

中部地方, 飛騨帯花崗岩類の起源物質の多様性

石原舜三¹

Shunso Ishihara (2005) Source diversity of the older and early Mesozoic granitoids in the Hida Belt, central Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 56(3/4), p.117 - 126., 6 figs., 3 tables.

Abstract: The older granitoids and the early Mesozoic plutonic rocks were studied for $\delta^{18}\text{O}$ value, magnetic susceptibility, and major and minor elements. The older granitoids belong to ilmenite series and have $\delta^{18}\text{O}$ higher than 9.8 ‰ (averaged 10.5 ‰), but the early Mesozoic plutonic rocks belong to magnetite series and have $\delta^{18}\text{O}$ values lower than 9.1 ‰ (average 7.9 ‰); the inverse correlation between $\delta^{18}\text{O}$ value and magnetic susceptibility, everywhere observed in the Cretaceous and Tertiary granitic terrains in Japan, is also true in the Hida Belt. Many of the older granitoids show high Sr/Y ratios. This is the first time to find adakitic ilmenite series in the Phanerozoic granitoids of the Circum-Pacific rim. The adakitic components are also involved in the early Mesozoic plutonic rocks, especially those of the inner Hida belt where mingling with the crustal components is suggested. The adakitic character can be generated in a diversity of the origins, besides the slab melting.

Keywords: Hida plutonic belt, early Mesozoic, older granitoids, magnetite series, ilmenite series, adakite, $\delta^{18}\text{O}$ values

要 旨

飛騨帯の古期花崗岩類はチタン鉄鉱系に属し, その全岩酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$) は高く (平均 10.5 ‰), 中生代前期花崗岩類は磁鉄鉱系に属し, 低い $\delta^{18}\text{O}$ 値 (平均 7.9 ‰) を持つ. $\delta^{18}\text{O}$ 値は帯磁率や $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 比と逆相関する点で, 日本の白亜紀 - 古第三紀花崗岩類と共通の性質を示す. 古期花崗岩類は大きいアルミナ飽和度を持ち, その起源物質には, 頁岩類の関与が考察される. 一方, 古期花崗岩類の多くは高い Sr/Y 比を示し, チタン鉄鉱系であるが, アダカイト質である点で特異であり, これは環太平洋地域における最初の発見である. アダカイト質岩の混在は中生代前期花崗岩類にも認められ, 特に地殻物質の混入が考えられる早月川, 打保, 八尾, 庄川などの内側深成岩体, 及び能登半島の諸岩体で顕著である. これらの事実はアダカイトの成因の多様性を物語っている.

1. まえがき

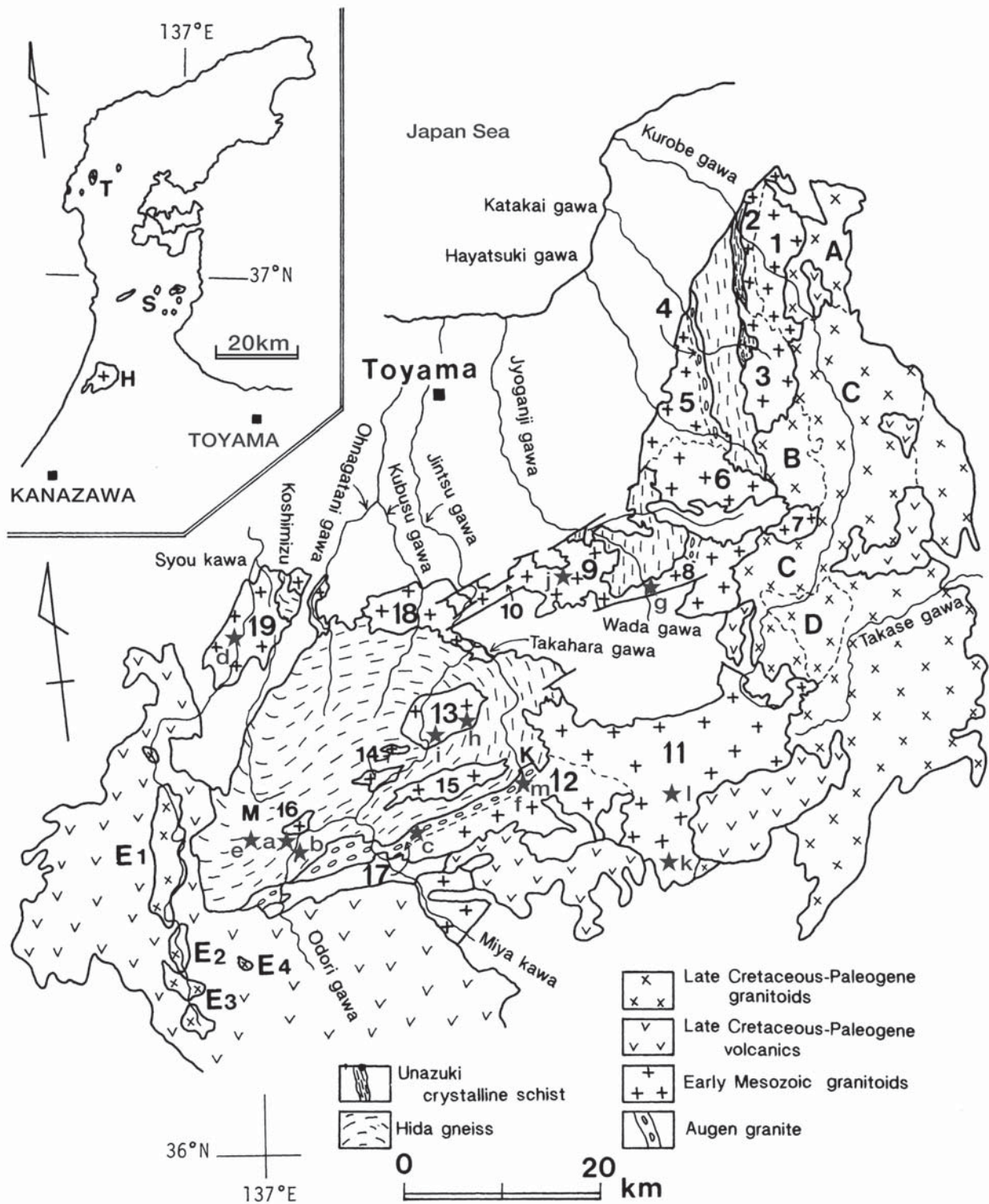
中部地方の飛騨帯の花崗岩類は (1) 古期ミグマタイト質花崗岩類, (2) 中生代前期花崗岩類, (3) 白亜紀後期 - 古第三紀花崗岩類に 3 分される (加納, 1990). これらのうち, 前 2 者は飛騨帯にのみ分布する特有のもので, 重力異常から飛騨帯深部に推定される現存の厚い大陸地殻, 古い変成岩類や花崗岩類を主体とする構成岩類などから, 東アジア大陸地域との関連が示唆される (Tsusue *et al.*, 1990; Arakawa *et al.*, 2000; Ishihara *et*

al., 2005).

中生代前期花崗岩類はかつてジュラ紀と考えられ, 船津花崗岩類と呼ばれたが, 現在ではジルコンの U-Th-Pb 化学年代 (200 ~ 240 Ma) や SHRIMP (200 ~ 220 Ma) によって三畳紀と考えられている (棚座・金子, 2001). ここでは中生代前期花崗岩類と呼ぶ. Tanaka (1992) はこれを Sr, Nd 同位体比によって, 外側と内側, あるいは Arakawa and Shinmura (1995) はタイプ 1 と 2 に分けた. タイプ 1 は岩質と無関係に $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0.7044 ~ 0.7054), ϵNd (-0.8 ~ +5.5) とともに幅狭い値を示すもので, これには船津・下之本・廣瀬・打保岩体など南部と東部, すなわち飛騨帯外側の岩体が含まれる. 後者はこれら同位体比の変化幅 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ =0.7055 ~ 0.7105, ϵNd =-10.3 ~ +0.7) が大きいもので, これには宝達山・庄川・八尾・流葉山岩体など飛騨帯北西部 (内側) の岩体が含まれる (第 1 図).

飛騨帯の地質図幅の研究の過程で, 野沢保は代表的試料の全岩主成分分析値を公表してきた (磯見・野沢, 1956; 野沢・阪本, 1960; 野沢ほか, 1975; 1977; 角ほか, 1989). 筆者は同氏が在職中に同一粉末試料の供与を受けており, この度それに若干の追加試料を加えて酸素同位体比と微量成分の分析をした. その結果, 飛騨帯の花崗岩類には高 $\delta^{18}\text{O}$ 系 (チタン鉄鉱系) と低 $\delta^{18}\text{O}$ 系 (磁鉄鉱系) の 2 系列が存在すること, またチタン鉄鉱系花崗岩類にもアダカイト質岩が認められることなど興味深い事実が判明した. ここではその分析結果を報告するとともに, 今後の研究上の問題点を指摘する.

¹産業技術総合研究所 (Geological Survey of Japan, AIST, Higashi 1-1-1, Tsukuba 305-8567, Japan)



第1図 飛騨帯の地質概略図と分析試料産地（加納，1990 に産地を加筆）。

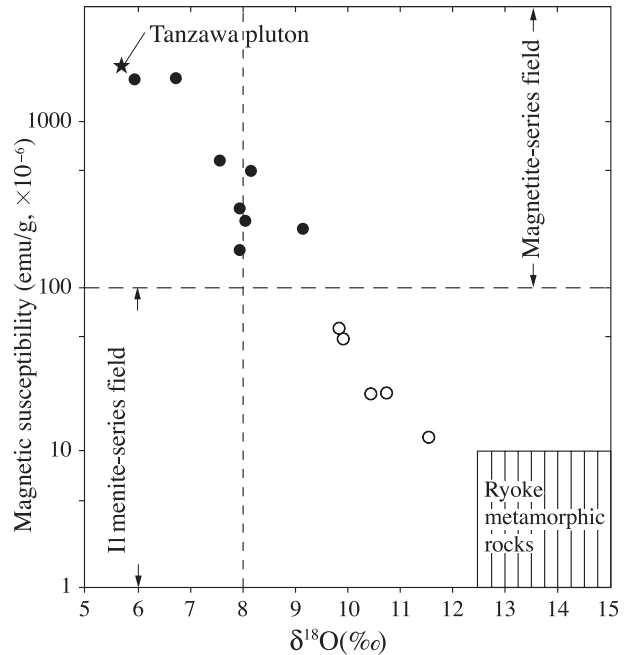
Fig. 1 Geological outline and locality of the analyzed specimens.

中生代前期花崗岩体名：1 ヤタゾウ，2 宇奈月，3 毛勝岳，4 片貝川，5 伊折，6 大熊山，7 立山，8 有峰，9 小口川，10 長棟川，11 下之本，12 船津，13 打保，14 森安，15 流葉山，16 小鳥川，17 野口，18 八尾，19 庄川，H 宝達山，S 石動山，T 富来

2. 飛騨帯に見られる高 $\delta^{18}\text{O}$ 系花崗岩類

日本の磁鉄鉱系花崗岩類は低い $\delta^{18}\text{O}$ 値と高い帯磁率を持っており、チタン鉄鉱系花崗岩類は高い $\delta^{18}\text{O}$ 値と低い帯磁率を持ち、両者の境界は西南日本内帯の白亜紀-古第三紀花崗岩類について、 $\delta^{18}\text{O}=8\text{‰}$ 、帯磁率 $=100 \times 10^{-6} \text{ emu/g}$ 付近である (Ishihara and Matsuhisa, 2002). 飛騨帯の花崗岩類は $\delta^{18}\text{O}$ - SiO_2 ダイアグラム上、同じく二分され、両者の境界は 9.3‰ $\delta^{18}\text{O}$ ($70\% \text{ SiO}_2$) 付近である (第2図). 西南日本内帯の白亜紀-新第三紀花崗岩類について、その成因は磁鉄鉱系花崗岩類は深所起源の酸化的な苦鉄質岩類から発生したもので、チタン鉄鉱系花崗岩類はそれが堆積岩を含む地殻物質と混合したものである (Ishihara and Matsuhisa, 1999, 2002). 深部起源苦鉄質マグマと付加体堆積岩類との混合モデルが最も妥当な西南日本外帯花崗岩類において、 $\delta^{18}\text{O}$ 値に基づく混合比率を求めると、堆積岩比率は最大64%である (Ishihara and Matsuhisa, 1999).

飛騨帯の花崗岩類については、古期ミグマタイト質花崗岩類が低い帯磁率、中生代前期花崗岩類が高い帯磁率を示す (加納, 1990). 前者の原因について、加納 (1990) は周囲の石墨を含む変成岩類からの還元作用に求めた. 筆者らの分析試料13個の産地、帯磁率、及び酸素同位体比を第1表に示したが、帯磁率と酸素同位体比との間にみられる逆相関性は飛騨帯でも認められる (第3図). すなわちチタン鉄鉱系に属する古期花崗岩類は高い $\delta^{18}\text{O}$ 値 (平均 10.5‰ , 第1表) を、磁鉄鉱系の中生代前期花崗岩類が低い $\delta^{18}\text{O}$ 値 (平均 7.9‰ , 第



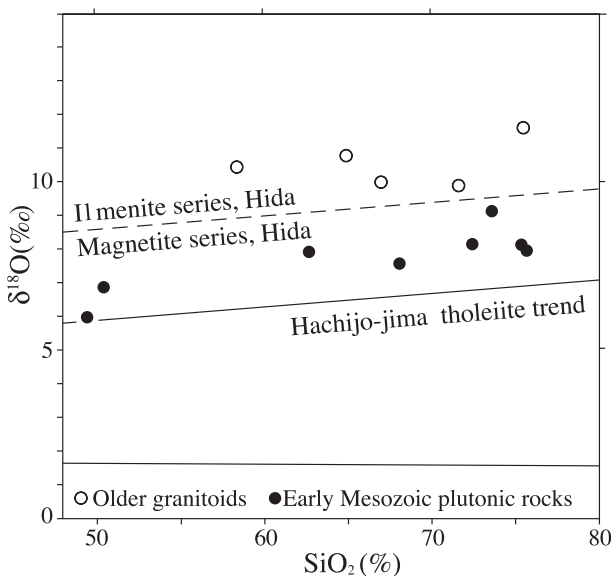
第3図 分析試料の酸素同位体比と帯磁率との関係. 飛騨帯の花崗岩類は最も初生的な丹沢トナル岩と領家帯堆積岩源変成岩類との間にプロットされる. 詳細はIshihara and Matsuhisa (2002)を参照.

Fig. 3 Magnetic susceptibility vs. $\delta^{18}\text{O}$ values of the studied granitoids. The studied rocks are plotted between the most primitive Tanzawa tonalite ($\text{Sr}_0=0.7035$) to the Ryoke pelitic and psammitic metamorphic rocks (see Ishihara and Matsuhisa, 2002 for the details).

1表)を示す.

高 $\delta^{18}\text{O}$ 系花崗岩類のうち、一つは片麻岩状花崗岩質岩類である (第1表の試料記号a~c). これは天生、戸市 (第1図, 同a~c) でみられたもので、その産状は変成岩類と密接であるから、成因は加納 (1990) の指摘と同様に考えられる. 一方、庄川沿いの平村杉尾 (第1図, 同d) のものは塊状花崗閃緑岩であって、庄川岩体に属する可能性もあるが、その $\delta^{18}\text{O}$ 値は高く、古期岩類のものである. この近傍には白雲母含有花崗岩の報告がある (相馬ほか, 1979). この白雲母が初生的であればこの花崗岩はパーアルミナスであり、堆積岩源変成岩類との関係が示唆されるが、筆者は発見できなかった. 古期花崗岩類の一つ、灰色花崗岩には狭義の花崗岩が含まれている. 庄屋谷の黒雲母花崗岩はその例であり、帯磁率は低く、 $\delta^{18}\text{O}$ は高い.

高 $\delta^{18}\text{O}$ 系花崗岩類は Al_2O_3 を多く含み、アルミナ飽和度 (ASI, Zen, 1992) も平均1.16 ($n=5$, 第2表) と高く、パーアルミナスである. しかしTanaka (1992) が報告した灰色花崗岩類の平均値は0.98 ($n=4$) であって特に高くはなく、今後の更なる検討が必要である. CaO は著しく幅広く ($2.1 \sim 10.6\%$), K_2O も同様である ($0.6 \sim 6.2\%$). 試料記号aは特に CaO (10.6%) に富み、 K_2O (0.6%) に乏しい. $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 比は4個が $0.08 \sim$



第 1 表 分析試料の位置、岩石名、帯磁率と酸素同位体比。

Table 1 Locality, rock types, magnetic susceptibility and $\delta^{18}\text{O}$ values of the studied plutonic rocks.

試料番号	図幅と産地 (岩体名)	岩石名	SiO ₂ (%)	帯磁率 (x10 ⁻⁶ emu/g)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
<i>Older granitoids</i>					
a. 591028A3	「飛驒古川」岐阜県古城郡河合村天生	Hornblende-diopside-quartz-plagioclase gneiss	58.4	22	10.4
b. 4707116	「飛驒古川」岐阜県古城郡河合村天生 2 坑	Hornblende-biotite granodiorite-tonalite, foliated	64.7	22	10.7
c. 68110103B	「飛驒古川」岐阜県古城郡古川町戸市(野口)	Augen gneiss	67.0	48	9.9
d. 53060514	「下梨」富山県東砺波郡平村杉尾(庄川)	Hornblende granodiorite	71.6	56	9.8
e. 67080050	「白川村」岐阜県古城郡河合村庄屋谷	Biotite monzogranite	75.5	12	11.5
Averages			67.4	32	10.5
<i>Younger gabbro and granitoids</i>					
f. 71HD45	「船津」岐阜県古城郡神岡町藤波橋下(船津)	Hornblende gabbro	49.7	1850	5.9
g. 56052413	「五百石」富山県上新川郡大山町和田川	Fine hornblende diorite	50.5	1878	6.7
h. 47101601	「白木峰」岐阜県古城郡宮川村洞(打保)	Biotite tonalite	62.8	163	7.9
i. 58072703	「白木峰」岐阜県古城郡宮川村打保塩谷大谷 (打保)	Biotite granodiorite	68.1	582	7.5
j. 56052704	「五百石」富山県上新川郡大山町小原、千野谷鉱山東方2 km (小口川)	ditto	73.6	228	9.1
k. 53082503a	「船津」岐阜県古城郡上宝村赤谷	Porphyritic biotite granodiorite	72.4	508	8.1
l. 71HD41	「船津」岐阜県古城郡上宝村下佐谷川けぶつ谷(下之本)	Biotite monzogranite	75.6	295	7.9
m. 71HD46	「船津」岐阜県神岡町東町藤波橋下(船津)	ditto	75.5	249	8.0
Averages			69.8	415	7.9

帯磁率：金谷弘測定， $\delta^{18}\text{O}$ ：中国地質科学院分析，斑れい岩は平均値に含めず。

0.45 と還元的であり，1 個 (No. 5: 0.83) が磁鉄鉱系／チタン鉄鉱系の境界である0.5を超えている(第 5 図)。

微量成分のうち，Ba は 5 個の分析試料の中で，試料記号 b～d で 928～1,610 ppm と高く，試料記号 a と e で 75～189 ppm と低い。Sr は前者で 513～977 ppm と大きく，後者で 137～291 ppm と小さい。逆に Y は前者で 7～8 ppm と小さく，後者で 15～35 ppm と大きい。したがってアダカイトの指標の一つである Sr/Y 比は前者で非常に大きく (64～122)，後者で非常に小さい (8～9)。Tanaka (1992) が報告した灰色花崗岩類の Sr/Y 比は 40～111 (n=3)，Aarakawa and Shinmura (1995, Fig. 9) は更に高い値 (Sr/Y=123～129, n=2) を図示している。Richards (2002) はアダカイトの化学的定義を整理し，SiO₂>56%，Al₂O₃>15%，MgO<3%，Sr/Y>22，Y<18 ppm を他系列との境界値として挙げている。今回の分析値では灰色花崗岩の 1 個 (試料記号 a，第 2 表) を除きアダカイト的である。

アダカイトの今一つの特徴として重希土類元素に乏しい性格がある。代表的サンプルの ICP-MS による測定結果を第 3 表に示す。なお同時に得られる希土類元素以外の結果も示したが，偏光蛍光 X 線分析法の結果 (第 2 表) と良く一致する。Sr/Y 比が大きい庄川花崗

閃緑岩 (5306514) でみると，軽希土類と重希土類の代表としての La/Yb 比は 47 であり，著しく高い。また総量の LREE/HREE=8.3 であり，重希土類元素に乏しいことが明白である。コンドライト比で求めた REE 規格化パターンは右下がりであり，Eu の負異常を示さず (第 4 図)，最もアダカイト的である。一方，天生産のトナル岩はアダカイト特性が著しくない。

3. 低 $\delta^{18}\text{O}$ 系花崗岩類の特徴

斑れい岩を除く低 $\delta^{18}\text{O}$ 系花崗岩類は比較的アルミナに富んでおり，ASI=1.06 (n=6) であり (第 1 図)，高 $\delta^{18}\text{O}$ 系花崗岩類より低いものの I タイプのほぼ上限 (1.1, Chappell and White, 1992) の値である。船津岩体の斑れい岩は 19.2%Al₂O₃ を含み，アルミナに富んでいる。Tanaka (1992) は 11 岩体についてアルミナ飽和度を吟味した結果，その ASI は 1.1 以下，全て I タイプ領域に入り，岩体や地域別の変化は認められないとした。CaO は SiO₂ の減少とともに減少し，K₂O/Na₂O 比は上昇する。K₂O/Na₂O>1 は 1 個のみであり，低 $\delta^{18}\text{O}$ 系花崗岩類はナトリウムに富んでいる (Tanaka, 1992, Fig. 24 参照)。Fe₂O₃/FeO 比は磁鉄鉱系／チタン鉄鉱系の

第2表 飛驒帯花崗岩類の化学分析値.

Table 2 Chemical analysys of the Phanerozoic granitoids of the Hida Belt, Japan.

Group	Older Granitoids					Early Mesozoic Plutonic rocks				
Rock & body	Gray granitoids					Gabbroids		Utsubo pluton		
Filing no.	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Sample no.	591028A3	4707116	68110103B	53060514	67080050	71HD45	56052413	47101601	58072703	56052704a
SiO ₂	58.36	64.72	67.02	71.57	75.46	49.65	50.52	62.79	68.13	73.58
TiO ₂	0.91	0.37	0.24	0.25	0.05	1.03	1.14	0.62	0.39	0.14
Al ₂ O ₃	16.21	18.29	16.63	14.92	13.21	19.21	17.09	16.59	15.52	14.14
Fe ₂ O ₃	1.09	0.53	0.13	0.58	0.30	4.51	4.24	2.12	1.42	0.78
FeO	3.50	2.12	1.62	1.24	0.36	5.32	6.75	3.14	1.98	0.92
MnO	0.12	0.05	0.04	0.04	0.01	0.14	0.20	0.10	0.08	0.06
MgO	1.60	0.71	0.63	0.41	0.07	4.43	4.62	2.31	1.18	0.32
CaO	10.45	4.11	2.12	2.16	0.45	9.11	8.39	4.39	3.58	1.61
Na ₂ O	3.79	5.19	3.59	3.94	3.63	3.27	3.94	4.17	4.06	3.66
K ₂ O	0.55	2.84	6.37	3.88	5.14	0.99	0.46	2.13	2.47	4.10
P ₂ O ₅	0.19	0.13	0.11	0.09	0.02	0.17	0.21	0.18	0.14	0.06
S	0.05	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.15	0.21	<0.01	<0.01	<0.01
H ₂ O ⁺	0.69	0.56	0.94	0.64	1.22	1.49	1.45	1.13	0.67	0.52
H ₂ O ⁻	0.31	0.06	0.10	0.06	0.16	0.06	0.24	0.08	0.22	0.14
CO ₂	1.78	0.11	0.29	0.02	0.05	0.17	0.23	0.18	0.04	0.03
Total	99.60	99.81	99.83	99.94	100.13	99.70	99.69	99.93	99.88	100.06
Rb	8.8	59	163	114	193	22	5.8	75	66	106
Sr	291	977	718	513	137	894	455	454	477	288
Ba	75	1020	1610	928	189	344	185	442	712	700
Zr	166	135	154	140	45	55	41	124	127	112
Hf	5.6	4.4	5.0	4.9	3.4	< 2.0	2.0	5.0	4.2	3.6
Nb	11.1	5.4	4.6	7.2	11.6	3.3	4.7	6.2	5.2	5.7
Ta	3.4	< 2.0	2.2	< 2.0	3.5	4.8	< 2.0	< 2.0	2.7	2.4
Y	35	8	7	8	15	17	35	16	10	12
La	32	16	50	30	11	9	11	5	17	28
Ce	69	28	81	56	22	24	35	20	35	50
V	110	17	22	11	<1	199	304	97	34	5
Cr	63	29	17	23	23	54	10	22	29	20
Co	19	11	6	6	3	31	27	10	10	8
Cu	18	3	< 0.5	< 0.5	< 0.5	22	25	2	2	< 0.5
Zn	93	51	40	56	11	68	110	76	61	38
Pb	7	18	29	25	33	8	7	16	20	26
Ga	19.7	17.8	16.8	18.8	19.0	17.8	21.6	18.5	16.9	13.6
Ge	1.7	0.6	1.1	1.3	1.5	1.6	1.5	1.2	1.2	1
As	< 0.3	< 0.3	0.7	< 0.3	< 0.3	1.1	0.6	1.8	0.4	< 0.3
Mo	0.7	0.7	0.6	0.3	0.3	0.7	0.7	0.8	0.6	< 0.2
W	1.1	2	< 1.0	1.7	1.3	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	2.1
Sn	1.6	0.8	1.1	1.4	0.7	0.4	1.3	1.1	1	1.6
Cd	0.4	0.3	0.5	0.3	< 0.2	0.4	0.5	< 0.2	0.4	0.7
Tl	< 0.7	1.3	1.5	1.3	1.9	< 0.7	< 0.7	1.1	0.9	2.6
Th	9.3	1.6	31.2	9.4	9.9	3.3	2.6	2.9	7	17.1
U	3.4	< 0.5	2.4	0.8	3.7	1.2	1.2	0.8	1.8	2.6
ASI	0.94	1.00	1.40	1.16	1.28	1.06	0.89	1.05	1.06	1.06
K ₂ O/Na ₂ O	0.15	0.55	1.77	0.99	1.42	0.30	0.12	0.51	0.61	1.12
Fe ₂ O ₃ /FeO	0.31	0.25	0.08	0.45	0.83	0.85	0.63	0.68	0.72	0.85
Sr/Y	8	122	103	64	9	53	13	28	48	24

分析者: B. W. Chappell, GEMOC . FeO は船津 (磯見・野沢, 1956), 五百石 (野沢・坂本, 1960), 飛驒古川 (野沢ほか, 1975), 白木峰 (野沢ほか, 1977), 石動 (角ほか, 1989). 太田菊松による.

第 2 表 (続き) 飛騨帯花崗岩類の化学分析値.

Table 2 (continued) Chemical analyses of the Phanerozoic granitoids of the Hida Belt, Japan.

Group	Early Mesozoic Granitoids		
Rock & body	Shimonomoto-Funatsu Granites		
Filing no.	k	l	m
Sample no.	53082503A	71HD41	71HD46
SiO ₂	72.44	75.64	75.45
TiO ₂	0.22	0.13	0.12
Al ₂ O ₃	14.37	12.98	13.22
Fe ₂ O ₃	1.08	0.64	0.62
FeO	1.02	0.40	0.61
MnO	0.08	0.04	0.05
MgO	0.61	0.21	0.31
CaO	2.15	0.64	1.42
Na ₂ O	3.87	3.50	3.85
K ₂ O	3.49	5.14	3.85
P ₂ O ₅	0.08	0.03	0.04
S	<0.01	<0.01	<0.01
H ₂ O ⁺	0.34	0.38	0.15
H ₂ O ⁻	0.10	0.13	0.06
CO ₂	0.06	0.01	0.10
Total	99.91	99.87	99.85
Rb	107	103	95
Sr	292	73	175
Ba	537	592	751
Zr	91	73	65
Hf	3.8	3.5	3.8
Nb	6.9	2.2	3.7
Ta	2.5	< 2.0	< 2.0
Y	16	13	7
La	24	13	15
Ce	43	26	27
V	18	<1	3
Cr	33	16	23
Co	10	5	6
Cu	< 0.5	< 0.5	< 0.5
Zn	37	19	21
Pb	24	24	24
Ga	14.2	11.8	11.1
Ge	1.5	1.3	1.1
As	< 0.3	< 0.3	< 0.3
Mo	0.3	< 0.2	0.6
W	1.5	3.1	2
Sn	1.1	0.7	1
Cd	0.2	< 0.2	< 0.2
Tl	1.1	1.6	1.4
Th	19.1	9.6	7.1
U	5.8	1.1	1.6
ASI	1.13	1.04	1.01
K ₂ O/Na ₂ O	0.90	1.47	1.00
Fe ₂ O ₃ /FeO	1.06	1.60	1.02
Sr/Y	18	6	25

第 3 表 代表的試料の希土類元素ほかの微量元素の存在量.

Table 3 REE and some other trace element contents of representative granitoids.

	Gray granites		Utsubo Gr.	Funatsu Gr.
Sample No.	4707116	53060514	58072703	53082503A
V (ppm)	81	10	36	17
Co	9	1	5	3
Zn	80	46	42	42
Ga	21	19	18	16
Ge	1.4	0.9	1.1	1.5
Rb	80	109	67	110
Sr	427	451	449	281
Zr	159	147	141	104
Nb	6.6	7	5.4	7
Sn	3	2	<1	6
Cs	4.5	1.5	1.6	2.4
Ba	483	992	779	599
La	11.2	37.2	22.1	25.7
Ce	28.1	68.6	41.7	48.1
Pr	3.73	7.08	4.52	4.95
Nd	16.2	23.7	16.4	17.4
Sm	3.47	3.68	3.04	3.21
LREE	62.7	140.26	87.76	99.36
Eu	0.847	0.841	0.892	0.683
Gd	3.17	2.58	2.59	2.86
Tb	0.51	0.33	0.38	0.47
Dy	2.8	1.63	2.05	2.73
Ho	0.58	0.31	0.39	0.59
Er	1.77	0.89	1.15	1.84
Tm	0.275	0.125	0.169	0.305
Yb	1.81	0.79	1.11	2.11
Lu	0.273	0.128	0.173	0.336
Y	18.3	9.2	12.4	18.4
HREE	30.335	16.82	21.304	30.324
Hf	4.2	4.1	3.7	3.4
Ta	0.41	0.46	0.49	1.16
Tl	0.53	0.58	0.35	0.62
Pb	22	22	18	27
Bi	2.2	<0.1	0.2	0.1
Th	2.46	10.1	7.9	15.4
U	1.43	0.91	2.25	5.75
Rb/Sr	0.19	0.24	0.15	0.39
Sr/Y	23.3	49.0	36.2	15.3
La/Yb	6.2	47.1	19.9	12.2
LREE/HREE	2.1	8.3	4.1	3.3
REE Total	93.035	173.9	109.064	129.684

分析者: Actlabs. Ltd. 社による ICP-MS 法.

境界値 (0.5) を越えており, 酸化的である (第 2 表, 第 5 図).

低 $\delta^{18}\text{O}$ 系花崗岩類の Sr/Y 比は様々であり, 1 (船津岩体) から 172 (庄川岩体) まで変化する (Tsusue *et al.*, 1990; Tanaka, 1992; Arakawa and Shinmura, 1995). これらの研究と本研究結果から, 非アダカイトとアダカイトの境界を Sr/Y = 22 とし岩体別の両者の比率を求めると, 次のようになる.

外側: 毛勝岳岩体(n=6): 6/0 (アダカイト割り合い0%)

大熊岩体 (n=5) : 4/1 (同 20%)

下之本岩体 (n=18) : 13/5 (同 28%)

船津岩体 (n=19) : 14/5 (同 26%)

内側: 広瀬 (n=2) : 0/2 (同 100%)

打保岩体 (n=14) : 3/11 (同 79%)

八尾岩体 (n=13) : 3/10 (同 77%)

庄川岩体 (n=16) : 3/13 (同 81%)

能登半島: 宝達山岩体 (n=14) : 1/13 (同 92%)

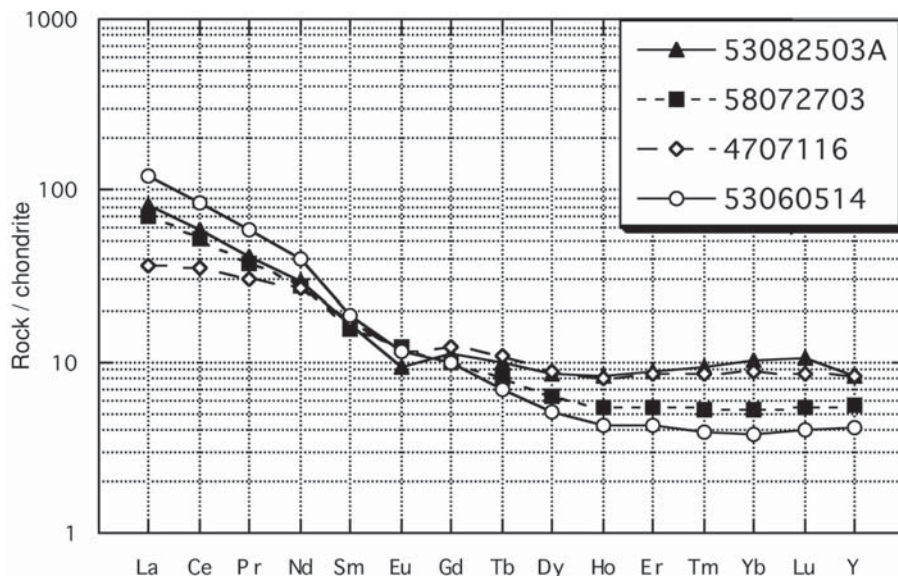
久川岩体 (n=5) : 1/4 (同 80%)

福井県下 足羽川岩体 (n=2) : 0/2 (同 100%)

すなわち非アダカイト的なカルクアルカリ岩類は, 毛勝岳, 大熊岩体から下之本, 船津岩体に至る外側深成岩帯に卓越するのに対し, その内側の打保, 八尾, 庄

Fe₂O₃/FeO 比を持っており (第 5 図), 白木峰, 飛騨古川, 五百石, 有峰湖, 船津図幅に記載された 43 個の化学分析値のうち 76% は Fe₂O₃/FeO が 0.5 より低い還元的な値を持つ. かつ飛騨帯の変成岩類にはグラファイトが鉱床や産地として含まれている. ¹⁸O は, 鉱物の低温沈殿で最大の同位体分別を示すから, チャートや遠洋性頁岩類で最大の $\delta^{18}\text{O}$ 値を持ち, 一般に堆積岩で高い $\delta^{18}\text{O}$ 値が知られている. 今回得られた一般に低い帯磁率と高い $\delta^{18}\text{O}$ 値は加納モデルと整合的である.

一方, 今回の研究試料は, 同時に高い Sr/Y 比 (64 ~ 122, n=3) と低い Y 含有量を示すものを含んでいる (第 6 図). 灰色花崗岩類の Sr/Y 比は Tanaka (1992, Table 8) によれば 40 ~ 111 (n=3), Arakawa and Shinmura (1995, Fig. 9) は更に高い値を図示している. した



第 4 図 代表的な灰色花崗岩類及び中生代前期花崗岩類の REE 規格化パターン(原分析値は第 3 表).

Fig. 4 Chondrite normalized REE patterns of the representative studied granitoids.
Open symbols, gray granitoids; solid symbols, early Mesozoic granitoids. After Table 3.

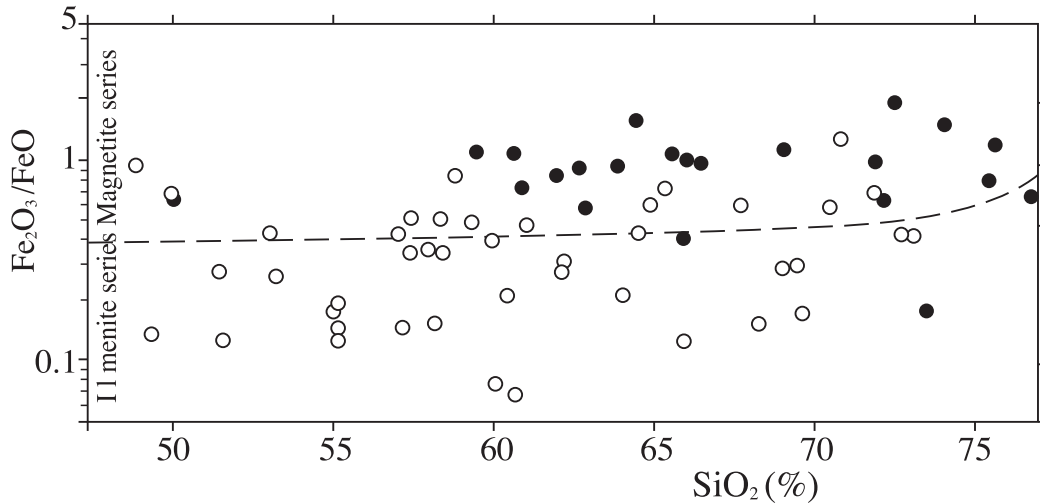
川岩体などではアダカイトが約 80% を占める. 伊折(早月川)岩体も Sr 含有量が高いので(田中・大坪, 1987), アダカイト質である可能性が大きい. アダカイトが占める割り合いは能登半島や福井県下の小岩体へ向けて更に高くなる. この Sr/Y 比による区分は, 前述の Sr, Nd 同位体比による区分と, 打保岩体を除き一致する.

4. 成因的考察と問題点

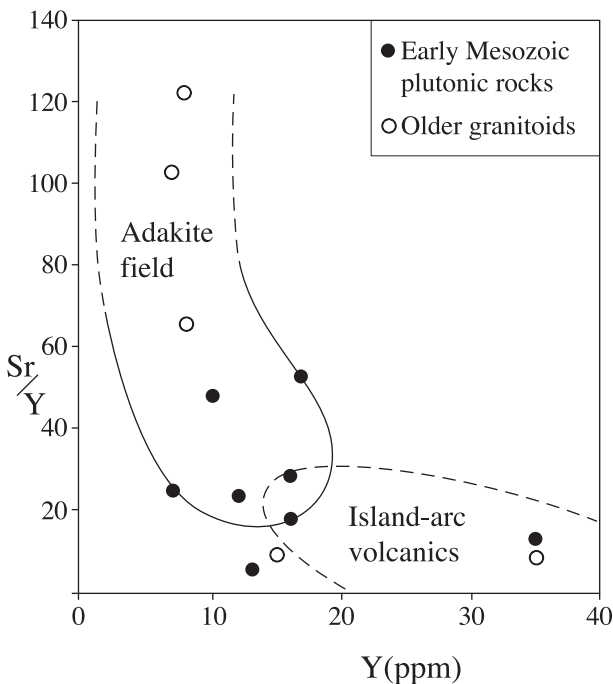
飛騨帯の古期花崗岩類については, その岩質, 同位体組成などに基つき, 大陸地殻起源説が一般的である. 加納 (1990) はその低い帯磁率に注目して, 石灰質な飛騨片麻岩類の部分溶融や深所発生マグマとそれとの混合モデルを考えた. 飛騨帯の変成岩類は一般に低い

がって灰色花崗岩類は一例を除きアダカイト質の性質を持つ. 飛騨帯には石灰岩と反応して生成したチタン石を含む伊西岩が存在し, 灰色花崗岩類の Sr 含有量にはその影響が現われている可能性がある. 分析試料 No.1 の高い CaO 含有量はその例かも知れない. しかし Sr 含有量は特に高くない (291 ppm). 新生代の石灰岩では Sr 1,000 ppm 以上が含まれるが, 地質時代の石灰岩は続成作用によって中生代 400 ~ 800 ppm, 古生代 200 ~ 600 ppm と減少し, 熱変成を受けた再結晶石灰岩は 100 ppm 前後である (藤貫, 1983). 飛騨帯の石灰岩も変成作用で再結晶化しているため Sr 含有量は低い可能性が大きい. したがって高 Sr 含有量を石灰岩に求めることはできない.

アダカイトの成因に関しては, 重希土類元素に枯渇



した独特のREE規格化パターンから、沈み込む海洋地殻(Defant and Drummond, 1993; Tsuchiya and Kanisawa, 1994) または下部地殻 (Atherton and Petford, 1993) に張り付いた玄武岩質岩がざくろ石エコロジャイトに相転移した後の部分溶融マグマが考え



られ, Defant and Kepezhinskis (2001) は海洋地殻の溶ける地質状況に6つのケースを想定している. これまで報告された北上山地, フィリッピン, モンゴル, チリなど環太平洋地域の顕生代アダカイトは, MORBに対応する低いSr同位体初生値や低い $\delta^{18}\text{O}$ 値 (Ishihara and Matsuhisa, 2004) を持つIタイプ・磁鉄鉱系に属する (Ishihara and Murakami, 2004). その空間的分布は, チリでは時代的に幅があるものの内陸側でアダカイト質である. 北上山地では宮古・田野畑・階上岩体などのII帯がアダカイト質であって, 当時の北上山地マグマ活動に対する海溝を西側に求めれば (Ishihara, 1978), チリと同様に海溝を離れて分布することになる. 飛騨帯の内側岩体でアダカイト質岩が多い事実は, 上記と同様な空間分布を示している可能性がある.

中生代前期花崗岩類のうち, SrとNd同位体比の変化幅 ($^{87}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}=0.7055\sim0.7105$, $\epsilon_{\text{Nd}}=-10.3\sim+0.7$) が大きいタイプ2について, Arakawa and Shinmura (1995) は, Sr-Nd同位体比の研究結果から, スラブ溶融説を否定し下部地殻起源マグマが灰色花崗岩類を同化したものと考えている. この成因論はタイプ2花崗岩類がアダカイト的性質を引きずっている点はうまく説明する. Tanaka (1992) によれば, 花崗岩類のA/CNK比は, 外側(タイプ1)と内側(タイプ2)で系統的な相違が認められていないので, その同化量は主成分であるアルミナを変えるほど大きく無かったのかもしれない. 同じく主成分である酸素についても主成分であるがゆえに, その同位体比に相違が見られないのかもしれない. 今後の研究課題の一つである.

今回発見された高 $\delta^{18}\text{O}$ 花崗岩類はアダカイト質であり還元的な性質を持つ。この両者を説明する成因モデルとしては次の可能性が考えられる。一つは深所起源のアダカイト質マグマが地殻発生の堆積岩を含む片麻岩類起源の珪長質マグマと混合あるいは同化したものである。第二は、地殻起源の古い時代のアダカイト質苦鉄質岩から部分熔融したアダカイト質珪長質マグマが、固結の場近くで壁岩からCH, SH還元ガスの供給を受けて、主成分を変化させることなく還元したと考えるものである。アダカイト質な大陸地殻起源花崗岩類は韓国の沃川帯でも最近発見されており (Ishihara *et al.*, 2005), 今後の詳細に検討されるべき課題である。

謝辞: 分析試料を提供され、かつ草稿を読んで頂いた野沢 保博士、更に原稿を読まれ貴重なコメントを戴いた山口大学加納 隆教授に深謝する。

文 献

- Arakawa, Y. and Shinmura, T. (1995) Nd-Sr isotopic and geochemical characteristics of two contrasting types of calc-alkaline plutons in the Hida belt, Japan. *Chemical Geol.*, **124**, 217-232.
- Arakawa, Y., Saito, Y. and Amakawa, H. (2000) Crustal development of the Hida belt, Japan: Evidence from Nd-Sr isotopic and chemical characteristics of igneous and metamorphic rocks. *Tectonophysics*, **328**, 183-204.
- Atherton, M.P. and Petford, N. (1993) Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust. *Nature*, **362**, 144-146.
- Chappell, B. W. and White, A.J.R., 1992. I- and S-type granites in the Lachlan Folded Belt. *Trans. Royal Soc. Edinburgh: Earth Sci.* **83**, 1-26.
- Defant, M. J. and Drummond, M. J. (1993) Mount St. Helens: Potential examples of the partial melting of the subducted lithosphere in a volcanic arc. *Geology*, **21**, 547-550.
- Defant, M.J. and Kepezhinskis, P. (2001) Evidence suggests slab melting in arc magmas. *EOS*, **82**, 65-80.
- 藤貫 正 (1983) 石灰岩の化学的特性. 日本の石灰岩. 石灰石鉱業協会, 43-73.
- Ishihara, S. (1978) Metallogeneses in the Japanese island-arc system. *Jour. Geol. Soc. London*, **135**, 389-406.
- Ishihara, S. and Matsuhisa, Y. (1999) Oxygen isotopic constraints on the geneses of the Miocene Outer Zone granitoids in Japan. *Lithos*, **46**, 523-534.
- 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.
- Ishihara, S. and Matsuhisa, Y. (2004) Oxygen isotopic constraints on the geneses of the Cretaceous granitoids in the Kitakami and Abukuma terrains, Northeast Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **55**, 57-66.
- Ishihara, S. and Murakami, H. (2004) Granitoid types related to Cretaceous plutonic Au-quartz vein and Cu-Fe-skarn deposits, Kitakami Mountains, Japan. *Resource Geol.*, **54**, 281-298.
- Ishihara, S., Jin, M.S. and Terashima, S. (2005) Adakitic granites from non-island arc setting: Jecheon pluton of South Korea. *Resource Geol.*, **55** (in press).
- 磯見 博・野沢 保 (1956) 5 万分の 1 地質図幅「船津」及び説明書. 地質調査所 43 p.
- 加納 隆 (1990) 飛騨帯の花崗岩類. 鉱山地質, **40**, 397-413.
- 河合正虎・野沢 保 (1958) 5 万分の 1 地質図幅「東茂住」及び説明書. 地質調査所 76 p.
- 棚座圭太郎・金子一夫 (2001) 飛騨帯東部の変成岩類と花崗岩類. 日本地質学会 (金沢) 見学旅行案内書, 第 10 班, 1-20.
- 野沢 保・坂本 亨 (1960) 5 万分の 1 地質図幅「五百石」及び説明書. 地質調査所 68 p.
- 野沢 保・河田清雄・河合正虎 (1975) 飛騨古川地域の地質 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 79 p.
- 野沢 保・坂本 亨・加納 隆・稲月恒夫 (1977) 白木峰地域の地質 (5 万分の 1 図幅). 地質調査所, 85 p.
- Richards, J. P. (2002) Discussion on "Giant versus small porphyry copper deposits of Cenozoic age in northern Chile: adakite versus normal calc-alkaline magmatism" by Oyarzun *et al.* *Mineral. Deposita*, **37**, 788-790.
- 相馬恒雄・宮崎晴子・二口知子・丸山茂徳 (1979) 灰色花崗岩と伊西モンゾニ岩. 日本列島の基盤. 加納博教授記念論文集, 51-62.
- 角 靖夫・野沢 保・井上正昭 (1989) 石動地域の地質 (5 万分の 1 図幅). 地質調査所, 118 p.
- Tanaka, S. (1992) Origin of the Early Mesozoic granitic rocks in the Hida terrane, Japan, and its implication for evolution of the continental crust. *Jour. Fac. Sci., Hiroshima Univ., Ser. C*, **9**, 435-493.
- 田中 忍・大坪友英 (1987) 船津花崗岩類の微量元素, 特に早月川岩体の高 Sr 含有量について. 地球科学, **41**, 101-113.

- Tsuchiya, N. and Kanisawa, S. (1994) Early Cretaceous Sr-rich silicic magmatism by slab melting in the Kitakami Mountains, northeast Japan. *Jour. Geophys. Research*, **99**, 22205-22220.
- Tsusue, A., Dai, K., Mizuta, T. and Tamai, T. (1990) A comparison of Jurassic granitoids between the Hida Belt and South Korea. *Mining Geology*, **40**, 365-384.
- Zen, E-an (1992) Aluminum enrichment in silicate melts by fractional crystallization: some mineralogic and petrographic constraints. *Jour. Petrol.* **27**, 1097-1117.
- (受付：2005 年 2 月 16 日；受理：2005 年 5 月 19 日)