

## 〔 添 付 資 料 〕

- 添付資料1 石灰岩の化石鑑定
- 添付資料2 底質物の化石鑑定
- 添付資料3 クラストの分析方法

## [添付資料 1] 石灰岩の化石鑑定

化石鑑定を行った試料を表 1 に示す。試料に適切な方法で鑑定方法及び鑑定種類を定め、鑑定を実施した。

表 1 観察試料一覧表

海域	サンプルNo.	着底水深 (m)	地質
キリバス	03SE01AD09 FR01	1,910	石灰岩

### 1. 岩石学的観察及び記載

#### 1-1 分析方法

##### (1) 肉眼観察

野外用のルーペを用いて構成鉱物、化石片及び組織の特徴を観察した。サンプル写真を文末に添付した。

##### (2) 薄片観察

ダイヤモンドカッターにより試料を 30×22×15mm の直方体に切断して薄片用のチップとした（一次切断）。チップの片面を #180~#2500 の研磨剤を用いて研磨し（一次研磨）、プレパラートに接着剤を用いて貼り付けた。プレパラートに貼り付いたチップを厚さ 5mm 程度に薄く切断した（二次切断）。#180~#800 の研磨剤を用いて研磨機上で厚さ 0.1mm 以下まで研磨した。さらに、メノウ板上で #2500 の研磨剤を用いて正確に 0.03mm の厚さに調整した（二次研磨）。プレパラート上で薄くなった岩石薄片の上にカバーガラスを貼り付け、薄片プレパラートの完成品とした。薄片プレパラートは、偏光顕微鏡下において、下方ポーラー及び直交ポーラー下で観察した。

#### 1-2 観察結果

##### (1) 肉眼観察

石灰質な化石片を多量に含み、鉱物片及び岩片は認められない。化石片は粒径最大 15mm で、大型の有孔虫が大半を占めている。有孔虫は、餅板状~紡錘状の外形を示し、白色の脆弱な炭酸塩鉱物から構成されている。粒径 3mm 以下の小型の有孔虫も多く認められる。その他、珊瑚や石灰藻なども含まれているがきわめて微量である。基質は、細粒のミクライト質な炭酸塩鉱物からなる。淡褐色を示し、固結度は良好である。孔隙は有孔虫化石におけるチャンバーの部分に発達しており、基質には認められない。試料表面部には、黒色~黒褐色を呈する鉄質またはマンガン質な物質が付着しており、基質

へ鈹染が認められる。鈹汚の深度は1~2cm程度である。

## (2) 薄片観察

顕微鏡観察に際しては、各試料について下方ポーラー及び直交ポーラー下で撮影した写真を文末に添付した。以下に鏡下観察結果を述べる。

試料番号：03SE01AD09 FR01

岩石名：石灰岩 (bioclastic packstone)

岩石の組織：砕屑状組織 (clastic texture)

砕屑片

化石片：中~多量存在し、粒径最大11mmで石灰質な化石片から構成される。化石としては、有孔虫、珊瑚、石灰藻などが認められる。大型の化石片は、比較的結晶度の良好な炭酸塩鈹物によって置換されている場合が多い。

基質

ミクライト：中量存在し、粒径最大0.01mmの他形で微細不定形状を呈し、基質を構成している。大部分は褐色を呈し、隠微晶質なものからなる。

水酸化鉄：微量存在し、粒径最大0.01mmで土状~樹枝状を呈し、褐色を示して点状存在する。

孔隙：少量存在し、孔径最大0.7mmで、有孔虫化石のチャンバーなどに発達している。

記事：化石片を多量に含む石灰岩で、基質は微細なミクライトからなる。化石とは、有孔虫化石を主体とし、その他に珊瑚、石灰藻などが含まれている。鈹物片は認められない。Dunham (1962) による石灰岩の分類に従うと、粒子支持で基質が石灰泥をから構成されていることから、パックストーン (packstone) に分類される。

## 2. 微化石分析

### 2-1 分析方法

#### (1) 石灰質ナanno化石

分析は、基本的に高山 (1976) の示した方法で行い、プレパラートを作成した。分析の手順としては、得られた試料約1gをビーカーに移し、20ml程度の水を加える。続いて、よく攪拌した上で懸濁液を作る。攪拌した懸濁液をそのままの状態ですら約30秒間放置した後、懸濁液の上層部をストローに吸い取り、カバーガラス (18×23mm) 全面に広がるように静かに滴下し、ホットプレート上において40C°前後で乾燥させる。完全に乾燥したのを確認したのち、カバーガラスを光硬化接着剤によって封入し、プレパラートが完成する。

検鏡は、偏光装置を備えた位相差顕微鏡を用いて、1,500倍で行った。

計数は、有光帯下部に生育するとされる *Florisphaera profunda* を除いて 100 個体を目安に行い、さらに全体を精査して産出種の見落としがないように努めた。*Florisphaera profunda* を除く理由は、通常の試料の場合、本種が非常に多く含まれるためこれを計数目標個体の中に加えると 9 割以上を占めることも珍しくない。その場合、他の時代指標種等の産出傾向の読みとりが難しくなるためである。

同定は、Aubry (1985 ; 1986) 、Perch-Nielsen (1985) 及び Pujos (1987) 等を参考にして行う。

他方、試料中の化石全体の保存状態 (Preservation) と産出頻度 (Abundance) は、以下に示すような記号を用いて示した (結果表に記載)。

保存状態 (Preservation) の目安としては、G (Good) : 良好 : 殻は溶解 (破損) あるいは再結晶作用の影響を受けていない。M (Moderate) : 普通 : 一部に溶解 (破損) または再結晶した個体が認められる。P (Poor) : 不良 : 殆どの殻が溶解 (破損) または再結晶作用の形跡が認められる。VP (Very poor) : 極不良 : すべての殻が、溶解あるいは再結晶しており、種の同定が容易でない。VVP (Very very poor) : 極極不良 : すべての殻が、溶解あるいは再結晶しているため種の同定が困難。

産出頻度 (Abundance) の目安は、

A (Abundant) : 0.1mm<sup>2</sup>中に 10 個体以上。

C (Common) : 0.1mm<sup>2</sup>中に 1 個体以上。

F (Few) : 0.2mm<sup>2</sup>中に 1 個体以上。

R (Rare) : 0.2mm<sup>2</sup>中に 1 個体以下。

VR (Very rare) : 4mm<sup>2</sup>中に 1 個体以上。

VVR (Very very rare) : 4mm<sup>2</sup>中に 1 個体以下である。

## (2) 有孔虫化石

試料約 150 g を分析用試料として、硫酸ナトリウム法及びナフサ法 (高柳編、1978) による泥化处理を行った。硬質岩のため、最初に硫酸ナトリウム法を 1 回施し、その後、ナフサ法を 3 回繰り返し行った。

泥化处理の後、開口径 0.063mm の標準篩により篩い分けをして得られた砂粒を、簡易試料分割器にて適宜分割した。それらを、実体顕微鏡下で底生種 200 個体を目安として抽出を行う。これについて、種を同定・計数する。

有孔虫個体の抽出と鑑定は、20~60 倍の双眼実体顕微鏡下で行う。なお、大型底生有孔虫化石の顕微鏡写真を文末に示した。

## 2-2 時代の解析について

### (1) 石灰質ナanno化石

微化石年代尺度としては、基本的に Berggren *et al.*(1995) を用いる。ナanno化石の時代に関しては、基本となるナanno化石帯は Okada and Bukry(1980)、化石基準面とその年代値は、古第三紀と新第三紀を Berggren *et al.*(1995)、新第三紀後期から第四紀を Takayama and Sato(1987)、Takayama(1993)、Sato, Kameo and Takayama(1991)、高山ほか(1995)、Raffi and Flores(1995)、Okada(1999)を参考にし、主として Sato *et al.*(1998)を使用して第三紀から第四紀の石灰質ナanno化石帯区分及び基準面に基づいた時代の推定を行う。

Okada and Bukry(1980)の化石帯と基準面を簡単に紹介すると、新生代において 34 の化石帯が設定されており、亜帯を含めれば 58 の化石帯が設けられている。各帯には、コードナンバーが付され、古第三紀が下位から CP-1~19、新第三紀が CN-1~15 というように番号が与えられている。各帯(亜帯)の境界は、古地磁気層序とも正確に対比されているだけでなく、絶対年代も得られている(表2参照)。

今回の分析結果はこの化石帯を基本として時代の検討を行う。

注：種の出現・消滅及び化石帯境界等の年代値について

年代に関して、表2は、Okada and Bukry(1980)をそのまま引用している。しかし、1990年代に入り、精力的に古地磁気層序の再検討が行われるとともに、主要な層準の Ar-Ar 年代による再測定(以前は K-Ar 年代)が行われた。その結果、微化石の絶滅や初産出層準の年代あるいは化石帯の境界年代等が 1980年頃のものとは異なる層準も確認されたため、改定する必要がでてきた。よって、ナanno化石の化石帯自体は、Okada and Bukry(1980)から改定されることはないものの、境界年代等は最近の値を用いなければならないが、1995年までに再測定されたデータを系統的にまとめられたものが前述の Berggren *et al.*(1995)である。その他、参考になっている主な文献は、Backman *et al.*(1990)、Gartner(1992)、Olafsson(1991)、Poore *et al.*(1984)、Rio *et al.*(1990)、Sato *et al.*(1998)、Young(1998)、Okada(1999)などである。

1996年以降も引き続いて年代の再測定が行われているが、それらについては、年代値を引用した際に文中に引用文献として示す。

### (2) 有孔虫化石

分析結果の解析に当たって、新生代については、Blow(1969)の分帯を基本として、年代尺度は Berggren *et al.*(1995)を適用する。この他に、Kennett & Srinivasan(1983)、Bolli & Saunders(1985)などを参照する。中生代の白亜紀の場合については、おおむね汎世界的にできると考えられる Caron(1985)を使用する。ただし、白亜紀における年代

尺度については、Caron(1985)の時期から若干改定されてきているため、Felix *et al.*(1995)を採用し、それぞれの階の境界年代を Caron(1985)に挿入して使用する。

堆積環境の解析に当たっては、井上(1980)の「日本近海における現世有孔虫の生態学的研究」、秋元・長谷川(1989)の「日本近海における現世有孔虫の深度分布」、長谷川ほか(1989)の「底生有孔虫に基づく日本の後期新生代古水深指標」などのほか、Murray(1991)なども参考とする。

## 2-3 結果及び考察

### (1) 石灰質ナンノ化石

分析結果は、表3に示した。化石の産出率は、低く18mm×24mmのカバーガラスに堆積物になるべく重ならないように展開したプレパラート1枚から検出された個体は62個体である。ナンノ化石の場合、同様の方法で作製したプレアラーに数万~数十万個含まれているのが普通であるため、本分析試料の堆積物中に含まれるナンノ化石の絶対量は極めて少ないことになる。

産出した個体の保存状態は、殆どの個体の殻が全体に溶解しており、また縁辺が欠けているなど完全な殻は少ない傾向にあった。そのため、化石殻の保存状態は不良である。

本試錐試料から産出したナンノ化石は、7属・9種・種不明5の計14分類群である。なお、属種不明の個体も4個体ほど認められた。属種不明については、殻の損傷が大きいものや、溶解が進んだ個体であり、完全あるいは完全に近い個体ではないため不明としたものの、同定された種に含められそうな個体もある。

検出された種類は、*Biscutum* spp., *Chiasmolithus oamaruensis*, *Chiasmolithus aff. solitus*, *Coccolithus eopelagicus*, *Coccolithus pelagicus*, *Cyclicargolithus floridanus*, *Markalius* spp., *Reticulofenestra* aff. *dictyoda*, *Reticulofenestra hillae*, *Reticulofenestra umbilica*, *Sphenolithus moriformis*等である。

以上の種群の各種の生存した時代と生存期間は、*Biscutum* spp.は、本属自体が白亜紀にはすでに出現しており、おおむね暁新世ころまで生存したことが知られているが、始新世以降についてはあまり確認されない。*Chiasmolithus oamaruensis*については、Okada and Bukry(1980)のCP12-17帯(表2参照)にかけて生存したことが知られている。*Chiasmolithus aff. solitus*は、殻の状態が悪いために確実な個体を確認していないが、本属の特徴である中心域の十文字のブリッジ構造が*Chiasmolithus solitus*のそれに近似した個体が認められた。本種の生存期間は、CP10-14a 亜帯の間である。*Coccolithus eopelagicus*は、始新世後期から漸新世にかけて認められる。*Cyclicargolithus floridanus*は、始新世後期のCP14帯から新第三紀の中期中新世のCN5a 亜帯まで生存したことが確認されている。*Markalius* spp.は、*Biscutum* spp.と同様に白亜紀後期から暁新世にかけて生存したことは明らかであるが、始新世以降は資料

が少なく、本属の系統の終末ははっきりしない。*Reticulofenestra* aff. *dictyoda* は、後述する *Reticulofenestra hillae* が近縁であり系統の上では本種から分化した可能性が高いと考えられる。そのため殻の特徴が近似している部分が多いだけでなく、中間的な個体も存在する。今回、aff. *dictyoda* とした個体は、この中間型といってもよい個体である。この承名変種の生存期間は、CP11-14 帯とされている。一方、*Reticulofenestra hillae* は、CP14-16 帯の間に生存したことが知られている。さらに、*Reticulofenestra umbilica* は、CP14-16 帯とされ、本種は始新世後期から漸新世前期の示準化石である。*Sphenolithus moriformis* は、比較的、その生存期間が長い、CP10-CN8b 亜帯の間とされている。

以上のような種群の産状から、本石灰岩の生成時期を推定すると、*Reticulofenestra umbilica* 及び *Reticulofenestra hillae* が確認されたことから、Okada and Bukry(1980) の CP14-16 帯のいずれかであることは確実である。ただ、CP14 帯まで生存したとされる種に近似した個体(*Chiasmolithus* aff. *solitus* 及び *Reticulofenestra* aff. *dictyoda*) が認められたことを考慮すると、CP14 帯付近の可能性が示唆される。

## (2) 有孔虫化石

肉眼でも多くの大型の底生有孔虫と思われる化石が認められたが、同定が不可能であったので、薄片観察に基づいて報告するに止める。

母岩は mudstone で、偏光顕微鏡による薄片試料の観察から浮遊性有孔虫・底生有孔虫・ウニ・ウニ類の棘・石灰岩礫・腹足類の破片・サンゴ藻が見られた。大きな粒子の間には浮遊性有孔虫が多く、さらにそれらの間を micrite が埋めている。有孔虫殻内にはブロック状の inter raking が観察された。

大きな粒子の間には、底生有孔虫よりも圧倒的に浮遊性有孔虫多い事から、陸棚以遠の静かな堆積環境が推定される。浮遊性有孔虫と共に石灰岩礫が観察された事からも、母岩が遠洋性である事が支持される。薄片試料中に見られたウニが、syntaxial cement の特徴を示す事から、堆積後の続成作用の影響が示唆される。海成の起源である spine 状のアラゴナイトを殻表面に持つ有孔虫の内部に、ブロック状の inter rocking が観察された事も同様に続成作用の影響を示唆する。よって、母岩が陸棚以遠の遠洋で堆積した後、一度陸上に上がった事が推定される。

### 3. ま と め

今回の薄片観察及び微化石分析の結果、以下のようなことが明らかとなった。

1. 化石片を多量に含む石灰岩で、基質は微細なミクライトからなる。化石は、有孔虫化石を主体とし、その他に珊瑚、石灰藻、ウニ等が含まれている。Dunham (1962) による石灰岩の分類に従うと、パックストーン (packstone) に分類される。
2. 石灰質ナノ化石分析により、石灰岩の年代は、Okada and Bukry(1980)の CP14-16 帯の間に比較されることから、時代は始新世後期から漸新世最前期と推定された。ただし、後述するように本石灰岩は、遠洋における堆積物が隆起して浅海でつくられた可能性があり、時間的には異なる化石を含んでいる可能性が高い。始新世後期～漸新世最前期というのは、この石灰岩が最終的に生成された時代である。
3. 有孔虫化石分析により、陸棚以遠の静かな環境で堆積したものと推定される。なお、堆積後の続成作用の影響が示唆されること、浅海あるいは礁性の底生有孔虫を含むことから、母岩が陸棚以遠の遠洋で堆積した後、一度陸上に上がった事が推定される。



表 2. 石灰質ナンノ化石帯 (Okada & Bukry, 1980)

Modified coccolith zones and subzones and corresponding code numbers

Age	Zone		Subzone		Martini (1971) Zone	Duration (m.y.)	Boundary (Ma)	
Quaternary	CN15	Emiliana huxleyi			NN21	0.2	0.2	
	CN14	Gephyrocapsa oceanica	CN14b	Ceratolithus cristatus	NN20	0.1	0.3	
			CN14a	Emiliana ovata	NN19	0.6	0.9	
	CN13	Crenolithus doronicoides	CN13b	Gephyrocapsa caribbeanica		0.7	1.6	
			CN13a	Emiliana annula		0.2	1.8	
Pliocene	CN12	Discoaster brouweri	CN12d	Calcidiscus macintyreii	NN18	0.2	2.0	
			CN12c	Discoaster pentaradiatus	NN17	0.1	2.1	
			CN12b	Discoaster sulculus	NN16	0.4	2.5	
			CN12a	Discoaster tamalis		0.5	3.0	
			CN11b	Discoaster asymmetricus		0.5	3.5	
	CN11	Reticulofenestra pseudoumbilica	CN11a	Sphenolithus neobabies	NN15	0.5	4.0	
			CN10c	Ceratolithus rugosus		13/14	0.4	4.4
	CN10	Amaurolithus tricorniculatus	CN10b	Ceratolithus acutus	NN12	0.6	5.0	
			CN10a	Triquetrorhabdulus rugosus		0.6	5.6	
	Miocene	CN9	Discoaster quinqueramus	CN9b	Amaurolithus primus	NN11	1.0	6.6
				CN9a	Discoaster berggrenii		0.4	7.0
		CN8	Discoaster neohamatus	CN8b	Discoaster neorectus	NN10	0.5	7.5
				CN8a	Discoaster bellus		3.5	11.0
		CN7	Discoaster hamatus	CN7b	Catinaster calyculus	NN9	1.0	12.0
CN7a				Helicosphaera carteri	1.0		13.0	
CN6		Catinaster coalitus			NN8	0.2	13.2	
CN5		Discoaster exilis	CN5b	Discoaster kugleri	NN7	0.2	13.4	
			CN5a	Coccolithus miopelagicus	NN6	0.6	14.0	
CN4		Sphenolithus heteromorphus			NN5	1.0	15.0	
CN3	Helicosphaera ampliaperta			I	2.0	17.0		
CN2	Sphenolithus belemnos			NN2	1.0	18.0		
CN1	Triquetrorhabdulus carinatus	CN1c	Discoaster druggii	NN1	3.0	21.0		
		CN1b	Discoaster deflandrei		2.0	23.0		
		CN1a	Cyclicargolithus abisectus		1.0	24.0		
Oligocene	CP19	Sphenolithus ciproensis	CP19b	Dictyococites bisectus	NP25	1.0	25.0	
			CP19a	Cyclicargolithus floridanus		1.5	26.5	
			CP18	Sphenolithus distentus		NP24	3.5	30.0
	CP17	Sphenolithus predistentus			NP23	4.0	34.0	
	CP16	Helicosphaera reticulata	CP16c	Reticulofenestra hillae	NP22	0.5	34.5	
			CP16b	Coccolithus formosus		2.5	37.0	
			CP16a	Coccolithus subdistichus		1.0	38.0	
Eocene	CP15	Discoaster barbadiensis	CP15b	Isthmolithus recurvus	19/20	3.0	41.0	
			CP15a	Chiasmolithus oamaruensis	NP18	1.0	42.0	
	CP14	Reticulofenestra umbilica	CP14b	Discoaster saipanensis	NP17	2.0	44.0	
			CP14a	Discoaster bifax		1.0	45.0	
	CP13	Nannotetrina quadrata	CP13c	Coccolithus staurion	NP16	1.5	46.5	
			CP13b	Chiasmolithus gigas		NP15	0.5	47.0
			CP13a	Discoaster strictus			1.0	48.0
	CP12	Discoaster sublodoensis	CP12b	Rhabdosphaera inflata	NP14	1.0	49.0	
			CP12a	Discoasteroides kuepperi		0.5	49.5	
	CP11	Discoaster lodoensis			12/13	0.5	50.0	
CP10	Tribachiatus orthostylus				2.0	52.0		
CP9	Discoaster diastypus	CP9b	Discoaster binodosus	NP11	0.8	52.8		
		CP9a	Tribachiatus contortus		NP10	0.7	53.5	
Paleocene	CP8	Discoaster multiradiatus	CP8b	Campylosphaera eodela	NP9	0.5	54.0	
			CP8a	Chiasmolithus bidens		1.0	55.0	
			CP7	Discoaster nobilis		7/8	0.5	55.5
	CP6	Discoaster mohleri				1.5	57.0	
	CP5	Heliolithus kleinpellii			NP6	1.0	58.0	
	CP4	Fasciculithus tympaniformis			NP5	2.0	60.0	
	CP3	Ellipsolithus macellus			NP4			
CP2	Chiasmolithus danicus			NP3				
		CP1b	Cruciplacolithus tenuis	NP2				
CP1	Zygodiscus sigmoides	CP1a	Cruciplacolithus orimus	NP1		65.0		

表3. 石灰質ナンノ化石分析結果

Species	Range Age/CN Zone	Sample No.
<i>Biscutum</i> spp.	Creta.-Paleo.?	1
<i>Chiasmolithus oamaruensis</i> (Deflamdre) Hay et al.	E.Eo.-E.Oligo.(CP12-17)	3
<i>Chiasmolithus</i> aff. <i>solitus</i> (Bramlette and Sullivan) Locker	E.Eo.-L.Eo.(CP10-14a)	1
<i>Coccolithus eopelagicus</i> (Bramlette and Riedel) Bramlette and Sullivan	L.Eo.-Oligo.	1
<i>Coccolithus pelagicus</i> (Wallich) Schiller	long range ≐ Creta. →	3
<i>Coccolithus</i> spp.	-	1
<i>Cyclicargolithus floridanus</i> (Roth & Hay) Bukry	L.Eo.-M.M.(CP14-CN5a)	3
<i>Cyclicargolithus</i> aff. <i>floridanus</i> (Roth & Hay) Bukry	L.Eo.-M.M.(CP14-CN5a)	2
<i>Markalius</i> spp.	Creta.-Paleo.?	6
<i>Reticulofenestra</i> aff. <i>dictyoda</i> (Deflamdre) Stradner and Edwards	E.Eo.-L.Eo.(CP11-14)	1
<i>Reticulofenestra hillae</i> Bukry and Percival	L.Eo.-E.Oligo.(CP14-16)	19
<i>Reticulofenestra umbilica</i> (Levin) Martini and Ritzkowski	L.Eo.-E.Oligo.(CP14-16)	1
<i>Reticulofenestra</i> spp.	Palaeogene form	5
<i>Sphenolithus moriformis</i> (Bron. & Strad.) Bramlette & Wilcoxon	Pal.-L.M(CP10-CN8b)	9
<i>Sphenolithus</i> spp.	Palaeogene form	3
unknown	-	4
<b>石灰質ナンノ化石総数</b>		
Abundance	A:abundant, C:common, F:few, R:rare, VR:vary rare, VVR:vary very rare, No:barren	62
Preservation	G:good, M:moderate, P:poor, VP:vary poor	VVR
		VP

Pleist.:Pleistocene

E.Pli.:Early Pliocene, L.Pli.:Late Pliocene,

E.M.:Early Miocene, M.M.:Middle Miocene, L.M.:Late Miocene,

Pal.:Paleocene, Eo.:Eocene, Oli.:Oligocene,

Creta.:Cretaceous

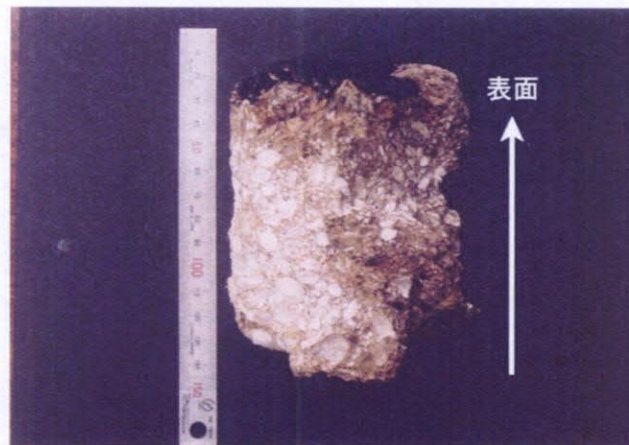
03SE01AD09 FR01



表面



裏面



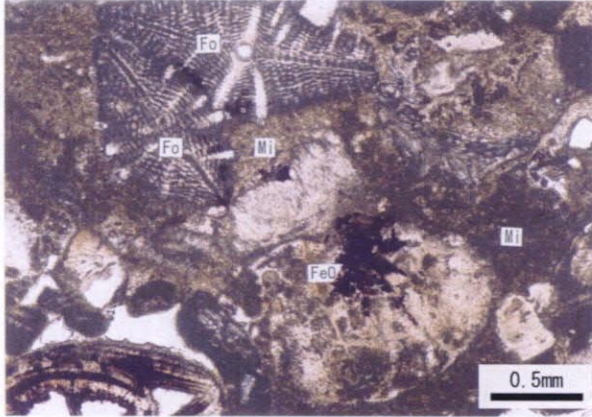
断面

サンプル写真

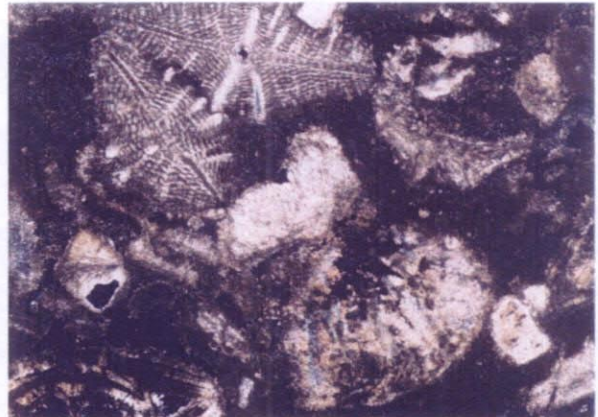


03SE01AD09 FR01①

透過 (オープン)



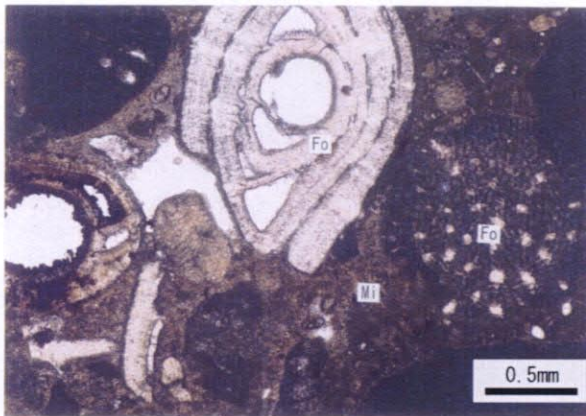
透過 (クロス)



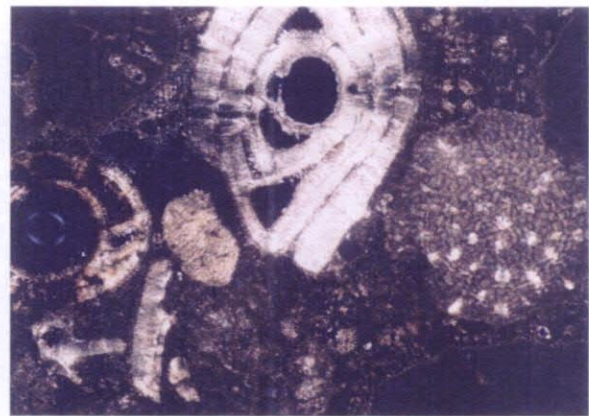
Fo: 有孔虫  
 Mi: ミクライト  
 FeO: 水酸化鉄

03SE01AD09 FR01②

透過 (オープン)



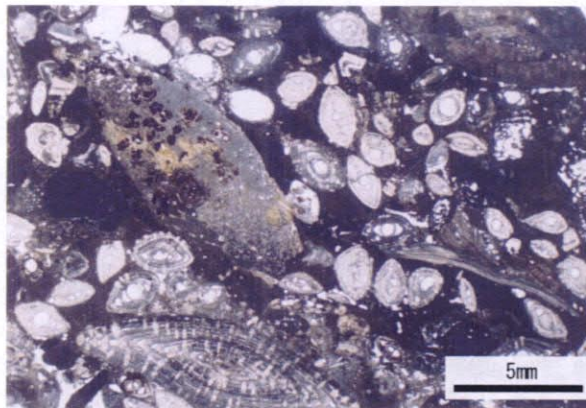
透過 (クロス)



Fo: 有孔虫  
 Mi: ミクライト

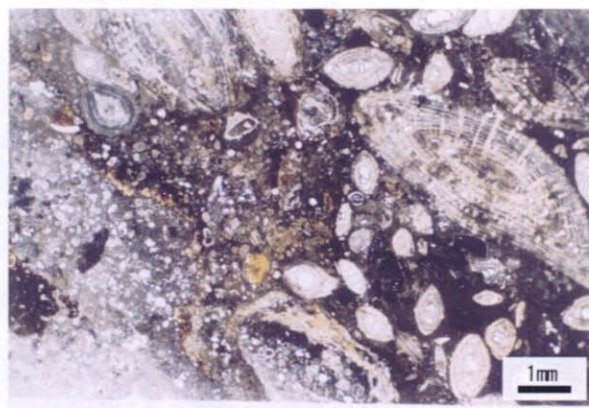
03SE01AD09 FR01③

透過 (オープン)



03SE01AD09 FR01④

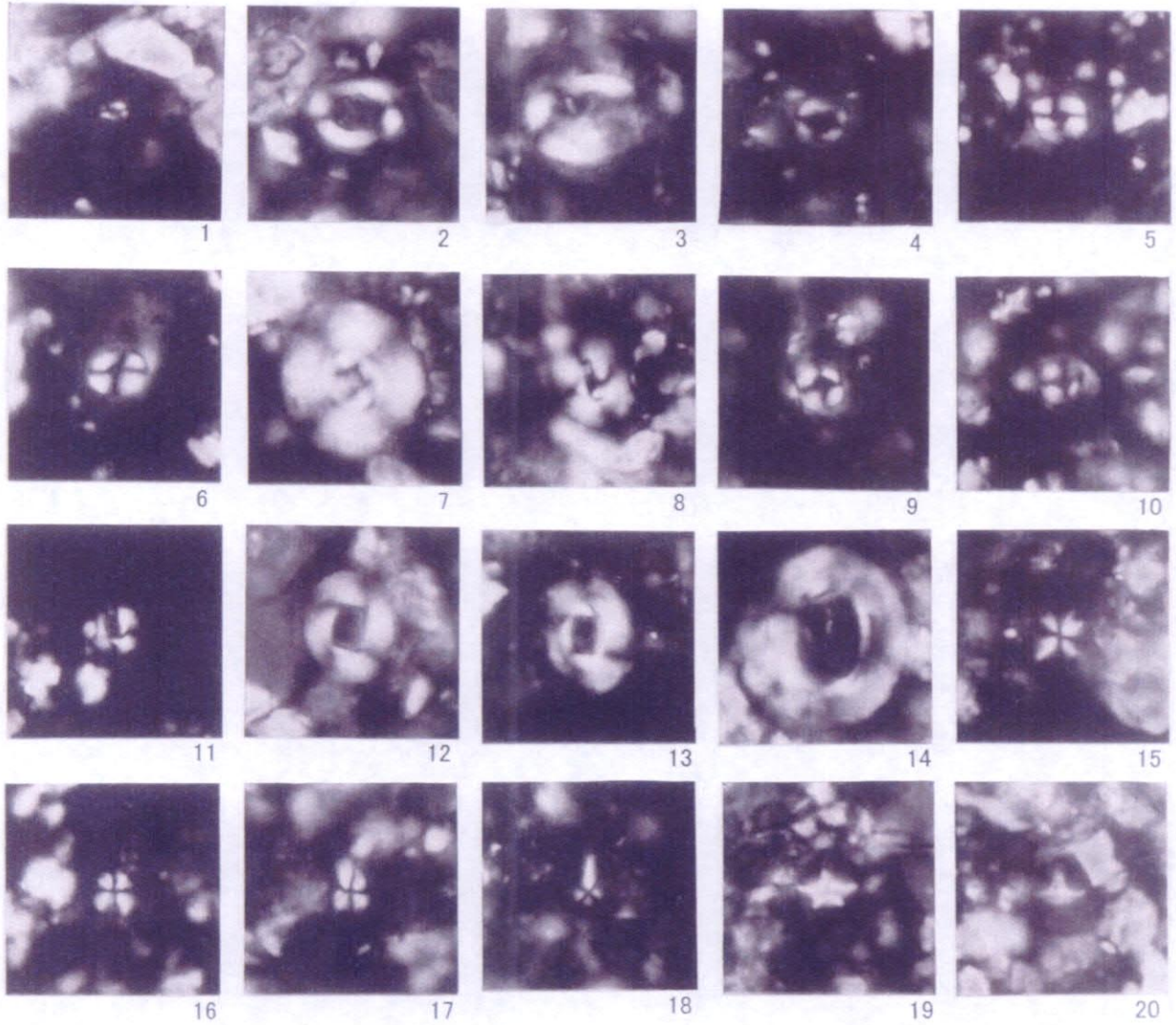
透過 (オープン)



大型の個体は底生有孔虫、微小な個体は大半が浮遊性有孔虫

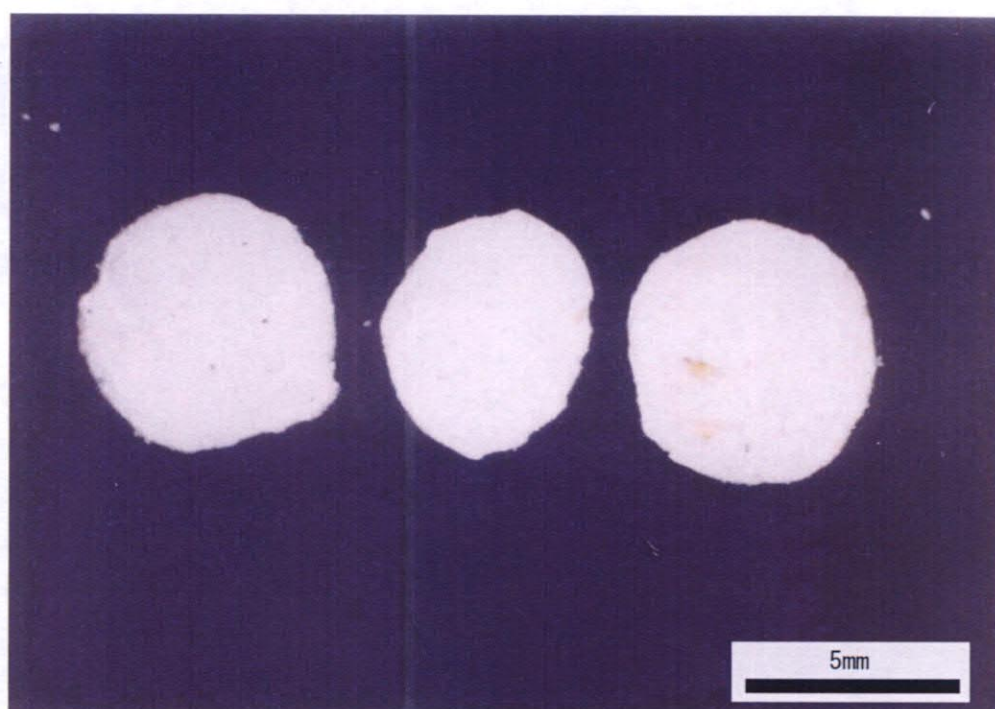
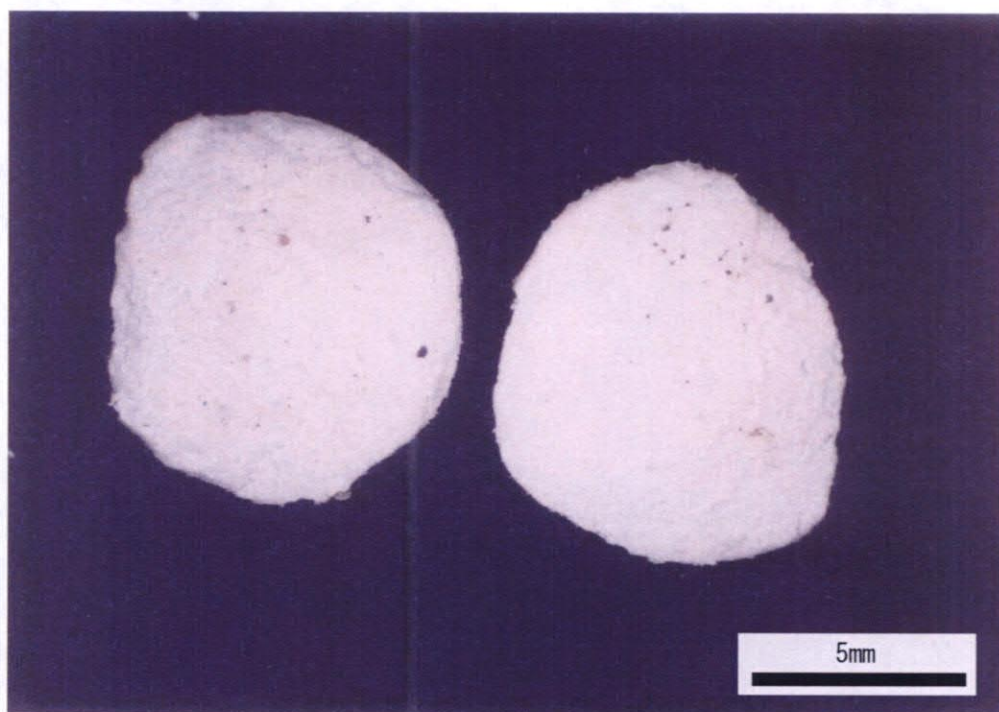


# 石灰質ナノ化石



写真番号	種名
1	<i>Biscutum</i> spp.
2	<i>Chiasmolithus oamaruensis</i> (Deflandre)Hay et al.
3	<i>Chiasmolithus</i> aff. <i>solitus</i> (Bramlette and Sullivan)Locker
4	<i>Chiasmolithus</i> spp.
5	<i>Coccolithus pelagicus</i> (Wallich) Schiller
6	<i>Coccolithus</i> spp.
7	<i>Cyclicargolithus floridanus</i> (Roth & Hay) Bukry
8	<i>Cyclicargolithus floridanus</i> (Roth & Hay) Bukry
9	<i>Markalius</i> spp.
10	<i>Markalius</i> spp.
11	<i>Reticulofenestra</i> aff. <i>dictyoda</i> (Deflandre)Stradner and Edwards
12	<i>Reticulofenestra hillae</i> Bukry and Percival
13	<i>Reticulofenestra hillae</i> Bukry and Percival
14	<i>Reticulofenestra umbilica</i> (Levin) Martini and Ritzkowski
15	<i>Sphenolithus moriformis</i> (Bron. & Strad.)Bramlette & Wilcoxon
16	<i>Sphenolithus moriformis</i> (Bron. & Strad.)Bramlette & Wilcoxon
17	<i>Sphenolithus</i> spp.
18	<i>Sphenolithus</i> spp.
19	unknown
20	unknown

底生有孔虫



顕微鏡写真 (3)

## [添付資料 2] 底質物の化石鑑定

化石鑑定を行った試料及び鑑定対象化石を表 1 に示す。試料に適切な方法で鑑定方法及び鑑定種類を定め、鑑定を実施した。

表 1 微化石観察試料一覧表

調査海域	地点番号	サンプル番号	水深 (m)	深度 (cm)	地質	有孔虫	放散虫	ナンノ	イクチオリス
キリバス	03SE01MC01	FS01	4,351	0-2	有孔虫軟泥	○		○	
		FS02	4,351	9-11	有孔虫軟泥	○		○	
		FS03	4,351	19-21	有孔虫軟泥	○		○	
		FS04	4,351	29-31	有孔虫軟泥	○		○	
	03SE01MC02	FS01	1,157	0-2	有孔虫砂	○		○	
		FS02	1,157	9-11	有孔虫砂	○		○	
		FS03	1,157	19-21	有孔虫砂	○		○	
	03SE01MC03	FS01	2,184	0-2	有孔虫砂	○		○	
		FS02	2,184	9-11	有孔虫砂	○		○	
		FS03	2,184	19-21	有孔虫砂	○		○	
	03SE01MC04	FS01	1,192	0-2	有孔虫砂	○		○	
		FS02	1,192	9-11	有孔虫砂	○		○	
FS03		1,192	19-21	有孔虫砂	○		○		

### 1. 分析方法

以下、各観察方法別に実施した処理及び鑑定方法を示す。

#### ・ 有孔虫

採集された試料は 74  $\mu$  m のふるい上で水洗し、常温で乾燥した。乾燥させた試料はメッシュのついたトレイにばらまき、顕微鏡下で種の同定及び個体数の計測を行った。浮遊性有孔虫に関しては、群集構成を分析するため 150  $\mu$  m より大きな個体のみ取り扱った。また、各試料について有孔虫以外の化石や鉱物粒子の有無も検鏡したが、今回の試料はそのほとんどの粒子が浮遊性有孔虫化石と放散虫化石からなり、その以外の構成粒子はほとんど含まれない。火山岩の粒子やマンガクラストもみられない。

#### ・ ナンノ化石

試料処理はいずれもスミアスライド法で行った。すなわち、試料の新鮮部を粉末にし、カバーガラスにのせる。水を一滴滴下し、爪楊枝で広く延ばしホットプレートで乾燥させる。スライドガラス上に封入剤「光硬化剤」を一滴滴下し、その上に乾燥した



カバーガラスを試料面の上から静かに置く。これを紫外線 Box 内で紫外線を約 15 秒照射して固結させ、ラベルを貼り付けて完成させる。

石灰質ナノ化石の観察には、オリンパス偏光顕微鏡 BX-P (一部改良)を使用した。種の同定には、倍率 1,500 倍を用い、下部透光帯種の *Florisphaera profunda* を除く石灰質ナノ化石を無作為に 200 個体を定量同定したあと、それ以外にも定量外で産出する種の有無を調べ、相対頻度をパーセントで表示した。これと同時に石灰質ナノ化石 200 個体に対する *Florisphaera profunda* の産出量も計測した。

## 2. 産出状況

### ① 有孔虫

分析したすべての試料から浮遊性有孔虫化石が多産した。一部の試料でわずかに火山岩の粒子 (パミス) やウニの棘がみられるが、それ以外のほとんどの堆積粒子は浮遊性有孔虫化石から構成されている。このうち、03SE01MC01 の 3 試料では、浮遊性有孔虫化石の破片が多く、溶解作用を受けていると考えられる。一方、底生有孔虫の産出は少なく、すべての試料で希にしかみられない (表 2)。主要な有孔虫の写真を文末におさめた。

### ② ナノ化石

調査した 13 試料いずれからも保存状態のよい石灰質ナノ化石が産出した。産出した種及びその個体数 (%) を表 3 に示す。また、主要な石灰質ナノ化石の写真を文末におさめた。

## 3. 地質年代

### ① 有孔虫 (群集構成と地質年代)

本調査においては、Berggren *et al.* (1995) が提唱した年代区分を用いて地質年代の決定を行った (図 1)。この図に示されている示準面は低緯度地域の群集に適用され、本地域でもそのまま使用することができる。今回の試料に関して、関連のある化石示準面は、*Globigerinoides ruber* のピンク色の個体の消滅 (0.12Ma)、*Globoquadrina pseudofoliata* の消滅 (0.22Ma) の 2 つしかない。更新世の重要な示準種である *Globorotalia truncatulinoides* はほとんど産出しないが、*Globigerina rubescens* (pink) や *Bolliella calida* が産出することから、すべての試料が更新世であると判断してもよい。

a) 地点番号 03SE01MC01 FS01-04 (4,351m)

群集構成 : このコアでは、*Globigerina bulloides*, *Globigerinella aequilateralis*, *Globigerinita glutinata*, *Globigerinoides ruber*, *Globigerinoides sacculifer*, *Pulleniatina obliquiloculata* を主体とする。最上部の FS01 では、*Globigerinita glutinata*,



*Globigerinoides ruber*, *Globigerina bulloides* の3種が多いが、それより下位の試料では、*Pulleniatina obliquiloculata*が増加し、*G. ruber*が減少する。既に述べたように、このコアでは破片化した試料が多く、強い溶解作用を受けている。このコアの採取深度も4,000 mと深いことから、これらの試料の群集は、溶解作用によりその構成が変化していると考えて良く、本来は *Globigerinoides* 属のような溶けやすい群集が多かったものと判断される。

地質時代：このコアの最も下位の試料 FS03 (29–31cm) では、*Globoquadrina pseudofoliata* が産出することから(表2)、その地質時代は後期更新世(おそらく0.22Ma以前)であると判断される。その上位にあるFS01とFS02の群集は、それより新しい地質時代とみなしてよい。一般に、太平洋の赤道地域の後期更新世(<0.16Ma)のコア試料では *Globigerinoides ruber* のピンク色の個体は普遍的に観察される。このコアの試料には、*G. ruber* (pink)がみられないことから、0.16Maよりも新しい地質時代(後期更新世以降)を示すと考えられる。

b) 地点番号 03SE01MC02 FS01-04 (1,157m)

群集構成：このコアの群集は、*Globigerina bulloides*, *Globigerinella aequilateralis*, *Globigerinita glutinata*, *Globigerinoides ruber*, *Globigerinoides sacculifer*, の5種を主体とする。それに次いで、*Pulleniatina obliquiloculata*が多い。今回の3試料(FS01–FS03; 表層から21cmの深さまで)では、群集構成はほとんど変化しない。

地質時代：このコア試料では、地質時代を決めるのに有効な種群は産出しない。しかし、*Globigerinoides ruber* (pink)の個体が産出しない、*Globigerina rubescens* (pink)及び *Bolliella calida*の個体が産出することから、後期更新世の群集である可能性が高い。おそらく、本地域のコア試料は、0.16Maよりも新しい地質時代(後期更新世以降)を示すと考えられる。

c) 地点番号 03SE01MC03 FS01-04 (2,184m)

群集構成：このコアの群集は、*Globigerina bulloides*, *Globigerinella aequilateralis*, *Globigerinita glutinata*, *Globigerinoides ruber*, *Globigerinoides sacculifer*, *Globoquadrina conglomerate*, *Globorotalia menardii*, *Globorotalia tumida*, *Neogloboquadrina dutertrei*, *Pulleniatina obliquiloculata*を主体とする。このうち、最も多いのは、*Globigerinoides* 属(*G. ruber*, *G. sacculifer*の2種)で30–40%をしめる。それに次いで、*P. obliquiloculata*が多く、16–29%を占める。上位2試料(FS01とFS02)に比較するとFS03では *G. bulloides*や *N. dutertrei*が増加する傾向がみられる。

地質時代：このコア試料でも、地質時代を決めるのに有効な種群は産出しない。しかし、03SE01MC02と同様に *Globigerinoides ruber* (pink)の個体が産出しない、*Globigerina*

*rubuscens* (pink) 及び *Bolliella calida* の個体が産出することから、後期更新世の群集の可能性が高い。したがって、本地域のコア試料も、0.16Ma よりも新しい地質時代（後期更新世以降）を示すと考えられる。

d) 地点番号 03SE01MC04 FS01-04 (1,192m)

**群集構成:** このコアの群集は、*Globigerina bulloides*, *Globigerinella aequilateralis*, *Globigerinita glutinata*, *Globigerinoides ruber*, *Globigerinoides sacculifer*, *Pulleniatina obliquiloculata* を主体とする。このうち、最も多いのは、やはり *G. ruber* で 30~40% をしめる。次いで、*G. glutinata* が多く、15~19% を占める。このコアでも、上位 2 試料 (FS01 と FS02) に比較すると FS03 では *G. bulloides* や *N. dutertrei* が増加する傾向がみられる。

**地質時代:** このコア試料では、*Globoquadrina pseudofoliata* が FS02 に産出することから、FS02 と FS03 の 2 試料は、0.22Ma より古く、FS01 は 0.22Ma より新しい地質時代を示すと考えられる。また、いずれの試料にも同様に *Globigerinoides ruber* (pink) の個体が産出しない、*Globigerina rubuscens* (pink) 及び *Bolliella calida* の個体が産出する（但し、FS03 は除く）ことから、後期更新世の群集である。おそらく、本地域のコア試料も、他の 3 つのコアと同様に 0.16Ma よりも新しい地質時代（後期更新世以降）を示すと考えられる。

## ② ナンノ化石

産出した石灰質ナンノ化石は全部で 18 属 27 種 (sp. を含む) である。産出した化石群集は、第四紀後期を示唆する石灰質ナンノ化石群集の多産で特徴付けられる。これら群集を詳細に見ると、第四紀の示準化石 *Gephyrocapsa oceanica* と、第四紀中期で Jaramillo event 直上 (0.95Ma) に出現層準を持つ *G. parallela*、及び 4 ミクロンより小さな小型の *Gephyrocapsa*、など *Gephyrocapsa* 属が最も多産することで特徴づけられる。また、第四紀末の 25 万年前に出現する *Emiliana huxleyi* もいずれの試料から産出し、特に 03SE01MC02 FS02, 03SE01MC03 FS01, 03SE01MC03 FS03, 03SE01MC04 FS01, 02, 03 などの試料で 15% 以上を占める。51 万年前に出現し 16 万年前に絶滅する *Helicosphaera inversa* は、MC01FS02 にわずかに認められる。

このように、いずれの試料から産出した石灰質ナンノ化石群集は第四紀末の群集で特徴付けられるが、唯一、試料 03SE01MC03 FS03 には下部鮮新統以下に産出が限られる *Reticulofenestra pseudoumbilicus* と *Sphenolithus abies* がわずかに認められた。

## 4. 堆積速度

コア試料の層準が散在的であり、正確な堆積速度を見積もることはできない。

## 5. 堆積環境（古地理区分等）

### ① 有孔虫

古地理区分：今回の試料のうち、03SE01MC02 から 03SE01MC04 までの 9 試料は、いずれも *Globigerinoides* 属の産出頻度が高く、30～50%に達する。また、*Globorotalia* 属の構成種も *G. menardii*, *G. tumida* など明らかに熱帯～亜熱帯の種群からなる。これらのことから、本調査で得られた群集はいずれも熱帯から亜熱帯の地理区にあったことは疑いがない。したがって、分析試料中の堆積物は現在とほぼ変わらない緯度で堆積したと考えられる。

但し、既に述べたように、03SE01MC01 の 4 試料は、4,000mを越える深度で採取されたこともあり、溶解作用により *Globigerinoides* 属のような溶解を受けやすい種群が減少し、溶解に強い *Pulleniatina* 属の産出頻度が増加している。しかし、群集の構成種に関しては、それ以外のコア試料と大きな変化はみられず、本来は熱帯～亜熱帯の群集から構成されていたと考えてよい。

堆積環境：今回の分析試料では、そのほとんどが浮遊性有孔虫からなり底生有孔虫はほとんど産出しない。その産出頻度も、群集全体の 1%に達しない。03SE01MC01 の最も深い水深（4,351m）の試料では、*Globocassidulina subglobosa*, *Oridorsalis umbonatus*, *Epistominella exigua* が産出した。このうち、*Oridorsalis umbonatus* は Lower middle bathyal（800-2,500m）付近の深度を示すと考えられている（Inoue, 1989; 秋元・長谷川, 1989）が、コア深度はそれより深いので、これらの化石群は運搬された可能性が高い。また、それ以外の試料では、散在的に *Pullenia quinqueloba*, *Cassidulina carinata*, *C. norvangi*, *Pyrgo* spp. *Fissulina* spp.などが産出するが、その深度や古環境を解釈するのは困難である。しかし、底生有孔虫の産出が極めて少ないことは、表層から深層へともたらされるフラックスの量が少なかったことが推定される。コアが採取された地域は、現在でも栄養塩類の少ない海域なので、その環境は現在とほとんど変化していないことが推定される。

## 6. 対比基準面と各試料の地質年代の考察

Takayama and Sato (1987)は、北大西洋で実施された DSDP-IPOD Leg94 において、採取された深海堆積物中の石灰質ナンノ化石を調査し、更新統中に 12 の石灰質ナンノ化石基準面を設定した。その後引き続いて Sato, *et al.* (1991)は、新たに得られたデータを元に鮮新統中部から第四系に合計 21 の石灰質ナンノ化石基準面を設定した。これらの掘削地点では、古地磁気層序も確立されており、基準面と古地磁気層序との関係から各基準面の年代値も算出されている。これらの年代値は、その後古地磁気の年代スケールが Cande & Kent (1995) によって改訂されたことから、これら基準面の年代値も改訂されている（図 2；佐藤ら, 1999）。一方、新第三紀では、NN のコードナンバーが付された Martini (1971)

の化石帯が広く用いられている。今回産出した石灰質ナノ化石群集を佐藤ら（1999）の対比基準面、及び Martini の化石帯（NN；図 3）に対比すると以下ようになる。

調査した 13 試料いずれもから更新世の示準化石 *Gephyrocapsa oceanica* と *G. caribbeanica*、及び佐藤ら（1999）の基準面 6 を定義する *G. parallela* を産すること、及び基準面 7 を定義する *Reticulofenestra asanoi* を産しないことから少なくとも第四紀後期に対比される。さらにその産出下限が基準面 2 を定義する *Emiliana huxleyi* が認められたことは、13 試料いずれもが 25 万年前より若い第四紀末に対比されることを示す。一方、13 試料いずれも *Helicosphaera* 属の産出が乏しいため、*Helicosphaera inversa* の絶滅層準（基準面 1, 0.16Ma）との関係は詳細に議論できないが、唯一 03SE01MC01FS02 より *H. inversa* が産出した。このことは、同試料及びそれより下位の試料は基準面 1 と 2 の間で 0.16~0.25Ma 間に対比されることを示唆する。以上のこれら 13 試料を Martini (1971) の化石帯に対比すると、いずれの試料からも *Emiliana huxleyi* が産出したことより、調査した 13 試料は第四紀末の NN21 帯に対比される（表 3）。

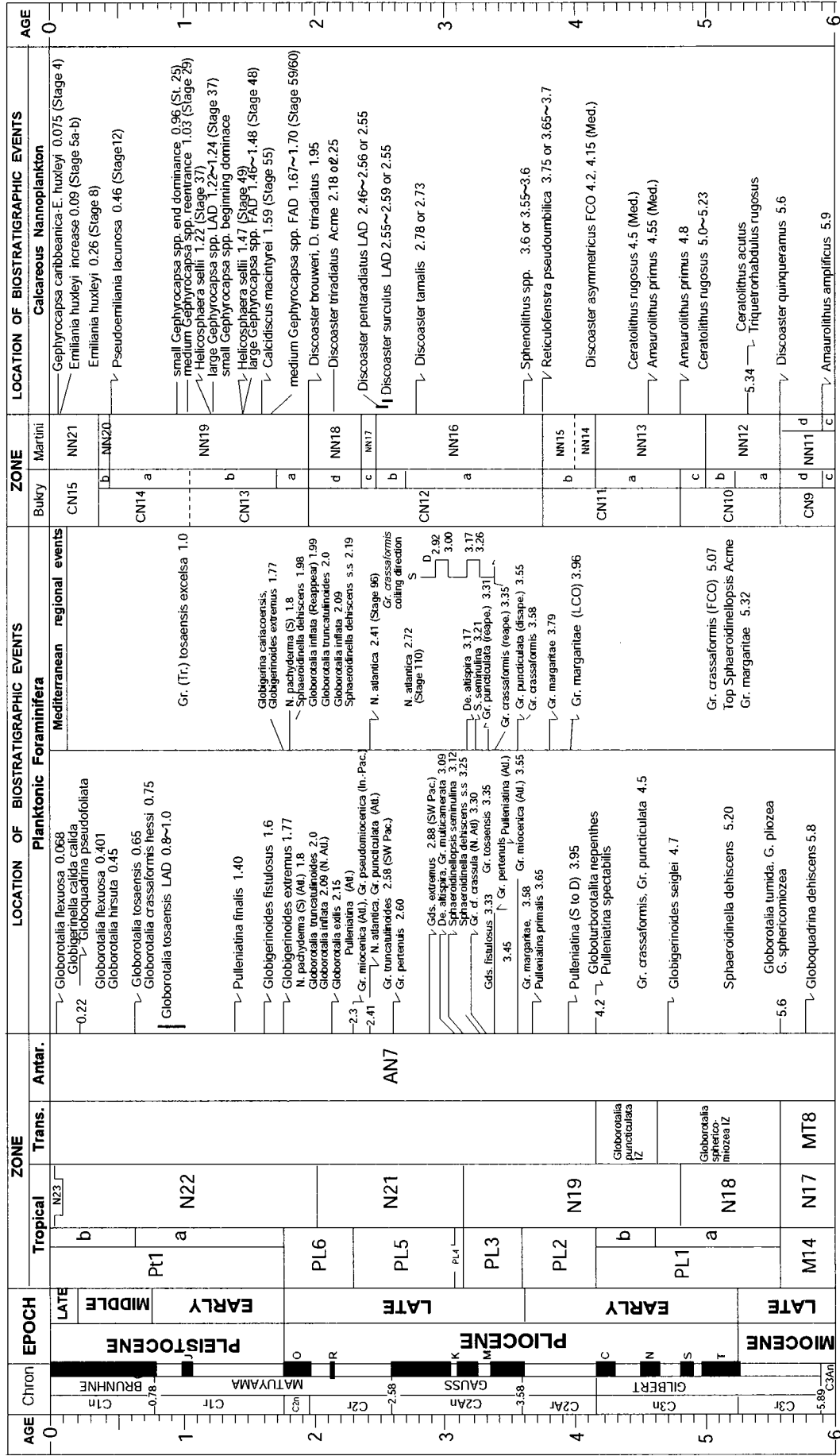
なお、試料 03SE01MC03 FS03 には下部鮮新統以下に産出が限られる *Reticulofenestra pseudoumbilicus* と *Sphenolithus abies* がわずかに認められたが、上記結果から見て、これらの個体は再堆積（rework）によるものと判断される。



表3 産出した石灰質ナノ化石

Nannofossil Zone (Martini, 1971)	N N 21												
	03SE01MC01FS01	03SE01MC01FS02	03SE01MC01FS03	03SE01MC01FS04	03SE01MC02FS01	03SE01MC02FS02	03SE01MC02FS03	03SE01MC03FS01	03SE01MC03FS02	03SE01MC03FS03	03SE01MC04FS01	03SE01MC04FS02	03SE01MC04FS03
<i>Calcidiscus leptoporus</i>	8	4	2	10	9	4	12	6	3	5	4	10	7
<i>Ceratolithus cristatus</i>	1		+	+		+	+			1	+		
<i>Coccolithus pelagicus</i>				+									
<i>Cricosphaera quadrilaminata</i>					+								
<i>Cyclolithella annula</i>	+	+	+	+									
<i>Discolithina japonica</i>							1						
<i>Discolithina</i> spp.						+						1	+
<i>Discosphaera tubifera</i>												+	
<i>Emiliana huxleyi</i>	2	3	5	+	9	20	7	15	10	15	19	18	27
<i>Gephyrocapsa caribbeanica</i>								1					
<i>Gephyrocapsa oceanica</i>	18	11	14	21	9	15	24	3	11	11	8	3	7
<i>Gephyrocapsa parallela</i>	12	15	35	31	13	25	26	13	25	33	18	16	32
<i>Gephyrocapsa</i> spp. (small)	54	53	35	34	36	10	18	44	28	22	29	34	13
<i>Helicosphaera carteri</i>		1	+	+	1	2	1	+	1	+	1	1	+
<i>Helicosphaera hyalina</i>						+		+					+
<i>Helicosphaera inversa</i>		+											
<i>Helicosphaera wallichii</i>	1	1	+	+	2	1		1	+			+	
<i>Oolithotus antillarum</i>								1					
<i>Reticulofenestra pseudoumbilicus</i>										r			
<i>Reticulofenestra</i> spp. (small)										2			
<i>Rhabdosphaera clavigera</i>			+	+		+	+	1	+				+
<i>Rhabdosphaera stylifera</i>					+					+			+
<i>Scapholithus fossilis</i>			+	1	1	1	1	1	3	1	3	3	1
<i>Sphenolithus abies</i>										r			
<i>Syracosphaera pulchra</i>	+		+	1	1	3	+	+	+	+	+	1	
<i>Umbellosphaera irregularis</i>					1	2	1	+	1		+		1
<i>Umbilicosphaera sibogae</i>	4	12	9	2	18	17	9	14	18	10	18	13	12
Total number (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
No. of <i>Florisphaera profunda</i> to 200 coccolith	112	232	352	208	136	140	214	176	144	148	286	258	124

+: present (not counted), r: reworked



(Berggren et al., 1995)

FOC, first common occurrence; Gr., Globorotalia; Gds., Globigerinoides; De., Dentoglobigerina; N., Neoglobobulimina; S., Sphaeroidinellopsis. J. Jaramillo; O. Olduval; R. Reunion; K. Kaena; M. Mammuth; C. Cochit; N. Nunnwak; S. Sidufjall; T. Thvera

図 1 低緯度地域における石灰質微化石の生層序基準面と地質年代区分

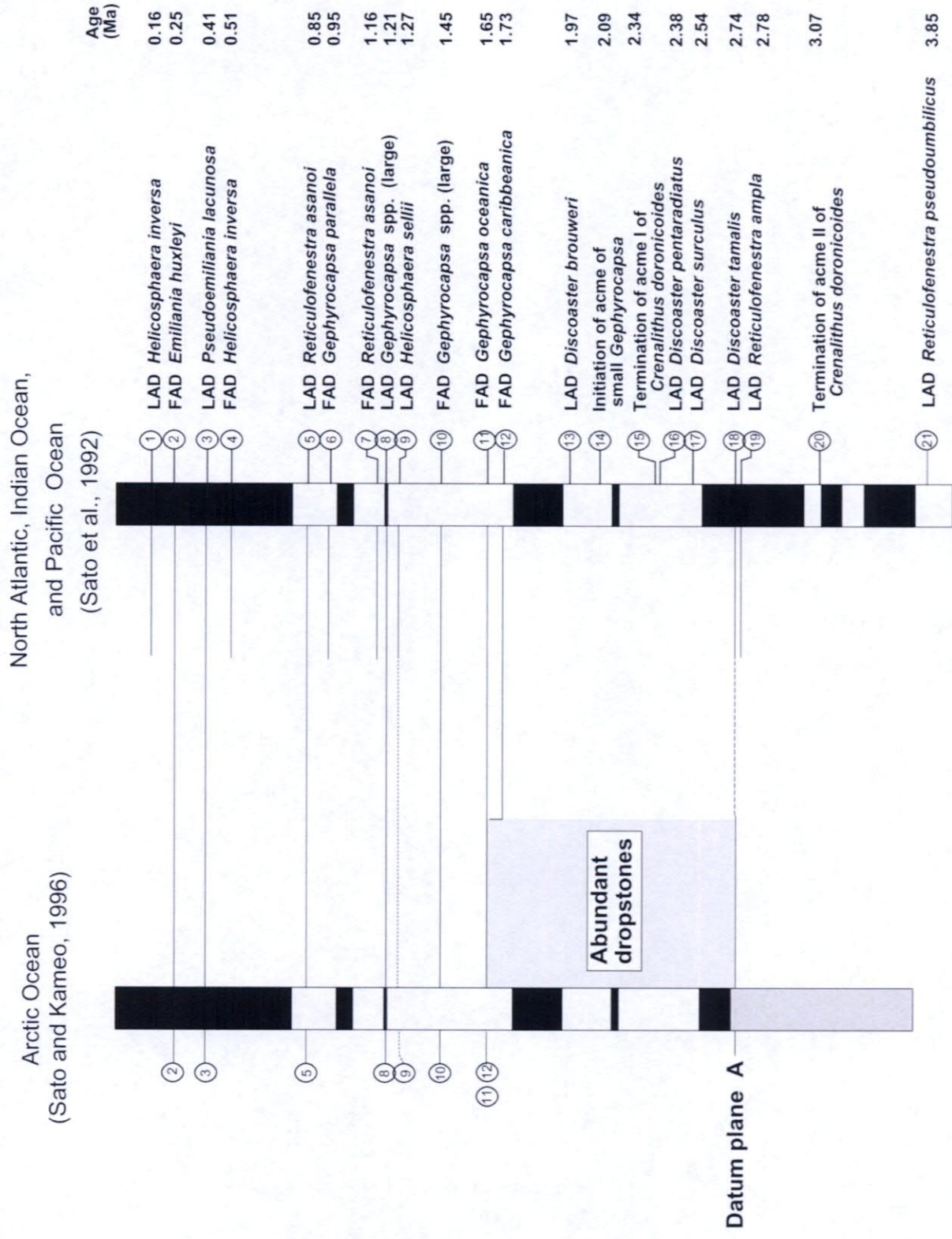


図2 鮮新世～第四紀に認められる石灰質ナノ化石対比基準面と古地磁気層序との関係、およびその年代値（佐藤ら，1999）



Nannofossil Zone  
(Martini, 1971)

Nannofossil event

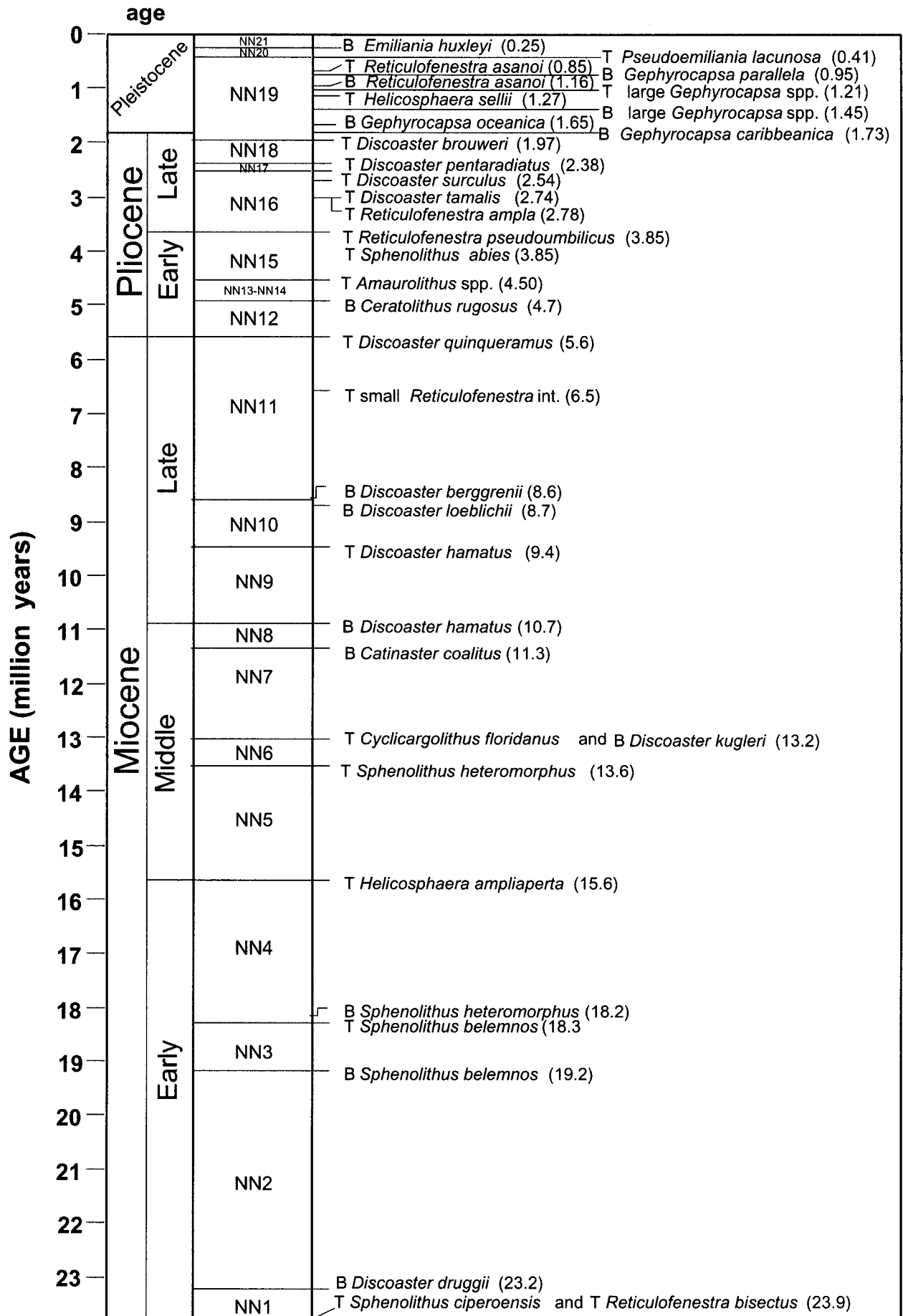
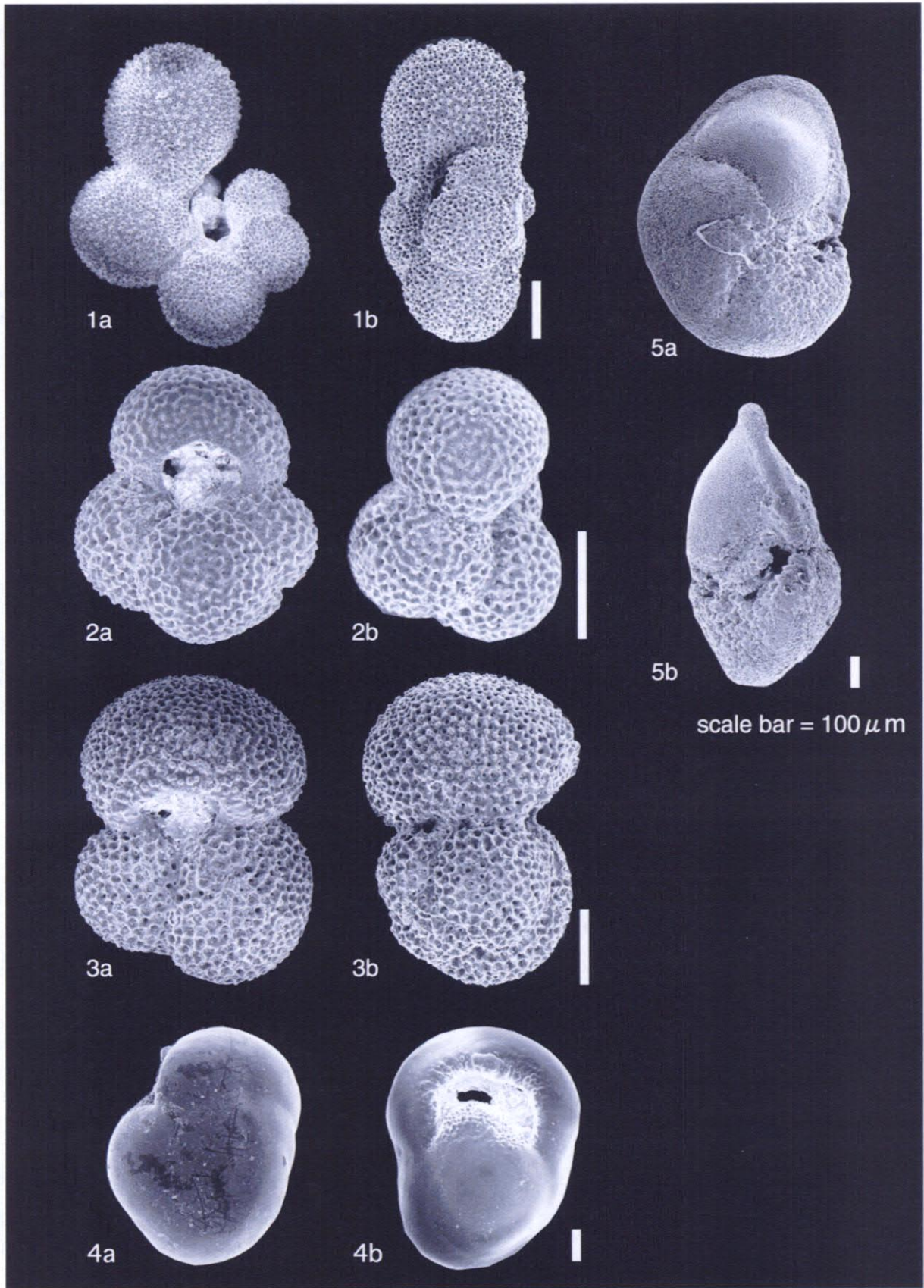


図3 新第三紀～第四紀石灰質ナンノ化石帯区分(Martini, 1971)とその基準面および年代値(佐藤, 2000)

主要浮遊性有孔虫化石の走査型電子顕微鏡写真 (キリバス)

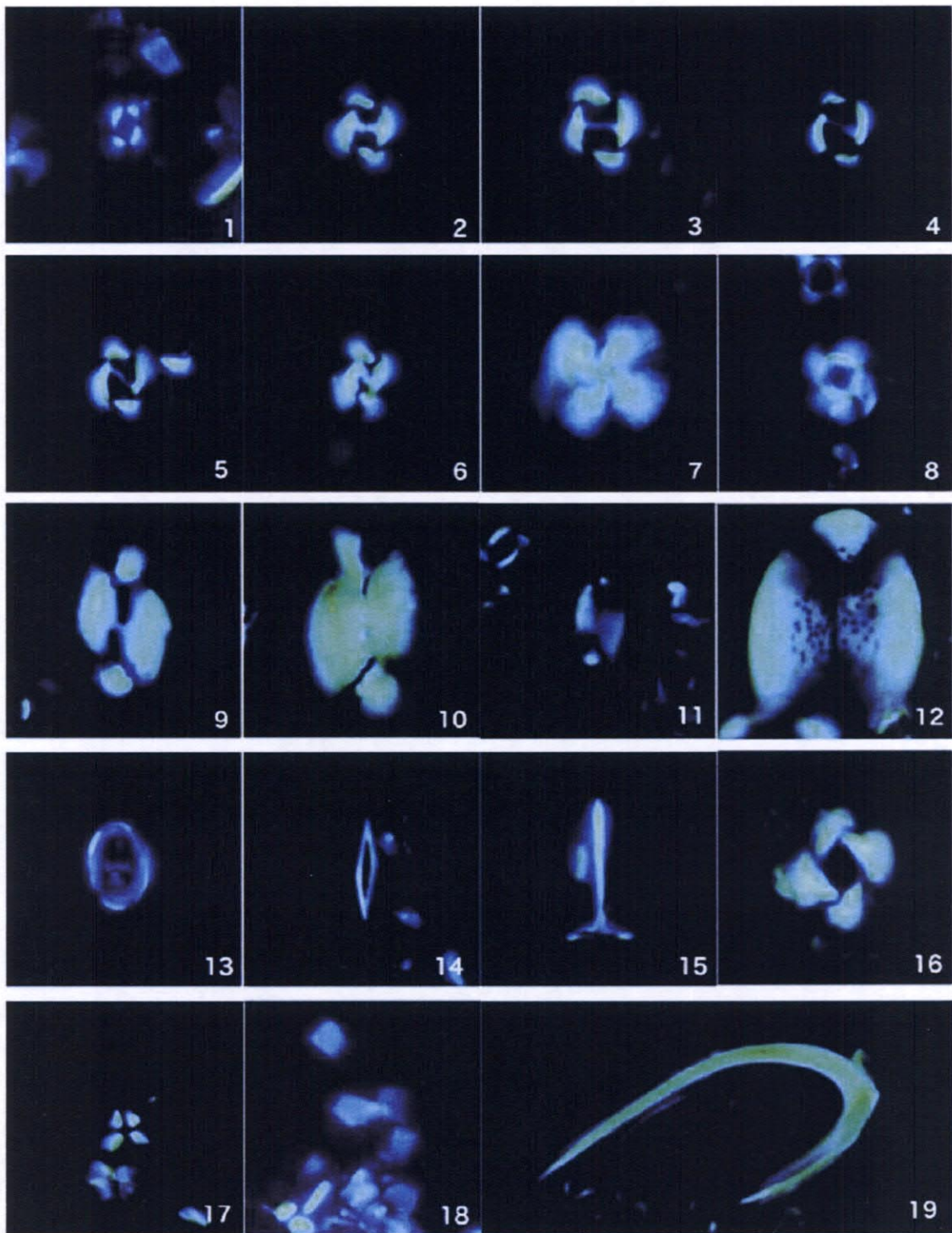
1. *Bolliella calida calida* (Parker). a Umbilical view, b. Side view. Sample from 03SE01MC02-FS02.
2. *Globigerina rubescens* Hofker. a. Umbilical view, b. Side View. Sample from 03SE01MC02-FS02.
3. *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny). a. Umbilical view, b. Side View. Sample from 03SE01MC02-FS02.
4. *Pulleniatina obliquiloculata* (Parker and Jones). a. Umbilical view, b. Side View. Sample from 03SE01MC02-FS02.
5. *Globorotalia tumida* (Brady). a. Umbilical view, b. Side View. Sample from 03SE01MC02-FS02.



主要ナンノ化石の顕微鏡写真 (キリバス)

1. *Emiliana huxleyi* (Lohman) Hay and Mohler,  
sample 03SE01MC02FS02
- 2,3. *Gephyrocapsa parallela* Hay and Beaudry, sample 03SE01MC03FS03
- 4,5. *Gephyrocapsa oceanica* Kamptner, sample 03SE01MC02FS02
6. *Gephyrocapsa caribbeanica* Boudreaux and Hay,  
sample 03SE01MC03FS01
7. *Calcidiscus leptoporus* (Murray & Blackman) Loeblich & Tappan  
sample 03SE01MC02FS02
8. *Umbilicosphaera sibogae* (Weber-van Bosse) Gaarder  
sample 03SE01MC02FS02
9. *Helicosphaera wallichii* (Lohmann) Boudreaux and Hay,  
sample 03SE01MC02FS02
10. *Helicosphaera carteri* (Wallich) Kamptner  
sample 03SE01MC02FS02
11. *Helicosphaera hyaline* Gaarder, sample 03SE01MC02FS02
12. *Discolithina* sp. Sample 03SE01MC02FS02
13. *Syracosphaera pulchra* Lohmann, sample 03SE01MC02FS02
14. *Scapholithus fossilis* Deflandre, sample 03SE01MC02FS02
15. *Rhabdosphaera clavigera* Murray & Blackman  
sample 03SE01MC02FS02
16. *Reticulofenestra pseudoumbilicus* (Gartner) Gartner,  
sample 03SE01MC03FS03
17. *Sphenolithus abies* Deflandre, sample 03SE01MC03FS03
18. *Florisphaera profunda* Okada and Honjo, sample 03SE01MC03FS03
19. *Ceratolithus cristatus* Kamptner, sample 03SE01MC03FS03





5μm

ナanno化石 Plate



希土類元素の分析値について、コンドライト値及び北米標準頁岩値による規格化を行ったが、規格化には表2の分析値を用いた。

表2 規格化に用いたREE値

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
コンドライト値	0.340	0.910	0.121	0.640	0.195	0.073	0.260
北米標準頁岩値	32.000	70.000	7.900	33.000	5.700	1.240	5.200

	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
コンドライト値	0.047	0.300	0.080	0.200	0.032	0.220	0.034
北米標準頁岩値	0.850		1.040	3.400	0.500	3.100	0.480

コンドライト値は、Wakita et al.(1971)による。

北米標準頁岩値は、Haskin et al.(1968)による。