

Cycladophora davisiana の古海洋学的意義：北太平洋亜寒帯に設置されたセディメント・トラップからの考察

板木, 拓也
北海道大学地球環境科学研究科

高橋, 孝三
北海道東海大学工学部海洋開発工学科

米田, 義昭
北海道大学水産学部水産海洋学科

<https://hdl.handle.net/2324/12444>

出版情報：大阪微化石研究会誌特別号．10，pp.293-298，1997．大阪微化石研究会
バージョン：
権利関係：



Cycladophora davisiana の古海洋学的意義 —ベーリング海におけるセディメント・トラップからの考察—

板木拓也*・高橋孝三**・米田義昭***

Seasonal change of *Cycladophora davisiana* (Radiolaria) in the Bering Sea :
its significance for paleoceanography

ITAKI Takuya*, Kozo TAKAHASHI** and MAITA Yoshiaki***

Abstract A time-series sediment trap was deployed at 3,200m in the Bering Sea (StationAB) during August 1990 to August 1993. The trap samples were studied for seasonal fluxes of radiolarians. The seasonal flux patterns of total polycystine radiolarians showed maxima during spring or summer whereas fluxes of *Cycladophora davisiana* Ehrenberg increased during fall. Morley and Hays (1983) interpreted that high % *C. d. davisiana* values in the Sea of Okhotsk were related to their dwelling depth and characteristic oceanographic conditions in the subsurface layer. Our sediment trap data provide a new insight into the arguments proposed by Morley and Hays. Morley and Hays (1983) suggested that the spring radiolarian production was inhibited by the sea ice cover in the Sea of Okhotsk. However, *C. d. davisiana* should not be significantly affected by that because of the observed main fluxes of this species in the fall. Therefore, the high percent of *C. d. davisiana* seen in the core tops in the Sea of Okhotsk, as well as high latitude oceans during the glacial intervals, are considered to be due to seasonal sea ice cover. *Stylochlamyidium venustum* (Bailey) is one of the dominant radiolarian species in the Bering Sea. Although tentative for a definite seasonality, the possible spring flux increase of this taxon might explain why % *S. venustum* decreased during the glacials. Downcore change of % *S. venustum* shows an opposite trend of what % *C. d. davisiana* does in the Bering Sea (Blueford, 1983), suggesting that the spring increase of *S. venustum* could have been restricted by sea ice cover and/or melt water during the glacials.

Key words: *C. davisiana*, Bering Sea, Sediment trap, sea ice

はじめに

Cycladophora davisiana Ehrenberg は現在熱帯域を含む世界中の海洋に広く分布する。表層堆積物中の全レディオラリアに対する本種の産出頻度は高緯度で高く、特にオホーツク海では最も高い値を示す(Morley and Hays, 1983)。本種は氷期の高緯度海域においては一般に相対頻

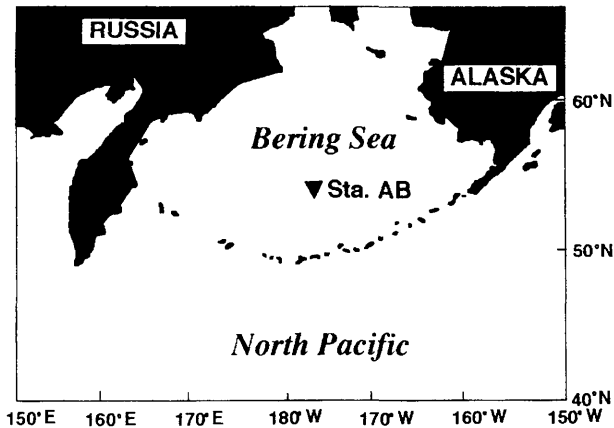
度が高く、酸素同位体カーブとよく対応している(Morley, 1980)ため、その値は炭酸塩の産出しない海域において高分解層序区分や古海洋環境解析に応用されている(例えば Hays et al., 1976; Morley, 1983)。

本種の頻度が氷期に増加する原因について Morley and Hays (1983)は表層堆積物の分布とそれを覆う水塊構造の特徴から言及している。すなわち、オホーツク海では冬から春にかけて発達する海水の影響や表面下の寒冷な水塊(中冷水)によって、表・中層域に生息するレディオラリアの繁殖が抑制され、この一方では 200m 以深の比較的安定した水塊に生息する *C. d. davisiana* の繁殖は表層環境の影響は受けないとしている。その結果、オホーツク海では堆積物中に記録された本種の相対頻度が増加する。氷期に *C. d. davisiana* の相対頻度が高くなった海域では、当時その海域が現在のオホーツク海に似た環境であったと考えられる

* 北海道大学地球環境科学研究科。Graduate School of Environmental Earth Science, Hokkaido University, Sapporo 060, Japan.

** 北海道東海大学工学部海洋開発工学科。Department of Marine Sciences and Technology, School of Engineering, Hokkaido Tokai University, Sapporo 005, Japan.

*** 北海道大学水産学部水産海洋学科。Department of Fisheries Oceanography, Faculty of Fisheries, Hokkaido University, Hakodate 041, Japan.



第1図. セディメント・トラップの設置地点.

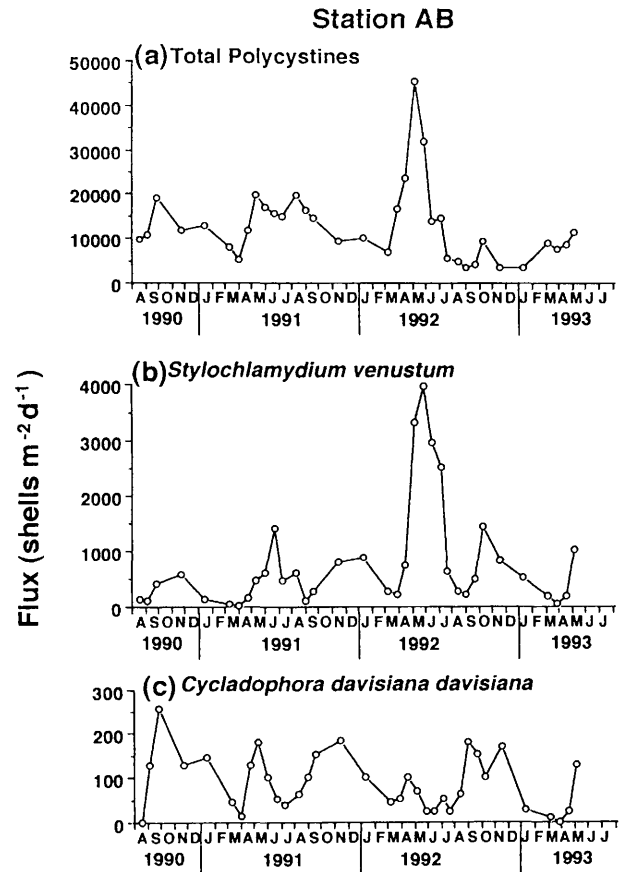
(Morley, 1983). しかし, 実際にはこれは堆積物中に保存された遺骸群集を観察しているに過ぎず, *C. d. davisiana* の相対頻度が高くなる過程を明らかにするには本種を含めたレディオラリアの生態をより詳細に観察・検討する必要がある.

著者らは1990年8月から1993年8月にかけてベーリング海および北太平洋中部亜寒帯域に設置されたセディメント・トラップの試料から本種および他のレディオラリア・フラックスの季節変化を調べた(板木・高橋, 1995). これによると *C. d. davisiana* を含む幾つかのレディオラリアの季節変化はベーリング海では顕著に認められるものの, 北太平洋中部亜寒帯域では何らかの原因で一定の季節変化パターンが見い出されなかった(板木・高橋, 1995). 縁海としてのベーリング海は季節的な海洋環境を外洋域よりも鋭敏にプランクトン群集に反映すると考え, ここではベーリング海の結果のみを示す. そして, 本論の中心はMorley and Hays(1983)の仮説をこれらの生態学的知見(季節変化)から検討し, また *C. d. davisiana* の古海洋学的意義について明らかにしようとするものである.

材料と方法

Honjo タイプ Mark VII-13G 時系列セディメント・トラップは北海道大学練習船おしよ丸によってベーリング海アリューシャン海盆(Station AB; 53.5° N, 177° W, 水深3,800 m地点)の水深3,200mに設置された(第1図). 本研究に用いられた試料のサンプリング期間は1990年8月から1993年8月までの3年間である. 1年間を1試料が20から56日間の間隔で採取されているが, 例外的にトラップ設置直後と回収直前の試料の採取間隔はこれよりも短いことがある.

1mm以下の試料は回転式四分分割スプリッターで1/64から1/1024に分割し, それぞれを63 μmのステンレス製のふるいでサイズ分けを行なった. 63 μm以上の残渣は全てを

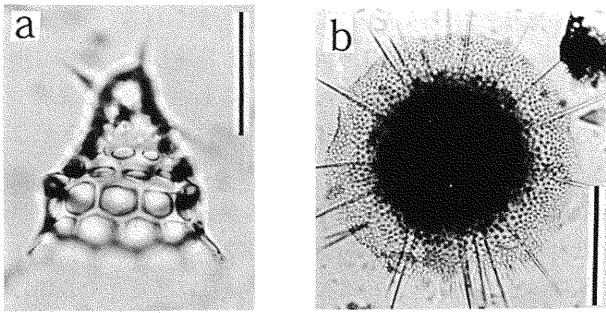


第2図. Station ABにおけるレディオラリア・フラックスの季節・経年変化.

Gelman社の直径47mm, 孔径0.45 μmのメンブレンフィルターを用いて濾過した. 63 μm以下のものはさらに1/1024から1/4096になるように分割して濾過した. これらのフィルター上の試料を乾燥後, フィルターごとカナダバルサム(またはイマージョンオイル)を用いて封入した. 作成したプレパラート全面を生物顕微鏡を用いて観察した.

レディオラリアの生態

ベーリング海における3年間のポリシスチン・レディオラリア(Polycystine Radiolaria: 高橋・Anderson, 1997)のフラックスは約3,000~45,000 shells m² d⁻¹で変動し, 春または夏にその極大がある(第2図a). この一般的な変化パターンは北太平洋東部亜寒帯域からの報告(Takahashi, 1987a)と似ている. また, 全レディオラリアのうち, 63 μm以上の個体が占める割合は約10~60%であり, その高低差は大きい. このトラップ試料で最も優勢な種は *Amphimelissa setosa* (Cleve)と *Siphocampe arachnea* (Ehrenberg)であるが(板木・高橋, 1995), これらの多くは63 μm未満の試料に含まれる.



第3図.(a) *Cycladophora davisiana davisiana* Ehrenberg (Station AB, 1990年12月), スケールバーは50 μm , (b) *Stylochlamydidium venustum* (Bailey) (Station AB, 1991年3月), スケールバーは100 μm .

ベーリング海の表層堆積物中で最も優勢な種は *Stylochlamydidium venustum* (Bailey)である(Ling et al., 1971; Blueford, 1983). 一般に海洋堆積物試料の処理では63 μm 前後のふるいが用いられており, 観察されるのはそれより大きなサイズのレディオラリアである. トラップの63 μm 以上の試料中で最も優勢な種は, この *S. venustum* (第3図b)であり表層堆積物からの報告と一致する.

中部北太平洋のプランクトン試料にもとづくと *S. venustum* は海洋表層付近に生息すると報告されている(Kling, 1979). また, Blueford (1983) はベーリング海アリューシャン海盆北縁において, 大陸斜面よりも浅い大陸棚の堆積物から本種が多産したことを報告している. これはベーリング海の大陸棚周辺では *S. venustum* が表層種であることを示唆している. 以上の様な事実から, ベーリング海のトラップ地点では, 本種が海洋表層に生息するものとして議論を進める. 今回の研究ではベーリング海における本種のフラックスの変動は大きく約50~4,000 shells m^2d^{-1} である. この種の季節変化は, 1992年5~7月に顕著な春のピークを示し10~1月に二次的なピークを示した(第2図b). しかし, 1991年の春に極大を示すのは6月の1試料のみであり, また1993年においては4月から5月にかけて上昇傾向にあるもののこれ以後の試料が採取されなかったためにこの時期にピークが存在したか否かは解らない. 秋から冬にかけてのフラックスの増大は3年間を通じて3回とも観察された. これらの結果は, 一般的な傾向として本種のフラックスが春に大きく秋に小さな極大がある可能性を示唆しており, 3年間の本調査期間では後の論議に出される春に増える代表的な種として差しかえない.

一方, *C. d. davisiana* (第3図a) は0~300 shells m^2d^{-1} で変動し, 10~1月に顕著で, 4~5月に短期間のフラックスのピークが認められる(第2図c). また, 表層堆積物の分布やプランクトン・ネットのデータから本種の主な生息深

第1表. 63 μm 以上の試料に含まれる全ポリシスチン・レディオラリアに対する *Cycladophora davisiana davisiana* および *Stylochlamydidium venustum* の相対頻度と試算結果. (a) Station ABでの3年間の平均; (b) 季節変化から推定した海水が発達した場合の値; (c) Morley and Hays (1983) の仮説から推定した海水が発達した場合の値; (d) bとcの両方を考慮したときの海水が発達した場合の推定値; (e) Blueford (1983)による氷期ベーリング海の値.

	a	b	c	d	e
<i>S. venustum</i> %	13.2	11.3	-----	-----	0-10
<i>C. d. davisiana</i> %	1.3	1.8	6.7	13.4	20-40

度は約200m以深と考えられている(Morley and Hays, 1983; Bjorklund and Ciecieski, 1994).

レディオラリアの季節変化と海氷との関係

ベーリング海の表層堆積物中における *C. d. davisiana* の相対頻度は全レディオラリアの約1~4%である(Morley and Hays, 1983). 一方, ベーリング海と同じく北太平洋亜寒帯域の縁海であるオホーツク海の表層堆積物中ではこれが約10~50%にも達し, 世界の海洋で最も高い値を示している(Morley and Hays, 1983). 両縁海の最も大きな違いは冬期における季節海水の発達の数値と, それに起因する水温や塩分, 溶存酸素などの水塊構造の違いにある. すなわち, オホーツク海は1月から4月にかけて海水が広く覆うが, ベーリング海で海水が覆うのは主として北部の大陸棚のみである(気象庁, 1990-1993).

ベーリング海の表層堆積物における優占種である *S. venustum* の頻度は10~50% (Ling et al., 1971)である(63 μm 前後より大きい個体). 今回の研究では, 63 μm 以上の全ポリシスチン・レディオラリアのフラックスに含まれる *C. d. davisiana* の割合は3年間の平均で約1.3%, *S. venustum* は約13.2%であった(第1表). これらの値は表層堆積物とはば調和的である.

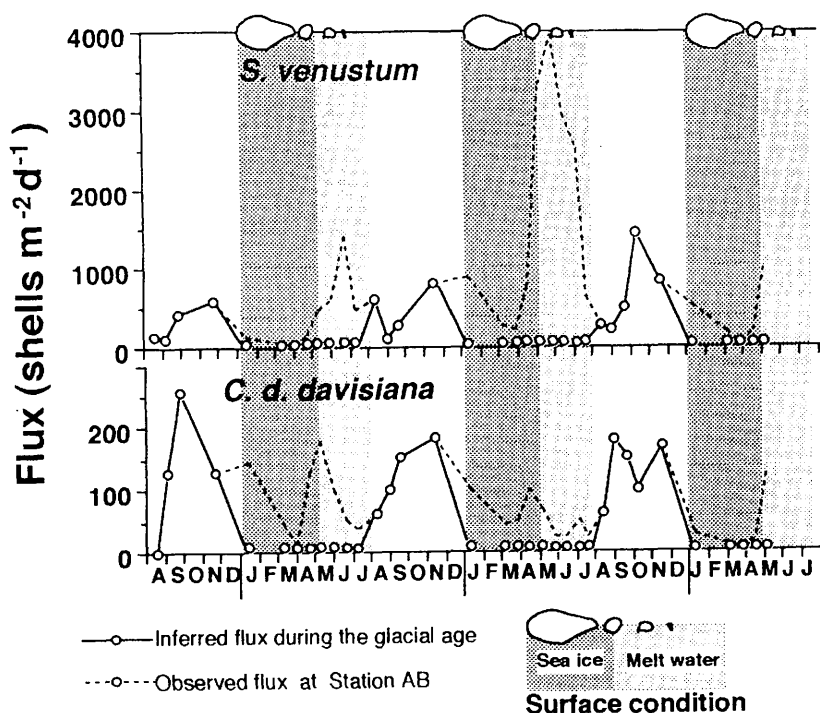
珪藻の群集解析から氷期のベーリング海では季節海水が発達していたと考えられている(Sancetta and Robinson, 1983). 同じコアを用いたレディオラリアの研究でも氷期の *C. d. davisiana* の頻度は現在よりも高い値を示す(Morley and Robinson, 1986). 当時のベーリング海は *C. d. davisiana* の頻度は著しく増加すると同時に *S. venustum* は減少した(Blueford, 1983). この原因をMorley and Hays(1983)が指摘する通り, 200mより浅い水深に生息する表層群集が海水や低温, 低塩分水によってその生産が抑制されたと考えた場合の試算を行う. 北太平洋中緯度域にあたるカリフォルニア沖では全ポリシスチン・レディオラリアの平均86%が200mより浅い水深に生息している(Kling and Boltovsoy, 1995). ベーリング海ではレディオラリアの生息深度につ

いての詳細な報告は無いのでこれを参考にする。ベーリング海で季節海水が発達した場合、全体の86%に相当する200m以浅のレイディオラリアが減少すると仮定する。そして、*C. d. davisiana*は中層以深に生息していてその生産量に影響しなかったならトラップ試料中の本種の頻度は6.7%となる(第1表)。堆積物コアのデータによると氷期の*C. d. davisiana*の頻度は約20~40%(Blueford, 1983)であったから、この値は半分以下しか説明できない。

Morley and Hays (1983)の仮説に加え、*C. d. davisiana*が氷期に増え得るもうひとつの可能性としてレイディオラリア・フラックスの季節変化が考えられる。ベーリング海における今回のセディメント・トラップの研究結果からこれを検討した。ベーリング海の堆積物中に最も優勢な*S. venustum*をはじめ、全レイディオラリア・フラックスは上述した通り春に極大がある傾向を示す。しかし、*C. d. davisiana*はフラックスの極大が秋から冬にかけて存在する。南極海で行われたセディメント・トラップ実験によると、海水に覆われている時期にレイディオラリアのフラックスはほとんど無くなってしまうことが観察されており(Abelmann, 1992)、海水の発達がレイディオラリアの繁殖を強力に抑制していることを示している。一般に海水が後退する際にはその融水などによって表層の塩分が低下することが知られているから(例えば、永田ほか, 1992)、もし、ベーリング海に季節的な海水が覆えば、冬から春に発達する海水、または海水の溶解の際に生じる低塩分水の影響などによって*S. venustum*のように浅海に生息し春に増加するレ

ディオラリアの繁殖が抑制されると考えられる。一方、*C. d. davisiana*は秋から冬の海水が比較的発達しない時期に増えるため、これらに影響されにくいことが予想される。つまり、季節海水の発達(またはその溶解に伴う低塩分水)は*C. d. davisiana*の相対頻度を増加させる作用があり得る。そこで以下にベーリング海で季節海水が発達した場合の試算を試みた。ベーリング海の広い範囲で現在のオホーツク海と同様に1~4月頃まで海水が覆い、更に初夏まで表層に低塩分水が発達した仮定する。この条件を現在のStation ABに当てはめ(第4図)、海水と低塩分水が発達する時期にレイディオラリアが繁殖しなかったとすると、*C. d. davisiana*の3年間の相対頻度は約1.3%から1.8%に増加し、また*S. venustum*は約13.2%から11.3%に減少する(第1表)。堆積物コアのデータからは氷期のこれらの値はそれぞれ約20~40%と0~10%であった(Blueford, 1983)。このように、フラックスの季節変化だけでも氷期-間氷期のような大きな群集変動は説明できない。

では、Morley and Hays(1983)の仮説とフラックスの季節変化の両方を考慮して説明を試みる。すなわち、ベーリング海に海水が発達した場合、トラップ試料中のレイディオラリアの86%(表層群集)が減少し、更に海水とその融水が発達する冬から初夏までの繁殖が抑制されたとする。この時に含まれる*C. d. davisiana*は13.4%となる(第1表)。まだ、氷期より若干低い値を示しているが、オパールの沈降粒子が堆積物に保存されるのは約1%程度と言われており(Takahashi, 1986, 1987b, 1994)、種による選択的溶解などに



第4図. 海水とその融水による影響を受けた *Stylochlamydidium venustum* および *Cyclado-phora davisiana* フラックス・パターンの予想図。

よる誤差が生じているものと思われる。*S. venustum* や *C. d. davisiana* が他のレディオラリアに比べ比較的丈夫な骨格を持っていることを考慮すると、*S. venustum* や *C. d. davisiana* の相対頻度が更に高い値を示すと思われる。このように、氷期亜寒帯域における *C. d. davisiana* の高い産出頻度は、季節海水の発達、レディオラリアの生息深度と繁殖量の季節変化の両方に影響した結果と考えられる。

西部オホーツク海で採取されたコアからは完新世に *C. d. davisiana* が優勢であるものの、氷期においては産出頻度が完新世よりも低いと報告されている (Morley et al., 1991)。これは亜寒帯の外洋域で一般に見られるものと逆傾向であり、氷期の西部オホーツク海では年間を通して海水が発達していたことで (志賀ほか, 1994)、秋の *C. d. davisiana* の繁殖が減少した結果と予想される。

Keigwin et al. (1992) は北太平洋亜寒帯域の天皇海山で得られたコアの検討結果として *C. d. davisiana* の相対頻度や氷床の指標である IRD (Ice Rafted Detritus) を報告した。それによると *C. d. davisiana* は約 15,000 年前に最大値 (約 40%) を示し、12,000 ~ 13,000 年前に二次的なピークを持つ。IRD は約 15,000 年前に最も多産し、*C. d. davisiana* が最大値を示す時期と一致する。これは氷床の発達により *C. d. davisiana* の相対頻度が増加したことを示している。また、12,000 ~ 13,000 年前の *C. d. davisiana* の二次的なピーク時には IRD の産出は少ない。Keigwin らは酸素同位体比のデータともあわせて、この時期には表層に低塩分水が覆ったと解釈している。

Morley (1983) は北大西洋亜寒帯海域の各地から採取されたコアに関して %*C. d. davisiana* のカーブを見い出し、氷期の最大値が北に行くに従い高くなって最大 79% にも達することを報告した。また、北のコアでは最終氷期最寒期の上位に二次的なピークがあり、南東のコアにはこのピークがほとんど無くなることを記載している。この二次的なピークは約 11,000 年前付近に相当することからヤングドライアス期のシグナルと考えられる。このピークは北緯 53 度付近で目立たなくなる。これは Broecker et al. (1988) が予測したヤングドライアス期における海水発達分布と一致する。すなわち、このピークが出現しなくなった海域は、海水が発達しない海域の北限を示しているものと考えられる。

おわりに

堆積物中に記録されている全レディオラリアに対する *C. d. davisiana* の産出頻度が現在のオホーツク海や氷期亜寒帯域で高くなる原因は Morley and Hays (1983) の仮説だけでは説明できない。そこで彼らの仮説に加え、1990 ~ 1993 年にベーリング海で行われたセディメント・トラップ実験か

ら得られたレディオラリア・フラックスの季節変化をもとにして考察した。

現在のベーリング海で優勢なレディオラリアは *S. venustum* である。季節海水が発達したとされる氷期のベーリング海では、これが *C. d. davisiana* に置き代わる (Blueford, 1983)。冬から春に発達する海水とその融水は、本来春に増える表層種 (例えば *S. venustum*) の繁殖を抑制する。一方、*C. d. davisiana* は秋から初冬に増え、さらに Morley and Hays (1983) が指摘した様に年間を通して安定した水塊をもつ中層域に生息しているため海水や融水の影響を受けない。その結果として相対的に *C. d. davisiana* の頻度が増加し得る。

以上の論議は主に *C. d. davisiana* とその他のレディオラリアとの相対頻度に関するものであったが、実際の繁殖量とその水塊との関係など、今後さらに詳細な検討が必要である。しかしながら、北太平洋亜寒帯域における *C. d. davisiana* や *S. venustum* の頻度は季節海水の生成に大きく影響すると考えられ、これらの群集組成から過去の海水の分布を知ることが出来る可能性がある。海水面積の消長は地球環境に大きな影響を与えることが知られており、今後 *C. d. davisiana* や *S. venustum* の相対頻度は注目し値する。

謝 辞

本研究は筆者ら (KT & YM) の共同研究であり、1989 年よりフィールドワークが開始され、現在もなお現場測定が継続中である。毎年夏期に行われるフィールドでのセディメント・トラップの設置、回収の際には、北海道大学水産学部練習船おしよる丸の船長はじめ乗組員諸兄に御協力頂き感謝申しあげる。本稿を作成するにあたり、北海道大学地球環境科学研究科の長谷川四郎助教授には租稿を読んで頂いた。本研究を進めるにあたって、文部省科研費一般研究 (C) (課題番号 07680562) および北海道東海大学環境研究所プロジェクト P-3 の予算を使用した。

文 献

- Abelmann, A., 1992, Radiolarian flux in Antarctic waters (Drake Passage, Powell Basin, Bransfield Strait). *Polar Biol.*, **12**, 357-372.
- Bjorklund, K. R. and Ciesielski, P. F., 1994, Ecology, morphology, stratigraphy, and the paleoceanographic significance of *Cycladophora davisiana davisiana*. Part I: Ecology and morphology, *Mar. Micropaleontol.*, **24**, 71-88.
- Blueford, J. R., 1983, Distribution of Quaternary Radiolaria in the Nevarin Basin geologic province, Bering Sea. *Deep-Sea Res.*, **30**, 763-781.
- Broecker, W. S., Andree, M., Wolfli, W., Oeschger, H., Bonani, G., Kennett, J. and Peteet, D., 1988, The chronology of the last Glaciation: implications to the cause of the Younger

- Dryas event. *Paleoceanography*, **3**, 1-19.
- Hays, J. D., Lozano, J. A., Shackleton, N. and Irving, G., 1976, Reconstruction of the Atlantic and western Indian Ocean sectors of the 18,000 B. P. Antarctic Ocean. In : Cline, R. M. and Hays, J. D. (eds), Investigation of Late Quaternary paleoceanography and paleoclimatology, *Geol. Soc. America Mem.* **145**, 337-372.
- 板木拓也・高橋孝三, 1995, 北部北太平洋およびベーリング海におけるレディオラリア・フラックスの季節変化(予察). 北海道東海大学紀要理工学系, no. 8, 37-47.
- Keigwin, L. D., Jones, G. A. and Froelich, P. N., 1992, A 15,000 year paleoenvironmental record from Meiji Seamount, far northwestern Pacific. *Earth and Planetary Science Letters*, **111**, 425-440.
- 気象庁, 1990-1993, 海水観測資料, 第8-11号.
- Kling, S. A., 1979, Vertical distribution of polycystine radiolarians in the central North Pacific. *Mar. Micropaleontol.*, **4**, 295-318.
- Kling, S. A. and Boltovskoy, D., 1995, Radiolarian vertical distribution patterns across the southern California Current. *Deep-Sea Res.*, **42**, 191-231.
- Ling, H. Y., Stadum, C. J. and Welch, M. L., 1971, Polycystine Radiolaria from Bering Sea surface sediments. In : Farinacci, A. (ed.), Proceeding of the 2nd Planktonic Conference, Roma 1970, Tecnoscienza, 705-729.
- Morley J. J., 1980, Analysis of the abundance variations of the subspecies of *Cycladophora davisiana*. *Mar. Micropaleontol.*, **5**, 205-214.
- Morley, J. J., 1983, Identification of density-stratified waters in the Late-Pleistocene North Atlantic: a faunal derivation. *Quat. Res.*, **20**, 374-386.
- Morley, J. J. and Hays, J. D., 1983, Oceanographic conditions associated with high abundances of the radiolarian *Cycladophora davisiana*. *Earth and Planetary Science Letters*, **66**, 63-72.
- Morley, J. J., Heusser, L. E. and Shackleton, N. J., 1991, Late Pleistocene / Holocene radiolarian and pollen records from sediments in the Sea of Okhotsk. *Paleoceanography*, **6**, 121-131.
- Morley, J. J. and Robinson, S. W., 1986, Improved method for correlating late Pleistocene/Holocene records from the Bering Sea: application of a biosiliceous/geochemical stratigraphy. *Deep-Ses Res.*, **33**, 1203-1211.
- 永田 豊・大谷清隆・柏井 誠, 1992, 北太平洋亜寒帯循環. 海の研究, **1**, 75-104.
- Sancetta, C. and Robinson, S., 1983, Diatom evidence on Wisconsin and Holocene events in the Bering Sea. *Quat. Res.*, **20**, 232-245.
- 志賀健司・福沢仁之・小泉 格, 1994, オホーツク海における最終氷期以降の海洋環境変動. 月刊地球, **16**, 703-708.
- Takahashi, K., 1986, Seasonal fluxes of pelagic diatoms in the subarctic Pacific, 1982-1983. *Deep-Ses Res.*, **33**, 1225-1251.
- Takahashi, K., 1987a, Radiolarian flux and seasonality: climatic and El Nino response in the subarctic Pacific, 1982-1984. *Global Biogeochemical Cycles*, **1**, 213-231.
- Takahashi, K., 1987b, Seasonal fluxes of Silicoflagellates and Actiniscus in the subarctic Pacific during 1982-1984. *Jour. Mar. Res.*, **45**, 397-425.
- Takahashi, K., 1994, From modern flux to paleoflux: assessment from sinking assemblages to thanatocoenosis. In: R. Zahn, et al., Eds., Carbon Cycling in the Glacial Ocean: Constrains on the Ocean's Role in Global Change, NATO ASI Series, **117**, 413-424.
- 高橋孝三・Anderson, O. R., 1997, レディオラリア上綱. 日本産海洋プランクトン検索図説. 千原光雄・村野正昭編, 東海大学出版会, 347-372.