

原著論文

## 田上山の花崗岩類に含まれるジルコンの結晶形態

内藤美桜<sup>1</sup>・中西卓巳<sup>2</sup>・能美洋介<sup>3</sup>

Zircon crystal morphology from granitic rocks of Mt. Tanakami

Mio NAITO<sup>1</sup>, Takumi NAKANISHI<sup>2</sup>, and Yousuke NOUMI<sup>3</sup>

**Abstract:** Zircon is generally contained in acidic rocks such as granites. Its crystal form changes by the environment of magma responsible for the crystallization. By descriptions of zircon crystal forms and using models provided by preceding studies, we examined forming processes of granitic rocks from Mt. Tanakami located south of the Lake Biwa, Shiga Pref. Zircon crystal forms were distinguishable between Shigaraki granite and Tanakami granite. This led to the inference of the intruding relation between them.

### I. はじめに

日本列島の基盤地質は主に花崗岩質の深成岩類と付加体で構成されている。このうち、西南日本に出現する花崗岩類は、中央構造線を境に内帯と外帯のものがあり、内帯の花崗岩類は年代などによりさらに山陰帯、山陽帯、領家帯に区分される。花崗岩などの酸性火成岩は、普遍的にジルコンを含み、ジルコンの結晶形は結晶を晶出させたマグマの環境によるとするモデルが提唱されている(Pupin 1980)。内帯の花崗岩類に含まれるジルコンの結晶形態については瀬戸内海島嶼部(能美ほか 2013など)での報告があるが、いずれも中・四国地方の花崗岩類のものである。日本列島の基盤構造は東西に帯状に延びていることから、中・四国地方以外の場所のジルコンの記載は日本列島の形成過程を明らかにするうえで重要である。

本稿では、領家帯の東方延長に位置する滋賀県琵琶湖南部の田上山とその周辺地域に見られる花崗岩類を対象とした。この地に分布する花崗岩類は領家帯と山陽帯のものがそれぞれ出現する。本研究では、ジルコン結晶形態記載法と化学分析を用いて、田上山周辺地域に分布する花崗岩類の形成過程について検討を行った。

### II. 研究地域概要

研究対象地域とした田上山は滋賀県の琵琶湖南部に位置しており、白亜紀の花崗岩類が広く分布している。周琵琶湖花崗岩団体研究グループ(1982)は、

この花崗岩類を観音寺花崗閃緑岩、信楽花崗岩、田上山花崗岩に区分した。これらの花崗岩類はジュラ紀の丹波帯の付加コンプレックスに貫入している。

観音寺花崗閃緑岩は、田上山の北部に弧状に分布する。信楽花崗岩は田上山の南部に分布しており、角閃石黒雲母花崗岩が主体であるが、田上山花崗岩との境界に近い部分では黒雲母花崗岩となっている。田上山花崗岩は東西約20km、南北約6～8 kmに分布する岩体であり、等粒状組織を持つ細粒から粗粒の黒雲母花崗岩であるが、粒度や組織は場所によって違いが見られる。新名神高速道路の建設に伴い、大津市桐生町付近で石英閃緑岩の巨石が産出されたが、地表での露頭は見出されていない(石原・村上 2006)。田上山花崗岩には細粒暗色包有岩(MME)が多い部分もあり、黒雲母花崗岩質マグマの早期晶出による産物として考えられている(中野ほか 2013)。

信楽花崗岩、観音寺花崗閃緑岩には弱いフォリュエーションが見られることから、これらは新期領家帯に対比された(周琵琶湖花崗岩団体研究グループ 1982, 2000)。田上山花崗岩は山陽帯に属し(Ishihara 1971)、観音寺花崗閃緑岩と信楽花崗岩に貫入している。また、周琵琶湖花崗岩団体研究グループ(2000)や中野ほか(2003)、脇田ほか(2013)では田上山花崗岩の岩相を粒径や組織により細区分したが、その定義が文献によって異なるため本研究では一括にして田上山花崗岩として扱う。

以上の花崗岩類の放射年代として、沢田・板谷(1993)は観音寺花崗閃緑岩は、 $66.6 \pm 3.4$  Maと

<sup>1</sup>. 〒700-0005 岡山県岡山市北区理大町1-1 岡山理科大学大学院生物地球科学研究科生物地球科学専攻 Graduate school of Biosphere-Geosphere Science, Okayama University of Science, 1-1 Ridai-cho, kita-ku, Okayama-shi, Okayama-ken 700-0005, Japan.

<sup>2</sup>. 〒700-0005 岡山県岡山市北区理大町1-1 元：岡山理科大学総合情報学部生物地球システム学科 Former: Department of Biosphere-Geosphere System, Faculty of Informatics, Okayama University of Science, 1-1 Ridai-cho, kita-ku, Okayama-shi, Okayama-ken 700-0005, Japan.

<sup>3</sup>. 〒700-0005 岡山県岡山市北区理大町1-1 岡山理科大学生物地球学部生物地球学科 Department of Biosphere-Geosphere, Faculty of Biosphere-Geosphere, Okayama University of Science, 1-1 Ridai-cho, kita-ku, Okayama-shi, Okayama-ken 700-0005, Japan.

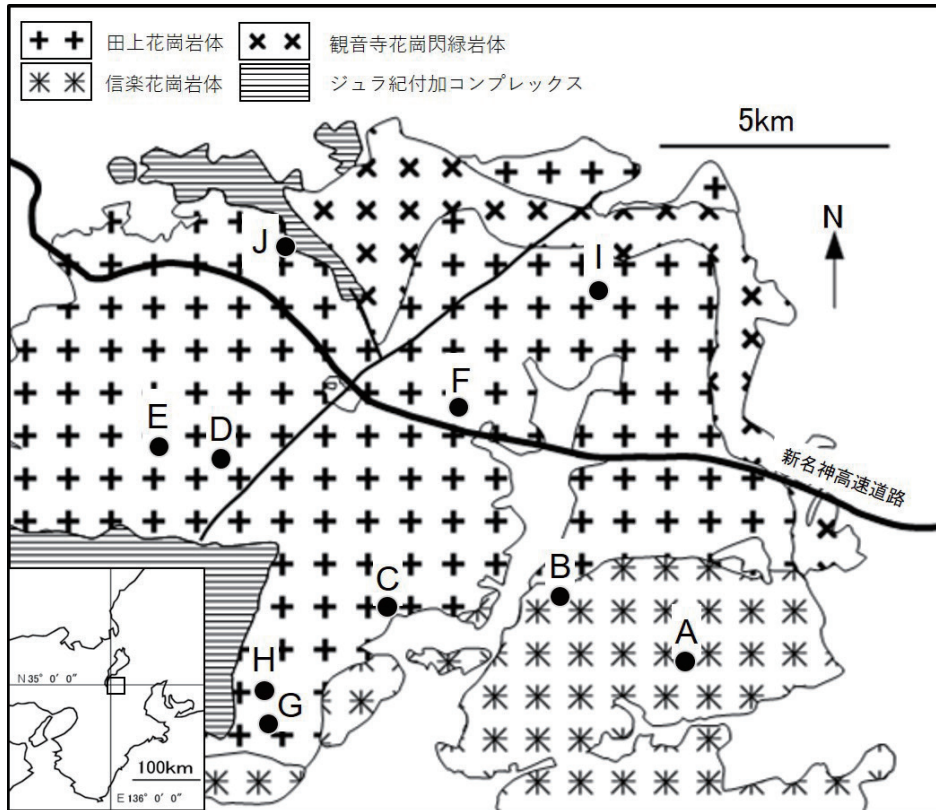


図1. 田上山の花崗岩類の分布図と採集地点. A～Jは採集地点を示す. 地質図は周琵琶湖花崗岩研究団体グループ(1982, 2000)を参考にして作成した.

66.9±3.5Ma, 信楽花崗岩は, 68～72MaのK-Ar年代を報告した. 田上山花崗岩については, 70Ma前後のKr-Ar年代(沢田・板谷 1993, 松本ほか 2012)と70～82MaのRb-Sr年代(早瀬・石坂 1967)が得られている.

### III. ジルコンの結晶形態記載法

Pupin(1980)は, ジルコンの結晶形態を柱面と錐面の出現割合によって64通りに分類し, ジルコンの結晶を晶出させるマグマの温度と化学組成によってジルコンの結晶形態は変化すると考え, 横軸の錐面{101}と{201}の出現割合は化学成分, 縦軸の柱面{100}と{110}の出現割合は温度に関係しているとするモデルを発表した.

林(1990)はジルコンの結晶形態を定量的に記載する方法として, 0～1の間の数値で表すことができる4つの指数(柱面指数 Prism index, 錐面指数 Pyramid index, 伸長指数 Elongation index, 扁平指数 Flatness index)を考案した. また, 能美ほか(1997)はPupin(1980)の分類図が林(1990)の4つの指数のうち, 錐面指数(Pyramid index)と柱面指数(Prism index)を用いたPY-PR図と対比できることを示した. これにより, 花崗岩類に含まれるジルコンの結晶形態を林の方法で数値記載し, Pupinのモデルをもとに, マグマの冷却過程を考察することが可能になった.

### IV. 研究方法

本研究では, ジルコンの結晶形態の記載に加え, 薄片観察, 全岩化学分析を行った. 以下に, ジルコンの結晶形態の記載と全岩化学分析の方法を示す. また, 岩石試料の採集地点を図1に示す.

#### 1. ジルコンの結晶形態の記載

ジルコンの結晶形態の記載は, 池田・能美(2017)にしたがった. 抽出されたジルコンの粒子のうち, 無作為に両錐面ができるものを選び写真撮影をした. そして, 撮影したジルコンの結晶の画像を用いて, 林(1990)の記載法を適用したプログラムを使用して錐面指数(PY)と柱面指数(PR)算出し, PY-PR図を作成した.

#### 2. 全岩化学分析

採集した花崗岩試料(信楽花崗岩1地点, 田上山花崗岩2地点)について蛍光X線分析による全岩化学分析を行い, 主要元素の組成割合を求めた. タングステン乳鉢を使用して試料を粉末状にし, その後, メノウ乳鉢を使用して粉末状の試料を均一化した. そして, 直径約1cmのペレットを20～30kgの圧力を加えて測定用のペレットを作成した. 試料分析は蛍光X線分析計SEA5120A(日立ハイテクサイエンス社製)を使用した. 測定条件はX線照射径2.5mm,



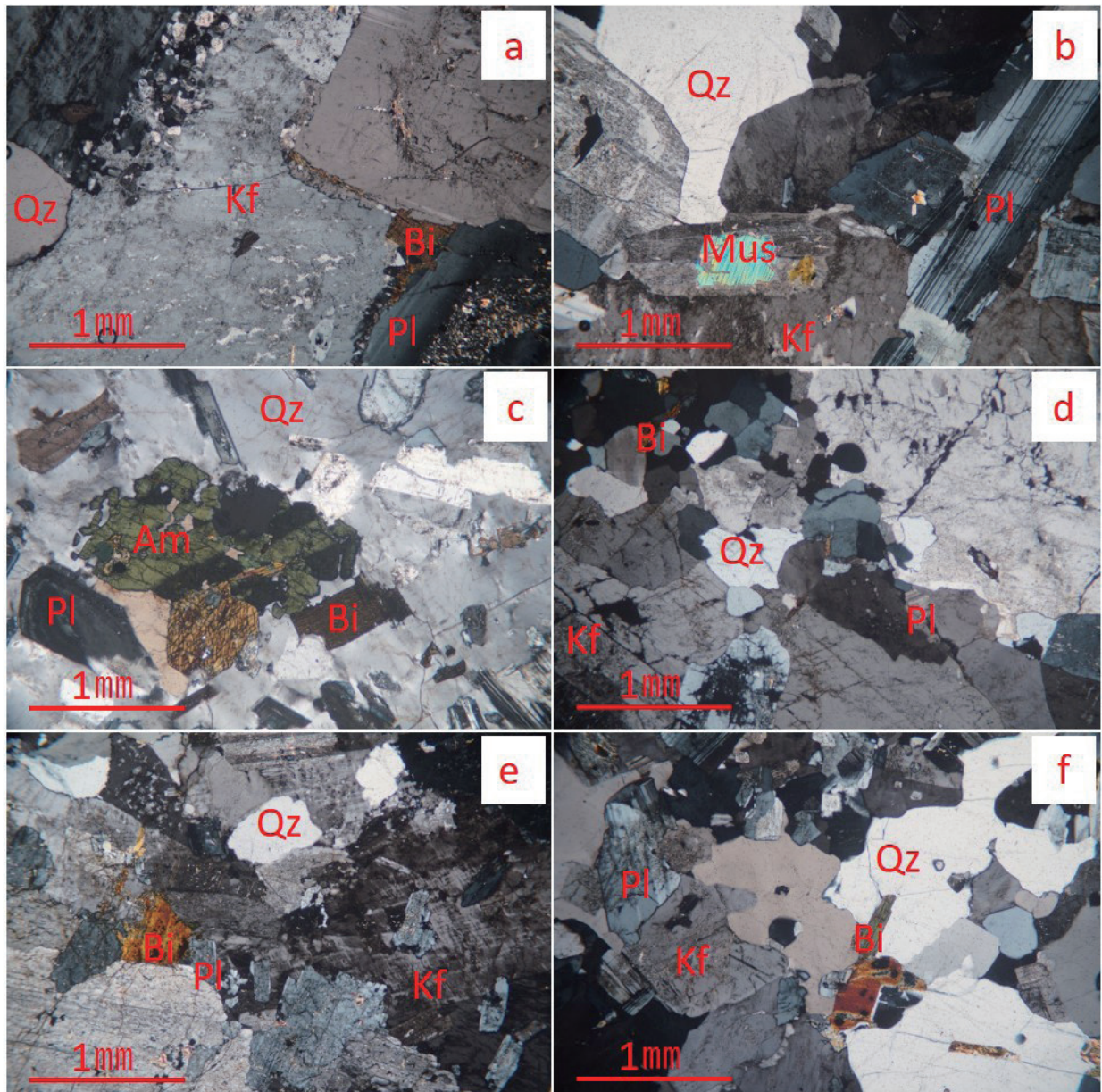


図2. 各地点の薄片写真(クロスニコル). a: A地点, b: D地点, c: F地点, d: H地点, e: I地点, f: J地点. Qz: 石英, Pl: 斜長石, Kf: カリ長石, Bi: 黒雲母, Am: 角閃石, Mus: 白雲母.

電流50～200mA, 電圧50kV/15kV, 測定時間300秒とし, 測定室は真空状態にして計測した. 標準試料は, JG-1a, JA-1, JB-1a(産業技術総合研究所地質調査総合)を用い, 検量線を作成し主要元素の重量比を求めた.

## V. 結果

### 1. 薄片観察

採集された岩石試料のうち, 肉眼的に未風化のもの7点について記載を行った.

#### (1) A地点: 信楽花崗岩(図2a)

主要構成鉱物は石英, カリ石, 斜長石, 黒雲母である. 粗粒の等粒状組織をもつ. 斜長石, カリ長石は変質し絹雲母化が見られる部分がある.

#### (2) D地点: 田上花崗岩(図2b)

主要構成鉱物は石英, カリ長石, 斜長石, 黒雲母である. 粗粒の等粒状組織をもつ. 風化による変質が激しく, 一部の黒雲母は緑泥石化しており, 一部の斜長石は白雲母化, 絹雲母化している. 近隣のE地点も同様な組織をもつ.

#### (3) F地点: 田上花崗岩(図2c)

主要構成鉱物は石英, カリ長石, 斜長石, 黒雲母, 角閃石である. 石英は主に斜長石, 角閃石, 黒雲母を包有する.

#### (4) H地点: 田上花崗岩(図2d)

主要構成鉱物は石英, カリ長石, 斜長石, 黒雲母である. 鉱物粒径は中-粗粒であり, 石英プールやクロットが見られる.

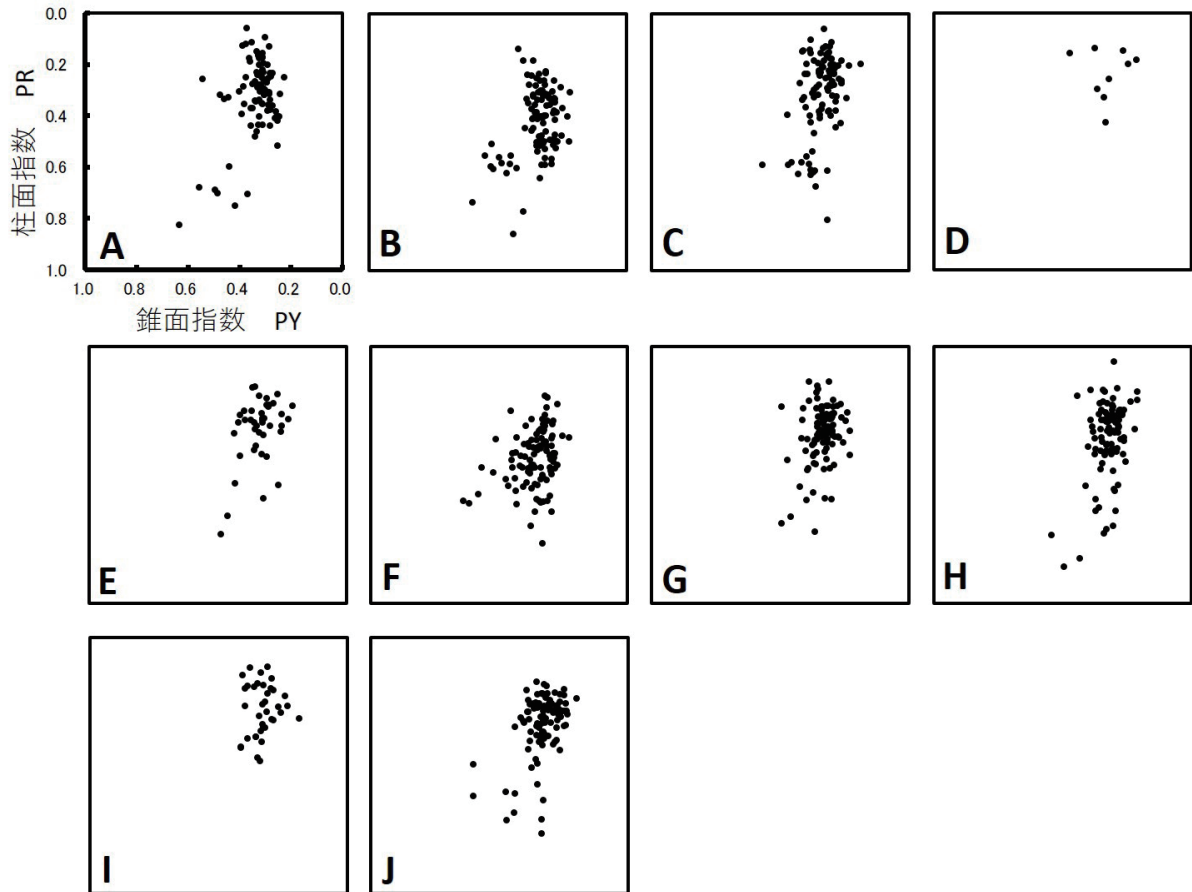


図3．A～J地点のジルコン結晶形態記載結果(PY-PR図)．A・B地点は信楽花崗岩，C～J地点は田上花崗岩．

(5) I地点：田上花崗岩(図2e)

主要構成鉱物は石英，カリ長石，斜長石，黒雲母である．鉱物粒径中-粗粒である．

(6) J地点：田上花崗岩(図2f)

主要構成鉱物は石英，カリ長石，斜長石，黒雲母である．鉱物粒径は細-中粒である．

## 2. ジルコンの結晶形態記載

採集した岩石試料10地点のジルコンの結晶形態記載結果を図3に示す．D，E，I地点はジルコンの粒子の出現が少なく，結晶形を記載できた粒子は100個に満たなかった．

(1) 信楽花崗岩

試料A地点とB地点が信楽花崗岩から採集された．両地点とも，PYは0.2～0.7，PRは0.0～0.9の範囲内でカーブを描くような特徴のある分布が見られる．

(2) 田上花崗岩

田上花崗岩は岩石採集した地点によって異なる傾向が見られた．

試料C，G，H地点は信楽花崗岩に近い場所から採集された．PYが0.2～0.6，PRが0.1～0.9の範囲に分布する．試料D，E，F，I地点は田上花崗岩の分布域の中央付近で採集された．D，E，I地点はPYが0.2

～0.6，PRが0.1～0.8の範囲に分布するが，PY，PRとも0.2～0.4の範囲に分布が集中する．F地点はPYが0.2～0.7，PRが0.2～0.8の範囲に分布し，PYが0.2～0.5，PRが0.3～0.6の範囲に分布が集中する．J地点は母岩のジュラ紀付加コンプレックスに近いJ地点の結果を見ると，PYが0.1～0.5，PRが0.1～0.5の範囲に分布した．

## 3. 全岩化学組成

比較的新鮮な岩石A，F，Jの試料について，全岩化学分析の結果を表1に示し，それに基づいて作成したハーカー図を図4に示す．比較のため，中野ほか(2003)で報告された測定値の一部と石原・村上(2006)の田上花崗岩中から採集された石英閃緑岩(TNK50)の測定値を使用した．本研究で測定した信楽花崗岩A地点と田上花崗岩J地点の測定値はこれまで報告されてきた各岩体の測定値周辺にプロットされるが，田上花崗岩F地点の測定値は観音寺花崗閃緑岩の既存の測定値周辺にプロットされた．



表 1. 全岩化学分析結果. A, F, Jは本研究の分析結果. 1～13は石原・村上(2006)および中野ほか(2003)による.

wt%	A	F	J	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO <sub>2</sub>	71.80	68.08	74.59	66.54	70.3	69.92	70.06	72.96	74.44	73.68	73.91	74.16	77.74	73.43	74.88	57.62
TiO <sub>2</sub>	0.08	0.37	0.01	0.63	0.42	0.41	0.28	0.19	0.08	0.06	0.13	0.1	0.03	0.16	0.11	0.81
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.21	16.00	14.57	16.39	14.75	14.16	15.68	14.41	13.87	14.56	13.96	13.1	12.31	13.44	13.65	14.26
FeO*	2.10	4.59	0.99	4.41	3.15	3.22	2.56	1.77	0.37	0.49	1.56	1.24	0.69	2.22	1.50	15.42
MnO	0.07	0.08	0.01	0.07	0.07	0.12	0.05	0.04	0.05	nd	0.02	0.05	0.02	0.05	0.05	0.43
MgO	0.07	0.58	0.07	1.72	1.22	1.14	0.39	0.25	0.05	0.05	0.11	0.15	0.01	0.24	0.19	1.25
CaO	1.60	3.74	0.43	4.06	3.21	2.71	3.07	2.35	1.42	1.25	1.40	1.34	0.47	1.47	1.29	0.69
Na <sub>2</sub> O	4.47	4.02	3.95	3.59	3.57	2.13	3.51	3.20	2.76	3.36	3.59	3.26	3.45	3.21	3.53	2.69
K <sub>2</sub> O	4.56	2.48	5.34	2.55	2.70	3.65	3.63	4.10	5.67	5.84	4.26	4.58	4.31	4.21	4.43	5.59
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.04	0.06	0.05	0.17	0.11	0.09	0.06	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.05	0.03	0.29
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>						1.03	0.37	0.35	0.36	0.33	0.38	0.22	0.21	0.66		1.41
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>						0.15	0.04	0.03	0.06	0.06	0.10	0.10	0.09	0.17		0.15
total	100	100	100	100.13	99.5	98.73	99.7	99.68	99.15	99.7	99.45	98.32	99.34	99.31	99.66	100.61

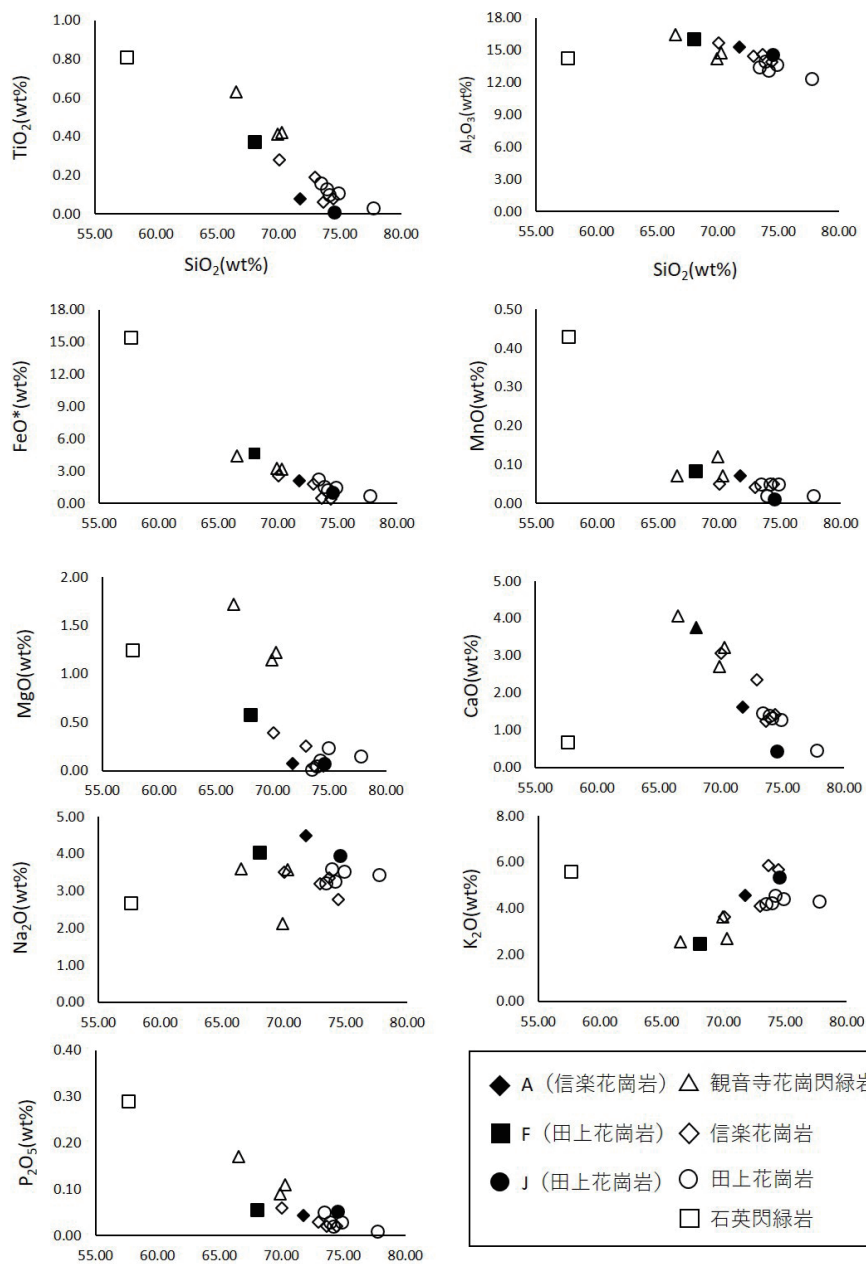


図 4. ハーカー図. 白抜き記号は石原・村上(2006), 石英閃緑岩以外は中野ほか(2003)による.

## VI. 考察

### 1. ジルコンの結晶形態記載

図3の結果では、信楽花崗岩と田上花崗岩のジルコン結晶形態の分布の様子が異なっていることから、形成過程が区別される可能性がある。

すなわち、Pupin(1980)のモデルを適応すれば、PRがPY-PR図の下方ほど高温下で晶出したジルコンであることを示す。信楽花崗岩は、PY-PR図の分布が下方で右に傾斜していることから、ジルコン結晶の晶出初期には、信楽花崗岩のマグマはやや塩基性から酸性に化学成分を変化させながら冷却した。その後、PYが0.2~0.4の範囲に集中することにより、このあたりから化学組成は大きく変化せずにより冷却したことがうかがえる。

田上花崗岩では、岩体の中心部付近と思われる地点では化学成分はほとんど変化せずに冷却したことが考えられるが、信楽花崗岩に近い部分(C, G, H)はPYが0.2~0.6, PRが0.5~0.9の範囲に分布が見られ、その分布形態の共通性から田上花崗岩が信楽花崗岩に貫入する際に信楽花崗岩を取り込んだことが想定される。このことは、周琵琶湖花崗岩体研究グループ(1982)が示す貫入関係と一致する。

### 2. 全岩化学組成

図4によると、田上花崗岩のF地点が観音寺花崗閃緑岩に似た結果となり、これまでの岩相区分とは異なる結果となった。従来の記載(周琵琶湖花崗岩体研究グループ 2000など)では、田上花崗岩は、角閃石を含まない黒雲母花崗岩であるが、薄片の観察結果では、F地点は角閃石を含む花崗岩類であった。また、ジルコンの結晶形態の記載結果では、F地点は信楽・田上花崗岩体の傾向とは異なっており、PYが0.2~0.5, PRが0.3~0.6の範囲に分布が集中することにより、比較的中性な化学組成から冷却したことがうかがえる。この原因としては混合が想定されるが、石原・村上(2006)で報告されたような石英閃緑岩か観音寺花崗閃緑岩とのマグマ混合が考えられるが、この石英閃緑岩には角閃石が含まれていないので、観音寺花崗閃緑岩とのマグマ混合の方が有力であろう。しかしながら、本研究では観音寺花崗閃緑岩については分析していないので、今後、追加検証する必要がある。

## VII. まとめ

ジルコンの結晶形態記載により、信楽花崗岩体と田上花崗岩体は異なる冷却過程を経たことが示された。信楽花崗岩体は結晶分化をして化学組成に変化を起こしながら冷却し、田上花崗岩体は化学成分があまり変化することなく冷却した。また、田上花崗岩のジルコンの結晶形態記載結果には、信楽花崗岩

と同様の傾向をもつものを含んでおり、田上花崗岩が信楽花崗岩に貫入したことが考えられる。

田上花崗岩体の一部の試料には角閃石が含まれること、全岩化学組成が観音寺花崗閃緑岩のものと似ていることなど、局所的に特異な性質をもつ部分も見られる。ジルコンの結晶形態と全岩化学組成の結果を合わせると、これらの場所ではマグマ混合が起こったと考えられる。

## VIII. 謝辞

全岩化学分析では岡山理科大学生物地球学部生物地球学科の白石純教授にお世話になりました。この場を借りて感謝いたします。

## 引用文献

- 早瀬一・石坂恭一(1967). Rb-Srによる地質年令(I), 西南日本. 岩石鉱物鉱床学会誌 58 第6号, 201-212.
- 林 正雄(1990). ジルコン結晶形態と地球科学への応用. 地質学雑誌 96: 117-123.
- 池田咲子・能美洋介(2017). ジルコン結晶形態からみる鹿児島県大隅半島南部の花崗岩体の冷却パターン. *Naturalistae* 21: 59-68.
- Ishihara, S. (1971). Modal and chemical of the granitic rocks related to the major molybdenum and tungsten deposits in the inner zone of south west Japan. *Journal of the geological society of Japan* 77: 441-452.
- 石原舜三・村上浩康(2006). 西南日本花崗岩類のレアアース特性: 足摺岬の新第三紀深成岩類と山陽帯の後期白亜紀花崗岩類. 地質調査研究報告 57 第3/4号: 89-103.
- 松本哲一・中村仁美・廣田明成・星住英夫・高橋浩・中野 俊・中野聰志(2012). 日本列島における年代未詳岩石のK-Ar年代測定-地質図幅作成地域の火山岩・深成岩(平成23年度版)-地質調査研究報告 63 第11/12号: 291-300.
- 中野聰志・川辺孝幸・原山 智・水野清秀・高木哲一・小村良二・木村克己(2003). 水口地域の地質. 地質調査総合センター.
- 中野聰志・大橋義也・石原舜三・河野俊夫(2013). 滋賀県琵琶湖南部・田上花崗岩中の細粒暗色包有岩. 地質調査研究報告 64第1/2号: 25-49.
- 能美洋介・津江智美・小野麻美(2013). 瀬戸内海島しょ部の花こう岩類に含まれるジルコン結晶形の数値記載. 日本地質学会第120年学術大会講演要旨, 298.
- 能美洋介・弘原海 清・升本眞二(1997). ジルコン結晶形態分類図の数値表現. 情報地質 8: 149-155.
- Pupin J.P. (1980). Zircon and Granite Petrology. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 73, 207-220.
- 沢田順弘・板谷徹丸(1993). 琵琶湖南部後期白亜紀環状花崗岩質岩体のK-Ar年代-巨大コールドロンにおける冷却史. 地質学雑誌 99: 975-990.
- 周琵琶湖花崗岩体研究グループ(1982). 琵琶湖周辺の花崗岩質岩体-甲賀地方の花崗岩類-. 地質

学雑誌 88: 289-298.

周琵琶湖花崗岩団体研究グループ(2000). 琵琶湖周辺の花崗岩質岩体-その5. 田上地域の花崗岩類. 地球科学 59: 380-392.

脇田浩二・竹内圭史・水野清秀・小松原 琢・中野聰志・竹村恵二・田口雄作(2013). 京都東南部地域の地質. 独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センター.

## 要旨

ジルコンは花崗岩のような酸性火成岩類には普遍的に含まれており, ジルコンの結晶形態は晶出させたマグマの環境に依存する. ジルコンの結晶形態記載と先行研究のモデルを利用して, 滋賀県琵琶湖南部に位置する田上山の花崗岩類の形成過程を検討した. 新期領家帯の信楽花崗岩と山陽帯の田上花崗岩のジルコンの結晶形態は区別され, 両者の貫入関係についても推定を行った.

(2018年12月29日受理)