九州中西部地域の変成岩類：黒瀬川構造帯・肥後変成帯・木山変成岩*

Metamorphic rocks in the west-central Kyushu: Kurosegawa Tectonic Belt, Higo metamorphic terrane and Kiyama metamorphic rocks*

小山内康人¹ 中野伸彦¹
吉本 紋¹ 亀井淳志²

*Yasuhito Osanai¹, Nobuhiko Nakano¹,
Aya Yoshimoto¹ and Atsushi Kamei²*

2014年2月13日受付.

2014年4月4日受理.

* 日本地質学会第121年学術大会(2014年・鹿児島)巡検(5コース)案内書

¹ 九州大学大学院比較社会文化研究院環境変動部門

Division of Earth Sciences, Faculty of Social and Cultural Studies, Kyushu University, Fukuoka, 810-8560 Japan

² 島根大学総合理工学部地球資源環境学科
Department of Geosciences, Shimane University, Matsue, 690-8504 Japan

Corresponding author: Y. Osanai,
osanai@scs.kyushu-u.ac.jp

概要

九州中西部に点在する変成岩分布地域の中で、西南日本外帯に位置する黒瀬川構造帯と同内帯に位置する肥後変成帯の各種変成岩類、および木山変成岩を訪ねる。黒瀬川構造帯では、蛇紋岩メランジュ中にブロックとして産する高压変成岩類(カンブリア紀の海洋地殻起源とみなされる青色片岩、ヒスイ輝石-藍閃石変ハンレイ岩など)と高温変成岩類(オルドビス紀の活動的大陸縁における火山弧火成活動に由来するザクロ石-単斜輝石グラニュライト、ザクロ石角閃岩など)を見学する。緑色片岩相からグラニュライト相にいたる一連の地殻断面を示す肥後変成帯では、部分熔融現象を伴う泥質グラニュライトや過アルミナ質のサフィリングラニュライトなど、ペルム紀末の変成作用を受けた下部地殻(一部は白亜紀の重複変成作用)を見学する。また、木山変成岩では、石炭紀の高压変成岩(青色片岩)を見学する。これらを通して、日本列島形成に関する古生代テクトニクスについて現地討論する。

Keywords

蛇紋岩メランジュ, 高压変成岩, 高温変成岩, 海洋地殻, 火山弧火成活動, カンブリア紀, オルドビス紀, 石炭紀, ペルム紀, 白亜紀
Serpentine melange, high-P metamorphic rock, high-T metamorphic rock, oceanic crust, volcanic arc magmatism, Cambrian, Ordovician, Permian, Cretaceous, Continental collision zone

地形図

1:25,000 「計石」, 「鏡」, 「柿迫」, 「宮園」, 「甲佐」, 「松橋」, 「大矢野原」

見学コース

[1日目] 8:30 鹿児島大学出発→八代市→芦北町坪木の鼻→八代市泉町→五木村→山都町目丸平家の湯(泊)(17:00頃)

[2日目] 8:30 平家の湯→宇城市小川町田平→松橋町内田→益城町下陳(金山川)→熊本駅解散(16:00頃)

見学地点

Stop 1	(32°19'11"N, 130°27'57"E)	坪木の鼻海岸の高温変成岩類(ザクロ石角閃岩・ザクロ石単斜輝石グラニュライト等：黒瀬川構造帯)
Stop 2	(32°32'17"N, 130°45'17"E)	八代市泉町の高压変成岩類(青色片岩・ヒスイ輝石藍閃石岩等：黒瀬川構造帯)
Stop 3	(32°28'26"N, 130°49'06"E)	五木村の青色片岩・泥質片岩ブロックと蛇紋岩(黒瀬川構造帯)
Stop 4	(32°36'05"N, 130°46'00"E)	宇城市小川町田平の高温変成岩類(ザクロ石堇青石片麻岩等：肥後変成帯)
Stop 5	(32°37'34"N, 130°43'03"E)	松橋町内田の高温変成岩類(サフィリングラニュライト・ザクロ石コランダムグラニュライト等：肥後変成帯)
Stop 6	(32°47'42"N, 130°53'09"E)	益城町下陳の青色片岩(木山変成岩)

はじめに

九州中西部(熊本県中南部)の先白亜系変成岩類は、中央構造線の西方延長とみなされる臼杵-八代構造線を挟んで、南側(西南日本外帯)の黒瀬川構造帯と北側(西南日本内帯)の肥後変成帯に比較的規模の大きな分布が認められる。肥後変成帯の北部には、木山変成岩や木の葉変成岩と呼ばれる極めて小規模な変成岩分布域も知られている(Fig. 1)。

少なくとも紀伊半島・鳥羽地域から熊本県八代市南西の坪木の鼻まで断続的に分布する黒瀬川構造帯は、西南日本における秩父帯中に断続的に分布する古生代岩石の分布域として定義され、秩父帯中帯とも呼ばれる。同構造帯に分布する変成岩類や火成岩類は蛇紋岩メランジュ中のブロックとして産し、これらの年代値は少なくとも先シルル紀を示すことから、従来から“4 億年基盤”として、日本列島の地質形成テクトニクスを考察する上で重要視されてきた(例えば, Yoshikura et al., 1990; 唐木田, 1992)。

黒瀬川構造帯の西端部となる八代市周辺地域は、紀伊半島以西では同構造帯の最大の分布範囲を示し、この地域に分布する黒瀬川構造帯中の変成岩類および花崗岩類は、それぞれ八代変成岩(もしくは八代片麻岩)および八代花崗岩(松本・勘米良, 1964)とも呼ばれる。変成岩類には、様々なタイプの高圧変成岩(青色片岩相)と高温変成岩(角閃岩相~グラニュライト相)が認められ、一部の地域では両者が花崗岩類とともに蛇紋岩メランジュ中に混在する。八代地域における黒瀬川構造帯の変成岩類については、ジルコンを用いた LA-ICP-MS U-Pb 年代測定結果から、高圧変成岩では約 500 Ma、高温変成岩では約 450 Ma の原岩形成(火成活動)年代が明らかにされた(吉本ほか, 2013; 小山内ほか, 2014)。蛇紋岩メランジュ中に混在する花崗岩類の火成活動年代としては、高温変成岩類の原岩形成年代と同時期の約 450 Ma が得られている(吉本ほか, 2013; 小山内ほか, 2014)。変成年代では、高圧変成岩から 300–270 Ma(上村ほか, 2012; 吉本ほか, 2011)、高温変成岩から約 420 Ma(小山内ほか, 2000)が得られている。このような火成活動および変成作用の年代が異なる多様な岩石が、蛇紋岩メランジュ中のブロックとして混在することを明瞭に説明する形成モデルは、現時点では提示されていない。

熊本県中央部に位置する肥後変成帯は、周辺の地質体とともに肥後帯を構成する変成岩・深成岩分布地域として位置づけられ、九州地域における高温変成岩類の最大の分布地域である。肥後変成帯は、北から間の谷変成岩類、肥後変成岩類、肥後深成岩類(白石野花崗閃緑岩・宮の原トーナル岩)および竜峰山変成岩類から構成される。肥後変成岩類は、主に地体構造論的位置から西南日本における領家帯の西方延長と考えられてきた(Yamamoto, 1962; 唐木田ほか, 1969; 山本, 1983)。また、原岩構成、変成作用、年代等の相違から領家帯の複変成作用論(唐木田ほか, 1989; 端山, 1991)や、黒瀬川構造帯との関連(黒瀬川-古領家陸塊: Hara et al., 1992)も議論されてきた。しかし、近年のジルコンやモナザイトの年代測定を含む地質年代学的研究(Sakashima et al.,

Fig. 1. The distribution of metamorphic rocks in west-central Kyushu.

2003; Dunkley et al., 2008)や超高温グラニュライトの発見を含む変成プロセスの詳細な解析(Osanai et al., 1998)から、肥後変成帯の形成過程は新たな展開期を迎えており、南部北上-阿武隈-肥後の関連性(Sakashima et al., 2003)や北中国地塊と南中国地塊の境界部における大陸衝突との関連性(Osanai et al., 2006)なども議論されている。

一方、熊本市東方の益城町・下陳周辺に小規模に分布する木山変成岩は、青色片岩相の高圧変成岩であり、約 400 Ma の年代値を示すことから注目され、多くの研究がなされてきた(坂野, 1963; 唐木田ほか, 1987; 梶島ほか, 1995)。近年の研究は多くはないが、梶島ほか(1995)によれば、約 300 Ma の年代を示す木山変成岩は、西南日本内帯の三郡-蓮華変成岩と同一の起源を持つと解釈され、黒瀬川構造帯の結晶片岩と同様に内帯先ジュラ系のナップ群と見なされている。

本巡検では、地質学的、変成岩岩石学的、地質年代学的に差異が明瞭な、黒瀬川構造帯と肥後変成帯に分布する多様な変成岩類、および木山変成岩について、最近得られた研究成果をもとに見学する。これら変成岩類の帰属問題を解決することは、日本の地質学にとって未だ重要な課題の一つであり、この点については巡検期間中に現地討論を予定する。なお、本案内書で扱う鉱物名の略号は、Whitney and Evans (2010)に従った。

Fig. 2. Simplified geological maps of the Kurosegawa Tectonic Belt and the Higo metamorphic terrane (a: modified from Saito et al., 2005) and of the Kiyama metamorphic rocks (b: modified after Yamamoto, 1964).

地質概略

1. 黒瀬川構造帯

八代地域の黒瀬川構造帯は、分布域の北側から(1)猫谷種山構造線、(2)深水構造線、(3)小崎構造線、(4)破木構造線の4つの蛇紋岩メランジュ帯に区分される(Fig. 2; 松本・勘米良, 1964)。最近、これらのメランジュ帯は斎藤ほか(2005)の「低用図幅」によって種山蛇紋岩ユニット、箱石蛇紋岩ユニット、深水蛇紋岩ユニットなどと再定義されたが、小論では松本・勘米良(1964)の「日奈久図幅」地域も含まれることから、従来の蛇紋岩メランジュ帯(構造線)の名称を用いて解説する。

南側の破木、小崎、深水構造線には、蛇紋岩メランジュ中のブロックとして、高温型變成作用を受けた変ハンレイ岩および低温・高圧型の青色片岩・泥質片岩のほか、花崗岩類が分布する。破木構造線・五木地域からは、オンファス輝石・ヒスイ輝石を含む高圧變成岩(アルバイト・オンファス輝石岩)も見出されている(唐木田・植田, 1983; Miyazoe et al., 2009)。一方、北側の猫谷種山構造線(箱石蛇紋岩ユニット: 斎藤ほか, 2005)には、ローソン石青色片岩のほか、ヒスイ輝石・藍閃石を含む変ハンレイ岩(斎藤ほか, 2005; 斎藤・宮崎, 2006)などの高圧變成岩類が認められるが、花崗

岩類および高温變成岩は現時点で見出されていない(吉本ほか, 2013; 小山内ほか, 2014)。高温變成岩類としては、ザクロ石・単斜輝石グラニュライト、ザクロ石角閃岩、単斜輝石角閃岩などの変ハンレイ岩類(Fig. 12 参照)、およびホルンブレンド片麻岩、黒雲母片麻岩等が認められ、詳しい岩石学的解析が行われてきた(宮地, 1969; Hayama, 1976; 唐木田ほか, 1977, 1979; 小山内ほか, 2000 など)。一方、高圧變成岩類ではローソン石青色片岩や藍閃石・フェンジャイト片岩(Fig. 14 参照)が全域で確認され、稀にヒスイ輝石やオンファス輝石を含む変ハンレイ岩(Fig. 13 参照)も認められる。一部の青色片岩では、著しく変形した玄武岩の枕状溶岩構造が認められる。泥質片岩の一部として、極細粒のスティルプノメレーン・フェンジャイト片岩も見出される。

黒瀬川構造帯の変ハンレイ岩類は、すべて高温・低圧型あるいは低温・高圧型の顕著な變成作用を受けているが、岩石組織および岩石化学組成の検討から、原岩はハンレイ岩とみなすことができる。REEを含む岩石化学組成の検討から、高温型変ハンレイ岩および高圧型変ハンレイ岩の原岩である各々のハンレイ岩マグマの活動場は、それぞれ活動的大陸縁における火山弧火成活動および中央海嶺玄武岩的な火成活動とみなされている(Fig. 3; 小山内ほか, 2014)。後述するように、高温型変ハンレイ岩の原岩となるハンレイ岩の火成活

Fig. 3. Discrimination diagrams of (a) Zr vs Ti (Pearce, 1982) and (b) Ti vs V (Shervais, 1982) showing relationships for the matagabbro from the Kurosegawa Tectonic Belt. VAB: volcanic arc basalt; MORB: mid-oceanic ridge basalt; WPB: within-plate basalt; BAB: back-arc basin basalt (after Osanaï et al., 2014).

Fig. 4. Discrimination diagrams for granitic rocks from the Kurosegawa Tectonic Belt in comparison with the Hikami granitic rocks from the South Kitakami belt (modified after Osanaï et al., 2014). The fields of volcanic-arc granites (VAG), syn-collisional granites (syn-COLG), within-plate granites (WPG) and ocean-ridge granites (ORG) are after Pearce et al. (1984).

動年代が、ハンレイ岩類と同様に蛇紋岩メランジュ中に産する火山弧火成活動に由来する花崗岩類(八代花崗岩; Fig. 4)の活動年代とほぼ同時期であることは、黒瀬川構造帯の形成過程を検討する上で重要な意味を持つ(小山内ほか, 2014)。

2. 肥後変成帯

肥後変成帯は東西約 30 km の分布域を持ち、北から南に間の谷変成岩類、肥後変成岩類、肥後深成岩類、および竜峰山変成岩類が分布する(Fig. 5)。間の谷変成岩類は低変成度の緑色片岩を主とし、アルカリ角閃石やローソン石の残存鉱

物が見出されている(唐木田ほか, 1989)。竜峰山変成岩類はマイロナイト化作用が顕著な低変成度の変成岩類からなり、クロリトイド片岩を産する(坂島ほか, 1995)。一方、肥後変成岩類は角閃岩相～グラニュライト相の高度変成作用を受け、泥質変成岩類の部分溶融現象(アナテクシス)や特殊な超高温変成岩も出現する(山本, 1983; Obata et al., 1994; 小山内ほか, 1996; Osanaï et al., 1998; 2006; Miyazaki, 2004; Maki et al., 2009)。間の谷変成岩類と肥後変成岩類は蛇紋岩を介する衝上断層により境されるが(小山内ほか, 1996;

Fig. 5. Simplified geological map of the Higo metamorphic terrane (modified after Osanai et al., 2006).

Osanai et al., 2006), 肥後変成岩類と竜峰山変成岩類の境界は肥後深成岩類の貫入により明確でない(亀井ほか, 1997; Kamei, 2004) (Fig. 6). これら変成岩類および花崗岩類は石灰岩ナップにより一部衝上され(例えば, 鎌倉山ナップ: 岡本ほか, 1989), さらに全ての岩相は阿蘇溶結凝灰岩によって部分的に被覆される(Fig. 6).

間の谷変成岩は MORB タイプの玄武岩を起源とする緑色片岩を主体とし, その他に少量の砂泥質片岩, 赤色チャート, ドレライト, ハンレイ岩, 蛇紋岩を伴う. 片理面は主に東-西走行で北傾斜を示し, 変成度は北から南に上昇する. 南部の肥後変成岩類とは原岩構成が異なるものの, 間の谷変成岩の基底部(南部)の変成度は肥後変成岩の最上部(北部)と連続する(Obata et al., 1994; 舞島・小山内, 1995). したがって, 両者の主要な変成作用は変成岩類の接合後と判断されている(Osanai et al., 2006).

肥後変成岩類は中～高変成度の片麻岩類で構成される. 片

理面は主に東-西～東北東-西南西走行で $50 \sim 80^\circ$ の南同斜構造を示す. 変成度は北から南に向けて上昇する. 砂泥質岩起源の変成岩類(黒雲母-白雲母片麻岩, 黒雲母片麻岩, ザクロ石-黒雲母片麻岩, ザクロ石-堇青石-黒雲母片麻岩, ザクロ石-斜方輝石片麻岩) (Fig. 15 参照)を主体とし, 苦鉄質岩起源(角閃岩, ザクロ石角閃岩, 斜方輝石-ホルンブレンドグラニュライト, 両輝石-ホルンブレンドグラニュライト), 中性岩起源(ホルンブレンド-黒雲母片麻岩), 石灰珪質岩起源(ザクロ石-単斜輝石マarmor, 含珪灰石マarmor)の変成岩類を伴う(Osanai et al., 2006). 最下部層では S タイプトータル岩(斜方輝石やザクロ石-堇青石を伴うアナテクサイト: Fig. 15 参照)やホルンブレンド-単斜輝石ハンレイ岩が片理面に調和的に貫入し, 変成度から見積もられる地殻深度は約 $23 \sim 24$ km に達する. また, 変成岩類の中部(後述する変成分帯の D 帯)では蛇紋岩や変成カンラン岩などの超苦鉄質岩が片理構造を切る断層に沿って分布してい

Fig. 6. Schematic geological cross-section of the Higo metamorphic terrane (modified after Osanai et al., 2006). Metamorphic zoning of the Manotani and Higo metamorphic rocks (A-E) is after Obata et al. (1994).

る。サフィリン-コランダムグラニュライト (Fig. 16 参照) および関連する高温変成岩類は、この蛇紋岩・変成カンラン岩中に包有されるブロックとして出現し、ブロックの大きさは $0.5 \times 1 \text{ m} \sim 5 \times 10 \text{ m}$ 程度である。周囲の変成カンラン岩は、伸張した変成斜方輝石を含み“コマチアイト様”カンラン岩として記載されたもの (水田, 1978) で、カンラン石、斜方輝石、クロムスピネル、透角閃石を含むハルツバージャイトが原岩である。

サフィリン-コランダムグラニュライトおよび関連する高温変成岩類は、岩石化学組成の違いにより以下の4つの岩石タイプ (タイプ1~4) に区分できる。

タイプ1: サフィリン-コランダムグラニュライト (サフィリン + コランダム + スピネル + 堇青石 + 黒雲母 + 斜長石); Al_2O_3 に富み, SiO_2 にもやや富む

タイプ2: コランダム-スピネルグラニュライト (コランダム + スピネル + 堇青石 + 黒雲母 + 斜長石); Al_2O_3 に富み, SiO_2 にやや乏しい

タイプ3: ザクロ石-コランダムグラニュライト (ザクロ石 + コランダム + スピネル + 堇青石 + 黒雲母 ± ゲードル閃石 + 斜長石); Al_2O_3 にやや乏しく, SiO_2 や FeO にやや富む

タイプ4: 斜方輝石-スピネルグラニュライト (斜方輝石 + スピネル + ゲードル閃石 + 斜長石); Al_2O_3 に乏しく, FeO に富む

これらは、独立のブロックとして蛇紋岩中に包有される場合と、一つのブロック内でドメイン毎に岩石タイプが変化する場合がある。タイプ1 およびタイプ2 は、粗粒・優白質な岩石で、層状構造を示す場合がある。サフィリンやコランダム斑状変晶は、それぞれ最大 2 cm および 1 cm に達する。タイプ1に見られるサフィリンは一般的にコランダムやスピネルと共生し、堇青石に囲まれる。これらの岩石の鏡下写真を Fig. 16 に示した。サフィリンを欠くタイプ3は、ザク

ロ石および多量の黒雲母を含むことで特徴づけられ、全般に粗粒で優黒質な岩石である。ザクロ石の斑状変晶 (最大粒径 2 cm) は、珪線石や石英を包有する場合があります。コランダムと共生することは稀で、一般にザクロ石-コランダム間にはスピネルや堇青石が形成されている。タイプ4は、ほとんどが斜方輝石およびスピネルからなる岩石で、稀に斜方輝石-スピネルシンプレクタイトが認められ、ザクロ石の分解生成物とも見なすことができる。 (Osanai et al., 1998; 小山内ほか, 2001)。

竜峰山変成岩類は苦鉄質〜珪長質片岩、砂泥質片岩、石灰岩、クロリトイド片岩で主に構成され (坂島ほか, 1999)、ペルム紀前期〜中期のフズリナ化石が報告されている (村田, 1981)。また、これらにはトーナル岩〜閃緑岩やハンレイ岩類の併入も認められる。堆積層序は北部の下位層より南部の上位層に向けて塩基性〜酸性火山岩、砂質岩およびラテライト岩、酸性火山岩、層状石灰岩、塊状石灰岩、泥岩へと変化する (坂島ほか, 1999)。変成度は下位層から上位層に向けて低くなる。変成岩類の片理構造は東-西走行で北あるいは南に急傾斜し、この片理面に沿って強いマイロナイト化作用を被っている。

肥後深成岩類は宮の原トーナル岩、白石野花崗閃緑岩、万坂トーナル岩の3岩体に大きく区分される。宮の原トーナル岩は南部の竜峰山変成岩類に貫入し、白石野花崗閃緑岩に貫かれる。主に黒雲母-ホルンブレンドトーナル岩で構成され、マイロナイト化作用を被ったことによる片理面が発達する。片理構造は南部ほど強く、東-西〜東北東-西南西走行で北あるいは南に 50 度程度傾斜する (Kamei et al., 2000)。白石野花崗閃緑岩は北部の肥後変成岩類に貫入する。主にホルンブレンド-黒雲母花崗閃緑岩で構成される。岩相は塊状であるが、まれに東-西走行の弱い面構造を示すことがある (Kamei, 2004)。万坂トーナル岩は肥後変成岩類に貫入し、主に黒雲母-ホルンブレンドトーナル岩で構成される。自形のホルンブレンドが北西-南東〜北東-南西方向に定向配列

Fig. 7. N-MORB normalized trace element patterns (a, c) and C1 chondrite normalized REE patterns (b, d) for HT-type metagabbro (a, b), and for HP-type metagabbro (c, d) from the Kurosegawa Tectonic Belt (modified after Osanai et al., 2014). Normalized N-MORB values and C1 chondrite values are from Sun and McDonough (1989) and McDonough and Sun (1995), respectively. Data for the average values of continental-arc basalt and oceanic-arc basalt are from Kelemen et al. (2003), and for oceanic-island basalt (OIB) are from Sun and McDonough (1989).

する特徴がある (Kamei, 2004). 一方、宮の原トータル岩と竜峰山變成岩類の境界部および變成岩類中には著しくマイクロナイト化したトータル岩～閃緑岩の分布が報告され、冰川トータル岩と呼ばれている (坂島ほか, 1999). 模式地は宮原町立神峡である。斎藤ほか (2005) はこの類似岩相が立神峡のさらに西側に延長するとしてその分布域を拡大している。

3. 木山變成岩

熊本空港南方の益城町・下陳、金山川流域には、東西約 3 km、南北約 2 km の範囲で南部を蛇紋岩に画された木山變成岩が分布する (Figs. 1, 2). 金山川沿いの木山變成岩には、苦鉄質片岩が卓越し泥質片岩および砂質片岩が挟在する (Fig. 17 参照). 岩体東部の苦鉄質片岩は、藍閃石、緑レン石、緑泥石、アルバイト、石英、方解石などから構成され、アクチノ閃石を含む場合がある。岩体西部では藍閃石に代わってバロワ閃石が出現する。木山變成岩の泥質片岩は、一般に白雲母-緑レン石-緑泥石片岩であり、緑泥石、緑レン石、白雲母、アルバイト、石英からなる。岩体西部の泥質片岩ではザクロ石も認められる (坂野, 1963; 山本, 1964; 唐木

田ほか, 1987; 梶島ほか, 1995).

變成作用

1. 黒瀬川構造帯

九州・黒瀬川構造帯では、近年、高温變成岩としてザクロ石-単斜輝石グラニュライトおよびザクロ石角閃岩 (小山内ほか, 2000)、高压變成岩としてアルバイト-オンファス輝石岩 (Miyazoe et al., 2009) や Mn-ローソン石を含む變成珪質岩 (Ibuki et al., 2010) を用いて變成作用および温度・圧力条件が解析されている。一方、最も産出頻度の高い青色片岩については詳細な變成作用の解析は進んでいないが、ローソン石-藍閃石の組み合わせが普遍的に存在することから、低温のローソン石青色片岩相であることが認識できる。以下に、高温變成岩類および高压變成岩類の變成作用について、代表的な岩石をもとに變成作用の概略を述べる。

高温變成岩類: 破木構造線・坪木ノ鼻地域や小崎構造線・坂本地域に分布する変ハンレイ岩 (ザクロ石-単斜輝石グラニュライト) は、粗粒・暗緑色で片麻状構造を呈する。ザク

Fig. 8. Compiled pressure-temperature-time path for the Higo metamorphic terrane (open circles) and Kurosegawa Tectonic Belt (gray squares). Metamorphic facies and their abbreviations are after Liou et al. (2004). The boundary of lawsonite blueschist-facies (LBS) and epidote blueschist-facies (EBS) is after Evans (1990). The pressure-temperature-time evolution of zones A–F in the Higo metamorphic terrane is modified and simplified after Osanai et al. (2006), in which the dotted line indicates the field gradient at peak metamorphism. The pressure-temperature-time conditions of the high-temperature granulite in the Kurosegawa Tectonic Belt are after Osanai et al. (2000, 2014). An age of ca. 450 Ma indicates the magmatic age for protolith (HT-type metagabbro) of the granulite. The minimum temperature of the high-pressure and low-temperature rocks in the belt was assumed as the pressure-temperature field in the lawsonite blueschist-facies. The temperature and maximum pressure conditions of the belt are after Miyazoe et al. (2009) and the ages are after Yoshimoto et al. (2013).

ロ石斑状変晶(最大粒径は 1.5 cm)を多く含む部分と、乏しい部分が認められる。主成分鉱物は、ザクロ石、単斜輝石、褐色ホルンブレンド、斜長石、石英であり、微量のイルメナイト、アパタイト、ジルコンを含む。ザクロ石+単斜輝石+石英共生が認められ、単斜輝石とザクロ石あるいは単斜輝石どうしの粒間に発達するホルンブレンドは、緑レン石、アクチノ閃石、緑泥石などととともに後退変成鉱物として出現する。坪木の鼻、坂本および深水構造帯・走水地域の高温型変ハンレイ岩(ザクロ石角閃岩)は、ザクロ石斑状変晶(最大粒径 1 cm)を含み、優黒質で片理が発達する。主成分鉱物は、褐色～緑褐色ホルンブレンド、ザクロ石、斜長石、石英であり、イルメナイト、チタナイト、アパタイト、ジルコンを少量含む。後退変成鉱物として、緑色ホルンブレンド、緑レン石、緑泥石、アクチノ閃石が形成される。これらの高温型変ハンレイ岩類は、地球化学的判別図(Fig. 3)や N-MORB で規格化したスパイダー図(Fig. 7)では、Nb, Ta, La, Ce, Pr の負異常と K, Pb, Sr の正異常がみとめられ、島弧(陸弧)玄武岩と一致するパターンを示す(小山内ほか, 2014)。

これらの岩石の変成温度・圧力条件は、Ca-角閃石中の $\text{TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 組成を用いた角閃石温度・圧力計では、ザクロ

石-単斜輝石グラニュライトから 850~920°C, 600~900 MPa, ザクロ石角閃岩では、760~830°C, 800~1200 MPa が見積られる(小山内ほか, 2000)。ザクロ石-単斜輝石地質温度計では、ザクロ石-単斜輝石グラニュライトから 870~970°C (1000 MPa の場合)が得られた。変成圧力条件は、ザクロ石-単斜輝石-斜長石-石英地質圧力計が適用でき、ザクロ石-単斜輝石グラニュライトが約 1000~1200 MPa (950°C の場合)となる。ザクロ石-ホルンブレンド-斜長石-石英地質圧力計では、ザクロ石-単斜輝石グラニュライト、ザクロ石角閃岩とともに、約 600 MPa (800°C の場合)となる(小山内ほか, 2000)。これらの見積もりを Fig. 8 に示した。

高圧変成岩類：猫谷-種山構造線・泉地域には、藍閃石含有変ハンレイ岩、藍閃石-ローソン石含有変ハンレイ岩、藍閃石-ヒスイ輝石含有変ハンレイ岩が分布する(斎藤ほか, 2005; 小山内ほか, 2014)。これらの高圧型変ハンレイ岩は、火成岩組織を残し、初生鉱物としての単斜輝石、褐色ホルンブレンドや斜長石が残存する。変成鉱物として、藍閃石、ヒスイ輝石、パンペリー石、緑泥石がみとめられ、微量成分としてはアパタイト、チタナイト、ジルコン、イルメナイトが含まれる。残存ホルンブレンドの周囲には藍閃石が形成され

ている。破木構造線・五木地域には、オンファス輝石-ヒスイ輝石を含む低温・高圧型変ハンレイ岩(アルバイト-オンファス輝石岩)が発見されている(Miyazoe et al., 2009)。これらの高圧型変ハンレイ岩の原岩は、海洋性苦鉄質火成活動によるハンレイ岩とみなされる(Figs. 3, 7; 小山内ほか, 2014)。

九州・黒瀬川構造帯の高圧變成岩類に関する變成温度・圧力条件の推定は少ない。各種海洋底玄武岩を起源とする青色片岩(吉本ほか, 2011)は、鉱物組み合わせから概ねローソン石青色片岩相の變成作用を受けていることが判断できる。一方、高圧型変ハンレイ岩については、五木地域のアルバイト-オンファス輝石岩から 350°C, 5~10.8 kbar のローソン石青色片岩相に相当する變成条件が推定されている(Miyazoe et al., 2009) (Fig. 8)。

2. 肥後變成帯

肥後變成帯は、かつて Yamamoto (1962) によって北から南に向かって 3 帯に變成分帯され、南部の第 III 帯はグラニュライト相に達していることが知られていた。その後、Obata et al. (1994) によって A~E 帯の 5 帯に變成分帯できることが再確認され、變成度は北から南へ累進的(Progressive)に上昇する(Fig. 6)。A 帯は緑泥石-白雲母、B 帯は黒雲母-白雲母-紅柱石、C 帯はカリ長石-黒雲母-珪線石、D 帯はザクロ石-堇青石-黒雲母、E 帯は斜方輝石-ザクロ石-黒雲母の各鉱物共生で特徴づけられる(Obata et al., 1994)。

A 帯はいわゆる間の谷變成岩類に相当し、苦鉄質變成岩の鉱物共生変化から、前述のようにさらに 3 帯(AI 帯: 緑レン石+緑泥石+石英, AII 帯: アクチノ閃石+緑レン石+石英, AIII 帯: ホルンブレンド+アクチノ閃石+石英)に細分帯される(舞島・小山内, 1995)。B 帯~E 帯が肥後變成岩類にあたり、北部の B, C 帯が緑色片岩相~角閃岩相、南部の D, E 帯が角閃岩相高温部からグラニュライト相に相当する。肥後變成岩中に少量出現する苦鉄質變成岩類も、これらと良く対応した鉱物共生変化を示し、B~D 帯ではホルンブレンド角閃岩、E 帯では両輝石角閃岩、斜方輝石角閃岩(斜方輝石-ホルンブレンドグラニュライト)が出現する。一方、E 帯の苦鉄質變成岩類は一般に後退變成作用の影響を強く受けており、斜方輝石の加水反応によってカミントン閃石やゲーデル閃石が形成される。D 帯および E 帯の變成岩類については、ザクロ石-黒雲母、ザクロ石-堇青石、ザクロ石-斜方輝石の各地質温度計およびザクロ石-堇青石およびザクロ石-斜方輝石-斜長石-石英地質圧力計等を用いて 740~820°C, 約 600 MPa (D 帯), 800~870°C, 約 700 MPa (E 帯) の變成条件が見積られている(Osanai et al., 2006) (Fig. 8)。

肥後變成岩体における昇温期變成作用(Prograde metamorphism)は、D 帯のザクロ石-堇青石-黒雲母片麻岩で詳細に解析されている。この岩石には、最大粒径 30 mm に達するザクロ石が含まれ、堇青石、黒雲母(X_{Mg} : 0.38~0.43)と共生する。ザクロ石は顕著な組成累帯構造を示し、コアからリムへ Mg の増加(X_{Mg} : 0.12~0.23)と Ca の減少(X_{Ca} :

0.07~0.02)によって、成長過程で温度が上昇しつつ圧力が低下したことを示している。コアは多量の包有物を含むため暗紫色を示し、電気石、十字石、イルメナイト、ルチル、石英、アパタイトと微量な珪線石が包有される。リムは淡桃色で、多量のフィプロライトが包有される。また、優黒質部の堇青石(X_{Mg} : 0.55~0.59)は、コアの部分で特徴的に緑色スピネル、珪線石とともにシンプレクタイトを形成し、稀にコランダムを包有する。この堇青石は部分溶解により形成された黒雲母を欠く優白質部の堇青石(X_{Mg} : 0.61~0.64)とは明瞭な組成差を示す(Fig. 15 参照)。優白質部の堇青石は、スピネル、珪線石等の包有物を欠く点でも優黒質部の堇青石と区別できる。

優黒質部は、十字石の分解に始まる昇温期の変成過程(Fig. 8 の D-0 から D-1)で、十字石+石英=ザクロ石+堇青石+珪線石+Vapor, 十字石+コランダム=スピネル+珪線石, 十字石=堇青石+スピネル+珪線石+Vapor, ザクロ石+珪線石=堇青石+スピネルなどの反応の結果である。

十字石の分解によって形成されたザクロ石のコアにはイルメナイト、ルチルおよび珪線石が包有されることから GRAIL 地質圧力計が適用でき、720~730 MPa の圧力条件が得られる。十字石の高い X_{Mg} 値(0.26~0.30)は、このような高圧条件を支持するとも考えられる。この時、珪線石が同時に存在することから、温度条件は約 700°C と考えられ、藍晶石=珪線石の反応曲線と十字石+石英=ザクロ石+堇青石+珪線石+Vapor の反応曲線の交点付近となる。十字石-ザクロ石地質温度計を適用すると 710°C が得られる。肥後變成岩類 D 帯の分布地域から、川砂として藍晶石が発見されている(加納・宇留野, 1995)。もし、岩石中から藍晶石が見出されるとしたら、それはザクロ石-堇青石-黒雲母片麻岩からの可能性が高く、上述のザクロ石のコアが形成される以前は、藍晶石安定領域を経ていた可能性が指摘できる。D 帯のザクロ石-堇青石-黒雲母片麻岩は、このような温度が上昇しつつ圧力が低下する昇温期變成作用の結果、最終的に 740~820°C, 約 600 MPa の變成条件に達した(Fig. 8)。

含サフィリングラニュライト中のサフィリン(X_{Mg} =0.82~0.86)は最大 2 cm に達する自形~半自形の斑状変晶で、淡灰色~淡黄灰色の弱い多色性を示す。スピネル(X_{Mg} =0.55~0.57)、コランダムと接する場合が多く、周囲は堇青石(X_{Mg} =0.83~0.89)に囲まれる。共存する黒雲母は X_{Mg} =0.80~0.84 で、斜長石は高い An 値(91~95 mol%)を示す。サフィリン-スピネル地質温度計では、900~950°C が見積もられる。サフィリンを欠くドメインではザクロ石が出現し、コアは Alm0.48~0.52, Sps0.01~0.03, Prp0.34~0.41, Grs0.06~0.14(X_{Mg} =0.39~0.47)の組成を持つ。このザクロ石は、コランダム、スピネル、堇青石、黒雲母、斜長石と共生し、斜長石中には珪線石や石英が包有されている。ザクロ石のコア組成を用いたザクロ石-黒雲母-斜長石-石英地質圧力計では、温度を上述の 900~950°C とすると約 900 MPa となる(Fig. 8)。この温度・圧力条件は、肥後變成岩の最高變成条件を示す E 帯の變成条件(約 700 MPa,

800~870°C : Obata et al., 1994) よりもさらに高温条件を示し, 超高温変成条件に相当する. また, ザクロ石のリム組成を用いて後退変成条件を求めると, ザクロ石-堇青石地質温度計では 730~810°C, ザクロ石-黒雲母地質温度計では 720~820°C が得られる. この温度条件で堇青石-スピネル地質圧力計では 550~600 MPa が得られた. したがって, 後退変成作用の温度・圧力条件は D 帯のそれらに相当する. サフィリングラニュライトの初期変成条件 (900~950°C, 900 MPa) は, かつて E 帯よりも深部に存在したグラニュライト (F 帯とみなす) が, 初期変成作用の後, 断層に沿って併入したマントル由来のカンラン岩にブロックとして取り込まれて上昇し, 現在の D 帯中に貫入・定置, さらに D 帯の変成条件下で再変成したものと見なすことができる (Osanai et al., 1998). サフィリン含有グラニュライトを包有する変成カンラン岩の変成条件も, D 帯の変成条件に相当する (水田, 1978).

3. 木山変成岩

木山変成岩は, 狭い蛇紋岩を挟んで岩体東部および西部に区分され, 東部は苦鉄質片岩で緑レン石-藍閃石の鉱物組み合わせが顕著に確認される青色片岩相であり, 黒瀬川構造帯の高圧変成岩類が示すローソン石青色片岩相よりも高温の緑レン石青色片岩相に相当する. 岩体西部では, 苦鉄質片岩で藍閃石が認められず緑レン石-バロワ閃石の鉱物組み合わせが卓越することから, 変成条件は緑レン石角閃岩相に相当する (坂野, 1963; 山本, 1964; 唐木田, 1987; 梶島ほか, 1995). これらの変成岩類のおおよその温度・圧力条件は, Fig. 8 の緑レン石青色片岩相低圧部~緑レン石角閃岩相に相当すると考えられる.

同位体年代

1. 黒瀬川構造帯

九州・黒瀬川構造帯の岩石については, 1960 年代後半から活発な同位体年代測定が行われ, 400 Ma よりも古い年代を含む多数の同位体年代が報告されてきた. 片麻岩類については, Rb-Sr 系あるいは K-Ar 系の黒雲母, 白雲母鉱物年代として, 175~451 Ma の年代値が得られ (早瀬・石坂, 1967; Hayase and Nohda, 1969; 植田・大貫, 1968; Ueda and Onuki, 1969; Nohda, 1973), 角閃岩類については, K-Ar ホルンブレンド年代として 409 Ma (柴田ほか, 1979) が報告された. Yoshikura et al. (1990) および唐木田 (1992) は, これらの年代をまとめて報告している. 小山内ほか (2000) は, 小崎構造線・坂本地区のザクロ石-単斜輝石グラニュライトから約 420 Ma, 破木構造線西縁の坪木ノ鼻地域のザクロ石角閃岩から約 490 Ma, 坪木ノ鼻地域の単斜輝石含有角閃岩から約 540 Ma の Sm-Nd 全岩-鉱物アイソクロン年代を求めた. 斎藤ほか (2005) は, 蛇紋岩メランジュ中のブロックとして産する変ハンレイ岩, およびホルンブレンド片麻岩 (高温型?) から, それぞれ 371 ± 19 Ma, 405 ± 20 Ma のホルンブレンド K-Ar 年代を報告している. なお, 青色片岩など高圧変成岩の変成年代として, 四国・黒瀬川構造帯から約 200 Ma (磯崎・板谷, 1990 など) および 376~

445 Ma (丸山・植田, 1975; 植田ほか, 1980) が報告されていた. 最近になって, 吉本ほか (2011) は Rb-Sr 全岩アイソクロン法により青色片岩相の変成年代を約 270 Ma とみなした. また, 上村ほか (2012) は白雲母の K-Ar 年代として 280.2 ± 5.8 Ma および 299.0 ± 6.1 Ma を報告し, 主要な高圧変成年代とみなしている. 一方, 九州・黒瀬川構造帯の花崗岩類については, Rb-Sr 鉱物年代あるいは Rb-Sr 全岩アイソクロン年代の 400~430 Ma (早瀬・石坂, 1967; Yanagi, 1975) や, K-Ar ホルンブレンド年代の 450 Ma (梅田ほか, 1986), 408 Ma (斎藤ほか, 2005) が報告されてきた. 吉本ほか (2013) および小山内ほか (2014) は, 新たに九州・黒瀬川帯の花崗岩類 (八代花崗岩), 高温型および高圧型変ハンレイ岩類について LA-ICP-MS ジルコン U-Pb 年代測定を行い, 花崗岩類からはコンコーディア年代として約 450 Ma を報告した (Fig. 9). 四国の三滝花崗岩類は, 黒瀬川構造帯の花崗岩類の典型とみなされ, 足立・鈴木 (1993) による CHIME 年代, および Hada et al. (2000) によるジルコン U-Pb ディスココーディア年代 (上部切片年代) として約 440 Ma が報告されていた. したがって, 黒瀬川構造帯の蛇紋岩メランジュ中にブロックとして含まれる花崗岩類は, 九州~四国の広域でほぼ同時期 (オルドビス紀後期) の火成活動の産物と見なすことができる. 高温型変ハンレイ岩では原岩の火成活動年代 (LA-ICP-MS ジルコン U-Pb 年代) は, 花崗岩類とほぼ同時期の約 450 Ma であり, 高圧型変ハンレイ岩からは 490~500 Ma の原岩火成活動年代が報告されている (Fig. 10 : 吉本ほか, 2013; 小山内ほか, 2014).

ローソン石青色片岩とともに高圧変成作用を受けたとみなされる泥質片岩 (藍閃石-フェンジャイト片岩) からも LA-ICP-MS ジルコン U-Pb 年代が報告され, 420~3300 Ma のコンコダント年代が得られている (Yoshimoto et al., 2013). これは, 泥質片岩の原岩となる堆積岩の堆積年代が少なくとも 420 Ma 以降であることを示し, 上述した 270~300 Ma の高圧変成作用の年代 (吉本ほか, 2011; 上村ほか, 2012) と矛盾しない.

2. 肥後変成帯

肥後変成帯からは数多くの年代報告がある. Osanai et al. (2006) はこれらをまとめ, 変成帯から 5 つのイベントが見いだせることを示した. ここでは最新データを含めた報告年代を Table 1 にまとめ, この 5 つのイベントの概略を記す.

1) 前期原生代 (約 2.2~1.6 Ga) : 肥後変成岩類 (ザクロ石-堇青石-黒雲母片麻岩) および同地域のアナテクサイト (ザクロ石-堇青石-トータル岩) に含まれるジルコンのインヘリテッド年代として得られる (鈴木ほか, 1998; Osanai et al., 1999; Sakashima et al., 2003; Maki et al., 2014).

2) カンブリア紀~デボン紀 (約 550~450 Ma) : 肥後変成岩類のザクロ石-堇青石-黒雲母片麻岩中のジルコンのインヘリテッド年代として得られる (鈴木ほか, 1998). また, 過アルミナ質グラニュライト (コランダム-スピネル-黒雲母を含む) に含まれる黒雲母から 377 Ma の K-Ar 年代の報告もある (Ueda and Onuki, 1969). 一方, ペルム紀のフズリ

Fig. 9. Representative concordia diagrams of LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and CL-images of zircon grains for granitic rocks from the Kurosegawa Tectonic Belt (modified after Osanai et al., 2014). Each analysis spot (white scale bows are 25 μ m, circle) is labeled with the analysis number, the concordant $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age with the 2 σ error and the Th/U ratio. (a) All concordant data of Grt-bearing Ms-Bt granite, (b) Concordia age of Grt-Ms-Bt gneissose granite, (c) Concordia age of Grt-Ms-Bt gneissose granite.

ナ化石を産出する竜峰山變成岩類中の異地性岩体とされている氷川トータル岩の年代として 503 Ma のジルコン SHRIMP 年代が得られている (Sakashima et al., 2003).

3) 前期ペルム紀 (約 280 Ma): 肥後變成岩類の昇温期變成作用の時期. ザクロ石-堇青石-黒雲母片麻岩中のザクロ石コアとその包有物による Sm-Nd 系の内部アイソクロン年代として得られる (Hamamoto et al., 1999).

4) 後期ペルム紀~トリアス紀 (約 260~230 Ma): 肥後變成岩類のピーク變成作用の時期. ザクロ石-堇青石-黒雲母片麻岩中のザクロ石リムと包有物による Sm-Nd 内部アイソクロン年代, アナテクサイト (S タイプトータル岩) のジルコン SHRIMP 年代および Rb-Sr 全岩アイソクロン年代,

變成岩中のジルコンコアの CHIME 年代などより得られている (小山内ほか, 1993; Hamamoto et al., 1999; Osanai et al., 1998; Maki et al., 2014 など).

一方, 間の谷變成岩類の砂泥質變成岩より分離された白雲母が後期トリアス紀~前期ジュラ紀 (約 210~180 Ma) の K-Ar 年代を示すことが知られている (岡本ほか, 1989; 永川ほか, 1997). 白雲母の K-Ar 系年代の同位体閉止温度から, ピーク變成作用後の冷却年代と解釈される.

5) 前期白亜紀 (約 120~90 Ma): 肥後變成岩類および竜峰山變成岩類の広い範囲から報告がある. 特に泥質變成岩類より分離された Rb-Sr 系の黒雲母アイソクロン年代や K-Ar 系の鉱物年代 (山口・南新, 1986; 中島ほか, 1995; 坂島

Fig. 10. Representative concordia diagrams of LA-ICP-MS zircon U-Pb dating for metagabbro from the Kurosegawa tectonic belt (modified after Osanai et al., 2014). (a) Concordia age of Grt-Cpx granulite (HT-type metagabbro), (b) Concordia age of Grt amphibolite (HT-type metagabbro), (c) Concordia age of Grt amphibolite (HT-type metagabbro), (d) Concordia age of HP-type Gln-bearing metagabbro.

ほか, 1999; Hamamoto et al., 1999 など), および堇青石含有ミグマタイトのモナザイト CHIME 年代(Dunkley et al., 2008)はこの時代に集中する。これらの年代は肥後変成岩類および竜峰山変成岩類に貫入する肥後深成岩類(白石野花崗閃緑岩および万坂トータル岩)の貫入年代と合致する(亀井ほか, 1997; Sakashima et al., 2003)。このことから、深成岩類の貫入による変成帯再加熱の時期と解釈できる。宮の原トータル岩の活動に関しては、195 Ma の K-Ar 年代(坂島・竹下, 1997)や 211 Ma の Sm-Nd 内部アイソクロン年代(Kamei et al., 2000)の報告後に 110 Ma のジルコン SHRIMP 年代が報告され(Sakashima et al., 2003), さらに本岩体の大部分が 503 Ma を示す氷川トータル岩に相当する(斎藤ほか, 2005)との解釈もあり見解が分かれている。

肥後変成帯の主要な変成年代の解釈については、ペルム紀

末〜トリアス紀と考える説(例えば, Osanai et al., 2006)と、白亜紀と考える説(例えば, Dunkley et al., 2008)がある。120~90 Ma の白亜紀年代は、グラニュライト相泥質変成岩の K-Ar 系あるいは Rb-Sr 系の黒雲母年代としても得られ、これらの系の閉止温度を考慮するとピーク変成条件の 800~900°C から 300°C 程度まで、地殻深部全体が急激に温度低下したことになる。Osanai et al. (2006) では、様々な手法で得られる白亜紀の年代を、ほぼ同時期に活動した肥後深成岩類による地殻内部での再加熱による年代と解釈したが、今後の詳細な年代学的研究が必要である。

3. 木山変成岩

木山変成岩に関する年代測定も 1960 年代から活発に行われてきた。泥質片岩の白雲母を用いた K-Ar 年代として、297~337 Ma (Miller et al., 1963), 318 Ma (植田・大貫,

Table 1. Recent geochronological data from the Higo metamorphic terrane.

	Complex	Age(Ma)	Mineral/Isochron	Method	Rock name	References
Proterozoic	Higo MC	2155	Zrn (C)	SHRIMP	Grt-Crd-Bt gneiss	Sakashima et al. (2003)
	Higo MC	ca. 1940	Zrn (C)	CHIME	Grt-Crd-Bt gneiss	Suzuki et al. (1998)
	Higo MC	ca. 1790	Zrn (C)	SHRIMP	Grt-Crd tn (anatexite)	Osanai et al. (1998)
	Higo MC	1645	Zrn (C)	SHRIMP	metatexite migmatite	Maki et al. (2014)
Cambrian	Higo MC	550-450	Zrn (C)	CHIME	Grt-Crd-Bt gneiss	Suzuki et al. (1998)
	Ryuhozan MC	503	Zrn (C)	SHRIMP	Hikawa tonalite	Sakashima et al. (2003)
	Higo MC	497	Zrn (C)	SHRIMP	metatexite migmatite	Maki et al. (2014)
	Higo MC	377	Phl	K-Ar	Crn-Spl-Phl granulite	Ueda and Onuki (1969)
Early Permian	Higo MC	279	Grt (C)-Incl-WR	Sm-Nd (M)	Grt-Crd-Bt gneiss	Hamamoto et al. (1999))
Late Permian - Triassic	Higo MC	261	Grt (C)-Incl	Sm-Nd (M)	Grt-Crd-Bt gneiss	Hamamoto et al. (1999)
	Higo MC	261	Zrn (C)	SHRIMP	metatexite migmatite	Maki et al. (2014)
	Higo MC	258	Zrn (R)	SHRIMP	Grt-Crd tn (anatexite)	Osanai et al. (1998)
	Higo MC	258	Hbl-FF-WR	Sm-Nd (M)	Hbl gabbro	Hamamoto et al. (1999)
	Higo MC	ca. 250	Zrn (C)	CHIME	pelitic/psammitic gneisses?	Suzuki et al. (1998)
	Higo MC	250	WR	Sm-Nd (W)	Spr-Crn granulite	Osanai et al. (1998)
	Higo MC	246	Zrn (C)	SHRIMP	metatexite migmatite	Maki et al. (2014)
	Higo MC	239	Grt (R)-FF-WR	Sm-Nd (M)	Grt-Crd-Bt gneiss	Hamamoto et al. (1999)
	Higo MC	235	WR	Rb-Sr (W)	Amphibolite/Skarn	Yamaguchi and Minamishin (1986)
	Higo MC	229	WR	Rb-Sr (W)	Grt-Opx-Bt tn (anatexite)	Osanai et al. (1998)
	Higo MC	226	Grt (R)-Incl	Sm-Nd (M)	Grt-Crd-Bt gneiss	Hamamoto et al. (1999)
	Manotani MC	214	Ms	K-Ar	Psammitic schist	Nagakawa et al. (1997)
	Manotani MC	206	Ms	K-Ar	Psammitic schist	Nagakawa et al. (1997)
	Higo PC	211	Hbl-WR	Sm-Nd (M)	Miyanohara tonalite	Kamei et al. (2000)
	Higo PC	195	Hbl	K-Ar	Miyanohara tonalite	Sakashima and Takeshita (1997)
Early Jurassic	Manotani MC	185	Ms	K-Ar	Pelitic schist	Nagakawa et al. (1997)
	Manotani MC	182	Ms	K-Ar	Pelitic schist	Nagakawa et al. (1997)
	Manotani MC	182	Ms	K-Ar	Pelitic schist	Okamoto et al. (1989)
	Manotani MC	176	Ms	K-Ar	Pelitic schist	Nagakawa et al. (1997)
	Manotani MC	176	Ms	K-Ar	Pelitic schist	Nagakawa et al. (1997)
Cretaceous	Higo MC	123	Mnz	CHIME	Spr-Crn granulite	Suzuki et al. (1998)
	Higo MC	117	Zrn (R)	SHRIMP	Grt-Crn-Bt gneiss	Sakashima et al. (2003)
	Higo MC	116	Mnz	CHIME	Grt-Crn granulite	Suzuki et al. (1998)
	Higo MC	116	Mnz	CHIME	migmatite (Crd bearing)	Dunkley et al. (2008)
	Higo MC	116	Zrn (R)	SHRIMP	metatexite migmatite	Maki et al. (2014)
	Higo MC	115	Mnz	CHIME	migmatite (Crd absent)	Dunkley et al. (2008)
	Higo MC	115	Mnz	CHIME	migmatite (Crd bearing)	Dunkley et al. (2008)
	Higo MC	113	Mnz	CHIME	migmatite (Crd bearing)	Dunkley et al. (2008)
	Higo MC	113	Mnz	CHIME	anatectic granodiorite	Dunkley et al. (2008)
	Higo MC	115	Mnz	CHIME	felsic dyke	Dunkley et al. (2008)
	Higo MC	110	Zrn	SHRIMP	diatexite migmatite	Maki et al. (2014)
	Higo MC	110	Bt	K-Ar	Bt gneiss	Shibata and Yamamoto (1965)
	Higo MC	104	Bt-FF-WR	Rb-Sr (M)	Spr-Crn granulite	Osanai et al. (2001)
	Higo MC	103	Bt-FF-WR	Rb-Sr (M)	Grt-Crd-Bt gneiss	Hamamoto et al. (1999)
	Higo MC	103	Hbl	K-Ar	Hbl gabbro	Hamamoto et al. (1999)
	Higo MC	99	Bt-WR	Rb-Sr (M)	Amphibolite/Skarn	Yamaguchi and Minamishin (1986)
	Ryuhozan MC	113-80	Hbl	K-Ar	mafic schist	Sakashima et al. (1999)
	Ryuhozan MC	ca. 99	Ms	K-Ar	chloritoid schist	Sakashima et al. (1999)
	Ryuhozan MC	91	Bt	K-Ar	Psammitic schist	Sakashima et al. (1999)
	Ryuhozan MC	113-79	Hbl	K-Ar	Hikawa tonalite	Sakashima et al. (1999)
	Higo PC	122	WR	Rb-Sr (W)	Shiraishino granodiorite	Kamei et al. (1997)
	Higo PC	100	Kfs-WR	Rb-Sr (M)	Shiraishino granodiorite	Kamei et al. (1997)
	Higo PC	105	Hbl	K-Ar	Shiraishino granodiorite	Kamei et al. (2000)
	Higo PC	104	Bt-WR	Rb-Sr (M)	Shiraishino granodiorite	Nakajima et al. (1995)
	Higo PC	103	Bt	K-Ar	Shiraishino granodiorite	Nakajima et al. (1995)
	Higo PC	ca. 110	Zrn (R)	SHRIMP	Miyanohara tonalite	Sakashima et al. (2003)
	Higo PC	107	Hbl-WR	Rb-Sr (M)	Miyanohara tonalite	Kamei et al. (2000)
	Higo PC	106	Bt-WR	Rb-Sr (M)	Miyanohara tonalite	Nakajima et al. (1995)
	Higo PC	100	Bt	K-Ar	Miyanohara tonalite	Nakajima et al. (1995)
	Higo PC	113	Zrn (C)	SHRIMP	Manzaka tonalite	Sakashima et al. (2003)
	Ryuhozan MC	108	Zrn (C)	SHRIMP	Gabbroic dike	Sakashima et al. (2003)
	Ryuhozan MC	104-80	Hbl	K-Ar	Gabbroic dike	Sakashima et al. (1999)
Miocene	Ryuhozan MC	16	Hbl	K-Ar	Andesite dike	Sakashima et al. (1999)

Abbreviations: MC, metamorphic complex; PC, plutonic complex; (C), core; (R), rim; Incl, inclusion minerals; FF, felsic fraction; WR, whole rock; (M), mineral isochron; (W), whole-rock isochron.

1968), 290~306 Ma (樺島ほか, 1995)が報告され, また, 白雲母の Rb-Sr 年代としては 429 Ma および 454 Ma (早瀬・石坂, 1967)が示されていたが, 石坂(1972)は白雲母アイソクロン年代として 320 Ma を再定義した。これらの約

300 Ma の年代は低温・高圧型の変成作用の年代と解釈され, Tsutsumi et al.(2003, 2011)が報告した最も若い碎屑性ジルコンの SHRIMP U-Pb 年代(381.7±27.6 Ma)から見積もられる泥質片岩の原岩堆積年代とも矛盾しない。

Fig. 11. Topographic maps showing sites visited during the excursion. Scale bars correspond to 500 m. (a) Tsubokinohana (Stop 1). (b, c) Izumi (Stop 2). (d, e) Itsuki (Stop 3). (f) Tanohira (Stop 4). (g) Uchida (Stop 5). (h) Shimojin (Stop 6).

見学地点の説明

Stop 1 坪木の鼻海岸の高温変成岩類(ザクロ石角閃岩・ザ

クロ石単斜輝石グラニュライト等)(黒瀬川構造帯)(Figs. 11a, 12)

[地形図] 1 : 25,000 [計石]

Fig. 12. Modes of occurrence (a, b) and photomicrographs of garnet-clinopyroxene granulite (c) and amphibolite (d) from Tsubokinohana (Stop 1) in the Kurosegawa Tectonic Belt. The photographs of a–c are after Osanai et al. (2014). HT-type metagabbro corresponds to granulites and amphibolites.

[位置] 32°19'11"N, 130°27'57"E

[解説] 芦北町坪木の鼻 (Fig. 11a) には、黒瀬川構造帯の高温型変ハンレイ岩類が広く分布する。周囲には蛇紋岩が認められ、変ハンレイ岩類の分布域は、東西約 400 m、南北約 500 m に及ぶ (唐木田ほか, 1977, 1979)。これらの変ハンレイ岩類は、ザクロ石–単斜輝石グラニュライト、ザクロ石角閃岩および角閃岩であり、ときに珪長質片麻岩レイヤーを伴う (Fig. 12a)。変ハンレイ岩類には、片麻状構造が発達する (Fig. 12b)。面構造は一般に北西–南東方向 (N45°–65°W) であり、南西へ急傾斜 (50°–70°) する。ザクロ石–単斜輝石グラニュライトおよびザクロ石角閃岩は、径 1 cm 程度のザクロ石斑状変晶を含むことがある。ザクロ石–単斜輝石グラニュライトは、主にザクロ石、単斜輝石、ホルンブレンド、斜長石、石英から構成され (Fig. 12c)、ホルンブレンドや斜長石のモードは試料により異なる。ザクロ石角閃岩は、単斜輝石を含まない。角閃岩は、ホルンブレンドと斜長石から構成される (Fig. 12d)。石英は少量であるが、すべての試料に含まれる。小山内ほか (2000) は、坪木の鼻のザクロ石角閃岩を用いて、 416 ± 16 Ma の Sm–Nd 内性アイソクロン年代を報告している。また、近年、ザクロ石–単斜輝石グラ

ニュライト中のジルコンから、 447 ± 3 Ma の U–Pb 年代が報告されている (小山内ほか, 2014)。これらの年代はそれぞれ、變成作用の時期および原岩のハンレイ岩マグマの活動時期と解釈されている。

Stop 2 八代市泉町の高圧變成岩類 (青色片岩・ヒスイ輝石・藍閃石岩等) (黒瀬川構造帯) (Figs. 11b, 11c, 13)

[地形図] 1 : 25,000 [鏡] [柿迫]

[位置] 32°32'17"N, 130°45'17"E

[解説] 八代市泉町西部 (Fig. 11b, 11c) には、黒瀬川構造帯の低温・高圧型変ハンレイ岩類が分布する。これらの詳細な産状および岩石記載は、斎藤・宮崎 (2006) によって報告されている。変ハンレイ岩類は、蛇紋岩を伴って産し、塊状で片麻状構造は認められない (Fig. 13a, 13b)。ヒスイ輝石を含む変ハンレイ岩は、ヒスイ輝石、藍閃石、緑泥石、パンペリー石を變成鉱物として含み、単斜輝石が残存結晶として認められる (Fig. 13c)。一方、ヒスイ輝石を含まない試料は、ホルンブレンドと斜長石を残存結晶として含む場合がある (Fig. 13d)。両試料とも變成鉱物としてローソン石を伴う

Fig. 13. Modes of occurrence (a, b) and photomicrographs of glaucophane-bearing metagabbros (c–e) and lawsonite blueschist (f) from Izumi (Stop 2) in the Kurosegawa Tectonic Belt. The photomicrographs in (c)–(e) are after Osanai et al. (2014).

ことがある。粗粒な変ハンレイ岩は、単斜輝石のほか、緑褐色を呈する粗粒なホルンブレンドと斜長石を残存結晶として含む場合がある (Fig. 13e)。多くのホルンブレンドのリムには、藍閃石が形成されている (Fig. 13e)。小山内ほか (2014) は、粗粒な変ハンレイ岩から 492 ± 4 Ma のジルコン U–Pb

年代を報告した。この年代は、原岩であるハンレイ岩マグマの活動時期と解釈されている。同地域の周囲に分布する沢には、主に藍閃石、ローソン石、アルバイトから構成される青色片岩も認められる (Fig. 13f)。また、斎藤・宮崎 (2006) は、枕状溶岩の構造を残す変成玄武岩を報告している。これ

Fig. 14. Mode of occurrence (a) and photomicrograph (b) of lawsonite blueschist from Itsuki (Stop 3) in the Kurosegawa Tectonic Belt.

Fig. 15. Modes of occurrence (a, b) and photomicrographs of garnet-cordierite-biotite gneiss (c) and anatectic cordierite tonalite (d) from Tanohira (Stop 4) in the Higo metamorphic terrane.

らは樹枝状単斜輝石とともに多量のローソン石を含む(斎藤・宮崎, 2006)。

Stop 3 五木村の青色片岩・泥質片岩ブロックと蛇紋岩(黒瀬川構造帯) (Figs. 11d, 11e, 14)

[地形図] 1 : 25,000 [宮園]

Fig. 16. Close-up views (a, b) and photomicrographs of sapphirine-corundum-cordierite granulite (c) and garnet-corundum granulite (d) from Uchida (Stop 5) in the Higo metamorphic terrane.

[位置] $32^{\circ}28'26''\text{N}$, $130^{\circ}49'06''\text{E}$

[解説] 熊本県五木村子別峠の南方 (Fig. 11d, 11e) には、黒瀬川構造帯のローソン石青色片岩と蛇紋岩が分布する。これらの直接的な境界は植生によって確認できないが、10 m 程度の青色片岩の露頭から数メートル隔てて小規模な蛇紋岩が産する (Fig. 14a)。本露頭の青色片岩は、主にローソン石と藍閃石から構成され、比較的アルバイトに富む (Fig. 14b)。本露頭から北西約 100 m には、泥質片岩も産する。泥質片岩は、主に石英、スチルプノメレン、フェンジャイト、グラファイトから構成され、藍閃石やローソン石などの低温・高圧型変成作用の指標となる鉱物は今のところ見出されていない。

Stop 4 宇城市小川町田平の高温変成岩類(ザクロ石-堇青石片麻岩等) (肥後変成帯) (Figs. 11f, 15)

[地形図] 1 : 25,000 [甲佐]

[位置] $32^{\circ}36'05''\text{N}$, $130^{\circ}46'00''\text{E}$

[解説] 宇城市小川町田平 (Fig. 11f) は、肥後変成帯の D 帯 (Obata et al., 1994) に位置し、ザクロ石-堇青石-黒雲母片麻岩が分布する。現在は、植生の繁茂により観察可能な露頭は小規模であるが、実際には数十メートル以上の露頭が存在する (Fig. 15a)。ザクロ石-堇青石-黒雲母片麻岩は、径 1 cm 以上の粗粒なザクロ石斑状変晶を含み、しばしば優白

質ポットとして堇青石トータル岩を伴う (Fig. 15b)。ザクロ石斑状変晶はしばしばリムに多量の珪線石を含む (Fig. 15c)。基質部は堇青石、黒雲母、斜長石、カリ長石、石英から構成され、スピネルが堇青石に包有される (Fig. 15c)。この岩石からは、280–230 Ma の Sm–Nd 内部アイソクロン年代 (Hamamoto et al., 1999) および 258 Ma のジルコン U–Pb 年代が報告されている (Osanai et al., 1998)。堇青石トータル岩は、自形の斜長石と堇青石を含み、その粒間を石英が充填する (Fig. 15d)。また、しばしばザクロ石を伴う。全体に優白質であり、黒雲母の量は少ない。

Stop 5 松橋町内田の高温変成岩類(サフィリングラニュライト・ザクロ石コランダムグラニュライト等) (肥後変成帯) (Figs. 11g, 16)

[地形図] 1 : 25,000 [松橋]

[位置] $32^{\circ}37'34''\text{N}$, $130^{\circ}43'03''\text{E}$

[解説] 宇城市松橋町内野 (Fig. 11g) には、コランダムを含むグラニュライトブロックが、変カンラン岩基質中に産する。変カンラン岩の周囲には、ザクロ石-黒雲母片麻岩が分布し、肥後変成帯の D 帯 (Obata et al., 1994) に相当する。これらのグラニュライトブロックからは超高温変成条件が見積もられており、E 帯よりもさらに深部に存在した岩石 (F 帯) が、超苦鉄質岩の剪断運動を伴う上昇に伴って地表に露

Fig. 17. Mode of occurrence (a) and photomicrograph (b) of epidote blueschist from Shimojin (Stop 6) in the Kiyama metamorphic rock.

出したと考えられている (Osanai et al., 1998). 変カンラン岩は著しく割裂されており、コランダムを含むグラニュライトは 0.5~10 m 程度の岩塊として産する。グラニュライトブロックは非常に堅固であり、粗粒な突起状のコランダムが肉眼で観察される (Figs. 16a,b). これらのグラニュライトは、全岩化学組成の微妙な相違により、鉱物組み合わせが変化する (Osanai et al., 1998). サフィリンを含むものは、主にサフィリン、コランダム、スピネル、堇青石から構成される (Fig. 16c). ザクロ石を含むものはサフィリンを欠き、主にザクロ石、コランダム、スピネルから構成される (Fig. 16d). 両岩石とも黒雲母 (もしくはプロゴパイト) および斜長石を含むことが多い。変かんらん岩は、主にカンラン石、斜方輝石、クロムスピネル、透輝石から構成される。なお、本見学地の岩石については、本案内書の地質概略にやや詳細に記載しているので参照されたい。

Stop 6 益城町下陣の青色片岩 (木山變成岩) (Figs. 11h, 17)

[地形図] 1 : 25,000 [大矢野原]

[位置] 32°47'42"N, 130°53'09"E

[解説] 益城町下陣の金山川 (Fig. 11h) には、木山變成岩の緑レン石青色片岩が分布する。露頭は、金山川沿いに小規模に点在し (Fig. 17a), 周囲には蛇紋岩が分布する。緑レン石は、斑状変晶として産し、基質部は藍閃石、緑泥石、アルバイト、チタナイトから構成される (Fig. 17b). 緑泥石と藍閃石が顕著な片理を構成する (Fig. 17b). 一般に緑泥石に富み、野外では緑色を呈する場合が多いが、濃青色を示す薄層に藍閃石が多産する。金山川沿いには、転石も多く認められ、露頭と同様に緑色を呈する片岩のほか、濃青色を示す青色片岩也多産する。また、観察地点から数百メートル上流には、蛇紋岩を不整合に覆う上部白亜系御船層群の基底礫岩が認められる。

謝 辞

匿名の査読者 2 名には丁寧な査読をいただき、本稿は大幅に改善された。編集担当の志村俊昭氏および大和田正明氏には、適切で有益な助言をいただいた。以上の方々に記して感謝申し上げる。

文 献

- 足立 守・鈴木和博 (Adachi, M. and Suzuki, K.), 1993, 黒瀬川帯の变成岩類・花崗岩類の CHIME 年代. 日本地質学会第 100 年学術大会講演要旨 (100th Ann. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.), 615.
- 坂野昇平 (Banno, S.), 1962, 熊本県木山東方の变成岩. 地質雑 (Jour. Geol. Soc. Japan), 69, 476-477.
- Dunkley, D. J., Suzuki, K., Hokada, T. and Kusiak, M. A., 2008, Contrasting ages between isotopic chronometers in granulites; Monazite dating and metamorphism in the Higo Complex, Japan. *Gondwana Res.*, 14, 624-643.
- Evans, B. W., 1990, Phase relations of epidote-blueschist. *Lithos*, 25, 3-23.
- Hada, S., Yoshikura, S. and Gabites, E. J., 2000, U-Pb zircon ages for the Mitaki igneous rocks, Siluro-Devonian tuff, and granitic boulders in the Kurosegawa Terrane, Southwest Japan. *Mem. Geol. Soc. Japan*, 56, 183-198.
- Hamamoto, T., Osanai, Y. and Kagami, H., 1999, Sm-Nd, Rb-Sr and K-Ar geochronology of the Higo metamorphic terrane, west-central Kyushu, Japan. *Island. Arc.*, 8, 323-334.
- Hara, I., Shiota, T., Hide, K., Goto, M., Seki, S., Kaikiri, K., Takeda, K., Hayasaka, Y., Miyamoto, T., Sakurai, Y. and Ohtomo, Y., 1992, Tectonic evolution of the Sambagawa schists and its implications in convergent margin process. *Jour. Sci. Hiroshima Univ., Ser. C*, 9, 495-595.
- Hayama, Y., 1976, Re-examination of gneissose garnet amphibolite from the Kurosegawa structural belt of Southwest Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 82, 35-49.
- 端山好和 (Hayama, Y.), 1991, 古領家古陸の復元. 地質雑 (Jour. Geol. Soc. Japan), 97, 475-491.
- 早瀬 一・石坂恭一 (Hayase, I. and Ishizaka, K.), 1967, Rb-Sr 法による地質年令 (I) - 西南日本 - 岩鉱 (Jour. Mineral. Petrol. Econ. Geol.), 58, 201-212.
- Hayase, I. and Nohda, S., 1969, Geochronology of the "Oldest

- Rocks" of Japan. *Geochem. Jour.*, **3**, 45–52.
- Ibuki, M., Oh, S., Tsuchiyama, A. and Hirajima, T., 2010, Analysis of Mn-bearing lawsonite occurring in meta-siliceous rocks in Hakoishi serpentinite mélange of Kurosegawa Belt, Central Kyushu, Japan. *Jour. Mineral. Petrol. Sci.*, **105**, 340–345.
- 石坂恭一 (Ishizaka, K.), 1972, 黒瀬川構造帯の火成岩・変成岩の Rb–Sr 年代. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **78**, 569–575.
- 磯崎行雄・板谷徹丸 (Isozaki, Y. and Itaya, T.), 1990, 四国中央部および紀伊半島西部黒瀬川地域北縁の弱変成岩類の K–Ar 年代—西南日本における黒瀬川地帯の広がりについて—. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **96**, 623–639.
- 梶島太郎・磯崎行雄・西村祐二郎・板谷徹丸 (Kabashima, T., Isozaki, Y., Nishimura, Y. and Itaya, T.), 1995, 九州中部, 低温高压型木山結晶片岩の K–Ar 年代の再検討. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **101**, 397–400.
- Kamei, A., 2004, An adakitic pluton on Kyushu Island, southwest Japan arc. *Jour. Asian Earth Sci.*, **24**, 43–58.
- Kamei, A., Owada, M., Hamamoto, T., Osanai, Y., Yuhara, M. and Kagami, H., 2000, Isotopic equilibration ages for the Miyanohara tonalite from the Higo metamorphic belt in central Kyushu, southwest Japan: implication for the tectonic setting during the Triassic. *Island. Arc*, **9**, 97–112.
- 亀井淳志・大和田正明・小山内康人・浜本拓志・加々美寛雄 (Kamei, A., Owada, M., Osanai, Y., Hamamoto, T. and Kagami, H.), 1997, 熊本県肥後変成帯に産する深成岩類の形成年代と冷却年代. 岩鉱 (*Jour. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*), **92**, 316–326.
- 上村謙一郎・藤本善航・平島崇男 (Kamimura, K., Fujimoto, Y. and Hirajima, T.), 2012, 九州八代地方の黒瀬川帯箱石サブユニットに産する高压変成岩類の白雲母 K–Ar 年代. 日本鉱物科学会 2012 年年会講演要旨 (*Ann. Meet. Japan Assoc. Mineral. Sci. 2012, Abstr.*), 254.
- 加納 博・宇留野勝敏 (Kano, H. and Uruno, K.), 1995, 肥後変成帯 (川砂) から藍晶石発見: あわせてジルコンおよびザクロ石について. 日本地質学会第 102 年大会講演要旨 (*102nd Ann. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.*), 288.
- Kelemen, P. B., Yogodzinski, G. M., and Scholl, D. W., 2003, Along-strike variation in lavas of the Aleutian island arc: Implications for the genesis of high Mg# andesite and the continental crust, in Eiler, J., ed., *Inside the subduction factory*, American Geophysical Union Geophysical Monograph, **138**, 223–246.
- 唐木田芳文 (Karakida, Y.), 1992, 秩父累帯・黒瀬川構造帯, レンズ状部の火成岩類・変成岩類. 唐木田芳文・早坂祥三・長谷義隆編, 日本の地質 9 九州地方 (*Regional Geology of Japan, Part 9, Kyushu*), 共立出版 (Kyoritsu Shuppan Co., Ltd), 57–63.
- 唐木田芳文・宮地貞憲・山本博達・大島恒彦 (Karakida, Y., Miyachi, S., Yamamoto, H. and Oshima, T.), 1979, 九州の黒瀬川構造帯—とくに坪木ノ鼻のザクロ石角閃岩について. 日本列島の基盤—加納 博教授記念論文集 (*Basement of the Japanese Islands: Prof. H. Kano Mem. Vol.*), 369–396.
- 唐木田芳文・大島恒彦・宮地貞憲 (Karakida, Y., Oshima, T. and Miyachi, S.), 1977, 九州における黒瀬川構造帯と秩父累帯. 秀敬編, 三波川帯 (*Sambagawa Belt*), 広島大学出版研究会 (Hiroshima Univ. Press), 165–177.
- 唐木田芳文・植田和男 (Karakida, Y. and Ueda, K.), 1983, 熊本県五木地域の黒瀬川構造帯の岩石, 特にアルバイト–4ソーダ輝石岩. 日本岩石鉱物鉱床学会・日本鉱物学会・日本鉱山地質学会昭和 58 年秋期連合講演会講演要旨集 (*1983 Joint Ann. Meet. Japan Assoc. Petrol. Econ. Geologist, Mineral Soc. Japan and Soc. Mining Geol. Abstr.*), 21.
- 唐木田芳文・山本博達・端山好和 (Karakida, Y., Yamamoto, H. and Hayama, Y.), 1987, 熊本県木山変成岩の塩基性片岩. 総合研究 A「西南日本内帯に点在する低温高压型変成帯とその帰属」連絡誌, 内帯高压変成帯 (*High-pressure metamorphic Belt in Inner zone of Southwest Japan*), **4**, 40–43.
- 唐木田芳文・山本博達・端山好和 (Karakida, Y., Yamamoto, H. and Hayama, Y.), 1989, 熊本県間の谷変成岩とその帰属. 地質学論集 (*Mem. Geol. Soc. Japan*), no. 33, 199–215.
- 唐木田芳文・山本博達・宮地貞憲・大島恒彦・井上 保 (Karakida, Y., Yamamoto, H., Miyachi, S., Oshima, T. and Inoue, T.), 1969, 九州の点在変成岩類の特徴と構造地質学的位置. 地質学論集 (*Mem. Geol. Soc. Japan*), no. 4, 3–21.
- 小林靖広・高木秀雄・加藤 潔・山後公二・柴田 賢 (Kobayashi, Y., Takagi, H., Katoh, K., Sango, K. and Shibata, K.), 2000, 日本の古生代花崗岩類の岩石化学的性質とその対比. 地質学論集 (*Mem. Geol. Soc. Japan*), no. 56, 65–88.
- Liou, J. G., Tsujimori, T., Zhang, R. Y., Katayama, I. and Maruyama, S., 2004, Global UHP metamorphism and continental subduction-collision: The Himalayan model. *Int. Geol. Rev.*, **46**, 1–27.
- 舞島 修・小山内康人 (Maishima, O. and Osanai, Y.), 1995, 間の谷変成岩類の変成作用と原岩構成. 日本地質学会第 102 年大会講演要旨 (*102nd Ann. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.*), 287.
- Maki, K., Fukunaga, Y., Nishiyama, T. and Mori, Y., 2009, Prograde *P–T* path of medium-pressure granulite facies calc-silicate rocks, Higo metamorphic terrane, central Kyushu, Japan. *Jour. Metamorphic Geol.*, **27**, 107–124.
- Maki, K., Yui, T.-F., Miyazaki, K., Fukuyama, M., Wang, K.-L., Martens, U., Grove, M. and Liou, J. G., 2014, Petrogenesis of metatexite and diatexite migmatites determined using zircon U–Pb age, trace element and Hf isotope data, Higo metamorphic terrane, central Kyushu, Japan. *Jour. Metamorphic Geol.*, **32**, 301–323.
- 松本達郎・勘米良亀齡 (Matsumoto, T. and Kanmera, K.), 1964, 5 万分の 1 地質図幅「日奈久」および同説明書 (*Geology of the Hinagu District. Geological Sheet Map 1: 50000*), 地質調査所 (Geol. Surv. Japan), 14p.
- 丸山茂徳・植田良夫 (Maruyama, S. and Ueda, Y.), 1975, 四国東部黒瀬川構造帯に伴う超塩基性岩体中の結晶片岩とその K–Ar 年代. 岩鉱 (*Jour. Japan, Assoc. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*), **70**, 47–52.
- McDonough, W. F. and Sun, S.-S., 1995, Composition of the Earth. *Chem. Geol.*, **120**, 223–253.
- Miller, J., Banno, S., Hashimoto, M. and Iwasaki, M., 1963, K–Ar ages of micas from the Sonogi, Konoha and Kiyama metamorphic terranes in Kyushu, Japan. *Japan. Jour. Geol. Geogr.*, **34**, 197–203.
- 宮地貞憲 (Miyachi, S.), 1969, 八代片麻岩中の almandinous pyrope. 九大研報 (*Sci. Rep. Fac. Sci. Kyushu Univ. (Geology)*), **9**, 67–72.
- Miyazaki, K., 2004, Low–*P*–high–*T* metamorphism and the role of heat transport by melt migration in the Higo Metamorphic Complex, Kyushu, Japan. *Jour. Metamorphic Geol.*, **22**, 793–809.
- Miyazoe, T., Nishiyama, T., Uyeta, K., Miyazaki, K. and Mori, Y., 2009, Coexistence of pyroxenes jadeite, omphacite, and diopside/hedenbergite in an albite-omphacite rock from a serpentinite mélange in the Kurosegawa Zone of Central Kyushu, Japan. *Amer. Mineral.*, **94**, 34–40.
- 水田敏夫 (Mizuta, T.), 1978, 熊本県肥後変成帯に産する“コマチアイト様”かんらん岩について. 岩鉱 (*Jour. Japan, Assoc. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*), **73**, 205–215.
- 村田正文 (Murata, M.), 1981, 竜峰山層群の層序と臼杵–八代構造線について. 日本地質学会第 88 年大会講演要旨 (*88th Ann. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.*), 184.
- 永川勝久・小畑正明・板谷徹丸 (Nagakawa, K., Obata, M. and Itaya, T.), 1997, 肥後変成帯の K–Ar 年代. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **103**, 943–952.
- 中島 隆・永川勝久・小畑正明・内海 茂 (Nakajima, T., Nagakawa, K., Obata, M. and Uchiumi, S.), 1995, 肥後変成岩とそれに伴う花崗岩類の Rb–Sr および K–Ar 年代. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **101**, 615–620.
- Nohda, S., 1973, Rb–Sr dating of the Yatsushiro granite and gneiss, Kyushu, Japan. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **20**, 140–144.

- Obata, M., Yoshimura, Y., Nagakawa, K., Odawara, S. and Osanai, Y., 1994, Crustal anatexis and melt migrations in the Higo metamorphic terrane, west-central Kyushu, Kumamoto, Japan. *Lithos*, **32**, 135–147.
- 岡本和明・原 郁夫・鈴木盛久(Okamoto, K., Hra, I. and Suzuki, M.), 1989, 九州甲佐地域の間の谷-肥後變成岩の地質構造(予報). 地質学論集(*Mem. Geol. Soc. Japan*), no. 33, 187–198.
- 小山内康人・亀井淳志・大和田正明・濱本拓志(Osanai, Y., Kamei, A., Owada, M. and Hamamoto, T.), 2001, 肥後變成帯の岩石構成と變成・火成作用(解説と巡検案内)九州のテクトニクスワーキンググループ研究連絡誌(*Kyushu Tectonics Working Group News Lett.*), **5**, 1–62.
- 小山内康人・濱本拓志・加々美寛雄・大和田正明・堂山大助・安東努(Osanai, Y., Hamamoto, T., Kamei, H., Owada, M., Doyama, D. and Ando, T.), 2000, 九州黒瀬川帯に産するザクロ石-単斜輝石グラニユライトおよびザクロ石角閃岩の原岩と同位体年代. 地質学論集(*Mem. Geol. Soc. Japan*), no. 56, 199–212.
- Osanai, Y., Hamamoto, T., Kamei, H., Suzuki, K., Owada, M. and Kamei, A., 1999, The Higo high-grade metamorphic rocks in Japan as a part of the collisional terrane between the Sino-Korean and Yangtze Cratons. *Gondwana Res.*, **2**, 599–601.
- 小山内康人・濱本拓志・亀井淳志・大和田正明・加々美寛雄(Osanai, Y., Hamamoto, T., Kamei, A., Owada, M. and Kamei, H.), 1996, 九州肥後變成帯の高温變成作用と地殻進化. 嶋本利彦・早坂康隆・塩田次男・小田匡寛・竹下 徹・横山俊治・大友幸子編, テクトニクスと變成作用(*Tectonics and Metamorphism*), 創文(Sobun), 113–124.
- Osanai, Y., Hamamoto, T., Maishima, O. and Kamei, H., 1998, Sapphirine-bearing granulites and related high-temperature metamorphic rocks from the Higo metamorphic terrane, west-central Kyushu, Japan. *Jour. Metamorphic Geol.*, **16**, 53–66.
- 小山内康人・正尾 敏・加々美寛雄(Osanai, Y., Masao, S. and Kamei, H.), 1993, 中部九州内帯花崗岩類の Rb-Sr 全岩アイソクロン年代. 地質学論集(*Mem. Geol. Soc. Japan*), no. 42, 135–150.
- Osanai, Y., Owada, M., Kamei, A., Hamamoto, T., Kamei, H., Toyoshima, T., Nakano, N. and Tran Ngoc Nam, 2006, The Higo metamorphic terrane in Kyushu, Japan as the fragment of Permo-Triassic metamorphic complexes in east Asia. *Gondwana Res.*, **9**, 152–166.
- 小山内康人・吉本 紋・中野伸彦・足立達朗・北野一平・米村和紘・佐々木淳・土谷信高・石塚英男(Osanai, Y., Yoshimoto, A., Nakano, N., Adachi, T., Kitano, I., Yonemura, K., Sasaki, J., Tsuchiya, N. and Ishizuka, H.), 2014, 九州・黒瀬川帯における古生代花崗岩類および関連火成岩類の LA-ICP-MS ジルコン U-Pb 年代, 岩石鉱物科学(*Japan. Mag. Mineral. Petrol. Sci.*), **43**, 71–99.
- Pearce, J. A., 1982, Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In Thorpe, R. S., ed., *Andesites*, Wiley, Chichester, 525–548.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W. and Tindle, A. G., 1984, Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Jour. Petrol.*, **25**, 956–983.
- 斎藤 眞・宮崎一博(Saito, M. and Miyazaki, K.), 2006, 九州中部, 熊本県八代市泉町の“黒瀬川帯”蛇紋岩メランジュ中の含ヒスイ輝石斑れい岩. 地調研報(*Bull. Geol. Surv. Japan*), **57**, 169–176.
- 斎藤 眞・宮崎一博・利光誠一・星住英夫(Saito, M., Miyazaki, K., Toshimitsu, S. and Hoshimizu, H.), 2005, 砥用地域の地質. 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅)(*Geology of the Tomochi District. Geological Sheet Map 1: 50000*), 産総研地質調査総合センター(Geol. Surv. Japan, AIST), 218p.
- 坂島俊彦・竹下 徹(Sakashima, T. and Takeshita, T.), 1997, 九州肥後地域における陸棚古生層のテクトニクス. 日本地質学会第 104 年大会講演要旨(104th Ann. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.), 187.
- 坂島俊彦・竹下 徹・板谷徹丸・早坂康隆(Sakashima, T., Takeshita, T., Itaya, T. and Hayasaka, Y.), 1999, 九州西部竜峰山變成岩の層序, 構造および K-Ar 年代. 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **105**, 161–180.
- Sakashima, T., Terada, K., Takeshita, T., and Sano, Y., 2003, Large-scale displacement along the Median Tectonic Line, Japan: evidence from SHRIMP zircon U-Pb dating of granites and gneisses from the South Kitakami and paleo-Ryoke belts. *Jour. Asian Earth Sci.*, **21**, 1019–1039.
- 坂島俊彦・山本啓志・岩松 暉・横田修一郎・竹下 徹・早坂康隆(Sakashima, T., Yamamoto, H., Iwamatsu, A., Yokota, S., Takeshita, T. and Hayasaka, Y.), 1995, 熊本県八代市北東部竜峰山帯からのクロリトイドの発見. 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **101**, 999–102.
- 柴田 賢・内海 茂・中川忠夫(Shibata, K., Uchiumi, S. and Nakagawa, T.), 1979, K-Ar 年代測定結果-I. 地調月報(*Bull. Geol. Surv. Japan*), **30**, 675–686.
- Shibata, K. and Yamamoto, H., 1965, Potassium-argon age determination on the Higo metamorphic rocks. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **16**, 283–284.
- Shervais, J. W., 1982, Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **59**, 101–118.
- 鈴木和博・足立 守・高木秀雄・小山内康人(Suzuki, K., Adachi, M., Takagi, H. and Osanai, Y.), 1998, 肥後變成岩の CHIME モナザイト年代. 日本地質学会第 105 年大会講演要旨(105th Ann. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.), 214.
- Sun, S.-S. and McDonough, W. F., 1989, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In Saunders, A. D. and Norry, M. J., eds., *Magmatism in Ocean Basins*. Geol. Soc. London. Spec. Publ., no. 42, 313–345.
- Tsutsuni, Y., Yokoyama, K., Terada, K. and Hidaka, H., 2011, SHRIMP dating of detrital zircons from the Sangun-Renge Belt of Sangun Metamorphic Rocks, northern Kyushu, Southwest Japan. *Bull. Nat. Museum Nature and Sci., Ser. C*, **37**, 5–16.
- Tsutsuni, Y., Yokoyama, K., Terada, K. and Sano, T., 2003, SHRIMP U-Pb dating of detrital zircons in metamorphic rocks from northern Kyushu, western Japan. *Jour. Mineral. Petrol. Sci.*, **98**, 181–193.
- 植田良夫・中島 隆・松岡喜久次・丸山茂徳(Ueda, Y., Nakajima, T. and Maruyama, S.), 1980, 高知市北方の黒瀬川構造帯に伴う準片岩-伊野層の結晶片岩ブロックの白雲母の K-Ar 年代. 岩鉱(*Jour. Japan, Assoc. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*), **75**, 230–233.
- 植田良夫・大貫 仁(Ueda, Y. and Onuki, H.), 1968, 本邦變成岩の K-Ar dating(I)-九州八代片麻岩類, 木山並びに彼杵變成岩-. 岩鉱(*Jour. Japan, Assoc. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*), **60**, 159–166.
- Ueda, Y. and Onuki, H., 1969, K-Ar dating on the metamorphic rocks in Japan(I): Yatsushiro, Kiyama, Chikugo, Higo and Sonogi metamorphic rocks in Kyushu. *Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 3*, **10**, 313–321.
- 梅田正子・柴田 賢・猪木幸男(Umeda, M., Shibata, K. and Igi, S.), 1986, 九州黒瀬川構造帯-祇園山付近の鞍岡火成岩類(花崗閃緑岩)中の角閃石の K-Ar 年代. 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **92**, 155–158.
- Whitney, D. L. and Evans, B. W., 2010, Abbreviations for names of rock-forming minerals. *Amer. Mineral.*, **95**, 185–187.
- 山口 勝・南新真裕(Yamaguchi, M. and Minamishin, M.), 1986, 變成作用の過程と變成岩で測定される同位体年代との対応-肥後變成岩の例-. 九州大学理学部研究報告(*Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. (Geol.)*), **15**, 137–151.
- Yamamoto, H., 1962, Plutonic and metamorphic rocks along the Usuki-Yatsushiro Tectonic Line in the western part of

- the central Kyushu. *Bull. Fukuoka Gakugei Univ. Part III*, **10**, 101–112.
- 山本博達(Yamamoto, H.), 1964, 熊本市東方木山地区の変成岩. 九州大学理学部研究報告(*Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. (Geol.)*), **7**, 33–38.
- 山本博達(Yamamoto, H.), 1983, 肥後変成帯のグラニュライト相. 福岡教育大紀要(*Bull. Fukuoka Univ. Education*), **33**, 73–85.
- Yanagi, T., 1975, Rubidium-strontium model of formation of the continental crust and the granite at the island arc. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. (Geol.)*, **22**, 37–98.
- Yoshikura, S., Hada, S. and Isozaki, Y., 1990, Kurosegawa Terrane. In Ichikawa, K., Mizutani, S., Hara, I., Hada, S. and Yao, A., eds., *Pre-Cretaceous Terranes of Japan*. Publ. IGCP-224, Osaka, 185–201.
- 吉本 紋・小山内康人・中野伸彦・足立達朗・米村和紘・石塚英男(Yoshimoto, A., Osanai, Y., Nakano, N., Adachi, T., Yonemura, K. and Ishizuka, H.), 2011, 黒瀬川構造帯に産する青色片岩の原岩形成と西南日本の形成テクトニクス. 日本地質学会第118年学術大会・日本鉱物科学会2011年年会合同学術大会講演要旨(2011 Joint Ann. Meet. Japan Assoc. Mineral. Sci. and 118th Ann. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.), Section C, 196.
- 吉本 紋, 小山内康人, 中野伸彦, 足立達朗, 米村和紘・石塚英男(Yoshimoto, A., Osanai, Y., Nakano, N., Adachi, T., Yonemura, K. and Ishizuka, H.), 2013, 黒瀬川帯に分布する各種変成岩・火成岩ブロックの年代学的特徴. 日本地質学会第120年学術大会講演要旨(120th Ann. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.), 234.
- Yoshimoto, A., Osanai, Y., Nakano, N., Adachi, T., Yonemura, K. and Ishizuka, H., 2013, U–Pb detrital zircon dating of pelitic schists and quartzite from the Kurosegawa Tectonic Zone, Southwest Japan. *Jour. Mineral. Petrol. Sci.*, **108**, 178–183.

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、次のページをご覧ください。

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