

西南日本外帯黒瀬川帯のテクトニクス

Tectonics of the Kurosegawa belt in the Outer Zone of SW Japan

波田重熙*

Shigeki Hada

Abstract

The Kurosegawa belt is a narrow, discontinuous body with serpentinite mélanges that transects the middle of the Jurassic accretionary belts in the Outer Zone of SW Japan. Constituent rocks of the Kurosegawa belt which include high-grade metamorphic rocks, granitic rocks, continental shelf sediments, and accretionary complex lithologies strongly indicate the derivation of the South China Block. The block detached from Gondwana supercontinent in the Middle Carboniferous and became isolated in equatorial regions north of Gondwana in the area between East Paleo-Tethys and Panthalassa during the Permian to Triassic. Then the block amalgamated with the Asian (Eurasian) continent by the Late Triassic. As a result, a long west-dipping subduction zone along the eastern margin of the Asian continent initiated along the western margin of the Pacific Ocean. Oblique subduction of Izanagi Plate in the Early Cretaceous resulted in sinistral strike-slip displacement along this margin resulting in formation of the serpentinite mélange zone that characterizes the Kurosegawa belt. Constituent blocks of the belt were translated northward along the convergent continental plate margin to their present position. This interpretation provides an alternative hypothesis that challenges the existing Kurosegawa klippe and tectonic erosion model for SW Japan, and the concept of Greater South China.

キーワード: 西南日本外帯, 黒瀬川帯, 蛇紋岩メランジュ帯, 左横ずれ断層運動, 黒瀬川クリッペ, 構造浸食, Greater South China (GSC)

1. はじめに

日本列島の形成・発展に関する研究は、1970年代にプレートテクトニクスが登場したことによって、根底から検討しなおす必要に迫られた。この流れの中で、付加体形成プロセスが解明され、放散虫生層序学が確立したことによって、日本列島地体構造発達史への理解はめざましい進展を遂げた。さらにこの動きを加速させたのが、2000年代に入ってから始まった、花崗岩類や砕屑岩類に含まれるジルコン粒子のU-Pb年代学の確立であった。その結果、西南日本外帯黒瀬川帯の研究も画期的に進展し、構成岩類の特性、年代や分布様式などに関する知識が格段に増加した。黒瀬川帯を構成する主体は、大陸起源の黒瀬川古期岩類と呼ばれる、カンブリア紀からデボン紀の年代を有する高度変成岩類（寺野変成岩類）や圧碎花崗岩類（三滝花崗岩類）および化石を多産する石灰岩と火山砕屑岩類からなるシルルーデボン系である。それらに加えて、ペルム紀から白亜紀最前期に及ぶ広範な年代を有する活動的大陸縁辺域の陸棚堆積層の存在が明らかとなった。それらには、花崗岩類や珪長質火砕岩類の礫が特徴的に含まれる。また、石炭紀、ペルム紀、三畳紀およびジュラ紀付加体も重要な構成岩類であることが判明した。

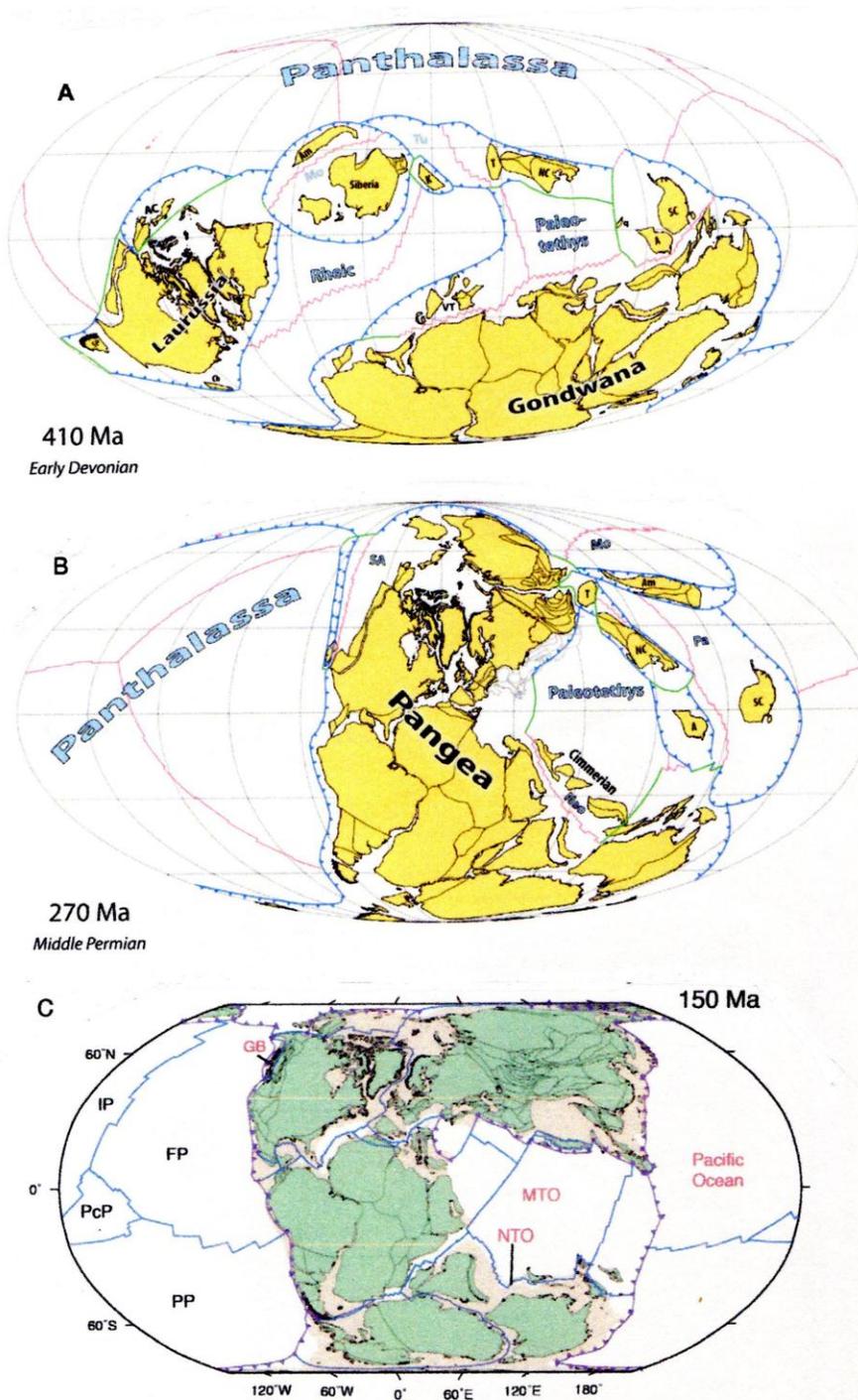


図1 大陸と大洋の分布を示す古地理復元図 A: デボン期前期 (Domeier and Torsvik, 2014) ; B: ペルム紀中期 (Domeier and Torsvik, 2014) ; C: ジュラ紀後期 (Matthews et al., 2016) . (略号SC: 南中国大陸地塊; A: インドシナ大陸地塊) .
Fig. 1 Paleogeographic map illustrating the distribution of lands and ocean. A: Early Devonian (Domeier and Torsvik, 2014) ; B: Middle Permian (Domeier and Torsvik, 2014) ; C: Late Jurassic (Matthews et al., 2016) . (Abbreviations SC: South China continental block; A: Indochina continental block).

さらに、これらの黒瀬川帯構成岩類の形成は、超大陸 Gondwana の北東部を占めていた「南中国地塊」(図 1A) で始まったことが確実となった。南中国地塊は、その後超大陸から分裂して、古テチス海とパンサラッサ海境界の赤道地帯に独立した地塊として分布した後(図 1B)、アジア(ユーラシア)大陸の原型が形成されると、最終的にその一部に組み込まれた(図 1C)ことが明らかにされている。黒瀬川帯の大陸起源の地質体や付加体は、このような変遷を辿った南中国地塊に帰属していたとみなされる(波田, 2023 参照)。

ところが、南中国地塊起源とみなされた多様な地質体は、その後そこから引きちぎられてさまざまな大きさのブロックと化し、現在は西南日本外帯の付加体が広範に分布する領域に移動し、黒瀬川蛇紋岩メランジュ帯を形成している。このような、黒瀬川帯の形成・発展過程(テクトニクス)を解明することは、西南日本の地体構造発達史を考察する上で極めて重要な課題である。そこで本稿では、黒瀬川帯の形成・発展をめぐるこれまでの議論を整理し、残された課題について言及することにする。

2. 黒瀬川帯の形成メカニズムとテクトニクス

黒瀬川帯の主に大陸地塊由来の異地性地質体が、西南日本外帯の秩父北帯と三宝山帯を構成する海洋起源のジュラ紀付加体の間に定置したテクトニクスについては、これまでに、「黒瀬川古陸衝突・付加説」、「黒瀬川クリップ説」および「黒瀬川左横ずれ蛇紋岩メランジュ帯説」の大きく分けて3つの説が提唱されている。

黒瀬川帯の際立った特徴は、付加体が広範に分布する周囲とは全く異なり、主に大陸起源の多様な地質体の岩塊が蛇紋岩を伴って構造帯的な地体構造区を形成している点である。そのような地帯のテクトニクスを説明するために多くの研究者が最初に発想したのが、日本列島とは無関係の微小大陸(マイクロコンチネント)が別の場所から移動してきて、日本列島の大洋側から衝突・付加したとする考えであった。この考えを日本の地質に最初に導入したのは、勘米良ほか(1980)と Saito and Hashimoto (1982)であった。彼らは、東北日本の南部北上帯や西南日本の黒瀬川(構造)帯の起源は、Nur and Ben-Avraham (1977)が提唱した“Pacifica”の考え方で説明可能であると考えた。Nur and Ben-Avraham (1977)の考えは、環太平洋地域には、大洋中央部低緯度地帯から四方八方に拡散・移動して、最終的に周囲の陸域に衝突・付加した地質体が存在するという着想であった。黒瀬川帯についてはその後も、大洋側から「黒瀬川古陸」が衝突・付加したとする考えが多くの研究者によって提唱された(Ichikawa, 1981; Taira *et al.*, 1983; Maruyama *et al.*, 1984; Yoshikura, 1985; 磯崎, 1986; Yoshikura *et al.*, 1990 ほか)。また、フランスの研究グループは、西南日本の特徴的な構造は、Alpine-type 造山帯で一般的なスラスト・シートやナップであるとし、その形成には微小大陸や成熟した島弧が間欠的に衝突することが欠かせないとする考え方を最近に至るまで一貫して踏襲している(Faure, 1985; Charvet, 2013 ほか)。

ところが、伊藤・佐藤(2010)が地震探査による西南日本の海溝側から島弧を経て日本海に至る詳細な地殻構造断面を公表したことによって(図 2)、黒瀬川古陸衝突・付加説は根底から考え直す必要に迫られた。伊藤・佐藤(2010)が示した反射法を基礎とする地殻上部の構造モデルによると、地表における秩父帯の地層の分布域の地下には、秩父帯の南側に分布する四万十層群から緩やかに北傾斜する反射領域が漸続的に追跡されることから、秩父帯付加体は四万十帯付加体の分布に遮られて地下深部まで延長していないと解釈された。一方、秩父帯と四万十帯の境界を画する仏像構造線は、地表位置から秩父帯の暫定的な深度数 km 以浅に存在する推定底面を通り、反射的領域として把握される三波川帯変成岩類の底面に至ると解釈された(図 2)。

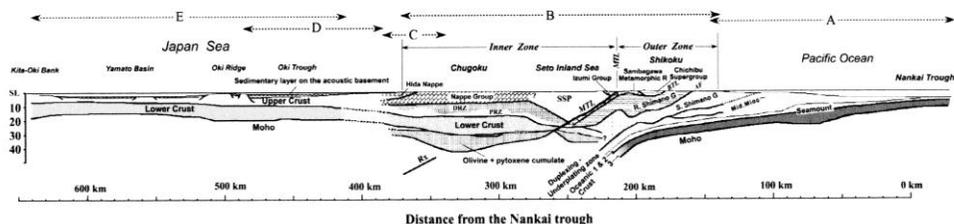


図2 南海トラフ-大和盆地北縁地殻構造断面。MTL：中央構造線；BTL：仏像構造線；AF：安芸断層（伊藤・佐藤，2010）。
Fig.2 Crustal cross-section from the Nankai trough to the northern margin of the Yamato basin. MTL: Median Tectonic Line; BTL: Butsuzo Tectonic Line; AF: Aki fault (Ito and Sato, 2010)。

この研究は、活動的大陸縁辺域において、付加過程が進行する変動帯の地質構造の解明に大きく寄与した点で、極めて重要な研究成果であった。この結果、少なくとも西南日本外帯の地下に、衝突・付加した黒瀬川古陸のような陸塊が残存している可能性は完全に否定された。そこで以下では、現在も議論が続いている、黒瀬川クリッペ説と黒瀬川左横ずれ蛇紋岩メランジュ帯説の二つについて言及することにする。

3. 黒瀬川クリッペ説

黒瀬川帯の成因に関する本格的な議論は、磯崎・板谷（1991）が「黒瀬川クリッペ説」を提唱したことによって始まった。彼らの説は、高知県中西部の秩父北帯において、ジュラ紀付加体「中津山ユニット (Hada and Kurimoto, 1990)」の上位に、弱変成「吾川ユニット」がスラストで累重することを発見したことに始まる（図3）。そこで彼らは、この地域に分布する付加体弱変成岩の白雲母の K-Ar 年代を検証した。すると、中津山ユニットが 134~117 Ma であるのに対して、吾川ユニットは 223~179 Ma であり明らかに古かった。一方、吾川ユニットの K-Ar 年代は、黒瀬川帯の弱変成岩（変成付加コンプレックス）の年代群とはよく一致していた（図3）。例えば、黒瀬川帯の変成付加コンプレックス上倉層の年代は 229~186 Ma（磯崎・板谷，1990）である。ちなみに、その後明らかにされた黒瀬川帯新期伊野変成コンプレックスの年代も 185~148 Ma（脇田ほか，2007）である。そこで彼らは、吾川ユニットは黒瀬川帯構成要素とみなされ、秩父北帯のジュラ紀付加体の構造的上位に累重していると結論した。

また、黒瀬川帯構成要素はその南側に分布する三宝山帯ジュラ紀付加コンプレックスとは北傾斜の断層で接していることから、それらを総合的に考察して、黒瀬川帯は秩父北帯と三宝山帯のジュラ紀付加コンプレックスの構造的上位に、クリッペ状に累重しているとする、黒瀬川帯の地質構造に関するそれまでにはなかった革命的な考えを提唱した。彼らはまた、黒瀬川クリッペの構成要素は、西南日本内帯の隠岐帯の南側（下位）に分布し、美濃-丹波帯ジュラ紀付加体の構造的上位を占める、「内帯先ジュラ系地質体」とよく一致するとする見解を示した。ジュラ紀付加体の上位の地質体とは、超丹波帯、舞鶴帯、「三郡」変成岩および秋吉帯からなる先ジュラ紀付加体と、長門構造帯や飛騨外縁帯に包含される古期岩類である。これらは、黒瀬川帯構成要素と類似し、両者の地質構造的層準も一致するとみなされたことから、黒瀬川帯は内帯の先ジュラ系の構造的な外座地質体または巨大クリッペにあたと推定した（磯崎・板谷，1991）（図4）。さらに、磯崎ほか（1992）はこの仮説を検証するために、四国や紀伊半島において黒瀬川帯周辺の弱変成岩の K-Ar 年代を広範に測定し、黒瀬川帯構成要素の年代を有する地質体の広がり示すとともに、それらの地質体の詳細な産状を明らかにして、黒瀬川帯構成要素は秩父帯のジュラ紀付加体の上にクリッペ状に累重すると結論した。

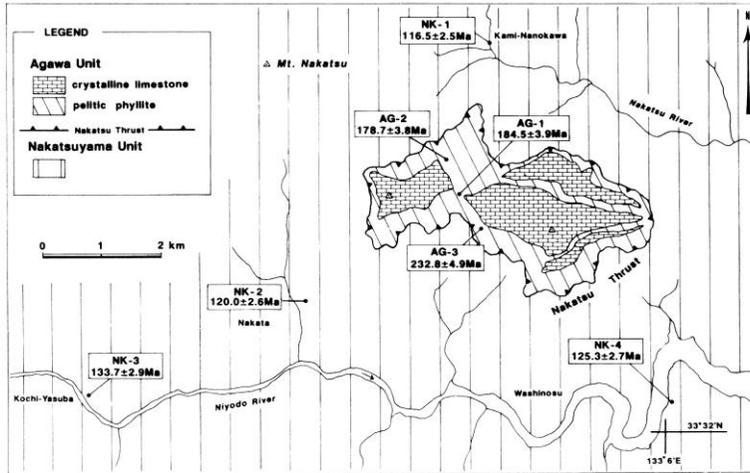


図3 四国中・西部中津山地域の吾川ユニットと中津山ユニットを示す地質図とそれらの白色雲母K-Ar年代 (磯崎・板谷, 1991).
Fig.3 Geologic map of the Agawa and Nakatsuyama units and their white mica K-Ar ages (Isozaki and Itaya, 1991).

黒瀬川クリッペ説に基づく西南日本の模式断面図 (図4) は、伊藤・佐藤 (2010) が示した反射法を基礎とする西南日本の地殻構造断面図 (図2) と極めて整合的であるといえる。伊藤・佐藤による地殻構造断面図を見ると、秩父帯ジュラ紀付加体の南 (下) 限は低角度で北に傾斜する仏像構造線で、それを北へたると、ジュラ紀付加体を遮断するように仏像構造線から地表に向かって延びる副次的な断層が派生すると解釈されている。その結果、ジュラ紀付加体は仏像構造線から派生した南傾斜の断層によって北限を画され、最終的に三波川変成岩類の構造的上位に累重するように描かれている (図2)。すなわち、秩父帯ジュラ紀付加体は全体として向斜状を呈していることになる。伊藤・佐藤 (2010) の地殻構造断面図には黒瀬川帯は表示されていなかったが、その後の磯崎 (2018) ではそれを改変して、向斜状を呈する秩父帯ジュラ紀付加体のさらに上位に、黒瀬川帯が向斜状を呈して構造的に累重するとする模式断面図を示した。

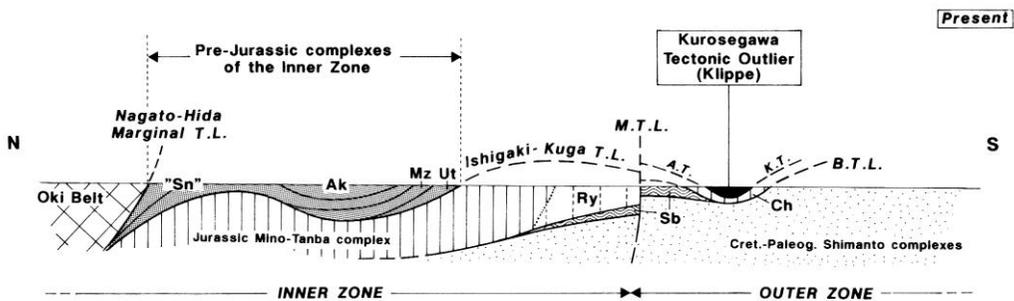


図4 西南日本中国一四国の地体構造区分を示す模式断面 (磯崎・板谷, 1991). Ak: 秋吉帯; "Sn": 三郡変成帯; Mz: 舞鶴帯; Ut: 超丹波帯; Ry: 領家帯; Sb: 三波川帯; Ch: 秩父帯; A.T.: 上倉スラスト; K.T.: 神原谷スラスト; B.T.L.: 仏像構造線

Fig.4 Schematic profiles of the Paleozoic-Mesozoic orogen in SW Japan (Isozaki and Itaya, 1991). Ak: Akiyoshi belt; "Sn": Sangun metamorphic belt; Mz: Maizuru belt; Ut: Ultra-Tanba belt; Ry: Ryoke belt; Sb: Sanbagawa belt; Ch: Chichibu belt; A.T.: Agekura Thrust; K.T.: Kanbaradani Thrust; B.T.L.: Butsuzo Tectonic Line.

これに対して、斎藤ほか(2005)や脇田ほか(2007)は、5万分の1地質図幅作成のために実施した詳細な地質調査に基づいて、磯崎・板谷(1991)の黒瀬川帯をクリップと見なす地体構造モデルは、調査地域でも支持されるとする見解を示した。斎藤ほか(2005)は、「黒瀬川帯」の蛇紋岩メランジュや正常堆積物、ペルム紀堆積岩コンプレックスがジュラ紀付加コンプレックスを構造的に覆うとする模式断面のモデルを示している。九州西部地域の古生界・中生界についてはこれまでに多くの研究が進められてきた結果、斎藤ほか(2005)でも示されたように、地質体の延びの方向にはほぼ平行な東北東-西南西に走る複数の構造線あるいは攪乱帯により、秩父帯は複数の構造帯に分かれていることが明らかにされている(松本ほか, 1962など)。このような複数の高角断層が存在し複雑な地質を呈する地帯で、多様な地質体相互の関係や後生変形を含めた構造を解明し地質体の上下関係を判定することは、大層困難をとまなう作業であったと想像される。そこでは、「黒瀬川帯」という概念自体が成立しないとされている(斎藤ほか, 2006)。一方脇田ほか(2007)も、非変成ジュラ紀付加コンプレックスが黒瀬川帯の古期伊野変成コンプレックス、三滝深成コンプレックスや寺野変成コンプレックスと呼んだ黒瀬川帯の地質体が、新期伊野コンプレックス(変成付加コンプレックス)とともに、非変成ジュラ紀付加コンプレックスを構造的に覆っていると推定した。いずれも、磯崎・板谷(1991)の黒瀬川帯クリップ説を支持する研究成果であるとされた。

4. 黒瀬川左横ずれ蛇紋岩メランジュ帯説

一方、黒瀬川クリップ説と異なる可能性を提案したのが「黒瀬川左横ずれ蛇紋岩メランジュ帯説」である。黒瀬川帯が横ずれ構造運動によって形成された可能性を最初に提案したのは、黒瀬川クリップ説が提唱される以前の、平ほか(1981)であった。彼らや小澤ほか(1985)は、まず黒瀬川古陸と呼んだ外来陸塊が日本列島の大洋側からジュラ紀末期に衝突・付加し、付加後のジュラ紀末期～白亜紀前期にはプレート運動が横ずれに変化したのに伴い、衝突地塊の大洋側が破壊されて蛇紋岩メランジュ帯が形成されたときとみなし、これこそが「黒瀬川構造帯」であるとする考えを提示した(図5)。

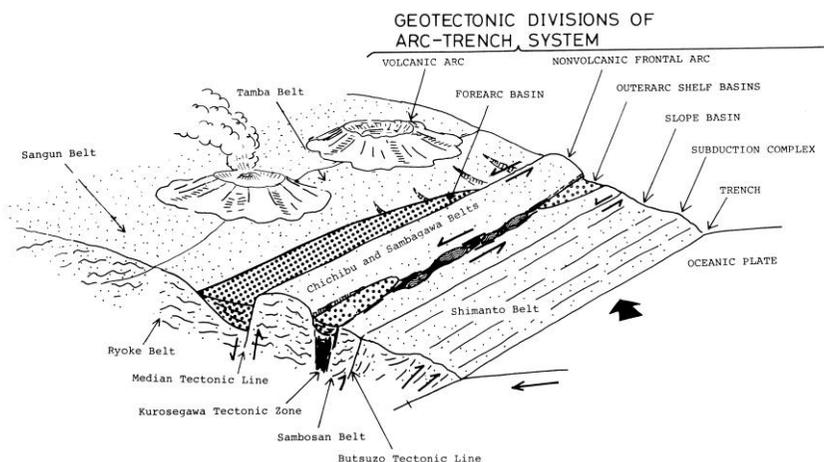


図5 白亜紀後期の西南日本の島弧-海溝系の模式断面図と蛇紋岩メランジュ帯としての黒瀬川構造帯 (Taira et al., 1988) .
Fig.5 Late Cretaceous development of arc-trench system in SW Japan and the Kurosegawa tectonic zone of serpentinite mélangé zone (Taira et al., 1988) .

現在では、黒瀬川帯の異質な地質体を外来陸塊の衝突・付加とみなす考え方は否定され、かわって黒瀬川古期岩類は南中国地塊に由来するとする考えが広く受け入れられるようになった。したがって、彼らの“黒瀬川古陸”の衝突・付加の考え方は現在では成り立たないが、黒瀬川構造帯を横ずれ変動帯と認定したことは極めて先見的な指摘であった。なお、伝統的に黒瀬川構造帯と呼ばれてきた地体は、現在ではより広い意味を持たせた「黒瀬川帯」の一部とみなされている。また同時期に、田代 (1985) は白亜系海生二枚貝フォーナの検討に基づいて、秩父北帯の地質体と不整合関係や断層関係にある白亜系下部統物部川層群 (オーテリビアン階~アルビアン階) のフォーナと、一般にレンズ状あるいはクサビ状の断片的な小分布を示す黒瀬川帯の白亜系下部統南海層群 (バレミアン階~アプチアン階) のフォーナとの間には、古生物地理区の顕著な違いが存在することを発見した。そこで、より低緯度で形成されたと推定した南海層群は、黒瀬川帯に沿って北上して物部川層群と並列するようになった可能性があり、それらの間には巨大な横ずれ断層の存在が想定されるとした。一方、両者の違いは時間の経過とともに縮小され、白亜紀前期末 (アルビアン期) には、物部川・南海両層群の岩相・フォーナともに区別が困難となることから、この時期になると両層群はほぼ同じ古生物地理区内に位置することになったと推定した。

一方、Hada *et al.* (2001) は、西南日本に東西帯状に分布する付加体の年代は全体として大洋側に向かって若くなるが、黒瀬川帯はこの配列を妨げ、しかも周囲とは全く異質な地質体が付加体に挟まるという事実に基づいて、黒瀬川帯は、横ずれ断層運動によって形成された異地性の地質体で構成される蛇紋岩メランジュ帯であるとする考えを示した。その後明らかとなったデータを加味すると、黒瀬川帯を構成する地質体は、南中国地塊を構成していたカンブリア紀から白亜紀最前期におよぶ大陸地塊起源の種々の地質体とその陸塊に付加した付加体であることが明らかになってきた (波田, 2023 参照)。南中国地塊で形成されたとみなされる最も若い地質体は陸棚堆積層で、その年代は白亜紀最前期 (ベリアシアン期) に及ぶ (石田・香西, 2004)。したがって、左横ずれ断層運動によって南中国地塊から多様な地質体が引きちぎられ、現在の黒瀬川帯蛇紋岩メランジュ帯が形成されたとすると、それは白亜紀前期以降のことになる。左横ずれ断層運動を想定する理由は、Maruyama and Seno (1986) が西南日本に対するイザナギプレートの相対運動の解析に基づいて、白亜紀前期の 140~85 Ma には、イザナギプレートが北ないし北北西方向に、大きなスピードで沈み込んでいたことを明らかにしていたことにある。黒瀬川帯は、イザナギプレートが北上するようになったことに対応して、アジア (ユーラシア) 大陸の南中国地塊の部分の前弧域で引き起こされた大規模な左横ずれ断層運動に起因して形成されたとみなされる。左横ずれ断層運動は、アジア大陸の南中国地塊の部分で始まり、蛇紋岩メランジュ帯を形成しながら北に波及したのに伴って、南中国地塊の海側で形成されていた三宝山帯のジュラ紀末~白亜紀前期付加体も北に移動し、より北部の大陸縁辺域で形成されていた秩父北帯のジュラ紀付加体の海側に黒瀬川帯を挟んで並列したとみなされる。

Murata (1982) が早くから推定し、伊藤・佐藤 (2010) によって証明されたように、中央構造線、仏像構造線、安芸構造線は地表では高角であっても地下では内陸側にゆるく傾斜している可能性が高い (図 2)。黒瀬川蛇紋岩メランジュ帯の地下構造もこれと調和的で、低角左横ずれ断層帯は海洋プレートの沈み込み帯に平行するように、緩やかに内陸側に傾斜するように形成されたと推定される。また、イザナギプレートがアジア大陸縁に沿って移動するようになったことによって、前弧域に直交する方向の圧縮力が低下し、前弧域地下のウェッジマンタルのカンラン岩は加水によって蛇紋岩化して上昇し、もともと南中国地塊の大陸地殻や前弧域を構成していた古期岩類、high-P/T 変成岩類、種々の年代に形成された付加体ならびに中・古生代陸棚堆積層がブロックとなって巻き込まれて、黒瀬川蛇紋岩メランジュ帯が形成されたとみられる。

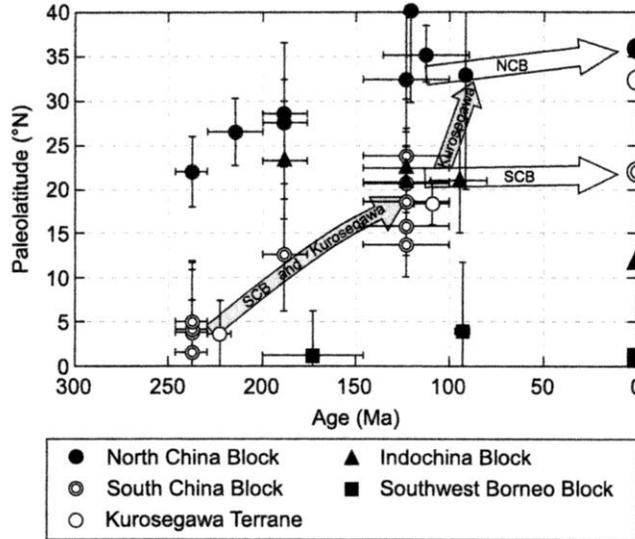


図6 黒瀬川地帯，南・北中国，インドシナおよび南西ボルネオ地塊の年代に対する古緯度の変遷 (Uno et al., 2011) .
Fig. 6 Age versus paleolatitude plot for the Kurosegawa belt and North China, South China, Indochina and Southwest Borneo blocks (Uno et al., 2011) .

それを具現しているのが，九州から関東山地にまで延びる黒瀬川帯であると考えられた。ところで，久田ほか (1996) は，デボン系上部統の碎屑岩中のクロムスピネルの分析に基づいて，デボン紀後期に超大陸ゴンドワナ北縁部から分離・北上し始めた南中国大陸地塊の前孤域で，上部マントル起源の蛇紋岩が突出したと推定されるとした。この時の蛇紋岩帯が，その後の黒瀬川蛇紋岩メランジュ帯を形成した横ずれ断層運動の場となった可能性も考えられ，今後の検討課題である。

この横ずれ断層運動を検証したのが，Uno *et al.* (2011) である。彼らは，熊本県西部の黒瀬川帯に分布する田浦層 (三畳系上部統カーニアン階) および日奈久層 (白亜系下部統アプチアン階) について古地磁気を測定し，両層の細粒碎屑岩からそれぞれ 4° N および 18° N の古緯度のデータを得た (なお，日奈久層の年代は，化石のデータに基づいて，ここではアプチアン階とみなした)。これらの古緯度を，ジュラ紀後期には原型が出来上がっていたアジア (ユーラシア) 大陸の東部を構成する大陸地塊がたどった古緯度の変遷と比較すると，南中国地塊から得られた古緯度のデータのみと有意な差が存在しないことが明らかになった (図6)。とくに議論の対象となる南中国地塊とインドシナ地塊の古地磁気データに注目すると，Uno *et al.* (2011) の解析結果が示すように，両者のジュラ紀前期 (180 Ma) の古緯度データは明瞭に異なっていて，黒瀬川帯の移動軌跡と一致するのは南中国地塊のデータである。なお，Yan *et al.* (2018) は両地塊の移動軌跡は重なるとする見解を示しているが，それは 280 Ma から 250 Ma のことで，その他の年代においては，両者はそれぞれ独自の古緯度値を示している。したがって，少なくとも三畳紀後期から白亜紀前期にかけての期間，黒瀬川帯構成要素は南中国地塊に帰属していた可能性が高いことが示された。ところで，南中国地塊は白亜紀前期以降もほとんど位置を変えていない (18° N) のに対して，黒瀬川帯白亜系下部統の試料採取地点の現在の緯度は 32° N である (Uno *et al.*, 2011)。すなわち，黒瀬川帯白亜系日奈久層は形成後，帰属していた南中国地塊から離れて現在の分布域まで，アジア大陸沿いに北に横ずれしたことを示している (図6)。このこ

とは、筆者が主張する、黒瀬川帯が左横ずれ断層運動によって形成されたとする考えを支持しているとみなされる。そこで次に、西南日本の形成・発展に重要な役割を果たしたと考えられる大規模な横ずれ断層について、言及する。

5. 西南日本における横ずれ断層運動

西南日本では、ジュラ紀付加体で構成される地帯が、美濃-丹波帯、秩父北帯および三宝山帯と複列に重複して分布することが早くから注目されてきた。その原因を、ジュラ紀付加体形成後に、大規模な横ずれ断層運動が進行したことに起因すると考える研究者は、前述した、平ほか (1981)、小澤ほか (1985) や田代 (1985) を含め多い。筆者もその一人である。さらに、Mizutani *et al.* (1989) や Mizutani and Kojima (1992) は、放散虫化石の検討に基づいて、ジュラ紀付加体美濃帯がシホテ・アリンや中国東北部に連続することを示し、それはもともとアジア大陸東縁 (中国南部) において形成されたもので、白亜紀にはそれが大陸縁に沿って大規模に並進して、中国北部まで移動したとする考えを示した。Zheng *et al.* (1990) は古地磁気データによってこの考えを検証し、現在シホテ・アリンや中国東北部に分布するジュラ紀から白亜紀の付加体は、もともと台湾のあたりで形成されたことを示した。一方、田沢 (1993) は、主に古生物地理学的データに基づいて、日本列島の骨格構造の形成における横ずれ断層運動の重要性について言及した。彼は、もともと北中国地塊東縁に一列に連なっていた飛騨外縁帯、南部北上帯および南部北上帯の南西延長部である黒瀬川帯の3帯の先白亜系地体群 (“リボンコンチネント”) が、前期白亜紀~古第三紀の左横ずれ運動によって大規模に変位し、“原日本”の最終的な地体群の再配列が進行したとした (田沢, 2004 など)。一方、Otoh and Yanai (1996) や大藤ほか (2000) によると、日本の先後期ジュラ紀浅海成層は、アジアの大陸側、太平洋側を問わず、各時代の同じ動植物区で堆積したのに対して、ジュラ紀後期~白亜紀前期になると、アジア大陸側と太平洋側とで古生物地理的な違いが生じたことを指摘し、その原因は横ずれ断層運動に求められるとした。彼らは、飛騨帯や飛騨外縁帯に残るジュラ紀の右横すべり延性剪断を根拠に、まず右横すべり剪断変形が太平洋側の地質体を相対的に南へ押しやったと推定した。一方、ジュラ紀後期~白亜紀には、前述した田代 (1985) などの古生物地理区研究を根拠に、黒瀬川帯や中央構造線に沿う大規模な左横すべり運動が推定され、黒瀬川帯の先白亜系は、現在の華南の沖合ないしさらに南方から北上したと推定されるとした。また、Matsukawa *et al.* (1997) は、付加体を不整合に覆う非海成ないし浅海成堆積層に産する軟体動物の化石層序と時代論に基づいて、西南日本のジュラ紀から白亜紀前期の付加体の重複配列は、横ずれ断層運動により白亜紀前期に形成されたとした。さらに山北・大籐 (2000) は、白亜紀前期および後期のアジア大陸東縁部には、それぞれ数百 km 以上の変位量を持つ左横すべり断層系が存在していたとし、白亜紀前期のものを黒瀬川断層系、白亜紀後期のものを中央構造線断層系と呼んだ。両者は、微妙に位置がずれるが、一部では重複しており、2つの時期に分かれて活動した一連の断層系ととらえ、両者を合わせたものを中央構造線-黒瀬川断層系と呼んだ。中央構造線-黒瀬川断層系は低角左横すべり断層で、2000 km 以上の総延長、1000 km オーダーの総変位量を持つ一大断層系であるとしている。このように、西南日本の形成にジュラ紀後期~白亜紀前期の横ずれ断層運動が重要な役割を果たしたとする研究者は多く、黒瀬川帯の形成も同様な構造的枠組みの中で議論されている。なお、黒瀬川クリップ説では、西南日本におけるジュラ紀付加体形成後の大規模な横ずれ断層運動との関係については言及されていない。

6. 黒瀬川帯クリッペ説のその後の展開

磯崎ほかは黒瀬川クリッペ説を提唱後も、クリッペ説と伊藤・佐藤 (2010) の地殻構造モデルをベースに、花崗岩類の放射年代、碎屑性ジルコンの大量年代測定などを時間的にも空間的にも大きく広げて精力的に推進し、日本列島形成のテクトニクスに関して、さらなる斬新な見解を提供し続けている (Isozaki *et al.*, 2010, 2014, 2017; 磯崎ほか, 2010, 2011; 中間ほか, 2010; 鈴木ほか, 2010; Aoki *et al.*, 2012, 2015; 長谷川ほか, 2017)。

それらによると、彼らの重要な主張の1つは、「構造浸食」とみなされる。構造浸食とは、海洋プレートの沈み込みに伴って、前弧域の堆積層が海溝に崩落し沈み込むプレートに巻き込まれる現象と、和達-ベニオフ帯で前弧の地殻が下位から削剥・除去される現象である (山本, 2010)。彼らが構造浸食を重視するのは、日本列島の古生界・中生界および現世河川砂に含まれる碎屑性ジルコンの年代頻度分布を大々的に分析した研究に基づいている (中間ほか, 2010; 磯崎ほか, 2010)。それによると、過去の日本ではカンブリア紀-オルドビス紀 (520-470 Ma), シルルレ-デボン紀 (440-400 Ma), ペルム紀-三畳紀 (290-210 Ma), ジュラ紀 (180-150 Ma), そして白亜紀-古第三紀の、少なくとも5回の花崗岩バソリス形成が起きたとみなされる。ところが、現在の日本列島には白亜紀より古い花崗岩バソリスは存在しない。そこで、5回の花崗岩バソリスの形成と最後のものを除く4回の大量消失が起きたことになると考えた (鈴木ほか, 2010; 磯崎ほか, 2010, 2011; Aoki *et al.*, 2012)。そこで、そのような古期花崗岩バソリスの消失は、大規模な構造浸食を考える以外に現実的な説明は難しいというのが、彼らの考え方である。磯崎らは、プレートの沈み込みが続く活動的大陸縁辺域では弧-海溝系の肥大と縮小が間欠的に繰り返され、縮小時には構造浸食によって前弧域の地殻物質が沈み込み、前弧地殻の総量が減じて海溝および火山フロントの位置は大きく大陸側へ後退すると考えた (海溝と火山フロントとの水平距離に相当する 100~200km もの前弧域の削剥作用が繰り返されたと推定している)。さらに磯崎ほか (2010) は、パンサラッサ海西縁に面する南中国地塊の活動的大陸縁辺域では、海洋プレートが沈み込む弧-海溝系の肥大・縮小と構造浸食が古生代から何度も繰り返されて、その痕跡として蛇紋岩メランジュ帯が形成されたと主張した。

彼らの重要な主張の2つ目は、花崗岩類の放射年代と花崗岩類や碎屑岩類のジルコン粒子のU-Pb年代の頻度分布に基づいて、「Greater South China (GSC)」(図7)を提唱したことである。Isozaki *et al.* (2014) は、南部北上帯のシルル系および石炭系砂岩の碎屑性ジルコン粒子のU-Pb年代の頻度分布を検討し、碎屑性ジルコン粒子には太古代および原生代の碎屑粒子が含まれること、とくに原生代中期および後期の碎屑粒子が含まれることを根拠に、これらの砂岩の供給源は南中国地塊であるとした。ところが、現在の南部北上帯の位置は想定される南中国地塊の分布範囲から大きく北にずれていることから、南中国地塊の碎屑粒子が南部北上帯に供給されるためには、南中国地塊が南部北上帯の大陸側の位置まで延長していたはずだと考えたことが、GSCを提唱につながった。すると、南中国地塊はそれまでに想定されていた分布域より大幅に北方に広がり現在の2倍の大きさになるとして、それをGSCと呼んだ (図7)。沢田ほか (2020) が黒瀬川帯構成要素が東京都西部に存在することを報告した中で、古生代前期に現在の九州から関東におよぶ長大な弧-海溝系が発達していたことを示唆したのも、GSCの存在に沿う考え方であろう。したがって、古生代前期にはすでに存在していた長大なGSCの沈み込み帯そのものが、黒瀬川帯の蛇紋岩メランジュ帯の形成に関わっていたことになる。その後も、磯崎らはGSCに関する研究成果を次々と公表している (Isozaki, 2018; Isozaki *et al.*, 2015, 2017 ほか)。

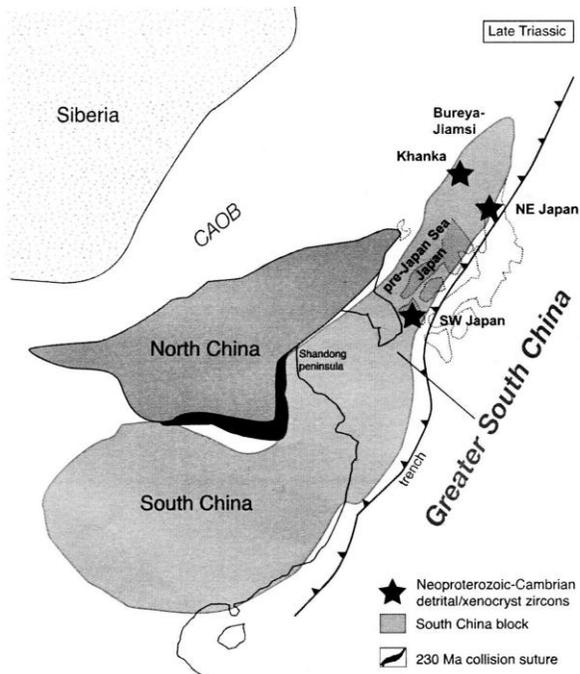


図7 中央アジア造山帯の閉塞前の Khanka 地塊を含む Greater South China (GSC) を復元した模式図と東アジアにおける環日本海の GSC の断片の現在の分布 (Isozaki et al., 2017).

Fig.7 Schematic paleogeographic map showing the reconstructed Greater South China (GSC) that includes the Khanka block prior to the final closure of the Central Asian orogenic belt (CAOB), and the current distribution of fragments of GSC in the circum-Japan Sea region in East Asia (Isozaki et al., 2017).

それらによると、GSC の範囲は狭義の南中国地塊ばかりでなく、東シナ海の前カンブリア時代の基盤の部分、彼らが原日本を構成していたと考える古期岩類で構成される西南日本（黒瀬川帯）や東北日本（南部北上帯）の部分、さらに、極東ロシアの Khanka 地塊が含まれるとする、GSC の具体的な描像を示した。

7. 黒瀬川帯のテクトニクスに関して残された課題

黒瀬川帯の成因に関するクリッペ説と左横ずれ蛇紋岩メランジュ帯説とは、ともに黒瀬川帯を蛇紋岩メランジュ帯とみなす点では共通している。しかし、その形成年代、形成メカニズムや構造的位置付けは、両者で全く異なる。黒瀬川クリッペ説では、原日本を構成していたとされる黒瀬川帯、南部北上帯および Khanka 地塊を含む、南中国地塊（GSC）のパンサラッサ海に面した長大なプレート沈み込み帯の前縁で、古生代前期から繰り返された構造浸食の痕跡として、多様な地質体で構成される蛇紋岩メランジュ帯が成長したとされた。それが、活動的大陸縁に発達する付加型造山帯に特有なパイルナップ構造の最上位を占める地質体として、ジュラ紀付加体の上位に累重したが、西南日本外帯ではナップが大部分差別的に削剥された結果、残ったのが黒瀬川帯の蛇紋岩メランジュのクリッペであるとされた。一方、黒瀬川左横ずれ蛇紋岩メランジュ帯説では、白亜紀前期に始まった大きな北向き成分を有するイザナギプレートの斜め沈み込みにもなって、アジア（ユーラシア）大陸東縁の南中国地塊部分の前弧域で発生した低角左横ずれ断層運動によって蛇紋岩メランジュ帯が形成され、それが秩父北帯と三宝山帯の間

に挟まれるように定置したとみなされた。黒瀬川蛇紋岩メランジュ帯は、北傾斜の層状体として地下に延びていることになる。ただし、秩父帯は地下深部まで延長しないとされているので(伊藤・佐藤, 2010), 層状の黒瀬川帯とその下位の三宝山帯とは、基本的には仏像構造線によって地下で絶たれていると推定される。

このように、黒瀬川蛇紋岩メランジュ帯と秩父北帯との構造関係は両説で全く異なる。その原因の一つは、黒瀬川帯を画する断層の姿勢に関して、両説で基となるフィールドデータの解釈が異なることに起因していると考えられる。黒瀬川帯と南側の三宝山帯との境界断層が北傾斜を呈することは両説で一致しているが、黒瀬川帯と北側の秩父北帯との境界断層の姿勢は、両説で相反する。クリッペ説では黒瀬川帯北限の断層は緩い南傾斜を呈するとみなされており、したがって、黒瀬川帯は向斜状構造を呈してジュラ紀付加体を構造的に被覆することになる。また、北側の秩父北帯と南側の三宝山帯のジュラ系は連続した地質体とみなされた。これに対して、山北(1998)や松岡ほか(1998)は、これらの境界断層はともに北に傾斜していて、黒瀬川帯は上位の秩父北帯と下位の三宝山帯に挟まれて北に傾斜する層状体で、クリッペではないと主張した。したがって、秩父北帯と三宝山帯のジュラ紀付加体を単純に同一の連続した地質体と見なすことは難しいとしている。黒瀬川左横ずれ蛇紋岩メランジュ帯説でも、同様の構造関係が想定されている。実際、野外調査に基づく地質断面図を見ると、黒瀬川構造帯そのものや黒瀬川帯北縁の上倉断層は北傾斜で描かれている場合が多い(市川ほか, 1956; Hada, 1974; Maruyama, 1981; 磯崎, 1985; Hada *et al.*, 1990)。さらに村田(2016)は、黒瀬川帯古期岩類の分布域やそのすぐ北側に分布する下部白亜系・上部白亜系の堆積岩類が、途切れながらもほぼ直線的に分布している事実は、黒瀬川帯の内部も含めて、基本的には高角な構造の反映であるとする見方を示している。

ところで、黒瀬川帯の地下構造に関する地球物理学的研究をみると、木村(1979)、木村・岡野(1980)や岡野ほか(1983)は四国の微小地震の震源分布と地殻構造との関係を検討した中で、黒瀬川構造帯の地下には、南北幅約2 km、少なくとも深さ20 km程度に達する北に急斜する低地震活動域(aseismic zone)が存在することを明らかにした。波田ほか(1979)、波田・市川(1982)およびHada and Suzuki(1983)はこれらの研究に注目し、低地震活動域は黒瀬川構造帯が北傾斜で地下深部に延長していることを示していると考えた。一方、村上・吉倉(1992)は、黒瀬川構造帯に沿う蛇紋岩に起因する磁気異常を解析し、磁気異常を作る蛇紋岩体の構造を求めた結果、黒瀬川帯の蛇紋岩体は中程度以上の角度で北に傾斜する板状ブロックを形成して、少なくとも地下数 kmまで延びると推定されるとした。

このように、黒瀬川蛇紋岩メランジュ帯はジュラ紀付加体上のクリッペなのか、それともジュラ紀付加体に挟まれた北傾斜の層状体なのかはまだ意見の一致を見ておらず、地質学的に解決しなければならない主要な課題である。この課題は当然、蛇紋岩メランジュ帯の起源や形成メカニズムをどう考えるかにも関わっている。

次に議論しなければならないのは、磯崎ほか(2010)によって問題提起された、日本列島には白亜紀の花崗岩バソリスを除くと、過去に存在したはずの花崗岩本体が存在していないのはなぜかという疑問である。中間ほか(2010)や磯崎ほか(2010)による広範な碎屑性ジルコンの年代頻度分布の分析によって明らかにされた花崗岩バソリスの形成時期と、黒瀬川帯の花崗岩類や花崗岩礫の放射年代の測定結果(Hada *et al.*, 2000)は、非常によく対応している。原日本では、カンブリア紀-オールドビス紀、シルル-デボン紀、ペルム紀-三畳紀およびジュラ紀に花崗岩バソリスの形成活動があったことは間違いな

いとみなされる。しかし、現在の日本列島には、これらの年代に対応する花崗岩バソリスは、確かに存在していない。この点に関して、磯崎ほか (2010) は、古生代から繰り返された構造浸食により花崗岩バソリス本体はすべて削剥されてしまい、その痕跡のみが蛇紋岩メランジュ帯に残されていると考えている。一方、黒瀬川左横ずれ蛇紋岩メランジュ帯説では、黒瀬川帯の三滝火成岩類や陸棚堆積層の礫岩に含まれる花崗岩質岩はすべて南中国地塊に由来すると考えている。したがって、三滝火成岩類本体や砕屑物を供給した花崗岩類の活動は母大陸である南中国地塊で進行したのであって、黒瀬川帯はその後左横ずれ断層運動によってそこから北にずれて現在の場所に定置したとすると、西南日本にそれらの花崗岩本体はみつからないのはある意味当然と言える。一方、現在の南中国地塊には、白亜紀花崗岩類が広範に分布する海岸地帯の陸側の Cathaysia block には、古生代からジュラ紀に至る種々の年代の花崗岩類が分布している (Song *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2018 など)。一方、後述するように、南部北上帯は南中国地塊から分裂した小陸塊とみなされ (永広・蟹沢, 1996)、それが横ずれ断層運動により北上する過程で形成されたのが黒瀬川蛇紋岩メランジュ帯である可能性があるとする (Hada *et al.*, 2001; Kato and Saka, 2003)、現在の南中国地塊は、南部北上地帯や黒瀬川帯の構成要素を取り去った残りの部分であることに留意する必要もあるかもしれない。このように、現在の日本列島に、花崗岩礫や砕屑性ジルコンを供給したはずの、後背地に広く露出していたはずの花崗岩本体は存在していないテクトニクスをどう説明するかは、解決すべきもう一つの極めて重要な課題である。

ところで、黒瀬川帯の蛇紋岩メランジュ帯の形成を海洋プレートの斜め沈み込みにより引き起こされた横ずれ断層運動に求める場合には、断層運動の規模や活動時期に関する検討は欠かせない。黒瀬川帯の左横ずれ断層運動の変位量に関する具体的な研究成果はこれまでにほとんどないが、Uno *et al.* (2011) は古地磁気データを使って、黒瀬川帯の横ずれ断層運動に関して明快な分析を行った。古地磁気データは、南中国地塊と黒瀬川帯は白亜紀前期までは一体となって移動していたことを指示している。ところが、南中国地塊はそれ以降ほとんど位置 (18° N) を変えていないのに対して、黒瀬川帯は現在 32° N (古地磁気試料採取地点) に位置している。この事実は、黒瀬川帯は白亜紀前期以降に帰属していた南中国地塊から離れて、古緯度との差の 14° 程度、距離にすると 1500 km 程度アジア大陸東縁沿いに北の現在の位置まで横ずれしたことを指示しているとみなされる。横ずれ断層の場合は、そもそもオフセットマーカールを見出すことが難しいことから信頼できる変位量に関する議論は難しいが、その中で古地磁気に基づくデータは貴重である。ただし、このような大陸縁辺域に沿う横ずれ断層運動による大規模な変位量についてはこれまでいろいろな議論がなされており、例えば、大規模な横ずれ変位は一つの断層の実際の変位量ではなくて、並列する複数の断層による変位量を加えた総変位量を表している可能性が考えられる (Irving *et al.*, 1996; Uno *et al.*, 2011 など)。黒瀬川帯の場合も、より大陸側に想定される飛騨外縁帯や中央構造線などの白亜紀前期の左横ずれ断層運動 (Ichikawa, 1980; Tsukada, 2003) を考慮する必要があるであろう。

一方、左横ずれ断層運動の活動時期に関しても、Uno *et al.* (2011) の議論がある。彼らは、断層運動の開始は、黒瀬川帯白亜系日奈久層が形成後に帰属していた南中国地塊とは異なる古緯度を示すようになる約 110 Ma とみなし、一方完了時期については、Tokawa (2009) による四万十帯白亜系上部統付加体のメランジュ・ファブリックの解析に基づいて、アジア大陸に沈み込むプレートがイザナギプレートから西向きにクラプレートに転換した約 87 Ma と想定した (図 6 の黒瀬川帯の変遷の矢印のスター

ト点と終点)。したがって、それらの年代 110~87 Ma の差 23 m. y. に 1500 km 移動したことになり、その移動速度は約 7 cm/yr. となるとした (Uno *et al.*, 2011)。この時期のイザナギプレートの北向き移動速度は、20 cm/yr. を超えていたと推定されている (丸山・瀬野, 1985; Maruyama and Seno, 1986)。

左横ずれ断層運動の開始と完了の時期については、このほかに以下のような考えが示されている。田代 (1985) は、白亜系海生二枚貝フォナーナの古生物地理の検討から (前述)、約 130 Ma (オーテリビアン期) ~ 約 100 Ma (アルビアン期後期)、山北・大藤 (2000) は、白亜紀前期左横すべり黒瀬川断層系の活動時期を 120 Ma (アプチアン期) ~ 90 Ma (チューロニアン期)、Matsukawa *et al.* (1997) は、西南日本の付加体の重複配列はオーテリビアン期 (約 130 Ma) に完成したとする見解を示している。また本論では、横ずれ断層運動をイザナギプレートの北進に依拠していることから、約 140 Ma ~ 85 Ma (丸山・瀬野, 1985; Maruyama and Seno, 1986) となる。ただし断層運動の開始時期については、イザナギプレートの北進の影響が実際に前孤域に波及し、前孤域がずれ始めるにはタイムラグを想定する必要があるとみなされることから、Uno *et al.* (2011) が古地磁気データに基づいて提案した、南中国地塊に帰属していた白亜系下部統がそこから離れた約 110 Ma (アルビアン期) が妥当であると考え。一方完了時期は、イザナギプレートの北向きのプレート運動が西向きのクラプレートに転換した年代 85 Ma (サントニアン期) となる。このように、左横ずれ断層運動の活動時期が白亜紀前期から中期である点は一致しているが、詳細な開始と完了時期となると見解にはまだ幅がある。活動時期に幅があるのは、前述したように、西南日本の並列する複数の横ずれ断層による変位を総合したものが黒瀬川帯の横ずれ運動に反映されている可能性もあり、その場合には黒瀬川帯のデータのみで議論をすることはできないことになる。黒瀬川左横ずれ蛇紋岩メランジュ帯説を主張する場合には、その妥当性ばかりでなく、左横ずれ断層運動の規模や活動時期を確定することも重要な課題となる。

さらに、ここでは詳しく議論する紙数の余裕はないが、南部北上帯と黒瀬川帯の地体構造区分上の関係を解明することも、極めて重要な課題である。両者は、岩石構成や層序がよく似ていることから、かつてより黒瀬川帯の起源はしばしば南部北上帯のそれと対比して議論されてきた (例えば永広, 2000)。永広・蟹澤 (1996) や Ehiro (2000) は、南部北上帯の中期~後期古生代古生物地理を検討し、南部北上帯は、石炭紀以降に超大陸 Gondwana 北縁のオーストラリアと近接する部分から分離して、赤道近辺にとどまっていた中国南部に由来する陸塊であると推定した。これは、これまで議論してきた黒瀬川帯の履歴と非常によく似ている。南部北上帯の場合は、一定の広がりを持つ大陸由来の地体構造单元そのものであることから、南中国地塊からジュラ紀後期以降に分裂した「小陸塊」である可能性は十分考えられるであろう。Hada *et al.* (2001) や Kato and Saka (2003) は、南中国地塊から分裂した南部北上小陸塊が横ずれ断層運動によってアジア大陸縁に沿って北に移動した際に、蛇紋岩メランジュ帯に残された陸塊の断片が黒瀬川帯の地質体である可能性について言及した。一方高橋 (2015) は、西南日本の明瞭な帯状配列は東北日本にはそもそも存在していなかったとしており、その場合は西南日本の地質構造を東北日本に単純に延長することはできないのかもしれない。黒瀬川蛇紋岩メランジュ帯と南部北上帯を成因的に結びつけることの是非は、古生代初期からすでに長大な沈み込み帯が発達し、構造浸食が繰り返されていたとされる GSC を想定 (Isozaki *et al.*, 2017 ほか) することの是非や、蛇紋岩メランジュ帯形成の基本的な構造運動は何かの解明とも関わっており、今後解決すべき興味深い課題として残る。

8. まとめ

海洋プレートの沈み込みによって形成されたジュラ紀付加体が広範に分布する西南日本外帯の領域に、南中国地塊由来の異地性地質体が黒瀬川蛇紋岩メランジュ帯を形成して定置したテクトニクスをどう考えるかは、日本列島の造構発展過程を解明する上で極めて重要な課題である。本稿では、黒瀬川帯の起源とテクトニクスについて整理し、黒瀬川帯形成に関する統一した見解を導くために、解決すべき課題について言及した。本稿の議論は、以下のようにまとめられる。

(1) 黒瀬川帯の形成テクトニクスについては、これまでに「黒瀬川古陸衝突・付加説」、「黒瀬川クリッペ説」および「黒瀬川左横ずれ蛇紋岩メランジュ帯説」の3つの考え方が提唱されてきた。本稿では、現在も議論が続いている後2者を中心に、それぞれの問題点や課題について言及した。

(2) 黒瀬川クリッペ説では、南中国地塊 (GSC) の長大な活動的大陸縁辺域では、古生代前期から沈み込み帯の活動が活発で構造浸食が繰り返され、その痕跡が飛騨外縁帯、長門構造帯、黒瀬川帯などの蛇紋岩メランジュ帯であるとされた。蛇紋岩メランジュ帯は、付加型造山帯に特有なパイルナップ構造の最上位の地質体として、ジュラ紀付加体の上位に累重していたとみなされている。しかし、蛇紋岩メランジュ・ナップは西南日本外帯ではほとんど削剥されたことから、最終的に浸食を免れた部分が黒瀬川帯と呼ばれる構造的外座地体構造 (クリッペ) を呈しているとされている。

(3) 一方、黒瀬川左横ずれ蛇紋岩メランジュ帯説では、白亜紀前期に、アジア大陸東縁において北向き成分の大きいイザナギプレートの斜め沈み込みが開始したことにより、南中国地塊の前孤域で始まった低角左横ずれ断層運動によって形成されたのが、南中国地塊に由来する構造岩塊 (テクトニック・ブロック) で構成される黒瀬川蛇紋岩メランジュ帯であるとされた。したがって、黒瀬川帯は上位の秩父北帯と下位の三宝山帯に挟まれて緩く北傾斜する、層状体を形成しているとみなされる。

(4) 黒瀬川蛇紋岩メランジュ帯の形成が、GSC の大陸前縁のプレート沈み込み帯で古生代前期から始まっていたのか、南中国地塊の前孤域で白亜紀初期のイザナギプレートの北向きの移動に伴って引き起こされた低角左横ずれ断層運動によって形成されたのかは、両者が全く異なる造構発展過程を想定していることから、今後明らかにされなければならない最重要課題である。

謝 辞

水谷伸治郎氏には、初期段階の原稿から丁寧に目を通して頂き、様々な面から貴重なご意見・ご指摘を頂いた結果、本稿は大いに改善された。後藤博彌氏と Jonathan Aitchison 氏 (University of Queensland) には、西南日本のテクトニクスに関して日常的に議論をして頂いてきた。なお Aitchison 氏には、英文の点検もしていただいた。宇野康司氏 (兵庫県立大学) には、古地磁気データに関して種々ご議論頂き、永広昌之氏にも古地磁気に関する文献をご教示いただいた。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。以上の方々から感謝申し上げます。

筆者は、大阪市立大学理学部市川浩一郎助教授および石井健一助手 (いずれも当時) の指導のもとに、黒瀬川帯の模式地を含む四国西部黒瀬川構造帯の研究 (卒業研究) を開始したのは1963年のことであった。両先生はすでに他界されてしまったが、本稿を心からの感謝の意を込めて捧げます。

文献

- Aoki, K., Isozaki, Y., Yamamoto, A., Maki, S., Yokoyama, T. and Hirata, T. (2012): Tectonic erosion in Pacific-type orogenic belts: zircon response to Cretaceous tectonics in Japan. *Geology*, **40**, 1087-1090.
- 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.
- Charvet, J. (2013): Late Paleozoic-Mesozoic tectonic evolution of SW Japan: A review – Reappraisal of the accretion orogeny and revalidation of the collision model. *Journal of Asian Earth Sciences*, **72**, 88-101.
- Domeier, M. and Torsvik, T.H. (2014): Plate tectonics in the late Paleozoic. *Geoscience Frontiers*, **5**, 303-350.
- 永広昌之 (2000) : 南部北上帯-早池峰構造帯と黒瀬川帯・“古領家帯”. 地質学論集, no. 56, 53-64.
- Ehiro, M. (2000): Origins and drift histories of some microcontinents distributed in the eastern margin of Asian Continent. *Earth Sciences*, **55**, 71-81.
- 永広昌之・蟹澤聡史 (1996) : 南部北上古陸-ゴンドワナ大陸北縁での誕生と分離-. 月刊地球, **18**, 370-374.
- Faure, M. (1985): The pre-Cretaceous structure of the Outer belt of Southwest Japan. *Tectonophysics*, **113**, 139-162.
- 波田重熙 (2023) : 四国中・西部黒瀬川帯の構成岩類とその起源. 神戸女子大学文学部紀要, **56**, 113-134.
- 波田重熙・市川浩一郎 (1982) : 秩父累帯におけるジュラ紀変動. 月刊地球, **4**, 434-441.
- 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. 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.
- 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.
- 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ゴンドワナ大陸北縁部の沈み込み帯. 月刊地球, **18**, 375-380.
- Ichikawa, K. (1980): Geohistory of the Median Tectonic Line of Southwest Japan. *Memoirs of the Geological Society of Japan*, no.18, 187-212.
- Ichikawa, K. (1981): Closure of the Jurassic sea around the Ryoke-Sambagawa region. In Hara, I.

- (ed.): *Tectonics of Paired Metamorphic Belt*, Hiroshima, 113-116.
- 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.
- Irving, E., Wynne, P.J. and Schiarzza, P. (1996): Large (1000 to 4000 km) Northward movements of tectonic domains in the northern Cordillera, 83 to 45 Ma. *Journal of Geophysical Research*, **101**, 17901-17916.
- 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.
- 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): 秩父類体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. (2018): A visage of early Paleozoic Japan: Geotectonic and paleobiogeographical significance of Greater South China. *Island Arc*, **28**, e12296.
- Isozaki, Y., Aoki, K., Nakama, T. and Yanai, S. (2010): New insight into a subduction-related orogeny: A reappraisal of the geotectonic framework and evolution of the Japanese Islands. *Gondwana Research*, **18**, 82-105.
- Isozaki, Y., Aoki, K., Sakata, S. and Hirata, T. (2014): The eastern extension of Paleozoic South China in NE Japan evidenced by detrital zircon. *GFF*, **136**, 116-119.
- Isozaki, Y., Ehiro, M., Nakahata, H., Aoki, K., Sakata, S. and Hirata, T. (2015): Cambrian plutonism in Northeast Japan and its significance for the earliest arc-trench system of proto-Japan: New U-Pb zircon ages of the oldest granitoids in the Kitakami and Ou Mountains. *Journal of Asian Earth Sciences*, **108**, 136-149.
- 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・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・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.
- 磯崎行雄・丸山茂徳・中間隆晃・山本伸次・柳井修一 (2011): 活動的大陸縁辺域の肥大と縮小の歴史- 日本列島形成史アップデート. 地学雑誌, **120**, 65-99.
- Isozaki, Y., Nakahata, H., Zakharov, Y.D., Popov, A.M., Sakata, S. and Hirata, T. (2017): Greater South China extended to the Khanka block: Detrital Zircon geochronology of middle-upper Paleozoic sandstones in Promorye, Far East Russia. *Journal of Asian Earth Sciences*, **145**, 565-575.
- 伊藤谷生・佐藤比呂志 (2010): 西南日本における海溝-島弧-縁海系の地殻構造-南海トラフから大和海盆北縁まで-. 地学雑誌, **119**, 235-244.
- 勘米良亀齢・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, 387p.
- Kato, K. and Saka, Y. (2003): Kurosegawa terrane as a transform fault zone in Southwest Japan. *Gondwana Research*, **6**, 669-686.
- 甲藤次郎・小島郁生・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.
- 木村昌三 (1979): 四国の地殻構造. 地震 **II**, **32**, 329-340.
- 木村昌三・岡野健之助 (1980): 四国の下部地殻と最上部マントル構造. 地震 **II**, **33**, 157-168.
- 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.
- Maruyama, S., Banno, S., Matsuda, T. and Nakajima, T. (1984): Kurosegawa zone and its bearing on the development of the Japanese Islands. *Tectonophysics*, **110**, 47-60.
- 丸山茂徳・瀬野徹三 (1985) : 日本列島周辺のプレート相対運動と造山運動. 科学, **55**, 32-41.
- Maruyama, S. and Seno, T. (1986): Orogeny and relative plate motions: example of the Japanese Islands. *Tectonophysics*, **127**, 305-329.
- Matsukawa, M., Takahashi, O., Hayashi, K., Ito, M. and Kononov, V.P. (1997): Early Cretaceous paleogeography of Japan, based on tectonic and faunal data. *Memoirs of the Geological Society of Japan*, **48**, 29-42.
- 松本達郎・野田光雄・宮久三千年 (1962) : 日本地方地質誌九州地方, 朝倉書店, 423pp.
- 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 evolution and kinematics since the late Paleozoic. *Global and Planetary Change*, **146**, 226-250.
- Mizutani, S. and Kojima, S. (1992): Mesozoic radiolarian biostratigraphy of Japan and collage tectonics along the eastern continental margin of Asia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **96**, 3-22.
- Mizutani, S., Shao, J.A. and Zhang, Q.L. (1989): The Nadanhada terrane in relation to Mesozoic tectonics on continental margins of East Asia. *Acta Geological Sinica*, **63**, 204-216.
- 村上英記・吉倉紳一 (1992) : 空中磁気データから見た西南日本外帯 (四国地域) の構造. 月刊地球 **14**, 576-580.
- Murata, A. (1982): Large decke structures and their formative process in the Sambagawa, Chichibu, Kurosegawa and Sanbosan terrains, Southwest Japan. *Journal of the Faculty of Science, Tokyo University, Series II*, **20**, 383-424.
- 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.
- 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.
- Nur, A. and Ben-Avraham, Z. (1977): Lost Pacific continent. *Science*, **270**, 41-43.
- 岡野健之助・木村昌三・許斐 直 (1983) : 四国地方の震源分布と地質構造線との関連. 地震 II, **36**, 23-29.
- 大藤 茂・清水正明・氏家 治・ハスバートル佐々木みぎわ・安倍美佐・山北 聡 (2000) : 日本海形成前の東アジアの地体構造の復元. その1 先第三紀地体構造のわくぐみ. 富山大学環日本海地域研究センター研究年報, **25**, 115-166.
- Otoh, S. and Yanai, S. (1996): Mesozoic inverse wrench tectonics in far-east Asia: examples from Korea and Japan. In Yin, A. and Harrison, M. (eds.): *The Tectonic Evolution of Asia*. Cambridge University Press, Cambridge, 401-419.
- 小沢智生・平 朝彦・小林文夫 (1985) : 西南日本の帯状地質構造はどのようにしてできたのか. 科学, **55**, 4-13.
- 斎藤 眞・宮崎一博・利光誠一・星住英夫 (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), 産総研地質総合センター, 218pp.
- 斎藤 眞・宮崎一博・利光誠一・星住英夫 (2006) : 5 万分の 1 地質図幅「砥用」-日本列島の縮図, 149 の凡例が示すもの-. 地質ニュース, 619 号, 56-60.

- Saito, Y. and Hashimoto, M. (1982): South Kitakami region: An allochthonous terrane in Japan. *Journal of Geophysical Research*, **87**, 3691-3696.
- 沢田 輝・磯崎行雄・坂田周平 (2020) : 東京都土産古生代前期造山帯の断片 : 関東山地東部, 黒瀬川帯高压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.
- Song, M., Shu, L., Santosh, M. and Li, J. (2015): Late Early Paleozoic and Early Mesozoic intracontinental orogeny in the South China Craton: Geochronological and geochemical evidence. *Lithos*, **232**, 360-374.
- 鈴木和恵・丸山茂徳・山本伸次・大森聰一 (2010) : 日本列島の大陸 地殻は成長したのか?—5つの日本が生まれ, 4つの日本が沈み込み消失した—. 地学雑誌, **119**, 1173-1196.
- Taira, A., Katto, J., Tashiro, M., Okamura, M. and Kodama, K. (1988): The Shimanto belt in Shikoku, Japan—Evolution of Cretaceous to Miocene accretionary prism. *Modern Geology*, **12**, 5-46.
- 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.
- Taira, A., Saito, Y. and Hashimoto, M. (1983): The role of the oblique subduction and strike-slip tectonics in the evolution of Japan. In Hilde, T.W.C. and Uyeda, S. (eds.): *Geodynamics of the western Pacific-Indonesian region*, Geodynamic Series 11, American Geophysical Union, Washington, D.C., 303-316.
- 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.
- 田代正之 (1985) : 四国秩父帯の白亜系—下部白亜系の横ずれ断層—. 化石, no. 38, 23-35.
- 田沢純一 (1993) : 古生物地理からみた日本列島の先新第三紀テクトニクス. 地質学雑誌, **99**, 525-543.
- 田沢純一 (2004) : 横ずれ説 : 日本列島の起源と形成についての考察. 地質学雑誌, **110**, 503-517.
- Tokiwa, T. (2009): Timing of dextral oblique subduction along the eastern margin of the Asian continent in the Late Cretaceous: evidence from the accretionary complex of the Shimanto Belt in the Kii Peninsula, Southwest Japan. *Island Arc*, **18**, 306-319.
- Tsukada, K. (2003): Jurassic dextral and Cretaceous sinistral movements along the Hida Marginal Belt. *Gondwana Research*, **6**, 687-698.
- Uno, K., Furukawa, K. and Hada, S. (2011): Margin-parallel translation in the western Pacific: Paleomagnetic evidence from an allochthonous terrane in Japan. *Earth and Planetary Science Letters*, **303**, 153-161.
- 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.
- Wang, J.Q., Shu, L. and Santosh, M. (2018): Petrogenesis and tectonic significance of late Mesozoic granitic and adakitic rocks from inland South China: constraints from geochemistry, zircon U-Pb geochronology and Hf isotopes. *Journal of the Geological Society*, **175**, 679-693.
- 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.
- 山本伸次 (2010) : 構造浸食作用—太平洋型造山運動論と大陸成長モデルへの新視点—. 地学雑誌, **119**, 963-998.
- Yan, Y., Huang, B., Zhang, D., Charusiri, P., and Veeravintanakul, A. (2018): Paleomagnetic study on the Permian rocks of the Indochina Block and its implications for paleogeographic

- configuration and northward drifting of Cathaysialand in the Paleo-Tethys. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **123**, 4523–4538.
- 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.
- Zheng, S., Kono, M. and Shao, J.A. (1990): The amalgamate history of eastern Asia inferred from paleomagnetism of the North China. *Rock Magnetism and Palaeogeophysics*, vol.17, 1-8.