

四国中・西部黒瀬川帯の構成岩類とその起源

Constituent rocks and their ancestral origin of the Kurosegawa belt in west-central Shikoku, Southwest Japan

波 田 重 熙*

Shigeki HADA

Abstract

The Kurosegawa belt which was first recognized in Shikoku as the Kurosegawa Tectonic Zone is a narrow, discontinuous body with serpentinite mélanges that transects the middle of the Jurassic accretionary belts in the Outer Zone of SW Japan. This heavily disrupted belt incorporates numerous blocks of mainly continental affinity. Faunal and paleomagnetic data from previous studies suggest Siluro-Devonian components of the belt may have developed close to the South China Block when it was part of Gondwana supercontinent. Recent detailed investigation of elements of the mid-Permian fusulinoidean realm in mid-Panthalassa, their paleogeographic distribution, together with U/Pb age spectra for zircons from granitic rocks and sandstones from the belt allow recognition of the ancestral origins of the Kurosegawa belt. They indicate tectonic blocks of the Kurosegawa belt in serpentinite-matrix mélange including high-grade metamorphic rocks, granitic rocks, continental shelf sediments, and accretionary complex lithologies originally developed as a part of the South China Block. This continental block detached from Gondwana in the Middle Devonian, became isolated in equatorial regions north of Gondwana in the area between East Paleo-Tethys and Panthalassa from Permian to Triassic.

キーワード: 西南日本外帯, 黒瀬川帯, ペルム紀中期紡錘虫テリトリー, 碎屑性ジルコン U/Pb 年代, 母大陸, 南中国地塊

1. はじめに

西南日本外帯の, 上部古生界~中生界堆積岩類で構成される秩父帯に, 花崗岩類や高度変成岩類などの異質な岩層が漸続しながら点々と分布することは, 先人達の研究により戦前から明らかにされていた。とりわけ, それらの岩層は蛇紋岩と密接に関わって出現することが, Matsumoto and Kanmera (1949)の先駆的な論文で指摘されていた。その後, 市川ほか (1956)は四国西部秩父帯の詳細な地質調査に基づいて, 花崗岩類 (三滝火成岩類), 高度変成岩類 (寺野変成岩類) およびシルル-デボン系 (岡成層群)が, 基盤にまで達する東西帯状の不連続帯に沿って上昇し, 「黒瀬川構造帯」を形成したとした。それは, 当時の地質学の基本概念であった地向日斜-造山論を抛り所にして, 古生代末の変動により分化した秩父帯 (本州地向日斜と呼ばれた) の中に発生した大規模な構造運動の場であり, 後生変形を受けて現在のような特徴ある分布 (レンズ状部と呼ばれる) を

するようになったとされた。市川ほか (1956) の論文は、岩波書店が「科学」50 巻記念増刊号として出版した「論文にみる日本の科学 50 年 (青木ほか編, 1980)」の中で、数少ない地質プロパーの論文の一つとして取り上げられたことが示すように、とくにプレートテクトニクス理論が確立する 1970 年代までは、日本の中・古生界の造構発展過程の研究に多大な影響を与えた。

しかし、1970 年代に入ると、“上下運動”を重視する地向斜造山論に代わってプレートテクトニクスが登場して地球表層の“水平運動”が注目されるようになると、地球科学そのものを根底から再構築する必要に迫られた。特筆すべきは、日本の研究者が多大な貢献をしたことによって、「付加体の形成プロセス」が解明されたこと (勘米良, 1976; 平ほか, 1980; Kammerer and Nishi, 1983) および「放散虫革命」と表現されるように「放散虫生層序学」がめざましい進展を遂げたこと (Nakaseko and Nishimura, 1981; Mizutani *et al.*, 1981) であった。その結果、日本列島の地質を再検討する動きが一気に加速した。多くの研究者が関わった中・古生界の再検討の結果、日本列島を構成する主体は海洋プレートの沈み込みに伴って形成された付加体であることや、主に紡錘虫化石によってそれまで古生界とされていた地層は、詳細な放散虫生層序解析によって次々と若返り、主体は中生界であることが判明した。そこで、これらの新しいデータに基づいて、典型的な活動的大陸縁域に位置する日本列島の地質を再考し、新たな地体構造論を展開する動きが活発となった (勘米良ほか, 1980; 平ほか, 1981)。

黒瀬川構造帯についても、その構成岩類の産状の特性や周囲の地質体との関係が明らかにされて、それまでになかった造構論が提唱されるようになった (Maruyama, 1981; Hada and Suzuki, 1983)。それとともに、伝統的に黒瀬川構造帯と呼ばれてきた領域は、新たな地体構造区分の基準に基づいて、より広い意味を持たせた「黒瀬川帯」が使用されるようになった。それともなると、黒瀬川帯およびその周辺の弱変成地質体の放射年代に関する研究が四国を中心に進み、それに基づいて提案された斬新な地体構造論 (磯崎・板谷, 1991; 磯崎・丸山, 1991) は、その後の黒瀬川帯の議論に大きな影響を及ぼしている。さらに黒瀬川帯研究に極めて重要な貢献をしたのが、21 世紀に入って開発された、花崗岩類や砕屑岩に含まれるジルコンの U-Pb 年代を大量かつ迅速に測定する新たな研究手法の導入であった。その結果、多様な岩層のブロックで構成される黒瀬川帯の研究は飛躍的に進展するとともに、その特異性が浮き彫りになり、黒瀬川帯の西南日本における地体構造論上の重要性が改めて注目されることとなった。

本稿では、黒瀬川帯の多様な構成岩類は大陸起源の地質体を主体とするとみなされることから、その年代や特性を整理した上で、それらが帰属していた母大陸を特定することにする。

2. 黒瀬川構造帯と黒瀬川帯

西南日本外帯の秩父帯は秩父累帯とも呼ばれてきたように、従来から複合的な地史を辿った地帯であるという認識があり、四国では、北帯、中帯および南帯という 3 区分が伝統的に採用されてきた。市川ほか (1956) は、「黒瀬川構造帯」は北帯と中帯との境界断層に沿って、中帯の地下から絞り出された地質体によって構成されると考えた。現在では、黒瀬川構造帯は、東は熊本県八代、宮崎県祇園山、大分県三國峠から、四国の愛媛県・高知県・徳島県を経て (図 1)、紀伊半島西端の和歌山県名南風鼻、紀伊半島東端の三重県志摩半島、さらに中部地方赤石山地南部や関東山地にも小規模ながら延長部が存在することが明らかになっていた。その

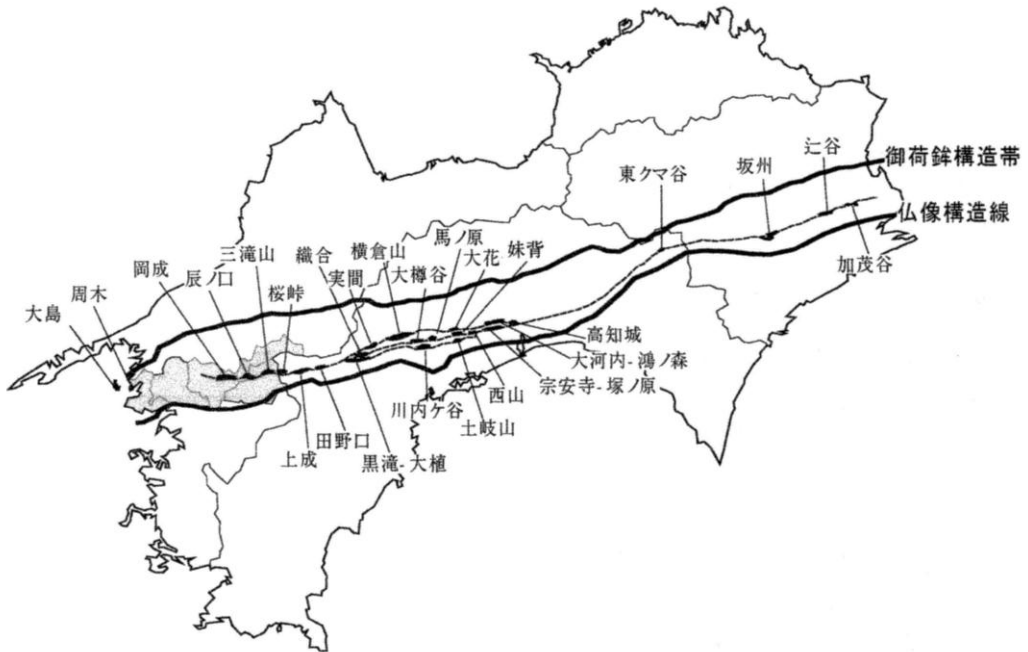


図1 四国における黒瀬川構造帯の分布 (小出, 2012) . 地名は代表的な“レンズ状部”を示し, 網かけ部分は黒瀬川構造帯の模式地を含む愛媛県西予市の範囲を示す.

Fig.1 Index map of the distribution of the Kurosegawa tectonic zone in Shikoku (Koide, 2012). Locality names correspond to the “lenticular body” and a shaded portion indicates an area of Seiyō-shi, Ehime Prefecture which includes the type locality of the Kurosegawa tectonic zone.

後、黒瀬川構造帯に相当する地帯の分布は、紀伊半島東端から紀伊半島中央部まで途切れることなく連続することや (加藤ほか, 2002), 東京都西部でも確実な分布が再確認されている (沢田ほか, 2020)。すなわち、黒瀬川構造帯は、南北方向の幅は多くの場合数 km 程度に過ぎないが、総延長は 1000 km に及ぶ細長い带状に連なる地帯とみなされる (Yoshikura *et al.*, 1990)。図 1 には、四国の黒瀬川構造帯レンズ状部の名称 (地名) とその分布を示す (小出, 2012)。黒瀬川構造帯の模式地は旧愛媛県東宇和郡中筋村と黒瀬川村にまたがる地域で、現在は町村合併が繰り返されて愛媛県西予市に変わっている。

一方、プレートテクトニクスに基づく日本列島の地体構造区分の再検討が進むと、市川ほか (1956) が示した黒瀬川構造帯を特徴づける大陸起源を主体とする古期岩類などは構造帯レンズ状部に限定されることなく、その周囲にも带状、レンズ状あるいはブロック状の岩体として、大なり小なり蛇紋岩を伴う断層関係で分布することが明らかとなってきた。そこで、黒瀬川構造帯に加えて、周囲の付加体とは産状や構造が異なる地質体が分布する領域を含めて、新たな地体構造単元を定義し直す必要が生じた。最近刊行された日本地質学会 (編) 「四国地方 (日本地方地質誌 7)」の地体区分で村田 (2016) は、日本が伝統的に使用してきた「帯 (belt)」を使用し、四国秩父帯を「秩父北帯 (北部秩父帯)」, 「黒瀬川帯」および「三宝山帯 (秩父南帯)」に 3 分した。本稿でも、この区分名を使用する (図 2)。なお近年、とくに欧米では、周囲が断層で境され、地質学的にまとまりを持った地層や岩体の集合体を「terrane (テレーン)」と呼ぶようになった (水谷, 1988)。黒瀬川帯は、この後見るように、まさにテレーンの名称が相応しい地体構造単元である。

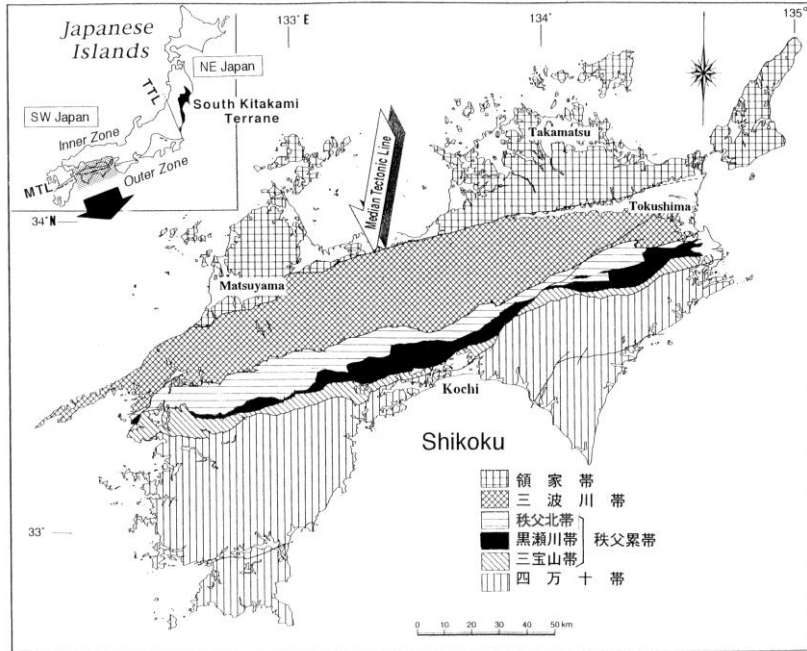


図2 四国の地体構造区分図。とくに秩父北帯、黒瀬川帯および三宝山帯の分布を示す (Hada et al., 2001 を改変)。
 Fig.2 Geotectonic subdivision of Shikoku, particularly indicating the distribution of the Northern Chichibu, Kurosegawa and Sanbosan belts (modified from Hada et al., 2001).

3. 黒瀬川帯を構成する地質体の年代と特性

1990年代には、日本列島の大部分が「付加体」で構成されていることが判明し (磯崎・丸山, 1991 ほか)、四国の秩父北帯や三宝山帯も、海洋底起源の「ジュラ紀付加体」で構成されることが明らかになった (松岡, 1984; Hada and Kurimoto, 1990; 松岡ほか, 1998 ほか)。その結果、四国ではジュラ紀付加体が分布する領域に、“それらとは全く異質な岩層”, すなわち、主に大陸地塊起源の地質体が分布をする地帯として、黒瀬川帯の顕著な特異性が浮き彫りとなった。加えて、秩父北帯や黒瀬川帯の弱変成地質体の白色雲母 K-Ar 年代や変成度などの研究成果が次々と公表された結果 (磯崎・板谷, 1990, 1991; 磯崎ほか, 1992; 村田・前川, 2007, 2009 など)、黒瀬川帯を、隣接する地帯との相互関係に基づいて規定することが可能となった。そこで、まず、黒瀬川帯を構成する地質体の特性や年代についてみてみよう。

Maruyama (1981) や Yoshikura *et al.* (1990) は、黒瀬川帯の構成岩類を、(1) 先シルル紀基盤岩類: 花崗岩類および高度変成岩類; (2) シルル-デボン系石灰岩や火山砕屑岩類; (3) 蛇紋岩に伴われる high-P/T 変成岩類岩塊; (4) 弱変成付加コンプレックス; (5) ペルム紀付加コンプレックス; (6) 中・古生代陸棚堆積層および (7) 蛇紋岩, に分類した。

これら多様な構成岩類の複雑な分布の様子は、市川ほか (1956) による黒瀬川構造帯模式地を中心とする四国西部の歴史的な地質図 (図3) や、村田 (2016) による最新の知見に基づく四国全域の秩父帯の詳細な地質図に示されている (その一部、四国西部については、村田・前川 (2013) がカラー版の地質図を公表している)。

黒瀬川帯構成岩類のうち(1)と(2)は、まとめて「黒瀬川古期岩類」と呼ばれる。その中で、黒瀬川構造帯の模式地である愛媛県三滝山を含め多くのレンズ状部に、最も広く分布しているのが「三滝火成岩類」である(図3)。それは、さまざまな程度に圧砕や変質を被っているのが特徴の、花崗閃緑岩やトータル岩からなる。また、少量の角閃石斑れい岩や輝石斑れい岩を伴う。市川ほか(1956)は三滝火成岩類の年代をペルム紀中世以降と推定したが、安井(1984)により、高知県横倉山(図1)に分布するシルル-デボン系が三滝火成岩類(横倉山花崗岩)を不整合関係で被覆することが発見されたことによって、その推定は成立しないことが示された。さらに、不整合直下の花崗岩のジルコンU-Pb年代が測定されると、 447 ± 10 Ma という決定的な年代値が得られた(Premo *et al.*, 1988)。それまでにも、三滝火成岩類の放射年代の測定は四国や九州を中心に盛んに進められてきていて、黒雲母や全岩のRb-Sr年代として、約450~330 Maが報告されていた(早瀬・石坂, 1967; Hayase and Nohda, 1969; 石坂, 1972; Nohda, 1973; Yanagi, 1975)。また、高木ほか(1999)は、角閃石および黒雲母のK-Ar年代として、 434 ± 13 Ma および 428 ± 13 Ma を報告した。さらに2000年代になると、花崗岩質岩から分離したジルコンのU-Pb年代測定が主流となり、多くの年代測定結果が公表されるようになった。それらをまとめると、三滝火成岩類の火成年代は大略450~430 Maの範囲に収まる(Hada *et al.*, 2000; Aoki *et al.*, 2015; 沢田ほか, 2020)。さらに最近、Kawaguchi *et al.*, (2022)は四国最西端の愛媛県西予市三瓶地域周木(図1)に分布する花崗岩質岩のジルコンU-Pb年代を測定し、 470.6 ± 3.2 Ma および 468.3 ± 2.7 Ma という上記より少し古い年代を報告した。周木には、黒瀬川帯の角閃石斑れい岩の比較的大きな岩体が分布しており、武田ほか(1993)は 442.4 ± 16 MaのK-Ar年代を報告していた。これらの結果、三滝火成岩類は、オルドビス紀中期からシルル紀中期におよぶ長期間にわたる火成活動によって形成されたことが明らかになった。

小林ほか(2000)やKawaguchi *et al.*, (2022)によると、岩石化学的には、黒瀬川帯の花崗岩類はvolcanic arc affinityの特性を示すことが明らかにされている。一方、Aoki *et al.* (2015)は、三滝火成岩類にはS-type花崗岩に分類されるものが含まれることを明らかにしたが、最近沢田ほか(2020)も約440 Maの火成活動で形成された花崗岩類には、花崗岩質マグマの元となった堆積岩などに含まれていた約2400~500 Maの年代を有する捕獲ジルコンが存在することを明らかにした。また、これらとは別に、高知県横倉山や鴻ノ森(図1)には、シルル-デボン系に貫入するI-typeに分類されるデボン紀花崗岩類の小岩体が存在することも明らかにされている(吉倉, 1982; 長谷川ほか, 2017)。

「寺野変成岩類」は、四国では斑紋岩に囲まれて産する小岩体あるいは三滝火成岩類に随伴するように分布する場合が多く(図3)、多様な岩相のものが含まれる。それらのK-Ar年代が測定され、徳島県加茂谷(図1)の角閃岩について 394 ± 12 Ma (Iwasaki and Shibata, 1984)、高知市宗安寺(図1)のグラニュライト相高圧歪相に属する角閃岩について 409 ± 21 Ma (Yoshikura *et al.*, 1981)というのデボン紀前期を指示する年代が報告された。また、小山内ほか(2000)は、Sm-Ndアイソクロン年代として、九州八代地域のざくろ石-単斜輝石グラニュライトについて約420 Ma(後退変成作用の年代とされた)、ざくろ石角閃岩について約490 Ma、単斜輝石角閃岩について約540 Maを報告した。また、沢田ほか(2020)は関東山地の高圧型変はんれい岩のU-Pb年代を測定し、原岩の火成年代として約490 Maを報告するとともに、それが古生代前期の弧-海溝系に付加したオフィオライト起源である可能性を示唆した。このように、寺野変成岩類にカンブリア紀の高度変成岩類が含まれることは、超大陸ゴンドワナとの関連など、黒瀬川古期岩類の形成場を考察する上で極めて重要である。

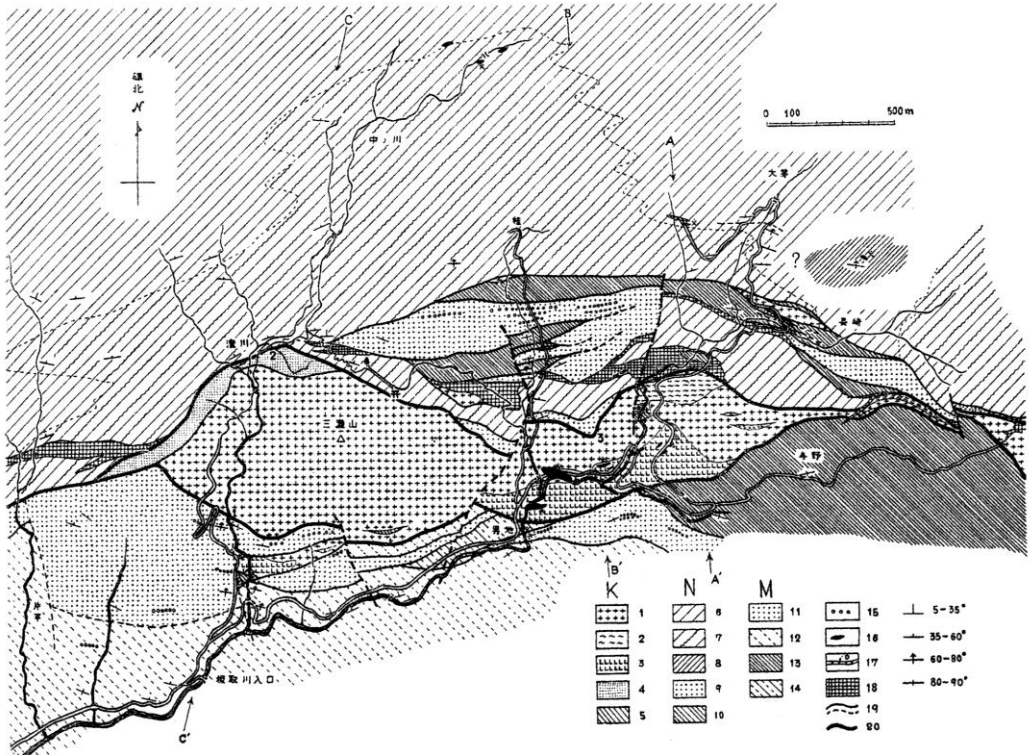


図3 四国西部西予市の黒瀬川帯“三滝山レンズ状部”の地質図(市川ほか, 1956) .1. 三滝火成岩類; 2. 寺野変成岩類; 3. 岡成層群(シルル?デボン系); 18. 蛇紋岩類(黒瀬川構造帯の代表的ユニットの凡例のみを示す) .
 Fig.3 Geologic map of the Mitaki-yama "lenticular body" in Seiyoshi, Ehime Prefecture, west Shikoku (Ichikawa et al., 1956). Legend of representative units in the Kurosegawa tectonic zone are as follows: 1. Mitaki igneous rocks; 2. Terano metamorphic rocks; 3. Okanaro group (Siluro-Devonian); 18. serpentinite.

一方、市川ほか(1956)は、黒瀬川構造帯には珩長質凝灰岩、凝灰質泥岩、石灰岩、粗粒砂岩、礫岩などからなる、非~弱変成「シルル-デボン系」が分布することを明らかにした。高知県横倉山では、本層は三滝火成岩類を不整合で被覆している(安井, 1984)。シルル-デボン系は、一般には小規模なブロック状岩体を呈する場合が多いが(図3)、高知県横倉山や鴻ノ森などでは、層状岩体の大規模なブロックが分布することが知られている。それらには、三葉虫、サンゴ、コノドント、放射虫などの豊富な化石を産することから、これまで多数の層位・古生物学的研究が進められてきた(浜田, 1959; Kobayashi and Hamada, 1974; 桑野, 1976; Nakai, 1981; Furutani, 1983, Aitchison *et al.*, 1996; 梅田, 1998 ほか)。その結果、シルル-デボン系は、シルル紀前期からデボン紀中期(443~383 Ma)に形成されたことが明らかになっている。すなわち、シルル-デボン系の形成年代は、三滝火成岩類の年代と重なっている。またその上部には、鱗木化石(*Leptophloem rhombicum*)を産する、デボン系上部統が含まれる。Aitchison *et al.* (1996)は、高知県横倉山のシルル-デボン系凝灰岩のジルコンのSHRIMPによるU-Pb年代として、 427 ± 7.6 Ma および 408.9 ± 7.6 Ma を報告した。これらの放射年代値は、化石が指示する年代と矛盾しない。シルル-デボン系の主体は、火成活動が盛んな活動的大陸前弧域の火山砕屑岩層や礫性石灰岩が特徴的な浅海成堆積層である。

(3) は、蛇紋岩中に取り込まれる結晶片岩の小規模なテクトニック・ブロックである (Nakajima and Maruyama, 1978; Maruyama *et al.*, 1978)。それらの白雲母の K-Ar 年代が測定され、徳島県木沢村坂州北方 (図1) からは 405 Ma および 402 Ma (丸山・植田, 1975)、高知県伊野地域からは 327~317 Ma (植田ほか, 1980)、高知市北方円行寺からは 240~208 Ma (Maruyama *et al.*, 1978) の放射年代が報告された。これらの蛇紋岩に随伴するプレート沈み込み帯起源の high-P/T 結晶片岩ブロックには、古生代デボン紀や石炭紀、中生代三畳紀などの幅広い年代を指示するものが含まれる可能性がある。

(4) を代表するのは、従来伊野層 (中島ほか, 1978; Maruyama, 1981) と呼ばれてきた地質体で、最近脇田ほか (2007) は、変成年代の違いにより、「古期伊野変成コンプレックス (350 Ma : 石炭紀前期)」と「新期伊野変成コンプレックス (185~148 Ma : ジュラ紀前期~後期)」の2つに区分した。前者は、蛇紋岩と後者との境界に出現する小規模レンズ状岩体で、後者より粗粒で変成度が高い苦鉄質片岩 (曹長石斑状変晶が特徴的) からなり、少量の泥質片岩を伴う。一方、高知県伊野町などに、大規模な蛇紋岩に囲まれて広く分布する「伊野層」の大部分は新期伊野変成コンプレックスに分類され、主に苦鉄質片岩と泥質片岩とからなる。泥質片岩に挟まる石灰質片岩には、石炭紀後期~ペルム紀初期のコノドント化石 (松田・佐藤, 1979) が、また、スランプ層中のマール礫には三畳紀後期の放射虫化石 (足立, 1989 など) を産することが報告されている。このグループには、229~186 Ma の白雲母の K-Ar 年代が報告されている上倉層 (磯崎・板谷, 1990) が帰属するとみなされる。そのほかにも、放射年代は明らかにされていないが、新期伊野変成コンプレックスに対比されるとみなされる小岩体が、小規模な石灰質片岩や蛇紋岩を特徴的に伴って各地に分布する。黒瀬川帯には、プレート沈み込み帯で形成された、石炭紀、ペルム紀および三畳紀~ジュラ紀の年代を有する「変成付加コンプレックス」が存在することを示している。Hara *et al.* (2018) は、地球化学的研究および碎屑性ジルコンの U-Pb 年代スペクトルの分析に基づいて、伊野層や上倉層の供給源は、未成熟な海洋性火山弧の主に安山岩質火山岩類であるとした。

(5) の「ペルム紀付加コンプレックス」は、主に黒瀬川帯の北半部に広く分布する。高知県から愛媛県にまたがる鳥形山-天狗高原-大野ヶ原地域に分布するペルム紀付加コンプレックスは、大規模な海山起源のペルム紀生物礁石灰岩を主とし、泥質岩中には緑色岩類、石灰質砂岩や少量のチャートのブロックを伴う (村田・前川, 2013)。同様の石灰岩の大岩体を含む地質体は、高知県中央部の白木谷にも分布する。一方このグループには、石灰岩の大岩体を伴わない、新改層 (磯崎, 1986) あるいは新改ユニット (脇田ほか, 2007) が含まれる。新改ユニットは、上記の白木谷の石灰岩が卓越する部分とともに、かつては「白木谷層群」と呼ばれていた地質体の一部で、最近メランジュ部分と主に砂岩からなる堆積岩部分で構成されることが明らかにされた (Ohkawa *et al.*, 2021)。前者には、緑色岩類、砂岩やチャートブロックとともに、外来岩塊と推定される石灰岩礫岩を特徴的に伴う。石灰岩礫岩にはペルム紀中世最後期の豊富な紡錘虫化石が含まれ、チャートブロックからは石炭紀新世からペルム紀新世におよぶ放射虫化石が報告されている (磯崎, 1985, 1986)。Hara *et al.* (2018) は、新改ユニットの碎屑岩類の供給源は珪長質火山岩類や原生代および古生代の基盤岩類であることを示した。磯崎 (1985) も、石灰岩礫岩には黒瀬川古期岩類に由来する礫が伴われることを報告している。また、Ohkawa *et al.* (2021) は、新改ユニットの砂岩組成および碎屑性ジルコンの U-Pb 年代スペクトルを詳細に検討し、碎屑岩類の供給源は下位が黒瀬川古期岩類などで、上位になると火山孤か

らの供給に変化したことおよび新改ユニットの堆積年代は三畳紀前期まで延びることを明らかにした。

(6)の「中・古生代陸棚堆積層」として従来からよく知られていたのが、二枚貝、アンモナイト、腕足類などの大型化石を産する三畳系中部統蔵法院層群および三畳系上部統川内ヶ谷層群（花崗岩礫を含む礫岩層が挟在する）である。実はそのほかにも、黒瀬川帯の主に中部と南部には中～粗粒碎屑岩を主とし、大きいものは長径20cmを超えるような花崗岩質岩や珪長質火砕岩類などの礫を特徴的に伴う浅海成堆積層が存在することが知られていたが、紡錘虫化石を産するペルム系を除くと、大型化石を産しなかったため年代は不詳であった。そこで、それらの地層の年代が、細粒泥質岩や珪質凝灰岩から抽出した放射状化石によって明らかにされた(Hada *et al.*, 1992)。その結果、上記の三畳系のほかにも、愛媛県および高知県で、ペルム系下部統（宮谷層・宮成層）、ペルム系上部統（土居層群・市ノ瀬層群）、ジュラ系下部統（成徳層・中之瀬層）、ジュラ系中部統（嘉義尾層群・毛田層）の存在が明らかとなった(図4)。この中で、ペルム系下部統および上部統の場合は、挟在する石灰岩に産する紡錘虫化石が指示する年代(中川ほか, 1959; Hada, 1974 など)と、石灰岩の周囲の泥質岩から抽出された放射状化石が指示する年代との間に差異はない。Hara *et al.* (2018)によると、ペルム系上部統市ノ瀬層群の供給源は、玄武岩質ないし安山岩質火山岩類および花崗岩質岩が分布する地帯であることが明らかにされている。なお、高知県佐川地域においてジュラ系中部統毛田層の存在を最初に明らかにしたのは松岡(1985)で、彼は毛田層を三宝山帯斗賀野層群と同時異相の関係にある付加体の被覆層とみなした。しかし、高知県鳥形山黒滝-大植(図1)において、三滝火成岩類が毛田層相当層(白亜系とされていた)の泥質岩の断片を構造的に取り込んでいること(波田, 1972)を根拠に、毛田層を黒瀬川帯の地質体を含めた(Hada *et al.*, 1992)。以上の結果、黒瀬川帯には、花崗岩質岩や珪長質火砕岩類などの巨礫を特徴的に含む、ペルム紀前期からジュラ紀中期にわたる種々の年代を指示する陸棚堆積層が存在することが明らかとなった(図4)。

ところで、石田・香西(2004)は、四国東部には、ジュラ系中部統毛田層および嘉義尾層群に対比され、珪長質火成岩類の礫を伴う坂州層群が分布し、その年代はジュラ紀前期から白亜紀最前期に及ぶという新たな知見を明らかにしている。

さらに、Hada *et al.* (2000)では三滝火成岩類とともに、ペルム紀およびジュラ紀陸棚堆積層に特徴的に含まれる花崗岩質岩礫に着目して、ジルコンのU-Pb年代が検討された。従来、これらの黒瀬川帯陸棚堆積層に含まれる花崗岩質岩礫の供給源は、黒瀬川帯唯一の花崗岩体である三滝火成岩類であると漠然と考えられてきたからである。しかし、放射年代測定の結果は、三滝火成岩類の年代と陸棚堆積層中の花崗岩質岩礫の年代とは明瞭に異なっていた。花崗岩礫の供給源は三滝火成岩類ではないことが判明した。そこで、放射状化石により決定された陸棚堆積層の堆積年代(Hada *et al.*, 1992)と、そこに含まれる花崗岩質岩礫の新たに明らかとなった放射年代(Hada *et al.*, 2000)を対比すると、ペルム系下部統には 277 ± 5 Ma、ペルム系上部統には 263.2 ± 4 Ma、 250.8 ± 9.1 Ma および 250 ± 5 Ma、ジュラ系中部統には 203.5 ± 15 Ma、 202 ± 5 Maの火成年代を示す花崗岩礫が含まれることが判明した。すなわち、陸棚堆積層の堆積年代は花崗岩質岩礫の火成年代より少し若いことから、花崗岩類は固結後速やかに地表に露出して削剥され、陸棚堆積層に供給されたと推定される。

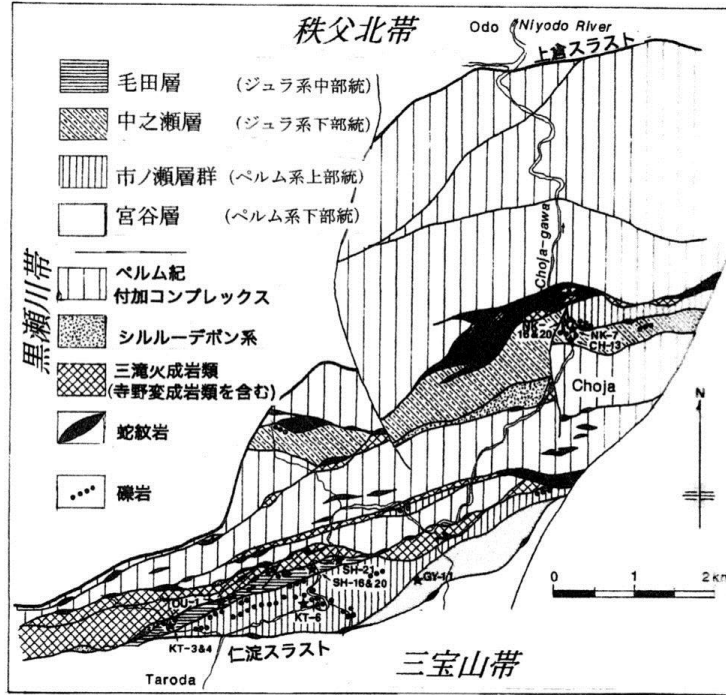


図4 高知県西部仁淀地域の実間および黒滝レンズ状部の黒瀬川帯の地質図 (Hada et al., 1992 (加筆)).
 Fig.4 Geologic map of Jichima and Kurotaki lenticular bodies of the Kurosegawa belt in Kochi, SW Japan (modified from Hada et al., 1992).

ところで、ペルム系上部統に含まれる礫の年代のうち 250.8 ± 9.1 Ma および 250 ± 5 Ma は三畳紀前期に相当することから、ペルム系上部統とされている土居層群の年代は、三畳紀前期までのびる可能性が高いと考えられる。市ノ瀬層群の年代も、同様であろう。以上から、黒瀬川帯陸棚堆積層は、火成活動が盛んな活動的大陸前弧域で形成されたとみなされる。

(7)の「蛇紋岩」は、黒瀬川帯構成岩類の境界あるいはその内部にとどまらず、黒瀬川帯を画する断層およびその周辺にも侵入している(図3および図4)。宮地・吉倉(1988)によると、蛇紋岩の原岩は主にダナイトとハルツバージャイトであり、それらの超苦鉄質岩は島弧のウェッジマントルを構成していた「溶け残りマントルかんらん岩」であるとされた。また蛇紋岩は、かんらん岩が蛇紋岩化した後に、緑色片岩相～角閃岩相低温部の変成作用を受けたという証拠も示されている(吉倉・秦, 1981)。蛇紋岩が地表に露出するようになったのは、蛇紋岩由来の碎屑物に富む砂岩や礫岩を挟在する黒瀬川帯白亜系下部統がシルル-デボン系を不整合関係で被覆することから、少なくとも白亜紀前期であると推定される(甲藤ほか, 1976)。一方、久田ほか(1996)は、黒瀬川帯のデボン系上部統に蛇紋岩由来のクロムスピネル粒子が含まれることから、蛇紋岩が地表に露出した時期はデボン紀までさかのぼる可能性があるとしている。一方で蛇紋岩は、黒瀬川帯の白亜系や秩父北帯のジュラ紀付加体に対して、断層関係である場合や衝上する場合があることから、後生変形に伴って容易に塑性体的な挙動を示すと見られ、その活動は多時相にわたることは明らかである。

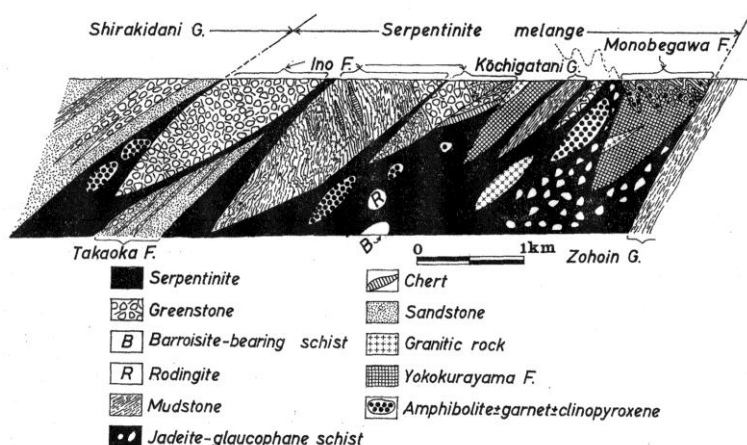


図5 高知県伊野地域の黒瀬川構造帯の南北断面の模式図 (Maruyama, 1981)

Fig.5 Schematic N-S profile of the Kurosegawa tectonic zone in the Ino district, Kochi, SW Japan (Maruyama, 1981).

Matsumoto and Kanmera (1949) は、九州の黒瀬川古期岩類は必ず蛇紋岩を伴っており、一種の構造帯を形成しているとみなした。その後、鈴木ほか (1976) や波田ほか (1979) は、黒瀬川構造帯は蛇紋岩メランジュ帯と呼ぶにふさわしいことを示唆したが、それを精査したのが Maruyama (1981) である。彼は、黒瀬川構造帯構成岩類の間には常に断層が存在し、断層内には蛇紋岩が固体貫入しているのが一般的で、この産状は蛇紋岩メランジュそのものであるとした (図5)。その後、黒瀬川構造帯を含む領域は黒瀬川帯と再定義されたが、黒瀬川古期岩類だけでなく、上記した黒瀬川帯構成岩類はすべて蛇紋岩基質中の異地性構造岩塊 (テクトニック・ブロック) とみなされる。このことは、黒瀬川帯のテクトニクスを考察する上で極めて重要である。

ところで、Maruyama (1981) や Yoshikura *et al.* (1990) は、ジュラ紀付加コンプレックスや白亜系を、黒瀬川帯構成要素として扱わなかった。しかし、秩父北帯のジュラ紀付加コンプレックスの中には、黒瀬川古期岩類や陸棚堆積層と混在するように分布するものが確実に存在する (山北, 1998 など) ことなどから、黒瀬川帯の構成要素にジュラ紀付加コンプレックスも含めるのが妥当である (山北・大藤, 2000)。また、黒瀬川帯には、白亜紀以降の断層運動や褶曲運動を被った下部白亜系物部川層群・南海層群、上部白亜系外和泉層群などが特徴的に分布する。それらは、黒瀬川帯構成岩類と不整合関係や断層関係 (蛇紋岩を伴う場合がある) で複雑に入り組んで分布する可能性があることから、これらの白亜紀前弧海盆堆積層も黒瀬川帯の構成岩類に加えるのが妥当であるとみなされる。黒瀬川帯は、白亜紀以降も、三波川変成帯の上昇、日本海の形成など、現在の日本列島形成に関わる様々な構造運動の複合として形成されたことは間違いない (高橋, 2015 ほか)。

黒瀬川帯の構成岩類が確定すると、それらの分布範囲を画する断層によって、黒瀬川帯を定義することができる。黒瀬川帯の北限を画する断層は、高知県では秩父北帯ジュラ紀付加コンプレックス (仁淀川ユニット) と黒瀬川帯変成付加コンプレックス (上倉層) との境界の上倉スラスト (Isozaki, 1987; Hada and Kurimoto, 1990) (図4) で、愛媛県では鎌田スラストとされている (山北, 1998)。一方、黒瀬川帯の南限を画する断層は、高知県では黒瀬川帯ペルム系陸棚堆積層と三宝山帯ジュラ紀付加体 (斗賀野層群) との境界の仁淀スラスト (図4) で、愛媛県ではペルム系上部統陸棚堆積層 (土居層群) と三宝山帯ジュラ紀付加コンプレックス (野村層群) と

の境界の城川スラストと定義されている (Hada *et al.*, 1992)。黒瀬川帯の分布は、愛媛県西予市野村町西部で、北へ湾曲するように分布する三宝山帯野村層群によって遮断されて一旦分布が途切れる。そのため、野村層群の南限を画する魚成スラスト (池辺, 1936) が秩父北帯と三宝山帯境界断層となる (松岡ほか, 1998)。なお、黒瀬川帯はより西方の愛媛県西端の西予市三瓶町地域に再出現することが知られている (図1)。

4. 黒瀬川帯構成岩類はどの大陸に由来するのか

黒瀬川帯を構成する主体は大陸起源の地質体であり、それらの年代や特性が明らかとなった。そこで、次に取り組むべき課題は、現在に蛇紋岩メランジュ帯中のテクトニック・ブロックとなっている黒瀬川帯構成岩類が、もともとどの大陸地塊に帰属していたかを明らかにすることである。黒瀬川帯の特徴的な大陸起源の地質体が形成された、母大陸について考えてみよう。

この点に関して、早くから着目されてきたのがシルルデボン系の豊富な浅海動物化石群で、世界各地の大陸地塊浅海域から報告されているフォーナとの類縁性や古生物地理的特徴に基づいて、それらの帰属を明らかにしようとする研究が進められてきた。Hamada (1961), Kobayashi and Hamada (1974) は三葉虫化石に基づいて、Kato (1990) はサンゴ化石に基づいて、また、梅田(1998) は放射虫化石に基づいて、それらは超大陸ゴンドワナを構成していた南中国やオーストラリア地塊 (図6) のフォーナと類似しているとする見解を示した。また、Kido and Sugiyama (2011) は、黒瀬川帯のシルル紀四放サンゴ化石群には、汎世界的な分布を示す種のほかにも地域性の強い種が含まれ、後者はシルル紀における黒瀬川帯と南中国地塊との強い古生物地理学的な関連性を示唆しているとした。

一方、吉倉 (1982) は、シルルデボン系が、①三滝火成岩類を不整合で覆う、②溶結凝灰岩を伴う珪長質火砕岩類や粗粒碎屑岩類を主体とする、③花崗岩由来の碎屑物に富む、④浅海域で形成された礁成石灰岩を含む、⑤石灰岩には花崗岩礫や溶結凝灰岩礫が含まれるなどの特徴を有することを指摘した上で、シルルデボン系は当時低緯度地帯にあった大陸ないし成熟した島弧周辺の乾陸域～浅海域で堆積したと主張した (Yoshikura, 1985)。また、久田ほか (1996) は、黒瀬川帯デボン系上部統に、島弧の上部マントルの上昇流起源の蛇紋岩から供給されたクロムスピネル粒子が含まれることを明らかにし、当時の古地理図に基づいて、それらは超大陸ゴンドワナ北縁部からデボン紀中期頃に分裂・独立し、北上を開始した大陸地塊の前弧域に供給された可能性が高いとした。

シルルデボン系の形成場が低緯度地帯であったことは、古地磁気学的研究からも強く支持される。渋谷ほか (1983) は、高知県横倉山のシルルデボン系ガラス質凝灰岩、溶結凝灰岩、石灰岩の古地磁気伏角が浅く、推定される古緯度は 5° ~ 15° であることを明らかにした。また、Shibuya and Sasajima (1983) は、高知県鴻ノ森のシルルデボン系の珪長質凝灰岩から得られた古緯度は北緯 22.3° と 0.2° であったことを報告した。

このように、黒瀬川帯シルルデボン系に着目した研究によると、その形成場は、超大陸ゴンドワナ、なかでもその北東部低緯度地帯を構成していた南中国あるいはオーストラリア地塊の前弧域であったとする見解が支持されてきた (図6)。

Late Cambrian 514 Ma

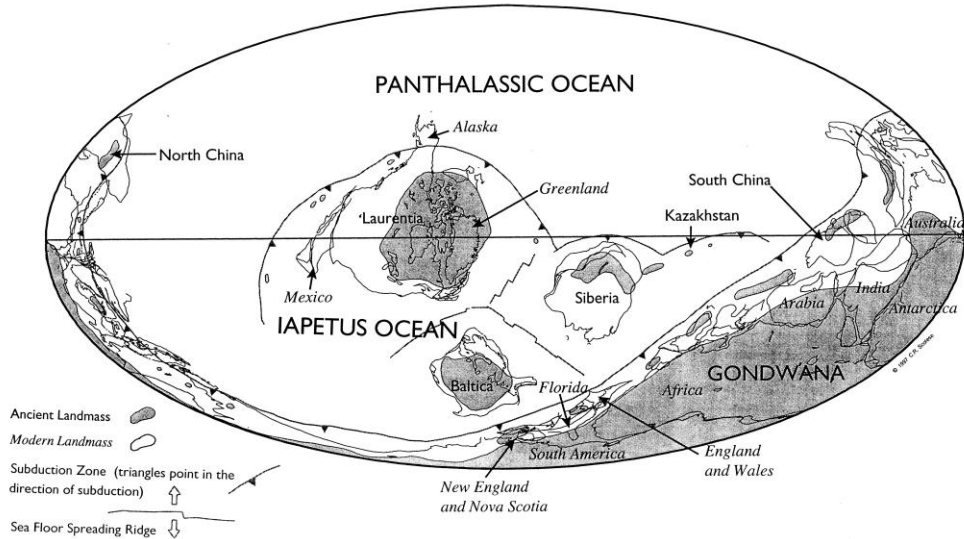


図6 カンブリア紀後期 (514 Ma) の大陸と大洋の分布を示す古地理復元図 (Scotese, 1997).
Fig.6 Paleogeographic map illustrating the distribution of land and ocean in the Late Cambrian (Scotese, 1997).

そこで筆者は、この議論をさらに進めるために、黒瀬川帯のシルルーデボン系以外の地質体の特性に基づいて、黒瀬川帯構成岩類が帰属していた母大陸を直接的に明らかにすることができないかと考え着目したのが、古テチス海東部～パンサラッサ海のペルム紀紡錘虫フォーナ古生物地理区による考察であった (波田ほか, 1996, 2002; Hada *et al.*, 2001)。紡錘虫化石は、地体構造単元の起源の解析に極めて有効であることが知られていたからである。最近、波田・後藤 (2022) はこの課題について詳細に検討し直した。その結果、ペルム紀中世の古テチス海東部～パンサラッサ海の低緯度地帯には、特定の紡錘虫フォーナが形成するテリトリーが東西带状に広がっていたことが明らかとなった。その一つが、ペルム紀中世後期に著しい繁栄を遂げた紡錘虫 *Lepidolina* が形成したテリトリーで、それは古赤道を挟む南北それぞれ緯度 15° 程度の熱帯海域を占めていたことが判明した。ところで、*Lepidolina* は、黒瀬川帯陸棚堆積層中の原地性石灰岩およびペルム紀付加体中の海山起源の異地性生物礁石灰岩に特徴的に含まれる紡錘虫化石でもある。したがって、ペルム紀陸棚堆積層の原地性石灰岩は、*Lepidolina* で特徴付けられるテリトリー内に位置していた大陸地塊浅海域に限定されることになる。また、海山起源の異地性生物礁石灰岩は、パンサラッサ海赤道地帯の *Lepidolina* が形成していたテリトリーから移動してきて、パンサラッサ海に面した沈み込み帯が存在する陸塊に付加したことになる。この二つの条件を満足する陸塊は、Domeier and Torsvik (2014) や Huang *et al.* (2018) などが古地磁気データに基づいて復元した古地理復元図を参照すると、ペルム紀中世にパンサラッサ海と古テチス海との境界の赤道地帯に位置していた「南中国地塊」に限定されることが判明した (図7)。このように、ペルム紀中世紡錘虫フォーナ古生物地理が解明されたことにより、黒瀬川帯ペルム紀陸棚堆積層およびペルム紀付加体の形成場は、南中国地塊東側のパンサラッサ海に面した活動的前弧域であったことが特定された。

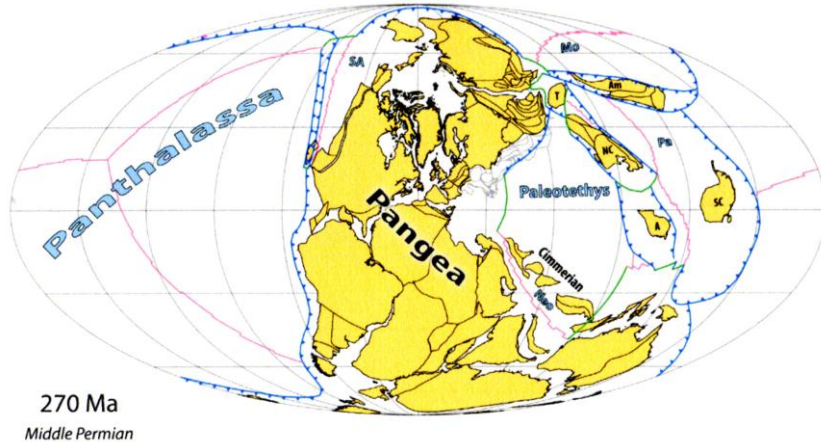


図7 ペルム紀中期 (270 Ma) の大陸と大洋の分布を示す古地理復元図 (Domeier and Torsvik, 2014). 略号 SC: 南中国大陸地塊; A: インドシナ大陸地塊

Fig.7 Paleogeographic map illustrating the distribution of land and ocean in the Middle Permian (Domeier and Torsvik, 2014). Abbreviations SC: South China continental block; A: Indochina continental block.

さらに、黒瀬川帯の起源をめぐる議論を飛躍的に進展させたのが、2000年代に始まったジルコンの大量年代測定、とくに、碎屑性ジルコンの大量年代測定であった。従来、砂岩の堆積岩岩石学的手法に依拠してきた provenance 解析では、厳密に後背地を特定することは難しいことが多かった。この課題を見事に解決したのが、碎屑性ジルコンの年代頻度分布の分析であった。それは、付加体概念の確立や放散虫生層序の確立に続いて、地球科学を著しく進展させた画期的な研究手法となった。その結果、黒瀬川帯の構成岩類を形成した母大陸の探究に関して、確定的な議論を展開することが可能になった。中間まか (2010) は、日本列島に産する古生代・中生代砂岩および現世河川礫に含まれる多量の碎屑性ジルコンの年代頻度分布の分析結果を明らかにした。その中で、シルル系砂岩からは少量ながら南中国 (揚子) 地塊の基盤岩と同時期 (900~800 Ma) のジルコンが確認されたことから、このことは原日本列島が南中国の縁辺において発達したとする磯崎・丸山 (1991) の考えを支持するとした。これに基づいて、磯崎まか (2010) は、古生代の日本は原生代後期の地殻が広範囲に分布する南中国に近接した場に位置していたとする考えを改めて主張した。また、Aoki *et al.* (2015) は和歌山県名南風鼻のオルドビス紀最末期の黒瀬川帯トーナライト (三滝火成岩類) に含まれるジルコンの外来結晶の年代組成に基づいて、また長谷川まか (2017) は高知県横倉山に分布する黒瀬川帯デボン系上部統の基底礫岩から分離した碎屑性ジルコン粒子の年代スペクトルの分析に基づいて、それらが南中国地塊において形成されたことは確実であるとした。また、Hara *et al.* (2018) は、高知県および徳島県に分布する黒瀬川帯ペルム紀陸棚堆積層、付加コンプレックスおよび変成付加コンプレックスの砂岩の地球化学的データや碎屑性ジルコンのU-Pb年代などを大々的に分析し、それらの黒瀬川帯構成要素の供給源の特性を明らかにした。それによると、ペルム系中部統伊野層や上倉層は、南中国地塊から縁毎で隔てられた火山弧東側のパンサラッサ海に面した沈み込み帯で形成されたこと、ペルム系上部統市ノ瀬層群や新改層は南中国地塊東側に発達した陸弧の前弧海盆で形成されたと結論した。このように近年の、黒瀬川帯構成岩類に関する多様な研究の進展はめざましく、とくに碎屑性ジルコンの大量年代測定が急速に進展した結果、黒瀬川帯を構成する多様な構成岩類の形成場は、南中国地塊およびその活動的な前弧域であったことが確定的となった。

南中国地塊は、カンブリア紀からシルルデボン紀には超大陸ゴンドワナの北東部を占めており、北側からパンサラッサ海の海洋プレートが沈み込み込んでいた(図6)。寺野変成岩類には、超大陸ゴンドワナが形成場であったことを示唆する約540 Maや490 Maの年代を有する高度変成岩類が含まれる(小山内ほか, 2000)。また高知県妹背(図1)では、寺野変成岩類に分類される黒雲母片麻岩が部分熔融して、三滝火成岩類の花崗閃緑岩～石英閃緑岩に移化する関係が観察されている(鈴木, 1975)。また、濡木・唐木田(1988)は、徳島県阿南市の寺野変成岩類に十字石と藍晶石を含むものが存在することを発見し、寺野変成岩類には緑レン石角閃岩相から角閃岩相を経てグラニュライト相高圧亜相へと続く中圧タイプの変成相系列に属する変成岩類が存在することを明らかにした。また前述したように、Aoki *et al.* (2015) は三滝火成岩類にはS-type 花崗岩が含まれるとし、沢田ほか(2020)も三滝花崗岩類には、花崗岩質マグマの元となった堆積岩に由来する原生代からカンブリア紀におよぶ年代を有する捕獲ジルコンが含まれることを明らかにした。このように、寺野変成岩類や三滝火成岩類には、南中国地塊の成熟した大陸地殻の下部地殻ないし中部地殻において、カンブリア紀からシルル紀の間に、活発な深成・変成作用が進行していた様子が見事に記録されている。また、吉倉(1982)や長谷川ほか(2017)は、三滝火成岩類と不整合関係にある浅海成シルル系に直下の花崗岩類のジルコン粒子が多数含まれることを示し、当時の南中国地塊の活動的前弧域では活発な火成活動が進行していて、形成された花崗岩類は固結後速やかに地表に露出・削剥されていたとした。また、シルルデボン系に貫入するI-type デボン紀花崗岩の小岩体も存在する(吉倉, 1982; 長谷川ほか, 2017)。すなわち、シルルデボン系の形成は、南中国地塊の北東側の活動的大陸前弧域におけるvolcano-plutonic formationを成す活発な火成活動が進行する中で進行したことを指示している(前島・吉倉, 1976; 波田ほか, 1979)。

南中国大陸地塊は、デボン紀中期頃には超大陸ゴンドワナから分裂して北に移動し、石炭紀、ペルム紀から三疊紀前期までは、古テチス海東部とパンサラッサ海の境界の赤道域に、独立した大陸地塊として位置していたことが知られている(図7)。黒瀬川帯構成要素の中で石炭紀の年代を示すのは、変成付加コンプレックス中やペルム紀付加体中のチャートや石灰岩ブロックのみで、極めて断片的である。それに対して、ペルム紀から三疊紀の間に形成された陸棚堆積層や付加体は、より広範に分布している。これらの地質体は、南中国地塊東側のパンサラッサ海に面した活動的大陸縁辺域で形成されたとみなされる(図7)。

その後、南中国大陸地塊は徐々に北に向かって移動しながら、西から移動してきたインドシナ大陸地塊と三疊紀中期末(240 Ma頃)に、さらに、三疊紀後期(220 Ma頃)には南から移動してきたCimmerian大陸地塊と衝突・合体して(Yan *et al.*, 2018; Huang *et al.*, 2018)、最終的に、北中国地塊とともにアジア大陸(ユーラシア大陸)の原型を形成した。その結果、南中国地塊は再び大きな大陸地塊の一部を構成することになった(Matthews *et al.*, 2016)

(図8)。したがって、黒瀬川帯のジュラ紀前期から白亜紀最前期におよぶ陸棚堆積層やジュラ紀付加体は、アジア大陸東縁の太平洋に面した長大な活動的大陸縁辺域の、南中国地塊部分で形成されたとみなされる。また、それらの陸棚堆積層には、地層の年代と近似的な火成年代を有する花崗岩質岩や珪長質火砕岩類の礫が特徴的に含まれることから、南中国地塊の活動的前弧域では、プレート沈み込みによる活発な火成活動がこの間断片的に進行し、シルルデボン系の場合同様に、形成された花崗岩類は固結後速やかに地表に露出・削剥されていたとみなされる。しかしながら、三滝火成岩類を不整合に被覆するシルル系の場合を除くと、陸棚堆積層に礫を供給した花崗岩体本塊は、断片といえども日本列島には存在していない。このことは、黒瀬川帯のテクトニクスを考える上で極めて重要な鍵となる。

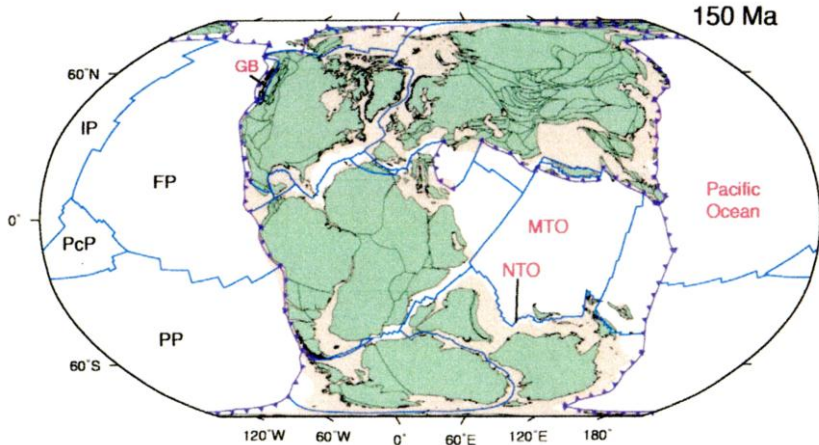


図8 ユーラシア (アジア) 大陸が形成されたジュラ紀後期 (150 Ma) における大陸の配置を示す古地理図 (Matthews et al., 2016) .

Fig. 8 Paleogeographic reconstruction map of the Eurasian (Asian) continent in Late Jurassic time (Matthews et al., 2016) .

以上のように、カンブリア紀からデボン紀後期におよぶ大陸起源の黒瀬川古期岩類、ペルム紀から白亜紀最前期の間に形成された陸棚堆積層および石炭紀、ペルム紀、三畳紀やジュラ紀の付加コンプレックスや変成付加コンプレックスなどの黒瀬川帯構成岩類の形成は、上記のような変遷を辿った南中国地塊の大陸地殻とその活動的前弧域において進行したことが確実にされた。

なお本稿では、紙数の都合から議論できないが、黒瀬川帯と岩層構成、中・古生界の層序や古生物地理がよく似ているとされる南部北上帯の起源についても、これまでに多くの議論がなされている。例えば、永広・蟹澤 (1996) やEhiro (2001) は、南部北上帯は、南中国地塊やオーストラリア地塊に近接した、超大陸ゴンドワナ北縁の沈み込み帯で前期古生代に誕生したこと、それはデボン紀後期には南中国地塊とともにオーストラリア地塊から分裂し、その後ジュラ紀まで南中国地塊に近接した位置にあったという、前述した黒瀬川帯の起源と酷似する起源を提案されていることは注目に値する。

6. まとめ

西南日本外帯黒瀬川帯は、付加体が広範に分布する秩父北帯と三宝山帯に挟まれた狭長な帯状の領域に、主に大陸地塊起源の多様な年代の地質体が、蛇紋岩基質中や断層で境されたテクニク・ブロックを形成している地体区である。このような蛇紋岩メランジュ帯の特徴を有する黒瀬川帯は、九州から関東山地まで断続的に確認される。黒瀬川帯を構成する多様な地質体は、大陸地塊の地殻そのものやその活動的大陸前弧域で形成されたカンブリア紀からデボン紀後期におよぶ黒瀬川古期岩類、ペルム紀から白亜紀最前期の間の種々の年代に形成された活動的大陸縁辺域の陸棚堆積層および石炭紀、ペルム紀、三畳紀やジュラ紀の大陸地塊に付加した付加コンプレックスや変成付加コンプレックスの断片である。

これらを形成した母大陸は、シルル-デボン系の古生物地理的特徴、古テチス海東部～パンサラッサ海のペ

ルム紀紡錘虫フォーナの古生物地理、古地磁気学的データ、さらに、砕屑岩や花崗岩質岩に含まれるジルコン粒子の年代スペクトル解析を総合することによって、南中国地塊およびその前孤域であったことが特定された。

謝 辞

水谷伸治郎氏には、初期段階から丁寧に草稿を校閲していただき、様々な面から貴重なご意見・ご指摘を頂いた。その結果、本稿は大いに改善された。心から感謝の意を表します。Jonathan Aitchison 氏 (University of Queensland) には、英文を点検していただいた。なお本稿は、別の学術誌に投稿を試みたものがベースになっており、その際の査読でいただいたコメント、とくに村田明広氏によるコメントが、本稿に活かされていることを明記します。さらに、今回匿名の査読者に丁寧に査読していただきました。以上の方々に心から感謝申し上げます。

文 献

- 足立 守 (1999) : 四国中央部伊野層より後期三疊紀放射虫化石の発見. 地質学雑誌, **95**, 81-83.
- Aitchison, J.C., Hada, S., Ireland, T. and Yoshikura, S. (1996): Ages of Silurian radiolarians from the Kurosegawa terrane, southwest Japan constrained by U/Pb SHRIMP data. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, **14**, 53-70.
- 青木和彦・江沢 洋・斎藤一夫・中村禎里・橋本光夫・丸山工作 (編) (1980) : 論文に見る日本の科学 (「科学」50 巻記念増刊号) . 岩波書店, 214pp.
- Aoki, K., Isozaki, Y., Yamamoto, A., Sakata, S. and Hirata, T. (2015): Mid-Paleozoic arc granitoids in SW Japan with Neoproterozoic xenocrysts from South China: New zircon U-Pb ages by LA-ICP-MS. *Journal of Asian Earth Sciences*, **97**, 125-135.
- Domeier, M. and Torsvik, T.H. (2014): Plate tectonics in the late Paleozoic. *Geoscience Frontiers*, **5**, 303-350.
- Ehiro, M. (2001): Origin and drift histories of some microcontinents distributed in the eastern margin of Asian Continent. *Earth Science*, **55**, 71-81.
- 永広昌之・蟹澤聡史 (1996) : 南部北上古陸- Gondwana 大陸北縁での誕生と分離-. 月刊地球, **18**, 370-374.
- Furutani, H. (1983): Middle Paleozoic Palaeoscendidae (Radiolaria) from Mt. Yokokura, Shikoku, Japan. Pt. I, *Transaction Proceedings of the Palaeontological Society of Japan*, N.S., no.130, 96-116.
- 波田重熙 (1972) : 高知県鳥形山に分布する三滝火成岩類に発達する断裂系-三滝火成岩類の再動問題の研究 III-. 高知大学学術研究報告, **21**, 63-85.
- Hada, S. (1974): Construction and evolution of the intrageosynclinal tectonic lands in the Chichibu Belt of Western Shikoku, Japan. *Journal of Geosciences, Osaka City University*, **17**, 1-52.

- 波田重熙・後藤博彌 (2022) : パンサラッサ海の中期ペルム紀紡錘虫テリトリ。地学雑誌, **131**, 1-21.
- 波田重熙・石井健一・後藤博彌 (2002) : ペルム紀中期紡錘虫類と黒瀬川地帯の起源。兵庫地学, no. 46, 9-20.
- 波田重熙・石井健一・Landis, C.A.・Aitchison, J.C. (1996) : 中期ペルム紀紡錘虫古生物地理区からみたアジア-太平洋地域テレーンの付加・衝突と黒瀬川地帯の起源。月刊地球, no. 6, 410-415.
- Hada, S., Ishii, K., Landis, C.A., Aitchison, J.C. and Yoshikura, S. (2001): Kurosegawa terrane in Southwest Japan: Disrupted remnants of Gondwana-derived terranes. *Gondwana Research*, **4**, 27-38.
- Hada, S. and Kurimoto, C. (1990): Northern Chichibu Terrane. In Ichikawa, K., Mizutani, S., Hara, I., Hada, S. and Yao, A., (eds.): *Pre-Cretaceous Terranes of Japan*, Publication of IGCP Project 224, 165-183.
- Hada, S., Sato, E., Takeshima, H. and Kawakami, A. (1992): Age of the covering strata in the Kurosegawa terrane: dismembered continental fragments in southwest Japan. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, **96**, 59-69.
- Hada, S. and Suzuki, T. (1983): Tectonic environments and crustal section of the Outer zone of Southwest Japan. In Hashimoto, M. and Uyeda, S., (eds): *Accretion Tectonics in the Circum-Pacific Regions*. Terra Scientific Publishing Company (TERRAPUB), Tokyo, 207-218.
- 波田重熙・鈴木堯士・吉倉紳一・土谷信之 (1979) : 四国の黒瀬川構造帯と西南日本外帯の造構環境。日本列島の基盤 (加納博教授記念論文集), 341-368, 秋田大学.
- Hada, S., Yoshikura, S. and Gabites, J.E. (2000): U-Pb zircon ages for the Mitaki igneous rocks, Siluro-Devonian tuff, and granitic boulders in the Kurosegawa terrane, Southwest Japan. *Memoirs of the Geological Society of Japan*, no.56, 183-198.
- 浜田隆士 (1959) : 西南日本外帯ゴトランド系の層序と分帯。地質学雑誌, **65**, 688-700.
- Hamada, T. (1961): The middle Paleozoic Group of Japan and its bearing on her geological history. *Journal of the Faculty of Science, University of Tokyo Series 2*, **13**, 1-79.
- Hara, H., Hirano, M., Kurihara, T., Takahashi, T. and Ueda, H. (2018): Permian arc evolution associated with Panthalassa subduction along the eastern margin of the South China block, based on sandstone provenance and U-Pb detrital zircon ages of the Kurosegawa belt, Southwest Japan. *Journal of Asian Earth Sciences*, **151**, 112-130.
- 長谷川 遼・安井敏夫・堤 之恭・磯崎行雄 (2017) : 古生代日本の前弧地殻の変遷-高知県中西部黒瀬川帯の古生代中期花崗岩類・砂岩のジルコンU-Pb年代-. 地学雑誌, **126**, 617-640.
- 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**, 201-212.
- Hayase, I. and Nohda, S. (1969): Geochronology on the "Oldest Rock" of Japan. *Geochemical Journal*, **3**, 45-52.
- 久田健一郎・荒井章司・宮本隆実 (1996) : 碎屑性クロムスピネルと Gondwana 大陸北縁部の沈み込み帯。月刊地球, **18**, 375-380.

- Huang, B., Yan, Y., Piper, J.D.A., Zhang, D., Yi, Z., Yu, S. and Zhou, T. (2018): Paleomagnetic constraints on the paleogeography of the East Asian blocks during Late Paleozoic and Early Mesozoic times. *Earth-Science Reviews*, **186**, 8-36.
- 市川浩一郎・石井健一・中川衷三・須槍和巳・山下昇 (1956): 黒瀬川構造帯. 地質学雑誌, **62**, 82-103.
- 池辺展生 (1936): 魚成衝上に就いて. 地球, **6**, 204-224.
- 石田啓祐・香西 武 (2004): 四国東部の南部黒瀬川帯 (坂州帯) 坂州層群 (新称) の層序と放散虫年代. 大阪微化石研究会誌, 特別号, no.12, 129-144.
- 石坂恭一 (1972): 黒瀬川構造帯の火成岩・変成岩の Rb-Sr 年代. 地質学雑誌, **78**, 569-575.
- 磯崎行雄 (1985): 休場礫岩とその産状. 地質学雑誌, **91**, 535-551.
- 磯崎行雄 (1986): 秩父累帯北帯新改層とペルム紀末の黒瀬川地塊北縁収束域. 地質学雑誌, **92**, 497-516.
- Isozaki, Y. (1987): End-Permian convergent margin along the northern margin of Kurosegawa landmass and its products in central Shikoku. *Journal of Geosciences, Osaka City University*, **30**, 51-131.
- 磯崎行雄・橋口孝泰・板谷徹丸 (1992): 黒瀬川クリッペの検証. 地質学雑誌, **98**, 917-941.
- 磯崎行雄・板谷徹丸 (1990): 四国中央部および紀伊半島西部黒瀬川地帯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-. 地質学雑誌, **96**, 623-639.
- 磯崎行雄・板谷徹丸 (1991): 四国中西部秩父累帯北帯の先ジュラ紀クリッペ-黒瀬川内帯起源説の提唱-. 地質学雑誌, **97**, 431-450.
- 磯崎行雄・丸山茂徳 (1991): 日本におけるプレート造山論の歴史と日本列島の新しい地体構造区分. 地学雑誌, **100**, 697-761.
- 磯崎行雄・丸山茂徳・青木一勝・中間隆晃・宮下 淳・大藤 茂 (2010): 日本列島の地体構造区分再訪-太平洋型 (都城型) 造山構成单元および境界の分類・定義. 地学雑誌, **119**, 999-1053.
- Iwasaki, M. and Shibata, K. (1984): Notes on mineralogy and K-Ar determination for the garnet-amphibolite from Kurosegawa Tectonic Zone of Kamodani area, eastern Shikoku. *Memoir of Liberal Arts, Tokushima University*, **35**, 9-17.
- 勘米良亀齡 (1976): 過去と現在の地向斜性堆積体の対応 I・II. 科学, **46**, 287-291, 371-378.
- 勘米良亀齡・橋本光男・松田時彦編 (1980): 岩波講座 [地球科学] **15**: 日本の地質, 岩波書店, 東京, 387pp.
- Kanmera, K. and Nishi, H. (1983): Accreted oceanic reef complex in Southwest Japan. In Hashimoto, M. and Uyeda, S. (eds.): *Accretion tectonics in the circum-Pacific regions*, 195-206. TERRAPUB, Tokyo.
- Kato, M. (1990): Palaeozoic Corals. In Ichikawa, K., Mizutani, S., Hara, I., Hada, S. and Yao, A., (eds.): *Pre-Cretaceous terranes of Japan*, Publication of IGCP Project 224, 307-312.
- 加藤 潔・清水宏典・坂 幸泰 (2002): 紀伊半島中央部, 三重県宮川村~奈良県天川村の秩父累帯. 地質学雑誌, **108**, 557-574.
- 甲藤次郎・小嶋郁生・吉倉紳一・土谷信之・半田一幸・小川芳男・佐々木孝 (1976): 高知市鴻ノ森の地質. 高知大学学術研究報告, **25**, 自然科学, no. 13, 107-115.

- Kawaguchi, K., Hayasaka, Y., Shibata, Kimura, K. and Das, K. (2022): Tectonic evolution of Southwest Japan at the Cretaceous time inferred from the zircon U-Pb geochronology along the Maana Belt, western Shikoku, Japan. *LITHOS*, 410-411, 106568.
- Kido, E. and Sugiyama, T. (2011): Silurian rugose corals from the Kurosegawa terrane, Southwest Japan, and their paleobiogeographic implications. *Bulletin of Geosciences*, **86**, 49-61.
- Kobayashi, T. and Hamada, T. (1974): Silurian trilobites of Japan in comparison with Asia. *Palaeontological Society of Japan, Special Paper* **18**.
- 小林靖広・高木秀雄・加藤 潔・山後公二・柴田 賢 (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, no. 56, 65-88.
- 小出良幸 (2012) : 愛媛県西予市付近の地質概要と課題. 札幌学院大学人文学会紀要, **91**, 1-25.
- 桑野幸夫 (1976) : 黒瀬川構造帯におけるシルル紀コノドントの産出. 国立科学博物館専報, no. 9, 17-20.
- 前島 渉・吉倉紳一 (1976) : 和歌山県湯浅北方ペルム系浮石層. 地質学雑誌, **82**, 643-654.
- Maruyama, S. (1981): The Kurosegawa Melange Zone in the Ino District to the north of Kochi City, central Shikoku. *Journal of the Geological Society of Japan*, **87**, 569-583.
- 丸山茂徳・植田良夫 (1975) : 四国東部の黒瀬川構造帯に伴う超塩基性岩岩体中の結晶片岩とその K-Ar 年代. 岩石鉱物鉱床学会誌, **70**, 47-52.
- Maruyama, S., Ueda, Y. and Banno, S. (1978): 208-240 m. y. old jadeite-glaucophane schists in the Kurosegawa Tectonic Zone near Kochi City, Shikoku. *Journal of the Japan Association of Mineralogy, Petrology and Economic Geology*, **73**, 300-310.
- 松田哲夫・佐藤浩一 (1979) : 高知県中央部秩父累帯に分布する結晶片岩類の年代のコノドント化石による検討. 地質学雑誌, **85**, 587-590.
- Matsumoto, T. and Kanmera, K. (1949): Contribution to the tectonic history in the Outer Zone of Southwest Japan. *Memoirs of the Faculty of Science, Kyushu University*, Ser. D, **3**, 77-90.
- 松岡 篤 (1984) : 四国秩父累帯南帯の斗賀野層群. 地質学雑誌, **90**, 455-477.
- 松岡 篤 (1985) : 高知県佐川地域秩父累帯中帯南部の中部ジュラ系毛田層. 地質学雑誌, **91**, 411-420.
- 松岡 篤・山北 聡・榊原正幸・久田健一郎 (1998) : 付加体地質学の観点に立った秩父累帯のユニット区分と四国西部の地質. 地質学雑誌, **104**, 634-653.
- Matthews, K., Maloney, K.T., Zahirovic, S., Williams, S.E., Seton, M. and Muller, R.D. (2016): Global plate boundary volution and kinematics since the late Paleozoic. *Global and Planetary Change*, **146**, 226-250.
- 宮地克也・吉倉紳一 (1988) : 黒瀬川構造帯産蛇紋岩の残晶スピネル. 日本地質学会関西支部報, 106・西日本支部報, 91 (合併号), 14-15.
- 水谷伸治郎 (1988) : テレーン解析とコラージュテクトニクス-私のみた地球科学の一側面-. 地質学雑誌, **94**, 977-996.
- Mizutani, S., Hattori, I., Adachi, M., Wakita, K., Okamura, Y., Kido, S., Kawaguchi, I. and Kojima, S.

- (1981): Jurassic formations in the Mino area, central Japan. *Proceedings of Japan Academy*, vol.57-B, 194-199.
- 村田明広 (2016) : 秩父帯. 「日本地方地質誌7 四国地方」(日本地質学会編), 103-151, 朝倉書店.
- 村田明広・前川寛和 (2007) : 四国中西部, 秩父帯北帯の名野川衝上断層. 徳島大学総合学部自然科学研究, **21**, 65-75.
- 村田明広・前川寛和 (2009) : 四国中央部西石原地域における御荷鉾緑色岩類の地質構造. 徳島大学総合科学部自然科学研究, **23**, 77-85.
- 村田明広・前川寛和 (2013) : 四国西部秩父帯, 鳥形山-大野ヶ原石灰岩体と新期伊野コンプレックスの地質構造. 徳島大学総合科学部自然科学研究, **27**, 89-97.
- 中川衷三・須槍和巳・市川浩一郎・石井健一・山下昇 (1959) : 黒瀬川構造帯周辺の地質. 徳島大学学芸紀要(自然科学), **9**, 33-58.
- Nakai, H. (1981): Silurian corals from the Yokokurayama Formation in the Mt. Yokokura region, Kochi Prefecture, southwest Japan-Part I, Halysitidae. *Transaction Proceedings of the Palaeontological Society of Japan*, N.S., no.123, 139-158.
- Nakajima, T. and Maruyama, S. (1978): Barroisite-bearing schist in serpentine of the Kurosegawa Tectonic Zone, west of Kochi City, central Shikoku. *Journal of the Geological Society of Japan*, **84**, 231-242.
- 中島 隆・丸山茂徳・松岡喜久次 (1978) : 四国中央部伊野層緑色岩の変成作用. 地質学雑誌, **84**, 729-737.
- 中間隆晃・平田岳史・大藤 茂・柳井修一・丸山茂徳 (2010) : 日本列島の古地理学-砕屑性ジルコン年代頻度分布と造山帯後背地の変遷-. 地学雑誌, **119**, 1161-1172.
- Nakaseko, K. and Nishimura, A. (1981): Upper Jurassic and Cretaceous radiolaria from the Shimanto Group in Southwest Japan. *Science Report of the College of General Education, Osaka University*, **28**, 133-203.
- 日本地質学会 (編) (2016) : 日本地方地質誌7 「四国地方」. 670pp.
- Nohda, S. (1973): Rb-Sr dating of Yatsushiro Granite and gneiss, Kyushu Japan. *Earth Planetary Science Letters*, **20**, 140-144.
- 濡木輝一・唐木田芳文 (1988) : 徳島県阿南市金石の黒瀬川構造帯から藍晶石-十字石-ざくろ石-雲母片岩の発見. 地質学雑誌, **94**, 305-308.
- Ohkawa, M., Takeuchi, M., Li, Y., Saitoh, S. and Yamamoto, K. (2021): Paleogeography and tectonic evolution of a late Paleozoic to earliest Mesozoic magmatic arc in East Asia based of detrital zircons from Early Triassic Shingai Unit, Kurosegawa Belt, Southwest Japan. *Journal of Asian Earth Sciences*, **212**, 1-18.
- 小山内康人・濱本拓志・加賀美寛雄・大和田正明・堂山大助・安東努 (2000) : 九州黒瀬川帯に産するザクロ石-単斜輝石グラニュライトおよびザクロ石角閃岩の原岩と同位体年代. 地質学論集, no. 56, 199-212.
- Premo, W.R., Tatsumoto, M. and Yasui, T. (1988): A U-Pb zircon age for the Yokokurayama granite, Japan.

American Geophysical Union Spring Meeting Abstract, EOS, 69, 518.

- 沢田 輝・磯崎行雄・坂田周平 (2020) : 東京都産古生代前期造山帯の断片 : 関東山地東部, 黒瀬川帯高圧型変斑れい岩および花崗岩類のジルコン U-Pb 年代. *地質学雑誌*, **126**, 551-561.
- Scotese, C.R. (1997): Paleogeographic Atlas. *PALEOMAP Progress Report*, 90-0497, Department of Geology, University of Texas at Arlington, Texas, 45pp.
- Shibuya, H. and Sasajima, S. (1983): A paleomagnetic study on Silurian-Devonian System in Kurosegawa Tectonic Zone, Southwest Japan. *Rock Magnetism and Paleogeophysics*, **8**, 53-56.
- 渋谷秀敏・笹島貞雄・吉倉紳一 (1983) : 黒瀬川構造帯, 横倉山レンズ状部, シルル系酸性凝灰岩の古地磁気. *地質学雑誌*, **89**, 307-309.
- 鈴木堯士 (1975) : 高知県妹背レンズ状部の黒瀬川構造帯. 島弧基盤, no. 2, 34-38.
- 鈴木堯士・波田重熙・吉倉紳一 (1976) : 黒瀬川構造帯の形成機構-主として高知県を中心として-. 島弧基盤, no. 3, 57-58.
- 平 朝彦・甲藤次郎・田代正之・岡村 真 (1980) : 高知県四万十帯の地質と起源. 平朝彦・田代正之編 : 四万十帯の地質学と古生物学. 林野弘済会, 319-389.
- 平 朝彦・斎藤靖二・橋本光男 (1981) : 日本列島の形成の基本的プロセス. *科学*, **51**, 516-523.
- 高木秀雄・柴田 賢・内海 茂 (1999) : 四国鳥形山地域黒瀬川帯, 三滝花崗岩類の K-Ar 年代とその意義. 早稲田大学教育学部学術研究-生物学・地学編-, **47**, 1-5.
- 高橋雅紀 (2015) : 本邦地質学の難問, 黒瀬川帯の謎に迫る (講演ビデオ). 東京都地質調査業協会.
- 武田賢治・榎坂 敏・板谷徹丸・西村祐二郎 (1993) : 四国西端部三瓶地域の真穴帯-構成と地体構造的的位置づけ-. *地質学雑誌*, **99**, 255-279.
- 植田良夫・中島 隆・松岡喜久次・丸山茂徳 (1980) : 高知市北方の黒瀬川帯に伴う准片岩-伊野層と結晶片岩ブロックの K-Ar 年代. *岩石鉱物鉱床学会誌*, **75**, 230-233.
- 梅田真樹 (1998) : 高知県横倉山地域のシルル〜デボン系横倉山層群. *地質学雑誌*, **104**, 365-376.
- 脇田 浩二・宮崎一博・利光誠一・横山俊治・中川昌治 (2007) : 伊野地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の1 地質図幅, 産総研地質総合センター, 140pp.
- 山北 聡 (1998) : 北部秩父帯とはどの範囲か-北部秩父帯と黒瀬川帯をめぐる地体区分上の問題-. *地質学雑誌*, **104**, 623-633.
- 山北 聡・大藤 茂 (2000) : 白亜紀左横すべり断層系としての中央構造線-黒瀬川断層系による日本列島先白亜紀地質体の再配列過程の復元. *地質学論集*, no. 56, 23-38.
- Yan, Y., Huang, B., Zhang, D., Charusiri, P. and Veeravananakul, A. (2018): Paleomagnetic study on the Permian rocks of the Indochina block and its implications for paleogeographic configuration and northward drifting of Cathaysia in the Pale-Tethys. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **123**, 4523-4538.
- Yanagi, T. (1975): Rubidium-strontium model of formation of the continental crust and granite at the island arc. *Memoir of Faculty of Science, Kyushu University, ser. D*, **22**, 37-98.

- 安井敏夫 (1884) : 黒瀬川構造帯横倉山レンズ状部におけるシルル系の基盤について. 地球科学, **38**, 89-101.
- 吉倉紳一(1982) : 黒瀬川構造帯横倉山レンズ状部の地質と薄衣式礫岩. 地質学論集, **21**, 213-229.
- Yoshikura, S. (1985): Igneous and high-grade metamorphic rocks in the Kurosegawa Tectonic Zone and its tectonic significance. *Journal of Geosciences, Osaka City University*, **28**, 45-83.
- 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*, Publication of IGCP Project 224, 185-201.
- 吉倉紳一・秦 二郎 (1982) : 志麻半島西部の五カ所-安楽島構造線の蛇紋岩. 日本岩石鉱物鉱床学会昭和 56 年秋季連合学術講演会要旨, 130.
- Yoshikura, S., Shibata, K. and Maruyama, S. (1981): Garnet-clinopyroxene amphibolite from the Kurosegawa Tectonic Zone, near Kochi City-Petrology and K-Ar age-. *Journal of the Association of Mineralogy, Petrology and Economic Geology*, **76**, 102-109.