

九州西方海域における現生浮遊性有孔虫群集の季節変化

山崎 誠*・村上隆幸**・土橋正也***・尾田太良****

*秋田大学工学資源学部・**社団法人青年海外協力協会・***熊本県立湧心館高等学校・****東北大学大学院理学研究科

Seasonal variation in living planktic foraminiferal assemblage in the northeastern part of the East China Sea

Makoto Yamasaki*, Takayuki Murakami**, Masaya Tsuchihashi*** and Motoyoshi Oda****

*Faculty of Engineering and Resources Science, Akita University, Tegata-Gakuenmachi 1-1, Akita 010-8502, Japan (yamasaki@ipc.akita-u.ac.jp); **Japan Overseas Cooperative Association, 4-2-24 Hiroo, Shibuya-ku, Tokyo, 150-0012, Japan; ***Yushinkan High School, Izumi 4-1-2, Kumamoto 862-8603, Japan; **** Graduate School of Science, Tohoku University, Aramaki, Aoba, Sendai 980-8578, Japan

Abstract. Seasonal variation in standing stock and assemblage of living planktic foraminifera were investigated using plankton-net samples from the northeastern part of the East China Sea (ECS), in 1995 and 1998-1999. As a result, a distinctive alternation of major species among seasons was confirmed. Whereas the summer assemblage was apparently characterized by dominance of *Globigerinoides sacculifer* and *Globigerinoides ruber*, those 3 species like *Globigerinita glutinata*, *Globigerina bulloides* and *Pulleniatina obliquiloculata* were abundant in winter. *Neoglobobulimina dutertrei* and *Globigerinella aequilateralis* were observed in all samples. *Globorotalia inflata* was found to dwell shallower in winter, by contrast deeper than 100 m in summer in ECS, clearly suggesting its ecology to change the favorable depth in their life cycle. Because vertical distribution of the standing stock of planktic foraminifera and chlorophyll-a concentration during the examined interval was well correlated, one of the principle factors to control absolute abundance of planktic foraminifera is inferred to be food conditions.

Further, it is suggested that the potential impact of a flood of the ChangJiang River in summer, 1999 on the hydrographic environment in ECS was rather an eutrophication at the sea surface caused by the river discharge, than an influx of low salinity waters, bringing an increase of standing stock of shells together with no drastic change in assemblage.

Key words: planktic foraminifera, the East China Sea, the Kuroshio Current, the Tsushima Current, the Changjian River

はじめに

浮遊性有孔虫は海水温や塩分など生息海域の物理・化学的性質に鋭敏に反応して、その現存量や種構成を変化させることから過去の海洋環境の推測に有効である。また、炭酸カルシウムからなる硬質殻は、地球化学的検討の対象とされ、海成堆積物に残された有孔虫殻を用いた各種同位体分析が積極的に進められてきた。一方、飼育や生体試料の採集によって浮遊性有孔虫の生態が明らかになりつつある中で、有孔虫殻には、具体的に海洋のいつ・どこ(季節性・深度分布)の情報が記録されているかという点が重要となってきた。そのような視点から日本近海においても、浮遊性有孔虫の生物地理あるいは深度分布についての研究が進められてきた(Bradshaw, 1959; 大場・服部, 1992; 土橋・尾田, 2001; Kuroyanagi and Kawahata, 2004)。しかしながら、中緯度海域では種構成の多様度が高いだけではなく(Rutherford *et al.*, 1999),

夏季と冬季で種群が大きく入れ替わることが指摘されている(尾田, 1989; Mohiuddin *et al.*, 2002; Yamasaki and Oda, 2003; Mohiuddin *et al.*, 2004; Mohiuddin *et al.*, 2005; Xu *et al.*, 2005)。従って、日本近海を含む中緯度海域において、より精度の高い古環境解析を行うためには、浮遊性有孔虫の生息する深度に加えてその産出時期の特定が極めて重要となる。

東シナ海では最終氷期以降、広大な大陸棚と対馬海峡の存在が海洋変動を増幅する効果をもたらし、低塩分・高栄養塩の大陸起源の水と高温・高塩分・低栄養塩の黒潮系水という起源の異なる2水塊の消長や相互作用に起因する複雑な環境変化を被ったと考えられている(Xu and Oda, 1999; 谷村ほか, 2002; Ijiri *et al.*, 2005)。また、それとともに対馬暖流を介して日本海の海洋環境にも多大な影響を与えたことも報告されている(Domitsu and Oda, 2006; Oba *et al.*, 1991; 松井ほか, 1998)。従って、東シナ海での浮遊性有孔虫の詳細な生態情報を得ること

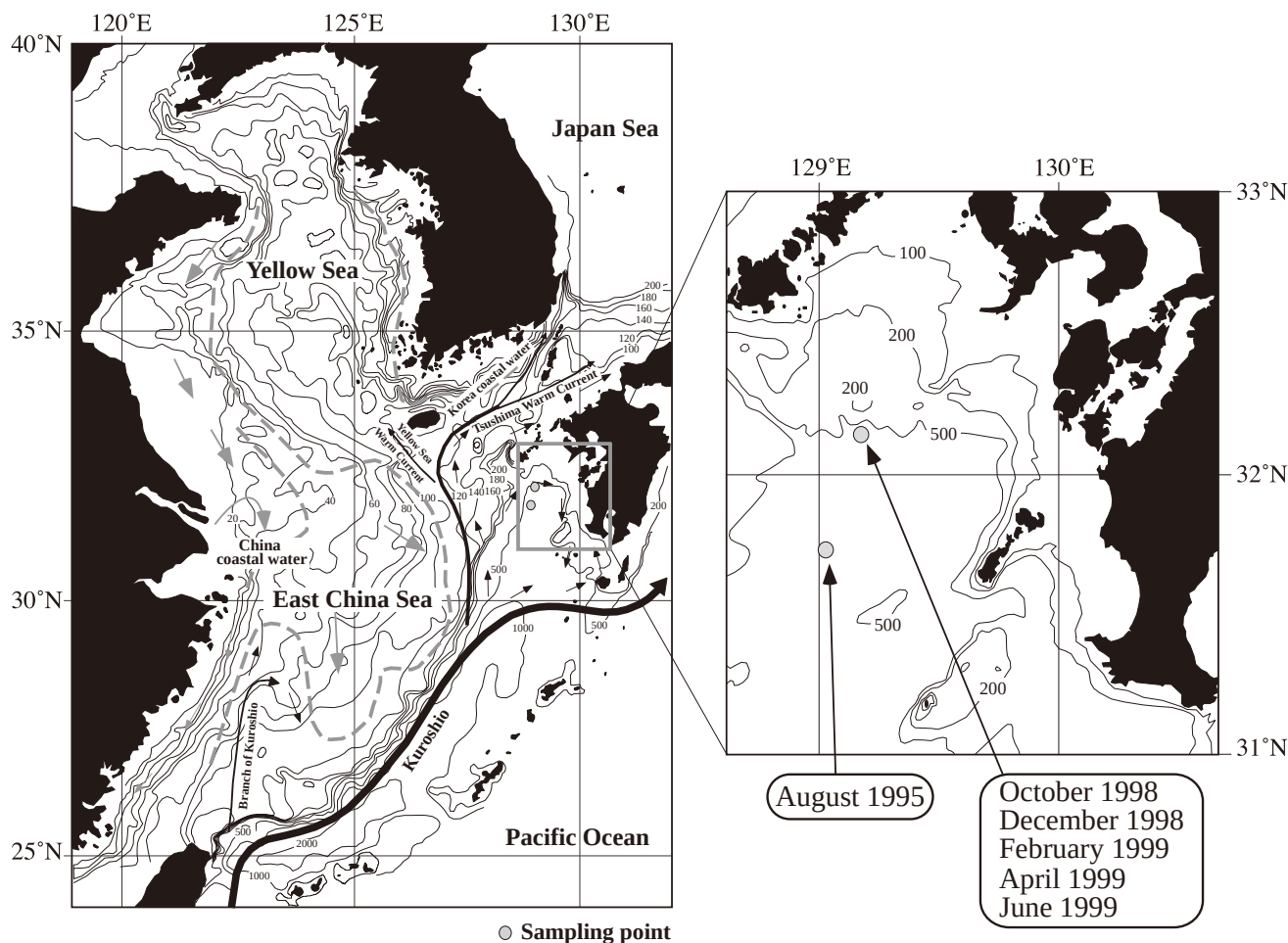


図1. 試料採取位置図と東シナ海の表層海流系.

は、これら複雑な環境変遷史を構築する上での重要な鍵となることが期待される。このような背景から本研究では、海況の季節変化が大きく、現生浮遊性有孔虫の研究が現状では少ない東シナ海北部の九州西方海域を対象海域とし、28海水試料を用いてその現存量と種構成の季節変化を記載・報告する。また、試料採集時期が1998年の長江の大氾濫時期にあたっていたことから、淡水流入の浮遊性有孔虫群集に対する影響の存否についても考察する。

東シナ海の海洋学的背景

東シナ海は中国大陸の東方に位置する縁海であり、平坦な大陸棚が海底総面積の7割以上を占める(図1)。大陸棚は、中国大陸を起源とする低塩分の中国大陸沿岸系水で覆われ、黄海より南東方向へ張り出している。大陸棚東縁の長崎県五島列島から南部の台湾にかけては大陸斜面が弧を描くようにほぼ南西に延び、水深1000mを越える舟状海盆(沖縄トラフ)が発達する。その海盆には、台湾と与那国島の間を抜けて黒潮が入り、大陸斜面に沿っ

て北北東の方向へ流れる。そして黒潮は、北緯30度付近で大陸斜面から離れ、東に向きを変え、トカラ海峡から太平洋へ抜ける。また、対馬暖流の源流は北緯30度付近で黒潮本流から分岐し、東シナ海大陸棚上へ浸入しながら本研究海域の西方を北上し、対馬海峡の西水道と東水道を経て日本海に流入する(Nitani, 1972)。冬季には沖縄トラフ北縁に沿って時計回りの暖流渦が分岐し、本調査海域付近を通過し再び黒潮本流と合流する(Lie and Cho, 1994; Hsueh *et al.*, 1996; Lie *et al.*, 1998)。渡辺(1993)は、北緯31.5度上の測線における調査の結果、春先から夏にかけては大陸からの河川水の流入が増大し、陸棚上で密度躍層が発達すること、大陸沿岸系水と黒潮系水が接する前線では、夏季に大陸沿岸系水の影響が強く、冬季に黒潮系水の影響が強いことを指摘している。

1990年4月から1998年8月にかけての本調査海域における水温の鉛直分布および試料採集時に測定した水温・塩分の鉛直分布(熊本県水産研究センター提供: 図2および3)によれば、調査海域での6月の表層水温は、1990～1998年の間は21.4～23.4℃であり、水深0mから75mにかけては水温勾配が大きく季節躍層が発達する。試料

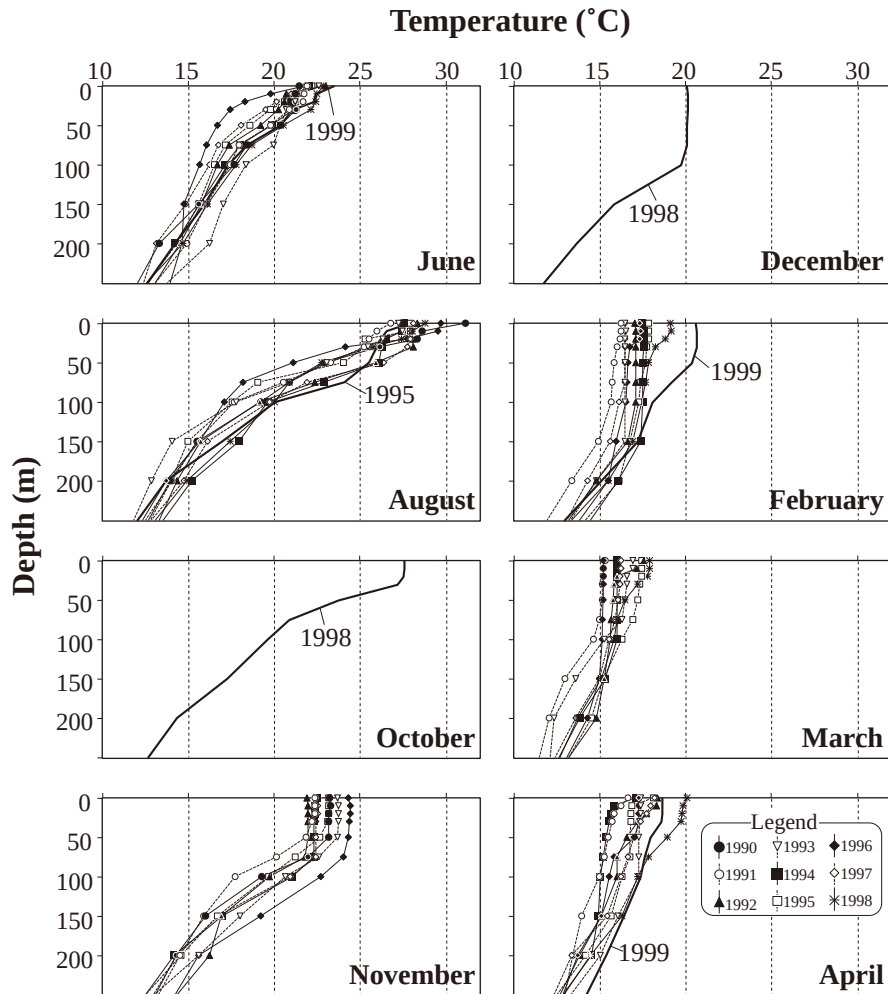


図2. 試料採取月の海水温度鉛直分布。

を採集した1999年は水深0mから200mにかけて1990～1998年とほぼ同様の水温分布傾向を示す。一方、塩分躍層は水深50m前後に発達することが多いものの、年較差が大きい。1999年は塩分躍層の発達は認められないのが特異である。

8月の表層水温は1990～1998年の間は26.7～31.1℃と年間で最も高い。季節躍層の発達が著しく、水深0mから75mもしくは100mにかけて水温勾配が大きい。表層塩分は年較差が大きく、31.59～34.66の間で変動しているものの、1995年の表層塩分には顕著な低下は認められない。

10月は1998年以外の水温・塩分データは得られていないが、表層水温は27.5℃と8月同様に高く、かつ表面混合層の深さは水深30mにまで達した。一方、水深30mから75mにかけては水温勾配が高く、依然季節躍層の発達が著しい。塩分躍層は水深50～75mにかけて発達し、表層塩分は34.26である。

11月の表層水温は1990～1997年の間は水深0mで21.9～24.3℃と8月に比べて約5℃低下し、表面混合層の深

さが水深50mもしくは100mに達している。この傾向は塩分躍層にも同様に認められる。

2月の表層水温は1990～1997年の間は16.2～17.8℃であるが、1998年は19.1℃、1999年は20.5℃と、1990～1997年に比べて高い。また、殆どの年で混合層の深さが水深150mまでであるのに対し、1996年と1998年では水深30m以浅、1999年では水深約100mだった。同様に、塩分躍層も1999年では他の年に比べて浅い50～100mに発達し、この年が特異な傾向にあることが伺える。

3月の表層水温は15.1～17.9℃と1年で最も低く、混合層の深さは殆どの年で水深100mに達した。塩分も同様に水深100mまで混合層が達しているが、塩分の絶対値は年変化が大きい。4月の表層水温は16.6～20.0℃と3月に比べて2℃前後上昇した。加えて1999年は、水深30m付近に躍層の発達が認められる。

以上から、試料が採集された当時の水温・塩分は、6月、8月、4月では他年と同様の鉛直分布を示すのに対し、2月には表層付近で水温が上昇し、かつ表層に弱い塩分躍層の発達が認められるのが特徴である。また、10月と

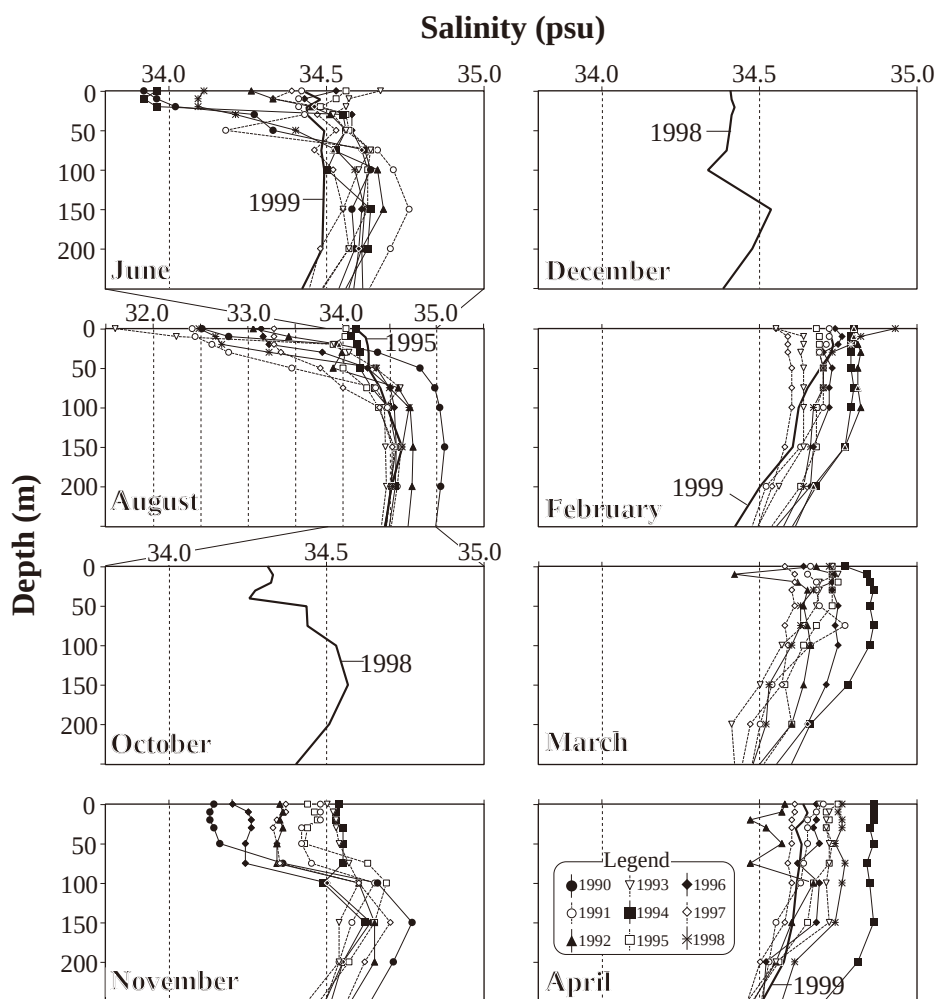


図3. 試料採取月の塩分鉛直分布.

12月是他年の同月と直接比較はできないが、その前後の月との比較により、水温の鉛直分布は他年と劇的に異なっていたとはいえない。塩分についても同様に著しく異なる傾向はないものの、10月は海洋表層の塩分は低い傾向にあった。

試料および手法

海水試料は、熊本県水産研究センターの調査船「ひのくに」の沿岸定線調査による5航海（1998年10月，同12月，1999年2月，同4月，同6月）と，鹿児島大学水産学部附属練習船「かごしま丸」の航海（1995年8月）により，九州西方の東シナ海北西部の2地点から採集された（図1）。試料採集深度は1995年8月が水深0，50，100，150，そして185 mの5深度，1999年4月が水深0，50，および100 mの3深度，その他の月は水深0，50，100，150，そして200 mの5深度である。試料は浮遊性有孔虫の日周運動（Berger, 1969; Bé, 1977）の影響を受けないように，1998年12月を除いて可能な限り同時時間帯に採集

表1. 試料採取位置と日時.

Date	Time	Latitude	Longitude
22 Aug. 1995	16:28 - 16:58	31°44.24'N	129°02.06'E
8 Oct. 1998	17:25 - 17:49	32°10.0'N	129°10.0'E
17 Dec. 1998	10:41 - 11:01	32°10.0'N	129°10.0'E
8 Feb. 1999	16:37 - 16:57	32°10.0'N	129°10.0'E
7 Apr. 1999	18:30 - 18:50	32°10.0'N	129°10.0'E
3 Jun. 1999	16:34 - 16:54	32°10.0'N	129°10.0'E

した（表1）。

試料採集には，元田式多層水平曳きネット（MTD-net: Motoda, 1971）を用い，同ネットの篩布と採集袋は網目幅110 μ m（NXX13）を使用した。各ネットとも濾水量を測定するために開口部に濾水計を取り付け，1～2ノットの船速で20～30分間曳航した。採集後，試料は生体と遺骸とを識別するため船上で直ちにローズベンガルで染色し（Walton, 1952），四ホウ酸ナトリウムでpH調節

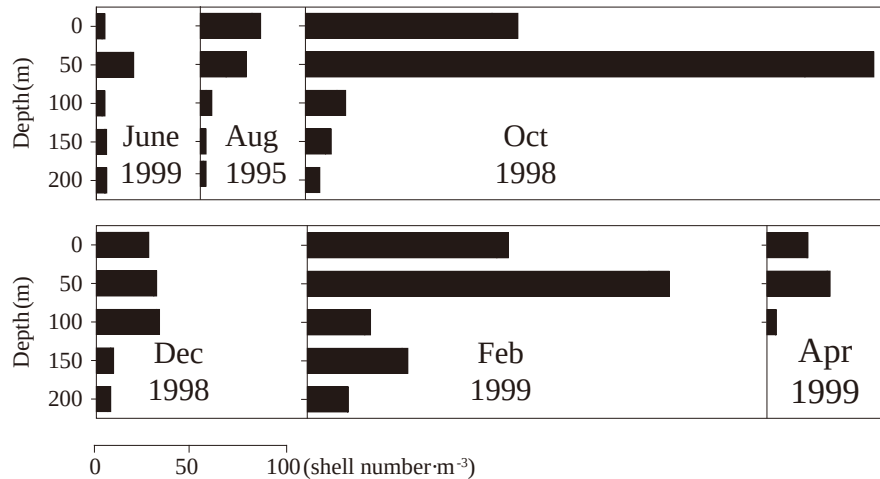


図4. 深度別にみた海水単位体積あたりの現生浮遊性有孔虫個体数.

したホルマリン溶液中に移して冷蔵保存した。これらの試料を実験室にて開口径300 μ mと125 μ mの篩を用いてサイズ分けを行った。300 μ m以上の試料については含まれる全ての浮遊性有孔虫について、300～125 μ mの試料については個体数が多いため、含まれる浮遊性有孔虫が200個体数以上になるようにフォルサム式分割器を用いて分割した後、拾い出しを行った。拾い出した個体は生体と遺骸とに識別後、生体のみについて鏡下で種を同定した。また、各試料の濾水量を算定し、海水単位体積あたりに含まれる浮遊性有孔虫の個体数を求めた。

1998年10月から1999年6月にかけては試料採集時に熊本県水産研究センターの沿岸定線調査として、Salinity Temperature-Depth meter (STD:アレック電子社製)によって海水温・塩分の測定を、メモリークロロテック(アレック電子社製)によってクロロフィルa濃度の測定をそれぞれ水深1m間隔で行った。本研究で用いた全ての水温・塩分値は熊本県水産研究センターより提供されたデータを用いた。ただし、1999年2月のクロロフィルaは機械トラブルによりデータが得られなかった。また、1995年8月は試料採集時に水温および塩分の測定を行わなかったため、熊本県水産研究センターより提供された漁況海況予報事業結果報告書資料に基づいて、試料採集海域に最も近い測点の水温および塩分データを用いた。このデータの測定位置は北緯31度45.0分、東経129度10.0分で、測定日時は1995年8月1日17時49分～17時57分である。

結果

全浮遊性有孔虫現存量の鉛直分布

浮遊性有孔虫現存量は10月と2月に著しく増加した(図4)。6月に得られた試料では、現存量は水深50mで最も高く、19.6個体/m³である。それ以外の水深では約4.0～

4.4個体/m³と少ない傾向にある。8月の現存量は水深0mと50mで高く、0mで極大値(30.8個体/m³)をとる。10月は水深50mにおいて296.9個体/m³と著しく高く、得られた試料中で最大である。水深0mでも高い値を示すが、水深100m以深で激減する。一方、12月は、他の月の現存量が水深50m以浅で極大値をとるのに対して、水深100mで最も高い現存量(33.8個体/m³)をとる。水深150m以深では100m以浅の1/4程度に減少した。2月の現存量は、水深0mと50mでそれぞれ104.9個体/m³、188.6個体/m³と高い値を示す。4月は水深100mまでの試料しか得られなかったが、現存量は水深50m以浅で高く、水深100mで急減する。

各種の現存量

分析に用いた全28試料から、合計11属28種の浮遊性有孔虫を同定した(表2)。このうちいずれかの月における現存量の上位5種には*Globigerina bulloides*, *Globigerinella aequilateralis*, *Globigerinita glutinata*, *Globigerinoides conglobatus*, *Globigerinoides ruber*, *Globigerinoides sacculifer*, *Globorotalia inflata*, *Neoglobobadrina dutertrei*, *Pulleniatina obliquiloculata*が認められた(図5)。

*Globigerinoides sacculifer*は、全試料中最も多産し、本研究で得られた現生浮遊性有孔虫総個体のうち20%を占めた。10月に最も高く、水深50mで106.0個体/m³である。水深100m以浅に多産する傾向にあり、12月を除けば水深0mもしくは50mで極大値をとる。*Globigerinoides conglobatus*と*G. ruber*も10月の水深50mで年間最大値をとり、これら3種の深度分布・経月変化傾向は類似している。

調査海域での*G. inflata*の産出は総じて少ないが、12月から翌年4月の間でやや増加し、12月の水深100mでは5.7個体/m³が産出する。また、6月と8月は水深50m以深でわずかに出現するのみで、10月には全く見出せな

表2. 現生浮遊性有孔虫殻 (> 25 µm) の産出リスト. 単位は個体/m³.

Date	August 1998					October 1998					December 1998					February 1999					April 1999					June 1999						
Collected depth (m)	0	50	100	150	185	0	50	100	150	200	0	50	100	150	200	0	50	100	150	200	0	50	100	150	200	Total	%					
<i>Globigerina bulloides</i>	2.60	0.89	0.49	0.22	0.18	2.34	20.96	3.42	1.46	0.46	9.06	9.03	8.83	2.57	1.57	9.91	17.35	3.74	14.42	13.81	4.39	13.96	2.98	0.10	1.76	0.77	0.95	1.01	149.23	13.32		
<i>G. falconensis</i>	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	1.24	0.53	0.52	0.55	2.48	6.27	1.77	2.16	0.88	0.00	0.37	0.02	0.02	0.20	0.02	0.00	0.00	18.12	1.62		
<i>G. rubescens</i>	0.10	0.21	0.05	0.01	0.03	0.14	7.55	0.38	0.34	0.11	0.00	0.00	0.27	0.00	0.04	0.00	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.20	0.04	0.11	0.03	10.10	0.90		
<i>Globigerinella adamsi</i>	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00		
<i>G. aequilateralis</i>	0.02	1.62	2.12	0.55	0.21	3.76	11.23	0.38	0.41	0.12	0.39	0.19	0.68	0.01	0.10	5.30	7.22	2.50	1.54	0.54	0.42	0.33	0.02	0.58	1.53	0.23	0.28	0.21	42.48	3.79		
<i>G. calida</i>	0.00	0.07	0.13	0.09	0.03	0.70	9.57	0.46	0.03	0.13	0.08	0.01	0.00	0.00	0.04	0.02	0.00	0.12	0.00	0.00	0.08	0.08	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	11.68	1.04			
<i>G. digitata</i>	0.10	0.00	0.00	0.01	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.18	0.02		
<i>Globigerinita glutinata</i>	1.44	2.28	0.37	0.18	0.11	3.24	9.22	3.87	2.50	1.34	0.53	0.70	1.06	0.29	0.39	33.29	55.93	6.19	10.08	1.03	1.52	1.27	0.07	0.13	1.22	0.16	0.11	0.49	139.03	12.41		
<i>Globigerinoides conglobatus</i>	1.21	0.62	0.07	0.06	0.02	4.94	13.36	1.00	0.77	0.55	0.15	0.01	0.17	0.00	0.14	0.65	0.17	0.14	0.05	0.00	0.25	0.08	0.01	0.03	0.13	0.03	0.02	0.03	24.62	2.20		
<i>G. ruber</i>	11.37	1.45	0.38	0.31	0.13	21.22	52.30	3.34	2.48	1.26	0.68	0.89	2.70	0.05	0.26	6.38	14.01	1.28	5.29	1.25	0.92	1.42	0.06	1.31	2.32	0.67	0.41	0.30	134.44	12.00		
<i>G. sacculifer</i>	12.42	1.92	0.08	0.11	0.07	60.37	105.98	1.84	1.60	1.26	1.04	1.92	3.46	0.19	0.57	5.17	14.16	1.21	0.55	0.88	1.47	0.87	0.03	1.45	4.18	0.73	0.47	0.28	224.25	20.01		
<i>G. tenellus</i>	0.29	0.21	0.10	0.02	0.02	0.48	6.71	0.06	0.09	0.03	0.08	0.18	0.40	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00	0.00	0.00	0.40	0.45	0.02	0.00	0.14	0.02	0.13	0.09	10.37	0.93		
<i>Globorotalia anfracta</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	1.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	1.75	0.16		
<i>G. bermudezi</i>	0.00	0.00	0.00	0.86	0.84	0.00	0.00	0.06	0.34	0.35	0.00	0.00	0.40	0.24	0.20	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.05	0.00	0.00	0.22	0.30	0.24	4.51	0.40			
<i>G. hirsuta</i>	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.07	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.03			
<i>G. inflata</i>	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.41	5.71	4.80	1.48	1.05	0.31	1.09	0.23	0.59	0.27	2.76	5.86	0.37	0.00	0.14	0.04	0.15	0.34	29.63	2.64		
<i>G. menardii</i>	0.00	0.08	0.05	0.03	0.01	0.90	4.82	1.18	0.67	0.23	0.08	0.03	0.00	0.03	0.01	0.04	0.14	0.15	0.06	0.01	0.08	0.09	0.01	0.00	0.00	0.16	0.17	0.07	9.08	0.81		
<i>G. theyeri</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00			
<i>G. truncatulinoides</i>	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.02		
<i>G. tumida</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00		
<i>G. sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00		
<i>Hastigerina pelagica</i>	0.00	0.13	0.17	0.10	0.17	0.00	0.11	0.04	0.02	0.00	0.10	0.07	0.08	0.09	0.17	1.26	1.72	0.12	0.29	0.02	0.00	0.20	0.16	0.18	0.35	0.00	0.07	0.06	5.65	0.50		
<i>Neogloboquadrina dutertrei</i>	1.25	8.90	1.30	0.34	0.28	11.14	40.46	3.57	1.49	1.43	7.10	9.94	7.87	2.57	1.55	17.25	29.99	7.99	8.91	1.68	6.81	5.94	0.52	0.13	4.49	0.81	0.77	0.62	185.08	16.52		
<i>Orbulina universa</i>	0.00	0.51	0.07	0.02	0.01	0.05	0.85	0.12	0.01	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.16	0.17	0.06	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	2.14	0.19		
<i>Pulleniatina obliquiloculata</i>	0.00	5.65	0.77	0.28	0.17	1.41	11.31	0.94	0.80	0.37	2.38	2.33	2.24	0.34	0.21	21.61	37.02	7.33	6.89	0.64	2.65	1.75	0.10	0.03	2.89	0.36	0.43	0.21	111.11	9.92		
<i>Tenuitella fleisheri</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.08	0.04	0.83	2.41	0.20	0.72	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.53	0.49		
<i>T. iota</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.24	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56	0.05		
<i>Turborotalita humilis</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.01		
<i>T. quinqueloba</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.09	0.01		
Total	30.8	24.5	6.2	3.3	2.4	110.7	296.9	20.7	13.1	7.7	27.1	32.3	33.8	8.5	6.9	104.9	188.6	33.3	51.8	21.6	21.7	32.8	4.4	4.0	19.6	4.3	4.4	4.1	1120.5	100.0		

かった。

*Globigerina bulloides*は10月から4月にかけて多産するが、月毎にその深度分布傾向は異なる。10月は水深50mで21.0個体/m³の最大値を示すが、他の深度は3.5個体/m³以下と低い。12月は水深0～100mで8.8～9.1個体/m³と高い値を示す。2月は水深100mで3.7個体/m³と低い。それを除けば水深0～200mで9.9個体/m³以上と高く、水深50mでは最大17.4個体/m³を示す。*Pulleniatina obliquiloculata*や*G. glutinata*も同様に2月に年間最大の現存量が認められ、極大値も同じく水深50mであり、それぞれ37, 55.9個体/m³に達する。

*Neogloboquadrina dutertrei*は10月から翌年2月にかけて多産し、10月の水深50mで年間最大の40.5個体/m³に達する。また、この種の鉛直分布は、4月を除けば常に水深50mで現存量が最も高い。*Globigerinella aequilateralis*は、現存量は少ないものの、観測を行ったいずれの季節・深度においても産出し、10月の水深50mで最大11.2個体/m³に達した。

考察

浮遊性有孔虫の生息深度と海洋構造の季節変化

中緯度海域は低・高緯度海域に比較して浮遊性有孔虫の多様度が最も高い。その原因として躍層の発達に伴う生息環境の多様性の高さが関連づけられている(Rutherford *et al.*, 1999)。九州西方海域も、夏季の季節躍層の発達や冬季の鉛直混合により、海洋表層環境の季節変化が明瞭なことで特徴付けられる。さらに、夏季になると黒潮系水に加えて中国大陸沿岸系水の影響が大き

い(渡辺, 1993)海況下にあることから、本調査海域における浮遊性有孔虫群集は季節によって大きく異なる。

*Globigerinoides ruber*と*G. sacculifer*は6月の水深50mではやや多く、それに続いて8月の水深0mと10月の水深50mで現存量は極大値を示すことから、夏季～秋季初めを特徴づける種である(図5)。この2種は主に熱帯から亜熱帯域に生息することが知られている(Bradshaw, 1959; Parker, 1962)。また、日本周辺海域でプランクトンネット採集による浮遊性有孔虫の検討を行ったKuroyanagi and Kawahata (2004)でも、5～6月にかけて黒潮流域で*G. ruber*と*G. sacculifer*が多産することを報告した。さらに、東シナ海の黒潮流域でのセジメント・トラップ観測によれば、これらの種は年間を通して産出が認められるが、特に8～11月に沈積量が多く(Yamasaki and Oda, 2003; Xu *et al.*, 2005)、本研究と調和的である。

一方、*G. glutinata*、*G. bulloides*、および*P. obliquiloculata*は2月の水深50mで現存量が最も多い。*G. glutinata*は極域から熱帯まで広く分布する種として知られるが(Bradshaw, 1959; Bé and Tolderlund, 1971など)、インド洋では外洋域での湧昇に伴って産出しており(Schiebel *et al.*, 2004)、同種の分布を規制する要因の一つとして摂食条件が挙げられるだろう。また、*G. bulloides*は、極域から漸移帯、そして湧昇域に分布し(Bradshaw, 1959; Bé and Huston, 1977)、特に湧昇の指標として知られている(Thunell and Reynolds, 1984; Sautter and Thunell, 1991; Curry *et al.*, 1992, Conan and Brummer, 2000)。さらに、*G. glutinata*と*G. bulloides*は、黒潮流域では1～3月に沈積量が多く(Yamasaki and Oda, 2003; Xu *et al.*, 2005)、

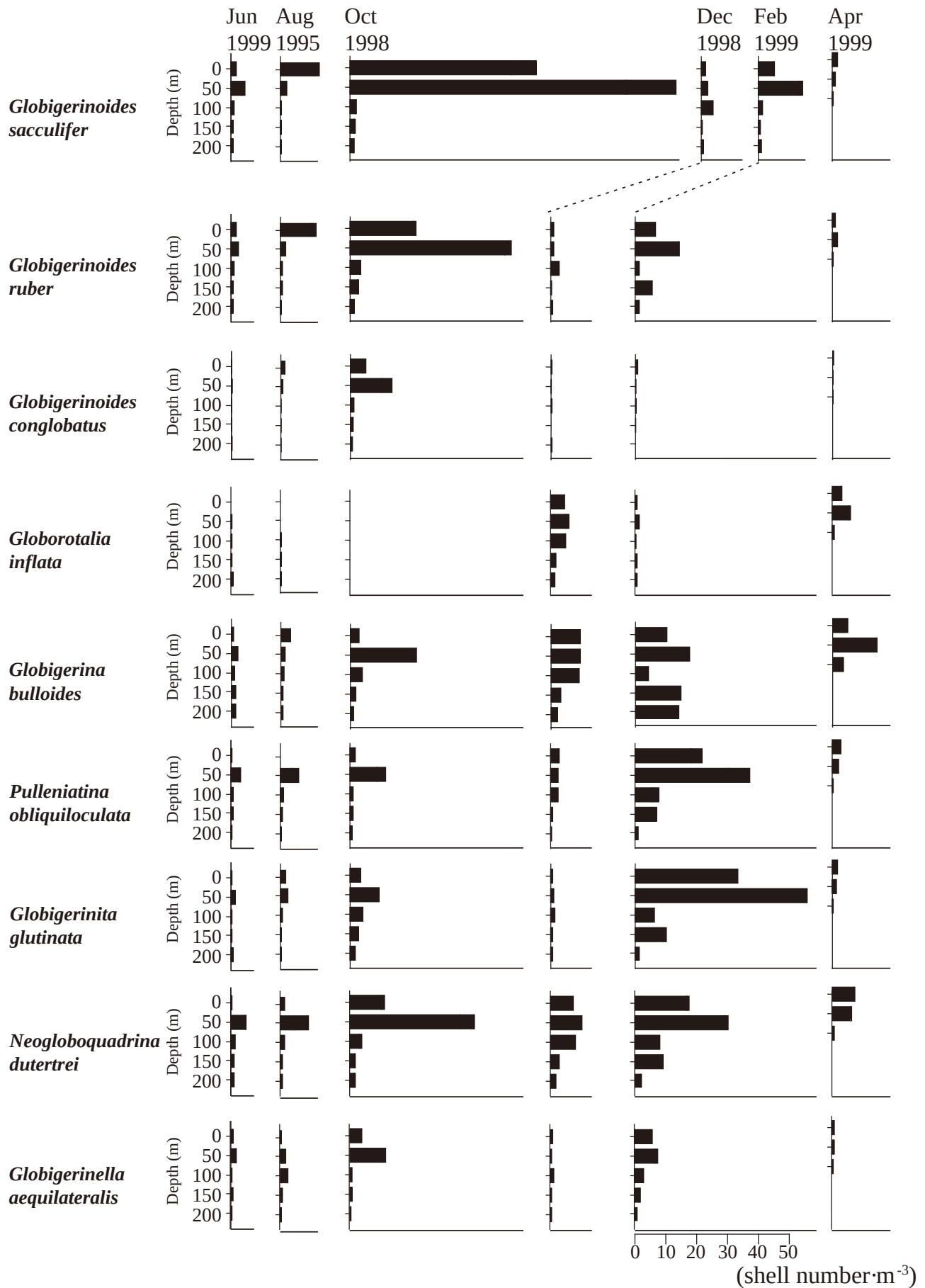


図5. 各種別・深度別にみた海水単位体積あたりの現生浮遊性有孔虫個体数.

本研究と矛盾しない。同様に、*P. obliquiloculata*は、黒潮流域では11–1月に沈積量が多い（Yamasaki and Oda, 2003; Xu *et al.*, 2005）。同種の現存量は海洋中の一次生産と高い相関が認められ（Watkins *et al.*, 1998）、黒潮流域でも特に一次生産に影響を受ける種として位置づけられている（Xu *et al.*, 2005）。九州西方海域では、1991–1998年の多くの年の2月に、表層水温の低下によって鉛直混合が発達し、水深150 m以浅での水温・塩分が均質化する傾向にあるが、鉛直混合層内において水温・塩分が上昇している年もある（図2および3）。1999年の水温・塩分構造はその典型であり、水深0–50 mに高温・高塩分の水塊が存在した。本調査海域の西方を北上する対馬暖流の源流から沖縄トラフ北縁に沿って分岐した時計回りの暖流渦は、冬季に本研究海域付近を通過することから（Lie and Cho, 1994; Hsueh *et al.*, 1996; Lie *et al.*, 1998）、1998年と1999年の2月には、本調査海域の上層部がこの黒潮系水の影響を強く受けていたと考えられる。したがって、黒潮流域で冬季に沈積量の多い*G. glutinata*、*G. bulloides*、および*P. obliquiloculata*が、黒潮流域と類似した種構成を維持したまま本調査海域においても多産したと推測される。

九州西方海域での浮遊性有孔虫現存量は、主に水深100 m以浅で高い（図4）。浮遊性有孔虫は一部動物食傾向の強い種があるものの、ほとんどは雑食であると考えられている（Hemleben *et al.*, 1989）。本研究では8月と2月を除いてクロロフィルaの鉛直分布も同時に計測されたことから、浮遊性有孔虫現存量との対比を試みると、亜表層でのクロロフィルa極大に対応して全浮遊性有孔虫現存量も極大となることがわかる（図6）。構成種については、6月と10月では、*G. sacculifer*、*G. ruber*、そして*N. dutertrei*が、4月には*G. bulloides*が、亜表層のクロロフィルa極大層に対応してそれぞれ高い現存量を示した。*Neogloboquadrina dutertrei*は、水温躍層の下部に発達するDeep Chlorophyll Maximum (DCM) に分布することが知られており（Fairbanks *et al.*, 1982）、日本周辺海域においても密度躍層付近ではDCM直下に同種の現存量は極大となる（Kuroyanagai and Kawahata, 2004）。また、12月と4月では、クロロフィルaの極大層は必ずしも水温躍層の下部に一致していないが、そうした状況下でさえも*N. dutertrei*の極大水深はそれぞれ水深50 mと0 mでクロロフィルaの極大水深に一致した。この種は主に珪藻などの植物プランクトンを餌とし（Anderson *et al.*, 1979; Hemleben *et al.*, 1989）、共生藻も条件的に持つのみで（Gastrich, 1987）、結果的にクロロフィルaの極大水深付近で多産すると推測される。

*Globorotalia inflata*は、本論で得た種の中では特異な季節・深度変化が認められ、特に試料採集期間中の生息深度変化で特徴づけられる。*Globorotalia*属に代表される中～深層種のいくつかは、1年もしくはそれ以上の生活環

の中で生息深度を変えながら生息していると考えられる（Schiebel and Hemleben, 2005; Hemleben *et al.*, 1989）。そこで、同種の分布に関する深度・時間変化について既存の報告と併せて考察する。*Globorotalia inflata*は、大西洋では両半球の中緯度（北緯約35度～45度）に広範に分布するが（Bé and Tolderlund, 1971）、太平洋北半球では、中央太平洋の中緯度海域に産することがBradshaw（1959）によって指摘されていた。近年行われたセジメント・トラップ実験によって、房総沖では1～3月に沈積が認められ（Oda and Yamasaki, 2005）、さらに8月に実施されたシャツキー海台でのプランクトンネットの分析結果によれば、同種は海洋表層での産出は皆無だが75 mに現存量の極大値を示し、主にそれ以深に生息することが確認された（Xu *et al.*, 1999）。また、房総半島沖黒潮流軸部では3月に150 m以浅で多産するとともに、10月には水深300 mで多産し（土橋・尾田, 2001）、黒潮流軸東方海域では、2月の40 m以浅で最も多産する（大場・服部, 1992）。本研究でこの種は、主に12月～4月に100 m以浅で産出し、6月と8月では100 m以深に生息している。これらの観測結果に加えて、航路から推測されるBradshaw（1959）の試料採集時期がおおよそ11月に相当することを考慮すると、太平洋での*G. inflata*の地理分布は、従来中央太平洋を中心とした局所的分布に限定されていたものの、それは試料採集時期の偏りによって生じた可能性が高い。*Globorotalia inflata*の生活環が月齢周期に準ずるとの報告例もあることから（Schiebel and Hemleben, 2005）、これらの分布形態が生活環そのものであるかどうかは明らかではないが、太平洋の既存の報告と本研究に基づけば、この種は日本近海から中央太平洋にかけて広く分布し、冬季に表層付近で生息し、それ以外の期間は深海に分布するという生態を持つと推測される。また、*G. inflata*は季節変化の中で海洋表層に分布する時期があることを考慮すると、この種の産出は直ちに深度情報に置き換えられる性質ではないものと示唆される。

中国大陸沿岸系水に対する浮遊性有孔虫群集の応答

1998年7月初旬～9月中旬にかけて長江流域で発生した、観測史上最大規模の氾濫は、周辺海域に甚大な影響を与えた（Watanabe, 2007 など）。この氾濫は、大量の懸濁物質を東シナ海へと放出し、河口域への堆積物運搬量としてみると過去60年間での同時期平均に比較して3.8倍に見積もられる（Xu *et al.*, 2005）。

一般に、黄海・東シナ海へもたらされる全河川水量の約80%を占める長江の流量は7～8月に最大となって（皆川, 1997; 柳, 1994）、九州南西における黒潮系水と中国大陸沿岸系水との混合水域は夏季に中国大陸沿岸系水の影響が強くなる（渡辺, 1993）。一方、本研究海域に相当する東シナ海東部から対馬海峡にかけての海盆の塩分は、8～9月に極小値を観測し、同海域の塩分と長江流量の間

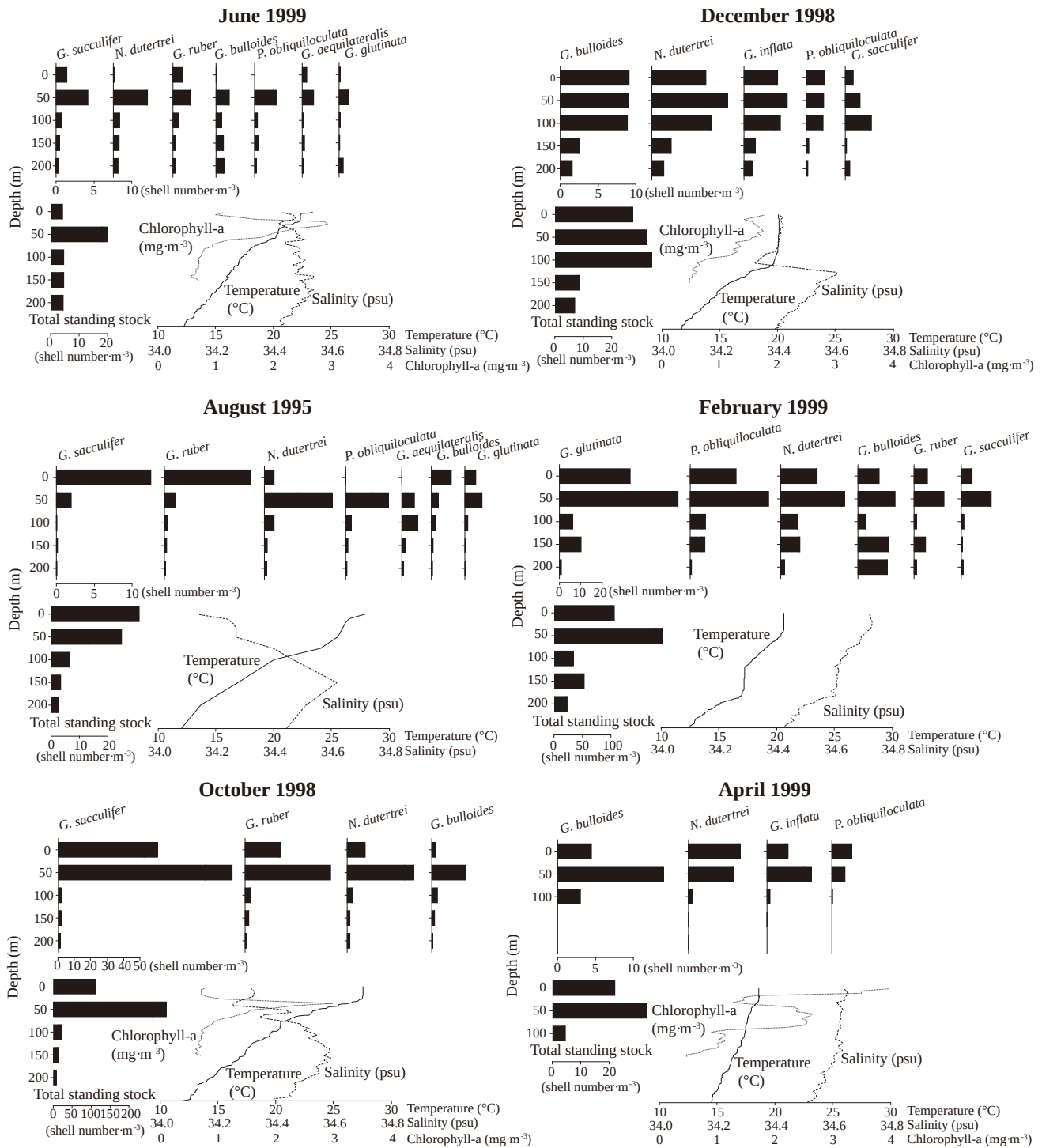


図6. 海水温・塩分の鉛直分布と現生浮遊性有孔虫殻産出状況の総括。

には高い負の相関 ($r = -0.82$) がある (木谷, 1998). すなわち, 夏季に発生した長江の増水の影響は, 九州西方海域ではむしろ1ヶ月程度の時間差を伴って現れると判断される. 本研究では1995年8月の試料を除いて1998年10月から試料の定期採集がおこなわれた. そこで本研究では, 1995年8月に採集された試料から, 九州西方海域の一般的な夏季の浮遊性有孔虫群集を把握した上で,

1998年10月の試料から長江大氾濫による浮遊性有孔虫群集への影響を考察する.

1995年8月は浮遊性有孔虫の全現存量は水深50m以浅で高く, 水深0mで最も高い (図4). 水深0mでは *G. sacculifer*, *G. ruber*, *G. bulloides* が極大値を示すのに対して, 水深50mでは *N. dutertrei*, *P. obliquiloculata*, *G. glutinata* が極大値を示し, この時期の浮遊性有孔虫は深

度によって明瞭に棲み分けている(図6)。対照的に、1998年10月の群集では、優占種は*G. sacculifer*, *G. ruber*, *N. dutertrei*, *G. bulloides*と8月と同様な構成であるにも関わらず、現存量が極端に高い。また、8月と異なり、10月には水深50mで全浮遊性有孔虫現存量は極大となる。1995年の8月の表層水温は27.9℃と年間最高値、そして塩分は34.14の年間最低値をそれぞれとり、その直下(水深10m)に水温・塩分躍層が共に発達した。また、躍層の発達に伴いクロロフィルa濃度が水深45mで極大となる。このような海洋表層での高水温・低塩分水の存在は、大陸河川水を起源とする低塩分の中国大陸沿岸水が、海洋表層を覆って大陸棚上へ張り出すことによるだろう(近藤・玉井, 1975)。すなわち、長江の氾濫の有無に関わらず、夏季の九州西方海域には、低塩分水が存在すると考えて良い。

これに対して、10月の表層水温は、27.5℃と若干の低下が認められ、水温躍層も水深50m付近へと深くなる傾向にあり、冬季に向けて季節躍層の崩壊がはじまっていると判断できる(図6)。また、季節躍層内でクロロフィルa濃度の上昇が見られる。1998年9月初旬の対馬海峡では29 (PSU)を下回る低塩分水が観測され、大氾濫に起因する水塊が、九州西方を通過して日本海へと流入したことが推測されている(Watanabe, 2007)。本研究海域では、10月の表層塩分の低下は顕著ではないことから、直接的な低塩分水の影響の可能性は低い。しかしながら、黒潮海域でおこなわれたセジメント・トラップ実験による浮遊性有孔虫の沈積量は秋季よりも冬季に多く、秋季のそれは冬季に比較して約1/8にすぎない(Yamasaki and Oda, 2003)。沈積量と現存量は直接的に対比することはできないが、10月の浮遊性有孔虫の突出した現存量は、この時期、調査海域が浮遊性有孔虫の増加に有利な条件にあったことを明らかに示す。10月の5試料中の浮遊性有孔虫(径125μm以上)に占める比率が5%を超える*G. sacculifer*, *G. ruber*, *N. dutertrei*, *G. bulloides*は全て水深50mで極大を示し、水深100m以深で急激に減少した。10月に高い現存量を示す*G. sacculifer*と*G. ruber*は、渦鞭毛藻の共生藻を持つことから、食餌の少ない貧栄養海域での生存に有利な生態をもつと考えられており(Gastrich, 1987; Gastrich and Bartha, 1988)、一見すると餌の条件との関連は低いように思われる。しかし、近年、貧栄養海域の典型として知られる西太平洋暖水塊において、ニューギニア沿岸から間欠的にもたらされる高クロロフィルaで示されるような富栄養水塊に反応して、*G. sacculifer*と*G. ruber*が増加することが報告された(Yamasaki *et al.*, 2008)。

一方で、人工衛星からの海面観測(SeaWiFS)より、1998年8~9月にクロロフィル高濃度水が中国大陸の長江河口域から張り出して次第に北東方向に移動したことが確認されているものの、10月の本調査海域においては、

必ずしも海洋表層の高クロロフィルaは認められない(横内ほか, 1999)。10月の水温・塩分の鉛直構造に着目すると、試料の採集された期間の中で、最も水温躍層が発達している。北緯31.5度の観測線上において春季の長江河口付近から九州西岸までの水系区分をおこなった槌谷ほか(1994)によれば、本研究の試料採集海域周辺には、亜表層に分布する黒潮系水の上に中国大陸沿岸系水と黒潮系水が混ざり合った混合水が分布している。同様の傾向は秋季に実施された北緯32.3度の観測線で実施された水系区分でも確認される(小笹ほか, 1996)。本研究で10月に認められた強い水温躍層は、まさにこのような表層の混合水と亜表層の黒潮系水の境界に対応していると判断される。つまり従来の水系区分からも本研究の調査海域に中国大陸沿岸系水の影響があることは明らかである。この時期、調査海域では衛星観測には反映されにくい亜表層に形成された水温躍層最上部においてクロロフィルa極大層が認められ、浮遊性有孔虫も水深50mで現存量の最大値を示している(図6)。1998年の長江流域の氾濫は7月初旬から9月中旬の2ヶ月半に渡って観測されている(Xu *et al.*, 2005)。本研究の試料は、それよりも約3週間ほど遅れた10月8日に採集されており、木谷(1998)による九州西方海域への長江沿岸系水の移動の時間と大きく矛盾しない。また、近年、Isobe (2008)は対馬暖流の起源について、Nitani (1972)の北緯30度付近で黒潮から分岐するという既存の説(図1)に加え、対馬暖流は台湾湾西方を通過する暖流と、黒潮の一部が陸棚上を大陸方向に侵入する流れの混合よりなり、その混合割合は季節によって異なる説を示している。これに従えば、本調査海域西方を通過する海流は、その一部に長江を起源とする中国大陸沿岸系水を含む可能性が極めて高い。以上のことから、長江河口域からの水塊が本研究海域に到達したという直接的な証拠は得られていないものの、1998年10月初旬の本調査海域において、この富栄養・クロロフィル高濃度水の影響が、時間差をもって水深50m付近の塩分低下とクロロフィル極大、そしてそれに起因する浮遊性有孔虫現存量の顕著な増加を引き起こした可能性を否定しない。

以上から、本研究で対象とした九州西方海域では、1998年夏季に発生した長江大氾濫にともなって放出された大陸起源の富栄養水の影響によって、浮遊性有孔虫現存量が増加した可能性がある。ただし、同海域での浮遊性有孔虫現存量の試・資料は皆無に等しく、今後、季節変化を考慮可能な試料に基づいた現存量の時間変化に関するさらなる検討が必要とされる。

まとめ

九州西方海域において浮遊性有孔虫の現存量、種構成の季節変化について調査した。その結果、東シナ海では、

季節による種群の入れ替わりが確認された。夏季は, *G. sacculifer*ならびに *G. ruber*の多産によって, 冬季は *G. glutinata*, *G. bulloides*そして *P. obliquiloculata*によって明瞭に特徴付けられる。また, *N. dutertrei*や *G. aequilalateralis*は少ない産出ながらも年間を通して産出する。一方, *G. inflata*は調査海域においては, 冬季に現存量が高くかつ浅い水深に生息するのに対して, 夏季は水深100m以深に生息する。これは, 同種が深度を変えながら生息する生態を有するためと考えられる。

浮遊性有孔虫現存量とクロロフィルaの深度分布は調査期間においてよく対応していることから, 調査海域における浮遊性有孔虫現存量を規制する主要因は摂食条件であると判断される。

1999年夏季に発生した長江の大氾濫の影響は, 調査海域では低塩分水の流入というよりは, むしろ河川水の流入が要因となった海洋亜表層の富栄養化(浮遊性有孔虫の食餌の増加)で特徴付けられる。浮遊性有孔虫群集の応答としては, このような現象に対して, 季節変化とは無関係な特定種の相対的増減というような群集の擾乱を伴うことなく, 現存量の急激な増加として現れたと結論できる。

謝辞

熊本県水産研究センター平田満所長(当時), 同センター資源研究部鎌賀泰文部長(当時), そして弘田禮一郎熊本大学名誉教授は, 本研究における調査・採集の機会を与えて下さいました。また, 熊本県水産研究センター調査船「ひのくに」による試料採集航海では, 浦壁英輔船長, 水野静香技師をはじめ乗組員の方々, そして同センター資源研究部の宮崎孝弘技師(当時)に大変お世話になりました。鹿児島大学水産学部附属練習船「かごしま丸」による1995年8月の試料採集航海では, 東川勢二船長をはじめとする乗組員の方々に御世話になりました。また, 熊本大学秋元和實准教授には, 論文作成にあたり有益なご助言を賜りました。編集幹事の樽 創博士, 査読者の島根大学の林広樹准教授と1名の匿名査読者の方には有益なご意見をいただき, 原稿は大きく改善されました。なお, 本研究で用いた全ての水温・塩分資料は熊本県水産研究センターよりご提供いただいた。以上の方々

に心より御礼を申し上げます。

文献

- Anderson, O. R., Spindler, M., Bé, A. W. H. and Hemleben, C., 1979. Trophic activity of planktonic foraminifera. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **59**, 791–799.
- Bé, A. W. H., 1977. An ecological, zoogeographic and taxonomic review of recent planktic foraminifera. In Ramsay, A. T. S., ed., *Oceanic Micropaleontology*, Vol 1, 1–100. Academic Press, London.

- Bé, A. W. H. and Tolderlund, D. S., 1971. Distribution and ecology of living planktonic foraminifera in surface waters of the Atlantic and Indian Oceans. In Funnel, B. M. and Riedel, W. R., eds., *The Micropaleontology of the Oceans*, 105–149. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bé, A. W. H. and Huston, W. H., 1977. Ecology of planktonic foraminifera and biogeographic patterns of life and fossil assemblages in the Indian Ocean. *Micropaleontology*, **23**, 369–414.
- Berger, W. H., 1969. Ecologic patterns of living planktonic Foraminifera. *Deep-Sea Research*, **16**, 1–24.
- 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.
- Conan, S. M. H. and Brummer, G. J. A., 2000. Fluxes of planktic foraminifera in response to monsoonal upwelling on the Somalia Basin margin. *Deep-Sea Research II*, **47**, 2207–2227.
- Curry, W. B., Ostermann, D. R., Guptha, M. V. S. and Ittekkot, V., 1992. Foraminiferal production and monsoonal upwelling in the Arabian Sea: evidence from sediment traps. In Summerhays, C. P., Prell, W. L. and Emeis, K. C., eds., *Upwelling Systems: Evolution since the Early Miocene. Geological Society Special Publication*, **64**, 93–106.
- Domitsu, H. and Oda, M., 2006. Linkages between surface and deep circulations in the southern Japan Sea during the last 27,000 years: Evidence from planktic foraminiferal assemblages and stable isotope records. *Marine Micropaleontology*, **61**, 155–170.
- Fairbanks, R. G., Sverdrlove, M., Free, R., Wieve, P. H. and Be, A. W. H., 1982. Vertical distribution and isotopic fractionation of living planktonic foraminifera from the Panama Basin. *Nature*, **298**, 841–844.
- Gastrich, M. D. and Bartha, R., 1988. Primary productivity in the planktonic foraminifer *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny). *Journal of Foraminiferal Research*, **18**, 137–142.
- Gastrich, M. D., 1987. Ultrastructure of a new intracellular symbiotic alga found within planktic foraminifera. *Journal of Phycology*, **23**, 623–632.
- Hemleben, C. and Spindler, M., 1983. Recent advances in research on living planktonic foraminifera. *Utrecht Micropaleontological Bulletins*, **30**, 141–170.
- Hemleben, C., Spindler, M., Breiteringer, I. and Deuser, W. G., 1985. Field and laboratory studies on the ontogeny and ecology of some globorotaliid species from the Sargasso Sea off Bermuda. *Journal of Foraminiferal Research*, **15**, 254–272.
- Hemleben, C., Spindler, M. and Anderson, O. R., 1989. *Modern Planktonic Foraminifera*. 363p., Springer-Verlag, New York.
- Hsueh, Y., Lie, H. and Ichikawa, H., 1996. On the branching of the Kuroshio west of Kyushu. *Journal of Geophysical Research*, **C101**, 3851–3857.
- Ijiri, A., Wang, L., Oba, T., Kawahata, H., Huang, C. and Huan, C., 2005. Paleoenvironmental changes in the northern area of the East China Sea during the past 42,000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **219**, 239–261.
- Isobe, A., 2008. Recent Advances in Ocean-Circulation Research on the Yellow Sea and East China Sea Shelves. *Journal of Oceanography*, **64**, 569–584.
- 木谷浩三, 1998. 陽光丸が東シナ海で観測した異常低塩分水。西海区水産研究所ニュース, (95), 9–11.
- 近藤正人・玉井一寿, 1975. 東シナ海の流況。月刊海洋科学, **7**, 27–32.
- 小笹悦二・山田梅芳・入江隆彦, 1996. 秋季(1990–1992)の東シナ海における低次生産力と水系区分。西水研研報, **74**, 1–12.
- Kuroyanagi, A. and Kawahata, H., 2004. Vertical distribution of living planktonic foraminifera in the seas around Japan. *Marine Micropaleontology*, **53**, 173–196.
- Lie, H. and Cho, C., 1994. On the origin of the Tsushima Warm

- Current. *Journal of Geophysical Research*, **99**, 25081–25091.
- Lie, H., Cho, C., Lee, J., Niler, P. and Hu, J., 1998. Separation of the Kuroshio water and its penetration onto the continental shelf west of Kyushu. *Journal of Geophysical Research*, **C103**, 2963–2976.
- 皆川昌幸, 1997. 1995, 96年長江大洪水について. 西海区水産研究所ニュース, (89), 8–10.
- 松井裕之・多田隆治・大場忠道, 1998. 最終氷期の海水準変動に対する日本海の応答—塩分収支モデルによる陸橋成立の可能性の検証—. 第四紀研究, **37**, 221–233.
- Mohiuddin, M. M., Nishimura, A., Tanaka, Y. and Shimamoto, A., 2002. *Marine Micropaleontology*, **45**, 57–82.
- Mohiuddin, M. M., Nishimura, A., Tanaka, Y. and Shimamoto, A., 2004. Seasonality of biogenic particle and planktonic foraminifera fluxes: response to hydrographic variability in the Kuroshio Extension, northwestern Pacific Ocean. *Deep-Sea Research I*, **51**, 1659–1683.
- Mohiuddin, M. M., Nishimura, A. and Tanaka, Y., 2005. Seasonal succession, vertical distribution, and dissolution of planktonic foraminifera along the Subarctic Front: implications for paleoceanographic reconstruction in the northwestern Pacific. *Marine Micropaleontology*, **55**, 129–156.
- Motoda, S., 1971. Devices of simple plankton apparatus V. *Bulletin of the Faculty of Fisheries Science, Hokkaido University*, **22**, 101–106.
- Nitani, H., 1972. Beginning of the Kuroshio. In Stommel, H. M. and Yoshida, K., eds., *Kuroshio—Its Physical Aspects*, 353–369. University of Tokyo Press, Tokyo.
- 大場忠道・服部竜哉, 1992. 房総半島沖の日本海溝域における現生浮遊性有孔虫群集. 化石, (52), 12–19.
- Oba, T., Kato, M., Kitazato, H., Koizumi, I., Omura, A., Sakai, T. and Takayama, T., 1991. Paleoenvironmental changes in the Japan Sea during the last 85,000 years. *Paleoceanography*, **6**, 499–518.
- 尾田太良, 1989. 日本海溝セジメント・トラップ (JT-01, JT-02) 中の浮遊性有孔虫群集. 月刊海洋, **21**, 221–227.
- Oda, M. and Yamasaki, M., 2005. Sediment trap results from the Japan Trench in the Kuroshio domain: seasonal variations in the planktic foraminiferal flux. *Journal of Foraminiferal Research*, **35**, 315–326.
- Ortiz, J. D., Mix, A. C. and Collier, R. W., 1995. Environmental control of living symbiotic and asymbiotic foraminifera of the California Current. *Paleoceanography*, **10**, 987–1009.
- Parker, F. L., 1962. Planktonic foraminiferal species in Pacific sediments. *Micropaleontology*, **8**, 219–254.
- Rutherford, S., D'Hondt, S. and Prell, W., 1999. Environmental controls on the geographic distribution of zooplankton diversity. *Nature*, **400**, 749–752.
- Sautter, L. R. and Thunell, R., 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 Hemleben C., 2005. Modern planktic foraminifera. *Paläontologische Zeitschrift*, **79**, 135–148.
- Schiebel, R., Zeltner, A., Treppke, U. F., Waniek, J. J., Bollmann, J., Rixene, T. and Hemleben, C., 2004. Distribution of diatoms, coccolithophores and planktic foraminifers along a trophic gradient during SW monsoon in the Arabian Sea. *Marine Micropaleontology*, **51**, 345–371.
- 谷村好洋・嶋田智恵子・芳賀正和, 2002. 珪藻 *Palmaria sulcata* の増減からみた大陸系混合水の消長. 第四紀研究, **41**, 85–93.
- Thunell, R. C. and Reynolds, L. A., 1984. Sedimentation of planktonic foraminifera: seasonal changes in species flux in the Panama Basin. *Micropaleontology*, **30**, 243–262.
- 土橋正也・尾田太良, 2001. 本州沖黒潮流軸部に生息する現生浮遊性有孔虫の深度分布とその季節変化. 化石, (70), 1–17.
- 植谷容子・井関和男・小笹悦二, 1994. 春季の東シナ海北緯31°30'線におけるカタクチイワシ卵・仔魚の分布と水系区分. 西水研研報, **72**, 25–35.
- 渡辺康憲, 1993. 東シナ海の栄養塩分布—31.5°N線での観測結果を中心として—, 海と空, **69**, 57–66.
- Watanabe, M., 2007. Simulation of temperature, salinity and suspended matter distributions induced by the discharge into the East China Sea during the 1998 flood of the Yangtze River. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **71**, 81–97.
- Walton W. R., 1952. Techniques for recognition of living foraminifera. *Contribution from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research*, **3** (2), 56–60.
- Watkins, J. M., Mix, A. C. and Wilson, J., 1998. Living planktic foraminifera in the central tropical Pacific Ocean: articulating the equatorial 'cold tongue' during La Niña, 1992. *Marine Micropaleontology*, **33**, 157–174.
- Xu, K., Chen, Z., Zhao, Y., Wang, Z., Zhang, J., Hayashi, S., Murakami, S. and Watanabe, M., 2005. Simulated sediment flux during 1998 big-flood of the Yangtze (Changjiang) River, China. *Journal of Hydrology*, **313**, 221–233.
- Xu, X. and Oda, M., 1999. Surface-water evolution of the eastern East China Sea during the last 36,000 years. *Marine Geology*, **156**, 285–304.
- Xu, X., Uda, R., Tsuchihashi, M. and Oda, M., 1999. Vertical distribution of planktonic foraminifers in Kuroshio area of NW Pacific and its paleoceanographic implications. *Quaternary Sciences*, **6**, 502–510. (In Chinese with English abstract)
- Xu, X., Yamasaki, M., Oda, M. and Honda, M. C., 2005. Comparison of seasonal flux variations of planktonic foraminifera in sediment traps on both sides of the Ryukyu Islands, Japan. *Marine Micropaleontology*, **58**, 45–55.
- Yamasaki, M. and Oda, M., 2003. Sedimentation of planktic foraminifers in the East China Sea: evidence from sediment trap experiment. *Marine Micropaleontology*, **49**, 3–20.
- Yamasaki, M., Sasaki, A., Oda, M. and Domitsu, H., 2008. Western equatorial Pacific planktic foraminiferal fluxes and assemblages during a La Niña year (1999). *Marine Micropaleontology*, **66**, 304–319.
- 柳 哲雄, 1994. 黄海・東シナ海の物質輸送. 沿岸海洋研究ノート, **32**, 239–256.
- 横内克巳・浅野謙治・岡村和麿, 1999. 人工衛星から見た東シナ海の植物プランクトン分布. 西海区水産研究所ニュース, (99), 5–10.