

昭和基地沖に形成される沿岸ポリニアの水温構造

牛尾収輝¹・瀧澤隆俊²・大島慶一郎³・河村俊行³Thermal Structure of the Coastal Polynya off Syowa
Station, AntarcticaShuki USHIO¹, Takatoshi TAKIZAWA², Kay I. OHSIMA³
and Toshiyuki KAWAMURA³

Abstract: Open water areas between fast-ice and pack-ice zones are frequently observed off Lützow-Holm Bay, Antarctica. In such open waters, called polynyas or leads, which are exposed to the cold air, new sea ice can form with a high growth rate. So the open polynya releases large quantities of heat to the atmosphere and excludes high-salinity brine to the ocean. In 1990-1992 the 31st and 32nd Japanese Antarctic Research Expeditions conducted oceanographic observations in Lützow-Holm Bay to reveal the atmosphere-sea ice-ocean interaction. Thirty AXBT's (aircraft-deployed expendable bathythermograph) were cast to examine the thermal structure in the polynya "Ôtone Suiro". Based on the AXBT data the depths of the winter convective-mixed layer were estimated. The thickness of the mixed layer near the freezing point ($-1.9\sim-1.8^{\circ}\text{C}$) reached to 350~450 m. These mixed layers were clearly thick as compared with those in the offshore pack-ice region. Furthermore the mixed layer has a tendency to deepen in winter.

要旨: 南極リュツォ・ホルム湾の定着氷域と沖合流氷域の間に形成される開水面領域において、AXBT（航空機投下式海水水温深計）を用いた海洋観測を行った。その結果、結氷温度（ $-1.9\sim-1.8^{\circ}\text{C}$ ）でほぼ一様な水温を示す冬季対流混合層の深さが 350~450 m に達していた。これは沖合に広がる流氷域における混合層よりもかなり深い。また、冬明けには混合層がやや深くなっている傾向も捕えられた。このような水温構造は、大気・海洋に大きな影響を与える氷野内開水面の特徴と言える。

1. ま え が き

高緯度海域では海水が凍結して海水が形成される。海水は風や海水の流れによって移動し得る流氷となる。そして氷野内では結氷温度の海水が顔を出し、寒気に熱が奪われると、新たに海水生産が可能となる。このような氷野内開水面のうち、船舶の航行が可能であるほどの規模のものをポリニア（polynya, 氷湖）またはリード（lead, 水路）と呼ぶ。特に厳寒期に

¹ 国立極地研究所. National Institute of Polar Research, 9-10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.
² 海洋科学技術センター. Japan Marine Science and Technology Center, 2-15, Natsushima-cho, Yokosuka 237.
³ 北海道大学低温科学研究所. Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Kita-19, Nishi-8, Kita-ku, Sapporo 060.

現れたポリニアは大量の熱や水蒸気を大気へ放出し、また急速かつ大量な海氷生産に伴って塩をブライン（濃縮高塩分水）の姿で海洋表層へ大量に排出する。従って、ポリニア域は大気と海洋間のエネルギー・物質交換が非常に活発な海域であり、極域のみならず地球規模の気候変動に多大な影響をもたらすとして注目されている。そこで大気-海洋間相互作用の結果が反映される海洋構造の特徴を把握することにより、ポリニア域で生じる海洋現象を明らかにすることが重要な課題となる。しかし、これまでは氷状の変動が激しく、設営面で様々な制約があるポリニア域では現場観測がほとんど行われていない。

そこで第31次および第32次日本南極地域観測隊では「南極域における気候変動に関する総合研究」計画に基づき、リュツォ・ホルム湾定着氷上とその氷縁域のポリニア域において海洋・海氷の越冬観測を実施した。その中で1990年3月から1992年1月までの間、航空機観測によってポリニア域の水温データを取得したのでその結果を報告する。

2. 沿岸ポリニア「大利根水路」の存在

リュツォ・ホルム湾の定着氷域と外洋の流水域の間には、年間を通じて開水面が形成されていることが人工衛星からの観測によって明らかになっている（例えば山内・瀬古, 1992）。図1は1990年9月12日、NOAA11号が捕えた海水域の様子である。このAVHRR画像（赤

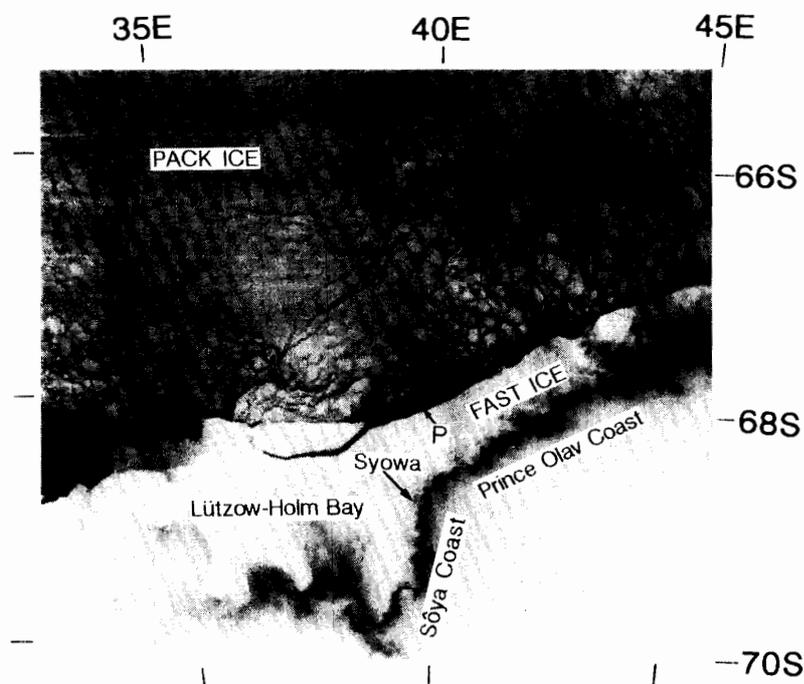


図1 NOAA衛星画像による1990年9月12日のリュツォ・ホルム湾の海氷分布。記号Pの指す黒い海域が大利根水路である（画像処理は中川清降氏による）。
 Fig. 1. NOAA AVHRR infrared image in and around Lützow-Holm Bay, September 12, 1990. The symbol 'P' indicates the "Ôtone Suiro" (Image processing by courtesy of K. NAKAGAWA).

外) では温度の高いところほど黒くなるように処理されている。従って、海洋では厚い海水より表面温度の高い開水面や薄氷域が黒く見える。沖合に張り出す流水域内に数多く見える黒い筋はリードあるいは割れ目 (fracture) で、ポリニアに比べて幅は小さい。大陸沿岸の定着氷縁には幅数 km から数十 km の黒い海域が見られる。このうちプリンスオラフ海岸沿い



図 2 航空機から見た大利根水路。左側が定着氷域、右側が流水域 (1990年9月29日, $68^{\circ}17'S$, $39^{\circ}00'E$ 付近で撮影)。

Fig. 2. Aerial photograph of the "Ótone Suiro" ($68^{\circ}17'S$, $39^{\circ}00'E$, taken on September 29, 1990).



図 3 大利根水路における新成海水の吹き流しと蓄積。風は右側 (南方) から吹いている (1990年4月12日, $68^{\circ}38'S$, $38^{\circ}41'E$ 付近で撮影)。

Fig. 3. Aerial photograph of new sea ice being produced and blown away in the open water area. The wind direction is from the right (south) ($68^{\circ}38'S$, $38^{\circ}41'E$, taken on April 12, 1990).

約 70 km の幅で発達する定着水の縁に形成されている帯状の開水面領域が通称「大利根水路」である (図中の矢印 P)。北寄りの風をもたらす低気圧の通過に伴い、この開水面の大きさは一時的に減少することがあるが、厳寒期でもほぼ同じ位置に開水面が維持されていることは一連の衛星写真でも確かめられている。図 2 に航空機から見た大利根水路の様子を示す。定着水域と流水域の間に黒い開水面と灰色の新成水の存在が認められる。さらに、南寄りで沖だしの風が強い場合には水煙 (frost smoke) を発生しながら、新しく生産されたばかりの海氷が吹き流され、風下の流水野の端に蓄積している様子が観察された (図 3)。この写真には風向に平行な幾本もの筋状に氷が集積している様子も見られる。これは MARTIN (1981) が指摘しているように強風が長時間吹き続けたことによって発生した Langmuir circulation に伴い、氷が表面の収束域に集まったために形成されたと考えられる。

3. 観測方法

沿岸ポリニア域の水温構造とその季節変化を調べるために、昭和基地沖の大利根水路において航空機からの海洋観測を行った。使用した測器は(株)鶴見精機製 AXBT で、水深 460 m までの水温プロファイルが得られる。AXBT (aircraft-deployed expendable bathythermograph) とは航空機からの投下式海水温水深計で、海水中を 1.5 m/s の速度で沈降するセンサーからの信号が海面に浮かぶ発信器を通して電波となり、機上で受信される。受信された信号は水温値に変換され、内蔵のアナログレコーダーに記録することができる。水温、深度の測定精度はそれぞれ $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 5\text{ m}$ (または測定水深の $\pm 2\%$) で、水温の測定範囲は $-2\sim +35^{\circ}\text{C}$ である。航空機はセスナ A185F 型を使用し、機体後部床のカメラ取付孔に受信アンテナ付きランチャーをはめ込んだ。またデータ受信機の電源として機体から DC28V を取った。高度 300~1000 フィートでランチャーから投下されたセンサープローブ (直径 122 mm, 長さ 562 mm の円筒型, 重量 5.3 kg) は約 15 m/s で空中を降下する。着水後約 20 秒で発信し、自動的にレコーダーのペン、チャートが動き、記録が開始される。約 5 分間のデータ受信中はプローブ投下地点の上空約 2000 フィートで旋回した。

オペレーション実施に当たっては、事前に NOAA 衛星の受信画像をもとに飛行経路及び観測の候補地点を決定した。候補地点の上空に到着してから開水面の存在を確認した上で、測定を実施した。1回のフライトでは場所を変え、十分離れた 2 点でプローブを投下した。極夜の時期を除いて、第 31 次観測隊では計 16 点 (USHIO and TAKIZAWA, 1993)、第 32 次観測隊では計 14 点の観測を実施した。なお、観測点の位置は航空機の飛行方位と飛行時間から算出した。

4. 結果と考察

図 4 に AXBT 観測点を示す。図 1 とともに見ると、大利根水路は大陸棚 (水深約 500 m 以

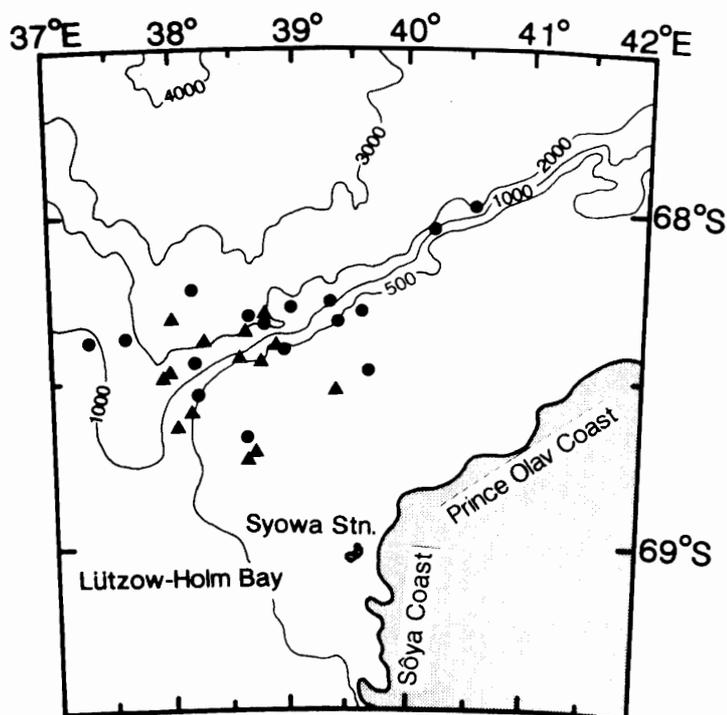


図4 AXBT観測点。丸印：1990-1991年，三角印：1991-1992年実施。海底地形の等深線の数字はメートル単位

Fig. 4. Locations of AXBT-observation stations in the open water area. Circles indicate the data obtained during 1990-1991, triangles during 1991-1992. Isobathymetric lines are in meters.

浅の部分) から外洋にかけて傾斜が急な大陸斜面上に形成されていることがわかる。AXBTによって得られた水温プロファイルの例を図5に示す。これらのプロファイルはレコーダーチャート上の記録を深度10m間隔で読み取り、改めて作図したものである。

表面に形成されている対流混合層の水温は約 $-1.9\sim-1.8^{\circ}\text{C}$ でほぼ一様であり、350~450m深に主水温躍層が形成されている。このような水温構造が年間を通じて維持されていた。1990年12月26日のプロファイルでは、表層数十mの水温がやや上昇している。これは春以降、海氷の少ない表層の海水が日射を吸収したために起こった昇温と考えられる。また、1991年4月9日のプロファイルでは70~170m層がやや高温となっている。このような水温構造は同年4月に実施したリュツォ・ホルム湾内の定着氷下($69^{\circ}16.4'S$, $38^{\circ}53.2'E$)の観測においても認められており、高温水塊が外洋から湾内に侵入してきた可能性が示唆される。しかしこの高温層は冬明けの8月10日にはすでに消滅していた。

さらに注目すべき特徴は、対流混合層の深さが秋から冬にかけて深まる傾向が現れていることである。1990年9月に400m以深まで発達した混合層が春以降浅くなり、翌年8月、9月の冬明けには再び深まっていることがわかる。その後、前年と同様、300~350m深付近までやや高温の水が現れている。この高温水は低緯度海域から南極海域に流入してきた周極深

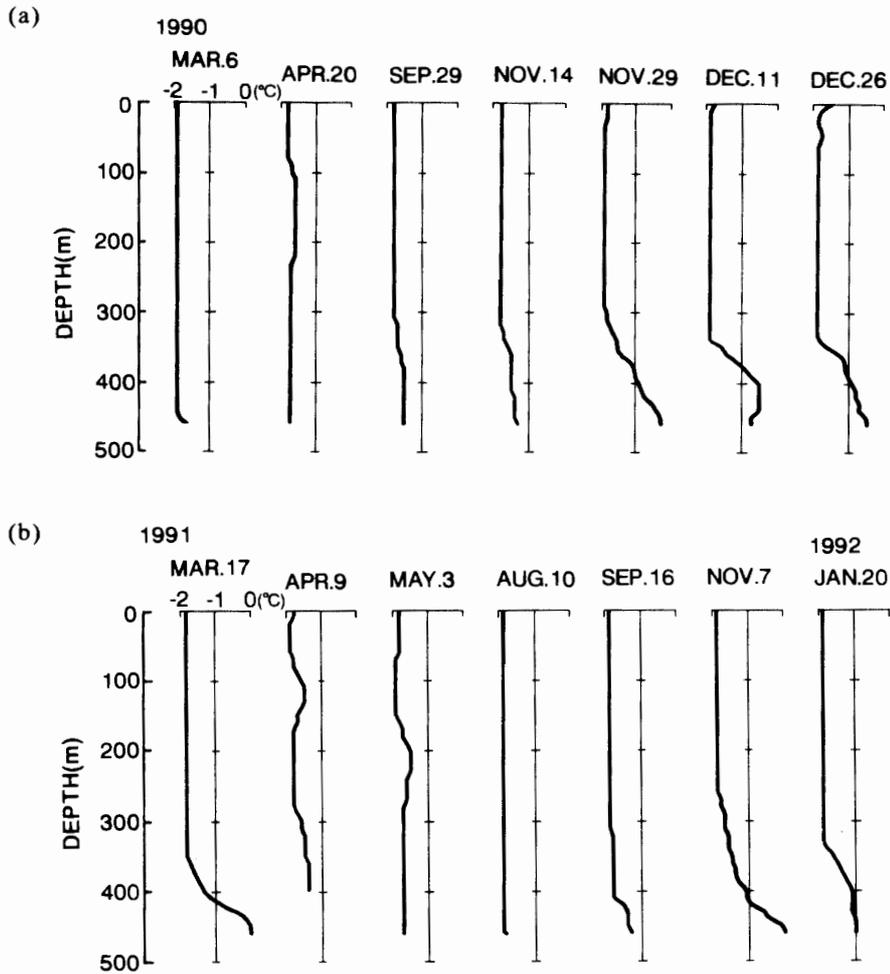


図5 大利根水路の水温プロファイル。(a) 1990年, (b) 1991-1992年。各図の上部横軸は水温を示し, 中央の値が -1°C である
 Fig. 5. Water temperature profiles in the "Otone Suiro". (a) The data obtained in 1990, (b) in 1991-1992. The central line in each profile indicates -1°C .

層水（相対的に高温・高塩分）に起源を持つ水塊であると考えられる。

大利根水路が形成される海域の水温構造を他の海域のそれと比較してみる。図6は、第32次夏隊によるXBT観測データ (NAKAMURA and NOGUCHI, 1993) をもとに描いた大利根水路及び流水域、定着氷域における子午線方向の水温の鉛直断面分布である。大利根水路の対流混合層が相対的に深くまで発達していることが明らかである。過去に行われた夏季船上観測によるデータも、塩分や溶存酸素量分布は水温と同様に大利根水路で混合層が深いことを示す。混合層が深くなる要因のひとつとして、寒気にさらされた開水面において海水が大量に生産され、それに伴う塩排出が対流混合を活発にすることが挙げられる。航空機からの目視観測によって新成海水の存在が確認されたり (図2, 3), また混合層の水温がほぼ結氷温度 ($-1.9\sim-1.8^{\circ}\text{C}$) にあることから (図5), 大利根水路は海水生産しながらも開水面が維持

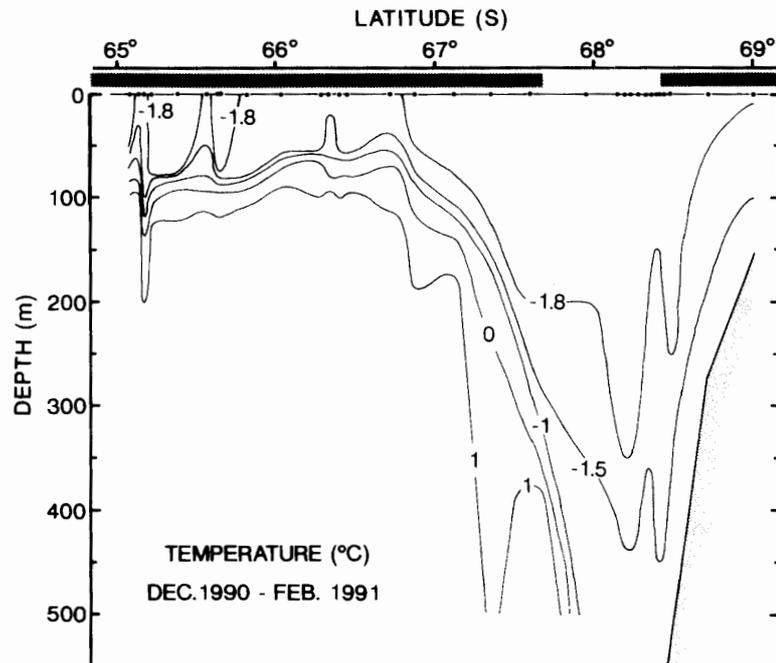


図 6 大利根水路とその周辺海域 (40°E 線付近) の水温断面図. 水面上の陰影は海水分布を示しており, 68°30'S 以南は定着氷域, 67°45'S 以北は流氷域, 両者の間が大利根水路に相当する. 1990年12月-1991年2月砕氷船「しらせ」からの XBT 観測による

Fig. 6. Temperature section along 40°E from XBT data obtained by the icebreaker SHIRASE from December 1990 to February 1991. The approximate sea-ice cover is denoted by the shaded regions along the sea surface. South of 68°30'S is the fast-ice region and north of 67°45'S is the pack-ice region. Open water "Ôtone Suiro" forms between the two regions.

されたポリニアと言え。このようなポリニア域においては, 大気への放熱量のほとんどを氷生成に伴う潜熱が占めていると考えられており, 大利根水路は GORDON and COMISO (1988) が述べている '潜熱ポリニア (latent-heat polynya)' の一例であると言える。

5. あとがき

昭和基地沖の大利根水路における海洋観測の結果, 深い対流混合層の形成・維持が認められた. このような冬季を含めて通年にわたるポリニアの現場観測は世界的に見ても例が少ないことから, 今回の観測データは貴重である. しかし依然として, 塩分や溶存酸素量に関しては通年にわたるデータは得られていない. 将来的には係留観測によって連続的なデータを取得し, 海洋観測データと気象・衛星観測データを総合的に解析することにより, 沿岸ポリニア域の物理過程を解明することが可能になるであろう.

謝 辞

海氷域における航空機観測を遂行するにあたり、第31次および第32次南極地域観測隊員に多大のご支援をいただいた。厚く感謝の意を表する。

文 献

- GORDON, A. L. and COMISO, J. C. (1988): Polynyas in the Southern Ocean. *Sci. Am.*, **258**(6), 70-77.
- MARTIN, S. (1981): Frazil ice in rivers and oceans. *Ann. Rev. Fluid Mech.*, **13**, 379-397.
- NAKAMURA, H. and NOGUCHI, K. (1993): Oceanographic data of the 32nd Japanese Antarctic Research Expedition from November 1990 to March 1991. *JARE Data Rep.*, **187** (Oceanography 14), 50 p.
- USHIO, S. and TAKIZAWA, T. (1993): Oceanographic data in Lützow-Holm Bay of Antarctic Climate Research Programme from March 1990 to January 1991 (JARE-31). *JARE Data Rep.*, **184** (Oceanography 13), 34 p.
- 山内 恭・瀬古勝基編 (1992): NOAA 衛星から見た南極一雲・氷・雪一。東京, 国立極地研究所, 91 p.

(1993年7月30日受付; 1993年10月13日改訂稿受理)