北部九州東部に分布する田川変成岩類の変成作用

The metamorphism of the Tagawa metamorphic rocks, eastern North Kyushu

Abstract

柚原雅樹¹ 清浦海里² 日高万莉亜¹
外田智千^{3,4} 早坂康隆⁵

Masaki Yuhara¹, Kairi Kiyoura²,
Maria Hidaka¹, Tomokazu Hokada^{3,4}
and Yasutaka Hayasaka⁵

2020年10月9日受付.

2021年7月1日受理.

¹ 福岡大学理学部地球圏科学科

Department of Earth System Science, Faculty
of Science, Fukuoka University, Fukuoka
814-0180, Japan

² 医療法人和仁会和仁会病院

Wajinkai Hospital, Medical Corporation Wa-
jinkai, Nagasaki 851-0103, Japan

³ 国立極地研究所

National Institute of Polar Research, Tachika-
wa 190-8518, Japan

⁴ 総合研究大学院大学極域科学専攻

Department of Polar Science, The Graduate
University for Advanced Studies (SOKEND-
AI), Tachikawa 190-8518, Japan

⁵ 広島大学大学院理学研究科地球惑星システム専攻

Department of Earth and Planetary Systems
Science, Graduate School of Science, Hiro-
shima University, Higashi-Hiroshima 739-
8526, Japan

Corresponding author; M. Yuhara,
yuhara@fukuoka-u.ac.jp

The Tagawa metamorphic rocks in eastern North Kyushu consist of the Main and Honjo bodies, which are mainly composed of pelitic-psammitic schist and amphibolite. The pelitic-psammitic schist exhibits preferred orientation of biotite, graphite and fibrous sillimanite, and cordierite and garnet include those minerals. This suggests that the Tagawa metamorphic rocks underwent low-P/high-T regional metamorphism at amphibolite facies condition. The metamorphic conditions of the Main and Honjo bodies are estimated to be 530–600°C, 0.3–0.4 GPa, and 600–650°C, 0.2–0.3 GPa, respectively. Andalusite porphyroblasts that include biotite and graphite might have been produced from contact metamorphism by the Ochiai Granodiorite and Masaki Granite. Detrital zircons in pelitic-psammitic schist display two major U-Pb age peaks at 1850 Ma and 250 Ma. These age peaks are similar to those of detrital zircons from the Suo metamorphic complex from the Kurume and Omuta districts, suggesting that the Tagawa metamorphic rocks also belong to the Suo metamorphic complex. This metamorphic complex sustained low-P/high-T regional metamorphism in the interval between the high-P/low-T Suo metamorphism and contact metamorphism by the Cretaceous granitic rocks.

Keywords: Tagawa metamorphic rocks, U-Pb zircon age, northern Kyushu

はじめに

北部九州東部、田川–荻田地域に分布する田川変成岩類(松本, 1951; Fig. 1)は、周防変成岩類に属すると考えられている(Nishimura, 1998). 周防変成岩類は230–160 Maに低温高压型広域変成作用を被った地質体であると考えられており(Nishimura, 1998 など), 北部九州では白亜紀花崗岩類の貫入による接触変成作用を被っている(井上, 1957; 村上・藤本, 1957; 山田, 1972; 佐脇, 1985; Fukuyama et al., 2004; 富田ほか, 2008; 北野・池田, 2012). さらに、平尾地域、大牟田地域、朝倉地域(Fig. 1)においては、接触変成作用の温度圧力条件の解析も行われている(Fukuyama et al., 2004; 富田ほか, 2008; 北野・池田, 2012). 近年、周防変成岩類の一部が、白亜紀中頃の高温型の動的広域変成作用を被った可能性が指摘された(Ikeda et al., 2017; Miyazaki et al., 2017, 2018). 低温高压型広域変成帯である周防変成

帯が花崗岩質マグマの貫入を受けていることは、低温高压型広域変成作用後、高温低压型広域変成作用を被るような地殻中部(～下部)程度の地質環境へ移行したことを示唆するが、花崗岩質マグマによる接触変成作用が強調されるあまり、これまでそのような議論はほとんどなされていなかった。したがって、低温高压型広域変成作用と白亜紀花崗岩質マグマ貫入の間の変成作用の解析は、このような問題に大きく貢献する。

田川変成岩類には、堇青石や定向配列する繊維状珪線石といった高温低压型広域変成作用を示唆する変成鉱物が見出されており(村上・藤本, 1957; 村上, 1994), 低温高压型広域変成作用と白亜紀花崗岩質マグマ貫入の間の変成作用の解析が可能である。しかし、これまで詳細な変成作用の解析は行われていない。そこで福岡県の添田町からみやこ町ならびに築上町にかけて野外調査を行い、田川変成岩類の被った変成作用を解析した。さらに碎屑性ジルコンのU-Pb年代を測

Fig. 1. Distribution of the Suo metamorphic complex and Cretaceous granitic rocks in Kyushu (modified from Kubo et al., 1993, Ishizuka et al., 2009 and Nishiyama, 2010).

定し、原岩の堆積時期を検討した。

地質概説

田川変成岩類分布地域の地質図を Fig. 2 に示す。本地域には、田川変成岩類と白亜紀花崗岩類が分布し(久保ほか, 1993; 柚原ほか, 2019a, b), 白亜紀花崗岩類は石英閃緑岩, 落合花崗閃緑岩, 伊良原花崗閃緑岩, 真崎花崗岩および油須原花崗岩に区分される(唐木田, 1985; 柚原ほか, 2019a, b)。さらに、始新世の堆積岩類からなる直方層群, 中新世後期～鮮新世初期の火山岩類ならびに火山砕屑岩類からなる北坂本累層, 沖積層がこれらを不整合に覆う(久保ほか, 1993)。

田川変成岩類は東西約 6 km, 南北 3 km の岩体として真崎花崗岩と落合花崗閃緑岩ならびに伊良原花崗閃緑岩に挟まれて分布するほか, その北東部にも小岩体として分布する (Fig. 2)。本論文では前者を主岩体, 後者を本庄岩体と呼称する。主に泥質片岩および泥質片岩と砂質片岩の互層(砂-泥質片岩と呼称する)からなり, 苦鉄質片岩ならびに角閃岩を挟む。片理は主岩体では北東-南西走向が卓越し, 本庄岩体では東北東-西南西走向が卓越する。片理の傾斜は主岩体では低角から高角まで変化に富むが, 本庄岩体では高角である (Fig. 3)。泥質片岩および砂-泥質片岩にはしばしば露頭～標本規模の褶曲構造が認められる。田川変成岩類中には真崎

花崗岩, 油須原花崗岩が貫入する。

白亜紀花崗岩類のうち, 落合花崗閃緑岩からは 107.4 ± 0.8 Ma, 伊良原花崗閃緑岩からは 103.1 ± 0.7 Ma, 真崎花崗岩からは 103.7 ± 0.8 Ma の U-Pb ジルコン年代が報告されている(柚原ほか, 2019a, b)。さらに, 伊良原花崗閃緑岩からは, 97.0 ± 0.9 Ma と 98.1 ± 0.8 Ma の Rb-Sr 全岩-黒雲母アイソクロン年代が報告されている(柚原ほか, 2013)。

田川変成岩類の岩石記載

泥質片岩は, 多くの場合, 片理に平行な石英脈が発達する。しばしば波長 6~60 cm の緩い褶曲構造 (Fig. 4a, b) や, 軸面が周囲の片理と斜交する閉じた非対称褶曲や平行な等斜褶曲からなる層内褶曲が認められる (Fig. 4c, d, e)。この褶曲軸に平行な片理が形成されている場合もある。石英脈が膨縮構造～ブーダン化している場合がある (Fig. 4d, e)。非対称な形態の層内褶曲を伴うブーダンも認められる (Fig. 4e)。砂-泥質片岩は, 厚さ 1 mm~20 cm の泥質片岩と厚さ 1 mm~10 cm の砂質片岩の互層である (Fig. 4f)。片理は両者の境界と調和的である。砂-泥質片岩中の砂質片岩層も, 膨縮構造～ブーダン化している場合がある。砂-泥質片岩においても泥質片岩と同様な褶曲構造が認められ, 褶曲軸に平行な片理が形成されている場合もある。以上のことから, 初

Fig. 2. Geological map of the Tagawa metamorphic rocks. See Fig. 1 for location of the map area.

Fig. 3. Equal-area lower hemisphere projections of pole to foliation of the Tagawa metamorphic rocks.

生的な堆積構造である層理面(S0), 石英脈と平行で非対称な層内褶曲を形成したS1片理面, その軸面片理として形成され, 主要な片理面として全域に発達しているS2片理面の

認定が可能である。さらに, S2片理は緩い褶曲を形成している。苦鉄質変成岩は, 泥質片岩および砂-泥質片岩中に厚さ1~250 mのレンズとして挟まれる(Fig. 2)。苦鉄質変成岩は, 片理が発達し, 主に青緑色~緑褐色普通角閃石, 褐色黒雲母, アクチノ閃石, 石英, 斜長石からなる苦鉄質片岩と, 片理が弱く, 主に褐色~青緑色普通角閃石, 褐色黒雲母, 斜長石, 石英からなる角閃岩に区分できる。苦鉄質変成岩の片理は周囲の泥質片岩および砂-泥質片岩の片理と調和的である。

泥質片岩および砂-泥質片岩の泥質層は黒雲母, 白雲母, カリ長石, 斜長石, 石英, グラファイト, 電気石を普遍的に含み, さらに紅柱石, 珪線石, ざくろ石, 堇青石が含まれる(Fig. 5)。副成分鉱物として不透明鉱物, 燐灰石, 電気石, ジルコンが伴われる。黒雲母は褐色, 自形~半自形で, グラファイトとともに定向配列しS1およびS2片理を形成する。黒雲母が形成するS1片理が非対称に層内褶曲し, その褶曲軸面に沿って黒雲母の定向配列(S2片理)が認められる場合がある。黒雲母の長径は, 本庄岩体の方が大きい傾向にある。白雲母は一部の岩石を除き, ほぼ普遍的に含まれる(Fig. 5)。白雲母には粗粒, 自形~半自形で, S2片理を切ってランダムな方向に向き, 定向配列しS2を形成する黒雲母やグラファイトを包有するもの(Fig. 6a, b)と, 細粒, 他形で, 紅柱石の外側に集合体を形成しているもの(Fig. 6b, c)があ

Fig. 4. Field occurrence of the Tagawa metamorphic rocks: a) gentle fold of pelitic schist intruded by the Yusubaru Granite; b) gentle fold of pelitic schist; c) isoclinal intrafolial fold of pelitic schist; d) inclined intrafolial fold of pelitic schist; e) asymmetric intrafolial fold (folded boudin) of pelitic schist; f) psammitic-pelitic schist.

る。本論文では、前者を白雲母 I、後者を白雲母 II と呼称する。白雲母 I は、褶曲した黒雲母やグラファイトの配列を切るが、S2 片理を形成する黒雲母と平行な場合もある。白雲母 I と白雲母 II は全域で出現する (Fig. 7)。紅柱石は斑状変晶として産し、無色～淡桃色を呈する。S2 片理を切り、定向配列し S2 を形成する黒雲母やグラファイト、白雲母、石英、繊維状珪線石を包有する (Fig. 6b–h, j, k)。さらに、多くの場合、白雲母 II に取り囲まれており (Fig. 6b, c)、白雲母 I を包有する場合もある。紅柱石はほぼ全域で出現する (Fig. 5)。堇青石は斑状変晶として産し、定向配列し S2 を形成する黒雲母やグラファイトのほか石英を包有する (Fig. 6d, h, i, l)。繊維状珪線石を包有する場合もある。堇青石の多くはピナイト化しており、しばしば細粒白雲母の集合体 (白雲母 II) に取り囲まれている。堇青石はほぼ全域で出現するが、ざくろ石と共存する (Fig. 6h, i, l) のは主岩体の北部と本庄岩体に限られる (Fig. 5)。珪線石は繊維状珪線石で、黒雲母とともに定向配列し S2 を形成しており、堇青石、石英、カリ長石に包有される (Fig. 6a, f, g, j)。珪線石の出現は極めてまれであり、その量も少なく、わずかに残存しているにすぎない。ざくろ石は斑状変晶として産し、定向配列し S2 を形成する黒雲母やグラファイトを包有する (Fig. 6h, i, l)。一部のざくろ石は堇青石と共存している (Fig. 6h, i, l)。また、まれに S2 片理がざくろ石の周辺で湾曲している場合がある (Fig. 6m)。カリ長石は他形で、他鉱物間を充填するが、まれに斑状変晶として存在することもある。

鉱物の化学組成

主岩体北東部に産する泥質片岩 1 試料 (14063005 : Fig.

5) と本庄岩体に産する泥質片岩 1 試料 (15110601b : Fig. 5) 中の構成鉱物の化学組成を、国立極地研究所の EPMA (日本電子製 JEOL JXA-8200) を用いて、照射電流 12 nA、加速電圧 15 kV、ビーム径 2 μm という条件で測定した。代表的な測定結果を Table 1 に示す。

主岩体北東部に産する泥質片岩 (14063005) の鉱物組み合わせは、褐色黒雲母、珪線石、ざくろ石で、電気石も含まれる。黒雲母は、マトリクスに産するものは $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}) = 0.32\text{--}0.38$, $\text{TiO}_2 = 2.5\text{--}4.0$ wt.% で、ざくろ石に包有されるものは $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}) = 0.33\text{--}0.36$, $\text{TiO}_2 = 2.5\text{--}3.4$ wt.% で、産状による系統的な組成差は見いだされない。ざくろ石は, $\text{alm}_{0.68\text{--}0.72}$ $\text{prp}_{0.18\text{--}0.23}$ $\text{sps}_{0.05\text{--}0.08}$ $\text{grs}_{0.02\text{--}0.04}$ で、明瞭な組成累帯構造は示さない。斜長石は, $\text{an}_{0.18\text{--}0.22}$ $\text{ab}_{0.78\text{--}0.82}$ $\text{or}_{0.01}$ で、組成累帯構造は認められない。

本庄岩体の泥質片岩 (15110601b) の鉱物組み合わせは、褐色黒雲母、紅柱石、珪線石、ざくろ石、堇青石で、電気石も含まれる。黒雲母の化学組成は $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}) = 0.35\text{--}0.39$, $\text{TiO}_2 = 2.3\text{--}3.7$ wt.% で、堇青石は $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}) = 0.52\text{--}0.55$ で、産状による系統的な組成差は見いだされない。ざくろ石は, $\text{alm}_{0.67\text{--}0.71}$ $\text{prp}_{0.17\text{--}0.22}$ $\text{sps}_{0.07\text{--}0.09}$ $\text{grs}_{0.02\text{--}0.03}$ で、明瞭な組成累帯構造は示さない。斜長石は, $\text{an}_{0.21\text{--}0.24}$ $\text{ab}_{0.75\text{--}0.78}$ $\text{or}_{0.01}$ で、組成累帯構造は認められない。

ジルコン U–Pb 年代

主岩体の砂–泥質片岩 1 試料 (14060710 : Fig. 2) からジルコンを分離し、広島大学理学研究科地球惑星システム学専攻設置のイオン誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS : アジレント・テクノロジー社製 Agilent 7500) と Nd-YAG

Fig. 5. Distribution of pelitic mineral assemblages. Mineral abbreviations are after Whitney and Evans (2010): And (andalusite), Bt (biotite), Crd (cordierite), Gr (graphite), Grt (garnet), Kfs (K-feldspar), Mus (muscovite), Opq (opaque minerals), Pl (plagioclase), Qtz (quartz), Sil (sillimanite), Tur (tourmaline).

レーザーシステム(New Wave Research 社製 UP-213)を連結したレーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析計(LA-ICP-MS)を用いて、U-Pb 同位体比測定を行った。測定ならびにデータ解析方法は、勝部ほか(2012)に従った。

ジルコンは無～淡黄褐色を呈し、黒雲母、白雲母、石英に包有される。累帯構造も認められる。

ジルコンは、約 40 g の試料から分離した。まず、ステンレスボウルと時計皿を用いた水簸によって重鉱物を濃集させ、ネオジム磁石を用いて磁性鉱物を取り除き、ジルコンが 7～8 割程度を含む粉末を得た。この粉末全量を両面テープ上に落として広げ、エポキシ樹脂とスライドガラスを順に被せ、固結後両面テープを剥ぎ、樹脂上に固定した。そのうち測定可能なサイズのジルコン粒子の全てが 30 μm 以上の幅で表面に出るまで #3000 のカーボラダムで研磨し、さらに #6000 のカーボラダムと 1 μm ダイヤモンドペーストで鏡面研磨して測定試料とした。この研磨薄片中にみられるジルコン粒子のおよそ 8 割が無色透明で短柱状の自形～半自形を呈するが、2 割は淡黄褐色で、角が丸みを帯びた半自形～楕円形を呈する。ジルコンは 500 粒以上も存在しており、その一部を測定する際に恣意的な選択を避けるため、カソードルミネッセンス像の観察は行わず、研磨薄片の中央部付近を顕微鏡で撮影し、画面中のジルコン粒子を端から順に

80 粒子測定した。

U-Pb 同位体分析結果を Appendix に、Isoplot(Ludwig, 2003)を用いて作図した Tera-Wasserburg コンコーディア図と相対確率分布図およびヒストグラムを Fig. 8 と Fig. 9 に示す。不一致度(discordancy)が 10% を超えるものは不一致年代として除外した(Appendix)。250 Ma と 1850 Ma に比較的大きな年代ピークと、350 Ma, 420 Ma, 500 Ma, 950 Ma, 2000 Ma, 2200 Ma, 2450 Ma にピークが認められる。最も若い年代は 226.3 ± 9.1 Ma で、最も若い年代ピークは 235 Ma である。

考 察

1. 変成反応

泥質片岩および砂-泥質片岩の泥質層では、黒雲母とグラファイトが定向配列しており、繊維状珪線石も同様に配列している。さらに、片理は非対称に層内褶曲し、その褶曲軸面に沿って黒雲母の定向配列が認められる場合がある。S1 片理形成から褶曲、さらにはその軸面片理である S2 片理を形成する過程において、黒雲母が安定に存在したと考えられる。したがって、黒雲母と繊維状珪線石は変形を伴う変成作用、すなわち高温低圧型の広域変成作用の過程で生成したと考えられる。Ikeda et al. (2017) は、大牟田地域の周防変成

Fig. 6. Photomicrographs showing mode of occurrence of constituent minerals of the Tagawa metamorphic rocks: a) sillimanite-cordierite-tourmaline-K-feldspar-quartz-plagioclase-muscovite-biotite schist (sample 14032808); b) cordierite-andalusite-K-feldspar-quartz-plagioclase-muscovite-biotite schist (sample 15112001); c) close-up of Fig. 6b (rectangle) showing the occurrences of andalusite and muscovite II; d) cordierite-andalusite-tourmaline-K-feldspar-quartz-plagioclase-muscovite-biotite schist (sample 14101017); e) close-up of Fig. 6d (rectangle) showing the occurrences of andalusite; f) sillimanite-garnet-andalusite-cordierite-tourmaline-K-feldspar-quartz-plagioclase-muscovite-biotite schist (sample 15012104); g) close-up of Fig. 6f (rectangle) showing the occurrences of andalusite and sillimanite; h) sillimanite-andalusite-cordierite-garnet-tourmaline-K-feldspar-quartz-plagioclase-muscovite-biotite schist (sample 14063005); i) cordierite-garnet-K-feldspar-quartz-plagioclase-muscovite-biotite schist (sample 14103106); j) sillimanite-garnet-andalusite-cordierite-tourmaline-K-feldspar-quartz-plagioclase-muscovite-biotite schist (sample 15012104); k) close-up of fig. 6j (rectangle) showing the occurrences of andalusite; l) andalusite-cordierite-garnet-K-feldspar-quartz-plagioclase-muscovite-biotite schist (sample 15012112); m) cordierite-garnet-tourmaline-K-feldspar-quartz-plagioclase-muscovite-biotite schist (sample 15112004). Abbreviations: And (andalusite), Bt (biotite), Crd (cordierite), Grt (garnet), Mus I (muscovite I), Mus II (muscovite II), Sil (sillimanite).

Fig. 6. Continued.

Fig. 6. Continued.

Fig. 7. Distribution of muscovite assemblages. Mineral abbreviations are after Whitney and Evans (2010): Mus (muscovite).

Table 1. Representative electron microprobe analyses of minerals in pelitic schist (samples 14063005 and 15110601b) of the Tagawa metamorphic rocks.

Sample No. 14063005								15110601b				
Mineral	Bt	Bt	Grt	Grt	Mus	Mus	Pl	Bt	Grt	Grt	Crd	Pl
	inclusion	matrix	core	rim	I	II		matrix	core	rim		
SiO ₂ (wt.%)	34.62	35.08	37.74	37.39	46.31	46.11	62.99	35.36	37.73	37.77	47.98	62.97
TiO ₂	2.98	2.87	0.1	0.05	0.87	0.62	0.01	3.38	0.06	0.04	0.01	0.00
Al ₂ O ₃	19.64	20.75	21.43	21.38	36.15	36.38	23.42	20.12	21.20	21.09	32.75	23.67
Cr ₂ O ₃	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.06	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.02
FeO*	22.08	20.33	30.46	30.44	0.87	0.95	0.14	20.62	30.28	30.11	9.96	0.04
MnO	0.78	0.55	8.76	9.58	0.01	0.00	0.04	0.25	8.49	9.36	1.04	0.14
MgO	6.22	6.20	1.74	1.68	0.42	0.40	0.03	7.11	2.28	1.95	6.60	0.00
CaO	0.00	0.00	1.35	0.83	0.00	0.02	4.03	0.01	0.88	0.82	0.03	4.87
Na ₂ O	0.11	0.13	0.00	0.02	0.52	0.59	9.35	0.15	0.04	0.05	0.29	8.95
K ₂ O	9.29	9.53	0.00	0.00	10.43	10.50	0.09	9.54	0.00	0.01	0.12	0.16
Total	95.75	95.44	101.58	101.37	95.60	95.63	100.10	96.58	100.96	101.20	98.78	100.82
cations	O=22	O=22	O=12	O=12	O=22	O=22	O=8	O=22	O=12	O=12	O=18	O=8
Si	5.33	5.358	3.011	2.998	6.123	6.103	2.784	5.340	3.020	3.025	4.983	2.769
Ti	0.345	0.329	0.006	0.003	0.086	0.062	0.000	0.384	0.003	0.002	0.001	0.000
Al	3.563	3.735	2.015	2.021	5.634	5.675	1.220	3.580	2.000	1.990	4.008	1.227
Cr	0.003	0.000	0.000	0.000	0.003	0.006	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.001
Fe	2.842	2.596	2.032	2.041	0.096	0.105	0.005	2.603	2.027	2.017	0.865	0.001
Mn	0.101	0.070	0.592	0.651	0.001	0.000	0.001	0.031	0.576	0.635	0.092	0.005
Mg	1.428	1.412	0.206	0.201	0.082	0.079	0.002	1.600	0.272	0.233	1.022	0.000
Ca	0.000	0.000	0.115	0.071	0.000	0.003	0.191	0.001	0.075	0.071	0.003	0.229
Na	0.033	0.038	0.000	0.004	0.134	0.151	0.801	0.043	0.006	0.007	0.059	0.763
K	1.825	1.856	0.000	0.000	1.759	1.772	0.005	1.837	0.000	0.001	0.016	0.009
Total	15.470	15.394	7.977	7.990	13.918	13.956	5.009	15.424	7.979	7.981	11.049	5.004
* total Fe as FeO												
Mg/(Mg+Fe)	0.334	0.352	0.092	0.090	0.461	0.430	-	0.381	0.118	0.103	0.542	-
		alm	0.690	0.689		an	0.191	alm	0.687	0.683	an	0.229
		prp	0.201	0.219		ab	0.804	prp	0.195	0.215	ab	0.762
		sps	0.070	0.068		or	0.005	sps	0.092	0.079	or	0.009
		grs	0.039	0.024				grs	0.026	0.024		

Bt: biotite, Grt: garnet, Mus: muscovite, Pl: plagioclase, Crd: cordierite.

alm: almandine, prp: pyrope, sps: spessartine, grs: grossular.

an: anorthite, ab: albite, or: orthoclase.

Fig. 8. Tera-Wasserburg U-Pb Concordia diagram of zircons in the pelitic-psammitic schist (sample 14060710).

岩類の白雲母－紅柱石帯と珪線石－カリ長石帯の変成条件のうち圧力の差異が地形的差異よりもかなり大きく、変成作用後に地殻薄化が生じたことが想定されることから、高温型変成作用が静的接触変成作用ではなく動的広域変成作用であると考えた。したがって、複数地域の周防変成岩類が高温低

圧型広域変成作用を被ったと考えられる。本変成岩体では、高温低圧型広域変成作用ピーク以前の岩石組織は、初生的な堆積構造である砂－泥質片岩の層理面(S0)と、S1片理以外は残存していないと考えられる。S1片理とS2片理を構成するのはいずれも黒雲母とグラファイトであることから、S1片理も高温低圧型広域変成作用で形成された可能性がある。

堇青石はS2片理に沿って定向配列する黒雲母や繊維状珪線石を包有し、ざくろ石も同様に黒雲母や石英を包有する。ザクろ石の一部は、周囲に湾曲したS2片理をともなう場合もある。このことから、堇青石とざくろ石はS2片理形成中から形成後に、

の反応によって生成したと考えられる。堇青石が変成岩体全体にわたって認められることから、この反応の高温側であり、全体が角閃岩相の温度圧力条件まで達したと推定される(Fig. 10; Holdaway and Lee, 1977)。主岩体の北部と本庄岩体のざくろ石は堇青石と共存していることから、

の反応によって生成したと考えられる。

Fig. 9. Histogram and probability density plot of zircon ages for the pelitic-psammitic schist (sample 14060710). Age data peaks for zircons from the Kurume (Tsutsumi et al., 2003) and Omuta (Miyazaki et al., 2017) areas also are shown.

Table 2. Result of geothermobarometry for samples 14063005 and 15110601b. No compositional zoning of garnet, biotite, and compositional differences between muscovite I and II were detected. See text for discussion.

Sample No. 14063005				
Grt-Bt geothermometer			Grt-Pl-Mus-Qtz geobarometer	
Model	FS78	HS82	D91	H90
	calculation at $P=0.3$ GPa			calculation at $T=600$ °C
	584 °C	595 °C	502 °C	361-366 MPa
Sample No. 15110601b				
Grt-Bt geothermometer			Grt-Pl-Mus-Qtz geobarometer	
Model	FS78	HS82	D91	H90
	calculation at $P=0.3$ GPa			calculation at $T=600$ °C
	643 °C	653 °C	554 °C	250-261 MPa

Garnet-biotite geothermometer
 FS78: Ferry and Spear (1978)
 HS82: Hodges and Spear (1982)
 D91: Dasgupta et al. (1991)

Garnet-plagioclase-muscovite-quartz geobarometer
 H90: Hoisch (1990)

電気石が全域にわたり認められることから、Kawakami (2004) が領家変成帯で想定した電気石消失曲線よりも低温条件であったと考えられる (Fig. 10)。

白雲母は粗粒、自形～半自形で S2 片理を切ってランダムな方向に向いている白雲母 I と、細粒、他形で集合体を形成し、内部に紅柱石を含む白雲母 II に区分される。紅柱石を内部に含む白雲母 II は、その集合体の外形から、もともと紅柱石であったと考えられる。したがって、紅柱石を含まない岩石においても、白雲母 II を含むことは紅柱石の存在を示唆すると思われる。紅柱石は斑状変晶として S2 片理を切って産し、定向配列する黒雲母や、白雲母 I、石英を包有する。この産状は、紅柱石斑状変晶以前に白雲母 I が生成したことを示唆する。紅柱石は、S2 片理を切り、定向配列し S2 を形成する黒雲母やグラファイトの他、白雲母や石英を包有することから、

白雲母 + 石英 = 紅柱石 + カリ長石 + H_2O

Fig. 10. P-T condition of pelitic schist (samples 14063005 and 15110601b) from the Tagawa metamorphic rocks. Reaction curves are after Holdaway (1971) for aluminum silicates and Holdaway and Lee (1977) for KFMASH reactions of $X_{H_2O}=1$ (solid curve) and $X_{H_2O}=0.4$ (dashed curve). Gray and open ellipses represent the estimated peak P-T conditions for 14063005 and 15110601b, respectively. P-T estimates by the Grt-Bt geothermometer and Grt-Pl-Mus-Qtz geobarometer are from: 1) Dasgupta et al. (1991), sample 14063005; 2) Ferry and Spear (1978), sample 14063005; 3) Hodges and Spear (1982), sample 14063005; 4) Dasgupta et al. (1991), sample 15110601b; 5) Ferry and Spear (1978), sample 15110601b; 6) Hodges and Spear (1982), sample 15110601b. A and B are from Hoisch (1990) for sample 14063005; C and D are from Hoisch (1990) for sample 15110601b. See text for details.

の反応によって、朝倉地域および平尾台地域周防変成岩類(北野・池田, 2012; Fukuyama et al., 2004: Fig. 1)と同様、白亜紀花崗岩類の貫入による接触変成作用によって形成された可能性がある。紅柱石と白雲母 II の分布(Figs. 5, 7)から、紅柱石が変成岩体内で広域にわたって生成したと考えられることから、接触変成作用の影響は、全域におよんでいると考えられる。紅柱石の生成以前に白雲母 I が生成していることから、白雲母 I の生成は高温低圧型広域変成作用の後退変成作用時と考えるのが妥当であろう。

田川変成岩類の接触変成作用の熱源は、変成岩体の南と北側に分布する落合花崗閃緑岩、伊良原花崗閃緑岩、真崎花崗岩(Fig. 2)であると考えられる。これらの花崗岩類の貫入時期は、U-Pb ジルコン年代から 107~103 Ma であると考えられる(柚原ほか, 2019a, b)。したがって、接触変成作用の時期は 107~103 Ma であると推定される。北部九州白亜紀花崗岩類は、岩体同士は明瞭な境界をもって接するにもかかわらず、明瞭な周縁相などを持たない場合が多い(唐木田, 1992)。一方、変成岩類や堆積岩類など接触変成作用を与えた岩類との接触部では、細粒で片状構造をもつ周縁相が形成されている。明瞭な周縁相などを持たないのは、花崗岩質マグマが比較的短時間の間に次々に上昇・貫入・固結したためであると考えられている(唐木田, 1992)。この時期に相次ぐ花崗岩質マグマの貫入による熱的影響を受け続けたため、変成岩体全域が高温状態を保っていた可能性が高い。このため、岩体全域にわたり紅柱石が生成したと考えられる。柚原ほか(2019a)は、東部地域で初期に活動したと考えられる落合花崗閃緑岩に斑状組織を呈し基質がやや細粒な岩石が卓越することから、マグマ貫入時の母岩の温度がやや低かった可能性を指摘している。したがって、高温低圧型の広域変成作用を被った後、北部九州白亜紀花崗岩質マグマの貫入まで変成岩体の温度が白雲母+石英の安定領域まで低下していたと考えられる。

2. 温度圧力条件

上述のように、広域変成作用と接触変成作用の重複が広域的に認められるため、変成温度圧力条件の定量的な見積もりは困難である。主岩体北東部に産するざくろ石-珪線石-黒雲母片岩(14063005; Fig. 5)から見積もられる温度圧力条件は、ざくろ石-黒雲母温度計(Ferry and Spear, 1978; Hodges and Spear, 1982; Dasgupta et al., 1991)、ならびに、石英-白雲母-黒雲母-斜長石-ざくろ石圧力計(Hoisch, 1990)から約 510–600°C・360–370 MPa である(Table 2, Fig. 10)。さらに、本庄岩体に産するざくろ石-珪線石-黒雲母片岩(15110601b; Fig. 5)からは、同様に、約 550–640°C・250–260 MPa が見積もられる(Table 2, Fig. 10)。これらの分析試料では、ざくろ石と珪線石は同一試料中でも異なる層に産することから、共存関係は保証されずざくろ石-珪線石-石英-斜長石(GASP)圧力計は適用していない。見積もられた条件は、珪線石の安定領域にあることと調和的であり、また圧力見積もりの不確実性を考慮すると約 530–600°C・0.3–0.4 GPa(14063005)および、約 600–650°C・0.2–0.3 GPa(15110601b)程度と主岩体に比べて本庄岩体

のほうがやや低温高压である。また、H₂O の活動度が 1 の場合の白雲母+石英の分解反応の低温側に位置する(Fig. 10)。しかし、炭質物が普遍的に含まれることから H₂O の活動度は 1 よりも小さいことが想定され、上記の温度・圧力条件においては Poulson and Ohmoto(1989)に基づくと X_{H₂O} は最大でも 0.6~0.7 程度と考えられる。したがって、白雲母+石英の分解反応はより低温であったと推定され、見積もりとして矛盾しない。ただし、圧力については、白雲母の生成が高温低圧型広域変成作用のピーク以降であるため、若干変成度の低下した時期を示しているかもしれない。

3. 田川変成岩類の原岩

砕屑性ジルコンの U-Pb 年代の最も若い年代が 226 Ma である(Fig. 9, Appendix)ことから、田川変成岩類の原岩の堆積年代はトリアス期中頃であると考えられる。Tsutsumi et al.(2003)は、久留米地域の周防変成岩類の砂質片岩中の砕屑性ジルコン年代を報告している。それによると、260~250 Ma と 1900~1800 Ma に大きなピークを示し、1000 Ma と 2300~2400 Ma にわずかなピークを持つ。また、大牟田地域から得られたジルコン年代(Miyazaki et al., 2017)は、約 250 Ma と約 1800 Ma に主要なピークを持つ。加えて、355 Ma, 421 Ma, 507 Ma, 約 750 Ma, 2259 Ma, 2532 Ma にわずかなピークが認められる。これらの年代ピークは、本地域から得られた年代のピークとほぼ一致している(Fig. 9)。したがって、田川変成岩類も久留米-大牟田地域の周防変成岩類と同一の地質帯であると判断できる。

以上のことから、田川変成岩類は周防変成岩類が高温低圧型広域変成作用を被った後、107~103 Ma に白亜紀花崗岩類による接触変成作用を被った変成岩体であると考えられる。

ま と め

田川変成岩類の変成作用の解析を行うとともに、砕屑性ジルコンの U-Pb 年代を測定した。田川変成岩類は、定向配列する黒雲母や繊維状珪線石、それらを包有する堇青石やざくろ石を含むことから、角閃岩相に達する高温低圧型広域変成作用を被ったと考えられる。また、紅柱石斑状変晶とそれらを取り囲む白雲母の集合体の存在から、高温低圧型変成作用の後、紅柱石斑状変晶を形成するような接触変成作用を 107~103 Ma に被ったと考えられる。U-Pb ジルコン年代から、原岩の堆積はトリアス期中頃であると考えられる。砕屑性ジルコンの年代分布は、久留米-大牟田地域の周防変成岩類と類似しており、田川変成岩類が周防変成帯の一部であることを示唆する。

以上のことから、田川変成岩類は低温高压型の周防変成作用を被った後、107~103 Ma の落合花崗閃緑岩、伊良原花崗閃緑岩および真崎花崗岩の貫入による接触変成作用を被る前に、角閃岩相に達する高温低圧型広域変成作用を被ったと考えられる。

謝 辞

本論文は清浦海里的福岡大学理学部地球圏科学科における卒業研究を発展させたものである。卒業研究を進めるにあたり、福岡大学理学部地球圏科学科の田口幸洋教授(現名誉教授)、奥野 充教授、鮎沢 潤博士には様々な御意見、御討論をいただいた。地質温度圧力計の計算には、岡山大学の中村大輔氏作製の Excel Spread Sheet “GrtBtMsPlQtz_thermobaroV1.xls”を使用した。編集委員である岡本 敦氏、査読者の宮崎一博氏ならびに河上哲生氏には、数多くの有益なご議論と原稿の改善に関するご教示をいただいた。以上の方々に心から感謝いたします。

文 献

- Dasgupta, S., Sengupta, P., Guha, D. and Fukuoka, M., 1991, A refined garnet-biotite Fe-Mg exchange geothermometer and its application in amphibolites and granulites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **109**, 130–137.
- Ferry, J. M. and Spear, F. S., 1978, Experimental calibration of the partitioning of Fe and Mg between biotite and garnet. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **66**, 113–117.
- Fukuyama, M., Urata, K. and Nishiyama, T., 2004, Geology and petrology of the Hirao Limestone and the Tagawa metamorphic rocks - with special reference to the contact metamorphism by Cretaceous granodiorite. *J. Mineral. Petrol. Sci.*, **99**, 25–41.
- Hodges, K. V. and Spear, F. S., 1982, Geothermometry, geobarometry and the Al_2SiO_5 triple point at Mt. Moonsilauke, New Hampshire. *Am. Mineral.*, **67**, 1118–1134.
- Hoisch, T. D., 1990, Empirical calibration of six geothermometers for mineral assemblage quartz + muscovite + biotite + plagioclase + garnet. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **104**, 225–234.
- Holdaway, M. J., 1971, Stability of andalusite and the aluminum silicate phase diagram. *Am. J. Sci.*, **271**, 97–131.
- Holdaway, M. J. and Lee, S. M., 1977, Fe-Mg cordierite stability in high-grade pelitic rocks based on experimental, theoretical, and natural observations. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **63**, 175–198.
- Ikeda, T., Miyazaki, K. and Matsuura, H., 2017, Metamorphic condition of a regional metamorphic complex in the Omuta district, northern Kyushu, southwest Japan. *Isl. Arc*, **26**, e12204, doi: 10.1111/iar.12204.
- 井上 保, 1957, 朝倉変成岩地域の地質岩石概報. 福岡学芸大学紀要(理科), **3**, 55–61. [Inoue, T., 1957, Outline of geology and rocks of the Asakura metamorphic area. *Bull. Fukuoka Gakugei Univ., Sci.*, **3**, 55–61.]*
- 石塚吉浩・尾崎正紀・星住英夫・松浦浩久・宮崎一博・名和一成……駒澤正夫, 2009, 20 万分の 1 地質図 中津. 地質調査所. [Ishizuka, Y., Ozaki, M., Hoshizumi, H., Matsuura, H. and Miyazaki, Nawa, K.,...Komazawa, M., K., 2009, *Geological Map of Japan 1: 200,000, Nakatsu*. Geol. Surv. Japan, AIST.]
- 唐木田芳文, 1985, 北九州花崗岩の地質学的分類. 日本応用地質学会九州支部会報, **6**, 2–12. [Karakida, Y., 1985, Geological classification of North Kyushu granitic rocks. *Proc. Kyushu Branch, Japan Soc. Eng. Geol.*, **6**, 2–12.]*
- 唐木田芳文, 1992, 2.9 白亜紀深成岩類, (2) 北部九州. 日本の地質[九州地方]編集委員会編, 日本の地質 9 九州地方, 共立出版, 85–89. [Karakida, Y., 1992, 2.9 Cretaceous granitic rock, (2) Northern Kyushu. In Editorial Committee of Kyushu, Regional Geology of Japan, ed., *Regional Geology of Japan, Vol. 9, Kyushu*, Kyoritsu Shuppan, 85–89.]*
- 勝部亜矢・早坂康隆・坂口 綾・高橋嘉夫, 2012, 213 nm Nd-YAG レーザーアブレーション ICP 質量分析装置を用いたジルコンの U–Pb 局所年代分析: SHRIMP データとの整合性の検討. 地質雑, **118**, 762–767. [Katsube, A., Hayasaka, Y., Sakaguchi, A. and Takahashi, Y., 2012, U–Pb zircon dating using Nd-YAG (213 nm) laser ablation-ICP-MS, and evaluating the consistency with SHRIMP dating. *J. Geol. Soc. Japan*, **118**, 762–767.]
- Kawakami, T., 2004, Tourmaline and boron as indicators of the presence, segregation and extraction of melt in pelitic migmatites: examples from the Ryoke metamorphic belt, SW Japan. *Trans. Royal Soc. Edinburgh: Earth Sci.*, **95**, 111–123.
- 北野一平・池田 剛, 2012, 朝倉地域に産する周房変成岩類の接触変成作用の温度圧力条件: 上昇過程の制約. 地質雑, **118**, 801–809. [Kitano, I. and Ikeda, T., 2012, Pressure and temperature conditions of contact metamorphism of the Suo metamorphic rocks in Asakura area, Fukuoka Prefecture, Japan: constraints on uplifting process. *J. Geol. Soc. Japan*, **118**, 801–809.]
- 久保和也・松浦浩久・尾崎正紀・牧本 博・星住英夫・鎌田耕太郎……中島和敏, 1993, 20 万分の 1 地質図 福岡. 地質調査所. [Kubo, K., Matsuura, H., Ozaki, M., Makimoto, H., Hoshizumi, H., Kamada, K.,...Nakajima, K., 1993, *Geological Map of Japan 1: 200,000, Fukuoka*. Geol. Surv. Japan.]
- Ludwig, K. R., 2003, *User's Manual for Isoplot 3.00. A geochronological toolkit for Microsoft Excel*. Berkeley Geochronol. Center Spec. Publ., **4**, Berkeley Geochronol. Center, Berkeley, 72p.
- 松本達郎, 1951, 北部九州・西中国の基盤地質構造概説. 九大理研報(地質学之部), **3**, 37–48. [Matsumoto, T., 1951, An outline of the fundamental geologic structure in north Kyūshū and west Chūgoku. *Sci. Rep. Fac. Sci. Kyushu Univ., Geol.*, **3**, 37–48.]
- Miyazaki, K., Ikeda, T., Matsuura, H., Danhara, T., Iwano, H. and Hirata, T., 2017, A high-*T* metamorphic complex derived from the high-*P* Suo metamorphic complex in the Omuta district, northern Kyushu, southwest Japan. *Isl. Arc*, **26**, e12208, doi: 10.1111/iar.12208.
- Miyazaki, K., Ikeda, T., Matsuura, H., Danhara, T., Iwano, H. and Hirata, T., 2018, Ascent of migmatites of a high-temperature metamorphic complex due to bouoyancy beneath a volcanic arc: a mid-Cretaceous example from the eastern margin of Eurasia. *Int. Geol. Rev.*, **61**, 649–674.
- 村上允英, 1994, 福岡県東南部—国東半島に点在する花崗岩類および関連する片麻状変成岩類. 岩鉱, **89**, 335–347. [Murakami, N., 1994, Sporadically distributed granitoids and related metamorphic rocks in the southeastern area of Fukuoka Prefecture and Kunisaki Peninsula, Southwest Japan. *J. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*, **89**, 335–347.]
- 村上允英・藤本重美, 1957, 北九州田川変成岩帯南部の地質および岩石. 岩石鉱物鉱床学会誌, **41**, 164–171. [Murakami, N. and Fujimoto, S., 1957, Petrography of the southern part of the Takawa metamorphic zone, North Kyushu. *J. Japan. Assoc. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*, **41**, 164–171.]
- Nishimura, Y., 1998, Geotectonic subdivision and areal extent of the Sangun belt, Inner Zone of Southwest Japan. *J. Metamorphic Geol.*, **16**, 129–140.
- 西山忠男, 2010, 7. 変成岩, 7.2 低温高压型変成岩類, 7.2.1 三郡変成岩. 日本地方地質誌 8, 九州・沖縄地方, 朝倉書店, 341–345. [Nishiyama, T., 2010, 7. Metamorphic rock, 7.2 Low-temperature high-pressure metamorphic rocks, 7.2.1 Sangun metamorphic rock. In Geological Society of Japan, ed., *Regional Geology of Japan, Vol. 8: Kyushu and Okinawa, Regions*, Asakura Publ., 341–345.]*
- Poulson, S. R. and Ohmoto, H., 1989, Devolatilization equilibria in graphite-pyrite-pyrrhotite bearing pelites with application to magma-pelite interaction. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **101**, 1–12.

- rol., **101**, 418–425.
- 佐脇貴幸, 1985, 山口県防府地域に分布する含コランダム泥質ホルンフェルス. 地質雑, **91**, 719–722. [Sawaki, T., 1985, Corundum-bearing pelitic hornfels in the Hofu area, Yamaguchi Prefecture. *J. Geol. Soc. Japan*, **91**, 719–722.]
- 富田宰臣・下山正一・松浦浩久・宮崎一博・石橋 毅・三木 孝, 2008, 大牟田地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 69p. [Tomita, S., Shimoyama, S., Matsuura, H., Miyazaki, K., Ishibashi, T. and Miki T., 2008, *Geology of Omuta District*. Quadrangle Series, 1: 50,000, Geol. Surv. Japan, AIST, 69p.]
- Tsutsumi, Y., Yokoyama, K., Terada, K. and Sano, Y., 2003, SHRIMP U–Pb dating of detrital zircons in metamorphic rocks from northern Kyushu, western Japan. *J. Mineral. Petrol. Sci.*, **98**, 181–193.
- Whitney, D. L. and Evans, B. W., 2010, Abbreviations for names of rock-forming minerals. *Am. Mineral.*, **95**, 185–187.
- 山田直利, 1972, 鳥取一大原地域の三郡変成岩類. 地調月報, **23**, 525–537. [Yamada, N., 1972, Sangun metamorphic rocks of the Tottori-Ohara district, Southwest Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **23**, 525–537.]
- 柚原雅樹・亀井淳志・川野良信・岡野 修・早坂康隆・加々美寛雄, 2019a, 北部九州白亜紀花崗岩類, 添田花崗閃緑岩の U–Pb ジルコン年代と Sr・Nd 同位体組成: 添田花崗閃緑岩の再区分. 地質雑, **125**, 405–420. [Yuhara, M., Kamei, A., Kawano, N., Okano, O., Hayasaka, Y. and Kagami, H., 2019a, U–Pb zircon ages and Sr and Nd isotope compositions of the Soeda Granodiorite, northern Kyushu, Southwest Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, **125**, 405–420.]
- 柚原雅樹・亀井淳志・岡野 修・川野良信・加々美寛雄, 2013, 北部九州東部に分布する添田花崗閃緑岩の Rb–Sr 全岩–黒雲母アイソクロン年代. 岩石鉱物科学, **42**, 185–189. [Yuhara, M., Kamei, A., Okano, O., Kawano, Y. and Kagami, H., 2013, Rb–Sr whole-rock and biotite isochron ages of the Soeda Granodiorite, eastern North Kyushu. *Japan. Mag. Mineral. Petrol. Sci.*, **42**, 185–189.]
- 柚原雅樹・水田史也・西 瑛莉子・清浦海里・亀井淳志・川野良信……早坂康隆, 2019b, 北部九州白亜紀花崗岩類, 真崎花崗岩の化学組成と活動時期. 地球科学, **73**, 163–178. [Yuhara, M., Mizuta, F., Nishi, N., Kamei, A., Kawano, N., Hayasaka, Y., 2019b, Chemical compositions and timing of activity of the Masaki Granite, northern Kyushu, Southwest Japan. *Earth Sci. (Chikyu Kagaku)*, **73**, 163–178.]
- *English translation from the original written in Japanese
- 以下の Appendix は, オープンファイルとして学会ホームページ上で公開しています. <<http://www.geosociety.jp/publication/content0006.html>>
- Appendix.** LA-ICP-MS U–Pb age data for zircon samples from the Tagawa metamorphic rocks (sample 14060710).
- (著者の貢献)
- 柚原雅樹 地質調査, 試料採取, 原稿執筆を担当.
 清浦海里 地質調査, 試料採取, 薄片作製, 岩石記載を担当.
 日高万莉亜 地質調査, 試料採取, 薄片作製, 岩石記載を担当.
 外田智千 鉱物化学分析, 議論を担当.
 早坂康隆 年代測定, 議論を担当.

(要 旨)

柚原雅樹・清浦海里・日高万莉亜・外田智千・早坂康隆, 2021, 北部九州東部に分布する田川変成岩類の変成作用. 地質雑, **127**, 447–459. (Yuhara, M., Kiyoura, K., Hidaka, M., Hokada, T., Hayasaka, Y., 2021, The metamorphism of the Tagawa metamorphic rocks, eastern North Kyushu. *J. Geol. Soc. Japan*, **127**, 447–459.)

北部九州東部に分布する田川変成岩類は, 主岩体と本庄岩体からなる. 本変成岩類は主に泥質～砂質片岩と角閃岩から構成される. 泥質～砂質片岩には, 黒雲母, グラファイトおよび繊維状珪緑石の定向配列が認められ, 堇青石とざくろ石はそれらの鉱物を包有する. これは, 田川変成岩類が角閃岩相の高温低压型の広域変成作用を被ったことを示唆する. 主岩体と本庄岩体の変成条件は, それぞれ, 530–600°C, 0.3–0.4 GPa, 600–650°C, 0.2–0.3 GPa と見積もられる. 落合花崗閃緑岩と真崎花崗岩による接触変成作用で生成されたと考えられる紅柱石斑状変晶は, 黒雲母やグラファイトを包有する. 砂–泥質片岩中の碎屑性ジルコンの U–Pb 年代は, 約 250 Ma と約 1850 Ma に主要なピークを持つ. これらの年代ピークは久留米–大牟田地域の周防変成岩類中の碎屑性ジルコンの U–Pb 年代のピークと類似する. したがって, 田川変成岩類は周防変成岩類に属する. 本変成岩類は, 低温高压型の周防変成作用と白亜紀花崗岩類による接触変成作用の間に, 高温低压型広域変成作用を被った.

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ください. 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