

美濃帯犬山地域におけるジュラ紀中世 Hagiastriids (Radiolaria) の 形態変化と個体数変化

高田 瑠美子¹⁾

Change of morphology and individual number of Middle Jurassic Hagiastriids (Radiolaria) from the Inuyama area in the Mino Terrane

TAKATA Rumiko¹⁾

1) 大阪市立大学大学院理学研究科・理学部地球学科 (Department of Geosciences, Faculty of Science, Osaka City
University, Osaka 558-8585, Japan)
(2007 年 4 月 9 日受付, 2007 年 12 月 18 日第一回査読終了, 2008 年 8 月 25 日受理)

Abstract

Since the 1970's, a lot of paleontological research has been carried out on the Middle Jurassic radiolarians from the manganese carbonate nodules of the Mino Terrane. However, the classification of hagiastriids and their faunal change aren't sufficiently clarified yet. In this research, a faunal composition of Middle Jurassic (Bajocian) hagiastriids was analyzed in 5 manganese carbonate nodules (IN16, IN10, IN7, IN3 and IN1 in ascending order) collected along the Unuma section of the Inuyama area, central Japan.

First, a classification framework in generic and specific levels was fixed by using the structural characteristics in the ray-cross section. Under the new framework, 82 species of 16 genera were identified from 3200 individuals of hagiastriids. Next, the numbers of species and individuals of each species were counted. The number of species becomes maximum in the middle horizon (IN7), and decreases in the upper horizons. The whole number of individuals significantly increases from the lower to the upper horizons. Concerning the number of individuals of each species, two change patterns are distinguished in some species: one is increase pattern and another is decrease pattern from the middle (IN7) to the upper horizons (IN1). Then, the length and width of ray of the patterned species were measured. The fluctuation of sizes shows an approximately positive correlation with the one of number of individuals.

If it is supposed that the seawater temperature fell during the rime between the IN7 and IN1 horizons, the above results are well explained. The species, which show the increase pattern of individual number in the upper horizon, have the moderately spaced layer structure in their ray. This shell structure is considered to be an adapted form to the cold environment.

Key words: Middle Jurassic Hagiastriids, ray-cross section, two change patterns

はじめに

美濃帯犬山地域の珪質泥岩中のマンガンノジュールには、非常に保存状態の良いジュラ紀中世中期 (Bajocian) の放散虫化石が含まれ、1 試料から 300 種前後が検出される (八尾, 1997)。放散虫化石は、地層の年代を決定し、対比・区分するための示準化石として大きな役割を果たしている。中生代の放散虫化石は Spumellaria, Nassellaria, Entactinaria の 3 目に大別され、Blome (1984), Hattori (1993), De wever et al. (2001) など、これまでに

多くの古生物学的研究がなされてきた。2～5本の腕部を持つ Spumellaria 亜目の Hagiastriidae 科に関しては、Baumgartner (1980), Kito and De Wever (1992) などにより議論されているが、形態分類や系統がまだ十分に明らかにされていないものもある。そこで、本研究では、*Higumastra* (Baumgartner, 1980), *Paronaella* (Pessagno, 1971), *Tritrabs* (Baumgartner, 1980) など、犬山地域のマンガンノジュールから多産する Hagiastriidae について、形態学的特性をもとに種分類し、種数、産出個体数及び個体サイズの層序学的変化を明らかにして、それらが示す意味を考察した。

地質概要および試料

本研究の試料採取地点である岐阜県犬山地域は、西南日本内帯の美濃帯南部に位置している (Fig. 1). 美濃帯は、玄武岩・石灰岩・チャート・珪質泥岩・砂岩・泥岩からなるジュラ紀の付加コンプレックスから構成される。美濃帯は、その構成特性にもとづいて 脇田 (2000) は 7 つのユニットに区分している。試料採取地点である犬山地域は上麻生ユニットに属する。本研究試料は、岐阜県各務ヶ原市鵜沼^{かみがはら うぬま}の木曾川右岸の鵜沼セクションから採集された。同一セクションで、西原・八尾 (2005) が群集組成を検討しており、本研究は同一試料をもちいている。鵜沼セクションの年代は、ジュラ紀中世中期 (Bajocian) であり、堆積にかかった時間は約 300 ~ 400 万年と見積もられている (西原・八尾, 2005). 鵜沼セクションの珪質泥岩層の層厚は約 39m である。珪質泥岩層に含まれるマンガンノジュールからは、放散虫化石が多産する。本研究では、5 層準のマンガンノジュール 5 試料について検討を行った。下位から順に、IN16, IN10, IN7, IN3, IN1 である。IN16 はチャート質の赤色珪質泥岩、IN10 ~ IN3 は赤色珪質泥岩、IN1 は黒灰色珪質泥岩中に含まれる (Fig. 2).

研究方法

各マンガンノジュール試料 63 ~ 120g を 10% の塩酸に浸し、24 時間 ~ 72 時間かけて溶解した。水洗した各残渣を乾燥させ、二分法により、0.03g に定量化し、5 試料合計 42 枚のプレパラートを作成した。

プレパラートを透過型光学顕微鏡で観察し、殻形態が明瞭な 3200 個体の Hagiastriidae の写真を、株式会社ニコン

製顕微鏡用デジタルカメラ DS (Digital Sight) カメラコントロールユニットを使用してパソコンに約 8000 枚取り込んだ。この画像をもとにグループ化した放散虫化石を既知の記載種及び様々な論文の図版と比較検討し、分類基準の整理、形態種の区分を行った。分類基準は、Baumgartner (1980) に主に従い、以下の文献を参考にした。

腕部断面および種記載: Blome (1984), Yamamoto et al. (1985), Kito and De Wever (1992), Baumgartner et al. (1995), Kiessling (1999).

図版: Goričan (1983), De Wever et al. (1985), 永

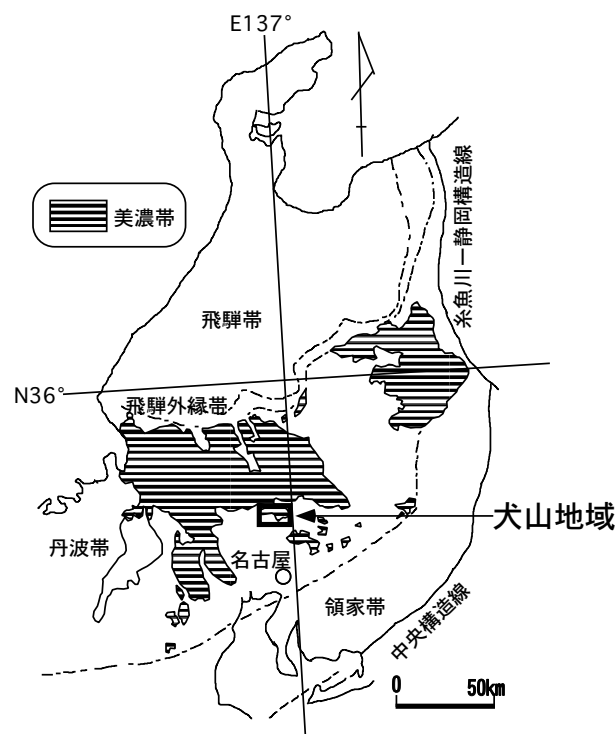


Fig. 1. Simplified tectonic division of the Mino (horizontal-striped area), Hida-gaien and Ryoke terranes with indication of the Inuyama area (open box). (美濃帯犬山地域の位置(西原・八尾, 2005)).

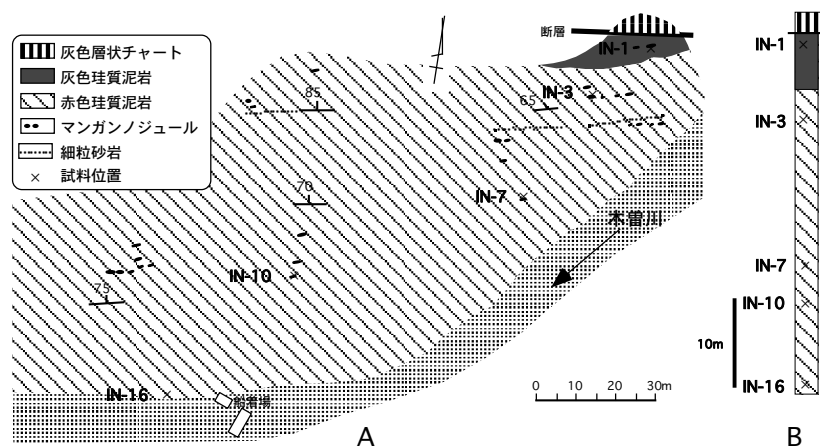


Fig. 2. (A) Field map showing the localities of manganese carbonate nodules in the Unuma section, the right bank of the Kisogawa River, the Inuyama area. (B) Stratigraphic column in the Unuma section showing stratigraphic order of manganese carbonate nodules. (犬山地域鵜沼セクションのマンガンノジュール試料産出地点。(西原・八尾, 2005). A: 鵜沼セクションの地質図, B: 鵜沼セクションの地質柱状図と試料層準).

井 (1985), Kito et al. (1990), Carter and Jakobs (1991), Hattori (1993), Chiari et al. (1994), Yeh and Cheng (1996), Chiari et al. (1997), 八尾 (1997), 荒川 (1998), Wegerer et al. (1999), Suzuki N. and Ogane (2004), Suzuki H. et al. (2004), Goričan et al. (2006).

各試料に対して3枚, 計15枚のプレパラートから, 殻中心 (central area) が3/5以上残っている Hagiastriidae の写真を透過型光学顕微鏡から全て取り込んだ。分類基準に基づき0.09g中の種数, 産出個体数を算出し, 形態計測を行った。形態用語はFig. 3に示した。

放散虫化石の群集解析

放散虫化石の外形は内部構造を反映することがある。腕部を持つ Hagiastriidae においては, 腕部断面を分析することにより, 外形を3次元的に捉え, spine の発達程度, spine 基部の groove の発達状況, 腕部の層構造を把握できる (Fig. 3)。そこで, 本研究では, 腕数及び腕部断面で属分類の基準を確定し, spine, central area, pore frame, ray tip の形状, patagium の有無などにより種の同定を行っ

た。属分類の基準をFig. 4に示す。現段階では属レベルの分類を統計的に捉えられたわけではないものの, 腕部断面が従来の属分類と明瞭に異なるものが3属認められた。本論ではこれらの属を最も類似する属をわりあて, 便宜的に, *Homoeoparonaella* (?) Baumgartner 1980, *Paronaella* (?), *Tritrabs* (?) として属名を与える。

ここで示した基準に基づき分類を行った結果, 犬山地域 鶴沼セクションの5層準から得られた Hagiastriidae は総計16属82種に及ぶ (Plates 1~3)。腕数での内訳は, 2本腕の *Bistarkum* が1属1種, 3本腕は *Archaeotritrabs* Steiger 1992, *Tritrabs*, *Homoeoparonaella*, *Homoeoparonaella* (?), *Paronaella*, *Angulobracchia* Baumgartner, 1980, *Paronaella* (?), *Tritrabs* (?) の8属51種, 4本腕は *Archaeohagiastrium* Baumgartner 1984, *Tetratrabs* Baumgartner 1980, *Hagiastrium* Haeckel 1882, *Crucella* Pessagno 1971, *Higumastra*, *Pseudocrucella* Baumgartner 1980, *Tetraditryma* Baumgartner 1980 の7属30種である。犬山地域から産出する Hagiastriidae は主として3~4本の腕部を持つ種で構成されることが確認された。以下, 各層準の種数, 各種の産出個体数, 優勢種の形態計測をもとに群集解析を行う。

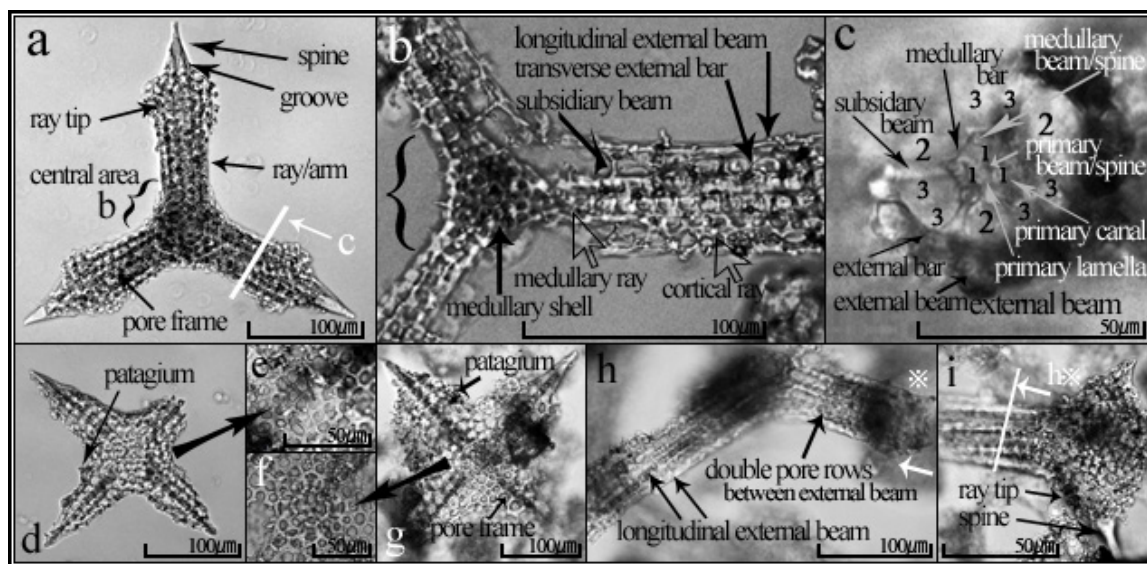


Fig. 3. Morphological terminology for hagiastriids (Radiolaria). (a) Overall view of *Homoeoparonaella elegans* (Sample IN3). The letters "b" and "c" in fig. 3a indicate the approximate position of figs. 3b and 3c. (b) Cortical area and proximal part of an arm at the equatorial plane, showing construction of arms and the central structure. *Homoeoparonaella elegans* (Sample IN7). (c) Internal structure of arms at the cross section. *Homoeoparonaella elegans* (IN7). (d) Overall view of *Higumastra laxa* (IN3). (e) Superficial view of the central area of *Higumastra laxa* (IN7). (f) The central area of *Higumastra gratiosa* (IN7), showing internal dividers. (g) Overall view of *Higumastra gratiosa* (IN3). (h) Two arms with the central part of *Tritrabs ewingi* (IN3). A white reference mark on the upper right of fig. 3h indicates approximate position of fig. 3i. (i) The distal part of an arm for *Tritrabs ewingi* (IN1). (Hagiastriidae の内部構造と形態用語。a~c: *Homoeoparonaella elegans* (a: IN3, b・c: IN7); a 図中の b と c は, 白字の b (中心部から腕部の構造), 黒字の c (腕部断面の構造) に対応; d・e: *Higumastra laxa* (d: IN3, e: IN7), f・g: *Higumastra gratiosa* (f: IN7, g: IN3), h・i: *Tritrabs ewingi* (h: IN3, i: IN1); i 図中の h は白字の※印 (腕部断面の構造) に対応)。

Number of ray-cross section		a	b	c	d	e	f	g
Genera	Number of ray: 2	not observed	not observed	<i>Bistarkum</i>	not observed	not observed	not observed	not observed
	Number of ray: 3	<i>Archaeotritrabs</i>	<i>Homoeoparonaella</i>	<i>Paronaella</i>	<i>Angulobracchia</i>	not observed	<i>Paronaella</i> (?)	<i>Tritrabs</i> (?)
		<i>Tritrabs</i>	<i>Homoeoparonaella</i> (?)					
	Number of ray: 4	<i>Archaeohagiastrum</i>	<i>Hagiastrum</i>	<i>Crucella</i>	not observed	<i>Higumastra</i>	<i>Pseudocrucella</i>	<i>Tetraditryma</i>
		<i>Tetratrabs</i>						

Fig. 4. Key structure for classification of hagiastrid genera (Hagiastriidae の属分類). Genera with an interrogation mark represents potentially undescribed genera. (a) *Tritrabs rhododactylus* (IN7), (b) *Homoeoparonaella elegans* (IN7), (c) *Paronaella* sp. B (IN7), (d) *Angulobracchia sicula* (IN3), (e) *Higumastra laxa* (IN1), (f) *Pseudocrucella* sp. B (IN1), and (g) *Tetraditryma c. corralitosensis* (IN1).

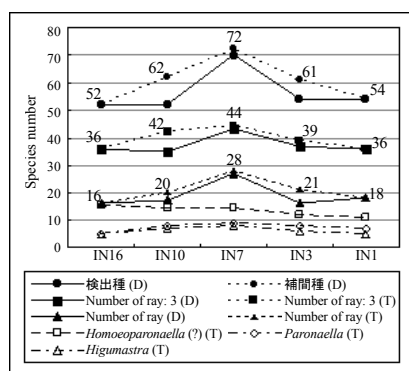


Fig. 5. Major hagiastriids in the five horizons. Total presumed number of species (T) equals to the total number of the encountered species (D) and the number of the interpolated species (I) that are not found the target horizon but are found above and below the target horizon. (5 層準における Hagiastriidae の検出種数 (D) と構成種数 (T). Hagiastriidae 科の検出種数 (D) と構成種数 (T), 3 本腕・4 本腕それぞれの検出種数 (D) と構成種数 (T), 種数の多い 3 属についての構成種数 (T)).

	IN16		IN10		IN7		IN3		IN1	絶滅種数
IN1	-16	30	-3	13	-7	4	-2	1	0	-
IN3	-12	40	-3	13	-6	5	3			-14
IN7	-7	45	0	16	11					-1
IN10	-6	46	16							-6
IN16	52									-

Fig. 6. Hagiastrid faunal turnover with indication of the number of extinct species between samples (white letters on black background), the number of the emergence species between samples (black letters on grey background). Bold letters show the total number of hagiastrid species. (絶滅種数と出現種数の漸次的入れ替わり。黒地に白字：絶滅種数、灰地に黒字：出現種数)。

1. 種数解析

5 層準で認められる 16 属 82 種の Hagiastriidae の検出種数および産出状況を Table 1 に示す。全体の傾向として生存期間が長く、全層準に渡り検出された種は 49 種に及んだ。また、連続する 3 層準において上層と下層に認められるが、中位層準にその存在が認められない種が幾つかある。例えば、IN16 と IN7 に確認されるが、IN10 には確認されない種を示す。Table 1 では、灰地に黒字の部分に該当する。

連続する層準内で上層と下層に認められる種は、生存期間を考慮すると、両間の間に位置する層準でも産出する可能性を示唆する (桑原・八尾, 2004)。そこで、桑原・八尾 (2004) に従い、このような種を補間種数 (I) とし、補間種数 (I) と検出種数 (D) を合わせた構成種数 (T) を算出した。

各層準における Hagiastriidae の検出種数 (D) と構成種数 (T) は、3 本腕、4 本腕共に下部の IN16 から IN7 へ向かい増加し、IN7 から上部の IN1 に向かい減少傾向を示す (Fig. 5)。多種を含む 3 属に関して、その種数の増減を、Hagiastriidae 全体の種数の増減傾向と比較すると、*Paronaella* と *Higumastra* はほぼ同様の増減傾向を示すが、最も種数の多い *Homoeoparonaella* (?) は、IN16 から IN1 に向かい減少する。IN7 より下位では属レベルで種数の増減が異なるが、IN7 より上位では、種数の減少が顕著であることが確認できる。

Fig. 6 は構成種数 (T) を用いて、絶滅種と出現種の漸移的入れ替わりを示したものである。IN10 では、IN16 で確認された 52 種のうち 46 種が生存、6 種が絶滅し、新たに、16 種が出現したことを示す。同様に、IN7 では、IN16 で確認された 52 種のうち 45 種が生存、1 種が絶滅し、IN10 で

Table 1. Occurrence of hagiastrid with the total number of individuals per sample weight (0.09 gram). Black letters in white box: actual number of individuals, white letters in black box: absent, and black letters in grey box: absent but potentially present due to present in upper and lower samples. (Hagiastridae の産出状況 (IN16 ~ IN1:0.09 g. 白地に黒字:検出種, 黒地に白字:未検出種, 灰地に黒字: 補間種).

Species	IN16	IN10	IN7	IN3	IN1
<i>Tritrabs</i> (?) sp. C	0	0	0	3	6
<i>Bistarkum saginatum</i>	0	0	0	12	0
<i>Paronaella</i> sp. aff. <i>P. tubulata</i>	0	0	0	6	0
<i>Crucella</i> sp. A	0	0	4	3	0
<i>Higumastra</i> sp. C	0	0	8	3	12
<i>Tetratrabs izeensis</i>	0	0	8	3	9
<i>Paronaella</i> sp. C	0	0	3	3	6
<i>Tetratrabs</i> sp. A	0	0	2	0	3
<i>Archaeohagiastrium</i> sp. A	0	0	1	0	0
<i>Archaeohagiastrium</i> sp. B	0	0	2	0	0
<i>Crucella</i> sp. C	0	0	1	0	0
<i>Higumastra</i> sp. E	0	0	1	0	0
<i>Hagiastrium</i> sp. A	0	0	1	0	0
<i>Archaeotritrabs</i> sp. A	0	0	1	0	0
<i>Paronaella grahamensis</i>	0	1	3	0	0
<i>Tritrabs ewingi worzeli</i>	0	3	1	0	0
<i>Paronaella</i> (?) sp. A	0	5	3	0	0
<i>Paronaella</i> sp. D	0	1	14	6	6
<i>Paronaella</i> sp. F	0	4	4	6	9
<i>Homoeoparonaella</i> (?) sp. H	0	1	9	12	9
<i>Paronaella</i> (?) sp. B	0	20	8	6	30
<i>Homoeoparonaella</i> sp. aff. <i>H. elegans</i>	0	9	14	24	36
<i>Homoeoparonaella elegans</i>	0	6	13	18	30
<i>Higumastra lupheri</i>	0	2	4	6	6
<i>Higumastra laxa</i>	0	5	9	15	30
<i>Archaeohagiastrium longipes</i>	0	1	2	3	3
<i>Paronaella tripla</i>	0	1	0	6	6
<i>Archaeotritrabs hattorii</i>	0	7	3	0	9
<i>Tetraditryma</i> sp. B	0	4	4	0	6
<i>Tetraditryma</i> sp. C	0	2	3	0	6
<i>Pseudocrucella adriani</i>	7	4	3	0	6
<i>Tetraditryma pseudoplena</i>	4	2	2	0	3
<i>Tritrabs</i> (?) sp. B	5	0	4	0	3
<i>Homoeoparonaella</i> (?) sp. E	2	0	1	6	9
<i>Pseudocrucella</i> sp. A	2	0	7	3	6
<i>Pseudocrucella</i> sp. B	3	0	11	3	39
<i>Paronaella</i> sp. B	8	3	9	30	9
<i>Paronaella pristidentata</i>	16	13	21	51	39
<i>Paronaella corpulenta</i>	2	6	1	18	6
<i>Homoeoparonaella</i> sp. A	4	6	10	18	21
<i>Homoeoparonaella pseudoewingi</i>	9	19	51	87	63
<i>Homoeoparonaella argolidensis</i>	6	18	27	69	33
<i>Homoeoparonaella</i> (?) sp. F	2	1	3	9	9
<i>Homoeoparonaella</i> (?) sp. C	6	7	9	9	12
<i>Homoeoparonaella</i> (?) <i>venusta</i>	30	31	51	72	189
<i>Homoeoparonaella</i> (?) sp. aff. <i>H.</i> (?)	2	4	11	15	18
<i>Homoeoparonaella</i> (?) <i>pygmaea</i>	8	10	12	27	81
<i>Homoeoparonaella</i> (?) <i>mulleri</i>	3	5	19	24	45
<i>Homoeoparonaella</i> (?) <i>kotura</i>	1	2	5	15	15
<i>Homoeoparonaella</i> (?) sp. G	5	18	32	27	129
<i>Homoeoparonaella</i> (?) <i>bandyi</i>	4	6	7	33	69
<i>Angulobracchia</i> sp. C	7	4	15	15	6
<i>Angulobracchia</i> sp. B	1	1	3	3	3
<i>Angulobracchia</i> sp. A	2	5	10	15	21
<i>Angulobracchia sicula</i>	6	5	17	54	27
<i>Angulobracchia digitata</i>	3	6	4	36	36
<i>Tritrabs casmaliaensis</i>	1	5	4	3	12
<i>Tritrabs ewingi</i>	4	10	26	72	54
<i>Tritrabs rhododactylus</i>	2	8	17	9	30
<i>Tritrabs simlex</i>	4	16	42	69	30
<i>Archaeohagiastrium munitum</i>	16	8	51	39	63
<i>Crucella theokaftensis</i>	3	7	8	15	18
<i>Higumastra gratiosa</i>	2	2	9	9	51
<i>Higumastra</i> sp. D	2	3	7	15	3
<i>Tetraditryma c. corralitosensis</i>	12	22	43	63	75
<i>Tetraditryma praeplena</i>	4	15	30	18	102
<i>Higumastra</i> sp. A	3	5	2	3	0
<i>Crucella spongasa</i>	1	3	0	6	0
<i>Tritrabs</i> (?) sp. A	1	0	1	3	0
<i>Homoeoparonaella</i> (?) sp. D	1	0	5	12	0
<i>Homoeoparonaella</i> (?) <i>broennimanni</i>	5	0	1	0	0
<i>Homoeoparonaella</i> (?) sp. A	2	0	1	0	0
<i>Paronaella</i> sp. E	1	0	1	0	0
<i>Tetraditryma</i> sp. A	1	0	1	0	0
<i>Higumastra</i> sp. B	2	1	1	0	0
<i>Higumastra</i> sp. cf. <i>H. coronaria</i>	1	1	0	0	0
<i>Crucella</i> sp. B	1	0	0	0	0
<i>Paronaella</i> sp. A	2	0	0	0	0
<i>Angulobracchia</i> sp. D	1	0	0	0	0
<i>Complexhagiastrium</i> sp. B	1	0	0	0	0
<i>Complexhagiastrium</i> sp. cf. <i>C. bandyi</i>	2	0	0	0	0
<i>Homoeoparonaella</i> sp. B	1	0	0	0	0
産出個体数(IN16~IN1: 0.09g)	224	354	721	1110	1557

出現した 16 種のうち 16 種共に生存し、新たに 11 種が出現したことを示す。尚、IN16 では下位層準のデータが無いため、絶滅種数と出現種数は算出できない。同様に IN1 では上位層準のデータが無いため、絶滅種数は算出できない。

このように、絶滅種・出現種共に、IN7-IN3 間を境界に下位層準と上下層準において顕著な差異が認められる。IN7 では絶滅種は 1 種、出現種は 11 種であるのに対し、IN3 では絶滅種が 14 種、出現種は 3 種である。

2. 産出個体数

5 層準から算出された 0.09g 中に含まれる Hagiastridae の総個体数は、総計 3966 個体である。全体の傾向として、単位質量あたりの産出個体数は、下部の IN16 から上部の IN1 へ向かい著しく増加傾向を示す。

属レベルでは、IN7~IN3 と、IN1 の間において、増加するパターンと、減少するパターンに大別される (Fig. 7)。さらに、

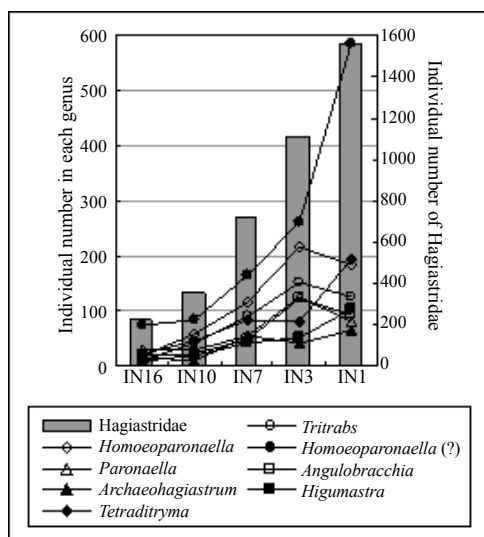


Fig. 7. Stratigraphic change on the total number of individuals in each hagiastrid genus (left vertical axis with lines) and that of hagiastrid individuals per sample weight (right vertical axis with shaded box). Samples are arranged from left to right in stratigraphic order. The total number of individuals of *Homoeoparonaella*, *Tetratrys*, *Angulobracchia* and *Paronaella*-species reached at maximum in IN3, and abruptly decreased, respectively. Note that increasing hagiastrid individuals per sample weight are interpreted to enhancement of hagiastrid productivity. (5層準における Hagiastriidae の産出個体数).

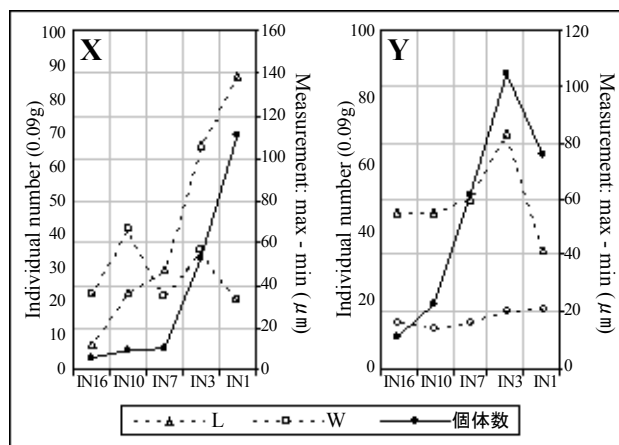


Fig. 9. Two typical patterns (X and Y pattern groups) of stratigraphic changes on the total number of individuals per sample weight (solid circle), the length of arm (L: open box) and the width of arm (W: open triangle) for *Homoeoparonaella (?) bandyi* (X: left chart) and *Homoeoparonaella pseudoewingi* (Y: right chart). The width of arm (W) in the X pattern group is inverse correlation to the total number of individual per sample weight, whereas the length of arm (L) in the Y pattern group is positive correlation to them. (個体数及び個体サイズの増減パターン. X: *Homoeoparonaella (?) bandyi*; 個体数と個体サイズ (W) が X パターンで相関を示す. Y: *Homoeoparonaella pseudoewingi*; 個体数と個体サイズ (L) が Y パターンで相関を示す).

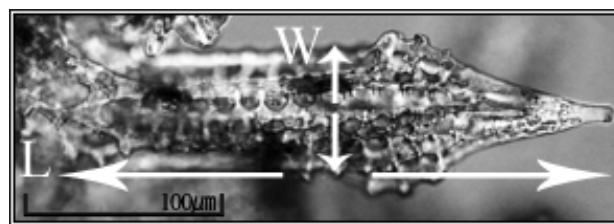


Fig. 8. Measurement of arm. W and L indicate the width of arm and the length of arm, respectively. *Tetratrys simplex* (IN7). (計測箇所, W: 腕部の幅, L: 腕部の長さ).

種レベルの増減を比較すると、属レベルでの増減に関わらず、上位層準において、増加傾向と減少傾向を示すものがある。そこで、5層準において、3層準以上に渡り10個体以上確認される種、または、それに準ずる個体数が確認できる種について、種レベルで個体数の増減パターンを検討し、記号化を行った。パターン化を行ったのは、総個体数の8割を占める10属24種である。この24種を優勢種と呼ぶ。

優勢種の個体数の増減パターンは、IN16からIN1へ向かい増加傾向を示すパターンと、IN16から中位層準のIN3へ向かい増加し、IN3からIN1へ向かい減少傾向を示すパターン、のいずれかに分類された。そこで、前者をXパターン、後者をYパターンと呼ぶことにする。

3. 優勢種の形態計測

個体数の増減パターンを検討した24種は、種レベルで個体変異が顕著であった。そこで、腕部の長さ(L)と幅(W)の最大値と最小値に着目し、形態計測を行った(Fig. 8, Table 2)。腕部の長さ(L)は、central area 中心部からspineを含むray先端までの長さを基本とし、不規則な方向へ小さなspineが多数ある種に対してはcentral area 中心部からspine基部までの長さを計測した。腕部の幅(W)は、ray tipを含まないarmの最大幅を計測した。

計測結果は、個体数の増減パターンに対応させX、またはYの記号化を行った。最大値と最小値の幅が、IN16からIN1へ向かい減少傾向を示すものをXパターン、最大値と最小値の幅が、IN16から中位層準へ向かい増加するが、中位層準から再びIN1へ向かい減少傾向を示すものをYパターンとした(Fig. 9)。その結果、個体サイズの増減パターンは、21種が長さや幅のいずれかが個体数の増減パターンと正の相関関係を示すことが明らかになった(Table 3)。

4. 優勢種の腕部断面構造

5層準で認められるHagiastriidaeの種数および個体数はIN7より上位で増減傾向が異なる。種数は、全体の傾向と

Table 2. The maximum and minimum width (W) and length (L) of arms for dominant hagiastrid species (μm). (5 層準における優勢種の最大値と最小値の値 (μm), W: 腕部の幅, L: 腕部の長さ).

<i>Homoeoparonaella (?) bandyi</i>				
	W		L	
	min	max	min	max
IN1	123	261	39	72
IN3	122	228	53	110
IN7	145	193	38	73
IN10	143	180	33	100
IN16	140	153	40	76

<i>Homoeoparonaella (?) sp. aff. H. (?) bandyi</i>				
	W		L	
	min	max	min	max
IN1	33	117	181	222
IN3	61	111	156	255
IN7	60	106	150	211
IN10	64	81	117	189
IN16	67	83	161	183

<i>Homoeoparonaella (?) venusta</i>				
	W		L	
	min	max	min	max
IN1	23	44	111	197
IN3	28	39	110	192
IN7	24	46	114	183
IN10	23	39	108	167
IN16	28	47	117	161

<i>Homoeoparonaella (?) pygmaea</i>				
	W		L	
	min	max	min	max
IN1	25	67	94	217
IN3	31	61	100	203
IN7	36	58	103	194
IN10	28	56	83	144
IN16	33	50	97	133

Homoeoparonaella (?) sp. G				
	W		L	
	min	max	min	max
IN1	36	83	131	194
IN3	49	71	121	167
IN7	44	77	119	200
IN10	38	66	125	178
IN16	42	60	142	183
Homoeoparonaella (?) mulleri				
	W		L	
	min	max	min	max
IN1	49	86	153	228
IN3	53	97	161	253
IN7	50	94	142	250
IN10	53	78	136	189
IN16	58	72	167	197
Homoeoparonaella aff. H. elegans				
	W		L	
	min	max	min	max
IN1	39	75	156	256
IN3	50	75	183	267
IN7	44	86	157	206
IN10	39	72	156	228
IN16				
Homoeoparonaella sp. A				
	W		L	
	min	max	min	max
IN1	31	67	156	217
IN3	33	58	150	222
IN7	34	61	169	261
IN10	38	56	167	244
IN16	53	66	233	256
Homoeoparonaella elegans				
	W		L	
	min	max	min	max
IN1	27	60	112	161
IN3	33	58	122	186
IN7	28	50	119	167
IN10	28	43	103	156
IN16				
Tritrabs rhododactylus				
	W		L	
	min	max	min	max
IN1	38	66	183	250
IN3	43	57	189	278
IN7	46	56	164	272
IN10	38	54	182	250
IN16	43	53	194	222
Tetraditryma c. corralitosensis				
	W		L	
	min	max	min	max
IN1	28	50	161	208
IN3	28	42	161	214
IN7	25	39	158	231
IN10	25	38	153	233
IN16	33	36	178	222
Tetraditryma praeplena				
	W		L	
	min	max	min	max
IN1	27	51	164	239
IN3	25	46	156	211
IN7	29	42	151	217
IN10	25	36	150	194
IN16	28	38	144	183
Angulobracchia sp. A				
	W		L	
	min	max	min	max
IN1	50	64	211	333
IN3	47	72	256	344
IN7	53	72	267	322
IN10	50	61	250	300
IN16	61	71	300	322
Paronaella (?) sp. B				
	W		L	
	min	max	min	max
IN1	64	108	128	233
IN3	54	97	153	311
IN7	53	100	136	261
IN10	44	103	156	306
IN16	53	117	167	225
Archaeohagiastrium munitum				
	W		L	
	min	max	min	max
IN1	25	33	100	149
IN3	27	42	100	177
IN7	25	38	111	183
IN10	27	39	108	156
IN16	27	50	111	200
Crucella theokaftensis				
	W		L	
	min	max	min	max
IN1	29	83	119	156
IN3	33	75	144	172
IN7	42	61	114	167
IN10	38	49	150	194
IN16	39	47	139	150
Higumastra laxa				
	W		L	
	min	max	min	max
IN1	49	103	128	189
IN3	54	72	136	189
IN7	53	121	133	242
IN10	62	81	136	178
IN16				
Paronaella pristidentata				
	W		L	
	min	max	min	max
IN1	25	75	133	181
IN3	30	92	128	183
IN7	31	94	133	200
IN10	33	78	111	183
IN16	40	106	156	200
Paronaella sp. B				
	W		L	
	min	max	min	max
IN1	64	108	128	233
IN3	54	97	149	311
IN7	53	100	136	261
IN10	44	103	156	306
IN16	53	117	167	225
Homoeoparonaella argolidensis				
	W		L	
	min	max	min	max
IN1	46	61	239	278
IN3	39	71	197	294
IN7	53	72	228	336
IN10	50	53	206	244
IN16	38	58	178	300
Homoeoparonaella pseudoewingi				
	W		L	
	min	max	min	max
IN1	39	60	122	164
IN3	41	61	128	211
IN7	42	58	133	193
IN10	41	56	114	169
IN16	44	61	139	194
Tritrabs ewingi				
	W		L	
	min	max	min	max
IN1	38	56	183	250
IN3	43	57	189	278
IN7	46	66	164	272
IN10	38	54	182	250
IN16	43	53	194	222
Tritrabs simlex				
	W		L	
	min	max	min	max
IN1	50	67	133	289
IN3	28	72	111	256
IN7	28	81	125	297
IN10	27	79	122	292
IN16	29	56	133	253
Angulobracchia sicula				
	W		L	
	min	max	min	max
IN1	43	65	244	328
IN3	42	69	206	267
IN7	39	64	217	272
IN10	50	61	222	250
IN16	53	72	239	261

Species	Type	L	W
<i>Tritrabs rhododactylus</i>	X	Y	X
<i>Homoeoparonaella elegans</i>	X	-	X
<i>Homoeoparonaella aff. H. elegans</i>	X	X	-
<i>Homoeoparonaella sp. A</i>	X	Y	X
<i>Homoeoparonaella (?) bandyi</i>	X	X	-
<i>H. (?) sp. aff. H. (?) bandyi</i>	X	X	-
<i>Homoeoparonaella (?) venusta</i>	X	X	-
<i>Homoeoparonaella (?) pygmaea</i>	X	X	X
<i>Homoeoparonaella (?) sp. G</i>	X	Y	X
<i>Homoeoparonaella (?) mulleri</i>	X	Y	Y
<i>Angulobracchia sp. A</i>	X	X	Y
<i>Paronaella (?) sp. B</i>	X	X	-
<i>Archaeohagiastrium munitum</i>	X	Y	-
<i>Crucella theokaftensis</i>	X	-	X
<i>Higumastra laxa</i>	X	-	-
<i>Tetraditryma c. corralitosensis</i>	X	Y	X
<i>Tetraditryma praeplena</i>	X	X	X
<i>Tritrabs ewingi</i>	Y	Y	-
<i>Tritrabs simlex</i>	Y	-	Y
<i>Homoeoparonaella argolidensis</i>	Y	Y	Y
<i>Homoeoparonaella pseudoewingi</i>	Y	Y	-
<i>Paronaella pristidentata</i>	Y	Y	Y
<i>Paronaella sp. B</i>	Y	Y	-
<i>Angulobracchia sicula</i>	Y	-	Y

Table 3. Pattern criteria corresponding to fig. 9 for dominant species. "X" and "Y" in box indicate X and Y pattern groups that are defined in fig. 9. Black letters in white box represent positive correlation between measurements of arm and total number of individuals per sample weight, and white letters in black box show negative correlation between them. (優勢種の個体数と個体サイズ (W, L) の増減パターン. 白地に黒字: 個体数と個体サイズが相関を示す. 黒地に白字: 個体数と個体サイズが相関を示さない).

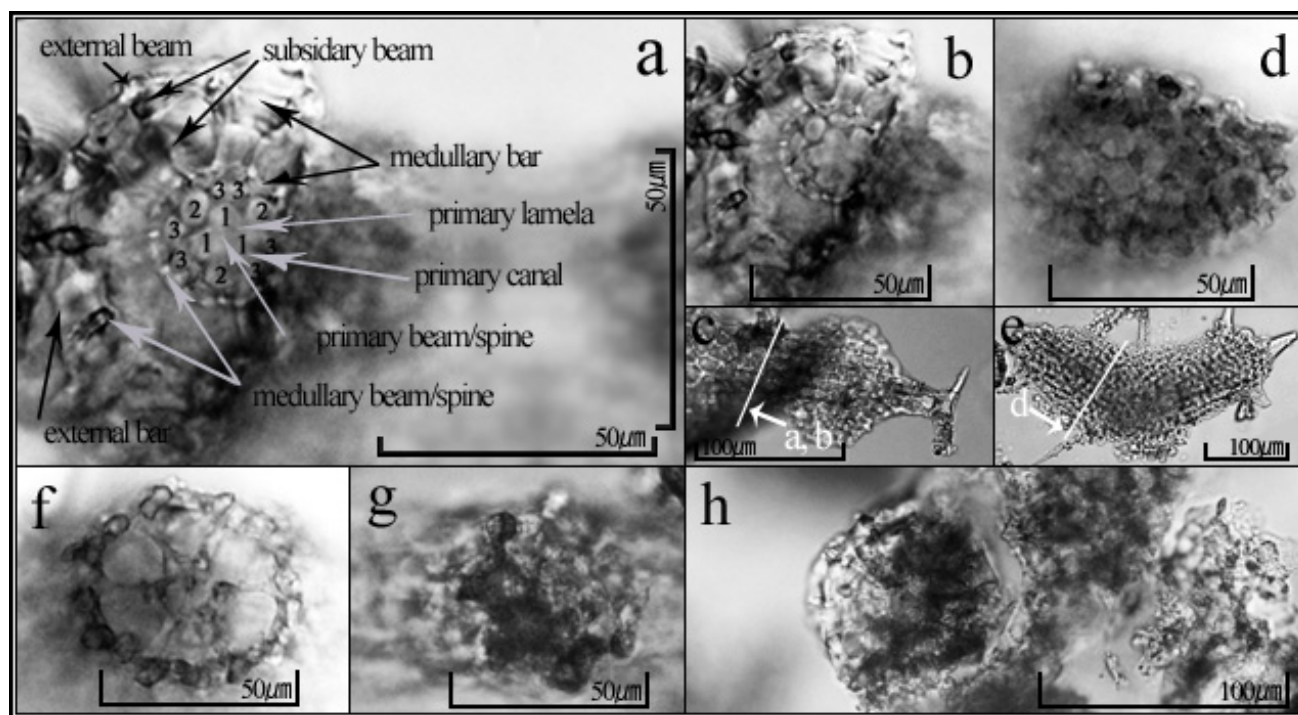


Fig. 10. Cross-section of arms for dominant hagiastroid species. (a) Detailed morphological terminology. Refer to fig. 3c. *Homoeoparonaella* (?) sp. aff. *H. (?) bandyi* (IN1). The approximate position of this cross-section is shown in fig. 10c. (b) *Homoeoparonaella* (?) sp. aff. *H. (?) bandyi* (IN1). The approximate position of this cross-section is shown in fig. 10c. (c) Arm at the euatorial plane of *Homoeoparonaella* (?) sp. aff. *H. (?) bandyi* (IN7). Letters “a” and “b” indicate approximate position of figs. 10a and 10b. (d) Internal structure of arm at the cross section for *Paronaella pristidentata* (IN1). Approximate position of the cross section is shown in fig. 10e. (e) Overall view of arms for *Paronaella pristidentata* (IN3) showing the approximate position of fig. 10d. (f) Internal structure of arm at the cross section for *Homoeoparonaella* sp. aff. *H. elegans* (IN10). (g) Internal structure of arm at the cross section for *Homoeoparonaella pseudoewingi* (IN3). (h) Internal structure of arm at the cross section for *Homoeoparonaella* (?) sp. E (IN3). (優勢種の腕部断面。c 図中の a と b は黒字の a と b に対応。e 図中の d は黒字の d に対応)。

して、IN7 で最も多く、IN7 から IN1 へ向かい減少する。個体数は、全体として増加するが、種レベルでは、IN7-IN3 を境界に、上位層準で、増加する X パターンと減少する Y パターンという顕著な違いが認められた。これらの結果は、上位層準において X パターンの種の個体数が著しく増加したことを示している。そこで、パターン化を行った 24 種について、内部構造の検討を行った。

まず、5 層準にわたり、種数及び個体数の増減が顕著な *Homoeoparonaella* (?) と *Paronaella* について腕部断面を比較した。 *Homoeoparonaella* (?) は *Homoeoparonaella* (?) *bandyi* (Pessagno), *H. (?)* sp. aff. *H. (?) bandyi*, *Homoeoparonaella* (?) *venusta* (Blome), *Homoeoparonaella* (?) *pygmaea* (Baumgartner), *Homoeoparonaella* (?) sp. G, *Homoeoparonaella* (?) *muelleri* (Yeh), *Paronaella* は *Paronaella pristidentata* (Baumgartner), *Paronaella* sp. B についてパターン化を行った。 *Homoeoparonaella* (?) は 6 種とともに、X パターン、 *Paronaella* は 2 種とともに Y パターンに分類された。 *Homoeoparonaella* (?) は規則正しい層構造を、

Paronaella は不規則な海綿構造を示す (Figs. 10a ~ e, h)。

次に、 *Homoeoparonaella* の 5 種について検討を行った。 *Homoeoparonaella* の腕部断面は円形～楕円形で、cortical ray は 8~12 の external beam が規則的に transverse external bar で接続される。 *Homoeoparonaella elegans* (Pessagno), *Homoeoparonaella* aff. *H. elegans*, *Homoeoparonaella* sp. A は X パターン、 *Homoeoparonaella argolidensis* (Baumgartner), *Homoeoparonaella pseudoewingi* は Y パターンである。前者は medullary ray と cortical ray の間に規則正しい空間を有し、 *Homoeoparonaella* (?) の medullary ray に類似した 2 層構造を示す (Fig. 10f)。後者は、medullary ray と cortical ray の間是不規則な空間が密接しており、 *Tetratras* に類似した external beam が凹型に配列する (Fig. 10g)。両者の違いは、属レベルで異なる増減パターンを持つ *Tritrabs* についても同様の傾向が認められる。

これらのことから、上位層準において個体数の増減が異なる X パターンと Y パターンでは、種レベルで腕部断面の層構造に顕著な違いがあることが明らかになった。前者は

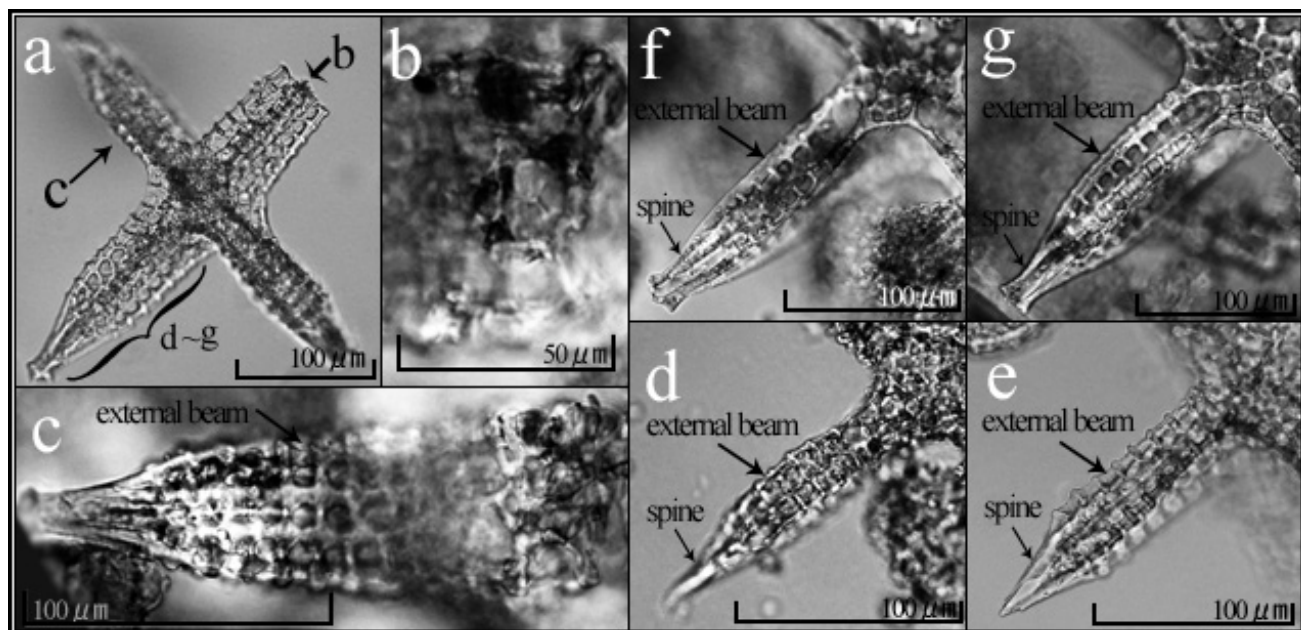


Fig. 11. Skeletal structure of *Tetradietryma corralitosensis corralitosensis*. (a) Overall view at the equatorial plane (IN7) showing approximate positions of figs. 10d–10g. (b) Internal structure of arm at the cross section (IN1). (c) Superficial view of arm at the vertical plane (IN1). (d)–(g) Skeletal structure of arm at different focus at the equatorial plane (d: IN16, e: IN10, f: IN3, g: IN1). (*Tetradietryma c. corralitosensis* の骨格構造. a 図中の b ~ g は白字の b ~ g に対応).

適度な空間を有する規則性のある層構造, 後者は密接した不規則な海綿構造を示す。

5. 変化パターンと殻形態

パターン化を行った 24 種の個体サイズの増減は 21 種が長さや幅のいずれかが個体数の増減パターンと正の相関を示すことが明らかになった。両者共に相関関係を示さなかったのは個体数の増減が X パターンを示す 3 種である。そこで、個体数の増減が X パターンを示す 14 種について、個体変異の検討を行ったところ、個体数の増減が X パターンの種は、個体数の増加にともない external beam が頑丈になる傾向が認められた。特に IN7 より上層でその傾向が強い (Fig. 11)。

議論

1. サイズ変化と形態変化

個体サイズの増減は長さ・幅共に個体数の増減と相関しているものはわずか 4 種であり、いずれかの部分が相関関係を示す。この部分的なサイズの相関は、種の形態変化と捉えることができる。今回検討を行った Hagiastriidae の腕部断面の構造を考慮すると、腕部の長さや幅のいずれかが変化すると、spine の数、方向性、tip の形状などが変化することが推測できる。例えば、*Tetradietryma corralitosensis corralitosensis* (Pessagno) では、個体数の増加に伴い、幅

が相関関係を示す。幅の大きなものほど external beam が頑丈で、spine 先端が 2 等分される傾向が認められた (Fig. 11)。これらの違いは腕部断面にみられるような対性の pore frame (Fig. 11b) や、external beam の発達 (Figs. 11f, g)、腕部の厚み (Fig. 11c) など、内部構造に深く関係していると考えられる。Baumgartner et al. (1995) では、*Tetradietryma c. corralitosensis* の腕部先端の spine が完全に分岐したものを *Tetradietryma c. bifida* として分類している。本試料からは *Homoeoparonaella (?) bandyi* のように、完全に分岐したものは認められなかったため、*Tetradietryma c. bifida* は検出種には含めていない。また、Baumgartner et al. (1995) によると、*Tetradietryma c. corralitosensis* よりも *Tetradietryma c. bifida* のほうが新しい時代に出現する。これらのことは、仮に、IN1 より上位層準の試料を分析した場合、IN16–IN1 で認められた種が、個体数の増加に伴う部分的なサイズ変異で別種として検出される可能性を示唆している。

2. 群集変化と海洋環境

Hagiastriidae にみられるこのような形態変化を説明できる要因は明らかではない。しかしながら、西原・八尾 (2007) は、本論と同じセクションで Patanellidae の種数及び個体数の検討から IN3–IN1 間での寒冷化を議論している。又、IN3 層準の珪質泥岩層には直径約 20 ~ 30cm の花崗岩礫が数個含まれる。この礫は、ドロップストーンの可能性を示唆する (八尾・私信)。これらの成果に基づいて、IN7–IN3

において海水温低下がはじまり、IN3-IN1 間において顕著に低温化したと考えると、種数の減少と個体数の増加、個体数と個体サイズの相関関係を以下のように説明できる。

種数の減少と個体数の増加：一般に、海水温が上昇すると、多くの種が適応放散し、特殊化複雑化した生態系をつくる。この多様化した種は、暖かい環境下に適応した種であり、寒冷化した場合を考慮した骨殻を備えていない。したがって、海水温が低下した場合において、その複雑化した形態を寒冷な環境へ対応させるコストは極めて大きい。このように解釈した場合、海水温が低下する過程において、寒冷化に対応していない特殊化、複雑化した種は衰退、絶滅し、寒冷な気候に対応できる骨殻を持つ種が残ることになる。つまり、密接した不規則な海綿構造をもつ Y パターンの種は衰退し、適度な空間を有する規則性のある層構造をもつ X パターンの種が残ることになる。海水温が低下すると、湧昇流の活発化により、溶存シリカ濃度は増加する。種数が減少していくため、寒冷な気候に対応できる形態を備えた X パターンの種は、海水温低下により増大した栄養塩を取り込む割合が必然的に増加し、個体数が増加する。

個体数と個体サイズの相関関係：海水温が低下すると、水の粘性は高くなり、浮遊しやすくなる。海水温の低下に対応できる X パターンの種は、生活場をかえることなく、大きく頑丈な骨殻を形成する。海水温の低下に対応できない Y パターンの種は、より海水温の高い浅海域へ生活場を移動させ、個体数、サイズを減少させて生息する。

このように考えた場合、さらに、海水温が低下すると、X パターンの種は、個体数・サイズを増加させ、Y パターンの種は個体数・サイズの減少では対応できず、衰退・絶滅していくと考えられる。

3. 環境適応種の検討

IN7-IN3 において海水温低下がはじまり、IN3-IN1 間において顕著に低温化したと仮定すると、個体数の増減パターンを記号化した 24 種の優勢種について環境適応性を検討することができる。つまり、IN3 を境界に、上位層準で、増加する X パターンを寒冷種、減少する Y パターンを温暖種とみなせる。この仮定を、Kiessling (1999) によるジュラ紀最新世の Hagiastriidae の環境適応タクサと比較してみる。

Kiessling (1999) によると、*Higumastra* は寒冷属、*Tritrabs* は温暖属であるとされる。本研究では、*Higumastra* と *Tritrabs* について、*Higumastra laxa*、*Tritrabs rhododactylus*、*Tritrabs simplex* の 3 種について、環境適応性の検討を行った。*Higumastra laxa* と *Tritrabs*

rhododactylus は寒冷種に、*Tritrabs simplex* は温暖種になる。*Higumastra* については Kiessling (1999) と同様の結果であるが、*Tritrabs* については、温暖種と寒冷種の両方が存在することになる。このことは、環境適応性の検討は属レベルではなく、種レベルで行わなければならないことを示している。

まとめ

本研究では、犬山地域の 5 試料について腕部を持つ Hagiastriidae 科の群集解析を行った。3200 個体、約 8000 枚の写真から、腕部断面の構造特性を用いて分類基準を確定し、16 属 82 種を識別した。この分類を基に、種数および個体数を算出した。種数は中位層準にて最も多く、上部へ向かい減少傾向を示した。産出個体数は全体の傾向として下部から上部へ向かい著しく増加するが、種レベルでは、上位層準において増加するパターンと減少するパターンに分類された。パターン化した種に対し、腕部の長さとの幅の計測を行ったところ、個体サイズは個体数の増減とほぼ正の相関関係を示した。著者は、これらの結果を、海水温の低下によるとの仮定を提唱した。この仮説は Kiessling (1999) によるジュラ紀最新世の Hagiastriidae の環境適応タクサと比較したところ、*Higumastra* では同様の結果が得られたが、*Tritrabs* では種レベルで異なることが明らかになった。

謝辞

大阪市立大学の八尾昭教授には貴重な試料の提供から研究のまとめに至るまで、熱心に御指導いただいた。同大学の桑原希世子博士には試料及びデータの取り扱い等、有益な御助言を下された。また、論文作成にあたり、査読者である愛媛大学の堀利栄准教授、ならびに編集委員長である東北大学鈴木紀毅博士には多くの明確な御指摘と有益な御教示を賜った。以上の方々に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 荒川竜一, 1997, 足尾帯葛生地域の珪質泥岩から産出したジュラ紀放散虫化石群集. 栃木県立博物館研究紀要, no. 14, 1-19.
 荒川竜一, 1998, 足尾帯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, no. 15, 51-76.
 Baumgartner, P.O., 1980, Late Jurassic Hagiastriidae and Patulibracchiidae (Radiolaria) from the Argolis Peninsula (Peloponnesus, Greece).

- Micropaleontology*, **26**, 274-322.
- Baumgartner, P.O., O'Dogherty, L., Goričan, Š., Dumitrica-Jud, R., Dumitrica, P., Pillevuit, A., Urquhart, E., Matsuoka, A., Danelian, T., Bartolini, A., Carter, E.S., De Wever, P., Kito, N., Marcucci, M. and Steiger, T., 1995, Radiolarian catalogue and systematics of Middle Jurassic to Early Cretaceous Tethyan genera and species. *Mémoires de Géologie (Lausanne)*, **23**, 37-688.
- Blome, C.D., 1984, Middle Jurassic (Callovian) radiolarians from carbonate concretion, Alaska and Oregon. *Micropaleontology*, **30**, 343-389.
- Carter, E.S. and Jakobs, G.K., 1991, New Aalenian Radiolaria from the Queen Charlotte Islands, British Columbia: implication for biostratigraphic correlation. *Geological Survey of Canada, Current Research, Paper*, **91-1A**, 337-351.
- Chiari, M., Cortese, G., Marrucci, M. and Nozzoli, N., 1997, Radiolarian biostratigraphy in the sedimentary cover of ophiolites of south-Western Tuscany, central Italy. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, **90**, 55-77.
- Chiari, M., Marrucci, M. and Prael, M., 1994, Mirdita ophiolites project: 2 Radiolarian assemblages in the cherts at Fushe Arrez and Shebaj (Mirdita area, Albania). *Ophioliti*, **19**, 313-318.
- De Wever, P., Duée, G. and Kadiri, K.E., 1985, Les séries stratigraphiques des klippes de Chafate (Rif septentrional, Maroc) témoins d'une marge continentale subsidente au cours du Jurassique-Crétacé. *Bulletin de la Société Géologique de France*, **1**, 363-379.
- De Wever, P., Dumitrica, P., Caulet, J.P., Nigrini, C., Caridroit, M., 2001, *Radiolarians in the sedimentary record*. Gordon and Breach Science Publishers, 533pp.
- Goričan, Š., 1983, Radiolariji v jurskem meljevcu med Perblo in Tolminskimi Ravnami. *Geologija*, **26**, 117-145.
- Goričan, Š., Carter, E.S., Dumitrica, 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, 446pp.
- Hattori, I., 1993, Diagenetic modification of radiolarian in a chaotic Jurassic sedimentary sequence of the Mino Terrane, Central Japan. *Micropaleontology, Special Publication*, no.6, 137-152.
- Kiessling, W., 1999, Late Jurassic radiolarians from the Antarctic Peninsula. *Micropaleontology*, **45**, 1-96.
- Kito, N., De Wever, P., Danelian, T. and Cordey, F., 1990, Middle to Late Jurassic radiolarians from Sicily (Italy). *Marine Micropaleontology*, **15**, 329-349.
- Kito, N. and De Wever, P., 1992, Nouvelles espèces D'Hagiastriidae (Radiolaires) du Jurassique Moyen de Sicile (Italie). *Micropaleontology*, **35**, 127-141.
- 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.
- 永井ひろ美, 1985, ジュラ紀中期のHagiastriidae及びPatulibracchiidae(放散虫)の脚断面構造. 名古屋大学総合研究資料館報告, no.1, 1-13.
- 西原ちさと・八尾 昭, 2005, 美濃帯ジュラ紀中世(Bajocian)の放散虫類の群集変遷. *化石*, no.78, 32-39.
- 西原ちさと・八尾 昭, 2007, ジュラ紀中世(Bajocian)Patulibracchiidae科(放散虫)の種数及び個体数変化. 日本古生物学会 2007 年年会予稿集, 49.
- Suzuki, H., Maung, M., Aung, A.K. and Takai, M., 2004, Jurassic radiolaria from chert pebbles of the Eocene Pondaung Formation, central Myanmar. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlung*, **231**, 369-393.
- Suzuki, N. and Ogane, K., 2004, Paleooceanographic 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.
- 脇田浩二, 2000, 美濃帯のメランジュ. *地質学論集*, no. 55, 145-163.
- Wegerer, E., Suzuki, H. and Gawlick, H.J., 1999, Stratigraphische Einstufung von Radiolarienfaunen aus Kieselsteinen im Bereich der Hallstätter Zone westlich von Hallstatt (Callovium – Oxfordium, Nördliche Kalkalpen). *Mitteilungen der Gesellschaft der Geologie- und Bergbaustudenten in Österreich*, **42**, 93-108.
- Yamamoto, H., Mizutani, S. and Kagami, H., 1985, Middle Jurassic radiolarians from Blake Bahama Basin, West Atlantic Ocean. *Bulletin of the Nagoya University Museum*, no.1, 25-49.
- 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.
- Yeh, K.Y. and Cheng, Y.N., 1996, Jurassic radiolarians from the northwest coast of Busuanga Island, North Palawan Black, Philippines. *Micropaleontology*, **42**, 93-124.

Explanation of plates

Plate 1

1. *Bistarkum saginatum* Yeh
(Sample IN3)
2. *Tritrabs casmaliaensis* (Pessagno)
(IN16)
3. *Tritrabs ewingi* (Pessagno)
(IN7)
4. *Tritrabs worzeli* (Pessagno)
(IN10)
5. *Tritrabs rhododactylus* Baumgartner
(IN7)
6. *Tritrabs simplex* Kito & De Wever
(IN7)
7. *Archaeotritrabs hattorii* Dumitrica
(IN10)
8. *Archaeotritrabs* sp. A
(IN7)
9. *Homoeoparonaella argolidensis* Baumgartner
(IN3)
10. *Homoeoparonaella elegans* (Pessagno)
(IN7)
11. *Homoeoparonaella pseudoewingi* Baumgartner
(IN7)
12. *Homoeoparonaella* sp. aff. *H. elegans* (Pessagno)
(IN10)
13. *Homoeoparonaella* sp. A
(IN3)
14. *Homoeoparonaella* sp. B
(IN16)
15. *Homoeoparonaella* (?) *bandyi* (Pessagno)
(IN10)
16. *Homoeoparonaella* (?) *broennimanni* (Pessagno)
(IN7)
17. *Homoeoparonaella* (?) sp. G
(IN7)
18. *Homoeoparonaella* (?) *kotura* (Baumgartner)
(IN3)

19. *Homoeoparonaella* (?) *mulleri* (Yeh)
(IN3)
20. *Homoeoparonaella* (?) *pygmaea* (Baumgartner)
(IN16)
21. *Homoeoparonaella* (?) sp. aff. *H. (?) bandyi* (Pessagno)
(IN16)
22. *Homoeoparonaella* (?) *venusta* (Blome)
(IN3)
23. *Homoeoparonaella* (?) sp. cf. *H. (?) bandyi* (Pessagno)
(IN16)
24. *Homoeoparonaella* (?) sp. H
(IN7)
25. *Homoeoparonaella* (?) sp. A
(IN16)
26. *Homoeoparonaella* (?) sp. B
(IN16)

Plate 2

1. *Homoeoparonaella* (?) sp. C
(IN16)
2. *Homoeoparonaella* (?) sp. D
(IN16)
3. *Homoeoparonaella* (?) sp. E
(IN3)
4. *Homoeoparonaella* (?) sp. F
(IN3)
5. *Paronaella grahamensis* Carter
(IN10)
6. *Paronaella corpulenta* De Wever
(IN3)
7. *Paronaella pristidentata* Baumgartner
(IN3)
8. *Paronaella tripla* De Wever
(IN1)
9. *Paronaella* sp. aff. *P. tubulata* Steiger
(IN3)

10. *Paronaella* sp. A

(IN16)

11. *Paronaella* sp. B

(IN16)

12. *Paronaella* sp. C

(IN7)

13. *Paronaella* sp. D

(IN7)

14. *Paronaella* sp. E

(IN16)

15. *Paronaella* sp. F

(IN3)

16. *Angulobracchia digitata* Baumgartner

(IN3)

17. *Angulobracchia sicula* Kito & De Wever

(IN3)

18. *Angulobracchia* sp. A

(IN16)

19. *Angulobracchia* sp. B

(IN10)

20. *Angulobracchia* sp. C

(IN7)

21. *Angulobracchia* sp. D

(IN16)

22. *Paronaella* (?) sp. A

(IN7)

23. *Paronaella* (?) sp. B

(IN10)

24. *Tritrabs* (?) sp. A

(IN7)

25. *Tritrabs* (?) sp. B

(IN16)

26. *Tritrabs* (?) sp. C

(IN1)

27. *Tetratrabs izeensis* Yeh

(IN7)

28. *Tetratrabs* sp. A

(IN7)

Plate 3

1. *Archaeohagiastrum longipes* Baumgartner

(IN10)

2. *Archaeohagiastrum minitum* Baumgartner

(IN16)

3. *Archaeohagiastrum* sp. A

(IN3)

4. *Archaeohagiastrum* sp. B

(IN7)

5. *Hagiastrum* sp. A

(IN7)

6. *Crucella spongasa* De Wever

(IN3)

7. *Crucella theokafiensis* Baumgartner

(IN3)

8. *Crucella* sp. A

(IN7)

9. *Crucella* sp. B

(IN16)

10. *Crucella* sp. C

(IN7)

11. *Higumastra gratiosa* Baumgartner

(IN7)

12. *Higumastra lupheri* Yeh

(IN7)

13. *Higumastra laxa* Yeh

(IN3)

14. *Higumastra* sp. cf. *H. coronaria* Ozvoldova

(IN10)

15. *Higumastra* sp. A

(IN16)

16. *Higumastra* sp. B

(IN10)

17. *Higumastra* sp. C

(IN7)

18. *Higumastra* sp. D

(IN10)

- | | |
|---|--|
| 19. <i>Higumastra</i> sp. E | 24. <i>Tetraditryma pseudoplena</i> Baumgartner |
| (IN7) | (IN3) |
| 20. <i>Pseudocrucella adriani</i> Baumgartner | 25. <i>Tetraditryma praeplena</i> Baumgartner |
| (IN3) | (IN3) |
| 21. <i>Pseudocrucella</i> sp. A | 26. <i>Tetraditryma</i> sp. A |
| (IN7) | (IN3) |
| 22. <i>Pseudocrucella</i> sp. B | 27. <i>Tetraditryma</i> sp. B |
| (IN7) | (IN3) |
| 23. <i>Tetraditryma corralitosensis corralitosensis</i> (Pessagno) | 28. <i>Tetraditryma</i> sp. C |
| (IN3) | (IN1) |

Spumellaria
Family: Hagiastridae

