

三重県に分布する中新統一志層群上部の浮遊性有孔虫・珪藻化石層序

Planktonic foraminiferal and diatom biostratigraphy of the upper part of the Miocene Ichishi Group in Mie Prefecture, central Honshu, Japan

Abstract

大信田彦磨^{1†} 林 広樹²
柳沢幸夫³ 栗原行人⁴ 星 博幸⁵

Hikoma Oshida^{1†}, Hiroki Hayashi²,
Yukio Yanagisawa³, Yukito Kurihara⁴
and Hiroyuki Hoshi⁵

2018年1月17日受付.

2018年5月31日受理.

¹ 愛知教育大学大学院教育学研究科理科教育専攻
Graduate School of Education, Aichi University of Education, Kariya, Aichi 448-8542, Japan

² 島根大学学術研究院環境システム科学系
Institute of Environmental Systems Science, Academic Assembly, Shimane University, Matsue 690-8504, Japan

³ 産業技術総合研究所地質情報研究部門
Research Institute of Geology and Geoinformation, Geological Survey of Japan, AIST, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan

⁴ 三重大学教育学部
Faculty of Education, Mie University, Tsu 514-8507, Japan

⁵ 愛知教育大学自然科学系
Aichi University of Education, Kariya, Aichi 448-8542, Japan

† 現所属: 愛知県立海翔高等学校
Aichi Prefectural Kaisho Senior High School, Yatomi, Aichi 490-1401, Japan

Corresponding author: H. Hoshi,
hoshi@aecc.aichi-edu.ac.jp

We present new biostratigraphic data from an exposed Miocene sedimentary section of the upper part of the Ichishi Group in Mie Prefecture, central Honshu. Mudstone samples were collected from outcrop exposures, mainly found along a river, where we mapped lithologies and structures. Planktonic foraminiferal assemblages consisting mainly of warm water species were obtained from 21 samples above and below the lithostratigraphic boundary between the Mitsugano Member (upper part of the Oi Formation) and the overlying Chaya Member (lower part of the Katada Formation). The sedimentary sequence is correlated to zones N.7 and N.8 of the planktonic foraminiferal zonal scheme. Importantly, our results from high-resolution sampling show that the N.7/N.8 zonal boundary is located within a horizon ~19 m below the Oi/Katada formation boundary. Diatom fossils of the *Crucidentacula sawamurae* Zone (NPD2B; 18.1–17.0 Ma) were found in calcareous concretions within the Mitsugano Member below the N.7/N.8 zonal boundary. Our results suggest that the section is a suitable candidate for assessing the validity of early–middle Miocene planktonic foraminiferal biochronology.

Keywords: biostratigraphy, diatom, Ichishi Group, microfossils, Miocene, N.7/N.8 zonal boundary, planktonic foraminifera

はじめに

地球磁場の反転史に基づく磁気極性層序(古地磁気層序)と、浮遊性有孔虫、珪藻、石灰質ナノ化石および放散虫などの微小な浮遊性化石の進化に基づく微化石層序とを組み合わせた古地磁気–微化石年代尺度(または複合年代尺度)は、地層を確実に対比し、地質イベントの正確な年代を決定するための基準として重要な役割を果たしてきた。現在用いられている古地磁気–微化石年代尺度は、後期ジュラ紀以降については海域の縞状地磁気異常の解析によって作成された地磁気極性年代尺度を基軸とし、そこに深海底掘削コアや陸上セクションから得られた微化石層序を磁気極性層序を介して対応させて構築されている(高橋, 1995; 柳沢・高橋, 2008)。ここ30年間にわたり、年代尺度はデータの蓄積や研究手法の

進歩に応じて時折改訂され、その確度と精度が向上してきた。その初期段階では改訂のたびに年代値や古地磁気と各種微化石層序との対応関係が大きく変更され、非常に不安定であった(Berggren et al., 1985, 1995)。しかし2000年以降に提案された2004年版(Gradstein et al., 2004)と2012年版(Gradstein et al., 2012)では、新第三紀~第四紀に関してはわずかな違いがあるのみで、年代尺度は極めて安定で信頼性の高いものとなった。とくに本研究が研究対象とする中新世区間では両者の違いは小さく、2012年版の微修正版である2016年版(Ogg et al., 2016)でも中新世区間では2012年版からの改訂がまったくない。

しかしながら、頑強に見える現行の年代尺度にも一部に脆弱な部分がある。その一つが中新世の17~15 Maの年代区間における浮遊性有孔虫化石帯区分である。2004年版と

Age (Ma)	Chron/ Polarity	Planktonic Foram.		Diatom	
		2004	2012	NPD	
15	C5B r	N.8	N.9	<i>Denticulopsis lauta</i>	4A
			N.8		
16	C5C r	N.8		<i>Denticulopsis praelauta</i>	3B
				<i>Crucidentacula kanayae</i>	3A
				<i>Crucidentacula sawamurae</i>	2B
17	C5D r	N.7		<i>Crucidentacula sawamurae</i>	2B
		N.6			
18	C5E r	N.5	N.6	<i>Thalassiosira fraga</i>	2A
			N.5		
19	C6 n				

Fig. 1. Early to middle Miocene (19–15 Ma) magneto-biostratigraphic time scale as compiled in this study. The magnetostratigraphy (chron/polarity) follows Hilgen et al. (2012). The two planktonic foraminiferal biochronologies (2004 and 2012) are after Lourens et al. (2004) and Anthonissen and Ogg (2012), respectively. The diatom biochronology is after Yanagisawa and Watanabe (2017).

2012年版を比較すると、17~15 Maの区間において、Blow (1969)の浮遊性有孔虫化石帯のN.7帯とN.8帯の境界(以下、N.7帯/N.8帯境界)の年代に両尺度間で約60万年もの違いがあり、この部分にだけ2012年版でやや大きな改訂がなされたことがわかる(Fig. 1)。このため、浮遊性有孔虫化石を用いて17~15 Ma頃の地層の年代を推定する際には、現状では2004年版と2012年版のどちらを採用するかによって年代が大きく異なってしまう。また、浮遊性有孔虫化石層序と他の異なる手法(磁気極性層序や珪藻化石層序など)によって層序対比を行う場合にも、この食い違いによって高精度な対比が困難な状況になっている。

2004年版のN.7帯/N.8帯境界年代は、西大西洋 Ceara RiseにおけるODP Leg 154で得られた深海掘削コアの解析に基づいている。この掘削では合計約5.5 kmに達する長大な堆積物コアが採取され(Curry et al., 1995)、微化石層序について詳細な分析が行われた(例えば、Pearson and Chaisson, 1997)。しかし、コアは全体的に再磁化の影響が大きく(Curry et al., 1995のsite reportsを参照)、磁気極性層序は明らかにならなかった。それでも、色調を主とする岩相的特徴を用いた天文軌道要素年代の解析により、前期~

中期中新世の浮遊性石灰質微化石年代が決定された(Shackleton and Crowhurst, 1997; Weedon et al., 1997; Shackleton et al., 1999)。それによれば、N.7帯/N.8帯境界を規定する*Praeorbulina sicana*の初産出層準の年代は17.0 Maである(Shackleton et al., 1999)。この解析ではLaskar et al. (1993)の軌道モデルLa93が使用されたが、その後、2004年版ではLaskar et al. (2004)のモデルLa2004が採用され、それに合わせて*P. sicana*の初産出年代は16.97 Maと微修正された。このように、この年代は磁気極性層序とは独立に天文軌道要素法によって求められたものである。2004年版では*P. sicana*の初産出年代が地磁気年代尺度(astronomically tuned Neogene time scale: ATNTS 2004)のクロンC5Cr中部に対応するとされているが、これは磁気極性層序を介して決定された直接的な対応関係ではないことに注意すべきである。

一方、2012年版のN.7帯/N.8帯境界年代はWade et al. (2011)に基づいている。Ceara Riseでは*Praeorbulina*属のタクサがまれにしか産出せず(Pearson and Chaisson, 1997)、また上記のように磁気極性層序も明らかにならなかった。そのためWade et al. (2011)はN.7帯/N.8帯境界層位についてはBerggren et al. (1995)に従っており、その元をたどるとBerggren et al. (1983)の30年以上も前のデータにまで遡る。Berggren et al. (1983)は、南大西洋 Rio Grande RiseのDSDP Site 516で得られた磁気極性データ(Barker et al., 1983)と浮遊性有孔虫化石データを基に、*P. sicana*の初産出層準を地磁気異常5Cに対応(Barker et al., 1983)する正磁極帯の上部に位置付けた。そしてBerggren et al. (1985)はBerggren et al. (1983)に基づき*P. sicana*の初産出層準をクロンC5C中部に対応させた。その後、Berggren et al. (1995)はCande and Kent (1995)の地磁気極性年代尺度を基に浮遊性有孔虫化石年代を再検討し、*P. sicana*の初産出層準をクロンC5Cn.2n中部に対応させた。しかし、実際にはSite 516の磁気極性データ(Barker et al., 1983)は現代の古地磁気学の立場から見ると問題が多い。特に、Berggren et al. (1983)がN.5帯からN.7帯に相当すると解釈した約85 mの層序区間のうち約75%を正極性が占めており(極性が判定されなかった部分を除く)、約20~16 Maにおいて正極性期と逆極性期の長さがほぼ拮抗していた事実(Cande and Kent, 1995; Gradstein et al., 2004, 2012)を考慮すると、正極性区間の一部あるいは多くが初生的な地磁気記録ではない可能性がある。このようにBerggren et al. (1983)の磁気極性層序の解釈は確実とは言えない。

以上のように、この問題には込み入った背景があるが、結局のところ2004年版と2012年版に見られるN.7帯/N.8帯境界の約60万年に達する食い違いの根本的な原因は、詳細な浮遊性有孔虫化石層序と信頼性の高い磁気極性層序を同一セクションで直接正確に対応させたデータが欠如していることにある。したがって、17~15 Ma頃の地層の年代を正確に決定できるようにするには、この時代の浮遊性有孔虫化石層序と地磁気極性年代尺度の対応関係を同一セクションで

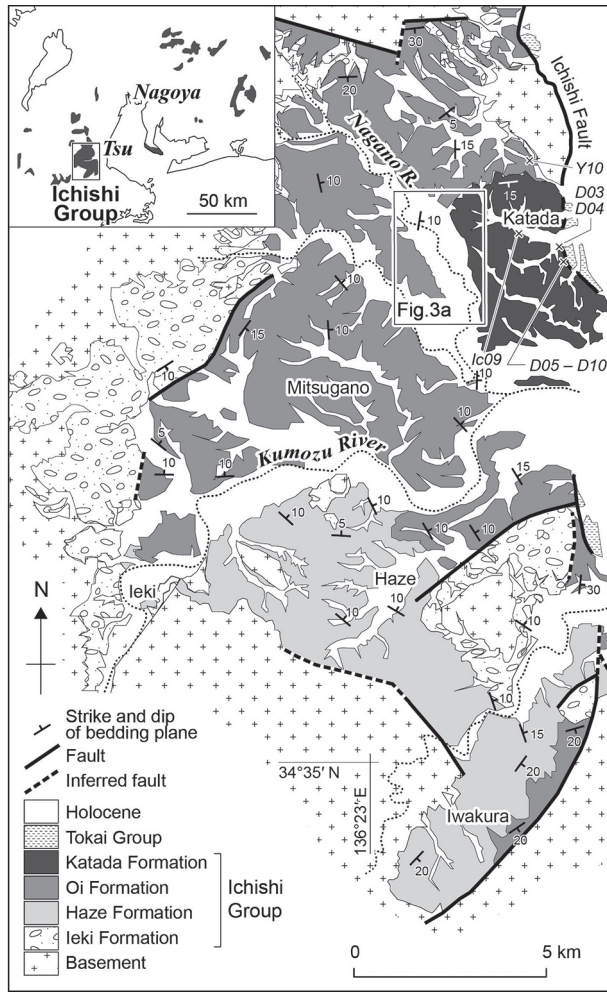


Fig. 2. Geological map of the Ichishi Group, simplified from Shibata (1967). D03–D10 indicate the locations of diatom samples investigated in this study, and Y10 and Ic09 indicate the locations of foraminifera samples investigated by Ito (1982) and Yoshida (1991), respectively. In the inset map at top left, gray areas indicate the distribution of early to middle Miocene (19–15 Ma) sediments (after Yoshida, 1991).

きちんと明らかにする必要がある。

そうした検討を行うための条件を満たす地層の一つとして、三重県津市西部に分布する下部中新統の一志層群があげられる (Fig. 2)。一志層群は下位より波瀬層、大井層および片田層からなり、柴田・石垣(1981)、伊東(1982)、および Yoshida (1991) により、N.7 帯 /N.8 帯境界が本層群上部の大井層と片田層の境界付近に存在することが明らかになっている。伊東(1982)は大井層とその上位の片田層の境界付近で *Praeorbulina glomerosa* (その初産出層準が N.8 帯下部と上部の境界を規定) が産出したことから、N.7 帯 /N.8 帯境界が大井層中に含まれると考えたが、*P. sicana* 初産出層準の決定には至らなかった。一方、Yoshida(1991)は大井層と片田層の境界付近から *Globigerinoides sicanus* (= *P. sicana*) が産出し始めることを認め、大井層 / 片田層境界付

近に N.7 帯 /N.8 帯境界があると考えた。しかしサンプリング間隔が数 10 m と広く、*P. sicana* の初産出層準を高精度で決定するには至らなかった。

また、一志層群からは Hayashida and Ito(1984) によって磁気極性層序が報告されている。彼らのデータは一志層群上部堆積時に複数回の極性反転(逆転)が起こったことを示唆している。この磁気極性層序を拠り所にして N.7 帯 /N.8 帯境界と地磁気極性年代尺度との対応関係を決定できる可能性がある。

そこで筆者らは、N.7 帯 /N.8 帯境界の存在が示唆されている一志層群上部を対象として浮遊性有孔虫化石層序を詳細に検討した。また、浮遊性有孔虫化石層序と珪藻化石層序の対応関係も調べるために、珪藻化石分析も併せて実施した。

地質概説

一志層群はいわゆる瀬戸内中新統に属する陸成～海成堆積物からなり、最大層厚は約 1500 m に達する(柴田, 1967)。本層群は瀬戸内中新統の広域対比や海進～海退サイクル比較などにおいて瀬戸内区東部の代表的な地層とされてきた(糸魚川・柴田, 1973, 1992; 柴田・糸魚川, 1980)。本層群は起伏に富む基盤岩(領家変成帯の変成岩と花崗岩類)を不整合に覆い、大局的には北東～東に緩く傾斜し、分布域北東部の津市片田地区に最上位の地層が分布する(柴田, 1967; 吉田ほか, 1995; Fig. 2)。本層群を構成する地層は上述のように波瀬、大井、片田の 3 層に区分され、基盤周縁の粗粒碎屑岩相は一括して家城層とされている(柴田, 1967)。それぞれの層はいくつかの部層に区分されている。柴田(1967)によると、波瀬、大井、片田の各層は上方細粒化傾向を示す一堆積サイクルの堆積物からなり、岩相や貝類化石群集 (Shibata, 1970) に顕著な違いが認められる。この堆積サイクルは静的海水準変動を反映したものである可能性がある (Hiroki, 1995)。本層群は分布域東縁で東海層群の鮮新～更新統によって不整合に覆われ、また一部では南北性の一志断層を境に東海層群と接している(吉田ほか, 1995)。なお、本層群の地質研究史は吉田ほか(1995)が簡潔にまとめている。

先述のように、大井層 / 片田層境界付近に N.7 帯 /N.8 帯境界が存在すると考えられる (Yoshida, 1991)。そのため筆者らは、大井層 / 片田層境界付近の地層が層序的に連続して見られる長野川沿いを主たる調査地域とした (Fig. 2)。以下、調査地域の長野川に沿う層厚約 270 m の層序断面を長野川セクションと呼ぶ (Fig. 3)。地質調査により、長野川セクションには大井層 / 片田層境界とその上下の地層(層厚約 55 m 分)がほぼ途切れなく認められることを確認した。

大井層は下位の井関砂岩泥岩部層と上位の三ヶ野頁岩砂岩部層(以下、三ヶ野部層)に区分され(柴田, 1967)、長野川セクションには三ヶ野部層上部が見られる。三ヶ野部層上部は生物擾乱を受けた砂質シルト岩とシルト岩を主体とし、砂岩泥岩互層卓越部 (Fig. 3b の柱状図下部) と珪長質凝灰岩を伴う。砂質シルト岩は一般に層理があまり発達せず、硬質で、新鮮な部分は暗灰色を呈することが多い。風化すると細片状に割れ、しばしば玉葱状風化を示す。暗灰色シルト岩は炭質

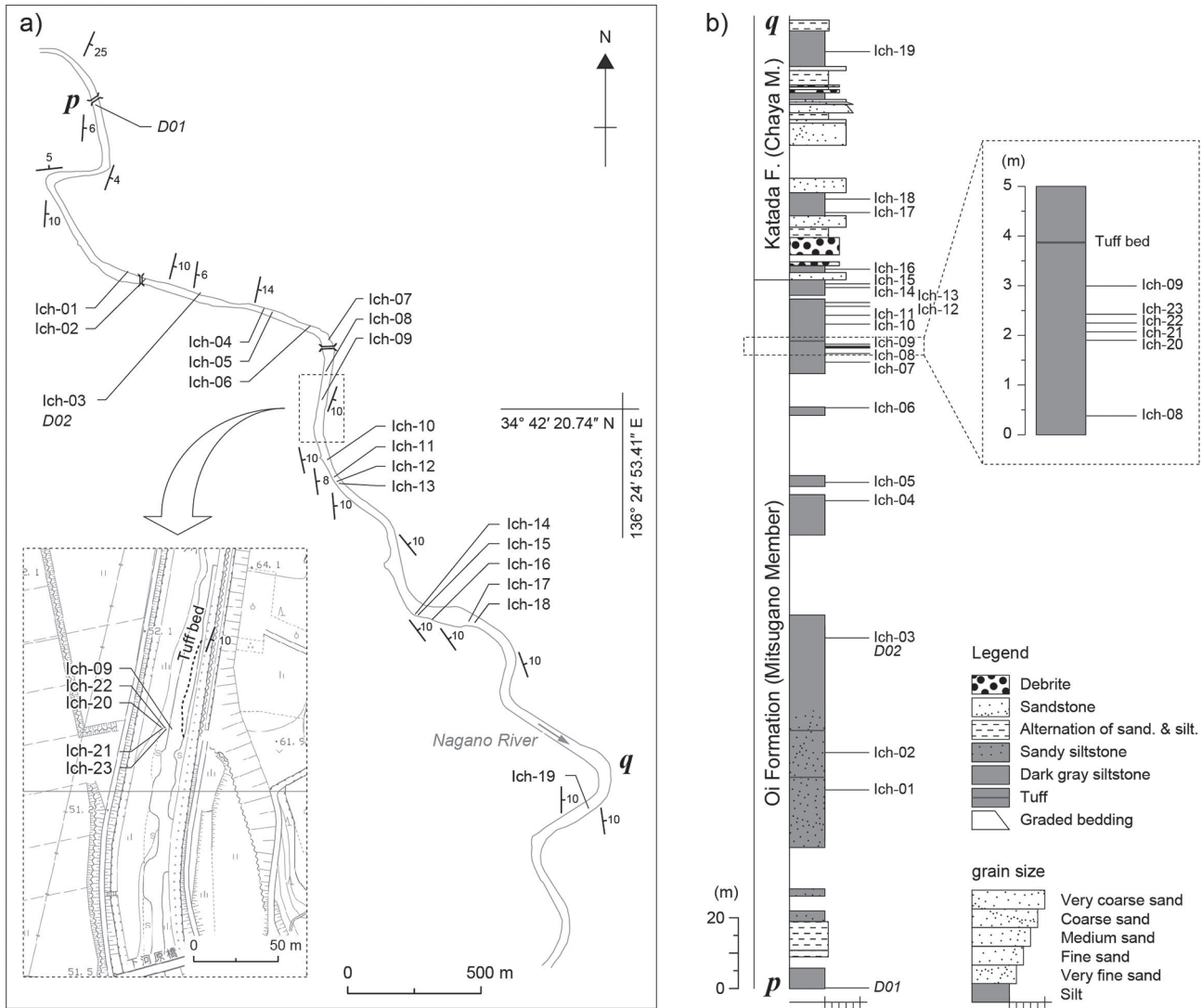


Fig. 3. a) Map showing sample locations along the Nagano River. Sample numbers for foraminifera analysis have a prefix 'Ich-', and italicized numbers *D01* and *D02* are those for diatom analysis. b) Composite lithologic log along route *p-q* in (a), showing the stratigraphic locations of samples taken from Nagano River sites.

物に富み、無層理で、しばしば中～大礫サイズの扁平な石灰質コンクリーションを含む。この岩石も風化すると細片状に割れる。三ヶ野部層上部からは散在的に貝類化石が産出し、上部漸深海帯の古水深を示す *Neilonella-Periploma* 群集が認められている (Shibata, 1970)。

片田層は大井層に整合に重なり、下位の茶屋砂岩泥岩部層 (以下、茶屋部層) と上位の葉王寺シルト岩砂岩部層 (以下、葉王寺部層) に区分される (柴田, 1967)。長野川セクションには茶屋部層が分布する。茶屋部層は主に砂岩優勢の砂岩泥岩互層からなる。砂岩単層の多くは級化を示し、上位の薄い暗灰色～灰色シルト岩に漸移することが多い。新鮮な露頭では砂岩もシルト岩もやや硬質である。茶屋部層基底 (三ヶ野部層との境界) の約 4 m 上位には細～中礫および多量の偽礫 (rip-up clasts) を含む厚さ 10 m ほどの乱泥流堆積物が挟まる。茶屋部層からはあまり貝類化石が産出しないが、現地性のもは上部漸深海帯の古水深を示す *Neilonella-Periplo-*

ma 群集との共通種が多い (Shibata, 1970)。

試料と方法

有孔虫化石分析用の岩石試料として、23 地点 (層準) から暗灰色シルト岩を採取した (Fig. 3 および Appendix 1)。試料はツルハシ、ハンマー、タガネを併用して露頭表層の風化部をできるだけ除去してから採取した。はじめに浮遊性有孔虫化石層序の大まかな傾向をとらえるために 19 層準の試料 (Ich-01～19) を採取・分析し、その後 *P. sicana* の初産出層準を精密に決定するために 4 層準の試料 (Ich-20～23) を追加・分析した。

浮遊性有孔虫化石分析は次のように行った。試料処理は愛知教育大学で行い、方法はおおむね高柳 (1978) に従った。乾燥重量約 160 g を量り取り、硫酸ナトリウム法とナフサ法の併用により構成粒子まで分解し分析試料とした。得られた分析試料を簡易分割器によって適宜分割し、40 倍の双眼

実体顕微鏡(オリンパス SZ61-ILST2-C)下で化石個体の有無を確認した。化石個体が認められた試料を 115 メッシュ(開口 125 μm)のステンレス篩にかけ、125 μm 以上の粒子について同定可能な 200 個体程度を目標に浮遊性有孔虫化石の拾い出しと同定を行った。一部の試料(Ich-08, 20, 21, 22)については *P. sicana* の初産出層準を決定するために残渣を検鏡し、*P. sicana* が産出する、あるいは同定可能個体数が 500~1000 程度になることを目標に拾い出しと同定を行った。その際、残渣のみでは不十分な試料(Ich-21, 22)については岩石を追加処理し、同様にして浮遊性有孔虫化石の同定と拾い出しを行った。また、底生有孔虫は拾い出した試料についてのみ個体数を計数した(Ich-21, 22 を除く)。卓越種と年代決定上有効な種については、三重県総合博物館および島根大学総合理工学研究科が所有する走査型電子顕微鏡(いずれも日本電子製 JCM-5000)で写真撮影した。

珪藻化石分析用の岩石試料は長野川セクションと津市片田町付近で採取した(Appendix 1)。長野川セクションでは、大井層三ヶ野部層から片田層茶屋部層にかけて、石灰質コンクリーションや暗灰色シルト岩を複数の層準から採取した。片田町では片田層葉王寺部層の暗灰色シルト岩を採取した。そのほか、北川秀久氏が三重大学教育学部地学教室 1974 年度の卒業研究を行った際に、現在片田団地(片田新町)になっている場所から採取した葉王寺部層の試料(D05~D10)から作成したプレパラートもあわせて検鏡した(Appendix 1)。

珪藻化石分析は次のように行った。コンクリーション化していない試料は柳沢(2003)の方法で処理し、プレパラートを作成した。石灰質コンクリーション試料は、まず細かく砕いた上で希塩酸を加えて反応がおさまる一昼夜置き、その後純水を加えて 3 時間程度置いて珪藻を含むシルト分が沈むのを待ち、上澄みを捨て、この作業を 8 回繰り返して塩酸分を薄め中性にしてからプレパラートを作成した。珪藻殻の計数も基本的に柳沢(2003)に従い、生物顕微鏡の 600 倍の倍率下で行った。珪藻の保存状態は、殻の破損・溶解の程度と頑丈な殻を持つ珪藻の頻度を基に、G(good), M(moderate), P(poor)の 3 段階に分けた。産出量は 100 蓋殻に至るまでの走査線の数により、A(abundant)=走査線 1 未満, C(common)=走査線 1 以上 3 未満, R(rare)=走査線 3 以上, vR(very rare)=プレパラート全面を走査しても 100 蓋殻未満、と区分した。

結 果

1. 浮遊性有孔虫化石

分析した 23 試料中、Ich-01 と Ich-02 を除く 21 試料から 17 属 37 種の浮遊性有孔虫化石が産出した(Table 1; Figs. 4~6)。化石の保存状態は概して悪く、全ての試料において著しく変形した個体、黄鉄鉱に置換された個体、砂が膠着した個体が認められた。そのため同定不能個体が全ての試料で多くみられた。産出した浮遊性有孔虫化石に対する同定不能個体数の割合は平均 67% で、最も高い試料は 86% に達した(Ich-22; Table 1)。大井層三ヶ野部層の試料はそ

の割合が平均 73% で、やや高い傾向があった。

浮遊性有孔虫化石が 100 個体以上産出した 20 試料についてみると、岩石重量 1 g あたりの浮遊性有孔虫個体数は平均 15 個体、最大 37 個体(Ich-18)であった(Table 1; Fig. 4)。大井層三ヶ野部層の平均は 13 個体、片田層茶屋部層の平均は 23 個体となり、茶屋部層の方が多かった。全有孔虫化石に対する浮遊性有孔虫化石の割合は平均 0.36、最大 0.60(Ich-08)であった。

各試料(層準)で多産したのは *Globigerinita glutinata* で、同定できた総個体の約 3 割を占め、最も多産した Ich-22 では産出頻度が 45% であった(Fig. 4)。他に多産した種は *Globigerina falconensis* (平均 10.8%, 最大 18.1%), *Paragloborotalia continuosa* (平均 9.6%, 最大 17.9%), *Globoquadrina venezuelana* (平均 6.9%, 最大 15.2%) であった。また、暖流表層水の指標となる *Globigerinoides* 属が全ての試料から産出したが、産出頻度は 10% 以下であった。検討した全試料(層準)において群集組成の急激な変化は認められなかった。

年代決定上重要な種として、*Globorotalia birnagaeae*, *Fohsella peripheroronda*, *Praeorbulina curva*, *P. sicana* が産出した(Table 1; Figs. 5, 6)。*P. sicana* は個体数が少ないものの Ich-21 とそれより上位の試料から連続的に産出した。*P. sicana* の子孫種である *P. curva* は Ich-16 から 1 個体のみ産出した。*Catapsydrax dissimilis*, *P. glomerosa*, *Orbulina* 属の各種は全体を通じて産出しなかった。また、*Paragloborotalia* 属の巻き方向が左右どちらかに卓越する傾向は認められなかった(Table 1; Fig. 5)。

2. 珪藻化石

珪藻化石は、大井層三ヶ野部層の石灰質コンクリーションの 2 試料(D01, D02)と、片田層葉王寺部層最上部から採取した暗灰色シルト岩の 2 試料(D03, D04)のみから産出し、その他の試料からは検出されなかった。その分析結果を、北川秀久氏作成の片田層葉王寺部層の 6 枚のプレパラート(D05~D10)の分析結果とともに Table 2 に示す。産出した主な珪藻を Fig. 7 に示す。珪藻化石が産出しなかった試料の位置は Appendix 1 で B(barren)と示してある。なお、Table 2 には、試料とそれに付随する元データが後で迎えるように、筆者らの元の試料番号(original sample number)も付してある。

三ヶ野部層の石灰質コンクリーション 2 試料(D01, D02)では、珪藻の保存状態は極めて悪く、珪藻殻は破片化して一部は溶解しており、珪藻の量も稀であった。葉王寺部層の暗灰色シルト岩の 2 試料(D03, D04)の珪藻も保存状態は悪く、量も稀であった。一方、北川秀久氏のプレパラート(D05~D10)では、懸濁液を薄めにしてプレパラートが作成されたためか、プレパラート全面を走査しても珪藻殻は 100 個に達しなかった。これらの試料でも珪藻は破片化していて保存状態は不良であった。

三ヶ野部層の D01 と D02 および葉王寺部層の D03 と D04 からは *Thalassionema nitzschioides* と *Stephanopyxis* spp. が優占する珪藻群集が産出した。D01 では *Kisseleviel-*

Table 1. Stratigraphic distribution of planktonic foraminifera in the upper part of the Ichishi Group.

Formation (Member)	Oi Formation (Mitsugano Member)																			Katada Formation (Chaya M.)			
	03	04	05	06	07	08	20	21	22	23	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
<i>Catapsydrax parvulus</i> Bolli, Loeblich, et Tappan	4	2	3	3	9	1	2	2	2	3	1	3											
<i>Catapsydrax unicus</i> Bolli, Loeblich, et Tappan	3	2	27	13	26	6	6	3	4	4	2	5											
<i>Catapsydrax cf. unicus</i> Bolli, Loeblich, et Tappan	8	7	17	6	6	10	4	4	6	3	6	3						4					
<i>Dentoglobigerina altispira altispira</i> (Cushman et Jarvis)																							
<i>Dentoglobigerina altispira globosa</i> (Bolli)																							
<i>Dentoglobigerina baruemoensis</i> (LeRoy)	1	2																					
<i>Fohsella peripheroronda</i> (Blow et Banner) dextral																							
<i>Fohsella peripheroronda</i> (Blow et Banner) sinistral	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	1	1											
<i>Fohsella aff. peripheroronda</i> (Blow et Banner) dextral																							
<i>Globigerina angustumbilicata</i> Bolli	15	19	5	7	33	21	31	2	2	9	1	5	17	16	12	2		17	27	13	24		
<i>Globigerina connecta</i> Jenkins																							
<i>Globigerina falconensis</i> Blow	18	20	13	6	65	25	64	19	17	19	20	36	25	29	19	13		21	47	25	42		
<i>Globigerina praebulloides</i> Blow	7	9	6	5	18	17	66	9	30	16	3	9	17	18	12	3		8	23	6	9		
<i>Globigerina pseudociperoensis</i> Blow																							
<i>Globigerina</i> sp.																							
<i>Globigerinella obesa</i> (Bolli)	56	25	71	51	246	144	232	125	67	50	60	54	59	50	76	49		53	65	42	31		
<i>Globigerinita glutinata</i> (Egger)																							
<i>Globigerinoides bollii</i> Blow	1	3	2	1	4	4	5	1	1	5	8	1	4	7	3	4		5	4	3	4		
<i>Globigerinoides immaturus</i> LeRoy	4	3	7	9	22	13	17	4	6	1	4	4	8	4	8	2		3	14	3	4		
<i>Globigerinoides quadrilobatus</i> (d'Orbigny)																							
<i>Globigerinoides subquadratus</i> Brömmann																							
<i>Globigerinoides trilobus</i> (Reuss)	2	1	2	2	5	1	1	1	2														
<i>Globolobulimina dehiscentes</i> (Chapman, Parr et Collins)																							
<i>Globolobulimina venezuelana</i> (Hedberg)	25	14	9	11	46	32	75	20	13	15	6	8	4	11	21	23		13	10	5	9		
<i>Globolobulimina adamantea</i> Saito	1	1	12	4	22	14	30	8	8	2	4	2	1	3	5	1		4	5	1	5		
<i>Globolobulimina birnagae</i> Blow																							
<i>Globobulimina praescitula</i> Blow	8																						
<i>Globolobulimina quinifalca</i> Saito et Maiya																							
<i>Globolobulimoides suerei</i> Bolli																							
<i>Globobulimina druryi</i> (Akers)	1	1	1	1	6	4	7	4	3	1	6	3	1	1	6	5		2	4	1	1		
<i>Globobulimina obliqua</i> (Bolli)																							
<i>Globobulimina woodi</i> (Jenkins)	12	13	2	15	15	21	25	16	5	3	9	14	7	6	5	6		1	2				
<i>Neoglobobulimina cf. pachyderma</i> (Ehrenberg) dextral	1	1	2	22	20	26	10	10	10	10	2	4	2	5	1	2		7	2	2	5		
<i>Neoglobobulimina cf. pachyderma</i> (Ehrenberg) sinistral	1	821	746	1055	349	2814	776	2554	1685	492	417	706	301	166	215	618		257	227	185	235		
<i>Paraglobobulimina contumosa</i> (Blow) dextral	3	7	17	3	38	32	34	11	7	7	2	9	19	3	14	5		7	11	17	21		
<i>Paraglobobulimina contumosa</i> (Blow) sinistral	1	6	14	2	34	28	32	10	13	7	3	8	18	5	9	6		8	20	15	21		
<i>Paraglobobulimina stakensis</i> (LeRoy) dextral																							
<i>Paraglobobulimina stakensis</i> (LeRoy) sinistral																							
<i>Praeorbulina curva</i> (Blow)	2	7	7	7	15	7	8	1	7	8	2	1	2	3	4	2		6	7	7	8		
<i>Praeorbulina sicana</i> (De Stefani)																							
<i>Sphaeroidinellopsis distincta</i> (Fimlay)	7																						
<i>Temutella clemenciae</i> (Bernúdez)	4	12	2	2	3	3	2	7	2	4	1	3	3	4	2	3		1	1	1	2		
Number of species	1	19	18	18	16	27	25	29	22	21	19	19	25	26	21	22		22	24	26	21		
Number of identified planktonic foraminiferal specimens	1	178	155	188	147	710	459	779	278	220	148	141	199	216	178	234		189	317	189	235		
Miscellaneous	1	821	746	1055	349	2814	776	2554	1685	492	417	706	301	166	215	618		257	227	185	235		
Total number of planktonic foraminifera	999	901	1243	496	3524	1235	3333	1963	712	565	847	500	382	393	852	521		446	544	374	402		
Number of planktonic foraminifera in 1 gram dry sediments	6.2	11.3	30.9	12.4	21.9	7.7	13.9	6.1	4.4	13.9	20.9	12.3	9.5	19.3	10.7	13.0		22.3	13.6	37.4	20.0		
Number of benthic foraminifera in 1 gram dry sediments	38.7	27.9	59.8	39.7	14.9	41.4	-	-	12.5	45.4	15.0	25.3	8.5	27.9	21.9	28.8		26.4	23.9	33.4	31.9		
Planktonic / Total foraminiferal ratio (P/T ratio)	0.14	0.29	0.34	0.24	0.60	0.16	-	-	0.26	0.23	0.58	0.33	0.53	0.41	0.33	0.31		0.46	0.36	0.53	0.39		
Total weight of dry sediment (g)	160.48	160.48	160.06	160.94	160.54	160.68	160.80	240.12	320.14	160.12	162.96	162.00	162.72	160.14	162.66	160.00		160.00	160.00	160.02	160.53		

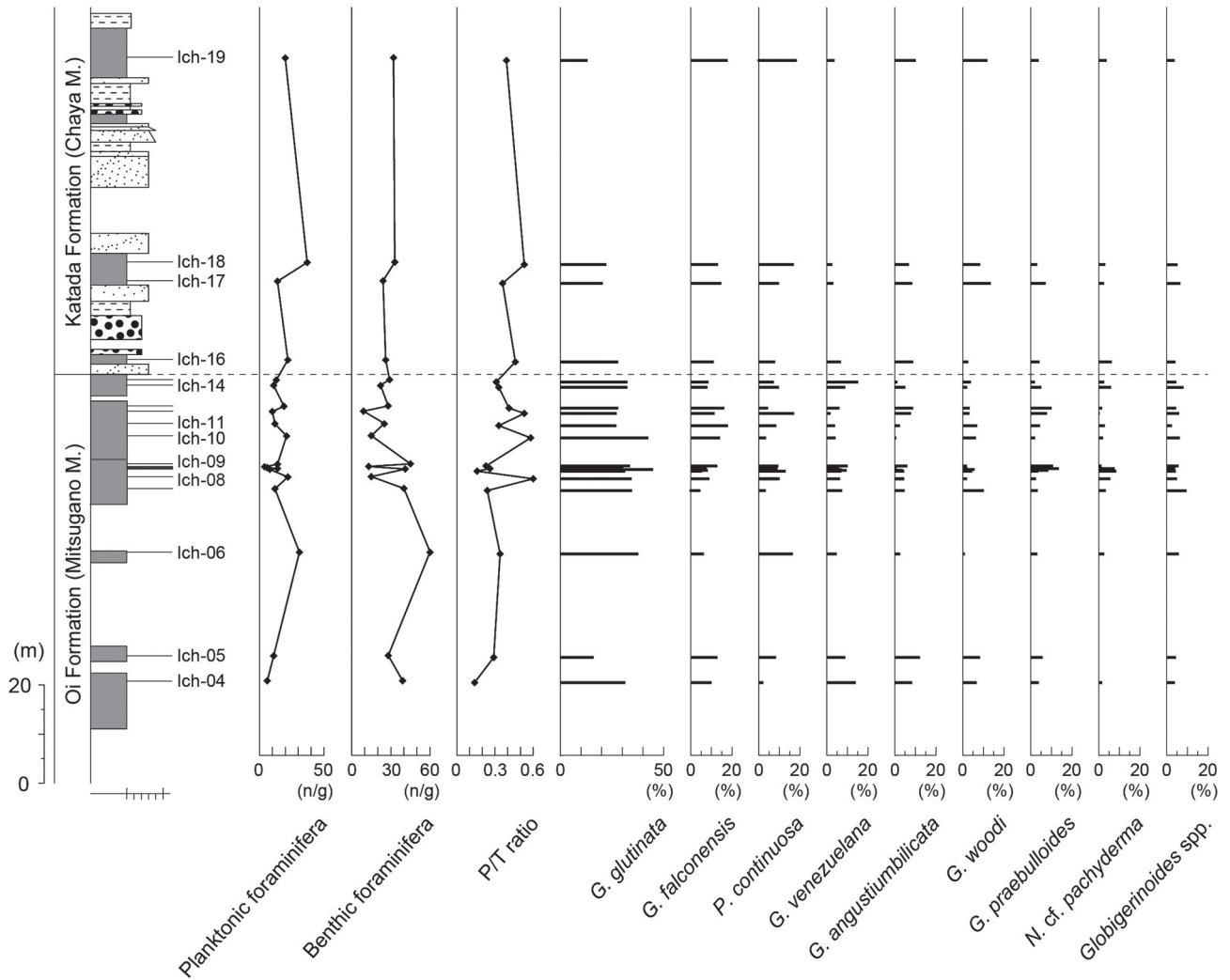


Fig. 4. Stratigraphic distributions of dominant planktonic foraminiferal species in the composite section along the Nagano River. The relative abundance of each taxon is calculated for samples containing more than 100 individuals. "P/T ratio" refers to the ratio between the number of planktonic foraminifera and the total number of foraminifera. Lithological legend as in Fig. 3.

la carina も 20% と比較的多く産出した。一方、薬王寺部層の D05~D10 では *Coscinodiscus marginatus*, *Coscinodiscus* spp. および *Stephanopyxis* spp. が多産し、*T. nitzschioides* は比較的少なかった。化石帯の認定に重要な種としては、*Crucidenticula sawamurae* と *Crucidenticula ikebei* が D01 と D02 から産出した。

議 論

1. 浮遊性有孔虫化石層序、特に N.7 帯/N.8 帯境界層準の決定

長野川セクション全体を通して多産した *G. glutinata* は汎存種であり、亜熱帯から温帯に分布中心を持つ (Kennett et al., 1985)。他に多産した *G. falconensis* は温暖種、*P. continuosa*, *G. venezuelana* は亜熱帯から熱帯に分布する種である (Kennett et al., 1985; Kennett and Srinivasan, 1983; Kemle von Mücke and Hemleben, 1999; Wright

and Thunell, 1988)。これら 4 種は同定できた浮遊性有孔虫化石の総個体数の約 6 割を占めており (Table 1; Fig. 4)、いずれも亜熱帯地域に分布が重なる。よって本研究で得られた群集は亜熱帯的な性質を持つものと考えられる。Blow (1969) の浮遊性有孔虫化石帯は低緯度地域で確立されたものであるため、特に亜熱帯から熱帯種の産出がまれになる高緯度地域ではしばしばこの化石帯の認定が困難であることが指摘されている (例えば、林・高橋, 2000)。しかし、今回得られた群集は亜熱帯的な性質を持つことから、本研究で認定される化石帯の基準面と Blow (1969) の化石帯の基準面との間には年代値に差が生じにくいと考えられる。

得られた年代指標種 (*G. birnageae*, *F. peripheroronda*, *P. curva*, *P. sicana*) は各地の N.8 帯相当層で認められる種である (Kennett and Srinivasan, 1983)。これらの年代種に加え、長野川セクションにおいて *C. dissimilis* や *Orbulina* 属の各種が全体を通じて産出しなかったことを踏まえ

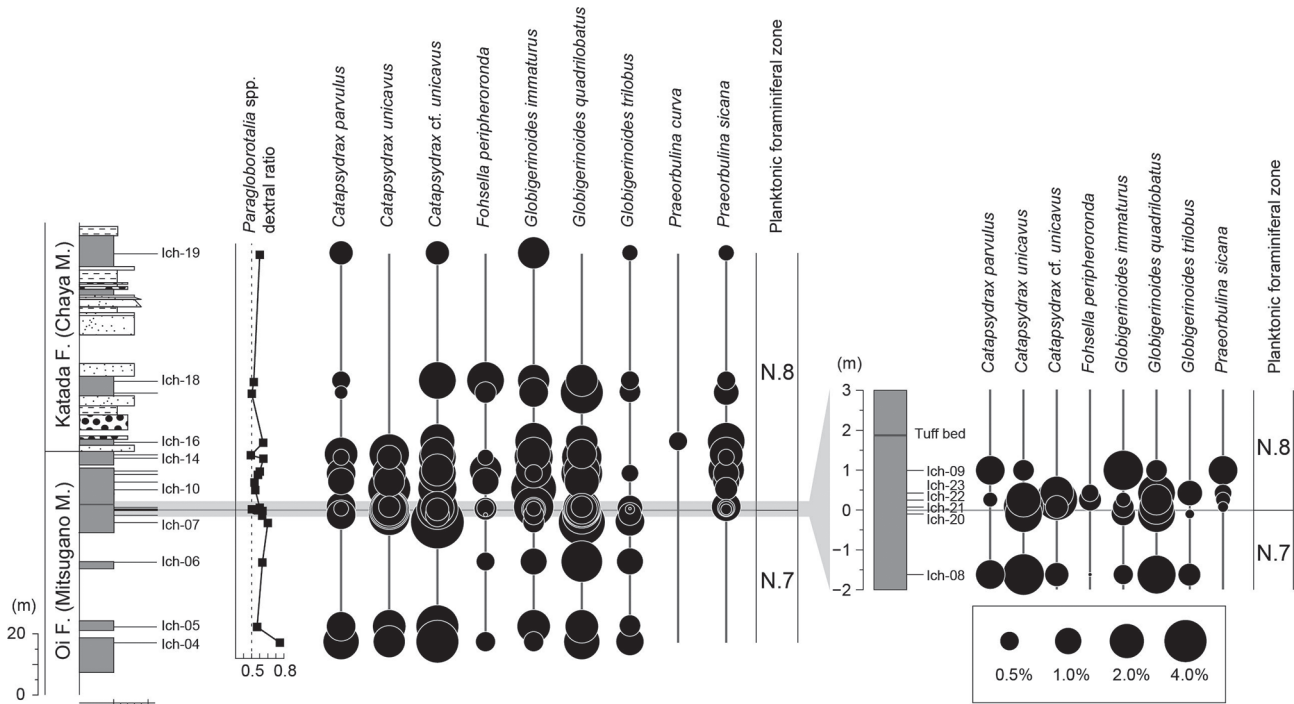


Fig. 5. Stratigraphic distributions of important species of planktonic foraminifera, alongside biozones.

ると、大井層三ヶ野部層上部から片田層茶屋部層にかけてはN.7～N.8帯の堆積物と判断される(Fig. 5)。これは基本的にYoshida(1991)の検討結果と一致する。

Ich-21とそれより上位の試料から*P. sicana*が層序的に連続して産出したことから、*P. sicana*の初産出層準はIch-21より下位にあると判断できる。Ich-21より約17cm下位のIch-20では459個体、さらに下位のIch-08では710個体の浮遊性有孔虫化石を同定したが、*P. sicana*は検出されなかった。*P. sicana*の近縁種である*Globigerinoides immaturus*、*Globigerinoides quadrilobatus*、*Globigerinoides trilobus*のうち特に直接の祖先種である*G. trilobus*が下位のIch-04から連続的に産出した。このことから、*P. sicana*が流れ込みによって混入した可能性は考えにくい。これらの層準の岩相が主に無層理の暗灰色シルトであり、また薄層タービダイトのような粒子の再移動を示唆する堆積構造が認められないことから、有孔虫個体の再堆積は考えにくい。したがって、*P. sicana*の進化的出現層準(N.7帯/N.8帯境界)はIch-20とIch-21の間にあると判断される(Fig. 5)。この層準は大井層/片田層境界の約19m下位に位置する。瀬戸内中新統(Fig. 2)にはN.6帯～N.8帯の地層が含まれるが(例えば、師崎群や阿波群群; Ibaraki et al., 1984; Yoshida, 1991; 藤原ほか, 2005)、N.7帯/N.8帯境界を数10cmの層序的精度で決定した事例は知られていない。日本の陸上セクションでN.7帯/N.8帯境界がこれほど精密に決定されたのは今回が初めてであろう。

大井層/片田層境界の約3m上位に位置するIch-16からは、*P. sicana*の子孫種にあたる*P. curva*が1個体のみ産出した。伊東(1982)は大井層最上部付近の試料Y10(Fig.

2)から*P. curva*の子孫種にあたる*P. glomerosa*の産出を報告した。しかし、Yoshida(1991)は*P. curva*および*P. glomerosa*を見出しておらず、一方で片田層の試料Ic09(Fig. 2)から*Praeorbulina transitoria*(Blow)を報告している。これら*Praeorbulina*系列の進化的出現はN.8帯を細区分する基準面となる可能性があるが、本地域ではいずれも1試料のみ、かつ1～2個体の産出であり、現時点での産出データから生層序学的な意義を考察することには慎重にならざるを得ない。長野川セクションにおけるこれら基準面の探索は今後の重要な課題である。なお、2012年版年代尺度では*P. curva*と*P. glomerosa sensu stricto*の初産出に対してそれぞれ16.28 Maと16.27 Maの天文軌道要素年代が与えられている。これらの年代は磁気極性年代のクロンC5Cnに対応する。前者が正極性に対応することは北大西洋のDSDP Site 563および558の磁気極性層序(Khan et al., 1985)に基づくが、この磁気極性層序と地磁気極性年代尺度との対比(Bougault et al., 1985)には不明確な点が多い。後者の年代は西大西洋 Ceara RiseのODP Leg 154, Site 925における天文軌道要素法に基づくが、先述の通りこのコアでは磁気極性層序が得られておらず、また*Praeorbulina*属の産出に乏しいという問題がある。さらに言えば、伊東(1982)によって図示された*P. glomerosa*の個体は球状の外見が*P. glomerosa*に比較できるものの、狭義の*P. glomerosa*の認定のうえで重要なスリット状の口孔群が保存不良のために不明瞭であり、これが基準面に用いられている*P. glomerosa sensu stricto*と同一のものかどうか断定できない。これら種群の正確な進化的出現の把握は今後他のセクションも含めて取り組まれるべき重要な課題と言える。

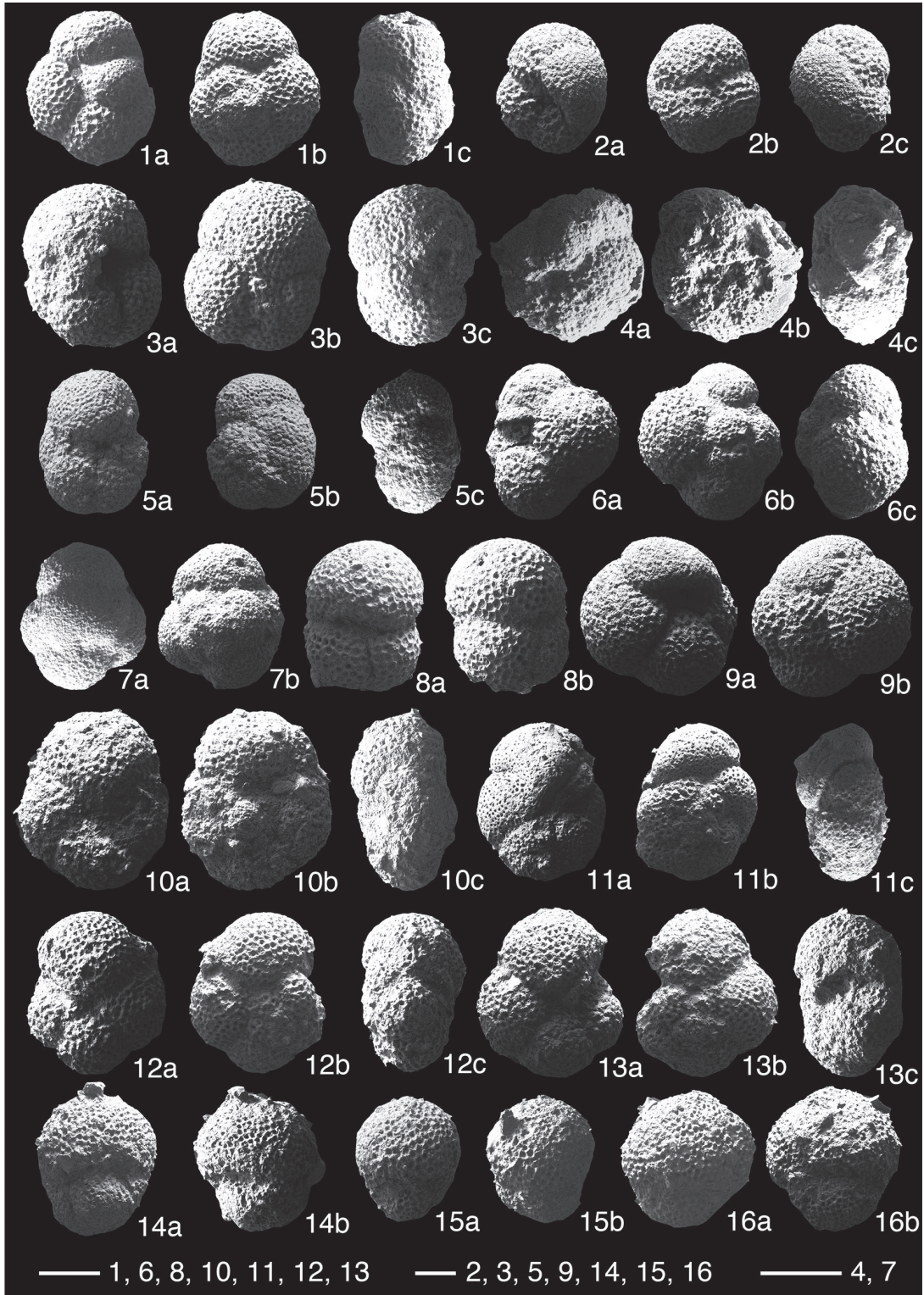


Fig. 6. Scanning electron microphotographs of selected planktonic foraminiferal species from the upper part of the Ichishi Group. 1a–c: *Catapsydrax parvulus* Bolli, Loeblich et Tappan, sample Ich-11. 2a–c: *Catapsydrax unicavus* Bolli, Loeblich et Tappan, sample Ich-11. 3a–c: *Catapsydrax* cf. *unicavus* Bolli, Loeblich et Tappan, sample Ich-05. 4a–c: *Globorotalia birnageae* Blow, sample Ich-23. 5a–c: *Fohsella peripheroronda* (Blow et Banner) sinistral form, sample Ich-18. 6a–c: *Globigerina falconensis* Blow, sample Ich-19. 7a–b: *Globigerinita glutinata* (Egger), sample Ich-17. 8a–b: *Globigerinoides trilobus* (Reuss), sample Ich-17. 9a–b: *Globoquadrina venezuelana* (Hedberg), sample Ich-11. 10a–c: *Globorotalia adamantea* Saito, sample Ich-16. 11a–c: *Globorotalia praescitula* Blow, sample Ich-16. 12a–c: *Paragloborotalia continua* (Blow) dextral form, sample Ich-16. 13a–c: *Paragloborotalia continua* (Blow) sinistral form, sample Ich-16. 14a–b: *Praeorbulina sicana* (De Stefani), sample Ich-21. 15a–b: *Praeorbulina sicana* (De Stefani), sample Ich-16. 16a–b: *Praeorbulina curva* (Blow), sample Ich-16. Scale bars = 100 μ m.

Table 2. Stratigraphic distribution of diatoms in the upper part of the Ichishi Group.

Formation	Oi		Katada							
	Mits.		Yakuoji							
Diatom zone (NPD)	2B	2B	?	?	?	?	?	?	?	?
Sample number	D 01	D 02	D 03	D 04	D 05	D 06	D 07	D 08	D 09	D 10
Original (internal) sample number	Nag-12	14041304	16021102(2)	16021102(3)	13L	13M	13U	14L	14M	14U
Preservation	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Abundance	R	R	R	R	vR	vR	vR	vR	vR	vR
Marine diatoms										
<i>Actinocyclus kisselevii</i> Makarova								2		
<i>A. cf. ingens f. planus</i> Whiting et Schrader										1
<i>A. cf. octonarius</i> Ehr.	1	+	1					3		2 1
<i>A. sp. A</i>				1						
<i>Actinocyclus senarius</i> (Ehr.) Ehr.	4	5		1				1		
<i>Cavitatus jouseamus</i> (Sheshukova) D.M. Williams	2	2		1						
<i>C. linearis</i> (Sheshukova) Akiba et Yanagisawa	+		3	1				1	1	+
<i>C. miocenicus</i> (Schrader) Akiba et Yanagisawa	3	1		1						
<i>Coscinodiscus lewisianus</i> Grev.								1	1	6
<i>C. marginatus</i> Ehr.	1	2	1		14	23	3	8	9	17
<i>C. spp.</i>	2		5	1	6	9	14	10	12	16
<i>Crucidentacula ikebei</i> Akiba et Yanagisawa	+	+								
<i>C. sawamurae</i> Yanagisawa et Akiba	+	+								
<i>Delphineis kameoensis</i> Yanagisawa		+								
<i>Delphineis surirella</i> (Ehr.) G.W. Andrews									1	
<i>Eucampia sp. A</i>	2									
<i>Grammatophora sp.</i>	+		+		+	+	+		+	+
<i>Hemiaulus bipons</i> (Ehr.) Grunow										
<i>Ikebea tenuis</i> (Brun) Akiba	4	+								
<i>Kisseleviella carina</i> Sheshukova	20	3								
<i>Melosira sol</i> (Ehr.) Kützing			1					2		
<i>Paralia sulcata</i> (Ehr.) Cleve			2	8	3	1	6	7	5	2
<i>Planifolia tribranchiata</i> Ernissee					6	8	4	1	6	4
<i>Pterotheca subulata</i> Grunow		+								
<i>Rhaphoneis amphicerus</i> Ehr.										+
<i>Rhizosolenia hebetata f. hiemalis</i> Gran		+								
<i>R. hotaense</i> Akiba								1		
<i>R. styliformis</i> Brightw.										
<i>Stellarima spp.</i>	5		1							
<i>Stephanopyxis spp.</i>	27	8	16	20	11	13	15	28	13	9
<i>Thalassionema obtusa</i> (Grunow) G.W. Andrews		+								
<i>T. nitzschoides</i> (Grunow) Mereschowsky	28	77	62	63	1	2	2	5	4	10
<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve et Grunow		+	+							+
<i>Triceratium condecorum</i> Brightw.		+								
<i>Trochosira spinosa</i> Kitton	4									
Non-marine diatom										
<i>Aulacoseira spp.</i>		+	3	2	1	1	1		4	6
Total number of valves counted	100	100	100	100	42	61	52	61	56	72
Resting spore of <i>Chaetoceros</i>	36	20	17	15	5	9	12	7	11	8

Mits. = Mitsugano. Preservation: P = poor. Abundance: R = rare, vR = very rare. + = present (encountered after 100 count or recognized as fragments).

よう。

ここで *Paragloborotalia* 属の巻き方向の変化に着目してみる。Winter and Pearson (2001) は *Paragloborotalia mayeri* の殻の巻き方向の層序的变化を検討し、N.8 帯中部でランダム(左右比 1 : 1) から左巻き卓越に変化することを明らかにした。地中海西部の DSDP Site 372 では *Paragloborotalia siakensis* の巻き方向変化が *P. glomerosa* の初産出層準の直下で認められ、磁気極性との対比から 15435 ± 5 ka の数値年代が与えられている (Abdul Aziz et al., 2008; 彼らの磁気極性年代は Gradstein et al., 2004 に基づく)。東赤

道太平洋の IODP Site U1337 および U1338 でも *Paragloborotalia* 属の巻き方向変化が認められ、その層位は *P. glomerosa* の初産出層準の直下である (Expedition 320/321 Scientists, 2010a, b)。長野川セクションでは、個体数はそれほど多くないものの、本属の巻き方向は全体を通じてほぼ 1 : 1 かそれに近かった (Fig. 5)。この結果は長野川セクションが N.8 帯上部まで達していないことを示唆する。ただし、先述のように本研究地域からは大井層最上部に相当する試料 Y10 から保存不良の 1 個体のみではあるが *P. glomerosa* が報告されている (伊東, 1982)。すなわち、もし大井層と片田層の境界が等時間面と仮定できるならば、本研究地域における *Paragloborotalia* 属の巻き方向変化と *P. glomerosa* の初産出層準との前後関係は地中海や東赤道太平洋と異なることになる。この問題を解決するには、伊東 (1982) の試料 Y10 付近におけるセクション間対比や浮遊性有孔虫産出の再検証、およびそれぞれの基準面の異時性についての検証が不可欠であるが、現時点では情報が不足している。

長野川セクションでは Ich-04 以上の層準から *Catapsydrax unicavus* や *Catapsydrax cf. unicavus*, *Catapsydrax parvulus* が産出した (Table 1; Fig. 6)。以下、その意義について考察する。本研究で *Catapsydrax cf. unicavus* とした形態種には、殻外形や室形状、縫合線の性状が *C. univacvus* に比較できるものの、umbilical bulla の発達が不完全なため本種に確定し難い個体を分類した。*C. unicavus* は *C. dissimilis* や *Globigerinatella insueta* とともに N.6 帯を特徴づける種であり、その終産出は N.6 帯のほぼ上限付近に位置するとされる (Blow, 1969; Di Stefano et al., 2011)。一方、N.8 帯以上の地層からも *C. unicavus* の産出が報告された例がある (例えば、林ほか, 2013; Expedition 320/321 Scientists, 2010a, b)。また、同じ進化系統に属し形態的に類似する *C. parvulus* は N.7 帯から出現するとされ (Kennett and Srinivasan, 1983)、地中海では中部中新統最上部に相当する層準まで産出している (Sprovieri et al., 2002; Foresi et al., 2002)。これらを踏まえると、本セクションで産出した *C. unicavus* は N.6 帯に相当する下位層準からの誘導化石である可能性がまず指摘される。しかしながら、本セクションで *C. unicavus* は浮遊性有孔虫が産出した 21 試料中 12 試料から計 99 個体が検出され、特に試料 Ich-08 からは 27 個体が検出された。これは、本試料から同定された浮遊性有孔虫個体の約 3.8% に相当し、本種が大型で頑丈な殻を有し再堆積しやすいと想定される点を考慮しても、誘導化石としては産出頻度がやや高いように思われる。また、本研究地域の浮遊性有孔虫化石は全体的に保存状態が悪い中で、本種については相対的に良好な保存を示すものがあるため (Figs. 6, 2a–c)、保存によって誘導化石かどうかを識別することはできなかった。その一方で、終産出が N.6 帯/N.7 帯境界を規定する *C. dissimilis* は 1 個体も検出されなかった。*C. unicavus* の子孫種である *C. pervulus* も産出したことを考慮すると、本セクションで産出した *Catapsydrax* 属は誘導化石ではなく、*C. unicavus* から *C.*

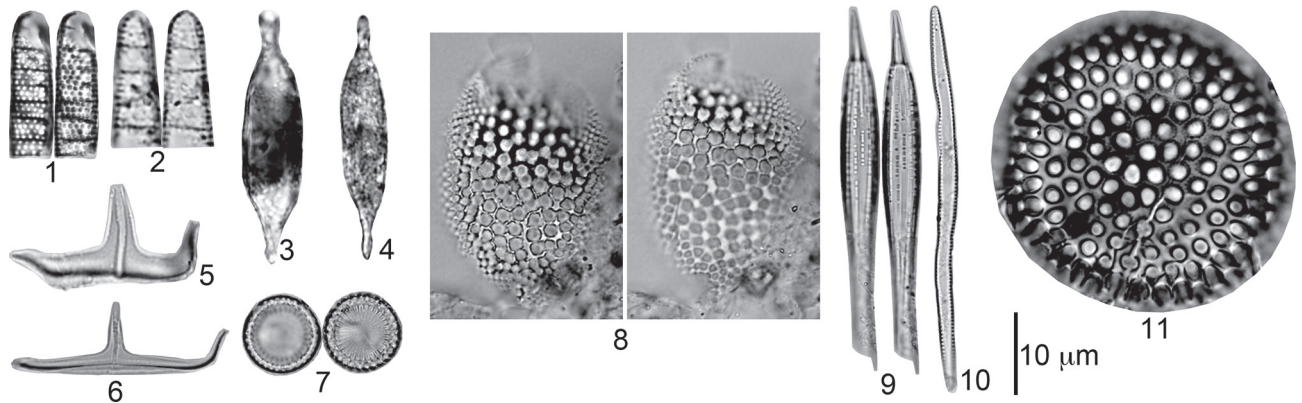


Fig. 7. Light photomicrographs of selected diatoms from the upper part of the Ichishi Group. 1: *Crucidenticula sawamurae* Yanagisawa et Akiba, sample D02. 2: *Crucidenticula ikebei* Akiba et Yanagisawa, sample D01. 3, 4: *Kisseleviella carina* Sheshukova, sample D01. 5: *Planifolia tribranchiata* Ernissee, sample D06. 6: *Planifolia tribranchiata* Ernissee, sample D09. 7: *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve, sample D07. 8: *Coscinodiscus lewisianus* Greville, sample D10. 9: *Rhizosolenia hotaense* Akiba, sample D07. 10: *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschkowsky, sample D10. 11: *Coscinodiscus marginatus* Ehrenberg, sample D10.

*parvulus*へと進化する過程を捉えている可能性もある。ここではその可能性を指摘するに留め、その検証は今後の課題とする。

2. 珪藻化石年代

三ヶ野部層のD01とD02からは*C. sawamurae*と*C. ikebei*が産出し、*Crucidenticula kanayae*や*Thalassiosira fraga*は検出されなかったため、これらの試料はYanagisawa and Akiba(1998)の*C. sawamurae*帯(NP-D2B帯)と認定できる。一方、薬王寺部層のD03~D10からは化石帯指標種が検出されず、化石帯の認定はできなかった。

N.7帯/N.8帯境界層準の約82m下位に位置するD02の層準および約180m下位に位置するD01の層準は、上述のように珪藻化石層序の*C. sawamurae*帯(NPD2B帯)に対比可能である。この化石帯は下限が*C. sawamurae*の初産出によって、上限が*C. kanayae*の初産出によって規定される(Gladenkov and Barron, 1995)。Watanabe and Yanagisawa(2005)は北東太平洋のODP Site 887において、*C. sawamurae*の初産出層準がクロンC5Enに対応する正極性区間最上部(約18.1 Ma)にあり、*C. kanayae*の初産出層準がクロンC5Crに対応する逆極性区間の中ほど(約17.0 Ma)にあることを確認した(Fig. 1)。つまりD01とD02の年代は珪藻化石層序の観点からは約18.1~17.0 Maの期間に入ることになる。この珪藻化石年代は2004年版と2012年版のどちらを採用した場合でもN.7帯/N.8帯境界年代と矛盾しない(Fig. 1)。

3. N.7帯/N.8帯境界と地磁気極性年代尺度の対応関係

Hayashida and Ito(1984)は大井層三ヶ野部層と片田層の磁気極性層序を検討し、下位から上位に向かって逆極性卓越(三ヶ野部層下部)→正極性卓越(三ヶ野部層上部)→逆極性卓越(片田層)という極性層序を報告した(Fig. 8)。そして伊東(1982)の浮遊性有孔虫化石と珪藻化石のデータを踏まえ

て正極性卓越部が地磁気異常5Cに対応すると解釈した。地磁気異常5C(クロンC5Cn)の年代は2004年版も2012年版も16.721~15.974 Maなので(2012年版において前期中新世のクロン数値年代は2004年版からそのまま引き継がれている)、Hayashida and Ito(1984)の解釈に従うと、三ヶ野部層下部の逆極性卓越部と片田層の逆極性卓越部はそれぞれクロンC5Cr(17.235~16.721 Ma)とC5Br(15.974~15.160 Ma)の地層になる。つまり三ヶ野部層と片田層の堆積年代は約17.2 Maから15.2 Maまでの約200万年間のどこか、ということになる。ここで注目したいのは、クロンC5Cn/C5Br境界に対応する磁気極性境界が三ヶ野部層と片田層の岩相層序境界付近に推定されることである(Hayashida and Ito, 1984)。

今回の検討によって、長野川セクションではN.7帯/N.8帯境界が大井層/片田層境界の約19m下位にあることが判明した。磁気極性層序に関するHayashida and Ito(1984)の解釈と今回明らかになったN.7帯/N.8帯境界層準を組み合わせると、N.7帯/N.8帯境界年代はクロンC5Cn中に対応づけられることになる(Fig. 8)。2004年版および2012年版と見比べると、この対応関係は後者と調和的である(Fig. 1)。Fig. 8に示すように、先行研究の浮遊性有孔虫データ(伊東, 1982; Yoshida, 1991)を使っても同様の知見が得られるが、今回の調査によってN.7帯/N.8帯境界層位を数10cmという精度で決定することができた。

次に取り組むべき調査は、今回検討した長野川セクションの磁気極性層序を詳細に明らかにすることである。Hayashida and Ito(1984)には試料採取地点が明記されていないため、彼らの磁気極性層序と今回明らかになった浮遊性有孔虫層序および珪藻層序の対応関係(Fig. 8)には無視できない程度の(数10mあるいはそれ以上に達する?)ずれが生じている可能性がある。また、Hayashida and Ito(1984)の研究から30年以上が経過し、その間に古地磁気学の調査方法

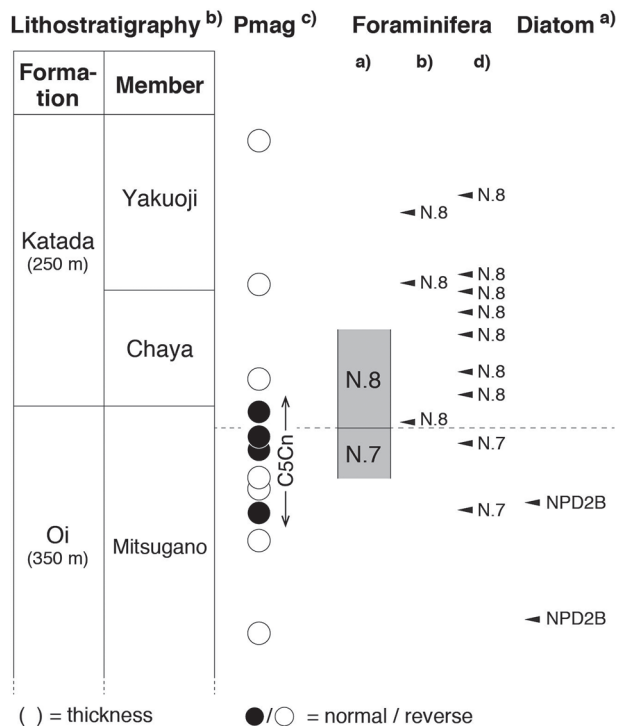


Fig. 8. Integration of magnetostratigraphic (Pmag) and biostratigraphic data from the upper part of the Ichishi Group (Mitsugano, Chaya, and Yakuoji members). Data are from: a) this study, b) Ito (1982), c) Hayashida and Ito (1984), and d) Yoshida (1991). The normal-polarity-dominated magnetozones present in the upper Mitsugano Member was interpreted by Hayashida and Ito (1984) to correspond to Chron C5Cn (anomaly 5C in their paper).

にも段階消磁データの主成分解析の普及などいくつかの進展があった。今回判明した N.7 帯/N.8 帯境界層準と磁気極性層準との対応関係を高精度で議論するために、現代的な方法による長野川セクションに対する磁気層準の検討が必要である。また、N.7 帯/N.8 帯境界付近に挟在する凝灰岩の高精度放射年代測定も重要と考えられる。今回示唆されたように 2012 年版が正しいならば、この凝灰岩は 16.4 Ma 前後の年代を示すと予想される。

ま と め

一志層群の長野川セクション(大井層三ヶ野部層上部～片田層茶屋部層)の試料から得られた浮遊性有孔虫化石群集は亜熱帯的な性質を持つ。本セクションの堆積物は浮遊性有孔虫化石層準の N.7 帯～N.8 帯下部に対比可能であり、これは基本的に Yoshida (1991) の結果と一致する。本セクションにおいて N.7 帯/N.8 帯境界は大井層/片田層境界の約 19 m 下位に位置する。N.7 帯/N.8 帯境界の約 82 m 下位および約 180 m 下位の層準(いずれも三ヶ野部層上部に含まれる)は珪藻化石層準の *Crucidentricula sawamurae* 帯 (NPD2B) に対比される。

謝 辞

北川秀久氏(元名古屋市小中学校教員)には三重大学卒業研究で作成されたプレパラートの検鏡とそれによって得られたデータの公表を許諾していただいた。堀井 毅氏(三重県津建設事務所)には津市片田地区の国道バイパス工事現場における地質調査と試料採取の際に便宜を図っていただいた。横井 大作氏(愛知県立熱田高等学校)には有孔虫の処理法についてご指導いただいた。中川良平氏と津村善博氏(いずれも三重県総合博物館)には走査型電子顕微鏡の利用でお世話になった。廣木義久氏(大阪教育大学)には一志層群の層序について議論していただいた。吉田史郎氏(元地質調査所)には一志層群の微化石試料採取位置についてご教示いただいた。長谷川 四郎氏(元熊本大学)と匿名査読者、および担当編集委員の山崎 誠氏(秋田大学)からいただいたコメントによって本論文は大きく改善された。本研究の一部には JSPS 科研費 (26400488, 17K05680) を使用した。以上の方々と関係機関に感謝します。

文 献

- Abdul Aziz, H., Di Stefano, A., Foresi, L. M., Hilgen, F. J., Iaccarino, S. M., Kuiper, K. F.,...Turco, E., 2008, Integrated stratigraphy and ⁴⁰Ar/³⁹Ar chronology of early Middle Miocene sediments from DSDP Leg 42A, Site 372 (Western Mediterranean). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **257**, 123–138.
- Anthonissen, D. E. and Ogg, J. G., 2012, Cenozoic and Cretaceous biochronology of planktonic foraminifera and calcareous nannofossils. In Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Schmitz, M. D. and Ogg, G. M., eds., *The Geologic Time Scale 2012*. Elsevier, Amsterdam, 1083–1127.
- Barker, P. F., Carlson, R. L., Johnson, D. A., Čepec, P., Coulbourn, W., Gamboa, L. A.,...Walton, W. H., 1983, Site 516: Rio Grande Rise. In Barker, P. F., Carlson, R. L. and Johnson, D. A., eds., *Init. Rep. DSDP*, **72**, U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C., 155–338.
- Berggren, W. A., Aubry, M. P. and Hamilton, N., 1983, Neogene magnetobiostratigraphy of Deep Sea Drilling Project Site 516 (Rio Grande Rise, South Atlantic). In Barker, P. F., Carlson, R. L. and Johnson, D. A., eds., *Init. Rep. DSDP*, **72**, U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C., 675–713.
- Berggren, W. A., Kent, D. V., Swisher, C. C. and Aubry, M. P., 1995, A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. In Berggren, W. A., Kent, D. V., Aubry, M. P. and Hardenbol, J., eds., *Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic Correlation, SEPM Spec. Publ.* **54**, SEPM, Tulsa, 129–212.
- Berggren, W. A., Kent, D. V. and Van Couvering, J. A., 1985, The Neogene: Part 2, Neogene geochronology and chronostratigraphy. *Geol. Soc., London, Mem.*, **10**, 211–260.
- Blow, W. H., 1969, Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. In Brönniman, P. and Renz, H. H., eds., *Proceedings of the First International Conference on Planktonic Microfossils, Geneva, 1967*, **1**, E. J. Brill, Leiden, 199–422.
- Bougault, H., Cande, S. C., Brannon, J. C., Christie, D. M., Clark, M., Curtis, D. M.,...Whalen, E., 1985, Site 563. In Bougault, H., Cande, S. C., Brannon, J. C., Christie, D. M., Clark, M., Curtis, D. M.,...Weaver, B. L., eds., *Init. Rep. DSDP*, **82**, U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C., 279–323.

- Cande, S. C. and Kent, D. V. 1995, Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Jour. Geophys. Res.*, **100**, 6093–6095.
- Curry, W. B., Shackleton, N. J., Richter, C., Backman, J. E., Bassinot, F., Bickert, T.,...Zachos, J. C., 1995, *Proc. ODP, Initial Rep.*, **154**, ODP, College Station, TX, 442p.
- Di Stefano, A., Verducci, M., Cascella, A. and Iaccarino, S. M., 2011, Calcareous plankton events at the Early/Middle Miocene transition of DSDP Hole 608: comparison with Mediterranean successions for the definition of the Langhian GSSP. *Stratigraphy*, **8**, 145–161.
- Expedition 320/321 Scientists, 2010a, Site U1337. In Pälike, H., Lyle, M., Nishi, H., Raffi, I., Gamage, K., Klaus, A. and the Expedition 320/321 Scientists, *Proc. IODP, 320/321*, IODP Manag. Int. Inc., Tokyo, doi: 10.2204/iodp.proc.320321.109.2010.
- Expedition 320/321 Scientists, 2010b, Site U1338. In Pälike, H., Lyle, M., Nishi, H., Raffi, I., Gamage, K., Klaus, A. and the Expedition 320/321 Scientists, *Proc. IODP, 320/321*, IODP Manag. Int. Inc., Tokyo, doi: 10.2204/iodp.proc.320321.110.2010.
- Foresi, L. M., Iaccarino, S. M. and Salvatorini, G., 2002, *Neogloboquadrina atlantica praeatlantica*, new subspecies from late Middle Miocene. *Rev. It. Paleont. Strat.*, **108**, 325–336.
- 藤原祐希・入月俊明・林 広樹・田中裕一郎・渡辺真由子・清水謙二郎 (Fujiwara, Y., Irizuki, T., Hayashi, H., Tanaka, Y., Watanabe, M. and Shimizu, K.), 2005, 三重県伊賀市東部に分布する中新統阿波層群の層序と年代 (Stratigraphy and age of the Miocene Awa Group, eastern Iga City, Mie Prefecture, central Japan). *地質雑 (Jour. Geol. Soc. Japan)*, **111**, 779–791.
- Gladenkov, A. Y. and Barron, J. A., 1995, Oligocene and early middle Miocene diatom biostratigraphy of Hole 884B. In Rea, D. K., Basov, I. A., Scholl, D. W. and Allan, J. F., eds., *Proc. ODP, Sci. Res.*, **145**, ODP, College Station, TX, 21–41.
- Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Schmitz, M. D. and Ogg, G. M., eds., 2012, *The Geologic Time Scale 2012*. Elsevier, Amsterdam, 1144p.
- Gradstein, F. M., Ogg, J. G. and Smith, A. G., eds., 2004, *A Geologic Time Scale 2004*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 589p.
- 林 広樹・橋野慎平・野村律夫・田中裕一郎 (Hayashi, H., Hashino, S., Nomura, R. and Tanaka, Y.), 2013, 島根県大田市の模式地における中新統久利層の生層序 (Biostratigraphy of the Miocene Kuri Formation at the type locality in Oda City, Shimane Prefecture, southwestern Honshu, Japan). *地質雑 (Jour. Geol. Soc. Japan)*, **119**, 300–311.
- 林 広樹・高橋雅紀 (Hayashi, H. and Takahashi, M.), 2000, 栃木県烏山地域中新統荒川層群中部の浮遊性有孔虫生層序 (Planktonic foraminiferal biostratigraphy of the middle part of the Miocene Arakawa Group in the Karasuyama area, Tochigi Prefecture, central Japan). *地質雑 (Jour. Geol. Soc. Japan)*, **106**, 689–702.
- Hayashida, A. and Ito, Y., 1984, Paleoposition of Southwest Japan at 16 Ma: Implication from paleomagnetism of the Miocene Ichishi Group. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **68**, 335–342.
- Hilgen, F. J., Lourens, L. J. and Van Dam, J. A., 2012, Chapter 29: The Neogene Period. In Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Schmitz, M. D. and Ogg, G. M., eds., *The Geologic Time Scale 2012*. Elsevier, Amsterdam, 923–978.
- Hiroki, Y., 1995, Sea-level changes in the Early to early Middle Miocene series, central Honshu, Japan. *Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Sect. II*, **22**, 251–284.
- Ibaraki, M., Tsuchi, R. and Idota, K., 1984, Early Miocene Planktonic Foraminifera from the Morozaki Group in Chita Peninsula, Central Japan. *Rep. Fac. Sci., Shizuoka Univ.*, **18**, 161–171.
- 伊東佳彦 (Ito, Y.), 1982, 一志層群の微化石について (On the microfossils of the Miocene Ichishi Group, Southwest Japan). *大阪微化石研誌 (News Osaka Micropaleontol.)*, **9**, 1–10.
- 糸魚川淳二・柴田 博 (Itoigawa, J. and Shibata, H.), 1973, 古環境の変遷と対比：瀬戸内区中新統の場合 (Paleoenvironmental change and correlation based on molluscan assemblages). *地質学論集 (Mem. Geol. Soc. Japan)*, **8**, 125–135.
- 糸魚川淳二・柴田 博 (Itoigawa, J. and Shibata, H.), 1992, 瀬戸内区の中新生古地理 (改訂版) (Miocene paleogeography of the Setouchi Geologic Province, Japan: a revision). *瑞浪市化石博研報 (Bull. Mizunami Fossil Mus.)*, **19**, 1–12.
- Kemle von Mücke, S. and Hemleben, C., 1999, Foraminifera. In Boltovskoy, D. ed., *South Atlantic Zooplankton*. Backhuys Publ., Leiden, 43–73.
- Kennett, J. P., Keller, G. and Srinivasan, M. S., 1985, Miocene planktonic foraminiferal biogeography and paleoceanographic development of the Indo-Pacific region. *Geol. Soc. Am. Mem.*, **163**, 197–236.
- Kennett, J. P., and Srinivasan, M. S., 1983, *Neogene Planktonic Foraminifera: A Phylogenetic Atlas*. Hutchinson Ross, Stroudsburg, 265p.
- Khan, M. J., Kent, D. V. and Miller, K. G., 1985, Magnetostratigraphy of Oligocene to Pleistocene sediments, Sites 558 and 563. In Bougault, H., Cande, S. C., Brannon, J. C., Christie, D. M., Clark, M., Curtis, D. M.,...Weaver, B. L., eds., *Init. Rep. DSDP, 82*, U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C., 385–392.
- Laskar, J., Joutel, F. and Boudin, F., 1993, Orbital, precessional, and insolation quantities for the Earth from –20 Myr to +10 Myr. *Astron. Astrophys.*, **270**, 522–533.
- Laskar, J., Robutel, P., Joutel, F., Gastineau, M., Correia, A. C. M. and Levrard, B., 2004, A long-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth. *Astron. Astrophys.*, **428**, 261–285.
- Lourens, L., Hilgen, F., Shackleton, N. J., Laskar, J. and Wilson, J., 2004, Appendix 2: Orbital tuning calibrations and conversions for the Neogene Period. In Gradstein, F. M., Ogg, J. G. and Smith, A. G., eds., *A Geologic Time Scale 2004*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 469–484.
- Ogg, J. G., Ogg, G. and Gradstein, F. M., 2016, *A Concise Geologic Time Scale 2016*. Elsevier, Oxford, 234p.
- Pearson, P. N. and Chaisson, W. P., 1997, Late Paleocene to middle Miocene planktonic foraminifer biostratigraphy of the Ceara Rise. In Shackleton, N. J., Curry, W. B., Richter, C. and Bralower, T. J., eds., *Proc. ODP, Sci. Res.*, **154**, ODP, College Station, TX, 33–68.
- Shackleton, N. J. and Crowhurst, S., 1997, Sediment fluxes based on an orbitally tuned time scale 5 Ma to 14 Ma, Site 926. In Shackleton, N. J., Curry, W. B., Richter, C. and Bralower, T. J., eds., *Proc. ODP, Sci. Res.*, **154**, ODP, College Station, TX, 69–82.
- Shackleton, N. J., Crowhurst, S. J., Weedon, G. P. and Laskar, J., 1999, Astronomical calibration of Oligocene–Miocene time. *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A (Math. Phys. Eng. Sci.)*, **357**, 1907–1929.
- 柴田 博 (Shibata, H.), 1967, 三重県中部の中新統一志層群 (Geology of the Miocene Ichishi Group). *地質雑 (Jour. Geol. Soc. Japan)*, **73**, 37–346.
- Shibata, H., 1970, Molluscan faunas of the First Setouchi Series, Southwest Japan: Part 1. Fauna of the Ichishi Group. *Jour. Earth Sci., Nagoya Univ.*, **18**, 27–84.
- 柴田 博・石垣武久 (Shibata, H. and Ishigaki, T.), 1981, 中部地方の新生界における異足類・翼足類生層序 (Heteropodous and pteropodous biostratigraphy of Cenozoic strata of Chubu Province, Japan). *瑞浪市化石博研報 (Bull. Mizunami Fossil Mus.)*, **8**, 55–70.
- 柴田 博・糸魚川淳二 (Shibata, H. and Itoigawa, J.), 1980, 瀬戸内

- 区の中新世古地理(Miocene paleogeography of the Setouchi Province, Japan). 瑞浪市化石博研報(*Bull. Mizunami Fossil Mus.*), **7**, 1–49.
- Sprovieri, R., Bonomo, S., Caruso, A., Di Stefano, A., Di Stefano, E., Foresi, L. M.,...Salvatorini, G., 2002, An integrated calcareous plankton biostratigraphic scheme and biochronology for the Mediterranean Middle Miocene. *Riv. It. Paleont. Strat.*, **108**, 337–353.
- 高橋雅紀(Takahashi, M.), 1995, 地層の年代をいかに知るか: 現状と課題(How to know the geologic age: recent progress and its problems). 地質ニュース(*Chishitsu News*), **495**, 40–46.
- 高柳洋吉編(Takayanagi Y., ed.), 1978, 微化石研究マニュアル(*Manual of Micropaleontological Study*). 朝倉書店(Asakura Publ.), 161p.
- Wade, B. S., Pearson, P. N., Berggren, W. A. and Pälike, H., 2011, Review and revision of Cenozoic tropical planktonic foraminiferal biostratigraphy and calibration to the geomagnetic polarity and astronomical time scale. *Earth-Sci. Rev.*, **104**, 111–142.
- Watanabe, M. and Yanagisawa, Y., 2005, Refined Early to Middle Miocene diatom biochronology for the middle- to high-latitude North Pacific. *Isl. Arc*, **14**, 91–101.
- Weedon, G. P., Shackleton, N. J. and Pearson, P. N., 1997, The Oligocene time scale and cyclostratigraphy on the Ceara Rise, western equatorial Atlantic. In Shackleton, N. J., Curry, W. B., Richter, C. and Bralower, T. J., eds., *Proc. ODP, Sci. Res.*, **154**, ODP, College Station, TX, 101–114.
- Winter, C. J. and Pearson, P. N., 2001, Coiling directions in some Miocene planktonic foraminifera. *Jour. Micropaleont.*, **20**, 29–30.
- Wright, J. D. and Thunell, R. C., 1988, Neogene planktonic foraminiferal biogeography and paleoceanography of the Indian Ocean. *Micropaleontology*, **34**, 193–216.
- 柳沢幸夫(Yanagisawa, Y.), 2003, 栃木県烏山地域に分布する中新統荒川層群上部の珪藻化石: その1. 珪藻化石層序(Miocene diatoms of the upper part of the Arakawa Group distributed in the Karasuyama area, Tochigi Prefecture, central Japan: Part 1. Diatom biostratigraphy). 地調研報(*Bull. Geol. Surv. Japan*), **54**, 1–13.
- Yanagisawa, Y. and Akiba, F., 1998, Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **104**, 395–414.
- 柳沢幸夫・高橋雅紀(Yanagisawa, Y. and Takahashi, M.), 2008, 1.4.2 複合年代尺度(Integrated geologic time scale). 日本地質学会編(Geol. Soc. Japan, ed.), 日本地方地質誌3 関東地方(*Regional Geology of Japan, Vol. 3, Kanto Region*). 朝倉書店(Asakura Publ.), 20–26.
- 柳沢幸夫・渡辺真人(Yanagisawa, Y. and Watanabe, M.), 2017, 大佐渡地域南部に分布する新第三系の海生珪藻化石層序(Marine diatom biostratigraphy of the Neogene sequence in the southern part of the Osado Mountain area, Sado Island, Niigata Prefecture, Japan). 地調研報(*Bull. Geol. Surv. Japan*), **68**, 287–339.
- Yoshida, F., 1991, Planktonic foraminifera from the Ichishi, Fujiwara, and Morozaki Groups in the eastern Setouchi geologic province, central Japan. *Bull. Mizunami Fossil Mus.*, **18**, 19–32.
- 吉田史郎・高橋裕平・西岡芳晴(Yoshida, F., Takahashi, Y. and Nishioka, Y.), 1995, 津西部地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)(*Geology of the Tsu-Seibu District with Geological Sheet Map at 1: 50000*), 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 136p.

以下の Appendix は、オープンファイルとして学会ホームページ上で公開しています。 <<http://www.geosociety.jp/publication/content0006.html>>

Appendix 1. Map showing sample localities. Base map is a topographic map downloaded from the Geospatial Information Authority of Japan (GSI; <http://www.gsi.go.jp>).

(著者プロフィール)

大信田彦磨 愛知県立海翔高等学校。専門は地質学および微古生物学(特に浮遊性有孔虫)。地質調査, 試料採取, 微化石処理, 浮遊性有孔虫の同定, 結果の解釈, 総括, 原稿執筆を担当。本論文は大信田の愛知教育大学教育教員養成課程卒業研究および同大学大学院教育学研究科修士研究の成果を基礎にしている。E-mail: oshidas2110433@gmail.com

林 広樹 島根大学学術研究院環境システム科学系。専門は地質学および微古生物学(特に有孔虫)。浮遊性有孔虫の同定(指導と確認), 結果の解釈, 総括, 原稿執筆を担当。E-mail: hayashi@riko.shimane-u.ac.jp

柳沢幸夫 産業技術総合研究所地質情報研究部門。専門は地質学および微古生物学(特に珪藻)。珪藻の同定, 結果の解釈, 原稿執筆を担当。E-mail: y.yanagisawa@aist.go.jp

栗原行人 三重大学教育学部。専門は地質学および古生物学(特に貝類)。地質調査, 試料採取, 原稿執筆を担当。E-mail: ykurihara@edu.mie-u.ac.jp

星 博幸 愛知教育大学自然科学系。専門は地質学および古地磁気学。研究デザイン, 地質調査, 試料採取, 結果の解釈, 総括, 原稿執筆を担当。E-mail: hoshi@auecc.aichi-edu.ac.jp

(要 旨)

大信田彦磨・林 広樹・柳沢幸夫・栗原行人・星 博幸, 2018, 三重県に分布する中新統一志層群上部の浮遊性有孔虫・珪藻化石層序. 地質雑, **124**, 919–933. (Oshida, H., Hayashi, H., Yanagisawa, Y., Kurihara, Y. and Hoshi, H., 2018, Planktonic foraminiferal and diatom biostratigraphy of the upper part of the Miocene Ichishi Group in Mie Prefecture, central Honshu, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **124**, 919–933.)

筆者らは三重県に分布する中新統一志層群の上部について浮遊性有孔虫・珪藻化石層序を検討した。大井層三ヶ野部層上部と片田層茶屋部層から得られた浮遊性有孔虫化石群集は亜熱帯的な性質を持ち、それらは今回調査した堆積岩セクションが浮遊性有孔虫化石層序の N.7 帯～N.8 帯下部に対比されることを示す。今回調査したセクションにおいて、N.7 帯/N.8 帯境界は大井層/片田層境界の約 19 m 下位に位置することが判明した。N.7 帯/N.8 帯境界より下位の三ヶ野部層上部は珪藻化石層序の *Crucidenticula sawamurae* 帯 (NPD2B 帯) に対比可能である。今後、N.7 帯/N.8 帯境界と磁気極性層序との対応関係およびその境界年代を今回調査したセクションで解明できる可能性があり、それが解明されれば 17～15 Ma の古地磁気-微化石年代尺度の精度と確度が向上すると期待される。

科学論文では、学説の検証可能性を保証することが重要です。そのため、地質学雑誌掲載論文には、重要な証拠となった試料がどこで得られたかを示しているものがあります。言うまでもないことですが、見学や採取を行う場合、各自の責任において地権者や関係官庁への連絡と許可の取得の必要があることにご注意下さい。詳しくは、以下のサイトをご覧ください。

<http://www.geosociety.jp/publication/content0073.html>