

コスモノート・ポリニヤ水域の水温構造と SSM/I 画像から見たポリニヤの特徴

滝沢隆俊¹・大島慶一郎²・牛尾収輝³・河村俊行²・榎本浩之⁴

Temperature Structure and SSM/I Images of the Cosmonaut Polynya Region

Takatoshi TAKIZAWA¹, Kay I. OHSHIMA², Shuki USHIO³,
Toshiyuki KAWAMURA² and Hiroyuki ENOMOTO⁴

Abstract: Water temperature structure in the Cosmonaut Sea between 60–68°S, 35–65°E in 1987–1992 shows that cold water with temperature below -1.5°C was present in the coastal region. The Circumpolar Deep Water with temperature higher than 1.0°C was found below about 150 m in depth from northeast to northwest of the cold water area. The SSM/I images in 1987–1991 indicate that polynya activity was intensive in 1988, and a typical Cosmonaut Polynya was observed; due to weak activity, small and sporadic Cosmonaut Polynyas formed in 1987, 1989, 1990 and 1991. A coastal polynya frequently was observed in every year at about 66°S, 50–60°E. A train of polynyas to the east of the Cosmonaut Polynya often appeared. It is considered that the Atmospheric Convergence Line and Antarctic Divergence Region are responsible for polynya activity in the Cosmonaut Sea.

要旨: コスモノート海 (60–68°S, 35–65°E の水域) において, コスモノート・ポリニヤの特徴を明らかにするため, 1987 年から 1992 年の間, JARE の夏観測で得られた水温データの解析を行った. 沿岸域には水温 -1.5°C 以下の冷い水塊が広範囲に存在した. その沖合い北東から北西にかけて, 水温 1°C 以上の暖かい周極深層水が 150 m 以深に認められた. 1987 年から 1991 年の SSM/I 画像の解析によると, 持続性のある典型的コスモノート・ポリニヤが 1988 年に現れた. その他の年は小規模なポリニヤが散発的に出現するのみでポリニヤ活動は弱い年であった. 一方, 約 66°S, 50–60°E の沿岸域には例年頻繁に沿岸ポリニヤが現れた. また, コスモノート・ポリニヤから東に向けて, 点在するポリニヤ列がしばしば認められた. このポリニヤ列は, 大気の南極収れん線と海洋の南極発散域に沿って形成されると考えられる.

¹ 海洋科学技術センター. Japan Marine Science and Technology Center, 2-15, Natsushima-cho, Yokosuka 237.

² 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.

³ 国立極地研究所. National Institute of Polar Research, 9-10, Kaga 1-chome, Itabashi-Ku, Tokyo 173.

⁴ 北見工業大学. Kitami Institute of Technology, Koencho 165, Kitami 090.

1. はじめに

ポリニヤは、極域の海の広大な氷野のなかに現れる“氷が無いが薄氷が張っただけの水面”と定義される。氷野は海の蓋に例えられ、その存在は大気と海洋間の熱・水蒸気・ガスなどの輸送を著しく減少させる。従ってポリニヤの役割は海の蓋に開いた窓であり、そこでの大気海洋間の諸量の輸送は著しく大きい。そのため、極域の気候システムにとってポリニヤ研究は重要な課題である。加えて、海水面の存在は、極域の厳しい自然のもとに生きる生物にとって貴重な生息環境を提供し、いわば極域のオアシスと言える。

コスモノート・ポリニヤはエンダービーランド沖に 66°S, 45°E を中心として出現することが、1973 年以来しばしば衛星により観測されている (COMISO and GORDON, 1987)。しかし、この海域の海洋観測は非常に限られており、コスモノート・ポリニヤの海洋構造はよく分かっていない。1987 年以降、「しらせ」の航路がポリニヤ域を通るようになり、徐々に観測データが蓄積されてきた。

南極気候研究計画の主要課題として大気-海水相互作用の研究が取り上げられ、31-32 次隊を中心として各種の観測を実施した。その一環としてコスモノート・ポリニヤの研究を、「し

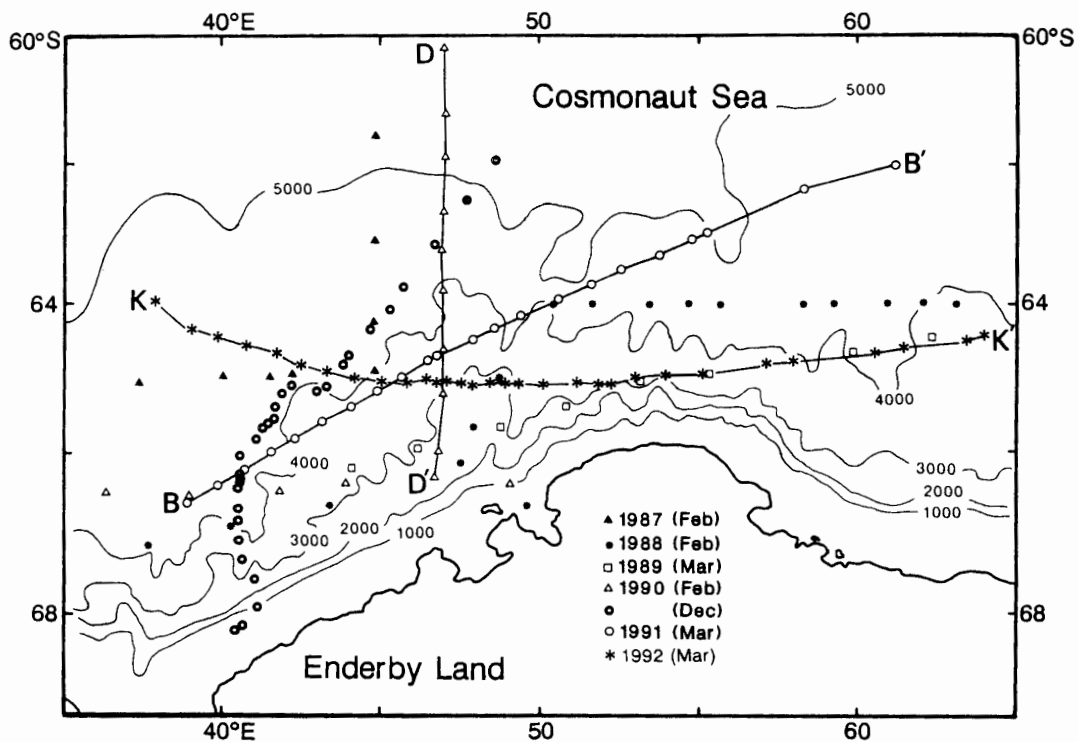


図1 XBT 観測点図。等深線は 1000 m ごと。図中の B-B', K-K', D-D' はそれぞれ 1991 年, 1992 年, 1990 年の測線で、図 2, 3, 4 の断面図に対応する。

Fig. 1. Locations of XBT stations. The depth contour interval is 1000 m. The sections D-D', B-B' and K-K' were obtained in 1990, 1991 and 1992, respectively.

らせ」からの XBT による水温観測とパッシブ・マイクロ波 (SSM/I) による衛星観測のデータを用いて行った。ここでは、1987-1992 年の夏季の水温データと 1987-1991 年の衛星画像に現れた、コスモノート・ポリニヤの特徴について述べる。水温データは夏季に限られており、それを用いて冬季のポリニヤの形成過程を推察せざるを得ない。しかし、夏季の水温上昇は海面近くに限定されているため、中・深層は冬季の特徴を維持していると見なして大きな誤りはないであろう。

2. 水温構造

図 1 は解析に用いた XBT 測点図であり、1987 年から 1992 年の間に JARE の夏観測によるものである。観測は 1990 年以外は年に一回である。図中に B-B', D-D', K-K' で示した断面は、コスモノート・ポリニヤ領域を通るように設定されたものである。図 2 と図 3 はそれぞれ水温の東西断面 B-B', K-K' を示す。両図とも 45-50°E 付近を除いて、水温 1.0°C 以上の周極深層水 (CDW) が深さ 150-1000 m 層に広く存在している事を示している。図 4 の南北断面からは、-1.5°C 以下の冷たい水塊が 66°S 付近の深さ 100-400 m に存在し、その北に CDW が広がっていることが分かる。この冷水塊は、冬季の冷却で形成された冬季表層水 (WW) である。63°S

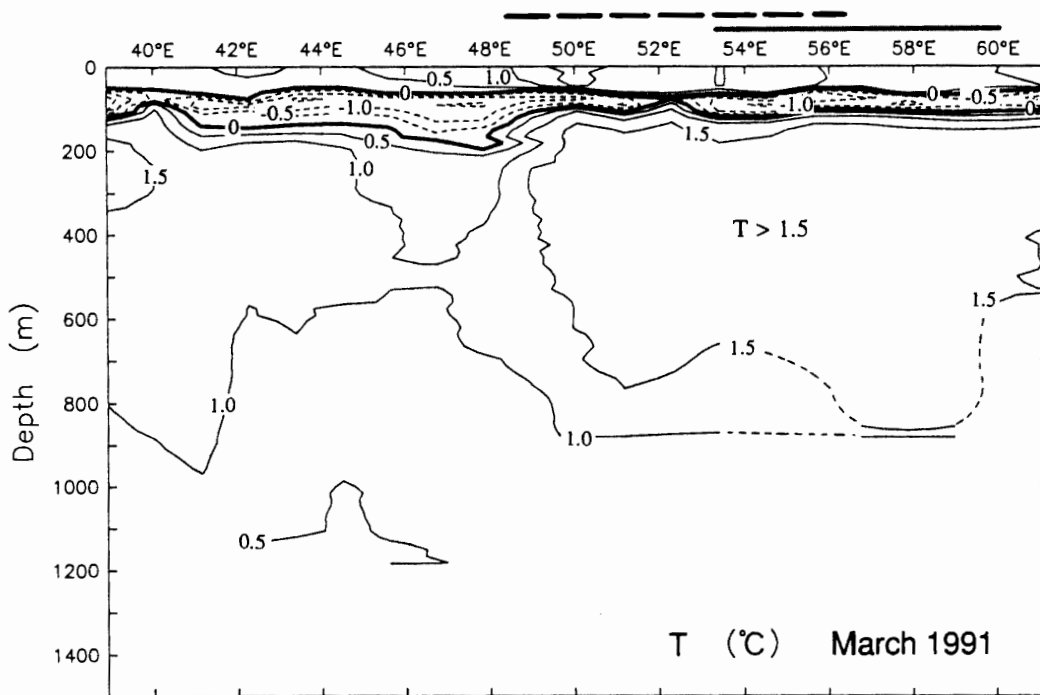


図 2 1991 年 3 月の図 1 の B-B' に沿った水温の東西断面。経度が刻まれた横軸の上の太い実線と破線は、それぞれ図 9c と 10b に示されたコスモノート・ポリニヤの概略の位置
 Fig. 2. Temperature section along line B-B' in Fig. 1 in March 1991. Heavy solid and dashed lines above the abscissa indicate the locations of Cosmonaut Polynya appearing in Figs. 9c and 10b, respectively.

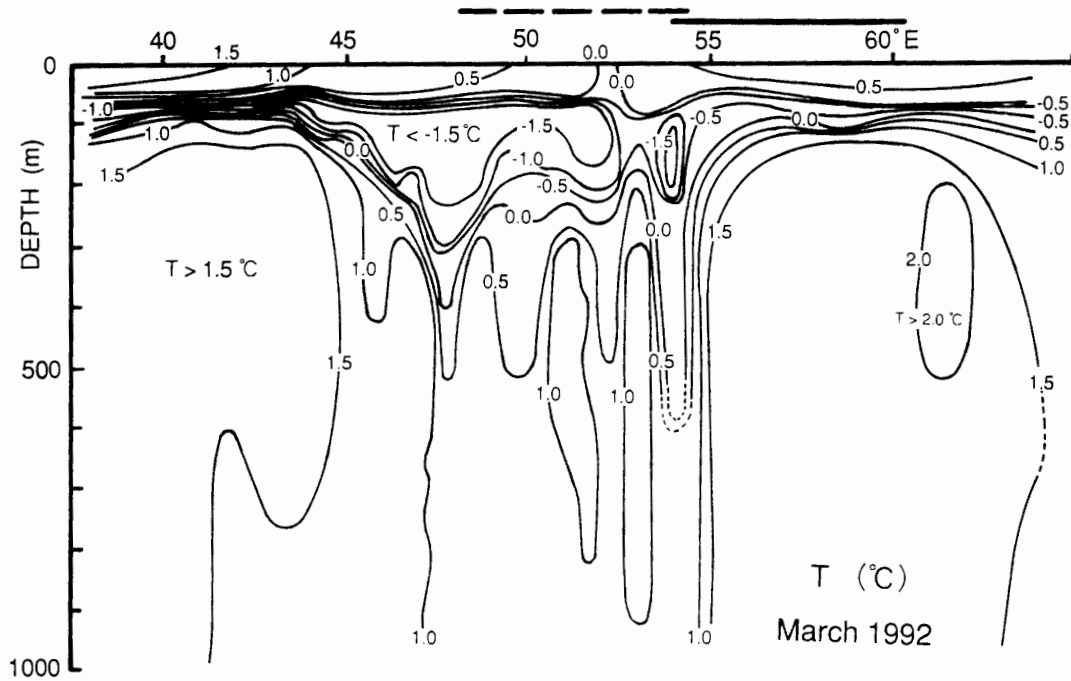


図3 1992年3月の図1のK-K'に沿った水温の東西断面。経度が刻まれた横軸の上の太い実線と破線は、それぞれ図9cと10bに示されたコスモノート・ポリニヤの概略の位置
 Fig. 3. Temperature section along line K-K' in Fig. 1 in March 1992. Heavy solid and dashed lines above the abscissa indicate the locations of Cosmonaut Polynya appearing in Figs. 9c and 10b, respectively.

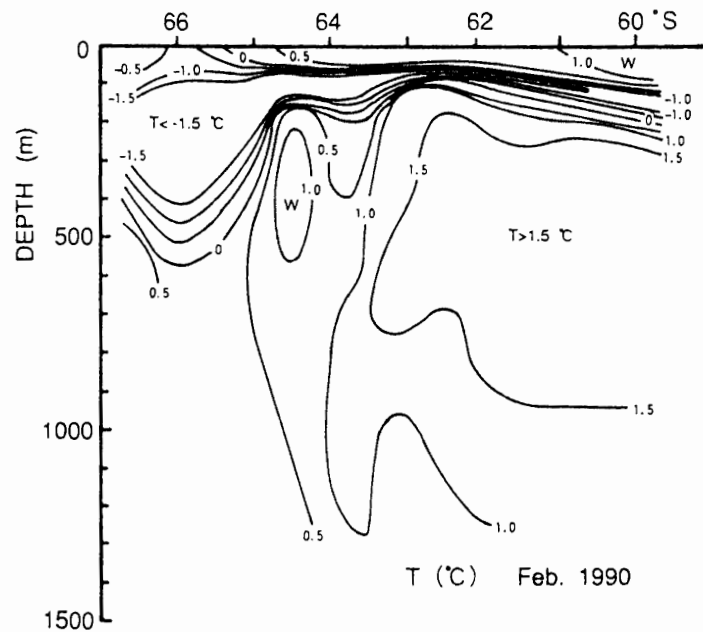


図4 1990年2月の図1のD-D'に沿った水温の南北断面
 Fig. 4. Temperature section along line D-D' in Fig. 1 in February 1990.

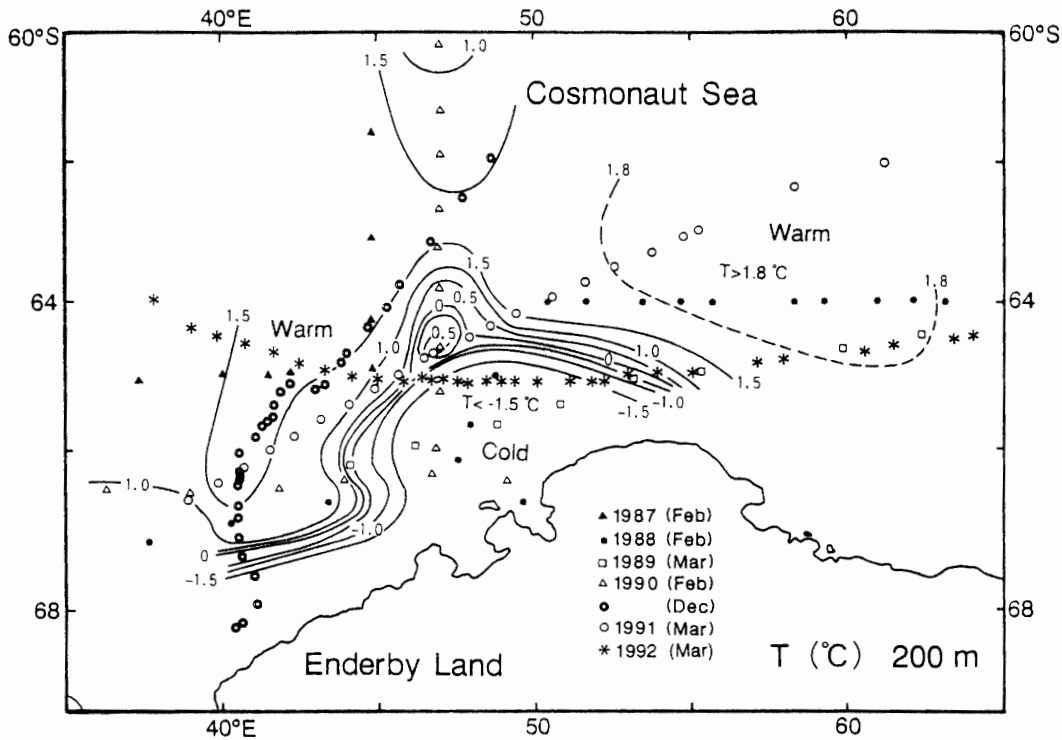


図5 水深 200 m 層の水溫の水平分布 (1987-1992 年の全観測結果から合成)

Fig. 5. Temperature distribution on the 200 m surface as a composite of the data during 1987-1992.

付近で 1.0°C の等温線が浅くなっていることは、ここが CDW の湧昇域であることを示す。

図 5 は深さ 200 m の水溫の水平分布を示し、6 年間の観測結果から合成したものである。-1.5°C 以下の低温な WW が広く大陸棚上に存在し、45-50°E では海底地形に沿って沖合いに張り出している。張り出しの北側には CDW が見られる。KHIMITSA (1976) によると、計算された 1972-1973 年夏と冬のコスモノート海 (30-95°E) の地衡流は、海底地形の影響を受け 60-68°S の範囲で大きく蛇行する東流を示している。彼の論文には水溫分布図は示されていないが、流れが大きく南下するのに対応して CDW の南への張り出しがあることが推察できる。永延 (1991) も同様な地衡流分布を 1980-1981 年夏季について示している (図 7c)。従って、図 5 の暖水域は CDW の南下を示していると思なしてよいであろう。

図 6 は -1.5°C の等温線の深度分布である。1 測点で深度の値が 2 つある場合は、深い方を採用した。この図は WW の厚さを示し、沿岸域では WW が 300 m 以上にも達していることが分かる。この厚い WW 層は、沿岸域で卓越する東風によるエクマン輸送により WW が堆積した結果か、またはこの海域で冬季の冷却が活発な結果のどちらか或いは両者の効果によると思われる。65°S 以北には、-1.5°C の等温線が存在しない暖水域 (影をつけた部分) が存在しており、暖かい水域であることが分かる。

コスモノート・ポリニヤは典型的な顕熱ポリニヤであると考えられている。COMISO and

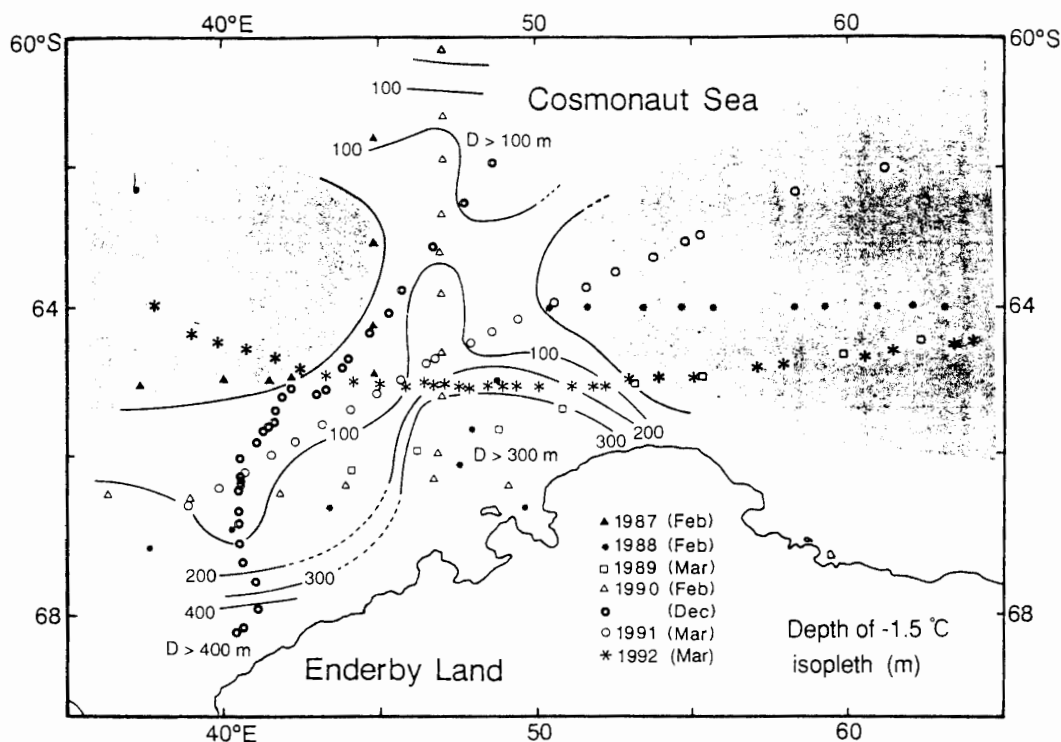


図6 -1.5°C等温線の水平分布(1987-1992年の全観測結果から合成)。図中の影をつけた領域は、-1.5°Cの等温線が存在しない水域を示す。

Fig. 6. Horizontal distribution of depth of -1.5°C isopleth drawn from a composite of the data during 1987-1991. Shaded areas are the regions where the -1.5°C isopleth was not found.

GORDON (1987) は、コスモノート海の密度躍層が局所的にドーム状に盛り上がっていることを示し、これは高温高塩のCDWが表面近くに押し上げられている証拠とした。この盛り上がりは、深層対流が起こりやすくポリニヤが発生しやすい水域であることを示唆する。図7は30-120°E水域での1980/1981年夏季の、深さ100m層の水温・塩分・ジオポテンシャルアンローマリー分布である(永延, 1991)。図中の東西に延びた高温高塩の帯はCDWであり、永延は南極発散域(ADR)でのCDWの湧昇であると結論し、そこでは密度躍層が浅いとしている。図4において63°S付近で1.0°Cの等温線が持ち上がっているのは、CDWの湧昇を示すものであろう。さらに、図5の暖水域はADRでのCDWの湧昇域を示すと思われる。

3. SSM/I画像から見たポリニヤ

(I) コスモノート・ポリニヤ

ここで用いたSSM/I画像データは、米国コロラド大学の国立雪氷データセンターからCDROMで提供されたもので、NASAのアルゴリズムを用いて海水氷接度に変換した。1987-1991年の間、南大洋の0-90°Eセクターでの毎日の氷接度分布図を作成した。図8は1988年7月2

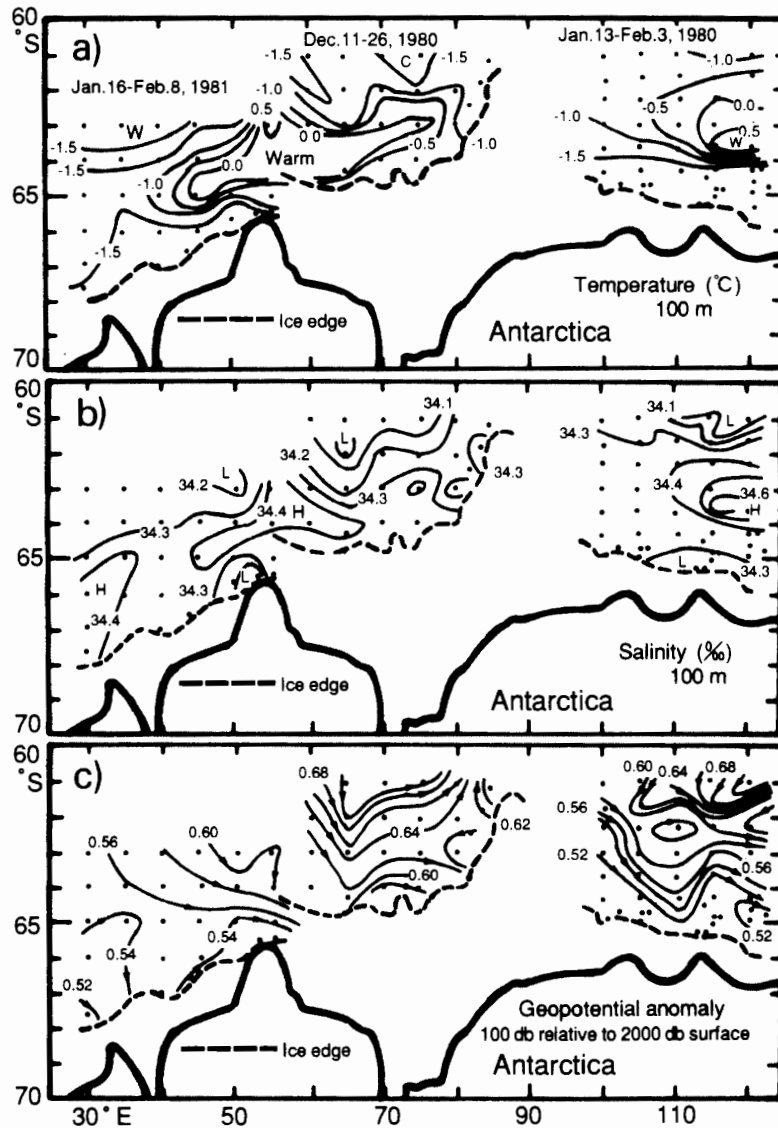


図7 南大洋 30-120°E 水域での 1980/1981 年夏季の水深 100 m 層の水温 (a), 塩分 (b) 及びジオポテンシャル・アノーマリー (c) の水平分布 (永延, 1991 による).

Fig. 7. Temperature (a), salinity (b) and geopotential anomaly (c) distributions on the 100 m surface in longitude 30°-120°E of the Southern Ocean in austral summer of 1980-1981 (NAGANOBU, 1991).

日から 10 月 14 日までの画像である。氷縁が北上するにしたがって、7 月 18 日 65°S, 45°E 付近に内湾状に低密接度領域が形成され、8 月 5 日にはポリニヤの形態となった。7 日には周囲を密接度 61-80% の流氷に取り囲まれ、中心の密接度が 15-30% のコスモノート・ポリニヤが完成した。その後、ポリニヤは急速に縮小し 8 月 15 日には不明瞭になった。このポリニヤの発展は、COMISO and GORDON (1987) によって示された 1980 年の発展結果とよく似ている。1980 年のポリニヤは、一旦消滅した後は再び出現しなかった。しかし、1988 年は 9 月 10 日に再び低密接度領域が氷野内部に現れ、コスモノート・ポリニヤとして認識できた。ただし、その位置は

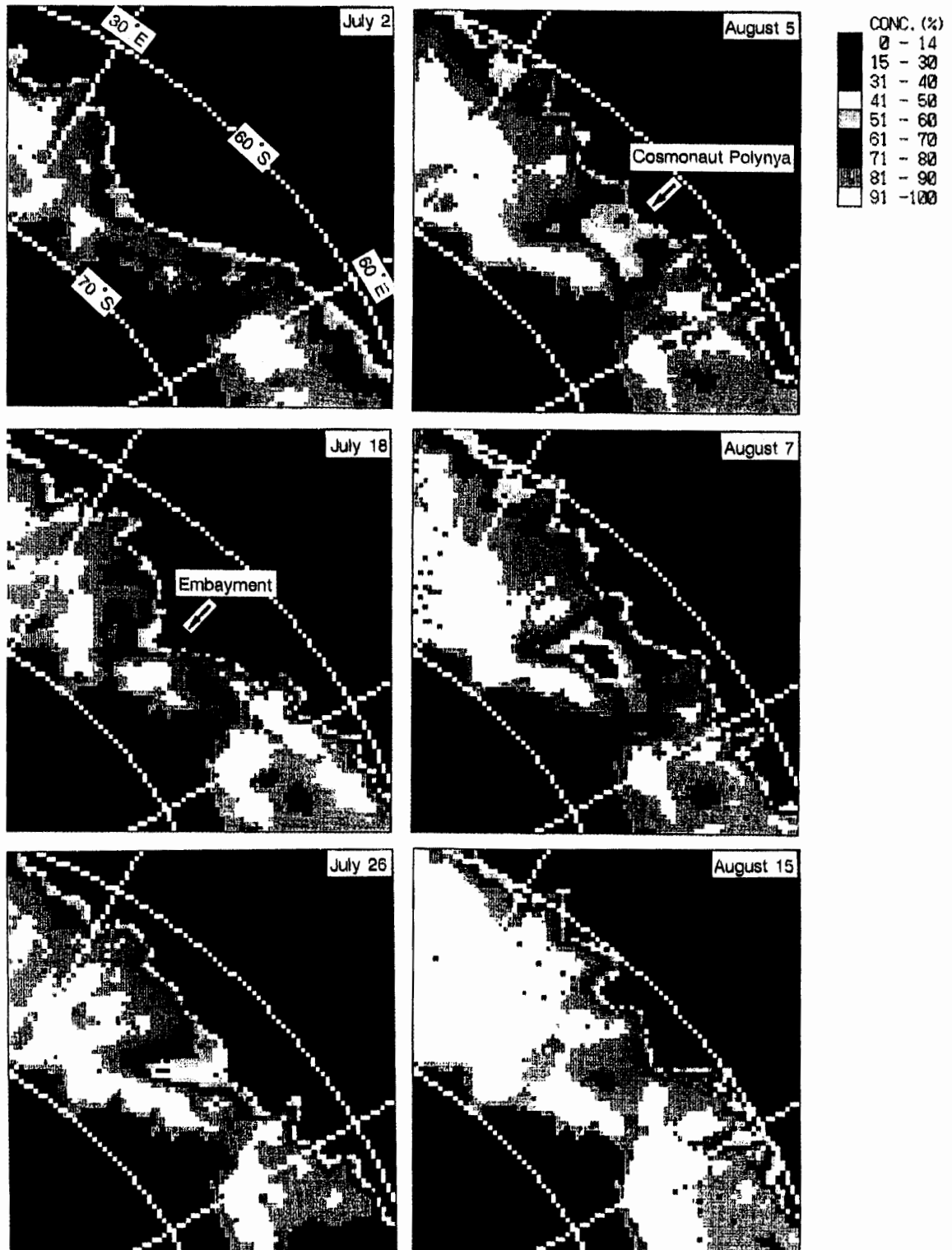


図8 SSM/I画像 (1988年7月2日-10月14日)

Fig. 8. Daily SSM/I images from July 2 to October 14, 1988.

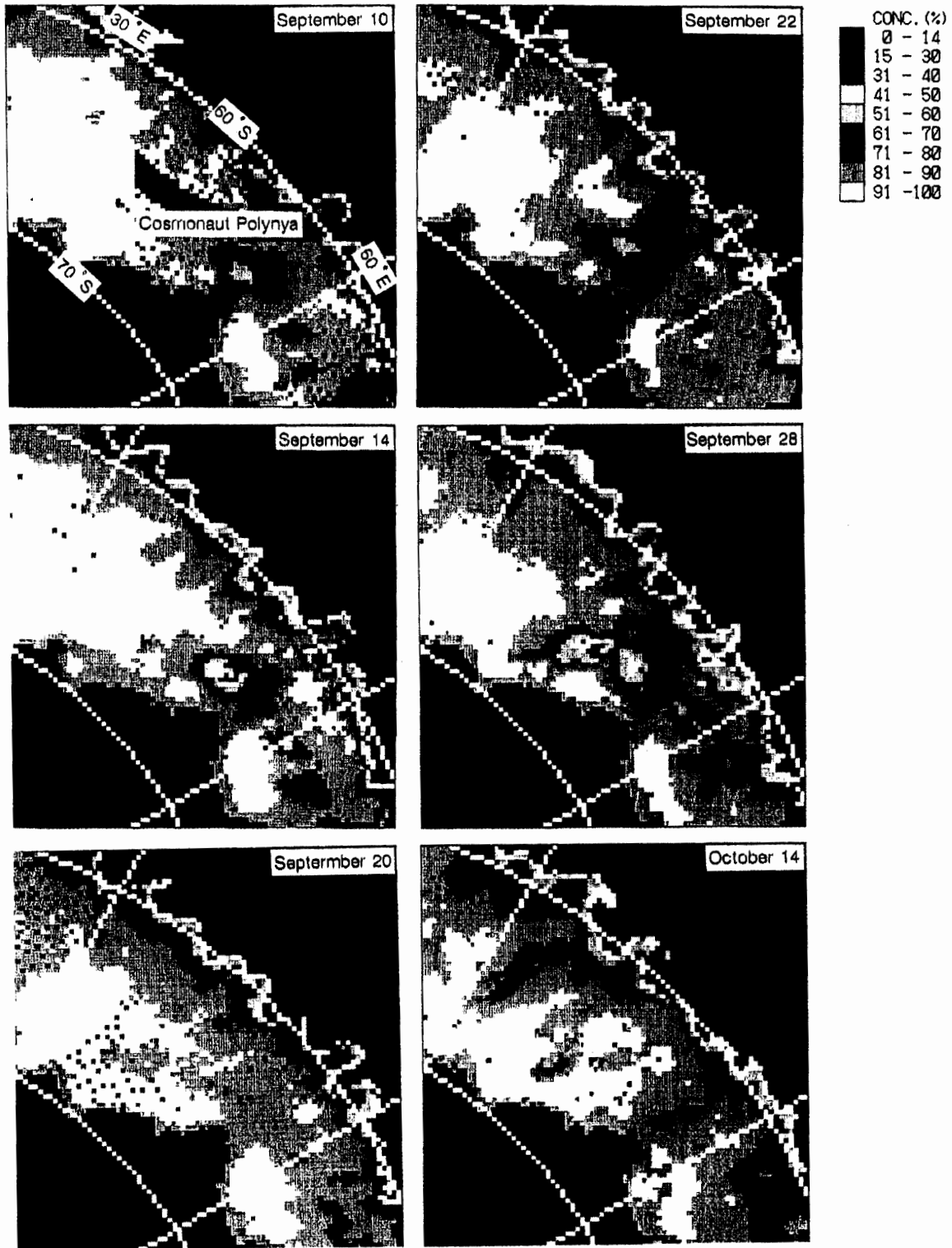


図 8 (つづき)

多少東に移動していた。その後9月20日に一旦消えたが、22日に再度現れた。このいわば第2期のコスモノート・ポリニヤは10月10日まで約1カ月持続した。1988年のポリニヤの最小密接度は、8月7日と9月28日に観測された15-30%であった。

上述のように、1988年のコスモノート・ポリニヤは氷縁域での内湾状の低密接度領域の形成から始まった。しかし、1987, 1989-1991年には顕著な内湾は出来なかった。さらに、これらの

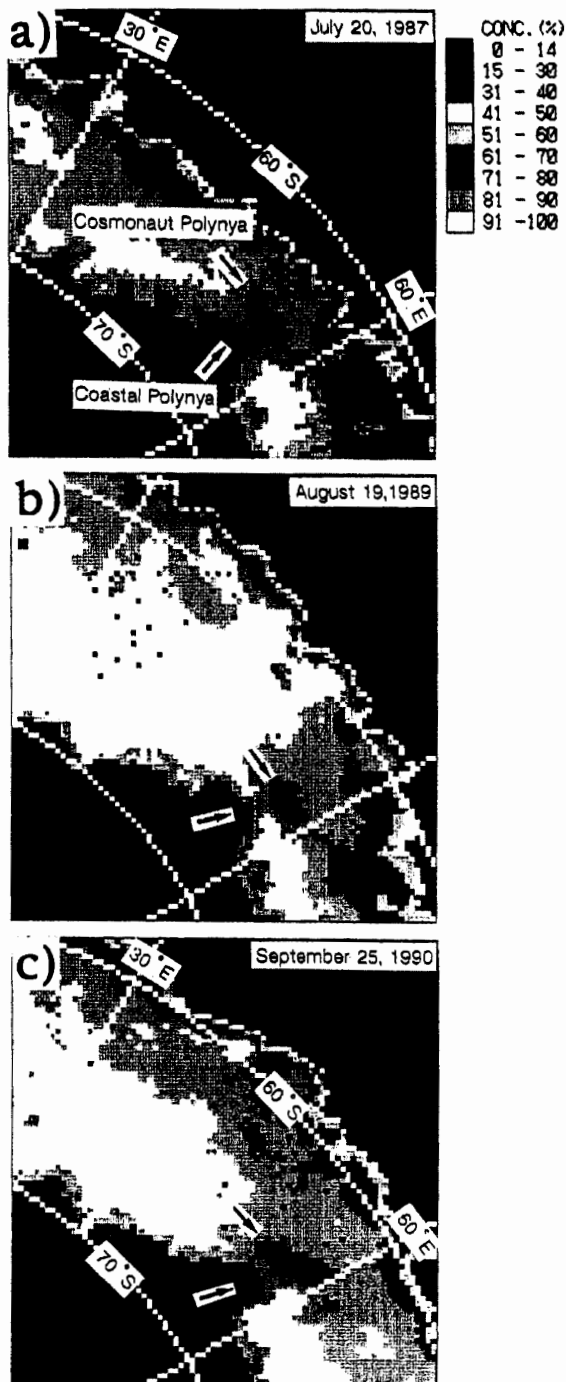


図9 沿岸ポリニヤとコスモノート・ポリニヤが出現したSSM/I画像。1987年7月20日(a)、1989年8月19日(b)、1990年9月25日(c)。

Fig. 9. SSM/I images showing a coastal polynya and the Cosmonaut Polynya. a) July 20, 1987, b) August 19, 1989, c) September 25, 1990.

年には小規模のポリニヤが突然氷野内部に形成され、その後も画像からは消えたり現れたりを繰り返し、1988年とは状況が大きく異なった。1988年のポリニヤ活動が活発であった点については、その前後の夏の水溫構造にその原因を示唆するようなものは認めらず、大気を含め今後の研究が必要である。

(2) 沿岸ポリニヤ

図9には、毎年沿岸ポリニヤがほぼ66°S, 50-60°Eの沿岸域に発生していることが示されている。一つのポリニヤが冬季間連続して観測されることはなく、種々の形状・大きさ・持続期間を持ったポリニヤが発生・消滅を繰り返す。一般に、沿岸ポリニヤの成因の第1は、南極大陸からの風であるとされている。よって、ここでも大陸からの風の吹き出しの程度に応じて、

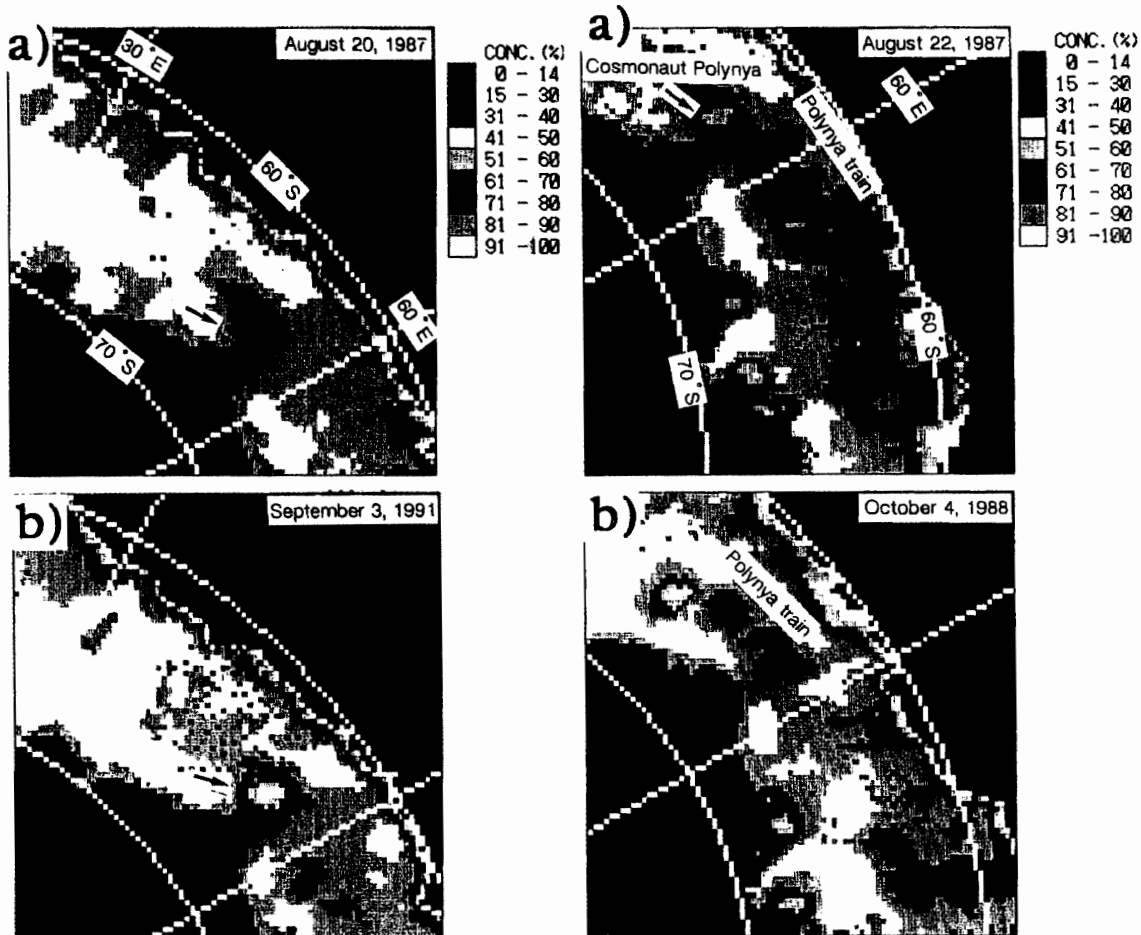


図10 沿岸ポリニヤとコスモノート・ポリニヤが一体化した例。1987年8月20日 (a), 1991年9月3日 (b)。

Fig. 10. SSM/I images showing the incorporation of coastal polynya and Cosmonaut Polynya. a) August 20, 1987, b) September 3, 1991.

図11 ポリニヤ列。1987年8月22日 (a), 1988年10月4日 (b)。

Fig. 11. Polynya train. a) August 22, 1987, b) October 4, 1988.

ポリニヤの存続が規定されていたと見なしてよいであろう。図9で注目する点は、沿岸ポリニヤと沖合のコスモノート・ポリニヤがしばしば同時に出現することである。さらに、時には両者が一つになって大きなポリニヤとなる例も見られた(図10)。

(3) ポリニヤ列

40°E から 90°E にかけて、数個のポリニヤが連なったポリニヤ列が例年観測された(図11)。コスモノート・ポリニヤはその西端に位置している。春の融解期には、このポリニヤ列に沿って密接度の減少がいち早く進む事が画像上で認められる。この春の選択的氷野の崩壊は、大気以南極収れん線(ACL)に沿った氷野の発散か、海洋の南極発散域(ADR)に沿った暖かいCDWの湧昇によって下層からもたらされる熱による融解の促進作用のどちらかまたは両者によると考えられる。ACLを境に、卓越風が大陸側で東風、沖側で西風となっている。その結果、ACL領域での風の応力による流水のエクマン輸送が、それぞれ南と北方向になる事によってそこは流水の発散域になり密接度の減少が起こりやすい。ENOMOTO and OHMURA (1990)は、南極域での氷野の時空間変動を調べ、氷野の広がりや密接度はACLの位置に大きく影響される事を示した。

一方ADRは、ACLの存在にともなう海洋表層の発散域であり、気候学的にはほぼACLと同じ緯度帯に生じる。先に述べたように、ADRに沿った湧昇による熱がポリニヤの発生と維持に大きく関わっている。これら両者が、コスモノート海のポリニヤ過程に本質的影響を与えている事は間違いないであろう。

文 献

- COMISO, J.C. and GORDON, A.L. (1987): Recurring polynyas over the Cosmonaut Sea and Maud Rise. *J. Geophys. Res.*, **92**, 2819-2833.
- ENOMOTO, H. and OHMURA, A. (1990): The influences of atmospheric half-yearly cycle on the sea ice extent in the Antarctic. *J. Geophys. Res.*, **95**, 9497-9511.
- KHIMITSA, V.A. (1976): Investigation of geostrophic currents in the Antarctic zone of the Indian Ocean. *Oceanology*, **16**, 131-133.
- 永延幹男 (1991): 南大洋における海洋構造の解析. 月刊海洋, **23**, 715-733.

(1996年9月26日受付; 1997年1月15日改訂稿受理)