

オホーツク海南西部における完新世の古環境 ～珪藻化石分析から～

嶋田智恵子¹⁾・村山雅史¹⁾・中村俊夫²⁾・青木かおり¹⁾・
長谷川四郎¹⁾

1)北海道大学大学院地球環境科学研究科

☎ 060-0810 札幌市北区北10条西5丁目 ☎ 011-706-2235

2)名古屋大学年代測定資料研究センター

☎ 464-8602 名古屋市千種区不老町 ☎ 052-789-2578

はじめに

オホーツク海は北半球最南の氷縁海である。海氷が生成し易い特殊な海況が現われる背景には、アムール川起源の淡水が供給され、晩秋～冬季にシベリア高気圧の寒気の影響を受けることが挙げられる(若土, 1996)。一般に、アルベドが高く、大気-海洋間の熱交換を著しく制限する効果を持つ海氷は、結氷および融氷時に正のフィードバック効果によって加速的に分布域が拡大・縮小する。このため、比較的低緯度において季節間の熱的なコントラストの大きいオホーツク海では、海氷が地球温暖化など気候変化に対する、高感度センサーになると考えられている(若土, 1996)。また、温室効果ガスのリザーバーとなりうる北太平洋中層水(Tsunogai et al., 1993, 1995)は、オホーツク海で生成される可能性が指摘されてきたが(Tally, 1991)、近年この海域の観測データを整理したWatanabe and Wakatsuchi (1998)

は、北太平洋中層水の主要な起原水に、暖流としては唯一オホーツク海に流入し北海道沿岸を南東流する宗谷暖流(特に春季の前駆水)の寄与があることを示唆した。さらに、この宗谷暖流の完新世における消長が、北日本の海水準、生物地理区の変遷などを通して第四紀の人類活動に影響を与えてきたことは、自然誌及び考古資料の両面から推定されている(赤松, 1969; 松島, 1994; 紀藤ほか, 1998など多数)。このようにオホーツク海南西部は、北太平洋の様々な環境が、現在の様式になる発達過程を知るための鍵を握る、重要な海域であるといえる。

以上のような研究意義にもかかわらず、外交上の困難、あるいは気象条件によるデータや試料不足のため、我が国のオホーツク海研究は空白が大きかった。しかし、近年北海道大学北星丸97年度航海において、オホー

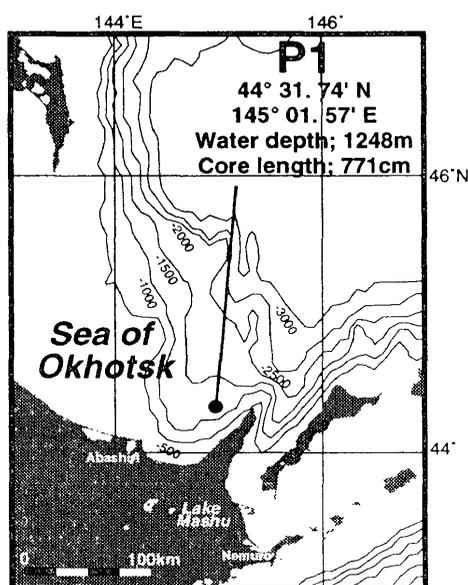


Fig. 1
Sample locality

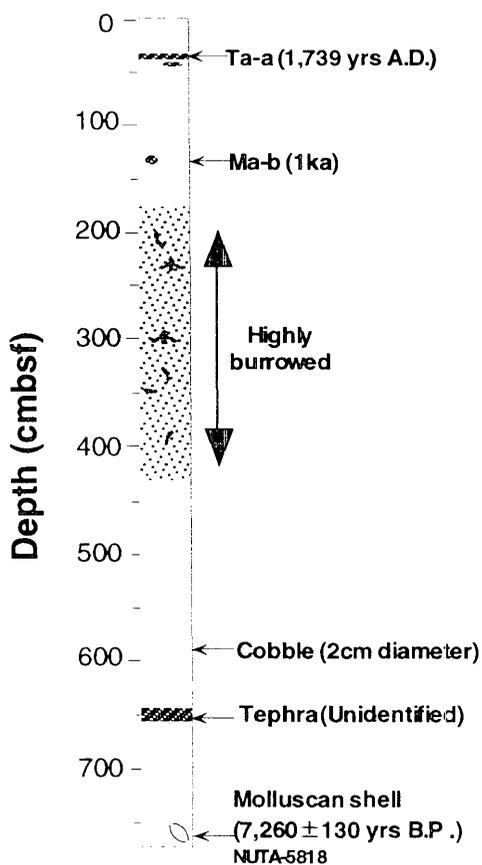


Fig. 2
Lithology of P1 core. It is composed mainly of dark greenish gray and diatomaceous silt.

構成される。430～170cm層準では、生物擾乱 (burrow) がよく発達している。コア下部760.1cm層準では合弁の二枚貝化石を産出するが、保存が悪いため同定は行われていない。また、3枚のテフラが挟在し、このうち上部2枚は、火山ガラスと鉱物の屈折率、火山ガラスの主成分分析 (EPMA法) により、それぞれ樽前 a (35.15cm 層準; A.D.1739y)、摩周 b (133.1cm 層準; 1ka) に同定された。

年代測定試料

コア下部 (760.1cm) から産出した合弁二枚貝化石を ^{14}C 年代試料として用いた。

貝試料は、ビーカーに入れ音波洗浄をおこない、表面の付着物を物理的に除去した。次に、試料の保存が悪いため、約30% (重量比) 以上溶解するように希塩酸と反応させ、殻の表面の二次的生成物を除去した。その後、遠心分離器を用いて脱塩を行い、直ちに低温で真空乾燥を充分におこなった。測定用試料を真空下でリン酸分解 (60°C, 1時間反応) を行い二酸化炭素に変えた。ターゲット調製法は、二酸化炭素ガスから鉄を触媒として水素還元 (Kitagawa et al., 1993) を行ってグラファイトを作成し、名古屋大学年代測定資料研究センターのタンデトロン加速器質量分析計を用いて ^{14}C 年代測定を行なった (Nakamura et al., 1985, 中村・中井, 1988)。その結果、7260 ± 130year B.P. (NUTA-

ック海南西部の古環境復元を目的としたピストンコア採取が成功し、珪藻質の細粒堆積物からなる底質試料を得ることができた。珪藻類は光合成の必要から鉛直分布が透光帯に限定されるうえに、タクサによって異なる適応環境を持つ。したがって表層海況の指示者として有効であり、その化石は地史復元ツールとして利用価値が高い。珪藻化石によるオホーツク海古海況復元の例として、志賀ほか (1994) は、オホーツク海中央部の海底堆積物試料を用いて最終氷期以降について解析を行った。しかし、宗谷暖流域をカバーする南西部北海道沿岸域での検討は、いまだかつて行われていない。したがって本研究では、採取された海底コア試料の時間軸を、貝試料による ^{14}C 年代測定とテフラの同定から見積もり、さらに珪藻化石の群集解析を行うことで、完新世のオホーツク海南西部における表層古環境を復元することを目的とする。

海底コア試料

本研究で用いたピストンコア試料P1の採取位置および岩相を、それぞれFig. 1およびFig. 2に示す。

この試料は、暗緑灰色で無層理の珪藻質シルトから

5818) の年代値を得た。年代値の計算には、 ^{14}C の半減期 (5568 年) を用い、測定誤差は、 ^{14}C の総計数に基づいて計算された統計誤差 (1σ) である。

この年代値を、INTCAL98 のプログラム (Suiver et al., 1998) を使って暦年代に換算すると 7242 years B.P. となる。なお、この海域での大気-海洋のリザーバー効果は、950 年を使用した (Keigwin, 1998)。

堆積年代

以上3つの年代値をコントロールポイントとして外挿して得られるコア基底部の堆積年代は、およそ 7400 年前で、平均堆積速度は 104.1cm / kyr であると見積もられる。

珪藻分析

嶋田・長谷川 (1999) の方法によって定量スライドを作成して検鏡し、約 10cm 間隔で 70 層準について概ね 200 殻 (つまり 400 カウント) を算定した。そして得られたカウント数を頻度換算し、群集組成の時間変動を追跡した。

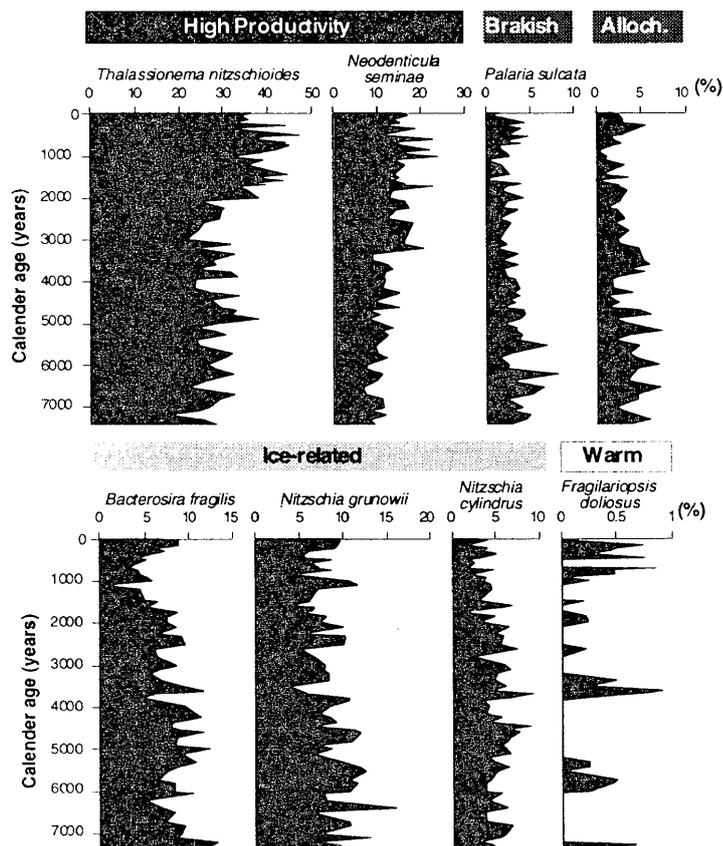


Fig. 3
Frequency of dominant taxa. "Alloch" means "allochthonous taxa".

(Wallich) Medlin et Sims が、このコアからはそれぞれ約 7400 年前、6000 年前、3800 年前および 1000 年前以降にパルス的に産出するのが極めて重要である (Fig. 3)。

結果

珪藻殻の保存は、コアを通して全般に良好である。群集組成では、*Thalassionema nitzschioides* (Grunow) H. et M. Peragallo, *Neodenticula seminae* (Simonsen et Kanaya) Akiba et Yanagisawa, そして *Bacterosira fragilis* (Gran) Gran, *Nitzschia grunowii* Hasle など海水指標種が圧倒的に優占する一方で、温暖種も極めて低頻度ながら随伴する。

T. nitzschioides 及び *N. seminae* 頻度は現世に向かって増加傾向を示すが、対照的に海水指標種、異地性遺骸種群、汽水種 *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve は逆相関する動向が明瞭である。一方で、谷村 (1981) や小泉 (1987) によって、対馬暖流の鋭敏な指標であることが指摘される温暖種 *Fragilariopsis doliosus*

議論

前述のように、北西太平洋縁辺海域においては、種々の情報の蓄積が遅れており、それは現生珪藻類の生態に関しても例外ではないが、本論では、Sancetta (1982) や Sancetta and Silvestri (1986) など数少ない既存の知見にもとづき、珪藻群集組成が反映する環境要素の推定を試みる。温暖種の挙動については、その頻度が低く棄却水準に抵触しない限度にあたり、群集組成全体に及ぼす効果が小さいため、現段階では主要種とは別個に議論する。

全ての検鏡層準で卓越する *T. nitzschioides* は湧昇域などで多産し、高生産性を指標する (Schrader and Sorknes, 1990) . この種が高頻度を呈することから、この海域では約7400年前以降一貫した高い生物生産性が示唆される。 *N. seminae* も高頻度を記録するが、この種は、主に北東太平洋アラスカ湾を中心として分布する、北太平洋亜寒帯循環系を指標する代表種であり (Sancetta and Silvestri, 1986; 高橋, 1993) , 水柱の栄養塩類濃度と相関することから、高生産性に関連することが示唆される (高橋, 1993) . 一方、海氷指標種群・異地性遺骸種群・汽水種 *P. sulcata* の挙動は互いに同調し *T. nitzschioides* や *N. seminae* とは逆相関を呈しつつ、現世に向かって減少傾向を示す。したがって群集組成の変化から、過去およそ7400年間、この海域では常に季節海氷の存在はあったが、時間とともに海氷の影響は減少し、同時により高い生産性を呈するようになった可能性がある (Fig. 3) .

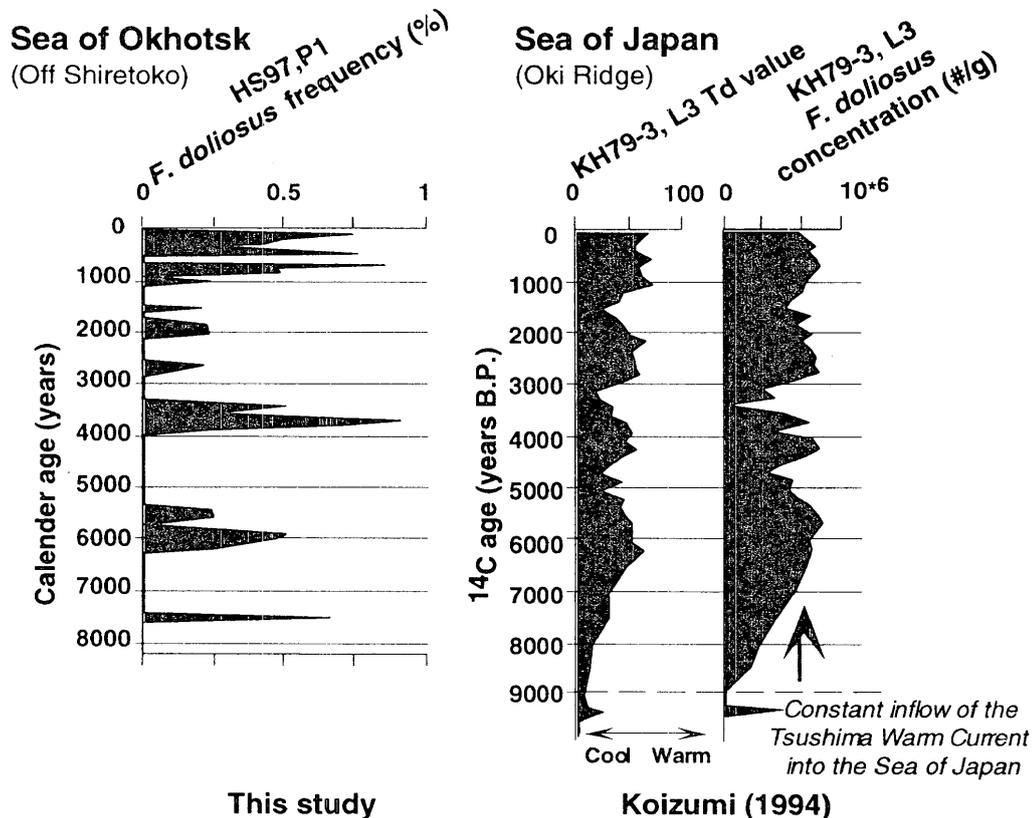


Fig. 4
Correlation of the stratigraphic occurrence of the warm water species *F. doliosus* . "Td value" means Diatom Temperature (Kanaya and Koizumi, 1966) ; $Td = [X_w / (X_c + X_w)] * 100$, where X_w and X_c are total frequencies of selected warm and cold water species, respectively. Note that the age control is not tuned to each other.

一方、太平洋から直接オホーツク海に暖流の流入があったことは極めて考えにくく、温暖種 *F. doliosus* の存在は、明らかに対馬暖流の続流である宗谷暖流を指標すると考えられる。この種の動向に注目した小泉 (1994) などによる日本海海底コアの解析によれば、完新世に入って約9000年前に日本海に本格的に流入し始めた対馬暖流は、およそ1800年周期で流勢の強弱を繰り返してきたといわれる。本研究で明らかになったこの種の頻度分布は、宗谷暖流の対馬暖流への同調を反映していることを示唆する (Fig. 4)。なお、小泉 (1994) においては¹⁴C年代の暦年代への補正を行っていないので、補正值にもとづく暦年代軸を採用した本研究とは、若干のタイムラグが生じている可能性がある。

温暖性二枚貝化石の時空分布から、完新世の温暖水系の変動を議論した赤松・右代 (1995) などによれば、北日本では $10^2 \sim 10^3$ 年オーダーの周期性を持つ数回の温暖期とそれに伴う海進が推定されており、オホーツク沿岸の貝塚からも、その中のいくつかの海進が認識されている。本研究から推定した宗谷暖流の強勢期は、小泉 (1994) が日本海海底コアから検出した対馬暖流の脈動だけではなく、これら温暖性二枚貝化石の時空分布とも調和する可能性が大きい。赤松 (1969) は、オホーツク沿岸に分布する縄文(早～前期; いわゆる縄文海進期)遺跡の貝塚や自然貝殻層からは、マガキ (*Crassostrea gigas* (Thunberg)) やハマグリ (*Meretrix lusoria* (Roding))、ウネナシトマヤガイ (*Trapezium liratum* (Reeve)) などが出土あるいは産出することを報告した。これらの分布を規制する条件は、産卵が行われる夏の水温がマガキの場合は23°C以上、ハマグリの場合は20-24°C以上であること (田村, 1966)、したがってこれらの種は、オホーツク海にあっては相対的に温暖な水温の指標と判断される。また、赤松 (1969) や赤松・右代 (1995) は、オホーツク文化人の貝塚からウネナシトマヤガイの出土を報告した。一方で、本論でも温暖種を認めたA.D.9世紀頃に環オホーツク海で興ったオホーツク文化は、海水を生活圏とする海獣の狩猟を生業とした文化である (右代, 1997)。これら考古資料にもとづく知見は、知床沖における海水と温暖水の併存を推定した本研究の結果と矛盾しない。

珪藻群集から推定される宗谷暖流の強勢期に、北太平洋の水塊循環に何らかの影響が及んだ可能性については今後の重要な検討課題であろう。

まとめ

- 1) オホーツク海南西部知床沖で採取されピストンコア P1 は、合併二枚貝化石の¹⁴C年代と測定2枚のテフラの同定の結果、およそ7400年前以降をカバーし、層序的に連続した良質な試料である。
- 2) 産出する珪藻群集においては、全層準を通じて高生産指標種および海水指標種が優占し、前者が現世に向かって増加傾向にある。
- 3) 宗谷暖流を指標する温暖種が低頻度ながらパルス状に産出し、温暖水の周期的な流入があった可能性がある。そして完新世には、知床沖で温暖水と海水の併存が継続してきたことが示唆される。
- 4) 温暖種のパルス状産出は、日本海で検出された対馬暖流における脈動だけではなく、北海道における温暖性二枚貝化石の時空分布や考古資料にもとづく知見とも矛盾しない。

謝辞

この研究を行うにあたって、北海道大学大学院地球環境科学研究科の大場忠道教授には、試料と研究の機会を提供していただき、北海道開拓記念館主任学芸員の赤松守雄氏には貴重なコメントをいただいた。また、北海道大学大学院地球環境科学研究科の板木拓也氏と北海道立地下資源調査所海洋地学部の仁科健二氏には、未公表データを見せていただいた。試料の採取は、北海道大学北星丸乗組員及び乗船研究者の、そして試料初期処理は、北海道大学大学院地球環境科学研究科の石村豊穂氏を初めとする大学院生諸氏のご尽力による。以上の方々のお力添えに、心から御礼を申し上げます。

文献

- 赤松守雄 (1969) 北海道における貝塚の生物群集一特に縄文海進に関連して一。地球科学, 23: 107-117
- 赤松守雄・右代啓視 (1995) オホーツク文化遺跡の立地とその背景。「北の歴史・文化交流研究事業」研究報告: 19-44, 北海道開拓記念館
- Keigwin, L. D. (1998) Glacial-age hydrography of the far northwest Pacific Ocean. *Paleoceanography*, 13: 323-339.
- 紀藤典夫・野田隆史・南 俊隆 (1998) 対馬暖流の脈動と北海道における完新世の温暖貝化石群集の変遷, 第四紀研究, 37: 25-32
- 小泉 格 (1987) 完新世における対馬暖流の脈動. 第四紀研究, 26: 13-25
- 小泉 格 (1994) 日本列島周辺の海流と日本文化. 講座「文明と環境」第10巻「海と文明」12-22. 朝倉書店
- Kitagawa, H., Masuzawa, T., Nakamura, T. and Matsumoto, E. (1993) A batch preparation method of graphite targets with low background for AMS ^{14}C measurements. *Radio-carbon*, 35: 295-300.
- 松島義章 (1994) 後氷期の北海道東部海岸における温暖種の消長. 日本地質学会第101年学術大会(札幌)講演要旨: 74
- 中村俊夫・中井信之 (1988) 放射性炭素年代測定法の基礎一 加速器質量分析法に重点をおいて一. 地質学論集, 29, 83-106.
- Nakamura, T., Nakai, N., Sakase, T., Kimura, M., Ohishi, S., Taniguchi, M., and Yoshioka, S. (1985) Direct detection of radiocarbon using accelerator techniques and its application to age measurements. *Japanese Journal of Applied Physics*, 24: 1716 - 1723.
- Sancetta, C. (1982) Distribution of diatom species in surface sediments of the Bering and Okhotsk seas. *Micropaleontology*, 28: 221-257
- Sancetta, C. and Silvestri, S. M. (1986) Pliocene-Pleistocene evolution of the North Pacific ocean atmosphere system, interpreted from fossil diatoms. *Paleoceanography*, 1: 163-180

- Schrader, H. and Sorknes, R. (1990) Spatial and temporal variation of Peruvian coastal upwelling during the last Quaternary. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 112: 391-406
- Stuiver, M., Reimer, P.J., Bard, E., Beck, J.W., Burr, G. S., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, F.G., v.d. Plicht, J., and Spurk, M. (1998). INTERCAL98 radiocarbon age calibration 24, 000-0 cal BP. *Radiocarbon*, 40: 1041-1083.
- 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
- 嶋田智恵子・長谷川四郎 (1999), 三陸沖海底コアを用いた第四紀後期の北西太平洋縁辺域における古海況—珪藻化石群集からのアプローチ—. 第四紀研究, 38: 125-144
- 高橋孝三 (1993) プランクトン殻フラックスと海洋環境—古環境解明の手掛かり—. 月刊海洋, 25: 413-424
- Tally, L., D. (1991) An Okhotsk Sea water anomaly: implications for ventilation in the North Pacific. *Deep-Sea Research*, 38: S171-S190
- 田村 正 (1966) 浅海増殖学. 368p, 恒星社厚生閣
- 谷村好洋 (1981) 日本海の第四紀珪藻と古海況, 第四紀研究, 20: 231-242
- Tsunogai, S., Ono, T. and Watanabe, S (1993) Increase in the western North Pacific water and a hypothesis on the missing sink of anthropogenic carbon. *Journal of Oceanography*, 49: 305-315
- Tsunogai, S., Watanabe, S., Honda M. and Aramaki T. (1995) North Pacific Intermediate Water studied chiefly with radiocarbon. *Journal of Oceanography*, 51: 519-536
- 右代啓視 (1997) オホーツク文化集団の移動パターン. 倉田芳郎先生古希記念 生産と考古学: 185-194, 同成社
- 若土正暁 (1996) オホーツク海研究の展望. 月刊海洋, 315: 523-526
- Watanabe, T. and Wakatsuchi, M. (1998) Formation of 26.8-26.9 σ_{θ} water in the Kuril Basin of the Sea of Okhotsk as a possible origin of North Pacific Intermediate Water. *Journal of Geophysical Research*, 103: 2849-2865

Holocene paleoenvironment in the SW part of the Sea of Okhotsk: An interpretation based on diatom fossil analysis

SHIMADA Chieko¹⁾, MURAYAMA Masafumi ¹⁾, NAKAMURAToshio²⁾,
AOKI Kaori¹⁾ and HASEGAWA Shiro¹⁾

1) Graduate School of Environmental Earth Science, Hokkaido University, Sapporo, 060-0810

2) Dating and Materials Research Center, Nagoya University, Nagoya, 464-8602

Abstract

Diatom fossil analysis was carried out in order to reveal Holocene paleoenvironment in the SW part of the Sea of Okhotsk using the quarified piston core HS97, P1 recovered off Shiretoko Peninsula, eastern Hokkaido. It should be emphasized that there are very few investigations for diplomatic problems even though oceanographic factors can be expected to reflect global environmental change and affect human activities. As the results, we recognized that occurrence of *Thalassionema nitzschioides* and *Neodenticula seminae*, both of which indicate high productivity, increased toward the top of the core, whereas those of ice-related, allochthonous and brakish species decreased. Besides we ditected the cyclic occurrence of warm water species *Fragilariopsis doliosus* as a sensitive indicator of the Soya Warm Current in spite of low frequencies. Concequently we described the following scenario based on the obtained results: 1) There has existed sea ice concentration off Shiretoko for the last 7400 years with its intensity diminishing, 2) The cyclic occurrence of *F. doliosus* is likely to tuned to the pulses of the Tsushima Warm Current in the Sea of Japan during Holocene outlined in Koizumi (1987, 1994) , in addition to the time-space distribution of warm molluscan fossils such as *Meretrix lusoria* in some shell mounds around eastern Hokkaido.

研究発表

「完新世における南西オホーツク海の古海洋—宗谷暖流の周期的変動—」

嶋田智恵子・青木かおり・村山雅史・中村俊夫・長谷川四郎

日本古生物学会 1999 年年会(東北大学)にて一般口頭発表