

## 南極リーセル・ラルセン半島沖のポリニアの水温構造

牛尾収輝<sup>1\*</sup>Thermal structure of the open polynya formed off  
Riiser-Larsen Peninsula, AntarcticaShuki Ushio<sup>1\*</sup>

(2006年2月16日受付; 2006年3月27日受理)

**Abstract:** Satellite images have suggested the presence of winter open water, or a polynya, off the Riiser-Larsen Peninsula (around 68.5°S, 35.0°E) in East Dronning Maud Land, Antarctica. To ascertain evidence for polynya formation and to survey thermal structures, the 41st Japanese Antarctic Research Expedition executed aircraft observations in 2000–2001. The observations have verified that the polynya appeared and sea ice formed in the cold season. In the polynya region, water temperature profiles were measured using an Airborne-XBT device. It is found that the winter convective-mixed layer which cooled to its freezing point reached the depth of about 250 to 300 m. The mixed layer was thinner than that of another polynya located over the shelf break around 68.5°S, 39.0°E.

**要旨:** 昭和基地の西北西約 200 km, 南緯 68 度 30 分, 東経 35 度 00 分周辺のリーセル・ラルセン半島沖に形成されるポリニア (海水域内の開水面または疎氷域) において, 海面状態と水温構造を把握するために, 2000 年 3 月から 2001 年 1 月までの間, 航空機による海洋観測を行った。厳寒期のポリニア域では海水生産が目視で確認された。AXBT (航空機投下式水温プロファイラー) による観測の結果, 結氷温度に達した冬季対流混合層の深さは 250–300 m であり, 昭和基地北方沖ポリニアにおける混合層の深さ (約 400 m) と比べて小さかった。

## 1. はじめに

南極海水域ではポリニアと呼ばれる, その周囲が高密接度の氷野に囲まれた開水面または疎氷域が随処に形成されている。ポリニアが厳寒期に出現すると, 膨大な熱が海洋から

---

<sup>1</sup>情報・システム研究機構国立極地研究所. National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

\*E-mail: ushio@pmg.nipr.ac.jp

大気へ放出される。この時、海洋表層が結氷条件に達している場合は、活発な海水生成に伴う塩排出によって表層の高塩分が促進される。その結果、低温の陸棚水の密度が増し、低緯度海域から流入してくる周極深層水起源の高温・高塩分水と混合して、さらに高密度化した南極底層水の形成に結びつくと考えられている。南極底層水の沈降は、世界の海洋深層循環の駆動を担い、地球規模の気候・環境形成に寄与する(例えば, Morales Maqueda *et al.*, 2004)。このようにポリニアが極域海洋において果たす役割の解明は、地球科学上の重要な研究テーマの一つとなっている。しかし、航海観測の実施が困難な厳寒期のポリニアでは現地観測データの蓄積が少ない。

昭和基地が位置するリュツォ・ホルム湾の西方、リーセル・ラルセン半島付近においてポリニアの形成が衛星画像上で見られる(例えば, 山内・瀬古, 1992)。また, Hoshiai and Chujo (1976) は、同半島東側のコウテイペンギン集団営巣地の北方沖に開水面が存在することを報告している。しかし、ポリニアの実態や成因についてはほとんどわかっていない。そこで、このポリニアの海面状態を観察し、水温分布データを取得するために、第41次南極地域観測隊において航空機による海洋観測を行った。その結果を報告する。

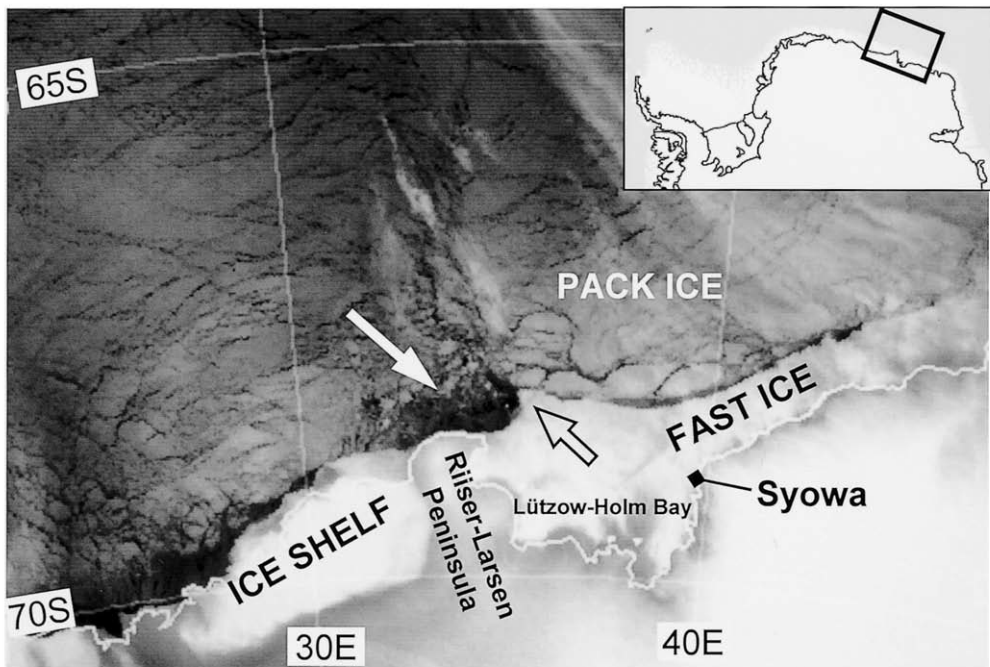


図1 NOAA/AVHRR 赤外画像によるリーセル・ラルセン半島周辺の海水状況 (1990年8月21日)。白矢印がポリニア、白抜き矢印は定着氷縁の突出部を示す。

Fig. 1. NOAA/AVHRR infrared imagery around the Riiser-Larsen Peninsula, August 21, 1990. The inset map of Antarctica indicates the imagery area. The white arrow denotes the polynya region for the present study, the black-open arrow the protrusion of landfast ice.

## 2. 観測の海域と手法

昭和基地の西北西沖 200-250 km, リーセル・ラルセン半島北端周辺においてポリニアの形成を示す衛星画像が得られている。図 1 にその一例を示す。これは衛星 NOAA/AVHRR の赤外画像で、表面温度が相対的に高い部分が黒くなるように処理されたものである。南緯 68 度 30 分, 東経 34 度周辺に黒い領域が明瞭に認められる。この黒い部分が、白く見える周囲の海域よりも高温な状態にある開水面または疎氷域, つまりポリニア域である。第 41 次隊の越冬期間中の 2000 年 3 月から 2001 年 1 月までについて, ポリニア域周辺の海水分布を図 2 に示す。ポリニアの形状や面積は, 海水の成長や融解, 氷盤の漂流によって時

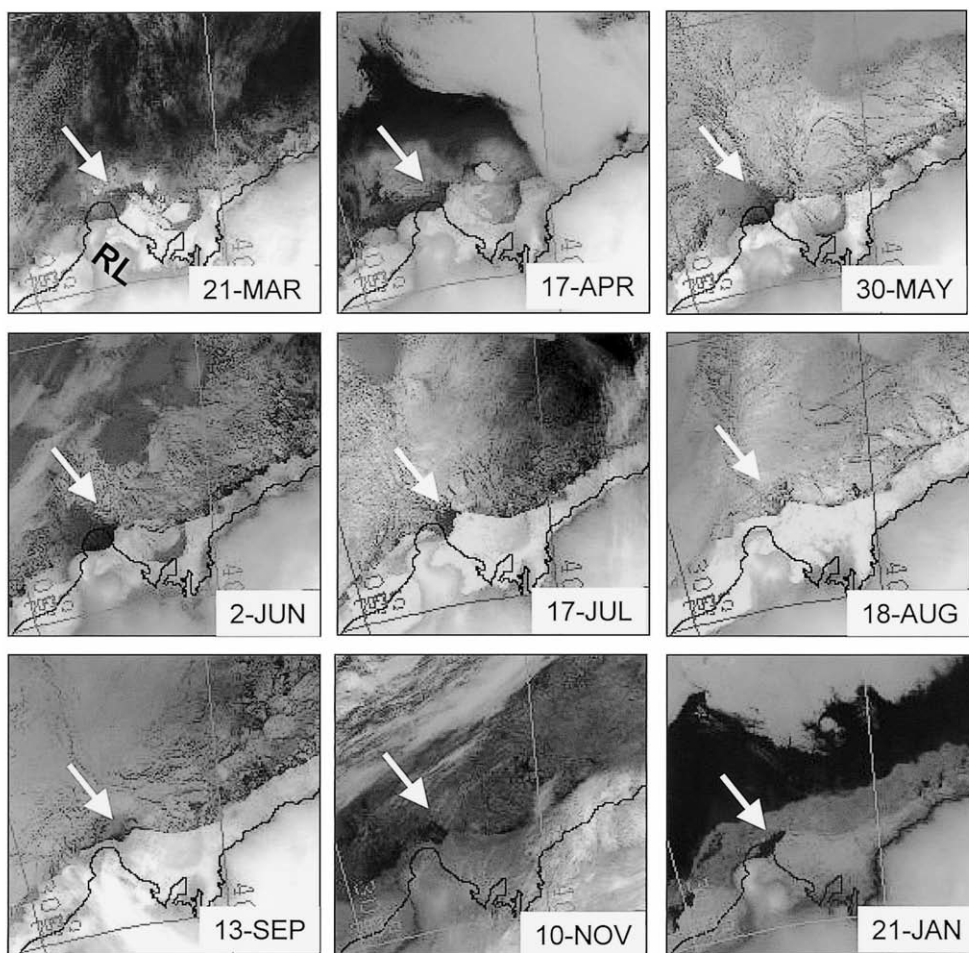


図 2 2000 年 3 月～2001 年 1 月のリーセル・ラルセン半島沖ポリニアの変化。NOAA/AVHRR 赤外画像による。白矢印がポリニア形成の位置, RL がリーセル・ラルセン半島を示す。

Fig. 2. Seasonal variation of sea ice distribution in 2000-2001 shown by NOAA/AVHRR images. White arrows and 'RL' indicate the polynya location and Riiser-Larsen Peninsula, respectively.

間的に変動しているが、ポリニアは通年にわたって同一海域に現れている。他の年についての衛星画像上でも、同様のポリニア形成が確かめられた。

このポリニア域で海氷生産が生じているかどうかを目視で確認すると共に、水溫構造の実態とその季節変化を把握するために航空機観測を行った。使用した測器は鶴見精機製 AXBT (airborne expendable bathythermograph: 航空機投下式水溫プロファイラー) で、海面から 460 m 深までの水溫鉛直プロファイルが連続的に得られる。水溫、深度の測定精度はそれぞれ  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 5\text{ m}$  である。この AXBT 観測装置は、1990-1992 年の第 31 次隊及び第 32 次隊越冬期間中に使用したもの (牛尾ら, 1993) と同一である。

衛星画像に基づいて、観測対象海域内で南緯 68 度 20 分、東経 35 度 00 分を観測定点に決め、セスナ機による航空機オペレーション実施の際の飛行目標とした。この定点はポリニア内の開水面領域の南東に相当し、昭和基地から最も近い地点である。第 41 次隊越冬期間中、計 9 回のフライトで計 21 個の水溫プロファイルデータを取得した (表 1)。各観測は同一地点で 2 本のセンサー投下によって行った。この内、3 月 21 日の観測では、2 本目のセンサー投下直後に 1 本目のセンサー信号が再び受信され、混信状態が長時間持続したため、途中で観測を取りやめた。なお、9 月と 11 月には昭和基地の北北西約 80 km の南緯 68

表 1 AXBT 観測実施一覧

データ番号に“OT”を付したものは、大利根水路における観測を示す。

Table 1. Summary of the AXBT observations.

'OT' denote data from Ōtone-suiro.

| Data No. | Date        | Time (LT)* | Latitude (S) | Longitude (E) |
|----------|-------------|------------|--------------|---------------|
| 1        | MAR/21/2000 | 12:36      | 68°29.00'    | 35°00.00'     |
| 2        | APR/18/2000 | 13:19      | 68°17.00'    | 34°43.00'     |
| 3        | APR/18/2000 | 13:28      | 68°16.70'    | 34°47.90'     |
| 4        | AUG/16/2000 | 12:37      | 68°27.80'    | 34°51.40'     |
| 5        | AUG/16/2000 | 12:54      | 68°27.80'    | 34°56.90'     |
| 6        | SEP/11/2000 | 11:42      | 68°27.60'    | 34°56.96'     |
| 7        | SEP/11/2000 | 11:50      | 68°26.14'    | 34°55.57'     |
| 8 (OT)   | SEP/11/2000 | 13:10      | 68°14.11'    | 39°00.98'     |
| 9 (OT)   | SEP/11/2000 | 13:21      | 68°14.11'    | 39°00.98'     |
| 10       | SEP/22/2000 | 11:08      | 68°26.74'    | 34°59.14'     |
| 11       | SEP/22/2000 | 11:32      | 68°26.76'    | 34°58.67'     |
| 12       | NOV/09/2000 | 14:54      | 68°27.06'    | 35°04.01'     |
| 13       | NOV/09/2000 | 15:21      | 68°27.06'    | 35°04.01'     |
| 14 (OT)  | NOV/09/2000 | 16:24      | 68°16.84'    | 39°03.41'     |
| 15 (OT)  | NOV/09/2000 | 16:38      | 68°16.84'    | 39°03.41'     |
| 16       | DEC/06/2000 | 11:03      | 68°27.25'    | 35°04.15'     |
| 17       | DEC/06/2000 | 11:30      | 68°27.25'    | 35°04.15'     |
| 18       | DEC/18/2000 | 10:41      | 68°27.66'    | 34°57.50'     |
| 19       | DEC/18/2000 | 10:52      | 68°27.66'    | 34°57.50'     |
| 20       | JAN/19/2001 | 11:07      | 68°27.70'    | 35°04.10'     |
| 21       | JAN/19/2001 | 11:19      | 68°27.70'    | 35°04.10'     |

(\* LT=UT+3hrs)



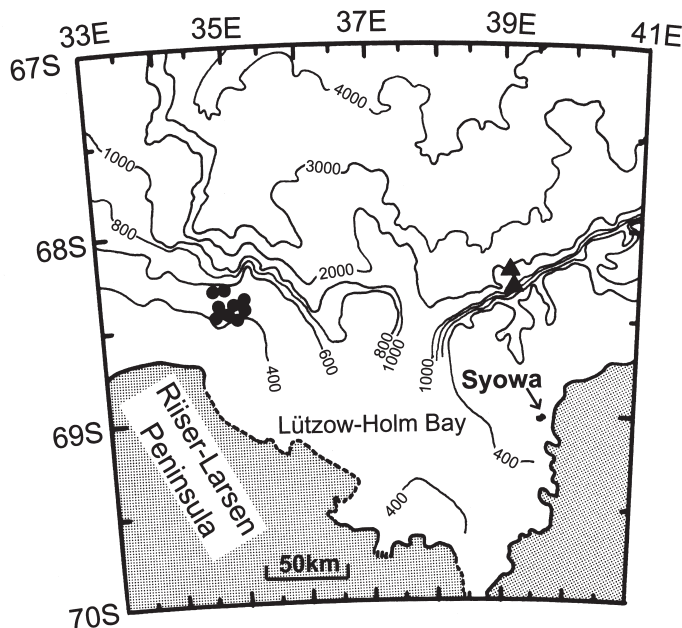


図3 AXBTによる水温プロファイル測定地点。●: リーセル・ラルセン半島沖ポリニア, ▲: 大利根水路。海底地形はMoriwaki and Yoshida (2002)に基づく。

Fig. 3. Locations of AXBT observation stations in the polynya. Circles indicate the locations of the Riiser-Larsen polynya, triangles the Ôtone-polynya. The bathymetric chart was drawn by referring to Moriwaki and Yoshida (2002).

度15分, 東経39度00分付近に形成されるポリニア(通称, 大利根水路)において同様の観測を各1回行い, リーセル・ラルセン半島沖ポリニアの特徴と比較した。

水温プロファイルの計測地点を図3に示す。図1, 図2の衛星画像と海底地形図(Moriwaki and Yoshida, 2002に基づく)とを照らし合わせると, ポリニアの形成海域は大陸棚の縁付近に位置し, 水深は400-600mと推定される。なお, AXBTの水温センサープローブにつながるデータ伝送用導線長は460mであるため, 観測地点の水深が460m以浅の場合は, 導線が伸展し終わる前にセンサーが着底する可能性がある。記録データ上に不連続な箇所が明瞭に現れた場合はセンサーが着底したと見なし, その深さまでを有効なデータとした。

### 3. 結果と考察

#### 3.1. ポリニア域の海面状態

航空機から撮影したポリニア域の写真を図4に例示する。すべての航空機観測において, この海域が開水面または薄氷で覆われた状態となっていることを目視で確認した。特に8月及び9月の厳寒期には, 新成氷が風で吹き流されている様子が観察された。このような

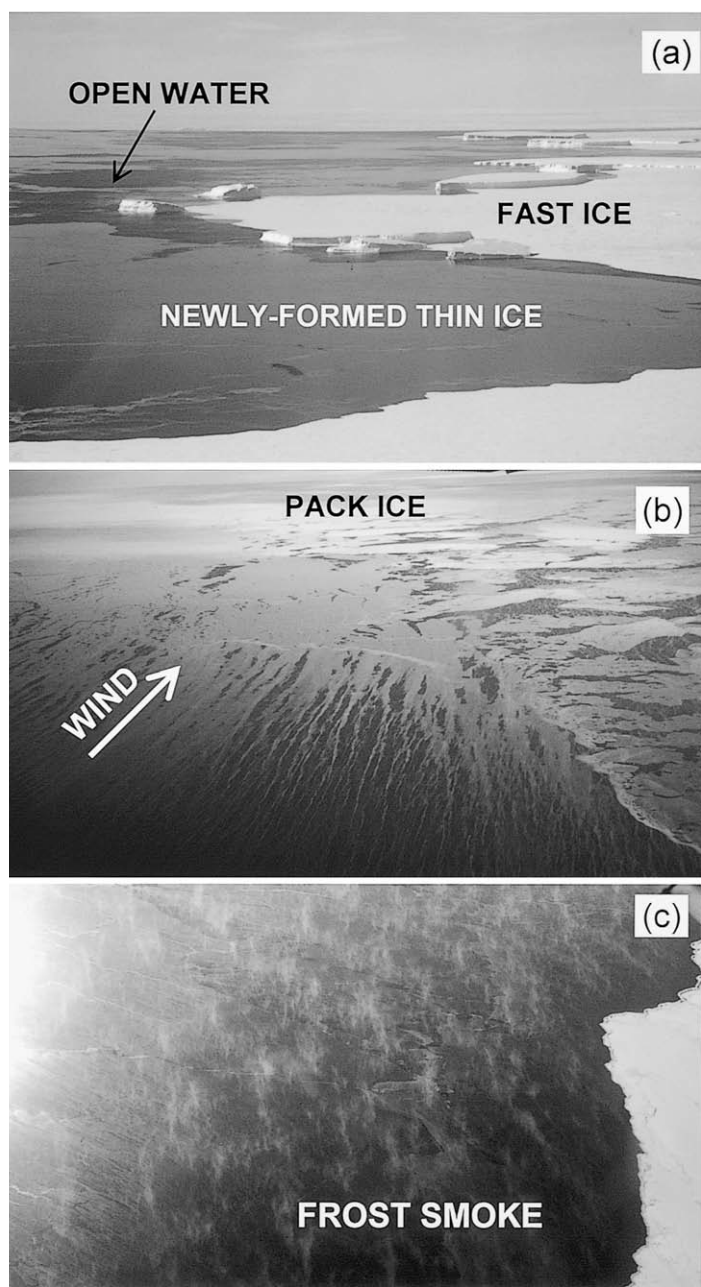


図4 航空機から撮影したポリニア域。(a) 形成が確認されたポリニア(2000年11月9日);(b) 沖出しの風で新成氷が吹き流され、筋状に集積している様子(2000年9月11日);(c) 開水面から発生する氷煙の様子(2000年9月22日)。

Fig. 4. Oblique aerial photographs of the polynya. (a) Appearance of open water and thin ice covering the polynya (November 9, 2000); (b) new sea ice being produced and swept away in the open polynya. The wind direction is from up (south) to down (north) (September 11, 2000); (c) frost smoke rising from the open water area (September 22, 2000).

新成氷が筋状に集積する現象は、1990年に大利根水路で観察された現象(牛尾ら, 1993)と同じく、Langmuir circulationによって生じたものと考えられている(Martin, 1981)。また、開水面からは氷煙(frost smoke)の立ち上る様子も観察され、ポリニア域における海面と大気との間の大きい温度差の下で、活発な放熱が生じていることを示唆している。これらの観察結果から、このポリニアは海水生産しつつも、風または海水流の影響で海水が輸送されるために開水面または疎水域の状態を維持した「潜熱型ポリニア」と言える(Gordon and Comiso, 1988; Morales Maqueda *et al.*, 2004)。

### 3.2. 水温プロファイルの特徴

海水生産の事実が目視で確認されたことは、海洋表層が結氷条件を満たしていることを裏付けている。海面状況や海水生産過程に関連する表層の対流混合の発達の度合い、つまり混合層の深さとその季節変化の特徴について AXBT データをもとに述べる。水温プロファイルの例を図5に示す。3月と4月の秋季は、表層の冷却が進行し、均一化に向かいながら徐々に深まっている。これは大気冷却と海水生成による塩排出の結果、対流混合が活発に生じたためであろう。8月と9月の厳寒期には、対流混合層は水温 $-1.9$ – $-1.8^{\circ}\text{C}$ でほぼ均一となり、250–300 m 深にまで発達している。この海域の表面混合層の塩分が、過去の観測値である 34.0–34.3 (Fukase, 1961; Higano and Saruwatari, 1970; Iwanami and Tohju, 1987)であったと仮定すると、混合層はほぼ結氷温度に達している。このことは目視による海水生産の事実とも符合する。このように、ポリニア域の海洋混合層の深さは定着水域や沖合流氷域のそれらと比べて明らかに大きいことが特徴である(Ushio *et al.*, 1999)。冬明けの11月と12月には、混合層は水温 $-1.7$ – $-1.6^{\circ}\text{C}$ となり、厳寒期の状態よりやや昇温している。混合層の深さは約 200 m で、9月の時点よりも浅くなり、水温躍層の下にある高温の深層水の特徴が現れている。11月に見られた 10–20 m 層の海面の昇温は日射の吸収によるものであろう。このような夏季の昇温は1月の時点でさらに顕著となっている。

9月と11月には、比較観測として大利根水路でもデータを取得した。リーセル・ラルセン半島沖ポリニア(以下、本節では RL と記す)と大利根水路(同, OT)の水温構造を比較したものを図6に示す。9月の対流混合層の深さは、RL, OT 共に約 300 m に達している。水温躍層の下にある深層水の水温は RL の方が低く、 $0^{\circ}\text{C}$  未満である。11月には、前述したように RL の混合層の深さは約 200 m に減少しているが、OT においては9月よりも混合層が深まり、約 400 m になっている。また、この2ヵ月間で OT の混合層全体の水温が $0.2$ – $0.3^{\circ}\text{C}$  上昇していることから、深層水上部の対流混合層への取り込み(entainment)が生じた結果であると解釈できる(Ushio *et al.*, 1999)。さらに、RL の形成海域は OT のそれよりも水深が浅いが、プライド湾ポリニアのように海底(水深 200–250 m)に至るまで対流混合が発達していること(Ushio *et al.*, 1999)とは異なった海洋構造であることもわかった。

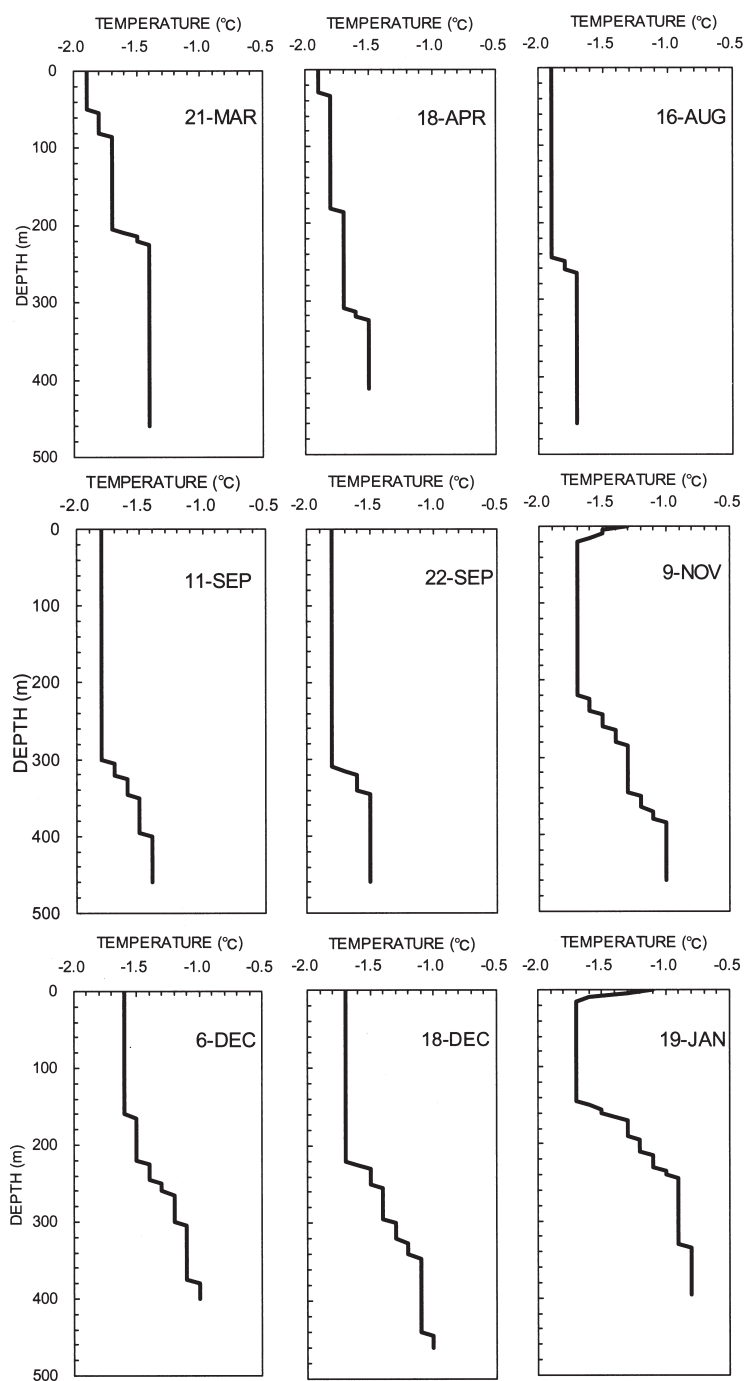


図5 ポリニア域の水溫プロファイル例.

Fig. 5. Example of water temperature profiles in the Riiser-Larsen polynya.



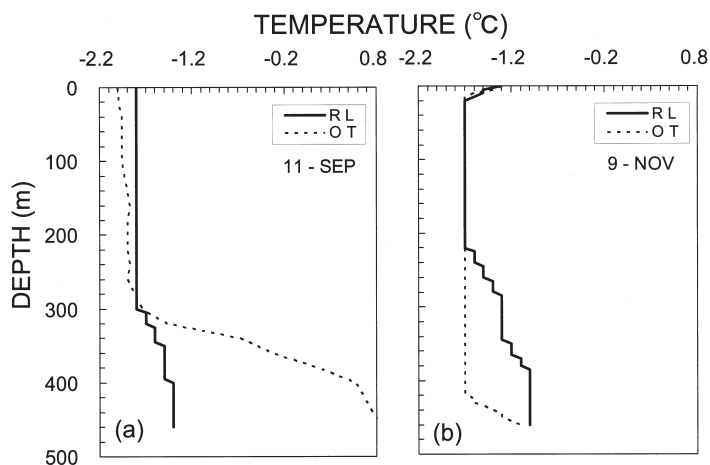


図6 リーセル・ラルセン半島沖ポリニア (実線: RL) と大利根水路 (破線: OT) との水温プロファイルの比較. (a) 9月11日; (b) 11月9日.

Fig. 6. Comparison of temperature profiles between the Riiser-Larsen polynya (solid line: RL) and Ôtone-polynya (broken line: OT). (a) September 11; (b) November 9.

このような水温構造の相違の要因として、気象条件や海水生産の度合い、海洋構造・循環場に関する違いが上げられる。しかし、考察を行う上で既存データでは不十分であり、今後の現地観測の実施が期待される。

### 3.3. ポリニアの成因

リーセル・ラルセン半島沖のポリニアの成因として以下の可能性がある。衛星画像上では、ポリニア域東端の東経 35 度付近にリュツォ・ホルム湾定着氷縁の一部が三角状に北へ突き出していることがわかる (図 1)。このような定着氷縁が北に張出す度合いや形状は年によって異なるが、ほぼ毎年形成されている (例えば、山内・瀬古, 1992)。このように突き出た氷縁の存在が、東方から漂流してくる氷盤をせき止めることがポリニア形成の一因と考えられている (Ishikawa *et al.*, 1996)。

さらに、ポリニアの形成海域はグンネルスリッジ南部の東斜面上に相当する。ここでは陸棚斜面に沿う沿岸流が、その流向を北方に転じる海域である (宮川・大島, 1997)。従って、リーセル・ラルセン半島沖の海域は、西向き沿岸流の流路については突き出した定着氷縁の下流側に位置し、海水の漂流に関しては発散する傾向にある。その結果、海水が半島近傍に集積する傾向は弱められ、ポリニアの形成・維持をもたらしたと解釈できる。

なお、グンネルスリッジ周辺の海洋表層の流れについては、その一部がリッジを乗り越えてさらに西へ流れることが、海水の移動ベクトルから示されている (山内・瀬古, 1992)。流れの 3 次元的な構造や塩分を含めた海水の化学成分の特徴を把握することが、ポリニア

成因のさらなる考察に有益であろう。

#### 4. 終わりに

リーセル・ラルセン半島沖に形成されるポリニアの水溫観測結果を示した。このポリニア域では厳寒期に海水が生産され、対流混合層が冬季に深まる傾向を捉えた。ポリニアの成因として、沿岸定着氷縁の形状や海底地形に依存した海水の流れ、海水の漂流の寄与が上げられる。南極ポリニア域の水溫構造の季節変化を捉えたデータは未だ少ない。今後、定量的な解釈に発展させるために、衛星データを活用した効果的な現地観測の展開によってポリニア域の実測データ蓄積を図ることが不可欠である。

#### 謝 辞

昭和基地における航空機観測を遂行するに当たり、第41次南極地域観測越冬隊員に多大のご支援をいただいた。衛星画像の利用に際しては、国立極地研究所極域情報基盤センターの協力を得た。また、査読者から有益なコメントをいただいた。ここに記して感謝する。

#### 文 献

- Fukase, S. (1961): Oceanographical data of the fourth Japanese Antarctic Research Expedition. *Nankyoku Shiryô* (Antarct. Rec.), **13**, 17-28.
- Gordon, A.L. and Comiso, J.C. (1988): Polynyas in the Southern Ocean. *Sci. Am.*, **258** (6), 70-77.
- Higano, R. and Saruwatari, R. (1970): Oceanographic data of the 10th Japanese Antarctic Research Expedition 1968-1969. *Nankyoku Shiryô* (Antarct. Rec.), **37**, 33-64.
- Hoshiai, T. and Chujo, K. (1976): A new emperor penguin rookery of Riiser-Larsen Peninsula, East Antarctica. *Nankyoku Shiryô* (Antarct. Rec.), **57**, 73-79.
- Ishikawa, T., Ukita, J., Ohshima, K.I., Wakatsuchi, M., Yamanouchi, T. and Ono, N. (1996): Coastal polynyas off East Queen Maud Land observed from NOAA AVHRR data. *J. Oceanogr.*, **52**, 389-398.
- Iwanami, K. and Tohju, H. (1987): Oceanographic data of the 26th Japanese Antarctic Research Expedition from November 1984 to April 1985. *JARE Data Rep.*, **126** (Oceanography 7), 59 p.
- Martin, S. (1981): Frazil ice in rivers and oceans. *Annu. Rev. Fluid Mech.*, **13**, 379-397.
- 宮川卓也・大島慶一郎 (1997): 南極クイーンモードランド沖の海水の漂流特性. *南極資料*, **41**, 347-354.
- Morales Maqueda, M.A., Willmott, A.J. and Biggs, N.R.T. (2004): Polynya dynamics: A review of observations and modeling. *Rev. Geophys.*, **42**, RG1004, doi: 10.1029/2002RG000116.
- Moriwaki, K. and Yoshida, Y. (2002): Bathymetric chart of Lützow-Holmbukta, 1/250000. *Spec. Map Ser. Natl. Inst. Polar Res.*, No. 4b. Tokyo, Natl. Inst. Polar Res.
- 牛尾収輝・瀧澤隆俊・大島慶一郎・河村俊行 (1993): 昭和基地沖に形成される沿岸ポリニアの水溫構造. *南極資料*, **37**, 252-259.
- Ushio, S., Takizawa, T., Ohshima, K.I. and Kawamura, T. (1999): Ice production and deep-water entrainment in shelf break polynya off Enderby Land, Antarctica. *J. Geophys. Res.*, **104**, 29771-29780.
- 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.