# 論 説

## 赤石山脈西部に分布する秩父帯ジュラ紀付加体及び南信濃の中新統和田層の チャート礫から産出した放散虫

伊藤 剛・中村佳博

産業技術総合研究所地質調査総合センター地質情報研究部門

## Radiolarians from Jurassic accretionary complex of the Chichibu belt in the western Akaishi Mountains and chert pebbles of the Miocene Wada Formation in Minami-Shinano, central Japan

Tsuyoshi Ito and Yoshihiro Nakamura

Institute of Geology and Geoinformation, Geological Survey of Japan, AIST, AIST Tsukuba Central 7, 1-1, Higashi 1-chome, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan (e-mail of T. Ito: ito-t@aist.go.jp)

Abstract. Jurassic accretionary complex of the Chichibu belt is distributed in the western Akaishi Mountains, central Japan. The Miocene Wada Formation, composed mainly of mudstone with basal conglomerate, is exposed in Minami-Shinano, Iida City, Nagano Prefecture, central Japan. This article reports the occurrences of Permian, Triassic, and Jurassic radiolarians from the Jurassic accretionary complex and Triassic radiolarians from the chert pebbles within the basal conglomerate of the Wada Formation. The chert pebbles are most probably derived from accretionary complex of the Chichibu belt exposed near the distributional area of the Wada Formation. Meanwhile, clasts of Cretaceous-Paleogene chert derived from the Shimanto belt nor metamorphic rock from the Sambagawa belt have never been discovered from the Wada Formation so far. This implies that the Shimanto and Sambagawa belts have not largely exposed in the Miocene in the hinterland of the Wada Formation.

Key Words: radiolarian, Wada Formation, Miocene, Permian, Jurassic, Triassic

#### はじめに

赤石山脈は長野県・山梨県・静岡県の県境を南北に延びる.この山脈の周辺では,中央構造線・赤石構造線と 糸魚川 - 静岡構造線に挟まれる狭長な範囲に三波川帯・ 秩父帯・四万十帯などの構成岩類が分布している(狩野, 2006).これらの秩父帯ジュラ紀付加体と四万十帯白亜 紀付加体からは,古生代から中生代の放散虫の産出が報 告されている(川端,1984;村松,1986,1995,1996,1997, 1998,1999,2001;金本・大塚,2000など).また,この 地域には白亜系水窪層や新第三系和田層などの堆積層が 点在しており,秩父帯や三波川帯の構成岩類を不整合に 覆っている.和田層の基底にはチャート礫や石灰岩礫な どを含む礫岩が存在するが,その年代などについての詳 細な検討は行われていない.

礫に含まれる微化石により,岩相と年代の関係に基づ いてその起源を検討できる.筆者は古生代から新生代の 礫岩層及び礫層に含まれる礫から微化石の抽出を試みる とともに,その後背地について検討を進めている(伊藤 ほか,2012,2016,2020; Ito *et al.*,2014,2015,2017 など). 和田層について松島(1990)は,中央構造線の運動に伴 い形成されたPull-apart basinの堆積物と記している.つ まり和田層の礫岩の起源を検討することにより,和田層 形成時の後背地及び中央構造線の活動時期を明らかにで きると考えられる.

和田層堆積時における後背地の推定を目的に,その基 底礫岩に含まれるチャート礫から微化石の抽出を試みた. その結果,三畳紀の放散虫を発見した.現在では近傍に 広く露出する岩石が礫として含まれないことから,和田 層堆積時の後背地は現在と異なっていたことが示唆され る.本論では,著者らが新たに報告する地点も含めた周 辺地域の秩父帯ジュラ紀付加体から産出した放散虫につ いてまとめた上で,和田層の礫岩から産出した放散虫に ついて示す.これらの比較に基づいて,和田層堆積時の 後背地について,若干の考察を加える.



- 図1. 索引図及び地質概略図.(A)本調査地域の索引図.(B)赤石山地周辺の地質概略図及び化石産出地点.地質概略図はGeological Survey of Japan, AIST (2020) に基づく. 化石産出地点近くの角括弧内の数字は以下の文献に対応:1:坂本(1980);2:坂本(1981);3:川 端(1984);4:村松(1986);5:村松(1995);6:村松(1996);7:村松(1997);8:村松(1998);9:村松(1999);10:金本・大塚 (2000);11:村松(2001);12:村松(2006);13:坂本ほか(2018);14:本研究. \*これらの試料については報告されている標本に基 づく明瞭な年代決定は困難であるが,この図では便宜的に年代を示す.
- Fig. 1. Index and simplified geologic maps. (A) Index map of the present study area. (B) Simplified geologic map around the Akaishi Mountains with fossil occurrence sites. The geologic map is based on Geological Survey of Japan, AIST (2020). Numbers within square brackets correspond to following references: 1: Sakamoto (1980); 2: Sakamoto (1981); 3: Kawabata (1984); 4: Muramatsu (1986); 5: Muramatsu (1995); 6: Muramatsu (1996); 7: Muramatsu (1997); 8: Muramatsu (1998); 9: Muramatsu (1999); 10: Kanemoto and Otsuka (2000); 11: Muramatsu (2001); 12: Muramatsu (2006); 13: Sakamoto *et al.* (2018); 14: this study. \*Although the age of these rocks is not clearly assigned based on the reported specimens, their ages are expediently presented.
- ATL: Akaishi Tectonic Line; BTL: Butsuzo Tectonic Line; ISTL: Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line; MTL: Median Tectonic Line.

## 地質概説及び試料採取地点

#### 秩父帯ジュラ紀付加体

赤石山脈の中央構造線より東に分布する西南日本外帯 は、南南西 – 北北東走向の狭長な分布を示す.いずれの地 質帯も5~8kmほどの幅でしか露出していないが、中央 構造線と糸魚川 – 静岡構造線に挟まれた複雑な変形・変 成史を有する付加コンプレックスである.中央構造線と 仏像構造線に挟まれた秩父帯及び三波川帯の分布幅は南 に向かうにつれ薄くなり、遠山地域の周辺で最も薄くな る.その南方の水窪地域では、中央構造線・赤石構造線・ 光明 断層に挟まれた秩父帯が菱形状に分布する(図1).

本地域の秩父帯の年代については,赤石グループ (1958)が石灰岩転石からフズリナを見つけ,ペルム系と 捉えた.その後,坂本(1980,1981)が,チャートから コノドントを報告し,三畳系の存在を明らかにした.そ の後,主に1990年代に村松によって精力的に放散虫の産 出報告がなされ(村松,1995,1997,1999,2001など),一 部地域では詳細な年代が明らかになった.

本論では後述の放散虫産出を説明するため、本地域の 秩父帯について便宜的に5つの地域(高遠・大鹿・上村・ 遠山・水窪)に分ける(図1A).以下、それぞれの地域 について地質の概要とこれまでの主な化石産出を述べる. なお本研究では、このうちの大鹿地域・遠山地域・水窪 地域において試料を採取した(図2).

1. 高遠地域

赤石山脈の駒ヶ岳(甲斐駒ヶ岳)の北西部,主に旧高 遠町の周辺を高遠地域とする.本地域の釜無山西方の調 査を行った坂本(1981)の記載に基づくと,この周辺の 秩父帯の地層はチャートを主体として砂岩や泥質岩を伴 う.牧本ほか(1996)は,緑色岩中の変成鉱物組み合わ せから,高遠地域の秩父帯が三波川変成作用を経験して いることを明らかにしている.この影響により秩父帯中 の泥岩は,準片岩から千枚岩に変化して明瞭な片理面を 形成している.

2. 大鹿地域

高遠地域の南方,大鹿村東部を中心とした範囲を大鹿 地域と呼称する.高遠地域と同様にこの地域の秩父帯も 三波川変成作用の影響を強く受けている.そのため,泥 岩は準片岩あるいは千枚岩に変化し,またチャートは一 般的に再結晶化している.一方, 三峰川流域の小瀬戸の 湯跡地付近には変形や熱変成作用を免れた秩父帯構成岩 類が露出しており,金本・大塚(2000)はこの地点の泥 岩から比較的保存の良い放散虫を見つけている.

本研究では、変形・熱変成作用を免れたと思われる三 峰川周辺の小瀬戸やその南方の入山山頂周辺において チャート試料を採取した.比較的再結晶化していない3 試料について検討し、2試料から放散虫が得られた(図 2A, 2B). 3. 上村地域

赤石岳西部の旧上村周辺を上村地域と呼ぶ.村松 (1997)の示した本地域内のしらびそ峠から北又沢にかけ てのルートマップに基づくと,本地域の秩父帯は泥岩・ 砂岩・チャート・石灰岩・緑色岩が分布する.

高遠地域や大鹿地域に比べて三波川変成作用の影響は 弱い.そのため、本地域の秩父帯や四万十帯からの放散 虫の産出記録は、高遠・大鹿地域と比べると多い(川端, 1984;村松,1995,1997,1998).

#### 4. 遠山地域

遠山川周辺のいわゆる遠山郷を中心とした範囲を遠山 地域と呼称する.本地域の秩父帯には豊富な化石記録が 存在し,放散虫・コノドント・フズリナが報告されてい る(坂本,1980,1981;村松,1999,2001;坂本ほか,2018 など).岩相及び泥質岩の放散虫年代の違いに基づいて, 村松(2001)は本地域の秩父帯を遠山川ユニットと梶谷 川ユニットに区分した.両ユニットともに混在相である が,前者は砂岩やチャートを主体とするのに対し,後者 は珪質泥岩やチャートの岩体及び少量の石灰岩や緑色岩 を含む(村松,2001).また,遠山川ユニットの泥質岩の 年代が中期ジュラ紀であるのに対し,梶谷川ユニットの それはジュラ紀最後期である(村松,2001).なお,本 地域の石灰岩については,含まれるフズリナの特徴など から黒瀬川帯の構成要素である可能性が指摘されている (坂本ほか,2018).

本研究では、遠山川に沿った河岸に露出している赤色 チャートを採取した.全部で13試料を検討し、そのうち 4試料からペルム紀放散虫が得られた(図2C).

5. 水窪地域

静岡県北端の旧水窪町の周辺を水窪地域とする. 前述 のとおり、本地域の秩父帯分布域は中央構造線・赤石構 造線・光明断層に挟まれた菱形状を示す.本地域の秩父 帯は、村松 (2006) により3つのユニット区分 (中根山ユ ニット・布滝ユニット・明神滝ユニット)が提唱されて いる. 中根山ユニットはチャート・砂岩・緑色岩の岩塊 を含む混在相、布滝ユニットはチャート-砕屑岩シーケ ンスによって特徴づけられる整然相、明神滝ユニットは チャート・石灰岩・砂岩・緑色岩の岩塊を含む混在相で ある(村松, 2006), 泥質岩の年代は、中根山ユニットお よび布滝ユニットが前期~中期ジュラ紀であり,明神滝 ユニットについては後期ジュラ紀から前期白亜紀に及ぶ (村松, 2006; 下伊那教育会地質委員会, 2006). また, 村 松(2006)は、中根山ユニット・布滝ユニット・明神滝 ユニットを,それぞれ松岡ほか (1998) の大平山ユニッ ト・斗賀野ユニット・三宝山ユニットに対比している.

本研究では、永窪河内川沿いの布滝周辺にて計8試料 を採取した. そのうち珪質泥岩1試料からジュラ紀放散 虫が,チャート1試料からペルム紀放散虫が産出した (図2D).



図2. 本研究で新たに報告する秩父帯付加体からの放散虫産出地点、国土地理院発行の地形図を使用.帯やユニットの境界は先行研究(村松, 2001, 2006)に基づく.

Fig. 2. Radiolarian occurrence sits newly reported in this study from accretionary complex of the Chichibu belt. Geographic maps published by the Geospatial Information Authority of Japan are used. Boundaries among the belts and units are based on the previous studies (Muramatsu, 2001, 2006).

B.: belt; F.: Formation; U.: Unit.



図3. 放散虫を産する和田層基底礫岩中のチャート礫の地点.国土地理院発行の地形図を使用.帯やユニットの境界は先行研究(村松,2001) に基づく.

Fig. 3. Site of chert pebbles within the basal conglomerate of the Wada Formation, which yielded radiolarians. Geographic map published by the Geospatial Information Authority of Japan is used. Boundaries among the belts and units are based on the previous studies (Muramatsu, 2001).B.: belt; F.: Formation; U.: Unit.

#### 中新統和田層

赤石山脈西部の秩父帯・三波川帯分布域では,これ らの構成岩類を不整合で覆う白亜系~新第三系堆積物 が点在する.高遠地域に分布する白亜系戸台層(石井 ほか,1953)及び水窪地域に分布する白亜系水窪層(松 島,1972)ならびに遠山地域に分布する中新統和田層 (Shikama,1951)が主に知られている.

水窪層と戸台層からは白亜紀の化石が発見されており (例えば,吉村・立見,1938;前田・川辺,1967),その年 代は比較的早い段階で明らかであった.一方和田層は, 当初は大型化石の動物群の類似性に基づいて古第三系漸 新統と推定されていたが (Shikama,1951),中世古ほか (1979)により新第三紀中新世放散虫が発見されてその 年代が明らかとなった.それ以降も複数地点の和田層や 相当層から同時代の放散虫が報告されたほか (乾・宮田, 1982;村松,2005), 八重河内川周辺からも中新世の有孔 虫が産出している (小坂ほか,1991).宮田・有川 (1983) は青崩峠付近に分布する地層からも中新世放散虫を発見 し、この地層を岩相や層序の違いから和田層とは異なる 遠端が層として提唱した.

和田層は泥岩を主体として,基底礫岩を伴う.和田層 模式地(八重河内本村)における検討によれば,下位の



図4. 梶谷川右岸に露出する和田層の柱状図. 松島 (1990) に加筆. Fig. 4. Columnar section of the Wada Formation exposed along the right bank of the Kajiya River. Modified from Matsushima (1990).

層厚約50~100mの礫岩層と上位の層厚350mの単調な 泥岩層からなる(松島,1990)(図4).礫岩層と泥岩層の 境界部には砂岩層が挟まれる.泥岩層の中には,砂岩層 と酸性凝灰岩層が挟在する.地層の走向は南北に近く西 に向かって70~80°の高角で傾斜する姿勢のものが卓越 する.

和田層の礫岩層は細礫から中礫を主体とする.一般的

に円磨度は高く, 亜円礫から円礫が卓越する. 礫種は, 石灰岩・チャート・砂岩である. これらの特徴は変化が 激しく, 推定される層理面に対して垂直・水平の両方向 に層厚・礫径・礫種の割合が変化する.

本研究で試料を採取した地点は和田層模式地の梶谷川 右岸であり、乾・宮田(1982)が中新世放散虫の産出を 報告した地点の近傍である(図3).上述のとおり礫種の



図5. 和田層基底礫岩の露頭写真. Fig. 5. Photographs of outcrop of the basal conglomerate of the Wada Formation.



図6. 大鹿地域から得られたおそらく中生代の放散虫.

Fig. 6. Possible Mesozoic radiolarians from the Oshika area.

(1) Closed nassellarian. (2–6) Possible closed nassellarian. (7–9) Nassellaria? gen. et sp. indet. (10, 11) Nassellaria gen. et sp. indet. (12, 13, 16) Spumellaria? gen. et sp. indet. (14) Lattice-shelled arm. (15) Etched surface. (17) *Triassocampe*? sp. (18) Spumellaria gen. et sp. indet.

岩相変化が著しいが,比較的チャートに富む礫岩を認め た(図5A).この露頭では,チャート礫が卓越し,わずか に砂岩礫や石灰岩礫が含まれる.見かけ上では,チャー ト礫の割合は9割以上である.多くのチャート礫は灰色 から明灰色を呈するが,緑色のものもわずかに含まれる. この礫岩の周辺の礫を対象にルーペを用いて放散虫の有 無を確認した.多くのチャート礫では明瞭な放散虫の含 有は確認できなかったが,放散虫の含有を確認できた チャート礫2試料(IT20092203・IT20092204)から放散 虫抽出を試みた(図5B).試料IT20092203は長径50 cm 程度のレンズ状を呈する緑色チャートである.層理面が 確認でき,単層の層厚は約5 cmである.試料IT20092204 は直径約2 cmの球状を呈する灰色チャートであり,層理 面は認識できない.

## 試料の処理方法

以下のような手順で,試料から放散虫化石の抽出を試 みた.試料は表面積を増やすために数 cm 角に砕いた後に, フッ化水素酸水溶液(約5%)に24時間浸した.溶液中 の残渣は0.054 mm の篩を使い採取した.試料は再びフッ 化水素酸水溶液に浸し,24時間後に残渣を採取した.こ の過程を2~5回繰り返し,残渣を得た.残渣を乾かし, 放散虫化石を実体顕微鏡下で拾い出した.拾い出した放 散虫化石は,スタブに乗せ,電子顕微鏡を用いて観察・ 撮影を行った.また,残渣の一部は光硬化剤(GJ-4006, Gluelabo Ltd.)を用いて封入し,プレパラートを作成し た.プレパラートに含まれる放散虫化石を,透過型光学 顕微鏡で観察・撮影した.また,1試料(18051403)に ついては,フッ化水素酸水溶液でエッチングした岩石表 面をデジタルマイクロスコープ(RH-8800, HiROX)で 撮影した.

分類については、ペルム紀放散虫はNoble *et al.* (2017) に、三畳紀はO'Dogherty *et al.* (2009b)に、ジュラ紀は O'Dogherty *et al.* (2009a)を主に参照した. ペルム紀放 散虫のFollicucullidae科については、最近の分類 (Xiao *et al.*, 2020, 2021)を参照した.

## 秩父帯ジュラ紀付加体から産出した放散虫

#### 大鹿地域

本地域では,明灰色チャート2試料(18051403・ 19051003)から放散虫を得た(図6).いずれの試料にお いても,概して放散虫の保存は悪く,表面装飾などは失 われている.

試料18051403では,残渣から得られた放散虫は球状から楕円球状のもの(Closed nassellarian)が多い. エッチングした試料の表面においても,同様に球状から楕円球状の放散虫が数多く観察される(図6.15).楕円球状の

放散虫殻は長径100-200μm程度のものが多い. 楕円球状の長軸は, 概ね層理面と同じ方向に延びる.

本試料からは、古生代に特徴的な放散虫である Albaillellaria目やEntactinaria目に属する放散虫は産出し ていない. Closed nassellarianは三畳紀に現れ現在の海洋 にも生息するが、特にジュラ系から白亜系に多く産出す ることが知られている(O'Dogherty *et al.*, 2009a など). 以上より、この試料の年代は少なくとも中生代以降であ り、ジュラ紀から白亜紀の年代を示す可能性がある.

一方, 試料19051003からは, Triassocampe? sp. が産出した. O'Dogherty et al. (2009b) によれば, Triassocampe属の産出レンジはアニシアン期~前期ノーリアン期(中期~後期三畳紀)である. 保存が不良であるため詳細な年代決定はできないが,本試料の年代は中期~後期三畳紀の可能性がある.

#### 遠山地域

本地域では,赤色チャート4試料(IT08122605・ IT08122607・IT20092202・IT20092205)から放散虫が 得られた.いずれの試料からもペルム紀放散虫が産出し た(図7).試料IT08122605と試料IT20092205からは海 綿と思われる骨針が,試料IT20092202からはコノドント 片も産出した.村松(2001)の区分に基づくと,いずれ の試料も遠山川ユニットに属すると判断される.

試料IT08122605からはFollicucullus porrectus Rudenko が数多く産出した. Zhang et al. (2014)の示した産出レ ンジに基づくと, F. porrectusは主に中部ペルム系グアダ ルピアン統キャピタニアン階から産出する. したがって, 本試料の年代は中期ペルム紀グアダルピアン世キャピタ ニアン期であると考えられる.

試料IT08122607からは, *Cariver guangxiensis* (Wang) が産出した. Zhang *et al.* (2014) によると, この種は グアダルピアン統キャピタニアン階の上部から産出する. 従ってこの試料の年代はキャピタニアン期の後期とみら れる.

試料IT20092202からは, *Ishigaconus scholasticus* (Ormiston and Babcock) が得られている. 同種は主に キャピタニアン階の中部〜上部から産出するため (Zhang *et al.*, 2014), この試料もこの年代を示すと考えられる.

試料IT20092205からは, *Ishigaconus*? sp. が得られている. *Ishigaconus*属の構成種は主にキャピタニアン階の中部~上部に産出する (Zhang *et al.*, 2014). したがって, この試料もこの年代を示す可能性がある.

#### 水窪地域

水窪地域からは赤色チャート1試料(IT08122508)及 び暗灰色珪質泥岩1試料(IT08122501)から放散虫が得 られた(図7,図8).前者からはペルム紀の,後者からは ジュラ紀の放散虫が産出した.村松(2006)のユニット 区分に基づくと,両試料の採取地点とも布滝ユニットの 分布域にあたる.

試料IT08122508からは, 屈曲した pseudoabdomen を 持つ Haplodiacanthus sp. cf. H. sakmarensis (Kozur) が産 出した. Xiao et al. (2018)の提案した化石帯に基づく と, Haplodiacanthus sakmarensisは下部ペルム系シスウ ラリアン統サクマーリアン階上部 (UAZ 4)から中部ペ ルム系グアダルピアン統ローディアン階 (UAZ 7)から 産出し,特にシスウラリアン統クングーリアン階(UAZ 6)から最も一般的に産出する.従って,この試料の年 代は前期ペルム紀シスウラリアン世クングーリアン期で ある可能性が最も高い.

試料IT08122501からは"Laxtorum" jurassicum Isozaki and Matsudaが産出した. この種はJR3 ("Laxtorum" jurassicum帯:中部ジュラ系アーレニアン階)の指標種 である (Matsuoka and Ito, 2019). 加えて本試料からは



図7. 遠山地域及び水窪地域から得られたペルム紀放散虫

Fig. 7. Permian radiolarians from the Toyama and Misakubo areas.

(1, 2) Haplodiacanthus sp. cf. H. sakmarensis (Kozur). (3, 54) Pseudoalbaillella sp. cf. P. lanceolata Ishiga and Imoto. (4, 64) Entactinaria? gen. et sp. indet. (5–14) Follicucullus porrectus Rudenko. (15) Follicucullus sp. cf. F. porrectus (Rudenko). (16) Ishigaconus sp. (17–22) Cariver sp. (23) Quadricaulis sp. (24, 26, 28, 39–42, 62, 63) Entactinaria gen. et sp. indet. (25, 65, 66) Sponge spicule (possible triaxon). (27) Possible spongy arm of Latentifistularia gen. et sp. indet. (29) Cariver guangxiensis (Wang). (30) Cariver? sp. (31, 55) Pseudoalbaillella sp. (32, 57–58) Pseudoalbaillella? sp. (33, 34) Quadricaulis? sp. (35) Ishigaconus sp. (36, 37) Latentidiota? sp. (38) Klaengspongus? sp. (43–45) Ishigaconus scholasticus (Ormiston and Babcock). (46–51, 60, 61) Ishigaconus? sp. (52) Conodont fragment. (53) Spine? (59) Longtanella? sp.



図8 水窪地域から得られたジュラ紀放散虫.

Fig. 8 Jurassic radiolarians from the Misakubo area.

 Parahsuum sp. (2) Parahsuum transiens Hori and Yao. (3, 4) Parahsuum longiconicum Sashida. (5) Hsuum altile Hori and Otsuka. (6, 7) Parahsuum ovale Hori and Yao. (8) "Laxtorum" jurassicum Isozaki and Matsuda. (9, 10) "Laxtorum" sp. cf. "L" jurassicum Isozaki and Matsuda. (11) Tranhsuum hisuikyoense (Isozaki and Matsuda). (12) Hsuum matsuokai Isozaki and Matsuda. (13, 14) Eucyrtidiellum disparile Nagai and Mizutani group. (15) Eucyrtidiellum sp. (16) Archicapsa? sp.

*Tranhsuum hisuikyoense* (Isozaki and Matsuda) や*Hsuum matsuokai* Isozaki and Matsuda が産出しており, これらの種も同化石帯で多産する (Sashida, 1988 など). したがって,本試料の年代は中期ジュラ紀アーレニアン期と判断される.

#### 和田層の礫岩から得られた放散虫

2つのチャート礫 (IT20092203・IT20092204) からい ずれも三畳紀の放散虫が産した (図9). 試料IT20092203 からはコノドント・エレメントも得られた.

試料IT20092203からは、Spine A2及びTriassocampe sp.が産出した.Sugiyama (1997)の示した産出レンジに よれば、Spine A2はTR3A~5A (中部~上部三畳系,上 部アニシアン階~中部カーニアン階)に産出する.また、 O'Dogherty et al. (2009b)によれば、Triassocampe属の 産出レンジは中期~後期三畳紀、アニシアン期~ノーリ アン期前期である.これらの共産関係に基づくと、この 試料の年代は中期~後期三畳紀、後期アニシアン期~中 期カーニアン期のいずれかと推定される.

試料IT20092204からは*Pseudostylosphaera japonica* (Nakaseko and Nishimura)及び*Eptingium* sp. cf. *E. nakasekoi* Kozur and Mostlerが産出した. Sugiyama (1997) の示した産出レンジに基づくと、Pseudostylosphaera japonicaと Eptingium nakasekoiはそれぞれTR2B~TR5A (中部~上部三畳系,中部アニシアン階~中部カーニア ン階)とTR2A~3A(中部三畳系,アニシアン階)であ る.これらの共産関係に基づけば,この試料の年代は中 期三畳紀アニシアン期の中頃と推定される.

#### 議論

本節では、まず本研究と先行研究に基づいて、各地域 に分布する秩父帯の化石年代についてまとめる.その上 で、チャート礫の起源を論じるとともに、和田層形成時 の後背地についても述べる.本節での議論にかかわる各 地域の秩父帯及び和田層のチャート礫の化石年代を図10 に示す.

#### 秩父帯ジュラ紀付加体の化石年代

#### 1. 高遠地域

本地域からの化石産出報告は極めて乏しい.坂本 (1981)は、釜無山西方の林道のチャートからコノドン トを報告している.坂本(1981)によれば、このコノド ントはペルム紀から三畳紀に広く産出する Gondolellaタ イプである.他の報告にも乏しいため、図1では便宜的



図9. 和田層基底礫岩中のチャート礫から得られた三畳紀放散虫.

Fig. 9 Triassic radiolarians from chert pebbles within the basal conglomerate of the Wada Formation.

(1, 2) Triassocampe sp. (3, 4) Canoptum? sp. (5) Spine A2 of Sugiyama (1997). (6) Bipedis? sp. (7, 14) Pseudostylosphaera sp. cf. P. japonica (Nakaseko and Nishimura). (8, 17) Pseudostylosphaera? sp. (9) Spumellaria gen. et sp. indet. (10) Conodont element. (11, 12) Ruesticyrtiidae gen. et sp. indet. (13) Pseudostylosphaera japonica (Nakaseko and Nishimura). (15) Pseudostylosphaera sp. (16) Eptingium sp. cf. E. nakasekoi Kozur and Mostler.

に三畳系チャートとして示す.

#### 2. 大鹿地域

本地域の秩父帯ジュラ紀付加体からは、これまでに金 本・大塚 (2000) が泥岩から放散虫群集を報告している. この放散虫群集には、*Striatojaponocapsa plicarum* (Yao) などが含まれている.この種はMatsuoka and Ito (2019) のJR4 (*S. plicarum*帯:中部ジュラ系、バッジョシアン 階〜下部バトニアン階)の指標種である.

本研究では、中期~後期三畳紀とジュラ紀~白亜紀の 年代を示す可能性があるチャートを1試料ずつ報告した. 他の化石記録に乏しいため、図1では便宜的にそれぞれ 三畳系チャートとジュラ系チャートとして示す.

#### 3. 上村地域

本地域の秩父帯からは、村松(1995, 1997)により微 化石産出が報告されている. 村松(1995)は、遠山川 沿い加加良渡付近のチャートから Triassocampe sp. cf. T. deweveri Nakaseko and Nishimura を、珪質泥岩から Loopus primitivus (Matsuoka and Yao)を報告している. Sugiyama (1997)の示した化石産出レンジに基づくと、T. deweveri はTR2C~TR4A(中部三畳系、中部アニシアン階~中部 ラディニアン階)から産出する. また、Loopus primitivus は Matsuoka and Ito (2019) の JR8 (*Loopus primitivus* 帯:上部ジュラ系,下部チトニアン階)の特徴種である. 4. 遠山地域

赤石山地南部の遠山地域では、村松(1999, 2001) に より、比較的豊富な放散虫化石が報告されている. 遠山 川ユニットでは、チャートからの *I. porrectus*の産出報告 がされている(村松, 2001). この種は主に中部ペルム系 グアダルピアン統キャピタニアン階から産出する(Zhang *et al.*, 2014). また、チャートからは *T. deweveri*も報告さ れている(村松, 1999, 2001). 先述のとおり、この種の 産出レンジはTR2C~TR4A(中部三畳系、中部アニシア ン階~中部ラディニアン階)である(Sugiyama, 1997). また、珪質泥岩からは JR4(Matsuoka and Ito, 2019)の 指標種である *S. plicarum*が産する(村松, 2001).

一方, 梶谷川ユニットでは, チャートからは中期三畳紀 のコノドントが報告されている(坂本, 1980, 1981).また, チャートからは Hsuum maxwelli Pessagnoや Unuma sp.が 産する(村松, 1999, 2001). Matsuoka and Ito (2019) によれば, Hsuum maxwelliは中部〜上部ジュラ系のバッ ジョシアン階〜キンメリッジアン階に産出する.また, Unuma属は下部〜中部ジュラ系のトアルシアン階〜バト



図10. 赤石山脈周辺の秩父帯の構成岩類の化石年代. 地質年代はOgg et al. (2016)に基づく. 角括弧内の数字は図1Bの文献に対応する. 化 石を産出しない岩相(玄武岩や砂岩など)は表現していない.

Fig. 10. Fossil ages of component rocks of the Chichibu belt around the Akashi Mountains. The Geologic Time Scale is based on Ogg *et al.* (2016). Numbers within square brackets correspond to the references of Fig. 1B. No fossiliferous rock (e.g. basalt, sandstone) is not presented. Carb.: Carboniferous; Pans.: Pennsylvanian; E.: Early; Lop.: Lopingian; Guad.: Guadalupian.

ニアン階に産出するとされる (O'Dogherty *et al.*, 2009b). これらの共産関係に基づくと,このチャートの年代は中期 ジュラ紀バッジョシアン期~バトニアン期と推定される. さらに,泥岩と珪質泥岩からはMatsuoka and Ito (2019) のJR8 (*Loopus primitivus*帯:上部ジュラ系,下部チトニ アン階)の特徴種である *Loopus primitivus*が見出されて いる (村松, 1999, 2001).

本研究で遠山地域から得られた試料のうち,1試料 (IT20092202)は村松(2001)がペルム紀放散虫を発見 した地点のごく近傍である.その他の3試料の採取地点 はその北北東方に位置しており,チャートの特徴やその 年代も類似する.押出から熊野大橋には大規模なペルム 系チャートが存在している可能性がある.

## 5. 水窪地域

本地域では、村松(2006)により放散虫化石年代が示 されている.ただし、具体的な化石の種名や写真は掲示 されていないため、村松(2006)の記した文章と図に基 づいて述べる.中根山ユニットでは、凝灰質泥岩は前期 ジュラ紀の、泥岩は中期ジュラ紀の年代を示す. 布滝ユ ニットでは、チャートからペルム紀と三畳紀の放散虫が 産出している. 珪質泥岩及び凝灰質泥岩からは前期ジュ ラ紀(JR2~JR3)の放散虫が産出している. 明神滝ユ ニットでは,チャートから三畳紀放散虫が産する. 珪質 泥岩及び凝灰質泥岩からは後期ジュラ紀(JR6~JR8)及 び白亜紀前期(KR1~KR3)の放散虫が産出している. また,泥岩からは後期ジュラ紀(JR6~JR8)の放散虫が 産する. なお,上記の化石帯コードはMatsuoka(1995) によると思われるが,図10ではMatsuoka and Ito(2019) に対応させている.

本研究で報告した試料は布滝ユニットに属すると考え られる.先行研究で報告されていた産出地点とほぼ同一 であり年代も調和的であるが,両試料ともより具体的に 年代を定めたといえる.

#### チャート礫の起源及び後背地

本研究で報告した和田層基底礫岩内の礫は三畳系 チャートである.三畳系チャートは、いわゆるジュラ紀 付加体に一般的に含まれており、前節で述べたように赤 石山脈周辺の秩父帯からも複数の地点から報告されてい る(図1B,図10).現在も近傍に露出する秩父帯付加体 あるいは相当する地質体に由来するとみて間違いないだ ろう.チャート礫以外では石灰岩礫が卓越し、砂岩礫も わずかに含まれる.これらの礫も同様に秩父帯付加体か らもたらされたと考えられる.なお,これらの地質体か らの直接の供給に加え,礫層から間接的にもたらされた 可能性もある.

一方で,現在の分布とは異なる点が見られる.礫岩試 料の採取地点である梶谷川の上流を含む遠山地域の東方 では,四万十帯構成岩類が広範に露出しており,含放散 虫岩も多くの地点で報告されている(図1B). しかしな がら、少なくとも検討した試料からは四万十帯の年代を 示す放散虫は得られなかった.また,礫岩試料の採取地 点を含む梶谷川周辺は和田層の主要分布域であるが、こ の周辺の礫岩を観察した限り,赤石山脈四万十帯の典型 的な岩石である赤色泥岩(いわゆる赤石)は認められな い. また,和田層分布域の北方の高遠地域や大鹿地域で は三波川帯が広く分布する(図1B).しかし,礫岩試料 の採取地点を含む梶谷川周辺を観察した限りでは三波川 帯の主要構成岩類である片岩類の礫は確認できず、先行 研究においても変成岩礫の存在は記されていない(松島, 1990). 和田層基底礫岩中の礫は円磨度が高く, 局所的 な影響が反映されている可能性は低い. したがって、和 田層堆積時にその後背地においては、四万十帯や三波川 帯は少なくとも広域には露出していなかったと考えられ る. 秩父帯に目を向けても, 試料採取地点の北方の遠山 川沿いでは大規模なペルム系赤色チャートが比較的広範 囲でみられるが(図2C),この赤色チャートに類似する 礫は認められず,得られた放散虫の年代も三畳紀で異な る. つまり、礫として含まれる秩父帯の構成岩類は現在 露出しているものとは異なっており,和田層堆積時には 秩父帯の露出状況も現在とは異なっていると考えられる.

和田層は中央構造線やそれに関連する断層の運動によ り形成されたPull-apart basinの堆積物であると考えられて いる(松島, 1990). この考えに基づけば,その堆積年代 は断層形成と同時期からその直後であると考えられる.先 述のように、和田層の泥質岩などから中新世の放散虫や有 孔虫が産出しており(中世古ほか,1979;乾・宮田,1982; 小坂ほか, 1991; 村松, 2005), 和田層基底礫岩は中新世に 堆積したと推定される. 中央構造線の活動史については 古くから多くの研究があり(Kobayashi, 1941; 矢部, 1963; 上田・都城, 1973; Miyata et al., 1980; 高木・柴田, 2000; Kubota and Takeshita, 2008; 柳井ほか, 2010など), 赤石 山脈周辺においても中央構造線や赤石構造線の断層ガウ ジから直接年代が得られている(柴田・高木, 1988; 高木 ほか, 1991; 高木・柴田, 1992; 田中ほか, 1992; Tanaka et al., 1995; 杉山ほか, 2018 など). 高木・柴田(1992)は, 断層ガウジのK-Ar年代に基づいて,四国から中部地方ま での中央構造線の活動時期を市ノ川時階(63-58 Ma)・ 砥部時階(45-34 Ma)·赤石時階(27-19 Ma)·石槌時階 (14-10 Ma) に区分した. その後, 杉山ほか (2018) は 自生イライトと母岩に含まれていたイライトの混入を評

価する手法に基づいて,赤石時階が5-10 myr ほど若く修 正されることを明らかにした.また杉山ほか(2018)は, Tanaka *et al.*(1995)による赤石構造線の断層ガウジの 年代(15 Ma)を踏まえ,15 Ma前後の断層運動の年代が 中部地方特有であり,伊豆弧の衝突に伴う中央構造線の 折れ曲がりに関連することを指摘している.

ここまで述べたように,和田層基底礫岩の礫種や年代 及び同層泥質岩から得られた中新世微化石、そして中央 構造線・赤石構造線の推定活動時期に基づくと、中部地 方特有とみられる中央構造線や関連断層の中新世(15 Ma 前後)の活動により和田層が堆積し、その後背地におい ては四万十帯や三波川帯は少なくとも大規模には露出し ていなかったといえる.和田層の南方にはほぼ同時代の 地層である遠木沢層が分布する(宮田・有川, 1983). さ らにその南西方,中央構造線や関連するとみられる断層 の周辺には中新統である設楽層群 (嘉藤, 1955)・二俣層 (槙山, 1934)・家田層(槙山, 1934)が分布しており、和 田層に連続する可能性が指摘されている(杉山, 1992). 近年ではこれらの地層も含めた白亜系〜新第三系から得 られた砕屑性ジルコンの年代に基づいて中央構造線の活 動時期が議論されている(長谷川ほか, 2019, 2020 など). 現時点では調査範囲や試料数が限られていることもあり, 中央構造線の活動と四万十帯の露出及び削剥開始時期と の関連は不明な点も多い. 今後, 上記の地層に含まれる 礫から微化石を抽出し後背地の検討を進め、断層ガウジ や砕屑性ジルコンの年代と組み合わせることにより、よ り広域的・複合的・具体的に中央構造線の活動を議論で きるようになると期待される.

#### 謝辞

長野県飯田市美術博物館の村松 武博士には,水窪地 域の放散虫産出地点についてご教示いただいた.飯田市 龍江の伊藤浅治氏には,遠山地域での野外調査及び試料 採取にご協力いただいた.編集委員長の上松佐知子博士 (筑波大学)ならびに査読者の柏木健司博士(富山大学) と匿名査読者には建設的なご意見をいただき,原稿の内 容が改善された.チャート試料のエッチング面の観察に は,HiROX社のデジタルマイクロスコープ(RH-8800) を使用させていただいた.以上の方々に厚く御礼申し上 げます.

## 文献

- 赤石グループ,1958.赤石山地の中生界.総合研究「日本の後期 中生界」研究連絡誌,(7),79–89.
- Geological Survey of Japan, AIST, 2020. *Seamless digital geological map of Japan 1: 200,000.* April 6, 2020 version. Geological Survey of Japan, AIST. https://gbank.gsj.jp/seamless/v2full/

長谷川 遼・磯崎行雄・大友幸子・堤 之恭, 2019. 中央構造線

(MTL)の活動開始時期――三河大野 - 伊平地域の低角度MTL に隣接する三種類の白亜系砂岩の砕屑性ジルコン年代からの制 限――. 地学雑誌, 128, 391-417.

- 長谷川 遼・磯崎行雄・大友幸子・堤 之恭, 2020. 白亜紀西南日 本の前弧砂岩と後背地の経年変化——砕屑性ジルコンのU-Pb年 代測定——. 地学雑誌, 129, 397–421.
- 乾 真一・宮田隆夫, 1982. 赤石山地, 水窪層・和田層の地質構 造. 地質学会関西支部報, 91, 4.
- 石井清彦・植田良夫・島津光夫, 1953. 長野県赤石山系の地質及 び岩石. 岩鉱, 37, 123–130.
- 伊藤 剛・酒井佑輔・茨木洋介・吉野恒平・石田直人・梅津 暢・ 中田健太郎・松本明日香・日野原達哉・松本 健・松岡 篤, 2012.新潟県糸魚川地域手取層群水上谷層の礫岩中の珪質岩礫か ら産出した放散虫化石.糸魚川市博物館研究報告,(3),13-25.
- Ito, T., Sakai, Y., Ibaraki, Y. and Matsuoka, A., 2014. Middle Jurassic radiolarians from a siliceous mudstone clast within conglomerate of the Tetori Group in the Itoigawa area, Niigata Prefecture, central Japan. *Science Reports of Niigata University (Geology)*, (29), 1–11.
- Ito, T., Sakai, Y., Feng, Q. L. and Matsuoka, A., 2015. Middle Jurassic radiolarians from chert clasts in conglomerates of the Tetori Group in the Taniyamadani valley, Fukui Prefecture, central Japan. Science Reports of Niigata University (Geology), (30), 1–13.
- 伊藤 剛・北川祐介・松岡 篤, 2016. 岐阜県美濃テレーン上麻 生ユニットの礫岩に含まれるチャート岩体から産出したペルム紀 放散虫化石. 地質学雑誌, 122, 249-259.
- Ito, T., Sakai, Y., Feng, Q. L. and Matsuoka, A. 2017. Review of microfossil-bearing clasts within Late Mesozoic strata in East Asia: staged denudation of mid-Mesozoic accretionary complexes. *Ofioliti*, 42, 39–54.
- 伊藤 剛・阿部朋弥・宮川歩夢,2020. 西三河平野ボーリング試 料に含まれる更新統の珪質岩礫から産出した中・古生代放散虫化 石:礫の供給源の推定. 第四紀研究,59,105–116.
- 金本高明・大塚 勉, 2000.赤石山地北部の秩父帯から産出した ジュラ紀中世放散虫化石群集.信州大学理学部紀要, 35, 69-78.
- 狩野謙一,2006.8.秩父帯と四万十帯,8.1 概説.日本地質学会, 日本地方地質誌4中部地方,250-253,朝倉書店.
- 嘉藤良次郎, 1955.愛知県設楽盆地東部の地質構造(設楽盆地の 研究その1).地質学雑誌, **61**, 51–61.
- 川端清司,1984.赤石山地・遠山川地域の四万十帯より産出した 白亜紀放散虫化石とその意義.地球科学,38,215-219.
- Kobayashi, T., 1941. The Sakawa Orogenic Cycle and its bearing on the origin of the Japanese Islands. *Journal of the Faculty of Science, University of Tokyo, Series 2*, 5, 219–578.
- 小坂共栄・増田信吾・柴 正博, 1991.赤石山地西縁部の和田層 から産出した前期中新世の浮遊性有孔虫化石.地球科学, 45, 475-479.
- Kubota, Y. and Takeshita, T. (2008) Paleocene large-scale normal faulting along the Median Tectonic Line, western Shikoku, Japan. *Island Arc*, **17**, 129–151.
- 前田四郎・川辺鉄哉, 1967.赤石山地入笠山地域の戸台層の地質 構造.早坂一郎先生喜寿祝賀記念文集, 307-316.早坂一郎先生 喜寿記念事業会,橋本確文堂,金沢.
- 牧本 博・高木秀雄・宮地良典・中野 俊・加藤碵一・吉岡 敏, 1996. 高遠地域の地質, 114p. 地域地質研究報告(5万分の1地 質図幅), 地質調査所.
- 模山次郎, 1934. 遠江二俣町付近第三紀層及び地質構造概観. 地 球, 6, 399–412.
- 松島信幸, 1972. 下伊那地質図 (10万分の1). 下伊那史編纂会.
- 松島信幸,1990.赤石山地の和田層と赤石裂線・中央構造線・赤石山地の構造問題.飯田市美術博物館研究紀要,1,29-49.
- Matsuoka, A., 1995. Jurassic and Lower Cretaceous radiolarian zonation in Japan and in the western Pacific. *Island Arc*, 4, 140–153.
- Matsuoka, A. and Ito, T., 2019. Updated radiolarian zonation for

the Jurassic in Japan and the western Pacific. Science Reports of Niigata University (Geology), (34), 140–153.

- 松岡 篤・山北 聡. 榊原正幸・久田健一郎, 1998. 付加体地質 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.
- 宮田隆夫・有川眞信, 1983. 静岡県水窪町北部のいわゆる水窪層. 日本地質学会第90年学術大会講演要旨, 193.
- Miyata, T., Ui, H. and Ichikawa, K., 1980. Paleogene left-lateral wrenching on the Median Tectonic Line in southwest Japan. *Memoirs of the Geological Society of Japan*, (18), 51–68.
- 村松 武, 1986.赤石山地南部の四万十帯(北帯)から発見され た白亜紀後期~古第三紀最初期?放散虫化石.地質学雑誌, 92, 311-313.
- 村松 武, 1995. 赤石山地中部, 遠山川地域の放散虫化石――微 化石データベース構築にむけて I――. 飯田市美術博物館研究紀 要, 5, 113–132.
- 村松 武, 1996.赤石山地南部, 寸又川層群葵沢メランジュの放 散虫化石——微化石データベース構築にむけて II ——.飯田市美 術博物館研究紀要, 6, 125–134.
- 村松 武,1997.赤石山地中部,しらびそ峠-大沢岳ルートから産 出した放散虫化石――微化石データベース構築にむけてⅢ――. 飯田市美術博物館研究紀要,7,137-144.
- 村松 武, 1998.赤石山地中部, 椹島周辺の四万十帯白亜系の地 質と放散虫化石──微化石データベース構築にむけてⅣ──.飯 田市美術博物館研究紀要, 8, 129-142.
- 村松 武, 1999. 赤石山地南部, 梶谷川流域から産した放散虫化 石---微化石データベース構築にむけてV----. 飯田市美術博物 館研究紀要, 9, 207-218.
- 村松 武,2001.赤石構造帯最北部の秩父帯の地質と放散虫化石 一微化石データベース構築にむけてVI—.飯田市美術博物館 研究紀要,11,65–78.
- 村松 武, 2005. 赤石構造帯北部の和田層およびその相当層から 産出した前期中新世放散虫化石――微化石データベース構築にむ けてVII――. 伊那谷自然史論集, 6, 27–32.
- 村松 武, 2006. 8.3 水窪町の秩父帯南帯横断. 日本地質学会, 日 本地方地質誌4中部地方, 256-257. 朝倉書店.
- 中世古幸次郎・松島信幸・小畠郁生・松川正樹, 1979.赤石山地 の水窪層・和田層に関する新事実.国立科学博物館専報, 12, 65-72.
- Noble, P., Aitchison, J. C., Danelian, T., Dumitrica, P., Maletz, J., Suzuki, N., Cuvelier, J., Caridroit, M. and O'Dogherty, L., 2017. Taxonomy of Paleozoic radiolarian genera. *Geodiversitas*, **39**, 419–502.
- O'Dogherty, L., Carter, E. S., Dumitrica, P., Goričan, Š., De Wever, P., Bandini, A. N., Baumgartner, P. O. and Matsuoka, A., 2009a. Catalogue of Mesozoic radiolarian genera. Part 2: Jurassic– Cretaceous. *Geodiversitas*, **31**, 271–356.
- O'Dogherty, L., Carter, E. S., Dumitrica, P., Goričan, Š., De Wever, P., Hungerbuhler, A., Bandini, A. N. and Takemura, A., 2009b. Catalogue of Mesozoic radiolarian genera. Part 1: Triassic. *Geodiversitas*, **31**, 213–270.
- Ogg, J. G., Ogg, G. M. and Gradstein, F. M., 2016. A Concise Geologic Time Scale 2016, 234p. Elsevier, Amsterdam.
- 坂本正夫, 1980. 赤石裂線地域の秩父帯の地質. 下伊那教育会自 然研究紀要, **3**, 187–210.
- 坂本正夫, 1981. 赤石山地の秩父帯の地質――釜無山・水窪川を 中心に――. 下伊那教育会自然研究紀要, 4, 85–98.
- 坂本正夫・長谷川美行・狩野謙一・酒井幸雄,2018.赤石構造帯北 部に発見した黒瀬川帯の構成要素.伊那谷自然史論集,19,1-15.
- Sashida, K., 1988. Lower Jurassic multisegmented Nassellaria from the Itsukaichi area, western part of Tokyo Prefecture, central Japan. Science Reports of the Institute of Geosciences, University of Tsukuba, Section B (Geological Sciences), 9, 1–27.
- 柴田 賢・高木秀雄,1988.中央構造線沿いの岩石および断層内 物質の同位体年代――長野県分杭峠地域の例――.地質学雑誌,

94, 35–50.

- Shikama, T., 1951. Paleogene Mollusca from south Nagano Ken. Transactions and proceedings of the Paleontological Society of Japan. New series, (1), 13–16
- 下伊那教育会地質委員会, 2006. 下伊那誌 地質編, 263p. 秀文 社, 飯田.
- Sugiyama, K., 1997. Triassic and Lower Jurassic radiolarian biostratigraphy in the siliceous claystone and bedded chert units of the southeastern Mino Terrane, central Japan. *Bulletin of the Mizunami Fossil Museum*, 24, 79–193.
- 杉山幸太郎・高木秀雄・河本和郎, 2018. 中部地方中央構造線に おける断層ガウジのK-Ar年代. 日本地球惑星科学連合2018年大 会講演要旨, SGL31-P16.
- 杉山雄一,1992.西南日本前弧域の新生代テクトニクス――静岡地 域のデータを中心にして――.地質調査所月報,43,91–112.
- 高木秀雄・柴田 賢, 1992. 断層ガウジのK-Ar年代測定――中央 構造線における例. 地質学論集, (40), 31–38.
- 高木秀雄・柴田 賢, 2000. 古領家帯の構成要素と古領家 黒瀬 川地帯の復元. 地質学論集, (56), 1–12.
- 高木秀雄・柴田 賢・内海 茂, 1991. 中部地方における中央構 造線の断層ガウジとフェルサイト岩脈のK-Ar年代. 地質学雑誌, 97, 377-384.
- 田中秀実・坂 幸恭・安部武史・小浜俊介・板谷徹丸, 1992.赤 石裂線の断層ガウジとそのK-Ar年代.地質学雑誌, 98, 39-48.
- Tanaka, H., Uehara, N. and Itaya, T., 1995. Timing of the cataclastic deformation along the Akaishi Tectonic Line, central Japan. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **120**, 150–158.
- 上田誠也・都城秋穂, 1973. 日本列島の地史試論. 杉山隆二編, 中 央構造線, 290–334. 東海大学出版.

Xiao, Y. F., Suzuki, N. and He, W. H., 2018. Low-latitudinal standard

Permian radiolarian biostratigraphy for multiple purposes with Unitary Association, Graphic Correlation, and Bayesian inference methods. *Earth-Science Reviews*, **179**, 168–206.

- Xiao, Y. F., Suzuki, N., He, W. H., Benton, M. J., Yang, T. L. and Cai, C. Y., 2020. Verifiability principle of genus-level classification under quantification and parsimony theories: a case study of follicucullid radiolarians. *Paleobiology*, 46, 337–355.
- Xiao. Y. F., Suzuki, N., Ito, T. and He, W. H., 2021. New Permian radiolarians from east Asia and the quantitative reconstruction of their evolutionary and ecological significances. *Scientific Reports*, 11, 6831.
- 矢部長克, 1963. 西南日本における領家変成岩体外翼の推定位置. 地学雑誌, 72, 110-114.
- 柳井修一・青木一勝・赤堀良光,2010.日本海の拡大と構造線 ──MTL,TTLそしてフォッサマグナ──.地学雑誌,119, 1079-1124.
- 吉村一郎・立見辰雄, 1938. 静岡県水窪町の白亜紀層に就て. 地 質学雑誌, 45, 577.
- Zhang, L., Ito, T., Feng, Q. L., Caridroit, M. and Danelian, T., 2014. Phylogenetic model of *Follicucullus*-lineages (Albaillellaria, Radiolaria) based on high resolution biostratigraphy of the Permian Bancheng Formation, Guangxi, South China. *Journal of Micropalaeontology*, 33, 179–192.
- 伊藤 剛は研究計画の立案,野外調査(遠山地域及び水窪地域), 化石処理・同定,原稿作成を担当,中村佳博は野外調査(大鹿地 域),原稿作成を担当した.

(2021年1月25日受付, 2021年6月25日受理)

