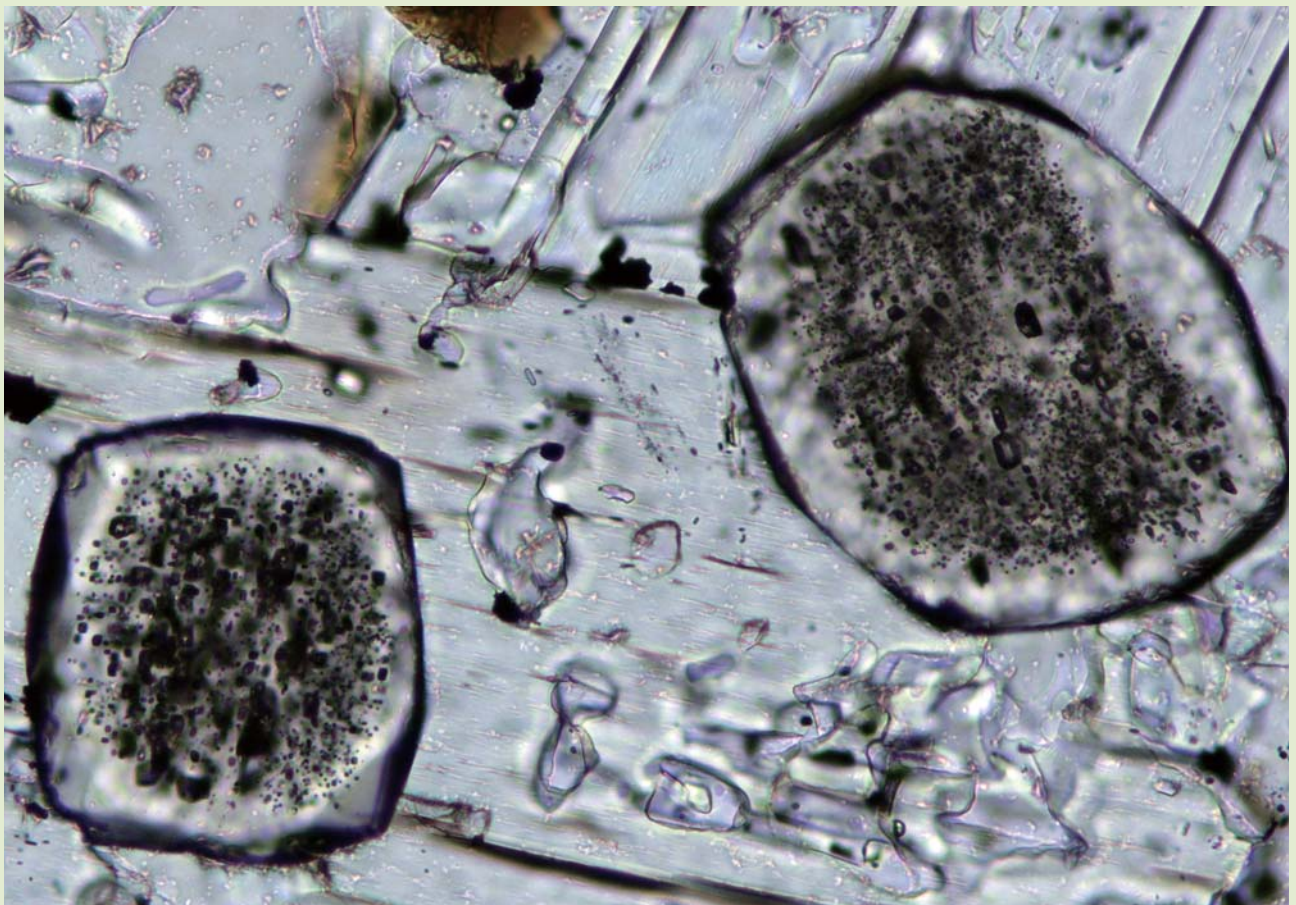


Online ISSN : 2186-490X  
Print ISSN : 1346-4272  
CODEN : CCKHA7

# 地質調査研究報告

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 64 No. 3/4 2013



独立行政法人  
産業技術総合研究所  
地質調査総合センター



平成25年

論文

- 愛知県作手地域の領家深成—変成コンプレックスの地質  
遠藤俊祐・山崎 徹 ..... 59

概報

- Triassic to Middle Jurassic radiolarians from pelagic cherts in the Nanjō Mountains, Southwest Japan  
— Part 1. Imajō district  
Satoshi Nakae ..... 85

資料・解説

- 和歌山県北西部, 御荷鉾緑色岩類の K-Ar 年代  
栗本史雄 ..... 113

---

表紙の写真

愛知県作手地域の領家変成岩中のざくろ石

領家帯の変成泥岩や変成チャートはざくろ石を含むことが多く, その化学組成や包有物の分析により変成作用時の温度・圧力・流体組成などを知ることができる. 写真はカリ長石堇青石帯の泥質片麻岩に含まれるざくろ石の結晶. ダスト状包有物を含むコアと清澄なリムからなる組織的累帯構造を示すが, 最高変成温度時の結晶内拡散により成長時の組成累帯構造はリセットされている. 周囲の鉱物は後退変成作用時に成長した白雲母. (オープンニコル, 画像横幅 0.4 mm)

(写真・文: 遠藤俊祐)

Cover page

Garnet crystals from the Ryoke Metamorphic Complex in the Tsukude area, central Japan

Garnet is a common mineral in metapelite and metachert of the Ryoke belt. Chemical zoning and inclusion paragenesis within garnet crystals provide invaluable information on conditions of metamorphism. The microphotograph shows garnet crystals in a pelitic gneiss from the K-feldspar-cordierite zone of the Ryoke belt. These garnet crystals exhibit textural zoning consisting of an inclusion-rich core and a clear rim, but were affected by diffusive homogenization of major element zoning at the thermal peak of metamorphism. Plane-polarized light, 0.4 mm wide.

(Photograph and Caption by Shunsuke Endo)



## 愛知県作手地域の領家深成-変成コンプレックスの地質

遠藤俊祐\*・山崎 徹

Shunsuke Endo and Toru Yamasaki (2013) Geology of the Ryoke Plutono-Metamorphic Complex in the Tsukude area, central Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 64 (3/4), p. 59–84, 14 figs, 3 tables.

**Abstract:** Geological mapping (7×10 km<sup>2</sup>) of the Ryoke Plutono-Metamorphic Complex exposed in the Tsukude area, central Japan was carried out to provide information about geological structure, the nature of plutonism and metamorphism, and their relationships with the neighboring districts. The Ryoke Metamorphic Complex (RMC) of this area is a 4,000 m-thick sequence of north-dipping strata composed mainly of metapelite, metapsammite and metachert, which corresponds to the upper unit of RMC in the Mikawa Plateau. RMC of the Tsukude area was intruded by the post-metamorphic Ryoke granitic rocks, including the Shinshiro Tonalite, Mitsuhashi Granodiorite and Busetsu Granite. In addition, the distribution of pyroxene- and calcic plagioclase-bearing plutonic rocks was newly identified as the Tsukude mafic rocks. Metamorphism in this area is divided into biotite zone and K-feldspar-cordierite zone. The K-feldspar-cordierite zone represents contact aureoles of the Ryoke plutonic rocks. The Shinshiro Tonalite is surrounded by an unusually wide contact aureole and recrystallization conditions of rocks lying above the K-feldspar-cordierite isograd are estimated to be 230–240 MPa and >600 °C, implying emplacement of the Shinshiro Tonalite at 8.5–9.0 km depth.

**Keywords:** Contact Aureole, Granitic Rocks, Mafic Plutonic Rocks, Ryoke Belt, Tsukude

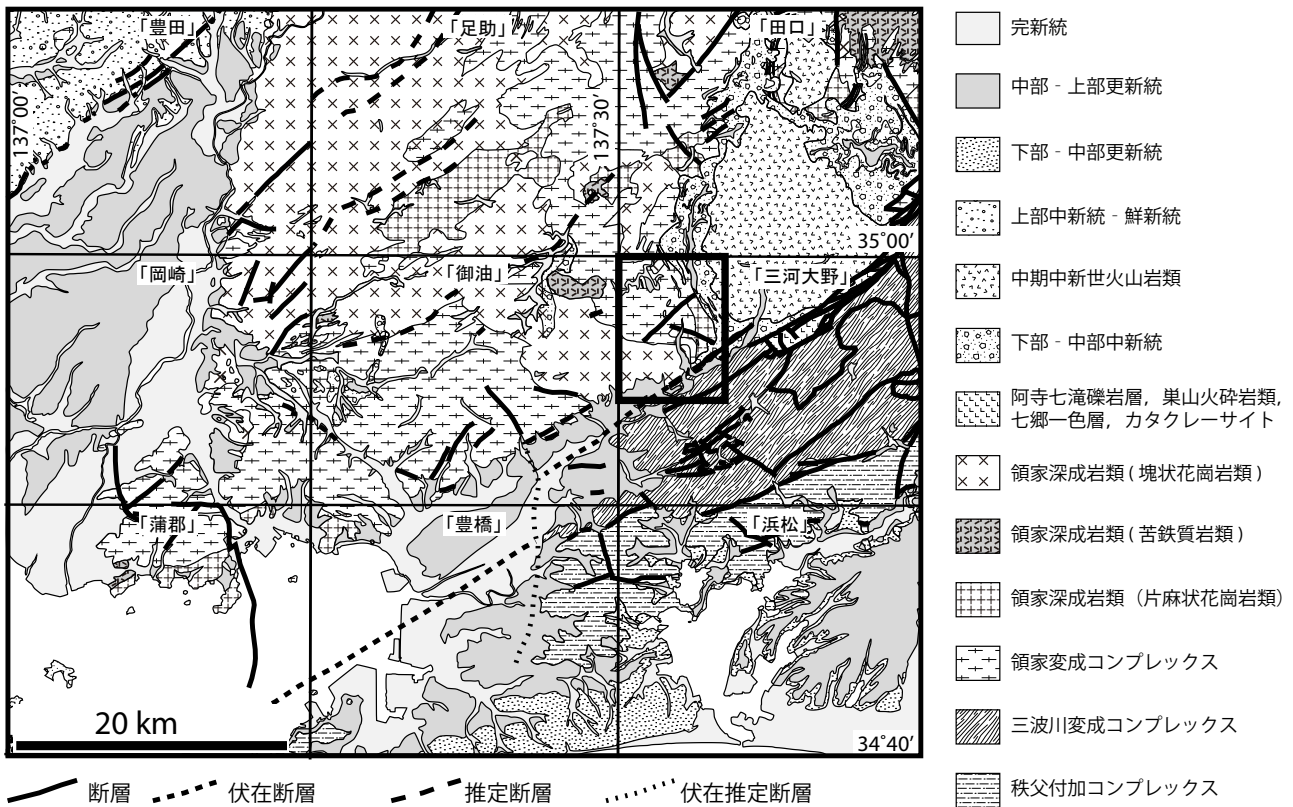
### 要 旨

5万分の1地形図「三河大野」図郭内において、領家深成-変成コンプレックスが露出する北西部7×10 km<sup>2</sup> (作手地域) の野外調査を行った。本地域の領家変成岩類は大局的には北傾斜の層理及び片理をもつ変成泥岩、変成砂岩及び変成珪質岩からなり、全体の層厚は4,000 mに達する。この層序は三河高原における領家変成岩類の上部ユニットに対比される。本地域の領家変成岩類には、広域変成作用の後に領家花崗岩類 (新城トータル岩、三都橋花崗閃緑岩、武節花崗岩) が貫入している。また、輝石及びCaに富む斜長石を含む深成岩が分布し、これを作手苦鉄質岩類 (新称) とした。本地域の領家変成岩類は黒雲母帯とその接触変成域のカリ長石堇青石帯に変成分帯され、特に新城トータル岩周囲の接触変成帯の見かけ幅は異常に広い。新城トータル岩周囲のカリ長石堇青石帯の岩石は>600 °C, 230–240 MPaの温度-圧力条件で再結晶しており、新城トータル岩の定置深度は8.5–9.0 kmと考えられる。

### 1. はじめに

西南日本内帯におよそ800 kmにわたって帯状に分布する領家深成-変成コンプレックスは、主に美濃-丹波帯のジュラ紀付加体を原岩とする白亜紀の低圧高温型変成岩類と大量の深成岩類 (花崗岩類と少量の苦鉄質岩類) からなる (例えば, Okudaira *et al.*, 1993; Nakajima, 1994; Suzuki and Adachi, 1998)。また花崗岩類は、低圧高温型の広域変成作用と同時期に活動した古期領家花崗岩類と、広域変成作用の後に領家変成岩類に非調和に貫入し、これに接触変成作用を与えた新期領家花崗岩類に区別できる (例えば, Kutsukake *et al.*, 2003)。領家深成-変成コンプレックスは現在、白亜紀の低温高圧型変成帯である三波川変成コンプレックスと中央構造線を挟んで対面しており、両者は火山弧-海溝系における地下深部プロセスを追究するうえで重要な研究対象である (例えば, Miyashiro, 1972; Aoya *et al.*, 2009; Brown, 2010)。

愛知県東部の三河高原は、領家深成-変成コンプレックスの研究が重点的に行われてきた地域の一つである。第1図に三河高原周辺の地質概略図を示す。特に5万分の1地質図幅「御油」を中心とする範囲は、北傾斜の単斜構造を示す領家変成岩類の層厚約10 km相当が連続的に



第1図 三河高原周辺の地質概略図。20万分の1地質図幅「豊橋及び伊良湖岬」(牧本ほか, 2004)を簡略化。調査地域を黒太枠で示す。

Fig. 1 Geological outline map around the Mikawa Plateau, central Japan (modified after Makimoto *et al.*, 2004). The study area is indicated by a bold black frame.

露出しており、火山弧の上部～中部地殻断面を観察できる重要な地域である (Miyazaki, 2010)。なお、本稿では領家変成岩類と領家深成岩類の総称として領家深成-変成コンプレックスを使用し、「御油」図幅の領家変成コンプレックス (宮崎, 2008) と同義語として領家変成岩類を用いる。「御油」図幅地域の領家変成岩類と同じ層準は、東方には「三河大野」地域へ連続すると考えられる (第1図)。領家深成岩類や新第三系の分布により、「三河大野」地域の領家変成岩類は周辺地域との連続性が断たれているため、その層序的位置づけが明らかにされていない。また、同地域の領家変成岩類は、新期領家深成岩類の貫入にともなう接触変成作用が重複していることが期待されるが、その検討はなされていない。こうした問題を整理するため、著者らは作手地域の野外調査を行った (調査期間2012年11/29～12/5)。本稿では、まず「御油」図幅とシームレスに接続する領家深成-変成コンプレックスの地質図を作成し、本地域の層序的位置づけを明らかにした。また、本調査で採集した変成泥岩の鉱物組み合わせに基づき本地域の変成分帯を行い、代表的な試料を用いて変成作用の温度-圧力見積りを行った。更に、深成岩類について貫入関係や記載岩石学的特徴にもとづき、周辺地域の領家深成岩類と対比し、その位置づ

けを考察した。なお、野外調査・本稿執筆にあたっては、山崎が領家深成岩類と全岩化学組成の試料調整及び測定を主として担当し、変成岩類と地質図の作成を含む全体の取りまとめについては遠藤が担当した。

本稿における鉱物の化学組成分析には、地質調査総合センター共同利用実験室 (GSJ-Lab) 設置の波長分散型EPMA (JEOL JXA-8800R) を用いた。分析条件は15 kV, 12 nAで、補正計算はBence and Albee (1968) による。また、全岩化学組成分析は、約1 gの粉末試料を900°Cで2時間強熱して灼熱減量 (Loss on ignition: LOI) を計測した後、四ホウ酸リチウム (Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>) フラックスによる希釈率10:1 (フラックス: 試料) のガラスビードを作成し、GSJ-Lab設置の蛍光X線分析装置 (PANalytical Axios) を用いて行った。分析精度は未知試料と同様の手順で作成した地質調査総合センターの地球化学 (岩石) 標準試料を用いてモニターした。

## 2. 地質概略

5万分の1地形図「三河大野」図郭内において、領家深成-変成コンプレックスは北西部7×10 km<sup>2</sup>の範囲 (以下、作手地域または本地域と称する) に露出し、その南側に

は三波川変成コンプレックスや豊川平原の第四系、東側には新第三系(設楽火成複合岩体及び北設垂層群)が分布する(第1図)。作手地域の領家変成岩類には、南側に新城トータル岩、北側に三都橋花崗閃緑岩といった新期領家花崗岩類が非調和に貫入するほか、後述の作手苦鉄質岩類(新称)が貫入している。

本地域に分布する領家変成岩類は、変成泥岩、変成砂岩、変成珪質岩とごく少量の変成苦鉄質岩である。本地域の領家変成岩類を対象とした研究は少ないが、渥美(1984)は新城市権平付近に分布する泥質片麻岩中に紅柱石、珪線石やコランダムの斑状変晶が含まれ、それらの分解物として白雲母とともに真珠雲母(マーガライト)が存在することを報告している。また本地域内に柱石(スカポライト)を含む石灰質片麻岩を産することを述べている。Suzuki *et al.* (1994a)は、本地域(新城市権平)及び山口県柳井地域の領家変成岩類に含まれる碎屑性モナザイトのPbの拡散プロフィールをEPMAで測定し、モナザイト中のPbの拡散係数を決定した。また、新城市権平の泥質片麻岩に含まれる変成モナザイトのCHIME(chemical Th-U-total Pb isochron method: Suzuki and Adachi, 1991)年代値として $98.0 \pm 3.2$  Maを報告している。この年代値を含め、西南日本各地の領家変成岩類から得られているCHIMEモナザイト年代はいずれも約100 Maの年代を記録しており、広域変成作用の昇温期(モナザイトが最初に結晶化する角閃岩相低温部 $525 \pm 25^\circ\text{C}$ に達した時期)の年代と解釈されている(Suzuki *et al.*, 1994a; 鈴木ほか, 1994b; Suzuki and Adachi, 1998; Kawakami and Suzuki, 2011)。

本地域の新城トータル岩は「御油」図幅地域の新城市巴山周辺を中心に分布する岩体の東方延長で、主として角閃石黒雲母トータル岩から構成される。新城市横川及び権平付近には、主として石英黒雲母含有輝石角閃石斑れい岩からなる苦鉄質岩類が分布する。後に述べるように、苦鉄質岩類は三都橋花崗閃緑岩にも密接に伴って産するため、両者を区別するために本稿では新城市横川及び権平付近に分布する苦鉄質岩類を作手苦鉄質岩類と呼ぶ。三都橋花崗閃緑岩は5万分の1地質図幅「足助」及び「田口」地域を中心に分布する岩体の南方延長で、主として角閃石黒雲母花崗閃緑岩から構成される。武節花崗岩は「御油」及び「足助」図幅地域に広く分布するが、本地域では小規模な岩脈として産する。

本地域に産する領家深成岩類及び、これと連続する岩体から各種の放射年代値が求められている。そのうち、ほぼ固結年代を示すと解釈される年代については、Morishita and Suzuki (1995)が、新城トータル岩のモナザイトのCHIME年代値として $86.0 \pm 4.7$  Ma,  $85.5 \pm 5.5$  Ma及び $85.2 \pm 3.3$  Maを報告している。三都橋花崗閃緑岩については、 $84.1 \pm 3.1$  Ma (Suzuki *et al.*, 1994a)と $83.8 \pm 1.3$  Ma (鈴木ほか, 1994b)のCHIMEモナザイト年代が報告さ

れている。武節花崗岩については $78.5 \pm 2.6$  Ma- $75.3 \pm 4.9$  MaのCHIMEモナザイト年代が報告されている(鈴木ほか, 1994b; Nakai and Suzuki, 2003)。苦鉄質岩類については本地域からの報告はないが、西隣の「御油」図幅地域内の作手岩波付近からNakajima *et al.* (2004)が $72.4 \pm 1.2$  MaのSHRIMP(高精度高分解能イオンマイクロプローブ)ジルコン年代を報告している。また、本地域北西の「足助」図幅地域では、三都橋花崗閃緑岩と同時期に活動し、液状態で混合した産状を示す苦鉄質岩類の存在が報告されている(山崎, 2012)。

### 3. 領家変成岩類

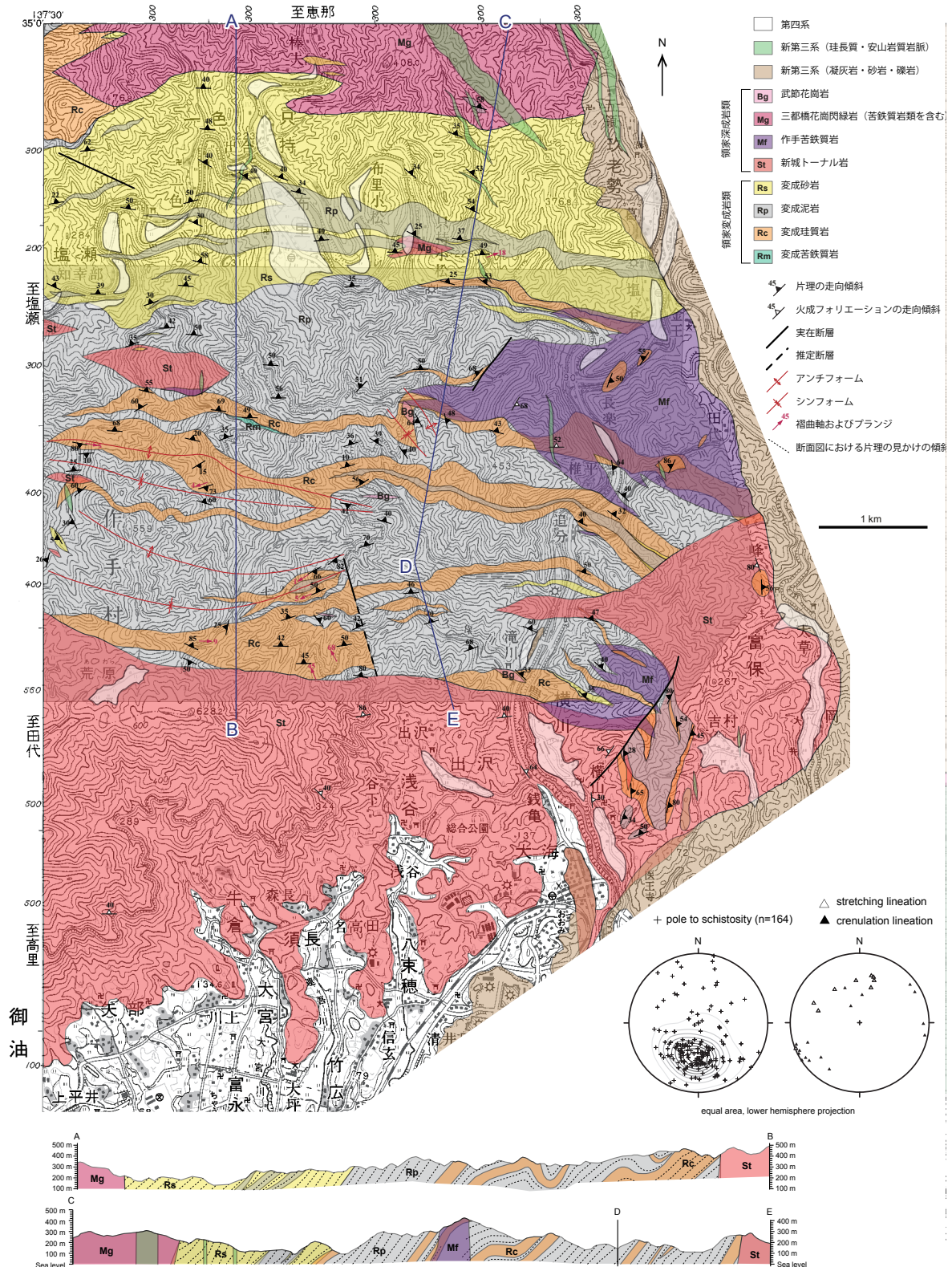
#### 3.1 岩相層序とその位置づけ

本地域の領家変成岩類の原岩岩相に基づく地質図及び断面図を第2図に、西隣の「御油」図幅地域(宮崎, 2008)との層序対比を第3図に示す。「御油」図幅地域を中心とする三河高原の領家変成岩類は、北傾斜の層理及び片理をもち、見かけ下位の南方に向かって単調に変成度が上昇する(浅見ほか, 1982; Miyazaki, 2010)。宮崎(2008)は「御油」図幅地域の領家変成岩類を見かけ上位から下位に向かって、上部ユニット(変成珪質岩を挟む変成泥岩卓越層)、中部ユニット(厚い変成砂岩とその下位の変成珪質岩卓越層)、下部ユニット(神原トータル岩の調和貫入岩脈を含む変成砂岩卓越層)に区分した。本地域に露出する領家変成岩類は全体の層厚が4,000 mに達する。そしてこの層準は、新城市塩瀬に分布する変成砂岩やその北方の変成珪質岩、南部の連続性の良い変成珪質岩を鍵層として、「御油」図幅地域の上部ユニットに対比できる(第3図)。「御油」図幅地域の西部から本地域の東部に向かって層理及び片理の一般走向は東北東から西北西へと明瞭に変化する(第1図及び第3図)。それに伴い、本地域では領家変成岩類の一般走向と中央構造線の走向の関係が高角になる。また本地域は南部に新城トータル岩の主岩体が貫入している(第2図)。こうしたことから、「御油」図幅地域に広く露出している中部及び下部ユニットは本地域には現れていない(第3図)。

#### 3.2 変形構造

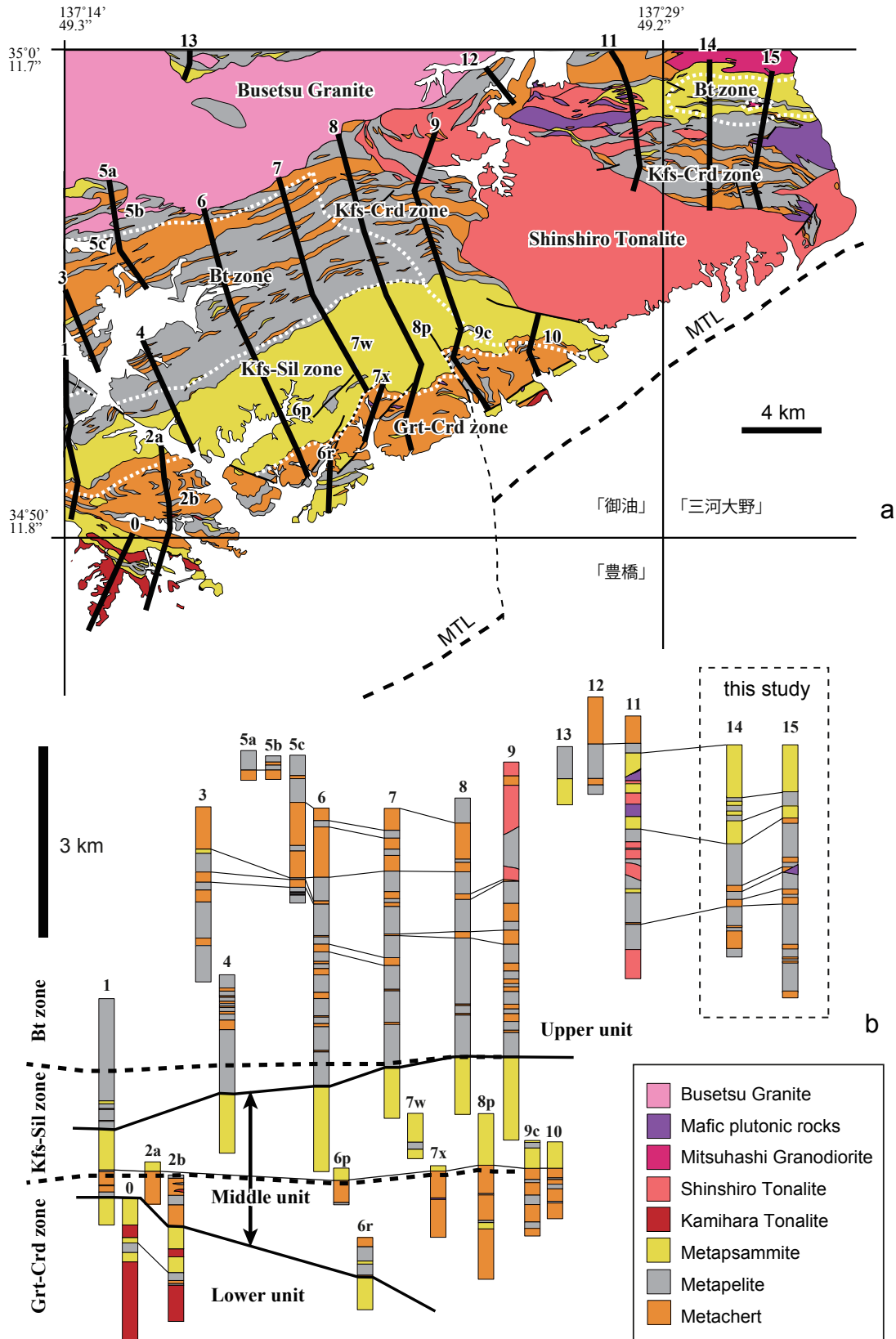
領家変成岩類内部に一貫して発達している巨視的な片理は単一の変形段階(D<sub>1</sub>変形: Okudaira *et al.*, 1993; D<sub>m</sub>変形: Adachi and Wallis, 2008)による。D<sub>1</sub>以前の変形段階は黒雲母や紅柱石の斑状変晶中の包有物の配列による内部面構造として認識されている(Seo and Hara, 1980; Adachi and Wallis, 2008)。領家変成岩類のD<sub>1</sub>変形は三波川変成コンプレックス上昇期の主変形と同じく、変成帯の伸長方向とほぼ平行な伸長線構造及び、上盤西ずれの剪断センスにより特徴付けられ(Adachi and Wallis, 2008)、イザナギプレートの左斜め沈み込み





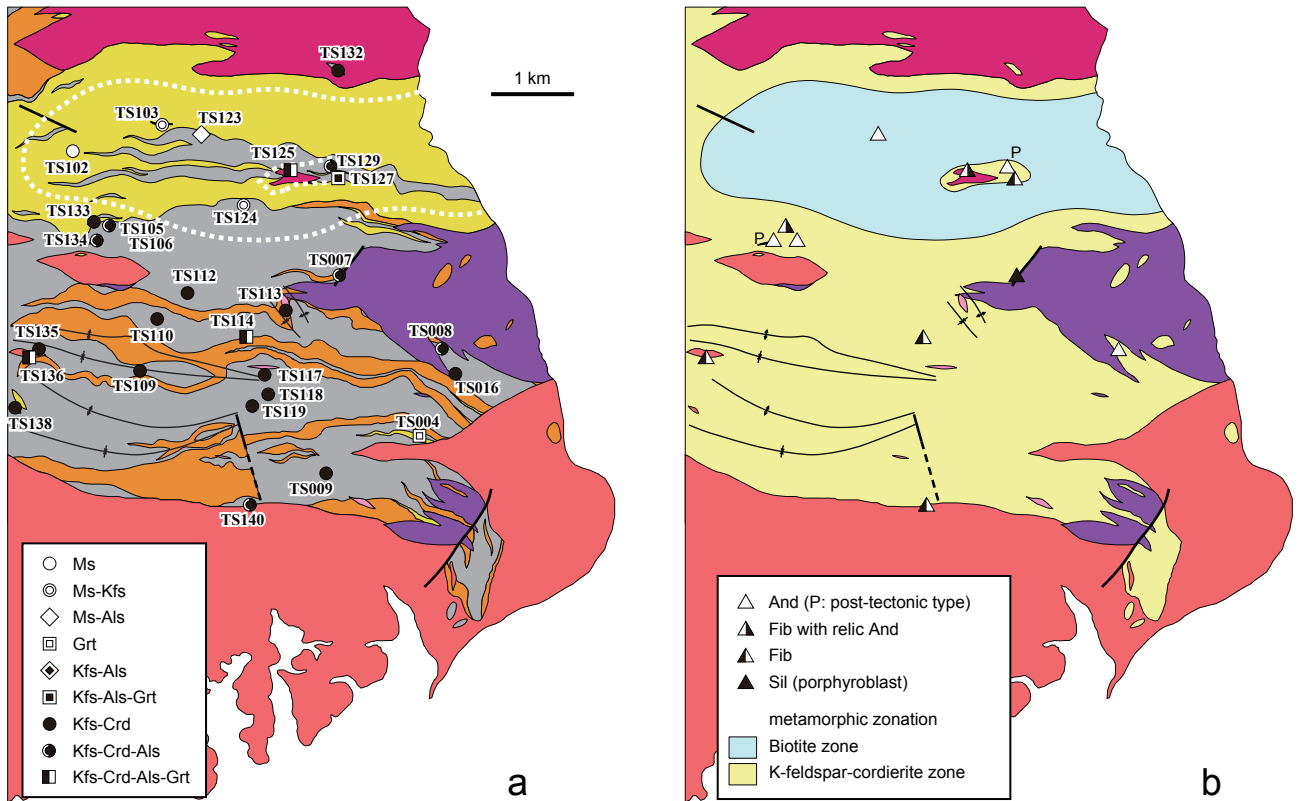
第2図 作手地域の御嶽深成-変成コンプレックスの地質図及び断面図。地質図の基図に国土地理院発行の数値地図(5万分の1「三河大野」)の一部を用いた。野外で測定した変形構造(片理の極, 伸長線構造及び微細褶曲軸)の方位(等面積下半球ステレオ投影)も示した。

Fig. 2 Geological map and cross sections of the Ryoke Plutono-Metamorphic Complex in the Tsukude area. Orientation data of mesoscale deformation structures (pole to schistosity, stretching lineation and crenulation lineation) are also shown on equal area, lower hemisphere stereoplots.



第3図 作手地域(「三河大野」範囲内, 本研究)と「御油」図幅地域(宮崎, 2008)の領家変成岩類の岩相層序対比. (a) 地質図. (b) 柱状図.

Fig. 3 Lithostratigraphic correlation of the Ryoke Metamorphic Complex between the Tsukude area (this study) and the Goyu area (Miyazaki, 2008). (a) Geological map. (b) Columnar sections.



第4図 作手地域の領家変成岩類の変成分帯図。(a) 変成泥岩の鉱物共生(黒雲母, 斜長石, 石英はすべての試料に存在)の分布。白破線はカリ長石堇青石アイソグラッドを示す。背景の地質図の凡例は第3図に同じ。Als:  $Al_2SiO_5$  鉱物, Crd: 堇青石, Grt: ざくろ石, Kfs: カリ長石, Ms: 白雲母。(b)  $Al_2SiO_5$  鉱物の産状。And: 紅柱石, Fib: フィブロライト(繊維状珪線石), Sil: 珪線石。

Fig. 4 Metamorphic zonation of the Ryoke Metamorphic Complex in the Tsukude area. (a) Parageneses of metapelite. The K-feldspar-cordierite isograd is indicated by white broken lines. Als:  $Al_2SiO_5$  phase, Crd: cordierite, Grt: garnet, Kfs: K-feldspar, Ms: muscovite. (b) Mode of occurrences of  $Al_2SiO_5$  phase. And: andalusite, Fib: fibrolite, Sil: sillimanite.

に支配された変形作用と解釈される (Wallis *et al.*, 2009; Okudaira *et al.*, 2009)。 $D_1$ 以降の変形は、領家深成-変成コンプレックス底部における低角な $D_2$ 剪断帯の形成と、東西走向の軸面をもつ $D_3$ 正立褶曲の形成が認識されている (Okudaira *et al.*, 1993; Okudaira *et al.*, 2009)。 $D_3$ 褶曲と同じ姿勢・時期の褶曲は三波川変成コンプレックスにも広域的に発達しており、同一のテクトニクスが関与していると考えられる。

本地域の $D_1$ 片理は平均的には東西走向で $30-60^\circ$ 北に傾斜する(第2図)。 $D_1$ 片理は岩相境界と平行で、層内褶曲が普遍的にみられる。また、広範囲からの十分な測定数は得られなかったが、 $D_1$ 伸長線構造として変成泥岩の片理上に伸長した砂質レンズや黒雲母クロットが認識できる(第2図)。本地域西部において $D_1$ 片理は東西走向・急傾斜の軸面をもつシンフォーム、アンチフォーム( $D_3$ 褶曲)により曲げられている(第2図)。

### 3.3 変成分帯

本地域の領家変成岩類は山田ほか(1974)の編纂した

「中部地方領家帯地質図」では堇青石帯と珪線石帯に分帯され、牧本ほか(2004)の編纂した20万分の1地質図幅「豊橋及び伊良湖岬」では全域が珪線石帯とされている。しかし、実際に鉱物組み合わせを明示した変成分帯は本地域では行われていない。一方、西隣の「御油」図幅地域は変成泥岩の鉱物組み合わせとその微細組織が精査され、広域変成作用とその後の接触変成作用を区別した変成分帯が行われてきた(例えば、浅見ほか, 1982, 三宅ほか, 1992, 宮崎, 2008)。これらのなかで最新の変成分帯図(宮崎, 2008)は、領家変成岩類を低温側から黒雲母帯、カリ長石珪線石帯、ざくろ石堇青石帯の三帯に分け、新期領家花崗岩類の接触変成域をカリ長石堇青石帯とした。広域変成作用に伴うアイソグラッドは層理及び片理にほぼ平行で、「御油」図幅地域の上部ユニットの大部分は黒雲母帯に相当する(第3図)。

第4図aに本地域の変成泥岩の鉱物組み合わせを示す。ここに示した鉱物組み合わせは後退変成作用の影響を取り除いたものである。本地域全域において変成泥岩に初生的な緑泥石は含まれず、変成度は黒雲母帯以上に達し



ている。またカリ長石+堇青石共生が領家深成岩類周囲に広く出現する。したがって宮崎 (2008) の基準を用いて、本地域は黒雲母帯とその接触変成域のカリ長石堇青石帯に変成分帯できる。黒雲母帯の変成泥岩の鉱物組み合わせは黒雲母+白雲母+斜長石+石英+カリ長石+紅柱石であり、紅柱石はカリ長石と共存しない。一方、カリ長石堇青石帯の変成泥岩の鉱物組み合わせは黒雲母+斜長石+石英+カリ長石+堇青石+紅柱石+珪線石+ざくろ石である。また、カリ長石堇青石帯にはフィプロライト(繊維状珪線石)が広く産し、本地域は接触変成帯のみが珪線石安定領域に達したと考えられる(第4図b)。本地域の黒雲母帯には細粒の片岩が、カリ長石堇青石帯にはより粗粒な片岩~片麻岩が卓越する。そのため概略的には、本稿の黒雲母帯とカリ長石堇青石帯の分布は、山田ほか(1974)の堇青石帯(片状ホルンフェルス分布域)と珪線石帯(縞状片麻岩分布域)の分布に対応している。

### 3.4 岩相

#### 3.4.1 変成泥岩 (Rp)

本地域の領家変成岩類の主要構成岩石であり、岩相変化に富むが、基本的な構成鉱物として石英、斜長石、黒雲母は常に含まれる。上記鉱物に加え、白雲母、カリ長石、堇青石、 $Al_2SiO_5$  鉱物(紅柱石、珪線石、フィプロライト)、ざくろ石のうち、いくつかが共存することがある。多くの場合、堇青石は緑褐色のピナイトや粗粒白雲母に、 $Al_2SiO_5$  鉱物は微細な白色雲母集合体に完全に置き換えられている。また、副成分鉱物として電気石、ジルコン、アパタイト、炭質物、イルメナイト、磁硫鉄鉱などが普遍的に含まれる。

新城市布里<sup>ふり</sup>周辺に分布する黒雲母帯の変成泥岩は、炭質物を含み暗灰色を呈する細粒の片岩(白雲母黒雲母斜長石石英片岩)で、伸長した灰色の変成砂岩レンズを含む(第5図a)。また、随所に長さ数cm程度の紅柱石結晶を含む厚さ数cm以下の層準を挟む(第5図b)。鏡下では、黒雲母及び白雲母の形態定向配列による片理が発達し、また層内褶曲した石英に富む薄層を普遍的に挟む。白雲母は基質の片理の上に静的に成長していることも多い(第6図a)。

新城市布里南西のカリ長石堇青石アイソグラッド付近の変成泥岩は細粒で、黒雲母帯の泥質片岩と肉眼観察では大きな違いは認められない。しかし鏡下では、紅柱石を含む泥質片岩の場合、基質の片理の上に静的に成長したカリ長石を特徴的に含む(第6図b)。新城トータル岩近傍のカリ長石堇青石帯の変成泥岩は、緻密硬堅で粗粒な片岩ないし片麻岩(第6図c)、またはグラノフェルス(第6図d)である。堇青石は自形の短柱状結晶をなし、丸みを帯びた石英や黒雲母、カリ長石、斜長石、炭質物などをポイキロプラスト状に含む。フィプロライトが堇青石中に包有されていることがあるが(第6図c)、紅柱石は残存

していない。

新城市稚平の作手苦鉄質岩類周囲に分布する変成泥岩は粗粒な片麻岩で、露頭においてもピナイト化した堇青石及び $Al_2SiO_5$  鉱物(紅柱石、珪線石)の斑状変晶が目立つ(第5図c)。また、フィプロライトは本地域のカリ長石堇青石帯に普遍的であるが(第4図b)、斑状変晶をなす珪線石(第6図e)は作手苦鉄質岩類近傍にのみ産する。

新城市只持<sup>ただもち</sup>小松<sup>こまつ</sup>北方の三都橋花崗閃緑岩と直接する露頭の変成泥岩は、アメーバ状の堇青石仮像(ピナイト)を含むカリ長石斜長石黒雲母石英グラノフェルスである。また只持小松に小規模に分布する三都橋花崗閃緑岩の周囲には、ざくろ石、堇青石仮像、カリ長石、紅柱石、フィプロライトを含む黒雲母斜長石石英片麻岩(第6図f)を産する。ざくろ石のコアは微細な石英及び気液二相の流体を主とするダスト状包有物に富む。

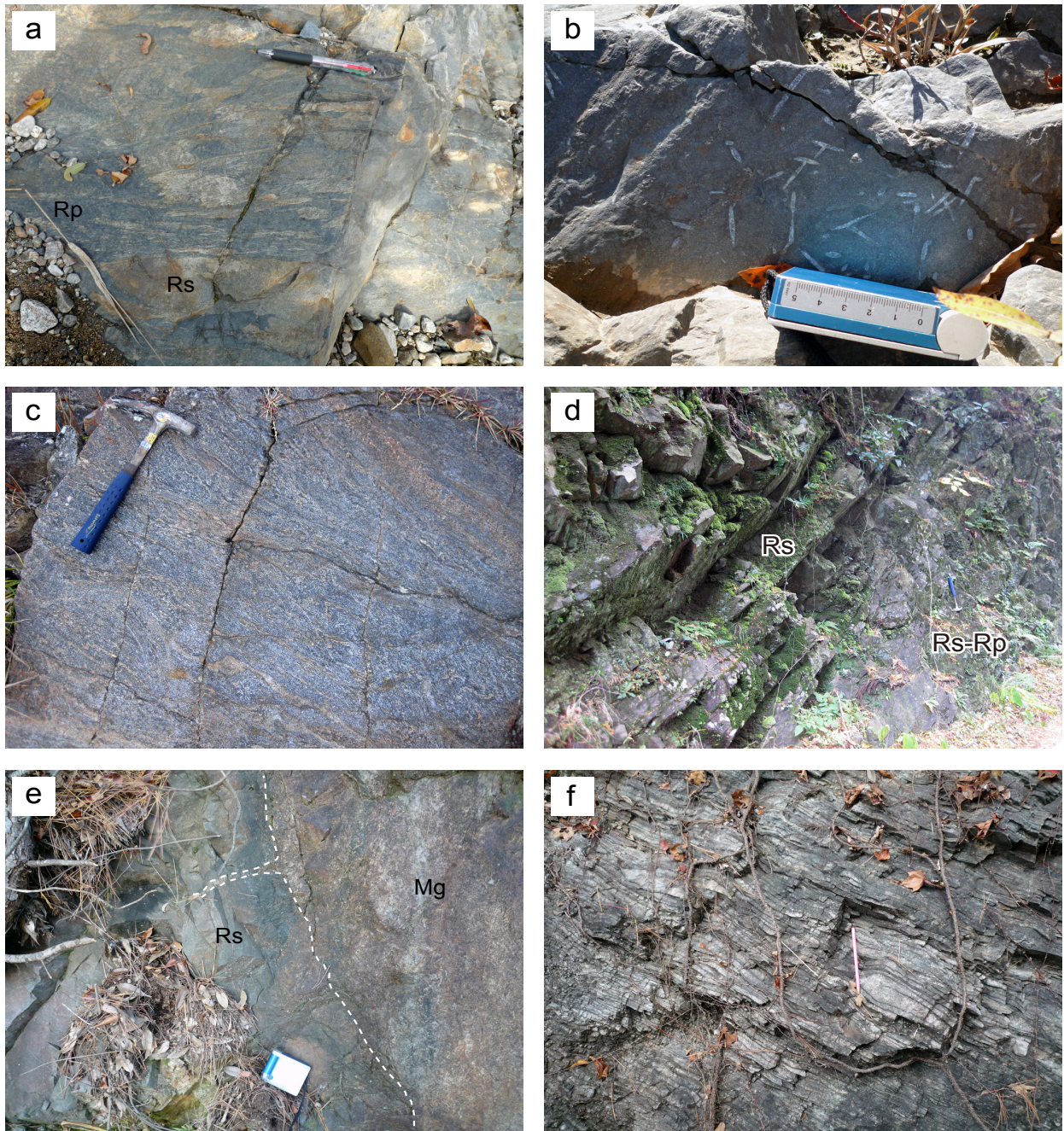
#### 3.4.2 変成砂岩 (Rs)

本地域の変成砂岩は様々なスケールで変成泥岩と互層し、大部分は泥質部の量が優勢である。そのため、第2図に変成泥岩として塗色した領域にも変成砂岩は普遍的に産する。一方、泥質部に乏しい変成砂岩のまとまった分布が本地域北部にみられる(第2図)。この変成砂岩の分布は、「御油」図幅内の新城市塩瀬から連続するもので、本地域の領家変成岩類の見かけ上位の層厚1,000 m以上を占めている(第3図)。露頭において変成砂岩自体の片理は弱い、数cm間隔で挟まるフィルム状泥質層(黒雲母濃集層)による明瞭な面構造が発達する(第5図d)。本地域北部の泥質部に乏しい変成砂岩(黒雲母カリ長石斜長石石英グラノフェルス)には三都橋花崗閃緑岩が貫入している(第5図e)。その貫入面付近において変成砂岩はやや粗粒になり、黒雲母は直径1 mm前後のクロットを形成するようになる。三都橋花崗閃緑岩周囲のカリ長石堇青石アイソグラッドは、この変成砂岩分布域内に位置していると考えられるが、泥質部に乏しい変成砂岩の鉱物組み合わせ(黒雲母+カリ長石+斜長石+石英)は単調で変化がみられない。

#### 3.4.3 変成珪質岩 (Rc)

本地域の領家変成岩類は変成泥岩卓越層中に連続性の良い変成珪質岩層を挟んでいる(第2図)。また、本地域北西端には「御油」図幅内の新城市<sup>ひこぼろ</sup>彦坊山から連続する変成珪質岩が分布する(第3図)。変成珪質岩の露頭は、厚さ数cmの珪質層と黒雲母に富む薄い泥質層が有律互層をなし(第5図f)、原岩の層状チャートに由来する構造と考えられる。この層状構造は隣接する岩石の片理や岩相境界面と大きく斜交しない。また大規模褶曲のヒンジ付近では、微細褶曲や波長数10 cm程度の開いた褶曲が発達している。本地域の変成珪質岩は石英を主体とし、少量の黒雲母、斜長石、ざくろ石などを含むグラノフェ

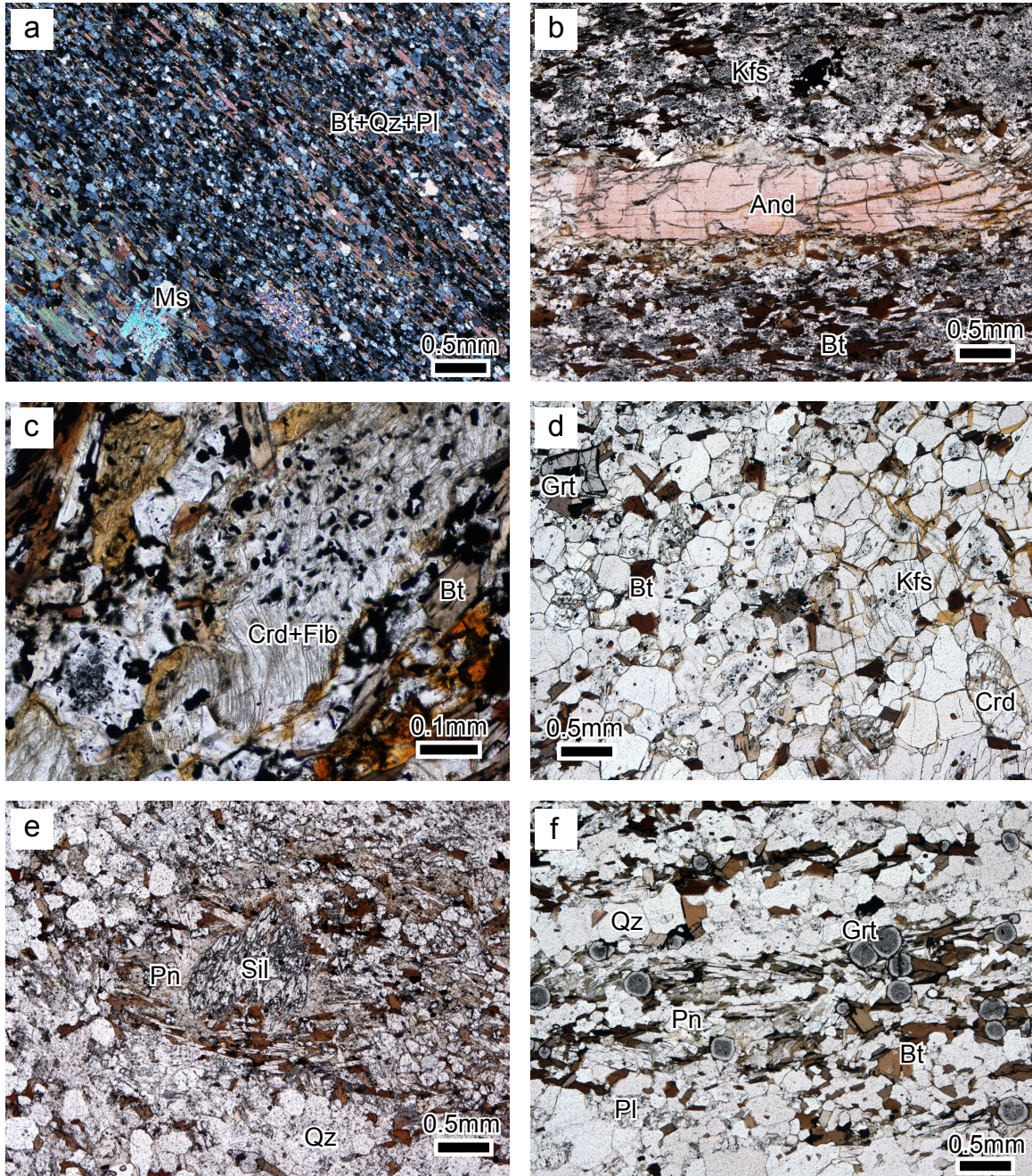




第5図 領家変成岩類の野外における産状。(a) 黒雲母帯の変成砂泥岩。多量の変成砂岩レンズ (Rs) を含む泥質片岩 (Rp)。新城市布里的寒狭川右岸。(b) 黒雲母帯の変成泥岩。柱状の紅柱石を含む層準面。布里的寒狭川右岸。(c) 作手苦鉄質岩類近傍のカリ長石堇青石帯の粗粒な泥質片麻岩。新城市権平の豊川左岸。(d) 黒雲母帯の変成砂岩 (Rs) 及び変成砂岩-変成泥岩互層 (Rs-Rp)。新城市塩瀬東方の道路沿い。(e) 三都橋花崗閃緑岩 (Mg) に貫入される変成砂岩 (Rp)。新城市只持小松北方の林道沿い。(f) カリ長石堇青石帯の変成珪質岩。新城市七久保の道路沿い。

Fig. 5 Field photographs of the Ryoke metamorphic rocks in the Tsukude area. (a) Pelitic schist (Rp) with abundant metapsammitic lenses (Rs). Biotite zone. (b) Andalusite-bearing stratum of metapelite. Biotite zone. (c) Coarse-grained pelitic gneiss. K-feldspar-cordierite zone around the Tsukude mafic rocks. (d) Foliated metapsammite (Rs) and psammopelitic schist (Rs-Rp). Biotite zone. (e) Metapsammite (Rs) intruded by the Mitsunashi Granodiorite (Mg). (f) Metachert. K-feldspar-cordierite zone.

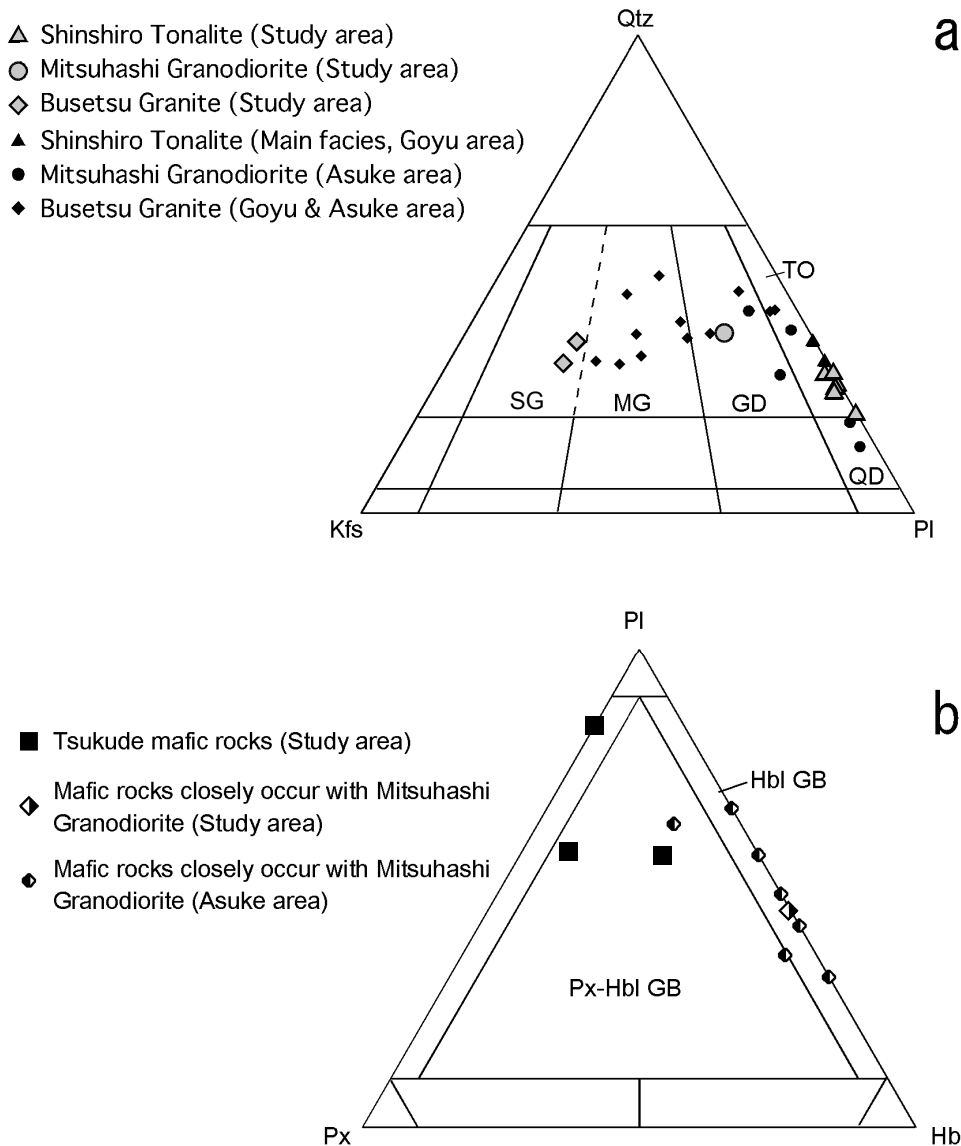




第6図 変成泥岩の鏡下写真。(a) 黒雲母帯の白雲母黒雲母斜長石石英片岩 (TS103)。クロスニコル。(b) カリ長石堇青石帯の紅柱石カリ長石含有黒雲母斜長石石英片岩 (TS134)。オープンニコル。(c) カリ長石堇青石帯 (新城トール岩近傍) のカリ長石堇青石含有黒雲母斜長石石英片麻岩 (TS140)。オープンニコル。(d) ざくろ石含有斜長石黒雲母堇青石カリ長石石英グラノフェルス (TS136)。オープンニコル。(e) カリ長石堇青石帯 (作手苦鉄質岩類近傍) の珪線石堇青石カリ長石含有黒雲母斜長石石英片岩 (TS007)。オープンニコル。(f) カリ長石堇青石帯 (新城市只持小松) のざくろ石堇青石カリ長石含有斜長石石英白雲母黒雲母片麻岩 (TS125)。オープンニコル。And: 紅柱石, Bt: 黒雲母, Crd: 堇青石, Fib: フィブロライト, Grt: ざくろ石, Kfs: カリ長石, Ms: 白雲母, Pl: 斜長石, Pn: ピナイト, Qz: 石英, Sil: 珪線石。

Fig. 6 Photomicrographs of the Ryoke metapelitic rocks from the Tsukude area. (a) Muscovite-bearing schist (TS103) in the biotite zone. Crossed polarized light (XPL). (b) Andalusite- and K-feldspar-bearing schist (TS134) in the K-feldspar-cordierite zone. Plane polarized light (PPL). (c) Cordierite- and fibrolite-bearing gneiss (TS140) in the K-feldspar-cordierite zone. PPL. (d) Cordierite- and K-feldspar-bearing granulites (TS136) in the K-feldspar-cordierite zone. PPL. (e) Sillimanite-bearing gneiss in the K-feldspar-cordierite zone (TS007). PPL. (f) Garnet-bearing gneiss (TS125) in the K-feldspar-cordierite zone. PPL. And: andalusite, Bt: biotite, Crd: cordierite, Fib: fibrolite, Grt: garnet, Kfs: K-feldspar, Ms: muscovite, Pl: plagioclase, Pn: pinite, Qz: quartz, Sil: sillimanite.





第7図 作手及び隣接地域の領家深成岩類のモード組成。(a) 花崗岩類。(b) 斑れい岩類。「御油」図幅地域及び「足助」図幅地域のモードデータはそれぞれ西岡 (2008) 及び山崎 (2012) による。Qtz: 石英, PI: 斜長石, Kfs: カリ長石, Px: 輝石, Hbl: 普通角閃石, QD: 石英閃緑岩, TO: トーナル岩, GD: 花崗閃緑岩, MG: モンゾ花崗岩, SG: 閃長花崗岩, GB: 斑れい岩。Qtz-Kfs-PI図及びPI-Px-Hbl図の岩石区分はIUGS (Le Maitre, 2002) に従った。

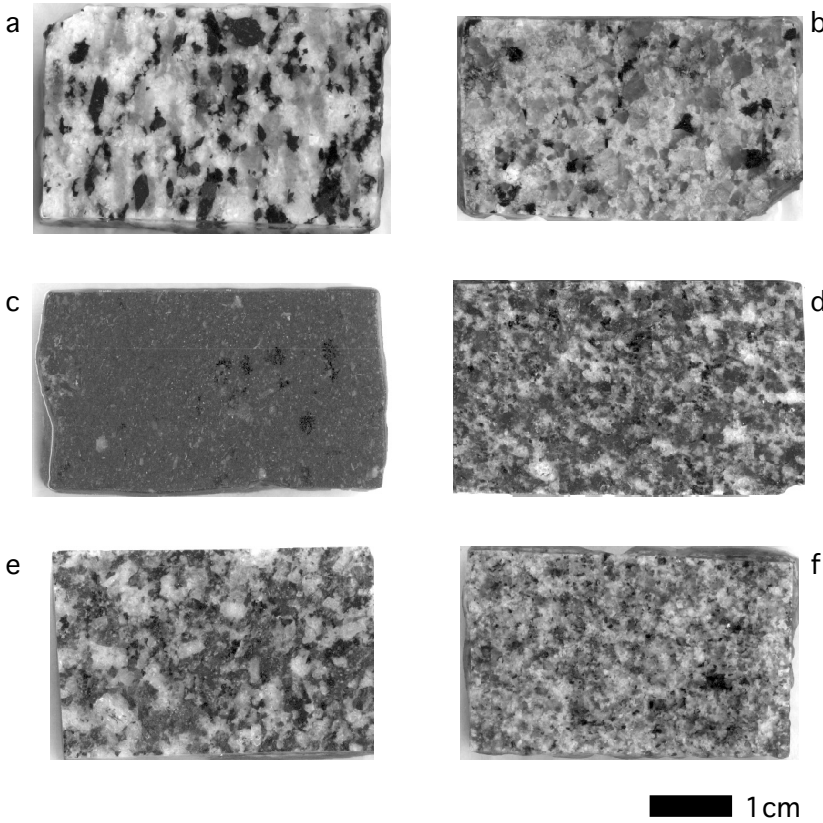
Fig. 7 Modal composition of the Ryoke plutonic rocks in the Tsukude and neighboring areas. (a) Granitic rocks. (b) Gabbroic rocks. Modal data of the Goyu and Asuke districts are from Nishioka (2008) and Yamasaki (2012), respectively. Qtz: quartz, PI: plagioclase, Kfs: K-feldspar, Px: pyroxene, Hbl: hornblende, QD: quartz diorite, TO: tonalite, GD: granodiorite, MG: monzogranite, SG: syenogranite, GB: gabbro. Rock classification of the diagrams is after IUGS (Le Maitre, 2002).

ルスで、鉱物組み合わせは変化に乏しい。本地域における変成珪質岩の分布の大部分はカリ長石堇青石帯に含まれる。そのため、接触変成作用時の静的再結晶による石英の粒径変化が顕著である。

### 3.4.4 変成苦鉄質岩 (Rm)

本地域において変成苦鉄質岩は稀であるが、新城市

つくでしおせ  
作手塩瀬南東において暗緑色の苦鉄質片麻岩が変成珪質岩と変成泥岩に整合的に挟まれて産する。単斜輝石(デオプサイド)、斜長石(An[100×Ca/(Ca + Na) in atomic ratio]<sub>94-95</sub>)、角閃石(ホルンブレンド~アクチノ閃石)を主体とし、少量のチタナイト、方解石、石英、アパタイトを含む。Caに富む構成鉱物から交代作用を受けている可能性が高く、渥美(1984)の記述にある石灰質片麻岩との



第8図 領家深成岩類のスラブ写真。(a) 新城トータル岩 (主岩相)。(b) 三都橋花崗閃緑岩。(c) 三都橋花崗閃緑岩中の細粒苦鉄質岩。(d) 作手苦鉄質岩類 (苦鉄質鉱物が多く片麻状構造が顕著な部分)。(e) 作手苦鉄質岩類 (苦鉄質鉱物が少なく片麻状構造が弱い部分)。(f) 武節花崗岩。

Fig. 8 Slab photographs of the Ryoke plutonic rocks. (a) Shinshiro Tonalite (Main facies). (b) Mitsuhashi Granodiorite. (c) Fine-grained mafic rock in the Mitsuhashi Granodiorite. (d) Tsukude mafic rocks (mafic mineral-rich and strongly foliated portion). (e) Tsukude mafic rocks (mafic mineral-poor and weakly foliated portion). (f) Busetsu Granite.

関係が伺われる。

#### 4. 領家深成岩類

本地域に分布する領家深成岩類は、分布面積の広い順に、新城トータル岩、作手苦鉄質岩類、三都橋花崗閃緑岩とそれに密接に伴って産する苦鉄質岩類、そして武節花崗岩である(第2図)。これらの領家深成岩類のモード組成を第7図に示す。また、第7図には、比較のために周辺地域に分布する同岩相のモード組成の文献値も示している。深成岩類の名称の定義はInternational Union of Geological Sciences (IUGS) Subcommission of the System of Igneous Rocksの、Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms (Le Maitre, 2002)に従う。なお、本稿において「片麻状 (gneissose)」という語は、単に面構造を有することを意味する。

##### 4.1 新城トータル岩 (St)

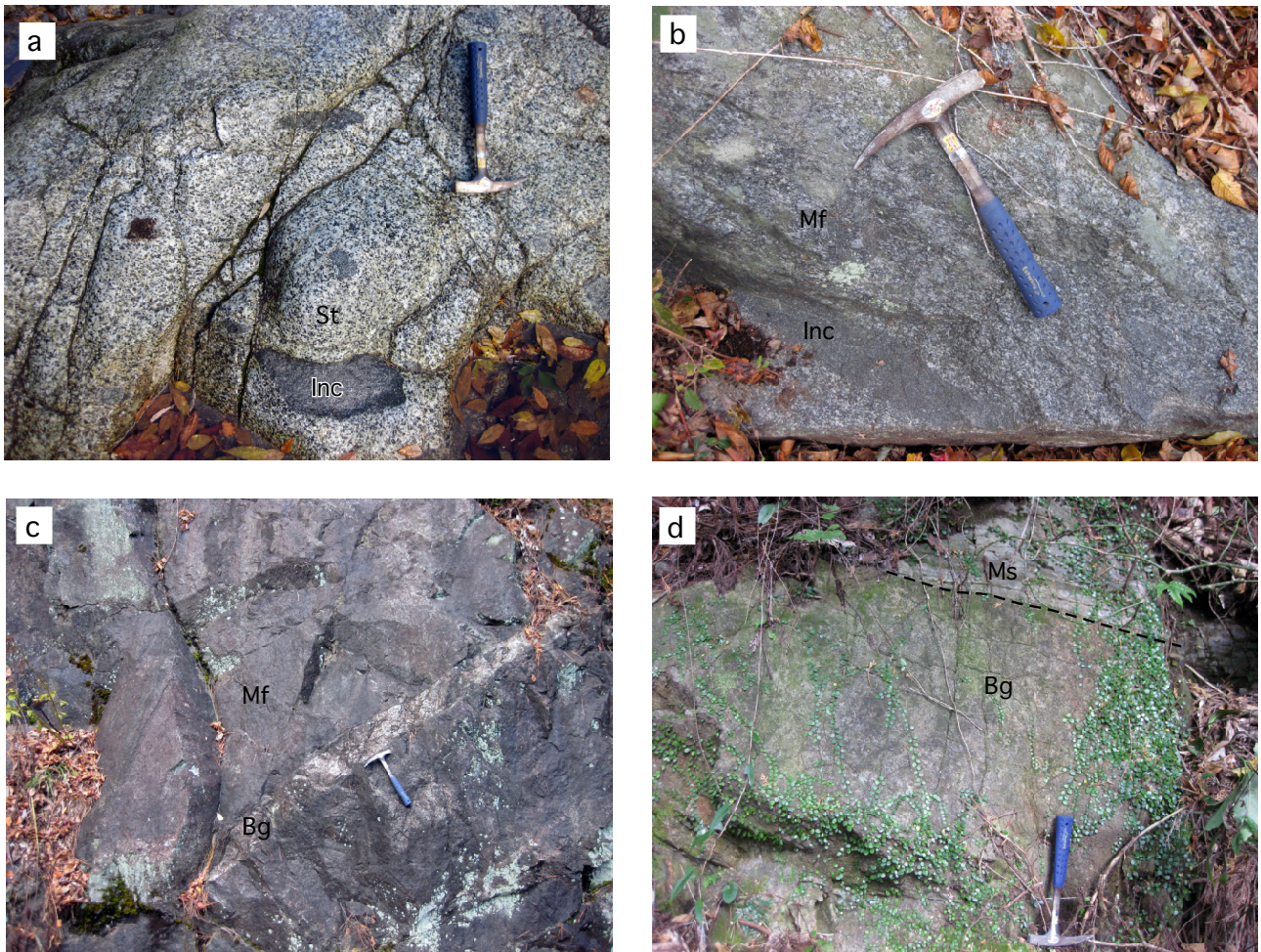
新城トータル岩は、<sup>つくであらわ</sup>新城市作手荒原から<sup>とみやす</sup>富保を結ぶ地域以南に広く分布する。南縁は第四系及び新第三系礫岩類に覆われて分布が不明瞭であるが、池田ほか(1974)によると、豊川の北西で中央構造線を境に圧砕された新城トータル岩が三波川変成コンプレックスに接するとされている。新城トータル岩の南東縁及び東縁は、新第三系の北設亜層群 (Kato, 1962)に覆われる。新城市横川東方

の作手苦鉄質岩類との直接の貫入関係は不明である。

本地域に分布する新城トータル岩は、片麻状構造をもつ中粒角閃石黒雲母トータル岩を主体とする(第8図a)。この岩相は大友(1985)による中心岩相、西岡(2008)による主岩相に相当する(第7図a)。長径数cmから数10cmの楕円形ないしレンズ状の暗色包有物をしばしば含む(第9図a)。片麻状構造は野外において非常に明瞭な場合と、塊状に近く不明瞭な場合とがある。領家変成岩類と接する岩体北縁では中粒ないし細粒の黒雲母トータル岩が産し、これらの岩相は大友(1985)による周縁岩相、西岡(2008)による黒雲母トータル岩相に相当する。新城市出沢北西の新城トータル岩と領家変成岩類との境界付近では、境界から数メートル程度、細粒の黒雲母トータル岩が分布し、中粒の角閃石黒雲母トータル岩へ漸移する。黒雲母トータル岩にはほとんど片麻状構造は認められない。

新城トータル岩を主として構成する中粒片麻状角閃石黒雲母トータル岩は、完晶質粒状で、構成鉱物の粒径は5.0 mmから0.5 mm程度に連続的に変化する(第10図a)。主成分鉱物は斜長石、石英、黒雲母、普通角閃石で、ごく少量のカリ長石、イルメナイト、アバタイト、ジルコンを含む。斜長石は半自形-自形、柱状(長径3.0-1.0 mm)で顕著な累帯構造を示す。石英は他形、粒間充填状で、弱い波動消光を示す。黒雲母は半自形-他形(長径5.0-0.5 mm以下)で、 $Y \cong Z$  = 赤褐色、 $X$  = 淡褐色の





第9図 領家深成岩類の野外における産状。(a) 新城トータル岩中の暗色包有物。新城市出沢すざわ銭亀の豊川河岸(鮎滝)。St:新城トータル岩, Inc:暗色包有物。(b) 作手苦鉄質岩類中の暗色包有物。新城市くろせ老勢井戸下の林道沿い。Mf:作手苦鉄質岩類, Inc:暗色包有物。(c) 作手苦鉄質岩類に貫入する武節花崗岩の岩脈。新城市くろせ老勢井戸下の林道沿い。Mf:作手苦鉄質岩類, Bg:武節花崗岩岩脈。(d) 変成珪質岩に貫入する武節花崗岩。新城市出沢橋詰すざわはしづめの道路脇。Bg:武節花崗岩, Ms:変成珪質岩, 破線:両岩相の境界。

Fig. 9 Field occurrence of the Ryoke plutonic rocks. (a) Dark inclusion in the Shinshiro Tonalite. St: Shinshiro Tonalite, Inc: dark inclusion. (b) Dark inclusion in gneissose Tsukude mafic rocks. Mf: Tsukude mafic rocks, Inc: dark inclusion. (c) Busetsu Granite dike intruding the Tsukude mafic rocks. Mf: Tsukude mafic rocks, Bg: Busetsu Granite dike. (d) Busetsu Granite intruding the Ryoke Metamorphic Complex. Bg: Busetsu Granite, Ms: Metasiliceous rock of the Ryoke Metamorphic Complex, dashed line: boundary between the Busetsu Granite and metasiliceous rock of the Ryoke Metamorphic Complex.

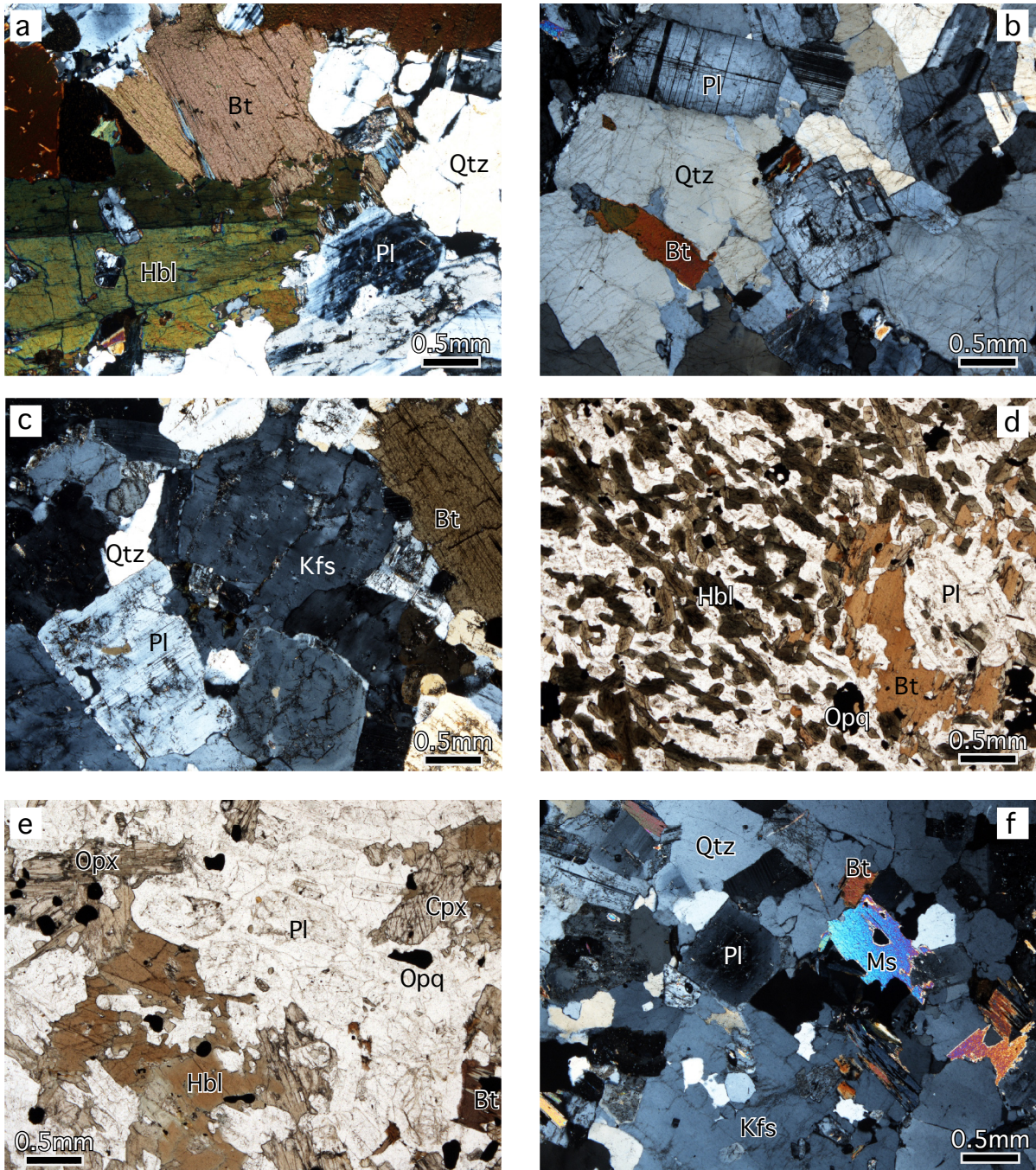
多色性を示す。角閃石は半自形、長柱状(長径5.0-1.0 mm)でY=Z=褐色-帯緑褐色、X=淡褐色の多色性を示す。しばしば、褐色のコアと帯緑褐色のリムから構成される累帯構造を示すほか、単純双晶が認められる場合もある(第10図a)。角閃石は粒状のイルメナイトをしばしば包有する。領家変成コンプレックスとの境界付近に産する中-細粒黒雲母トータル岩(第10図b)は、角閃石をほとんど含まず、後に述べる三都橋花崗閃緑岩や武節花崗岩と野外において類似するが、斜長石の自形性が強い点、カリ長石をほとんど含まない点、そして白雲母を欠く点において区別される。

#### 4.2 三都橋花崗閃緑岩 (Mg)

三都橋花崗閃緑岩は、新城市一色北西から新城市副川西方を結ぶ地域以北に産し、本地域に北接する「田口」地域へと連続する。5万分の1地質図幅「足助」地域内の新城市作手守義つくでもりよしを中心とする地域に分布する岩体の南東縁である。領家変成岩類に貫入している(第5図e)。

本地域に分布する三都橋花崗閃緑岩は、弱い片麻状構造を示す中粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩(第8図b)及び黒雲母花崗岩である。本地域に分布する中粒片麻状角閃石黒雲母花崗閃緑岩は、「足助」地域の三都橋花崗閃緑岩相に比べてややカリ長石が多い(第7図a)。「足助」地域において三都橋花崗閃緑岩はざくろ石含有粗粒優白質トー





第10図 領家深成岩類の鏡下写真。(a) 新城トータル岩主岩相(角閃石-黒雲母トータル岩)。クロスニコル。(b) 新城トータル岩周縁相(黒雲母トータル岩)。クロスニコル。(c) 三都橋花崗閃緑岩(角閃石含有黒雲母花崗閃緑岩)。クロスニコル。(d) 三都橋花崗閃緑岩中の細粒苦鉄質岩(黒雲母石英含有角閃石細粒斑れい岩)。オープンニコル。(e) 作手苦鉄質岩類(石英黒雲母含有輝石角閃石斑れい岩)。オープンニコル。(f) 武節花崗岩(黒雲母白雲母花崗岩)。クロスニコル。Pl:斜長石, Kfs:カリ長石, Qtz:石英, Opx:斜方輝石, Cpx:単斜輝石, Hbl:普通角閃石, Bt:黒雲母, Ms:白雲母, Opq:不透明鉱物。

Fig. 10 Photomicrographs of the Ryoke plutonic rocks. (a) Shinshiro Tonalite, main facies (Hbl-Bt tonalite). Crossed polarized light (XPL). (b) Shinshiro Tonalite, marginal facies (Bt tonalite). XPL. (c) Mitsuhashi Granodiorite (Hbl-bearing Bt granodiorite). XPL. (d) Fine-grained gabbro in Mitsuhashi Granodiorite (Fine-grained Bt-Qtz-bearing Hbl gabbro). Plane polarized light (PPL). (e) Tsukude mafic rocks (Qz-Bt-bearing pyroxene-Hbl gabbro). PPL. (f) Busetsu Granite (Bt-Ms granite). XPL. Pl: plagioclase, Kfs: K-feldspar, Qtz: quartz, Opx: orthopyroxene, Cpx: clinopyroxene, Hbl: hornblende, Bt: biotite, Ms: muscovite, Opq: opaque minerals.

第1表 作手苦鉄質岩類の斜方輝石及び斜長石の化学組成.

Table 1 Representative compositions of orthopyroxene and plagioclase in the Tsukude mafic rocks.

sample	TS005	TS005	TS007B	TS007B	TS017	TS017	TS005	TS007B	TS017	TS005	TS007B	TS017
mineral	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl
core/rim	core	core	core	core	core	core	core	core	core	rim	rim	rim
SiO <sub>2</sub>	52.63	52.49	53.62	53.63	52.43	51.76	46.58	45.69	46.66	55.13	53.21	54.26
TiO <sub>2</sub>	0.15	0.15	0.20	0.20	0.23	0.40	0.00	0.00	1.47	0.01	0.01	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.90	1.25	1.31	1.50	1.11	2.13	34.36	33.95	8.07	27.94	29.20	28.45
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.06	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00
NiO	0.04	0.04	0.04	0.05	0.00	0.06	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.04
FeO*	29.19	28.68	27.69	27.07	28.29	27.20	0.57	0.05	20.71	0.20	0.04	0.09
MnO	1.04	1.12	0.70	0.64	0.75	0.77	0.00	0.01	0.38	0.03	0.02	0.00
MgO	14.57	14.34	15.50	15.63	14.30	13.73	0.03	0.02	10.07	0.00	0.00	0.00
CaO	0.93	1.16	1.50	2.06	1.24	2.17	17.84	17.53	10.53	10.35	11.33	10.93
Na <sub>2</sub> O	0.10	0.16	0.13	0.15	0.14	0.17	1.59	1.56	0.95	5.68	4.98	5.29
K <sub>2</sub> O	0.00	0.01	0.03	0.04	0.01	0.05	0.01	0.01	0.42	0.09	0.07	0.05
Total	99.55	99.43	100.73	100.98	98.51	98.50	100.98	98.85	99.29	99.43	98.86	99.12
O=	6	6	6	6	6	6	8	8	8	8	8	8
Si	2.03	2.03	2.03	2.02	2.04	2.01	2.13	2.13	2.41	2.50	2.43	2.47
Ti	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00
Al	0.04	0.06	0.06	0.07	0.05	0.10	1.85	1.86	0.49	1.49	1.57	1.53
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.94	0.93	0.88	0.85	0.92	0.88	0.02	0.00	0.89	0.01	0.00	0.00
Mn	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
Mg	0.84	0.83	0.87	0.88	0.83	0.80	0.00	0.00	0.78	0.00	0.00	0.00
Ca	0.04	0.05	0.06	0.08	0.05	0.09	0.87	0.87	0.58	0.50	0.55	0.53
Na	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.14	0.14	0.09	0.50	0.44	0.47
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00
Total	3.94	3.94	3.94	3.95	3.93	3.93	5.02	5.01	5.35	5.01	5.01	5.00
Mg#	47	47	50	51	47	47	-	-	-	-	-	-
An	-	-	-	-	-	-	86	86	86	50	56	53

\*total Fe as FeO.

ナル岩や中-細粒角閃石石英閃緑岩など岩相変化に富み(山崎, 2012), モード組成も多様である(第7図a)。したがって、本地域に分布する三都橋花崗閃緑岩の岩相及びモード組成変化もそのような多様性の一部であると考えられる。

三都橋花崗閃緑岩の代表的な岩相である中粒片麻状角閃石黒雲母花崗閃緑岩は、完晶質で鉱物の粒径が3.0 mmから0.5 mm程度に連続的に変化する(第10図c)。主成分鉱物は斜長石、石英、黒雲母、カリ長石及び普通角閃石で、少量の不透明鉱物、アパタイト、ジルコンを伴う。斜長石は半自形、長柱状(長径2.0-1.0mm)で、弱い累帯構造を示す。結晶内部に不定形の石英を含み、モザイク状の消光を示すことがある。石英は他形、粒間充填状で、弱い波動消光を示す。黒雲母は半自形(長径3.0-0.5 mm)で、

Y ≐ Z = 黒褐色, X = 淡褐色の多色性を示す。黒雲母はしばしば粒状のアパタイト・ジルコンを包有する。カリ長石は他形・粒間充填状ないし半自形短柱状(長径3.0-1.0 mm)で、パーサイト構造や単純双晶を示すことがある。角閃石は半自形で、著しく変質している。

三都橋花崗閃緑岩の分布域には細-中粒の苦鉄質岩類が貫入している、あるいは包有されていることがある。この苦鉄質岩類と三都橋花崗閃緑岩との成因的關係は明らかではないが、本地域においては分布範囲が小さく地質図には表現できないスケールであり、かつ三都橋花崗閃緑岩の分布域中にのみ産することから、「三都橋花崗閃緑岩に密接に伴い産する苦鉄質岩類」として便宜的にここで扱う。

三都橋花崗閃緑岩に密接に伴われる苦鉄質岩類は、中



粒-細粒の石英黒雲母含有角閃石斑れい岩である(第7図b, 第8図c)。細粒の角閃石斑れい岩は、「足助」図幅地域において三都橋花崗閃緑岩と液状態でミキシングした産状が報告されている(山崎, 2012), いわゆるMME (Mafic Magmatic/Microgranular Enclaves: Didier and Barbalin, 1991) に酷似する。本地域においては露頭の状況が悪く三都橋花崗閃緑岩との直接の関係は確認できなかったが、「足助」図幅地域と同様に相互に貫入あるいは包有しあう関係であるものと思われる。三都橋花崗閃緑岩に密接に伴って産する「足助」地域の苦鉄質岩類には粗-中粒のキュムレイト組織を示す斑れい岩も産するが、少なくともこの細粒苦鉄質岩についてはモード組成において、輝石を欠く点で後に述べる作手苦鉄質岩類と明瞭に区別される(第7図b)。

細粒の石英黒雲母含有角閃石斑れい岩は、完晶質で角閃石と斜長石の定向配列が顕著である(第10図d)。主として普通角閃石と斜長石から構成され、少量のイルメナイト、石英、黒雲母を含む。角閃石は半自形-他形・長柱状で、長径1.0 mmから0.5 mm程度のもが多いが、長径が2.0 mmに達する著しく伸長した結晶も産する。Y = Z = 帯緑褐色、X = 淡緑褐色の多色性を示し、コアの部分は多数の微細な不透明鉱物の粒状結晶の存在によって汚濁している。斜長石は半自形・長柱状で、長径0.5 mmから0.1 mm程度のもが多いが、長径2.0 mm程度の微斑晶状の結晶も多数認められる。結晶の大きさにかかわらず、一般に顕著な累帯構造を示す。黒雲母は他形・粒間充填状でY = Z = 赤褐色、X = 淡褐色の多色性を示す。石英も他形・粒間充填状で、プール状に散点的に産する。

#### 4.3 作手苦鉄質岩類 (Mf)

作手苦鉄質岩類は、作手塩瀬南東に小規模に分布するものと、新城市横川及び椎平付近の2つの小岩体から主として構成される。いずれも中-細粒片麻状石英黒雲母含有輝石角閃石斑れい岩から構成される(第7図b)。見かけ上は石英閃緑岩質のものが多いが、後に述べるように斜長石のコアはAnが81-78程度を示すため(第1表)、領家深成岩類のトータル岩や花崗閃緑岩と明示的に区別し、本論では苦鉄質岩類として扱う。この作手苦鉄質岩類の位置づけについては後に議論する。一般に顕著な片麻状構造を示すが、片麻状構造の強弱はところによって異なる(第8図d, e)。片麻状構造と調和的な方向に伸長したレンズ状の暗色包有岩を含むことがある(第9図b)。新城トータル岩との直接の関係は明らかではないが、武節花崗岩には貫入されている(第9図c)。

作手苦鉄質岩類を構成する片麻状中-細粒石英黒雲母含有輝石角閃石斑れい岩は、完晶質で構成鉱物の粒径が3.5 mmから0.2 mm程度まで連続的に変化する組織を示す(第10図e)。主として斜長石、普通角閃石、黒雲母、斜方輝石、単斜輝石、石英及びイルメナイトから構成さ

れる。斜長石は自形-半自形、長柱状(長径3.5-0.2 mm)で、一般に顕著な累帯構造を示す。マントル部にリング状の汚濁帯を含むことがある。普通角閃石は半自形-他形で、長柱状(2.0-0.1 mm)で、単独で半自形結晶として産するほか、他形で黒雲母や輝石とモザイク状に入り組んで産する場合、輝石と斜長石の粒間を埋める場合がある。Y = Z = 褐色、X = 淡褐色の多色性を示す。黒雲母は半自形-他形(長径3.0-0.1 mm)・粒間充填状でY = Z = 黒褐色、X = 淡褐色の多色性を示す。斜方輝石は半自形-他形、長柱状(1.5-0.2 mm)で、Y = Z = 淡緑褐色、X = 淡褐色の弱い多色性を示す。単斜輝石は半自形-他形、単柱状-粒状で、一部普通角閃石化している場合がある(第10図e)。石英は他形・粒間充填状で、弱い波動消光を示す。

#### 4.4 武節花崗岩 (Bg)

武節花崗岩は、新城市椎平西方及び滝川<sup>たきがわ</sup>付近に小規模なレンズ状岩体として産するほか、地質図に表現できないスケールの岩脈として各所に産する。領家変成岩類及び作手苦鉄質岩類に貫入している(第9図c, d)。本地域に産する武節花崗岩は、細粒の白雲母黒雲母閃長花崗岩から構成される(第7図a)。モンゾ花崗岩を主体とする「御油」及び「足助」図幅地域に分布する武節花崗岩に比べ、本地域の武節花崗岩はややカリ長石に富む傾向が認められる。

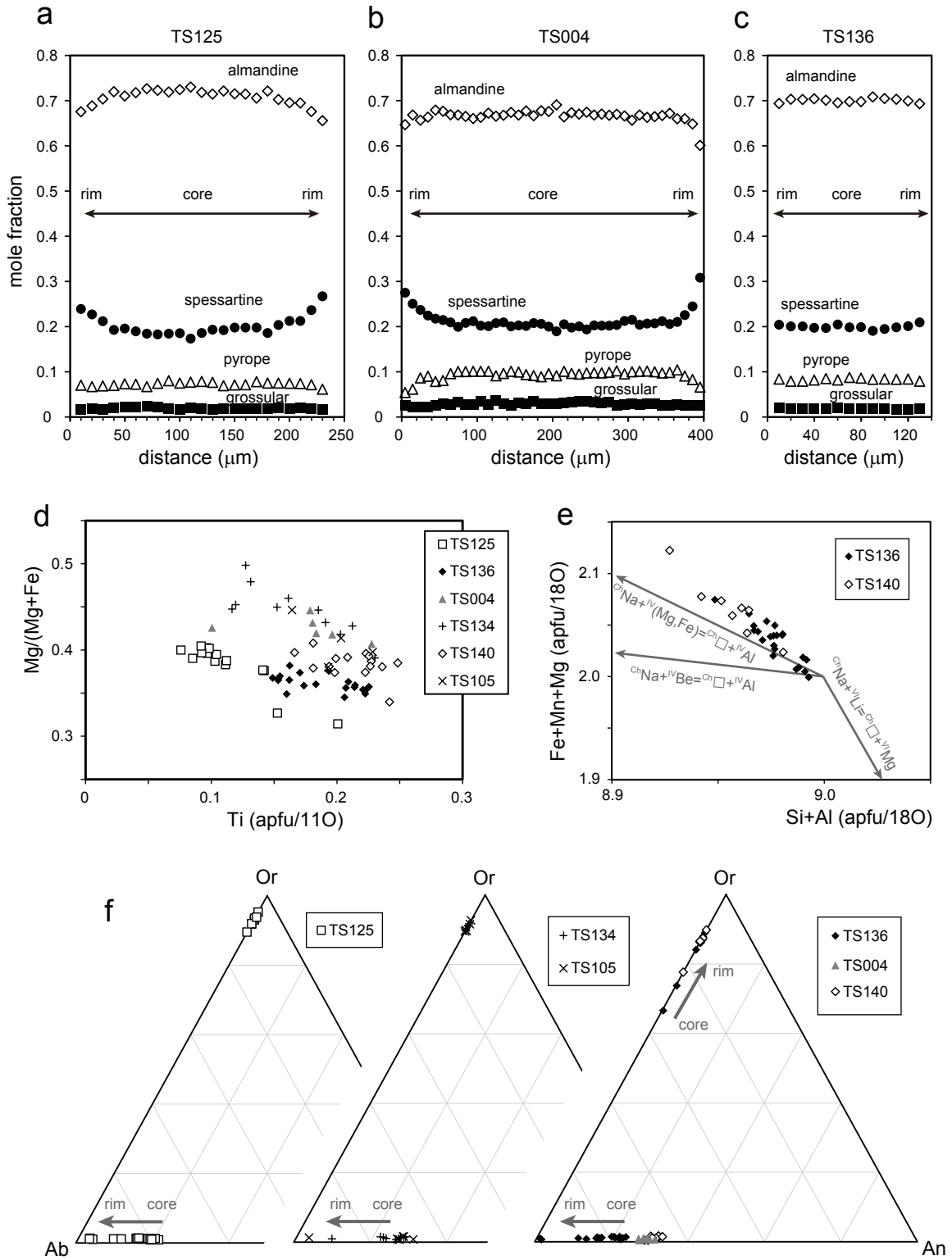
武節花崗岩は、完晶質で半自形粒状組織を示す(第10図f)。主としてカリ長石、石英、斜長石、白雲母及び黒雲母から構成され、少量のジルコン、アパタイト及び不透明鉱物を含む。カリ長石は他形・粒間充填状で、しばしばパーサイト構造を示す。石英は他形・粒間充填状-粒状で、弱い波動消光を示す。斜長石は半自形-自形、長柱状(長径1.5-0.5 mm)で、顕著な累帯構造を示す(第10図f)。白雲母は半自形、長径2.0-0.1 mm程度である。黒雲母は半自形-他形、長径1.5-0.5 mmで、Y = Z = 赤褐色、X = 淡褐色の多色性を示す。細粒・自形のアパタイトやジルコンをしばしば包有する。

### 5. 領家変成岩類の変成作用

#### 5.1 地質温度圧力計による温度-圧力見積り

本地域の黒雲母帯からはざくろ石を含む変成泥岩が得られなかったが、西隣の「御油」地域において、ざくろ石-黒雲母地質温度計(Hodges and Spear, 1982)及びざくろ石-黒雲母-斜長石-石英地質圧力計(Hoisch, 1990)を用いて見積もられた黒雲母帯の変成条件は506-593°C, 290-340 MPaである(Miyazaki, 2010)。

本地域のカリ長石堇青石帯のざくろ石を含む変成泥岩(TS125, TS004, TS136)に地質温度圧力計を適用し、変成作用の温度-圧力見積りを行った。これら試料は新城トータル岩及び三都橋花崗閃緑岩近傍の露頭から採集し



第11図 変成泥岩の鉱物化学組成. (a-c) ざくろ石の組成累帯構造. (d) 黒雲母の組成. (e) 堇青石の組成. (f) カリ長石及び斜長石の組成.

Fig. 11 Mineral chemistry of the Ryoke metapelitic rocks. (a-c) Zoning profiles of garnet. (d) Compositions of biotite. (e) Compositions of cordierite. (f) Compositions of K-feldspar and plagioclase plotted on the orthoclase (Or)-albite (Ab)-anorthite (An) ternary diagram.



第2表 変成泥岩のざくろ石, 黒雲母, 斜長石, 堇青石の化学組成.

Table 2 Compositions of garnet, biotite, plagioclase and cordierite in the Ryoke metapelitic rocks.

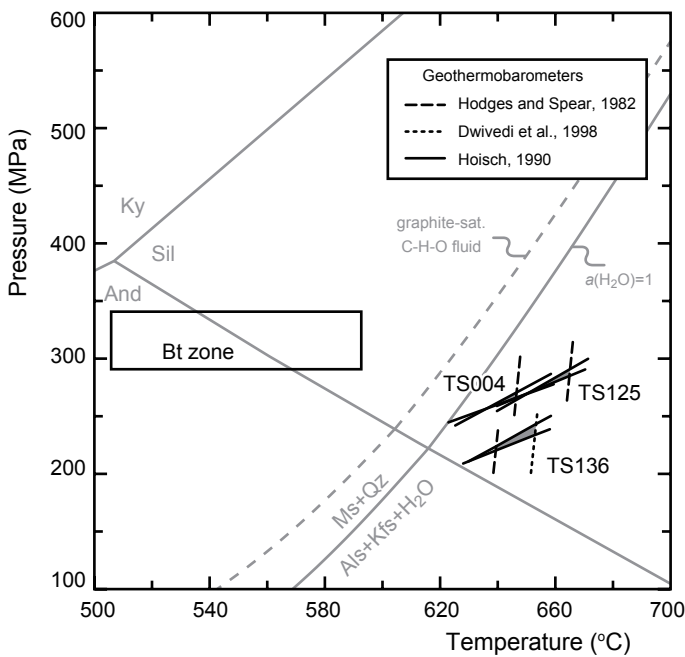
sample	TS125	TS125	TS136	TS004	TS004	TS125	TS136	TS004	TS125	TS136	TS004	TS136
mineral	Gr(c)	Gr(r)	Gr(c)	Gr(c)	Gr(r)	Bt	Bt	Bt	Pl	Pl	Pl	Crd
SiO <sub>2</sub>	36.39	36.02	36.51	36.60	36.46	33.70	34.21	33.81	62.49	62.21	60.85	47.22
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.05	0.02	0.04	0.00	3.38	3.92	3.93	0.01	0.00	0.02	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.66	20.62	20.95	20.70	20.94	19.02	20.00	18.05	23.42	23.68	24.85	32.57
FeO*	32.71	29.34	32.08	30.92	27.45	21.11	20.68	21.20	0.02	0.03	0.01	10.89
MnO	8.50	11.79	9.02	9.30	13.90	0.60	0.37	0.76	0.03	0.00	0.00	0.93
MgO	1.89	1.53	2.12	2.53	1.69	5.43	6.45	8.16	0.00	0.00	0.01	6.33
CaO	0.68	0.59	0.65	1.08	0.91	0.00	0.03	0.00	4.22	4.44	5.96	0.01
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.00	0.02	0.02	0.01	0.08	0.12	0.10	9.05	8.79	7.67	0.22
K <sub>2</sub> O	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	10.97	10.69	10.69	0.17	0.15	0.10	0.01
Total	100.87	99.95	101.38	101.19	101.36	94.30	96.47	96.69	99.41	99.31	99.46	98.19
O=	12	12	12	12	12	11	11	11	8	8	8	18
Si	2.96	2.96	2.95	2.96	2.95	2.66	2.62	2.60	2.78	2.77	2.71	4.95
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.23	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.98	2.00	2.00	1.97	2.00	1.77	1.80	1.64	1.23	1.24	1.30	4.03
Fe	2.23	2.02	2.17	2.09	1.86	1.39	1.32	1.36	0.00	0.00	0.00	0.96
Mn	0.59	0.82	0.62	0.64	0.95	0.04	0.02	0.05	0.00	0.00	0.00	0.08
Mg	0.23	0.19	0.26	0.30	0.20	0.64	0.73	0.94	0.00	0.00	0.00	0.99
Ca	0.06	0.05	0.06	0.09	0.08	0.00	0.00	0.00	0.20	0.21	0.28	0.00
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.78	0.76	0.66	0.05
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	1.04	1.05	0.01	0.01	0.01	0.00
Total	8.05	8.04	8.05	8.06	8.05	7.82	7.79	7.88	5.00	4.99	4.97	11.06
Alm	72	66	70	67	60	-	-	-	-	-	-	-
Sps	19	27	20	20	31	-	-	-	-	-	-	-
Prp	7.4	6.1	8.3	9.7	6.6	-	-	-	-	-	-	-
Grs	1.9	1.7	1.8	3.0	2.5	-	-	-	-	-	-	-
Mg#	9	9	11	13	10	31	36	41	-	-	-	51
An	-	-	-	-	-	-	-	-	20	22	30	-

\*total Fe as FeO. c: core, r: rim.

たものである(第4図a)。後述するように、これら試料は接触変成作用の最高温度時にほぼ完全に再結晶したのち、様々な程度に後退変成作用を被っている。そのため、広域変成作用時の情報は読み取れないが、接触変成作用時の条件を見積もることができる。また、見積もられる圧力条件は接触変成作用を与えた新期領家花崗岩類の定置深度に換算できる。温度-圧力見積りに用いた鉱物のEPMA分析値を第2表に示す。

TS125は新城市只持小松に小規模に分布する三都橋花崗閃緑岩接触部の露頭から採集した泥質片麻岩である。ざくろ石は直径0.3 mm前後の自形結晶で、ダスト状包有物(主に石英と流体)を含むコアと包有物に乏しいリムが認識できる(第6図f)。ざくろ石の結晶はコアが組成的にほぼ均質であるが、リムでMnが増加する逆累帯構造を示す(第11図a)。このような特徴は最高温度時に拡

散により成長累帯構造が均質化したあと、降温期に周囲の鉱物(主に黒雲母)と元素交換反応が継続したことを意味する。したがってざくろ石を用いて昇温期の温度圧力条件を見積もることはできない。また、堇青石の分解物と考えられる白雲母-緑泥石集合体を含む。こうした降温期の再平衡により、基質の黒雲母はMg/(Mg + Fe)が上昇、Tiが減少するような組成変化を示し(第11図d)、最もTiO<sub>2</sub>に富む組成が最高温度時を代表すると考えられる(Ikeda, 1991, 1998)。また、斜長石はリムに向かって単調にAn成分が減少する累帯構造をもち、コアの組成はAn<sub>18-21</sub>である(第11図f)。均質なざくろ石のコア、TiO<sub>2</sub>に富む黒雲母、斜長石のコアの組成を組み合わせ、ざくろ石-黒雲母地質温度計(Hodges and Spear, 1982)及びざくろ石-黒雲母-斜長石-石英地質圧力計(Hoisch, 1990)を適用すると、温度-圧力条件は650-665°C, 270-290



第12図 領家変成岩類の温度-圧力見積り. ざくろ石-黒雲母地質温度計 (Hodges and Spear, 1982), ざくろ石-堇青石地質温度計 (Dwivedi *et al.*, 1998), ざくろ石-黒雲母-斜長石-石英地質圧力計 (Hoisch, 1990) の適用結果を示す. 黒雲母帯の温度-圧力条件はMiyazaki (2010) による.  $Al_2SiO_5$  相図及び白雲母+石英分解反応曲線はHolland and Powell (1998) の熱力学データセット (2002改訂) により計算した.

Fig. 12 Pressure-temperature estimates of the Ryoke metamorphic rocks from the Tsukude area using garnet-biotite geothermometer (Hodges and Spear, 1982), garnet-cordierite geothermometer (Dwivedi *et al.*, 1998) and garnet-biotite-plagioclase-quartz geobarometers (Hoisch, 1990).

MPaと見積られる (第12図).

TS004は新城トータル岩近傍の泥質片麻岩で、単純な鉱物組み合わせ (ざくろ石+黒雲母+斜長石+石英) をもつ。ざくろ石は直径0.4 mm前後の自形結晶をなし、コアが組成的に均質で、リムでMnが増加、Mgが減少する逆累帯構造を示す (第11図b)。また、斜長石の組成はAn27-31である (第11図f)。TS125と同様に地質温度圧力計を適用すると、650-665°C、270-290 MPaという条件が得られる (第12図)。

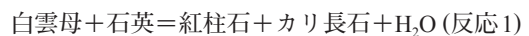
TS136は新城トータル岩小岩体近傍に産する泥質グラノフェルスで、例外的に後退変成作用の影響が小さいため温度-圧力見積りに適している。半自形ないし他形のざくろ石は黒雲母と接する部分を除いて組成的に均質である (第11図c)。堇青石は変質しておらず (第6図e)、その組成は $Mg/(Mg + Fe) = 0.505 \pm 0.016$ で、Bertoldi *et al.* (2004) の示した元素置換を考慮するとLiやBeを含まない一般的な堇青石と考えられる (第11図e)。また分析値のトータルが97-99 wt%とやや不足し、揮発性成分分子をチャンネル内に含むことを暗示する。粒間に存在する斜長石はリムに向かってAn成分が減少 (An17からAn1) する累帯構造を示す (第11図f)。圧力見積りにはカリ長石や堇青石に包有される組成的に均質な斜長石 (An20-24) を用いた。ざくろ石-黒雲母-斜長石-石英地質圧力計にざくろ石-黒雲母地質温度計を組み合わせると630-640°C、210-225 MPa、Berman (1990) のざくろ石の活動度モデルを組み込んだざくろ石-堇青石温度計 (Dwivedi *et al.*, 1998) を組み合わせると630-650°C、210-245 MPaと見積られる (第12図)。

以上の温度-圧力見積りはいずれも珪線石安定領域に

あり (第12図)、TS125及びTS136を含むカリ長石堇青石帯の変成泥岩中に珪線石が産すること (第4図b) と調和的である。

## 5.2 変成泥岩のシュードセクション解析

比較的単純な変成泥岩の相関係はKFMASH系などの反応曲線網でも解析可能であるが、実際に起こる反応は全岩組成に依存する。黒雲母帯の変成泥岩の鉱物共生は、全岩組成 (モル基準) がAKF図 ( $A = Al_2O_3 - K_2O$ ,  $K = K_2O$ ,  $F = FeO + MgO$ ) の上で黒雲母-白雲母タイラインよりA頂点側にあるときは紅柱石が出現し、K頂点側にあるときはカリ長石が出現する。一方、より高温の接触変成帯では次の反応により白雲母が分解し、紅柱石+カリ長石共生が安定になる (第12図)。



三宅ほか (1992) は、「御油」地域の変成泥岩に含まれる紅柱石斑状変晶の微細組織を記載し、変形と紅柱石成長の時間的關係から広域変成作用と接触変成作用で形成された紅柱石が識別できることを示した。Adachi and Wallis (2008) は、三宅ほか (1992) が認識した紅柱石微細組織を、基質の片理を形成した変形 (D1変形) とその前の変形のあいだに成長したインターテクトニック (I) タイプ、D1終了後の接触変成時に静的に成長したポストテクトニック (P) タイプ、両者の複合 (C) タイプの三種に改めて分類・命名した。そして、全岩組成の違いにより広域変成作用時に成長を始めた紅柱石斑状変晶 (Iタイプ及びCタイプ)、及び接触変成時に反応1により生成した紅柱石斑状変晶 (Pタイプ) といった多様性が生じたことを示した。また、三宅ほか (1992) やAdachi and Wallis



第3表 変成泥岩及び標準岩石試料の全岩主要元素組成.

Table 3 Whole-rock major element compositions of metapelite and GSJ reference rock samples.

sample	TS125	TS134	JG-1a	JG-1a R.V.**
SiO <sub>2</sub>	67.31	61.91	72.09	72.30
TiO <sub>2</sub>	0.56	0.83	0.25	0.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.10	19.47	14.15	14.30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	5.66	5.09	2.00	2.00
MnO	0.26	0.07	0.06	0.06
MgO	1.52	1.95	0.72	0.69
CaO	0.69	1.11	2.18	2.13
Na <sub>2</sub> O	2.19	2.01	3.39	3.39
K <sub>2</sub> O	4.44	6.86	3.99	3.96
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10	0.15	0.08	0.08
Total	98.83	99.44	98.92	99.16
LOI	2.38	2.82	-	-

\*total Fe as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. \*\*Recommended values (Imai *et al.*, 1995).

(2008) は、紅柱石+カリ長石共生が安定な接触変成帯の外側の黒雲母帯に、IタイプのみならずCタイプの紅柱石も広く分布することから、新城トータル岩貫入にともなう熱的影響は非常に広範に及んでいたことを示唆した。

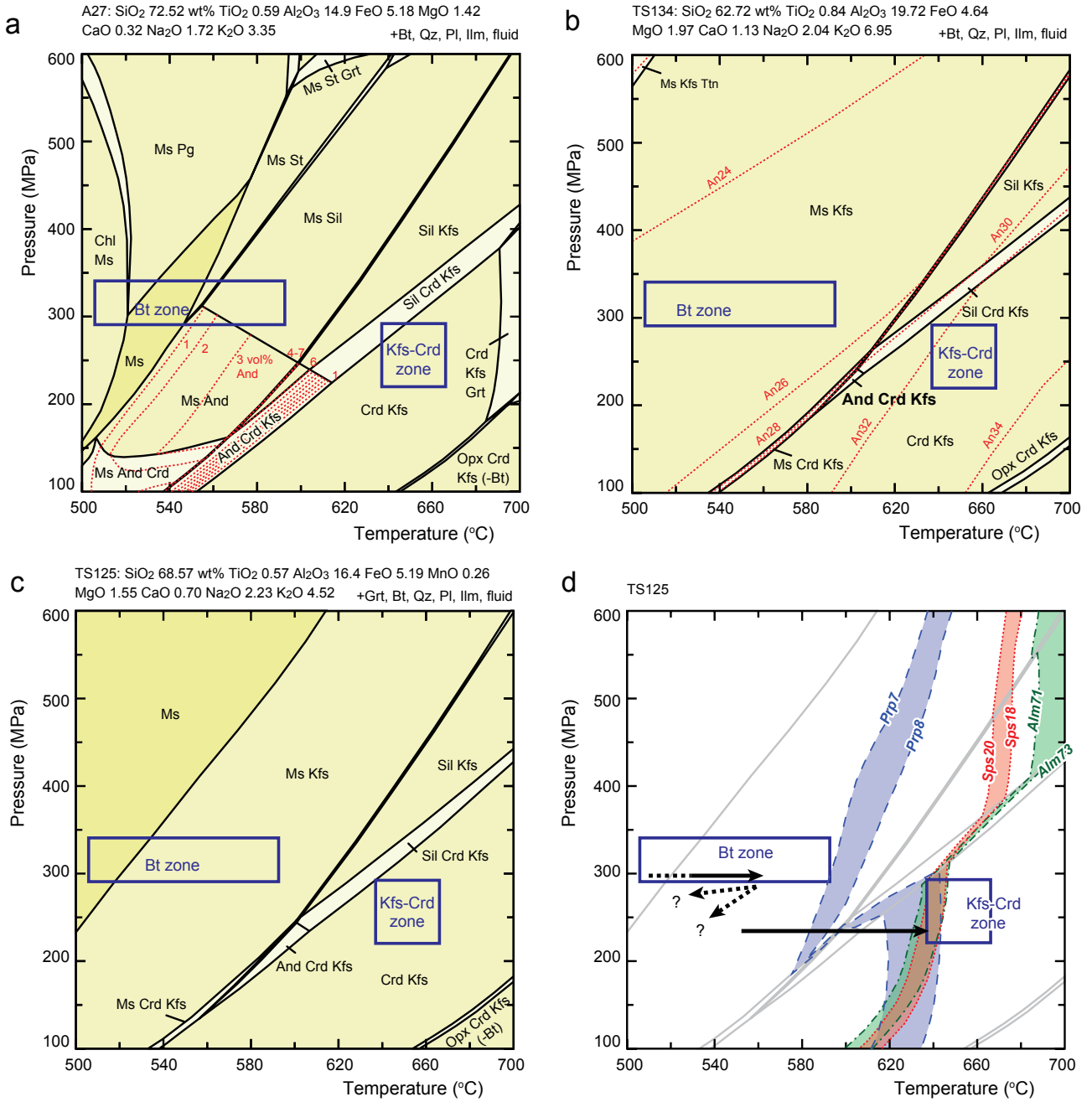
このような全岩組成の違いを反映した鉱物組合せや微細組織の多様性を理解するには、個々の岩石の全岩組成に対する相平衡図(シュードセクション)を用いた解析が有効である。本地域及びその西方延長である「御油」図幅地域の上部ユニットの変成作用を理解するため、三種類の代表的な変成泥岩のシュードセクション解析を行った。本地域の試料として、カリ長石堇青石帯の泥質片岩(TS134)及びざくろ石を含む泥質片麻岩(TS125)を選び、XRF全岩組成分析を行った(第3表)。また、白雲母-黒雲母タイラインよりもA頂点側にあるアルミナ質変成泥岩として、浅見ほか(1982)が記載した、「御油」地域黒雲母帯の十字石を含む泥質片岩(以下、A27と呼ぶ)の湿式全岩分析値も検討に加えた。

シュードセクションの計算はPerple\_X\_6.6.6.(Connolly, 2009)を用いたギブスエネルギー最小化法により行った。端成分の熱力学データはHolland and Powell(1998, 2002改訂)、活動度モデルは、ざくろ石、イルメナイト、黒雲母(White *et al.*, 2000)、白色雲母(Coggon and Holland, 2002)、緑泥石(Holland *et al.*, 1998)、長石(Fuhrman and Lindsley, 1988)、堇青石、斜方輝石、十字石(Holland and Powell, 1998)を用いた。御油-作手地域の領家変成岩類上部ユニットの変成泥岩には部分熔融組織(ミグマタイト)が認められないため、メルト相は考慮していない。全岩化学分析値をもとに、MnOに富みざくろ石を含むTS125は10成分のMnO-TiO<sub>2</sub>-

Na<sub>2</sub>O-CaO-K<sub>2</sub>O-FeO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O (Mn-Ti-NCKFMASH)、ざくろ石を含まないTS134やA27は9成分のTi-NCKFMASHをモデル系とした。また、TS125のざくろ石中に初生流体包有物がみられるため、流体は過剰相とした。本地域の変成泥岩は炭質物を普遍的に含むが、炭酸塩や磁鉄鉱は含まない。そのため、各温度-圧力での流体組成はグラファイトと平衡(2C + 2H<sub>2</sub>O = CO<sub>2</sub> + CH<sub>4</sub>)で、H<sub>2</sub>Oのモル分率が最大となるように扱った(Ohmoto and Kerrick, 1977; Connolly and Cesare, 1993)。H<sub>2</sub>O活動度が計算条件より低くなる可能性はいくつか考えられ、その場合脱水反応はより低温で起こる。しかし今回の場合、H<sub>2</sub>O活動度に依存しない地質温度圧力計を用いて見積もられた温度-圧力条件とシュードセクション解析の結果は矛盾しない。

まず、アルミナ質変成泥岩(A27)のシュードセクション図(第13図a)において、Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>鉱物の安定領域は白雲母安定領域内にも広がっており、黒雲母帯にIタイプ紅柱石が産出することと調和的である。「御油」地域の黒雲母帯の条件(Miyazaki, 2010)とシュードセクション図から、Iタイプ紅柱石は300 MPa、550°C程度の条件で形成されたと考えられる。また、Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>鉱物の安定領域の低温側に十字石の安定領域も出現し、Iタイプ紅柱石が十字石のレリックを包有する(浅見ほか, 1982)ことと整合的である。更に、第13図aには紅柱石の等モード線を示してあるが、白雲母安定領域内における紅柱石の生成は連続反応である。そのため接触変成作用に伴う温度上昇が僅かでも紅柱石が新たに成長し、Cタイプ斑状変晶が黒雲母帯に広く産出することを説明できる。

続いて、TS134はカリ長石堇青石アイソグラッド付近



第13図 変成泥岩のシュードセクション図。黒雲母帯及びカリ長石堇青石帯の温度圧力条件(第12図)も示した。(a) 十字石及びIタイプ紅柱石を含む黒雲母帯の泥質片岩(A27: 浅見ほか, 1982)。赤点線は紅柱石の等モード線(vol%)。(b) カリ長石堇青石アイソグラッド近傍のPタイプ紅柱石を含む泥質片岩(TS134)。赤点線は斜長石のAn値。(c) カリ長石堇青石帯のざくろ石を含む泥質片麻岩(TS125)。(d) TS125のざくろ石コア組成のアイソプレッス及び推定される温度-圧力経路。And, 紅柱石, Bt, 黒雲母, Chl, 緑泥石, Crd, 堇青石, Grt, ざくろ石, Ilm, イルメナイト, Kfs, カリ長石, Ms, 白雲母, Pg, パラゴナイト, Pl, 斜長石, Qz, 石英, Sil, 珪線石, St, 十字石。

Fig. 13 P-T pseudosection diagrams of the Ryoke metapelitic rocks with P-T conditions of the biotite and K-feldspar-cordierite zones (Fig. 12). (a) Staurolite- and I-type andalusite-bearing schist (A27: originally described in Asami *et al.*, 1982) from the biotite zone. Isomodes of andalusite are indicated by red dotted lines. (b) P-type andalusite-bearing schist from the incipient K-feldspar-cordierite zone (TS134). Anorthite contents in plagioclase are indicated by red dotted lines. (c) Garnet-bearing gneiss from the K-feldspar-cordierite zone (TS125). (d) Isoleths for actual garnet core compositions in TS125. Inferred P-T path of rocks in the K-feldspar-cordierite zone is indicated by black arrows. And: andalusite, Bt: biotite, Chl: chlorite, Crd: cordierite, Grt: garnet, Ilm: ilmenite, Kfs: K-feldspar, Ms: muscovite, Pg: paragonite, Pl: plagioclase, Qz: quartz, Sil: sillimanite, St: staurolite.



の泥質片岩で、Pタイプの紅柱石を含む(第6図b)。そのシュードセクション図においても反応1が紅柱石の初出線となっていることがわかる(第13図b)。また、この試料の鉱物組み合わせ(紅柱石+堇青石+カリ長石)の安定領域は200–250 MPa, 590–610°Cに現れており(第13図b)、この条件で予測される斜長石の組成は $An_{30}$ である。実際の斜長石は後退変成作用時にマーグライトの形成などに伴い $An$ の低下が起こっているが、分析点のなかで最高値 $An_{28}$ (第11図f)は予測された組成に近い。カリ長石堇青石帯のより高温域では、次の紅柱石分解反応が起こる。

紅柱石=珪線石(反応2)

紅柱石/珪線石+黒雲母+石英=堇青石+カリ長石+ $H_2O$ (反応3)

実際に、カリ長石堇青石アイソグラッドより新城トータル岩に近づくると変成泥岩中に紅柱石はみられなくなり、また堇青石中に珪線石包有物が観察される。こうした変化から、新城トータル岩周囲の接触変成帯は230–240 MPa程度の圧力条件での累進的温度上昇を記録していると考えられる。

MnOに富む泥質片麻岩(TS125)のシュードセクション図(第13図c)では、計算した温度-圧力範囲の全域でざくろ石が安定であるが、それ以外の鉱物組み合わせの安定領域はTS134とほぼ同じである。前述のとおり、この試料は接触変成作用の最高温度時にほぼ完全に再平衡したと考えられるため、主要構成鉱物内には広域変成作用時の情報を残していない。そのため、ざくろ石コアの組成を用いて接触変成作用ピーク時の温度-圧力見積りを行うことができる。シュードセクションのような相平衡図は任意の温度-圧力条件で鉱物組み合わせ、及び各鉱物の組成と量比が一意的に決まる。変成泥岩のざくろ石は一般的に4つの端成分(Fe, Mn, Mg, Ca)からなる。グロシュラー(Gr:  $Ca_3Al_2Si_3O_{12}$ )成分に乏しいので、アルマンディン(Alm:  $Fe_3Al_2Si_3O_{12}$ )、パイロープ(Prp:  $Mg_3Al_2Si_3O_{12}$ )、スペサルティン(Sps:  $Mn_3Al_2Si_3O_{12}$ )を独立成分に選び、TS125の実際のざくろ石コアの組成( $Alm_{71-73}Sps_{18-20}Prp_{7-8}Gr_{2}$ : 第11図a)が再現される条件を示した(第13図d)。三つの組成アイソプレスは堇青石+カリ長石+ざくろ石安定領域において620–640°C, 100–300 MPaの範囲内で交差する。交点付近で三つの組成アイソプレスがいずれも温度依存性の高い曲線となっているため、圧力の誤差が大きいが、実際に観察される鉱物組み合わせや地質温度圧力計による温度-圧力見積りと整合的である。また、この試料がリック状の紅柱石やフィプロライトを少量含むことを考慮すると、230–240 MPa程度の圧力条件で等圧温度上昇を経験したと考えられる。

以上の地質温度圧力計及びシュードセクションを用いた解析結果から、本地域のカリ長石堇青石帯の岩石は、

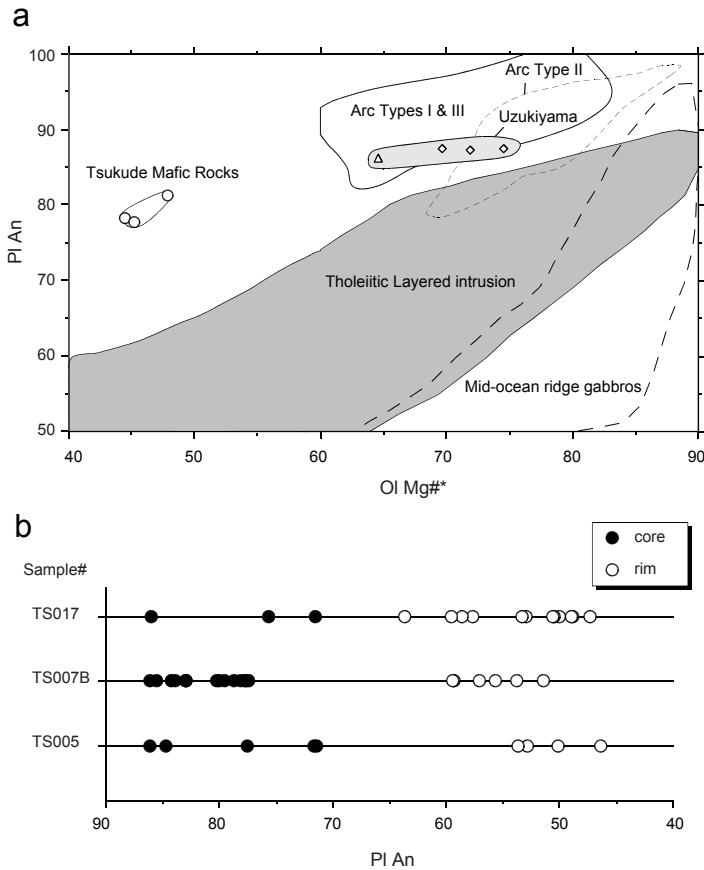
広域変成作用の後に230–240 MPa程度(上載岩石の密度を $2,700 \text{ kg/m}^3$ とすると、深度8.5–9.0 km)の圧力条件まで減圧したところで、新城トータル岩や三都橋花崗閃緑岩の貫入・定置による等圧温度上昇を経験したと考えられる。またこの圧力条件下で、カリ長石堇青石アイソグラッドはおよそ600°Cの等温線に相当する。三都橋花崗閃緑岩の主岩体周囲の接触変成帯について、本地域では検討していないが、「足助」図幅地域に珪線石+カリ長石+堇青石共生が産すること(山崎, 2012)を考慮すると、ほぼ同じ定置深度であったと考えられる。また今回は検討しなかったが、作手苦鉄質岩類近傍の粗粒な片麻岩は新城トータル岩の接触変成作用との重複により、複雑な熱史を経ている可能性がある。

### 5.3 接触変成帯の幅とテクトニクスへの意義

既に新城トータル岩の南西側貫入面において指摘されてきたことであるが、新城トータル岩周囲の接触変成帯は異常に幅広い(三宅ほか, 1992; Adachi and Wallis, 2008; 宮崎, 2008)(第3図)。本調査において、新城トータル岩の北側貫入面の接触変成帯の見かけ幅も非常に広いことが明らかになった(第4図)。一方、新城トータル岩( $86.0 \pm 4.7$ – $85.2 \pm 3.3$  Ma: Morishita and Suzuki, 1995)より僅かに後に貫入した三都橋花崗閃緑岩( $83.8 \pm 1.3$ – $84.1 \pm 3.1$  Ma: Suzuki *et al.*, 1994a, 鈴木ほか, 1994b)は、貫入岩体の規模に対しての接触変成帯の幅が特に広いということはない。但し、本地域の三都橋花崗閃緑岩は主に変成砂岩に貫入しているため、接触変成帯の幅を正確には決められていない。

新城トータル岩周囲に幅広い接触変成帯が形成された要因として、その貫入時(約86 Ma)に母岩の初期温度が異常に高かった可能性が指摘されている(Adachi and Wallis, 2008)。そのような異常な高地温勾配は、ほぼ同じ定置深度をもつと考えられる三都橋花崗閃緑岩の貫入時(約84 Ma)には解消していたことを示唆する。領家変成岩類の高温低圧型の広域変成作用(約100 Ma以降: Suzuki and Adachi, 1998)の継続期間は十分明らかになっていないが、5–10 Myr程度と推定されている(Suzuki *et al.*, 1994a; Miyazaki, 2010; Kawakami *et al.*, 2012)。そのため、広域変成作用終了後、新城トータル岩貫入時の高地温勾配は、先行するマグマ活動の存在を示唆しているのかもしれないが、より大規模なテクトニクスに関係している可能性もある。Aoya *et al.* (2009)は85 Ma前後の海嶺沈み込みにより、前弧域マンツルの蛇紋岩の脱水分解及び下部地殻苦鉄質岩の加水溶融が起こり、新时期領家花崗岩マグマが生成したとするモデルを提案している。沈み込んだ海嶺軸の通過により前弧域の温度構造は大きく変わり、短期的に異常な高地温勾配条件をつくりだす可能性がある。

本地域の領家深成岩類周囲に発達する接触変成帯の幅



第14図 作手苦鉄質岩類の斜長石Anとかんらん石Mg# (Ol Mg#\*) の変化図. 様々な地域の斑れい岩類のAn-Fo関係と直接比較するため, 斜方輝石のMg#はBeattie *et al.* (1991) のFe/Mg分配係数を用いてかんらん石のFoに変換している. 卯月山苦鉄質複合岩体の斑れい岩類及び様々な斑れい岩の領域はそれぞれ, 山崎ほか (2012) 及びBeard (1986) による.

Fig. 14 Plagioclase An vs. olivine Mg#\* covariation plots of constituent minerals of gabbroic rocks from the Tsukude mafic rocks. Ol Mg#\* and An denote  $100 \times \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$  and  $100 \times \text{Ca}/(\text{Ca}+\text{Na})$ , respectively. Opx Mg#s from the Tsukude mafic rocks and Uzukiyama mafic plutonic complex were conventionally converted to Ol Mg#s using Fe/Mg exchange coefficient (Beattie *et al.*, 1991). Data of the Uzukiyama mafic plutonic complex and fields of various gabbros are from Yamasaki *et al.* (2012) and Beard (1986), respectively.

は, テクトニックモデルの検証において重要と考えられる. そのため今後, 炭質物のラマンスペクトルを用いた迅速簡便な地質温度計により本地域の接触変成帯の範囲及び温度構造を精密化する必要がある. また, 広域変成作用と接触変成作用のあいだの地温勾配の時間変化を定量的に明らかにする必要がある. その手段として成長累帯構造を保存したざくろ石を用いて温度-圧力経路の導出を行うことが有効と考えられる.

## 6. 作手苦鉄質岩類の位置づけと火成作用

### 6.1 位置づけ

作手苦鉄質岩類は, 仲井 (1970) において「清崎岩体」構成岩相の一部である中粒角閃石-黒雲母花崗閃緑岩-石英閃緑岩として地質図に示されている. この「清崎岩体」は, 新城トータル岩体と清崎花崗閃緑岩体 (Kutsukake, 2001) を一括した名称で, 新城トータル岩体に対して固有の岩体名が与えられた後は, 10 km程北方を模式地とする清崎花崗閃緑岩体に対比される岩型として取り扱われたり (例えば, 牧本ほか2004), あるいは清崎花崗閃緑岩体を含む, いわゆる「新期花崗岩類」の一部として取り扱われたりしている (例えば, Kutsukake, 2000, Kutsukake *et al.*, 2003). 作手苦鉄質岩類は, 既に記載したように, 石英や黒雲母を比較的多く

含む点で見かけ上, 石英閃緑岩質であるものの, 斜方輝石, 単斜輝石及び普通角閃石を普遍的に含む点からは, 領家深成岩類のトータル岩, 花崗閃緑岩や花崗岩とは明らかに異なる鉱物組み合わせを示す. また, 清崎花崗閃緑岩はカリ長石を普遍的に含む花崗閃緑岩質であること, 特に長径2 cm以上に達するカリ長石斑晶をしばしば含むこと (Kutsukake, 2001) から, 作手苦鉄質岩類の記載的特徴とは大きく異なる. 更に, Kutsukake (2002) によると, 清崎花崗閃緑岩を構成する斜長石の組成は $\text{An}_{45-32}$ 程度で, 後に述べる作手苦鉄質岩類のそれ ( $\text{An}_{81-78}$ ; 第1表) とは明らかに異なる. 一方, 領家帯に産する苦鉄質岩類は, 周辺の「御油」及び「足助」図幅地域に限っても斜方輝石含有黒雲母角閃石斑れい岩, 輝石角閃石斑れい岩, 斜長石含有角閃石岩, 角閃石斑れい岩及び角閃石黒雲母斑れい岩-石英閃緑岩と多様な岩相を示すこと (西岡, 2008; 山崎, 2012) から, 優黒質で輝石類を含むという点で作手苦鉄質岩類と共通の特徴を示す. そこで, 作手苦鉄質岩類については, 清崎花崗閃緑岩の一部ではなく, 苦鉄質岩類として独立に扱うことが妥当であると考えられる.

作手苦鉄質岩類の貫入時期, すなわち領家深成岩類における位置づけについては, 本調査で確認された貫入関係からは武節花崗岩の活動以前であるといえる. その分布位置や岩相からは「御油」図幅地域の作手岩波を中心とする地域に分布する苦鉄質岩類 (西岡, 2008) と



の成因的關係が示唆されるが、Nakajima *et al.* (2004) による同苦鉄質岩類からのジルコンのU-Pb SHRIMP年代は  $72.4 \pm 1.2$  Ma であり、武節花崗岩よりも若い。したがって、作手苦鉄質岩類は、三都橋花崗閃緑岩 (CHIME 年代,  $84.1 \pm 3.1$  Ma– $83.8 \pm 1.3$  Ma; 鈴木ほか, 1994b) に密接に伴って産する苦鉄質岩類もしくは、新城トータル岩 (CHIME 年代,  $86.0 \pm 4.7$ – $85.2 \pm 3.3$  Ma; Morishita and Suzuki, 1995) 中に普遍的に含まれる暗色包有岩と同源である可能性がある。後者は、新城トータル岩と同時期に活動した産状は報告されていないが、1) 三都橋花崗閃緑岩においても苦鉄質岩類は暗色包有物として産することも多いこと、2) 新城トータル岩と三都橋花崗閃緑岩は活動時期 (CHIME 年代) が近接しており、一部は誤差の範囲で重なることから、86 Ma もしくはそれ以前から、作手-御油地域において苦鉄質マグマ活動が生じていた可能性もある。一方、既に述べたように「御油」図幅地域の作手岩波地域周辺の苦鉄質岩類は岩相変化に富むことから、近接した地域に産しながらも、すべてが同時期の活動の産物ではない可能性も否定できない。苦鉄質岩類と花崗岩類との成因的關係や領家帯の火成-変成作用を総括的かつより具体的に理解するためには、作手苦鉄質岩類やその他の苦鉄質岩類の固結年代を知ることが今後の課題である。

## 6.2 火成作用

作手苦鉄質岩類をもたらした親マグマの性質を知るため、斜方輝石と斜長石の鉱物化学組成を予察的に検討した。マグマと平衡共存するかんらん石もしくは斜方輝石と斜長石の組成關係は、マグマの組成、圧力、含水量などによって変化し、分化の進行にともなって、結果的にそれらのパラメーターの違いを反映した異なる分化曲線として示される。この組成關係を知るためには、斜方輝石 (もしくはかんらん石) と斜長石がともにマグマから晶出していたことが前提となるが、山崎ほか (2012) で指摘したように、これまでの領家帯の苦鉄質深成岩類の検討においては、晶出關係が必ずしも十分に吟味されていないか、あるいは吟味されていても比較のために十分なデータが示されていない。そこで、ここではそれらを十分に検討した長野県飯田市の卯月山苦鉄質複合岩体のデータ (山崎ほか, 2012) を比較のために示す。

作手苦鉄質岩類の斜方輝石と斜長石の組成關係は、斜方輝石の Mg# [=  $100 \times \text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$  in atomic ratio] が 49–46 であるのに対して斜長石のコアの An 組成が 81–78 と非常に高い (第 14 図 a)。このような組成關係は、ソレライト質の層状分化岩体や中央海嶺 (海洋底) の斑れい岩のような、無水・低圧でのソレライト質マグマの分化では導くことができない (第 14 図 a)。一方、第 14 図 a に示されるように、作手苦鉄質岩類の斜方輝石と斜長石の組成關係は、マフィック鉱物の Mg# が大きく離

れているものの、卯月山苦鉄質岩類や Beard (1986) による島弧タイプ I & III の組成領域の延長上に位置しており、マフィック鉱物の Mg# の低下、すなわちマグマの分化に伴って斜長石の An 組成が高いままに維持される共通の特徴を示す。このことは、作手苦鉄質岩類は、分化の段階は大きく異なるものの、基本的には卯月山苦鉄質複合岩体をもたらした親マグマと類似した組成の、含水・カルシウムアルカリ質のマグマから結晶化したことを示しているものと思われる。

作手苦鉄質岩類は、斜長石のコアの An 組成が 81–78 と、明らかに斑れい岩質な鉱物化学組成上の特徴を持っているにもかかわらず、石英や黒雲母を普遍的に含むという、広義の花崗岩類の記載の特徴も示し、また、このことがこの岩体がこれまで苦鉄質岩類として認識されてこなかった要因でもある。作手苦鉄質岩類の斜長石の An 組成をコアとリムに分けて観察すると、両者の間には An 組成にギャップが認められる (第 14 図 b)。深成岩類においては、すべての結晶の晶出開始時期や結晶化完了時期が必ずしも同時期ではなく、また薄片上で平面的に観察されるコアが三次元的なコアの位置であるとは限らないため、その組成はコアからリムにかけて連続するのが普通である。したがって、コアとリムとの間に、例えば検討試料 TS005 や TS007B にみられるような明瞭な組成ギャップが存在するという事は、マントル部分を境に大きな組成ギャップがあることを示唆している。また、作手苦鉄質岩類中の斜長石のマントル部に認められるリング状の汚濁帯は、マグマ・ミキシングが生じた際に残される典型的な組織の一つである (例えば、Hibbard, 1981, 1995)。これらのことから、作手苦鉄質岩類は、固結段階の後期に周囲の変成岩類・花崗岩類の同化作用あるいは花崗岩質マグマとの混合によって大きく組成が変化し、その際に石英や黒雲母が生じた可能性がある。

## 7. まとめ

今回行った領家深成-変成コンプレックスの野外地質調査及び岩石学的検討の結果は以下のように要約できる。

- 1) 本地域の領家変成岩類の層厚は、見かけ上位の層厚約 1,000 m に変成砂岩が卓越し、その下位層厚約 3,000 m は変成泥岩を主体に連続性の良い変成珪質岩を挟む。大局的には北傾斜の単斜構造を示すが、西部において東西走向の軸面をもつシンフォーム・アンチフォームの繰り返しがみられる。
- 2) 本地域の領家変成岩類の層準は西隣の「御油」地域の上部ユニットに対比され、広域変成作用時 (約 100 Ma) の変成度は黒雲母帯に相当すると考えられる。
- 3) 本地域の領家変成岩類に非調和に貫入する領家深成岩類周囲に接触変成帯 (カリ長石堇青石帯) が発達している。特に新城トータル岩周囲のカリ長石堇青石

帯は、見かけ幅が4 km以上に及び、その貫入時(約86 Ma)に母岩が高温状態にあったと考えられる。カリ長石堇青石アイソグラッドより高温側の岩石は、>600 °C、230–240 MPaの温度-圧力条件で再結晶しており、新城トータル岩や三都橋花崗閃緑岩の定置深度は8.5–9.0 kmと見積もられる。

- 4) 作手地域及び「御油」地域上部ユニットの領家変成岩類は低圧高温型の広域変成作用に接触変成作用が重複している。「御油」地域における十字石の存在や紅柱石微細組織の多様性は全岩組成の変化により説明でき、より複雑な変成履歴や中圧型の変成段階を考える必要はない。
- 5) 本地域東部に分布する深成岩類(作手苦鉄質岩類)は石英や黒雲母に富む点から従来は花崗岩類として扱われていたが、斜方輝石及び単斜輝石を含み、斜長石のコアがCaに富む( $An_{78-81}$ )ことから、苦鉄質マグマから結晶化したものであり、中部地方領家帯に産する苦鉄質岩類と共通の岩石学的特徴を示す。

謝辞：地質情報研究部門の御子柴真澄氏にはXRF分析及びガラスビード作成、古川竜太氏には粉末岩石試料作成、地質標本館の坂野靖行氏にはEPMA分析に際し、お世話になった。地質情報研究部門の宮崎一博氏には原稿を読んでいただき、有益な助言をいただいた。副編集長の佐脇貴幸氏には原稿の不備をご指摘いただいた。以上の方々に感謝申し上げる。

## 文 献

- Adachi, Y. and Wallis, S. (2008) Ductile deformation and development of andalusite microstructures in the Hongusan area: constraints on the metamorphism and tectonics of the Ryoke Belt. *Island Arc*, **17**, 41–56.
- Aoya, M., Mizukami, T., Uehara, S.I. and Wallis, S.R. (2009) High-P metamorphism, pattern of induced flow in the mantle wedge, and the link with plutonism in paired metamorphic belts. *Terra Nova*, **21**, 67–73.
- 浅見正雄・星野光雄・宮川邦彦・諏訪兼位 (1982) 幡豆-本宮山地域の領家変成帯における十字石片岩の形成条件. *地質雑*, **88**, 437–450.
- 渥美博行 (1984) 愛知県寒狭川地域の領家変成岩から見出されたマーグライト. *地質雑*, **90**, 505–508.
- Beard, J.-S. (1986) Characteristic mineralogy of arc-related cumulate gabbros: Implications for the tectonic setting of gabbroic plutons and for andesite genesis. *Geology*, **14**, 848–851.
- Beattie, P., Ford, C. and Russel, D. (1991) Partition coefficients for olivine-melt and orthopyroxene-melt systems. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **109**, 212–224.
- Bence, A. E. and Albee, A. L. (1968) Empirical correction factors for the electron probe microanalysis of silicates and oxides. *Jour. Geol.*, **76**, 382–403.
- Berman, R.G. (1990) Mixing properties of Ca-Mg-Fe-Mn garnets. *Amer. Mineral.*, **75**, 328–344.
- Bertoldi, C., Proyer, A., Garbe-Schönberg, D., Behrens, H., Dachs, E. (2004) Comprehensive chemical analyses of natural cordierites: implications for exchange mechanism. *Lithos*, **78**, 389–409.
- Brown, M. (2010) Paired metamorphic belts revisited. *Gondwana Research*, **18**, 46–59.
- Coggon, R. and Holland, T.J.B. (2002) Mixing properties of phengitic micas and revised garnet-phengite thermobarometers. *Jour. Metam. Geol.*, **20**, 683–696.
- Connolly, J.A.D. (2009) Geodynamic equation of state: What and how. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **10**, Q10014.
- Connolly, J.A.D. and Cesare, B. (1993) C-O-H-S fluid composition and oxygen fugacity in graphitic metapelites. *Jour. Metam. Geol.*, **11**, 379–388.
- Didier, J. and Barbarin, B. (1991) The different types of enclaves in granites—Nomenclature. In Didier, J. and Barbarin, B., eds., *Enclaves and Granite Petrology*. Elsevier, Amsterdam, 19–23.
- Dwivedi, S.B., Mohan, A. and Lal, R.K. (1998) Recalibration of the Fe-Mg exchange reaction between garnet and cordierite as a thermometer. *Eur. Jour. Mineral.*, **10**, 281–289.
- Fuhrman, M.L. and Lindsley, D.H. (1988) Ternary-feldspar modeling and thermometry. *Amer. Mineral.*, **73**, 201–215.
- Hibbard, M. J. (1981) The magma mixing origin of mantled feldspars. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **76**, 158–170.
- Hibbard, M. J. (1995) *Petrography to Petrogenesis*. Prentice Hall, New Jersey, 587p.
- Hodges, K.V. and Spear, F.S. (1982) Geothermometry, geobarometry and the  $Al_2SiO_5$  triple point at Mt. Moosilauke, New Hampshire. *Amer. Mineral.*, **67**, 1118–1134.
- Hoisch, T.D. (1990) Empirical calibration of six geobarometers for the mineral assemblage quartz+muscovite+biotite+plagioclase+garnet. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **104**, 225–234.
- Holland, T.J.B. and Powell, R. (1998) An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest. *Jour. Metam. Geol.*, **16**, 309–343.
- Holland, T.J.B., Baker, J. and Powell, R. (1998) Mixing properties and activity-composition relationships of chlorites in the system  $MgO-FeO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ . *Eur. Jour. Mineral.*, **10**, 395–406.
- Ikeda, T. (1991) Heterogeneous biotite from Ryoke metamorphic rocks in the Yanai district, southwest Japan.



- Jour. Geol. Soc. Japan*, **97**, 537-547.
- Ikeda, T. (1998) Progressive sequence of reactions of the Ryoke metamorphism in the Yanai district, southwest Japan: the formation of cordierite. *Jour. Metam. Geol.*, **16**, 39-52.
- 池田芳雄・宇井啓高・菅谷義之 (1974) 愛知県新城市の中央構造線の新露頭. 地質雑, **80**, 195-196.
- Imai, N., Terashima, S., Itoh, S. and Ando, A. (1995) 1994 compilation values for GSJ reference samples, "Igneous rock series". *Geochem. Jour.*, **29**, 91-95.
- Kato, Y. (1962) On the structural development of the Shidara basin. *Jour. Earth Sci., Nagoya Univ.*, **10**, 51-69.
- Kawakami, T. and Suzuki, K. (2011) CHIME monazite dating as a tool to detect polymetamorphism in high-temperature metamorphic terrane: Example from the Aoyama area, Ryoke metamorphic belt, Southwest Japan. *Island Arc*, **20**, 439-453.
- Kawakami, T. Yamaguchi, I., Miyake, A., Shibata, T., Maki, K., Yokoyama, T. D. and Hirata, T. (2012) Behavior of zircon in the upper-amphibolite to granulite facies schist/migmatite transition, Ryoke metamorphic belt, SW Japan: constraints from the melt inclusions in zircon. *Contrib. Mineral. Petrol.*,
- Kutsukake, T. (2000) Petrographic features of the gabbroic rocks in the Ryoke Belt of the Mikawa district, southwest Japan. *Sci. Rep. Toyohashi Mus. Nat. Hist.*, **10**, 1-12.
- Kutsukake, T. (2001) Geochemistry of the Kiyosaki Granodiorite in the Ryoke Belt, central Japan. *Sci. Rep. Toyohashi Mus. Nat. Hist.*, **11**, 1-12.
- Kutsukake, T. (2002) Mineral chemistry of the Kiyosaki Granodiorite in the Ryoke Belt, central Japan., *Mem. Comm. Res. Inst. Aichi Univ.*, **47**, 75-79.
- Kutsukake, T., Miyake, A. and Ohtomo, Y. (2003) Ryoke granitoids and metamorphic rocks in the eastern Mikawa district, central Japan. *Geol. Surv. Japan, Interim-Report*, **28**, 103-114.
- Le Maitre, W. D. (ed.)(2002) *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms*. Cambridge University Press, 236 p.
- 牧本 博・山田直利・水野清秀・高田 亮・駒沢正夫・須藤定久 (2004) 20万分の1地質図幅「豊橋及び伊良湖岬」. 産総研地質調査総合センター
- 三宅 明・村田恵理・森下 修 (1992) 愛知県額田地域の領家変成岩中の紅柱石の成長時期. 岩鉱, **87**, 475-480.
- Miyashiro, A. (1972) Metamorphism and related magmatism in plate tectonics. *Amer. Jour. Sci.*, **272**, 629-656.
- 宮崎一博 (2008) 御油地域の地質, 第4章 領家変成コンプレックス及び領家深成岩による接触変成域. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅). 産総研地質調査総合センター, p.18-40.
- Miyazaki, K. (2010) Development of migmatites and the role of viscous segregation in high-T metamorphic complexes: Example from the Ryoke Metamorphic Complex, Mikawa Plateau, Central Japan. *Lithos*, **116**, 287-299.
- Morishita, T. and Suzuki, K. (1995) CHIME ages of monazite from the Shinshiro Tonalite of the Ryoke belt in the Mikawa area, Aichi Prefecture. *Jour. Earth Planet. Sci., Nagoya Univ.*, **42**, 45-53.
- 仲井 豊 (1970) 愛知県三河地方の花崗岩類. 地球化学, **24**, 139-145.
- Nakai, Y. and Suzuki, K. (2003) Post-tectonic two-mica granite in the Okazaki area, central Japan: a field guide for the 2003 Hutton Symposium. *Geol. Surv. Japan, Interim-Report*, **28**, 115-124.
- Nakajima, T. (1994) The Ryoke plutonometamorphic belt: crustal section of the Cretaceous Eurasian continental margin. *Lithos*, **33**, 51-66.
- Nakajima, T., Kamiyama, H., Williams, I.S. and Tani, K. (2004) Mafic rocks from the Ryoke Belt, southwest Japan: implications for Cretaceous Ryoke/San-yo granitic magma genesis. *Trans. Royal Soc. Edinburgh: Earth Sci.*, **95**, 249-263.
- 西岡芳晴 (2008) 御油地域の地質, 第5章 領家深成岩. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅). 産総研地質調査総合センター, p. 41-53.
- 大友幸子 (1985) 新城トータル岩体の累帯構造について. *MAGMA*, **73**, 69-73.
- Ohmoto, H. and Kerrick, D.M. (1977) Devolatilization equilibria in graphitic system. *Amer. Jour. Sci.*, **277**, 1013-1044.
- Okudaira, T., Hara, I., Sakurai, Y. and Hayasaka, Y. (1993) Tectono-metamorphic processes of the Ryoke belt in the Iwakuni-Yanai district, southwest Japan. *Mem. Geol. Soc. Japan*, **42**, 91-120.
- Okudaira, T., Beppu, Y., Yano, R., Tsuyama, M. and Ishii, K. (2009) Mid-crustal horizontal shear zone in the forearc region of the mid-Cretaceous SW Japan arc, inferred from strain analysis of rocks within the Ryoke metamorphic belt. *Jour. Asian Earth Sci.*, **35**, 34-44.
- Seo, T. and Hara, I. (1980) The development of schistosity in biotite schists from southwestern part of Mikawa Plateau, central Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **86**, 817-826.
- Suzuki, K. and Adachi, M. (1991) Precambrian provenance and Silurian metamorphism of the Tsubonosawa paragneiss in the South Kitakami terrane, Northeast Japan, revealed by the chemical Th-U-total Pb isochron ages of monazite

- and xenotime. *Geochem. Jour.*, **25**, 357–376.
- Suzuki, K. and Adachi, M. (1998) Denudation history of the high T/P Ryoke metamorphic belt, southwest Japan: constraints from CHIME monazite ages of gneisses and granitoids. *Jour. Metam. Geol.*, **16**, 23–37.
- Suzuki, K., Adachi, M. and Kajizuka, I. (1994a) Electron microprobe observations of Pb diffusion in metamorphosed detrital monazites. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **128**, 391–405.
- 鈴木和博・森下泰成・梶塚 泉(1994b) 三河-東濃地域の領家変成岩と花崗岩のCHIMEモナザイト年代. 名古屋大学古川総合研究資料館報告, **10**, 17–38.
- Wallis, S.R., Anczkiewicz, R., Endo, S., Aoya, M., Platt, J.P., Thirlwall, M. and Hirata, T. (2009) Plate movements, ductile deformation and geochronology of the Sanbagawa belt, SW Japan: tectonic significance of 89–88 Ma Lu–Hf eclogite ages. *Jour. Metam. Geol.*, **27**, 93–105.
- White, R., Powell, R., Holland, T.J.B. and Worley, B.A. (2000) The effect of TiO<sub>2</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on metapelitic assemblages at greenschist and amphibolite facies conditions: mineral equilibria calculations in the system K<sub>2</sub>O–FeO–MgO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O–TiO<sub>2</sub>–Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Jour. Metam. Geol.*, **18**, 497–511.
- 山田直利・片田正人・端山好和・山田哲雄・仲井 豊・杳掛俊夫・諏訪兼位・宮川邦彦(1974) 中部地方領家帯地質図, 特殊地質図 no. 18, 地質調査所.
- 山崎 徹(2012) 足助地域の地質, 第4章 領家深成岩類地域地質研究報告(5万分の1地質図幅). 産総研地質調査総合センター, p. 27–50.
- 山崎 徹・青矢睦月・木村希生・宮崎一博(2012) 長野県飯田市, 卯月山苦鉄質複合岩体の岩石学的性質-領家帯における苦鉄質火成作用の成因解明への予察的検討-. 地調研報, **63**, 1–19.

( 受 付 : 2013年1月30日 ; 受 理 : 2013年3月22日 )



## Triassic to Middle Jurassic radiolarians from pelagic cherts in the Nanjō Mountains, Southwest Japan – Part 1. Imajō district

Satoshi Nakae

Satoshi Nakae (2013) Triassic to Middle Jurassic radiolarians from pelagic cherts in the Nanjō Mountains, Southwest Japan – Part 1. Imajō district. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 64 (3/4), p. 85-112, 3 figures, 2 tables, 5 plates.

**Abstract:** The Nanjō Mountains located in the central region of Fukui Prefecture, Southwest Japan, are chiefly underlain by a sedimentary complex consisting of various rock-types such as basalt, limestone, chert, mudstone and sandstone. Among these rocks within the mountains, 27 chert outcrops were explored for their radiolarian content. In the studied Imajō district, the 14 rock samples from 10 localities yielded moderately- to poorly-preserved radiolarian remains as a result. Most of the samples contained Triassic to Middle Jurassic species, with Spumellaria and Entactinaria dominant among the Triassic faunas and Nassellaria dominant among the Jurassic faunas. The description and faunal analysis of these radiolarians revealed that the cherts in the Imajō district indicate a long range in age from the Olenekian? stage to the Bajocian stage.

**Keywords:** radiolaria, Triassic, Middle Jurassic, Nanjō Mountains, Imajō district, Fukui Prefecture, Southwest Japan

### 1. Introduction

The Nanjō Mountains, which extend over an area of ca. 40 km x 20 km in the central region of Fukui Prefecture, are geotectonically divided into the Mino and Ultra-Tamba belts of the Inner Zone of Southwest Japan. The lithologic assemblages of each belt differ from one other; the accretionary complex of the Mino belt is regarded as one of the Jurassic accretionary complexes that formed along the eastern margin of the paleo-Asian continent (e.g., Wakita, 1988). The Mino belt consists of thrust-bounded units of basalt and limestone of oceanic island/seamount origin, cherts of pelagic origin and terrigenous clastic rocks (Wakita, 1988; Nakae *et al.*, in press). Conversely, the accretionary complex of the Ultra-Tamba belt is dominated by pale or greenish gray sandstone with subordinate chert and phyllitic mudstone of Permian age (Umeda *et al.*, 1996; Nakae, 2012). 1:50,000 scale maps of the “Imajō” and “Kanmuri Yama” districts almost cover the entire area of the Nanjō Mountains (Fig.1).

The age of the cherts in the Nanjō Mountains has so far been determined to be Triassic to Jurassic (e.g., Hattori and Yoshimura, 1982; Takamura and Hayami, 1985; Taga, 1997; Umeda and Taga, 2003). Through this work, additional extraction of radiolarians from the accretionary complex of the Mino belt in the Nanjō Mountains was

therefore conducted for detailed age determination of its component rocks. Consequently, this first report documents all of the radiolarian species extracted from the cherts in the Imajō district; radiolarians from the Kanmuri Yama district will be described in a subsequent report.

### 2. Materials and Method

Through the course of this study, approximately 530 samples were collected from the Imajō and Kanmuri Yama districts in the Nanjō Mountains. The samples were undertaken using an usual technique for radiolarian extraction; briefly, the rock samples were individually soaked in dilute hydrofluoric acid (HF) solution (5%) for 10 to 15 hours, before being washed through a 62μm mesh sieve (235#). As a result, age-diagnostic radiolarians representative of Triassic to Middle Jurassic ages were recovered from 40 chert samples, 14 of which were from the Imajō district. The residues of each processed sample were then examined under a stereomicroscope, and radiolarian remains were selected for examination by scanning electronic microscope (SEM). All figured specimens were deposited and registered with the Geological Museum, Geological Survey of Japan under catalogue numbers (GSJ F).

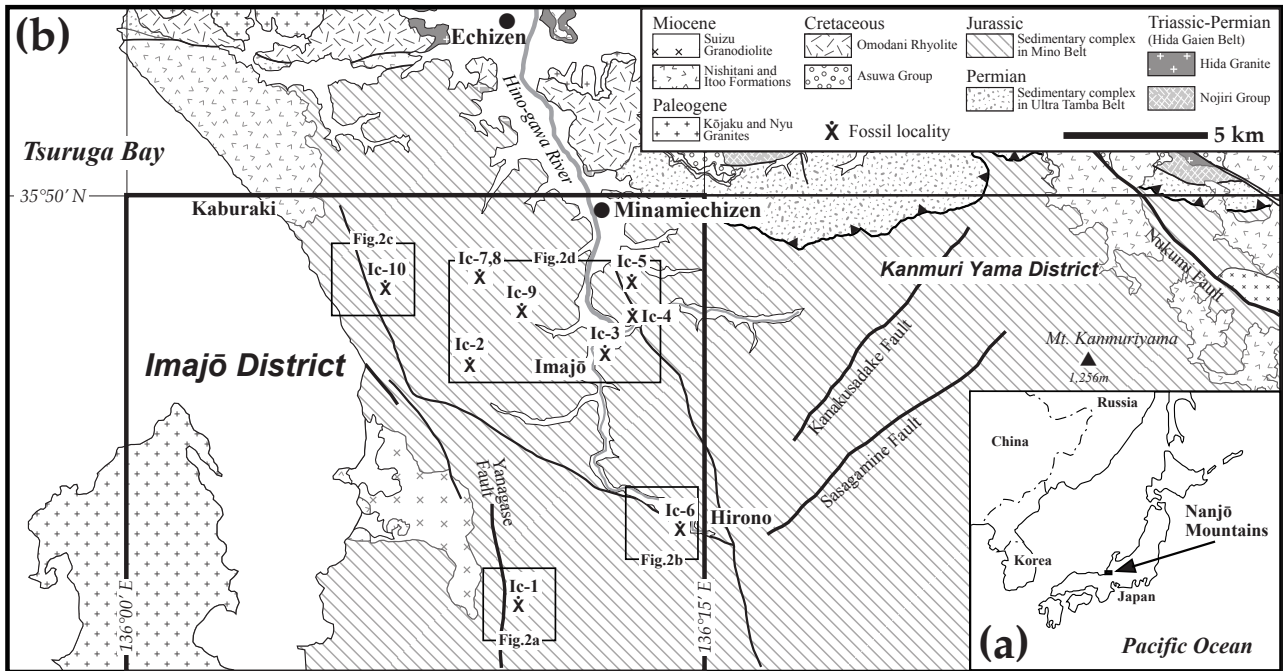


Fig. 1 Index map of the Imajō district in the Nanjō Mountains.

(a): The Nanjō Mountains are situated in a central region of Fukui Prefecture. (b): A simplified geological map of the mountains, most part of which geotectonically belongs to the Mino belt, Southwest Japan. The Imajō district contains the western part of the Nanjō Mountains and Tsuruga Bay. Detailed radiolarian localities with symbols are given in Fig. 2.

### 3. Radiolarian locality and fauna

Fourteen chert samples comprising part of a suite of 222 samples that were collected from the Imajō district in the Nanjō Mountains yielded moderately- to poorly-preserved radiolarian faunas. Most of the faunas consist of radiolarians, which are identifiable as Triassic to Middle Jurassic species. Radiolarian localities (Ic-1 – Ic10) are shown in Figs. 1 and 2, and the identified species are listed in Table 1. Below is a detailed description of the localities investigated and their faunal contents.

#### (1) Locality Ic-1 (Fig. 2a)

**Location:** South of Tochinoki-tōge, Yogo, Nagahama City.

(lat. 35°41'34.6" N, long. 136°9'43.7" E)

**Sample number:** IJ 1502g.

**Lithology:** Thinly bedded gray chert.

**Fauna:** *Cryptostephanidium* spp., *Protopsium* spp. (Plate 1).

**Age:** Probably early Anisian – late Carnian.

#### (2) Locality Ic-2 (Fig. 2d)

**Location:** North of Ōgiri, Minamiechizen Town.

(lat. 35°46'44.7" N, long. 136°8'36.1" E)

**Sample number:** IJ 2202.

**Lithology:** Thinly bedded light-gray chert. Slightly tuffaceous.

**Fauna:** *Archaeocenosphaera*? spp., *Entactinia*? spp. (Plate 1).

**Age:** Probably early Olenekian – middle Anisian.

#### (3) Locality Ic-3 (Fig. 2d)

**Location:** Northeast of Imajō, Minamiechizen Town.

(lat. 35°46'54" N, long. 136°12'0.9" E)

**Sample number:** IJ 2703.

**Lithology:** Thinly bedded light-gray chert.

**Fauna:** *Pantanellium* sp., *Praewilliriedellum*? spp., *Praezhamoidellum*? sp., *Eucyrtidiellum unumaense* (Yao), *Parahsuum* spp., *Praeparvicingula*? sp., *Lantus* sp. cf. *L. sixi* Yeh, *Lantus*? sp. (Plate 1)

**Age:** Early Bajocian.

#### (4) Locality Ic-4 (Fig. 2d)

**Location:** Yashirodani, Minamiechizen Town.

(lat. 35°47'39.2" N, long. 136°12'59.7" E)

**Sample number:** IJ 2901.

**Lithology:** Thinly bedded gray chert.

**Fauna:** *Pantanellium*? spp., *Archaeocenosphaera* sp., *Plafkerium*? spp., *Plafkerium*? *antiquum* Sugiyama, *Protopsium* sp., *Eptingium*? sp., *Cryptostephanidium japonicum* (Nakaseko and Nishimura), *Cryptostephanidium* sp. cf. *C. longispinosum* (Sashida), *Pseudostylosphaera* sp. A sensu Sugiyama (1992), *Pseudostylosphaera* sp. (Plate 2).

**Age:** Early – middle Anisian.

#### (5) Locality Ic-5 (Fig. 2d)

**Location:** Northwest of Somayama, Minamiechizen Town.



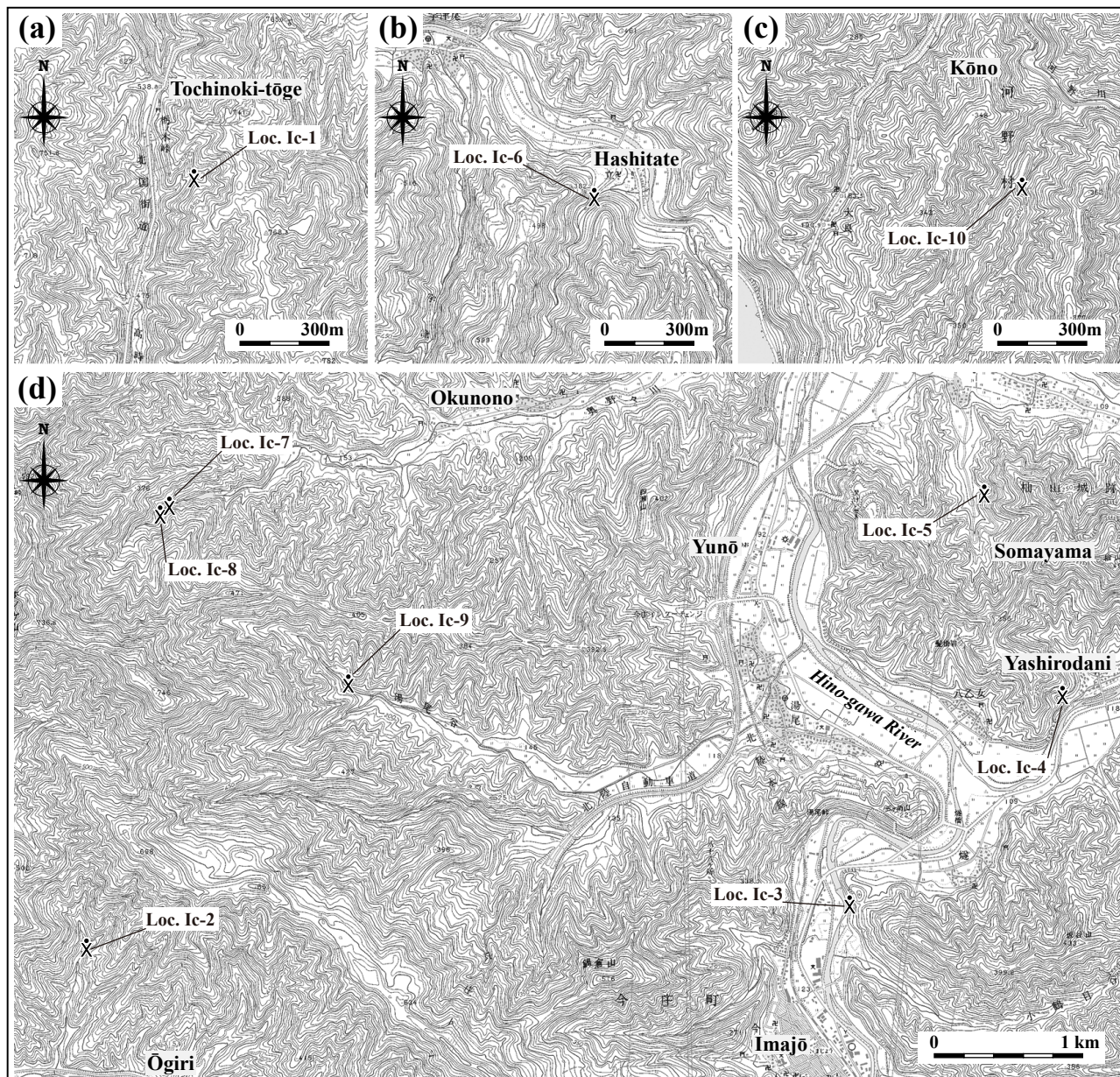


Fig. 2 Localities of chert samples yielding Triassic to Middle Jurassic radiolarians. Parts of topographic maps of “Itadori” for figures (a) and (b), “Kōno” for figure (c) and “Imajō” for figure (d), published from the Geospatial Information Authority of Japan, are used.

(lat. 35°48'22.9" N, long. 136°12'41.7" E)

**Sample number:** IJ 3205.

**Lithology:** Thinly bedded light-gray chert.

**Fauna:** *Plafkerium?* sp., *Protopsium* spp. (Plate 2).

**Age:** Probably middle Anisian – late Rhaetian.

**(6) Locality Ic-6 (Fig. 2b)**

**Location:** Hashitate, Minamiechizen Town.

(lat. 35°43'17.3" N, long. 136°14'13" E)

**Sample number:** IJ 4001.

**Lithology:** Thinly bedded light-gray chert.

**Fauna:** *Spumellaria* gen. et sp. indet (Plate 2).

**Age:** Probably late Anisian – late Rhaetian.

**(7) Locality Ic-7 (Fig. 2d)**

**Location:** West of Okunono, Minamiechizen Town.

(lat. 35°48'21.5" N, Long. 136°8'59.9" E)

**Sample number:** IJ 5502.

**Lithology:** Thinly bedded light-gray chert.

**Fauna:** *Eptingium* sp. cf. *E. manfredi* Dumitrică,

*Cryptostephanidium* spp., *Pseudostylosphaera japonica*

(Nakaseko and Nishinura), *Pseudostylosphaera* spp.,

*Bulbocyrtium* sp. A sensu Sugiyama (1997), *Triassocampe*

*deweveri* (Nakaseko and Nishimura), *Triassocampe* sp.

aff. *T. diordinis* Bragin sensu Sugiyama (1992) (Plate 3).

**Age:** Late Anisian.



Table. 1 List of radiolarian species detected from the Imajō district in the Nanjō Mountains.

Locality Number (Ic-)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
Sample Number		IJ 1502g	IJ 2202	IJ 2703	IJ 2901	IJ 3205	IJ 4001	IJ 5502	IJ 5503	IJ 5702a	IJ 5702b	IJ 5702i	IJ 6901a	IJ 6901b	IJ 6901c		
SPUMELLARIA	<i>Gorgansium</i> sp. cf. <i>G. gongyloideum</i> Kishida and Hisada														+		
	<i>Pantanellium</i> sp. cf. <i>P. foveatum</i> Mizutani and Kido															+	
	<i>Pantanellium</i> sp. cf. <i>P. tanuense</i> Pessagno and Blome															+	
	<i>Pantanellium</i> spp.				+											+	
	<i>Pantanellium</i> ? spp.															+	
	<i>Archaeocenosphaera</i> sp.															+	
	<i>Archaeocenosphaera</i> ? spp.			+													
	<i>Emiluvia</i> sp.																+
	<i>Plafkerium</i> ? <i>antiquum</i> Sugiyama																+
	<i>Plafkerium</i> ? spp.																+
	<i>Paronaella</i> sp. cf. <i>P. notabilis</i> Whalen and Carter																+
	<i>Protopsium</i> spp.																+
	Pantanelliidae gen. et sp. indet.																+
	Spumellaria gen. et sp. indet.																+
ENTACTINARIA	<i>Thurstonia</i> sp.															+	
	<i>Entactinia</i> ? spp.															+	
	<i>Eptingium</i> sp. cf. <i>E. manfredi</i> Dumitriča															+	
	<i>Eptingium</i> ? sp.															+	
	<i>Cryptostephanidium japonicum</i> (Nakaseko and Nishinura)															+	
	<i>Cryptostephanidium</i> sp. cf. <i>C. longispinosum</i> (Sashida)															+	
	<i>Cryptostephanidium</i> spp.															+	
	<i>Hindeosphaera</i> sp. cf. <i>H. spinulosa</i> (Nakaseko and Nishimura)															+	
	<i>Pseudostylosphaera japonica</i> (Nakaseko and Nishimura)															+	
	<i>Pseudostylosphaera</i> sp. A sensu Sugiyama (1992)															+	
	<i>Pseudostylosphaera</i> spp.															+	
	<i>Mesosaturnalis</i> spp.															+	
	Entactinaria gen. et sp. indet.															+	
	NASSELLARIA	<i>Hozmadia rotunda</i> (Nakaseko and Nishimura)															+
<i>Hozmadia</i> sp. cf. <i>H. gifuensis</i> Sugiyama																+	
<i>Diceratigalea</i> sp.																+	
<i>Napora</i> spp.																+	
<i>Bulbocyrtium</i> sp. A sensu Sugiyama (1997)																+	
<i>Williriedellum</i> ? sp.																+	
<i>Praewilliriedellum</i> ? spp.																+	
<i>Praezhamoidellum yaoi</i> Kozur																+	
<i>Praezhamoidellum</i> sp. cf. <i>P. yaoi</i> Kozur																+	
<i>Praezhamoidellum</i> sp. cf. <i>P. convexa</i> (Yao)																+	
<i>Praezhamoidellum</i> ? spp.																+	
<i>Eucyrtidiellum unumaense</i> (Yao)																+	
<i>Eucyrtidiellum gunense</i> Cordey																+	
<i>Eucyrtidiellum</i> spp.																+	
<i>Triassocampe deweveri</i> (Nakaseko and Nishimura)																+	
<i>Triassocampe</i> sp. aff. <i>T. diordinisi</i> Bragin sensu Sugiyama (1992)																+	
<i>Triassocampe</i> sp.																+	
<i>Bagotum maudense</i> Pessagno and Whalen																+	
<i>Bagotum modestum</i> Pessagno and Whalen																+	
<i>Bagotum</i> sp.																+	
<i>Broctus ruesti</i> Yeh																+	
<i>Hsuum</i> spp.																+	
<i>Parahsuum</i> spp.																+	
<i>Praeparvicingula</i> ? sp.																+	
<i>Elodium</i> sp. cf. <i>E. pessagnoii</i> Yeh and Cheng															+		
<i>Katroma angusta</i> Yeh															+		
<i>Katroma brevitubus</i> Dumitrica and Goričan															+		
<i>Katroma</i> spp.															+		
<i>Teesium</i> ? sp.															+		
<i>Striatojaponocapsa plicarum</i> (Yao)															+		
<i>Corum</i> ? sp.															+		
<i>Stichomitra</i> spp.															+		
<i>Dictyomitrella</i> sp.															+		
<i>Lantus</i> sp. cf. <i>L. sixi</i> Yeh															+		
<i>Lantus</i> ? sp.															+		
Poulpidae gen. et sp. indet.															+		
Multisegmented Nassellaria gen. et sp. indet.															+		
Nassellaria gen. et sp. indet.															+		



**(8) Locality Ic-8 (Fig. 2d)****Location:** West of Okunono, Minamiechizen Town.

(lat. 35°48'19.4" N, long. 136°8'58.1" E)

**Sample number:** IJ 5503.**Lithology:** Thinly bedded pale-gray chert.**Fauna:** *Hindeosphaera* sp. cf. *H. spinulosa* (Nakaseko and Nishimura), *Triassocampe* sp. (Plate 3).**Age:** Probably early – late Anisian.**(9) Locality Ic-9 (Fig. 2d)****Location:** West of Yunō, Minamiechizen Town.

(lat. 35°47'41.7" N, long. 136°9'48.2" E)

**Sample number:** IJ 5702a.**Lithology:** Thinly bedded pale-gray chert.**Fauna:** *Plafkerium?* spp., *Cryptostephanidium* spp., *Pseudostylosphaera* spp., *Hozmadia rotunda* (Nakaseko and Nishimura), *Hozmadia* sp. cf. *H. gifuensis* Sugiyama (Plate 3).**Age:** Late Anisian.**Sample number:** IJ 5702b.**Lithology:** Thinly bedded pale-gray chert.**Fauna:** *Pantanellium* sp. cf. *P. foveatum* Mizutani and Kido, *Napora* spp., *Praezhamoidellum yaoi* Kozur, *Striatojaponocapsa plicarum* (Yao), *Dictyomitrella* sp. (Plate 4).**Age:** Bajocian.**Sample number:** IJ 5702i.**Lithology:** Thinly bedded light-gray chert.**Fauna:** *Gorgansium* sp. cf. *G. gongyloideum* Kishida and Hisada, *Pantanellium* sp. cf. *P. tanuense* Pessagno and Blome, *Pantanellium* spp., *Thurstonia* sp., *Mesosaturnalis* spp., *Diceratigalea* sp., *Eucyrtidiellum* sp., *Hsuum* sp., *Parahsuum* sp., *Elodium* sp. cf. *E. pessagnoii* Yeh and Cheng, *Katroma angusta* Yeh, *Katroma* spp., *Teesium?* sp. (Plate 4)**Age:** Late Pliensbachian – early Toarcian.**Locality Ic-10 (Fig. 2c)****Location:** South of Kōno, Minamiechizen Town.

(lat. 35°48'15.4" N, long. 136°6'28.5" E)

**Sample number:** IJ 6901a.**Lithology:** Thinly bedded reddish-brown chert.**Fauna:** *Pantanellium* sp., *Williriedellum?* sp., *Praezhamoidellum?* sp., *Bagotum* sp., *Parahsuum* spp., *Corum?* sp., *Stichomitra* spp. (Plate 5).**Age:** Probably early Sinemurian – early Toarcian.**Sample number:** IJ 6901b.**Lithology:** Thinly bedded reddish-brown chert.**Fauna:** *Pantanellium* sp., *Emiluvia* sp., *Paronaella* sp. cf. *P. notabilis* Whalen and Carter, *Praezhamoidellum* sp. cf. *P. convexa* (Yao), *Eucyrtidiellum gunense* Cordey, *Eucyrtidiellum* sp., *Bagotum maudense* Pessagno and Whalen, *Broctus ruesti* Yeh, *Parahsuum* sp., *Katroma brevitubus* Dumitrica and Goričan (Plate 5).**Age:** Early Pliensbachian – earliest Toarcian.Table 2 List of radiolarian genera and their biostratigraphic ranges from O'Dogherty *et al.* (2009).

Genus	Range
<i>Gorgansium</i>	upper Norian — upper Valanginian
<i>Pantanellium</i>	upper Carnian — lower Aptian
<i>Archaeocenosphaera</i>	middle Anisian — upper Campanian
<i>Emiluvia</i>	lower Sinemurian — upper Valanginian
<i>Plafkerium</i>	middle Anisian — upper Rhaetian
<i>Paronaella</i>	lower Rhaetian — upper Coniacian
<i>Protopsium</i>	upper Hettangian — lower Toarcian
<i>Thurstonia</i>	low Hettangian — lower Toarcian
<i>Entactinia</i>	upper Devonian — lower Olenekian
<i>Eptingium</i>	lower Anisian — upper Rhaetian
<i>Cryptostephanidium</i>	lower Anisian — upper Carnian
<i>Hindeosphaera</i>	middle Anisian — middle Norian
<i>Pseudostylosphaera</i>	upper Olenekian — lower Carnian
<i>Mesosaturnalis</i>	middle Norian — upper Coniacian
<i>Hozmadia</i>	upper Olenekian — upper Carnian
<i>Diceratigalea</i>	lower Pliensbachian — upper Aalenian
<i>Napora</i>	upper Sinemurian — lower Turonian
<i>Bulbocrytium</i>	upper Carnian — middle Norian
<i>Williriedellum</i>	upper Aalenian — lower Aptian
<i>Praewilliriedellum</i>	upper Aalenian — upper Barremian
<i>Praezhamoidellum</i>	upper Aalenian — upper Barremian
<i>Eucyrtidiellum</i>	lower Pliensbachian — upper Tithonian
<i>Triassocampe</i>	lower Anisian — lower Norian
<i>Bagotum</i>	lower Sinemurian — lower Toarcian
<i>Broctus</i>	upper Sinemurian — lower Toarcian
<i>Hsuum</i>	lower Pliensbachian — lower Cenomanian
<i>Parahsuum</i>	lower Hettangian — upper Kimmeridgian
<i>Praeparvicingula</i>	middle Toarcian — upper Barremian
<i>Elodium</i>	middle Toarcian — upper Aalenian
<i>Katroma</i>	lower Sinemurian — lower Toarcian
<i>Teesium</i>	upper Sinemurian
<i>Corum</i>	Ladinian — middle Norian
<i>Striatojaponocapsa</i>	lower Bajocian — upper Callovian
<i>Lantus</i>	lower Pliensbachian — lower Kimmeridgian

**Sample number:** IJ 6901c.**Lithology:** Thinly bedded reddish-brown chert.**Fauna:** *Praezhamoidellum* sp. cf. *P. yaoi* Kozur, *Bagotum modestum* Pessagno and Whalen, *Hsuum* sp. (Plate 5).**Age:** Early Pliensbachian – early Toarcian.**4. Age determination**

In order to determine the age of the radiolarian faunas extracted from the chert samples and described in this report, the zonation schemes proposed by Sugiyama (1992, 1997) for the Triassic, by Horii (1990) and Carter *et al.* (1998, 2010) for the Lower Jurassic, and by Baumgartner *et al.* (1995) and Matsuoka (1995) for the Middle Jurassic periods, are primarily applicable. The biostratigraphic ranges that were recently extensively analyzed by O'Dogherty *et al.* (2009) are used for the radiolarian genera listed in Table 2. In addition, the biostratigraphic ranges of the radiolarian species discussed below are mainly based on Yao (1984), Kozur (1984) and Yeh (1987), together with the above literatures.

Samples IJ1502g, IJ2202, IJ3205, IJ4001 and IJ5503 contain radiolarian faunas with very low diversity. Sample IJ2202 yields poorly-preserved *Archaeocenosphaera?* spp. and *Entactinia?* spp. The biostratigraphic ranges of each genus are middle Anisian – upper Campanian and upper Devonian – lower Olenekian, therefore probably implying that the age of this fauna is estimated to be an early Olenekian? – middle Anisian interval. Sample IJ5503 includes poorly-preserved specimens belonging to genera *Triassocampe*, which existed in a interval from the lower Anisian to the lower Norian. A comparable specimen with *Hindeosphaera spinulosa* (Nakaseko and Nishimura) indicating the lower – upper Anisian is also obtained. Therefore, the age of this sample probably coincides with an early – late Anisian interval. Radiolarian faunas from Samples IJ1502g, IJ3205 and IJ4001 are characterized by genera ranging from Anisian to Carnian or to Rhaetian; *Plafkerium?* spp., *Protopsium* spp. and *Cryptostephanidium* spp.

Sample IJ2901 contains *Plafkerium? antiquum* Sugiyama, *Cryptostephanidium japonicum* (Nakaseko and Nishimura) and *Pseudostylosphaera* sp. A sensu Sugiyama (1992), together with some species belonging to Triassic genera. Coexistence of the first three species is restricted to the interval from early to middle Anisian age (Sugiyama, 1992, 1997).

Samples IJ5502 and IJ5702a are estimated to be late Anisian age, based on the co-occurrence of *Pseudostylosphaera japonica* (Nakaseko and Nishimura), *Bulbocyrtium* sp. A sensu Sugiyama (1997), *Triassocampe deweveri* (Nakaseko and Nishimura) and *Triassocampe* sp. aff. *T. diordinis* Bragin sensu Sugiyama (1992) recognized in the former sample, and the occurrence of *Hozmadia rotunda* (Nakaseko and Nishimura) in the latter sample.

*Bagotum* sp. is the only a diagnostic radiolarian specimen in Sample IJ6901a, indicating that it is from an early Sinemurian – early Toarcian interval. *Bagotum modestum* Pessagno and Whalen in Sample IJ6901c and *Katroma angusta* Yeh in Sample IJ5702i are also diagnostic species, with their ages assigned to an early Pliensbachian – early Toarcian interval and a late Pliensbachian – early Toarcian interval, respectively.

Sample IJ6901b yielded *Eucyrtidiellum gunense* Cordey, *Bagotum maudense* Pessagno and Whalen, *Broctus ruesti* Yeh and *Katroma brevitubus* Dumitrica and Goričan, therefore indicating that age of this sample is constrained with these species which co-exist in an interval from early Pliensbachian to earliest Toarcian.

Sample IJ2703 contains *Eucyrtidiellum unumaense* (Yao) and numerous species belonging to Jurassic genera. *Eucyrtidiellum unumaense* (Yao) has a relatively longer age range extending from the lower Oxfordian to the lower Oxfordian. Among the other Jurassic species, *Parahsuum* spp. are poorly-preserved but the presence of short and inflated spindle-shaped test with simple square pore frames. These morphologic features indicate that they are probably correlated with *Parahsuum izeense* (Pessagno and Whalen), which ranges from before the

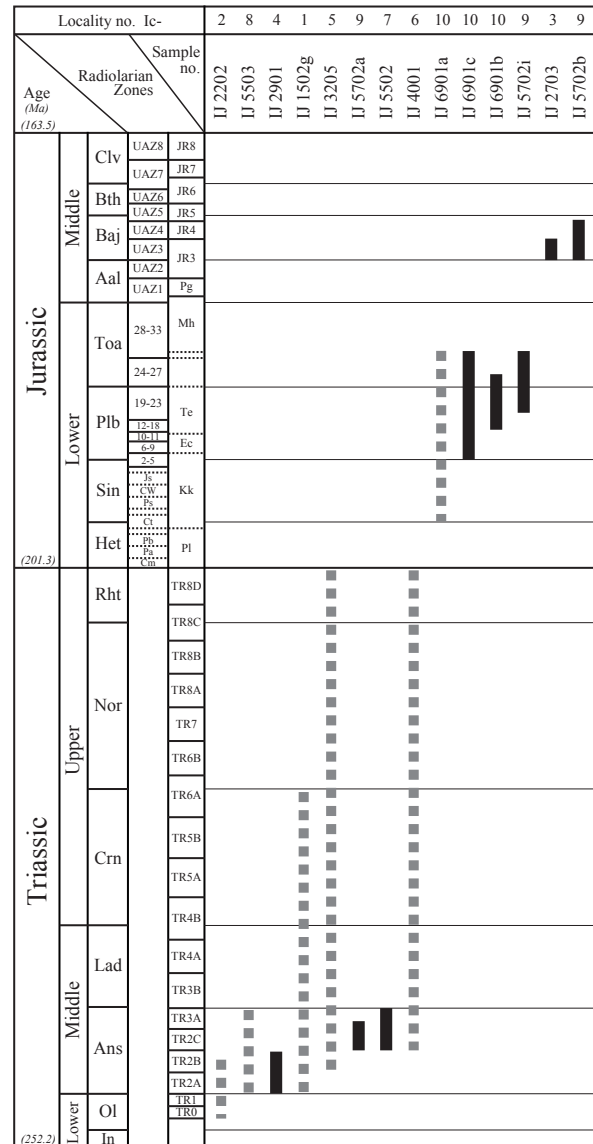


Fig. 3 Geologic age of each chert sample based on the detected radiolarians.

Radiolarian zonation schemes proposed by after-mentioned literatures are primarily adapted in this figure. These zones are arranged in ascending order: TR0 – TR8 for Triassic (Sugiyama, 1997); Pl, Kk, Ec, Te, Mh and Pg for Hettangian – lower Aalenian (Hori, 1990); Cm, Pa, Pb, Ct, Ps, CW, Js for Hettangian – Sinemurian (Carter *et al.*, 1998); 2 – 33 for uppermost Sinemurian – Toarcian (Carter *et al.*, 2010); JR3 – JR8 for Middle Jurassic (Matsuoka, 1995); UAZ1 – UAZ8 for Middle Jurassic (Baumgartner *et al.*, 1995). Abbreviations are as follows. Pl: *Parahsuum* aff. *longiconicum*, Kk: *Katroma kurusuensis*, Ec: *Eucyrtidium?* sp. C, Te: *Trillus elkhornensis*, Mh: *Mesosaturnalis hexagonus*, Pg: *Parahsuum? grande*, Cm: *Canoptum merum*, Pa: *Protokatroma aquila*, Pb: *Pantanellium browni*, Ct: *Crucella hettangica*, Ps: *Parahsuum simplum*, CW: *Canutus rockfishensis* and *Wrangellium thurstonense*, Js: *Jacus? sandspitensis*, UAZ: Unitary Association Zone.



middle Bajocian. On the basis of coexistence of the above two species, the age of this sample is estimated to be an interval of between early and late Bajocian.

*Praezhamoidellum yaoi* Kozur and *Striatojaponocapsa plicarum* (Yao) detected from Sample IJ5702b are diagnostic species of the Middle Jurassic period. *Praezhamoidellum yaoi* Kozur has a range that probably extends from the Aalenian to Bajocian ages. *Striatojaponocapsa plicarum* s.l. (Yao) has a slightly long range from the lower Bajocian to lower Oxfordian ages, and is divided into different morphological types with slightly different age ranges (Baumgartner, 1984; Baumgartner *et al.*, 1995). The examined specimens are included in a broad type (Baumgartner, 1984) or they may belong to *Striatojaponocapsa plicarum* ssp. A (Baumgartner *et al.*, 1995), in which case the age range of these specimens would extend from the upper Bajocian to lower Bathonian. Nevertheless, due to their poorly-preserved state, these specimens are treated as *Striatojaponocapsa plicarum* s.l. This consideration may suggest a Bajocian age.

## 5. Conclusion

Moderately- to poorly-preserved radiolarian faunas were extracted from 14 chert samples of 10 localities in the Imajō district, the Nanjō Mountains, Southwest Japan, and were examined to constrain the ages of the cherts. Based on the recent biostratigraphic data of the Triassic to Middle Jurassic radiolarians, the studied faunas contain a long range in age from the Olenekian? stage to the Bajocian stage (Fig. 3).

## 6. Systematic Paleontology

Descriptions of the radiolarian species examined in this report, mainly employed the taxonomic classification of De Wever *et al.* (2001) and O'Dogherty *et al.* (2009).

Subclass **RADIOLARIA** Müller 1858

Order **SPUMELLARIA** Ehrenberg 1875, *emend.* De Wever, Dumitrica, Caulet, Nigrini and Caridroit 2001

Family **Pantanelliidae** Pessagno 1977b

Genus **Gorgansium** Pessagno and Blome 1980

Type species *Gorgansium siviense* Pessagno and Blome 1980

**Gorgansium sp. cf. G. gongyloideum** Kishida and Hisada 1985

(Plate 4, fig. 13)

*Remarks:* The specimen is characterized by having a spherical cortical shell with hexagonal pore frames and lacking well-developed nodes at vertices. Two spines are nearly equal in length, whereas the third spine is slightly longer. It may be assignable to *Gorgansium gongyloideum* Kishida and Hisada, but is partly broken due to poor preservation.

Genus **Pantanellium** Pessagno 1977a

Type species *Pantanellium riedeli* Pessagno 1977a

**Pantanellium sp. cf. P. foveatum** Mizutani and Kido 1983 (Plate 4, figs. 1-2)

*Remarks:* The specimen is similar to *Pantanellium foveatum* Mizutani and Kido, but differs slightly from it by having an elongated cortical shell.

**Pantanellium sp. cf. P. tanuense** Pessagno and Blome 1980

(Plate 4, fig. 10)

*Remarks:* The specimen is poorly preserved but is morphologically similar to *Pantanellium tanuense* Pessagno and Blome by having a spherical cortical shell with small nodes at vertices.

**Pantanellium spp.**

(Plate 1, fig. 21; Plate 4, figs. 11-12; Plate 5, figs. 1, 11)

*Remarks:* Four of the obtained specimens lack one of the bipolar spines, and cortical shell of the remaining specimen is partially broken. However, they are identical with species of *Pantanellium* on the basis of the spherical cortical shell that is composed of massive polygonal pore frames having nodes at vertices.

**Pantanellium? spp.**

(Plate 2, figs. 3-4)

*Remarks:* The obtained specimens are similar to genus *Pantanellium* in general shape, but their surface structures are indistinct.

Family **Xiphostylidae** Haeckel 1881, *emend.* De Wever, Dumitrica, Caulet, Nigrini and Caridroit 2001

Genus **Archaeocenosphaera** Pessagno and Yang *in* Pessagno, Six and Yang 1989

Type species *Archaeocenosphaera ruesti* Pessagno and Yang *in* Pessagno, Six and Yang 1989

**Archaeocenosphaera sp.**

(Plate 2, fig. 1)

*Remarks:* Spherical cortical shell of the figured specimen consists of two fused latticed layers with symmetrical polygonal pore frames.

**Archaeocenosphaera? spp.**

(Plate 1, figs. 7-8)

*Remarks:* The obtained specimens are similar to genus *Archaeocenosphaera* in general shape, but their surface structure is indistinct.

Family **Emiluvidae** Dumitrica 1995

Genus **Emiluvia** Foreman 1973

Type species *Emiluvia chica* Foreman 1973

**Emiluvia sp.**

(Plate 5, fig. 12)

*Remarks:* A poorly-preserved specimen was obtained. It is similar to genus *Emiluvia* in possessing a modified rectangular shell with four spines, two of which are broken.

Genus *Plafkerium* Pessagno in Pessagno, Finch and Abbott 1979

Type species *Plafkerium abbotti* Pessagno in Pessagno, Finch and Abbott 1979

*Plafkerium? antiquum* Sugiyama 1992

(Plate 2, fig. 12)

1980 *Staurosphaera?* sp. B – Yao, Matsuda and Isozaki, plate 1, fig. 6.

1982 *Staurodoras?* sp. – Mizutani and Koike, plate 4, fig. 5.

1992 *Plafkerium? antiquum* Sugiyama – Sugiyama, p.1219, figs. 18-4, 18-5, 18-6.

*Remarks:* The specimen resembles *Plafkerium? antiquum* Sugiyama in having the four long coplanar spines which are three-bladed proximally, but needle-like distally. It differs from other species of *Plafkerium* by having non-twisted spines.

*Range:* Upper Spathian – middle Anisian (Sugiyama, 1992).

*Plafkerium? spp.*

(Plate 2, figs. 10-11, 27; Plate 3, figs. 26-27)

*Remarks:* Cortical shell of the obtained specimens is slightly spherical rather than square in shape. Four triradiate spines, some of which are broken, extend from each corner of the shell.

Family **Angulobracchiidae** Baumgartner 1980, *emend.* De Wever, Dumitrica, Caulet, Nigrini and Caridroit 2001

Genus *Paronaella* Pessagno 1971

Type species *Paronaella solanoensis* Pessagno 1971

*Paronaella* sp. cf. *P. notabilis* Whalen and Carter 2002

(Plate 5, fig. 13)

*Remarks:* This specimen is closely related to *Paronaella notabilis* Whalen and Carter by having three stout rays with irregularly shaped tetragonal or pentagonal pore frames, although the tips of its rays are broken.

Family **Archaeospongoprunidae** Pessagno 1973

Genus *Protopsium* Pessagno and Poisson 1981

Type species *Protopsium ehrenbergi* Pessagno and Poisson 1981

*Protopsium* spp.

(Plate 1, figs. 5-6; Plate 2, figs. 7, 23-25)

*Remarks:* Although lacking patagium-like mass, the examined specimens are similar to genus *Protopsium* in general shape.

Order **ENTACTINARIA** Kozur and Mostler 1982

Family **Entactiniidae** Riedel 1967

Genus *Thurstonia* Whalen and Carter 1998

Type species *Thurstonia minutaglobus* Whalen and Carter 1998

*Thurstonia* sp.

(Plate 4, fig. 15)

*Remarks:* The figured specimen possesses a spherical shell and six spines; two spines are bipolar, and four spines are arranged at right angles in radial plane. The cortical shell consists of polygonal pore frames with nodes at the vertices. These appearances are similar to those of genus *Thurstonia*.

Genus *Entactinia* Foreman 1963

Type species *Entactinia herculea* Foreman 1963

*Entactinia? spp.*

(Plate 1, figs. 10-20)

*Remarks:* Some poorly-preserved specimens were examined. They have a subspherical shell in lateral view and main spines.

Family **Eptingiidae** Dumitrică 1978

Genus *Eptingium* Dumitrică 1978

Type species *Eptingium manfredi* Dumitrică 1978

*Eptingium* sp. cf. *E. manfredi* Dumitrică 1978

(Plate 3, fig. 4)

*Remarks:* This specimen, damaged and broken, is similar to *Eptingium manfredi* Dumitrică in overall shape, but different slightly by having stout and twisted rays.

*Eptingium? sp.*

(Plate 2, fig. 15)

*Remarks:* This specimen is intensely damaged and one of the horns lacks due to poor preservation.

Genus *Cryptostephanidium* Dumitrică 1978

Type species *Cryptostephanidium cornigerum* Dumitrică 1978

*Cryptostephanidium japonicum* (Nakaseko and Nishimura) 1979

(Plate 2, fig. 9)

1979 *Trilonche japonica*, n. sp. – Nakaseko and Nishimura, p.72, plate 4, figs. 8, 10.

1990 *Cryptostephanidium japonicum* (Nakaseko and Nishimura) – Yeh, p.22, plate 4, fig. 10; plate 5, figs.1, 2, 7; plate 10, fig. 11; plate 11, fig. 18.

1995 *Cryptostephanidium japonicum* (Nakaseko and Nishimura) – Ramovš and Goričan, p.184, plate 5, fig. 1.

1996 *Cryptostephanidium japonicum* (Nakaseko and



Nishimura) – Kozur, Krainer and Mostler, p.207-208, plate 6, figs. 1-3.

*Remarks:* This specimen is characterized by having a spherical shell with high and strong nodes on the vertices of pore frames and by spines, one of which is broken, that are cylindrical in cross section.

*Range:* Upper Spathian – lowermost Ladinian (Sugiyama, 1997).

***Cryptostephanidium* sp. cf. *C. longispinosum*** (Sashida) 1991

(Plate 2, fig. 8)

*Remarks:* This specimen is characterized by having a spherical shell with short and irregular nodes at the vertices of pore frames. But it differs from *Cryptostephanidium longispinosum* (Sashida) by having slightly longer rod-like spines.

***Cryptostephanidium* spp.**

(Plate 1, figs. 1-2; Plate 3, figs. 5-8, figs. 23-25)

*Remarks:* The illustrated specimens are similar to species of genus *Cryptostephanidium* in having a globular cephalis with three horns, one of which lacks due to poor preservation.

Family **Hindeosphaeridae** Kozur and Mostler 1981

Genus ***Hindeosphaera*** Kozur and Mostler 1979

Type species *Hindeosphaera foremanae* Kozur and Mostler 1979

***Hindeosphaera* sp. cf. *H. spinulosa*** (Nakaseko and Nishimura) 1979

(Plate 3, fig. 18)

*Remarks:* The examined specimen is characterized by having a slightly ellipsoidal shell and polar spines which are quite different in length. The irregularly spongy meshwork which is characteristic of *Hindeosphaera spinulosa* (Nakaseko and Nishimura) and is constructed by polygonal pore frames, is obscure in this specimen, due to poor preservation.

Genus ***Pseudostylosphaera*** Kozur and Mostler 1981

Type species *Pseudostylosphaera gracilis* Kozur and Mostler 1981

***Pseudostylosphaera japonica*** (Nakaseko and Nishimura) 1979

(Plate 3, fig. 1)

1979 *Archaeospongoprimum japonica* n. sp. – Nakaseko and Nishimura, p.67-68, plate 1, figs. 2, 4, 9.

1986 *Pseudostylosphaera japonica* (Nakaseko and Nishimura) – Blome, Jones, Murchey and Liniecki, plate 8, figs. 1, 2.

1990 *Pseudostylosphaera japonica* (Nakaseko and Nishimura) – Yeh, p.15, plate 4, figs. 5-7.

*Remarks:* The illustrated specimen is characterized by

having an ellipsoidal shell with two polar spines which are equal in length. The spines are moderately long, massive and three-bladed in axial section.

*Range:* Middle Anisian – lower Carnian (Sugiyama, 1997).

***Pseudostylosphaera* sp. A** sensu Sugiyama 1992

(Plate 2, fig. 6)

1992 *Pseudostylosphaera* sp. A – Sugiyama, p.1209, figs. 14-1, 14-2.

1997 *Pseudostylosphaera* sp. A – Sugiyama, p.168, fig. 46-8.

*Remarks:* Although poorly preserved, the illustrated specimen is characterized by having three-bladed polar spines which are obliquely directed.

*Range:* Lower Anisian – Middle Anisian (Sugiyama, 1997).

***Pseudostylosphaera* spp.**

(Plate 2, fig. 5; Plate 3, figs. 2-3, 19-22)

*Remarks:* The obtained specimens, some of which are poorly-preserved, resemble *Pseudostylosphaera* in general shape.

Family **Saturnalidae** Deflandre 1953, *emend.* Kozur and Mostler, 1972

Genus ***Mesosaturnalis*** Kozur and Mostler 1981

Type species *Palaeosaturnalis levis* Donofrio and Mostler 1978

***Mesosaturnalis* spp.**

(Plate 4, figs. 20-23)

*Remarks:* On the basis of their general characters, the illustrated specimens are identical with genus *Mesosaturnalis*.

Order **NASSELLARIA** Ehrenberg 1875

Family **Poulpidae** De Wever 1981

Genus ***Hozmadia*** Dumitrică, Kozur and Mostler 1980

Type species *Hozmadia reticulata* Dumitrică, Kozur and Mostler 1980

***Hozmadia rotunda*** (Nakaseko and Nishimura) 1979

(Plate 3, fig. 31)

1979 *Tripilidium rotundum* n. sp. – Nakaseko and Nishimura, p.81-82, plate 8, figs. 1-3.

1994 *Hozmadia rotunda* (Nakaseko and Nishimura) – Kozur and Mostler, p.116, plate 29, figs. 3, 4, 7.

*Remarks:* The shell of this specimen is spherical with large hexagonal or pentagonal pore frames. Its apical horn is slightly shorter. Although the three feet are broken, this specimen belongs to *Hozmadia rotunda* (Nakaseko and Nishimura).

*Range:* Upper Anisian (Sugiyama, 1997).

***Hozmadia* sp. cf. *H. gifuensis*** Sugiyama 1992

(Plate 3, figs. 29-30)

*Remarks:* The cephalic shell of the illustrated specimen is constricted at its base as with *Hozmadia gifuensis* Sugiyama, but its apical spine is not stout.

Family **Foremanellinidae** Dumitrica 1982

Genus ***Diceratigalea*** Takemura and Nakaseko 1982

Type species *Diceratigalea hemisphaera* Takemura and Nakaseko 1982

***Diceratigalea* sp.**

(Plate 4, fig. 19)

*Remarks:* The poorly-preserved specimen possesses two apical spines and four feet, one of which is broken. This appearance is coincides with the diagnostic features of genus *Diceratigalea*.

Family **Ultranaporidae** Pessagno 1977b

Genus ***Napora*** Pessagno 1977a

Type species *Napora bukryi* Pessagno 1977a

***Napora* spp.**

(Plate 4, figs. 3-4)

*Remarks:* The poorly-preserved specimens are composed of a two-segmented test with a conical cephalis and a large thorax, and are similar to genus *Nopora* in possessing a massive apical horn and three slightly curved feet, one of which is broken, at the base.

Family **Bulbocyrtiidae** Kozur and Mostler 1981

Genus ***Bulbocyrtium*** Kozur and Mostler 1981

Type species *Bulbocyrtium reticulatum* Kozur and Mostler 1981

***Bulbocyrtium* sp. A** sensu Sugiyama 1997

(Plate 3, fig. 10)

1990 *Yeharaia?* sp. A – Yeh, p.30, plate 7, fig.13; plate 9, figs.13,18.

1997 *Bulbocyrtium* sp. A – Sugiyama, p.147, fig.37-11.

*Remarks:* This specimen is characterized by having a large balloon-like cephalis with a stout apical horn, thus indicating that it can be correlated with *Bulbocyrtium* sp. A sensu Sugiyama.

*Range:* Middle Anisian – lower Ladinian (Sugiyama, 1997).

Family **Williriedellidae** Dumitrică 1970

Genus ***Williriedellum*** Dumitrică 1970

Type species *Williriedellum crystallinum* Dumitrică 1970

***Williriedellum?* sp.**

(Plate 5, fig. 2)

*Remarks:* The obtained specimen is similar to genus

*Williriedellum* in general form, but its constricted aperture does not appear clearly.

Genus ***Praewilliriedellum*** Kozur 1984

Type species *Praewilliriedellum cephalospinosum* Kozur 1984

***Praewilliriedellum?* spp.**

(Plate 1, figs. 24-25)

*Remarks:* The specimens are similar to genus *Praewilliriedellum* in general form, but internal structures of their cephalothorax are indistinct.

Genus ***Praezhamoidellum*** Kozur 1984

Type species *Praezhamoidellum yaoi* Kozur 1984

*Remarks:* O'Dogherty *et al.* (2009) have considered that *Praezhamoidellum* Kozur is a synonym of *Hemicryptocapsa* Tan. However, they differ from each other by the thoracic structure; thorax of the former genus is not depressed into the abdominal cavity (Kozur, 1984), whereas that of the latter is partly to almost completely depressed (Dumitrică, 1970).

***Praezhamoidellum yaoi*** Kozur 1984

(Plate 4, fig. 5)

1973 “*Hemicryptocapsa*” sp. – Ichikawa and Yao, plate 4, fig. 7.

1979 *Tricolocapsa* sp. cf. *T. rüsti* Tan – Yao, p.30-31, plate 3, figs. 8-20.

1984 *Praezhamoidellum yaoi* n. sp. – Kozur, p.53-54, plate 3, fig. 3.

*Remarks:* This specimen is composed of a spherical cephalis, truncated conical thorax and globose abdomen. The entire shell surface has a large hexagonal frame with narrow ridges, in the center of which there is a small circular pore.

*Range:* Upper Aalenian? – lower Bajocian? (Yao, 1984).

***Praezhamoidellum* sp. cf. *P. yaoi*** Kozur 1984

(Plate 5, fig. 23)

*Remarks:* The examined specimen is poorly-preserved, but similar to *Praewilliriedellum yaoi* Kozur in general form and in having hexagonal pore frames on the surface of abdomen.

***Praezhamoidellum* sp. cf. *P. convexa*** (Yao) 1979

(Plate 5, fig. 22)

*Remarks:* The illustrated specimen is similar to *Praezhamoidellum convexa* (Yao) by having a test consisting of four segments, especially by having a poreless cephalis. It, however, differs from the latter by possessing larger pores on the surface of its fourth segment.

***Praezhamoidellum?* spp.**

(Plate 1, fig. 26; Plate 5, fig. 3)

*Remarks:* It is difficult to identify the examined specimens due to their poor preservation. However, they are slightly



similar to genus *Praezhamoidellum* in general form and in having a cephalothorax that is weakly depressed into the abdominal cavity.

Family **Eucyrtidiellidae** Takemura 1986

Genus ***Eucyrtidiellum*** Baumgartner 1984

Type species *Eucyrtidium? unumaensis* Yao 1979

***Eucyrtidiellum unumaense*** (Yao) 1979

(Plate 1, fig. 27)

1979 *Eucyrtidium? unumaensis* n. sp. – Yao, p.39, plate 9, figs. 1-11.

1984 *Eucyrtidiellum unumaensis* (Yao) – Baumgartner, p.765, plate 4, fig. 6.

1987 *Eucyrtidiellum unumaense* (Yao) – Nagai, plate 2, figs. 1a, 1b, 1c.

1990a *Eucyrtidiellum unumaense* (Yao) – Nagai, p.597, figs. 4-6, 4-7.

*Remarks:* The cephalis is somewhat broken and an apical horn is lacked. Hexagonal meshwork is preserved on the surface of the thorax. The abdomen is relatively large and inflated-hemispherical in shape with poreless and smooth surface. Circular pores are arranged in transverse row at the base of the abdomen.

*Range:* Lower Bajocian – lower Oxfordian (Baumgartner *et al.*, 1995).

***Eucyrtidiellum gunense*** Cordey 1998

(Plate 5, fig. 14)

1986 *Eucyrtidiellum* sp. C group – Nagai, p.12, plate 2, fig. 10.

1990b *Eucyrtidiellum* sp. C<sub>3</sub> – Nagai, plate 4, figs. 2-3.

1998 *Eucyrtidiellum gunense* n. sp. – Cordey, p.109, plate 25, figs. 8-9.

*Remarks:* This specimen is characterized by having a cylindrical cephalis with a stout and longer apical horn. The wide abdomen possesses pores with thick hexagonal pore frames. The fourth segment is lacked.

*Range:* Lower Pliensbachian – middle Toarcian (Carter *et al.*, 2010).

***Eucyrtidiellum* spp.**

(Plate 4, fig. 24; Plate 5, fig. 15)

*Remarks:* The examined specimens are poorly-preserved, but similar to genus *Eucyrtidiellum* in general form and in having a very inflated abdomen.

Family **Ruesticyrtiidae** Kozur and Mostler 1979

Genus ***Triassocampe*** Dumitrică, Kozur and Mostler 1980

Type species *Triassocampe scalaris* Dumitrică, Kozur and Mostler 1980

***Triassocampe deweveri*** (Nakaseko and Nishimura) 1979  
(Plate 3, figs. 12-13)

1979 *Dictyomitrella deweveri* n. sp. – Nakaseko and Nishimura, p.77, plate 10, figs. 8-9.

1982 *Triassocampe deweveri* (Nakaseko and Nishimura) – Yao, plate 1, figs. 1-3.

1994 *Triassocampe deweveri* (Nakaseko and Nishimura) – Kozur and Mostler, p.140-141, plate 45, fig. 6.

*Remarks:* The illustrated specimens are not well preserved, but have characteristic features of *Triassocampe deweveri* (Nakaseko and Nishimura); the cephalis is dome-shaped and imperforate, and post-cephalic segments increase slightly in width toward the distal end. On the surface of the segments, a single row of small knob-like protrusions is circumferentially arranged between well-developed circumferential ridges.

*Range:* Upper Anisian – upper Ladinian (Sugiyama, 1997).

***Triassocampe* sp. aff. *T. diordinis*** Bragin 1991 sensu Sugiyama 1992

(Plate 3, fig. 11)

*Remarks:* The illustrated specimen resembles *Triassocampe* sp. aff. *T. diordinis* Bragin of Sugiyama (1992) in overall form, which is characterized by poorly developed circumferential ridges.

*Range:* Middle Anisian (Sugiyama 1992).

***Triassocampe* sp.**

(Plate 3, fig. 14)

*Remarks:* The obtained specimen belongs to genus *Triassocampe* on the basis of its well-developed circumferential ridges on the long subcylindrical test.

Family **Bagotidae** Pessagno and Whalen 1982

Genus ***Bagotum*** Pessagno and Whalen 1982

Type species *Bagotum maudense* Pessagno and Whalen 1982

***Bagotum maudense*** Pessagno and Whalen 1982

(Plate 5, figs. 16-17)

1982 *Bagotum maudense* n. sp. – Pessagno and Whalen, p.118-120, plate 3, figs. 6, 11, 20.

1997 *Bagotum maudense* Pessagno and Whalen – Yao, plate 13, fig. 637.

2001 *Bagotum maudense* Pessagno and Whalen – Gawlick, Suzuki and Missoni, plate 5, fig. 8.

*Remarks:* The illustrated specimens resemble *Bagotum maudense* Pessagno and Whalen in possessing an elongated, slender and less inflated test. Cephalis and thorax with irregular tetragonal or pentagonal pore frames, and remaining segments with linearly arranged square to rectangular pore frames.

*Range:* Lower Pliensbachian – lower Toarcian (Carter *et al.*, 2010).

***Bagotum modestum*** Pessagno and Whalen 1982

(Plate 5, fig. 24)

1982 *Bagotum modestum* n. sp. – Pessagno and Whalen, p.120, plate 3, figs. 7, 16, 17.

- 2002 *Bagotum modestum* Pessagno and Whalen – Whalen and Carter, p.116, plate 10, figs. 9, 11, 12.  
2003 *Bagotum modestum* Pessagno and Whalen – Goričan, Šmuca and Baumgartner, p.296, plate 5, fig. 22.  
2004 *Bagotum modestum* Pessagno and Whalen – Matsuoka, fig. 193.

*Remarks:* This specimen resembles *Bagotum modestum* Pessagno and Whalen in overall shape, possessing a broader test. Square to rectangular pore frames on the post-abdominal segments are linearly arranged.

*Range:* Lower Pliensbachian – lower Toarcian (Carter *et al.*, 2010).

***Bagotum* sp.**

(Plate 5, fig. 4)

*Remarks:* The obtained specimen consists of an ellipsoidal test possessing a final post-abdominal segment terminating in a dome-shaped cap. Then, it belongs to genus *Bagotum*.

Genus ***Broctus*** Pessagno and Whalen 1982

Type species *Broctus selwynensis* Pessagno and Whalen 1982

***Broctus ruesti*** Yeh 1987

(Plate 5, figs. 18-19)

- 1987 *Broctus ruesti* n. sp. – Yeh, p.54, plate 4, figs. 1-3, 7, 21.  
2004 *Broctus ruesti* Yeh – Ziabrev, Aitchison, Abrajevitch, Badengzhu, Davis and Luo, figs. 5-9.

*Remarks:* This specimen is characterized by possessing a spindle-like test. Massive costae and thin transverse bars on the thorax and subsequent segments form rectangular pore frames.

*Range:* Lower Pliensbachian – lowermost Toarcian (Carter *et al.*, 2010).

Family ***Hsuidae*** Pessagno and Whalen 1982

Genus ***Hsuum*** Pessagno 1977a, *emend.* Takemura 1986

Type species *Hsuum cuestaensis* Pessagno 1977a

***Hsuum* spp.**

(Plate 4, fig. 27; Plate 5, fig. 26)

*Remarks:* The obtained specimens consist of a long conical and multi-segmented test that is covered by weakly developed longitudinal costae.

Genus ***Parahsuum*** Yao 1982

Type species *Parahsuum simplicum* Yao 1982

***Parahsuum* spp.**

(Plate 1, figs. 30-34; Plate 4, fig. 25; Plate 5, figs. 8-9, 20)

*Remarks:* Some morphotypes are recognized among the obtained specimens, but they are characterized by pores on the test that are arranged in both longitudinal and lateral lines.

Family ***Parvicingulidae*** Pessagno 1977a

Genus ***Praeparvicingula*** Pessagno, Blome and Hull *in* Pessagno, Blome, Hull and Six 1993

Type species *Parvicingula profunda* Pessagno and Whalen 1982

***Praeparvicingula?* sp.**

(Plate 1, fig. 36)

*Remarks:* The obtained specimen is characterized by two or three rows of pores that are laterally arranged between thick circumferential ridges. However, it is unclear that this specimen belongs to genus *Praeparvicingula*.

Genus ***Elodium*** Carter *in* Carter, Whalen and Guex 1998

Type species *Elodium cameroni* Carter *in* Carter, Whalen and Guex 1998

***Elodium* sp. cf. *E. pessagno*** Yeh and Cheng 1996

(Plate 4, fig. 26)

*Remarks:* This specimen is broken and poorly preserved, but is similar to *Elodium pessagno* Yeh and Cheng in general form and in having a conical test with a massive apical horn.

Family ***Syringocapsidae*** Foreman 1973

Genus ***Katroma*** Pessagno and Poinsson 1981, *emend.* De Wever 1982, *emend.* Whalen and Carter 1998

Type species *Katroma neagui* Pessagno and Poinsson 1981

***Katroma angusta*** Yeh 1987

(Plate 4, fig. 28)

- 1987 *Katroma angusta* n. sp. – Yeh, p.79, plate 23, fig. 8; plate 30, fig. 10.  
2002 *Katroma angusta* Yeh – Whalen and Carter, p.134, plate 14, figs. 1-3, 9-10; plate 18, figs. 7-8.

*Remarks:* Although the apical horn and tubular extension are partly broken, this specimen resembles *Katroma angusta* Yeh in having an inflated post-abdominal chamber.  
*Range:* Upper Pliensbachian – lower Toarcian (Yeh, 1987).

***Katroma brevitubus*** Dumitrica and Goričan *in* Goričan *et al.* 2006

(Plate 5, fig. 21)

- 1982 *Syringocapsa* sp. B – Yao, plate 4, figs.14-15.  
1990 *Syringocapsa* sp. B – Hori, plate 8, fig.11.  
1998 *Katroma megasphaera* n. sp. – Yeh and Cheng, p.28-29, plate 7, figs. 9, 20.  
2006 *Katroma brevitubus* n. sp. – Goričan *et al.*, p.220, plate KAT12, figs. 1-9.

*Remarks:* This specimen resembles *Katroma brevitubus* Dumitrica and Goričan in having an inflated spherical abdomen and a short tubular extension.

*Range:* Lower Pliensbachian – lowermost Toarcian (Carter *et al.*, 2010).

**Katroma spp.**

(Plate 4, figs. 29-30)

*Remarks:* The examined specimens are comprised of four segmented test. Post-abdominal segment is subspherical in shape and terminates in cylindrical tubular extension. This appearance is characteristic features of genus *Katroma*.

Genus *Teesium* Whalen and Carter 1998

Type species *Teesium insignitum* Whalen and Carter 1998

**Teesium? sp.**

(Plate 4, fig. 16)

*Remarks:* Genus *Teesium* consists of a test with cephalis, thorax and large inflated abdomen: one prominent cylindrical horn and two cylindrical arms are attached to top of cephalis and base of abdomen, respectively (Whalen and Carter, 1998). This form is similar to that of the obtained specimen, but pore frame structure of the specimen is unclear.

Genus *Striatojaponocapsa* Kozur 1984

Type species *Tricolocapsa plicarum* Yao 1979

**Striatojaponocapsa plicarum** (Yao 1979)

(Plate 4, figs. 6-7)

1979 *Tricolocapsa plicarum* n. sp. – Yao, p.32-33, plate 4, figs. 1-11.

1983 *Tricolocapsa plicarum* (Yao) – Matsuoka, p.20, plate 3, figs. 1-2.

1984 *Tricolocapsa plicarum* (Yao) – Baumgartner, p.790, plate 10, figs. 6-7.

1984 *Striatojaponocapsa plicarum* (Yao) – Kozur, plate 7, fig. 3.

1997 *Striatojaponocapsa plicarum plicarum* (Yao) – Hull, p168. plate 37, figs. 6, 9.

*Remarks:* Two morphotypes, broadly spindle-shaped and slenderly spindle-shaped, are included in this species (Baumgartner, 1984). The obtained specimens are grouped into the broad type which has longitudinal plicae. 16-18 plicae are visible in lateral view. A dish-like basal appendage of each of the specimens is broken. Baumgartner *et al.* (1995) distinguished this type as *Striatojaponocapsa plicarum* ssp. A, which possesses a circular depression near aperture, but the depression is indistinct on the obtained specimen.

*Range:* Upper Bajocian – lower Bathonian (Baumgartner *et al.*, 1995).

Family **Pseudodictyomitridae** Pessagno 1977b

Genus *Corum* Blome 1984

Type species *Corum speciosum* Blome 1984

**Corum? sp.**

(Plate 5, fig. 5)

*Remarks:* A poorly-preserved specimen was obtained and resembles genus *Corum* in having discontinuous costae on the surface of abdomen and post-abdominal segments,

but one row of primary pores at the end of the costae are indistinct.

Family **Eucyrtidiidae** Ehrenberg 1847

Genus *Stichomitra* Cayeux 1897

Type species *Stichomitra bertrandi* Cayeux 1897

**Stichomitra spp.**

(Plate 5, figs. 6-7)

*Remarks:* The examined specimens consist of a multi-segmented test. Cephalis without apical horn distinctively tends to be knob-like. Polygonal pore frames cover almost all portion of test. This appearance is characteristic features of genus *Stichomitra*.

**NASELLARIA** *Incertae sedis*

Genus *Dictyomitrella* Haeckel 1887

Type species *Eucyrtidium articulatum* Ehrenberg 1875

**Dictyomitrella sp.**

(Plate 4, fig. 8)

*Remarks:* The illustrated specimen is composed of a conical multi-segmented test which has circumferential ridges with each one row of pores below and above. On the basis of this appearance, this specimen is assigned to genus *Dictyomitrella*.

Genus *Lantus* Yeh 1987

Type species *Lantus sixi* Yeh 1987

**Lantus sp. cf. L. sixi** Yeh 1987

(Plate 1, fig. 28)

*Remarks:* Although poorly preserved, the obtained specimen is similar to *Lantus sixi* Yeh in overall shape. However, it differs slightly from the type species by having less developed strictures between post-abdominal chambers.

**Lantus? sp.**

(Plate 1, fig. 29)

*Remarks:* The examined specimen is similar to genus *Lantus* in having a final post-abdominal segment which is closed with an ellipsoidal cap, but is slightly different from it in overall form.

**Acknowledgements:** This report is based on results of the study “Geology of the Imajō and Takenami district” which has been conducted by the Geological Survey of Japan, AIST. Thanks are extended to Dr. M. Saito (GSJ) for his comments regarding the radiolarian identification. Associate Prof. Y. Kamata (University of Tsukuba) is gratefully acknowledged for thorough review of the manuscript.



## References

- Baumgartner, P.O. (1980) Late Jurassic Hagiastriidae and Patulibracchiidae (Radiolaria) from the Argolis Peninsula (Peleponnesus, Greece). *Micropaleontology*, **26**, 274-322.
- Baumgartner, P.O. (1984) A Middle Jurassic–Early Cretaceous low-latitude radiolarian zonation based on Unitary Associations and age of Tethyan radiolarites. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, **77**, 729-837.
- Baumgartner, P.O., Bartolini, A., Carter, E.S., Conti, M., Cortese, G., Danelian, T., De Wever, P., Dumitrica, P., Dumitrica-Jud, R., Gorican, S., Guex, J., Hull, D.M., Kito, N., Marcucci, M., Matsuoka, A., Murchey, B., O'Dogherty, L., Savary, J., Vishnevskaya, V., Widz, D. and Yao, A. (1995) Middle Jurassic to Early Cretaceous radiolarian biochronology of Tethys based on Unitary Association. In Baumgartner, P. O., O'Dogherty, L., Gorican, S., Urquhart, E., Pillecuit, A. and De Wever, P. eds., *Middle Jurassic to Early Cretaceous Radiolaria of Tethys: occurrence, systematics, biochronology. Mémoires de Géologie (Lausanne)*, no.23, Lausanne, Switzerland, 1013-1048.
- Blome, C.D. (1984) Upper Triassic Radiolaria and radiolarian zonation from western North America. *Bull. American Paleontology*, **85**, 5-88.
- Blome, C., Jones, D., Murchey, B.L. and Liniecki, M. (1986) Geologic implications of radiolarian-bearing Paleozoic and Mesozoic rocks from the Blue Mountains Province, eastern Oregon. *US Geol. Surv., Professional Paper*, no.1435, 79-93.
- Bragin, N.Ju. (1991) Radioljarii i nižne-mezozojskie tolšči vostoka SSSR (Radiolaria of Lower Mesozoic units of the USSR, east regions). *Doklady Akademii Nauk SSSR Trans. Acad. Sci. USSR*, **469**, 1-122. (in Russian with English summary)
- Carter, E.S., Whalen, P.A. and Guex, J. (1998) Biochronology and paleontology of Lower Jurassic (Hettangian and Sinemurian) radiolarians, Queen Charlotte Islands, British Columbia. *Geol. Surv. Canada Bull.*, no.496, 1-162.
- Carter, E.S., Goričan, Š., Guex, J., O'Dogherty, L., De Wever, P., Dumitrica, P., Hori, R.S., Matsuoka, A. and Whalen, P.A. (2010) Global radiolarian zonation for the Pliensbachian, Toarcian and Aalenian. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **297**, 401-419.
- Cayeux, L. (1897) Contribution à l'étude micrographique des terrains sédimentaires. 1. Étude de quelques depots siliceux secondaires et terriaires du Bassin de Paris et de la Belgique. 2. Craie de Bassin de Paris. *Mémoires de la Société Géologique de Nord, Lille*, **4**, 1-591.
- Cordey, F. (1998) Radiolaries des complexes d'accrétion de la Cordillère Canadienne (Colombie- Britannique). *Commission Géologique du Canada, Bull.*, no.509, 1-209.
- Deflandre, G. (1953) Radiolaires fossils. In Grassé, P.P. ed., *Traite de zoologie*. Masson, Paris, 389-436.
- De Wever, P. (1981) Une nouvelle sous-famille, les Poulpinae, et quatre nouvelles espèces de Saitoum radiolaires mésozoïques téthysiens. *Géobios*, **14**, p.5-15.
- De Wever, P. (1982) Nassellaria (Radiolaires polycystines) du Lias de Turquie. *Revue de Micropaléontologie*, **24**, 189-232.
- De Wever, P., Dumitrica, P., Caulet, J.P., Nigrini, C. and Caridroit, M. (2001) *Radiolarians in the sedimentary record*. Gordon and Breach Science Publishers, 533p.
- Donofrio, D. and Mostler, H. (1978) Zur Verbreitung der Saturnalidae (Radiolaria) im Mesozoikum der Nordlichen Kalkalpen und Sudalpen. *Geologisch Paläontologische mitteilungen Innsbruck*, **7**, 1-55.
- Dumitrică, P. (1970) Cyrtcephalic and cyrtothracic Nassellaria in some Mesozoic deposits of Romania. *Revue Roumaine de Géologie, Géophysique et Géographie (série de Géologie)*, **14**, 45-124.
- Dumitrică, P. (1978) Family Eptingiidae n. fam., extinct Nassellaria (Radiolaria) with sagittal ring. *Deri di Seama ale sedintelor, Institutul de Geologie si Geofizica, Bucuresti*, **64**, 27-38.
- Dumitrica, P. (1982) Foremanellinidae, a new family of Triassic Radiolaria. *Dari de Seama ale Sedintelor, Institutul de Geologie si Geofizica, Bucuresti*, **67**, 75-82.
- Dumitrica, P. (1995) Systematic framework of Jurassic and Cretaceous Radiolaria. In Baumgartner, P.O., O'Dogherty, L., Gorican, S., Urquhart, E., Pillecuit, A. and De Wever, P. eds., *Middle Jurassic to Early Cretaceous Radiolaria of Tethys: occurrence, systematics, biochronology. Mémoires de Géologie (Lausanne)*, no.23, Lausanne, Switzerland, 19-35.
- Dumitrică, P., Kozur, H. and Mostler, H. (1980) Contribution to the radiolarian fauna of the Middle Triassic of the Southern Alps. *Geologisch Paläontologische mitteilungen Innsbruck*, **10**, 1-46.
- Ehrenberg, C.G. (1847) Über die mikroskopischen kieselschaligen Polycystinen als mächtige Gebirgsmasse von Barbados und über das Verhältniss der aus mehr als 300 neuen Arten bestehenden ganz eigenthumlichen Formengruppe jener Felsmasse zu den jetzt lebenden Thieren und zur Kreidebildung Eine neue Anregung zur Erforschung des Erdlebens. *Bericht der königlichen preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Abhandlungen, Jahre 1847*, 40-60.
- Ehrenberg, C.G. (1875) Fortsetzung der mikrogeologischen Studien als Gesamt-Ubersicht der mikroskopischen Palaontologie gleichartig analysirter Gebirgsarten der Erde, mit specieller Rücksicht auf den Polycystinen-Mergel von Barbados. *Bericht der königlichen preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Abhandlungen, Jahre 1875*, 1-225.
- Foreman, H.P. (1963) Upper Devonian Radiolaria from the Huron member of the Ohio shale. *Micropaleontology*,

- 9, 267-304.
- Foreman, H.P. (1973) Radiolaria from DSDP Leg 20. In Heezen, B.C., MacGregor, I.D. *et al.* eds., *Initial report of the Deep Sea Drilling Project*, **20**, 249-305.
- Goričan, Š., Šmuca, A. and Baumgartner, P.O. (2003) Toarcian Radiolaria from Mt. Mangart (Slovenian – Italian border) and their paleoecological implications. *Marine Micropaleontology*, **49**, 275-301.
- Goričan, Š., Carter, E.S., Dumitrică, P., Whalen, P.A., Hori, R.S., De Wever, P., O'Dogherty, L., Matsuoka, A. and Guex, J. (2006) *Catalogue and systematics of Pliensbachian, Toarcian and Aalenian radiolarian genera and species*. Založba ZRC/ZRC Publishing, ZRC SAZU, Ljubljana, 446p.
- Gawlick, H.-J., Suzuki, H. and Missoni, S. (2001) Nachweis von unterliassischen Beckensedimenten in Hallstätter Fazies (Dürrnberg-Formation) im Bereich der Hallein-Berchtesgadener Hallstätter Zone und des Lammer Beckens (Hettangium – Sinemurium). *Mitteilungen der Gesellschaft der Geologie und Bergbaustudenten in Österreich*, **45**, 39-55. (in German with English abstract)
- Haeckel, E. (1881) Entwurf eines Radiolarien-Systems auf Grund von Studien der Challenger-Radiolarien. *Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaft*, **15**, 418-472.
- Haeckel, E. (1887) Report on the Radiolaria collected by H.M.S. Challenger during the years 1873-1876. *Report on the Scientific Results of the Voyage of the H.M.S. Challenger, Zoology*, **18**, 1803p.
- Hattori, I. and Yoshimura, M. (1982) Lithofacies distribution and radiolarian fossils in the Nanjo area in Fukui Prefecture, central Japan. *News of Osaka Micropaleontologists, spec. vol. no.5*, 103-116. (in Japanese with English abstract)
- Hori, R. (1990) Lower Jurassic radiolarian zones of SW Japan. *Trans. Proc. Paleont. Soc. Japan. New series*, no.159, 562-586.
- Hull, D. Meyerhoff (1997) Upper Jurassic Tethyan and southern Boreal radiolarians from western North America. *Micropaleontology*, **43**, supplement no.2, 1-202.
- Ichikawa, K. and Yao, A. (1973) Scanning electron microscope studies of pores of some cyrtoid radiolarians. *Jour. Geosciences, Osaka City Univ.*, **16**, 125-144.
- Kishida, Y. and Hisada, K. (1985) Late Triassic to Early Jurassic radiolarian assemblages from the Ueno-mura area, Kanto Mountains, central Japan. *Mem. Osaka Kyoiku Univ., ser. III (Natural Science)*, **34**, 103-129.
- Kozur, H. (1984) New radiolarian taxa from the Triassic and Jurassic. *Geologisch Paläontologische mitteilungen Innsbruck*, **13**, 49-88.
- Kozur, H. and Mostler, H. (1972) Beiträge zur Erforschung der mesozoischen Radiolarien. Teil I: Revision der Oberfamilie Coccodiscacea Haeckel 1862 emend. und Beschreibung ihrer triassischen Vertreter. *Geologisch Paläontologische mitteilungen Innsbruck*, **2**, 1-60.
- Kozur, H. and Mostler, H. (1979) Beiträge zur Erforschung der mesozoischen Radiolarien. Teil III: Die Oberfamilien Actinommacea Haeckel 1862 emend., Artiscacea Haeckel 1882, Multiarcusellacea nov. der Spumellaria und triassische Nassellaria. *Geologisch Paläontologische mitteilungen Innsbruck*, **9**, 1-132.
- Kozur, H. and Mostler, H. (1981) Beiträge zur Erforschung der mesozoischen Radiolarien. Teil IV: Thalassosphaeracea Hackel, 1862, Hexastylacea Haeckel, 1882 emend. Petruševskaja, 1979, Sponguracea Haeckel, 1862 emend. und weitere triassische Lithocycliacea, Trematodiscacea, Actinommacea und Nassellaria. *Geologisch Paläontologische mitteilungen Innsbruck, Sonderband*, 1-208.
- Kozur, H. and Mostler, H. (1982) Entactinaria subordo Nov., a new radiolarian suborder. *Geologisch Paläontologische mitteilungen Innsbruck*, **11**, 399-414.
- Kozur, H. and Mostler, H. (1994) Anisian to Middle Carnian radiolarian zonation and description of some stratigraphically important radiolarians. *Geologisch Paläontologische mitteilungen Innsbruck, Sonderband*, **3**, 39-255.
- Kozur, H., Krainer, K. and Mostler, H. (1996) Radiolarians and facies of the Middle Triassic Loibl Formation, South Alpine Karawanken Mountains (Carpathia, Austria). *Geologisch Paläontologische mitteilungen Innsbruck, Sonderband*, **4**, 195-269.
- Matsuoka, A. (1983) Middle and Late Jurassic radiolarian biostratigraphy in the Sakawa and adjacent areas, Shikoku, Southwest Japan. *Jour. Geosci., Osaka City Univ.*, **26**, 1-48.
- Matsuoka, A. (1995) Middle Jurassic – Lower Cretaceous radiolarian zonation in Japan and the western Pacific, and age assignments based on the Unitary Associations method. In Baumgartner, P.O., O'Dogherty, L., Goričan, S., Urquhart, E., Pillecuit, A. and De Wever, P. eds., *Middle Jurassic to Early Cretaceous Radiolaria of Tethys: occurrence, systematics, biochronology. Mémoires de Géologie (Lausanne)*, no.23, Lausanne, Switzerland, 1049-1057.
- Matsuoka, A. (2004) Toarcian (Early Jurassic) radiolarian fauna from the Nanjo massif in the Mino terrane, central Japan. *News of Osaka Micropaleontologists, spec. vol. no.13*, 69-87.
- Mizutani, S. and Kido, S. (1983) Radiolarians in Middle Jurassic siliceous shale from Kamiaso, Gifu Prefecture, central Japan. *Trans. Proc. Paleont. Soc. Japan. New series*, no.132, 253-262.
- Mizutani, S. and Koike, T. (1982) Radiolarians in Jurassic siliceous shale and in the Triassic bedded chert of Unuma, Kagamihara City, Gifu Prefecture, central Japan. *News of Osaka Micropaleontologist, Special Volume*, no.5, 117-134. (in Japanese with English abstract)
- Müller, J. (1858) Über die Thalassicollen, Polycystinen und Acanthometren des Mittelmeeres. *Königliche*

- Preussische Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Abhandlungen, Jahre 1858, 1-62.*
- Nakae, S. (2012) Geology of the Permian Higashimata Complex in the Nanjō Mountains, Fukui Prefecture, Southwest Japan. *Bulletin of Geological Survey of Japan*, **63**, p.269-281.
- Nakae, S., Komatsubara, T. Takahashi, Y. and Yoshikawa, T. (in press) *Geology of the Imajō and Takenami district*. Quadrangle Series, 1:50000, Geological Survey of Japan, AIST. (in Japanese with English abstract)
- Nagai, H. (1986) Jurassic *Eucyrtidiellum* (Radiolaria) from central Japan. *Bull. Nagoya Univ. Museum*, no.2, 1-22.
- Nagai, H. (1987) Middle Jurassic *Eucyrtidiellum* (Radiolaria) from Kutsuwano, Gifu Prefecture, central Japan. *Bull. Nagoya Univ. Museum*, no.3, 1-11. (in Japanese with English abstract)
- Nagai, H. (1990a) Jurassic *Eucyrtidiellum* (Radiolaria) in the Mino terrane. *Trans. Proc. Paleont. Soc. Japan. New series*, no.159, 587-602.
- Nagai, H. (1990b) Jurassic (Lower Toarcian) radiolarians from the Hyde Formation, central Oregon, North America. *Bull. Nagoya Univ. Museum*, no.6, p.1-7. (in Japanese with English abstract)
- Nakaseko, K. and Nishimura, A. (1979) Upper Triassic Radiolaria from Southwest Japan. *Sci. Rep., Col. Educ., Osaka Univ.*, **28**, 61-109.
- O'Dogherty, L., Carter, E.S., Dumitrica, P., Goričan, Š. and De Wever, P. (2009) An illustrated and revised catalogue of Mesozoic radiolarian genera – objectives, concepts and guide for users. *Geodiversitas*, **31**, 191-356.
- Pessagno, E.A. (1971) Jurassic and Cretaceous Hagiastriidae from the Black-Bahama Basin (Site 5A, JOIDES Leg 1) and the Great Valley Sequence, California Coast Ranges. *Bull. American Paleontology*, **60**, 5-83.
- Pessagno, E.A. (1973) Upper Cretaceous Spumellariina from the Great Valley Sequence, California Coast Ranges. *Bull. American Paleontology*, **63**, 49-102.
- Pessagno, E.A. (1977a) Upper Jurassic Radiolaria and radiolarian biostratigraphy of the California Coast Ranges. *Micropaleontology*, **23**, 56-113.
- Pessagno, E.A. (1977b) Lower Cretaceous radiolarian biostratigraphy of the Great Valley Sequence and Franciscan Complex, California Coast Ranges. *Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special publication*, no.15, 87p.
- Pessagno, E.A. and Blome, C.D. (1980) Upper Triassic and Jurassic Pantanelliinae from California, Oregon and British Columbia. *Micropaleontology*, **26**, 225-273.
- Pessagno, E.A. and Poisson, A. (1981) Lower Jurassic Radiolaria from the Gümüşlü Allochthon of southwestern Turkey (Taurides occidentals). *Bull. Mineral Research and Exploration Inst. Turkey*, **92**, 47-69.
- Pessagno, E.A. and Whalen, P.A. (1982) Lower and Middle Jurassic Radiolaria (multicyrtid Nassellariina) from California, east-central Oregon and the Queen Charlotte Islands, B.C. *Micropaleontology*, **28**, 111-169.
- Pessagno, E.A., Finch, W. and Abbott, P.L. (1979) Upper Triassic Radiolaria from the San Hipólito Formation, Baja California. *Micropaleontology*, **25**, 160-197.
- Pessagno, E.A., Six, W.M. and Yang, Q. (1989) The Xiphostylidae Haeckel and Parvivaccidae, n. fam. (Radiolaria) from the North America Jurassic. *Micropaleontology*, **35**, 138-255.
- Pessagno, E.A., Blome, C.D., Hull, D. Meyerhoff and Six, W.M. (1993) Jurassic Radiolaria from the Josephine ophiolite and overlying strata, Smith River subterranean (Klamath Mountains), northwestern California and southwestern Oregon. *Micropaleontology*, **39**, 93-166.
- Ramovš, A. and Goričan, Š. (1995) Late Anisian-Early Ladinian radiolarians and conodonts from Šmarja Gora near Ljubljana, Slovenia. *Razprave IV. Razreda SAZU*, **36**, 179-221.
- Riedel, W.R. (1967) Subclass Radiolaria. In Harland, W.B. et al. eds., *The fossil record. A symposium with documentation*. Geol Soc. London, 291-298.
- Sashida, K. (1991) Early Triassic radiolarians from the Ogamata Formation, Kanto Mountains, central Japan. Part 2. *Trans. Proc. Paleont. Soc. Japan. New series*, no.161, 681-696.
- Sugiyama, K. (1992) Lower and Middle Triassic radiolarians from Mt. Kinkazan, Gifu Prefecture, central Japan. *Trans. Proc. Paleont. Soc. Japan. New series*, no.167, 1180-1223.
- Sugiyama, K. (1997) Triassic and Lower Jurassic radiolarian biostratigraphy in the siliceous claystone and bedded chert units of the southeastern Mino Terrane, central Japan. *Bull. Mizunami Fossil Museum*, no.24, 79-193.
- Taga, H. (1997) Paleozoic and Mesozoic radiolarian fossils found in chert of the Nanjo massif, central Japan. *Bulletin of Fukui City Museum of Natural History*, no.44, p.35-55. (in Japanese)
- Takamura, Y. and Hayami, T. (1985) On the Paleozoic and Mesozoic strata in the eastern area of Imajo-cho, Fukui Prefecture, central Japan. *Bulletin of Fukui City Museum of Natural History*, no.31, p.1-16. (in Japanese)
- Takemura, A. (1986) Classification of Jurassic nassellarians (Radiolaria). *Palaeontographica. Abteilung A: Palaeozoologie-Stratigraphie*, **195**, 29-74.
- Takemura, A. and Nakaseko, K. (1982) Two new Jurassic genera of family Palaeoscenediidae (Radiolaria). *Trans. Proc. Paleont. Soc. Japan. New series*, no.128, 452-464.
- Umeda, M. and Taga, H. (2003) Note of occurrence of radiolarian fossils in the Nanjo massif, Fukui Prefecture, central Japan – No. 7 – Takura-gawa area. *Bulletin of Fukui City Museum of Natural History*, no.50, p.2736. (in Japanese)



- Umeda, M., Taga, H. and Hattori, I. (1996) Discovery and its geologic significance of Permian radiolarians from clastic rocks at the northern margin of the Nanjo massif, Fukui Prefecture, central Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 102, p.635-638. (in Japanese with English abstract)
- Wakita, K. (1988) Origin of chaotically mixed rock bodies in the Early Jurassic to Early Cretaceous sedimentary complex of the Mino terrane, central Japan. *Bull. Geological Survey of Japan*, 39, 675-757.
- Whalen, P.A. and Carter, E.S. (1998) Part II. Systematic paleontology. In Carter, E. S., Whalen, P.A. and Guex, J. eds., *Biochronology and paleontology of Lower Jurassic (Hettangian and Sinemurian) radiolarians, Queen Charlotte Islands, British Columbia. Geological Survey of Canada Bull.*, no.496, 36-162.
- Whalen, P.A. and Carter, E.S. (2002) Pliensbachian (Lower Jurassic) Radiolaria from Baja Californian Sur, Mexico. *Micropaleontology*, 48, 97-151.
- Yao, A. (1979) Radiolarian fauna from the Mino belt in the northern part of the Inuyama area, central Japan. Part II: Nassellaria 1. *Jour. Geosci., Osaka City Univ.*, 22, 21-72.
- Yao, A. (1982) Middle Triassic to Early Jurassic radiolarians from the Inuyama area, central Japan. *Jour. Geosci., Osaka City Univ.*, 25, 53-70.
- Yao, A. (1984) Subdivision of the Mesozoic complex in Kii-Yura area, Southwest Japan and its bearing on the Mesozoic basin development in the Southern Chichibu terrane. *Jour. Geosci., Osaka City Univ.*, 27, 41-103.
- Yao, A. (1997) Faunal change of Early – Middle Jurassic radiolarians. *News of Osaka Micropaleontologists, spec. vol. no.10*, 155-182. (in Japanese with English abstract)
- Yao, A., Matsuda, T. and Isozaki, Y. (1980) Triassic and Jurassic radiolarians from the Inuyama area, central Japan. *Jour. Geosci., Osaka City Univ.*, 25, 153-154.
- Yeh, K.-Y. (1987) Taxonomic studies of Lower Jurassic Radiolaria from east-central Oregon. *Special Publication, National Museum of Natural Science, Taiwan*, no.2, 169p.
- Yeh, K.-Y. (1990) Taxonomic studies of Triassic Radiolaria from Busuanga Island, Philippines. *Bull. National Museum of Natural Science, Taiwan*, no.2, p.1-63.
- Yeh, K.-Y. and Cheng, Y.-N. (1996) Jurassic radiolarians from the northwest coast of Busuanga Island, north Palawan block, Philippines. *Micropaleontology*, 42, 93-124.
- Yeh, K.-Y. and Cheng, Y.-N. (1998) Radiolarians from the Lower Jurassic of the Busuanga Island, Philippines. *Bull. National Museum of Natural Science, Taiwan*, no.11, p.1-65.
- Ziabrev, S.V., Aitchison, J.C., Abrajevitch, A.V., Badengzhu, Davis, A.M. and Luo, H. (2004) Bainang terrane, Yarlung – Tsangpo suture, south Tibet (Xizang, China): a record of intra-Neotethyan subduction-accretion processes preserved on the roof of the world. *Jour. Geological Society, London*, 161, 523-538.

Received January 31, 2013

Accepted March 22, 2013

Plate 1 SEM images of Triassic to Middle Jurassic radiolarians from the Imajō district.

**IJ1502g** (Locality Ic-1: South of Tochinoki-tōge)

**1-2:** *Cryptostephanidium* spp. (1: GSJ F18100-000, 2: -004)

**3:** Entactinaria gen. et sp. indet. (GSJ F18100-003)

**4:** Spumellaria gen. et sp. indet. (GSJ F18100-007)

**5-6:** *Protopsium* spp. (5: GSJ F18100-006, 6: -005)

**IJ2202** (Locality Ic-2: North of Ōgiri)

**7-8:** *Archaeocenosphaera?* spp. (7: GSJ F18101-007, 8: -013)

**9:** Spumellaria gen. et sp. indet. (GSJ F18101-001)

**10-20:** *Entactinia?* spp. (10: GSJ F18101-004, 11: -003, 12: -015, 13: 005, 14: -009, 15: -008, 16: -012, 17: -014, 18: -010, 19: -006, 20: -002)

**IJ2703** (Locality Ic-3: Northeast of Imajō)

**21:** *Pantanellium* sp. (GSJ F18102-017)

**22-23:** Pantanelliidae gen. et sp. indet. (22: GSJ F18102-015, 23: -013)

**24-25:** *Praewilliriedellum?* spp. (24: GSJ F18102-016, 25: -014)

**26:** *Praezhamoidellum?* sp. (GSJ F18102-009)

**27:** *Eucyrtidiellum unumaense* (Yao) (GSJ F18102-008)

**28:** *Lantus* sp. cf. *L. sixi* Yeh (GSJ F18102-005)

**29:** *Lantus?* sp. (GSJ F18102-010)

**30-34:** *Parahsuum* spp. (30: GSJ F18102-001, 31: -003, 32: -002, 33: -007, 34: -004)

**35:** Nassellaria gen. et sp. indet. (GSJ F18102-012)

**36:** *Praeparvicingula?* sp. (GSJ F18102-011)

All scale bars are equal to 0.1 mm.

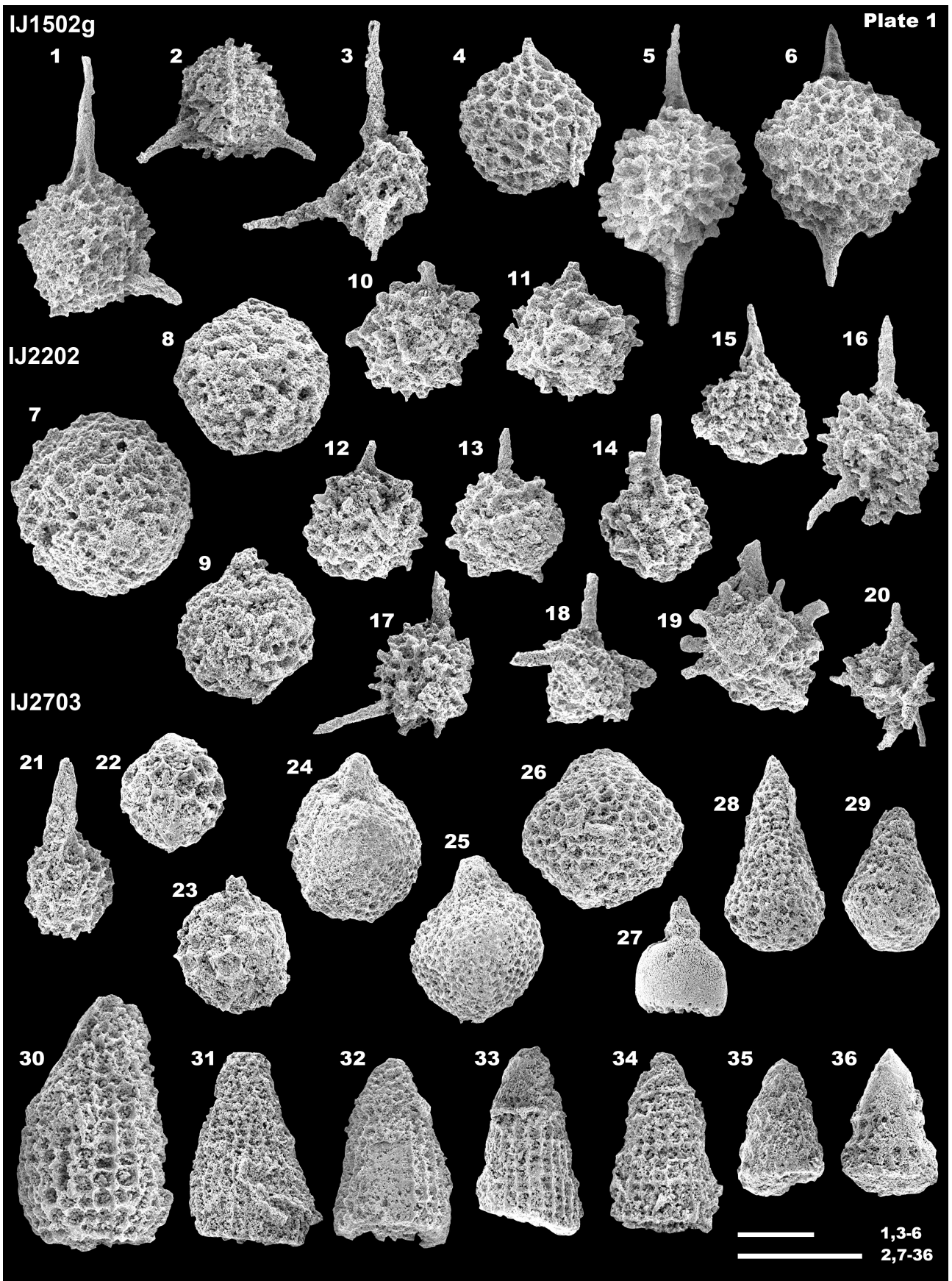




Plate 2 SEM images of Triassic to Middle Jurassic radiolarians from the Imajō district.

**IJ2901** (Locality Ic-4: Yashirodani)

- 1: *Archaeocenosphaera* sp. (GSJ F18103-015)
- 2: *Spumellaria* gen. et sp. indet. (GSJ F18103-006)
- 3-4: *Pantanellium?* spp. (3: GSJ F18103-010, 4: -011)
- 5: *Pseudostylosphaera* sp. (GSJ F18103-009)
- 6: *Pseudostylosphaera* sp. A sensu Sugiyama (1992) (GSJ F18103-008)
- 7: *Protopsium* sp. (GSJ F18103-014)
- 8: *Cryptostephanidium* sp. cf. *C. longispinosum* (Sashida) (GSJ F18103-003)
- 9: *Cryptostephanidium japonicum* (Nakaseko and Nishimura) (GSJ F18103-007)
- 10-11: *Plafkerium?* spp. (10: GSJ F18103-001, 11: -002)
- 12: *Plafkerium? antiquum* Sugiyama (GSJ F18103-004)
- 13-14: *Spumellaria* gen. et sp. indet. (13: GSJ F18103-005, 14: -012)
- 15: *Eptingium?* sp. (GSJ F18103-013)

**IJ3205** (Locality Ic-5: Northwest of Somayama)

- 16-22: *Spumellaria* gen. et sp. indet. (16: GSJ F18104-014, 17: -003, 18: -010, 19: -016, 20: -012, 21: -001, 22: -007)
- 23-25: *Protopsium* spp. (23: GSJ F18104-008, 24: -005, 25: -015)
- 26: *Spumellaria* gen. et sp. indet. (GSJ F18104-002)
- 27: *Plafkerium?* sp. (GSJ F18104-011)
- 28-30: *Spumellaria* gen. et sp. indet. (28: GSJ F18104-004, 29: -013, 30: -006)

**IJ4001** (Locality Ic-6: Hashitate)

- 31-35: *Spumellaria* gen. et sp. indet. (31: GSJ F18105-001, 32: -002, 33: -003, 34: -004, 35: -005)

All scale bars are equal to 0.1 mm.

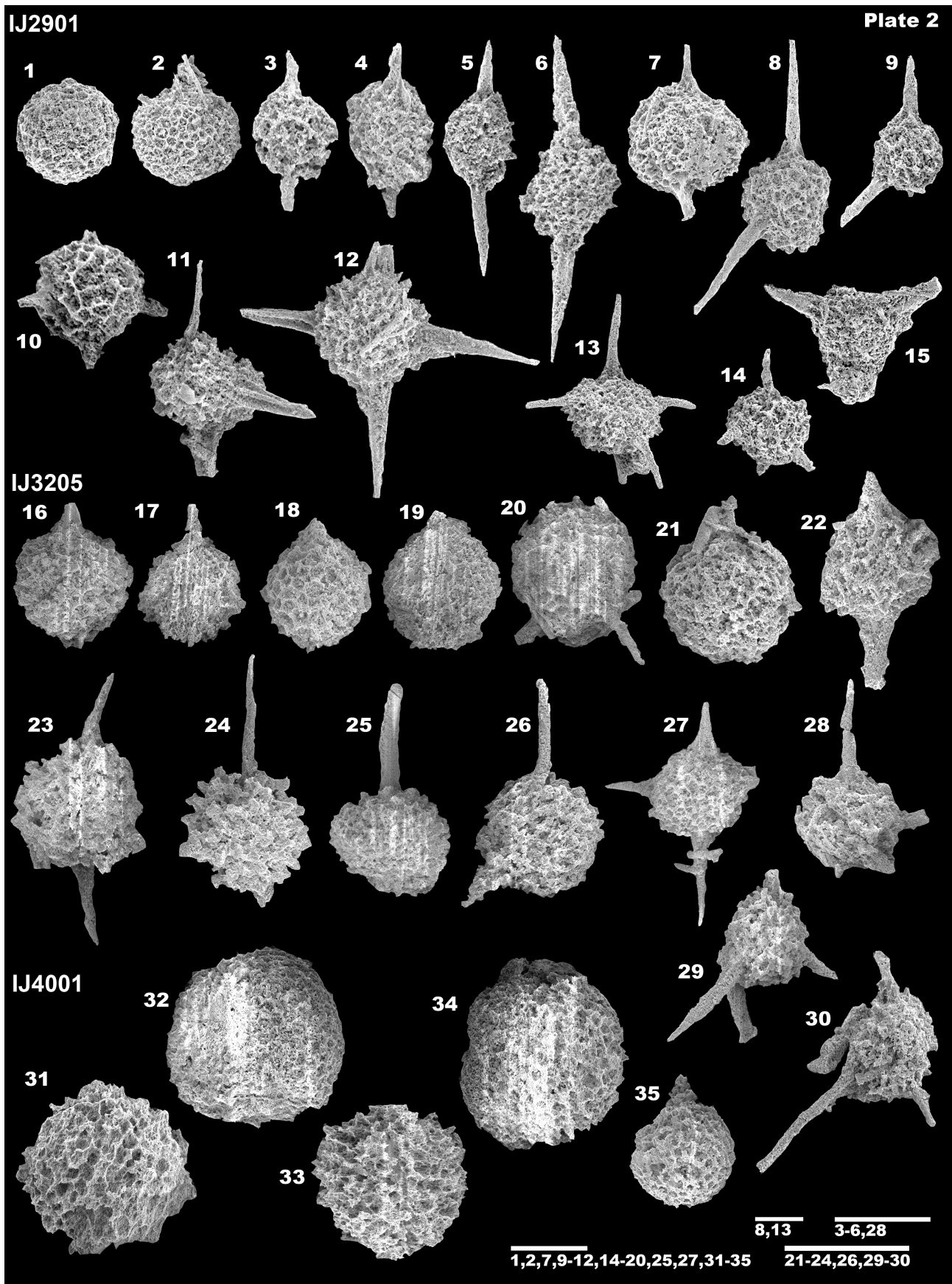


Plate 3 SEM images of Triassic to Middle Jurassic radiolarians from the Imajō district.

**IJ5502** (Locality Ic-7: West of Okunono)

- 1:** *Pseudostylosphaera japonica* (Nakaseko and Nishinura) (GSJ F18117-015)  
**2-3:** *Pseudostylosphaera* spp. (2: GSJ F18117-017, 3: -013)  
**4:** *Eptingium* sp. cf. *E. manfredi* Dumitrică (GSJ F18117-018)  
**5-8:** *Cryptostephanidium* spp. (5: GSJ F18117-007, 6: -014, 7: -010, 8: -012)  
**9:** Nassellaria gen. et sp. indet. (GSJ F18117-008)  
**10:** *Bulbocyrtium* sp. A sensu Sugiyama (1997) (GSJ F18117-020)  
**11:** *Triassocampe* sp. aff. *T. diordinis* Bragin 1991 sensu Sugiyama (1992) (GSJ F18117-001)  
**12-13:** *Triassocampe deweveri* Nakaseko and Nishimura (12: GSJ F18117-003, 13: -004)

**IJ5503** (Locality Ic-8: West of Okunono)

- 14:** *Triassocampe* sp. (GSJ F18118-002)  
**15:** Multisegmented Nassellaria gen. et sp. indet. (GSJ F18118-003)  
**16-17:** Poulpidae gen. et sp. indet. (16: GSJ F18118-005, 17: -006)  
**18:** *Hindeosphaera* sp. cf. *H. spinulosa* (Nakaseko and Nishimura) (GSJ F18118-007)

**IJ5702a** (Locality Ic-9: West of Yunō)

- 19-22:** *Pseudostylosphaera* spp. (19: GSJ F18119-003, 20: -011, 21: -010, 22: -006)  
**23-25:** *Cryptostephanidium* spp. (23: GSJ F18119-002, 24: -001, 25: -005)  
**26-27:** *Plafkerium?* spp. (26: GSJ F18119-012, 27: -009)  
**28:** Spumellaria gen. et sp. indet. (GSJ F18119-013)  
**29-30:** *Hozmadia* sp. cf. *H. gifuensis* Sugiyama (29: GSJ F18119-007, 30: -004)  
**31:** *Hozmadia rotunda* (Nakaseko and Nishimura) (GSJ F18119-008)

All scale bars are equal to 0.1 mm.



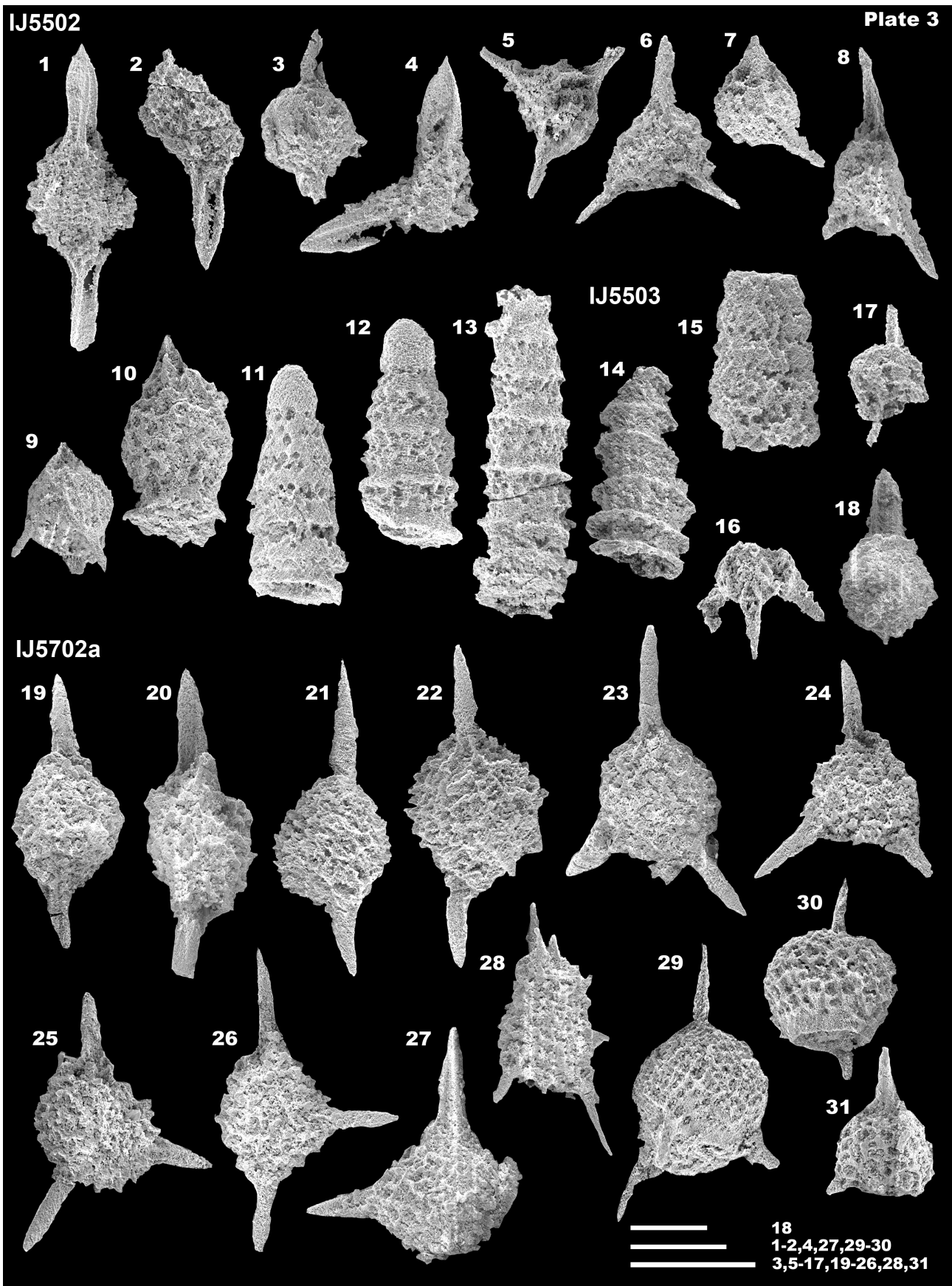


Plate 4 SEM images of Triassic to Middle Jurassic radiolarians from the Imajō district.

**IJ5702b** (Locality Ic-9: West of Yunō)

- 1-2: *Pantanellium* sp. cf. *P. foveatum* Mizutani and Kido (1: GSJ F18120-005, 2: -006)
- 3-4: *Napora* spp. (3: GSJ F18120-003, 4: -004)
- 5: *Praezhamoidellum yaoi* Kozur (GSJ F18120-007)
- 6-7: *Striatojaponocapsa plicarum* (Yao) (6: GSJ F18120-008, 7: -009)
- 8: *Dictyomitrella* sp. (GSJ F18120-002)
- 9: Multisegmented Nassellaria gen. et sp. indet. (GSJ F18120-001)

**IJ5702i** (Locality Ic-9: West of Yunō)

- 10: *Pantanellium* sp. cf. *P. tanuense* Pessagno and Blome (GSJ F18121-006)
- 11-12: *Pantanellium* spp. (11: GSJ F18121-009, 12: -015)
- 13: *Gorgansium* sp. cf. *G. gongyloideum* Kishida and Hisada (GSJ F18121-014)
- 14: Spumellaria gen. et sp. indet. (GSJ F18121-019)
- 15: *Thurstonia* sp. (GSJ F18121-020)
- 16: *Teesium?* sp. (GSJ F18121-018)
- 17-18: Poulpidae gen. et sp. indet. (17: GSJ F18121-012, 18: -011)
- 19: *Diceratigalea* sp. (GSJ F18121-010)
- 20-23: *Mesosaturnalis* spp. (20: GSJ F18121-021, 21: -022, 22: -023, 23: -024)
- 24: *Eucyrtidiellum* sp. (GSJ F18121-017)
- 25: *Parahsuum* sp. (GSJ F18121-001)
- 26: *Elodium* sp. cf. *E. pessagnoii* Yeh and Cheng (GSJ F18121-003)
- 27: *Hsuum* sp. (GSJ F18121-002)
- 28: *Katroma angusta* Yeh (GSJ F18121-008)
- 29-30: *Katroma* spp. (29: GSJ F18121-007, 30: -005)

All scale bars are equal to 0.1 mm.

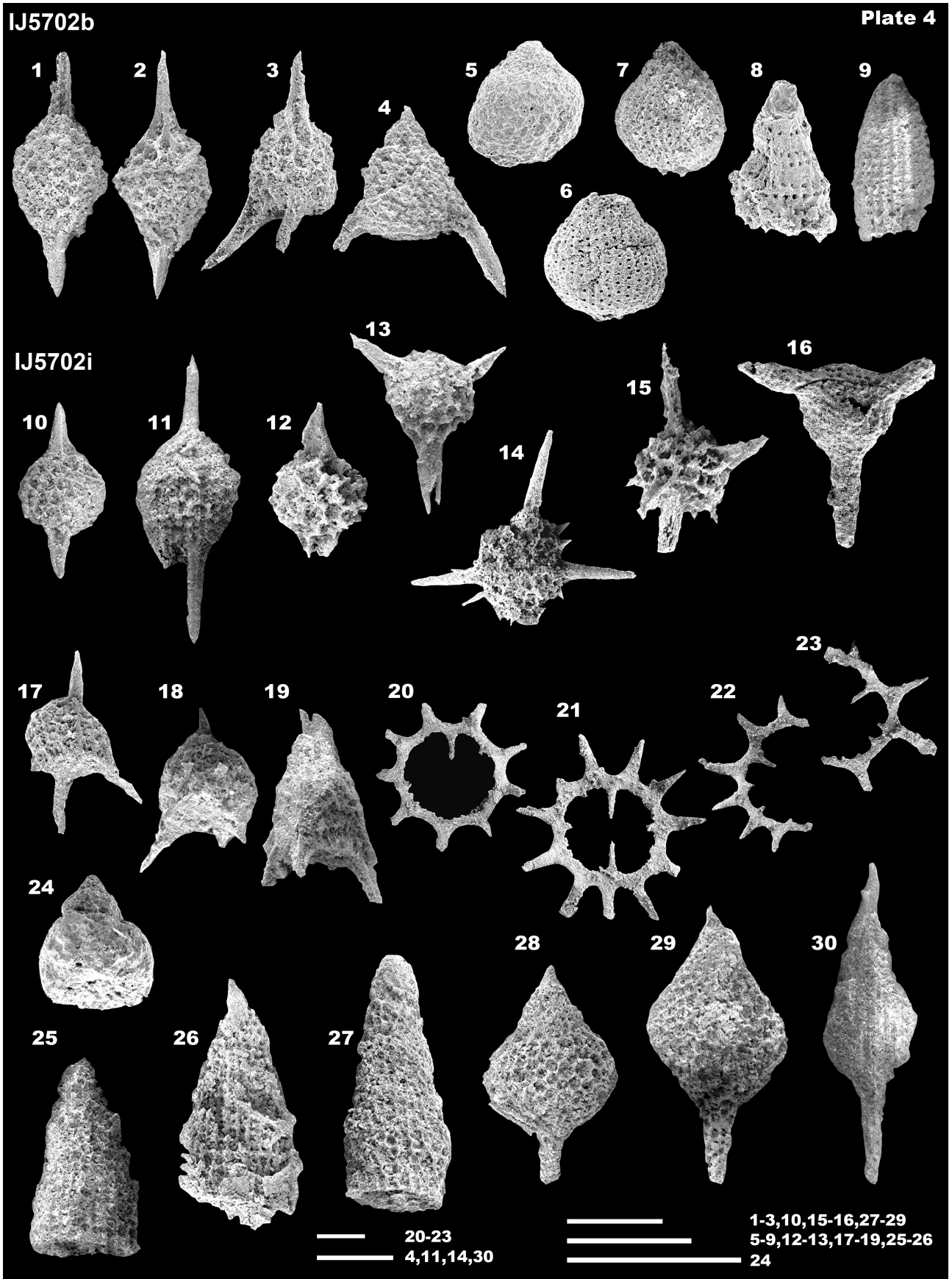




Plate 5 SEM images of Triassic to Middle Jurassic radiolarians from the Imajō district.

**IJ6901a** (Locality Ic-10: South of Kōno)

**1:** *Pantanellium* sp. (GSJ F18127-010)

**2:** *Williriedellum?* sp. (GSJ F18127-009)

**3:** *Praezhamoidellum?* sp. (GSJ F18127-011)

**4:** *Bagotum* sp. (GSJ F18127-008)

**5:** *Corum?* sp. (GSJ F18127-001)

**6-7:** *Stichomitra* spp. (6: GSJ F18127-002, 7: -006)

**8-9:** *Parahsuum* spp. (8: GSJ F18127-007, 9: -003)

**10:** Multisegmented Nassellaria gen. et sp. indet. (GSJ F18127-004)

**IJ6901b** (Locality Ic-10: South of Kōno)

**11:** *Pantanellium* sp. (GSJ F18128-010)

**12:** *Emiluvia* sp. (GSJ F18128-011)

**13:** *Paronaella* sp. cf. *P. notabilis* Whalen and Carter (GSJ F18128-012)

**14:** *Eucyrtidiellum gunense* Cordey (GSJ F18128-007)

**15:** *Eucyrtidiellum* sp. (GSJ F18128-008)

**16-17:** *Bagotum maudense* Pessagno and Whalen (16: GSJ F18128-004, 17: -005)

**18-19:** *Broctus ruesti* Yeh (18: GSJ F18128-003, 19: -002)

**20:** *Parahsuum* sp. (GSJ F18128-001)

**21:** *Katroma brevitubus* Dumitrica and Goričan (GSJ F18128-006)

**22:** *Praezhamoidellum* sp. cf. *P. convexa* (Yao) (GSJ F18128-009)

**IJ6901c** (Locality Ic-10: South of Kōno)

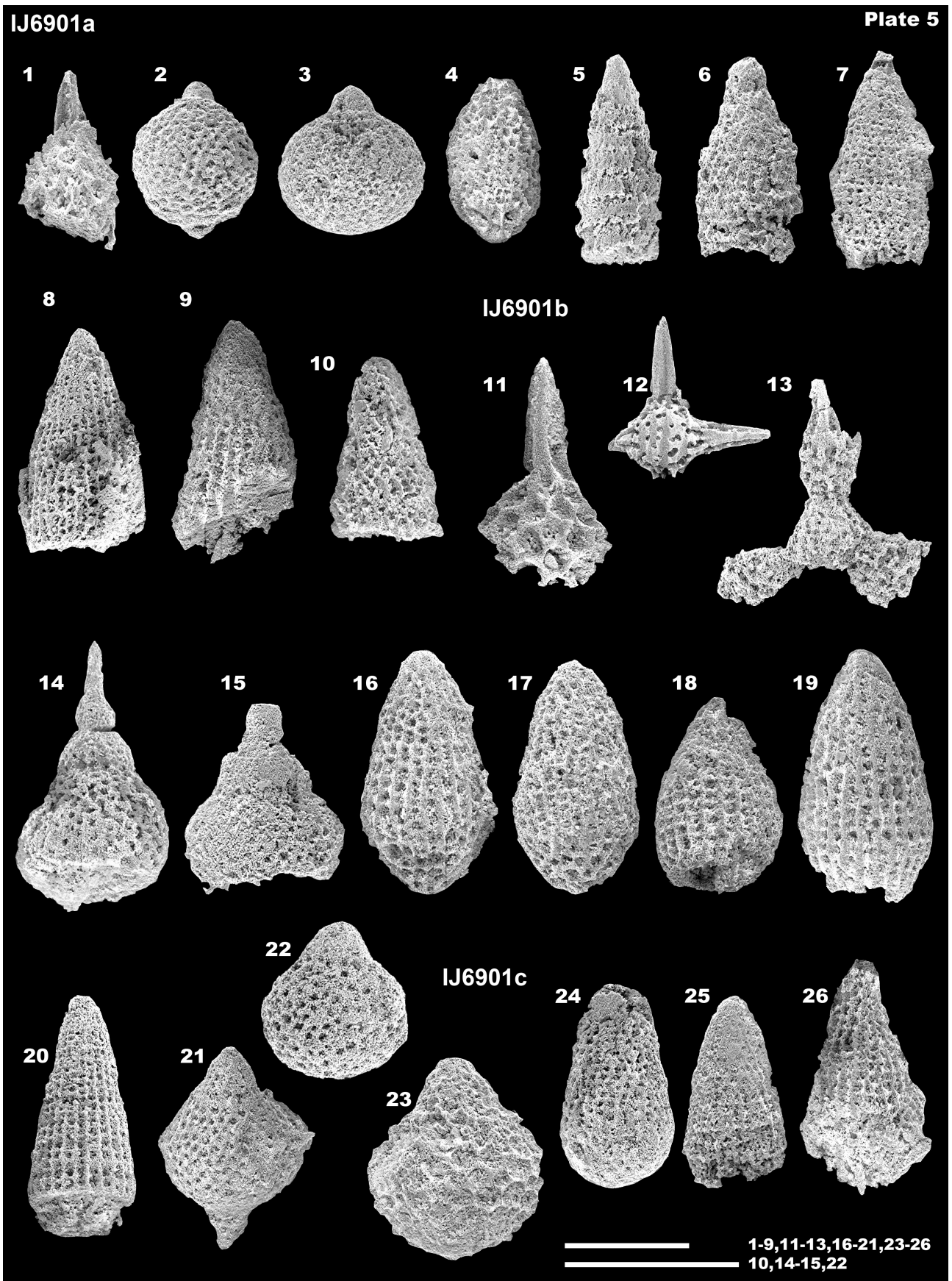
**23:** *Praezhamoidellum* sp. cf. *P. yaoi* Kozur (GSJ F18129-004)

**24:** *Bagotum modestum* Pessagno and Whalen (GSJ F18129-003)

**25:** Multisegmented Nassellaria gen. et sp. indet. (GSJ F18129-001)

**26:** *Hsuum* sp. (GSJ F18129-002)

All scale bars are equal to 0.1 mm.



西南日本南条山地における遠洋性チャートから産出した  
三畳紀 - 中期ジュラ紀放散虫 - 第1部. 今庄地域

中江 訓

要 旨

西南日本福井県中央部に位置する南条山地の主要域には、玄武岩・石灰岩・チャート・泥岩・砂岩などの多様な岩石から構成される堆積岩複合岩体が分布する。南条山地におけるこれらの岩石のうち27地点のチャートについて、含有される放散虫化石の検討を行った。その結果、今庄地域では10地点14試料からSpumellaria目ならびにEntactinaria目が卓越する三畳紀群集とNassellaria目が卓越するジュラ紀群集が産出した。本報告ではこれらの放散虫化石群集を記載するとともに、その種構成に基づき今庄地域に分布するチャートの地質時代は前期三畳紀 (Olenekian?) ~中期ジュラ紀 (Bajocian) に至ると結論した。

難読・重要地名

Fukui : 福井, Hashitate : 橋立, Imajō : 今庄, Kanmuri Yama : 冠山, Kōno : 河野, Minamiechizen : 南越前, Mino : 美濃, Nagahama : 長浜, Nanjō : 南条, Ōgiri : 大桐, Okunono : 奥野々, Somayama : 杣山, Tochinoki-tōge : 栃ノ木峠, Yashirodani : 社谷, Yogo : 余呉, Yunō : 湯尾。



## 和歌山県北西部, 御荷鉾緑色岩類の K-Ar 年代

栗本史雄<sup>1,2</sup>

Chikao Kurimoto (2013) K-Ar ages of the Mikabu Greenstones in the northwestern part of Wakayama Prefecture, Southwest Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 64 (3/4), p. 113–119, 3 figs, 1 table.

**Abstract:** In the northwestern part of the Kii Peninsula, strata of the Sambagawa (Sambagawa Belt in strict sense and Mikabu Belt), Chichibu and Shimanto Belts are distributed from north to south based on metamorphic grade, geologic age and lithologic characters. The Mikabu Belt is occupied by the Oishi, Numata and Saga Formations from north to south.

K-Ar ages were determined on white mica grains for 23 samples from the Mikabu Belt, 22 samples of which are pelitic schists and one sample is a greenschist.

K-Ar ages of the Oishi, Numata and Saga Formations range over 81.7–98.2 Ma, 96.7–117.0 Ma and 113–118 Ma, respectively. The Numata Formation ranges over 96.7–125.1 Ma, including the data of Kurimoto (1995). Judging from metamorphic grade and closure temperature of the K-Ar system in muscovite, it is believed that K-Ar ages from these Mikabu samples show the time of metamorphism.

The K-Ar age of the Oishi Formation is roughly concordant with that of the Kebara Formation (Kurimoto, 1993) which is considered to belong to the Mikabu Belt. On the other hand, the K-Ar ages of the Saga and the Numata Formations are older than those of the Oishi and the Kebara Formations.

**Keywords:** K-Ar age, white mica, metamorphism, Mikabu Greenstones, Wakayama, Southwest Japan

### 要 旨

和歌山県北西部は西南日本外帯に位置し, 変成度, 地質時代及び岩相の特徴により, 北から南へ三波川帯(三波川帯プロパーと御荷鉾帯), 秩父累帯及び四万十累帯に区分される。三波川帯プロパーは点紋帯と無点紋帯, 御荷鉾帯は嵯峨層, 沼田層, 及び生石層に区分される。

今回, 御荷鉾帯に属する生石層, 沼田層及び嵯峨層から採取した23試料について, 変成白雲母を使ってK-Ar年代を測定した。内訳は生石層14試料, 沼田層6試料, 嵯峨層3試料である。生石層の1試料が緑色片岩であり, その他はすべて泥質片岩である。

生石層の試料からは81.7–98.2 Ma, 沼田層からは96.7–117.0 Ma, 及び嵯峨層からは113–118 Maの範囲のK-Ar年代を得た。栗本(1995)の結果を加味すると, 沼田層は96.7–125.1 Maになる。白雲母についてのK-Ar系の閉止温度からみて, これらのK-Ar年代は変成作用の年代を示していると考えられる。

本地域の御荷鉾帯から得られたK-Ar年代については, 生石層と御荷鉾帯に所属すると考えられる毛原層(89.3

Ma–97.1 Ma; 栗本, 1993)を比較すると, 生石層がやや広いK-Ar年代幅を有するが, K-Ar年代の範囲は重なる。一方, 沼田層と嵯峨層のいずれの地層も生石層・毛原層と比較して優位に古いK-Ar年代を示す。

### 1. はじめに

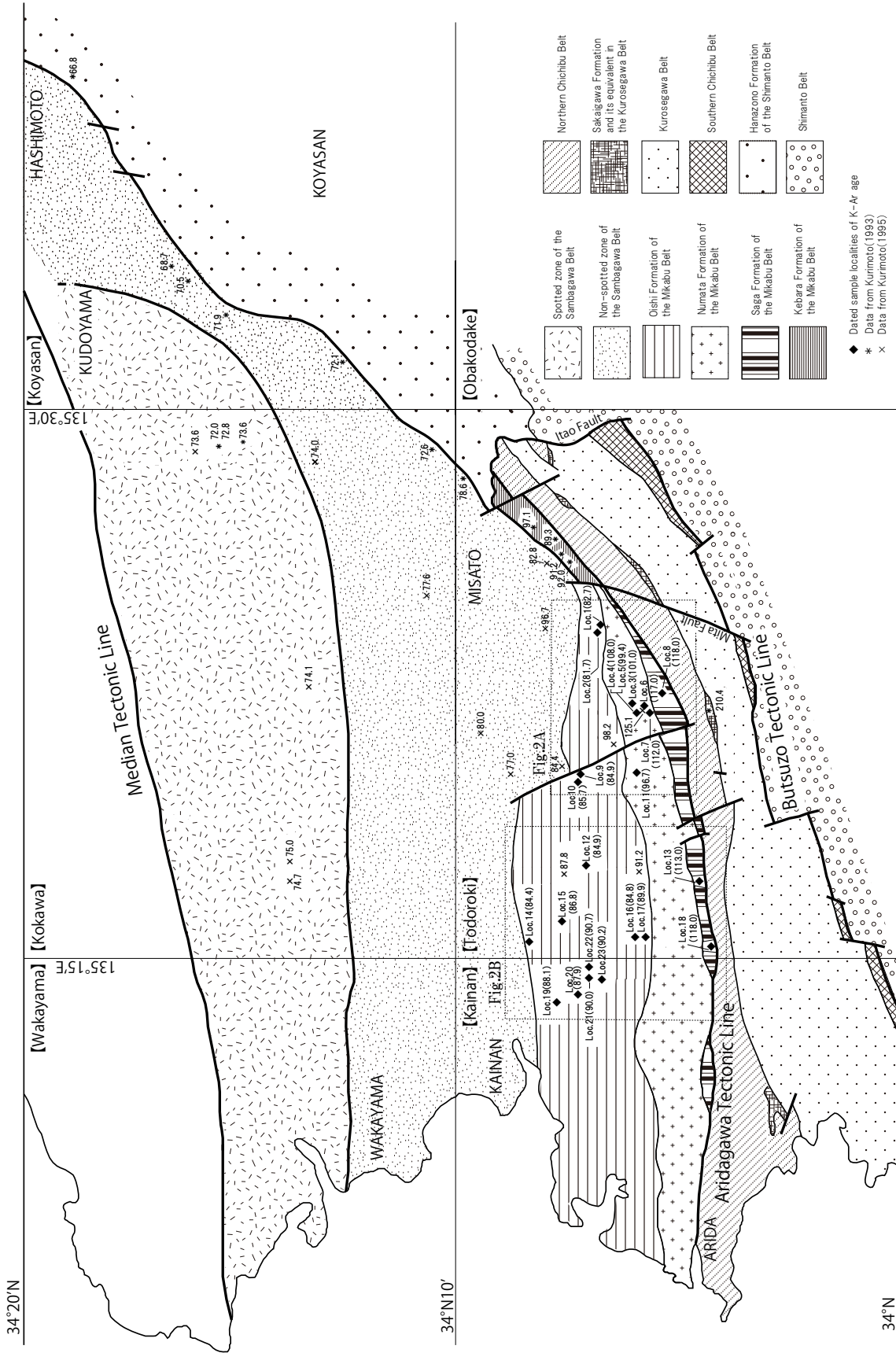
変成作用を受けた岩石からは化石の産出が希であることから, 一般的に原岩年代の決定は困難であるが, 微細な変成白雲母を使って放射年代の測定を行うことができる。これらの放射年代値は化石による原岩年代と考え合わせて, 地質体形成のプロセスや地帯・地層の区分, テクトニクスの考察に有用な資料となる。

和歌山県北西部において, これまで三波川帯(三波川帯プロパーと御荷鉾帯), 秩父累帯及び四万十累帯北縁部の岩石について白雲母のK-Ar年代値が報告されている。今回, 標題地域の御荷鉾帯に分布する御荷鉾緑色岩類について, 白雲母を使ってK-Ar年代値を得たので, その結果を報告する。

<sup>1</sup> 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation)

<sup>2</sup> 現所属: 評価部 (Evaluation Division)

Author: C.KURIMOTO, AIST Tsukuba Central 2, Umezono 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8568, Japan. Email: kurimoto-chikao@aist.go.jp



第1図 和歌山県北西部の地層区分とK-Ar年代測定試料採取地点。

地帯・地層区分は主にHada (1967) 及び栗本ほか (1998) に基づき編集。【 】は50,000分の1地形図の範囲を示す。

Fig.1 Geographical division in the north-western part of Wakayama Prefecture with location of dated samples.

Compiled from Hada (1967) and Kurimoto *et al.* (1998). Brackets like [Kainan], [Todoroki] etc. show 1:50,000 topographic maps.

## 2. 地質概説

西南日本外帯は三波川帯，秩父累帯，四万十累帯に区分される。和歌山県北部では西方の海岸において北から南に三波川帯，秩父累帯及び四万十累帯に属する各地質体が分布し，三波川帯と秩父累帯の境界は有田川構造線，秩父累帯と四万十累帯の境界は仏像構造線と呼ばれる。東半部では板尾断層以東において秩父累帯の構成岩類が欠如し，三波川変成岩類と四万十累帯白亜系花園層が有田川構造線を介して接している（栗本,1982）。地質の特徴から区分すると，北から三波川帯は三波川帯プロパーと御荷鉾帯に，秩父累帯は秩父北帯，黒瀬川帯，秩父南帯に区分される。

和歌山県の三波川帯については，5万分の1地質図幅「動木」地質図幅（平山・田中，1956a），「海南」（平山・田中，1956b），「高野山」（平山・神戸，1959）をはじめ，岩橋（1962;1968），秋元（1966），Hada（1967），武田ほか（1977），中山（1983），廣田（1991）などの研究報告がある。同帯は岩相，地質構造及び変成相の特徴により，三波川帯プロパーと御荷鉾帯に区分され，前者はさらに点紋帯と無点紋帯に二分される。本論文で対象とする和歌山県有田川中流域の御荷鉾帯は，Hada（1967）による詳細な研究報告があり，当地域の御荷鉾帯は北から生石層，沼田層及び嵯峨層に区分されている。栗本（1986）は有田川構造線の南側に毛原層を識別し，秩父北帯ではなく三波川帯に所属すると考えた。その後，栗本ほか（1998）は毛原層を御荷鉾帯に含めた。

本地域の三波川帯プロパー，御荷鉾帯及び秩父累帯の放射年代は，金井ほか（1990），磯崎・板谷（1990），磯崎ほか（1992），Hara *et al.*（1992），栗本（1993，1995）によるK-Ar年代，及びde Jong *et al.*（2000，2009）によるAr/Ar年代の報告などがある。また，化石の産出報告は少なく，和歌山県西部において沼田層の緑色岩に重なる赤色チャートからジュラ紀中世後半から新世初期の放散虫化石が報告されている（山田，1997）。

今回，Hada（1967）の沼田層，生石層，嵯峨層を対象として泥質片岩・緑色片岩から変成白雲母を抽出し，K-Ar年代を測定した。その結果を報告する。

## 3. 地層区分と岩相

本論文で報告する地域は御荷鉾帯に相当する地域であり，北から南にHada（1967）による生石層，沼田層及び嵯峨層が分布する（第1図）。

生石層は沼田層の北側に位置する。北あるいは南に中程度で傾斜し，大局的にやや開いた背斜向斜構造を呈する。同層は主として緑色片岩と石英片岩から構成され，泥質片岩や砂質片岩はまれである。

沼田層は嵯峨層の北側に分布する。同層は北あるいは

南に中程度で傾斜し，大局的に閉じた背斜向斜構造を繰り返す。同層はほとんどが緑色岩類で構成され，一部にチャートや泥質片岩を含む。緑色岩類は玄武岩質で，火山角礫岩，溶岩，凝灰岩など様々な岩相を呈する。火山角礫岩が最も広く分布し，御荷鉾緑色岩類の典型的な岩相である。火山角礫岩は礫と基質からなり，礫の部分は暗緑色ないし緑色を呈する。礫は堅く，数cmから数十cmの大きさを有する。基質は緑色を呈し，礫よりも柔らかい。溶岩は塊状で，片状構造は発達していない。凝灰岩は細粒で，片状構造が顕著に認められる。

嵯峨層は有田川構造線の北側に沿って東西に細長く分布し，南側には秩父北帯のジュラ紀中世の付加コンプレックスと接する。同層は珪質片岩を主体とし，泥質片岩や緑色片岩を挟む。珪質片岩は嵯峨層に特徴的な岩相であり，白色，赤色，淡褐色，淡緑色などの種々の色を呈し，チャートと同様に緻密で堅い。同層は一般に北東-南西の走向を有し，急角度で北または南に傾斜することから，同斜構造の様相を呈する。しかし，野外において折り畳まれた褶曲が観察されることがあることから，地層全体は構造的には背斜向斜を繰り返している可能性がある。

Hada（1967）によれば，本地域の御荷鉾帯の地層は全体として背斜構造を呈し，軸部の最下位に沼田層が，北翼には生石層，南翼には嵯峨層が分布するとした。上述のように，閉じた褶曲構造を呈する沼田層から北に行くに従い，やや開いた褶曲構造を呈する生石層にかけては，見かけ上位に重なる構造を見ることができる。一方，嵯峨層はこれら2層とは異なり，折り畳んだ褶曲構造を呈することから，構造的には南には有田川構造線を介して秩父北帯と接しており，北の沼田層とは断層関係になると考えられる。

## 4. K-Ar 年代

年代測定用の白雲母は西村ほか（1989）の方法を参考にした。測定試料の選定に当たって，まず顕微鏡観察を行い，変成白雲母の有無や大きさを確認した後，岩石を粉碎して150-200メッシュ（0.075-0.1 mm）の粒子を集めた。電磁気分離，ピーカーの壁面を使った濃集の手順を併用して，各試料とも約1グラムの白雲母を得た。K-Ar年代測定に適した23試料を選び，K-Ar年代を得た（第1表）。

第1図に調査地域の地層区分と測定試料の位置を，第2図A，Bに測定試料の地形図上の採取地点を示す。また，栗本（1993，1995）を加味して，当地域のK-Ar年代を整理した（第3図）。

生石層からは，Loc.1，Loc.2，Loc.9，Loc.10，Loc.12，Locs.14-17，Locs.19-23の14試料で，81.7-98.2 Maの範囲である。Loc.17の試料のみ緑色片岩で，他はすべて泥質片岩である。栗本（1995）による3試料（Loc.12；87.8



第1表 和歌山県北西部の御荷鉢帯の白雲母K-Ar年代。

試料採取地点の経緯度は世界測地系で表示。

Table 1 K-Ar ages on white micas from the Mikabu Zone in the north-western part of Wakayama Prefecture.  
Longitude and latitude of the sample localities are shown based on the International Land Survey System.

Locality No.	Sample Number	Rock type	K-Ar age (Ma) (average)	K-Ar age (Ma)	<sup>40</sup> Ar (scc/gm × 10 <sup>-5</sup> )	<sup>40</sup> Ar (%)	Potassium (wt.%)	Geologic unit
1	GSJ R66076	p	82.7±4.1 (34° 06' 59" N, 135° 23' 55.5" E)	83.3±4.2 82.1±4.1	2.07 2.04	96.7 97.2	6.26 6.24	Oishi Formation
2	GSJ R66077	p	81.7±4.1 (34° 07' 03" N, 135° 23' 44.8" E)	81.5±4.1 81.9±4.1	1.80 1.81	96.6 94.9	5.55 5.56	
3	GSJ R66078	p	101.0±5.0 (34° 06' 17" N, 135° 21' 42.5" E)	101.0±5.0	1.92	94.6	4.76	Numata Formation
4	GSJ R66079	p	108.0±5.0 (34° 06' 8.6" N, 135° 21' 27.2" E)	108.0±5.0	2.80	96.8	6.45	
5	GSJ R66080	p	99.4±5.0 (34° 06' 8.6" N, 135° 21' 27.2" E)	101.0±5.0	2.46	96.5	6.12	
6	GSJ R66081	p	117.0±6.0 (34° 06' 01" N, 135° 21' 34" E)	117.0±6.0	2.76	95.4	5.89	
7	GSJ R66082	p	112.0±6.0 (34° 05' 50" N, 135° 21' 28" E)	112.0±6.0	2.34	95.7	5.23	Saga Formation
8	GSJ R66083	p	118.0±6.0 (34° 05' 34" N, 135° 22' 01" E)	118.0±6.0	2.49	94.1	5.26	
9	GSJ R76313	p	84.9±4.2 (34° 07' 29.4" N, 135° 19' 49" E)	85.3±4.3	1.09	91.3	3.22	Oishi Formation
10	GSJ R76316	p	85.7±4.3 (34° 07' 32.5" N, 135° 19' 37" E)	85.7±4.3	1.44	94.4	4.20	
11	GSJ R67052	p	96.7±4.8 (34° 06' 10.3" N, 135° 19' 59" E)	94.9±4.7	1.57	95.6	4.15	Numata Formation
12	GSJ R76321	p	84.9±4.2 (34° 07' 21.45" N, 135° 17' 15.4" E)	85.4±4.3	1.52	94.3	4.47	
13	GSJ R66084	p	113.0±6.0 (34° 04' 46.6" N, 135° 16' 48.5" E)	113.0±6.0	2.50	97.2	5.49	Saga Formation
14	GSJ R76324	p	84.4±4.2 (34° 08' 44.7" N, 135° 15' 13.4" E)	84.1±4.2	1.29	91.4	3.85	
15	GSJ R76318	p	86.8±4.3 (34° 07' 58" N, 135° 15' 41.3" E)	87.5±4.4	1.31	91.8	3.76	Oishi Formation
16	GSJ R66074	p	84.8±4.2 (34° 06' 20" N, 135° 15' 16.5" E)	85.4±4.3	1.97	95.5	5.81	
17	GSJ R66075	g	89.9±4.5 (34° 06' 7.45" N, 135° 15' 19" E)	89.6±4.5	1.35	92.9	3.77	
18	GSJ R66085	p	118.0±6.0 (34° 04' 38" N, 135° 14' 59.5" E)	118.0±6.0	1.67	96.1	3.53	
19	GSJ R76328	p	88.1±4.4 (34° 08' 6.3" N, 135° 13' 29" E)	88.3±4.4	2.01	94.2	5.72	Saga Formation
20	GSJ R76330	p	87.9±4.4 (34° 07' 38.3" N, 135° 13' 41" E)	88.8±4.4	0.414	79.9	1.17	
21	GSJ R76325	p	90.0±4.5 (34° 07' 20.7" N, 135° 14' 8.6" E)	90.0±4.5	1.99	93.4	5.55	Oishi Formation
22	GSJ R76323	p	90.7±4.5 (34° 07' 21.1" N, 135° 14' 32.5" E)	89.2±4.5	0.996	93.0	2.73	
23	GSJ R76331	p	90.2±4.5 (34° 07' 1.9" N, 135° 14' 7.6" E)	90.9±4.5	1.93	95.0	5.32	Oishi Formation
				89.5±4.5	1.90	94.5	5.33	

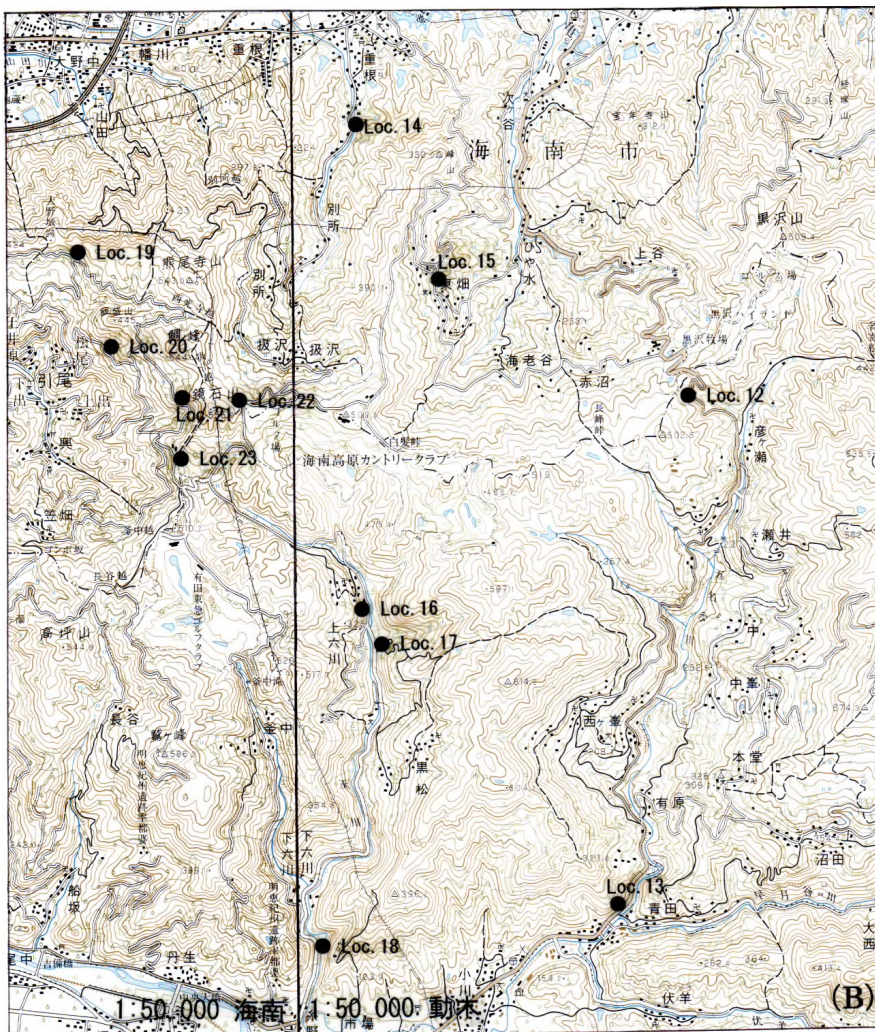
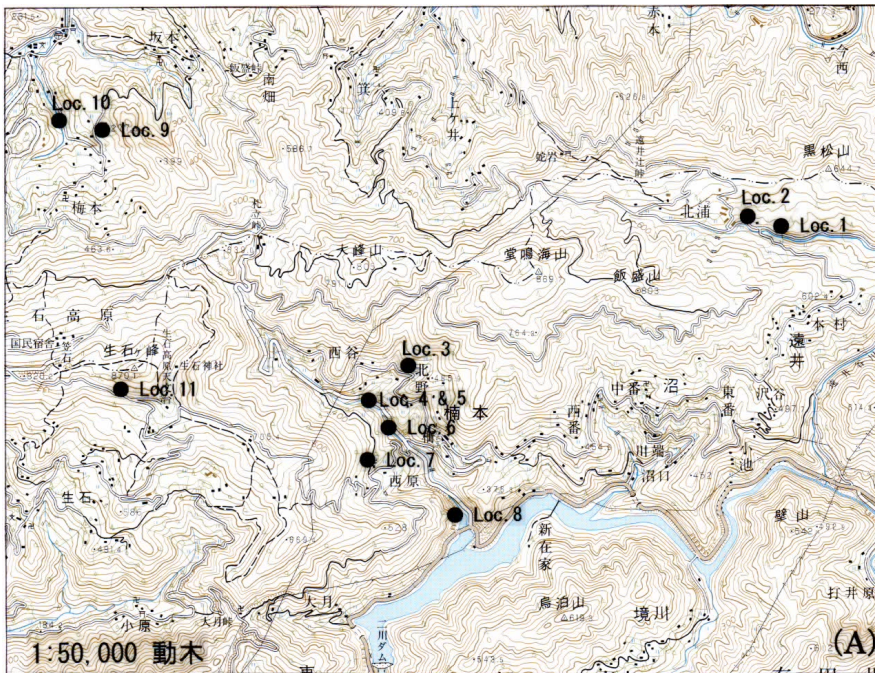
p : pelitic schist, g : greenschist

Decay constants used to calculate ages are after Steiger and Jager (1977).

$\lambda_{\epsilon} = 0.581 \times 10^{-10}/\text{yr}$ ,  $\lambda_{\beta} = 4.962 \times 10^{-10}/\text{yr}$ ,  $^{40}\text{K}/\text{K} = 1.167 \times 10^{-2} \text{atom\%}$

Mesurement by Allegheny Technologies Japan Ltd.





第2図 (A)(B) K-Ar年代測定試料採取地点.

基図として国土地理院発行の50,000分の1地形図「動木」「海南」を使用. 地図の範囲は第1図を参照. 地点番号は第1表に対応.

Fig.2 (A)(B) Locality map of dated samples.

Topographic maps are parts of 1:50,000 map sheets "Todoroki" and "Kainan" of Geographical Survey of Institute. The area is shown in Fig.1. Locality numbers are corresponding to those in Table 1.



Structural division	Geologic units	Geologic age						
		Triassic	Jurassic			Cretaceous		Paleogene
			Early	Middle	Late	Early	Late	
		201.3Ma			145Ma		66Ma	
Sambagawa Belt (in strict sense)	Spotted zone						↔ 75.0-72.0	
	Non-spotted zone						↔ 96.7 - 68.7	
Mikabu Belt	Oishi Formation						↔ 98.2 - 81.7	
	Numata Formation						↔ 125.1 - 96.7	
	Saga Formation						↔ 118.0-113.0	
	Kebara Formation						↔ 97.1-89.3	
Kurosegawa Belt	Sakaigawa Formation and its equivalent	*					210.4	
Shimanto Belt	Hanazono Formation						* 66.8	

第3図 和歌山県北西部におけるK-Ar年代

データは本報告及び栗本(1993, 1995)に基づいて編集.

Fig.3 Distribution of K-Ar ages in the north-western part of Wakayama Prefecture.

Data from this report and Kurimoto (1993, 1995).

Ma, Loc13 ; 98.2 Ma, Loc.14 ; 91.2 Ma) の測定結果は、今回の生石層からのK-Ar年代の範囲に含まれる(栗本(1995)のLoc.12は無点紋帯とされたが、地層区分の再検討により今回、生石層に含めた).

沼田層については、Locs.3-7及びLoc.11の6試料から96.7-117.0 Maの範囲の年代値を得た. 栗本(1995)による1試料(Loc.15 ; 125.1 Ma)を合わせると、沼田層のK-Ar年代は96.7-125.1 Maの範囲になる. 試料はすべて泥質片岩である.

嵯峨層については、Loc.8, Loc.13, Loc.18の3試料から113-118 Maの範囲のK-Ar年代値を得た. 試料はすべて泥質片岩である.

これらの御荷鋳緑色岩類の試料は、緑泥石帯に相当し、緑色岩の鉱物共生からみてパンペリー石-アクチノ閃石相であり、最高温度はK-Ar系の閉止温度より低いので、今回得られた年代値は変成作用の年代を示していると考えられる.

今回、御荷鋳帯から得られたK-Ar年代について、生石層と毛原層(89.3 Ma-97.1 Ma ; 栗本, 1993)を比較すると、生石層がやや広いK-Ar年代幅を有するが、K-Ar年代の範囲は重なる傾向にある. 嵯峨層は3試料のみであるが、K-Ar年代は集中している. 一方、沼田層は広い年代値を示す. 沼田層と嵯峨層のいずれも生石層・毛原層と比較して優位に古いK-Ar年代を示す.

## 5. まとめ

御荷鋳緑色岩類の岩石から変成白雲母を抽出し、23試料についてK-Ar年代測定を測定した. 既報告(栗本, 1995)を加味すると、生石層からは81.7-98.2 Ma, 沼田層からは96.7-125.1 Ma, 嵯峨層からは113-118 MaのK-Ar年代を得た. K-Ar系の閉止温度からみて、御荷鋳帯から得られたK-Ar年代は変成作用の年代を示していると考えられる. K-Ar年代測定試料の岩相・変成度、及び層序学的・構造的な位置など、今後さらに検討が必要である.

## 文献

- 秋元 宏(1966) 紀州三波川帯の点紋帯とその周辺部の構造地質学的考察. 地球科学, no. 83, p. 1-7.
- de Jong, K., Kurimoto, C. and Guise, P.G.(2000) <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar whole-rock dating of metapelites from the Mikabu and Sambagawa belts, western Kii peninsula, southwest Japan. *Jour.Geol.Soc.Japan*, vol. 106, p. 703-712.
- de Jong, K., Kurimoto, C. and Gilles, R. (2009) Triassic <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar ages from the Sakaigawa unit, Kii Peninsula, Japan: implications for possible merger of the Central Asian Orogenic Belt with large-scale tectonic systems of the East Asian margin. *Int. Jour. Earth. Sci.*, vol. 98, p. 1529-1556.
- Hada, S.(1967) Geology of Middle-Aritagawa district, Wakayama Prefecture, with special reference to the



- relationship between the Chichibu belt and Sambagawa belt. *Bull. Osaka Museum Natural History*, no. 20, p. 39-60.
- Hara, I., Shiota, T., Hide, K., Kanai, K., Goto, M., Seki, S., Kaikiri, K., Takeda, K., Hayasaka, Y., Miyamoto, T., Sakurai, Y. and Ohtomo, Y. (1992) Tectonic evolution of the Sambagawa schists and its implications in convergent margin process. *Jour. Sci., Hiroshima Univ., Ser. C*, vol. 9, p. 495-595.
- 平山 健・神戸信和(1959) 5万分の1地質図幅「高野山」及び同説明書. 地質調査所, 41 p.
- 平山 健・田中啓策(1956a) 5万分の1地質図幅「動木」及び同説明書. 地質調査所, 37 p.
- 平山 健・田中啓策(1956b) 5万分の1地質図幅「南海」及び同説明書. 地質調査所, 62 p.
- 廣田善夫(1991) 紀伊半島西部の三波川変成帯の地質. 島根大理紀要, vol. 25, p. 131-142.
- 磯崎行雄・橋口孝泰・板谷徹丸(1992) 黒瀬川クリッペの検証. 地質雑, vol. 98, p. 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-. 地質雑, vol. 96, p. 623-639.
- 岩橋 勉(1962) 紀ノ川南部の点紋結晶片岩帯の地質構造(予報). 和歌山大学学芸学部紀要(自然科学), no. 12, p. 53-60.
- 岩橋 勉(1968) 和歌山県北部長峯山脈の地質構造と層序に関する問題点. 和歌山大学教育学部紀要(自然科学), no. 18, p. 19-31.
- 金井賢二・原 郁夫・谷野圭助・塩田次男・秀 敬・早坂康隆・岡本和明(1990) 三波川変成岩の年代論. 日本地質学会第97年学術大会講演要旨, p. 468.
- 栗本史雄(1982) 和歌山県高野山南西方のいわゆる秩父系-上部白亜系花園層-. 地質雑, vo. 88, p. 901-914.
- 栗本史雄(1986) 和歌山県美里地域の毛原層-三波川帯と秩父累帯の境界に関連して-. 地調月報, vol. 37, p. 381-389.
- 栗本史雄(1993) 和歌山県北東部の三波川・黒瀬川・四万十帯構成岩類のK-Ar年代. 地調月報, vol. 44, p. 367-375.
- 栗本史雄(1995) 和歌山県北東部の三波川変成岩類のK-Ar年代. 地調月報, vol. 46, p. 517-525.
- 栗本史雄・牧本 博・吉田史郎・高橋裕平・駒澤正夫(1998) 20万分の1地質図幅「和歌山」. 地質調査所.
- 中山 勇(1983) 四国東部及び紀伊半島西部の三波川帯の苦鉄質・超苦鉄質貫入岩について(その2) 紀伊半島西部の三波川帯の苦鉄質・超苦鉄質貫入岩と三波川帯四国区での三波川帯の形成と貫入岩の関係について. 地球科学, vol. 37, p. 312-328.
- 西村祐二郎・板谷徹丸・磯崎行雄・亀谷 敦(1989) 西南日本内帯 220 Ma高压変成岩の原岩年代と変成履歴-山口県錦町地域の例-. 地質学論集, no. 33, p. 143-166.
- Steiger, R. H. and Jager, E.(1977) Subcommission on geochronology : convection on the use of decay constant in geo- and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 36, p. 359-362.
- 武田賢治・佃 栄吉・徳田 満・原 郁夫(1977) 三波川帯と秩父帯の構造的関係. 秀 敬(編), 三波川帯, p. 107-151. 広島大学出版研究会.
- 山田昌史(1997) 紀伊半島西部の三波川帯沼田層・嵯峨層から産出したジュラ紀放射散虫化石. 第104年日本地質学会学術大会講演要旨, p. 148.

( 受 付 : 2012年8月27日 ; 受 理 : 2013年3月22日 )

## 地質調査総合センター研究資料集

- |     |   |   |
|-----|---|---|
| 550 | 岩手県、宮城県及び福島県北部から産出した束柱類化石の地質年代                              | 柳沢幸夫  |
| 551 | 地質調査総合センター第18回シンポジウム地質学で読み解く巨大地震と将来の予測 —どこまでわかったか—          | 地質調査総合センター編   |
| 552 | 地質調査総合センター第19回シンポジウム社会ニーズに応える地質地盤情報 —都市平野部の地質地盤情報をめぐる最新の動向— | 地質調査総合センター編   |
| 553 | 釧路炭田地域石炭資源探査坑井（北陽・留真・釧路沖）のコア試料の観察結果                         | 佐脇貴幸・中嶋 健・小笠原正継・鈴木祐一郎   |
| 554 | イーハトーブの地質ジオ   | 加藤碩一・青木正博・長森英明  |
| 555 | 産総研におけるベントナイトのメチレンブルー吸着量測定方法                                | 堀内悠・高木哲一  |
| 556 | 概要調査の調査・評価項目に関する技術資料 —立地要件への適合性とその根拠となる調査結果の妥当性—            | 深部地質環境研究コア編   |
| 557 | 第1回アジア太平洋大規模地震・火山噴火リスク対策ワークショップ講演要旨集                        | 佃 栄吉・高橋 浩・宝田晋治・高田 亮・桑原保人・吾妻 崇・小泉尚嗣・石川有三                                     |
| 558 | 2011年の霧島山噴火映像   | 宮城磯治  |
| 559 | 砂漠を歩いてマントルへ —中東オマーンの地質探訪—                                   | 小笠原正継・青木正博・芝原暁彦・澤田結基  |
| 560 | 概要調査の調査・評価項目に関する技術資料 —立地要件への適合性とその根拠となる調査結果の妥当性—            | 深部地質環境研究コア編   |
| 561 | 一般向けウェブページ用地質用語の解説  | 吉川敏之・井川敏恵・西岡芳晴  |
| 562 | 茨城県瓜連丘陵に分布する引田層のフィッシュン・トラック年代                               | 山元孝広  |
| 563 | 仙山線沿線の地質ガイド   | 高橋裕平  |
| 564 | 日本列島における地下水賦存量の試算に用いた堆積物の地層境界面と層厚の三次元モデル（第一版）               | 越谷 賢・丸井敦尚   |
| 565 | ミクロな化石で地球を探る —微化石と地質調査—                                     | 芝原秋彦・板木拓也・渡辺真人  |
| 566 | 2011年9月紀伊半島台風12号による災害緊急調査報告                                 | 川畑大作・斎藤 眞   |
| 567 | 石川県輪島市（能登半島）に分布する中新統塚田泥岩層の珪藻化石                              | 柳沢幸夫  |
| 568 | 佐渡島羽茂地域の後期中新世海生珪藻化石   | 柳沢幸夫  |
| 569 | 佐渡島小木半島の中新世玄武岩層の年代—珪藻年代層序による再検討                             | 柳沢幸夫  |
| 572 | 産技連地質関係合同研究会地質地盤および地圏環境に関する最近の成果                            | 産技連地質関係合同研究会事務局   |
| 573 | 地質調査総合センター第19回シンポジウム「地質学は火山噴火の推移予測にどう貢献するか」                 | 地質調査総合センター編   |
| 575 | 第11回水文学的・地球化学的手法による地震予知研究についての日台国際ワークショップ予稿集                | 小泉尚嗣、松本則夫、謝正倫編  |
| 577 | 地質情報展2012 おおさか —過去から学ぼう大地のしくみ—                              | 川畑 晶・中島和敏・大熊洋子・百目鬼洋平編   |
| 578 | 第3回火山巡回展霧島火山—ボラ（軽石）が降ってきた！新燃岳の噴火とその恵み—                      | 及川輝樹・筒井正明・田島靖久・芝原暁彦・古川竜太・斎藤元治・池辺伸一郎・佐藤 公・小林知勝・下司信夫・西来邦章・東宮昭彦・宮城磯治・中野 俊・渡辺真人 |

地質調査総合センターの最新出版物

200 万分の 1 地質編集図	No. 4	日本地質図第 5 版
20 万分の 1 地質図幅		伊勢・静岡及び御前崎 (第 2 版)・与論島及び那覇・八代及び野母崎の一部・新潟 (第 2 版)
5 万分の 1 地質図幅		西郷・延岡・野田・加茂・戸賀及び船川 (第 2 版)・熱海・榛名山・阿仁合 (第 2 版)・足助
海外地球科学図		アジア地質図 (1:500 万)
		中央アジア鉱物資源図 (1:300 万)
海洋地質図	No. 77	日高舟状海盆海底地質図 (1:20 万)
	No. 78	宗谷岬西方海底地質図 (1:20 万)
	No. 79	野間岬沖表層堆積図 (1:20 万)
	No. 80	奥尻島北方表層堆積図 (1:20 万)
構造図	No. 14	全国主要活断層活動確率地図
火山地質図	No.15	樽前火山地質図 (1:3 万)
	No.16	十勝岳火山地質図 (1:3 万)
鉱物資源図	No. 7	南西諸島 (1:50 万)
特殊地質図	No. 39	千葉県清和県民の森周辺の地質図
重力図	No. 27	岡山地域重力図 (ブーゲー異常)
	No. 28	高知地域重力図 (ブーゲー異常)
	S3	甲府地域重力構造図 (ブーゲー異常)
空中磁気図	No. 44	岩手火山地域高分解能空中磁気異常図
	No. 45	福井平野地域高分解能空中磁気異常図
数値地質図	G-16	20 万分の 1 日本シームレス地質図 DVD 版
	G-17	九州地質ガイド
	FR-2	燃料資源地質図「東部南海トラフ」
	GT-4	全国地熱ポテンシャルマップ
	S-1	海陸シームレス地質情報集「能登半島北部沿岸域」DVD 版
	S-2	海陸シームレス地質情報集「新潟沿岸域」DVD 版
	V-3	口永良部島火山地質データベース
	P-7	有珠火山地域地球物理総合図
	G20-1	20 万分の 1 数値地質図幅集「北海道北部」第 2 版
	G20-2	20 万分の 1 数値地質図幅集「北海道南部」第 2 版
	E-5	表層土壌評価基本図 ～富山県地域～
その他		日本の熱水系アトラス
		海と陸の地球化学図



地質調査研究報告編集委員会

委員長 佐脇 貴 幸  
副委員長 片山 肇  
委員 大谷 竜  
長 森 英 明  
鈴木 淳  
澤井 祐 紀  
月村 勝 宏  
川邊 禎 久  
神宮 司 元 治  
内野 隆 之  
森尻 理 恵  
高橋 浩  
工藤 崇  
中野 俊

事務局

独立行政法人 産業技術総合研究所  
地質調査情報センター  
地質・衛星情報サービス室  
Tel : 029-861-3601  
<http://www.gsj.jp/inquiries.html>

地質調査研究報告 第64巻 第3/4号  
平成25年5月14日 発行

独立行政法人 産業技術総合研究所  
地質調査総合センター  
〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1  
つくば中央第7

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

Bulletin of the Geological Survey of Japan Editorial Board

Chief Editor: Takayuki Sawaki  
Deputy Chief Editor: Hajime Katayama  
Editors: Ryu Ohtani  
Hideaki Nagamori  
Atsushi Suzuki  
Yuki Sawai  
Katsuhiko Tsukimura  
Yoshihisa Kawanabe  
Jinguuji Motoharu  
Takayuki Uchino  
Rie Morijiri  
Yutaka Takahashi  
Kudo Takashi  
Shun Nakano

Secretariat

National Institute of Advanced Industrial  
Science and Technology  
Geological Survey of Japan  
Geo-information Center Geoinformation Service Office  
Tel: +81-29-861-3601  
<http://www.gsj.jp/inquiries.html>

Bulletin of the Geological Survey of Japan  
Vol.64 No.3/4 Issue May 14, 2013

National Institute of Advanced Industrial  
Science and Technology  
**Geological Survey of Japan**  
AIST Tsukuba Central 7, 1-1, Higashi 1-chome,  
Tsukuba, Ibaraki 305-8567 Japan

All rights reserved.

BULLETIN  
OF THE  
GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 64 No. 3/4 2013

CONTENTS

Geology of the Ryoke Plutono–Metamorphic Complex in the Tsukude area, central Japan Shunsuke Endo and Toru Yamasaki.....	59
Triassic to Middle Jurassic radiolarians from pelagic cherts in the Nanjō Mountains, Southwest Japan – Part 1. Imajō district Satoshi Nakae.....	85
K–Ar ages of the Mikabu Greenstones in the northwestern part of Wakayama Prefecture, Southwest Japan Chikao Kurimoto.....	113

GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN  
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

1-1, Higashi 1-chome, Tsukuba, Ibaraki, 305-8567 Japan

地 調 研 報  
Bull. Geol. Surv. Japan  
Vol. 64, No. 3/4, 2013