

伊那領家変成帯, 高遠花崗岩の微量元素ならびに希土類元素組成

Trace and Rare Earth Elements Compositions of the Takato Granite in the Ina District of the Ryoke Metamorphic Belt, Southwest Japan Arc

柚原雅樹*

Masaki Yuhara*

平成 23 年 5 月 31 日受理

* 福岡大学理学部地球圏科学科,
〒 814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1
Department of Earth System Science, Faculty
of Science, Fukuoka University, 8-19-1
Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan

M. Yuhara, yuhara@fukuoka-u.ac.jp

Abstract

Six trace elements (As, Cr, Ga, Pb, S, Th) compositions of the Takato Granite, which is composed of the Takato Granodiorite and Takato Tonalite, in the Ina district of the Ryoke Metamorphic Belt were determined using X-ray fluorescence spectrometer at Fukuoka University. Rare earth elements (La, Ce, Eu, Tb, Yb, Lu) and trace elements (Cs, Hf, U) compositions of some samples also were determined by instrumental neutron activation analysis at Ehime University. As for major and trace elements (Yuhara and Kagami, 1999), there is gap between variations trends of some trace elements of the Takato Granodiorite and Tonalite in Harker's diagrams. Chondrite-normalized REE patterns of the Takato Granodiorite and Tonalite are enriched in LREE, and depleted in HREE. The Takato Granodiorite is depleted in most REE. The Takato Granite gives Rb-Sr whole-rock and mineral isochron ages from 59.3Ma to 53.6Ma. These age data indicate timing of cooling.

Keywords: Takato Granite, trace element, rare earth element, Rb-Sr whole-rock and mineral isochron age, Ryoke metamorphic belt.

はじめに

柚原・加々美 (1999) は, 岩相およびその産状, 主成分ならびに微量元素組成, Sr 同位体比組成から, 伊那地方の領家変成帯に分布する高遠花崗岩が組成が異なる 2 種のマグマから形成されたことを明らかにした. その後, 分析機器の発達に伴い, 柚原・加々美 (1999) で報告した元素数よりも多くの微量元素の測定が可能になり (柚原・田口, 2003a, 2003b; 柚原ほか, 2004a; 高本ほか, 2005), さらに詳しい岩石学的検討ができるようになった. 花崗岩類の微量元素組成や希土類元素組成は, マグマの起源や分化過程の解析に極めて重要であり, 異なる花崗岩体間でのそれら化学組成の比較や広域変化の検討を行うためには, データの蓄積が欠かせない. 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く, 十分にデータが蓄積されているとは言い難い. そのため, 過去に分析値を報告した試料の蛍光 X 線分析装置による再測定作業を行ってきた (柚原, 2008, 2011).

本論文では, 柚原・加々美 (1999) 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, Cr, Ga, Pb, S, Th) 組成ならびに希土類元素組成 (La, Ce, Eu, Tb, Yb, Lu) を報告する. 加えて, Rb-Sr

全岩-鉱物アイソクロン年代も報告する.

地質概説

伊那領家帯北東部は, 領家変成岩類とそれに貫入する高遠花崗岩 (領家団体研究グループ, 1955) および両雲母花崗岩から構成される (Fig.1). 本地域の地質については, 小野 (1969a, b, 1977, 1981), 牧本ほか (1996) による研究がある.

領家変成岩類は, 泥質~砂質堆積岩源変成岩を主体とし, 少量の礫岩・石灰岩・塩基性岩起源変成岩をレンズ状に挟在する. 泥質変成岩は, 黒雲母-白雲母, 堇青石-黒雲母, 珪線石-堇青石-黒雲母, ざくろ石-珪線石-堇青石-黒雲母などの鉱物組み合わせを示す. 珪線石と共存する紅柱石も認められる. 変成度は, 北西から南東に向かって上昇する (小野, 1977; 牧本ほか, 1996). これらの変成岩類は, 北北東-南南西~北東-南西方向の軸を持つ背斜状構造, 向斜状構造を形成している (Fig.1).

高遠花崗岩は, 高遠西方から沢川流域にかけて, 周囲の変成岩類の構造を切って分布する (Fig.1). 本花崗岩は, 北部岩体と南部岩体からなる (柚原・加々美, 1999). 北部岩体の沢川流域では, 幅 500 ~ 700m の接触変成帯が形成されている (牧本ほか,

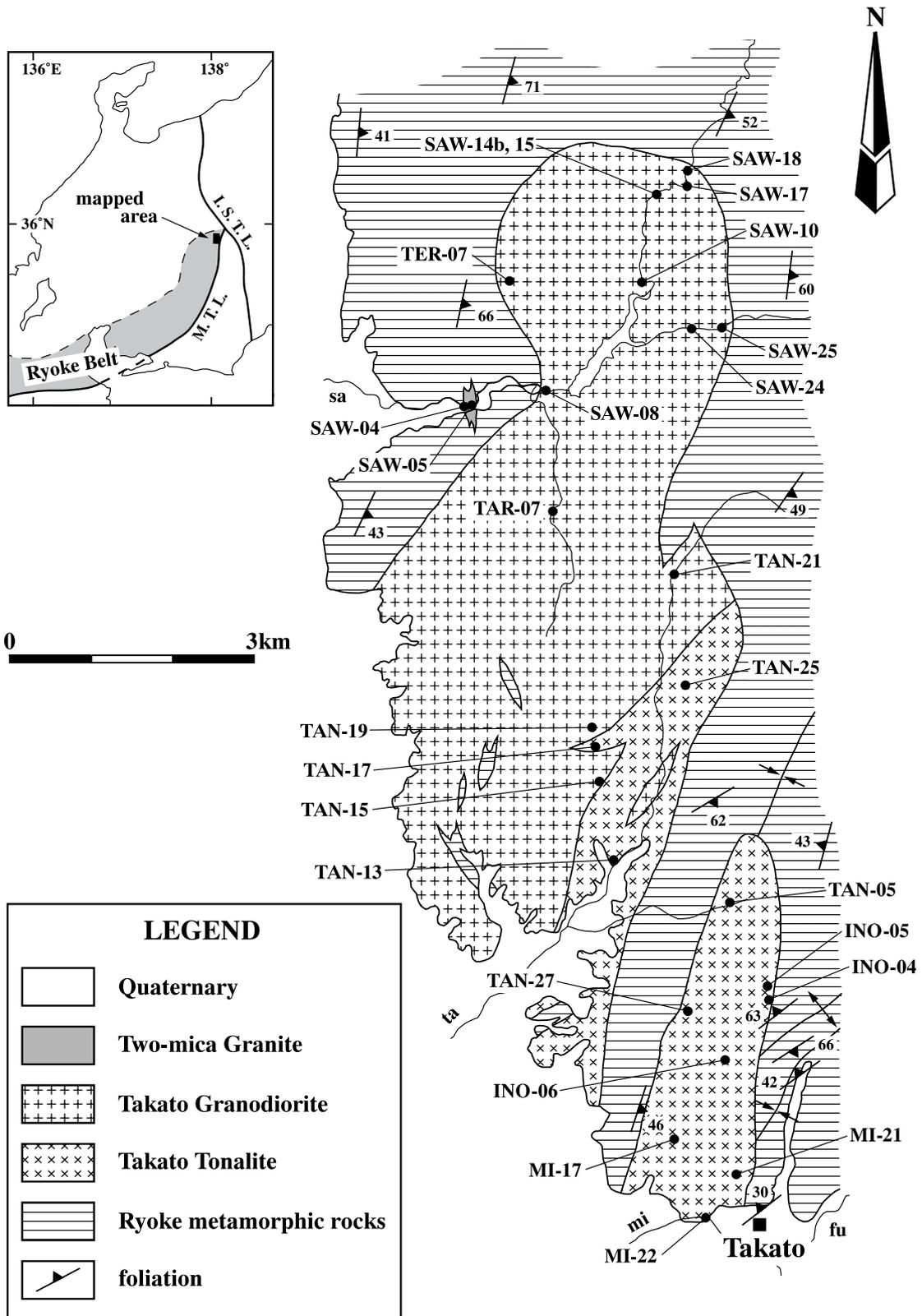


Fig. 1. Geological map of the northern area of the Takato Town and sample localities (after Yuhara and Kagami, 1999).

Sa: Sawa river, ta: Tanasawa river, mi: Mibu river, fu: Fujisawa river.

M.T.L.: Median Tectonic Line, I.S.T.L.: Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line.

1996). 一方, 南部の高変成度地域においては, 接触変成帯は明瞭ではない. 本花崗岩は, 主成分ならびに微量元素組成, Sr・Nd 同位体比組成の相違から, 異なるマグマから異なる結晶分化作用によって形成されたと考えられる高遠花崗閃緑岩 (中粒黒雲母花崗閃緑岩を主体とし, 黒雲母花崗岩を伴う. 両者は同じマグマから形成されたと考えられる) と高遠トナル岩 (中粒普通角閃石-黒雲母トナル岩から構成される) に区分され, 前者が後者に貫入する (柚原・加々美, 1999; Fig. 1). 各岩相の詳細な岩石記載については,

柚原・加々美 (1999) を参照されたい. 本岩体について, 61Ma の K-Ar 黒雲母年代 (河野・植田 (1966) による年代を Steiger and Jäger (1977) による壊変定数で再計算), 165Ma のジルコン Pb-a 年代 (Karakida et al., 1965), 85.2±6.6 Ma の Rb-Sr 全岩アイソクロン年代 (高遠花崗閃緑岩: 柚原・加々美, 1999), 65.8 ~ 63.9 Ma の K-Ar 普通角閃石年代 (Yuhara et al., 2000) が報告されている.

両雲母花崗岩は, 沢川下流に分布する厚さ 150m 程度の岩脈として産する. この花崗岩は, 細粒塊状の両

Table 1. Trace element concentrations of the Takato Granite and related rocks.

Takato Tonalite							
Sample No.	TAN-13	TAN-17	MI-17	MI-22	TAN-27	MI-21	INO-05
	H-B To.	H-B To.	H-B To.	H-B To.	H-B To.	H-B To.	H-B To.
SiO ₂ (wt.%)*	61.66	62.51	63.03	63.06	63.21	63.31	64.45
As(ppm)	<4	<4	<4	<4	<4	n.d.	<4
Cr	23	15	18	16	18	17	18
Ga	21	21	21	21	21	22	21
Pb	7	9	12	9	8	7	9
S	18	n.d.	3	n.d.	n.d.	n.d.	<3
Th	<4	<4	<4	4	<4	<4	<4
Takato Granodiorite							
Sample No.	INO-06	INO-04	TAN-05	TAN-25	SAW-15	SAW-08	TAN-19
	H-B To.	H-B To.	H-B To.	H-B To.	Encalve	B Gd.	B Gd.
SiO ₂ (wt.%)*	64.57	65.14	65.35	66.69	65.71	65.11	65.97
As(ppm)	<4	<4	<4	<4	<4	<4	n.d.
Cr	11	18	13	15	11	18	13
Ga	21	21	20	20	21	20	20
Pb	9	10	11	12	15	16	15
S	<3	10	n.d.	19	11	<3	n.d.
Th	<4	<4	<4	4	10	13	14
Takato Granodiorite							
Sample No.	SAW-18	TAN-15	SAW-25	TER-07	SAW-14b	TAN-21	SAW-24
	B Gd.	B Gd.	B Gd.	B Gd.	B Gr.	B Gd.	B Gd.
SiO ₂ (wt.%)*	66.08	66.84	68.56	69.16	69.66	70.39	70.48
As(ppm)	<4	n.d.	<4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cr	8	13	12	15	13	10	16
Ga	19	19	18	18	18	18	17
Pb	24	18	22	19	24	24	23
S	n.d.	4	90	<3	10	n.d.	n.d.
Th	11	13	9	12	13	17	10
Takato Granodiorite				Two-mica Granite			
Sample No.	SAW-17	SAW-10	SAW-04	SAW-05			
	B Gd.	B Gr.	T M Gr.	T M Gr.			
SiO ₂ (wt.%)*	71.56	73.80	72.06	72.69			
As(ppm)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.			
Cr	11	7	8	6			
Ga	16	15	18	18			
Pb	22	28	23	23			
S	n.d.	n.d.	n.d.	25			
Th	18	10	4	4			

*: reported by Yuhara and Kagami (1999), n.d.: not detected.

H-B To.: hornblende-biotite tonalite, B Gd.: biotite granodiorite, B Gr. biotite granite, T M Gr.: two-mica granite.

雲母花崗岩である。Sr・Nd 同位体比組成から、高遠花崗岩とは異なるマグマから形成されたと考えられる(柚原・加々美, 1999)。

変成岩類および高遠花崗岩中には、厚さ数 m ～数十 m の輝緑岩岩脈が貫入している。

微量元素ならびに希土類元素組成

柚原・加々美 (1999) により主成分ならびに微量元素組成が報告された試料について、微量成分 6 元素 (As, Cr, Ga, Pb, S, Th) を、ならびに新たに採取した 1 試料 (TAR-07) について主成分 10 元素 (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P) および微量成分 16 元素 (As, Ba, Cr, Cu, Ga, Nb, Ni, Pb, Rb, S, Sr, V, Th, Y, Zn, Zr) を、福岡大学理学部に設置の理学電機工業社製蛍光 X 線分析装置 ZSX100e により測定した。さらに、比較のため、高遠西方約 4km の三峰川左岸、伊那市桜井に分布する両雲母花崗岩 (MI-18) についても、同様な分析を行った。本岩は中粒塊状で、規模は不明であるが、領家変成岩類中の岩脈であると考えられる。試料採取位置を Appendix 1 に示す。試料調整および測定方法は、柚原・田口 (2003a, b), 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。

高遠花崗閃緑岩の 2 試料 (SAW-14b, SAW-10: いずれも黒雲母花崗岩), 高遠トータル岩の 1 試料 (MI-17) について、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, 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、柚原・加々美 (1999) 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。

SiO₂ 含有量の増加とともに、高遠花崗閃緑岩と高遠トータル岩の Cr, Ga は減少し、Pb は増加する傾向がある (Fig.2)。Th は、高遠トータル岩ではほとんどの試料が検出限界以下であるが、高遠花崗閃緑岩ではほぼ一定である。Cr, Ga, Pb においては、高遠トータル岩と高遠花崗閃緑岩の変化トレンドは連続するが、Th では両者に大きなギャップが認められる。このようなギャップは一部の主成分ならびに微量元素においても認められる (柚原・加々美, 1999)。高遠花崗閃緑岩の黒雲母花崗岩に包有される苦鉄質包有岩は、主成分ならびに微量元素 (柚原・加々美, 1999) と同様に、高遠花崗閃緑岩の組成変化トレンドにのる。沢川の両雲母花崗岩 (SAW-04, 05) は、主成分ならびに微量元素 (柚原・加々美, 1999) と同様に、

Table 2. Whole-rock chemical compositions of the Takato Granite and related rocks.

Sample No.	TAR-07	MI-18
	B Gd.	T M Gr.
SiO ₂ (wt.%)	65.97	74.82
TiO ₂	0.62	0.11
Al ₂ O ₃	15.82	13.83
Fe ₂ O ₃ *	5.55	1.52
MnO	0.09	0.08
MgO	1.31	0.25
CaO	3.15	0.93
Na ₂ O	3.43	3.51
K ₂ O	2.59	4.38
P ₂ O ₅	0.16	0.00
L.O.I.	0.62	0.45
Total	99.31	99.88
As(ppm)	<4	n.d.
Ba	650	287
Cr	16	7
Cu	6	<4
Ga	20	17
Nb	14	8
Ni	12	12
Pb	11	34
Rb	117	195
S	<3	n.d.
Sr	335	79
Th	15	12
V	59	9
Y	19	43
Zn	70	24
Zr	324	86

*: total iron as Fe₂O₃,

L.O.I.: loss on ignition, n.d.: not detected.

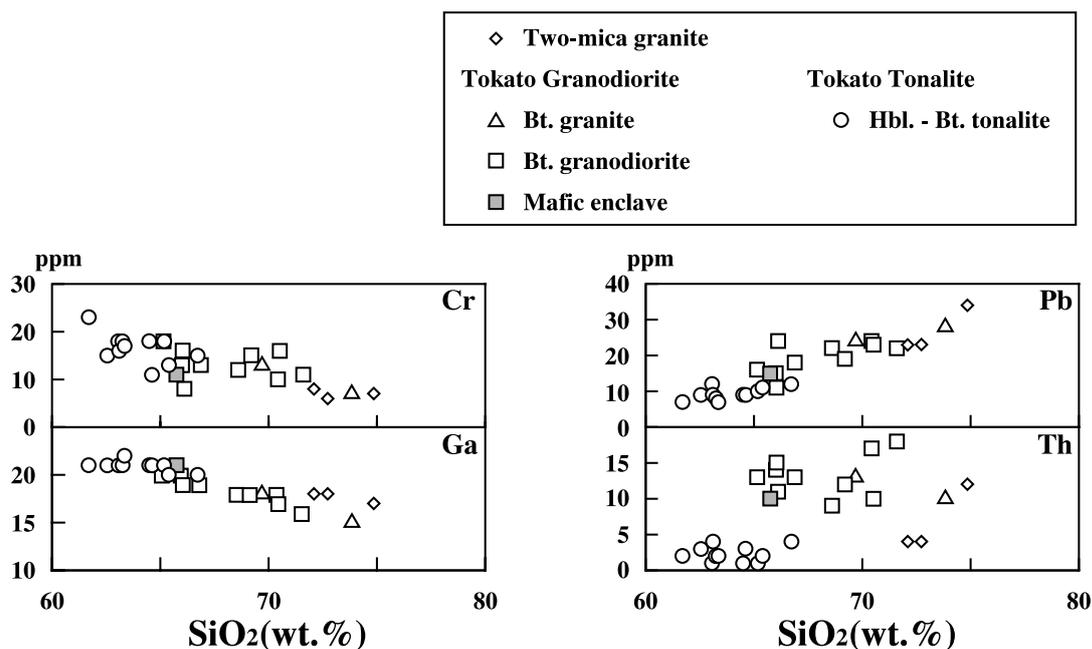
B Gr. biotite granite,

T M Gr.: two-mica granite.

Table 3. Whole-rock rare earth element compositions of the Takato Granite.

Sample No.	MI-17	SAW-14b	SAW-10
Cs(ppm)	1.41	5.84	2.54
La	15.26	31.47	19.54
Ce	31.00	63.06	38.53
Nd*	14.4	30.6	14.6
Sm*	2.82	5.87	3.06
Eu	1.24	1.01	0.86
Tb	0.34	0.83	0.50
Yb	1.10	2.23	1.56
Lu	0.17	0.33	0.23
Hf	4.99	5.26	2.07
U	0.06	1.61	1.95

*: determined by isotope dilution method (Yuhara and Kagami, 1999).

Fig. 2. SiO₂-trace elements diagrams of the Takato Granite and related rocks.

Bt.: biotite, Hbl.: hornblende.

高遠花崗閃緑岩の組成変化トレンドにほぼのるが、Thは大きくはずれる。伊那市桜井の中粒両雲母花崗岩 (MI-18) は、多くの主成分ならびに微量元素において、高遠花崗閃緑岩の組成変化トレンドの延長方向上にプロットされるが、Ni, Rb, Sr, Yは変化トレンドの延長方向からはずれる。したがって、今回新たに測定した微量元素も花崗岩類の組成変化の検討に有効であると考えられる。Asは検出限界以下で、Sはばらつきが大きい (Tables 1, 2)。

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. 3) は、軽希土類元素 (La-Sm) に富み重希土類元素 (Tb-Lu) に乏しい右下がりのパターンを示す。このパターンは、領家変成帯の花崗岩類のパターン (Ishihara and Wu, 2001; Kutsukake, 2002; Ishihara, 2003; Ishihara and Chappell, 2007; 柚原, 2008) と類似する。高遠花崗閃緑岩よりも高遠トータル岩の方が、REE含有量が高い。これは、起源マグマの組成の違いを反映している可能性もあるが、各試料のSiO₂含有量を考慮すると、マグマの分化の程度の違いを反映している可能性が高い。高遠トータル岩は負のEu異常が認められるが、高遠花崗閃緑岩では、より含有量の高いSAW-14bは若干の負のEu異常を示すが、より含有量の低いSAW-10は正のEu異常を示す。SAW-14bよりもSAW-10が高いSiO₂含有量を示すことから、マグマの分化過程において斜長石を濃集したことを示

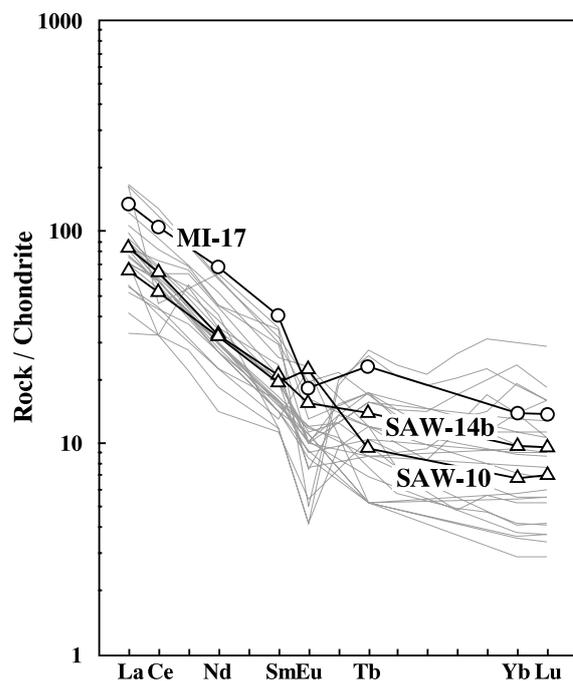


Fig. 3. Chondrite-normalized REE abundances of the Takato Granite.

Normalization value by Anders and Grevesse (1989).

Symbols are the same as those in Figure 2.

Grey lines indicate patterns of granitic rocks in the Ryoke metamorphic belt (Ishihara and Wu, 2001; Kutsukake, 2002; Ishihara, 2003; Ishihara and Chappell, 2007; Yuhara, 2008).

Table 4. Trace element concentrations and isotopic data of the Takato Granite and related rocks.

Sample No.	Rb(ppm)	Sr(ppm)	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr(2σ)	Sm(ppm)	Nd(ppm)	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd(2σ)
MI-17*	35.9	586	0.1775	0.70885(1)	2.82	14.4	0.1181	0.512262(10)
Biotite	219	3.21	200.7	0.87774(2)				
Hornblende	3.61	41.9	0.2492	0.70918(3)	32.8	117	0.1702	0.512281(10)
Felsic fraction	6.61	735	0.02604	0.70868(1)	0.1910	1.38	0.08329	0.512223(19)
MI-22*	28.5	637	0.1295	0.70895(1)				
Biotite	196	15.4	37.01	0.73997(1)				
Felsic fraction	6.21	758	0.02368	0.70877(1)				
TAN-05*	37.9	553	0.1983	0.70891(1)				
Biotite	250	4.15	176.8	0.85372(2)				
Felsic fraction	5.27	626	0.02435	0.70878(1)				
TAN-27*	35.9	598	0.1736	0.70882(1)				
Biotite	209	11.6	52.14	0.74840(1)				
Felsic fraction	5.71	738	0.02237	0.70872(1)				
MI-18	195**	79**	7.147	0.71561(1)				

*reported by Yuhara and Kagami (1999), **: determined by XRF.

唆するのかもしれない。今回分析しなかった黒雲母花崗閃緑岩を含め、より多くの試料による詳細な検討が必要であろう。

今回得られた高遠花崗閃緑岩と高遠トータル岩の微量元素および希土類元素の相違は、両者が異なるマグマから異なる結晶分別作用によって形成されたという推定(柚原・加々美, 1999)を支持する。

Rb-Sr 全岩-鉍物アイソクロン年代

高遠花崗閃緑岩の2試料, 高遠トータル岩の2試料について, アイソダイナミックセパレーターおよび重液を用いて, 普通角閃石, 黒雲母, フェルシックフラクションを分離精製し, SrおよびNd同位体比組成の分析を行った。加えて, MI-18のSr同位体比の測定も行った。全岩および鉍物試料のSr・Nd同位体比は, 新潟大学理学部のMAT-262型質量分析計と同大学院自然科学研究科のMAT-261型質量分析計を用いて測定した。測定方法は, Miyazaki and Shuto (1998)に従った。⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比および¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd比は⁸⁶Sr/⁸⁸Sr=0.1194, ¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd=0.7219でそれぞれ規格化した。Sr・Nd抽出におけるブランクは, Rbが0.25ng, Srが0.52ngで, Smが0.025ng, Ndが0.22ngであった。各試料の⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比および¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd比は, 同じ測定期間中に測定したSr同位体比標準試料NBS-987のSr同位体比およびJB-1aのNd同位体比を, それぞれ0.710241(柚原, 1994; 柚原・加々美, 1995)と0.512784に補正した値である。JB-1aの0.512784という値は, USGSの標準試料のBCR-1の0.512638に相当する(Kagami et al., 1989)。Rb, Sr, Sm, Ndの定量は, ⁸⁷Rb-⁸⁴Srミックススパイクおよび¹⁴⁹Sm-¹⁵⁰Ndミックススパイクを用いた同位体希釈法

により測定した。測定結果をTable 4に示す。

アイソクロン年代および初生値は, York (1966)の方法により, ⁸⁷Rbの崩壊定数: $1.42 \times 10^{-11}/y$ (Steiger and Jäger, 1977)を用いて計算した。計算には, 川野(1994)のプログラムを使用した。この際, ⁸⁷Rb/⁸⁶Srの測定誤差は0.5% (1σ), ⁸⁷Sr/⁸⁶Srの測定誤差は0.01% (1σ)として計算した。得られた年代の誤差は, 2σで示した。

全岩, 黒雲母, フェルシックフラクションによるRb-Sr全岩-鉍物アイソクロン年代として, 59.3±0.3 Ma (MI-17), 59.3±0.6 Ma (MI-22), 57.7±0.1 Ma (TAN-05), 53.6±0.1 Ma (TAN-27)を得た(Fig. 4)。MI-17の普通角閃石は, 全岩, 黒雲母, フェルシックフラクションの形成するアイソクロンから外れ, 上方にプロットされる。

また, ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Ndの変化幅が狭く, 分散も大きいため, 明瞭なSm-Nd全岩-鉍物アイソクロン年代は得られなかった。

これらの試料からは, 65.8~63.9 MaのK-Ar普通角閃石年代が報告されている(Yuhara et al., 2000)。Rb-Sr全岩-鉍物アイソクロン年代およびK-Ar普通角閃石年代は, それぞれの岩石が約300℃および560~500℃に冷却した時期を示すと考えられている(Wagner et al., 1977; Harrison, 1981; Jenkin et al., 1995; Nishimura and Mogi, 1986)。これらの年代値は伊那領家変成帯の花崗岩体の鉍物年代の範囲内(74.3~48.8 Ma: Yuhara et al., 2000; 柚原ほか, 2000, 2004b; 柚原・加々美, 2006)にあり, 高遠花崗岩体もこれらの岩体と同様に, 伊那領家変成帯における火成活動の終了と変成帯の上昇に伴って冷却したと考えられる(Yuhara et al., 2000)。

伊那市桜井に分布する両雲母花崗岩(MI-18)は,

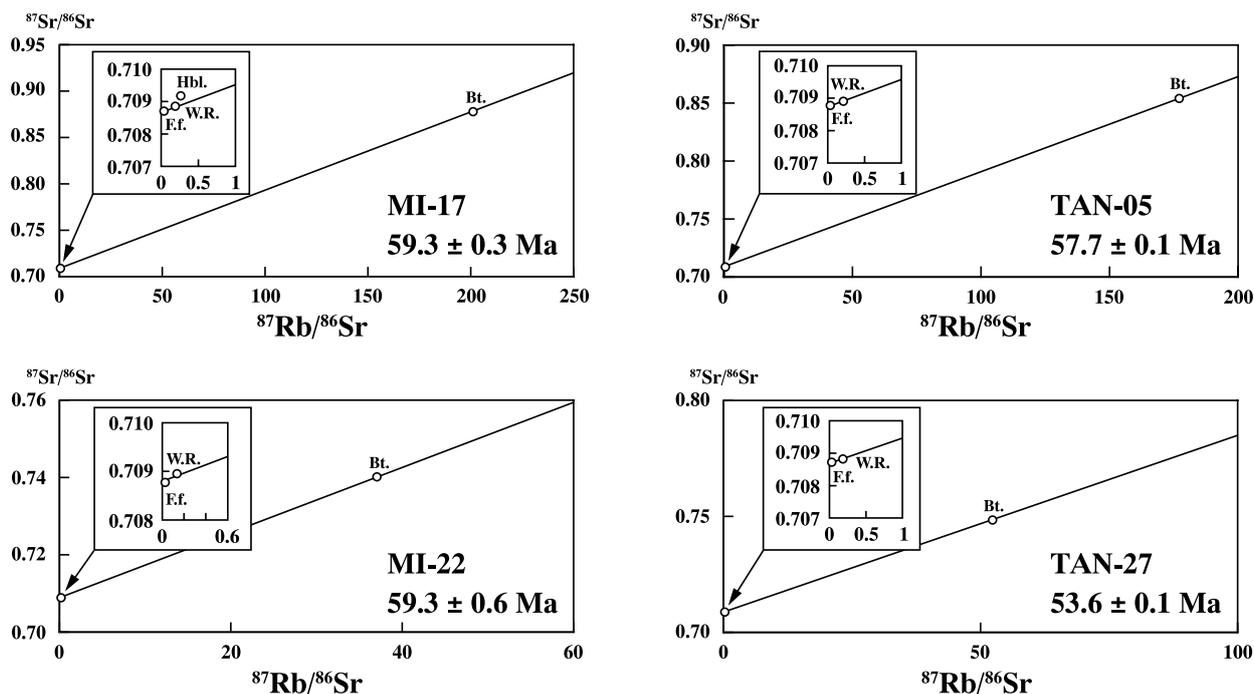


Fig. 4. Whole-rock and mineral isochron diagrams of the Takato Granite.
W.R.: whole-rock, Bt.: biotite, Hbl.: hornblende, F.f.: felsic fractions.

河内ほか（1983）では，中粒普通角閃石－黒雲母石英閃緑岩およびざくろ石－電気石含有アプライトからなる富県花崗岩のメンバーであるとされている。このうち普通角閃石－黒雲母石英閃緑岩は，高遠花崗岩と一連のマグマ活動によるものであると考えられている。しかしながら，MI-18は，岩相が大きく異なることから，富県花崗岩とは異なるメンバーである可能性が高い。さらに，一部の微量元素において，高遠花崗閃緑岩および沢川の両雲母花崗岩の組成と異なる。さらに，85.2Maで年代補正したMI-18のSr同位体比は0.70696であり，それらの花崗岩体の同位体比組成（柚原・加々美，1999）と大きく異なる。したがって，桜井の両雲母花崗岩は，高遠花崗岩とも沢川の両雲母花崗岩とも異なるマグマからもたらされたものであると考えられる。

謝 辞

中性子放射化分析は愛媛大学教育学部の佐野 栄教授にいただいた。同位体測定の際には，新潟大学自然科学研究科の加々美寛雄教授（当時）ならびに理学部の周藤賢治教授（当時）にお世話になった。立正大学地球環境科学部の川野良信教授には査読をしていただき，有益な助言をいただいた。以上の方々に記して感謝の意を表します。

文 献

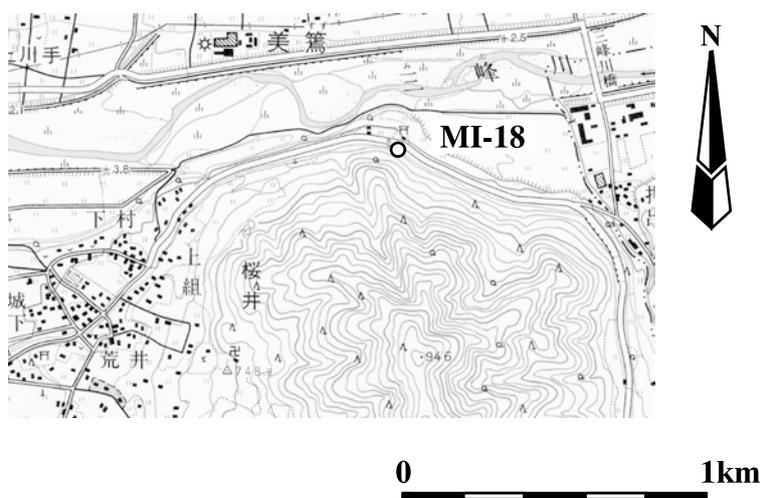
- Anders, E. and Grevesse, N., 1989, Abundances of the elements: Meteoritic and solar. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **53**, 197-214.
- Harrison, T. M., 1981, Diffusion of ^{40}Ar in hornblende. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **78**, 324-331.
- Ishihara, S., 2003, Chemical contrast of the Late Cretaceous granitoids of the Sanyo and Ryoke Belts, Southwest Japan: Okayama - Kagawa transect. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **54**, 95-116.
- Ishihara, S. and Chappell, B. W., 2007, Chemical compositions of the Late Cretaceous Ryokegranitoids of the Chubu District, central Japan - Revisited. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **58**, 232-350.
- Ishihara, S. and Wu, C., 2001, Genesis of late Cretaceous - Paleogenegranitoids with contrasting chemical trends in the Chubu District, central Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **52**, 471-491.
- Jenkin, G. R. T., Rogers, G., Fallick, A. E. and Farrow, C. M., 1995, Rb-Ar closure temperatures in bi-mineralic rocks: a model effect and test for different diffusion models. *Chem. Geol.*, **122**, 227-240.
- Kagami, H., Yokose, H. and Honma H., 1989, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ratios of GSJ rock reference samples; JB-1a, JA-1 and JG-1a. *Geochem. Jour.*, **23**, 209-214.
- Karakida, Y., Tomita, T., Gottfried, D., Stern, T. and Rose, H. J. Jr., 1965, Lead-Alpha ages of some granitic rocks from North Kyushu and Central Japan. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ.*, Ser. D, (Geol.), **16**, 249-263.
- 川野良信, 1994, パーソナルコンピュータを用いた Rb-Sr, Sm-Nd アイソクロン計算プログラム. *情報地質*, **5**, 13-19.

- 河野義礼・植田良夫, 1966, 本邦産火成岩の K-Ar dating (V) - 西南日本の花崗岩類 -, 岩鉱, 56, 191-211.
- 河内洋佑・湯浅真人・片田正人, 1983, 市野瀬地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 70p.
- Kutsukake, T., 2002, Geochemical characteristics and variations of the Ryokegranitoids, Southwest Japan: petrogenetic implications for the plutonic rocks of a magmatic arc. *Gondwana Res.*, 5, 355-372.
- Miyazaki, T. and Shuto, K., 1998, Sr and Nd isotope of twelve GSJ rock reference samples using MAT262 mass spectrometer. *Geochem. Jour.*, 32, 345-350.
- 牧本 博・高木秀雄・宮地良典・中野 俊・加藤禎一・吉岡敏和, 1996, 高遠地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 114p.
- Nishimura, S. and Mogi, T., 1986, The interpretation of discordant ages of some granitic bodies. *Jour. Geotherm. Res. Soc. Japan*, 8, 145-164.
- 小野 晃, 1969a, 長野県高遠 - 塩尻地方に分布する領家変成帯の地質. 地質雑, 75, 491-498.
- 小野 晃, 1969b, 長野県高遠 - 塩尻地方に分布する領家変成帯の変成分帯. 地質雑, 75, 521-536.
- 小野 晃, 1977, 高遠 - 塩尻地方の領家変成岩類の岩石学的研究. 岩鉱, 72, 453-468.
- 小野 晃, 1981, 領家変成帯, 高遠 - 鹿塩地方の地質. 地質雑, 87, 249-257.
- 領家団体研究グループ, 1955, 領家帯の団体研究と中部地方領家帯地質図. 地球科学, no. 25, 1-3.
- 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.
- Steiger, R. H. and Jäger, E., 1977, Subcommission on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 36, 359-362.
- 高本のぞみ・柚原雅樹・古川直道, 2005, 福岡県東部, 今川・祇川流域の元素濃度分布. 福岡大学理学集報, 35 (2), 41-66.
- Wagner, G. A., Reimer, G. M. and Jäger, E., 1977, Cooling ages derived by apatite fission-track, mica Rb-Sr and K-Ar dating; the uplift and cooling history of the Central Alps. *Memoirs of Institute of Geology and Mineralogy, University of Padova*, 30, 1-27.
- York, D., 1966, Least-squares fitting of a straight line. *Can. Jour. Physics*, 44, 1079-1086.
- 柚原雅樹, 1994, 伊那地方領家帯における太田切花崗岩の貫入時期と領家変形—変成作用: Rb-Sr 全岩アイソクロン年代による検討. 岩鉱, 89, 269-284.
- 柚原雅樹, 2008, 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. 福岡大学理学集報, 38 (2), 45-51.
- 柚原雅樹, 2011, 伊那領家変成帯に産する変成岩の微量元素ならびに希土類元素組成. 福岡大学理学集報, 41, 39-50.
- 柚原雅樹・古川直道・田口幸洋, 2004a, 粉末ベ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.
- 柚原雅樹・原 文宏・加々美寛雄, 2000, 非持トータル岩の Rb-Sr, Sm-Nd 年代とその意義. 地質学論集, no. 56, 241-253.
- 柚原雅樹・加々美寛雄, 1995, 勝間石英閃緑岩体の冷却史. 地質雑, 101, 434-442.
- 柚原雅樹・加々美寛雄, 1999, 伊那領家帯, 高遠花崗岩の年代学的, 同位体岩石学的研究. 地質雑, 105, 181-192.
- 柚原雅樹・加々美寛雄, 2006, 伊那領家帯, 木曾駒花崗閃緑岩および市田花崗岩の年代学的, 同位体岩石学的研究. 福岡大学理学集報, 36 (2), 37-61.
- 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. *The Island Arc*, 9, 64-80.
- 柚原雅樹・宮崎 隆・加々美寛雄, 2004b, 伊那領家帯, 吉瀬花崗閃緑岩の年代学的, 同位体岩石学的研究. 福岡大学理学集報, 34 (1), 51-65.
- 柚原雅樹・田口幸洋, 2003a, 蛍光 X 線分析装置 ZSX100e による珪酸塩岩石の主成分および微量元素の定量分析. 福岡大学理学集報, 33 (1), 25-34.
- 柚原雅樹・田口幸洋, 2003b, 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.

(要 旨)

柚原雅樹, 2011, 伊那領家変成帯, 高遠花崗岩の微量元素ならびに希土類元素組成. 福岡大学理学集報, 41, 207-215. (Yuhara, M., 2011, Trace and rare earth elements compositions of the Takato Granite in the Ina district of the Ryoke Metamorphic Belt, Southwest Japan Arc. *Fukuoka Univ. Sci. Rep.*, 41, 207-215.)

蛍光 X 線分析装置を用いて, 高遠花崗岩の 6 微量元素 (As, Cr, Ga, Pb, S, Th) 組成を分析した. さらに, 一部の試料について, 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, U) 組成も分析した. 主成分ならびに微量元素 (柚原・加々美, 1999) と同様に, 高遠トータル岩と高遠花崗閃緑岩の一部の微量元素の変化トレンドにはギャップが認められる. コンドライトで規格化した高遠花崗岩の希土類元素パターンは, 軽希土類元素に富み, 重希土類元素に乏しい右下がりのパターンを示す. また, 高遠花崗閃緑岩よりも高遠トータル岩の方が, REE 含有量が高い. 高遠花崗岩は, 59.3Ma ~ 53.6Ma の Rb-Sr 全岩 - 鉱物アイソクロン年代を示すが, これは, 伊那領家変成帯に分布する他の花崗岩体と同様に岩体の冷却時期を示している.



Appendix 1. Sample locality of MI-18.

This map is adapted from the 1/25000 topographic map “Shinano-mizoguchi” published by the Geographical Survey Institute of Japan.