領家花崗岩類に伴う同時性岩脈の形成過程：マグマだまりプロセスに関する問題への年代学からのアプローチ*

Formation of syn-plutonic dike in the Cretaceous Ryoke granitic rocks, SW Japan: A geochronological approach to magma chamber process*

Abstract

中島 隆^{1,2,3} 神山裕幸⁴
Ian S. Williams⁵

Takashi Nakajima^{1,2,3},
Hiroyuki Kamiyama⁴ and
Ian S. Williams⁵

2019年3月6日受付.

2020年11月2日受理.

¹ 産業技術総合研究所地質調査総合センター
Geological Survey of Japan, AIST, 1-1-1 Higashi, Tsukuba 305-8567, Japan

² 国立科学博物館
National Museum of Nature and Science,
4-1-1 Amakubo, Tsukuba 305-0005, Japan

³ 神奈川県立生命の星・地球博物館
Kanagawa Prefectural Museum of Natural
History, 499 Iriuda, Odawara 250-0031, Japan

⁴ 上山試錐工業(株)
Ueyama-Shisui Co. Ltd., Kita-2, Higashi-13,
Sapporo 060-0032, Japan

⁵ オーストラリア国立大学
Research School of Earth Sciences, Australian National University, Canberra ACT2601, Australia

Corresponding author: T. Nakajima,
tngeoch@yahoo.co.jp

Syn-plutonic dikes show the intermingling process of partially molten silicic and mafic magmas. We found some syn-plutonic dikes with different ages between their silicic and mafic rocks from the Chubu and Kinki districts. The zircon U–Pb ages of the silicic rocks are 90–94 Ma while those of the mafic rocks are 70–75 Ma. It is unlikely that the granitic magma of 90–94 Ma survived in partially molten state until the injection of the mafic magma at 70–75 Ma because the time discrepancy of 14–20 Ma seems too long for a lifetime of a single magma chamber.

In a silicic rock of the syn-plutonic dike we found a zircon grain which show Cathodoluminescence image of an irregular zoning with partly dissolved and re-grown texture. The U–Pb age of the re-grown part of it is ca. 70 Ma and the that of the undissolved core is ca. 90 Ma. Considering that the mafic rocks nearby is of 70 Ma and the host rock of the syn-plutonic dike is Older Ryoke granitoid of 90–94 Ma, it could be reasonably interpreted that the syn-plutonic dike was formed by injection of mafic magma at ca. 70 Ma into the already solidified 90–94 Ma granitoids and partially melted them, leading to the physical interaction of the local silicic crystal mush and the mafic magma, unlike the case where mafic magma was injected into pre-existing mushy granitic magma chamber.

Keywords: syn-plutonic dike, magma chamber process, U–Pb ages, Ryoke granitic rocks, Cretaceous

1. はじめに

花崗岩地帯では、苦鉄質岩と珪長質岩とが露頭スケールで不規則に入り乱れて共存する産状が観察されることがしばしばある。多くの場合、不定形の苦鉄質岩が珪長質岩のマトリックス中に多数包有される形で産する。日本でもその顕著なものは長門青海島、黒部、足摺など随所に大小さまざまな岩脈として見られ、苦鉄質岩の形状が特異なものは「おぼけダイク」と呼ばれ注目されて来た。これらは花崗岩質マグマと苦鉄質マグマが出会って物理的に混交した結果と考えられ、同時性岩脈とよばれている。

花崗岩質マグマと苦鉄質マグマが共に流動的な状態で接し、混交した結果生じた産状の例として、花崗岩質岩中のピロー状苦鉄質岩塊、それに逆注入する花崗岩質岩の back

vein、苦鉄質岩と花崗岩質岩の層状構造、苦鉄質岩にみられる急冷縁(chilled margin)、苦鉄質岩中に見られる花崗岩のパイプなどが報告され(Wiebe, 1973, 1991; Falkner et al., 1995; Snyder et al., 1997; Wiebe et al., 2004; Kamiyama et al., 2007 など)、これらはマグマだまりの中で起きる物理的現象としてマグマだまり過程(magma chamber process)とよばれ注目されている。これらの産状のいくつかは上述の同時性岩脈にも見られることから、同時性岩脈の形成を花崗岩質マグマだまりが固結してゆく過程の部分的な一局面とする見方もある(Pitcher, 1991; 高橋・石渡, 2012)。

領家–山陽帯の白亜紀花崗岩地帯でもこうした産状は数多く見つかった。これらはかつて、先行する活動で形成されていた苦鉄質岩が花崗岩質岩の貫入を受けて断片化したり包有されたりしているものと解釈されてきたが、現在では花崗岩質マグマと苦鉄質マグマが混交した同時性岩脈と考えら

* 日本地質学会第125回学術大会(札幌〜つくば, 2018年)にて発表

Fig. 1. Photographs of the outcrops of mafic rocks from the Ryoke belt. a) MMEs in silicic matrix of a syn-plutonic dike intruding Ryoke granitoid, Toyone-mura, b) Layered gabbro, Ikoma Mountains.

れている。岩脈の幅はさまざまで、数十 cm から数十 m におよぶものもあり、多種多様な同時性岩脈が集中して多重貫入帯を形成している場合もある(吉倉・熱田, 2000; Nakajima et al., 2004 など)。

今回、領家花崗岩類に伴う同時性岩脈の年代測定から、その形成に関して重要な示唆を与える結果が得られたので報告する。そしてその結果から導かれる同時性岩脈の形成メカニズムについて議論すると共に、領家-山陽帯花崗岩類を作ったマグマ活動の時期と活動期間について考察する。

2. 領家帯の苦鉄質岩類の産状と年代

領家帯における同時性岩脈の多産する場所は、地質図上ではしばしば苦鉄質岩の凡例で示されている。かつて領家帯の地質図(例えば、中部地方領家帯地質図(山田ほか, 1974)や、この時代の地質調査所の地質図幅など)では、苦鉄質岩は斑れい岩と変輝緑岩の2つの凡例で表わされていることが多く、そのうち同時性岩脈が集中的に多産する場所は変輝緑岩として塗色されていた。実際には、「変輝緑岩」とされている岩石の多くは、実際は一部に急冷組織をもつ火成岩であり、化学組成も玄武岩質より安山岩～玄武岩質安山岩であることが多い(Nakajima et al., 2004)。従って最近では「変輝緑岩」という名称を使わず「細粒苦鉄質岩」(西脇・奥平, 2005)など別の呼称を使っている例もある。

同時性岩脈中に含まれる苦鉄質岩は、角のない不定形の細粒安山岩～安山岩質玄武岩からなる、いわゆる MME (Mafic Magmatic Enclave)^{注1}であり(Fig. 1a)、花崗岩質部分との境界はシャープでしばしば急冷縁が観察され(吉倉・熱

田, 2000; Nakajima et al., 2004)、苦鉄質マグマと花崗岩質マグマが会った時、両者の間に温度差があったことが示唆される。これは実験によって確かめられている花崗岩質マグマのソリダス温度は苦鉄質マグマのソリダス温度より 200～300℃ 低温であるために起こった高温急冷過程を反映していると解釈されている。

苦鉄質岩はその他に粗粒斑れい岩からなる数十 m～数 km の孤立岩体、まれに最大 十数 km の複合岩体として花崗岩地帯のあちこちに存在する。Fig. 1b に代表的な生駒岩体の層状斑れい岩の露頭写真を示す。これらの苦鉄質岩体と周囲の花崗岩類との関係は多くの場合明瞭でなく、隣接する岩石に接触変成を与えているという記載はほとんどない。

これらの苦鉄質岩は長い間、領家花崗岩類に先行するマグマ活動の産物あるいは同花崗岩類の最初期に活動したものと考えられ、地質図の凡例の中で領家花崗岩類の最下位に置かれていた。花崗岩体相互の貫入関係が直接観察できる露頭が見つからない場合、その前後関係を判定するにあたっては、一方が他方の包有岩として認められれば包有されている側の方が前から存在していたと判断するのが通例だったので、同時性岩脈中の苦鉄質岩は当時その周囲の花崗岩質岩の包有岩と見なされたためである。

その後、Kagami et al. (1995) や Okano et al. (2000) らによって生駒や瀬戸内の斑れい岩から 200～220 Ma の Sm-Nd 鉱物アイソクロン年代と、同じ試料から 75～106 Ma の Rb-Sr 鉱物アイソクロン年代が報告され、彼らは領家帯の苦鉄質岩は白亜紀でなくジュラ紀のマグマ活動によって形成され、Rb-Sr 鉱物アイソクロン年代は白亜紀の熱事変による若返りであると解釈した。このジュラ紀説は当時かなりの研究者によって踏襲され、斑れい岩だけでなく変輝緑岩とされているものまでジュラ紀の岩石とされた。この時期の地質調査所の地質図幅では、彼らの主張に従って領家帯の苦鉄質岩をジュラ紀の岩体と扱っている(中島, 2018 参照)。一方、Nakajima et al. (2004) は中部地方から瀬戸内にかけて、同時性岩脈・MME・粗粒斑れい岩を合わせたいくつかの苦鉄質岩についてジルコンの U-Pb 年代を測定し、71～

^{注1} MME は Mafic Microgranular Enclave の略とする文献もある。その代表である Barbarin and Didier (1991) では、「Mafic Microgranular Enclave には、堆積岩・変成岩・火成岩を花崗岩質マグマが取り込んだものとマグマの結晶化過程で形成されるものの2種類がある」と記述しており、いわゆるゼノリスやセプタ、レスタイトなどまで含めた包有岩すべての意味で使っている。しかし最近の論文では MME はマグマティックな包有岩の意味で使われることが多く、特にマグマだまり過程の一形態として優白質と優黒質のマグマ混交の産物という成因的な意味を含めて使われる場合も多いので、本論文においては Mafic Magmatic Enclave を採用する。

Fig. 2. U–Pb ages and localities of the mafic rocks documented in Nakajima et al. (2004) and silicic rocks described in this paper. The italic numbers in the boxes at Toyone and Hatsuse areas show the zircon U–Pb ages obtained in this study. All numbers denote Ma.

86 Ma の結果を得た (Fig. 2). 測定した岩石には Kagami et al. (1995) や Okano et al. (2000) によってジュラ紀とされた岩体も含まれており、この検証結果によって領家帯の苦鉄質岩は白亜紀後期に形成されたことが再確認された。これ以降の地質調査所の地質図幅では、領家帯の苦鉄質岩は再びすべて白亜紀に改められている (中島, 2018)。

3. 同時性岩脈における優白質岩の U–Pb 年代

西南日本の白亜紀領家花崗岩類に伴う同時性岩脈中の苦鉄質岩の U–Pb 年代については上記 Nakajima et al. (2004) で報告された。本論文では、同時性岩脈中の優白質岩のジルコン U–Pb 年代を報告する。

3.1 年代測定手法

ジルコンの分離は京都フィッシュントラック社によって行われた。分離したジルコンを樹脂に埋め込んだ測定用マウントはオーストラリア国立大学地球科学研究所で作成され、測定は同研究所の高感度イオンマイクロプローブ SHRIMP II を用いて行われた。測定試料の調製と測定条件、および測定結果から年代値の計算方法等は、苦鉄質岩の年代 (Nakajima et al., 2004) と同様 Williams et al. (1996) に従い、初生イオンビームは 2 nA, 10 kV, ビーム径は 30 μm で行った。標準試料としては、SHRIMP による顕生代の U–Pb 年代測定用に調製された Temora-1 が用いられた。Temora-1 はオーストラリア東南部ラクラン褶曲帯の Middledale Gab-

broic Diorite から採られた 417 Ma のジルコンで、その詳細な記載や標準試料としての検証は Black et al. (2003a, b) に記述されている。測定された $^{254}\text{UO}^{+}/^{238}\text{U}^{+}$ は、Temora-1 を測定して得られた検量線によって $^{206}\text{Pb}^{+}/^{238}\text{U}^{+}$ に近似変換される。それを SL13 の値を用いて $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Table 2 では $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ m として表示) に換算し、さらに $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ の測定値を用いて common Pb の補正を行うことで得られる $^{206}\text{Pb}^{*}/^{238}\text{U}$ (* は common Pb 補正後の値であることを表わす) から $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年代 (Table 2 では Apparent age 206/238 として表示) が得られる。Common Pb の補正には Broken Hill の方鉛鉱の鉛同位体比 (Stacey and Kramers, 1975) を用いた。 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ を用いた common Pb の補正計算については Williams (1998), Ireland and Williams (2003), Horie et al. (2013) などに詳しく説明されている。こうして得られた測定点ごとの $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年代を加重平均することで各試料の U–Pb 年代が求められる。U–Pb 年代の誤差は信頼度 95% の範囲を表示した。年代計算には IUGS 年代学協会による壊変定数 (Steiger and Jäger, 1977) を用いた。

3.2 愛知県豊根村

測定した同時性岩脈中の優白質岩試料は、愛知県北設楽郡豊根村三沢の、当時工事中の大きな切割の露頭 (35°11' 03"N, 137°42'30"E) から採取された。この地域は中部地方領家帯地質図 (山田ほか, 1974) や 20 万分の 1 地質図幅「豊橋及び伊良湖岬」 (牧本ほか, 2004) において示された愛知県

Fig. 3. (a) Photograph of syn-plutonic dikes in the Toyone-mura area (Fig. 2), where the sample 99113004A was obtained. (b) A geographic map with the locality of Fig. 3a. Geographic map is from GSI Japan.

北東部の大きな「変輝緑岩」あるいは「変苦鉄質岩類」の塗色域の中にある。これらの塗色域はほぼ全域にわたって、凡例に書かれたような苦鉄質岩類だけではなく、細粒苦鉄質岩のMMEを含む同時性岩脈が大量に存在する場所である。試料を採取した切割の露頭では不規則形に枝分かれた苦鉄質の岩脈が花崗岩質岩に貫入している。花崗岩質岩は中粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩から細粒の優白質花崗岩までさまざまな岩相が混在し、一部には花崗岩質岩と混交・同化しかかっている苦鉄質岩の細脈を伴う (Fig. 3a)。それらの中で中粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩を試料 99113004A として採取した。その全岩化学組成を Table 1 に示す。分析は産総研地質調査総合センターで行われ、微量元素のうち希土類元素と Hf, Th は中性子放射化分析、その他の元素は蛍光 X 線分析によった。

愛知県豊根村における同時性岩脈の優白質岩にあたる中粒黒雲母花崗閃緑岩 (試料番号 99113004A) のジルコンの SHRIMP による測定生データを Table 2 に示す。この結果から得られた Tera-Wasserberg コンコーディア図を Fig. 4 に示す。測定結果は 2 つのクラスターを構成し、それぞれのクラスターから $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年代の加重平均で 94.1 ± 1.0 Ma と 70.5 ± 1.5 Ma の U-Pb 年代が得られる。測定値はコンコーディアから離れるものも多数あるように見えるが、それらはほとんどが Stacey and Kramers (1975) に示された Broken Hill の方鉛鉱による Common Pb の値とコンコーディア上の年代値を端成分とする混合線上に分布することから、Pb の二次的な逸散はほとんどなかったとみなせる。2 つのクラスターの年代の間には 20 Ma 以上の差があり、かつその間の年代に相当するデータは全くない。

70.5 ± 1.5 Ma を示すデータは 4 点 (Table 2 の 2.1, 3.1, 5.1, 7.2) で、そのうち 2 点 (2.1, 7.2) については同一粒の核部から 94.1 ± 1.0 Ma の U-Pb 年代を与える $92 \sim 93$ Ma の $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年代 (Table 2 では Apparent age $206/238$ として表示) が得られており、 70.5 ± 1.5 Ma の U-Pb 年代を与えるのは縁部の年代である (Fig. 5)。

これらのジルコンのうち一つ (Fig. 5b) は、外形は自形を呈するが、カソードルミネッセンス像で見られる内部構造は外形に調和的な累帯構造ではなく、内部構造線の一部がジルコン結晶の内側に湾入しており、一部が溶蝕した後再成長し

Table 1. Chemical composition of mafic and silicic rocks in the syn-plutonic dikes. Gr; silicic rock, Gb; mafic rocks, total Fe as $^*\text{Fe}_2\text{O}_3$. All major elements and trace elements from Zr to Nb were analyzed with XRF, and those from La to Th were analyzed with NAA (neutron activation analysis).

Sample No	99113004A	00021701C	99120101A	00021701A
Rock	Gr	Gr	Gb	Gb
Locality	Toyone	Hatsuse	Toyone	Hatsuse
(wt. %)				
SiO ₂	69.70	66.85	59.66	47.32
TiO ₂	0.23	0.36	0.82	1.47
Al ₂ O ₃	16.36	17.25	17.66	18.56
* Fe ₂ O ₃	2.67	3.31	6.39	12.13
MnO	0.06	0.06	0.11	0.2
MgO	0.68	0.39	2.97	5.57
CaO	3.98	3.08	6.45	10.09
Na ₂ O	4.24	4.27	3.58	2.59
K ₂ O	1.50	3.89	1.76	1.55
P ₂ O ₅	0.06	0.08	0.17	0.24
total	99.47	99.54	99.57	99.72
(ppm)				
Zr	352	331	103	133
Y	13	17	15	34
Sr	316	309	471	382
Rb	54	78	58	37
Ba	285	1532	499	361
Zn	49	58	92	43
Ni	3	2	6	17
Cr	8	5	34	327
V	19	6	124	139
Nb	8.3	10.5	7.9	8.7
La	20.4	102	13.0	13.7
Ce	38.4	204	28.2	38.3
Sm	2.72	9.17	2.82	4.98
Eu	1.13	1.75	0.98	1.62
Yb	1.72	1.76	1.25	3.22
Hf	8.28	9.69	2.79	0.33
Th	10.5	26.1	1.80	0.76

Gr; silicic rock, Gb; mafic rock. total Fe as $^*\text{Fe}_2\text{O}_3$

て元の結晶の形になったと思われる構造を示す。その再成長の部分が 69.2 ± 0.9 Ma の $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年代を示し (Table 2 で spot 2.1 の Apparent age)、一方溶蝕されていない部分からは 92.3 ± 0.7 Ma の $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年代 (Table 2 の spot 2.2) が得られている。このジルコンの意味については後段「議論」の章で詳しく取り上げる。

Table 2. SHRIMP U–Pb isotopic analyses of zircons from mafic and silicic rocks of syn-plutonic dikes of the Ryoke belt. Analytical uncertainties and those of ‘Apparent ages’ are shown in one standard error.

Grain.spot	Pb*	U	Th		% ²⁰⁶ Pb*	²⁰⁷ Pb		²³⁸ U		²⁰⁸ Pb*		²⁰⁸ Pb*		²⁰⁶ Pb*		Apparent ages (Ma)			
	ppm	ppm	ppm	Th/U	comm.	²⁰⁶ Pb _m	±	²⁰⁶ Pb _m	±	²⁰⁶ Pb	±	²³² Th	±	²³⁸ U	±	208/232	±	206/238	±
Ryoke syn-plutonic dikes																			
00021701A																			
10.1	21	1465	1774	1.21	-	0.0474	7	85.17	31	0.3785	41	0.00367	6	0.01174	4	74.0	1.1	75.3	0.3
6.1	20	1211	2111	1.74	-	0.0470	8	84.88	55	0.5477	83	0.00370	6	0.01179	8	74.7	1.2	75.6	0.5
7.1	16	1155	1253	1.08	0.08	0.0483	11	85.97	59	0.3396	52	0.00364	6	0.01162	8	73.5	1.3	74.5	0.5
9.1	15	1108	1229	1.11	0.03	0.0478	8	86.40	69	0.3447	55	0.00360	7	0.01157	9	72.6	1.3	74.2	0.6
5.1	14	1031	979	0.95	0.24	0.0497	7	83.50	33	0.2969	41	0.00374	9	0.01195	5	75.4	1.7	76.6	0.3
1.1	14	1027	769	0.75	0.13	0.0487	16	83.41	83	0.2366	55	0.00378	10	0.01197	12	76.3	2.0	76.7	0.8
4.1	17	1024	1751	1.71	0.16	0.0490	9	84.82	52	0.5418	86	0.00373	6	0.01177	7	75.2	1.3	75.4	0.5
2.1	13	957	960	1.00	0.20	0.0494	9	84.77	82	0.3200	52	0.00376	7	0.01177	11	75.8	1.5	75.4	0.7
8.1	12	897	209	0.23	0.08	0.0486	10	71.61	52	0.0743	32	0.00445	19	0.01395	10	89.8	3.9	89.3	0.6
3.1	9	666	601	0.90	0.05	0.0480	14	84.54	78	0.2934	63	0.00384	9	0.01182	11	77.6	1.8	75.8	0.7
00021701C																			
3.1	7	474	235	0.50	0.20	0.0496	17	71.50	71	0.1557	57	0.00438	17	0.01396	14	88.4	3.4	89.4	0.9
4.1	6	419	278	0.66	0.22	0.0498	15	71.99	70	0.2139	62	0.00448	14	0.01386	14	90.3	2.8	88.7	0.9
7.1	6	378	239	0.63	0.15	0.0492	13	71.67	88	0.2091	63	0.00460	15	0.01393	17	92.8	3.0	89.2	1.1
5.1	5	342	194	0.57	0.21	0.0497	20	70.07	74	0.1848	71	0.00465	19	0.01424	15	93.7	3.7	91.2	1.0
8.1	5	340	168	0.50	0.47	0.0521	14	72.28	87	0.1495	58	0.00416	17	0.01377	17	83.9	3.4	88.2	1.1
1.1	5	313	146	0.47	-	0.0474	13	69.34	79	0.1624	78	0.00501	25	0.01443	17	101.0	5.0	92.3	1.1
6.1	4	287	185	0.64	0.09	0.0487	13	72.00	85	0.2151	64	0.00464	15	0.01388	17	93.5	3.1	88.8	1.0
9.1	4	270	152	0.56	0.09	0.0486	17	71.49	102	0.1866	93	0.00463	24	0.01397	20	93.3	4.9	89.5	1.3
10.1	4	257	114	0.44	0.07	0.0485	15	71.09	91	0.1469	62	0.00465	21	0.01406	18	93.7	4.2	90.0	1.2
2.1	2	142	65	0.46	1.00	0.0569	21	70.14	108	0.1339	85	0.00415	27	0.01411	22	83.7	5.5	90.3	1.4
99113004A																			
4.1	19	1326	353	0.27	0.26	0.0503	9	67.57	52	0.0798	29	0.00443	16	0.01476	11	89.3	3.3	94.5	0.7
7.2	12	1178	130	0.11	0.39	0.0510	13	89.20	86	0.0309	35	0.00313	36	0.01117	11	63.2	7.2	71.6	0.7
12.1	16	1077	344	0.32	0.39	0.0514	14	66.27	73	0.1101	44	0.00518	22	0.01503	17	104.5	4.4	96.2	1.1
1.1	15	1018	371	0.36	0.33	0.0510	8	67.47	51	0.1164	33	0.00472	14	0.01477	11	95.2	2.8	94.5	0.7
2.1	7	679	43	0.06	0.44	0.0514	15	92.32	113	0.0159	43	0.00270	73	0.01078	13	54.5	14.7	69.2	0.9
6.1	10	592	442	0.75	0.47	0.0522	14	67.41	83	0.2359	63	0.00467	14	0.01477	18	94.1	2.8	94.5	1.2
11.1	9	539	420	0.78	0.71	0.0544	20	67.96	73	0.2426	112	0.00455	22	0.01461	16	91.8	4.4	93.5	1.0
2.2	7	509	134	0.26	0.98	0.0568	15	68.68	52	0.0780	52	0.00429	30	0.01442	11	86.4	6.0	92.3	0.7
8.1	7	458	138	0.30	0.14	0.0492	15	67.57	84	0.1000	61	0.00492	31	0.01478	19	99.1	6.2	94.6	1.2
13.1	5	363	67	0.18	0.93	0.0564	39	68.77	175	0.0522	113	0.00408	89	0.01441	37	82.3	17.9	92.2	2.4
7.1	5	319	131	0.41	1.06	0.0575	33	70.10	100	0.1230	114	0.00424	40	0.01411	21	85.5	8.0	90.3	1.3
3.1	4	299	241	0.80	1.07	0.0572	27	89.03	126	0.2551	113	0.00353	17	0.01111	16	71.2	3.3	71.2	1.0
5.1	3	291	107	0.37	1.12	0.0576	29	90.70	114	0.1175	112	0.00348	34	0.01090	14	70.3	6.8	69.9	0.9

* Corrected for common Pb of Broken Hill galena composition using ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb

^m Measured value not corrected for common Pb.

* Percentage of total ²⁰⁶Pb that is common ²⁰⁶Pb.

Fig. 4. Tera-Wasserburg Concordia diagram of 99113004A, silicic rock in the syn-plutonic dikes, Toyone-mura area, before correction of common Pb. Note that there are two separate age clusters. Dashed lines show the locus of mixing with common Pb. Analytical uncertainties are one standard error, age uncertainties are 95% confidence limit.

Fig. 5. Cathodoluminescence images of some zircons of the silicic rock sample 99113004A with the analyzed points and $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages. (a) includes analyzed spots 7.1, 7.2 and (b) includes 2.1, 2.2, 12.1 and 13.1 in the Table 2.

Fig. 6. (a) Photograph of syn-plutonic dikes in Hatsuse area (Fig. 2), where the samples 00021701A, C were obtained. (b) A geographic map with the locality of Fig. 6a. Geographic map is from GSI Japan.

3.3 奈良県初瀬

もう一つの同時性岩脈は奈良県桜井市初瀬の初瀬川河床 ($34^{\circ}33'20''\text{N}$, $135^{\circ}54'48''\text{E}$) で、領家花崗岩類と細粒苦鉄質岩が密接に伴って共存する露頭から試料採取された。この露頭は 5 万分の 1 地質図幅「桜井」(西岡ほか, 2001)内にあり、同図幅では白亜紀の初瀬深成複合岩体中の細粒苦鉄質岩類として記載されている。

この露頭では花崗岩質岩中に細粒苦鉄質岩の岩脈が貫入し、その苦鉄質岩に花崗岩質岩が侵入している back-vein が観察され (Fig. 6), 半熔融状態の花崗岩質マグマと苦鉄質マグマが共存していたことが推定される。この露頭から苦鉄質岩脈の細粒黒雲母角閃石斑輝岩 (00021701A) と優白質岩である中粒黒雲母花崗岩 (00021701C) が採取された。そのうち苦鉄質岩脈については Nakajima et al. (2004) に記載され、 $75.5 \pm 0.8 \text{ Ma}$ の SHRIMP によるジルコン U-Pb 年代が報告されている。今回、それに伴う優白質岩 (00021701C) のジルコン U-Pb 年代を同様に測定し、 $89.7 \pm 1.0 \text{ Ma}$ の結果を得た。これらのコンコーディア図を Fig. 7a, b に示す。

4. 議論

4.1 領家花崗岩の同時性岩脈の形成

今回測定された同時性岩脈の優白質岩はいずれも $90 \sim 94 \text{ Ma}$ の U-Pb 年代を示した。これは同じ岩脈内の苦鉄質岩が示す $71 \sim 76 \text{ Ma}$ の U-Pb 年代よりも約 $15 \sim 20 \text{ Ma}$ 古く、同じマグマだまり内で両者のマグマが半熔融状態で共存し一緒に冷却固結したとは考えにくい。

このような同時性岩脈は、その産状・形態からみても、また苦鉄質岩の MME にしばしば冷却縁が観察されることからみても、花崗岩質マグマに苦鉄質マグマが侵入して形成されると考えられている (Wiebe and Collins, 1998 など)。従って花崗岩質マグマの方が苦鉄質マグマより前から存在していた可能性はあり、花崗岩質岩の方が少し古い年代を示すことはありうる。その場合、半熔融状態のマグマからジルコンが晶出する時期が両マグマの間で異なることを意味し、先にジルコンを晶出した花崗岩質マグマは苦鉄質マグマが侵入してくるまでソリダス近くの条件を保っていないことになる。しかしこの時間が $15 \sim 20 \text{ Myr}$ というのは、

Fig. 7. Tera-Wasserburg Concordia diagrams of (a) the mafic rock 00021701A (after Nakajima et al., 2004) and (b) the silicic rock 00021701C of the syn-plutonic dikes, Hatsuse area. Analytical uncertainties are one standard error, age uncertainties 95% confidence limits.

マグマだまりの寿命としては長過ぎて現実的でない。苦鉄質マグマのソリダス温度は花崗岩マグマのそれに比べると 300°C 程度高いことを考えると、花崗岩質マグマはジルコンを晶出した $90\sim 94\text{ Ma}$ の時期にいったん固結して花崗岩質岩になり、それが $15\sim 20\text{ Myr}$ 後に苦鉄質マグマの活動によってその熱で部分的に融解して一部は再びマッシュ状になり、その部分が苦鉄質マグマと物理的に混交したことにより同時性岩脈様の産状を呈していると考えた方が自然であろう。

ここで、愛知県豊根村の同時性岩脈に見られた単一ジルコン粒に約 90 Ma と約 70 Ma の部分が存在する試料 (Fig. 5) に注目したい。この試料には核部が約 90 Ma 、縁が約 70 Ma の年代をもつジルコンが2粒確認されている。そのうちの1つは、外形は自形を呈するが、Fig. 5b のカソードルミネッセンス像で見られる内部構造は外形に調和的な累帯構造ではなく、内部構造線の一部がジルコン結晶の内側に湾入しており、一部が溶蝕した後再成長して元の結晶の形になったと思われる構造を示す。前節 3.2. で述べたようにその再成長の部分が $69.2 \pm 0.9\text{ Ma}$ の $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年代を示し、一方溶蝕されていない部分からは $92.3 \pm 0.7\text{ Ma}$ の $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年代が得られている (Table 2 の spot 2.1 と 2.2)。異なった2つの年代が存在するもう一つのジルコン粒については、前述のような溶蝕構造はみられないが (Fig. 5a)、核部から $90.3 \pm 1.3\text{ Ma}$ 、縁部から $71.6 \pm 0.7\text{ Ma}$ の $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年代が得られており (Table 2 の spot 7.1 と 7.2)、それらの値はそれぞれ spot 2.1 と 2.2 の $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年代に近い。

この試料に含まれる大部分のジルコン結晶では、コンコーディア図で示された $94.1 \pm 1.0\text{ Ma}$ の U-Pb 年代を与える $92\sim 96\text{ Ma}$ の $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年代がその核部から得られており (Table 2, Fig. 5), 2.1 と 2.2 のジルコン結晶も 92 Ma ごろに花崗岩質マグマから晶出したがその後 69 Ma ごろに何らかの原因で一部溶蝕され、再成長したものと推定される。この近傍の同時性岩脈に含まれる MME (99120101A) からは $71.5 \pm 1.1\text{ Ma}$ の SHRIMP によるジルコン U-Pb 年代

が得られているので (Nakajima et al., 2004)、そのジルコンの溶蝕再成長の原因は苦鉄質マグマの侵入に伴う加熱と流体の供給によるものと考えられ、それが 94 Ma 頃にへい入後固結していた花崗岩質岩の局所的な融解をひきおこして同時性岩脈の産状を形成したと思われる。

愛知県豊根村地域では、同時性岩脈様の産状が地質図幅上で苦鉄質岩の塗色域である数 km の広範囲にわたって分布することから、 94 Ma 頃に活動し定置・固結していた花崗岩マグマだまりが 70 Ma 前後の苦鉄質マグマの活動によって部分的に再生したと言うこともできるかもしれない。

奈良県初瀬のダイク型同時性岩脈においても、花崗岩質岩 (00021701C) のジルコン U-Pb 年代は $89.7 \pm 1.0\text{ Ma}$ であるのに対して苦鉄質岩 (00021701A) の年代は $75.5 \pm 0.8\text{ Ma}$ (Nakajima et al., 2004) で、両者の間には約 14 Myr の時間間隙がある。これも花崗岩質マグマだまりが半溶融状態を保つには長すぎると思われる、大規模な花崗岩質マグマだまりへの苦鉄質マグマの侵入ではなく、いったん固結した 90 Ma の花崗岩質岩が 75 Ma に苦鉄質マグマの侵入を受けてその接する部分を中心に溶融し、貫入後高温急冷した苦鉄質岩脈に back-vein として再貫入したものと考えられる。

領家帯にみられる同時性岩脈の少なくとも一部は、花崗岩質マグマだまりに苦鉄質マグマが侵入して形成されたのではなく、一時代前のすでに固結した花崗岩に侵入し一部を融解して局所的にマッシュ状の半溶融体を作り、混交して形成されたと考えられる。

4.2 領家花崗岩類の活動期間

中部地方の領家帯において、 94 Ma の年代を示すいわゆる古期領家花崗岩類が 70 Ma 前後に苦鉄質マグマの侵入を受けた例が本研究で示された。ここで示された 70 Ma 前後の火成作用については、花崗岩類としても苗木-上松、土岐、武節など多くの花崗岩類がその年代を与えることが最近の U-Pb 年代測定によって確認されている (Nakajima, 1996; Yuguchi et al., 2016; Nakajima and Orihashi, 2009)。

また最近 Takatsuka et al. (2018) は中部地方領家帯の南

部に分布する花崗岩類について ICP-MS によるジルコン U-Pb 年代を多数測定し、それらの年代が 70~80 Ma と 90~100 Ma に分かれることを報告した。今回本研究で得られた豊根村の年代測定結果 94.1 ± 1.0 Ma と 70.5 ± 1.5 Ma (Fig. 4) は、彼らの報告した 2 つの年代グループにそれぞれ相当することから、この 2 つの時代のマグマ活動を反映していると考えられる。

一方、中部地方の領家帯全体を見ると、70~80 Ma と 90~100 Ma の間の休止期に相当する 80~90 Ma の年代をもつ花崗岩類は少なからず存在するように見える。特に中部領家-山陽帯のほぼ全域にわたって花崗岩類のモナザイト CHIME 年代を測定した Suzuki and Adachi (1998) では、大田切、市田、伊奈川、三都橋、新城など多くの花崗岩体が 76~86 Ma の年代を示す。しかし中部領家-山陽帯の花崗岩類の U-Pb 年代は、発表されているものはまだ少なく、上記 Suzuki and Adachi (1998) の CHIME 年代も武節花崗岩など LA-ICP-MS による U-Pb 年代との差が大きい問題がある。さらに同じ Suzuki and Adachi (1998) で報告されている中国地方柳井岩国地域の領家-山陽帯の花崗岩類については、彼らが報告したモナザイト CHIME 年代と Skrzypek et al. (2016) が LA-ICP-MS を用いて測定したジルコン U-Pb 年代との同一岩体についての年代不一致が大きいことから、モナザイト CHIME 年代の与える意味について詳細な検討がなされ、モナザイト結晶中の複雑なドメイン構造によって生じる広い年代差が確認された (Skrzypek et al., 2018)。以上のことをふまえ、苦鉄質岩を含めた中部地方領家花崗岩類のマグマ活動の継続期・休止期の全容を把握するには、さらなる U-Pb 年代データとそれをふまえた検討が必要と思われる。

近畿地方でも、本研究で得られた 90 Ma の古期領家花崗岩類と 75 Ma の苦鉄質岩の年代の間には約 15 Myr の間隙がある。この期間は豊根村の同時性岩脈で見られた花崗岩質岩と苦鉄質岩の間の時代間隙に含まれる。しかし近畿地方では、生駒山の斑れい岩体の SHRIMP によるジルコン U-Pb 年代が 82~83 Ma (Nakajima et al., 2004)、琵琶湖西岸の比良花崗岩のトール石を用いた EPMA による Th-Pb 年代が 77 Ma、田上花崗岩の閃ウラン鉱の EPMA による U-Pb 年代が 77~78 Ma、茨木花崗岩のトール石 Th-Pb 年代が 81~82 Ma (以上いずれも Yokoyama et al., 2016) と 75 Ma~90 Ma の間の時期に相当する花崗岩類が数多く存在する。さらに近畿地方では山陽帯花崗岩の噴出岩相にあたりと考えられる湖東流紋岩から約 74 Ma、神戸市北方の有馬層群流紋岩類から 79~82 Ma の ICP-MS によるジルコン U-Pb 年代が報告されており (いずれも Sato et al., 2016)、90 Ma と 75 Ma の間も花崗岩質マグマの活動が続いていたことがわかる。

5. まとめ

領家花崗岩類に伴う同時性岩脈の珪長質岩と苦鉄質岩に含まれるジルコンの U-Pb 年代から、同時性岩脈の形成時期と成因を考察した。

中部地方の領家帯の同時性岩脈から、 94.1 ± 1.0 Ma と 70.5 ± 1.5 Ma の 2 つのジルコン U-Pb 年代をもつ岩石が確認された。さらにその岩石中では 94 Ma のジルコンが融食した後に二次成長した部分が 70 Ma を示す。この結果は、中部地方領家帯南部の花崗岩類の年代が 70~80 Ma と 90~100 Ma の 2 回のマグマ活動を示すという Takatsuka et al. (2018) の最近の報告と調和的である。同様の年代ギャップを示す同時性岩脈は近畿地方でも存在し、苦鉄質岩が 75.5 ± 0.8 Ma、花崗岩質岩が 89.7 ± 1.0 Ma で、約 14 Myr の時間間隙がある。

領家帯の同時性岩脈は、花崗岩質マグマだまりに苦鉄質マグマが侵入して形成されたのではなく、一時代前のすでに固結した花崗岩に苦鉄質マグマが侵入し一部を融解して局所的にマッシュ状の半溶融体を作り、混交して形成された可能性が高い。

2 回のマグマ活動の間にどの程度広域的な活動停止期があったかどうかについては、U-Pb 年代データの増強とさらなる検討が必要である。近畿地方では 2 回の間隙に相当する 75~90 Ma の花崗岩類が広く分布し、現時点では広域的な活動停止期は確認できない。

謝 辞

産総研地質調査総合センターの宮崎一博地質情報研究部門副部門長には、近畿地方領家帯の野外調査に参加され、現場で議論していただいた。同総合センターの西岡芳晴博士には 5 万分の 1 桜井図幅における苦鉄質岩の産状について情報をいただいた。全岩化学分析について、同総合センターの御子柴真澄博士には蛍光 X 線分析、上岡晃博士には中性子放射化分析に際してご指導いただいた。国立科学博物館の谷健一郎博士と堤之恭博士には SHRIMP 年代算出法の国内誌での記述について有益なご教示を賜った。京都大学の河上哲生准教授には領家花崗岩類のジルコンの U-Pb 年代の意味と領家帯の全体像について議論を賜った。編集委員長の大藤茂氏と編集委員の栗谷豪氏からいただいたご指摘のいくつかは有益であった。以上の方々に心からお礼申し上げます。

引用文献

- Barbarin, B. and Didier, J., 1991, Review of the main hypotheses proposed for the genesis and evolution of mafic microgranular enclaves. In Didier, J. and Barbarin, B., eds., *Enclaves and Granite Petrology*, Elsevier, 367–373.
- Black, L. P., Kamo, S. L., Allen, C. M., Aleinikoff, J. N., Davis, D. W., Korsch, R. J. and Foundoulis, C., 2003a, TEMORA 1: a new zircon standard for Phanerozoic U–Pb geochronology. *Chem. Geol.*, **200**, 155–170.
- Black, L. P., Kamo, S. L., Williams, I. S., Mundil, R., Davis, D. W., Korsch, R. J. and Foundoulis, C., 2003b, The application of SHRIMP to Phanerozoic geochronology; a critical appraisal of four zircon standards. *Chem. Geol.*, **200**, 171–188.
- Falkner, C. M., Miller, C. F., Wooden, J. L. and Heizler, M. T., 1995, Petrogenesis and tectonic significance of the calc-alkaline bimodal Aztec Wash pluton, Eldorado Mountains, Colorado River extensional corridor. *J. Geophys. Res. B: Solid Earth*, **100**, 10453–10476.

- Horie, K., Takehara, M., Suda, Y. and Hidaka, H., 2013, Potential Mesozoic reference zircon from the Unazuki plutonic complex: geochronological and geochemical characterization. *Isl. Arc*, **22**, 292–305.
- Ireland, T. R. and Williams, I. S., 2003, Considerations in zircon geochronology by SIMS. In Hancher, J. M. and Hoskin, P. W. O., eds., *Zircons*, Rev. Mineral. Geochem., **53**, 215–241.
- Kagami, H., Yuhara, M., Tainosho, Y., Owada, M. and Hayama, Y., 1995, Sm-Nd isochron ages of mafic igneous rocks from the Ryoke Belt, Southwest Japan: remains of Jurassic igneous activity in a late Cretaceous granitic terrane. *Geochem. J.*, **29**, 123–135.
- Kamiyama, H., Nakajima, T. and Kamioka, H., 2007, Magmatic stratigraphy of the tilted Tottabetsu Plutonic Complex, Hokkaido, North Japan: Magma chamber dynamics and pluton construction. *J. Geol.*, **115**, 295–314.
- 牧本 博・山田直利・水野清秀・高田 亮・駒澤正夫・須藤定久, 2004, 20 万分の 1 地質図幅「豊橋及び伊良湖岬」産総研地質調査総合センター. [Makimoto, H., Yamada, N., Mizuno, K., Takada, A., Komazawa, M. and Sudo, S., 2004, *Geologic Map of Japan 1: 200,000, Toyohashi and Irigo Misaki*. Geological Survey of Japan, AIST.]
- Nakajima, T., 1996, Cretaceous granitoids in SW Japan and their bearing on the crust-forming process in the eastern Eurasian margin. *Trans. R. Soc. Edinburgh, Earth Sci.*, **87**, 183–191.
- Nakajima, T., Kamiyama, H., Williams, I. S. and Tani, K., 2004, Mafic rocks from the Ryoke Belt, Southwest Japan: implications for Cretaceous Ryoke/San-yo granitic magma genesis. *Trans. R. Soc. Edinburgh, Earth Sci.*, **95**, 249–263.
- Nakajima, T. and Orihashi, Y., 2009, Geochronology and tectonics of the Ryoke plutono-metamorphic belt. *116th Annu. Meet., Geol. Soc. Japan, Abstr.* 22.
- Nakajima, T., Takahashi, M., Imaoka, T. and Shimura, T., 2016, Granitic rocks. In Moreno, T., Wallis, S. R., Kojima, S. and Gibbons, W., eds., *The Geology of Japan*, The Geological Society, London, 251–272.
- 中島 隆, 2018, 日本の花崗岩: 2017 年における総括. 地質雑, **124**, 603–625. [Nakajima, T., 2018, Granite of Japan: A review at 2017. *J. Geol. Soc. Japan*, **124**, 603–625.]
- 西岡芳晴・尾崎正紀・寒川 旭・山元孝広・宮地良典, 2001, 桜井地域の地質. 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 141p. [Nishioka, Y., Ozaki, M., Sangawa, A., Yamamoto, T. and Miyachi, S., 2001, *Geology of the Sakurai District with Geological Sheet Map at 1: 50,000*, Geol. Surv. Japan, 141p.]
- 西脇 仁・奥平敬元, 2005, 近畿中央部, 飛鳥地域の領家変成帯に産する細粒鉄質岩の形成過程. 地質雑, **111**, 141–155. [Nishiwaki, H. and Okudaira, T., 2005, Formation process of the fine-grained mafic rocks of the Ryoke metamorphic belt in the central Kinki district, SW Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, **111**, 141–155.]
- Okano, O., Sato, T. and Kagami, H., 2000, Rb-Sr and Sm-Nd isotopic studies of mafic igneous rocks from the Ryoke plutono-metamorphic belt in the Setouchi area, Southwest Japan: implications for the genesis and thermal history. *Isl. Arc*, **9**, 21–36.
- Pitcher, W. S., 1991, Synplutonic dykes and mafic enclaves. In Didier, J. and Brabarin, B. eds., *Enclaves and Granite Petrology*, Elsevier, 383–392.
- Sato, D., Matsuura, H. and Yamamoto, T., 2016, Timing of the Late Cretaceous ignimbrite flare-up at the eastern margin of the Eurasian Plate: New zircon U-Pb ages from the Aioi-Arima-Koto region of SW Japan. *J. Volcanol. Geothrem. Res.*, **310**, 89–97.
- Skrzypek, E., Kawakami, T., Hirajima, T., Sakata, S., Hirata, T. and Ikeda, T., 2016, Revisiting the high temperature metamorphic field gradient of the Ryoke belt (SW Japan): new constraints from the Iwakuni-Yanai area. *Lithos*, **260**, 9–27.
- Skrzypek, E., Kato, T., Kawakami, T., Sakata, S., Hattori, K., Hirata, T. and Ikeda, T., 2018, Monazite behavior and time-scale of metamorphic processes along a low-pressure/high-temperature field gradient (Ryoke belt, SW Japan). *J. Petrol.*, **59**, 1109–1144.
- Snyder, D., Crambes, C., Tait, S. and Wiebe, R. A., 1997, Magma mingling in dikes and sills. *J. Geol.*, **105**, 75–86.
- Stacey, J. S. and Kramers, J. D., 1975, Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **26**, 207–221.
- Steiger, R. H. and Jäger, E., 1977, Subcommission on geochronology: convention on the decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**, 359–362.
- Suzuki, K. and Adachi, M., 1998, Denudation history of the high T/P Ryoke metamorphic belt, southwest Japan: constraints from CHIME monazite ages of gneisses and granitoids. *J. Metamorph. Geol.*, **16**, 23–37.
- 高橋正樹・石渡 明, 2012, 火成作用. フィールドジオロジー 8, 共立出版, 202p. [Takahashi, M. and Ishiwatari, A., 2012, *Migmatism*. Field Geology Series 8, Kyoritsu Shuppan, Co. Ltd., 202p.]
- Takatsuka, K., Kawakami, T., Skrzypek, E., Sakata, S., Obayashi, H. and Hirata, T., 2018, Spatiotemporal evolution of magmatic pulses and regional metamorphism during a Cretaceous flare-up event: Constraints from the Ryoke belt (Mikawa area, central Japan). *Lithos*, **308–309**, 428–445.
- Wiebe, R. A., 1973, Relations between coexisting basaltic and granitic magmas in a composite dike. *Am. J. Sci.*, **273**, 130–151.
- Wiebe, R. A., 1991, Commingling of contrasted magmas and generation of mafic enclaves in granitic rocks. In Didier, J. and Brabarin, B., eds., *Enclaves and Granite Petrology*, Elsevier, 393–402.
- Wiebe, R. A. and Collins, W. J., 1998, Depositional features and stratigraphic sections in granitic plutons: implications for the emplacement and crystallization of granitic magma. *J. Struct. Geol.*, **20**, 1273–1289.
- Wiebe, R. A., Manon, M. R., Hawkins, D. P. and McDonough, W. F., 2004, Late stage mafic injection and thermal rejuvenation of the Vinalhaven Granite, Coastal Maine. *J. Petrol.*, **45**, 2133–2153.
- Williams, I. S., 1998, U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. In McKibben, M. A., Shanks III, W. C. and Ridley, W. I., eds., *Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes*, Rev. Econ. Geol., **7**, Soc. Econ. Geol., Littleton, 1–35.
- Williams, I. S., Buick, I. S. and Cartwright, I., 1996, An extended episode of early Mesoproterozoic metamorphic fluid flow in the Reynolds Range, central Australia. *J. Metamorph. Geol.*, **14**, 29–47.
- 山田直利・片田正人・端山好和・山田哲雄・仲井 豊・香掛俊夫……宮川邦彦, 1974, 中部地方領家帯地質図, 地質調査所. [Yamada, N., Katada, M., Hayama, Y., Yamada, T., Nakai, Y., Kutsukake, T., ..., Miyagawa, K., 1974, *Geological Map of the Ryoke Belt, Central Japan*. Geological Survey of Japan.]
- Yokoyama, K., Shigeoka, M., Otomo, Y., Tokuno, K. and Tsutsumi, Y., 2016, Uraninite and thorite ages of around 400 Ma granitoids in the Japanese Islands. *Mem. Natl. Mus. Nat. Sci.*, **51**, 1–24.
- 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, **30**, 140–145. [Yoshikura, S. and Atsuta, S., 2000, Magma mingling and mixing recorded in granitic plutons., *Chikyu Mon. Extra ed.*, **30**, 140–145.]
- Yuguchi, T., Iwano, H., Kato, T., Sakata, S., Hattori, K., Hirata, T., ..., Nishiyama, T., 2016, Zircon growth in a granitic pluton with specific mechanisms, crystallization temperatures and

U–Pb ages: Implication to the 'spatiotemporal' formation process of the Toki granite, central Japan. *J. Mineral. Petrol. Sci.*, **111**, 9–34.

(著者の貢献)

中島 隆 全体構想, 野外調査, 化学分析, SHRIMP による年代測定, 議論, 論文執筆および編集委員会対応

神山裕幸 野外調査, 議論, 論文執筆

I. S. Williams SHRIMP による年代測定, 議論

(要 旨)

中島 隆・神山裕幸・Ian S. Williams, 2021, 領家花崗岩類に伴う同時性岩脈の形成過程 : マグマだまりプロセスに関する問題への年代学からのアプローチ. 地質雑, **127**, 69–78. (Nakajima, T., Kamiyama, H. and Ian S. Williams., 2021, Formation of syn-plutonic dike in the Cretaceous Ryoke granitic rocks, SW Japan : A geochronological approach to magma chamber process. *J. Geol. Soc. Japan*, **127**, 69–78.)

同時性岩脈は, 半溶融状態の珪長質マグマと苦鉄質マグマが出会って物理的に混交した結果できたと考えられている. 中部地方と近畿地方の領家花崗岩類に伴う同時性岩脈の珪長質岩と苦鉄質岩のジルコン U–Pb 年代測定を行い, 珪長質岩が 90~94 Ma, 苦鉄質岩が 70~75 Ma の結果を得た. 単一結晶粒中, 部分的に溶蝕・再成長した内部構造が CL 像で観察されるジルコンの溶蝕再成長部が約 70 Ma. それ以外の部分が約 90 Ma を示す珪長質岩も見つかった. この岩脈の貫入母岩は 90~94 Ma の古期領家花崗岩であり, 近傍の同時性岩脈の苦鉄質岩から約 70 Ma の U–Pb 年代が得られていることから, この同時性岩脈は当時すでに固結していた 90~94 Ma の領家花崗岩類に約 70 Ma 頃苦鉄質マグマが侵入してその一部を融解し, 局所的にマッシュ状の部分溶融帯を作ったことで苦鉄質マグマと混交して同時性岩脈を形成したと考えられる.

科学論文では, 学説の検証可能性を保証することが重要です. そのため, 地質学雑誌掲載論文には, 重要な証拠となった試料がどこで得られたかを示しているものがあります. 言うまでもないことですが, 見学や採取を行う場合, 各自の責任において地権者や関係官庁への連絡と許可の取得の必要があることにご注意下さい. 詳しくは, 以下のサイトをご覧ください.

<http://www.geosociety.jp/publication/content0073.html>

一般社団法人日本地質学会