

瑞浪市化石博物館研究報告 第 50 巻, 第 1 号, 97–128, 12 figs., 2 pls., 11 tables.

Bulletin of the Mizunami Fossil Museum, vol. 50, no. 1, 97–128, 12 figs., 2 pls., 11 tables.

© 2023, Mizunami Fossil Museum

Manuscript accepted on November 8, 2023; online published on December 22, 2023

<http://zoobank.org/urn:lsid:zoobank.org:pub:177B3811-DA13-4453-B495-ADD7AFB9BB8C>

沖縄本島東部宮城島周辺に分布する鮮新統・更新統の 石灰質微化石層序と古海洋環境の再検討

花方 聡¹⁾・平松 力²⁾

1) 〒010-0834 秋田県秋田市旭川南町 15-21

2) 千葉県八街市

Reassessing calcareous microfossil biostratigraphy and their paleoceanographic implications for Plio-Pleistocene formations in Miyagi-jima and adjacent islands, east of Okinawa-jima

Satoshi Hanagata¹⁾ and Chikara Hiramatsu²⁾

1) 15-21 Asahikawaminami-machi, Akita City, Akita 010-0834, Japan

< hanagata@ab.auone-net.jp >

2) Yachimata City, Chiba, Japan

Abstract

Planktonic foraminiferal zones PL4 and PL5 were correlated to the siltstone facies of the Shimajiri Group distributed in Miyagi-jima and adjacent islands, east of Okinawa-jima. The base of the Chinen Formation has yielded Pleistocene CN13b calcareous nannofossils and N22 planktonic foraminiferal zones.

The Yonabaru and Shinzato formations in southern Okinawa-jima are demarcated by a distinct tuff bed near the base of Zone PL5 defined by the last occurrence of *Dentoglobigerina altispira*. However, this boundary key bed is absent in Miyagi-jima and adjacent islands, likely due to limited channel-fill sediment distribution. Neogene deposits of Okinawa-jima and Miyagi-jima have incorrectly been correlated with each other in previous studies, and should be merged into the Shimajiri Formation as their lithofacies are indistinguishable.

An analysis of planktonic foraminiferal assemblages suggests seawater cooling after the mid-Pliocene warm period or intensification of upwelling due to the enhanced Asian monsoon during PL5.

Key words: Calcareous nannofossil, Foraminifera, Okinawa, Pleistocene, Pliocene, Shimajiri Group

1. はじめに

沖縄本島東部勝連半島と海中道路でつながる宮城島および隣接する島々 (Fig. 1) には 1991 年当時、農地開発に伴い多くの鮮新統及び更新統

の露頭が現れ、古生物の研究に適した環境が存在した。そこで、第一著者は浮遊性有孔虫化石層序に基づき沖縄本島に分布する地層との対比を行い、地域地質を明らかにするとともに、浮遊性有孔虫化石群集に基づき古環境の推定を行った (花方, 2004)。

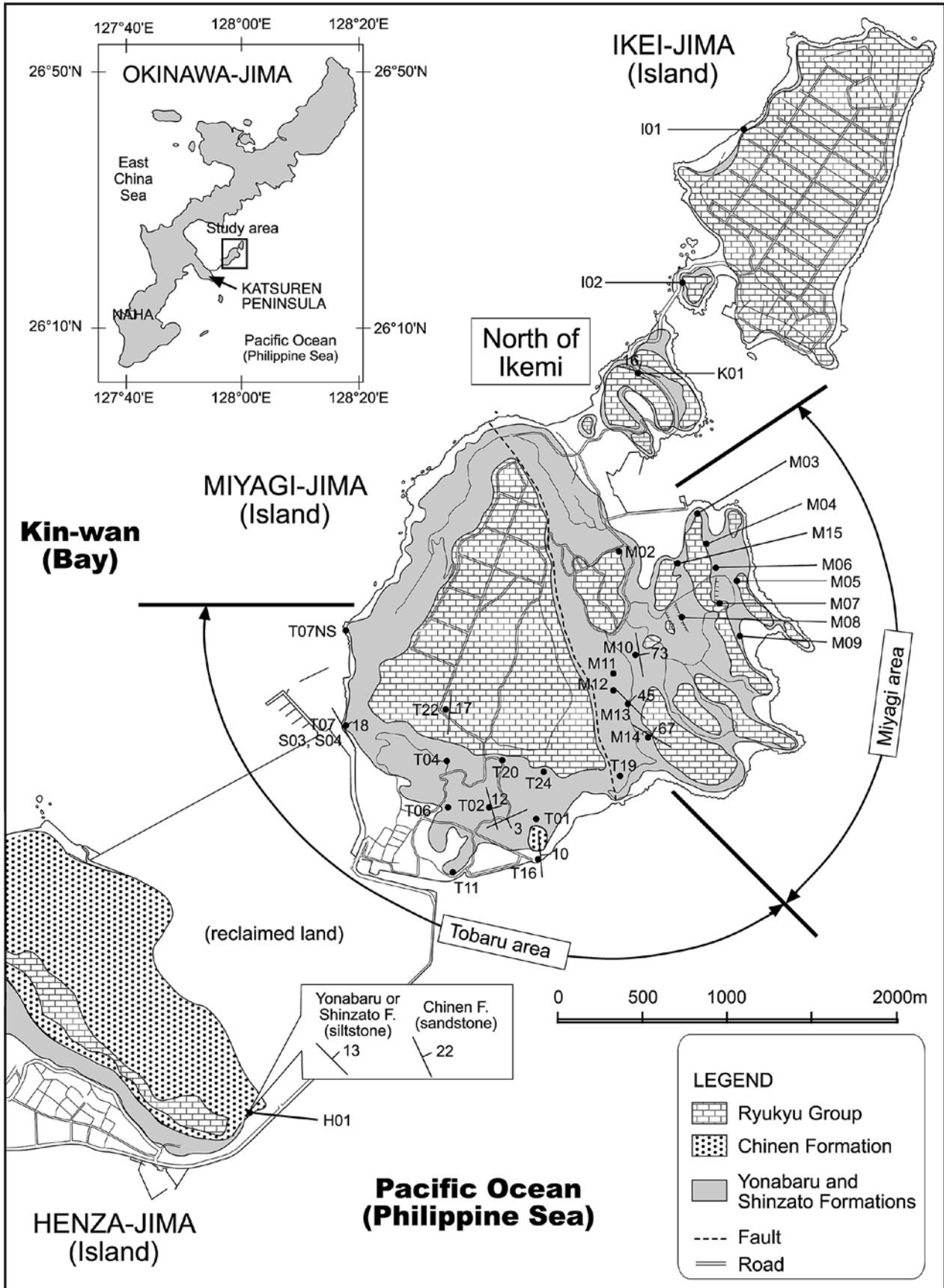


Fig. 1. 研究地域の地質図および試料採取位置.

Fig. 1. Index and geologic map of the study area, including sampling locations.

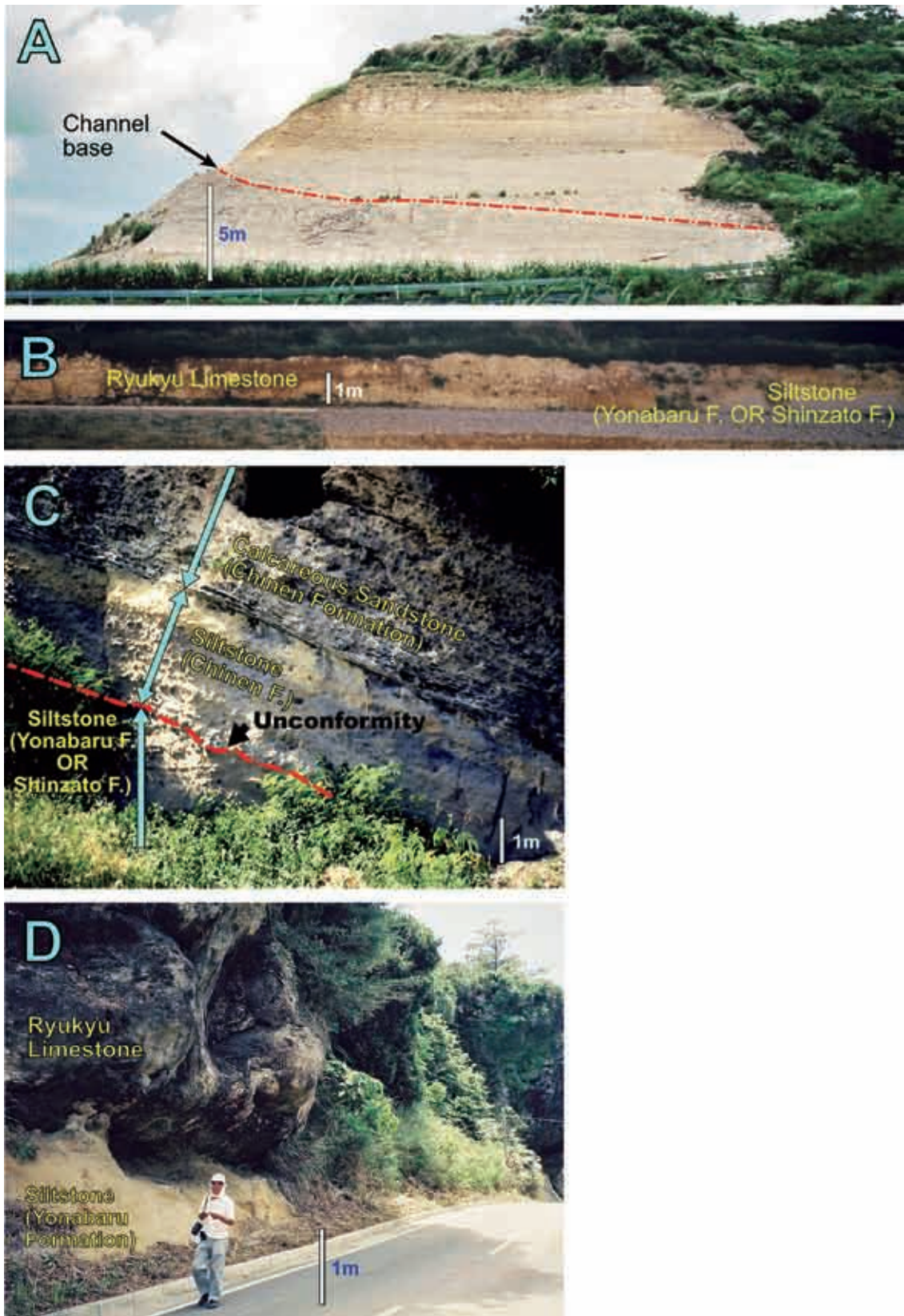


Fig. 2. 露頭写真.

Fig. 2. A, Miyagi-jima (location T02). Channel structure observed in the Yonabaru Formation. B, Miyagi-jima (approximately 50m west of location T20). Contact between the Yonabaru Formation or Shinzato Formation (right) and the Ryukyu Limestone (left). C, Southern coast of Henza-jima (location H01). Clino-unconformity between the Yonabaru Formation or Shinzato Formation (below) and the Chinen Formation (above). Same image as Plate 1A in Hanagata (2004). D, North of Ikemi (location K01). Contact between the Yonabaru Formation (below) and Ryukyu Limestone (above).

その結果, 宮城島では多くの研究者が南部の海岸付近にみられる凝灰岩層を沖縄本島の新里層基底部に存在する凝灰岩層に対比してきたが(名取・影山, 1987; 氏家, 1988), この凝灰岩層は浮遊性有孔虫化石層序からみると Ujiié(1985)の定義による PL3 の中に存在し, 年代的には新里層よりも下位の与那原層に対比されることが判明した。一方, 宮城島周辺において与那原層と新里層の境界層準を岩相によって認定することはできず, 地質基準に照らすと不適切な表現であるが, 両層に対比される地層を「与那原-新里層」と呼んだ。

その後, 勝連半島の知念層及び琉球石灰岩を研究した千代延ほか(2009)は, 「花方(2004)は」(中略)「島尻層群, 知念層, 琉球層群の間に層位学的間隙が存在するとしたが(花方, 2005, Fig. 7), その証拠は示されていない」(引用は原文のまま)とし, 知念層が下位の与那原-新里層を斜めに削り込んでいる平安座島の露頭写真(花方, 2004 の Plate 1, fig. B)や, 地質図で各層の分布を示したことでは年代や化石帯の欠如を示すことができおらず不十分と見なしたようである。

今回, 延原尊美氏とロバート・G・ジェンキンス氏により, 宮城島西部で採取した 2 試料が新たに提供されたので, これらと合わせて, 2004 年に報告した浮遊性有孔虫化石の再同定を行うこととした。また, 同じ試料を用いて石灰質ナノ化石の分析を行い, 浮遊性有孔虫化石層序と組み合わせ, 近年追加された知見も加えて生層序の再検討を行った。さらに各浮遊性有孔虫種の生息環境に基づいて古海洋環境の推定を行ったので, 露頭写真など補足情報の公開と合わせて報告する。

なお, 本研究で同定した浮遊性有孔虫及び石灰質ナノプランクトン種の命名者及び記載年号は末尾の付録にまとめて記載することとし, 本論中では省略する。

2. 試料および方法

2.1 地質概要

宮城島に分布する島尻層群は, 主に石灰質シルト岩からなり, 頻繁に数十 cm 以下の白色軽石凝灰岩層や石灰質コンクリーションを挟む。中央部の層準には下位層を削り込むチャンネル構造が認められる(Fig. 2A)。島の南端部には知念層砂岩が分布している(Fig. 3)。琉球石灰岩は下位のシルト岩相と接して棚状に広く分布している(Fig. 2B)。

宮城島の中央部には南北に走る琉球石灰岩の段差で明瞭に認識される断層がある。断層の南西側の桃原地区に分布する島尻層群のシルト岩を

主体とした地層は, 走向が一定しないが, 大局的には東方向に 10 度程度の緩傾斜を示している。一方, 東側の宮城地区では東方向に 45 度を超える急傾斜を示す露頭が観察できるが, 琉球石灰岩が断層によって細かく分割され(大清水・井龍, 2002), 構造運動が下位の島尻層群シルト岩の構造にも影響しているとみられることから, 各露頭の上下関係を把握することは困難である。

平安座島の南岸の露頭では, 島尻層群の与那原層または新里層と知念層が接触する部分を観察することができた(Fig. 2C)。下位の島尻層群はシルト岩からなり, 北東に 13 度傾斜している。上位の知念層は北東に 22 度の傾斜を示し, 両層の境界は傾斜不整合になっている。知念層の下部約 2m は砂質シルト岩であり, その上位は石灰質砂岩である。上位の琉球石灰岩は平安座島の高所に棚状に分布し, 知念層と傾斜不整合で接している。この南岸露頭については, 中川ほか(2001)や大清水・井龍(2002), 松田ほか(2023)も石灰質ナノ化石層序について触れているが, 非公表資料や講演要旨に基づいているのでここでは採用しない。

宮城島北東部の池味集落の北の半島部(以下, 「池味北」と呼ぶ)から伊計島にかけて, 琉球石灰岩の下位にわずかにシルト岩が現れており, 桃原地区と同様に緩傾斜となっている(Fig. 2D)。

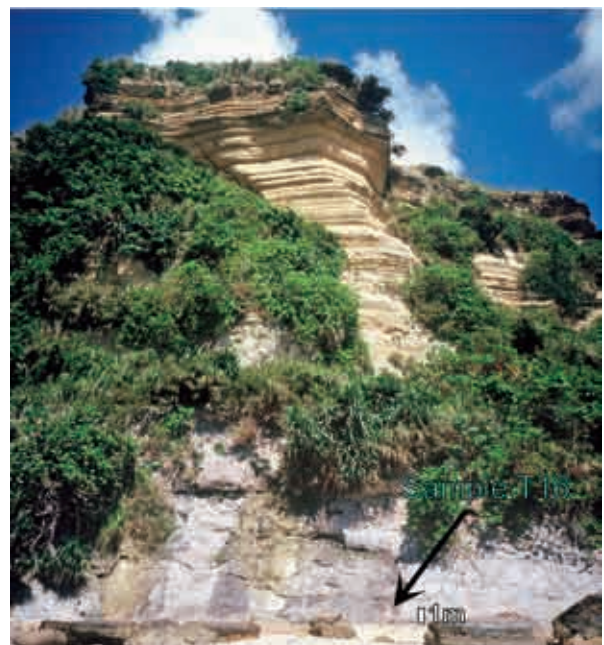


Fig. 3. 宮城島南東の知念層の露頭。

Fig. 3. Chinen Formation southeast of Miyagi-jima. Sample location T16, yielding *Truncorotalia truncatulinoides*.

Table 1. 桃原地区に産出した浮遊性有孔虫化石のリスト(再同定結果).

Table 1. Revised list of planktonic foraminifera from the Tobaru area, Miyagi-jima. Refer to the text for the author names in Tables 1-8.

Abbreviation of generic names in tables 1-4: *Berg* = *Berggrenia*, *Bol* = *Bolliella*, *Dent* = *Dentoglobigerina*, *Gna* = *Globigerina*, *Gnella* = *Globigerinella*, *Gnita* = *Globigerinita*, *Gnoides* = *Globigerinoides*, *Gconella* = *Globoconella*, *Grt* = *Globorotalia*, *Gsella* = *Globigerinoidesella*, *Gtaloides* = *Globorotaloides*, *Gtalita* = *Globoturborotalita*, *Lat* = *Laterostomella*, *Neogal* = *Neogallitellia*, *Nq* = *Neogloboquadrina*, *Orb* = *Orbulina*, *Pul* = *Pulleniatina*, *Sp* = *Sphaeroidinella*, *Ttella* = *Temuitella*, *Trt* = *Truncorotalia*, *Turb* = *Turborotalita*.

Tobaru area (Miyagi-jima)																						
Samples	T11YF	T07YF	T07a	S05	S04	T07NS	T06	T02b	T02Jb	T02a	T04	T22-3	T22m	T22-4	T20b	T01-1	T01-2	T01-3	T01-4	T01-5	T01-6	T16
<i>Berg pumilio</i>																1						
<i>Clavatorella sp.1</i>	2	2	3		3	1	1	2	4	9	1	2	3	3	8	25	10	15	3	36	24	6
<i>Dent altispira</i>			9				29	5		2	1		3		6							
<i>Gna bulloides</i>	4	4	12	9	4	134	2	5	2	9	3			10	1	4	4	3	6	4	6	13
<i>Gna falconensis</i>			1	2	3	169	3	2	2	2	6	2	1	5	1				8	6	5	6
<i>Gna foliata</i>	58	65	41	26	54	615	56	100	49	107	58	29	55	52	50	66	67	70	59	107	88	64
<i>Gna sp.1</i>			1							1										1	1	2
<i>Gna sp.2</i>	1	3	9	1	6	240		2	1	2		6		1			1	1	4	6	3	4
<i>Gnella obesa</i>						8								1						1		
<i>Gnella siphonifera</i>									1	1						2						
<i>Gnita glutinata</i>	36	63	30	21	47	262	24	61	29	58	40	39	25	49	47	58	54	51	37	77	49	67
<i>Gnita uvula</i>			1	2	6									1								1
<i>Gnoides conglobatus</i>			1	1	2	7	2	1	1	17	2	2	1						1		2	
<i>Gnoides extremus</i>		2	13	4	2	57	3	4	2	7	1	2	4	3			1		1	1	2	1
<i>Gnoides obliquus</i>													1								1	2
<i>Gnoides pyramidalis</i>			2	4	2		2	1	3	9	5	4	1	2	2	3	4		5	3	2	2
<i>Gnoides ruber</i>	34	31	43	71	33	362	58	127	54	145	33	42	44	91	48	18	35	9	55	68	32	50
<i>Gnoides succulifera</i>	17	12	22	14	5	100	40	58	34	89	5	11	23	47	10	5	9	1	18	13	10	11
<i>Gsella fistulosa</i>								3		1												
<i>Gconella cf. conoidea</i>						1										1			3			
<i>Gconella inflata</i>							3															
<i>Grt cultrata</i>	29	11	29	39	19	149	30	70	22	93	20	25	20	35	20	20	8	21	17	30	19	15
<i>Grt scitula</i>	1	4		1	2	1	3					1	2	1	4	6	2	1	1	6	2	14
<i>Grt tumida</i>	4		2			66	8	5	1	5	4	2	4	1			1	1	3	6	2	
<i>Gtaloides hexagonus</i>	14			2	3	17	3	4	10	12	10		5	2	11	3	8	12	4	3	6	5
<i>Gtaloides varabilis</i>						2																
<i>Gtalita decoraperta</i>	3	1	11	2	2	14	3	18	2	12	4	6	2	3	2		5	1	11		8	2
<i>Gtalita rubescens</i>	46	35	53	22	13	218	39	70	36	62	35	13	36	40	40	17	35	64	35	40	24	25
<i>Lat laeviora</i>							1															
<i>Neogal vivans</i>												1										
<i>Nq acostaensis</i>	4	2	3	4	11		3			4		3	11	3			1			2	3	4
<i>Nq blowi</i>	2	10	23		2	38	5	11		14		15		14			2	7	1	5	4	2
<i>Nq dutertrei</i>				4																		
<i>Nq humerosa</i>							1	1		1											1	
<i>Nq incompta</i>	4	26	37	10	30	75	4	31	7	15	10	8	11	17	6	5	11	6	4	16	5	8
<i>Nq pachyderma (right coiling)</i>			1											1								
<i>Nq praehumerosa</i>		2	2	2		4		6	4	10		2	2	4	1							
<i>Nq pseudopachyderma</i>			6			27	1	4	4	4	2	2	2			1	2		2	2	3	2
<i>Orb universa</i>	1		1			18	1	2	1				1		1			1	1	1	1	1
<i>Orb suturalis</i>						3		2	2													
<i>Pul obliquiloculata (right coiling)</i>		1	4			5	1		6			2		1					4	1		
<i>Pul obliquiloculata (left coiling)</i>						1														3		
<i>Pul okinawaensis (right coiling)</i>			2			1																
<i>Sp dehiscens</i>	2		2			27	4	5	7	3	3		3	3	3	1				3	1	1
<i>Ttella parkerae</i>						5	2	2	5			3			2	4	4	7	2	3	1	
<i>Trt crassaformis</i>	8	4	2	4		22	10	8	6	20	9	2	2		18	11	3	6	6	2	2	5
<i>Trt tenuitella</i>				3		2	6	5	1	7		2	2	1		3						
<i>Trt tosaensis</i>								1	5	2	2				1							4
<i>Trt truncatuloidea</i>																						1
<i>Trt viola</i>	4			2		4	3	8		5					2	2	4	6	7		5	10
<i>Turb humilis</i>	4	3	2		1		4	5	2	6	5			1	6	9	4	8	3	14	9	22
<i>Turb quinqueloba</i>	8	18	2	3	11		14	11	9	26	6	4	13	5	13	48	27	44	34	38	44	75
Miscellaneous	8	14	15	20	7	114	4	49	10	39	13	9	16	14	3	8	8	2	5	15	18	15
(genera and species indeteriminables)																						
Total of specimens examined	294	313	385	273	268	2,790	349	682	321	811	285	241	286	421	309	321	314	332	347	511	379	437
Diversity (Species Richness > 0.5%)	19	18	25	21	21	20	27	21	25	23	22	23	22	17	21	19	20	14	25	20	24	19
Diversity (1/Simpson's Index)	8.6	7.6	12.3	7.4	8.5	9.2	10.2	8.9	10.1	10.1	9.0	9.8	8.9	8.6	9.4	8.1	8.4	7.4	10.3	8.8	8.6	9.4
Diversity (H', Shannon-Wieners)	2.41	2.27	2.71	2.32	2.43	2.50	2.70	2.42	2.63	2.61	2.49	2.57	2.44	2.44	2.54	2.40	2.44	2.30	2.67	2.48	2.51	2.54
Distribution (Mixed-layer/Tropical&Subtropical)	58.8	46.6	48.8	54.2	44.4	57.0	60.5	57.2	61.4	57.2	54.4	48.5	61.2	57.4	55.3	35.2	51.9	47.6	57.1	47.7	47.2	38.7
Distribution (Mixed-layer/Transitional&Subpolar)	18.0	36.4	21.0	13.6	36.2	13.0	16.9	16.1	15.9	13.7	21.4	22.8	18.9	19.3	25.2	40.5	32.5	35.2	23.3	30.1	29.0	42.8
Distribution (Mixed-layer/unknown)	1.0	1.6	3.4	0.4	3.4	8.6	0.3	0.6	1.6	1.5	0.4	3.3	1.0	1.0	2.6	7.8	3.5	4.8	2.0	8.4	7.4	2.7
Distribution (Thermocline/Tropical&Subtropical)	18.0	9.6	17.9	20.1	11.9	11.5	18.9	16.7	14.3	20.5	14.4	19.9	11.9	16.4	15.2	11.2	7.6	10.8	13.0	9.6	9.2	7.8
Distribution (Thermocline/Transitional&Subpolar)	1.4	1.3	4.9	4.4	1.5	5.8	2.3	2.2	3.7	2.3	4.9	1.7	1.4	2.9	0.6	2.8	1.9	0.9	3.2	1.2	2.4	4.6
Distribution (Unknown)	2.7	4.5	3.9	7.3	2.6	4.1	1.1	7.2	3.1	4.8	4.6	3.7	5.6	3.3	1.0	2.5	2.5	0.6	1.4	2.9	4.7	3.4
Cluster	Ila	Ila	I	I	Ila	I	I	I	I	I	Ila	I	I	I	Ila	Ila	Ila	Ila	Ila	Ila	Ila	Ila
Sand Content (Weight-%)	24.1	16.7	3.2	-	-	1.9	17.0	7.1	11.7	13.8	11.5	27.6	5.5	28.6	11.6	8.3	14.0	4.3	2.9	8.2	12.3	7.6

2.2 浮遊性有孔虫化石

浮遊性有孔虫化石については 2004 年に報告した標本に加え, 今回追加した 2 試料(S04, S05) と合わせ 47 試料について再検討を行った. 追加試料の岩石処理については, 花方(2004)と同様

であり, 200 メッシュ(>75 µm) 上の水洗残渣を使用した.

群集の特徴を検討するため, 多様性指標として種数(SR: Species Richness), Simpson(1949)のλの逆数(SID = 1/λ)および Shannon-Wiener 指数

(H')を算定した. SR は対象とする個体数の多寡に影響されるので, 群集中で 0.5%以上を占める種の数として定義する.

$$SID = 1/\sum p_i^2 \quad (p_i \text{ は種 } i \text{ の個体数が, 群集の全個体数に占める割合})$$

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

また, 湧昇流の指標 (Upwelling Indicator) として *Globigerina bulloides*, *Globigerinita glutinata*, *Turborotalita quinqueloba*, および *Neogloboquadrina pachyderma* (Sautter and Thunell, 1991; Rasmussen et al., 2002; Mohtadi et al., 2009; Darling et al., 2017) の産出個体数割合の合計 (%) を算出し, 層序変化や多様性指標との関係について検討した.

さらに浮遊性有孔虫化石群集 (assemblage) のパーセンテージ・データに対して統計解析ソフトウェア R を用い Ward 法による Q モードクラスター解析を実施した. 解析結果から群集組成が共通したグループ (群集型; association) を認定し, 上記の指標と併せて古海洋環境の推定を行った.

なお, このような全体に対する比率 (%) による組成データの利用については, 片方が増えると残りが強制的に減少する定数和制約の問題があるとされている (太田・新井, 2006). しかしながら, 浮遊性有孔虫に限らず微化石群集に対しては実用性を評価して一般的に取り入れられている手法であり, 各浮遊性有孔虫種は水中環境を共有または棲み分けする関係にあることから, 問題を完全に排除することはできないとしても群集変化の意義を推定する上では有効であると考え.

参考資料として, 有孔虫化石の分析に用いた水洗残渣の重量を測定し, 乾燥岩石量 (100g) で除して含砂量 (Sand Content; 重量%) の指標とした.

2.3 石灰質ナノ化石

浮遊性有孔虫化石分析と同じ 50 試料 (浮遊性有孔虫化石が産出しなかった試料 T11Jb, T07Jb, T11Sfm を含む) を石灰質ナノ化石の分析に供した. 分析用スライドはスマアスライド法により作成し, 偏光顕微鏡下, 倍率 1,600 倍の条件で, ニコルと直交ニコルの双方で石灰質ナノ化石の検出と同定を行なった.

各スライドにつき, 石灰質ナノ化石が 100 個体に達することを目安に検鏡を実施し, 100 個体に達しない試料については数十個体となるように検鏡を行った. 極めて産出頻度が低い試料については, 検出された種について + (present) として産出表に記載するに留めた.

石灰質ナノ化石帯区分の定義は Okada and Bukry (1980), Perch-Nielsen (1985) および Young

(1998) に従い, 化石帯の表記には CN コードを用いる.

石灰質ナノ化石の産出頻度が極めて低い試料や保存状態が極めて悪い試料は化石帯の認定ができなかったため, NZ (not zoned) と記載した.

Table 2. 平安座島に産出した浮遊性有孔虫化石のリスト (再同定結果).

Table 2. Revised list of planktonic foraminifera from Henza-jima.

Henza-jima	Samples	H01S	H01C	H01C
			2	1
<i>Clavatorella</i> sp.1		11		
<i>Gna bulloides</i>		4	12	
<i>Gna falconensis</i>		8	4	
<i>Gna foliata</i>		91	27	39
<i>Gna</i> sp.1		1		
<i>Gna</i> sp.2		5		
<i>Gnella siphonifera</i>		1		
<i>Gnita glutinata</i>		72	18	16
<i>Gnita uvula</i>		1		
<i>Gnoides conglobatus</i>		3		1
<i>Gnoides pyramidalis</i>		8		
<i>Gnoides ruber</i>		93	72	68
<i>Gnoides succulifers</i>		12	35	32
<i>Grt cultrata</i>		28	5	20
<i>Grt scitula</i>		3		
<i>Grt tumida</i>		9	1	
<i>Gtaloides hexagonus</i>		1		
<i>Gtalita decoraperta</i>		10		
<i>Gtalita rubescens</i>		64	15	9
<i>Nq acostaensis</i>		1	4	9
<i>Nq blowi</i>		3		1
<i>Nq incompta</i>		9	7	49
<i>Nq praeheumerosa</i>		3	1	7
<i>Nq pseudopachyderma</i>		2	3	5
<i>Orb universa</i>		4		
<i>Pul obliquiloculata</i> (right coiling)		5	14	2
<i>Sp dehiscens</i>			1	
<i>Ttella parkerae</i>		8		
<i>Trt crassaformis</i>		2	28	7
<i>Trt tenuithecra</i>			2	
<i>Trt tosaensis</i>				4
<i>Trt truncatuliooides</i>			1	5
<i>Trt viola</i>		2	14	8
<i>Turb humilis</i>		8		
<i>Turb quinqueloba</i>		27		
Miscellaneous				
(genera and species indeterminables)		18	12	157
Total of specimens examined		517	276	439
Diversity (Species Richness > 0.5%)		23	16	14
Diversity (1/Simpson's Index)		8.7	7.7	7.5
Diversity (H', Shannon-Wieners)		2.51	2.33	1.76
Distribution				
(Mixed-layer/Tropical&Subtropical)		57.1	55.0	33.9
Distribution				
(Mixed-layer/Transitional&Subpolar)		24.8	9.0	14.8
Distribution				
(Mixed-layer/unknown)		3.3	0.0	0.0
Distribution				
(Thermocline/Tropical&Subtropical)		10.3	25.2	12.3
Distribution				
(Thermocline/Transitional&Subpolar)		1.2	6.5	3.2
Distribution (Unknown)		3.5	4.3	35.8
Cluster		IIa	I	-
Sand Content (Weight-%)		1.9	34.9	30.7

Table 3. 宮城地区に産出した浮遊性有孔虫化石のリスト(再同定結果).

Table 3. Revised list of planktonic foraminifera from the Miyagi area, Miyagi-jima.

Miyagi area (Miyagi-jima)	Samples	T19	M14	M12	M13	M11	M10	M02	M08	M15	M09	M07	M06	M04	M05	M03
<i>Clavatorella</i> sp.1		12	8	8	12	3	10	9	1	2	1	2	6			1
<i>Dent altispira</i>						1		1			3			31		
<i>Gna bulloides</i>		5	4	5	1	2	2	1	8	3		3		64		3
<i>Gna falconensis</i>		2	1	3	2	3	1			1	7	1		34	1	
<i>Gna foliata</i>		60	51	65	66	75	80	64	54	54	77	47	71	40	73	67
<i>Gna</i> sp.1		1	1				1							1		
<i>Gna</i> sp.2					2	1	1	5		1	3	2	3	54	4	3
<i>Gnella obesa</i>			2						2							
<i>Gnella siphonifera</i>			3					1		1						
<i>Gnita glutinata</i>		67	48	61	73	54	46	36	37	20	48	34	47	38	38	47
<i>Gnita uvula</i>												1	1	2		1
<i>Gnoides conglobatus</i>					1				1			1		5		
<i>Gnoides extremus</i>							1		1	1				23	2	
<i>Gnoides obliquus</i>							1							3		
<i>Gnoides pyramidalis</i>		1	3		2				4	2	2					1
<i>Gnoides ruber</i>		31	68	69	40	51	20	34	59	40	50	37	18	119	24	13
<i>Gnoides succulifers</i>		10	10	2	9	8	5	10	11	18	8	28	2	57	9	1
<i>Gconella</i> cf. <i>conoidea</i>						1										1
<i>Gconella inflata</i>			1	5		3			1				1			1
<i>Grt cultrata</i>		21	10	18	10	32	20	15	12	27	21	17	10	27	16	14
<i>Grt scitula</i>		1	1	2	1	4	2			3	2	1	3	1		
<i>Grt tumida</i>		1	2	1							1	6		28		
<i>Gtaloides hexagonus</i>		3	1	2	1	3	4	3	6		4	4	3	2	1	2
<i>Gtalita decoraperta</i>			1	1		3	1		1	1		1		7	1	1
<i>Gtalita rubescens</i>		30	36	21	33	23	39	50	38	16	32	43	15	25	31	39
<i>Nq acostaensis</i>		4			2	6	2	2	1	4	4	1		7		
<i>Nq blowi</i>			1	2					2		1	1		5	3	
<i>Nq humerosa</i>		1														
<i>Nq incompta</i>		7	5	8	12	8	6	14	3	26	19	11	13	36	17	10
<i>Nq praeumerosa</i>		2					1		1				1	1		
<i>Nq pseudopachyderma</i>			2						1	2		1		18		
<i>Orb universa</i>							1					2		7		
<i>Pul obliquiloculata</i> (right coiling)								1				2		9		
<i>Pul obliquiloculata</i> (left coiling)														1		
<i>Sp dehiscens</i>			4						1		2	5		8		
<i>Ttella parkerae</i>			1			1			1	2		1	1			2
<i>Trt crassaformis</i>		2		6	2	22		1	3	4	1	8		6	22	3
<i>Trt tenuitheca</i>			2	6	2		1	3	3	2	2		1			
<i>Trt tosaensis</i>					4							3				
<i>Trt viola</i>		5										2				1
<i>Turb humilis</i>		2	2			3	2						9		2	9
<i>Turb quinqueloba</i>		11	41	16	55	64	50	15	18	8	28	20	59	1	41	43
Miscellaneous (genera and species indeterminables)		10	16	11	8	9	7	6	17	105	20	8	5	21	7	2
Total of specimens examined		289	325	312	338	380	304	271	287	343	336	293	269	681	295	262
Diversity (Species Richness > 0.5%)		17	18	17	16	18	14	13	15	17	17	19	13	22	13	13
Diversity (1/Simpson's Index)		7.1	7.4	6.5	6.8	7.9	6.5	7.1	7.3	8.0	7.4	9.7	6.0	12.7	7.4	6.3
Diversity (H', Shannon-Wieners)		2.28	2.27	2.16	2.17	2.31	2.17	2.20	2.25	1.91	2.22	2.53	2.09	2.77	2.24	2.12
Distribution (Mixed-layer/Tropical&Subtropical)		47.4	54.2	52.2	45.6	43.7	50.3	59.8	61.7	39.1	53.6	56.0	40.5	47.3	48.5	46.9
Distribution (Mixed-layer/Transitional&Subpolar)		30.4	30.2	27.9	41.7	35.5	34.9	24.4	20.6	17.2	29.8	23.2	49.4	16.0	33.2	42.7
Distribution (Mixed-layer/unknown)		4.5	2.8	2.6	4.1	1.1	3.9	5.2	0.3	0.9	1.2	1.4	3.3	8.1	1.4	1.5
Distribution (Thermocline/Tropical&Subtropical)		12.5	5.2	8.7	4.1	15.8	7.6	7.0	7.0	10.2	8.9	14.3	4.1	13.5	13.9	6.9
Distribution (Thermocline/Transitional&Subpolar)		1.7	2.8	5.1	2.1	1.6	1.0	1.5	4.5	2.0	0.6	2.4	0.7	12.0	0.7	1.1
Distribution (Unknown)		3.5	4.9	3.5	2.4	2.4	2.3	2.2	5.9	30.6	6.0	2.7	1.9	3.1	2.4	0.8
Cluster		IIa	IIa	IIa	IIb	IIb	IIb	IIa	IIa	-	IIa	I	IIb	I	IIb	IIb
Sand Content (Weight-%)		3.4	8.2	47.9	11.3	7.1	5.3	32.5	80.4	16.6	29.4	76.9	13.2	8.9	39.8	13.6

試料あたりの産出頻度については、スライドの単位面積あたりに検出された個体数に応じて A (abundant), C (common), F (few), R (rare), VR (very rare) の 5 段階で評価し、化石の保存状態については、破損状態、溶解度、再結晶度の程度に基づき VG (very good), G (good), M (moderate), P (poor), VP (very poor) の 5 段階で評価した。

3. 結果

3.1 浮遊性有孔虫化石

浮遊性有孔虫化石は、sp. 1, sp. 2 などを含めて 22 属 53 種に同定または区分した (Tables 1-4)。2004 年の報告時は 18 属 41 種に区分していたので、今回はより細かく種を認定している。

保存状態は全般に良好であるが、一部の試料 (H01C1, M15, K01Cs, I02m, I02t) は石灰分の再結晶化が顕著であり、同定不能な標本が1割以上含まれている。試料 T07a は凝灰質砂岩であり、小さい個体は溶解して失われているように見受けられた。

特に同定できない標本が3割を超える 2 試料 (H01C1, M15) は、Qモードクラスター解析の対象から除いた。クラスター解析によって得られた樹状図 (Fig. 4) に基づき、群集を次の3つのクラスターに区分し、それぞれを特徴付ける構成種から群集型 (Association) を設定した。

Table 4. 池味北および伊計島に産出した浮遊性有孔虫化石のリスト (再同定結果)。

Table 4. Revised list of planktonic foraminifera from the north of the Ikemi area and Ikeijima.

North of Ikemi and Ikeijima							
Samples	K01Sf	K01tf	K01Cs	I02m	I02t	I01-1	I01-3
	m		s				
<i>Bol calida</i>				1			
<i>Clavatorella</i> sp.1	7	1				9	
<i>Dent altispira</i>	1	4	2	6	7		3
<i>Gna bulloides</i>		5	3				3
<i>Gna falconensis</i>	3		2	6	1		3
<i>Gna foliata</i>	44	21	50	79	23	67	24
<i>Gna</i> sp.2	5	6				1	3
<i>Gnella siphonifera</i>			1				
<i>Gnita glutinata</i>	73	30	13	14	5	119	9
<i>Gnita uvula</i>	1					2	
<i>Gnoides conglobatus</i>			2		9		
<i>Gnoides extremus</i>		2		6	1		16
<i>Gnoides obliquus</i>				1			1
<i>Gnoides pyramidalis</i>					2		3
<i>Gnoides ruber</i>	37	63	78	59	60	14	62
<i>Gnoides succulifera</i>	7	29	24	19	60	4	25
<i>Gconella</i> cf. <i>conoidea</i>		1					
<i>Gconella inflata</i>				1			3
<i>Grt cultrata</i>	21	25	49	29	34	7	27
<i>Grt scitula</i>	4		1				2
<i>Grt tumida</i>					1		1
<i>Gtaloides hexagonus</i>	7	2		2			
<i>Gtalita decoraperta</i>	1		2	1	1		
<i>Gtalita rubescens</i>	58	27	30	24	15	21	27
<i>Gtalita</i> cf. <i>woodi</i>							4
<i>Nq acostaensis</i>	7	2	2	8	3	1	7
<i>Nq blowi</i>			2	2			2
<i>Nq incompta</i>	7	11	5	13	16	16	14
<i>Nq praeumerosa</i>		2			4		3
<i>Nq pseudopachyderma</i>	4	3	3				3
<i>Pul obliquiloculata</i> (right coiling)	1	1		2			2
<i>Pul okinawaensis</i> (left coiling)							2
<i>Sp dehiscens</i>	1	2			5		2
<i>Tiella parkerae</i>						3	
<i>Trt crassaformis</i>	16	9	4	23	13	3	4
<i>Trt viola</i>			1				
<i>Turb humilis</i>	5						6
<i>Turb quinqueloba</i>	20	4					60
Miscellaneous (genera and species indeterminables)	18	16	38	48	37	13	3
Total of specimens examined	348	266	313	344	297	349	255
Diversity (Species Richness > 0.5%)	17	18	16	15	14	14	23
Diversity (1/Simpson's Index)	8.1	8.0	5.9	7.0	6.9	4.8	8.8
Diversity (H', Shannon-Wieners)	2.34	2.31	1.95	2.09	2.08	1.91	2.54
Distribution (Mixed-layer/Tropical&Subtropical)	45.1	54.1	60.6	57.6	57.9	30.4	63.1
Distribution (Mixed-layer/Transitional&Subpolar)	31.9	18.4	6.7	9.6	9.4	59.6	10.2
Distribution (Mixed-layer/unknown)	3.4	2.6	0.0	0.0	0.0	2.9	2.7
Distribution (Thermocline/Tropical&Subtropical)	13.2	15.4	18.6	18.6	20.2	3.4	19.2
Distribution (Thermocline/Transitional&Subpolar)	1.1	3.4	1.9	0.3	0.0	0.0	3.5
Distribution (Unknown)	5.2	6.0	12.2	14.0	12.5	3.7	1.2
Cluster	Ila	I	I	I	I	Ilb	I
Sand Content (weight-%)	13.7	7.3	42.8	85.5	5.5	4.0	84.6

1) 群集型 I: *Globorotalia cultrata* – *Globigerinoides ruber* Association

これら 2 種その他, *Globigerinoides sacculifera* や *Globoturborotalita rubescens* が比較的多く含まれる。

2) 群集型 IIa: *Globigerinoides ruber* – *Globigerinita glutinata* Association

これら 2 種その他, *Globigerina foliata* や *G. rubescens* が比較的多く含まれる

3) 群集型 IIb: *Globigerinita glutinata* – *Turoborotalita quinqueloba* Association

これら 2 種その他, *G. foliata* が比較的多く含まれる。

3 つの多様性指標の散布図を fig. 5 に示す。各指標は相互に高い相関関係を示し、いずれを用いても同様の層序変化を示す。大局的には、群集型 I, IIa, IIb の順に高い多様性を示している。

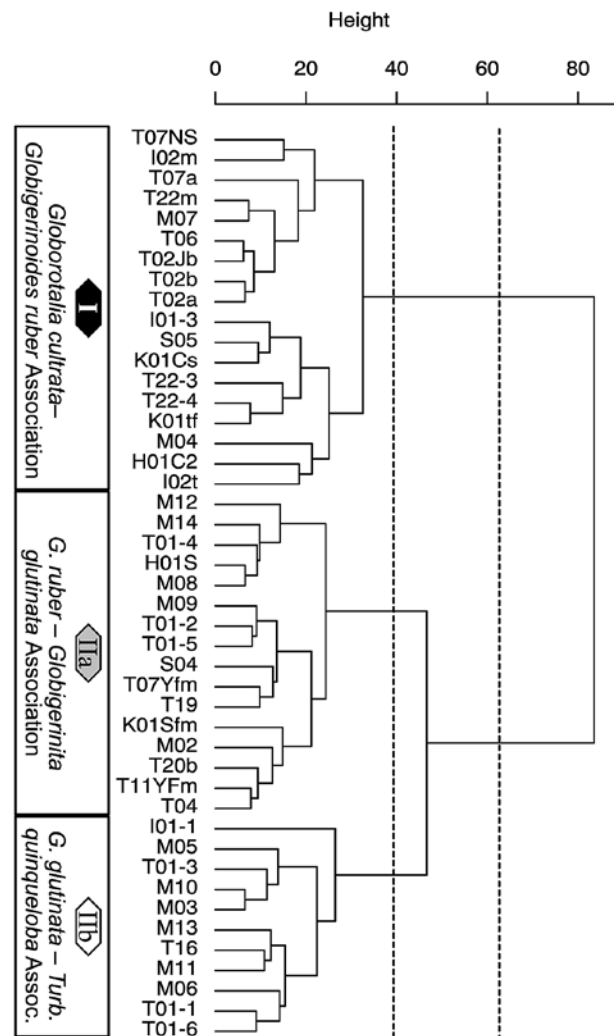


Fig. 4. 浮遊性有孔虫化石群集の Q モードクラスター解析結果樹状図。

Fig. 4. Dendrogram illustrating the results of Q-mode cluster analysis of planktonic foraminiferal assemblages.

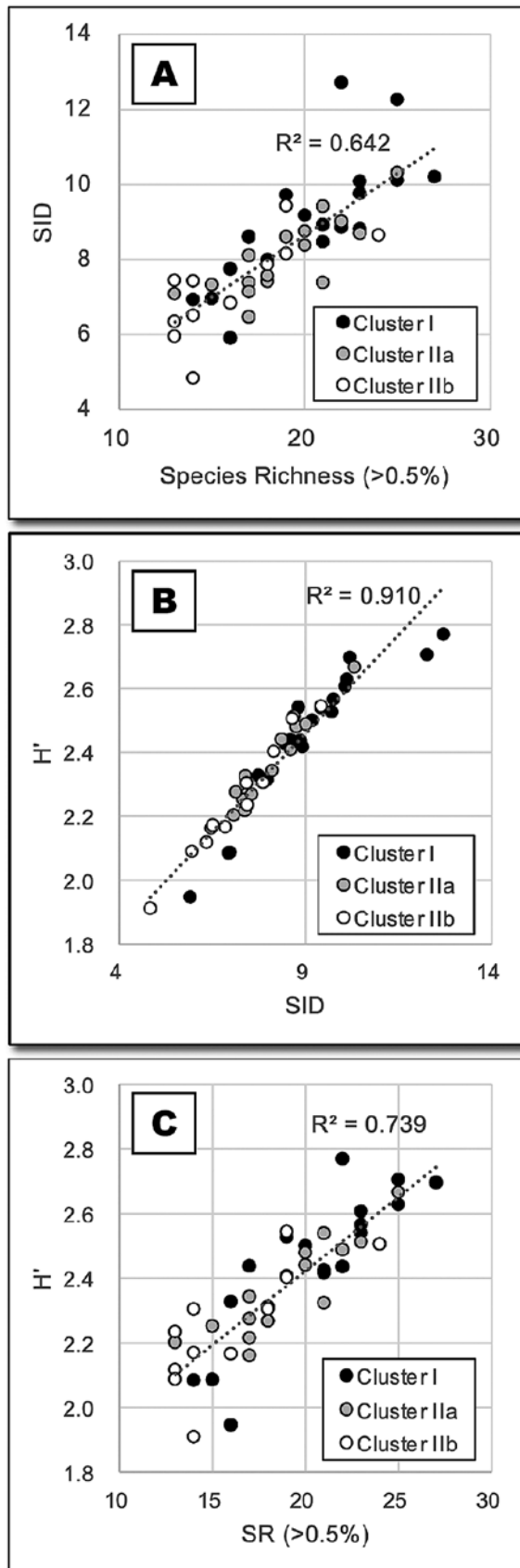


Fig. 5. 3つの多様性指標の散布図と相関関係。
Fig. 5. Scatter diagram showing three diversity indices. SP: Species Richness, SID: Simpson's Index for Diversity ($1/\lambda$), H': Shannon-Wiener's index.

含砂量, 多様性指数, 湧昇流の指標, 後述する年代指標となる種の産出および各群集型の層序分布を figs. 6-9 に示す.

3.2 石灰質ナノ化石

50 試料のうち, 43 試料から 14 属 25 種の石灰質ナノ化石が検出された (Tables 5-8). 7 試料 (T07Yfm, T11Jb, T07Jb, T11Sfm, T07a, T02b, T16) は無化石であった. 43 試料のうち 100 個体の算定が可能な試料は 9 試料のみであり, 他の試料は貧化石である. 保存状態は全体的に悪いが, 試料 S04, S05 のみ産出頻度が高く, 保存状態が良好である.

群集はコッコリスの長径が $5 \mu\text{m}$ より小さい小型の *Reticulofenestra* 属 (*R. haqii*, *R. minuta*, *R. minutula*) を主体とすることで特徴付けられる.

4. 議論

4.1 浮遊性有孔虫化石層序

浮遊性有孔虫化石層序については, 花方 (2004) に報告しているため, その後に得られた知見を中心に述べる.

浮遊性有孔虫化石帯については, Blow (1969) が N を用いた番号帯を導入した後, Berggren (1973) および改訂された Berggren et al. (1995) による M, PL, Pt を用いた番号帯が広く使用されるようになっているが, 本論文では両方を組み合わせて用いる.

当地域で認められる生層準は下位から, *Truncorotalia tosaensis* の下限, *Dentoglobigerina altispira* の上限 (PL4 上限), *T. truncatulinoides* の下限 (N22 下限) である (Fig. 10).

PL3 の上限について, Ujiie (1985) は *T. tosaensis* の出現層準, Berggren et al. (1995) は *Sphaeroidinellopsis seminulina* (Schwager) の消滅層準で定義しており, 花方 (2004) は Ujiie (1985) に倣ったが, 今回は Berggren et al. (1995) の定義を採用する.

Sphaeroidinellopsis seminulina や PL2 以下の指標となる *Globorotalia margaritae* Bolli and Bermúdez は宮古島の島尻層群において連続的に産出しており (Hanagata and Nobuhara, 2015), 現在の琉球弧周辺に生息していたことが判明しており, これらの指標種を産出しないことから, 本研究の対象としている層準が PL3 よりも古い年代を示す可能性は低い.

Truncorotalia tosaensis の初出現年代について Wade et al. (2011) は Berggren et al. (1995) 同様, 3.35 Ma としている (Raffi et al., 2020 に引用あり). Lam and Leckie (2020) は北西太平洋のシャツキー海台 (Shatsky Rise) の深海コアにおいて *T. tosaensis* の出現年代を 3.348 Ma としており, ほぼ一致している.

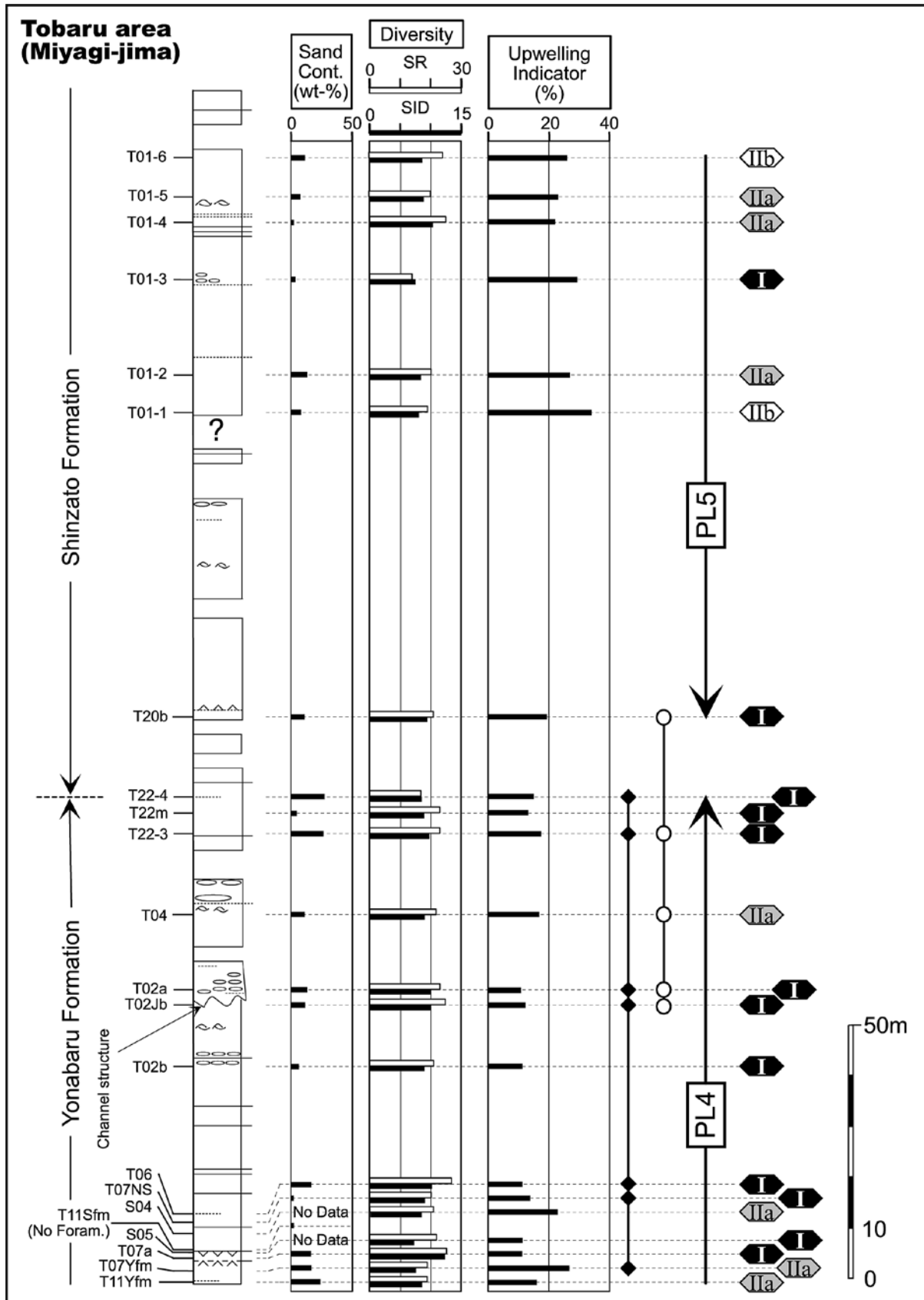


Fig. 6. 宮城島南西部桃原地区の柱状図及び含砂量, 浮遊性有孔虫化石の多様性指標, 湧昇流の指標, 重要種の産出層準並びに浮遊性有孔虫群集型の層序分布. 凡例は Fig. 7 を参照.

Fig. 6. Columnar section and stratigraphic distribution of the sand content, diversity indices, ratios of the upwelling indicator species, occurrences of important species, and associations (clusters) in the Tobaru area, Miyagi-jima. Refer to Fig. 7 for the legend.

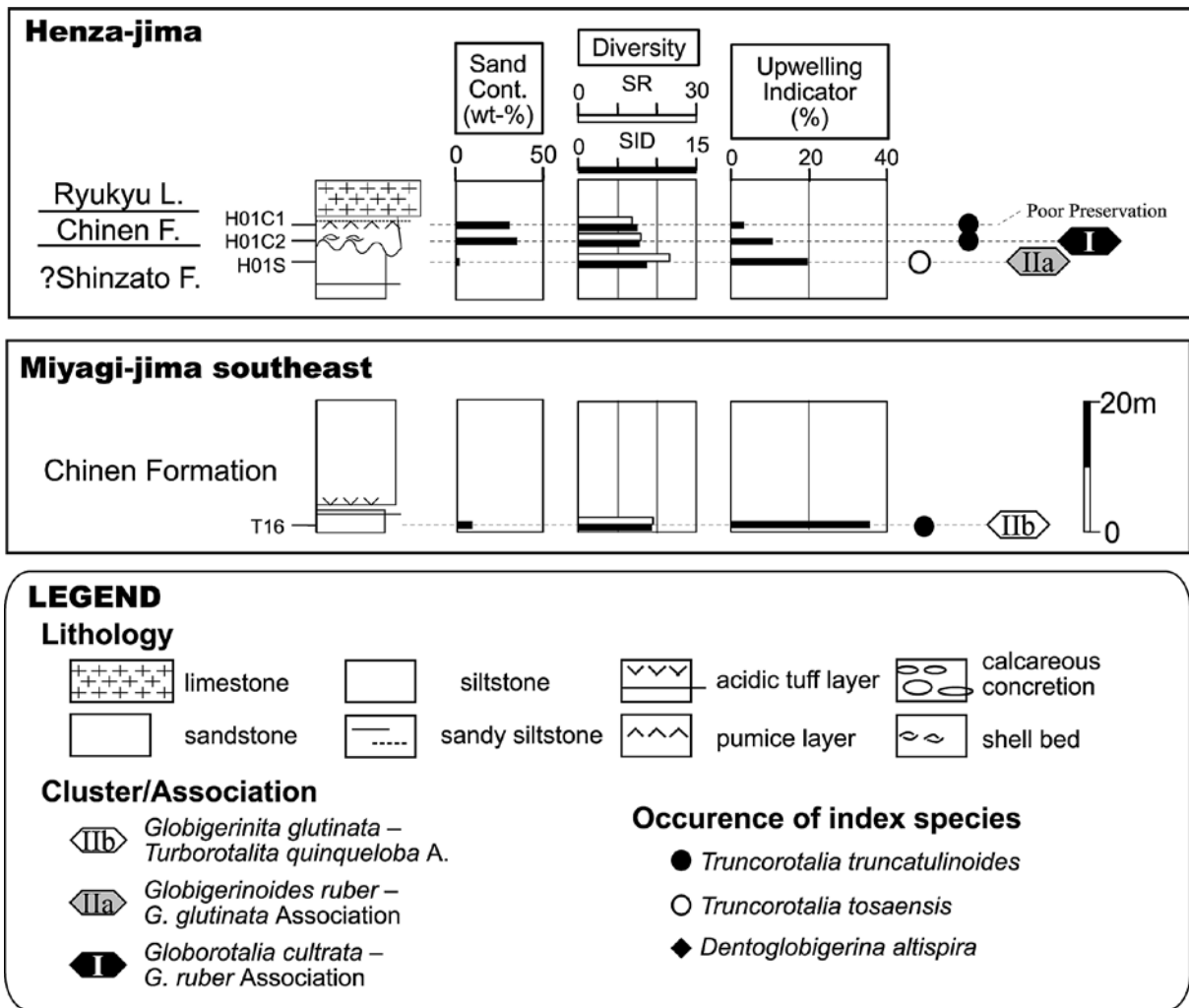


Fig. 7. 平安座島および宮城島南東部の柱状図及び各種指標の層序分布。

Fig. 7. Columnar sections and stratigraphic distribution of indices in Henza-jima and the southeastern Miyagi-jima.

PL4 の上限を規定する *D. altispira* の消滅層準の年代について, Wade et al. (2011; Raffi et al., 2020) は太平洋における同種の消滅年代は 3.47 Ma, 大西洋では 3.13 Ma としているが, Jian et al. (2003) は南シナ海から 3.09 Ma を, Lam and Leckie (2020) はシャツキー海台における消滅年代のうち, もっとも若い年代として 2.928 Ma という年代を報告している. Ujiie (1985) は, 沖縄において *D. altispira* と *T. tosaensis* が相当の期間共存していたことを示していることから, *D. altispira* の消滅年代は Jian et al. (2003) や Lam and Leckie (2020) が示した若い年代値である 3.0 Ma 付近にあると考えられる.

以上により, 太平洋における *D. altispira* の上限は 3.0 Ma, *T. tosaensis* の下限は 3.3 Ma 付近と考えられ, 両種が一緒に産出する層準は PL4, ピアセンジャン階に対比される. また, *Pulleniatina* 属の殻の

巻方向は対象層準内ではほぼ全て右巻 (dextral) であり, 4.08 Ma 以降を示すことは確実である (Raffi et al., 2020).

一方, PL6 の基底となる *Globorotalia pseudomiocenica* Bolli and Bermudez は琉球弧から報告されていない. Pt1 の基底となる *Globigerinoidesella fistulosa* の上限については同種の産出が稀であり, 認定が難しいことから化石帯としては採用しない.

Blow (1969) の N22 の下限を規定する *T. truncatulinoides* の初出現年代について, Raffi et al. (2020) は大西洋で 1.93 Ma, 太平洋で 2.61 Ma としている. Jian et al. (2003) は 2.00 Ma, Lam and Leckie (2020) は最も古い年代値として 2.372 Ma を報告している. このように報告によって年代値の幅があり, *T. truncatulinoides* が中緯度海域に適応した種であることから, 海域毎に出現年代に差異がある

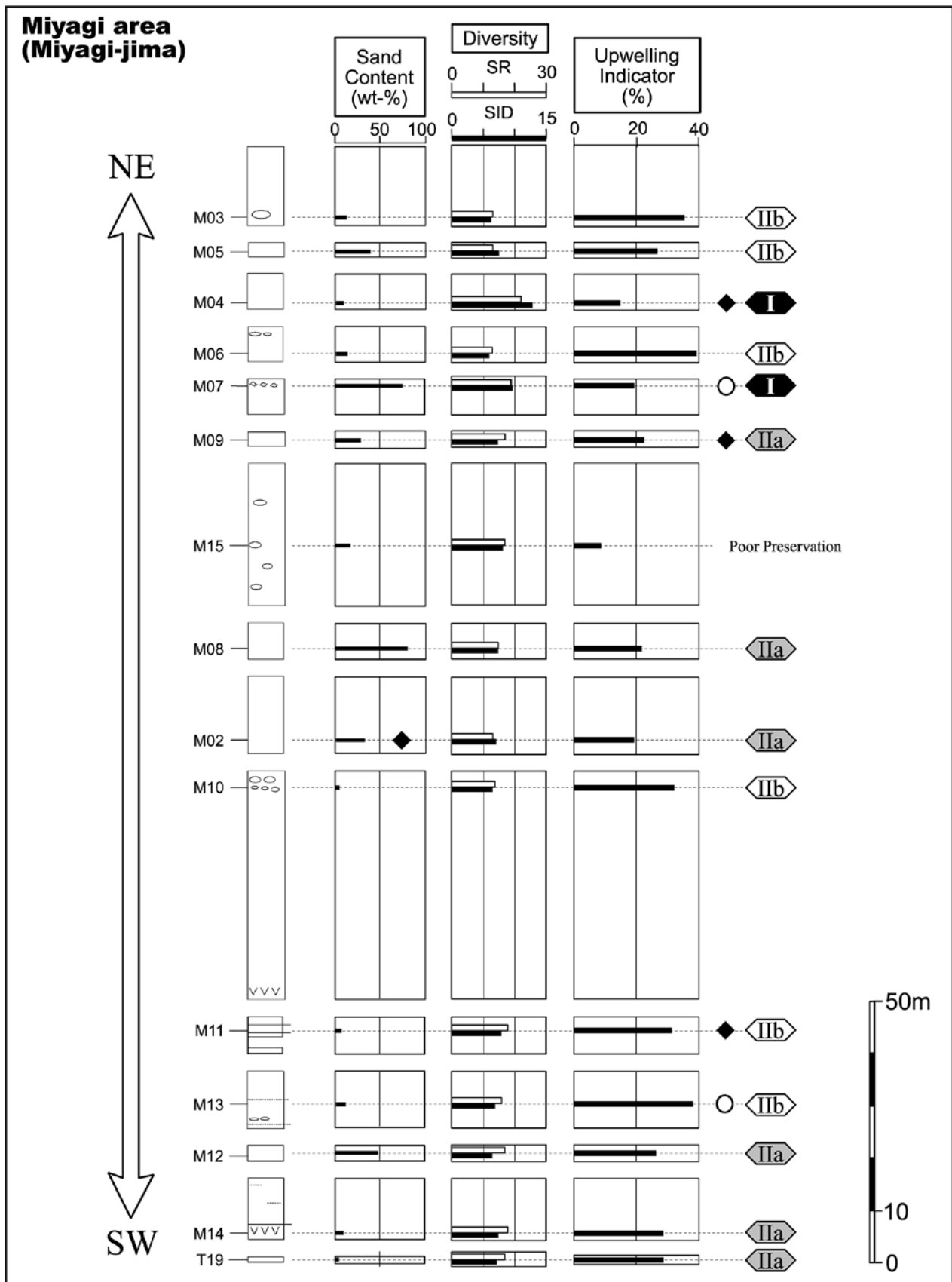


Fig. 8. 宮城島東部宮城地区の柱状図及び各種指標の層序分布. 各露頭(柱状図)の層序関係は複雑な地質構造により不明である.

Fig. 8. Columnar sections and stratigraphic distribution of indices in the Miyagi area, Miyagi-jima. The specific stratigraphic relationships between each exposure (column) are uncertain due to the complex geological structure.

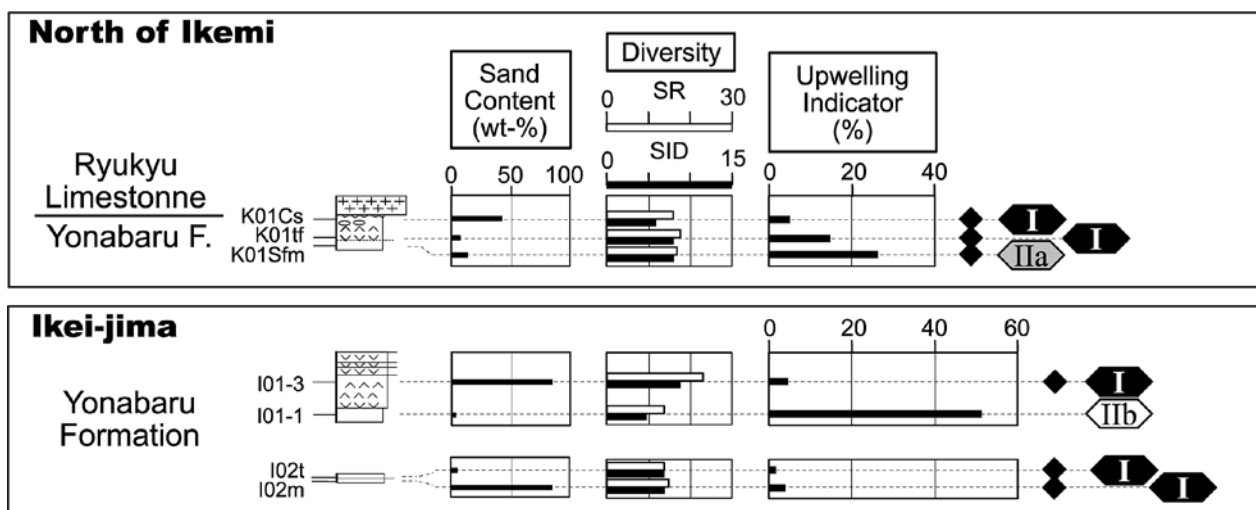


Fig. 9. 池味地区北および伊計島の柱状図及び各種指標の層序分布。

Fig. 9. Columnar sections and stratigraphic distribution of indices in the north of Ikemi and Ikei-jima.

Table 5. 桃原地区に産出した石灰質ナノ化石のリスト。

Table 5. List of calcareous nannofossils from the Tobaru area. The abbreviations used in Tables 5–8 are as follows:

Abundance: A: Abundant, C: Common, F: Few, R: Rare, VR: Very Rare, B: Barren.

Preservation: VG: Very Good, G: Good, M: Moderate, P: Poor, VP: Very Poor.

Tobaru area (Miyagi-jima)																				
Samples		T11YFm	S05	S04	T07NS	T06	T02Jb	T02a	T04	T22-3	T22m	T22-4	T20b	T01-1	T01-2	T01-3	T01-4	T01-5	T01-6	
Abundance	Preservation	R	A	C	R	R	F	R	F	R	R	F	R	R	F	R	R	R	R	R
		P	G	M	M	P	P	P	M	P	P	M	M	M	M	M	M	M	M	P
<i>Calcidiscus leptoporus</i>			5	6					2	1	2	2			1					
<i>Calcidiscus macintyreii</i>			2	2								2								
<i>Ceratolithus acutus</i>			r																	
<i>Coccolithus pelagicus</i>			5	3					1		1	1			1				1	
<i>Dictyococcites antarcticus</i>							1		1		4				1					
<i>Dictyococcites productus</i>			1	1			1	1	13		7	1	1		3					
<i>Discoaster brouweri</i>												1								
<i>Discoaster quinqueramus</i>			1										1							
<i>Discoaster variabilis</i>			3											1						
<i>Gephyrocapsa</i> spp. (small)			1									1								
<i>Helicosphaera carteri</i>			5	3				1	1			1			2					
<i>Helicosphaera sellii</i>			4	1																
<i>Pontosphaera japonica</i>			2	1																
<i>Pontosphaera multipora</i>												1								
<i>Pseudoemiliana lacunosa</i> (elliptic)			11	5				2	1		2	5			1		1	1	3	
<i>Reticulofenestra gelida</i> (5-7µm)										1										
<i>Reticulofenestra gelida</i> (>7.0µm)			2																	
<i>Reticulofenestra haqii</i>				4				5	12	1	9	7	1		3		1	2	2	
<i>Reticulofenestra minuta</i>		3	57	42	1	1	11	9	26		8	37	4	2	14		4	9	2	
<i>Reticulofenestra minutula</i>		1	96	48	2	1	15	7	35	3	7	51	7		9	1	6	11	12	
<i>Reticulofenestra pseudumbilicus</i> (5-7µm)			11					2	2		1	4			1				1	
<i>Reticulofenestra pseudumbilicus</i> (>7.0µm)			2																	
<i>Sphenolithus abies</i>			8	7			4	3	5	1		6			13		1	1	1	
<i>Sphenolithus</i> spp.												1								
<i>Umbilicosphaera jafari</i>												1								
<i>Umbilicosphaera rotula</i>												1								
Total number of nannofossils counted		4	216	123	3	2	34	28	100	6	40	123	14	2	50	1	13	24	22	

+ : present, r : reworked specimen

Table 6. 平安座島に産出した石灰質ナノ化石のリスト.

Table 6. List of calcareous nonnofossils from Henza-jima.

Samples	Henza-jima		
	H01S	H01C2	H01C1
Abundance	R	R	R
Preservation	M	P	P
<i>Calcidiscus leptoporus</i>			3
<i>Dictyococcites antarcticus</i>		8	7
<i>Dictyococcites productus</i>		1	
<i>Gephyrocapsa caribbeanica</i>		26	7
<i>Gephyrocapsa oceanica</i>		5	6
<i>Gephyrocapsa</i> spp. (small)		1	2
<i>Pseudoemiliana lacunosa</i> (elliptic)	1	1	
<i>Reticulofenestra minuta</i>	6		3
<i>Reticulofenestra minutula</i>	19	1	1
<i>Sphenolithus abies</i>	1		
Total number of nannofossils counted	27	43	29

ことや (Spencer-Cervato and Thierstein, 1997), *T. tosaensis* からの漸進的な形態進化によって研究者間で分類の差が現れる可能性があることから, 厳密に年代を決定することが難しいと思われる. いずれにしても太平洋側における出現年代は最も古く推定した場合, 鮮新世・更新世境界の年代値 (2.588 Ma) の付近にあり, この種の産出をもって更新統とするには問題がない.

1) 宮城島桃原地区

桃原地区は地層の露出が良好であったので, この地区を基準として生層序の検討を行う. 島尻層群のシルト岩相は, *D. alitispira* の産出と *S. seminulina* の不産出により PL4 (N19) に, *T. tosaensis* の産出と *T. truncatulinoides* の不在から PL4 上部から PL5 に対比される (Fig. 6).

今回, 桃原地区の南端部に露出している知念層の石灰質砂岩の直下のシルト岩相で採取した試料 (T16, figs. 3, 7) から N22 を示す *T. truncatulinoides* を同定した. この標本は 2004 年に *T. tosaensis* に同定したものである.

2) 平安座島

平安座島南岸の露頭の知念層よりも下位のシルト岩には *T. tosaensis* が産出しているが, *D. alitispira* は産出しない. 知念層は *T. truncatulinoides* の産出により N22 に対比される.

3) 宮城島宮城地区

宮城地区は断層によって細かくブロック化されており, 地層の上下関係は判定できないが, *D. alitispira* が産出した層準は試料採取地点ごとに PL4 に対比することができる. それ以外の試料採取層準については多くの個体が産出するとは限らない. *D. alitispira* の不存在のみに基づいて PL5 への対比を断定することはできない. *Truncorotalia tosaensis* が産出する層準は PL4 以上に対比することができる.

Table 7. 宮城地区に産出した石灰質ナノ化石のリスト.

Table 7. List of calcareous nannofossils from the Miyagi area.

Samples	Miyagi area (Miyagi-jima)															
	T19	M14	M12	M13	M11	M10	M02	M08	M15	M09	M07	M06	M04	M05	M03	
Abundance	R	R	R	R	R	R	R	F	R	R	F	R	R	F	R	
Preservation	P	P	M	P	P	P	P	P	VP	P	P	P	P	P	P	
<i>Braarudosphaera bigelowii</i>											1					
<i>Calcidiscus leptoporus</i>		2		1				2		1	3		1			
<i>Calcidiscus macintyreii</i>											1					
<i>Coccolithus pelagicus</i>				1	2		2	1					2			
<i>Dictyococcites antarcticus</i>				1				15			5	1				
<i>Dictyococcites productus</i>			3	1				57		1	20				2	
<i>Discoaster variabilis</i>							1									
<i>Helicosphaera carteri</i>							1				2		1	2		
<i>Helicosphaera sellii</i>	1	3			1		2						1			
<i>Pseudoemiliana lacunosa</i> (elliptic)		1					2	1			3	2	8	1		
<i>Reticulofenestra gelida</i> (5-7µm)								2			1					
<i>Reticulofenestra haqii</i>		1	1	2			3	50	1		42	1		6		
<i>Reticulofenestra minuta</i>		4		3	2	1	3	40		1	32	9	3	19		
<i>Reticulofenestra minutula</i>		14	4	5	6	1	23	26	2	5	33	9	27	23	1	
<i>Reticulofenestra pseudoumbilicus</i> (5-7µm)		4		1			4	3			5			1		
<i>Sphenolithus abies</i>		1	3	3	1		5	3		1		1		4		
<i>Sphenolithus heteromorphus</i>				r												
<i>Sphenolithus</i> spp.							1									
<i>Syracosphaera</i> spp.														1		
<i>Umbilicosphaera jafari</i>											1					
Total number of nannofossils counted	1	30	11	18	12	2	47	200	3	9	149	23	43	59	1	

+ : present, r : reworked specimen

Table 8. 池味北および伊計島に産出した石灰質ナノ化石のリスト.

Table 8. List of calcareous nannofossils from the north of the Ikemi area and Ikei-jima.

North of Ikemi and Ikei-jima									
	Samples								
	K01S1m	K01t	K01C3	102m	102t	101-1	101-3		
Abundance	R	R	F	F	F	R	F		
Preservation	P	P	P	P	P	P	P		
<i>Calcidiscus leptoporus</i>			2	1	2			1	
<i>Calcidiscus macintyre</i>								1	
<i>Coccolithus pelagicus</i>			1	1	2			1	
<i>Dictyococcites antarcticus</i>			10	7	9			2	
<i>Dictyococcites productus</i>			15	21	19			1	
<i>Helicosphaera sellii</i>								1	
<i>Pseudoemiliana lacunosa</i> (elliptic)				2				4	
<i>Reticulofenestra haqii</i>			54	32	40			6	
<i>Reticulofenestra minuta</i>	2		14	12	17	1	3		
<i>Reticulofenestra minutula</i>		2	24	19	24	3	23		
<i>Reticulofenestra pseudoumbilicus</i> (5-7µm)		1	2	2	5		5		
<i>Sphenolithus abies</i>				4	9		4		
<i>Sphenolithus</i> spp.			4	2	2				
Total number of nannofossils counted	2	3	126	103	129	4	51		

+ : present, r : reworked specimen

4) 池味北・伊計島

池味北と伊計島からは *S. seminulina* と *T. tosaensis* を伴わず *D. altispira* が産出していることから PL4 下半部に対比される。

4.2 石灰質ナノ化石層序

石灰質ナノ化石の保存状態の差異について、試料 S04, S05 は 2010 年に採取しているが、それ以外の試料は 1991 年に採取したものであり、30 年間で試料の風化が進んだものと考えられる。

浮遊性有孔虫化石と同様、露頭の連続性が良い桃原地区を基準として周辺の層序を議論することとする。

1) 宮城島桃原地区

桃原地区では *Reticulofenestra pseudoumbilicus* および *Sphenolithus abies* が連続的に産出しており、Okada and Bukry (1980) の CN11 (3.70 Ma: Raffi et al., 2020) 以下の層準であることを示している (Young, 1998)。*Pseudoemiliana lacunosa* も連続的に産出しているが、この出現層準は CN11 の中にあり、消滅層準は中期更新世の CN14a と CN14b 境界 (0.43 Ma) を規定する (Young, 1998)。したがって、これらの組み合わせは CN11 を示している。

また、*Helicosphaera sellii* の出現層準は CN10 の中に位置づけられ、消滅層準は CN13b の中にある (Young, 1998)。

一方、千代延ほか (2009) は、知念層から連続的な *R. pseudoumbilicus* および *S. abies* の産出を報告しており、彼らはこれらを島尻層群から知念層へ再堆積した個体としている。この場合、両種は、カラブリアン期以降を特徴づける *Gephyrocapsa caribbeanica*, *G. oceanica* と共に産出していることから再堆

積個体であると判断できる。同じように、佐藤ほか (2004a) は沖縄本島南部の新里層から知念層にかけて *R. pseudoumbilicus* および *S. abies* の連続的な再堆積を示している。本研究地域の島尻層群のシルト岩を主体とした地層に産出する *R. pseudoumbilicus* および *S. abies* を再堆積個体であると仮定した場合、*G. caribbeanica* および *G. oceanica* が産出しないことを考慮すると、CN12 あるいは CN13a に対比されることになる。すなわち、*Discoaster* 属および小型を除く *Gephyrocapsa* 属のいずれも産出しない層準 (CN12–13a) に *R. pseudoumbilicus* および *S. abies* (CN11) が再堆積して混入していると解釈される。

なお、CN12 は *R. pseudoumbilicus* の消滅層準を下限 (3.82 Ma) とし、*Discoaster* 属の最後の生き残りの *D. brouweri* の消滅 (1.93 Ma) を上限とする化石帯で、複数の *Discoaster* 属の消滅がこの化石帯を亜帯に細分する (Tanaka and Ujiie, 1984)。したがって、*Discoaster* 属の産出頻度が多ければ本化石帯の認定が容易であるが、今回の分析試料から *Discoaster* 属の産出は極めて乏しく、CN12 を積極的に認定することができなかった。

群集組成を見た場合、桃原地区では、小型の *Gephyrocapsa* 属の種がわずかに産出しているが、佐藤ほか (2004a) が新里層から報告しているような「Common」という産出状況ではない。また、*Pseudoemiliana lacunosa*, *R. minutula* が連続的に産出し、Young (1998) の CN12 の特徴 (most common species) と共通している。

2) 平安座島

最下位のシルト岩からは前述の再堆積の可能性が考えられる *S. abies* を除くと、CN12 に特徴的な *P. lacunosa* や *R. minutula* が産出している。

一方、知念層は、下部の砂質シルト岩と上部の石灰質砂岩の両方から *G. caribbeanica*, *G. oceanica* を特徴的に産出しており、更新統 CN13b 中の 1.71 Ma 以降 (佐藤ほか, 2012) に対比される。この年代値の妥当性は Emanuel et al. (2021) による南シナ海のデータからも支持されるほか、佐藤ほか (2004a) による沖縄本島の知念層とも一致している。

なお、今回宮城島南東部の知念層砂岩の下位のシルト岩から *T. truncatulinoides* が産出した試料 T16 には石灰質ナノ化石は産出しなかった。

3) 宮城島宮城地区

桃原地区と同様、再堆積の可能性のある *R. pseudoumbilicus* および *S. abies* が全体的に産出している。*Gephyrocapsa* 属は産出せず、Young (1998) による CN12 を特徴付ける *P. lacunosa*, *R. minutula*, *Coccolithus pelagicus*, *Calcidiscus leptoporus*, *Discoaster*

variabilis, *Helicosphaera carteri*, *Umbilicosphaera jafari* が産出している。

4) 池味北・伊計島

池味北の下位 2 試料は貧化石であるが、上位試料 K01Cs は *Reticulophenestra haqii* が多く産出するなど種構成は他地区の島尻層群のシルト岩を主体とした地層と共通している。

伊計島の 4 試料も *Reticulophenestra* 属の種が主体であり、他地区の島尻層群のシルト岩を主体とした地層と同層準と考えられる。

4.3 微化石層序と岩相層序区分

1) 島尻層群と与那原層および新里層

石灰質ナノ化石の指標種の産出のみに基づくと、島尻層群の与那原層または新里層に対比されるシルト岩相の試料は CN11 に対比されることになるが、浮遊性有孔虫化石層序が PL4 から PL5 に対比されることから、明らかに古い年代を示す *R. pseudumbilicus* や *S. abies* は再堆積個体であり、群集組成を踏まえ、CN12 に対比することが適当である。

この研究地域で厚く発達するシルト岩相では、与那原層と新里層の境界に相当する層準の認定が問題となる。沖縄本島南部の模式地周辺における新里層の基底は厚さ 1 m の白色凝灰岩とその上位約 5 m の凝灰質砂岩で特徴付けられる(茨木, 1979)。Natori (1976) は沖縄本島で *D. altispira* [= *Globoquadrina altispira altispira*] の上限が新里層基底の直下にあるとし、茨木 (1979) は、沖縄本島南東部で新里層基底の凝灰岩層の直上に、Ujiié (1985) は新里層基底の約 30 m 下位にあるとしていることから、層厚にして 30 m 程度の幅があるが、概ね *D. altispira* の産出上限が沖縄本島における新里層の基底となる凝灰岩の層準に相当すると見ることができる。Ujiié (1985) の地質柱状図に基づいて堆積速度を求めると、30 m の層厚は 10 万年間程度であり、両層の堆積期間から見ればごく短い時間と言える。

そこで、PL4 と PL5 の境界を両層の境界とほぼ一致すると見なすことにより、本研究地域のうち、桃原地区では与那原層と新里層の境界とほぼ同年代の地層を T20 と T01 の露頭間に推定できる。

平安座島の知念層の下位に露出するシルト岩には *T. tosaensis* が産出しているが、*D. altispira* の消滅を断定するには情報が不足しており、与那原層と新里層のいずれに対比されるのか断定できない。

宮城地区では、各露頭の層序関係が不明であり、*D. altispira* が産出している層準は PL4 で与那原層相当としても、同種が産出しない層準を新里層であるとは断定できない。宮城地区の北東部で PL4 とされる露頭(M09, M04)については、同じように PL4 で

ある池味北の試料採取位置に近い層準であることが推定できる。その場合、これらの露頭の西側に断層が存在し、東側ブロックが上昇している可能性がある。伊計島でも *T. tosaensis* を伴わず *D. altispira* が産出していることから、PL4 に対比され、宮城地区から伊計島にかけて、断層で北東側ブロックが下がっている琉球石灰岩と、北東側が上昇している与那原層とは、断層の動きが逆になっていることが推測される。

なお、池味北の露頭については、与那原層と琉球石灰岩が直接接しているところを観察できる (Fig. 2D)。

沖縄本島の新里層の上部には *T. truncatulinoides* [= *Globorotalia truncatulinoides*] が産出することから (Ujiié, 1985)、これに相当する層準が本研究地域に分布しないことは明らかである。

このような地層対比について、本研究地域では *D. altispira* の消滅層準付近に沖縄本島南東部でみられるような厚い凝灰岩層が認められないことになるが、岩相層序区分である与那原層および新里層の境界を浮遊性有孔虫化石帯で定めることについては本質的な問題がある。

これは、牧野・樋口 (1967) が、MacNeil (1960) が定義した与那原泥岩部層 (Yonabaru clay member) と新里凝灰岩部層 (Shinzato tuff member) を層 (formation) のランクに変更し、その後の研究者が踏襲したことに起因する (Fig. 11)。これまで多くの研究者が宮城島周辺の地質を調査し、与那原層相当層を新里層と呼んできた事実を踏まえれば、新里層基底の凝灰岩層は本研究地域を含む広い地域に追跡できるものではなく、凝灰岩を挟む頻度も与那原層と新里層の間で顕著な差異を認めがたく、両層を見分けることは困難であることがわかる。今回提示した含砂量をみても与那原層と新里層相当の層準に明らかな差は認められない (Fig. 6)。

凝灰岩層の連続性について、MacNeil (1960) は沖縄本島南部の新里凝灰岩部層基底の写真の説明で“pumice-filled channel” (軽石充填チャネル) と記載している。新里層基底の凝灰岩を降下火山灰ではなく、海底を流下してきた堆積物とみている点は重要である。すなわち、チャネル充填堆積物であるために、流下方向の側方には広く分布しないことが推定できる。また、本研究地域においても凝灰岩の基底には細礫を含む級化層理が認められる。沖縄本島の層序区分については本研究の目的を超えるので、今回は与那原層と新里層の名称を踏襲するが、凝灰岩層をもって層を上下に分けるのではなく、MacNeil (1960) に立ち返り、両層を合わせて島尻層 (Shimajiri Formation) として扱うことを検討すべきではないかと思われる。

2) 知念層

平安座島の知念層からは *G. caribbeanica*, *G. oceanica* が特徴的に産出しており、更新統の CN13b の 1.71 Ma 以降の層準に対比される。同試料からは N22 の *T. truncatulinoidea* が産出し、石灰質ナノ化石と整合的である。

桃原地区の南端に分布する知念層について、Noda (1988, Fig. 1) は断層によって落ち込んだブロックという解釈をしているが、平安座島の例を踏まえると、下位の与那原層を削り込んで分布していると考えられる。

与那原層および新里層と知念層の関係について、花方 (2004) は知念層の基底層が下位層を削剥しており、島尻層群中に認められるチャンネル充填構造 (Fig. 2A) と同じように陸棚斜面における断続的なチャンネル形成を示している旨指摘した。この場合、海洋底において重力流が下位層を削り込んでいるため、削剥面の上下に時間間隙が存在することが想定できる。

知念層と上下の地層との関係については多くの研究者によって議論が行われてきたが (例えば、茨木, 1975; 野田, 1977; 佐藤ほか, 2004a, b; 氏家, 2004; 藤田ほか, 2011), このような視点に立てば、知念層の基底が近接した露頭で異なる年代を示すという佐藤ほか (2004a) の報告は不自然なことではない。また一方でチャンネル充填堆積物が下位層を巻き込んで流下した可能性を考慮すれば、氏家 (2004) が指摘しているように石灰質ナノ化石の再堆積の可能性も排除できない。

同様に、氏家・兼子 (2006) は、知念層が基底礫岩を伴って島尻層群と不整合で接することを報告した上で、不整合の形成は海中で起こったものと推定している。この基底礫岩は、Tanaka and Ujiie (1984) で報告されたものであるが、佐藤ほか (2004a) は生痕化石が礫のような形態になったものとし、松本ほか (2023) においても「誤認」として踏襲されている。

松本ほか (2023) は沖縄本島南東部のうりずん露頭を詳細に記載しているが、それらを見る限りでは下位の知念層がチャンネル構造によって削り込まれ、知念層がアバットしながら削剥された部分を充填しているように見える。松本ほか (2023) は、氏家・兼子 (2006) が豊見城層のスランプ堆積物を報告していることに触れながら、知念層下部の地層を mass transport deposits (abstract では mass transfer deposits と記載) であり、スランプ堆積物としている。氏家・兼子 (2006) は豊見城層中城砂岩部層におけるスランプ褶曲の写真を示しているが、松本ほか (2023) は知念層下部に dish structure が存在し堆積時に間隙水を多く含んでいたとしつつ、スランプ褶曲は図

示していない。したがって、松本ほか (2023) が上部陸棚斜面に浅海域から粗粒堆積物が供給されたと推測している知念層については、堆積速度が大きかったとは言え、スランプ堆積物であるとする根拠が弱い。例えば、辻・宮田 (1987) は砂層の下から液体が供給される過程で皿状の堆積相が形成されることを実験により示しているが、知念層堆積初期において、チャンネル構造を砂層が埋積する際に間隙水を多く含む地層が大きい速度で堆積し、脱水過程で皿状構造が形成されたと考えることもできる。

ところで、勝連半島の知念層を研究した千代延ほか (2009) は引用していないが、LeRoy (1964) は知念層と上下の地層の関係を簡潔に記載し、勝連半島において与那原層と知念層が直接接することを示している。すなわち、勝連半島から宮城島にかけての地域で知念層基底が下位層準を削り込む現象は、半世紀近く前に報告されていたことである。

4.4 与那原層および新里層堆積時の海洋環境

本研究地域に分布する与那原層および新里層の浮遊性有孔虫化石群集は、大局的に見ると上下の層準で異なった構成を示し、下位層は比較的多くの熱帯・亜熱帯種 *G. ruber*, *G. sacculifers* や *G. cultrata* を産出し、上位層は比較的多くの小型種 *T. quinqueloba*, *Turborotalita humilis* や *G. glutinata* を産出することから、これらの群集の違いを現存種の分布に基づき寒冷水塊の影響、もしくは湧昇流、沿岸水の影響によるものである可能性を指摘した (花方, 2004)。

今回、Qモードクラスター解析を行い、群集型を区分したので、各群集型について海洋環境を推定し、その層序・年代変化について述べる。

群集型 I は、熱帯・亜熱帯海域を特徴付ける *G. cultrata* や *G. ruber*, *Truncorotalia crassaformis*, *G. sacculifers* を比較的多く含む (Bradshaw, 1959; Bé, 1977)。黒潮本流の指標となる *Pulleniatina obliquiloculata* (Li et al., 1997; Ujiie and Ujiie, 2000) が 18 試料中 12 試料に産出している。多様性指標が高い値を示し、湧昇流の指標種の割合は少ない。

群集型 IIa は I と比較して *G. glutinata* が多くを占めるが、*G. ruber* のほか *G. cultrata* などの熱帯・亜熱帯を特徴付ける種も多い。*Pulleniatina obliquiloculata* は 16 試料中 5 試料に産出している。多様性指数は I よりも低く、湧昇流の指標種は I よりも多い。

群集型 IIb は *T. quinqueloba* や *T. humilis* を多く含むことで特徴付けられ、多様性指標は低く、湧昇流の指標種が多くを占める。*Pulleniatina obliquiloculata* は産出しない。*Turborotalita quinqueloba* は亜寒帯地域に多く分布するが、左巻の *N. pachyderma* が産出しないことから、北太平洋の寒冷水塊

の影響が出るほどには寒冷環境ではないと考えられる (Bé, 1977; Thompson and Shackleton, 1980). *Globigerinita glutinata* や *Turborotalita* 属などの小型種の産出は, Kouwenhoven et al. (2006) が論じているよう

に, 富栄養化や高塩分濃度によるストレス環境を示すのかも知れない. また, Rasmussen et al. (2002) は, *T. quinqueloba* が高い一次生産性の海域で卓越し, 湧昇域の良い指標になるとしている.

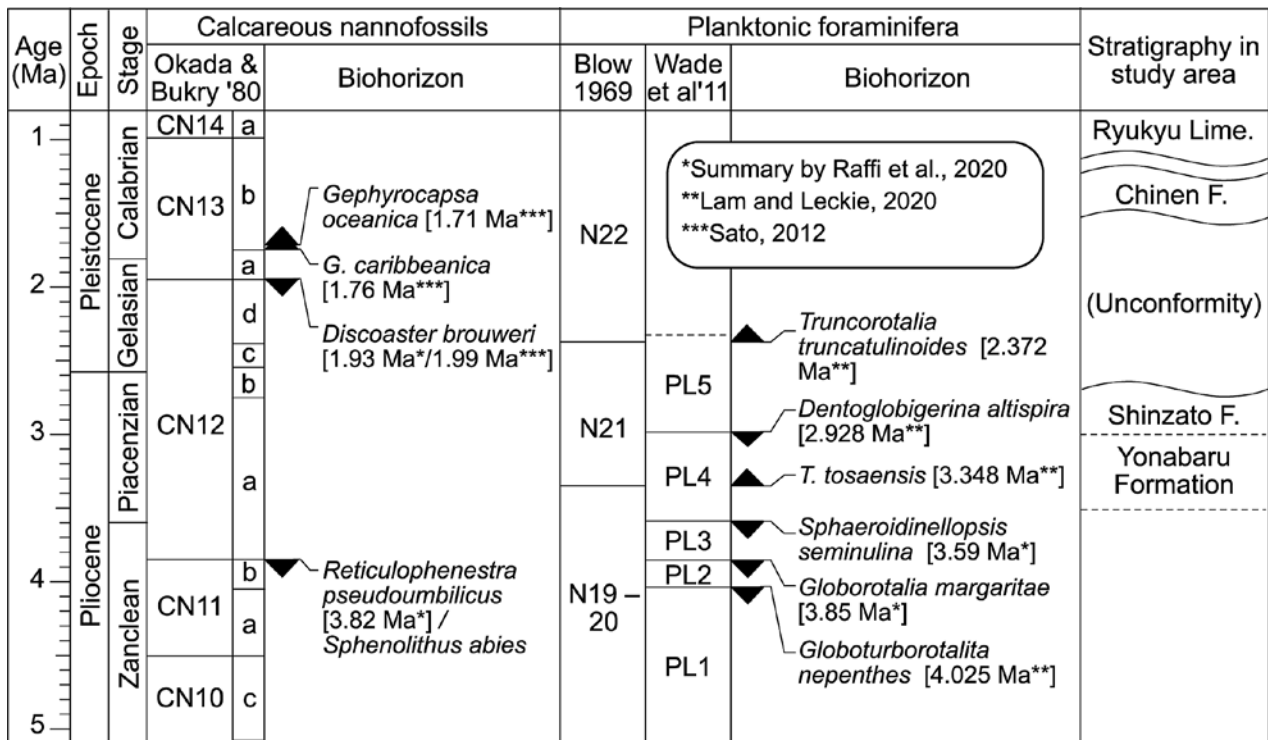


Fig. 10. 年代スケールおよび生層序の枠組み.
 Fig. 10. Time scale and biostratigraphic framework.

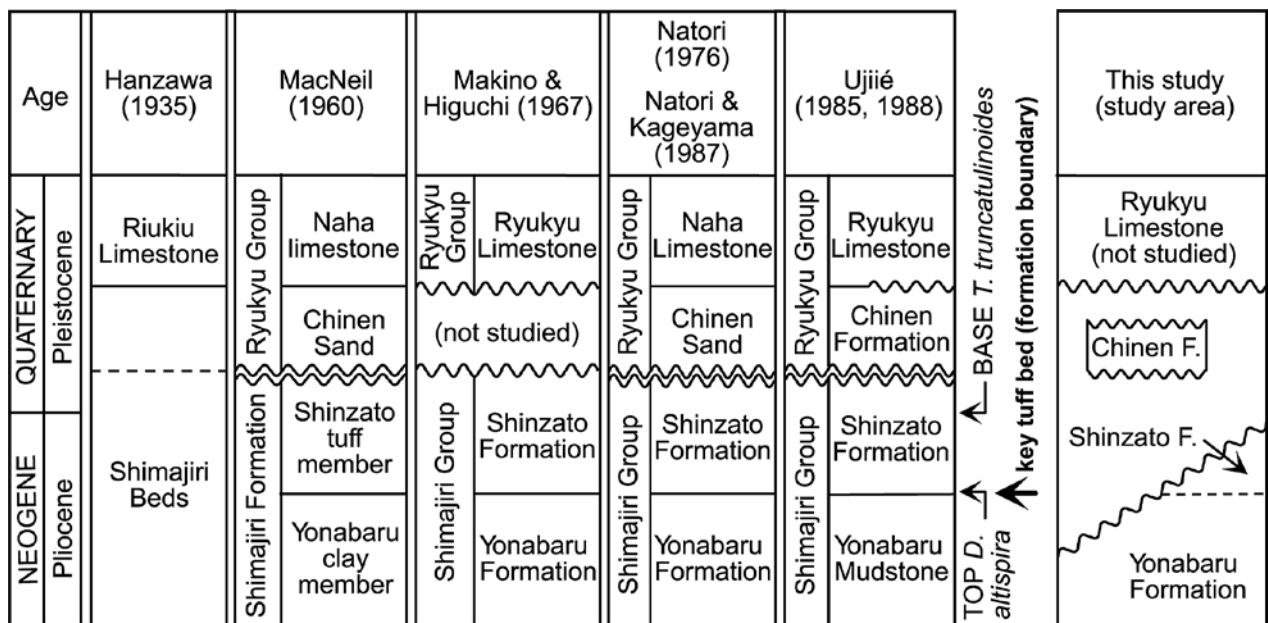


Fig. 11. 沖縄本島及び本研究地域における岩相層序区分の比較.
 Fig. 11. Comparison of lithostratigraphic divisions in the previous studies in Okinawa-jima and the studies area.

Table 9. 浮遊性有孔虫種の地理的・垂直分布.

Table 9. Geographical and vertical distribution of planktonic foraminiferal species.

Vertical distribution	Tropical/ Subtropical	Transitional/Subpolar/Polar	Unknown
Mixed-layer	<i>Bolliella calida</i> (1) <i>Globigerina falconensis</i> (1) <i>G. foliata</i> (5) <i>Globigerinella obesa</i> (5) <i>G. siphonifera</i> (1) <i>Globigerinoides conglobatus</i> (1) <i>G. extremus</i> (5) <i>G. obliquus</i> (5) <i>G. pyramidalis</i> (5) <i>G. ruber</i> (1) <i>G. sacculifers</i> (1) <i>Globigerinoidesella fistulosa</i> (5) <i>Globorotaloides hexagonus</i> (2, 4) <i>G. variabilis</i> (5) <i>Globoturborotalita decoraperta</i> (5) <i>G. rubescens</i> (1) <i>Laterostomella laeviola</i> (3) <i>Neogallitellia vivans</i> (3) <i>Orbulina suturalis</i> (5) <i>O. universa</i> (1)	<i>Berggrenia pumilio</i> (2) <i>Dentoglobigerina altispira</i> (4) <i>Globigerinita glutinata</i> (1) <i>G. uvula</i> (5) <i>Globorotalia scitula</i> (1) <i>Neogloboquadrina incompta</i> (1) <i>Tenuitella parkerae</i> (1) <i>Turborotalita humilis</i> (1) <i>T. quinqueloba</i> (1)	<i>Clavatorella</i> sp. 1 <i>Globigerina</i> sp. 1 <i>Globigerina</i> sp. 2 <i>G. cf. woodi</i>
Thermocline/ Deep-layer	<i>Globorotalia cultrata</i> (1, 4) <i>G. tumida</i> (1, 4) <i>Neogloboquadrina acostaensis</i> (5) <i>N. blowi</i> (5) <i>N. dutertrei</i> (1) <i>N. humerosa</i> (5) <i>N. praeumerosa</i> (5) <i>Pulleniatina obliquiloculata</i> (1, 4) <i>P. okinawaensis</i> (5) <i>Sphaeroidinella dehiscens</i> (1) <i>Truncorotalia crassaformis</i> (1, 4) <i>T. viola</i> (4, 5)	<i>Globigerina bulloides</i> (1,4) <i>Globoconella cf. conoidea</i> (4, 5) <i>G. inflata</i> (1, 5) <i>N. pachyderma</i> (1) <i>N. pseudopachyderma</i> (5) <i>Truncorotalia tenuitheca</i> (5) <i>T. tosaensis</i> (5) <i>T. truncatulinoides</i> (1, 4)	
Reference			
1: Summary of Schiebel and Hemleben (2017). 2: Parker (1962). 3: Loeblich and Tappan (1994). 4: Fossils distribution (e.g. Saito, 1963; Boscolo-Galazzo et al., 2021, 2022). 5: Speculation from the allied species.			

これらの群集型と多様性指標, 湧昇流の指標の散布図を fig. 12A に示す. 全体的な多様性指標と湧昇流指標は弱い逆相関関係を示しており, 群集型 I で多様性指標のばらつきが大きく, IIa, IIb の順に多様性指標が低下していく傾向がみとれる. 浮遊性有孔虫は熱帯域よりも寒冷環境の方が種の多様性が低いことから, 上記の解釈と整合的である. Fig. 12B には, 湧昇流の指標種の割合と熱帯・亜熱帯海域の表層混合水塊に多く生息する *Globigerinoides* 属の種の割合の合計のプロットを示した. 群集型 I から IIa, IIb と, 単調に湧昇流の指標が増加し, *Globigerinoides* 属が減少

する傾向が明瞭に認められる. これから, 湧昇流の指標のうち多くを占める *G. glutinata*, *T. quinqueloba* は表層混合層に生息しており, *Globigerinoides* 属と表層水塊を棲み分けていたことが示唆される.

Huang et al. (2003) は南シナ海の浮遊性有孔虫を混合層, 温度躍層及び深層の 3 つのグループに区分している. さらにいくつかの絶滅種については, 直系子孫と同様のニッチを占めていたものと仮定し, 鮮新世の南シナ海の古海洋環境をうまく説明している. 本研究でも彼らのコンセプトに倣い, 浮遊性有孔虫を table 9 に区分した.

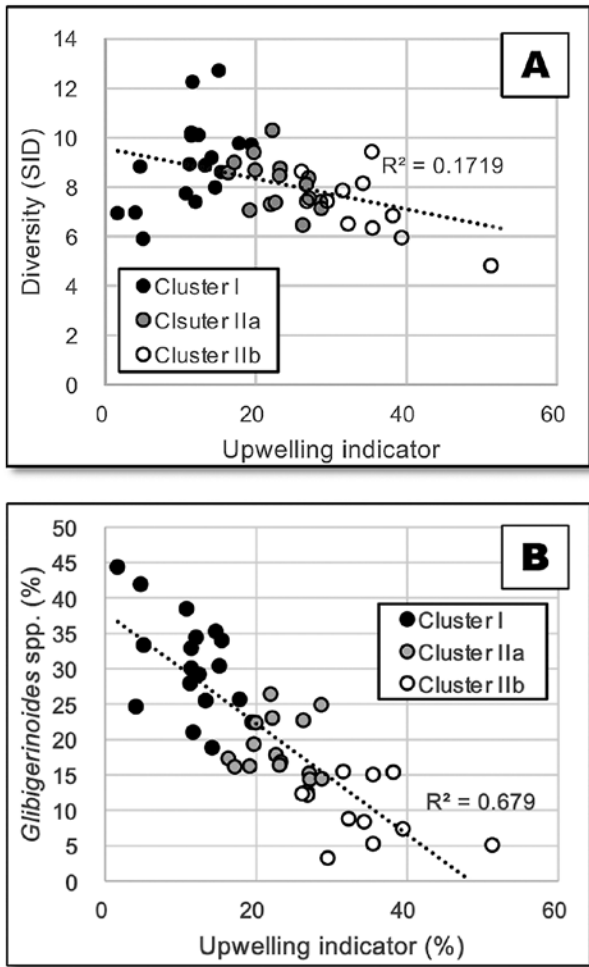


Fig. 12. 湧昇流の指標と多様性指標 (A), 湧昇流の指標と *Glibigerinoides* 属の散布図 (B).
Fig. 12. Scatter plot of the ratio of upwelling indicators to diversity indices (A) and *Glibigerinoides* spp. (B).

Table 10. 各群集型 (クラスター) の多様性指標, 湧昇流の指標種及び海洋分布毎の割合の平均値.

Table 10. List of calcareous nannofossils from the north of the Ikemi area and Ikei-jima.

	Cluster		
	I	IIa	IIb
Diversity			
Species Richness > 0.5%	19.2	18.9	16.6
1/Simpson's Index	8.4	8.3	7.4
H', Shannon-Wieners	2.4	2.4	2.2
Upwelling indicator (%)			
<i>G. bulloides</i> , <i>G. glutinata</i> , <i>T. quinqueloba</i> , <i>N. pachyderma</i>	11.5	23.1	34.6
Distribution (%)			
Mixed-layer/Tropical to Subtropical	56.4	53.0	43.1
Mixed-layer/Transitional to Subpolar	15.2	27.7	40.4
Mixed-layer/unknown	2.0	2.9	3.7
Thermocline/Tropical to Subtropical	17.4	10.8	8.6
Thermocline/Transitional to Subpolar	3.4	2.2	1.6
Unknown	5.6	3.6	2.5

これらの区分と多様性指標, 湧昇流の指標の平均値を各群集型について算定した結果を table 10 に示す. ここから, 群集型 I は熱帯・亜熱帯海域の表層混合層から温度躍層までの全てについて割合が高く, 亜寒帯域にかけて表層混合水塊を特徴付ける種が群集型 IIb で多くを占めている.

桃原地区での群集型の層序分布をみると, 変動があるが, 大局的には下位層準に群集型 I が多く産出し, 上位層準に IIa, IIb が多いことがわかる (Fig. 6). すなわち, PL4 から PL5 にかけて表層混合水塊の寒冷化または湧昇流の強化が進んだことがデータから推定できる.

平安座島の知念層下部の砂質シルト岩 (試料 H01C-2) は群集型 I, 宮城島南東部の知念層下部のシルト岩 (試料 T16) は群集型 IIb で群集組成は異なるが, 分析試料数が少ないこと, 堆積相から高エネルギー環境が推測され, 異地性または下位層準からの混入の可能性が否定できないことから古環境の推定は困難である.

PL4 の鮮新世ピアセンジアン期中期は世界的な温暖期であり (Haywood et al., 2016; Dowsett et al., 2013, 2016), 更新世に向けて寒冷化が進んでいく時期に当たる. また, 更新世はアジア・モンスーンが段階的に発達している時期であるため (例えば Zhang, 2009), 研究地域の PL4 から PL5 で観察される上位層準への冷水塊の発達, この世界的な寒冷化や偏西風の発達に伴う湧昇現象を反映している可能性がある. これについては, 本研究地域の局所的な現象であることも否定できないのでさらなる情報の蓄積が期待される.

石灰質ナノ化石群集については化石の保存状態が悪かったため, 古海洋環境を推定することは困難であるが, 小型の *Reticulophenestra* 属が多く産出していることは, Farida et al. (2012) や佐藤 (2012) が推定しているように湧昇流による成層構造の不安定化を示している可能性がある.

ところで, 石灰質ナノ化石群集において, CN11 以下 (3.82 Ma 以前) の層準を示す *R. pseudumbilicus* および *S. abies* が与那原層から知念層まで連続的に産出することは, 後背地から古い時代の地層が継続的に運搬されてきていることを示しているが, 与那原層および新里層は塊状シルト岩を主体としており, 生物擾乱が強く働いていたとしても粗粒堆積物が連続的に供給されていたとは考えにくい. このような再堆積が起こる原因については, 今後, Ujiie (1994) が概要を示した沖縄トラフの形成時期や構造運動と関連させて明らかにしていくことが期待される.

5. まとめ

浮遊性有孔虫化石と石灰質ナノ化石層序に基づく、宮城島と周辺島嶼に分布する島尻層群のシルト岩を主体とした地層は PL4 から PL5 に対比され、沖縄本島における与那原層と新里層に年代的に対比できる。

知念層は CN13b に対比される。

この地域では、与那原層と新里層が知念層および琉球石灰岩それぞれと傾斜不整合により接しており、知念層の基底はチャンネル形成による下位層の削剥を示している。

与那原層および新里層の浮遊性有孔虫化石群集は、3 つの群集型に分類され、それらの層序変化は鮮新世ピアセンジアン期中期以降の寒冷化または湧昇流の強化を示唆している。

6. 謝辞

この研究は第一著者の名古屋大学理学部在学時の卒業研究(1991 年度)に基づいており、糸魚川淳二教授(当時、故人)には地質調査を含む研究全般についてご指導いただいた。今回の報告では、静岡大学の延原尊美教授と金沢大学のロバート・G・ジェンキンス准教授から試料の提供を受けた。匿名査読者には本論の改善のために貴重なご意見をいただいた。

本研究で使用した標本は、花方(2004)で報告した浮遊性有孔虫化石と合わせて久保田好美博士の協力を得て国立科学博物館に受け入れていただいた。

以上の皆様に厚く御礼申し上げます。

7. 引用文献

- Bé, A. W. H. 1977. An ecological, zoogeographic and taxonomic review of recent planktonic foraminifera. In A. T. S. Ramsey, ed., *Oceanic Micropaleontology*. Academic Press. p. 1–100.
- Berggren, W. A. 1973. The Pliocene time scale: calibration of planktonic foraminiferal and calcareous nannoplankton zones. *Nature* 243: 391–397.
- Berggren, W. A., D. V. Kent, C. C. Swisher III, and M.-P. Aubry. 1995. A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. In W. A. Berggren, D. V. Kent, M.-P. Aubry, and J. Hardenbol, eds., *Geochronology, time scales and global stratigraphic correlation*, SEPM Special Publication 54: 129–212.
- Blow, W. H. 1969. Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. In P. Brönnimann, and H. H. Renz, eds., *Proceedings of the first international conference on planktonic microfossils*. Leiden. E. J. Brill 1. 199–421.
- Boscolo-Galazzo, F., K. A. Crichton, A. Ridgwell, E. M. Mawbey, B. S. Wade, and P. N. Pearson. 2021. Temperature controls carbon cycling and biological evolution in the ocean twilight zone. *Science* 371: 1148–1152.
- Boscolo-Galazzo, F., A. Jones, T. D. Jones, K. A. Crichton, B. S. Wade, and P. N. Pearson. 2022. Late Neogene evolution of modern deep-dwelling plankton. *Biogeosciences* 19: 743–762.
- Bradshaw, J. S. 1959. Ecology of living planktonic foraminifera in the North and equatorial Pacific Ocean. *Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research* 10: 25–64.
- 千代延俊・猿渡隼人・佐藤時幸・権元淳一・井龍康文. 2009. 沖縄本島勝連半島に分布する知念層の石灰質ナノ化石生層序. *地質学雑誌* 115: 528–539.
- Darling, K. F., C. M. Wade, M. Siccha, G. Trommer, H. Schulz, S. Abdolalipour, and A. Kurasawa. 2017. Genetic diversity and ecology of the planktonic foraminifers *Globigerina bulloides*, *Turborotalita quinqueloba* and *Neogloboquadrina pachyderma* off the Oman margin during the late SW Monsoon. *Marine Micropaleontology*, 137: 64–77.
- Dowsett, H., K. Foley, D. Stoll, M. A. Chandler, L. E. Sohl, M. Bentsen, B. L. Otto-Bliesner, F. J. Bragg, W.-L. Chan, C. Contoux, A. M. Dolan, A. M. Haywood, J. A. Jonas, A. Jost, Y. Kamae, G. Lohmann, D. J. Lunt, K. H. Nisancioglu, A. Abe-Ouchi, G. Ramstein, C. R. Riesselman, M. M. Robinson, N. A. Rosenbloom, U. Salzmann, C. Stepanek, S. L. Strother, H. Ueda, Q. Yan, and Z. Zhang. 2013. Sea Surface Temperature of the mid-Piacenzian Ocean: A Data-Model Comparison. *Scientific Reports* 3. DOI: 10.1038/srep02013
- Dowsett, H., A. Dolan, D. Rowley, R. Moucha, A. M. Forte, J. X. Mitrovica, M. Pound, U. Salzmann, M. Robinson, M. Chandler, K. Foley, and A. Haywood. 2016. The PRISM4 (mid-Piacenzian) paleoenvironmental reconstruction. *Climate of the Past* 12: 1519–1538.
- Emanuel, S., T. Sato, S. Chiyonobu, J. B. H. Shyu, D. Bassi, and Y. Iryu. 2021. High-resolution upper Pliocene to Pleistocene calcareous nannofossil

- biostratigraphy in Ocean Drilling Program Hole 1146A in the South China Sea. *Island Arc* 30(1), e12411.
DOI: 10.1111/iar.12411.
- Farida, M., R. Imai, and T. Sato. 2012. Miocene to Pliocene paleoceanography of the western equatorial Pacific Ocean based on calcareous nannofossils, ODP Hole 805B. *Open Journal of Geology* 2: 72–79.
- 藤田和彦・千代延俊・溝渕年哉・井龍康文. 2011. 沖縄島那覇港沖の海底コアから発見された知念層とその意義. *地質学雑誌* 117: 625–631.
- 花方 聡. 2004. 沖縄本島東部勝連半島沖宮城島周辺の鮮新統~更新統浮遊性有孔虫化石層序. *瑞浪市化石博物館研究報告* 31: 37–48.
- Hanagata, S., and T. Nobuhara. 2015. Illustrated guide to Pliocene foraminifera from Miyakojima, Ryukyu Island Arc, with comments on biostratigraphy. *Palaeontologia Electronica* 18.1.3A: 1–140.
- Hanzawa, S. 1935. Topography and Geology of the Ryukyu Island. *Science Reports of the Tohoku Imperial University, Series II (Geology)* 17: 1–59.
- Haywood, A. M., H. J. Dowsett, and A. M. Dolan. 2016. Integrating geological archives and climate models for the mid-Pliocene warm period. *Nature Communications* 7: 10646.
DOI: 10.1038/ncomms10646.
- Huang, B., X. Cheng, Z. Jian, and P. Wang. 2003. Response of upper ocean structure to the initiation of the North Hemisphere glaciation in the South China Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 196: 305–318.
- 茨木雅子. 1975. 沖縄本島の新第三系・第四系について. *静岡大学地球科学研究報告* 1: 1–9.
- 茨木雅子. 1979. 沖縄本島・島尻層群上部の浮遊性有孔虫化石層序と *Amussiopecten iitomiensis* (Otuka) の産出. *静岡大学地球科学研究報告* 4: 25–32.
- Jian, Z., Q. Zhao, X. Cheng, J. Wang, P. Wang, and X. Su. 2003. Pliocene–Pleistocene stable isotope and paleoceanographic changes in the northern South China Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 193: 425–442.
- Kowenhoven, T. J., C. Morigi, A. Negri, S. Giunta, W. Krijgsman, and J.-M. Rouchy. 2006. Paleoenvironmental evolution of the eastern Mediterranean during the Messinian: Constraints from integrated microfossil data of the Pissouri Basin (Cyprus). *Marine Micropaleontology* 60: 17–44.
- Lam, A. R., and R. M. Leckie. 2020. Subtropical to temperate late Neogene to Quaternary planktic foraminiferal biostratigraphy across the Kuroshio Current Extension, Shatsky Rise, northwest Pacific Ocean. *PLoS ONE* 15(7): e0234351.
DOI: 10.1371/journal.pone.0234351
- LeRoy, L. W. 1964. Smaller foraminifera from the Late Tertiary of southern Okinawa. *U. S. Geological Survey Professional Paper* 454-F: 58 p. 16 pls.
- Li B., Z. Jian, and P. Wang. 1997. *Pulleniatina obliquiloculata* as a paleoceanographic indicator in the southern Okinawa Trough during the last 20,000 years. *Marine Micropaleontology* 32: 59–69.
- Loeblich, A. R., and H. Tappan. 1994. Foraminifera of the Sahul Shelf and Timor Sea. *Cushman Foundation for Foraminiferal Research Special Publication* 31. 661 p.
- MacNeil, F. S. 1960. Tertiary and Quaternary Gastropoda of Okinawa. *U. S. Geological Survey of Professional Paper* 339: 148 p. 19 pls.
- 牧野登喜男・樋口 雄. 1967. 沖縄本島南部の天然ガス鉱床の地質学的考察. *石油技術協会誌* 32: 49–59.
- 松田博貴・林田将英・千代延俊・山崎 誠・佐々木圭一. 2023. 鹿児島県喜界島で発見された下部更新統知念層とその意義. *地質学雑誌* 129: 153–164.
- 松本 良・武内里香・中川 洋・佐藤時幸・井龍康文・松田博貴・小松原純子・佐藤道夫. 2023. 沖縄本島, 前期更新世“知念変動”におけるメタン由来ドロマイト・コンクリーションの生成. *地質学雑誌* 129: 415–434.
- Mohtadi, M., S. Steinke, J. Groeneveld, H. G. Fink, T. Rixen, D. Hebbeln, B. Donner, and B. Herunadi. 2009. Low-latitude control on seasonal and interannual changes in planktonic foraminiferal flux and shell geochemistry off south Java: A sediment trap study. *Paleoceanography and Paleoclimatology* 24.
DOI:10.1029/2008PA001636.
- 中川 洋・松田博貴・佐藤時幸・平塚未友紀・尾田太良. 2001. 沖縄本島南部知念層の堆積相と堆積年代—予察—. *堆積学研究* 53: 99–101.
- Natori, H. 1976. Planktonic foraminiferal biostratigraphy and datum planes in the Late Cenozoic sedimentary sequence in Okinawa-jima, Japan. In Y. Takayanagi, and T. Saito, eds., *Progress in micropaleontology*. p. 214–243.
- 名取博夫・影山邦夫. 1987. 日本油田ガス田図 12, 沖縄本島中-南部.

- 野田浩司. 1977. 沖縄本島南部における新里層と知念層の層序関係とその意義について. 琉球列島の地質学研究 2: 55–60.
- Noda, H. 1988. Molluscan fossils from the Ryukyu Islands, Southwest Japan, Part 2. Gastropoda and Pelecypoda from the Shinzato Formation in the middle part of Okinawa-jima. Science Report of Institute of Geosciences, Tsukuba University, Section B 9: 29–85.
- Okada, H., and D. Bukry. 1980. Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973; 1975). Marine Micropaleontology 5: 321–325.
DOI: 10.1016/0377-8398(80)90016-x
- 太田 亨・新井宏嘉. 2006. 組成データ解析の問題点とその解決方法. 地質学雑誌 112: 173–187.
- 大清水岳史・井龍康文. 2002. 沖縄本島勝連半島沖の島々に分布する知念層および琉球層群の層序. 地質学雑誌 108: 318–335.
- Parker, F. L. 1962. Planktonic foraminiferal species in Pacific sediments. Micropaleontology 8: 219–254.
- Perch-Nielsen, K. 1985. Cenozoic calcareous nannofossils. In H. M. Bolli, J. B. Saunders, and K. Perch-Nielsen eds., Plankton Stratigraphy. Cambridge University Press. p. 427–554.
- Raffi, I., B. S. Wade, and H. Pälike. 2020. The Neogene Period (Chapter 29), p. 1141–1215. In F. M. Gradstein, J. G. Ogg, M. D. Schmitz, and G. M. Ogg, eds., Geologic Time Scale 2020, 2 volumes.
- Rasmussen, T. L., E. Thomsen, S. R. Trolstra, A. Kuijpers, and M. A. Prins. 2002. Millennial-scale glacial variability versus Holocene stability: changes in planktic and benthic foraminifera faunas and ocean circulation in the North Atlantic during the last 60000 years. Marine Micropaleontology 47: 143–176.
- Saito, T. 1963. Miocene planktonic foraminifera from Honshu, Japan. The science reports of the Tohoku University Second series (Geology) 35: 123–209.
- 佐藤時幸. 2012. 微化石研究の現状と石油地質学への応用—古海洋環境変化とは何か—. 石油技術協会誌 77: 241–249.
- 佐藤時幸・中川 洋・小松原純子・松本 良・井龍康文・松田博貴・大村亜希子・小田原啓・武内里香. 2004a. 石灰質微化石層序からみた沖縄本島南部, 知念層の地質年代. 地質学雑誌 110: 38–50.
- 佐藤時幸・中川 洋・小松原純子・松本 良・井龍康文・松田博貴・大村亜希子・小田原啓・武内里香. 2004b. 「石灰質微化石層序からみた沖縄本島南部, 知念層の地質年代」についての討論に答えて. 地質学雑誌 110: 561–563.
- 佐藤時幸・千代延俊・ファリーダメウティア. 2012. グローバル気候変動と新第三紀の終わり／第四紀の始まり: 石灰質ナノ化石層序から. 地質学雑誌 118: 87–96.
- Sautter, L. R., and R. C. Thunell. 1991. Planktonic foraminiferal response to upwelling and seasonal hydrographic conditions: sediment trap results from San Pedro Basin, southern California Bight. Journal of Foraminiferal Research 21: 347–363.
- Schiebel, R., and C. Hemleben. 2017. Planktic Foraminifers in the Modern Ocean. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. 333 p.
- Simpson, E. H. 1949. Measurement of diversity. Nature 163: 688.
- Spencer-Cervato, C., and H. R. Thierstein. 1997. First appearance of *Globorotalia truncatulinoides*: cladogenesis and immigration. Marine Micropaleontology 30: 267–291.
- Tanaka, Y., and H. Ujiie. 1984. A standard late Cenozoic microbiostratigraphy in southern Okinawa-jima, Japan, Part 1. Calcareous nannoplankton zones and their correlation to the planktonic foraminiferal zones. Bulletin of National Science Museum, series C 10: 141–168.
- Thompson, P. R., and N. J. Shackleton. 1980. North Pacific paleoceanography: late Quaternary coiling variations of planktonic foraminifer *Neogloboquadrina pachyderma*. Nature 287: 829–833.
- 辻 隆司・宮田雄一郎. 1987. 砂岩層中にみられる流動化・液状化による変形構造—宮崎県日南層群の例と実験的研究—. 地質学雑誌 93: 791–808.
- Ujiie, H. 1985. A standard Late Cenozoic microbiostratigraphy in southern Okinawa-jima, Japan. Part 2. Details on the occurrence of planktonic foraminifera with some taxonomic annotations. Bulletin of the National Museum of Nature and Science Series C (Geology and Paleontology) 11: 103–136.
- 氏家 宏. 1988. 沖縄本島中・南部の地質図(浮遊性有孔虫化石帯に基づく). (株)国建.
- Ujiie, H. 1994. Early Pleistocene birth of the Okinawa Trough and Ryukyu Island Arc at the northwestern margin of the Pacific: evidence from Late Cenozoic planktonic foraminiferal zonation. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 108: 457–474.
- 氏家 宏. 2004. 沖縄における知念層と島尻層群の層位学的関係. 地質学雑誌 110: 557–560.

- 氏家 宏・兼子尚知. 2006. 那覇及び沖縄市南部地域の地質. 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅). 産総研地質調査総合センター. 48 p.
- Ujiie, Y., and H. Ujiie. 2000. Distribution and oceanographic relationships of modern planktonic foraminifera in the Ryukyu Arc region, northwest Pacific Ocean. *Journal of Foraminiferal Research* 30: 336–360.
- Wade, B. S., P. N. Pearson, W. A. Berggren, and H. Pälike. 2011. Review and revision of Cenozoic tropical planktonic foraminiferal biostratigraphy and calibration to the geomagnetic polarity and astronomical time scale. *Earth-Science Reviews* 104: 111–142.
- Young, J. 1998. Neogene. In P. R. Bown, ed., *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*. British Micropalaeontological Society Publications Series. p. 225–282.
- Zhang, Y. G., J. Ji, W. Balsam, L. Liu, and J. Chen. 2009. Mid-Pliocene Asian monsoon intensification and the onset of Northern Hemisphere glaciation. *Geology* 9: 599–602.

Plate 1. 浮遊性有孔虫化石の顕微鏡写真.**Plate 1.** Optical micrograph of fossil planktonic foraminifera.

For figures, 1, a: umbilical view; b: peripheral view; c: dorsal view, except figs. 1, 2, where a: aperture views, b: side views, c: edge view. Scale bars = 0.1 mm.

1. *Neogallitellia vivans* (Cushman), Specimen MPC-44647 from sample T22-3.
2. *Laterostomella laeviora* Saidova, Specimen MPC-44648 from sample T06.
3. *Berggrennia pumilio* (Parker), Specimen MPC-44649 from sample T22-4.
4. *Neogloboquadrina blowi* Rögl and Bolli, Specimen MPC-44650 from sample T02b.
5. *Neogloboquadrina dutertrei* (d'Orbigny), Specimen MPC-44651 from sample S05.
6. *Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg), Specimen MPC-44652 from sample T07a.
7. *Neogloboquadrina praeumerosa* (Natori), Specimen MPC-44653 from sample T02b.
8. *Truncorotalia tenuitheca* (Blow), Specimen MPC-44654 from sample T02b.
9. *Truncorotalia truncatulinoides* (d'Orbigny), Specimen MPC-44655 from sample T16.
10. *Globoconella* cf. *conoidea* (Walters), Specimen MPC-44656 from sample T07NS.
11. *Globoconella* cf. *conoidea* (Walters), Specimen MPC-44657 from sample T01-4.
12. *Globoconella inflata* (d'Orbigny), Specimen MPC-44658 from sample M05.
13. *Globoconella inflata* (d'Orbigny), Specimen MPC-44659 from sample M12.
14. *Globigerinita glutinata* (Egger), Specimen MPC-44660 from sample M10.
15. *Tenuitella parkerae* (Brönnimann and Resig), Specimen MPC-44661 from sample T01-3.
16. *Dentoglobigerina altispira* (Cushman and Jarvis), Specimen MPC-44662 from sample M04.
17. *Globorotaloides hexagonus* (Natland), Specimen MPC-44663 from sample T07NS.
18. *Globorotaloides variabilis* Bolli, Specimen MPC-44664 from sample T07NS.
19. *Globigerina* sp. 1, Specimen MPC-44665 from sample T01-6.
20. *Globigerina* sp. 2, Specimen MPC-44666 from sample K01Sfm.
21. *Globigerinella obesa* (Bolli), Specimen MPC-44667 from sample M08.
22. *Globigerinoides obliquus* Bolli, Specimen MPC-44668 from sample T16.
23. *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny), Specimen MPC-44669 from sample M12.
24. *Globoturborotalita* cf. *woodi* (Jenkins), Specimen MPC-44670 from sample I01-3.
25. *Clavatorella* sp. 1, Specimen MPC-44671 from sample T01-6.



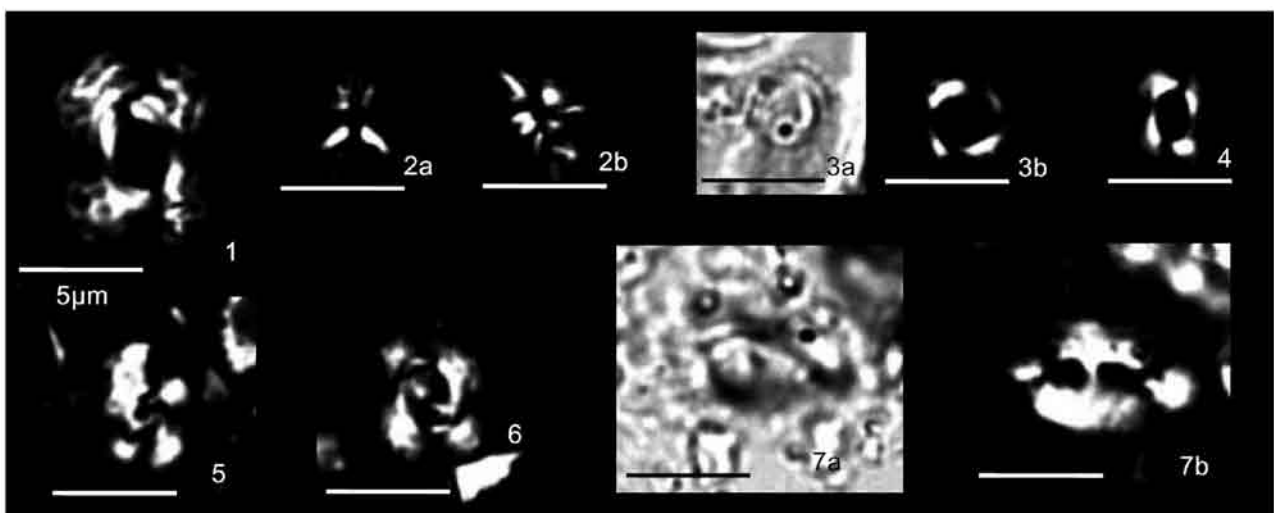
Plate 2. 石灰質ナノ化石の顕微鏡写真.

Plate 2. Optical micrographs of calcareous nannofossils from outcrops of the Shimajiri Group and Chinen Formation.

The magnification is consistent across all figures, and the scale bar represents 5 μm .

1. *Reticulofenestra pseudoumbilicus* (Gartner) Gartner, from sample T01-2, cross-polarized light image.
2. *Shenolithus abies* Deflandre, from sample T01-2, 2a, view parallel to crossed nicol, 2b, side view at 45° to crossed nicol.
3. *Pseudoemiliana lacunosa* (Kamptner) Gartner, from sample T22-4, 3a, open-polarized light image, 3b, cross-polarized light images.
4. *Reticulofenestra minutula* (Gartner) Haq and Berggren, from sample H01-S, cross-polarized light image.
5. *Gephyrocapsa caribbeanica* Boudreaux and Hay, from sample H01C1, cross-polarized light image.
6. *Gephyrocapsa oceanica* Kamptner, from sample H01C1, cross-polarized light image.
7. *Helicosphaera sellii* Bukry and Bramlette, from sample M14, 7a, open-polarized light image, 7b, cross-polarized light image.

Plate 2



Appendix 1. 浮遊性有孔虫および石灰質ナノプランクトンの著者及び記載年.**Appendix 1.** Authors and described years of planktonic foraminifera and calcareous nannoplankton.

本研究で報告した浮遊性有孔虫および石灰質ナノプランクトンの命名者名および記載年号をアルファベット順に記載する. 石灰質ナノプランクトンについては, 現行の属名と種小名の組み合わせが提唱された年号のみとする. 花方(2004; 以下「H04」と表記)において図示した浮遊性有孔虫については, 図の番号を付記した.

浮遊性有孔虫 (Planktonic Foraminifera)***Berggrenia pumilio*** (Parker) (Pl. 1, fig. 3)

Globorotalia pumilio Parker, 1962.

Bolliella calida (Parker)

Globigerina calida Parker, 1962.

Bolliella calida (Parker): H04, pl. 4, fig. 6.

***Clavatorella* sp. 1** (Pl. 1, fig. 25)

Clavatorella sp. 1: H04, pl. 3, fig. 9.

Dentoglobigerina altispira (Cushman and Jarvis) (Pl. 1, fig. 16)

Globigerina altispira Cushman and Jarvis, 1936.

Globoquadrina altispira (Cushman and Jarvis): H04, pl. 4, fig. 5.

Globigerina bulloides d'Orbigny

Globigerina bulloides d'Orbigny, 1826.

Globigerina bulloides d'Orbigny: H04, pl. 5, fig. 1.

Globigerina falconensis Blow

Globigerina falconensis Blow, 1959.

Globigerina falconensis Blow: H04, pl. 5, fig. 2.

Globigerina foliata Bolli

Globigerina foliata Bolli, 1957.

Globigerina foliata Bolli: H04, pl. 5, fig. 3.

***Globigerina* sp. 1** (Pl. 1, fig. 19)

Diagnosis: Small species with four lobulate chambers in final whorl, umbilical aperture, and rough surface texture.

***Globigerina* sp. 2** (Pl. 1, fig. 20)

Diagnosis: Moderate size species with rapidly growing four chambers, narrow slit-like aperture with a fine-grained surface.

Globigerinella obesa (Bolli) (Pl. 1, fig. 21)

Globorotalia obesa Bolli, 1957.

Globigerinella siphonifera (d'Orbigny)

Globigerina siphonifera d'Orbigny, 1839.

Globigerinella siphonifera (d'Orbigny): H04, pl. 4, fig. 7.

Globigerinita glutinata (Egger) (Pl. 1, fig. 14)

Globigerina glutinata Egger, 1893.

Globigerinita glutinata (Egger): H04, pl. 4, fig. 3.

Globigerinita uvula (Ehrenberg) (Pl. 1, fig. 11)

Pyloedixia uvula Ehrenberg, 1861; Ehrenberg, 1873.

Globigerinoides conglobatus (Brady)

Globigerina conglobata Brady, 1879.

Candeina nitida d'Orbigny: H04, pl. 4, fig. 4.

Globigerinoides conglobatus (Brady): H04, pl. 5, fig. 4.

Globigerinoides extremus Bolli and Bermúdez

Globigerina extremus Bolli and Bermúdez, 1965.

Globigerinoides obliquus Bolli (Pl. 1, fig. 22)

Globigerinoides obliquus Bolli, 1957.

Globigerinoides obliquus Bolli: H04, pl. 5, fig. 5.

Globigerinoides pyramidalis (van den Broeck)

Globigerina bulloides d'Orbigny var. *rubra* d'Orbigny subvar. *pyramidalis* van den Broeck, 1876.

Globigerinoides pyramidalis (van den Broeck): H04, pl. 5, fig. 6.

Globigerinoides ruber (d'Orbigny) (Pl. 1, fig. 23)

Globigerina rubra d'Orbigny, 1839.

Globigerinoides ruber (d'Orbigny): H04, pl. 5, fig. 7.

Globigerinoides sacculifer (Brady)

Globigerina sacculifera Brady, 1877.

Globigerinoides sacculifer (Brady): H04, pl. 5, fig. 8, , pl. 6, fig. 1.

Globigerinoides trilobus (Reuss): H04, pl. 6, fig. 2.

Globigerinoidesella fistulosa (Schubert)

Globigerina fistulosa Schubert, 1910.

Globigerinoidesella fistulosa (Schubert): H04, pl. 6, fig. 3.

Globoconella cf. *conoidea* (Walters) (Pl. 1, figs. 10, 11)

Compared to *Globorotalia miozea conoidea* Walters, 1965.

Remarks: Specimens are juvenile and a distinct keel of adult form is not observed.

Globoconella inflata (d'Orbigny) (Pl. 1, figs. 12, 13)

Globigerina inflata d'Orbigny, 1839.

Truncorotalia bononiensis (Pondi): H04, pl. 3, fig. 1.

Globorotalia cultrata (d'Orbigny)

Rotalina (Rotalina) cultrata d'Orbigny, 1839.

Globorotalia menardii (Parker, Jones and Brady): H04, pl. 2, fig. 1.

Globorotalia scitula (Brady)

Pulvinulina scitula Brady, 1882.

Globorotalia scitula (Brady): H04, pl. 2, fig. 3.

Globorotalia tumida (Brady)

Pulvinulina menardii (d'Orbigny) var. *tumida* Brady, 1877.

Globorotalia tumida (Brady): H04, pl. 2, fig. 2.

Globorotaloides hexagonus (Natland) (Pl. 1, fig. 17)

Globigerina hexagona Natland, 1938.

Globorotaloides variabilis Bolli (Pl. 1, fig. 18)

Globorotaloides variabilis Bolli, 1957.

Globoturborotalita decoraperta (Takayanagi and Saito)

Globigerina decoraperta Takayanagi and Saito, 1962.

Globoturborotalita decoraperta (Takayanagi and Saito): H04, pl. 6, fig. 4.

Globoturborotalita rubescens (Hofker)

Globigerina rubescens Hofker, 1956.

Globoturborotalita rubescens (Hofker): H04, pl. 6, fig. 5.

Globoturborotalita cf. *woodi* (Jenkins) (Pl. 1, fig. 24)

Compared to *Globigerina woodi* Jenkins, 1960.

Diagnosis: Moderate size four globular chamber species with a rough surface, and round umbilical aperture.

Due to its preservation, critical identification is difficult.

Laterostomella laeviora Saidova (Pl. 1, Fig. 2)

Laterostomella laeviora Saidova, 1975.

- Neogallitellia vivans*** (Cushman) (Pl. 1, fig. 1)
Guembelitria? vivans Cushman, 1934.
- Neogloboquadrina acostaensis*** (Blow)
Globorotalia acostaensis Blow, 1959.
Neogloboquadrina acostaensis (Blow): H04, pl. 2, fig. 4.
- Neogloboquadrina blowi*** Rögl and Bolli (Pl. 1, Fig. 4)
Neogloboquadrina dutertrei (d'Orbigny) *blowi* Rögl and Bolli, 1973.
Globigerina dubia Egger: LeRoy, 1964, p. F42, pl. 14, figs. 6–8. (non *Globigerina dubia* Egger, 1857).
- Neogloboquadrina dutertrei*** (d'Orbigny) (Pl. 1, fig. 16)
Globigerina dutertrei d'Orbigny, 1839.
- Neogloboquadrina humerosa*** (Takayanagi and Saito)
Globorotalia humerosa Takayanagi and Saito, 1962.
Neogloboquadrina humerosa humerosa (Takayanagi and Saito): H04, pl. 2, fig. 5.
- Neogloboquadrina incompta*** (Cifelli)
Globigerina incompta Cifelli, 1961.
Neogloboquadrina incompta (Cifelli): H04, pl. 2, figs. 7, 8.
- Neogloboquadrina pachyderma*** (Ehrenberg) (Pl. 1, fig. 6)
Aristerotheca pachyderma Ehrenberg, 1861.
- Neogloboquadrina praeumerosa*** (Natori) (Pl. 1, fig. 7)
Globorotalia (Turborotalia) humerosa praeumerosa Natori, 1976.
Neogloboquadrina humerosa praeumerosa (Natori): H04, pl. 2, fig. 6.
- Neogloboquadrina pseudopachyderma*** (Cita, Premoli-Silva and Rossi)
Globorotalia pseudopachyderma Cita, Premoli-Silva and Rossi, 1965.
- Orbulina universa*** d'Orbigny
Orbulina universa d'Orbigny, 1839.
Orbulina universa d'Orbigny: H04, pl. 6, fig. 8.
- Orbulina suturalis*** Brönnimann
Orbulina suturalis Brönnimann, 1951.
Orbulina suturalis Brönnimann: H04, pl. 6, fig. 7.
- Pulleniatina obliquiloculata*** (Parker and Jones)
Pullenia sphaeroides (d'Orbigny) var. *obliquiloculata* Parker and Jones, 1865.
Pulleniatina obliquiloculata (Parker and Jones): H04, pl. 4, fig. 1.
- Pulleniatina okinawaensis*** Natori
Pulleniatina okinawaensis Natori, 1976.
Pulleniatina okinawaensis Natori: H04, pl. 4, fig. 2.
- Sphaeroidinella dehiscens*** (Parker and Jones)
Sphaeroidina bulloides d'Orbigny var. *dehiscens* Parker and Jones, 1865.
Sphaeroidinella dehiscens (Parker and Jones): H04, pl. 6, fig. 6.
- Tenuitella parkerae*** (Brönnimann and Resig) (Pl. 1, fig. 15)
Globorotalia (Turborotalia) parkerae Brönnimann and Resig, 1971.
- Truncorotalia crassaformis*** (Galloway and Wissler)
Globigerina crassaformis Galloway and Wissler, 1927.
Truncorotalia crassaformis (Galloway and Wissler): H04, pl. 3, fig. 2.
- Truncorotalia tenuithecata*** (Blow) (Pl. 1, fig. 8)
Globorotalia (Turborotalia) tosaensis tenuithecata Blow, 1969.
- Truncorotalia tosaensis*** (Takayanagi and Saito)
Globorotalia tosaensis Takayanagi and Saito, 1962.
Truncorotalia tosaensis (Takayanagi and Saito): H04, pl. 3, fig. 3.

Truncorotalia truncatulinoides (d'Orbigny) (Pl. 1, fig. 9)*Rotalina truncatulinoides* d'Orbigny, 1839.*Truncorotalia truncatulinoides* (d'Orbigny): H04, pl. 3, fig. 4.***Truncorotalia viola*** (Blow)*Globorotalia (Globorotalia) crassula viola* Blow, 1969.*Truncorotalia viola* (Blow): H04, pl. 3, fig. 5.***Turborotalita humilis*** (Brady)*Truncatulina humilis* Brady, 1884.*Turborotalita humilis* (Brady): H04, pl. 3, fig. 6.***Turborotalita quinqueloba*** (Natland)*Globigerina quinqueloba* Natland, 1938.*Turborotalita quinqueloba* (Natland): H04, pl. 3, fig. 7.石灰質ナノプランクトン (**Calcareous Nannoplankton**)***Braarudosphaera bigelowii*** (Gran and Braarud) Deflandre, 1947.***Calcidiscus leptoporus*** (Murray and Blackman) Loeblich and Tappan, 1978.***Calcidiscus macintyreii*** (Bukry and Bramlette) Loeblich and Tappan, 1978.***Ceratolithus acutus*** Gartner and Bukry, 1974.***Coccolithus pelagicus*** (Wallich) Schiller, 1930.***Dictyococcites antarcticus*** Haq, 1976.***Dictyococcites productus*** (Kamptner) Backman, 1980.***Discoaster brouweri*** Tan emend. Bramlette and Riedel, 1954.***Discoaster quinqueramus*** Gartner, 1969.***Discoaster variabilis*** Martini and Bramlette, 1963.***Gephyrocapsa caribbeanica*** Boudreaux and Hay, 1967. (Pl. 2, fig. 5)***Gephyrocapsa oceanica*** Kamptner, 1943. (Pl. 2, fig. 6)***Helicosphaera carteri*** (Wallich) Kamptner, 1954.***Helicosphaera sellii*** Bukry and Bramlette, 1969. (Pl. 2, fig. 7)***Pontosphaera japonica*** (Takayama) Nishida, 1971.***Pontosphaera multipora*** (Kamptner) Roth, 1970.***Pseudoemiliania lacunosa*** (elliptic) (Kamptner) Gartner, 1963. (Pl. 2, fig. 3)***Reticulofenestra gelida*** (Geitzenauer) Backman, 1978.***Reticulofenestra haqii*** Backman, 1978.***Reticulofenestra minuta*** Roth, 1970.***Reticulofenestra minutula*** (Gartner) Haq and Berggren, 1978. (Pl. 2, fig. 4)***Reticulofenestra pseudoumbilicus*** (Gartner) Gartner, 1967. (Pl. 2, fig. 1)***Sphenolithus abies*** Deflandre, 1954. (Pl. 2, fig. 2)***Sphenolithus heteromorphus*** Deflandre, 1953.***Umbilicosphaera jafari*** Muller, 1974.***Umbilicosphaera rotula*** (Kamptner) Varol, 1982.

Appendix 2. 標本番号の付与. 今回, 著者が保管していた花方(2004)に図示した標本を含む全ての浮遊性有孔虫化石の標本を国立科学博物館に寄贈することとし, 同館の標本番号を付与した(Table 11).

Appendix 2. Storage numbers of planktonic foraminifera at the National Museum of Nature and Science (Table 11).

Table 11. 花方(2004)において図示した標本の再同定結果および新たに付与した国立科学博物館の標本番号.

Table 11. Revised identification of specimens illustrated by Hanagata (2004) with newly assigned specimen IDs for the National Museum of Nature and Science.

Plate	Figure	Identification in Hanagata (2004)	Sample	This study	Specimen ID
2	1	<i>Globorotalia menardii</i> (Parker, Jones and Brady)	M11	<i>Globorotalia cultrata</i> (d'Orbigny)	MPC-44608
	2	<i>G. tumida</i> (Brady)	T07NS		MPC-44609
	3	<i>G. scitula</i> (Brady)	T07N S		MPC-44610
	4	<i>Neogloboquadrina acostaensis</i> (Blow)	T07N S	<i>N. praeumerosa</i> (Natori)	MPC-44611
	5	<i>N. humerosa humerosa</i> (Takayanagi and Saito)	T02b	<i>Neogloboquadrina humerosa</i> (Takayanagi and Saito)	MPC-44612
	6	<i>N. humerosa praeumerosa</i> (Natori)	M05		missing
	7	<i>N. incompta</i> (Cifelli)	T07NS	<i>N. pseudopachyderma</i> (Cita, Premoli-Silva, and Rossi)	MPC-44613
	8	<i>N. incompta</i> (Cifelli)	T01-1	<i>N. pseudopachyderma</i> (Cita, Premoli-Silva, and Rossi)	MPC-44614
3	1	<i>Truncorotalia bononiensis</i> (Dondi)	T06	<i>Globoconella inflata</i> (d'Orbigny)	MPC-44615
	2	<i>T. crassaformis</i> (Galloway and Wissler)	T07NS		MPC-44616
	3	<i>T. tosaensis</i> (Takayanagi and Saito)	M13		MPC-44617
	4	<i>T. truncatulinoides</i> (d'Orbigny)	H01C-2		MPC-44618
	5	<i>T. viola</i> (Blow)	T11Yfm		MPC-44619
	6	<i>Turborotalita quinqueloba</i> (Natland)	M06		MPC-44620
	7	<i>T. humilis</i> (Brady)	M06		MPC-44621
	8	<i>T. cf. T. pseudopumillio</i> (Brönnimann and Resig)	K01Tf	<i>Globorotaloides hexagonus</i> (Natland)	MPC-44622
	9	<i>Clavatorella</i> sp. 1	M12		MPC-44623
4	1	<i>Pulleniatina obliquiloculata</i> (Parker and Jones)	T07NS		MPC-44624
	2	<i>P. okinawaensis</i> Natori	T07NS		MPC-44625
	3	<i>Globigerinita glutinata</i> (Egger)	T07NS		MPC-44626
	4	<i>Candeina nitida</i> d'Orbigny	M08	<i>Globigerinoides conglobatus</i> (Brady)	MPC-44627
	5	<i>Globoquadrina altispira</i> (Cushman and Jarvis)	T07NS	<i>Dentoglobigerina altispira</i> (Cushman and Jarvis)	MPC-44628
	6	<i>Bolliella calida</i> (Parker)	I02m		MPC-44629
	7	<i>Globigerinella siphonifera</i> (d'Orbigny)	T20b		MPC-44630
5	1	<i>Globigerina bulloides</i> d'Orbigny	M04		MPC-44631
	2	<i>G. falconensis</i> Blow	M04		MPC-44632
	3	<i>G. foliata</i> Bolli	T01-3		MPC-44633
	4	<i>Globigerinoides conglobatus</i> (Brady)	T01-6		MPC-44634
	5	<i>G. obliquus</i> Bolli	T07a	<i>G. extremus</i> Bolli and Bermudez	MPC-44635
	6	<i>G. pyramidalis</i> (van den Broeck)	T04		MPC-44636
	7	<i>G. ruber</i> (d'Orbigny)	M04		MPC-44637
	8	<i>G. sacculifer</i> (Brady)	T02b		MPC-44638
6	1	<i>Globigerinoides sacculifer</i> (Brady)	T01-2		MPC-44639
	2	<i>G. trilobus</i> (Reuss)	T07NS	<i>G. sacculifer</i> (Brady)	MPC-44640
	3	<i>Globigerinoidesella fistulosa</i> (Schubert)	T06		MPC-44641
	4	<i>Globoturborotalita decoraperta</i> (Takayanagi and Saito)	M04		MPC-44642
	5	<i>G. rubescens</i> (Hofker)	T22-4		MPC-44643
	6	<i>Sphaeroidinella dehiscens</i> (Parker and Jones)	T07NS		MPC-44644
	7	<i>Orbulina suturalis</i> Brönnimann	T07NS		MPC-44645
	8	<i>O. universa</i> d'Orbigny	T07N S		MPC-44646