

地球深部探査船「ちきゅう」の下北半島沖慣熟航海コア試料の年代モデル

堂満華子*・西 弘嗣**・内田淳一***・尾田太良****・大金 薫****・平 朝彦*****・青池 寛*****・
下北コア微化石研究グループ*****

*滋賀県立大学環境科学部・**北海道大学大学院理学研究院・***応用地質株式会社・****東北大学大学院理学研究院・*****海洋研究開発機構・*****海洋研究開発機構地球深部探査センター(CDEX)・*****相田吉昭(宇都宮大学農学部生物生産科学科 aida@cc.utsunomiya.ac.jp), 秋元和實(熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター akimoto@sci.kumamoto-u.ac.jp), 林 広樹(島根大学総合理工学部 hayashi@riko.shimane-u.ac.jp), 長谷川四郎(熊本大学大学院自然科学研究科 shiro@sci.kumamoto-u.ac.jp), 北里 洋(独立行政法人海洋開発機構 kitazatoh@jamstec.go.jp), 岩井雅夫(高知大学理学部 iwaim@kochi-u.ac.jp), 池原 実(高知大学海洋コア総合研究センター ikehara@kochi-u.ac.jp), 丸山俊明(山形大学理学部地球環境学科 maruyama@sci.kj.yamagata-u.ac.jp), 岡田尚武(北海道大学 okavp@general.hokudai.ac.jp), 大井剛志(熊本大学大学院自然科学研究科 ohi@es.sci.kumamoto-u.ac.jp), 佐藤時幸(秋田大学工学資源学部地球資源学科 toki@keigo.mine.akita-u.ac.jp), 酒井豊三郎(宇都宮大学農学部生物生産科学科 toyo.s.sakai@nifty.ne.jp), 鈴木紀毅(東北大学大学院理学研究科 norinori@m.tains.tohoku.ac.jp), 谷村好洋(国立科学博物館地学研究部 tanimura@kahaku.go.jp), 高嶋礼詩(北海道大学創成研究機構 rtaka@cris.hokudai.ac.jp), 山崎 誠(秋田大学工学資源学部地球資源学科 yamasaki@ipc.akita-u.ac.jp)

Age model of core sediments taken by D/V CHIKYU during the shakedown cruises off Shimokita Peninsula

Hanako Domitsu*, Hiroshi Nishi**, Junichi Uchida***, Motoyoshi Oda****, Kaoru Ogane,
Asahiko Taira*****, Kan Aoike***** and Shimokita Microfossil Research Group

*Department of Ecosystem Studies, School of Environmental Science, The University of Shiga Prefecture, 2500 Hassaka-cho, Hikone 522-8533 (domitsu.h@sus.usp.ac.jp); **Department of Natural History Sciences, Faculty of Science, Hokkaido University, Kita-10, Nishi-8, Kita-Ku, Sapporo 060-0810 (hnishi@mail.sci.hokudai.ac.jp); ***OYO Corporation, Daitakubo 2-2-19, Minami-ku, Saitama, 336-0015 (uchida-junichi@oyonet.oyo.co.jp); ****Institute of Geology and Paleontology, Graduate School of Science, Tohoku University, Aoba, Aramaki, Sendai 980-8578, Japan (odam@mail.tains.tohoku.ac.jp); *****Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2-15 Natsushima-cho, Yokosuka, Kanagawa 237-0061 (ataira@jamstec.go.jp); *****Geological Evaluation Group, Marine Operation Department, Center for Deep Earth Exploration (CDEX), Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Yokohama Institute for Earth Science, 3173-25 Showa-machi, Kanazawa-ku, Yokohama, Kanagawa, 236-0001 (bluepond@jamstec.go.jp).

Abstract. Three continuous cores of 47 m, 71 m and 365 m in thickness were recovered from the subseafloor at about 1200 m water depth at Holes C9001A, C9002A/B and C9001C/D during D/V *CHIKYU* shakedown cruises of CK05-04 Leg 2 (16 November–14 December 2005) and CK06-06 (6 August–29 October 2007). The core sediments are composed mainly of diatomaceous silty clay, and are divided into four lithologic units from Units A to D at Hole C9001C. The Unit A is characterized by common intercalations of tephra/sand and higher magnetic susceptibility (MS), while the Unit B is rare in tephra/sand intercalations with lower MS. The Unit C is composed of unconsolidated sands, and the Unit D is similar in lithology with the Unit A.

The integrated stratigraphy of micropaleontology, tephrochronology and magnetostratigraphy suggest that the bottom age of Hole C9001C core is correlated with the base of the Brunhes Chron (Chron C1n) that is assigned to about 780 ka (Middle Pleistocene). The geological age of Hole C9001D ranges from 1.05 to 1.65 Ma (Early Pleistocene). The oxygen isotope stages from Marine Isotope Stage (MIS) 1 to MIS 18 are recognized in Hole C9001C based on the correlation with a standard isotope curve, and these data accord well with the results of biostratigraphy and magnetostratigraphy. The Unit A ranges from MIS 1 to MIS 8 (about 300 ka), and Unit B spans from MIS 9 to MIS 16 (300 ka–640 ka). The Units C and D are assigned to MIS 17 and MIS 18, respectively. Hole C9001C core has a continuous sequence without hiatus although a disturbance layer occurs around 150 mbsf. Thus, the Shimokita cores have a strong potential to improve biochronology and revise geological time scales for the past 800 kyr in the Northwest Pacific region.

Key words: Chikyu Shimokita, biostratigraphy, oxygen isotope

はじめに

地球深部探査船「ちきゅう」の慣熟航海は、下北半島東方沖を実施海域として 2005 年 7 月末から約 2 年間行われた(図 1)。最初の CK05-04 Leg 2 航海では、C9001(水深 1,183 m) と C9002(水深 1,179 m) の 2 地点で掘削が行われ、C9001 地点では 46.5 mbsf(meters below seafloor), C9002 地点では A 孔で 26.2 mbsf, B 孔では 23.3 から 70.8 mbsf(47.5 m) までの深度でコア堆積物が得られた。次の CK06-06 航海では C9001 地点を再び掘削し、C 孔から 365 m の連続コア堆積物が回収された。さらに、D 孔では初のライザ掘削を行い、527 ~ 647 mbsf の深度でカッティングスを 10 m おきに回収した(青池, 2008; 青池ほか, 2010)。

下北半島沖では、これまでに多くのコア試料が得られている。例えば、東京大学海洋研究所の「淡青丸」の KT-90-9 次航海では ST-5 コア(41°27.1'N, 143°30.6'E, 水深, 2,098 m) が採取され、最終氷期以降(約 2 万年)の堆積物が得られた(大串ほか, 2000)。このコアでは、底生有孔虫の群集解析が行われた結果、下北沖では最終氷期には北方起源の中層水の影響が強かったことが指摘された。その後、その西側で MR01-K03 PC4/PC5 コア(41°07.1'N, 142°24.2'E, 水深, 1,366 m) が採取された。このコアの基底の年代は 35 ka(35,000 年前)に及ぶ(Ahagon *et al.*, 2003)。幾つかの研究でこのコアの有孔虫化石の酸素・炭素同位体比が測定され、最終氷期以降の北太平洋地域の海洋循環、メタンハイドレートの溶融に関して議論が行われた(Ahagon *et al.*, 2003; Hoshiba *et al.*, 2006; Uchida *et al.*, 2004; Uchida *et al.*, 2008)。最近では、2001 年に行われた International Marine Global Change Study (IMAGES) の航海で MD01-2409 のコアが採取された(川幡ほか, 2006b, 化石 79 号特集号)。このコアでは浮遊性有孔虫の群集解析が行われ、過去 26.9 kyr(26,900 年間)の津軽海峡の周辺の表層の水塊構造の変遷が明らかにされた(Kuroyanagi *et al.*, 2006)。また、底生有孔虫の群集も解析され、最終氷期から完新世までの下北半島周辺の中層・深層水の起源が議論されている(芝原ほか, 2006; Shibahara *et al.*, 2007)。

上記のように、これまでに得られた下北半島付近のコアは、数万年前までの年代を示すものがほとんどである。一方、2001 年に行われた IMAGES の航海では、下北沖以外では比較的長い期間に至るコア堆積物が得られた。しかし、それらも海洋酸素同位体ステージ(Marine Isotope Stage: MIS) の第 10 ステージ(MIS 10) にあたる約 35 万年前(四国沖の大陸斜面下部の MD01-2422, 32°8.7'N, 133°51.8'E, 水深, 2,737 m), MIS 12 にあたる約 50 万年前(琉球海溝陸棚斜面の MD01-2398, 23°59.51'N, 124°24.76'E, 水深, 2,140 m) までにしか達していない(氏家・氏家, 2006; 池原ほか, 2006)。これに対して、今回の「ちきゅう」の航海で得られたコアは、古地磁気極

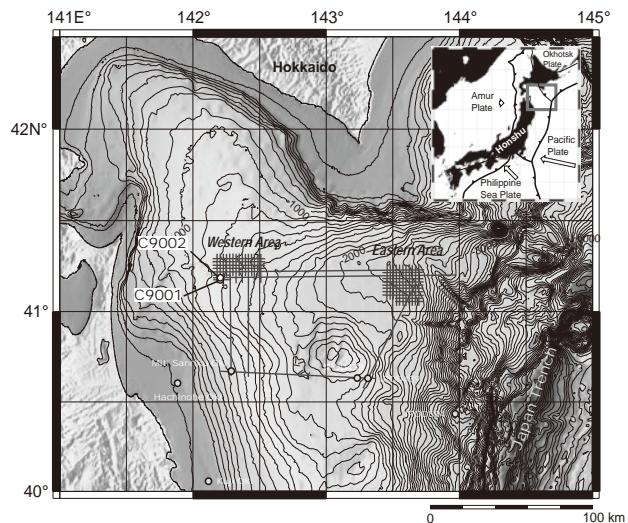


図 1. 下北沖の掘削地点。図中には深度、地震波探査の側線、以前の掘削地点を示している。C9001 と C9002 地点は 2005 年に掘削された。

Fig. 1. Index map showing the drilling and coring sites of the offshore Shimokita Peninsula area with bathymetry, seismic survey tracklines and existing borehole locations.

性の Brunhes-Matuyama 境界(Chron C1n/C1r)付近までさかのぼることができ、約 78 万年間に及ぶ日本近海で最初のコアとなった。これとは別に、銚子で掘削された陸上コア(35°46.44'N, 140°43.53'E)があるが、その地質年代は MIS 11 から MIS 24 にわたる(Kameo *et al.*, 2006)。さらに、統合深海掘削計画(Integrated Ocean Drilling Program, IODP) の Expedition 315 では南海トラフで掘削が行われ、中期更新世から鮮新世に至る堆積物が採取された(Kinoshita *et al.*, 2009)。しかし、これらのコアはいずれも更新統の上部を欠いている。このように、更新世を長期間にわたってカバーするようなコアは、日本周辺ではいまだ少ないので現状である。今回の下北沖のコアは、上部から中部更新統を連続的に採取できたきわめて重要なものとなった。本論では本コアの地質年代を微化石年代と酸素・炭素同位体比の結果をあわせて検討した結果、日本近海で初めて後期～中期更新世までの連続的な年代モデルをつくることができたので報告する。

掘削コアの岩相

CK05-04 Leg 2 航海(2005 年 11 月 16 日～12 月 14 日)では、C9001A(0 ~ 48.5 mbsf), C9002A(0 ~ 26.2 mbsf), C9002B(23.3 ~ 70.8 mbsf) の 3 孔を掘削した。C9001A 孔のコア堆積物は、海底下 2 mbsf から 46.5 mbsf の深度で採取された。最終的には、この航海では C9001 地点からは長さ 46.5 m, C9002 地点では 70.8 m の 2 本のコアが採取された(青池ほか, 2009)。その岩相は、いずれも単

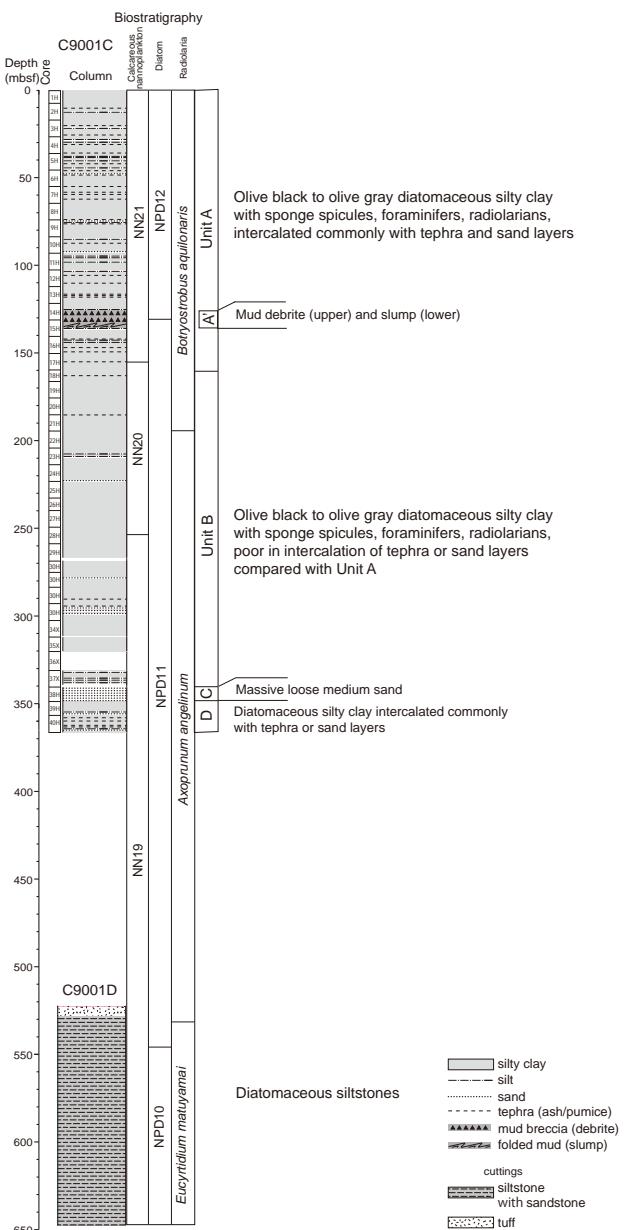


図2. C9001CおよびD孔の岩相。

Fig. 2. Lithologic columnar section of Holes C9001C and C9001D.

調なオリーブ黒色からオリーブ灰色の塊状の珪藻質シルト質粘土から構成され、海綿骨針、有孔虫、ナノ化石、放散虫などの微化石が50%以上を占め、顕微鏡下では珪藻が約30%に達する。生物擾乱はコア全体を通して強く、ときおり小礫が泥層の中に散在的にみられる。礫は、灰白色で角礫から亜円礫の軽石（数mmから1.3cm）が最も多く、次いで亜円礫の細礫から小礫のスコリア（数mmから1cm）が多い。

各コアには、テフラや砂層が挟まれ、火山灰層が26枚、砂層が29枚確認された（青池, 2008; 青池ほか, 2010）。火山灰層は、1mmから10cmまでの厚さで、5mm以上の厚さをもつものが多い。シルトから細礫サイズで、し

ばしば級化構造を示す。これらの層は、灰白色～白色の軽石質からなる層と灰黒色～黒色の岩片からなる層に大別できる。砂層はC9001A孔では少なく、C9002A孔では数mm～10cmの厚さの砂層がCore 1Hから3Hまで数多く挟在する。C9002B孔でも同様な砂層が各セクション（1.5m）に数枚の頻度で挟まれる（青池, 2008; 青池ほか, 2010）。

翌年のCK06-06航海（2006年8月6日～10月26日）では、2005年と同じC9001地点を掘削し、C9001C孔において365mbsf（全長386mのコア）までノンライザー、C9001D孔ではライザーで647mbsfまで掘削し（青池, 2008; 青池ほか, 2010），D孔の522～647mbsfの深度では5～10m間隔でカッティングス試料を回収した。C9001C孔の堆積物もオリーブ黒色からオリーブ灰色の塊状の珪藻質シルト質粘土からなり、海綿骨針、有孔虫、ナノ化石、放散虫などの多くの微化石を含み、貝殻片もみられる。粘土層には、軽石、シルト、砂、小礫から中礫が含まれ、漂流岩屑の可能性も示唆される。数cmの厚さからなる火山灰層・砂層がコア上部と最下部に挟まれる。C9001C孔は、岩相から4つのユニットに区分できる（図2）。最上部のUnit A（Core 1Hから17H-CC, 0cm: 0～158mbsf, CC；コアキャッチャー（Core Catcher）によぶ）とUnit B（Core 17H-CCから38H-1, 0cm: 158～340mbsf）は、珪藻質シルト質粘土で、前者では火山灰層・砂層を多く挟むが、後者にはほとんど挟まない。Unit C（38H-1, 0cmから38H-CC, 20cm: 340～348mbsf）は、固結していない細粒砂からなる。Unit D（38H-CC, 20cmから40H-CC, 30cm: 348～365mbsf）は、再び火山灰や砂層を挟む珪藻質シルト質粘土からなる。C9001D孔のカッティングスは、顕微鏡下ではやや固結しているものの、上位の堆積物と類似した岩相を示す。岩相から判断すると、C9001A孔とC9002A/B孔は、すべてC9001C孔のUnit Aに対比することができる（青池, 2008; 青池ほか, 2010）。

微化石の分析手法

微化石分析には、C9001C孔とC9001D孔のコア試料を用いた。C9001C孔のコアからは、386mの試料のうち1Hから40Hまでのコアキャッチャー（CC）の40試料、C9001D孔の試料からは527～647mbsfの深度から10mごとに採取した12試料のカッティングスを採取し、分析に用いた（表1）。微化石のうち、ナノ化石はスミアライド法で処理し、プレパラートを作成した。有孔虫に関しては、乾燥前の堆積物試料を4～20g程度採取し、ドラフト内で3%過酸化水素水により常温で処理した。その後200メッシュ（開孔75μm）のステンレスメッシュで水洗し、40°Cのオープンで乾燥後、簡易分割器により分割した。有孔虫化石の検出は、125μm以上の個体について

表1. 微化石を分析した試料。

Table 1. Sample list of biostratigraphic study at Holes C9001C and D.

EXPEDITION	SITE	HOLE	CORE	CORE_TYPE	SAMPLE CODE	CORE CATCHER HORIZON (cm)		
						CORE BOTTOM DEPTH (mbsf)	CUTTINGS TOP-BOTTOM DEPTH (mbsf)	
902	C9001	C	1	H	PAL	CC, 14.0–24.0	6.91	
902	C9001	C	2	H	PAL	CC, 18.0–28.0	16.41	
902	C9001	C	3	H	PAL	CC, 20.0–30.0	25.91	
902	C9001	C	4	H	PAL	CC, 24.0–34.0	35.41	
902	C9001	C	5	H	PAL	CC, 36.0–46.0	44.91	
902	C9001	C	6	H	PAL	CC, 30.0–40.0	54.41	
902	C9001	C	7	H	PAL	CC, 23.0–33.0	63.91	
902	C9001	C	8	H	PAL	CC, 24.0–34.0	73.41	
902	C9001	C	9	H	PAL	CC, 26.0–36.0	82.91	
902	C9001	C	10	H	PAL	CC, 58.0–68.0	92.41	
902	C9001	C	11	H	PAL	CC, 28.0–38.0	101.91	
902	C9001	C	12	H	PAL	CC, 20.0–30.0	111.41	
902	C9001	C	13	H	PAL	CC, 27.0–37.0	120.91	
902	C9001	C	14	H	PAL	CC, 16.0–26.0	130.41	
902	C9001	C	15	H	PAL	CC, 20.0–30.0	139.91	
902	C9001	C	16	H	PAL	CC, 20.0–30.0	149.41	
902	C9001	C	17	H	PAL	CC, 30.0–40.0	158.91	
902	C9001	C	18	H	PAL	CC, 23.0–33.0	165.41	
902	C9001	C	19	H	PAL	CC, 20.0–30.0	174.91	
902	C9001	C	20	H	PAL	CC, 18.0–28.0	184.41	
902	C9001	C	21	H	PAL	CC, 24.0–34.0	193.91	
902	C9001	C	22	H	PAL	CC, 18.0–28.0	203.41	
902	C9001	C	23	H	PAL	CC, 51.0–61.0	212.91	
902	C9001	C	24	H	PAL	CC, 45.0–55.0	222.41	
902	C9001	C	25	H	PAL	CC, 34.0–44.0	231.91	
902	C9001	C	26	H	PAL	CC, 27.0–37.0	239.03	
902	C9001	C	27	H	PAL	CC, 4.0–14.0	248.53	
902	C9001	C	28	H	PAL	CC, 32.0–42.0	258.03	
902	C9001	C	29	H	PAL	CC, 22.0–32.0	267.53	
902	C9001	C	30	H	PAL	CC, 32.0–42.0	274.36	
902	C9001	C	31	H	PAL	CC, 22.0–32.0	282.66	
902	C9001	C	32	H	PAL	CC, 30.0–40.0	292.16	
902	C9001	C	33	H	PAL	CC, 40.0–50.0	301.66	
902	C9001	C	34	X	PAL	CC, 26.0–36.0	311.16	
902	C9001	C	35	X	PAL	CC, 13.0–23.0	320.66	
902	C9001	C	36	X	no sample		330.16	
902	C9001	C	37	X	PAL	CC, 14.0–24.0	339.66	
902	C9001	C	38	H	PAL	CC, 10.0–20.0	349.16	
902	C9001	C	39	H	PAL	CC, 60.0–70.0	357.13	
902	C9001	C	40	H	PAL	CC, 19.0–29.0	365.33	
902	C9001	D	2	SMW	Cuttings	527–537		
902	C9001	D	4	SMW	Cuttings	537–547		
902	C9001	D	6	SMW	Cuttings	547–557		
902	C9001	D	8	SMW	Cuttings	557–567		
902	C9001	D	10	SMW	Cuttings	567–577		
902	C9001	D	12	SMW	Cuttings	577–587		
902	C9001	D	14	SMW	Cuttings	587–597		
902	C9001	D	16	SMW	Cuttings	597–607		
902	C9001	D	18	SMW	Cuttings	607–617		
902	C9001	D	20	SMW	Cuttings	617–627		
902	C9001	D	22	SMW	Cuttings	627–637		
902	C9001	D	24	SMW	Cuttings	637–647		

表2. C9001C およびD孔におけるナノ化石の産出表

Table 2. Occurrences of calcareous nannofossils at the Holes C9001C and D.

DEPTH (mbsf)	sample	calcareous nannofossil zone (Martini, 1971)														
		<i>Braunodiscphaera bigelovii</i> (Gran and Braund) DeFlaive	<i>Calcidiscus leptoporus</i> (Murray and Blackman) Loeblich and Tappan	<i>Coccilithus pelagicus</i> (Wallich) Schiller	<i>Discolithina japonica</i> Takayama	<i>Emiliania huxleyi</i> (Lohmann) Hay and Mohler	<i>Gephyrocapsa caribeanica</i> Boudreux and Hay	<i>Gephyrocapsa parallela</i> Hay and Beaufort	<i>Gephyrocapsa</i> spp. (small)	<i>Helicosphaera carteri</i> (Wallich) Kampfer	<i>Helicosphaera hyalina</i> Gaarder	<i>Helicosphaera wallacii</i> (Lohmann) Boudreux and Hay	<i>Pseudomiliolina lacunosa</i> (Kampfer) Garver	<i>Reticulofenestra</i> spp. (small)	<i>Rhabdosphaera clavigera</i> Murray and Blackman	<i>Syracosphaera pulchra</i> Lohmann
1H-CC	6.91	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2H-CC	16.41	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3H-CC	25.91	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4H-CC	35.41	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5H-CC	44.91	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
6H-CC	54.41	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
7H-CC	63.91	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
8H-CC	73.41	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
9H-CC	82.91	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
10H-CC	92.41	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
11H-CC	101.91	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
12H-CC	111.41	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
13H-CC	120.91	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
14H-CC	130.41	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
15H-CC	139.91	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
16H-CC	149.41	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
17H-CC	158.91	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
18H-CC	165.41	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
19H-CC	174.91	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
20H-CC	184.41	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
21H-CC	193.91	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
22H-CC	203.41	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
23H-CC	212.91	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
24H-CC	222.41	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
25H-CC	231.91	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
26H-CC	239.03	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
27H-CC	248.53	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
28H-CC	258.03	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
29H-CC	267.53	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
30H-CC	274.36	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
31H-CC	282.66	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
32H-CC	292.16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
33H-CC	301.66	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
34H-CC	311.16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
35H-CC	320.66	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
37H-CC	339.66	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
38H-CC	349.16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
39H-CC	357.13	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
40H-CC	365.33	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Note, +: present

て、1試料あたり100～1,500個体前後の有孔虫を抽出し、主要な種について計数して産出頻度を求めた。珪藻化石に関しては、コア試料約10 ccをビーカーに入れ、15%の過酸化水素水 (H_2O_2)、約15%の塩酸 (HCl) を注ぎ加熱した。その後、満量になるまで冷水を注ぎ、砂泥粒子が底に沈殿したら上澄みを流し捨て、上澄みが透明になるまで繰り返した。これらの操作によって、細粒砂～シルトに相当する粒子が濃集した懸濁液ができる

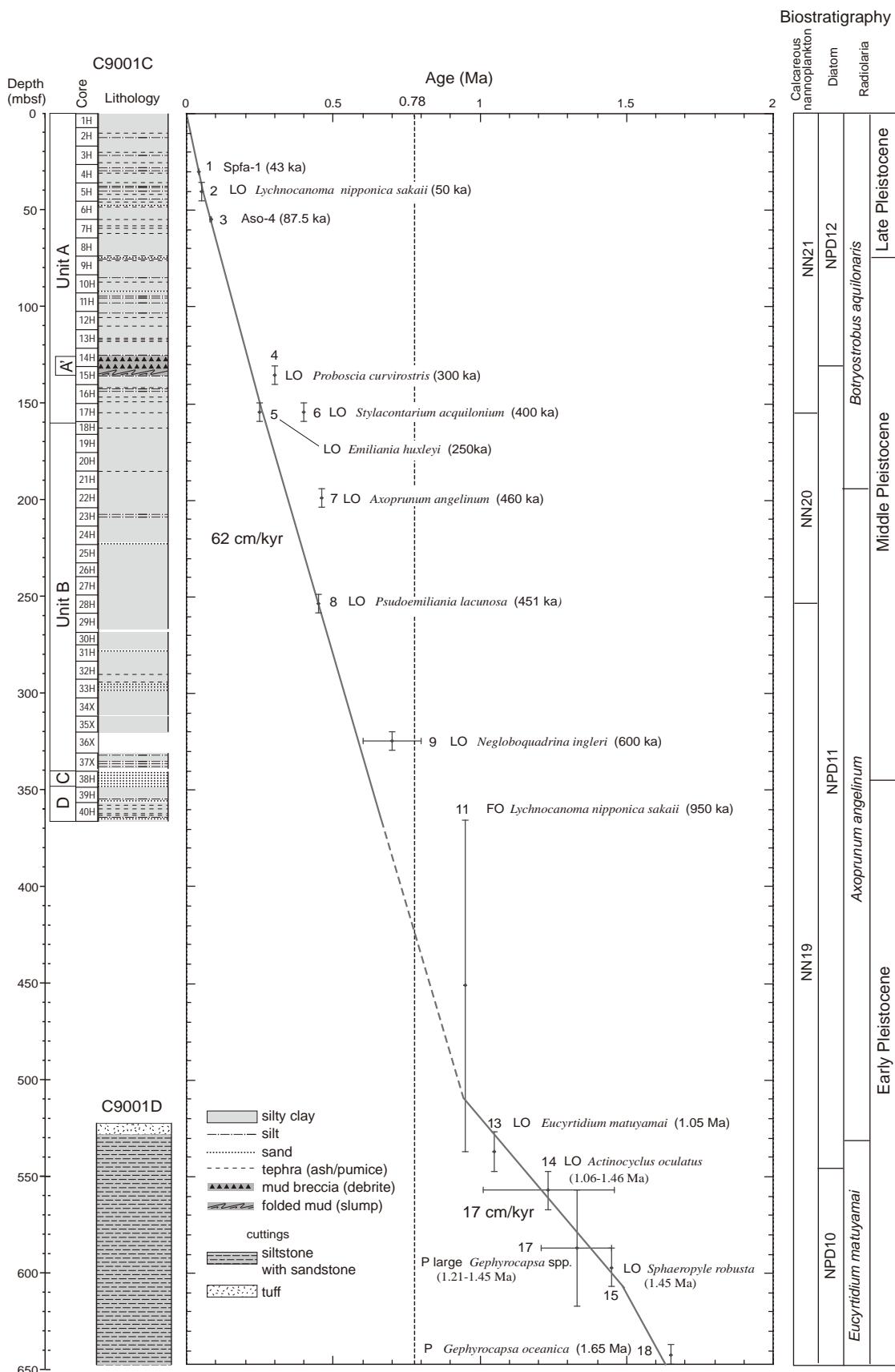


図3. 微化石層序、テフラ層序、古地磁気層序に基づくC9001CおよびD孔の年代モデル。微化石による化石帯は右側に示してある。LO、最終産出；FO、初産出；P、その微化石が産出する層準。

Fig. 3. Age model of Hole C9001C/D based on micropaleontology, tephrochronology and magnetostratigraphy. Biostratigraphic zones of microfossils are shown in the right column. LO = last occurrence; FO = first occurrence; P = present of microfossils.

ので、その一部を取り出して希釈し、カバーガラスの上にのせ、乾燥した後に光硬化剤を用いてマウントした。

放散虫化石については、1H-CC から 31H-CC までのコアキャッチャー (CC) の 31 試料は「ちきゅう」船上で処理を行い、残りの CC 試料 (32H-CC から 40H-CC) の 9 試料とカッティングス試料は、下船後に処理を行った。いずれの試料の処理も、最初にコア試料から約 100~200 g を取り出し、500 cc のビーカーに入れ、加熱した約 10 % の過酸化水素水 (H_2O_2) を注ぎ、試料が泥化するまで 1 時間程度放置した。次に、溶液が淡黄緑色になるまで約 15 % の塩酸 (HCl) を注ぎ加熱した。泥化した試料を 350 メッシュ (開孔 45 μm) のステンレスメッシュで洗浄し、濾紙に回収した残渣を乾燥させた。トラガカントゴムを塗布したスライドグラス上に乾燥させた試料を散布して定着させ、光硬化剤を用いて封入してプレパラートを作成し、主要な種について計数した。化石の保存度については VG, G, M, P, VP の 5 段階、産出頻度については VA, A, C, F, R, VR の 6 段階に区分した (表 2~6)。

微化石層序の結果

石灰質ナノ化石

C9001C 孔において、調査した試料は 36H-CC を除く 1H-CC から 40H-CC までの 39 試料である (表 2)。全体的に保存状態は悪く、産出個体数、種数ともに少ない。地質年代の決定に重要な種の層位分布に関しては、*Emiliania huxleyi* が 16H-CC より上位でほぼ連続的に産出する。この種は、その産出の下限が 0.25 Ma (MIS 8) で、Martini (1971) の石灰質ナノ化石帶 NN21 帯の下限を定義する。また、*Pseudoemiliania lacunosa* は 27H-CC より下位に連続で産出し、それより上位では全く認められない。この種の産出上限は 0.45 Ma (MIS 12) で、NN20/NN19 境界を定義する。一方、その絶滅が更新世中期の 0.85 Ma (MIS 22) とされている *Reticulofenestra asanoi* は全く認められない。以上の結果に基づくと、C9001C 孔の最下部は更新統中部の 0.85 Ma には至っていない。また、これらの示準面は、堆積物の厚さに対してほぼ直線上に並ぶことから、本掘削地点では地層の欠如はみられないと推定される (図 3)。

C9001D 孔では、合計 22 試料のカッティングス試料を処理し調査を行った。石灰質ナノ化石はいずれの試料も保存が悪く、産出個体数も極めて少ない。いずれの試料でも指標種の確認は困難で、8SMW, 12SMW, 18SMW の 3 試料にのみ長径が 6 μm を越える大型の *Gephyrocapsa* が認められた。このことから、8SMW から 18SMW の間は少なくとも更新統下部で 1.21 Ma から 1.45 Ma の間に对比される。最下位の 24SMW には *Gephyrocapsa oceanica* が産出したことから、最下部は少なくとも更新世の 1.65 Ma より若い年代であることは間違いない。

浮遊性有孔虫

C9001C および D 孔の全試料から浮遊性有孔虫化石が産出した (表 3)。試料の重量 1 gあたりの個体数は平均して 50 個体前後であり、少ない試料では数個体以下である。特に、カッティングス試料では産出が少なく、全残渣を検鏡しても 20 個体以下であった。化石の保存状態は普通程度であるが、不良となる層準が数層準あり、殻の破損や表面構造の溶失等が認められる。カッティングスとして採取された C9001D 孔の試料は、一般に保存が悪く、殻の着色や堆積物粒子の膠着、破損が普遍的に認められた。

産出した化石群集では、左巻きの *Neogloboquadrina pachyderma* が産出個体の 60~80 % を占め、*Globigerina bulloides*, *Neogloboquadrina incompta*, *Globigerinoides glutinata*などを伴う。*N. pachyderma* は、現在の日本周辺海域では親潮水塊に卓越する種であり (Takemoto and Oda, 1997)，本掘削地点も全層準を通して寒流の影響下にあった可能性が高い。暖流系の種群とされる *Globigerinoides* 属の各種や *Globorotalia inflata* 等は、ごく散点的に低頻度で産出する。このうち *G. inflata* はコア区間下部の 33H-CC および 28H-CC で多産する (表 3)。

年代決定に関して重要な種としては、*Neogloboquadrina inglei* が C9001D 孔の最下部の試料 24SMW から C9001C 孔の 37X-CC にかけて連続的に産出し、35X-CC では 1600 個体以上を検討したにも関わらず認められなかった。したがって、37X-CC と 35X-CC の間に本種の最終産出 (Last occurrence, LO) が認められる (Fig. 3)。また、カッティングス区間の最下部の試料 24SMW のさらに下位に *N. inglei* の初産出 (First occurrence, FO) があると考えられる。*Globorotalia inflata* のうち最終旋回が 3 室となる形態型 (Motoyama et al., 2004 における *G. inflata* modern form) が、検討した最下部の 24SMW から上位にかけて散点的に産出する。したがって、24SMW より下位に、この形態型の FO が存在する。その他の示標種は産出しなかった。

以上の産出結果に基づいて地質年代を検討すると、*G. inflata* modern form の FO については三陸沖の ODP Leg 186 で古地磁気層序との対応が得られ、その年代値は 2.3 ~ 2.5 Ma と見積もられている (Motoyama et al., 2004)。したがって、この種が産出する最下部の試料 24SMW は 2.5 Ma よりも若い。なお、*N. inglei* の FO は北東太平洋カリフォルニア沖の ODP サイトで認められ、31°N 付近の 1011 地点から 41°N 付近の 1020 地点に向かって、約 1.2 Ma から約 1.9 Ma と古くなる異時性が認められる (Kucera and Kennett, 2000)。本掘削地域は 1020 地点の緯度にほぼ相当しているが、日本周辺海域における異時性の実態が明らかでないため、この基準面の存在を指摘するだけにとどめる。また、本種の LO については、同じくカリフォルニア沖で約 0.6 ~ 0.8 Ma の年代値が得られている

表3. C9001CおよびD孔における浮遊性有孔虫化石の産出表。

Table 3. Occurrences of planktic foraminifers at the Holes C9001C and D. Preservation classifications: VG (very good) = rare of broken and dissolution shells; G (good) = some specimens contains broken and dissolution of shells, and aggregation of sand grains; M (moderate) = distinct broken and dissolution of shells, but many specimens are possible to identify the species; P (poor) = distinct broken and dissolution of shells, several specimens are not identified; VP (very poor) = half of specimens are difficult to identify the species. Abundance classifications: VA (very Abundant) = more than 32%; A (abundant) = 16–32%; C (common) = 8–16%; F (few) = 4–8%; R (rare) = 2–4%; VR (very rare) = 2%; + = less than 20 total specimens.

EXPEDITION	SITE	HOLE	CORE	CORE TYPE	CORE CATCHER HORIZON (cm)	DEPTH (mbsf)	Group abundance	Preservation	<i>Globigerina bullardes</i> d'Orbigny		VR	C	VA	VR	F		
902	C9001	C	1	H	PAL	CC, 14.0–24.0	6.91	C	P	A	VR	R					
902	C9001	C	2	H	PAL	CC, 18.0–28.0	16.41	A	G	A	R	F					
902	C9001	C	3	H	PAL	CC, 20.0–30.0	25.91	A	P	C	VR						
902	C9001	C	4	H	PAL	CC, 24.0–34.0	35.41	A	G	A	VR	R					
902	C9001	C	5	H	PAL	CC, 36.0–46.0	44.91	C	P	R	VR	R					
902	C9001	C	6	H	PAL	CC, 30.0–40.0	54.41	C	G	C	VR	VR					
902	C9001	C	7	H	PAL	CC, 23.0–33.0	63.91	R	M	A			F				
902	C9001	C	8	H	PAL	CC, 24.0–34.0	73.41	A	G	C	R	VR	F	VR	R	VA	
902	C9001	C	9	H	PAL	CC, 26.0–36.0	82.91	VA	M	F	VR	R		VR	R	VA	
902	C9001	C	10	H	PAL	CC, 58.0–68.0	92.41	VA	M	C	VR	VR	F	VR	F	A	
902	C9001	C	11	H	PAL	CC, 28.0–38.0	101.91	R	P	A		VR				VA	
902	C9001	C	12	H	PAL	CC, 20.0–30.0	111.41	C	P	A	R	F		VR	R	A	
902	C9001	C	13	H	PAL	CC, 27.0–37.0	120.91	C	P	VR	C		R		R	VA	
902	C9001	C	14	H	PAL	CC, 16.0–26.0	130.41	P	P	A	R	VR		VR	A	F	
902	C9001	C	15	H	PAL	CC, 20.0–30.0	139.91	A	M	R	VR	R		VR	F	VR	
902	C9001	C	16	H	PAL	CC, 20.0–30.0	149.41	VA	M	VR	R			VR	R	VA	
902	C9001	C	17	H	PAL	CC, 30.0–40.0	158.91	F	M	C	F		F	VR	R	R	
902	C9001	C	18	H	PAL	CC, 23.0–33.0	165.41	VR	P	C				F	VA	F	
902	C9001	C	19	H	PAL	CC, 20.0–30.0	174.91	R	M	C	R					VA	
902	C9001	C	20	H	PAL	CC, 18.0–28.0	184.41	VR	P	R	VR				F	VA	
902	C9001	C	21	H	PAL	CC, 24.0–34.0	193.91	R	M					C	VA	F	
902	C9001	C	22	H	PAL	CC, 18.0–28.0	203.41	R	P	VA	R	R		VR	R	VA	
902	C9001	C	23	H	PAL	CC, 51.0–61.0	212.91	A	M	R	VR			VR	R	VA	
902	C9001	C	24	H	PAL	CC, 45.0–55.0	222.41	R	P					VR		VA	
902	C9001	C	25	H	PAL	CC, 34.0–44.0	231.91	R	M	A				R		VA	
902	C9001	C	26	H	PAL	CC, 27.0–37.0	239.03	R	P	A	F	VR	VR		VR	F	VA
902	C9001	C	27	H	PAL	CC, 4.0–14.0	248.53	A	M	F	VR	VR		VR	R	VA	
902	C9001	C	28	H	PAL	CC, 32.0–42.0	258.03	R	G	F	VR	R		R	A	R	
902	C9001	C	29	H	PAL	CC, 22.0–32.0	267.53	C	M	C	VR		VR	R	VR	VA	
902	C9001	C	30	H	PAL	CC, 32.0–42.0	274.36	A	G	A	VR		VR	VR	VR	VR	
902	C9001	C	31	H	PAL	CC, 22.0–32.0	282.66	A	M	F	VR		VR	VR	VR	VR	
902	C9001	C	32	H	PAL	CC, 30.0–40.0	292.16	VA	G	A	VR	VR		F	VR	VA	
902	C9001	C	33	H	PAL	CC, 40.0–50.0	301.66	R	M	VA				A	F	A	
902	C9001	C	34	X	PAL	CC, 26.0–36.0	311.16	R	M	C		C	F		F	VA	
902	C9001	C	35	X	PAL	CC, 13.0–23.0	320.66	VA	G	VA	VR	VR	VR	R	R	VA	
902	C9001	C	36	X	no sample					(not examined)						VR	
902	C9001	C	37	X	PAL	CC, 14.0–24.0	339.66	VA	G	F	VR	VR	VR	VR	R	VR	
902	C9001	C	38	H	PAL	CC, 10.0–20.0	349.16	C	G	C	VR	VR	R	VR	R	VA	
902	C9001	C	39	H	PAL	CC, 60.0–70.0	357.13	C	G	C	VR				C	VA	
902	C9001	C	40	H	PAL	CC, 19.0–29.0	365.33	A	G	C	VR		R	R	F	VR	

Note, VA: very abundant, A: abundant, C: common, F: few, R: rare, VR: very rare, G: good, M: moderate, P: poor.

EXPEDITION	SITE	HOLE	CORE	CORE TYPE	CORE BOTTOM DEPTH (mbsf)	Group abundance	Preservation	<i>Globigerina bullardes</i> d'Orbigny		VR	C	VA	VR	F
902	C9001	D	2	SMW	Cuttings	527–537	VR	P					+	+
902	C9001	D	4	SMW	Cuttings	537–547	R	P	VR				A	
902	C9001	D	6	SMW	Cuttings	547–557	R	P	VR				C	A
902	C9001	D	8	SMW	Cuttings	557–567	VR	P					+	+
902	C9001	D	10	SMW	Cuttings	567–577	VR	P					+	+
902	C9001	D	12	SMW	Cuttings	577–587	R	P	VR				A	
902	C9001	D	14	SMW	Cuttings	587–597	VR	M					+	+
902	C9001	D	16	SMW	Cuttings	597–607	VR	P	+				+	+
902	C9001	D	18	SMW	Cuttings	607–617	VR	P					+	+
902	C9001	D	20	SMW	Cuttings	617–627	R	P	A	VR	VR		+	+
902	C9001	D	22	SMW	Cuttings	627–637	R	P	A	VR	VR		C	A
902	C9001	D	24	SMW	Cuttings	637–647	R	P	C	VR	VR		A	A

Note, VA: very abundant, A: abundant, C: common, F: few, R: rare, VR: very rare, +: present, G: good, M: moderate, P: poor.

表4. C9001C およびD孔における底生有孔虫化石の産出表.

Table 4. Occurrences of benthic foraminifers at the Holes C9001C and D. Abundance classification: VA (very abundant) = more than 27%; C (common) = 9–27%; F (few) = 3–9%; R (rare) = less than 3%.

Note, VA: very abundant, A: abundant, C: common, F: few, R: rare

(Kucera and Kennett, 2000). したがって、この種の産出上限である試料37X-CCは少なくとも0.6 Maよりも古い可能性が高い。

底生有孔虫群集

C9001C孔の試料1H-CCから39H-CCまでのうち、奇数番号のものについて計20試料の検討を行った。群集組成は比較的単純で *Elphidium batialis*, *Epistominella pacifica*, *Nonionellina labradorica*, *Uvigerina akitaensis*が優占する(表4)。1H-CCは *Bolivina spissa*, *E. batialis*, *U. akitaensis*が多く、現在の水深(1,180 m)とほぼ同様の群集を示す。特に、*E. batialis*は5H-CC, 9H-CCから13H-CC, 17H-CCから19H-CC, 33H-CC, 39H-CCで多産し、現在の水深と同様の環境を示唆する。*E. pacifica*は12H-CCから13H-CC, 17H-CCから20H-CC, 33H-CCから39H-CCで比較的多産する。また、貧酸素種の *Bulimina tenuata*, *Brizalina pacifica*, *Globobulimina affinis*, *G. auricurata*, *Stainforthia* spp.は、コア中部ではあまり産出せず、下部と上部で多い傾向があり、溶存酸素極小層の変動を反映している。

C9001D孔の試料2SMWから24SMWまでのカッティングス12試料(偶数番号)から産出する底生有孔虫の群集組成も *E. batialis*, *E. pacifica*, *U. akitaensis*の3種が全体の産出数の90%を占め、*Cibicidoides* sp., *Islandiella norcrossi*, *N. labradorica*などが付随する(表4)。*E. batialis*は下部(12SMWおよび16SMWから22SMW)で多産し、*E. pacifica*と *U. akitaensis*は上部(2SMWから6SMWおよび10SMWから14SMW)で多産する傾向がある。*I. norcrossi*の産出数が少ないが、全層準を通じて産出する。また、*Rectobolivina raphana*の産出は、18SMWから22SMWに限られている。このコアでは、全有孔虫数に対する浮遊性有孔虫数の割合(P/T比)は、層準によってばらつきがある。なお、処理過程において、上部に細礫サイズの円～亜円礫が若干認められたが、群集では浅海域からの流入は確認できなかった。

両コアから産出する主要種である *E. batialis*, *U. akitaensis*は、親潮域の漸深海帯に多産する種である(Ikeya, 1971; 阿部ほか, 2003; 大井ほか, 2005)が、*E. pacifica*は現在と同程度の水深には産出せず、より深層の水深2,000 m附近で多産する。したがって、C9001C孔の基底からC9001C-11H-CCまでは、現在より深い水深であったこと可能性も示唆されるが、今後の研究が必要である。一方、現在の下北沖では、500から1,500 mの水深には溶存酸素極小層が形成されており、今回の試料から得られた群集は、全体として低い溶存酸素環境を反映している。これらの増減は、溶存酸素極小層の空間的な変動を示している可能性もある。また、現在の本海域(水深約1,000 m)附近では上記のほかに *Bolivina spissa*が卓越するが、コアではほとんど産出しない。以上のことから、底生有孔虫が

示す底層環境は、基本的に低い溶存酸素環境であるものの、その程度は時間的・空間的に変動していたと考えられる。また、P/T比のばらつきは、表層の生産性の周期的变化を表しているとみなされる(表4)。

珪藻

新第三系から第四系の珪藻生層序では、生物地理区ごとに化石帶区分が提唱されており、北太平洋では北太平洋珪藻化石帶(NPD: North Pacific Diatom Zone)が、コード番号(新しい方からNPD12からNPD1まで)とともに多用されている(Yanagisawa and Akiba, 1998; Maruyama and Shiono, 2003; Motoyama et al., 2004)。本論文では、三陸沖で実施されたODP Leg 186において使用された化石帶区分(Maruyama and Shiono, 2003)を基にして結果を論ずる。

C9001C孔における珪藻基準面として、*Proboscia curvirostris*のLO(0.3 Ma; 14H-CC/15H-CC, 130.41/139.91 mbsf)と*Actinocyclus oculatus*のLO(1.01~1.46 Ma; 6SMW/8SMW, 557 mbsf)が認識された(表5)。C9001D孔の最下限の試料24SMW(647 mbsf)においても、*Proboscia curvirostris*と*Actinocyclus oculatus*が共産し、また*Neodenticula koizumii*の連續的な産出が認められないことから、最下限は*Actinocyclus oculatus*帶(NPD10)に含まれており、*Proboscia curvirostris*のFOである2.0 Maよりも古くなることはないと結論される。したがって、本コアの試料は、新第三系の北太平洋珪藻化石帶のうち、1H-CCから14H-CCまでが*Neodenticula seminae*帶(NPD12), 15HCCから6SMWまでが*Proboscia curvirostris*帶(NPD11), 8SMWから24SMWまで*Actinocyclus oculatus*帶(NPD10)に区分でき、それぞれ上部更新統、中部更新統、下部更新統に相当する(図3)。

但し、*Proboscia curvirostris*のFOについては、CK92に準拠した場合に1.58 Ma(Cande and Kent, 1992), BKFSV85の場合では1.5 Ma(Berggren et al., 1985; Koizumi and Tanimura, 1985)との見解があるため、本コアの最下限が1.58 Maよりも若いとの判断も成り立つ。カリフォルニア沖では、1 Ma前後の判断基準として*Rhizosolenia matuyamai*の生存区間(LOが0.91~1.06 Ma, FOが0.99~1.14 Ma)が有効な示準となっているが(Maruyama, 2000), 本コアでは見い出せなかった。*Rhizosolenia matuyamai*のLO(CK95, 0.91~1.06 Ma), *Rhizosolenia matuyamai*のFO(CK95, 0.99~1.14 Ma), *Proboscia curvirostris*のFO(CK92, 1.58 Ma), *Neodenticula koizumii*のLO(CK95, 2.0 Ma)の4つの示準面は認識されなかった。

放散虫

C9001C孔のコアでは、以下の6つの放散虫化石の基準

表5. C9001C およびD孔における珪藻化石の産出表。

Table 5. Occurrences of diatoms at Holes C9001C and D. Diatom slides were examined in their entirety at a magnification of 600 \times for stratigraphic markers and paleoenvironmentally sensitive taxa. Identifications were checked routinely at 1000 \times . These abundances were recorded as follows: A (abundant) = one or more specimens per field of view; C (common) = one specimen per each lateral traverse; R (rare) = one specimen per a few lateral traverses; VR (very rare) = one specimen per several or more lateral traverses; and rw (reworked) = one or more reworked specimens. Preservation of diatoms was determined qualitatively as follows: G (good) = finely silicified forms present and no alteration of frustules observed; M (moderate) = finely silicified forms present with some alteration; and P (poor) = finely silicified forms absent or rare and fragmented, and the assemblage is dominated by robust forms.

EXPEDITION	SITE	HOLE	CORE_TYPE	TOP_DEPTH	ADVANCEMENT	LINER_LENGTH	Depth (mbsf)	Diatom zone	NPD_North Pacific Diatom Zone	Geologic age	Group abundance	Preservation	Achniocyclus ingens Rattray										
													Achniocyclus curvatus Janisch										
902	C9001	C	1	H	0.00	6.91	6.92	6.91	N. seminae	12	late Pleistocene	C	M	R	R	C	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	2	H	6.91	9.50	9.75	16.41	N. seminae	12	late Pleistocene	C	M	R	R	C	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	3	H	16.41	9.50	9.88	25.91	N. seminae	12	late Pleistocene	C	M	R	R	C	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	4	H	25.91	9.50	10.17	35.41	N. seminae	12	late Pleistocene	A	G	R	R	A	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	5	H	35.41	9.50	10.17	44.91	N. seminae	12	late Pleistocene	R	P	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	6	H	44.91	9.50	10.22	54.41	N. seminae	12	late Pleistocene	C	M	R	C	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	7	H	54.41	9.50	10.15	63.91	N. seminae	12	late Pleistocene	C	M	R	C	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	8	H	63.91	9.50	10.20	73.41	N. seminae	12	late Pleistocene	A	G	R	R	R	A	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	9	H	73.41	9.50	10.27	82.91	N. seminae	12	late Pleistocene	C	M	R	R	R	RW	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	10	H	82.91	9.50	10.51	92.41	N. seminae	12	late Pleistocene	C	M	R	R	R	R	R	R	R	R	C	R
902	C9001	C	11	H	92.41	9.50	10.23	101.91	N. seminae	12	late Pleistocene	C	M	R	R	R	R	R	R	R	R	C	R
902	C9001	C	12	H	101.91	9.50	10.18	111.41	N. seminae	12	late Pleistocene	A	G	R	R	R	R	R	R	R	R	C	R
902	C9001	C	13	H	111.41	9.50	10.21	120.91	N. seminae	12	late Pleistocene	R	P	R	R	R	R	R	R	R	R	C	R
902	C9001	C	14	H	120.91	9.50	10.15	130.41	N. seminae	12	late Pleistocene	R	P	R	C	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	15	H	130.41	9.50	10.72	139.91	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	C	M	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	16	H	139.91	9.50	10.33	149.41	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	C	M	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	17	H	149.41	9.50	10.39	158.91	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	C	M	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	18	H	158.91	6.50	7.24	165.41	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	A	M	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	19	H	165.41	9.50	10.10	174.91	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	C	M	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	20	H	174.91	9.50	10.09	184.41	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	C	M	R	R	R	R	R	R	R	R	R	C
902	C9001	C	21	H	184.41	9.50	10.40	193.91	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	A	M	R	A	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	22	H	193.91	9.50	10.53	203.41	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	C	M	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	23	H	203.41	9.50	10.57	212.91	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	C	M	RW	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	24	H	212.91	9.50	10.37	222.41	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	C	M	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	25	H	222.41	9.50	10.84	231.91	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	C	P	R	R	R	RW	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	26	H	231.91	7.12	8.01	239.03	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	C	P	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	27	H	239.03	9.50	9.97	248.53	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	C	P	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	28	H	248.53	9.50	10.30	250.83	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	C	P	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	29	H	250.83	9.50	8.47	267.53	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	C	M	RW	R	R	R	R	R	R	R	C	R
902	C9001	C	30	H	267.53	6.83	8.08	274.36	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	C	M	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	31	H	274.36	8.30	10.14	282.66	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	C	M	RW	R	R	R	R	R	R	R	C	R
902	C9001	C	32	H	282.66	9.50	10.33	292.16	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	C	M	RW	R	R	R	R	R	R	R	C	R
902	C9001	C	33	H	292.16	9.50	10.38	301.66	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	C	M	RW	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	34	X	301.66	9.50	9.85	311.16	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	R	P	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	35	X	311.16	9.50	8.08	320.66	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	C	P	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	no sample					330.16																
902	C9001	C	37	X	330.16	9.50	7.70	339.66	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	C	M	R	R	R	RW	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	38	H	339.66	9.50	9.35	347.63	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	R	P	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	39	H	347.63	9.50	7.51	355.83	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	A	M	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	C	40	H	355.83	9.50	9.95	365.33	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	C	M	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	D	2	SMW	Cutttings		527-537mbsf	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	VR	P	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	D	4	SMW	Cutttings		537-547mbsf	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	R	P	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	D	6	SMW	Cutttings		547-557mbsf	P. curvirostris	11	middle Pleistocene	R	P	RW	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	D	8	SMW	Cutttings		557-567mbsf	A. oculatus	10	early Pleistocene	R	P	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	D	10	SMW	Cutttings		567-577mbsf	A. oculatus	10	early Pleistocene	R	P	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	D	12	SMW	Cutttings		577-587mbsf	A. oculatus	10	early Pleistocene	C	P	R	R	R	R	R	R	R	R	R	RW	R
902	C9001	D	14	SMW	Cutttings		587-597mbsf	A. oculatus	10	early Pleistocene	R	P	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	D	16	SMW	Cutttings		597-607mbsf	A. oculatus	10	early Pleistocene	C	P	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	D	18	SMW	Cutttings		607-617mbsf	A. oculatus	10	early Pleistocene	C	P	R	C	R	R	R	R	R	R	R	C	R
902	C9001	D	20	SMW	Cutttings		617-627mbsf	A. oculatus	10	early Pleistocene	R	P	RW	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	D	22	SMW	Cutttings		627-637mbsf	A. oculatus	10	early Pleistocene	C	P	RW	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
902	C9001	D	24	SMW	Cutttings		637-647mbsf	A. oculatus	10	early Pleistocene	C	P	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	RW

Note. A: abundant, C: common, R: rare, VR: very rare, RW: reworked, G: good, M: moderate, P: poor.

表6. C9001C およびD孔における放散虫化石の産出表

Table 6. Occurrences of radiolarians at Holes C9001C and D. These abundances were recorded as follows: A (abundant) = more than 25%; C (common) = 20–25%; F (few) = 15–20%; R (rare) = 5–15%; VR (very rare) = less than 5%; + = present, few specimens and more than one specimen.

EXPEDITION	SITE	HOLE	CORE	CORE TYPE	CORE CATCHER HORIZON (cm)	DEPTH (mbsf)	Group Abundance	Preservation	RADIOLARIAN ZONE (Miyayama & Minayama, 1998)										
									RADIOLARIAN ZONE (Miyayama & Minayama, 1998)					Ampithopaldum praecepstion Sakai					
902	C9001	C 1	H	PAL	CC, 14.0–24.0	6.91	C	M	<i>B. aquilonaris</i>	R	F	R	VR	C	VR				
902	C9001	C 2	H	PAL	CC, 18.0–28.0	16.41	F	G	<i>B. aquilonaris</i>	VR	R	R	VR	R	VR				
902	C9001	C 3	H	PAL	CC, 20.0–30.0	25.91	R	G	<i>B. aquilonaris</i>	R	A								
902	C9001	C 4	H	PAL	CC, 24.0–34.0	35.41	VR	M	<i>B. aquilonaris</i>	+	+								
902	C9001	C 5	H	PAL	CC, 36.0–46.0	44.91	F	M	<i>B. aquilonaris</i>	+*	+								
902	C9001	C 6	H	PAL	CC, 30.0–40.0	54.41	VR	M	<i>B. aquilonaris</i>										
902	C9001	C 7	H	PAL	CC, 23.0–33.0	63.91	C	G	<i>B. aquilonaris</i>	VR	VR	C	VR	R	VR				
902	C9001	C 8	H	PAL	CC, 24.0–34.0	73.41	R	G	<i>B. aquilonaris</i>	+*	+	*	+	+*					
902	C9001	C 9	H	PAL	CC, 26.0–36.0	82.91	F	M	<i>B. aquilonaris</i>	+*	+	*	+	+*					
902	C9001	C 10	H	PAL	CC, 58.0–68.0	92.41	C	G	<i>B. aquilonaris</i>	VR	R	R		R	VR				
902	C9001	C 11	H	PAL	CC, 28.0–38.0	101.91	A	G	<i>B. aquilonaris</i>	VR	VR	VR	A	VR	VR				
902	C9001	C 12	H	PAL	CC, 20.0–30.0	111.41	C	G	<i>B. aquilonaris</i>	VR	VR	VR	VR	VR	VR	R	VR	VR	
902	C9001	C 13	H	PAL	CC, 27.0–37.0	120.91	F	M	<i>B. aquilonaris</i>	VR	VR	R	VR	R	VR		VR	VR	
902	C9001	C 14	H	PAL	CC, 16.0–26.0	130.41	R	P	<i>B. aquilonaris</i>	+*	+	*	+	+*			R	+	
902	C9001	C 15	H	PAL	CC, 20.0–30.0	139.91	F	G	<i>B. aquilonaris</i>	+*	+	*	+	+*					
902	C9001	C 16	H	PAL	CC, 20.0–30.0	149.41	R	M	<i>B. aquilonaris</i>	+*	+	*	+	+*					
902	C9001	C 17	H	PAL	CC, 30.0–40.0	158.91	F	M	<i>B. aquilonaris</i>	+*	+	*	+	+*					
902	C9001	C 18	H	PAL	CC, 23.0–33.0	165.41	F	M	<i>B. aquilonaris</i>	VR	R	VR	VR	R	VR				
902	C9001	C 19	H	PAL	CC, 20.0–30.0	174.91	F	M	<i>B. aquilonaris</i>	VR	VR	VR	R	VR	VR		R	VR	
902	C9001	C 20	H	PAL	CC, 18.0–28.0	184.41	C	M	<i>B. aquilonaris</i>	VR	VR	VR	VR	C	VR		R	VR	
902	C9001	C 21	H	PAL	CC, 24.0–34.0	193.91	A	G	<i>B. aquilonaris</i>	VR	R	VR	VR	R	VR	VR	VR	VR	
902	C9001	C 22	H	PAL	CC, 18.0–28.0	203.41	F	M	<i>A. angelinum</i>	VR	VR	VR	R	VR	VR		VR	VR	
902	C9001	C 23	H	PAL	CC, 51.0–61.0	212.91	VR	M	<i>A. angelinum</i>	+*	+	*	+	+*			R	VR	
902	C9001	C 24	H	PAL	CC, 45.0–55.0	222.41	VR	P	<i>A. angelinum</i>	+*	+	*	+	+*			R	VR	
902	C9001	C 25	H	PAL	CC, 34.0–44.0	231.91	VR	P	<i>A. angelinum</i>	+*	+	*	+	+*			+*	+	
902	C9001	C 26	H	PAL	CC, 27.0–37.0	239.03	R	M	<i>A. angelinum</i>	R	VR			VR	VR	VR	A	R	
902	C9001	C 27	H	PAL	CC, 4.0–14.0	248.53	VR	M	<i>A. angelinum</i>	+*	+	*	+	+*			+*	+	
902	C9001	C 28	H	PAL	CC, 32.0–42.0	258.03	VR	P	<i>A. angelinum</i>	R				R	VR		A	A	
902	C9001	C 29	H	PAL	CC, 22.0–32.0	267.53	C	G	<i>A. angelinum</i>	VR	R	VR	VR	C	VR		VR	VR	
902	C9001	C 30	H	PAL	CC, 32.0–42.0	274.36	VR	M	<i>A. angelinum</i>	+*	+			VR	VR		+*	+	
902	C9001	C 31	H	PAL	CC, 22.0–32.0	282.66	C	M	<i>A. angelinum</i>	VR				VR	A		VR	A	
902	C9001	C 32	H	PAL	CC, 30.0–40.0	292.16	F	M	<i>A. angelinum</i>	VR	VR			VR	VR		VR	VR	
902	C9001	C 33	H	PAL	CC, 40.0–50.0	301.66	F	M	<i>A. angelinum</i>	VR	VR	VR	VR	VR	VR		VR	VR	
902	C9001	C 34	X	PAL	CC, 26.0–36.0	311.16	F	M	<i>A. angelinum</i>	VR	VR	VR	VR	VR	VR	rw	R	VR	
902	C9001	C 35	X	PAL	CC, 13.0–23.0	320.66	F	M	<i>A. angelinum</i>	VR	VR	R		R	VR	VR	VR	VR	
902	C9001	C 36	X	no sample		330.16												+	
902	C9001	C 37	X	PAL	CC, 14.0–24.0	339.66	R	M	<i>A. angelinum</i>					+					
902	C9001	C 38	H	PAL	CC, 10.0–20.0	349.16	C	G	<i>A. angelinum</i>	VR	VR	VR	VR	VR	VR		R	VR	
902	C9001	C 39	H	PAL	CC, 60.0–70.0	357.13	F	M	<i>A. angelinum</i>	A	VR	VR	VR	VR	VR	rw	VR	VR	
902	C9001	C 40	H	PAL	CC, 19.0–29.0	365.33	F	M	<i>A. angelinum</i>	VR	VR	VR	R		VR		VR	VR	
902	C9001	D 2	SMW	Cuttings	527-537	R	M	<i>A. angelinum</i>										+	
902	C9001	D 4	SMW	Cuttings	537-547	F	M	<i>E. matuyamai</i>	R		R						VR	VR	
902	C9001	D 6	SMW	Cuttings	547-557	VR	P	<i>E. matuyamai</i>	R								+	+	
902	C9001	D 8	SMW	Cuttings	557-567	VR	P	<i>E. matuyamai</i>	+*	+							+	+	
902	C9001	D 10	SMW	Cuttings	567-577	F	M	<i>E. matuyamai</i>	+*	+	R		+*		R		+	+	
902	C9001	D 12	SMW	Cuttings	577-587	barren											VR	VR	
902	C9001	D 14	SMW	Cuttings	587-597	C	M	<i>E. matuyamai</i>	VR	R				VR	R			VR	
902	C9001	D 16	SMW	Cuttings	597-607	A	M	<i>E. matuyamai</i>	+*	VR	+*	C	VR	VR	VR	VR	R	VR	
902	C9001	D 18	SMW	Cuttings	607-617	F	P	<i>E. matuyamai</i>	R	VR			VR	VR			R	+	
902	C9001	D 20	SMW	Cuttings	617-627	F	P	<i>E. matuyamai</i>	R	VR			F	VR			R	+	
902	C9001	D 22	SMW	Cuttings	627-637	F	P	<i>E. matuyamai</i>	R	VR			R	+	VR		VR	VR	
902	C9001	D 24	SMW	Cuttings	637-647	F	P	<i>E. matuyamai</i>	VR	VR			F	VR	+*	R	VR	+	
902	C9001	D 26	SMW	Cuttings	647-657	F	P	<i>E. matuyamai</i>	VR	VR			+*	VR		VR	VR	+	
902	C9001	D 28	SMW	Cuttings	657-667	F	P	<i>E. matuyamai</i>	VR	VR									
902	C9001	D 30	SMW	Cuttings	667-677	F	P	<i>E. matuyamai</i>	VR	VR									
902	C9001	D 32	SMW	Cuttings	677-687	F	P	<i>E. matuyamai</i>	VR	VR									
902	C9001	D 34	SMW	Cuttings	687-597	C	M	<i>E. matuyamai</i>	VR	R				VR	R			VR	
902	C9001	D 36	SMW	Cuttings	597-607	A	M	<i>E. matuyamai</i>	+*	VR	+*	C	VR	VR	VR	VR	F	VR	
902	C9001	D 38	SMW	Cuttings	607-617	F	P	<i>E. matuyamai</i>	R	VR			VR	VR			R	+	
902	C9001	D 40	SMW	Cuttings	617-627	F	P	<i>E. matuyamai</i>	R	VR			F	VR			R	+	
902	C9001	D 42	SMW	Cuttings	627-637	F	P	<i>E. matuyamai</i>	R	VR			R	+	VR		VR	VR	
902	C9001	D 44	SMW	Cuttings	637-647	F	P	<i>E. matuyamai</i>	VR	VR			F	VR	+*	R	VR	+	
902	C9001	D 46	SMW	Cuttings	647-657	F	P	<i>E. matuyamai</i>	VR	VR			+*	VR		VR	VR	+	
902	C9001	D 48	SMW	Cuttings	657-667	F	P	<i>E. matuyamai</i>	VR	VR									
902	C9001	D 50	SMW	Cuttings	667-677	F	P	<i>E. matuyamai</i>	VR	VR									
902	C9001	D 52	SMW	Cuttings	677-687	F	P	<i>E. matuyamai</i>	VR	VR									
902	C9001	D 54	SMW	Cuttings	687-597	C	M	<i>E. matuyamai</i>	VR	R				VR	R			VR	
902	C9001	D 56	SMW	Cuttings	597-607	A	M	<i>E. matuyamai</i>	+*	VR	+*	C	VR	VR	VR	VR	F	VR	
902	C9001	D 58	SMW	Cuttings	607-617	F	P	<i>E. matuyamai</i>	R	VR			VR	VR			R	+	
902	C9001	D 60	SMW	Cuttings	617-627	F	P	<i>E. matuyamai</i>	R	VR			F	VR			R	+	
902	C9001	D 62	SMW	Cuttings	627-637	F	P	<i>E. matuyamai</i>	R	VR			R	+	VR		VR	VR	
902	C9001	D 64	SMW	Cuttings	637-647	F	P	<i>E. matuyamai</i>	VR	VR			F	VR	+*	R	VR	+	
902	C9001	D 66	SMW	Cuttings	647-657	F	P	<i>E. matuyamai</i>	VR	VR			+*	VR		VR	VR	+	
902	C9001	D 68	SMW	Cuttings	657-667	F	P	<i>E. matuyamai</i>	VR	VR									
902	C9001	D 70	SMW	Cuttings	667-677	F	P	<i>E. matuyamai</i>	VR	VR									
902	C9001	D 72	SMW	Cuttings	677-687	F	P	<i>E. matuyamai</i>	VR	VR									
902	C9001	D 74	SMW	Cuttings	687-597	C	M	<i>E. matuyamai</i>	VR	R				VR	R			VR	
902	C9001	D 76	SMW	Cuttings	597-607	A	M	<i>E. matuyamai</i>	+*	VR	+*	C	VR	VR	VR	VR	F	VR	
902	C9001	D 78	SMW	Cuttings	607-617	F	P	<i>E. matuyamai</i>	R	VR			VR	VR			R	+	
902	C9001	D 80	SMW	Cuttings	617-627	F	P	<i>E. matuyamai</i>	R	VR			F	VR			R	+	
902	C9001	D 82	SMW	Cuttings	627-637	F	P	<i>E. matuyamai</i>	R	VR			R	+	VR		VR	VR	
902	C9001	D 84	SMW	Cuttings	637-647	F	P	<i>E. matuyamai</i>	VR	VR			F	VR	+*	R	VR	+	
902	C9001	D 86	SMW	Cuttings	647-657	F	P	<i>E. matuyamai</i>	VR	VR			+*	VR		VR	VR	+	
902	C9001	D 88	SMW	Cuttings	657-667	F	P	<i>E. matuyamai</i>	VR	VR									
902	C9001	D 90	SMW	Cuttings	667-677	F	P	<i>E. matuyamai</i>	VR	VR									
902	C9001	D 92	SMW	Cuttings	677-687	F	P	<i>E. matuyamai</i>	VR	VR									
902	C9001	D 94	SMW	Cuttings	687-597	C	M	<i>E. matuyamai</i>	VR	R				VR	R			VR	
902	C9001	D 96	SMW	Cuttings	597-607	A	M	<i>E. matuy</i>											

Note, A: abundant, C: common, Few: few, R: rare, VR: very rare, +: present, rw: reworked, G: good, M: moderate, P: poor

面が確認された（表6）：（1）*Lychnocanoma nipponica sakaii*のLO（0.05 Ma）：4H-CC/5H-CC, 35.41/44.91 mbsf, （2）*Stylocontarium acquilonium*のLO（0.4 Ma）：16H-CC/17H-CC, 149.41/158.91 mbsf, （3）*Axoprunum angelinum*のLO（0.46 Ma）：21H-CC/22H-CC, 193.91/203.41 mbsf, （4）*Lychnocanoma nipponica sakaii*のFO（0.95 Ma）：40H-CC/2SMW, 365.33/527–537 mbsf, （5）*Eucyrtidium matuyamai*のLO（1.05 Ma）：2SMW/4SMW, 537 mbsf, （6）*Sphaeropyle robusta*のLO（1.45 Ma）：14SMW/16SMW, 597 mbsf.

C9001C孔の4H-CCから最下部40H-CCまで *L. nipponica sakaii* がほぼ連続して産出するが、C9001D孔のカッティングス試料（2SMW～24SMW）では全く認められない（図3、表6）。40H-CC（約365 mbsf）と2SMW（527～537 mbsf）の間は160～170 mほど欠けているため本種の初出現を確認できないが、C9001C孔の最下部は *L. nipponica sakaii* のFO（0.95 Ma）より若くなるものと判断される。

C9001D孔のカッティングス試料の4SMWから最下部の24SMWまで地質年代決定に重要な種である*E. matuyamai*

表7. C9001C およびD孔における層序学イベントの総括。

Table 7. Stratigraphic events at Holes C9001C and D. LO = last occurrence; FO = first occurrence; P = present of microfossils.

Event	Times	Core	Top sample (FO presence)	Bottom sample (LO presence)	Depth	(mbsf)			CK95		
						Top	Bottom	Original age (Ma)	Age (ka)	Error(±)	Age and datum
1 Spa 支笏第一テフラ	C9001A	3H-6, 17-34			28.4	28.56			43	1	
	C9002B	1H-5, 98-114			29.47	29.62					
	C9001C	4H-4, 57-68			30.3	30.39					
2 LO <i>Lychnocanoma nipponica sakaii</i>	C9001C	4H-CC	5H-CC	35.3		44.9	0/0.06 in original	500			Morley and Nigrini (1995)
3 Aso-4 (阿蘇4) テフラ	C9002B	4H-2, 20-25.4			53.24	53.29			87.5	2.5	
	C9001C	6H-CC, 33.7-36			54.35	54.38					
4 LO <i>Proboscia curvirostris</i>	C9001C	14H-CC	15H-CC		130.41	139.91	MIS8	250			
5 FO <i>Emiliania huxleyi</i>	C9001C	16H-CC	17H-CC		149.41	158.91					
6 LO <i>Stylacantharium acclivolum</i>	C9001C	16H-CC	17H-CC		149.3	158.91	0.37/0.52 in original	400			Morley and Nigrini (1995)
7 LO <i>Axoprunum angelinum</i>	C9001C	21H-CC	22H-CC		193.9	203.41			460	40	Motoyama (1996)
8 LO <i>Pseudoemiliania lacunosa</i>	C9001C	27H-CC	28H-CC		248.53	258.03	MIS12, NN20/NN19	410			
9 LO <i>Neogloboquadrina inglei</i>	C9001C	35H-CC	37H-CC		319.2	337.8			600	100	
10 Base of Brunhes	C9001C	Lower than 40H		368.33					780		
11 FO <i>Lychnocanoma nipponica sakaii</i>	C9001C	9001C40HCC	C9001D2SMW		365.33	527-537	0.9/1.0 in original	950	50		Kamikuri et al. (2004)
12 LO <i>Reticulofenestra asanoi</i>	C9001C	9001C40HCC	C9001D2SMW		365.33	527-537	MIS22	850			No occurrence
13 LO <i>Eucyrtidium matuyamai</i>	C9001D	2SMW	4SMW	537			1.0/1.1 in original	1.05	0.05		Kamikuri et al. (2004)
14 LO <i>Actunocyclus oculatus</i>	C9001D	6SMW	8SMW	557	554-557	557-567		1.01-1.46			Motoyama (1996)
15 LO <i>Sphaeropyle robusta</i>	C9001D	14SMW	16SMW	597			1.4/1.5 in original	1.45	0.05		Kamikuri et al. (2004)
16 FO <i>Eucyrtidium matuyamai</i>	C9001D	lower than 24SMW		647			1.7/1.9 in original	1.8	0.1		Kamikuri et al. (2004)
17 P large <i>Gephyrocapsa</i>	C9001D	8SMW	18SMW	647				1.21-1.45			Morley and Nigrini (1995)
18 P <i>Gephyrocapsa oceanica</i>	C9001D							younger 1.65			

がほぼ連続して認められた（表6）。本種は、正磁極クロンC2n（Olduvaiイベント）の基底付近から出現（1.8 Ma）し、C1r1n（Jaramilloイベント）基底付近で絶滅（1.05 Ma）する短い生存期間をもつ。その基準面は信頼性が高いので、4SMWから24SMWの区間は更新統下部（1.05 Maから1.8 Ma）に対比される（Kamikuri et al., 2004; Motoyama et al., 2004）。また *S. robusta* のLOが14SMW/16SMW間に認められることから、14SMW/16SMW（597 mbsf）付近は1.45 Maに対比される。最下位の試料24SMWには *E. matuyamai* は产出するが、*Lamprocyrtis heteroporos* を産しないため、最下部は少なくとも *E. matuyamai* のFO（1.8 Ma）よりは若い年代を示すものと判断される。

以上のことから、C9001C およびD孔のコアは、全試料がほぼ更新統に属することが判明し、本山・丸山（1998）によって定義された新第三系の北西太平洋地域の中高緯度における放散虫化石帯の最上部の3化石帯に相当する（図3）。C9001C孔の1H-CCから21H-CCの区間は *Botryostrobus aquilonaris* 帯、C9001C孔の22H-CCからC9001D孔の2SMWの区間は *Axoprunum angelinum* 帯、C9001D孔の3SMWから24SMWの区間は *Eucyrtidium matuyamai* 帯に区分できる。

火山灰層序および古地磁気層序

C9001CとC9002Dの2孔には多くの火山灰層が挟在する。このうちC9001C孔の上部にある2層の火山灰層が年代決定に使用できる（表7）。この2枚の層は、C9001AやC9002B孔のコアで認識されたT11とT21と同じで、最初の火山灰層（C9001C-4H-4, 57~68 cm, 34.3 mbsf）

が支笏第一（Spfa-1）、次の火山灰層（C9001C-6H-CC, 33.7~36 cm, 54.35~54.38 mbsf）が阿蘇4（Aso-4）にそれぞれ同定される（青池, 2008; 青池ほか, 2010）。また、C9001Cの古地磁気はすべて正磁極であるので、Brunhes正磁極帯（Chron C1n）に対比される。

酸素同位体比層序

手法

下北コアの年代モデルを確立することを目的として、C9001C孔に含まれる底生有孔虫化石の殻の酸素同位体比を測定した。安定酸素・炭素同位体比測定用試料として、C9001C孔の385層準（1セクションあたり1~4試料；約0.5~1.5 mの間隔）で約6~9 cm厚の堆積物を探取した。全試料について凍結乾燥後、250 メッシュ（開口径63 μm）のステンレスメッシュ上で水洗して泥質分を除去し、残渣を約40 °Cで乾燥させた。全残渣試料を鏡下観察した結果、底生有孔虫 *Uvigerina akitaensis* がほぼ連続的に产出し、かつ殻の保存状態が良好であることがわかった。そこで本研究では、*U. akitaensis* を同位体比測定に用いる種として選定し、その拾い出しを行った。ただし、22H-8（202.35 mbsf）の1試料については *U. akitaensis* が产出しなかったため、近縁種である *Uvigerina peregrina* を用いた。拾い出しにあたっては、肋状隆起（costae）と periphery に着目し、できるだけ典型的な形態を示す個体を抽出した。

測定には長径500~800 μmの *U. akitaensis* を3個体（100 μg）用いたが、产出数が極端に少ない層準につい

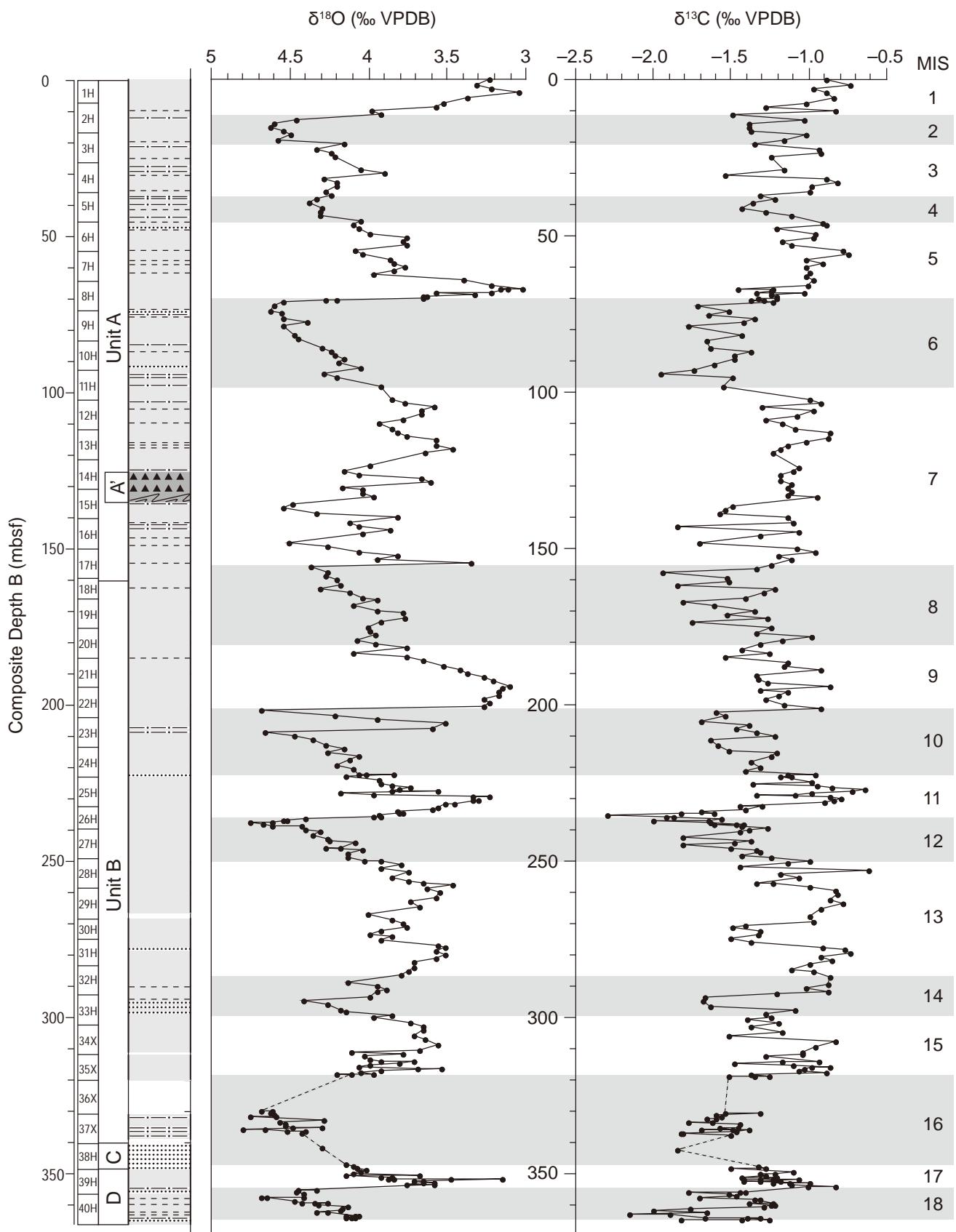


図4. C9001C孔における底生有孔虫化石の酸素炭素同位体比曲線。対比できる海洋酸素同位体ステージは番号で示してある。

Fig. 4. Oxygen and carbon isotope records of benthic foraminifers at Hole C9001C. The numbers and shaded color shows Marine oxygen isotope stages and glacial stages, respectively.

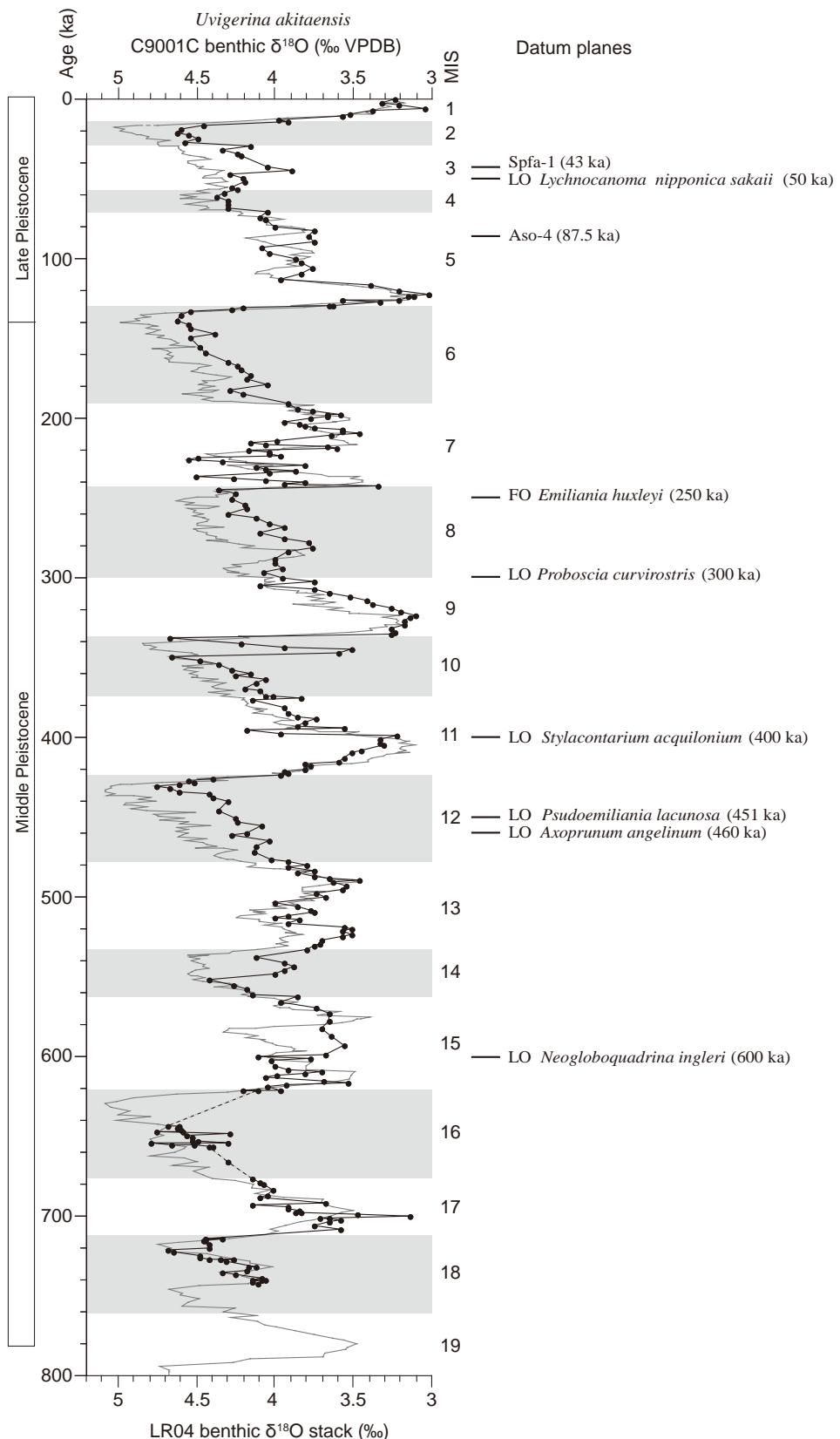


図5. 標準曲線 (Lisiecki and Raymo, 2005) とC9001C孔の酸素炭素同位体比曲線の対比. 番号は海洋酸素炭素同位体ステージを示す. 図中の右側の示準面は表7による.

Fig. 5. Oxygen isotope stratigraphy of Hole C9001C based on correlation of the oxygen isotope record of benthic foraminifera with the standard $\delta^{18}\text{O}$ curve of Lisiecki and Raymo (2005). This figure shows glacial stages (shaded color) and useful datum levels of microfossils listed in Table 7. The FO of *Emiliania huxleyi* and the LO of *Pseudoemiliania lacunosa* are excellent markers during the Pleistocene interval (Sato *et al.*, 1999).

ては例外的に2~1個体を用いた。底生有孔虫試料をメタノール中で機械的に壊して超音波洗浄し、殻表面や内部の付着物を除去した後、均等に粉末化して常温で乾燥させ、高知大学海洋コア総合研究センター所有の質量分析計IsoPrimeで測定した。その結果、340層準について底生有孔虫の同位体比(‰, VPDB)を得ることができた。測定精度は、 $\delta^{18}\text{O}$ が±0.07‰, $\delta^{13}\text{C}$ が±0.03‰であった。

結果

測定されたC9001C孔の酸素・炭素同位体比は、+3‰から+4.8‰の間で変動した(図4)。大きな正のシフトは260~240, 230~210, 195~180, 105~75, 70~40 mbsf付近、大きな負のシフトは355, 240~230, 200, 70, 10 mbsf付近にみられる。一方、古地磁気の結果はコアのすべてが正磁極であり、微化石の結果からもコアの最下部は850 kaより若い年代を示す。したがって、C9001C孔の最下部はBrunhes正磁極帯(Chron C1n)の基底付近に対比される。本コアの酸素同位体比曲線の正もしくは負の各ピークは、SPECMAPの標準曲線(Lisiecki and Raymo, 2005)の各々の酸素同位体比ステージに対比できる(図5)。その結果、本コアで確認された酸素同位体比ステージは、MIS 1からMIS 18までに及び、コア中に堆積間隙ではなく、ほぼ連続して堆積したものと判断される。したがって、C9001C孔がBrunhes正磁極帯の基底付近にまで達するという微化石生層序の結果は、酸素同位体比層序の結果と調和的である。特に、石灰質ナノ化石の結果とは整合性があり、149~159 mbsf付近に位置する*E. huxleyi*のFO(250 ka; MIS 8), ならびに239~249 mbsf付近に位置する*P. lacunosa*のLO(451 ka; MIS 12)の示準面は酸素同位体比ステージ年代と一致している。対比の結果に従えば、最終氷期(MIS 2)は15 mbsf付近、MIS 5は50~70 mbsf、MIS 10からMIS 9のシフトは180~200 mbsf付近、MIS 12は240 mbsf付近にみられる(Fig. 4)。

このように全体的にはLisiecki and Raymo (2005)に示されるような酸素同位体カーブ(LR04)と対比される結果が得られたが、地域的なイベントを示唆するような酸素同位体比変化も認められる。たとえばMIS 7の125~155 mbsf付近の酸素同位体比変化や、MIS 10の200~210 mbsfの負のシフトなどがみられる(図4)。これらのイベントは、124~132 mbsfの土石流堆積物と考えられる角礫状シルト質粘土層、132~135 mbsfのランプしたシルト質粘土層、そして203~207 mbsfの角礫状シルト質粘土層にほぼ対応することから、堆積学的な要因によるものである可能性が高い。

議論

年代モデルの総括

本研究の結果、C9001CおよびC9001D孔の年代決定に使用できる示準面は、火山灰層が2、放散虫が6、珪藻が4、ナノ化石が4、有孔虫が1、古地磁気が1層準の総計18の示準面である(図3, 5, 表7)。本研究では、このうちテフラとナノ化石の結果を重視した。その結果から、C9001C孔では、ほぼ同じ約62 cm/kyrの堆積速度を示している。コア自体には不整合など欠如している部分がないように思われる。これに対して、C9001D孔における堆積速度はそれよりも遅く、約17 cm/kyrと1/3程度で、500 mbsf付近(約0.9 Ma)に堆積速度の変換点があると考えられる(図3)。

特に、C9001C孔に関しては、古地磁気測定の結果からBrunhes-Matuyama境界(Chron C1n/C1r境界, 780 ka)は越えていない。すなわち、このコアでは少なくとも均質な泥が約80万年間近く連續して堆積している。また、平均60 cm/kyrの堆積速度は、半遠洋性粘土としては非常に速い。C9001C孔の130 mbsf付近(Unit Aの下部, Core 14H-15H)には、土石流堆積物やランプ層が砂層の上に累重している。この層準は地震波断面でみられる反射面と一致することから、不整合の存在が示唆された。しかし、微化石層序からも同位体比層序からも、その年代ギャップはほとんどないことも明らかとなった。

また、CK05-04 Leg 2航海のC9001A/C9002A/B孔のコアとCK06-06航海のC9001C/D孔のコアも帶磁率や火山灰層を用いて対比することができる。その結果、CK05-04 Leg 2航海時のコアは、CK06-06航海時の上部70 mに相当すると考えられる(青池, 2008; 青池ほか, 2010)。今後は、C9001A/C9002A & B孔における酸素同位体比の結果が公表されれば、さらに詳細な両コアの対比が検証できるだろう。

標準年代モデルとしての下北コアの意義

一般に、掘削計画で使用されている標準年代尺度は、熱帯地域で設定されたBerggren *et al.* (1995)の年代尺度が長い間使用してきた。近年、Gradstein *et al.* (2004)による再定義がなされ、階境界や化石帯の境界の絶対年代の値が更新された。Berggren *et al.* (1995)では、石灰質微化石が化石帯区分の中心であったが、Gradstein *et al.* (2004)では放散虫や渦鞭毛藻の区分も検討されている。特に、放散虫に関しては、ODP Leg 199などで熱帯太平洋において古地磁気層序との対比がなされており、Berggrenらの区分との対比が可能である(Sanfilippo and Nigrini, 1998; Kamikuri *et al.*, 2005; Nigrini *et al.*, 2005; Funakawa *et al.*, 2006)。

一方、北太平洋では生物地理区が異なるので、これら熱帯地域の標準年代尺度の生層序区分をそのまま使用す

ることはできない。そのため、高緯度地域では独自の生層序区分が提唱されている（たとえば、Yanagisawa and Akiba, 1998; 本山・丸山, 1998; 斎藤, 1999; Maruyama and Shiono, 2003; Kamikuri *et al.*, 2004など）。また、使用される微化石の種類は、中・高緯度地域では珪藻や放散虫が中心である。浮遊性有孔虫の示準種はほとんど産出しない。しかし、ナノ化石に関しては、示準種が熱帯から高緯度地域までの広い範囲に産出し、熱帯とそれ以外の生物地理区を対比するのに重要な化石として使用されている。本論でもナノ化石の生層序・化石帶区分を中心に、それ以外の微化石の結果を併用し、コアおよび堆積物の地質年代を決定した。コア上部（0～350 mbsf, C9001A, C9002A/B, C9001Cの3孔）では、火山灰層とナノ化石の示準面はほぼ整合的に並ぶことから、ほぼ年代的には矛盾がないと思われる（図3）。しかし、放散虫の示準面は従来の報告よりやや若い年代を示す傾向にあり、今後の研究課題である。コア下部（C9001D）では、ナノ化石、放散虫、古地磁気の結果はいずれもそれほど矛盾はない。

日本近海では、これまで多くのコアが採取されたが、Ocean Drilling Program (ODP) や IODP などの深海掘削を除けばその多くは表層のピストンコアで約3万年 (MIS 3) より若い地質年代のものがほとんどである。但し、三陸沖の KH-94-3-LM-8 では9万年程度の年代もある（山根・大場, 1999）。これに対して、近年 IMAGES の航海では、数十万年くらい（～50万年, ～MIS 12）まで遡れる幾つかのコアが採取され、研究が進められている（川幡ほか, 2006a, b; Rosenthal *et al.*, 2006など）。これらのコアの年代決定は¹⁴C年代や酸素同位体比が主体で、これに微化石年代、テフラ、古地磁気年代を補足的に用いている。

これに対して、下北の C9001C 孔のコアでは、酸素同位体比の検討より MIS 18 までのほぼ完全な酸素同位体比層序が得られた。したがって、今回掘削された下北コアは、日本近海で初めて Brunhes 正磁極期のほとんどが欠如していない連続試料が得られた最初の成果となり、微化石層序、古地磁気層序、酸素同位体比層序を統合することができる重要なコアである。これ以外のコアとして銚子の陸上掘削で得られたコア試料がある。しかし、このコアは MIS 11 から MIS 24 までの期間にわたり、Brunhes-Matuyama 境界を含んでいるものの上部更新統が欠如している（Kameo *et al.*, 2006）。一方、同じ「ちきゅう」を使用した南海トラフの掘削 Expedition 315 では更新世から中新世までの連続コアを得ることができた（Kinoshita *et al.*, 2009）。これらのコアを合わせれば、将来的には日本周辺海域における独自の統合地質年代尺度を確立できることが期待される。

まとめ

掘削船「ちきゅう」の慣熟航海は、2005年11月16日～12月14日 (CK05-04 Leg 2 航海) と2006年8月6日～10月26日 (CK06-06 航海) に行われ、この間 C9001A (0～48.5 mbsf), C9002A (0～26.2 mbsf), C9002B (23.3～70.8 mbsf), C9001C (0～365 mbsf) の4孔のコア試料を得た。C9001D (0～647 mbsf) 孔はカッティング試料のみを 522 から 647 mbsf の区間で採取した。コア試料は、オリーブ黒色からオリーブ灰色の塊状の珪藻質シルト質粘土を主体とし、微化石を多く含み、Unit A から D までの4つの岩相ユニットに区分される。このうち Unit A と Unit D は火山灰層や砂層を多く挟み、Unit B はそれらに乏しい。Unit C は細粒砂を主体とする。年代決定に使用できる示準面は総計 18 あり、火山灰層が 2、放散虫が 6、珪藻が 4、ナノ化石が 4、有孔虫が 1、古地磁気が 1 層準である。これらを総括すると、C9001C 孔の最下部は、Brunhes-Matuyama 境界 (780 ka) はこえていない。C9001C 孔では、酸素同位体比層序も検討し、SPECMAP との対比により、MIS 1 から MIS 18 までの酸素同位体比ステージを認識することができた。したがって、C9001C 孔の最下部は Brunhes-Matuyama 境界付近という結果を支持し、少なくとも 78 万年間連続して堆積していると考えられる。このように、本コアは 78 万年前まで連続した日本周辺で掘削された最初のコアで、今後、さらに試料間隔をつめて高解像度で分析を行えば、微化石層序・古地磁気層序・酸素同位体比層序を統合した高精度の地質年代尺度を構築できると期待される。

謝辞

本研究の一部には、日本学術振興会の基盤研究 (A) (課題番号: 17204043, 代表: 尾田太良), 文部科学省の若手研究 (B) (課題番号: 20740291, 代表者: 堂満華子) の研究助成と東北大学21世紀COE「先端地球科学技術による地球の未来像創出」, 北海道大学21世紀COE「新自然史科学創成—自然界における多様性の起源と進化」の援助をいただいた。

文献

- 阿部恒平・牧野敬一・長谷川四郎, 2003. 北海道十勝沖海域における現生底生有孔虫の分布 (予報). 岡村行信, 千島弧-東北日本弧会合部の海洋地質学的研究, 平成14年度研究概要報告書-十勝沖海域, 114-121. 産業技術総合研究所, つくば.
 Ahagon, A., Ohkushi, K., Uchida, M. and Mishima, T., 2003. Mid-depth circulation in the northwest Pacific during the last deglaciation: Evidence from foraminiferal radiocarbon ages. *Geophysical Research Letters*, **30** (21), 2097, doi: 10.1029/2003GL018287.
 青池 寛, 2008. 「ちきゅう」下北半島沖慣熟航海掘削コアについて. *月刊地球*, **30**, 142-149.

- 青池 寛・西 弘嗣・坂本竜彦・倉本真一・平 朝彦・下北コア研究グループ, 2010. 地球深部探査船「ちきゅう」の下北半島沖慣熟航海コア試料-1次解析に基づく過去80万年間の古環境変動・化石, (87), 65–81.
- Berggren, W. A., Kent, D. V. and Coupering, J. A. Van, 1985. Neogene geochronology and chronostratigraphy. In Snelling, N. J., ed., *The Chronology of the Geologic Record, Geological Society of London Memoir*, (10), 141–195.
- Berggren, W. A., Kent, D. V., Swisher, C. C. III and Aubry, M.-P., 1995. A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. In Berggren, W. A., Kent, D. V., Aubry, M.-P. and Hardenbol, J., eds., *Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic Correlation. SEPM Special Publication*, (54), 129–212.
- Cande, S. C. and Kent, D. V., 1992. A new geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Journal Geophysical Research*, **97**, 13917–13951.
- Foreman, H. P., 1973. Radiolaria from DSDP Leg 20. In Heezen, B. C., MacGregor, I. D. et al., eds., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **20**, 249–305, US Government Printing Office, Washington, DC.
- Funakawa, S., Nishi, H., Moore, T. C. and Nigrini, C. A., 2006. Radiolarian faunal turnover and paleoceanographic change around Eocene/Oligocene boundary in the central equatorial Pacific, ODP Leg 199, Holes 1218A, 1219A, and 1220A. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **230**, 183–203.
- Graddstein, F., Ogg, J. and Smith, A., 2004. *A Geologic Time Scale 2004*. 589p, Cambridge University Press, Cambridge.
- Hoshiba, M., Ahagon, N., Ohkushi, K., Uchida, M., Motoyama, I. and Nishimura, A., 2006. Foraminiferal oxygen and carbon isotopes during the last 34 kyr off northern Japan, northwestern Pacific. *Marine Micropaleontology*, **61**, 196–208.
- 池原 実・村山雅史・多田井修・外西奈津美・大道修宏・川幡穂高・安田尚登, 2006. 四国沖から採取された2本のIMAGESコアを用いた第四紀後期におけるテフラ層序. 化石, (79), 60–76.
- Ikeya, N., 1971. Species diversity of recent benthic foraminifera off the Pacific coast of northern Japan. *Reports of the Faculty of Science, Shizuoka University*, **6**, 179–201.
- Kameo, K., Okada, M., El-Masry, M., Hisamitsu, T., Saito, S., Nakazato, H., Ohkouchi, N., Ikebara, M., Yasuda, H. and Taira, A., 2006. Age model, physical properties and paleoenvironmental implications of the middle Pleistocene core sediments in the Choshi area, central Japan. *Island Arc*, **15**, 366–377.
- Kamikuri, S., Nishi, H., Motoyama, I. and Saito, S., 2004. Middle Miocene to Pleistocene radiolarian biostratigraphy in the Northwest Pacific Ocean, ODP Leg 186. *Island Arc*, **13**, 191–226.
- Kamikuri, S., Nishi, H., Moore, T. C., Nigrini, C. A. and Motoyama, I., 2005. Radiolarian faunal turnover across the Oligocene/Miocene boundary in the equatorial Pacific Ocean. *Marine Micropaleontology*, **57**, 74–96.
- 川幡穂高・黒柳あづみ・簗島佳代, 2006a. 後期第四紀の西太平洋における環境変動—融氷期から完新世への環境変化—. 化石, (79), 21–32.
- 川幡穂高・西 弘嗣・丸山俊明, 2006b. 西太平洋におけるIMAGES (International Marine Global Change Study) コアを用いた高時間解像度の環境復元の意義. 化石, (79), 18–20.
- Kinoshita, M., Tobin, H., Ashi, J., Kimura, G., Lallemand, S., Screamton, E. J., Curewitz, D., Masago, H., Moe, K. T. and the Expedition 314/315/316 Scientists, 2009. *Proceedings of the Integrated Ocean Drilling Program. 314/315/316*, Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc., for the Integrated Ocean Drilling Program, publications.iodp.org/proceedings.314_345_316/3143153_16bib.htm.
- Koizumi, I. and Tanimura, Y., 1985. Neogene diatom biostratigraphy of the middle latitude western North Pacific, Deep Sea Drilling Project Leg 86. In Heath, G. R., Burckle, L. H., et al., eds., *Initial Reports of Deep Sea Drilling Project*, **86**, 269–300. US Government Printing Office, Washington, DC.
- Kucera, M. and Kennett, J. P., 2000. Biochronology and evolutionary implication of Late Neogene California margin planktonic foraminiferal events. *Marine Micropaleontology*, **40**, 67–81.
- Kuroyanagi, A., Kawahata, H., Narita, H., Ohkushi, K. and Aramaki, T., 2006. Reconstruction of paleoenvironmental changes based on the planktonic foraminiferal assemblages off Shimokita (Japan) in the northwestern North Pacific. *Global and Planetary Change*, **53**, 92–107.
- Lisiecki, L. E. and Raymo, M. E., 2005. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $d^{18}\text{O}$ records. *Paleoceanography*, **20**, PA1003, doi:10.1029/2004PA001071.
- Martini, E., 1971. Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation. In Farinacci, A., ed., *Proceedings II Plankton Conference, Rome*, **1970**, **2**, 739–785.
- Maruyama, T., 2000. Middle Miocene to Pleistocene diatom stratigraphy of Leg 167. In Lyle, M., Koizumi, I., Richter, C. and Moore, T. C. Jr., eds., *Proceeding of Ocean Drilling Program, Scientific Results*, **167**, 63–110. College Station, TX (Ocean Drilling Program).
- Maruyama, T. and Shiono, M., 2003. Middle Miocene to Pleistocene diatom biostratigraphy of the Northwest Pacific at Sites 1150 and 1151. In Suyehiro, K., Sacks, I. S., Acton, G. D. and Oda, M., eds., *Proceeding of Ocean Drilling Program, Scientific Results*, **186**, 1–38.
- Morley, J. J. and Nigrini, C., 1995. Miocene to Pleistocene radiolarian biostratigraphy of North Pacific sites 881, 884, 885, 886, and 887. In Rea, D. K., Basov, I. A. and Allan, J. F., eds., *Proceeding of Ocean Drilling Program, Scientific Results*, **145**, 55–91.
- Motoyama, I., 1996. Late Neogene radiolarian biostratigraphy in the subarctic Northwest Pacific. *Micropaleontology*, **42**, 221–262.
- 本山 功・丸山俊明, 1998. 中・高緯度北西太平洋地域における新第三紀珪藻・放散虫化石年代尺度: 地磁気極性年代尺度CK92およびCK95への適合. 地質学雑誌, **104**, 171–183.
- Motoyama, I., Niitsuma, N., Maruyama, T., Hayashi, H., Kamikuri, S., Shiono, M., Kanamatsu, T., Aoki, K., Morishita, C., Hagino, K., Nishi, H. and Oda, M., 2004. Middle Miocene to Pleistocene magneto-biostratigraphy of ODP Sites 1150 and 1151, northwest Pacific: Sedimentation rate and updated regional geological timescale. *Island Arc*, **13**, 289–305.
- Nigrini, C., Sanfilippo, A. and Moore, T. J. Jr., 2005. Cenozoic radiolarian biostratigraphy: A magnetostratigraphic chronology of Cenozoic sequences from ODP Sites 1218, 1219, and 1220, equatorial Pacific. In Wilson, P. A., Lyle, M. and Firth, J. V., eds., *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, **199**, 1–76 [Online].
- 大串健一・根本直樹・村山雅史・中村俊夫・塙脇真二, 2000. 底生有孔虫から推定される過去2万年間の親潮域における海洋環境. 第四紀研究, **39**, 427–438.
- 大井剛志・田中正和・阿部恒平・長谷川四郎, 2005. 北海道襟裳岬・根室沖海域における現生底生有孔虫の分布(予報). 片山 肇, 千島弧・東北日本弧会合部の海洋地質学的研究, 平成16年度研究概要報告書—根室沖・日高沖海域—, 120–129. 産業技術総合研究所, つくば.
- Rosenthal, Y., de Garidel-Thoron, T. and Beaufort, L., 2006. Late Quaternary paleoceanography of the northwestern Pacific: Results from IMAGeS Program. *Global and Planetary Change*, **53**, 1–4.
- 斎藤常正, 1999. 最近の古地磁気層序の改訂と日本の標準微化石層序. 石油技術協会誌, **64**, 2–15.
- Sanfilippo, A. and Nigrini, C., 1998. Code numbers for Cenozoic low latitude radiolarian biostratigraphic zones and GPTS conversion tables. *Marine Micropaleontology*, **33**, 109–156.
- 佐藤時幸・亀尾浩治・三田 默, 1999. 石灰質ナンノ化石による後期新生代地質年代の決定精度とテフラ層序. 地球科学, **53**, 265–274.
- 芝原暁彦・荒山恵理・大串健一・青木かおり・伊藤 孝, 2006. 下北半島沖の海底コアにおける底生有孔虫群集の高解像度解析から

- 判明した融氷期における 100～200 年周期の貧酸素化現象. 地質学雑誌, **112**, 166–169.
- Shibahara, A., Ohkushi, K., Kennett, J. P. and Ikehara, K., 2007. Late Quaternary changes in intermediate water oxygenation and oxygen minimum zone, northern Japan: A benthic foraminiferal perspective. *Paleoceanography*, **22**, PA3213, doi: 10.1029/2005PA001234.
- Takemoto, A. and Oda, M., 1997. New planktic foraminiferal transfer functions for the Kuroshio-Oyashio Current region off Japan. *Paleontological Research*, **4**, 291–310.
- Uchida, M., Ohkushi, K., Kimoto, K., Inagaki, F., Ishimura, T., Tsunogai, U., TuZino, T. and Shibata, Y., 2008. Radiocarbon-based carbon source quantification of anomalous isotopic foraminifera in last glacial sediments in the western North Pacific. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **9**, doi: 10.1029/2006GC001558.

- Uchida, M., Shibata, Y., Ohkushi, K., Ahagon, N. and Hoshiba, M., 2004. Episodic methane release events from Last Glacial marginal sediments in the western North Pacific. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **5**, doi: 10.1029/2004GC000699.
- 氏家由利香・氏家 宏, 2006. 沖縄トラフおよび石垣島南方で採取された IMAGES コアに基づく過去約 25 万年間の表層・中層水の変動. 化石, (79), 43–59.
- 山根雅之・大場忠道, 1999. 三陸沖海底コア (KH94-3, LM-8) の解析に基づく過去 9 万年間の海洋環境変遷. 第四紀研究, **38**, 1–16.
- Yanagisawa, Y. and Akiba, F., 1998. Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons. *The Journal of Geological Society of Japan*, **104**, 395–414.

