

スピッツベルゲン島コングスフィヨルド海洋調査: 海洋構造の観測 (1991-1993 年)

牛尾収輝*・伊藤 一*・小野延雄*

Oceanographic Surveys in the Kongsfjorden, Spitsbergen: Observations of the Water Structure in 1991-1993

Shuki USHIO*, Hajime ITO* and Nobuo ONO*

Abstract: Oceanographic surveys were carried out five times in the Kongsfjorden, Spitsbergen during 1991-1993. This report describes an outline of *in situ* observations of the water structure, temperature and salinity profiles, in the fjord. Based on the preliminary results, it is suggested that the surface layer is influenced by the fresh water inflow from melting of the surrounding snow pack or glaciers, and that the deep water mass is gradually changed in quality by the dense water intrusion from the open ocean, Fram Strait.

要旨: 1991年から1993年の間、5回にわたってスピッツベルゲン島コングスフィヨルドの海洋調査を実施した。その内、海洋構造を把握するために行った水温・塩分分布観測の概要について報告する。観測結果より、周辺陸域からの融雪水の流入や外洋（フラム海峡）起源の高密度水の滞留が海洋構造の特徴形成に寄与していることが示唆された。

1. はじめに

北極海は北大西洋と、グリーンランド北東岸—スピッツベルゲン島の間で、幅が約 600 km のフラム海峡で結ばれている。フラム海峡の東部では、西スピッツベルゲン海流によって、高温・高塩分水が北大西洋から北上している。一方、西部では、北極海からの低温・低塩分水が東グリーンランド海流として南下している。また、ここは北極海盆の海水が中低緯度海域へ流出する主要な海域でもある。このように南北間の熱・物質交換を担っているフラム海峡は、高密度の深層水の形成域とされている北大西洋とともに、海洋学研究において注目されてきた。既に、北大西洋の海洋構造が顕著な経年変化を示していることが報告されており（例えば、DICKSON *et al.*, 1988）、特に極域への熱輸送と深層水の形成過程が地球規模の気候変動現象と深く関連するといわれている。そこで気候と海洋環境変動の関連解明を重要課題の一つとして、北極圏諸国を中心にフラム海峡の海洋観測デー

*国立極地研究所, National Institute of Polar Research, 9-10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.

タが蓄積され、学際的研究が進められつつあるが、未解明の現象は多く残されている。

国立極地研究所（以下、極地研）は国際共同研究「北極圏地球環境共同研究」の一環として、北極圏の自然環境形成に果たす海洋過程の役割解明を課題とする研究を1991年に開始した。その中でスピッツベルゲン島ニーオルスン（Ny-Ålesund）を拠点として、コングスフィヨルド（Kongsfjorden）の海洋調査を1991年より実施している。この調査の主要な目的は、外洋のフラム海峡とフィヨルド間の海水交換やフィヨルドに流入する氷河の融解水と海洋構造の関係を探ることにある。本報告は多岐にわたる調査項目の内、海洋構造の特徴を把握するための基本情報である、水温および塩分分布の観測について概要を

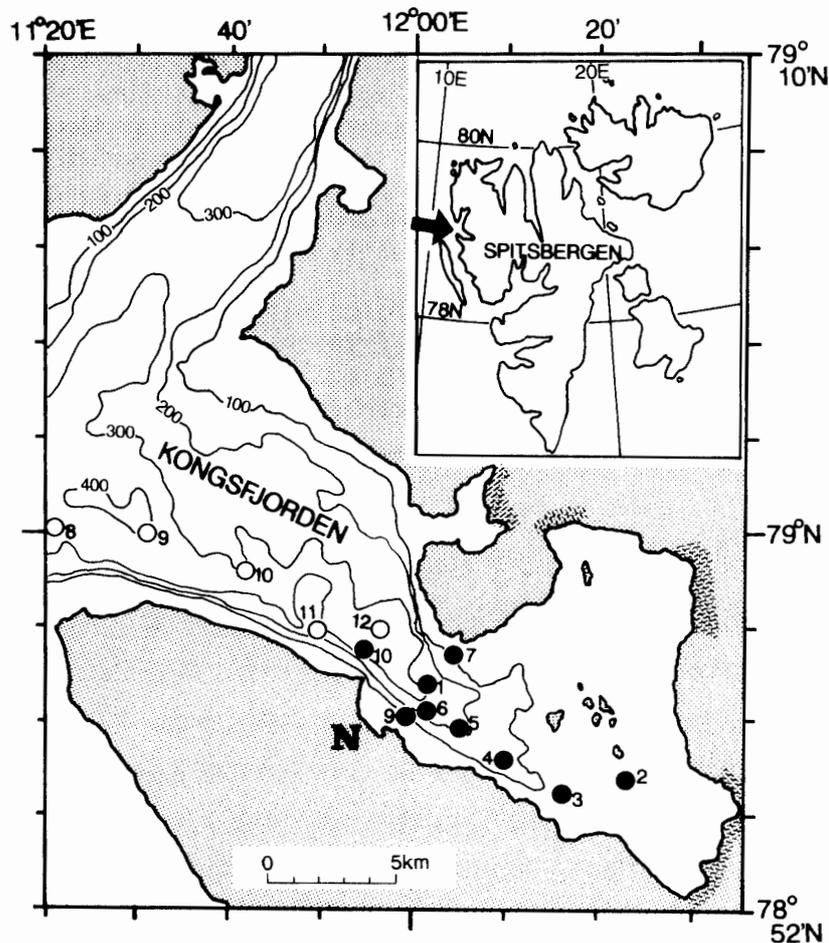


図1 コングスフィヨルドの観測海域

●: 1993年6月のCTD観測点, ○: 1992年9月のXBT観測点, N: 極地研ニーオルスン観測基地。等深線の数字はm単位。ハッチ部分は氷河末端を示す。

Fig. 1. Location map of the Kongsfjorden, Spitsbergen. Closed circles indicate the CTD stations obtained during June 1993, open circles the XBT stations in September 1992. The letter N indicates the Ny-Ålesund observation base of NIPR. The depth contours are in meters. Hatched areas along the shoreline show glacier terminals.

記したものである。

2. 観測海域

調査したコングスフィヨルドは、スピッツベルゲン島の北西部に位置する。観測海域を図1に示す。フィヨルド南岸のほぼ中央の陸上には、ニーオルスン国際観測基地 (78° 55.5' N, 11° 56.0' E) があり、極地研も 1991 年に観測基地を開設した。長さ約 25 km, 幅約 10

表 1 CTD 観測点一覧 (水面から近海底まで深度 0.5 m 間隔の水温, 塩分データ取得)
Table 1. List of CTD observation stations (temperature and salinity data down to near the bottom at 0.5-m depth intervals).

1991 年実施

観測点	緯度 (N)	経度 (E)	水深 (m)	月・日
A0	78° 59.2'	11° 58.0'	272.5	9. 10
A1	78° 59.9'	11° 59.3'	51.0	9. 12
A2	79° 00.2'	12° 03.2'	18.0	9. 12
A3	78° 59.6'	11° 59.1'	128.5	9. 12
A4	78° 58.7'	11° 57.8'	262.0	9. 12
A5	78° 56.6'	11° 56.8'	176.0	9. 12
A6	78° 56.5'	11° 56.8'	118.0	9. 12
A7	78° 56.4'	11° 56.8'	50.0	9. 12
M1	78° 56.0'	12° 10.3'	113.0	9. 13
M2	78° 55.9'	12° 05.6'	217.0	9. 13
M3	78° 56.5'	12° 01.2'	300.0	9. 13
N1	78° 56.8'	12° 01.1'	301.0	9. 13
T1	78° 57.8'	12° 02.7'	44.5	9. 22
T2	78° 57.7'	12° 01.8'	99.5	9. 22
T3	78° 57.6'	12° 01.3'	270.0	9. 22
T4	78° 57.4'	11° 59.7'	337.5	9. 22
T5	78° 57.0'	11° 55.6'	203.0	9. 22
T6	78° 56.9'	11° 55.1'	105.0	9. 22
T7	78° 56.8'	11° 54.6'	66.0	9. 22

1992 年実施

観測点	緯度 (N)	経度 (E)	水深 (m)	月・日
1	78° 56.1'	12° 01.9'	268.0	6. 23
2	78° 53.4'	12° 22.9'	44.0	6. 23
3	78° 54.4'	12° 16.3'	60.5	6. 23
4	78° 55.1'	12° 10.0'	97.5	6. 23
5	78° 55.7'	12° 04.9'	165.0	6. 23
6	78° 56.6'	11° 59.0'	302.0	6. 23
7	78° 56.7'	12° 04.6'	112.5	6. 24
8*	78° 56.0'	12° 02.5'	267.0	6. 24
9	78° 55.5'	12° 00.2'	117.0	6. 24
10	78° 57.3'	11° 54.7'	354.5	6. 24

* 観測点 1 とほぼ同一地点

表1 (つづき)

1993年実施

Table 1. (Continued)

観測点	緯度 (N)	経度 (E)	水深 (m)	月・日
1	78° 56.7'	12° 02.0'	290.0	5. 29, 6. 3, 6. 7, 6. 8, 6. 14, 6. 15, 6. 16, 6. 17, 6. 18
2	78° 54.8'	12° 23.1'	24.0	5. 29
3	78° 54.4'	12° 16.4'	76.0	5. 31, 6. 7, 6. 14
4	78° 55.1'	12° 10.1'	139.0	5. 31, 6. 7, 6. 14, 6. 18
5	78° 55.7'	12° 05.3'	215.0	5. 31, 6. 7, 6. 14, 6. 18
6	78° 56.1'	12° 01.4'	301.0	5. 31, 6. 7, 6. 14
7	78° 57.4'	12° 04.7'	100.0	5. 29, 6. 7, 6. 14
9	78° 56.1'	11° 59.6'	91.0	5. 29, 6. 7, 6. 14
10	78° 57.4'	11° 55.0'	370.0	5. 31, 6. 7, 6. 14, 6. 18

1993年実施 (定期船 ORIGO による)

観測点	緯度 (N)	経度 (E)	水深 (m)	月・日
OR32	78° 55.9'	11° 56.6'	10.0	7. 24
OR33	78° 55.8'	12° 26.4'	46.0	7. 24
OR35	79° 01.0'	12° 04.5'	28.0	7. 25
OR36	79° 00.9'	11° 26.0'	350.0	7. 25

表2 XBT 観測点一覧 (水面から近海底まで深度 1 m 間隔の水温データ取得)

Table 2. List of XBT observation stations (temperature data down to near the bottom at 1-m depth intervals).

1992年実施 (観測船 LANCE による)

観測点	緯度 (N)	経度 (E)	水深 (m)	月・日
8	79° 00.1'	11° 20.4'	337	9. 1
9	79° 00.0'	11° 30.4'	361	9. 1
10	78° 59.0'	11° 40.2'	293	9. 1
11	78° 57.9'	11° 49.9'	330	9. 1
12	78° 58.0'	11° 56.3'	308	9. 1

1993年実施 (定期船 ORIGO および POLARSTAR による)

観測点	緯度 (N)	経度 (E)	水深 (m)	月・日
OR7164	79° 01.1'	11° 18.7'	300	7. 16
PS8080	78° 56.0'	12° 01.9'	225	8. 8
PS8081	78° 55.5'	12° 05.8'	110	8. 8
PS8084	78° 54.0'	12° 16.4'	40	8. 8
PS8085	78° 53.7'	12° 22.3'	35	8. 8
PS8086	78° 53.4'	12° 26.8'	90	8. 8
PS8087	78° 57.1'	11° 55.2'	250	8. 8
PS8088	78° 58.1'	11° 48.0'	270	8. 8
PS8089	78° 59.1'	11° 41.6'	300	8. 8
PS808a	79° 00.2'	11° 33.2'	190	8. 8
PS808b	79° 01.1'	11° 27.4'	300	8. 8
PS808c	79° 02.2'	11° 20.6'	300	8. 8

km のフィヨルドは、中央部の半島沖で水深 350 m 以上を示し、西側でフラム海峡とつながっている。島が点在する東部は、水深 100 m 以下である。フィヨルドでは3つの氷河の末端が海水面に達しており、水面には多数の氷山片が浮遊している。また高緯度に位置しながらも、このフィヨルドは冬季でも東部を除いて結氷しないことが多い。なお、ニーオルスンの平均気温は最寒月（2月）で約 -15°C 、最暖月（7月）で約 $+5^{\circ}\text{C}$ 、年平均降水量は約 370 mm である。

3. 観測概要

野外観測プラットフォームとしては主に船外機付き小型ボートを使用した。メモリー型 CTD (conductivity-temperature-depth recorder, アレック電子社製 AST-1000M) を用いて水温および塩分の鉛直分布を測定した。CTD のセンサーはボートに固定した小型ウィンチ（深海フィッシング用電動リール、ミヤマエ社製 3500E）によって昇降させた。水温・塩分データはセンサーが水中を降下する時のみ、深度 0.5 m 間隔でセンサー本体の IC メモリーに逐次取り込まれる。センサーが近海底に達してから、ウィンチで巻き上げ、船上に揚収した。センサー本体に収録されたデータをプリンターユニット（アレック電子社製 P-64K）の IC メモリーに転送した後、次の観測点に移動した。下船後、プリンターユニットの IC メモリーから全観測点のデータを一括してフロッピーディスクに転送し、パーソナルコンピュータによるデータ処理を行った。

観測点の位置は実施年によって若干異なるが、いずれの年もフィヨルドの縦断（北西-南東）および横断（北東-南西）方向に測線を1本ずつ設定し、1-3 km 間隔で観測点を決めた。1993年実施のCTD観測点の位置を図1に示す。観測点の位置計測にはGPS装置（global positioning system, 古野電気社製 GP-70）を用いた。また、各観測点の水深を魚群探知機（古野電気社製 FCV-271）で測定した。

このようなCTD観測を1991年9月10日-22日、1992年6月23日-24日、1993年5月29日-6月18日の計3回行った。1992年9月1日にはフィヨルド西部にて（図1）、ノルウェー極地研究所の観測船‘LANCE’からXBT（expendable bathythermograph, 鶴見精機社製RSコンバータMK-30システム）を用いて水温の鉛直分布を観測した。同年には、外洋や他のフィヨルド環境と比較するためのXBT観測を8月22日-30日にフラム海峡およびスピッツベルゲン島 Isfjorden ($78^{\circ}10' \text{N}$, 14°E 付近)で行っている（USHIO *et al.*, 1994）。また、1993年7月-8月には沿岸定期船‘ORIGO’と‘POLARSTAR’、および‘LANCE’船上からスピッツベルゲン島周辺およびフラム海峡においてCTD・XBT観測を実施している（伊藤・吉岡, 1994; ITO *et al.*, 1994）。

4. 観測データカタログ

観測点の一覧を表1および2に示す。これらのデータは極地研北極圏環境研究センターで保管しており、各種研究の利用に供される。

5. 観測結果例

1993年6月14日に観測した、フィヨルド縦断方向の水温・塩分断面を図2に示す。100m以浅では、上層ほど高温となっている。しかし氷山片が浮遊している水域では、局所

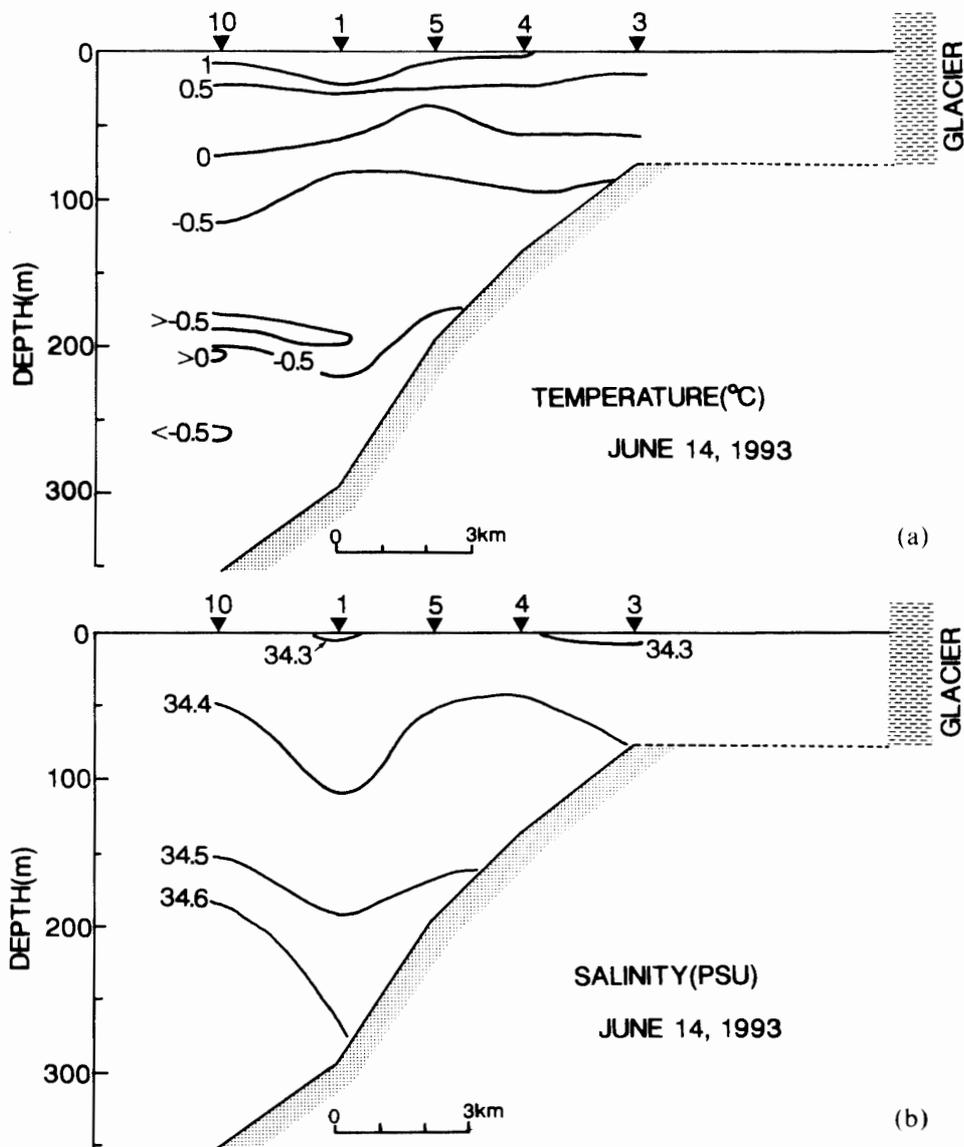


図2 1993年6月14日におけるフィヨルド縦断方向の a) 水温, b) 塩分構造。
 Fig. 2. Vertical section of (a) temperature in degrees Celsius and (b) salinity in psu obtained on June 14, 1993.

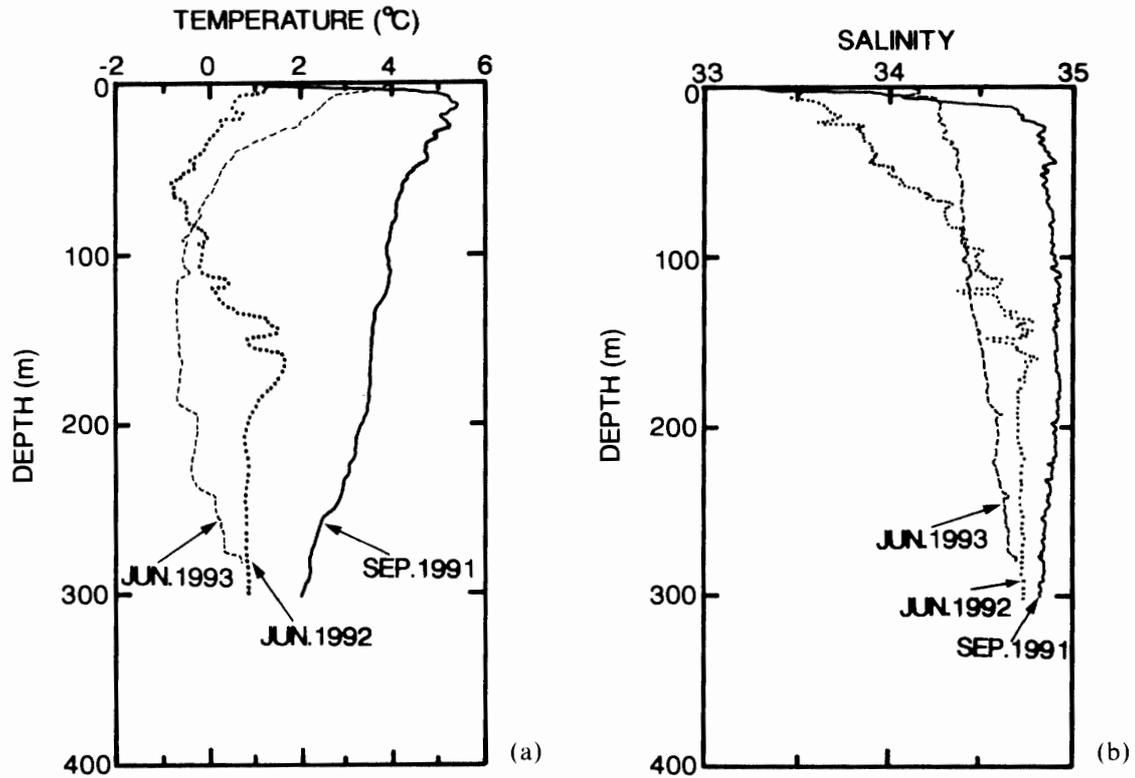


図3 ほぼ同一地点における a) 水温プロファイル, b) 塩分プロファイル
 Fig. 3. Profiles of (a) temperature, and (b) salinity in nearly the same location.

的に表面水温が0°C付近まで低下し、複雑な水温分布を示した。100-200 mの中層には、冬季の対流混合によって形成されたと考えられる低温水（-0.5°C以下）の名残が見られる。200 m以深の底層は中層よりやや高温となっている。塩分は下層ほど大きく、全層にわたり密度成層していた。また、ごく表層には冰山片の融解によると考えられる低塩分水が見られ、強い密度躍層が形成されていた。

図3には地理的にほぼ同一の観測点（1991年9月の観測点 N1: 78°56.8' N, 12°01.1' E, 1992年6月の観測点 6: 78°56.6' N, 11°59.0' E, 1993年6月の観測点 1: 78°56.7' N, 12°02.0' E）の水温および塩分プロファイルを示した。9月と6月の水温を比較すると、秋季から冬季にわたる間の冷却がほぼ全層にわたっていることがうかがえる。1991年9月の塩分分布では30 m以深がほぼ一様になっていることが特徴的である。また1992年6月には表層100 mの低塩分化が顕著である。この時のデータは周辺陸域の融雪が活発に起こっていた時期（6月23日）に得られたものである。一方、融雪初期に行った、1993年の観測（6月18日）では低塩分化の傾向は比較的弱い。従って、表層の低塩分化は陸上雪水の融解による淡水がフィヨルド内に流入した結果の現れであると考えられる。

1992年9月、フィヨルド西部のXBT観測（図1）において得られた水温断面を図4に示す。80-90 m深に水温躍層が形成され、その上下のほぼ均一層の中にはパッチ状のやや

図5は観測点1(図1参照)の水温-塩分曲線の時間変化を追ったものである。表層は日射の吸収および氷山片の融解により、次第に高温・低塩分化し、密度は減少している。一方、底層200-250mでは高温・高塩分化が進行し、密度も増加している。図2にも見られる底層のやや高温の水は、フラム海峡を流れる西スピッツベルゲン海流に起源を持つと考えられる。つまり外洋からの高温・高塩分水(高密度水)がフィヨルドの底へ流入、混合することにより、底層の水が徐々に変質を受ける。このフィヨルドの海洋構造が毎年ほぼ同様な季節変化を繰り返していると仮定すると、このような底層への高密度水の流入に伴う熱・塩輸送が、夏季の日射吸収による表層の昇温とともに、ほぼ全層にわたる高温・高塩分化(図3, 1991年9月のプロファイル)をもたらした可能性がある。

6. おわりに

スピッツベルゲン島コングスフィヨルドにおいて海洋構造の観測を行った。観測データは水温・塩分分布の形成に陸水や外洋水の流入が寄与していることを示唆する。今後は、外洋からの高密度水の流入過程、フィヨルド内の海水循環と水塊分布の関係、周辺氷河域からの淡水流入と表層水塊の変質過程の詳細などを焦点とした研究観測が必要であろう。また、この種の観測を継続し、過去のデータ(WESLAWSKI *et al.*, 1991)およびスピッツベルゲン島の他のフィヨルド域の海洋環境と比較することにより、コングスフィヨルドの環境特性やその経年変化を知る手がかりが得られる。

現地調査を実施するにあたり、工藤 栄、古澤和善、竹内由香里、吉岡美紀、本田明治、鈴木立郎、清水研助の各氏、ノルウェーのKings Bay Kull Companiのスタッフ、ならびに観測船‘LANCE’、定期船‘ORIGO’、‘POLARSTAR’の乗組員に協力頂いた。ここに記して感謝の意を表す。なお、本調査に要した費用は極地研国際共同研究および文部省科学研究費国際学術研究(03041089 研究代表者 渡辺興亜; 05044065 研究代表者 小野延雄)によった。

文 献

- DICKSON, R. R., MEINCKE, J., MALMBERG, S.-A and LEE, A. (1988): The "Great Salinity Anomaly" in the Northern North Atlantic 1968-1982. *Prog. Oceanogr.*, **20**, 103-151.
- ITO, H., ØSTERHUS, S. and USHIO, S. (1994): Temperature profiles of the Greenland Sea in the summer of 1993: Oceanographic observation on the R/V LANCE cruise. *Nankyoku Shiryô (Antarct. Rec.)*, **38**, 68-71.
- 伊藤 一・吉岡美紀 (1994): 沿岸定期船によるノルウェー・スピッツベルゲン島周辺の海洋調査。海洋調査技術, **6**(2), 57-59.
- USHIO, S., HONDA, M. and ITO, H. (1994): Temperature profiles of the Greenland Sea in the summer of 1992: Report of the oceanographic observation on the R/V LANCE cruise. *Nankyoku Shiryô (Antarct. Rec.)*, **38**, 63-67.
- WESLAWSKI, J. M., JANKOWSKI, A., KWASNIEWSKI, S., SWERPEL, S. and RYG, M. (1991): Summer hydrology and zooplankton in two Svalbard fiords. *Pol. Polar Res.*, **12**, 445-460.

(1995年5月1日受付; 1995年5月18日改訂稿受理)