増加した(柚原・田口, 2003; 柚原ほか, 2004a; 高本ほか, 2005)。花崗岩類の微量元素組成は、マグマの起源や分化過程の解析に極めて重要であり、それらの花崗岩体間での比較や広域変化の検討を行うためには、データの蓄積が必要である。しかしながら、微

量元素組成データは十分に蓄積されているとは言えず、そのような検討に支障がある。特に、同位体比組成とセットになったデータは重要であると考えられるが、そのような研究は非常に少ない。本報告では、Yuhara et al. (2003) で分析値を報告した試料について、新たに測定した微量元素(As, Ga, Pb, S, Th, Cs, Hf, Ta, U)組成ならびに希土類元素(La, Ce, Eu, Tb, Yb, Lu)組成を報告する。

### 地質概説

四国地方の讃岐東部地域の領家変成帯には、白亜紀花崗岩類が広く分布する (Fig. 1)。本地域の北半部には新期領家花崗岩類 (志度花崗岩, 庵治花崗岩) が, 南半部には山陽花崗岩類の白鳥花崗岩が分布する (杵掛ほか, 1979)。変成岩類は非常に少なく, 花崗岩類中に点在する (Fig. 1)。

白鳥花崗岩は, 塊状の粗粒普通角閃石黒雲母花崗閃緑岩~アダメロ岩, 中粒普通角閃石黒雲母花崗閃緑岩~アダメロ岩, 優白質黒雲母花崗岩, 中粒等粒状黒雲母花崗岩, 中粒黒雲母花崗岩, 黒雲母普通角閃石花崗閃緑岩, アプライト質花崗岩の7岩型からなる複合岩体である (杵掛ほか, 1979)。本花崗岩からは, 93.4Maの

K-Ar 普通角閃石年代と77.2~87.1MaのRb-Sr 全岩-鈹物アイソクロン年代が報告されている (Yuhara et al., 2000)。

志度花崗岩は, 主にフォリエーションの発達した中粒~粗粒の普通角閃石黒雲母花崗閃緑岩からなり, 斑状黒雲母花崗岩と粗粒片麻状普通角閃石黒雲母トータル岩を伴う (杵掛ほか, 1979)。本花崗岩からは, 82.3~86.8MaのK-Ar 普通角閃石年代と69.1および74.0MaのRb-Sr 全岩-鈹物アイソクロン年代が報告されている (Yuhara et al., 2000)。

庵治花崗岩は, 細粒~中粒塊状の黒雲母花崗閃緑岩~花崗岩で, 屋島と庵治半島に分布する (Fig. 2)。庵治花崗岩は, 志度花崗岩にそのフォリエーションを切って貫入している。本花崗岩は, 普通角閃石を含まない岩相と含む岩相

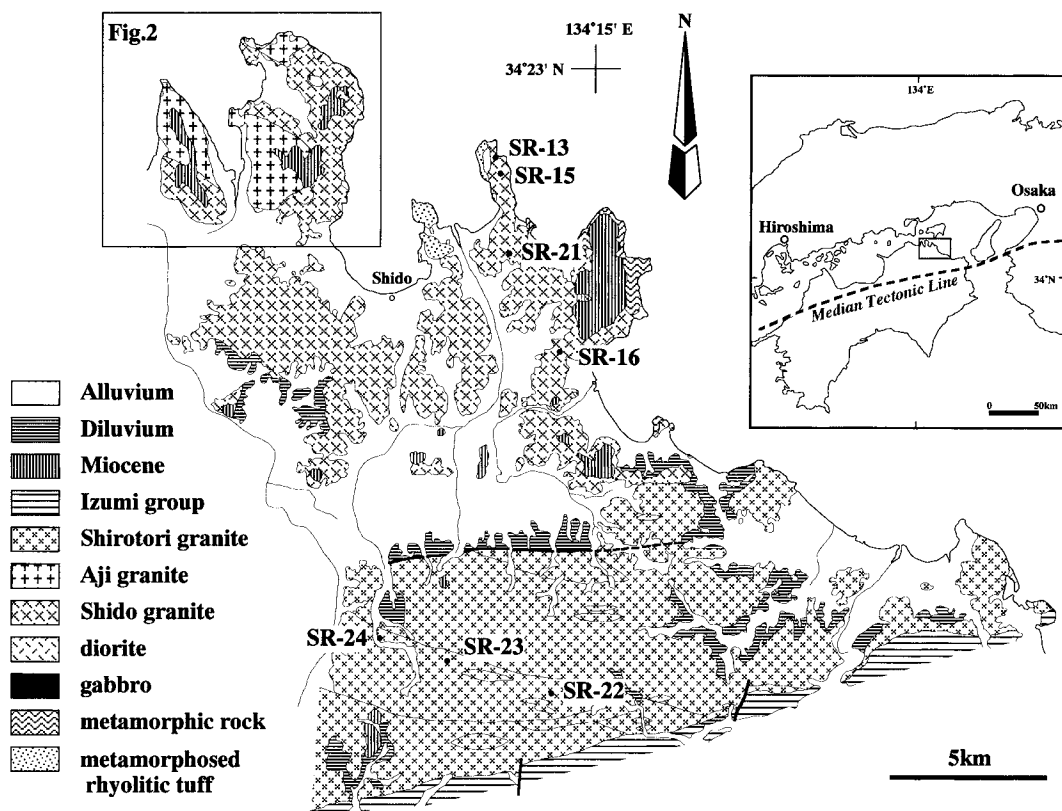


Fig. 1. Geological map of the Ryoke Belt in the eastern Sanuki district and sample localities of the Shirotori and Shido Granites (modified from Kutsukake et al., 1979). The sample locality of SR-01 (at Lat. 34°13'23"N. and at Long. 134°27'E.), NNE of the Takamatsu Airport, is not shown in this figure.

からなり，さらに前者は細粒岩相と中粒岩相に区分される (Yuhara et al., 2003). これらの岩相の野外における関係は不明であるが，細粒岩相の大部分は岩体周縁部や標高の高い所に分布する．また，これらの岩相は石英-斜長石-アルカリ長石のモード組成図上では違いが認められない．本花崗岩からは，82.9MaのRb-Sr全岩アイソクロン年代，83.5MaのK-Ar普通角閃石年代，79.4~80.4MaのK-Ar黒雲母年代が報告されている (Yuhara et al., 2003).

### 微量元素組成

Yuhara et al. (2003) によって庵治花崗岩から採取された14試料 (Fig. 2)，志度花崗岩から採取された4試料，白鳥花崗岩から採取された4試料について，福岡大学理学部の蛍光X線分析装置 (ZSX100e) を用いて，微量元

素 (As, Ga, Pb, S, Th) の測定を行った．Yuhara et al. (2003)で採取された試料のうち，1試料 (SR-44) については，すでに柚原ほか (2004b) によって微量元素組成が報告されている．志度花崗岩から採取した試料は，杵掛ほか (1979) の中粒~粗粒普通角閃石黒雲母花崗閃緑岩に，白鳥花崗岩から採取した試料は，杵掛ほか (1979) の中粒普通角閃石黒雲母花崗閃緑岩~アダメロ岩に相当する．測定方法は，柚原・田口 (2003)，柚原ほか (2004a)，高本ほか (2005) に従った．測定結果を Tables 1, 2 に示す．強熱減量の測定も行ったので，Yuhara et al. (2003) で報告した主成分元素組成も同表に示した．Pb, S, Thのハーカー図を Fig. 3 に示す．同図には，Ishihara (2003) および柚原ほか (2004b) によって報告されたデータも示した．

庵治花崗岩のAs含有量は検出限界以下であ

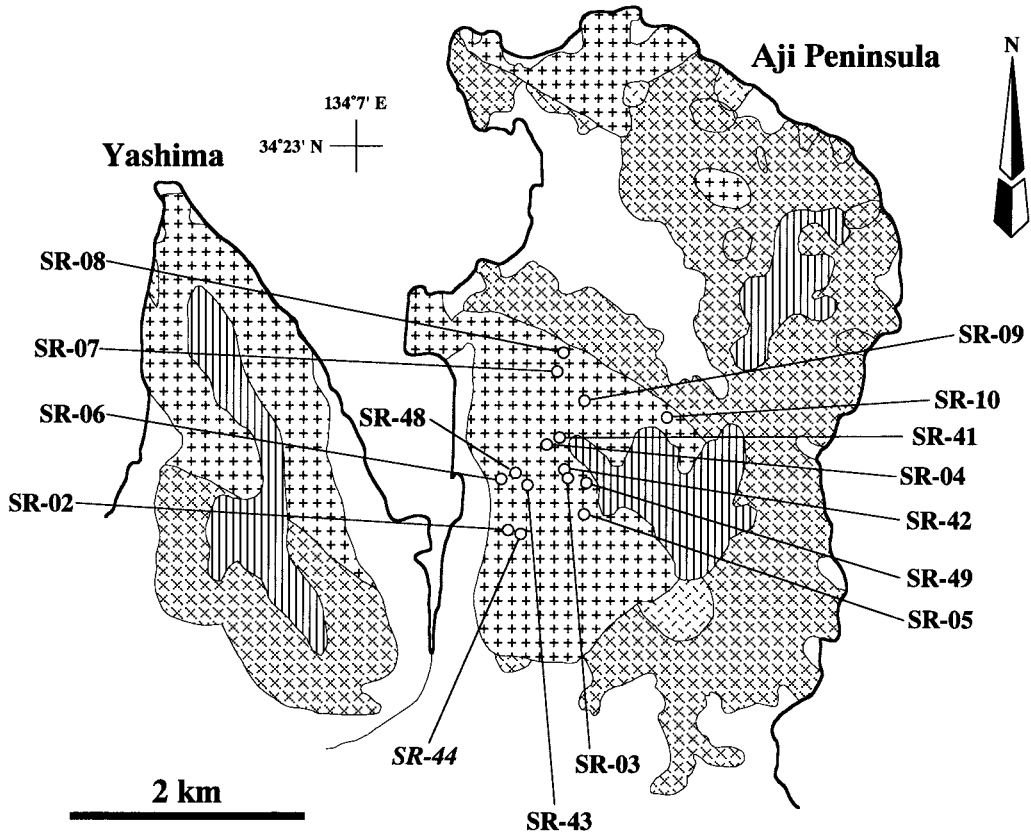


Fig. 2. Geological map of the Yashima and Aji Peninsula and sample localities.

Table 1. Whole-rock chemical compositions of the Aji Granite.

Sample No.	SR-49	SR-05	SR-10	SR-43	SR-02	SR-04	SR-48
Rock facies	M.f.	M.f.	Hb.	M.f.	M.f.	F.f.	M.f.
SiO <sub>2</sub> (wt%)	69.41	70.16	70.21	70.22	70.55	70.75	71.04
TiO <sub>2</sub>	0.38	0.34	0.35	0.36	0.37	0.31	0.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.84	15.11	14.45	14.55	15.26	15.02	14.34
FeO*	2.56	2.39	2.68	2.45	2.65	2.12	2.30
MnO	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05
MgO	0.74	0.67	0.83	0.64	0.81	0.65	0.71
CaO	3.09	2.77	2.94	2.83	2.86	2.80	2.46
Na <sub>2</sub> O	3.75	3.93	3.39	3.72	3.83	3.90	3.74
K <sub>2</sub> O	2.54	2.69	3.11	2.59	2.48	2.66	2.55
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10	0.10	0.08	0.11	0.10	0.08	0.09
L.O.I.	0.49	0.51	0.54	0.42	0.75	0.49	0.61
Total	97.96	98.73	98.64	97.94	99.72	98.83	98.19
As (ppm)	n.d.	n.d.	<4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ga	19	19	18	18	19	19	19
Pb	18	19	20	16	16	17	17
S	10	47	11	7	36	43	67
Th	5	5	5	4	5	<4	6

Sample No.	SR-06	SR-03	SR-07	SR-09	SR-41	SR-08	SR-42
Rock facies	F.f.	M.f.	M.f.	M.f.	F.f.	F.f.	F.f.
SiO <sub>2</sub> (wt%)	71.55	71.72	72.18	72.20	72.22	72.53	72.74
TiO <sub>2</sub>	0.24	0.29	0.26	0.25	0.25	0.23	0.21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.49	14.36	14.26	14.29	14.15	14.01	14.41
FeO*	2.29	2.21	2.03	2.02	2.32	1.90	1.74
MnO	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04
MgO	0.42	0.55	0.54	0.47	0.47	0.45	0.41
CaO	2.50	2.55	2.20	2.18	2.43	2.14	2.41
Na <sub>2</sub> O	3.80	3.70	3.58	3.65	3.67	3.49	4.10
K <sub>2</sub> O	2.94	2.77	3.12	3.14	2.92	3.38	2.36
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05
L.O.I.	0.49	0.70	0.60	0.50	0.60	0.56	0.32
Total	98.85	98.98	98.90	98.82	99.14	98.80	98.79
As (ppm)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ga	19	18	18	19	18	19	18
Pb	19	18	19	20	19	21	18
S	8	n.d.	41	28	12	11	26
Th	<4	5	7	7	6	7	<4

M.f.: medium-grained facies, F.f.: fine-grained facies, Hb.: hornblende-bearing facies.

FeO\*: total iron as FeO, L.O.I.: loss on ignition, n.d.: not detected.

Table 2. Whole-rock chemical compositions of the Shido and Shirotori Granites.

Sample No.	Shido Granite				Shirotori Granite			
	SR-13	SR-15	SR-16	SR-21	SR-22	SR-23	SR-24	SR-01
SiO <sub>2</sub> (wt%)	68.05	67.09	69.32	70.91	70.28	71.97	70.96	69.02
TiO <sub>2</sub>	0.34	0.34	0.29	0.21	0.29	0.23	0.26	0.41
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.41	15.59	14.76	13.98	14.21	13.61	14.06	14.11
FeO*	3.28	3.57	2.63	2.47	2.75	2.22	2.41	3.38
MnO	0.06	0.08	0.04	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07
MgO	0.38	0.35	0.57	0.26	0.56	0.51	0.53	0.98
CaO	3.67	3.76	2.60	2.48	2.39	1.82	2.30	3.03
Na <sub>2</sub> O	3.66	3.94	3.45	3.49	3.55	3.47	3.70	3.14
K <sub>2</sub> O	2.49	2.56	3.45	3.43	3.28	3.49	3.23	3.10
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	0.06	0.06	0.03	0.08	0.06	0.07	0.09
L.O.I.	0.27	0.22	0.64	0.28	0.80	1.05	0.60	0.83
Total	97.68	97.56	97.81	97.61	98.25	98.49	98.18	98.16
As (ppm)	n.d.	<4	n.d.	<4	n.d.	<4	<4	<4
Ga	19	19	18	18	18	17	17	17
Pb	15	13	18	19	16	20	20	18
S	40	19	67	29	62	80	90	179
Th	13	15	17	22	12	14	15	17

FeO\*: total iron as FeO, L.O.I.: loss on ignition, n.d.: not detected.

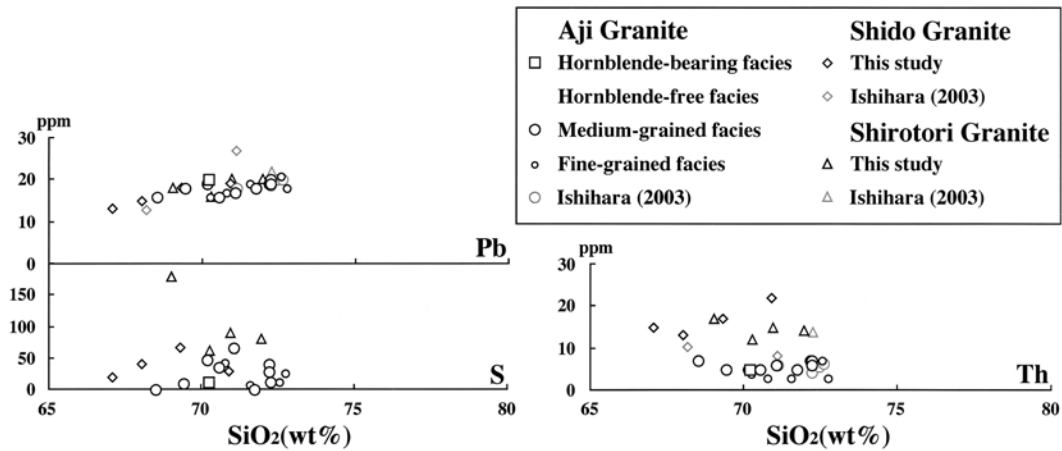


Fig. 3. Harker SiO<sub>2</sub>-trace element diagrams of the Aji, Shido and Shirotori Granites.

り, 志度花崗岩や白鳥花崗岩も同様である。庵治花崗岩のGa含有量は18~19ppm, 志度花崗岩は18~19ppm, 白鳥花崗岩は17~18ppmで, 岩体を問わず, ほぼ一定である。庵治花崗岩のPb含有量は16~21ppm, 志度花崗岩は13~19ppm, 白鳥花崗岩は16~20ppmと変化幅が狭い。Pb含有量は, 志度花崗岩ではSiO<sub>2</sub>の増

加とともにわずかに増加する傾向にあり, 庵治花崗岩と白鳥花崗岩ではほぼ一定である (Fig. 3)。庵治花崗岩のS含有量は検出限界以下から67ppm, 志度花崗岩は19~67ppm, 白鳥花崗岩は62~179ppmであり, 白鳥花崗岩が他の岩体と比べて高いS含有量を示す。S含有量はばらつきが大きいいため明瞭な変化トレンドを示

さない (Fig. 3). 庵治花崗岩のTh含有量は検出限界以下から7 ppm, 志度花崗岩は13~22ppm, 白鳥花崗岩は12~17ppmであり, 庵治花崗岩が他の岩体と比べて低いTh含有量を示す. Th含有量は, 庵治花崗岩と白鳥花崗岩ではほぼ一定で, 志度花崗岩では大きくはずれず, 試料を除くとSiO<sub>2</sub>の増加とともに増加する傾向にある (Fig. 3).

### 希土類元素組成

主成分元素および微量元素のハーカー図において変化トレンドにのり (Yuhara et al., 2003; 本研究), 全岩アイソクロンにもものる1試料 (SR-03) を選び, 中性子放射化分析により希土類元素 (La, Ce, Eu, Tb, Yb, Lu) ならびに微量元素 (Cs, Hf, Ta, U) の測定を愛媛大学において行った. 測定方法は, 佐野ほか (1995) に従った. 測定結果をTable 3に示す. 同表には, Yuhara et al. (2003) により同位体希釈法で定量されたSmとNd含有量も示した.

コンドライト (Anders and Grevesse, 1989) で規格化した希土類元素パターン (Fig. 4) は, 軽希土類元素 (La-Sm) が重希土類元素 (Tb-Lu) に比較して濃集している. このパターンは, 測定元素数の違いのためEu異常など細かな部分は比較できないが, Ishihara (2003) で示された庵治花崗岩のパターンによく一致する.

### 謝 辞

中性子放射化分析は愛媛大学教育学部の佐野栄教授にさせていただいた. 福岡大学理学部の上野勝美准教授には粗稿を読んでいただき, 有益な助言をいただいた. 以上の方々から感謝いたします.

### 文 献

Anders, E. and Grevesse, N., 1989, Abundances of the elements: Meteoritic and solar. *Geochimi. Cosmochimi.*

Table 3. Whole-rock rare earth element composition of the Aji Granite.

Sample No.	SR-03
Cs(ppm)	1.06
La	32.39
Ce	63.75
Nd*	22.3
Sm*	4.03
Eu	0.93
Tb	0.52
Yb	1.39
Lu	0.20
Hf	3.65
Ta	0.70
U	1.33

\*: reported by Yuhara et al. (2003).

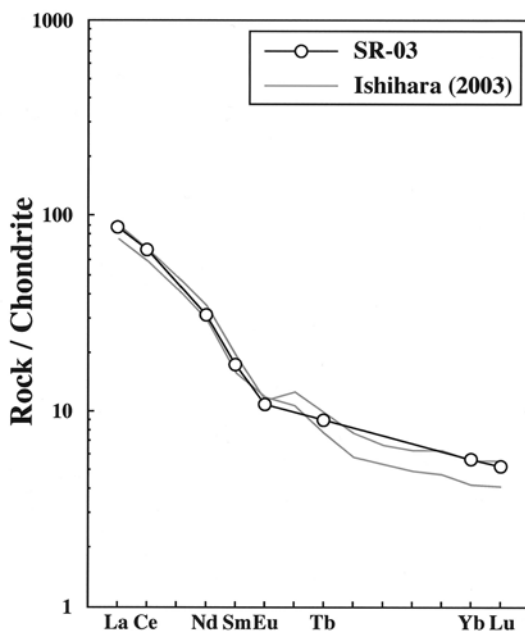


Fig. 4. Chondrite normalized REE abundances of the Aji Granite. Normalization value by Anders and Grevasse (1989).

- Acta*, 53, 197-214.
- Ishihara, S., 2003, Chemical contract of the Late Cretaceous granitoids of the Sanyo and Ryoke Belts, Southwest Japan: Okayama-Kagawa transect. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 54, 95-116.
- 杵掛俊夫・端山好和・本間弘次・政岡邦夫・宮川邦彦・仲井 豊・山田哲雄・吉田 勝, 1979, 小豆島および讃岐東部の領家帯. 地質学論集, no.17, 47-68.
- 佐野 栄・田崎耕市・田村洋子・中野幸広・武内孝之 (1995) 中性子放射化分析法による標準岩石試料の分析. 愛媛大学教育学部紀要, 第III部, 自然科学, 16, 21-29.
- 高本のぞみ・柚原雅樹・古川直道, 2005, 福岡県東部, 今川・祓川流域の元素濃度分布. 福岡大学理学集報, 35 (2), 41-66.
- 柚原雅樹・古川直道・田口幸洋, 2004a, 粉末ペレット法による珪酸塩・炭酸塩岩石の微量元素の蛍光X線分析. 福岡大学理学集報, 34 (1), 43-49.
- Yuhara, M., Kagami, H. and Nagao, K., 2000, Geochronological characterization and petrogenesis of granitic rocks in the Ryoke belt, Southwest Japan Arc: constraints from K-Ar, Rb-Sr and Sm-Nd systematics. *Island Arc*, 9, 64-80.
- Yuhara, M., Miyazaki, T., Kagami, H. and Yuhara, M., 2003, Rb-Sr and K-Ar geochronology and petrogenesis of the Aji Granite in the eastern Sanuki district, Ryoke Belt, southwest Japan. *Jour. Mineral. Petrol. Sci.*, 98, 19-30.
- 柚原雅樹・宮崎 隆・高橋俊郎・加々美寛雄, 2004b, 白亜紀花崗岩類の風化にともなう化学組成およびSr・Nd同位体比組成の変化. 岩石鉱物科学, 33, 185-196.
- 柚原雅樹・田口幸洋, 2003, ガラスビード法による珪酸塩岩石のCoおよびSの蛍光X線分析. 福岡大学理学集報, 33 (2), 77-81.