

## ジュラ紀中世のマンガン炭酸塩ノジュールと母岩の放散虫化石群集の年代 について—珪質泥岩中の炭酸マンガン粒子の再堆積過程—

藤原 武史<sup>1)</sup>

### Difference in radiolarian ages of Middle Jurassic manganese carbonate nodules and their host rocks in the Mino Terrane: Implications for the origin of manganese carbonate micro-spherules

FUJIHARA Takeshi<sup>1)</sup>

1) 大阪市立大学大学院理学研究科地球学教室 (Department of Geosciences, Graduate School of Science, Osaka City University, Sugimoto 3-3-138, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585, Japan)

(2007 年 1 月 13 日受付, 2007 年 2 月 16 日第一回査読終了, 2008 年 2 月 7 日受理)

#### Abstract

Comparison of the paleontology, sedimentology, and taphonomy of manganese nodules and enclosing strata from the banks of the Kiso River in the Mino Terrane, Inuyama area, southwest Japan, indicates that radiolarians in manganese carbonate micro-spherules were reworked from older sediment and did not come from the surrounding sedimentary environment. To explain this, manganese carbonate micro-spherules that initially formed on the pelagic ocean floor were later transported to a hemipelagic deposition site. We sampled manganese carbonate nodules and their host rock at three stratigraphic levels (IN-16, -3.5, and -21 in ascending order) to perform a taxonomic analysis of their radiolarian fauna. Manganese carbonate nodules (Man) contained between 223 and 250 species, depending on stratigraphic level, whereas the matrix enclosing the nodules (Mat) contained 57 to 128 species. Faunal similarity among the horizons was assessed using the quotient of similarity (QS), which showed a positive correlation with stratigraphic position. In contrast, the faunal similarity between Mat and Man in each horizon was considerably lower. Man samples, except for IN-16, had more spumellarian species than did Mat at the same horizon, and Mat contained rare indigenous spumellarian species, but fewer indigenous nassellarian species. A different number of biostratigraphic events was also identified in Mat samples (eight first and one last occurrence event) than in Man samples (six first and 23 last occurrence events). The larger number of species present in Man than in Mat may be the product of contamination by older radiolarians. This possibility was evaluated using known temporal morphological variation in the size of the basal appendages (increasing through time) and abdomen of *Striatojaponocapsa plicarum*. *S. plicarum* specimens exhibited a wider range in basal appendage size in Man (except IN-16) than in Mat from the same horizon; this would have been caused by a mixture of *S. plicarum* of different ages. Furthermore, the basal appendages of *S. plicarum* tended to be smaller in Man than in Mat at the same horizon, implying that individuals in Man were predominantly derived from older sediments. The manganese carbonate micro-spherules lacked terrigenous siliciclastic grains, suggesting that they precipitated under pelagic conditions. They were commonly broken and abraded, however, and were present as layers that were laminated and locally rippled. These sedimentary structures suggest that the micro-spherules were transported by bottom currents from a pelagic location, where they originally formed by precipitation from seawater, and redeposited on a hemipelagic ocean floor.

**Key words:** Middle Jurassic, Radiolaria, siliceous mudstone, manganese nodule, sedimentology, *Striatojaponocapsa plicarum*, formative process, Inuyama area, central Japan

## はじめに

ジュラ系から産するマンガン炭酸塩ノジュールと一般的に呼ばれている炭酸マンガン粒子の集合体の中には、非常に保存状態の良い放散虫化石が含まれている。そのため現在までに、含まれる放散虫化石の分類学的、生層序学的および群集解析的研究が数多く行われてきた (e. g. Yao, 1979; 脇田, 1982; 服部, 1989; 八尾, 1997; 荒川, 1998; Suzuki and Ogane, 2004; Hori and Wakita, 2006)。岐阜県各務原市鵜沼の木曽川河床の珪質泥岩層中にも、このようなマンガン炭酸塩ノジュールが散在した状態で含まれている。マンガン炭酸塩ノジュールは、球顆状の炭酸マンガン粒子が、基質である珪質泥岩中に層状あるいは塊状に密集したものである。八尾 (1997) は、美濃帶のジュラ系下部 - 中部の 5 層準において、炭酸マンガン粒子中の放散虫化石群集を解析し、それらの化石群集の変遷様式を検討した。その結果、ジュラ紀古世 Toarcian からジュラ紀中世 Bajocian までの放散虫化石群集の変遷が、群集を構成する各種の生存期間の長短と、新種の出現率・既存種の絶滅率に規制されていることを明らかにした。また、西原・八尾 (2005) は、美濃帶犬山地域の鵜沼セクションのジュラ系中部 (Bajocian) の 5 層準において、炭酸マンガン粒子中の放散虫化石群集を解析し、群集変遷の様式と要因を考察している。箕浦ほか (1983) は、鵜沼セクションの珪質泥岩中に含まれる炭

酸マンガン粒子が、堆積物 - 海水境界付近で二酸化マンガンの還元・遊離による間隙水中のマンガンを固定しながら急速に成長したことを、鉱物化学的検討により考察した。一方、珪質泥岩中の放散虫化石に関しては、殻が続成作用により、比較的滑らかな非晶質珪酸から粒状の石英の集合体へと変化している (水谷・柴田, 1983) ことから、珪質泥岩中の放散虫殻は、炭酸マンガン粒子中のものより続成作用による変化が大きかったと考えられている。また、水谷・小池 (1982) は鵜沼セクションの珪質泥岩中の放散虫化石群集を検討し、その群集は Bajocian を示すと推定した。このように年代的に等しいことから、珪質泥岩と炭酸マンガン粒子中の放散虫化石群集は同一のものであると認識してきた。しかし、同一層準において珪質泥岩と炭酸マンガン粒子中の放散虫化石群集を同時に解析・比較した研究は未だ行われていないため、年代が等しいことが直接立証されているわけではない。これは 1982 年代の頃は放散虫種の記載も初期段階にあり、全群集解析が困難であったため、群集の類似性の比較が困難であったことにもよるのであろう。

母岩とノジュールの年代が異なる事例は、現世の深海底堆積物から数多く報告されている。たとえば、Barash and Kruglikova (1994) によれば、海洋底表層堆積物の基質部分が完新統であるにもかかわらず、含有されるマンガンノジュールには始新世 - 前期中新世の放散虫が混在している事実が知られている。また、リン酸塩ノジュールが礫として再移動している事例もデボン紀で確認されている。このよう

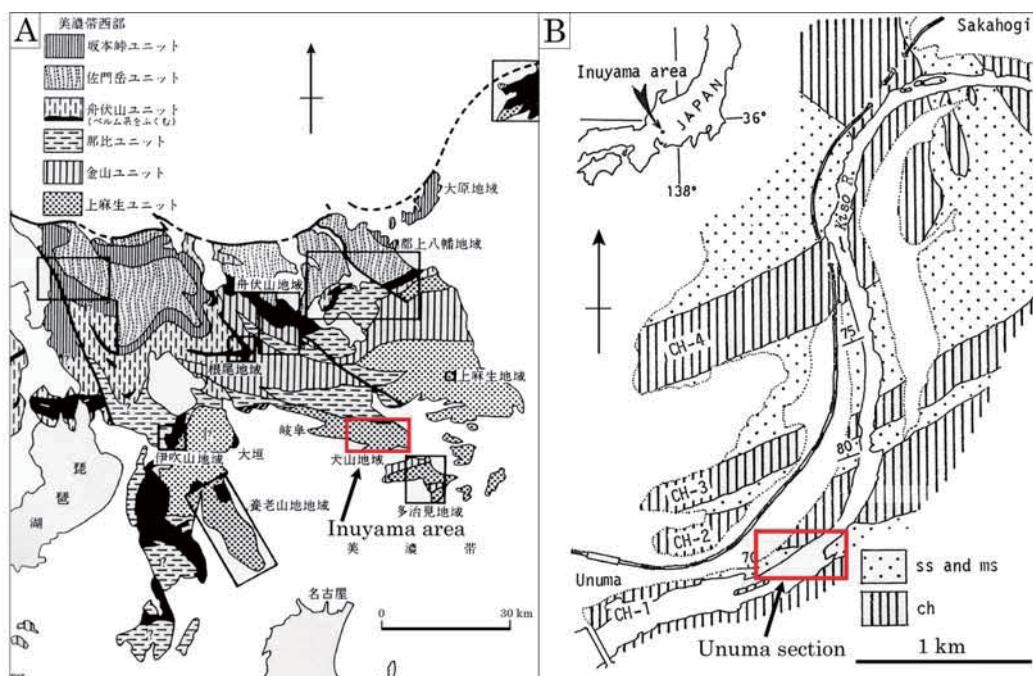


Fig. 1. A. Index map of the sedimentary complexes in the western Mino Terrane, and the Inuyama area (arrow). Base map from Wakita (1988). B. Simplified geological map of the Inuyama area from Yao et al. (1980), showing the Unuma section, Inuyama area.

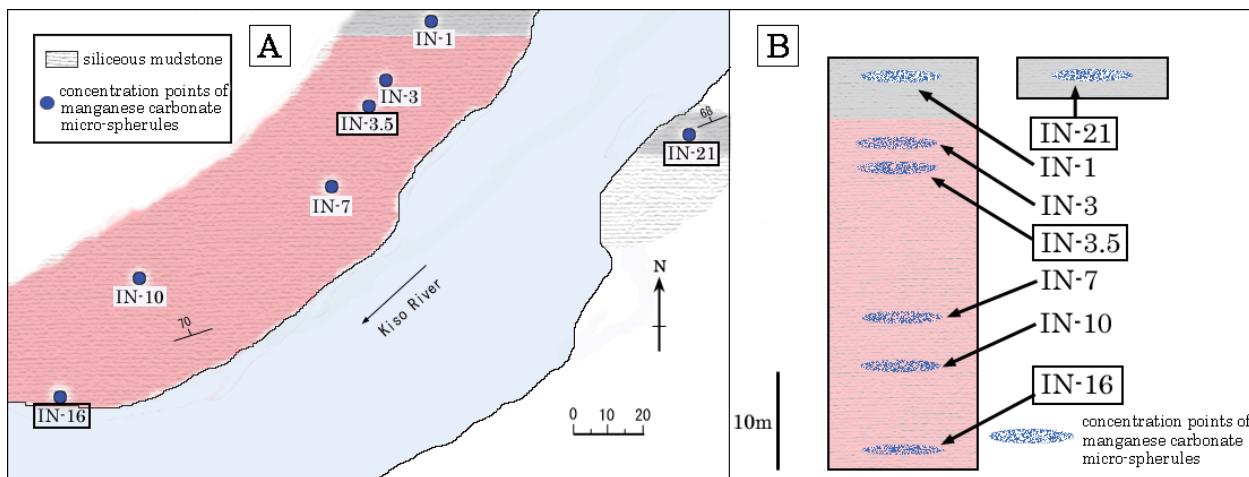


Fig. 2. A. Simplified map of the Unuma section, Inuyama area, with stratigraphic horizons mentioned in previous work. The material studied was collected from levels IN-16, -3.5, and -21. Dark gray areas: siliceous mudstone. Horizontal broken lines: mudstone. B. Stratigraphic column for the Unuma section showing the examined horizons (quadrangle open square).

な事実は、基質とノジュールとの年代的関係を慎重に検証する必要があることを強く示唆している。くわえて、放散虫化石群集は多かれ少なかれ化石記録の不完全性を伴うため、群集の変遷様式を検討する際、タフォノミー的視点も重要なことが指摘されている（桑原・八尾, 2004）。本稿では、珪質泥岩とそれに含まれるマンガン炭酸塩ノジュールを対象に、双方に含まれる放散虫化石群集の群集構成を解析し、両群集の違いを明らかにすることに加え、珪質泥岩の堆積構造や炭酸マンガン粒子の微細構造に着目し、タフォノミー的視点から、珪質泥岩と炭酸マンガン粒子中に含まれる放散虫化石の化石化過程に関して考察する。

## 地質概要

### 1. 犬山地域

調査地域である犬山地域は、愛知県犬山市及び岐阜県各務原市に位置する。本地域には、ジュラ紀～白亜紀最初期の付加体で構成される美濃帯のうち、上麻生ユニット (Fig. 1A) の堆積岩が広く露出する (Wakita, 1988)。これらの地層は全体として西に傾くシンフォームを成して分布する。Yao (1972, 1979) は、犬山地域の放散虫化石群集の詳細を明らかにした。そして、Yao et al. (1980) は放散虫生層序学的研究により、犬山地域の地質体が海洋プレート層序を基本とし、その層序が様々な層準で層理面にほぼ平行な断層によって切られて繰り返し累重しているため、見かけの層厚が厚くなっていることを明らかにした。その海洋プレート層序の基本的な岩層層序とは、下位から、珪質粘土岩層、層状チャート層、珪質泥岩層、泥岩層、砂岩泥岩互層の順である。

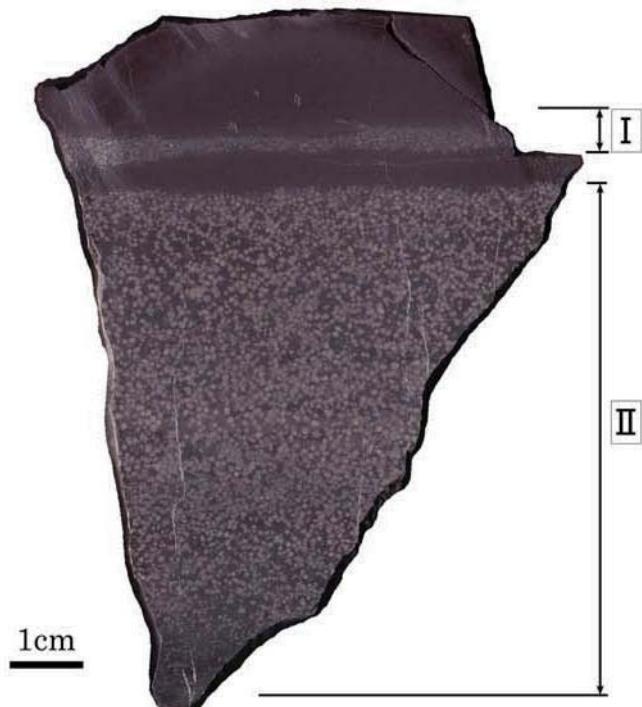


Fig. 3. Polished surface of dark gray siliceous mudstone with white to light gray manganese carbonate grains, showing sedimentary structures.

本研究試料を採取した珪質泥岩層は、犬山地域の南部に位置する鵜沼セクションの珪質泥岩層で、北側のチャート (CH-2) と南側のチャート (CH-1) (Yao et al., 1980) にはさまれて分布する (Fig. 1B)。

### 2. 鵜沼セクション

鵜沼セクションは、岐阜県各務原市鵜沼の木曽川右岸および愛知県犬山市の同左岸に露出している (Fig. 2A)。本セクションに分布する珪質泥岩層の層理面の主な走向・

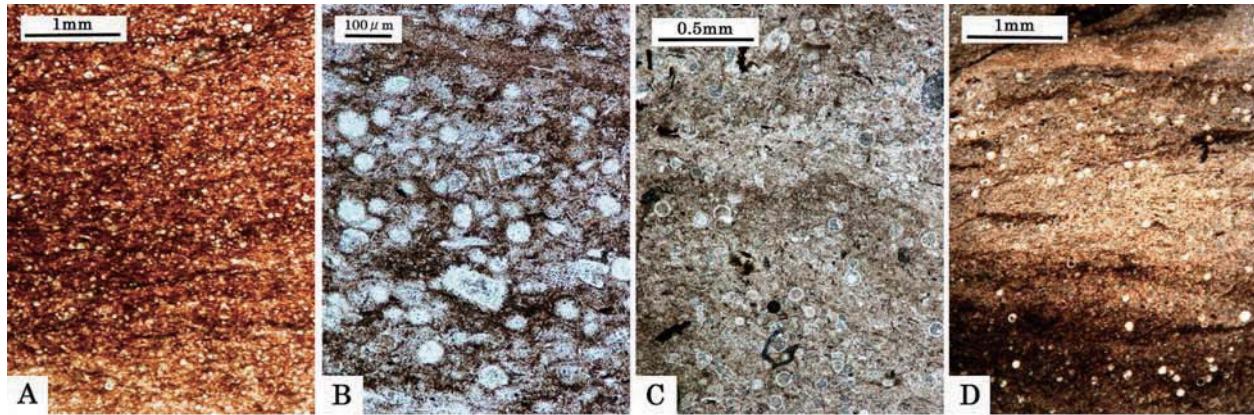


Fig. 4. Photomicrographs of siliceous mudstone. Plane-polarized light for all figures. A. IN-16, B. IN-16, C. IN-3.5, D. IN-21.

傾斜は、右左河岸ともに  $N60^{\circ} \sim 84^{\circ} E$ ,  $67^{\circ} \sim 89^{\circ} N$  である。珪質泥岩は全体に赤色を呈し、ラミナ等の堆積構造が発達する。詳細な放散虫生層序学的研究から、北方上位であることが明らかにされている (Yao, 1972)。最上位の珪質泥岩は灰色を呈し、北側で三畳紀のチャート層 (CH-2) と断層で画される (Yao, 1980)。また、珪質泥岩層の幾つかの層準で、炭酸マンガン結晶（菱マンガン鉱：rhodochrosite）の球状粒子が層状に密集する層準が確認される (Figs. 2A, 2B)。炭酸マンガン粒子の密集体は走向方向に連続して产出することが多い (Yao, 1972)。

基質の珪質泥岩中における炭酸マンガン粒子の密集状態は全体的に不均質で、粒子の密な部分や疎な部分が存在し、それらによって縞状を呈する場合もある。また、炭酸マンガン粒子を含まない珪質泥岩の薄層が炭酸マンガン粒子の密集層に挟在される部分も存在する。両者の境界は炭酸マンガン粒子の密度により、明瞭に分かれる場合と漸移的に移り変わる場合がある (Fig. 3)。露頭において粒子が密集している部分がノジユール状の黒色の塊に見えるのは、炭酸マンガンから遊離したマンガンが黒～暗褐色を呈する二酸化マンガンとなっているためである。

本研究で用いた試料は、木曽川右岸の 2 層準 (IN-16, IN-3.5), 及び同左岸の 1 層準 (IN-21) から採集した。各層準において、炭酸マンガン粒子の密集した試料を IN-16 Man, IN-3.5 Man, IN-21 Man とし、炭酸マンガン粒子の含まれていない珪質泥岩（基質）の試料を IN-16 Mat, IN-3.5 Mat, IN-21 Mat とする。以降, Man とはマンガン試料を指し, Mat は母岩（基質）を指し、同一番号の Mat と Man はほぼ同一層準から採集したことを示すことにする。IN-16 Man 及び IN-16 Mat は、西原・八尾 (2005) の IN-16 とほぼ同層準から採集した。IN-3.5 は、西原・八尾 (2005) の IN-7 と IN-3 の間の層準である。木曽川左岸から採集した IN-21 Mat は灰色を呈し、鵜沼セクションの珪質

泥岩層最上位に位置する西原・八尾 (2005) の IN-1 と色調が類似することから、両者は近い層準であると考えられる。これらの採集層準の位置から判断して、3 層準の上下関係は下位より IN-16, IN-3.5, IN-21 となる (Fig. 2B)。

IN-16 の炭酸マンガン粒子は珪質泥岩中で厚さ約 7cm の層となって密集している。岩石の研磨面観察において基質は灰褐色を呈し、基質がチャート質であるため他の 2 試料と比べ非常に硬い。IN-3.5 の炭酸マンガン粒子も同様に約 22cm の厚さで珪質泥岩中に密集層をつくり、研磨面観察において基質は赤褐色を呈している。IN-21 の炭酸マンガン粒子は約 7cm の厚さの密集層として珪質泥岩中に挟在しており、研磨面観察において基質は黒褐色を呈する。

## 珪質泥岩の堆積構造と炭酸マンガン粒子の微細構造

肉眼観察からこれら炭酸マンガン粒子の産状は堆積構造と考えられ、鏡下観察でその特徴を確認できる。

珪質泥岩には平行葉理が発達し、この堆積構造は粘土鉱物の多い部分と珪酸塩鉱物の多い部分が交互に存在することで生じる色の濃淡によって識別できる (Fig. 4A, 4C, 4D)。色の濃い部分と淡い部分は 1 ~ 2mm 厚の縞を形成し、縞の内部にさらに 0.2 ~ 0.5mm 厚の筋を形成する (Fig. 4D)。また、縞模様が波曲している部分も所々に確認できる (Fig. 4C)。含まれる放散虫化石殻の内部は、粘土鉱物や珪酸塩鉱物で充填されており、殻がやや扁平に変形しているものもある。鏡下において、識別できる個体のほとんどが塔状多節殻あるいは球状閉殻の *Nassellaria* である。また、放散虫化石が葉理と平行に配列する部分が数多く見られ、とくに配列方向を確認しやすい塔状多節殻を持つ *Nassellaria* は、殻の縦軸方向と葉理の縞方向とが一致していることも少なくない (Fig. 4B)。

炭酸マンガン粒子密集体の堆積構造には、二つの典型的な構造が存在することが明らかとなった。一つは、炭酸マンガン粒子の密度が高くかつ均質で、珪質泥岩との境界が上部と下部ともに明瞭である。さらに、上部の境界において炭酸マンガン粒子がリップルを形成するのが特徴的である (Fig. 3 の "I")。もう一つは、炭酸マンガン粒子の密度が前者に比べて全体的に低く、珪質泥岩との境界において、上部は明瞭に分かれているが下部は漸移的で、しかも粒径の小さい炭酸マンガン粒子が漸移部分に多数存在する (Fig. 3 の "II")。

炭酸マンガン粒子は、径数十  $\mu\text{m}$  ~ 数 mm の球状を呈することが多いが、粒子径の小さいものの中には球状の粒子が割れて破片となったと考えられる粒子が多数存在する (Figs. 5C, 5D)。粒子の内部は炭酸マンガンの針状結晶が放射状に集合した構造からなり、偏光顕微鏡のクロスニコル

下で観察すると、各粒子が十字に消光する (Fig. 5H)。炭酸マンガン粒子の表面は、滑らかな部分も存在するが、ほぼ粗面で構成されている (Fig. 5E)。基質中の炭酸マンガン粒子の含まれ方には一見規則性がないように見えるが、珪質泥岩中のラミナに沿って粒子が並んでいるなど、堆積構造に対応する粒子配列も見られる (Fig. 5I)。炭酸マンガン粒子中には、ほとんど破損していない完全な殻状態の放散虫化石が含まれる (Fig. 5E)。1 粒子中に含まれる放散虫化石個体数は粒子により様々であり、断面観察において数十個体が密に接しているものもあれば、1~2 個体しか含まないものもある。また、炭酸マンガン粒子、及びその中に含まれる放散虫化石個体の殻内部には、粘土鉱物はほとんど含まれない。基質中には、粒子中の放散虫化石と同程度に保存が良く、しかも内部に粘土鉱物を含まずに炭酸マンガンで内部を充填された放散虫化石が多数存在する (Figs.

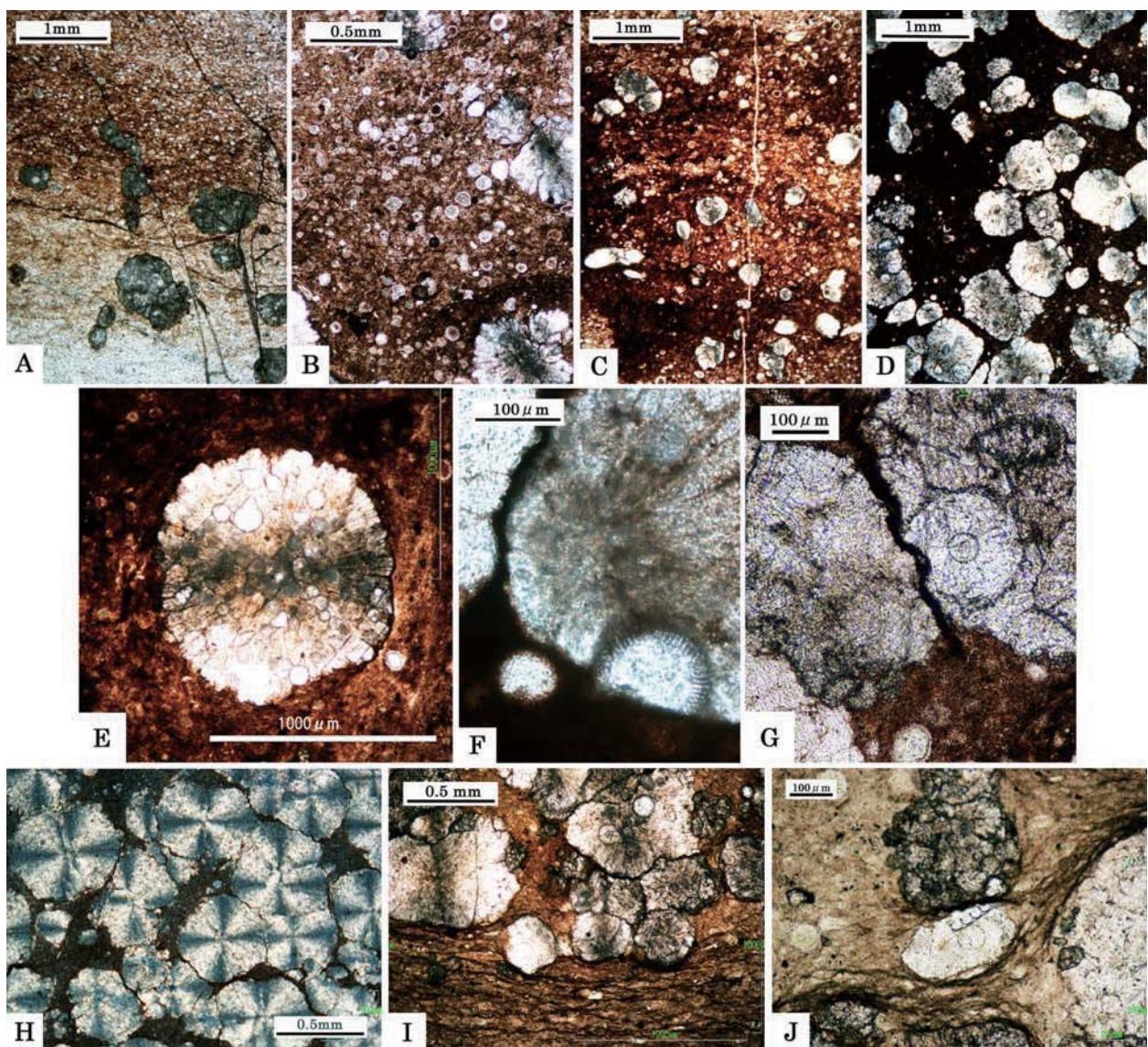


Fig. 5. Photomicrographs of manganese carbonate grains. Plane-polarized light for A to G, I, and J, and crossed polars for H.

5B, 5C). 一方, 基質と炭酸マンガン粒子との境界に接する放散虫個体は, 粒子の外側となる基質側にかかる部分の殻が例外なく滅失している (Fig. 5F). さらに, 粒子同士が接触している境界においても, 同一個体が両方の粒子にまたがり保存されている放散虫化石殻は観察されなかつた (Fig. 5G, 5J).

これらの事実は, 炭酸マンガン粒子が放散虫殻を取り込んだ後に多少とも移動したことを示し, また, 一つの放散虫殻が粒子にまたがることが無い事実は, 移動後に基質中で炭酸マンガン粒子は成長していないか, 成長したとしても粒子が移動することで壊れてしまつてると解釈される.

### 放散虫化石の群集解析

炭酸マンガン粒子を含む珪質泥岩の肉眼観察と鏡下観察より, 炭酸マンガン粒子は形成後に移動していることを示した. 仮にその移動が, 同じ堆積場の中で起こった場合は, 両群集の組成は高い類似性を示すはずである. 一方, 十分に遠くから移動している場合は, 異なる古地理区の群集や年代が異なる群集が炭酸マンガン粒子と基質の間で認められるはずである. この異同を調べるために, 硅質泥岩と炭酸マンガン粒子の密集した試料を用いて, 放散虫化石群集の全群集解析を行つた.

### 1. 処理・観察法

珪質泥岩試料 (IN-16 Mat, IN-3.5 Mat, IN-21 Mat) はフッ化水素酸 (2.5%) 处理を行い, 炭酸マンガン粒子の密集した試料 (IN-16 Man, IN-3.5 Man, IN-21 Man) は 10% の塩酸で処理を行う. これら酸処理の後, 酸を除去するとともに残渣に水を加えて攪拌し, その上澄みを捨てる一連の作業を 4 ~ 5 回繰り返し行う. その後, 放散虫化石殻の表面や内部に存在する付着物を取り除くために, 混酸 (塩酸 : 硝酸 : 水 = 1 : 1 : 1 の混合溶液) を残渣に加え, 加熱し沸騰させてクリーニングする. そして再度, 水による攪拌 - 残渣の沈殿 - 上澄みの廃棄を 4 ~ 5 回繰り返し行う. 以上の過程を経た残渣を少量スプイトグラスでスライドグラスにマウントしホットプレート上で乾燥させた後, 封入剤 (エンテランニュー) で封入しプレパラートを作成する. プレパラートは 1 試料につき 7 ~ 8 枚作成する. その後, 光学顕微鏡を用いてプレパラートを観察し, 形態の異なる放散虫化石個体を画像データとして保存する. そして各試料の放散虫化石画像からそれぞれ属・種を同定する.

フッ化水素酸を用いた処理では, 硅質泥岩中に含まれる脆弱な放散虫が溶け去ってしまうものあると考えられるが (Blome and Reed, 1993), もし Man が周囲の基質由来の放散虫群集から構成されるなら, 基質中で発見される放散虫種は Man 中にも見つかるはずなので, フッ化水素酸処理によって放散虫が消失しても, 本解析では影響しない.

### 2. 種構成

各試料から産出した放散虫化石種を Table 1 に示す. また, 試料ごとの総種数 (T), Spumellaria 種数 (S), Nassellaria 種数 (N), 及び試料間の共通種数 (C), 非共通種数 (NC), 類似度数 (QS), 試料固有種数 (PS) を Table 2 に示す. なお, Entactinaria は内部構造が保存されていない場合に Spumellaria と区別が困難なので, ここでは Spumellaria に含めてある.

3 層準の 6 試料全体で識別した種は, Spumellaria 228 種, Nassellaria 251 種, 合計 479 種である. 3 層準全てにおいて炭酸マンガン粒子 (Man) の放散虫化石群集の種数が, 基質 (Mat) の放散虫化石群集の種数を上回っている. 総種数 (T) の Man/Mat は, IN-16 では 1.9, IN-3.5 では 3.9, IN-21 では 3.5 であり, この事実は IN-3.5 と IN-21 において Mat 中の放散虫化石の種数が少なく, Man の種数と比べて 2 ~ 4 倍の差があることを示す. これまで Mat の種数は Man のそれより少ないと定性的に言られてきたが, 同一層準においてその事実が定量的に示された.

### 3. Spumellaria 種数 /Nassellaria 種数

Mat と Man で放散虫化石の種数が違うことを示したが, その差が特定の分類群の違いによるものかどうかを検討する. とくに, Spumellaria 種数 /Nassellaria 種数は, 古海洋指標に使う研究もあるので, ここではこの比に注目する.

まず, 岩相ごとに Spumellaria 種数 (S) /Nassellaria 種数 (N) にどのような傾向があるのか検討する. 炭酸マンガン粒子の層準ごとに, IN-16 Man では 0.8, IN-3.5 Man では 1.1, IN-21 Man では 1.2 であり, Man において S/N はどの層準においても 1.0 に近い値を示す. 一方, その基質において, IN-16 Mat では 0.6, IN-3.5 Mat では 0.3, IN-21 Mat では 0.3 であり, Mat 間では差は小さいが, Man の S/N と比べると全層準で Mat の値の方が小さく, 特に IN-3.5 と IN-21 においてその差が顕著である. この結果は, Spumellaria の種数が Mat と Man 間に大きな差が存在することを意味する. 実際, 同一層準の Spumellaria 種数 (S) の Man/Mat は, IN-16 では 2.4, IN-3.5 では 9.0,

Table 1. Occurrence of radiolarians in manganese carbonates (suffix: Man) and their host rocks (suffix: Mat). Samples are arranged in stratigraphic order from left to right. Each horizon is indicated as a numerical code that is the same for both manganese nodules and host rocks. First occurrences in host rock (Mat) are indicated in dark gray and those in manganese nodules (Man) are indicated in light gray. Species identification was based on Yao (1997). Abbreviations for taxonomic names: B. Baumgarter, D. & M.: De Wever and Miconnet; I. & M., Isozaki and Matsuda; K. & D., Kito and De Wever; M. & K., Mizutani and Kido; and T. & N., Takemura and Nakaseko.

No.	radiolarian species	Yao(1997)	samples	Yao(1997)	samples
		IN-16Man	IN-16Mat	IN-3.5Man	IN-3.5Mat
		IN-21Man	IN-21Mat	IN-21Man	IN-21Mat
001	<i>Cenosphaera</i> sp. A	2		○	
002	<i>Cenosphaera</i> sp. B	3			○
003	<i>Cenosphaera</i> sp. C	4	○		
004	<i>Cenosphaera</i> sp. B0	5		○	
005	<i>Cenosphaera</i> sp. B2	8		○	○
006	<i>Cenosphaera</i> sp. C2	10	○		
007	<i>Cenosphaera</i> ? sp. X	12		○	
008	<i>Xiphostylus</i> sp. 1				○
009	<i>Xiphostylus logdellensis</i> Pessagno & Yang	20		○	○
010	<i>Triactoma southforkensis</i> Pessagno & Yang	22	○	○	
011	<i>Triactoma brooksi</i> Pessaeno & Yang	24	○	○	
012	<i>Triactoma jakobsae</i> Carter	25	○	○	○
013	<i>Triactoma wickipensis</i> Pessagno & Yang	26		○	○
014	<i>Praeconocarvomma</i> sp. 1		○	○	○
015	<i>Praeconocarvomma</i> sp. 2		○	○	○
016	<i>Praeconocarvomma</i> sp. 3		○	○	○
017	<i>Praeconocarvomma</i> sp. 4		○	○	○
018	<i>Praeconocarvomma</i> sp. 6		○	○	○
019	<i>Praeconocarvomma</i> sp. 7			○	
020	<i>Praeconocarvomma</i> sp. 8			○	
021	<i>Praeconocarvomma</i> sp. 9			○	○
022	<i>Praeconocarvomma</i> sp. 11			○	
023	<i>Praeconocarvomma</i> sp. 12			○	○
024	<i>Praeconocarvomma</i> sp. 13				○
025	<i>Praeconocarvomma</i> sp. 14		○		
026	<i>Praeconocarvomma</i> sp. D	39	○		
027	<i>Haliomma</i> sp. 1		○		
028	<i>Haliomma</i> sp. 2		○		○
029	<i>Haliomma</i> sp. 3		○		○
030	<i>Haliomma</i> sp. 4		○		○
031	<i>Haliomma</i> sp. 5		○		
032	<i>Haliomma</i> sp. 6		○		
033	<i>Haliomma</i> sp. 7			○	
034	<i>Haliomma</i> sp. 8		○	○	○
035	<i>Haliomma</i> sp. 9			○	
036	<i>Haliomma</i> sp. 10		○		○
037	<i>Haliomma</i> sp. 12		○	○	○
038	<i>Haliomma</i> sp. 14			○	
039	<i>Haliomma</i> sp. L	55	○	○	
040	<i>Haliomma</i> sp. I	62	○	○	○
041	<i>Haliomma</i> sp. L0	66	○	○	○
042	<i>Haliomma</i> sp. M2	67	○	○	○
043	<i>Actinomma</i> sp. 1		○		
044	<i>Actinomma siciensis</i> Kito & De Wever	72		○	
045	<i>Drymosphaera</i> sp. 1		○		
046	<i>Drymosphaera</i> sp. 2			○	○
047	<i>Drymosphaera</i> sp. 3		○		
048	<i>Drymosphaera</i> sp. 4			○	○
049	<i>Drymosphaera</i> sp. 5			○	
050	<i>Drymosphaera</i> sp. B	77	○	○	
051	<i>Drymosphaera</i> sp. G	83		○	
052	<i>Thecosphaera</i> sp. 1			○	
053	<i>Thecosphaera</i> sp. 2		○		
054	<i>Thecosphaera</i> sp. 4			○	○
055	<i>Thecosphaera</i> sp. 5			○	
056	<i>Thecosphaera</i> ? sp. A0	86		○	
057	<i>Thecosphaera</i> ? sp. B0	89	○	○	○
058	<i>Thecosphaera</i> ? sp. A2	92		○	○
059	<i>Stylosphaera</i> sp. 1		○	○	○
060	<i>Stylosphaera</i> sp. 2		○		
061	<i>Stylosphaera</i> sp. 3		○		
062	<i>Stylosphaera</i> sp. 4		○		○
063	<i>Stylosphaera</i> sp. 5		○		○
064	<i>Parivacca</i> sp. A0	97		○	
065	<i>Acaeniotypopsis</i> sp. 1		○	○	○
066	<i>Acaeniotypopsis</i> sp. 2			○	○
067	<i>Acaeniotypopsis</i> sp. 4			○	○
068	<i>Acaeniotypopsis ghostensis</i> (Carter)	102	○		
069	<i>Acaeniotypopsis v. triancanthus</i> K. & D.	104	○		
070	<i>Staurolonche</i> sp. 1		○		
071	<i>Staurolonche</i> sp. 2		○	○	
072	<i>Staurolonche</i> sp. 5			○	○
073	<i>Staurolonche</i> sp. 6			○	
074	<i>Staurolonche</i> sp. 7		○		○
075	<i>Staurolonche</i> sp. A	110	○		○
076	<i>Staurolonche</i> sp. A3	117		○	
077	<i>Staurolonche</i> sp. A5	118		○	
078	<i>Hexalonche</i> sp. 1		○		○
079	<i>Hexalonche</i> sp. 2		○	○	
080	<i>Hexalonche</i> sp. 3		○		
081	<i>Hexalonche</i> sp. 4				
082	<i>Hexalonche</i> sp. 5				
083	<i>Hexalonche</i> sp. 6				
084	<i>Hexalonche</i> sp. 7				○
085	<i>Hexalonche</i> sp. 8				○
086	<i>Hexalonche</i> sp. 9				○
087	<i>Hexalonche</i> sp. B				119
088	<i>Hexalonche</i> sp. A0				120
089	<i>Hexalonche</i> sp. D2				129
090	<i>Hexalonche</i> sp. B2				132
091	<i>Hexalonche</i> sp. C2				133
092	<i>Pantanellium</i> sp. 1				○
093	<i>Pantanellium</i> sp. 2				○
094	<i>Pantanellium</i> sp. A				137
095	<i>Pantanellium</i> sp. B				138
096	<i>Pantanellium</i> sp. C2				142
097	<i>Pantanellium riedeli</i> Pessagno				143
098	<i>Pantanellium</i> sp. L of Baumgartner et al.				144
099	<i>Trilllus</i> sp. 1				○
100	<i>Trilllus elkhornensis</i> Pessagno & Blome				147
101	<i>Trilllus</i> sp. C				149
102	<i>Trilllus</i> sp. B2				151
103	<i>Zartus</i> sp. 1				○
104	<i>Zartus</i> sp. 2				○
105	<i>Zartus</i> sp. 3				○
106	<i>Zartus</i> sp. 4				○
107	<i>Zartus</i> sp. 5				○
108	<i>Zartus dickinsoni</i> Pessagno & Blome				154
109	<i>Gorgansium</i> sp. 1				○
110	<i>Gorgansium</i> sp. 2				○
111	<i>Gorgansium</i> sp. 3				○
112	<i>Gorgansium</i> sp. A				156
113	<i>Gorgansium</i> sp. A2				157
114	<i>Gorgansium</i> sp. C				159
115	<i>Gorgansium</i> sp. A3				160
116	<i>Gorgansium</i> sp. D2				164
117	<i>Emiluvia</i> sp. 1				○
118	<i>Emiluvia</i> sp. 2				○
119	<i>Emiluvia</i> sp. 3				○
120	<i>Emiluvia</i> sp. 4				○
121	<i>Emiluvia</i> sp. 5				○
122	<i>Emiluvia</i> sp. 6				○
123	<i>Emiluvia</i> sp. 7				○
124	<i>Emiluvia splendida</i> Carter				○
125	<i>Emiluvia</i> sp. B0				174
126	<i>Emiluvia nana</i> Baumgartner				178
127	<i>Emiluvia pessagnoi</i> s.l. Foreman				179
128	<i>Archicapsa</i> sp. B				180
129	<i>Archicapsa</i> sp. 1				○
130	<i>Archicapsa</i> sp. 2				○
131	<i>Archicapsa</i> sp. 3				○
132	<i>Archicapsa</i> sp. B				182
133	<i>Archicapsa</i> ? <i>pacyderma</i> Tan				183
134	<i>Archicapsa</i> sp. E				187
135	<i>Spongurus</i> sp. 1				○
136	<i>Spongurus</i> sp. A				188
137	<i>Spongurus</i> sp. C				189
138	<i>Spongurus</i> sp. D				190
139	<i>Archaeospongoprunum</i> sp. 1				○
140	<i>Archaeospongoprunum</i> sp. 2				○
141	<i>Archaeospongoprunum</i> sp. 3				○
142	<i>Archaeospongoprunum</i> sp. 4				○
143	<i>Archaeospongoprunum</i> sp. 5				○
144	<i>Archaeospongoprunum</i> sp. 6				○
145	<i>Archaeospongoprunum</i> sp. B				199
146	<i>Archaeospongoprunum</i> sp. B2				201
147	<i>Parasaturnalis</i> sp. 1				○
148	<i>Parasaturnalis japonicus</i> (Yao)				208
149	<i>Acanthocircus bispinus</i> (Yao)				210
150	<i>Acanthocircus protoformis</i> (Yao)				211
151	<i>Acanthocircus suboblongus</i> (Yao)				213
152	<i>Acanthocircus inuvamaensis</i> (Yao)				214
153	<i>Hexasaturnalis hexagonus</i> (Yao)				218
154	<i>Hexasaturnalis tetraspinus</i> (Yao)				219
155	<i>Hexasaturnalis</i> aff. <i>tetraspinus</i> (Yao)				220
156	<i>Perispvridium</i> sp. 1				○
157	<i>Perispvridium</i> sp. E				712
158	<i>Perispvridium</i> sp. C				713
159	<i>Perispvridium</i> sp. D				714
160	<i>Perispvridium</i> sp. E2				715

# 炭酸マンガン粒子の再堆積過程

Table 1 (Continued)

No.	radiolarian species	Yao(1997)	samples	Yao(1997)	samples
161	<i>Perispyridium</i> sp. F	716	○ IN-1.6Man IN-1.6Mat	○ IN-3.5Man IN-3.5Mat	○ IN-2.1Man IN-2.1Mat
162	<i>Bernoullius delnortensis</i> Pessagno et al.	230	○ ○	○ ○	○ ○
163	<i>Spongotripus</i> sp. 1		○ ○		○ ○
164	<i>Spongotripus</i> sp. 2		○ ○		○ ○
165	<i>Spongotripus</i> sp. 3			○ ○	
166	<i>Spongotripus</i> sp. 4			○ ○	
167	<i>Spongotripus</i> sp. 5			○ ○	
168	<i>Spongotripus</i> sp. A	236	○ ○	○ ○○○	○ ○○○
169	<i>Spongotripus</i> sp. B	237		○ ○	○ ○
170	<i>Spongotripus</i> sp. E	240		○ ○	○ ○
171	<i>Staurodoras</i> sp. 1			○ ○	○ ○
172	<i>Staurodoras</i> sp. B	243	○ ○		
173	<i>Orbiculiforma</i> sp. 1		○ ○	○ ○○○○○	○ ○○○○○
174	<i>Orbiculiforma</i> sp. A0	244	○ ○	○ ○	○ ○
175	<i>Orbiculiforma</i> sp. A	249	○ ○		
176	<i>Orbiculiforma</i> sp. B2	253		○ ○	
177	<i>Orbiculiforma</i> ? aff. <i>heliotropia</i> Baumgartner	256	○ ○		
178	<i>Spongotrochus</i> sp. A	258			○ ○
179	<i>Spongotrochus</i> sp. B2	260		○ ○	
180	<i>Bistarkum</i> sp. 1				○ ○○○○
181	<i>Bistarkum</i> sp. 2				○ ○○○○
182	<i>Bistarkum</i> sp. 3				○ ○
183	<i>Bistarkum</i> sp. 4				○ ○
184	<i>Bistarkum</i> sp. C	267		○ ○	○ ○
185	<i>Tholocubus</i> sp. 1		○ ○		
186	<i>Homoeoparonaella</i> sp. 1		○ ○		
187	<i>Homoeoparonaella</i> sp. 2				○ ○
188	<i>Homoeoparonaella</i> sp. A	274		○ ○	○ ○
189	<i>Homoeoparonaella</i> sp. A1	275	○ ○		○ ○
190	<i>Homoeoparonaella elegans</i> Pessagno	276	○ ○		○ ○
191	<i>Tritrabe simplex</i> Kito & De Wever	279	○ ○		○ ○
192	<i>Tritrabe</i> sp. E	282	○ ○		
193	<i>Tritrabe simplex</i> Kito & De Wever	283			○ ○
194	<i>Halesium</i> sp. 1		○ ○		
195	<i>Halesium</i> sp. B	285	○ ○	○ ○	○ ○
196	<i>Angulobrachia</i> sp. 1		○ ○		
197	<i>Angulobrachia</i> sp. 2			○ ○	
198	<i>Angulobrachia</i> sp. B	288		○ ○	
199	<i>Angulobrachia digitata</i> Baumgartner	289		○ ○	
200	<i>Angulobrachia sicula</i> Kito & DeWever	290		○ ○	○ ○
201	<i>Paronaella</i> sp. 2		○ ○○○○○		
202	<i>Paronaella</i> sp. 3			○ ○○○○○	
203	<i>Paronaella</i> sp. 4			○ ○○○○○	
204	<i>Paronaella</i> sp. 5				○ ○○○○○
205	<i>Paronaella bandyi</i> Pessagno	292	○ ○○○○○		
206	<i>Paronaella</i> sp. B	294			○ ○○○○○
207	<i>Paronaella</i> sp. C	295	○ ○○○○○		
208	<i>Paronaella</i> sp. D	304			○ ○○○○○
209	<i>Paronaella</i> aff. <i>bandyi</i> Pessagno	305	○ ○○○○○		
210	<i>Paronaella pristidentata</i> Baumgartner	309	○ ○○○○○		
211	<i>Archaeotriastrum</i> sp. B	311		○ ○○○○○	
212	<i>Archaeotriastrum</i> sp. A	314			○ ○○○○○
213	<i>Higumastra</i> sp. 1		○ ○		
214	<i>Higumastra laxa</i> Yeh	317	○ ○○○○○		
215	<i>Higumastra</i> sp. B	318			○ ○○○○○
216	<i>Higumastra</i> sp. C	319	○ ○○○○○		
217	<i>Tetratrabs</i> sp. 1		○ ○		
218	<i>Tetratrabs ikeenensis</i> Yeh	324	○ ○○○○○		
219	<i>Tetradityma praeplena</i> Baumgartner	329	○ ○○○○○		
220	<i>Tetradityma corralitosensis</i> (Pessagno)	332	○ ○○○○○		○ ○○○○○
221	<i>Tetradityma</i> sp. H	333			○ ○○○○○
222	<i>Archaeohogastrum longipes</i> Baumgartner	334			○ ○○○○○
223	<i>Pseudocrucella</i> sp. 1			○ ○○○○○	
224	<i>Pseudocrucella</i> sp. A0	336	○ ○○○○○		
225	<i>Pseudocrucella</i> sp. A	337		○ ○○○○○	
226	<i>Crucella</i> sp. 1		○ ○		
227	<i>Crucella</i> sp. 2			○ ○○○○○	
228	<i>Crucella</i> sp. 3			○ ○○○○○	
229	<i>Poulpus</i> sp. O	349	○ ○○○○○	○ ○○○○○	○ ○○○○○
230	<i>Poulpus</i> sp. A	350	○ ○○○○○	○ ○○○○○	○ ○○○○○
231	<i>Saitoum</i> sp. 1		○ ○○○○○		
232	<i>Saitoum</i> sp. 2			○ ○○○○○	
233	<i>Saitoum dickinsoni</i> Yeh	352	○ ○○○○○	○ ○○○○○	○ ○○○○○
234	<i>Saitoum pagei</i> Pessagno	353		○ ○○○○○	
235	<i>Turanta</i> sp. 1		○ ○○○○○		
236	<i>Turanta</i> sp. 2			○ ○○○○○	
237	<i>Turanta</i> sp. 3			○ ○○○○○	
238	<i>Napora</i> sp. 1		○ ○○○○○		
239	<i>Napora</i> sp. 2			○ ○○○○○	
240	<i>Napora</i> sp. 3		○ ○○○○○		
241	<i>Napora</i> sp. 4				○ ○○○○○
242	<i>Napora</i> sp. H				○ ○○○○○
243	<i>Napora saginata</i> Takemura				○ ○○○○○
244	<i>Napora</i> sp. D				○ ○○○○○
245	<i>Napora deweveri</i> Baumgartner				○ ○○○○○
246	<i>Napora nipponica</i> Takemura				○ ○○○○○
247	<i>Napora</i> sp. J				○ ○○○○○
248	<i>Napora</i> sp. K				○ ○○○○○
249	<i>Napora</i> sp. D2				○ ○○○○○
250	<i>Dumitricaella</i> ? sp. A				○ ○○○○○
251	<i>Dumitricaella</i> ? sp. A				○ ○○○○○
252	<i>Ares cylindricus</i> (Takemura)				○ ○○○○○
253	<i>Cornutella reideli</i> Yao				○ ○○○○○
254	<i>Hilarisirex</i> sp. 1				○ ○○○○○
255	<i>Hilarisirex quadrangularis</i> T. & N.				○ ○○○○○
256	<i>Palinandomeda</i> sp. B				○ ○○○○○
257	<i>Palinandomeda praepodbielenensis</i> (B.)				○ ○○○○○
258	<i>Palinandomeda depressa</i> (D. & M.)				○ ○○○○○
259	<i>Palinandomeda</i> sp. G				○ ○○○○○
260	<i>Gongylothorax</i> sp. A				○ ○○○○○
261	<i>Gongylothorax oblonga</i> Yao				○ ○○○○○
262	<i>Gongylothorax siphonofer</i> Dumitrica				○ ○○○○○
263	<i>Diacanthocapsa normalis</i> Yao				○ ○○○○○
264	<i>Diacanthocapsa operculi</i> Yao				○ ○○○○○
265	<i>Tricolocapsa</i> sp. 1				○ ○○○○○
266	<i>Tricolocapsa</i> sp. 2				○ ○○○○○
267	<i>Tricolocapsa</i> sp. 3				○ ○○○○○
268	<i>Tricolocapsa</i> sp. 9				○ ○○○○○
269	<i>Tricolocapsa</i> aff. <i>parvipora</i> Tan				○ ○○○○○
270	<i>Tricolocapsa</i> aff. <i>ruestii</i> Tan				○ ○○○○○
271	<i>Tricolocapsa</i> sp. A				○ ○○○○○
272	<i>Striatopaponocapsa plicarum</i> (Yao)				○ ○○○○○
273	<i>Tricolocapsa</i> ? <i>fusiformis</i> Yao				○ ○○○○○
274	<i>Tricolocapsa ruestii</i> Tan				○ ○○○○○
275	<i>Striatopaponocapsa</i> aff. <i>plicarum</i> (Yao)				○ ○○○○○
276	<i>Tricolocapsa</i> sp. D				○ ○○○○○
277	<i>Tricolocapsa</i> sp. E				○ ○○○○○
278	<i>Stichocapsa</i> sp. 1				○ ○○○○○
279	<i>Stichocapsa tegiminis</i> Yao				○ ○○○○○
280	<i>Stichocapsa</i> sp. D				○ ○○○○○
281	<i>Stichocapsa</i> sp. B				○ ○○○○○
282	<i>Stichocapsa convexa</i> Yao				○ ○○○○○
283	<i>Stichocapsa japonica</i> Yao				○ ○○○○○
284	<i>Eucryptidiellum</i> sp. 1				○ ○○○○○
285	<i>Eucryptidiellum</i> sp. 2				○ ○○○○○
286	<i>Eucryptidiellum</i> sp. 3				○ ○○○○○
287	<i>Eucryptidiellum</i> sp. 4				○ ○○○○○
288	<i>Eucryptidiellum</i> aff. <i>unumaense</i> (Yao)				○ ○○○○○
289	<i>Eucryptidiellum</i> unumaense (Yao)				○ ○○○○○
290	<i>Eucryptidiellum</i> ? aff. <i>quinatum</i> Takemura				○ ○○○○○
291	<i>Eucryptidiellum</i> sp. D				○ ○○○○○
292	<i>Thetis</i> sp. A				○ ○○○○○
293	<i>Cyrtocapsa</i> sp. 1				○ ○○○○○
294	<i>Cyrtocapsa</i> sp. 2				○ ○○○○○
295	<i>Cyrtocapsa</i> sp. 3				○ ○○○○○
296	<i>Cyrtocapsa</i> aff. <i>kisoensis</i> Yao				○ ○○○○○
297	<i>Cyrtocapsa kisoensis</i> Yao				○ ○○○○○
298	<i>Cyrtocapsa mastoidea</i> Yao				○ ○○○○○
299	<i>Unuma</i> sp. 1				○ ○○○○○
300	<i>Unuma</i> sp. 2				○ ○○○○○
301	<i>Unuma</i> sp. 3				○ ○○○○○
302	<i>Unuma</i> sp. 4				○ ○○○○○
303	<i>Unuma</i> sp. 5				○ ○○○○○
304	<i>Unuma</i> sp. 6				○ ○○○○○
305	<i>Unuma</i> sp. 7				○ ○○○○○
306	<i>Unuma</i> sp. 8				○ ○○○○○
307	<i>Unuma</i> sp. Y				○ ○○○○○
308	<i>Unuma echinatus</i> Ichikawa & Yao				○ ○○○○○
309	<i>Unuma</i> aff. <i>typicus</i> Ichikawa & Yao				○ ○○○○○
310	<i>Unuma</i> sp. B				○ ○○○○○
311	<i>Unuma</i> sp. D				○ ○○○○○
312	<i>Unuma</i> sp. A				○ ○○○○○
313	<i>Unuma</i> aff. <i>echinatus</i> Ichikawa & Yao				○ ○○○○○
314	<i>Unuma</i> sp. F				○ ○○○○○
315	<i>Unuma</i> typicus Ichikawa & Yao				○ ○○○○○
316	<i>Protounuma</i> sp. A				○ ○○○○○
317	<i>Protounuma</i> sp. B				○ ○○○○○
318	<i>Protounuma</i> fusiformis Ichikawa & Yao				○ ○○○○○
319	<i>Artostrobium</i> primum Yao				○ ○○○○○
320	<i>Cyrtocalpis operosa</i> Tan				○ ○○○○○

Table 1 (Continued)

No.	radiolarian species	Yao(1997)	samples	Yao(1997)	radiolarian species	samples		
		IN-16Man IN-16Mat	IN-3.5Man IN-3.5Mat	IN-2.1Man IN-2.1Mat		IN-16Man IN-16Mat	IN-3.5Man IN-3.5Mat	IN-2.1Man IN-2.1Mat
321	<i>Cyrtocalis propria</i> Yao	○	○	○	401	<i>Canoptum ? sp. N</i>	584	
322	<i>Arcanicapsa</i> sp. 1	○	○		402	<i>Anisicvrtis</i> sp. 1	○	
323	<i>Arcanicapsa</i> sp. 2	○			403	<i>Anisicvrtis</i> sp. 2	○	
324	<i>Arcanicapsa</i> sp. 3	○			404	<i>Anisicvrtis</i> sp. 3	○	
325	<i>Arcanicapsa</i> sp. 4	○			405	<i>Anisicvrtis</i> sp. 4	○	
326	<i>Arcanicapsa</i> sp. 5	○			406	<i>Anisicvrtis</i> sp. 5	○	
327	<i>Arcanicansa</i> sp. 6	○			407	<i>Anisicvrtis aff. jurassica</i> Takemura	585	○
328	<i>Arcanicapsa</i> sp. 7			○	408	<i>Anisicvrtis</i> sp. A	588	○ ○ ○
329	<i>Arcanicapsa</i> sp. A0	500	○		409	<i>Anisicvrtis</i> sp. E	591	○
330	<i>Arcanicapsa</i> sp. C	502	○		410	<i>Anisicvrtis jurassica</i> Takemura	592	○ ○
331	<i>Arcanicapsa</i> sp. H2	504	○		411	<i>Anisicvrtis</i> sp. F	594	○ ○ ○
332	<i>Arcanicansa</i> sp. A	505	○		412	<i>Xitus</i> sp. 1		○ ○ ○
333	<i>Arcanicapsa</i> sp. D	506	○	○	413	<i>Xitus</i> sp. 2		○ ○ ○
334	<i>Arcanicapsa</i> sp. J	510	○	○	414	<i>Xitus</i> sp. A	598	○ ○ ○
335	<i>Arcanicapsa</i> sp. K	511		○	415	<i>Xitus</i> sp. B	599	○ ○ ○
336	<i>Yamatoum</i> sp. 1	○			416	<i>Laxtorum ? hichisoense</i> Isozaki & Matsuda	602	○
337	<i>Yamatoum</i> sp. 2	○			417	<i>Laxtorum ? sp. A</i>	603	○
338	<i>Yamatoum</i> sp. 3	○			418	<i>Laxtorum ? sp. C</i>	604	○
339	<i>Yamatoum</i> sp. 4	○			419	<i>Parvicingula</i> sp. 1		○ ○ ○
340	<i>Yamatoum</i> sp. 6		○		420	<i>Parvicingula</i> sp. 2		○ ○ ○
341	<i>Yamatoum</i> sp. 7		○		421	<i>Parvicingula</i> sp. A	608	○ ○ ○ ○ ○
342	<i>Yamatoum</i> sp. 8		○		422	<i>Parvicinella</i> aff. <i>spinifer</i> (Takemura)	609	○ ○ ○ ○ ○
343	<i>Yamatoum</i> sp. 9			○	423	<i>Parvicingula</i> sp. D	612	○ ○ ○ ○ ○
344	<i>Yamatoum</i> sp. 10			○	424	<i>Parvicinella</i> sp. G0	613	○ ○ ○ ○ ○
345	<i>Yamatoum elegans</i> Takemura	513	○		425	<i>Parvicingula</i> sp. C	615	○ ○ ○ ○ ○
346	<i>Yamatoum</i> sp. A	514	○	○	426	<i>Parvicinella</i> sp. E	617	○ ○ ○ ○ ○
347	<i>Yamatoum komiamiensis</i> Takemura	515	○		427	<i>Parvicinella japonicus</i> (Takemura)	618	○ ○ ○ ○ ○
348	<i>Yamatoum connicinum</i> Takemura	516	○		428	<i>Parvicingula obesa</i> Takemura	621	○ ○ ○ ○ ○
349	<i>Yamatoum spinosus</i> Takemura	517	○		429	<i>Parvicinella</i> sp. (Takemura)	622	○ ○ ○ ○ ○
350	<i>Yamatoum caudatum</i> Takemura	518	○		430	<i>Parvicinella d. dhimenaensis</i> Baumgartner	625	○ ○ ○ ○ ○
351	<i>Quarticella</i> sp. 1		○		431	<i>Parvicinella</i> sp. ? <i>spinata</i> (Vinassa)	627	○ ○ ○ ○ ○
352	<i>Quarticella</i> sp. 2		○ ○ ○ ○ ○		432	<i>Parvicinella</i> sp. I	628	○ ○ ○ ○ ○
353	<i>Quarticella</i> sp. 3		○ ○ ○ ○ ○		433	<i>Mirifusus proavus</i> Tonelli	629	○ ○ ○ ○ ○
354	<i>Quarticella</i> sp. 4		○ ○ ○ ○ ○		434	<i>Mirifusus</i> aff. <i>proavus</i> Tonelli	630	○ ○ ○ ○ ○
355	<i>Quarticella</i> sp. 5		○ ○ ○ ○ ○		435	<i>Eloidium cameroni</i> Carter	636	○ ○ ○ ○ ○
356	<i>Quarticella</i> sp. 6		○ ○ ○ ○ ○		436	<i>Parahsuum</i> sp. 1		○ ○ ○ ○ ○
357	<i>Quarticella</i> sp. 7		○ ○ ○ ○ ○		437	<i>Parahsuum</i> sp. 2		○ ○ ○ ○ ○
358	<i>Quarticella</i> sp. 8		○ ○ ○ ○ ○		438	<i>Parahsuum</i> sp. 3		○ ○ ○ ○ ○
359	<i>Quarticella</i> sp. 9		○ ○ ○ ○ ○		439	<i>Parahsuum</i> sp. 4		○ ○ ○ ○ ○
360	<i>Quarticella</i> sp. 10			○	440	<i>Parahsuum</i> sp. 5		○ ○ ○ ○ ○
361	<i>Quarticella</i> sp. A	521	○		441	<i>Parahsuum</i> sp. 6		○ ○ ○ ○ ○
362	<i>Quarticella</i> sp. D	525	○		442	<i>Parahsuum</i> sp. grantum (Yeh)	638	○ ○ ○ ○ ○
363	<i>Quarticella spinosa</i> Takemura	527		○	443	<i>Parahsuum</i> sp. Q	644	○ ○ ○ ○ ○
364	<i>Quarticella levius</i> Takemura	528		○	444	<i>Parahsuum</i> sp. D	651	○ ○ ○ ○ ○
365	<i>Quarticella</i> sp. H0	532	○		445	<i>Parahsuum</i> sp. J	653	○ ○ ○ ○ ○
366	<i>Parvifavus</i> sp. 1		○		446	<i>Parahsuum</i> officerense (Pessagno & Whalen)	655	○ ○ ○ ○ ○
367	<i>Parvifavus</i> sp. B	534		○	447	<i>Parahsuum</i> sp. B	657	○ ○ ○ ○ ○
368	<i>Parvifavus</i> sp. B0	535	○	○	448	<i>Parahsuum</i> sp. A	658	○ ○ ○ ○ ○
369	<i>Sethocapsa</i> sp. 1		○	○ ○ ○	449	<i>Parahsuum</i> sp. H	660	○ ○ ○ ○ ○
370	<i>Sethocapsa</i> sp. 2		○		450	<i>Parahsuum</i> parvum Takemura	663	○ ○ ○ ○ ○
371	<i>Sethocapsa</i> sp. 3			○ ○ ○ ○ ○	451	<i>Parahsuum dentatum</i> Takemura	665	○ ○ ○ ○ ○
372	<i>Sethocapsa</i> sp. 4			○ ○ ○ ○ ○	452	<i>Parahsuum</i> aff. <i>dentatum</i> Takemura	667	○ ○ ○ ○ ○
373	<i>Sethocapsa</i> sp. 5			○ ○ ○ ○ ○	453	<i>Parahsuum</i> ? <i>natorense</i> (El Kadiri)	669	○ ○ ○ ○ ○
374	<i>Sethocapsa dorvysphaeroides</i> Neviani	536	○	○ ○ ○ ○ ○	454	<i>Parahsuum</i> ? <i>olorizi</i> (El Kadiri)	670	○ ○ ○ ○ ○
375	<i>Sethocapsa</i> sp. A0	539	○		455	<i>Parahsuum</i> sp. S of Baumgartner et al.	674	○ ○ ○ ○ ○
376	<i>Sethocapsa</i> sp. D	542	○	○ ○ ○ ○ ○	456	<i>Parahsuum</i> simpulum Yao	676	○ ○ ○ ○ ○
377	<i>Stringocapsa</i> sp. 1		○		457	<i>Parahsuum</i> aff. <i>ovale</i> Hori & Yao	678	○ ○ ○ ○ ○
378	<i>Stringocapsa</i> sp. 2		○		458	<i>Parahsuum</i> sp. B0	679	○ ○ ○ ○ ○
379	<i>Stringocapsa</i> sp. F	550	○	○	459	<i>Hsuum</i> sp. 1		○ ○ ○ ○ ○
380	<i>Stringocapsa</i> sp. G	552		○	460	<i>Hsuum</i> sp. 2		○ ○ ○ ○ ○
381	<i>Stringocapsa polyacantha</i> (Fischeli)	554	○		461	<i>Hsuum</i> sp. 3		○ ○ ○ ○ ○
382	<i>Solenotryma</i> sp. 1		○		462	<i>Hsuum</i> sp. 4		○ ○ ○ ○ ○
383	<i>Dictvomitella</i> ? aff. <i>kamoensis</i> M. & K.	561	○	○ ○ ○ ○ ○	463	<i>Hsuum</i> sp. 5		○ ○ ○ ○ ○
384	<i>Dictvomitella</i> ? sp. A	564		○	464	<i>Hsuum</i> sp. 6		○ ○ ○ ○ ○
385	<i>Dictvomitella</i> ? <i>kamoensis</i> M. & K.	565	○	○ ○ ○ ○ ○	465	<i>Hsuum</i> sp. 7		○ ○ ○ ○ ○
386	<i>Archaeodictvomitira</i> sp. 1		○	○ ○ ○ ○ ○	466	<i>Hsuum</i> sp. B0	685	○ ○ ○ ○ ○
387	<i>Archaeodictvomitira</i> sp. 2		○		467	<i>Hsuum</i> sp. 1 of Baumgartner et al.	686	○ ○ ○ ○ ○
388	<i>Archaeodictvomitira</i> sp. 3			○ ○ ○ ○ ○	468	<i>Hsuum</i> sp. B	687	○ ○ ○ ○ ○
389	<i>Archaeodictvomitira</i> sp. 4			○ ○ ○ ○ ○	469	<i>Hsuum</i> sp. A0	689	○ ○ ○ ○ ○
390	<i>Archaeodictvomitira</i> aff. <i>munda</i> (Yeh)	566	○		470	<i>Hsuum</i> matsuokai Isozaki & Matsuda	690	○ ○ ○ ○ ○
391	<i>Archaeodictvomitira</i> sp. A	567	○	○ ○ ○ ○ ○	471	<i>Hsuum</i> ? cf. <i>mirabundum</i> Pessagno & Whalen	694	○ ○ ○ ○ ○
392	<i>Archaeodictvomitira</i> sp. B	569	○	○ ○ ○ ○ ○	472	<i>Hsuum</i> sp. D2	695	○ ○ ○ ○ ○
393	<i>Canoptum</i> sp. 1			○ ○ ○ ○ ○	473	<i>Hsuum</i> sp. F	698	○ ○ ○ ○ ○
394	<i>Canoptum</i> aff. <i>artum</i> Yeh	575	○		474	<i>Transhsuum hisuikyoense</i> (I. & M.)	700	○ ○ ○ ○ ○
395	<i>Canoptum</i> sp. A0	576		○	475	<i>Transhsuum medium</i> Takemura	702	○ ○ ○ ○ ○
396	<i>Canoptum</i> sp. O	577	○		476	<i>Transhsuum maxwelli</i> gr. (Pessagno)	703	○ ○ ○ ○ ○
397	<i>Canoptum</i> sp. B	580		○	477	<i>Stichomitra</i> sp. 1		○ ○ ○ ○ ○
398	<i>Canoptum</i> sp. A	581	○	○ ○ ○ ○ ○	478	<i>Stichomitra</i> sp. 2		○ ○ ○ ○ ○
399	<i>Canoptum</i> sp. E	582	○		479	<i>Spongocapsula</i> sp. 1		○ ○ ○ ○ ○
400	<i>Canoptum</i> sp. A2	583	○	○ ○ ○ ○ ○				

## 炭酸マンガン粒子の再堆積過程

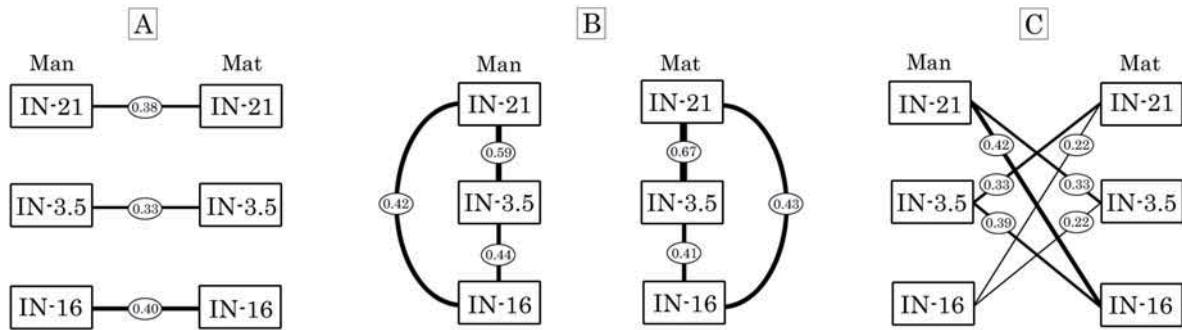


Fig. 6. Faunal similarity as indicated by the quotient of similarity (QS) between Man and Mat at the same horizon (A), between different horizons of the same lithology, and (B) between Man and Mat among different lithologies (C).

IN-21 では 9.1 であり、2.4 ~ 9.1 倍の種数差が認められ、特に IN-3.5 と IN-21 において Mat における Spumellaria 種数は極端に少ない。その一方で、Nassellaria 種数 (N) の Man/Mat は、IN-16 では 1.7、IN-3.5 では 2.4、IN-21 では 2.0 であり、1.7 ~ 2.4 倍の種数差にとどまり、Spumellaria の場合に比べると差は小さい。よって、Man-Mat 間の全種数における明瞭な差は、Spumellaria の種数の差に主に起因しているといえる。

#### 4. 類似度数

種数に関しては、Mat と Man とで異なる傾向がみられ、Man は Mat より Spumellaria 種数が圧倒的に多いことを示した。しかし、同じ種数であってもその構成種が異なっている可能性がある。そこで、試料間の放散虫化石群集の類似性について、類似度数 QS (Quotient of Similarity) を用いて比較する。ここで、全構成種の類似度数を  $QS_T$ 、Spumellaria 種の類似度数を  $QS_S$ 、Nassellaria 種の類似度数を  $QS_N$  とする。添え字の T, S, N はそれぞれ、total, Spumellaria, Nassellaria を指す。QS の算出式は以下に示される。

$$QS = 2c/(a+b)$$

a, b は 2 試料中の放散虫化石群集それぞれの構成種数で、c は 2 試料間の共通種数である。

放散虫化石群集は、徐々に構成種が入れ替わり、その種構成が変化していくため、類似度数 (QS) が高ければ、層序的に近い関係であると見なすことができる（荒川、1998；八尾、1997）。Fig. 6B に示すように、本論文で検討している試料に関しては、野外における層準の上下関係と類似度数はほぼ矛盾なく対応していた。同じ層準にある Mat と Man が同時代の放散虫化石群集を保存しているのであれば、同一層準の Mat と Man 間の類似度のほうが、異なる層準の Mat 間、あるいは Man 間の類似度よりも高い値を

示すことが期待される。そこで、Mat と Man の全組み合わせについて類似度を求めるとき、類似度数が高い順に、IN-3.5 Mat-IN-21 Mat 間 (0.67)、IN-3.5 Man-IN-21 Man 間 (0.59) と上位 4 番目までが同じ岩相の層準間 (Fig. 6B) で占められる。この結果は、Mat の放散虫化石群集が Man のそれと本来は同じ種構成であったという仮定を疑うには十分である。実際、異なる岩相の Man-Mat 間の組み合わせにおいて、類似度数が最も大きいのは IN-16 Mat-IN-21 Man 間 (0.42) であり (Fig. 6C)、同一層準間とはならなかった。同一層準の Man-Mat 間で最も値が大きいのは IN-16 Man-Mat 間 (0.40) である (Fig. 6A)。ここで例示した 0.42 と 0.40 は近い値であることから、Mat と Man の間の群集組成の類似性は同一層準で比較しても別層準で比較しても同程度異なっていると解釈される。以上より、Man-Mat 間の類似性は同じ岩相の層準間のものと比べて全体的に低く、さらに同一層準の Man-Mat 間の類似性も低いことが明らかとなった。

#### 5. 非共通種と試料固有種

同一層準の Man-Mat 間で類似度が低いという事実は、それぞれの岩相で固有種が見られる可能性を示唆する。Man と Mat の群集が同じ堆積場由来であったとすると、Mat は一般的に保存が悪いため、Man に固有の種が存在しても、Mat にはそのような種は存在しないことが想定される。そこで、同一層準の Man-Mat 間において Man, Mat それぞれにのみ存在する放散虫化石の非共通種数 (NC) を求める。非共通種 (NC) は Man と Mat の両方に存在し (Table 2)、Man では IN-16 を除いて Spumellaria の NC の種数が Nassellaria のそれに比べて多い。一方、Mat では逆に Nassellaria の NC の種数が多い。

全 6 試料を通して 1 試料にのみ存在する種を試料固有種 (PS) と定義し、PS を試料毎に求めると、Man には Spumellaria と Nassellaria とともに PS に分類される種が多数存在する。一方、Mat には Spumellaria の PS は僅かで、

Table 2. Total number of species for each parameter.

Spumellaria 種数 (S): total number of spumellarian species. Nassellaria (N): total number of nassellarian species; T, total number of radiolarian species; 試料固有種数 (P), number of indigenous species defined by occurrence in a single sample; 固有種数 (PS), total number of indigenous species. 共通種数 (C): species common to two or more samples; CS: for spumellarians, CN: for nassellarians, and CT: for both spumellarians and nassellarians. 類似度指数 (QS): faunal similarity indexed using the quotient of similarity; QS<sub>S</sub>: for spumellarians, QS<sub>N</sub>: for nassellarians, QS<sub>T</sub>: for both spumellarians and nassellarians. 非共通種数 (NC): the number of species not shared by two samples. Box for C and NC between Man and Mat is shaded.

		IN-16		IN-3.5		IN-21		all samples (A)
		Man	Mat	Man	Mat	Man	Mat	
Spumellaria種数 (S)		111	47	117	13	137	15	228
Nassellaria種数 (N)		138	81	106	44	113	57	251
total (T)		249	128	223	57	250	72	479
試料固有種	Spumellaria	固有種数 (PS)	43	1	26	0	42	0
		PS/S (%)	38.7	2.1	22.2	0.0	30.7	0.0
		PS/AS (%)	18.9	0.4	11.4	0.0	18.4	0.0
	Nassellaria	固有種数 (PS)	55	16	25	3	21	6
		PS/N (%)	39.9	19.8	23.6	6.8	18.6	10.5
		PS/AN (%)	21.9	6.4	10.0	1.2	8.4	2.4
	total	固有種数 (PS)	98	17	51	3	63	6
		PS/T (%)	39.4	13.3	22.9	5.3	25.2	8.3
		PS/AT (%)	20.5	3.5	10.6	0.6	13.2	1.3
共通種数 (CS) (CN) CT	IN-21	Mat	(10) (26) 36	(10) (33) 43	(12) (37) 49	(8) (35) 43	(14) (47) 61	
		Man	(49) (55) 104	(34) (46) 80	(76) (64) 140	(13) (38) 51		(0.18) (0.55) 0.38
	IN-3.5	Mat	(10) (23) 33	(10) (28) 38	(11) (35) 46		(0.17) (0.48) 0.33	(0.57) (0.69) 0.67
		Man	(50) (53) 103	(35) (34) 69		(0.17) (0.47) 0.33	(0.60) (0.58) 0.59	(0.18) (0.45) 0.33
	IN-16	Mat	(31) (45) 76		(0.43) (0.36) 0.39	(0.33) (0.45) 0.41	(0.37) (0.47) 0.42	(0.32) (0.48) 0.43
		Man		(0.39) (0.41) 0.40	(0.44) (0.43) 0.44	(0.16) (0.25) 0.22	(0.40) (0.44) 0.42	(0.16) (0.27) 0.22
非共通種数 (NC)	Spumellaria		80	16	106	2	123	1
	Nassellaria		93	36	71	9	66	10
	total		173	52	177	11	189	11

Nassellaria の試料固有種は少数にとどまる (Table 2). 以上より, Mat と Man のそれぞれの放散虫化石群集は、同一層準であっても異なる遺骸群集を起源とすると判断される。

## 6. 初産出種と最終産出種

Mat と Man が異なる遺骸群集を起源とすると判断したが、検討している鵜沼セクションの珪質泥岩の堆積には 172 Ma から 168 Ma までの約 400 万年間を要したと推察される (西原・八尾, 2005). その期間には出現・絶滅する種もあると考えられる。Table 1 をもとに、異なる放散虫化石群集に由来する Mat と Man の放散虫化石種の 6 試料を通じた産出状況から、初産出・最終産出層準にどのような違いとして現れているかを検討した。その結果、以下の四通りの産出

状況を示す種の存在が明らかとなった。

(1) **基質初産出種**: 初産出する層準では Mat に限られるが、その層準より上位では Man · Mat ともに産出する種である。

**Spumellaria (カッコ内は、Table 1 の種番号):**

*Bistarkum* sp. 2 (181)

**Nassellaria** : *Striatojaponocapsa* aff. *plicarum* (Yao)

(275), *Stichocapsa tegiminis* Yao (279), *Cyrtocapsa* sp. 1 (293), *Cyrtocapsa* sp. 2 (294), *Unuma* sp. 8 (306), *Archaeodictyonitra* sp. 4 (389), *Canoptum* sp. A2 (400)

(2) **マンガン初産出種**: 初産出する層準では Man に限られるが、その層準より上位では Man · Mat ともに産出する種である。

**Spumellaria** : *Pantanellium* sp. 1 (092),

*Archaeospongoprunum* sp. 5 (143), *Spongotripus*

sp. A (168)

**Nassellaria** : *Eucyrtidiellum* sp. D (291),  
*Sethocapsa* (?) sp. D (376), *Hsuum* sp. 2 (460).

(3) 基質最終産出種：最終産出する層準では Mat に限られるが、その層準より下位では Man・Mat ともに産出する種である。

*Nassellaria* : *Poulpus* sp. O (229)

(4) マンガン最終産出種：最終産出する層準では Man に限られるが、その層準より下位では Man・Mat ともに産出する種である。

**Spumellaria** : *Triactoma brooksi* Pessagno & Yang (011), *Praeconocaryomma* sp. 4 (017), *Haliomma* sp. 8 (034), *Haliomma* sp. 12 (037), *Drymosphaera* sp. B (050), *Acaeniotylopsis* sp. 1 (065), *Staurolonche* sp. 2 (071), *Zartus* sp. 1 (103), *Zartus dickinsoni* Pessagno & Blome (108), *Emiluvia* sp. 1 (117), *Emiluvia* sp. 2 (118), *Archaeospongoprnum* sp. 2 (140), *Acanthocircus suboblongus* (Yao) (151), *Hexasaturnalis tetraspinus* (Yao) (154), *Paronaella* sp. 2 (201), *Paronaella bandyi* Pessagno (205), *Tetraditryma praeplena* Baumgartner (219).

**Nassellaria** : *Saitoum* sp. 1 (231), *Cyrtocalpis operosa* Tan (320), *Quarticella* sp. 2 (352), *Anisicyrtis* sp. A (408), *Parvingula* sp. C (425), *Parvingula spinifer* (Takemura) (429).

以上より、1) 基質初産出種は Spumellaria に 1 種、Nassellaria に 7 種、合計 8 種、2) マンガン初産出種は Spumellaria に 3 種、Nassellaria に 3 種、合計 6 種、3) 基質最終産出種は Nassellaria に 1 種、4) マンガン最終産出種は Spumellaria に 17 種、Nassellaria に 6 種、合計 23 種存在することが明らかとなった。

総種数では、炭酸マンガン粒子 (Man) の放散虫化石群集の種数が基質 (Mat) の放散虫化石群集の種数を上回っているにも関わらず、マンガン初産出種と基質初産出種はほぼ同数存在し、しかも Nassellariaにおいては基質初産出種のほうが多い。また、マンガン最終産出種は多数存在するが、基質最終産出種は 1 種しか存在しない。以上より、基質の放散虫化石群集には初産出種が多く存在し、炭酸マンガン粒子の放散虫化石群集には最終産出種が多く存在することが明らかとなった。

### *Striatojaponocapsa plicarum* (Yao) の形態変化

*Striatojaponocapsa plicarum* (Yao) はその生存期間の初期と後期で、basal appendage が徐々に小さくなることが知られている (Hatakeyama et al., 2007). basal appendage とは、最終殻室（本種の場合 thorax）の下に付く、ドーム状～平皿状の構造である。basal appendage の大きさについて、Mat と Man の間で有意な違いがあれば、本種の形態差が検出できるくらい時代差のあった遺骸群集から由来したのか判定できる。本研究では、*S. plicarum* と *Striatojaponocapsa aff. plicarum* の2形態種を識別したが、中間形態を呈する個体が多数含まれ、IN-21 では *S. aff. plicarum* が大多数を占めるため、この検討にあたり両者を *S. plicarum* に一括して扱う。なお、Hatakeyama et al. (2007) によれば、従来の *S. plicarum* は *S. plicarum* sensu stricto と *S. synconexa* の2種からなることを形態変化から示しているが、筆者の解析時期との兼ね合いでこの2種を一括して検討している。

#### 1. 計測・解析法

*S. plicarum* と *S. aff. plicarum*において、画像データをプリントアウトした写真を用いて、abdomen と basal appendage の大きさについて検討を行った。abdomen の幅を W、高さを H、及び basal appendage の幅を w、高さを h として各長さ (Fig. 7) を測定し、スケールから実際の長さ ( $\mu\text{m}$ ) を算出し、測定結果を Table 3 に示す。同様に、basal appendage の大きさ  $hw$  ( $\mu\text{m}^2$ ) と abdomen の大きさ  $HW$  ( $\mu\text{m}^2$ ) の比  $hw/HW$  を算出してヒストグラムを作成した。

これらの測定値を用いて、abdomen と basal appendage

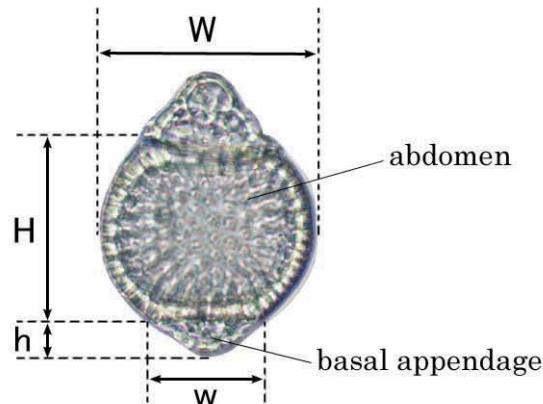


Fig. 7. Morphological terminology for the Middle Jurassic nassellarian radiolarian *Striatojaponocapsa plicarum* (Yao).

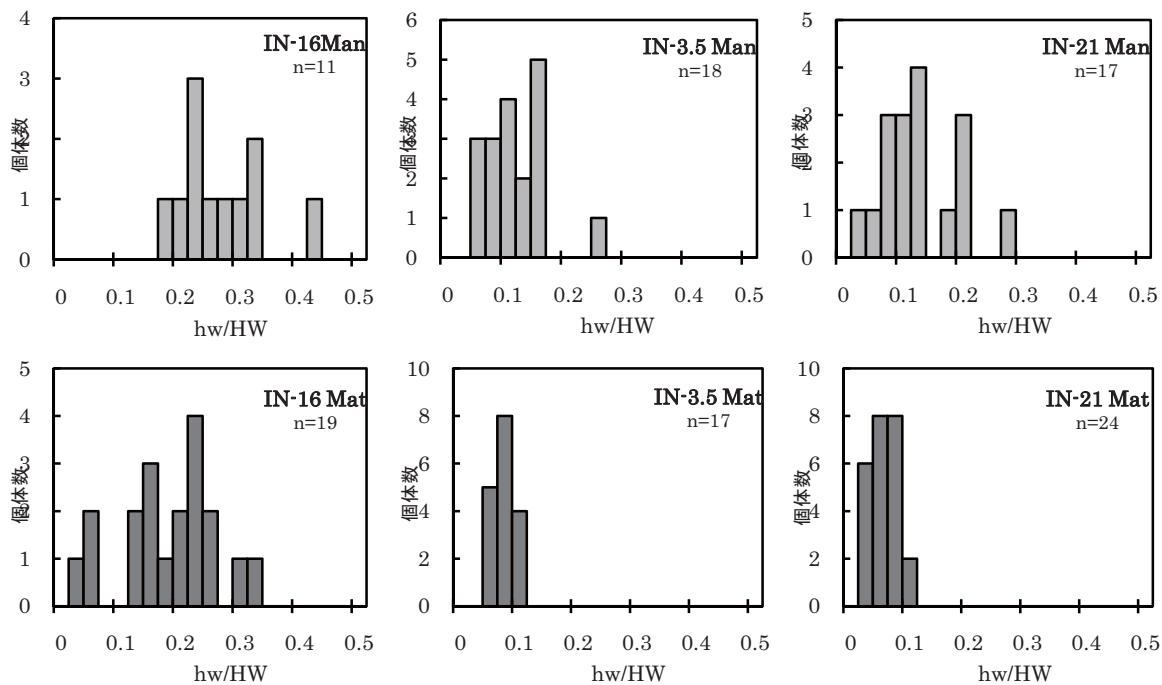


Fig. 8. Histograms of the size ratios of the basal appendage and abdomen (hw/HW) of *Striatojaponocapsa plicarum*. N is the number of specimens.

の大きさに関する層準や試料間での違いについて調べるために, basal appendage の大きさ hw と abdomen の大きさ HW, 及び basal appendage と abdomen の高さの比 h/H と幅の比 w/W の相関図をそれぞれ作成した。測定する個体は, 測定可能な方向にプレパラート中に固定されている全個体である。

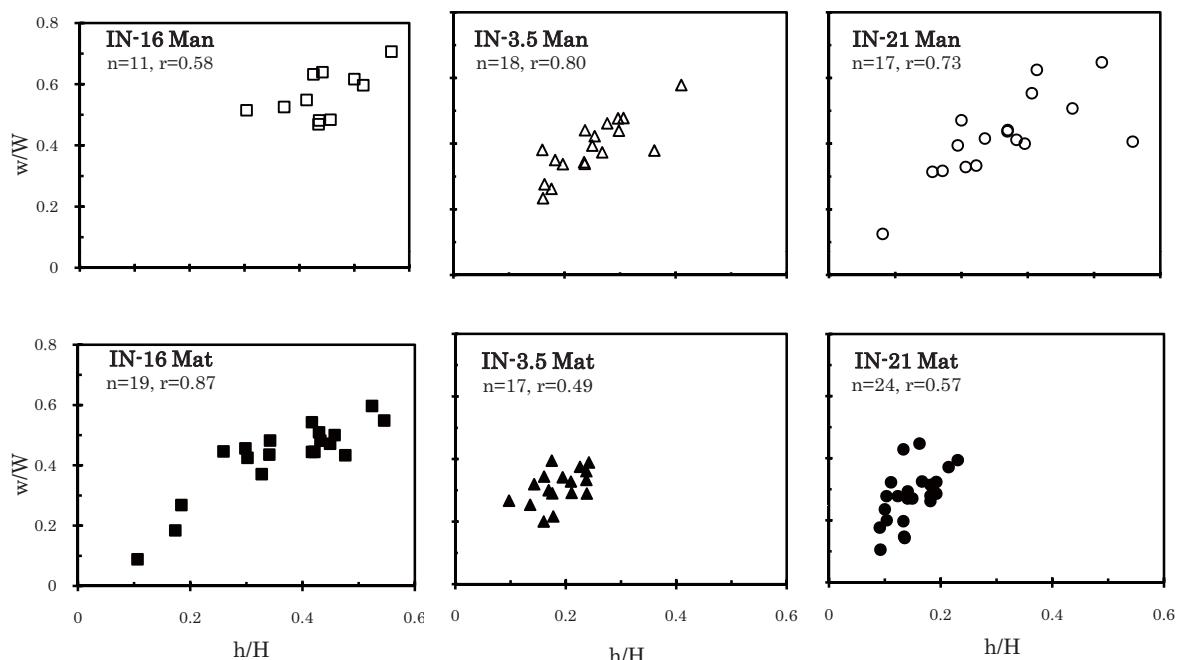
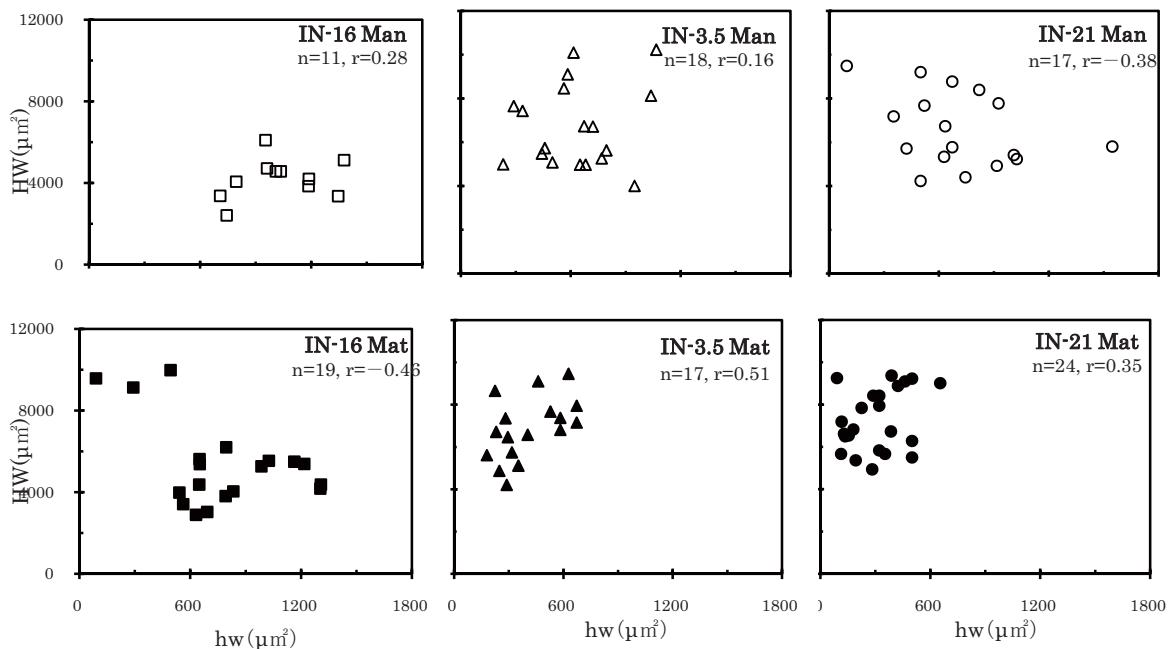
## 2. 解析結果

最初に同一層準の *S. plicarum* と *S. aff. plicarum* に形態差が認められるかを検証する。Fig. 8 が示すように, IN-16 Man-Mat 間において hw/HW の最頻階級は Man, Mat ともに 0.225 ~ 0.250 となり, 最頻値においては類似性が高い。しかし, ヒストグラムの形には両者の間で違いが認められ, IN-16 Man では hw/HW = 0.225 以下の個体が検討個体数の 45% を占め, IN-16 Mat では hw/HW = 0.225 以下の個体が 79% を占め, Mat には hw/HW = 0.225 以下の個体が明らかに多い。Mat の方が hw/HW の小さい個体が多いという傾向は, IN-3.5 Mat-Mat 間においても認められる。この層準における hw/HW の最頻階級は Man と Mat でそれぞれ 0.150 ~ 0.175, 0.075 ~ 0.100 であり, Mat の方が全体として小さい傾向がある。さらに, hw/HW = 0.075 以下の個体が IN-3.5 Man では 33%, IN-3.5 Mat では 76% を占め, 明らかに Mat の個体の方が hw/HW が小さい。IN-21 Man-Mat 間においてはその差が顕著となり, 最頻階級

は Man が 0.125 ~ 0.150, Mat が 0.050 ~ 0.075 と 0.075 ~ 0.100 であり, 両者で最頻値がずれている。さらに, hw/HW が 0.075 以下となる個体は IN-21 Man では検討個体数の 29% を占め, IN-21 Mat では検討個体数の 92% を占める。この事実は, 同一層準においては Man より Mat の方が hw/HW が小さい個体が普遍的に多いと判断される。加えて, IN-16, IN-3.5, IN-21 の 3 層準間においては, Man と Mat とともに上位の層準に行くにつれて hw/HW の最頻階級が小さい値の階級になる。この事実は, *S. plicarum* と *S. aff. plicarum* は abdomen に対して basal appendage の小さい個体が経時的に増えていくことを示している。

この傾向を, basal appendage の大きさ hw と abdomen の大きさ HW の 6 試料通じた相関関係で詳しく見てみると, Fig. 9 が示すように, Man, Mat にかかわらず, 上位の層準に向かって abdomen (HW) が大きく, かつ basal appendage (hw) が小さい個体が多くなる。しかも, 同一層準の Man-Mat 間において Mat の方が basal appendage の小さい個体が多く存在している。その一方で Fig. 9 において, IN-16 Man と IN-3.5 Man のそれでは hw - HW 間に相関ではなく, IN-21 Man では弱い負の相関があるにすぎない。IN-3.5 Mat と IN-21 Mat のそれについても hw - HW 間に正の相関があり, IN-16 Mat では相関図から正の相関があると判断できる。以上の事実から, Mat の hw - HW 間について, 層準間では HW が大きくなると hw が

## 炭酸マンガン粒子の再堆積過程



小さくなる傾向があるが、同一の岩相では HW が大きくなると hw も大きくなる傾向がある。

最後に、個体の全長 ( $h+H$ ) や個体幅に対し、basal appendage と abdomen のそれぞれがどのような比率となっており、それが試料間でどのような関係になっているかを示し、層準間と試料間それぞれにおける傾向を明らかにする。

basal appendage の高さ  $h$  と abdomen の高さ  $H$  の比  $h/H$  と、basal appendage の幅  $w$  と abdomen の幅  $W$  の比  $w/W$  の 6 試料通した相関関係は、相関係数 ( $r = 0.84$ ) から、強い正の相関があるといえる。また、試料ごとの相関関係 (Fig. 10) においても、 $h/H - w/W$  間に正の相関がある。そして、Fig. 10 が示すように、上位の層準に行くにつれて

Table 3. Measurements of the height (H) and width (W) of the abdomen and the height (h) and width (w) of the basal appendage of *Striatojaponocapsa plicarum* for each sample.

samples		IN-16		IN-3.5		IN-21	
		Man	Mat	Man	Mat	Man	Mat
number of specimens		11	19	18	17	17	24
h	mean	23.71	21.41	17.44	13.75	18.32	11.66
	median	24.05	20.25	17.09	13.92	17.72	12.03
	standard deviation	2.41	5.36	3.41	3.34	4.88	2.91
	minimum	20.25	8.86	11.39	8.86	7.59	7.59
	maximum	26.58	30.38	22.78	18.99	27.85	15.19
H	mean	54.55	62.63	72.57	74.01	73.34	79.54
	median	54.43	60.76	70.25	74.68	68.35	79.75
	standard deviation	8.17	14.96	13.11	11.27	11.92	11.66
	minimum	39.24	43.04	49.37	53.16	55.70	55.70
	maximum	70.89	96.20	96.20	91.14	93.67	98.73
W	mean	43.04	34.38	35.02	28.74	36.63	25.53
	median	43.04	34.18	35.44	27.85	35.44	25.32
	standard deviation	6.72	9.12	7.75	6.08	10.11	8.21
	minimum	32.91	10.13	20.25	17.72	12.66	10.13
	maximum	54.43	48.10	46.84	37.97	58.23	43.04
W	mean	76.32	83.01	90.86	92.11	88.61	91.77
	median	77.22	78.48	87.34	91.14	88.61	89.24
	standard deviation	7.28	12.74	9.43	7.68	9.17	7.16
	minimum	61.52	67.09	77.22	77.22	70.89	78.48
	maximum	86.08	114.68	106.33	103.80	103.80	108.86

basal appendage が abdomen に対して相対的に小さい方向に集団が移動し、しかも同一層準において Man の集団より Mat の集団のほうが先行している。

以上より、鵜沼セクションの *S. plicarum* と *S. aff. plicarum* は経時的に、abdomen に対して basal appendage が相対的に小さい個体が増えるとともに basal appendage が相対的に大きい個体が減る傾向があることが明らかとなった。またこの傾向に加えて、abdomen が大きく、かつ basal appendage が小さい個体が経時に増えるという傾向も微弱ながら存在することが明らかになった。Hatakeyama et al. (2007) によれば、basal appendage が小さい個体は *S. plicarum* の後期型に多くなるので、Mat 中の *S. plicarum* と *S. aff. plicarum* の basal appendage が同一層準の Man 中のそれより小さい事実は、Man の本種は基質より古い個体からなると解釈される。ここで扱った他の計測値もその傾向と調和的である。

## 考察

### 1. 基質と炭酸マンガン粒子の放散虫化石群集の違い

類似度 (QS) において、同一層準の Man-Mat 間の類似度数 (Fig. 6A) が、異なる岩相の Man-Mat 間の類似度数 (Fig. 6C) に比べて、特に高い値とはならなかった。

これは、同一層準の Man と Mat の放散虫化石群集において、Mat のみに存在する放散虫化石種（非共通種：NC）が少なからず存在することが原因であると考えられる。Man の放散虫化石群集は、極めて保存状態の良い放散虫化石種で構成され、Mat の放散虫化石群集は、比較的に保存状態の悪い放散虫化石種で構成されるため、同一層準の Man と Mat の放散虫化石群集が同じ遺骸群集から移行したものであれば、Mat のみに存在する放散虫化石種数 (NC) は限りなく 0 に近づくはずである。しかし、Table 2 が示すように、実際はこの通りではない。従って、基質と炭酸マンガン粒子中の放散虫化石群集は異なる化石群集であり、同じ遺骸群集から移行したものではないと判断される。

放散虫化石種の 6 試料通した産出状況を検討した結果、基質の放散虫化石群集には初産出種が多く、炭酸マンガン粒子の放散虫化石群集には最終産出種が多いことが明らかとなった。また、*Striatojaponocapsa plicarum* の形態変化において、経時に abdomen に対して basal appendage が相対的に小さい個体が増え、basal appendage が相対的に大きい個体が減る傾向がある。さらに、同一層準では Man より Mat のほうが basal appendage の小さい個体が多い。先にも述べたように、*Striatojaponocapsa plicarum* は、層序的に上位に向かって、basal appendage が小さくなることが知られている (Hatakeyama et al., 2007; Matsuoka, 1983)。以上から、炭酸マンガン粒子中の放散虫化石群集は基質中の群集より古い時代の放散虫化石を含むと考えられる。

## 2. 炭酸マンガン粒子の形成過程

炭酸マンガン粒子中の放散虫化石は、殻の内部に粘土鉱物を含まずに炭酸マンガンで充填されており、細部までほぼ完全に保存されている個体が大多数を占める。さらに、炭酸マンガン粒子内部にも粘土鉱物は認められない。粘土鉱物が認められないことから、これらの粒子は主に遠洋海域で形成されたと考えられる。遠洋域には、赤道太平洋のような高生物生産帯とジャイヤ内のような貧栄養海域がある。ジュラ紀の炭酸マンガン粒子中には保存の良い放散虫化石が見られることから、その粒子の形成場は現生における赤色粘土帯のような放散虫生体群集由来の遺骸群集が直ちに溶解している貧栄養環境ではなく、多量の放散虫遺骸が沈降してくるような高生物生産帯であったと考えられる。Takahashi (1991) のセディメント・トラップの観察やJohnson (1974) による海水による溶解実験、箕浦・中谷 (1984) による海水加圧による溶解実験によると、脆弱な殻を持つ放散虫遺骸は海底沈着後ただちに溶解・消滅してしまう。炭酸マンガン粒子中には脆弱な殻を持つ放散虫化石が普遍的に残されていることから推察すると、放散虫遺骸は殻が溶解・破損する前に速やかに炭酸マンガン粒子内部に取り込まれたと考えられる。さらに、そのような脆弱な殻が残っているのは、取り込まれた群集が恐らく堆積物最表層の放散虫遺骸群集であったためなのであろう。

ジュラ紀のマンガンノジユールの形成過程についてはこれまで多くの検討が行われている。足立 (1986) は、美濃帯のマンガンノジユールと現世の太平洋の深海底にみられるマンガンノジユールとを比較し、両者が組織・構成鉱物・化学組成・形成環境において大きく異なっていることを指摘している。一例を挙げれば、現在の大洋底に広がるマンガンノジユールは鮫の歯や鯨の耳骨などの核を持ち、同心円状に形成されている。さらに、その比重は海洋底の堆積物と底層水との間の値を示し、堆積物が積もる度にマンガンノジユールは“浮き上がり”，周囲の基質の放散虫化石と比べて相対的に古い放散虫化石がマンガンノジユール中に発見される。筆者の研究で扱ったマンガンノジユールにはそのような成長核もなければ、同心円状構造もなく、現在の比重も周囲の珪質泥岩より明らかに大きい。これまでの知見と等しく、現在のマンガンノジユールとの形成環境の類似性を求ることはできない。

本研究で扱ったマンガンノジユールと産状的に類似するものとして、丹波帯の層状マンガン鉱床を挙げることができ

る。本鉱床については、日下部 (1976) がその産状や特徴などを詳細に記載している。両者の主な共通点は、層状マンガン鉱床から普遍的に産出する炭酸マンガン鉱には径1mm程度の菱マンガン鉱球顆の集合した球顆状炭酸マンガン鉱が存在すること、菱マンガン鉱球顆の内部は炭酸マンガンの針状結晶が放射状に集合した構造を成すこと、炭酸マンガン鉱石中の放散虫化石の大多数が、殻の内部を菱マンガン鉱で充填されていることなどである。このような層状マンガン鉱床の形成年代について、例えば Nakae and Komuro(2005) は、丹波帯のマンガン鉱山に分布する層状マンガン鉱床とその上位の層状チャートにおいて、それらに含まれている放散虫化石群集が、ジュラ紀中世の放散虫化石種で構成されていることから、層状マンガン鉱床が Bajocian から Bathonian 前期まで形成されていたことを明らかにした。その一方、本研究で扱ったマンガンノジユールには、炭酸マンガン鉱以外のマンガン鉱（珪酸マンガン鉱や二酸化マンガン鉱など）が主要な鉱物として含まれていない点が、ここであげた層状マンガン鉱床と異なる。しかし、層状マンガン鉱床に存在する珪酸マンガン鉱や二酸化マンガン鉱などは変成作用によって炭酸マンガン鉱から生じたものである（日下部, 1976）ことから、その違いは堆積場の類似性を考える際には問題にならない。すなわち、珪質泥岩中のマンガン炭酸塩ノジユールと層状マンガン鉱床は、産状の規模や変成を受けた程度こそ極端に異なるが、基本的に同質のものであり、両者から産出する炭酸マンガンの起源は同じであったと考えられる。層状マンガン鉱床での炭酸マンガン粒子の密集状況は、本論で扱った珪質泥岩中の粒子の密集度とは比較にならないほど濃集しており、炭酸マンガン粒子は珪質泥岩が堆積するような半遠洋域深海底で形成されたものではなく、遠洋域深海底に炭酸マンガン鉱を生成する広域な場が存在し、そこで形成されたものであると考えられる。

## 3. 底層流の存在

現在の大洋底において底層流は実測されており (e. g. 緑川ほか, 1988; 満澤・深海調査グループ, 1990; 満澤ほか, 1991, 1996; 満澤, 1992), またドリフト堆積物なども知られている (Resig et al., 1970). チャートが堆積していた深海底でも底層流は存在していたことが、放散虫殻の定向配列から判明している (Imoto, 1984). 先に炭酸マンガン粒子の形成場は碎屑粒子も届かない遠洋域と考えたが、これは、粒子が底層流によって移動する可能性を示唆している。底

層流との直接的な関係はわからないが、珪質泥岩が堆積していた半遠洋域にも底層流が存在したことを示す証拠を堆積構造から得た。炭酸マンガン粒子を含む珪質泥岩の堆積構造 (Fig. 3) から堆積過程を推定すると、I の構造は、リップルをつくるような流れによって、炭酸マンガン粒子が泥粒子や放散虫遺骸から成る表層堆積物の上に堆積した結果と考えられる。一方、II の構造は、混濁流によって、炭酸マンガン粒子・泥粒子・放散虫遺骸が混ざり合った状態で表層堆積物の上に移動し、沈底するとともに炭酸マンガン粒子が他の粒子と一緒に沈降し、均一に混ざった結果と考えられる。さらに、II の構造では、炭酸マンガン粒子が垂直方向に疎密を繰り返していることから、そのような流れが間欠的に繰り返していた可能性がある。また、炭酸マンガン粒子の粒径に着目すると、もっとも粒径の小さいものは II の構造下部の珪質泥岩との境界に密集し、逆級化の様相を呈する。このような構造の形成は、密度流の特徴のひとつである (八木下, 2001)。同じ形成過程がこのような薄層にも適用できるかは、さらなる検証が必要であるが、炭酸マンガン粒子が珪質泥岩中に特徴的な産状を示す理由の一つであろう。

基質と炭酸マンガン粒子中の放散虫化石群集を比較した際、最も明瞭な違いは基質の *Spumellaria* 種数が極端に少ないことである。このことは 3 層準全てに共通しており、基質の *Spumellaria* 種のこのような大量消失が、続成過程における選択的溶解作用のみで起こったとは考え難い。上記の炭酸マンガン粒子の堆積過程、珪質泥岩に見られる葉理、さらに炭酸マンガン粒子の微細構造において粒子が流れにより摩滅を受けている可能性があることなどから、少なくとも炭酸マンガン粒子の存在する層準では、珪質泥岩の形成に底層流のような流れが深く関わっていることが考えられる。基質の *Spumellaria* 種数が少ないことも、流れによって *Nassellaria* 種より殻構造の脆弱な *Spumellaria* 種が摩滅・分級作用を受けたことによると考えられる。珪質泥岩をフッ化水素酸で処理しているときに球状放散虫ばかり回収できることがある。このような結果は公表論文に書かれることは滅多ないので、どれだけ普遍的な事実かわからないが、そのような経験とも調和的である。

ここでひとつ考えなければならないことは、炭酸マンガン粒子の主要な構成鉱物である菱マンガン鉱の比重は 3.5 ~ 3.7 であることから、炭酸マンガン粒子は通常の碎屑粒子よりも重く、底層流によって移動するには、同じ 1 ~ 2mm 径の粒子が通常移動できる流速を上回る速度が必要であるということである。その一方、石英の比重は 2.65 と小さく、单独

の放散虫殻のサイズは細粒砂サイズであり、さらに内部が中空であるため、底層流によって移動し始める流速は、通常の細粒砂が移動しうるそれより相当遅い速度であろう。

底層流については、深層流の係留観測が現在までに数多く行われており、その存在や特性が明らかにされつつある (e. g. 緑川ほか, 1988; 満澤・深海調査グループ, 1990; 満澤ほか, 1991, 1996; 満澤, 1992)。底層流は主に潮汐・海底の地形・水温の変化などに起因し、変動性に富む流速 数 cm/sec ~ 数十 cm/sec の海水の流動として海底直上に局地的に存在する。炭酸マンガン粒子と同じ粒径 1 ~ 2mm の通常の碎屑粒子が侵食・運搬される流速は約 10 ~ 20 cm/sec 以上であるため、マンガン粒子が底層流によって侵食・運搬された可能性は十分にあると考えられる。また、放散虫がチャート層理面上で定向配列する場合もあることから、その流速は非常に遅かったこともあったのであろう。本研究においても、珪質泥岩中の塔状多節 *Nassellaria* が定向配列しているのを確認しており、チャートと珪質泥岩それぞれの堆積場では底層流の強弱がかなり変化したのであろう。

## まとめ

これまでの検討をまとめると、珪質泥岩に含まれる炭酸マンガン粒子密集層は、遠洋海域で主に形成された炭酸マンガン粒子が、珪質泥岩の堆積する半遠洋海域に再堆積した結果と考えられる。その過程は次のようであったと考えられる。

遠洋域深海底の炭酸マンガン鉱が生成している場の直上を底層流が流れることによって、そこで形成されていた炭酸マンガン粒子は、自身を含む表層堆積物とともに侵食・運搬された。その運搬過程で炭酸マンガン粒子は摩滅や分級作用を受けながら、半遠洋域深海底でそのとき堆積物最表層に存在する放散虫遺骸や泥粒子と混ざり再堆積したと考えられる。このような過程を経るなかで、炭酸マンガン粒子中の放散虫殻は炭酸マンガン結晶の保護作用により殻の破壊を免れ、良い保存状態を維持できた。そして、その後の続成作用においてもこの保護作用は強く働いたと考えられる。よって、炭酸マンガン粒子中の放散虫化石群集は基質中の群集より古い時代の放散虫化石を、基質中の化石群集はマンガン中の群集より新しい時代の放散虫化石をそれぞれ含む結果となったと考えられる。

## 謝辞

大阪市立大学の八尾 昭教授には本研究のあらゆる段階で、細やかかつ適切なご指導、ご助言をいただくと共に、本研究の公表を強く勧めていただいた。同大学の桑原希世子博士には有益なご助言をいただいた。西原ちさと博士をはじめ同大学大学院地球学教室の院生の方々にはご助言をいただくと共に、盛んに議論していただき、本研究の展開において非常に良い刺激となった。査読者である富山大学の柏木健司博士、編集委員長である東北大学の鈴木紀毅博士には、本稿を改善するための多くの有益なご指摘やご助言をいただいた。以上の方々に深く感謝いたします。

## 引用文献

- 足立 守, 1986, 美濃帯のジュラ紀マンガンノジュールの構成鉱物 . 大阪微化石研究会誌 , 特別号 , no. 7, 275-286.
- 荒川竜一, 1998, 足尾帶葛生地域の二酸化マンガンノジュールより産出した中期ジュラ紀放散虫化石群集 . 栃木県立博物館研究紀要 , **15**, 51-76.
- Barash, M.S. and Kruglikova, S.B., 1994, Age of the Radiolaria from ferromanganese nodules of the Clarion-Clipperton Province (the Pacific Ocean) and the problem of the nodules unsinkability. *Okeanologiya*, **34**, 890-904.
- Blome, C.D. and Reed, K.M., 1993, Acid processing of pre-Tertiary radiolarian cherts and its impact on faunal content and biozonal correlation. *Geology*, **21**, 177-180.
- Hatakeyama, K., Suzuki, N., Matsuoka, A., 2007, Quantitative morphological analyses and evolutionary history of the Middle Jurassic polycystine radiolarian genus *Striatojaponocapsa* Kozur. *Marine Micropaleontology*, **63**, 39-56.
- 服部 勇, 1989, 福井県南条山地西部の3地点におけるマンガンノジュールからのジュラ紀放散虫について . 福井大学教育学部紀要 , 第Ⅱ部自然科学 , no. 36, 47-134.
- Hori, N. and Wakita, K., 2006, Early Middle Jurassic (late Aalenian) radiolarian assemblage in a manganese nodule from the Northern Chichibu Belt in the Ino area, Kochi Prefecture, Southwest Japan. *Journal of Asian Earth Sciences*, **27**, 45-60.
- Imoto, N., 1984, Late Paleozoic and Mesozoic cherts in the Tamba Belt, southwest Japan (Part 2). *Bulletin of Kyoto University of Education, Series B*, no. 65, 41-71.
- Johnson, T.C., 1974, The dissolution of siliceous microfossils in surface sediments of the eastern tropical Pacific. *Deep-Sea Research*, **21**, 851-864.
- 桑原希世子・八尾 昭, 2004, 「定常的群集変遷モデル」を用いた放散虫化石群集の解析 . 情報地質 , **15**, 151-157.
- 日下部吉彦, 1976, 丹波山地のマンガン鉱床 . 地質ニュース , no. 267, 39-45.
- Matsuoka, A., 1983, Middle and Late Jurassic radiolarian biostratigraphy in the Sakawa and adjacent areas, Shikoku, Southwest Japan. *Journal of Geosciences, Osaka City University*, **26**, 1-48.
- 緑川弘毅・門馬大和・満澤巨彦・堀田 宏, 1988, 駿河トラフの海底直上における流れの測定 . 第4回「しんかい2000」研究シンポジウム報告書 , 101-110.
- 箕浦幸治・中谷 周, 1984, 層状放散虫チャートの起源 I. 堆積環境および成因. 化石 , no. 35, 17-32.
- 箕浦幸治・中谷 周・竹村厚司, 1983, 美濃帯炭酸マンガン鉱床の成因. 月刊 海洋科学 , **15**, 426-432.
- 満澤巨彦, 1992, 海形海山カルデラ内の流れ及び水温の観測 第560回潜航結果 . 第8回しんかいシンポジウム報告書 , 163-169.
- 満澤巨彦・熊井隆一・中尾 敦・山口直樹・深澤理郎・深海調査グループ, 1991, 駿河トラフにおける底層流の観測 . 第7回「しんかい2000」研究シンポジウム報告書 , 45-50.
- 満澤巨彦・門馬大和・宮本元行・青木美澄・海宝由佳・堀内一穂, 1996, 日本海溝陸側斜面における底層流・濁度の変動特性 . JAMSTEC 深海研究 , no.12, 35-44.
- 満澤巨彦・深海調査グループ, 1990, 沖縄トラフ伊平屋東部小海嶺における流れと水温分布の観測 . 第6回「しんかい2000」研究シンポジウム報告書 , 157-166.
- 水谷伸治郎・小池敏夫, 1982, 岐阜県各務原市鵜沼 , 木曽川河畔のジュラ紀珪質頁岩と三疊紀チャート中の放散虫 . 大阪微化石研究会誌 , 特別号 , no. 5, 117-134.
- 水谷伸治郎・柴田 賢, 1983, 美濃地域中生代珪質岩の統成作用と同位体年代 . 総合研究A「堆積岩の統成作用に関する研究」, 143-155.
- Nakae, S. and Komuro, K., 2005, Radiolarian age of chert-hosted bedded manganese deposits from the Gen-otani Mine in the Tamba district, northern Kyoto City, Japan. *Resource Geology*, **55**, 311-320.
- 西原ちさと・八尾 昭, 2005, 美濃帯犬山地域のジュラ紀中世 (Bajocian) 放散虫類の群集変遷 . 化石 , no. 78, 32-39.
- Resig, J.M., Ling, H-y and Stadum, C.J., 1970, Micropaleontology of a Miocene core from the western Tropical Pacific. *Pacific Science*, **24**, 421-432.
- Suzuki, N. and Ogane, K., 2004, Paleoceanographic affinities of radiolarian faunas in late Aalenian time (Middle Jurassic) recorded in the Jurassic accretionary complex of Japan. *Journal of Asian Earth Sciences*, **23**, 343-357.
- Takahashi, K., 1991, Radiolaria: Flux, ecology, and Taxonomy in the Pacific and Atlantic. *Ocean Biocoenosis Series*, no. 3, 1-301.
- 脇田浩二, 1982, 九頭竜川最上流地域-郡上八幡西方地域に産するジュラ紀放散虫化石 . 大阪微化石研究会誌 , 特別号 , no. 5, 153-171.
- Wakita, K., 1988, Origin of chaotically mixed rock bodies in the Early Jurassic to Early Cretaceous sedimentary complex of the Mino terrane, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **39**, 675-757.
- 八木下晃司, 2001, 岩相解析および堆積構造. 古今書院, 222pp.
- Yao, A., 1972, Radiolarian fauna from the Mino Belt in the northern part of the Inuyama area, central Japan. Part I. Spongosternalids. *Journal of Geosciences, Osaka City University*, **15**, 21-64.
- Yao, A., 1979, Radiolarian fauna from the Mino Belt in the northern part of the Inuyama area, central Japan. Part II: Nassellaria 1. *Journal of Geosciences, Osaka City University*, **22**, 21-72.
- 八尾 昭, 1997, ジュラ紀古 - 中世放散虫化石群集の変遷. 大阪微化石研究会誌 , 特別号 , no. 10, 155-182.
- Yao, A., Matsuda, T. and Isozaki, Y., 1980, Triassic and Jurassic radiolarians from the Inuyama area, central Japan. *Journal of Geosciences, Osaka City University*, **23**, 135-154.

Plate 1

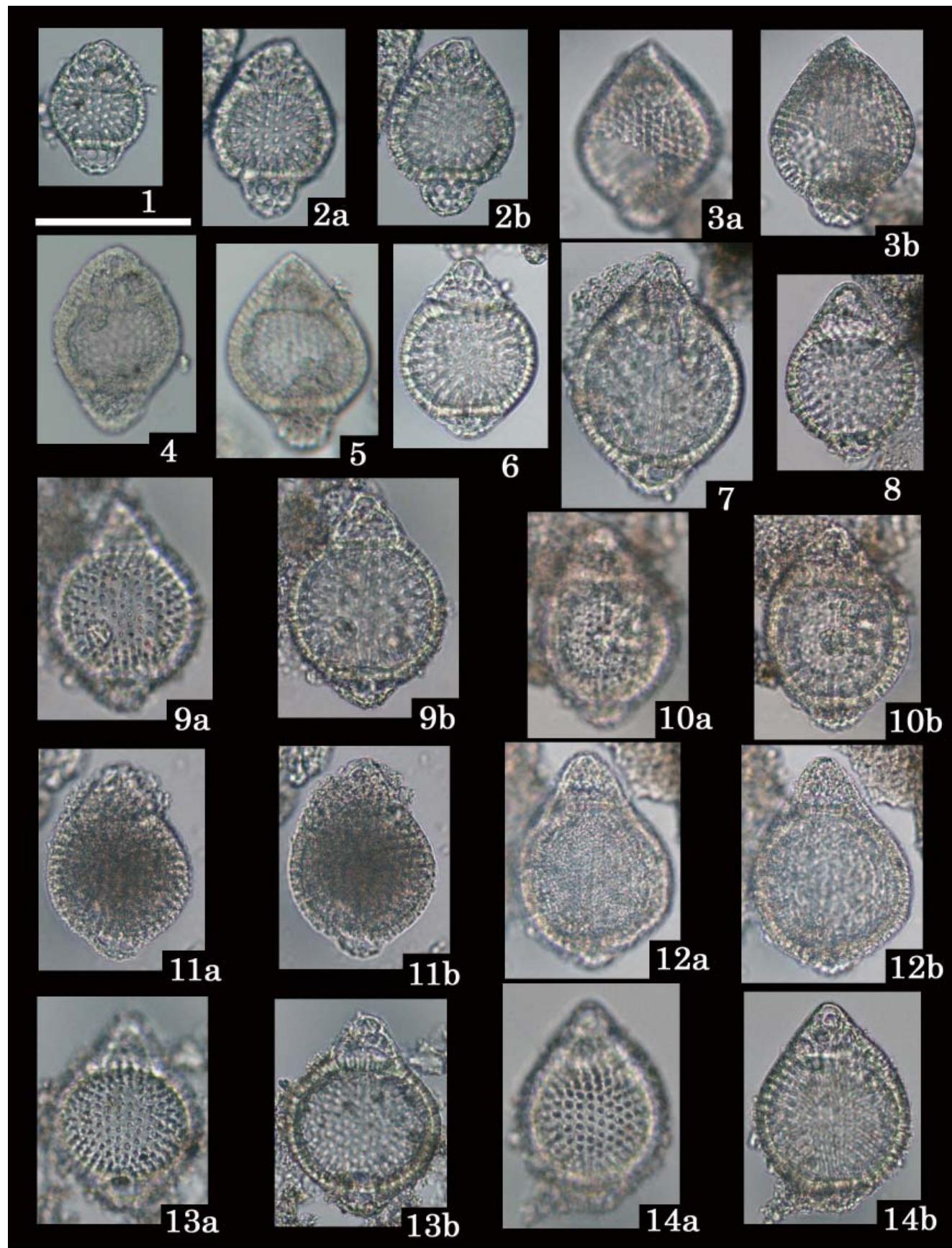
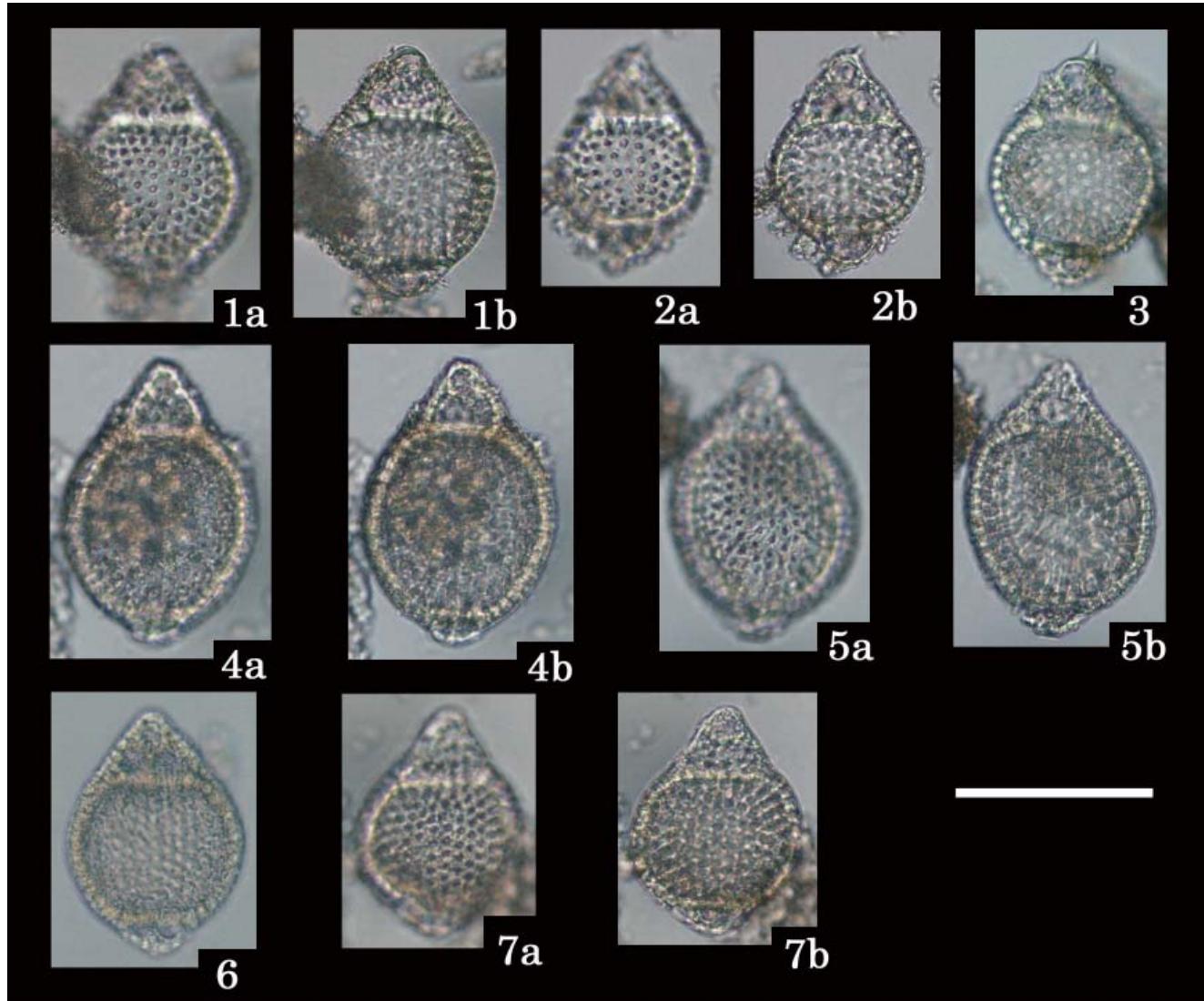


Plate 2



## Explanation of plates

Plate 1

*Striatojaponocapsa plicarum* (Yao) and *Striatojaponocapsa* aff. *plicarum* (Yao) in the Unuma section. Scale bar indicates 100µm.

### 1-6, 8-11, 13: *Striatojaponocapsa plicarum* (Yao)

(1 and 2: IN-16 Man, 3-5: IN-16 Mat, 6, 8, 9: IN-3.5 Man, 10 and 11: IN-3.5 Mat, 13: IN-21 Man), No. 272.

### 7, 12 and 14: *Striatojaponocapsa* aff. *plicarum* (Yao)

(7: IN-3.5 Man, 12: IN-3.5 Mat, 14: IN-21 Man), No. 275.

Plate 2

*Striatojaponocapsa plicarum* (Yao) and *Striatojaponocapsa* aff. *plicarum* (Yao) in the Unuma section. Scale bar indicates 100µm.

### 1-3, 6 and 7: *Striatojaponocapsa plicarum* (Yao)

(1-3: IN-21 Man, 6 and 7: IN-21 Mat), No. 272.

### 4 and 5: *Striatojaponocapsa* aff. *plicarum* (Yao)

(IN-21 Mat), No. 275.