

定着水域のパドル及び開放水面内部の水質と それが海洋に与える影響について

大槻晃久^{1*}

Water characteristics in puddles and open waters in the fast ice area and its influence to marine environment

Akihisa S. Otsuki^{1*}

(2006 年 12 月 12 日受付; 2007 年 1 月 24 日受理)

Abstract: Summer environments in puddles and open waters formed in the fast ice area near Syowa Station, Antarctica were observed. Small open waters formed in the fast ice were filled with low saline water. Low saline water was supplied by melting sea ice and snow. If fast ice is not broken up by rough weather, melt water masses will stay stably in open water surrounded by fast ice. Consequently, this melt water will not dilute the surface sea water located under the fast ice. On the other hand, the water temperature of melt water was higher than underlying saline water. Especially, a maximum temperature of 4°C was observed in Hukuro Ura, Langhovde in late January 2005. Thus, structure of water temperature and salinity of summer open waters formed in the fast ice area have been rich in change.

要旨: 夏季のリュツォ・ホルム湾の定着水域内に形成されるパドル及び開放水面の環境について、観測を行ったので報告する。パドルのような小さな開口部は、定着氷とほぼ同じ厚さの淡水に近い低塩分水で満たされていた。この低塩分水は定着氷の融水水が溜まったものと考えられる。定着氷が大きく消失せず天候も平穏であれば、パドルにたまった融水水は下層へ拡散せず、定着氷下の海水を低塩分化させない。また開口部内の表層水の水温は下層の海水温より高く、特に 2005 年 1 月下旬にラングホブデ・袋浦で観測された水温は最高 4°C であった。このように定着水域における夏季の海洋表層の水温・塩分分布は変化に富んでいる。

1. はじめに

海水密接度 100% と思われがちな南極大陸沿岸の定着水域にも、ところどころ海水が存在せず、海水面が露出する部分がある。低分解能センサーの衛星観測で見落とされる比較的小さな開放水面や、定着氷が全体的に融解・崩壊しないままその中に形成されるパドルなどの水開きである。

¹ 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: otsuki@nipr.ac.jp

パドルはこれまでの観測や研究で海水及びその上の積雪の内部融解により形成されることが明らかになっている (Takahashi, 1960). 北の浦にて夏季にパドルの構造の時間変化を丹念に調べた遠藤 (1970) は, 太陽光を受けた内部の水が 10°C 程度まで昇温することや, 時間の経過とともに海水の底まで融解するパドルとそうでないパドルがあることなどを報告している. また Matsuda *et al.* (1990) は, 定着氷に開削した観測用の穴に低塩分水が溜まり, 周囲に生息する植物プランクトンの生態に影響を与えている可能性を述べている. さらに南極大陸沿岸の定着氷上や露岩域で営巣するアデリーペンギンやウェッデルアザラシが海中へさく餌に出かけるための環境として, 定着氷内に形成される水開きの重要性が指摘されている (Matsuda, 1964; Hoshiai, 1981).

一方, 海水は一般的に大気海洋間の熱の交換や太陽光の海中への透過を阻害する物体であり, 特に積雪のある定着氷ではその効果が大い (Watanabe and Satoh, 1987; Ohshima *et al.*, 1998). それに対し定着氷域内に形成されたパドルや開放水面は, 光・熱・気体成分を大気海洋間で活発に交換させる可能性があり, 夏季でも消失しない定着氷の存在する南極大陸沿岸の海洋環境や生態系を考える上で, 極めて重要な環境因子となっていることが考えられる. しかし, 海水の構造解析や成長に関する研究は多いものの, 海水の融解・崩壊過程やその海洋との関係について取り上げた研究は少ない.

そこで本研究では, 昭和基地周辺にて観測例の少ない開放水面やパドルの内部の海洋観測を行い, その環境を明らかにするとともに, その環境が定着氷下の海洋環境やそこに生息する生物へ与える影響を考察した.

2. データと方法

本研究の観測や実験は, 筆者が第 46 次日本南極地域観測隊夏隊員として昭和基地に滞在した 2004 年 12 月下旬から 2005 年 2 月上旬の間に, 東オングル島北東部の北の浦, オングル海峡の定着氷上, 及びラングホブデの袋浦にて行った. 本研究でデータを使用する各観測点の位置を地図上に示す (図 1).

オングル海峡, 北の浦における観測は, 2004 年 12 月 23 日から 2005 年 1 月 25 日の間にオングル海峡の定着氷域で行った海洋観測 (大槻ら, 2006) とともに実施した. ラングホブデ・袋浦における観測は, 2005 年 1 月 29 日から 2 月 4 日にかけてのアデリーペンギンルッカリー調査中に行った.

パドル内における微細な海洋構造を把握するため, 小型軽量なアレック電子製の小型メモリー式水温・塩分計 (COMPACT-CT), クロロフィル濁度計 (COMPACT-CLW) により, 水温, 塩分, クロロフィル *a* 濃度の鉛直分布の観測を行った. さらに離合社製ボーリング孔用採水器により鉛直採水を行い, 大槻ら (2006) と同じ方法で栄養塩濃度を測定した.

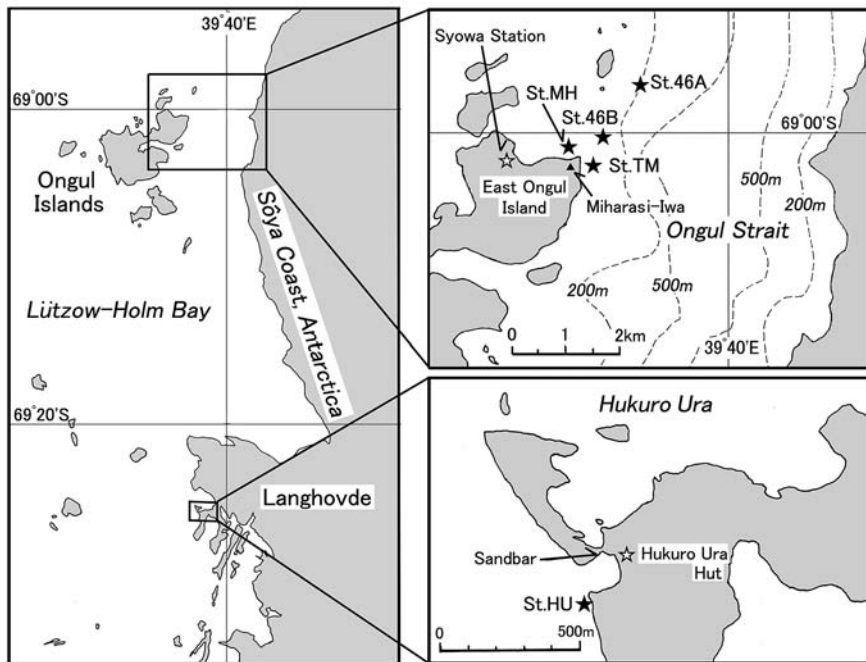


図 1 オングル海峡周辺および袋浦における観測点位置.

Fig. 1. Location of sampling stations around Ongul Strait and Hukuro Ura, Antarctica.

3. 結果と考察

3.1. パドル内部の海洋環境について

定着氷上で作業中、開削した開口部から跳ね返ってくる水しぶきは塩辛くなく淡水に近い。Matsuda *et al.* (1990) は定着氷の開口部に形成される低塩分水層に関心を持ち、北の浦に設けた観測点で水温・塩分の詳細な鉛直分布を測定し、水深 1.5 m 前後に大きな塩分躍層が存在したことを示している。その上で定着氷周辺に形成される低塩分水層が植物プランクトンの生態に影響を与えている可能性を指摘している。このような低塩分水層の形成は、気体の溶解度を変化させ大気海洋間の物質交換にも影響を与える可能性があることなどから、その詳細な構造には大きな関心が持たれる。

そこで Matsuda *et al.* (1990) が指摘したような低塩分水層が、夏季の定着水域の開口部に一般的に形成されるのかどうかを確かめるべく、2005 年 1 月に北の浦の定着水域に開削・存在した数箇所の開口部にて海洋観測を行った。

まず、周囲の水がしっかりして十分安全が確認されている見晴らし岩下の沖に潜水作業用に開削 (2004 年 12 月 29 日) した人工の開口部 (St. MH, 大きさ 1.5×2.0 m) を使って観測を行った。層を乱さぬように表面に張った薄氷を静かに取り除き、2005 年 1 月 7 日に開口部内の水温・塩分分布を、短辺方向の 5 箇所において深さ 10 cm 単位で水深 5 m まで測定した。

(図 2).

開口部の水溜まりの中は、どの位置でも定着氷の底部とほぼ同じ水深 80 cm まで 1‰ 前後の淡水に近い水で占められていた (図 2b). それ以深で塩分は深度とともに急激に上昇し、水深 1.5 m 以深で 33‰ 以上の高塩分となっていた. 定着氷の直下に大きな塩分躍層が存在したのは、Matsuda *et al.* (1990) の結果と同様であった. 一方、水温は低塩分水の層で 0°C 以上であり、下層の高塩分水にくらべて高温であった (図 2a). 開口部の低塩分水は定着氷に挟まれて滞留し、日中に太陽光を多く受け取ることができるためであろう. 海水の融解にはその側面からの加熱も重要であるので (Ohshima *et al.*, 1998), 比較的高温な開口部内の低塩分水は、夏季の開口部の拡大と定着氷の融解に影響している可能性がある.

クロロフィル *a* 濃度も水深 50 cm ごとにクロロフィル濁度計 (COMPACT-CLW) により同じ開口部の縁辺部と中央部で測定したが、低塩分の表層には植物プランクトンはほとんど存在しなかった (図 3a). 開口部表層に溜まる水の低塩分な環境は、Matsuda *et al.* (1990) が予想したとおり海産の植物プランクトンにとって過酷であることが示された. また低塩分層に植物プランクトンが存在しないのは、そこに含まれる栄養塩も皆無に近いことも影響しているだろう (図 3b). このように定着氷の開口部がごく低塩分かつ貧栄養の水で満たされていることは、一見海洋の一次生産にとって不利に思えるが、開口部のみに植物プランクトンが繁茂しなければ海中に広く光が行き渡ることになり、結果として定着氷下の生産量を大きくする働きを担っているとも言えるだろう.

次に人工ではなく天然の状態で形成されたパドル内の海洋環境を調査すべく、2005 年 1 月 21–22 日に、周辺の氷の状態について十分な安全確認を行った見晴らし岩東方に形成された

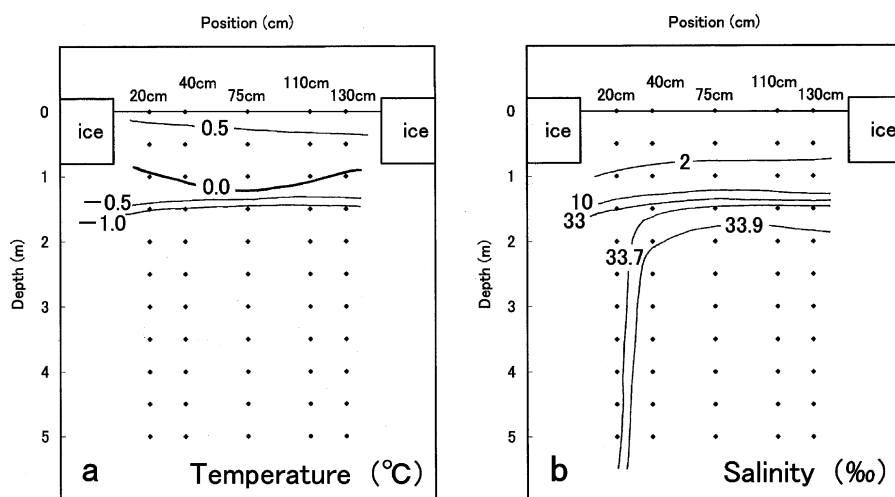


図 2 見晴らし岩沖潜水地点における水温・塩分断面分布図.

Fig. 2. Vertical profiles of water temperature and salinity at the diving site off Miharasi Iwa rock.

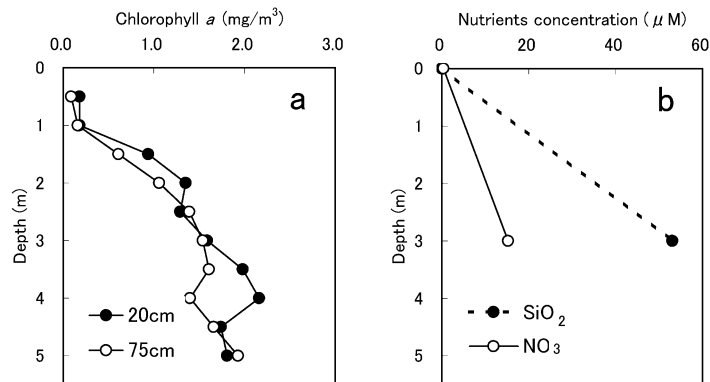


図 3 見晴らし岩沖潜水地点におけるクロロフィル *a*, 栄養塩濃度の鉛直プロファイル.
Fig. 3. Vertical profiles of chlorophyll *a* and nutrients in the diving site off Miharasi Iwa rock.

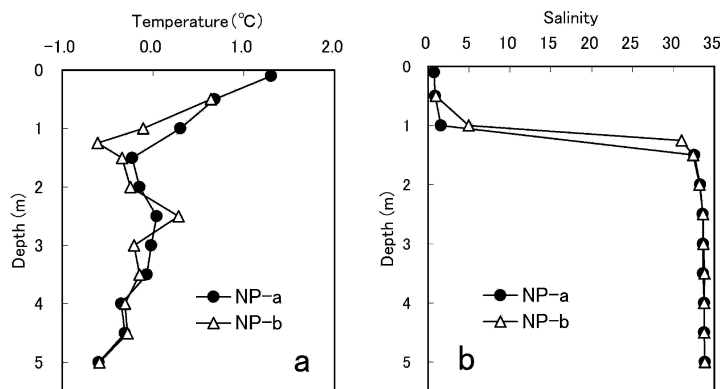


図 4 見晴らし岩東方の天然パドルにおける水温・塩分鉛直プロファイル.
Fig. 4. Vertical profiles of water temperature and salinity in natural puddles formed east of Miharasi Iwa rock.

パドル St. TM (大きさ約 10 m × 2 m) 内部の 2 箇所においてその内部の海洋構造を観測した (図 4). 水温・塩分の鉛直プロファイルは, 1 月 7 日に観測した人工の開口部の場合とほぼ同様で, 水深 1.0–1.5 m に大きな塩分躍層が存在し, 上層には比較的高温な低塩分水が滞留していた.

さらに開口部に低塩分水が満たされる過程について, 簡単な実験を行った. St. TM 付近にて定着氷 (厚さ 1.2 m) に新たにアイスオーガーで開削した開口部 (直径約 13 cm) について, 開削した (2005 年 1 月 21 日 1645 LT) 直後から一日経過後まで開口部の中に存在する水質の経時変化を調べた (図 5). 開削直後はごく表層のみ低塩分であったが, 時間の経過とともに開口部表層の塩分が次第に低下する様子を捉えられた. ただし定着氷底部の水深 1 m の水の塩分が 5‰ 以下となるには, ほぼ丸一日を要した. このように低塩分化が徐々に進む様子は,

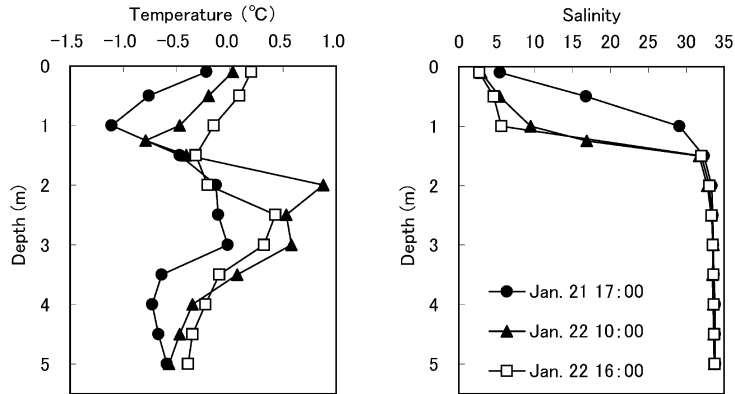


図 5 人工的に開削した穴の水温・塩分鉛直プロファイルの時系列変化。

Fig. 5. Time series observation of water temperature and salinity in artificially opened hole.

定着氷の底部に溜まった融氷水が一気に開口部へとあふれ出すというよりは、定着氷の内部に保持されている融氷水が開口部へ徐々にあふれ出て、開削時に開口部へ入り込んだ高塩分の海水を次第に排除している状況を表しているものと考えられる。

3.2. 宗谷海岸沿岸に形成される開放水面の海洋環境

定着氷域に形成される海水の存在しない領域には、パドル程度の小さな規模のもの他に、大規模に定着氷が融解・流出して形成されるものもある。ラングホブデなど宗谷海岸沿岸には夏季に比較的規模の大きな開放水面が形成されることが多い (Enomoto *et al.*, 2002)。牛尾 (2003) は宗谷海岸沿岸域の定着氷が融解しやすい理由を、積雪のない裸氷帯における日射からの熱の吸収によるものと指摘している。そのほか露岩地帯から砂が北東の卓越風で定着氷上に散布され、定着氷表面のアルベドを低下させて日射から熱を受け取りやすくなることも、砂の飛来がほとんどないオングル海峡と異なり、宗谷海岸沿岸域の定着氷が融解しやすい要因の一つと考えられる。

いずれにしても定着氷域の中に形成される規模の大きな開放水面は、光を海中へ十分透過させて一次生産を促進させる可能性があるほか、風によるかく乱が海中へ及んで海洋表層を活発に混合する働きもあるので、周辺の海洋環境や生物活動に与える影響は大きいと予想される。そのため宗谷海岸沿岸域の開放水面における海洋環境を把握しておくことは重要である。2005 年 1 月もラングホブデ沿岸に比較的大きな開放水面が形成されていた (大槻ら, 2006)。1 月 29 日から 2 月 4 日までペンギン調査のためラングホブデの袋浦へ出かけたおりに海洋観測を行い、開放水面に存在する海水の特徴を観察した。

袋浦の外海に面した St. HU (図 1) で、岩礁上から海中に測器を降ろし、水深 5 m までの水温・塩分を計 7 回観測した (図 6)。観測に用いた水温・塩分計 COMPACT-CT は塩分を

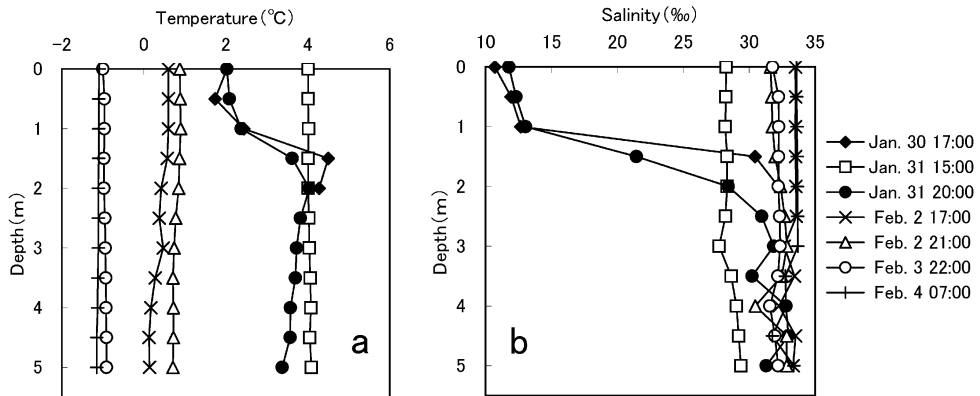


図 6 袋浦における水温・塩分鉛直プロファイルの時系列変化.

Fig. 6. Time series observation of water temperature and salinity in Hukuro Ura.

海水の電導度ではなく電磁誘導で測定しており、岩盤などが付近にあると塩分を正確に測定できないため、この塩分値はあくまでも参考値である。なお、袋浦観測小屋付近の砂州がすぐ前の小島と陸続きになったときを干潮状態、それ以外のときを満潮状態とした。また、2月1日から3日にかけて風速 15 m/s 以上の荒れ模様の天候が続いた (図 7a)。

荒天になる前の 1 月 31 日までは、袋浦の観測点において南極地域では比較的高温な 4°C 前後の海水が観測された (図 6a)。これは南大洋外洋域ならば夏季の極前線以北の表層で観測される水温に匹敵する。例年より温暖で風も穏やかな天候の下で (図 7b, c)，定着水のない沿岸や入り江に滞留した海水が日射で温められた結果と考えられる。また満潮状態の時の水深 1 m 以浅は低塩分な水で覆われており (図 6b)，下層に比べ水温も低いことから、この海域には定着水や氷河からの融氷水が流入し、満潮状態の場合はそれが表層に滞留する様子が示唆される。

しかし、そのような温暖な環境は荒天の後には消失し、大気からの冷却と下層からの冷たい水の混合のためか、水温は一気に低下して 0°C 以下になった (図 6a)。その後は観測期間中に元の高い水温には回復しなかった。1 月中に観測された温暖な環境は定常的なものではなく、2004 年~2005 年夏季のように好天が続かなければ (図 7) 出現しないものと考えられる。したがって袋浦周辺で温暖な環境に適応した独自の生態系が成立するなどのことは考えにくい。しかしこのような比較的温暖な海洋環境は、熱源として周辺海域の定着水の融解を促進させ海中の光環境を良好にしたり、大型動物がさく餌に出かけやすい環境を提供するなど、生物生産への間接的な関与があると考えられる。

3.3. 定着氷開口部と下層の海水との関係

2004 年 12 月下旬から 2005 年 1 月下旬にかけてオングル海峡の St. 46A 及び 46B (図 1)

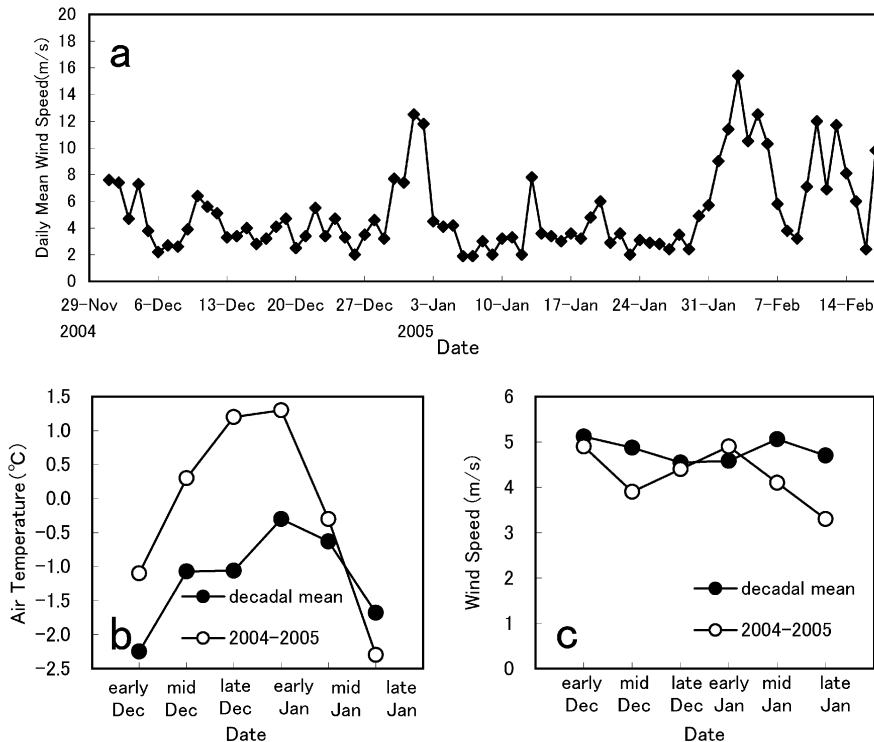


図 7 JARE-46 昭和基地における気象データ, (a) 2004-05 年夏季の日平均風速, (b) 旬別の日平均気温, 平年値 (最近 10 年間の平均値) と JARE-46 観測値の比較, (c) 旬の日平均風速, 平年値と JARE-46 観測値の比較. データは気象庁の気象観測電子閲覧室 (<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>) に記載のものを使用.

Fig. 7. Meteorological data observed at Syowa Station, (a) daily mean wind speed in 2004-2005 summer, (b) ten days mean air temperature and (c) wind speed data comparison between 2004-2005 summer and decadal mean (1995-2005) data. These data are available from the web site of the Japan Meteorological Agency (<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>).

で行った定着水下の海洋観測 (大槻ら, 2006) では, 水深 20 m 以浅で若干の水温の上昇が見られた (図 8a). Ohshima *et al.* (1998) は夏季のリュツォ・ホルム湾における観測データから, 海水, 特に積雪が存在する海水により, 大気海洋間の熱交換が阻害されることを示した. したがってオングル海峡で観測された夏季の表層で最大約 2°C の水温上昇は, 周辺海域に熱交換が可能な薄水域や開放水面が存在し, そこで表層水が夏季の強い日射と高い気温により温められていることを示している. この観測を行った時期には, オングル海峡の定着水下に北向き 4.4 cm/s の流れが存在したので (大槻ら, 2006), 表層水が温められるのはオングル海峡より南方の海域である. 3.2 節で述べたようにラングホブデ周辺には大きな開放水面があり, ここで温められた海水が海流によって北上しオングル海峡に到達するとすれば, 太陽光の透過や熱交換の少ない定着水下でも水温が上昇する理由を説明できる. 2004 年 12 月から 2005

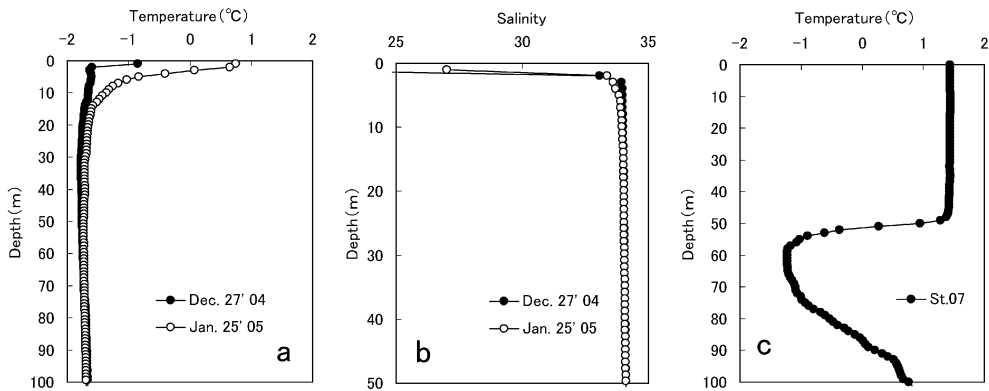


図 8 オングル海峡における 12 月下旬と 1 月下旬の (a) 水温, (b) 塩分の鉛直プロファイルの比較, 及び (c) 南大洋外洋域 St. 07 における水温の鉛直プロファイル (2005 年 2 月 26 日). 元のデータは大槻ら (2006) 及び Ogata and Suzuki (2006) に記載.

Fig. 8. Change of vertical profiles of (a) temperature and (b) salinity from late December 2004 to late January 2005 in Ongul Strait, and vertical profile of temperature (c) in the pelagic Southern Ocean (St. 07; observed on 26 February 2005). Original data were reported in Otsuki et al. (2006) and Ogata and Suzuki (2006).

年 1 月までは暖かく好天が続いた (図 7) ことも, 効率よく海洋表層を温める要因になったであろう.

一方塩分はそれほど変化していなかった (図 8b). 観測期間中に定着氷の厚さは約 30 cm 減少しパドルも増えたので, 定着氷から海洋へ多量の低塩分水が供給されていても良いはずであるが, それにもかかわらず海洋の低塩分화가促進されなかったのは, 3.1 節で述べたように開口部の中に融氷水が安定して閉じ込められ, 下層へと拡散しなかったためと考えられる.

次に, 水温の鉛直プロファイルを用いて, 夏季に海洋が単位面積当たりで受け取った熱量を定着氷の存在しない南大洋外洋域 (2005 年 2 月 26 日, St. 07; 63°58'S, 60°16'E) と比較した (図 8a, c). 外洋域における冬季鉛直混合時の水温は水温極小層 (この場合は水深 60 m にて -1.23°C) に保存されていると考えられる. したがって観測時の水温と水温極小層の水温との差を水深ごとにとって, 水深 0 m から 50 m まで 1 m^2 当たりで積分し得られる熱量が, その海域が夏季に受け取った正味の熱量とみなすことができる. 一方オングル海峡の観測においては, 図 1 の St. 46A で 2004 年 12 月 27 日に観測された水温と St. 46B で 2005 年 1 月 25 日に観測された水温との差を各水深ごとに取り, 同じく水深 0 m から 50 m までの水温差を 1 m^2 当たりで積算した熱量を, 夏季に受け取った正味の熱量とした. 夏季の水温上昇分の熱量はオングル海峡において $1.27 \times 10^4 \text{ kcal/m}^2$ であり, 外洋域 ($1.35 \times 10^5 \text{ kcal/m}^2$) のおよそ 10 分の 1 であった. 一方定着氷下の表層水が, オングル海峡で観測された北向き 4.4 cm/s の流向と流速を保って流れ続けているとすると, 1 月下旬にオングル海峡に存在した表層水は,

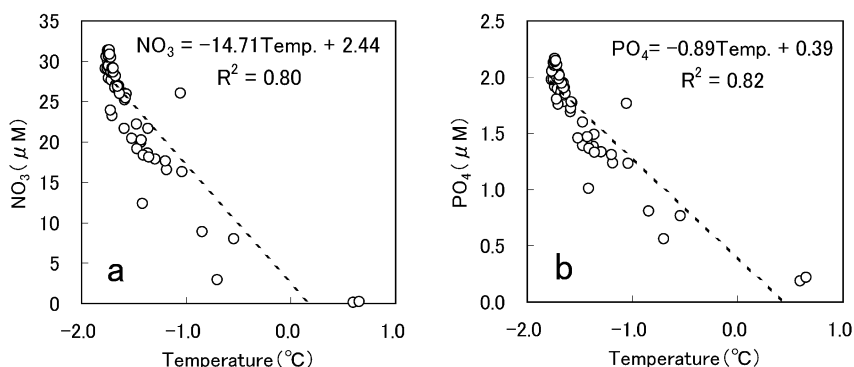


図9 オングル海峡定着氷下における水温と硝酸塩濃度・リン酸塩濃度との関係。
元のデータは大槻ら（2006）に記載。

Fig. 9. Temperature- NO_3^- and temperature- PO_4^{3-} relationships in Ongul Strait under fast ice.
Original data were reported in Otsuki et al. (2006).

1カ月前に114kmほど南の海域に存在していたことになる。この距離はリュツォ・ホルム湾東岸の長さにはほぼ等しい。したがってこの熱量の比較から、リュツォ・ホルム湾東岸域には、約10%の面積の割合で熱交換が可能な開放水面や薄水域が存在したとすることができる。

なお、水温と栄養塩の硝酸塩・リン酸塩濃度（データは大槻ら（2006）を参照）との間にはよい負の相関が見られた（図9）。硝酸塩及びリン酸塩の減少は植物プランクトンの一次生産によるものである。また水温の上昇は南極域では海洋表面が受けた日射にのみよるので、水温の上昇分は海中に透過した光の量を表していると言える。したがって表層水が受けた光の量と植物プランクトンの生産の間には密接な関係があり、図9の関係は、定着氷内に形成された開放水面やパドルで表層水が受け取った光の量が、植物プランクトンの光合成を左右していることを示していると考えられる。

4. まとめと今後の研究の展開

定着氷域内に形成される海水のない開水面の水温及び塩分の構造に注目し、それらが海洋環境へ及ぼす効果について観測と考察を行った。定着氷中に形成された開水面の表層に溜まる低塩分水や海水の水温は比較的高く、熱を蓄積して周辺の定着氷を温め融解し、開放水面をさらに拡大させるという正のフィードバック効果で海中へより多くの太陽光を透過させ、定着氷域における生物活動を活発化させていると考えられる。各々の開放水面は小さくても、それがいくつも集まることで定着氷が大きく融解・消失しなくとも熱交換や太陽光の海中への透過に関して大きな開放水面に匹敵する働きを行い、南極大陸沿岸域の物質循環や生態系に大きな影響を与えていることが予想される。したがって、今後定着氷域におけるパドルや開放水面に関するより詳細かつ継続的な観測と研究が行われることが望まれる。

ただし、パドルが発達する夏季の定着水域では、氷上からアプローチする観測方法では危険が伴うので、輸送が終了した砕氷船を定着水域に入れて海洋観測を行う方法や、宗谷海岸沿岸の開放水面については小型ボートによる海洋観測等も検討すべきであろう。

さらにパドルや開放水面が海洋に与える効果を定量化する場合、その定着水域全体に占める面積比や存在状態を上空から把握しておくことも重要である。砕氷船と昭和基地・各観測調査点を往復するヘリコプターから、あるいは現在導入が検討されている無人航空機（船木ら、2006）から撮影される定着氷の映像や画像は有力な情報となるだろう。定着氷の状態をより広範囲に把握するため、分解能数 m から数 $10m$ の高解像度の衛星画像を利用することも検討すべきである。上空からの定着氷状況の長期モニタリングは、気候変動と定着氷との関係を見出すためにも有力な手段となるはずである。

夏季でも消失しない南極域の流水・定着氷域の面積は $3-4 \times 10^6 \text{ km}^2$ であり、全海洋 ($3.6 \times 10^8 \text{ km}^2$) の約 1% を占めるほど広大である。したがって海水が存在し続ける海域における生物生産や物質循環をより正確に把握するために、定着氷域に形成され海洋環境にさまざまな影響を及ぼすと考えられる開放水面に注目した研究は重要である。

謝 辞

本研究の遂行には第 45 次日本南極地域観測隊の山岸久雄越冬隊長及び第 46 次隊の松原廣司隊長ならびに渡邊研太郎越冬隊長をはじめ、隊員の皆様方にお世話になりました。特に氷上における観測作業をお手伝いいただいた第 45 次隊の工藤栄博士、伊村智博士、第 46 次隊の Voranop Viyakarn 博士、島田裕之博士、栄養塩濃度測定を行っていただいた鈴木和則氏、袋浦滞在中に第 45 次隊の坂本健太郎氏、藤本 理氏、増田 誠氏に大変お世話になりました。心より感謝申し上げます。

なお本研究は、情報・システム研究機構国立極地研究所のプロジェクト研究「季節海水域における表層生態系と中・深層生態系の栄養循環に関する研究」の一部として行われました。

文 献

- 遠藤八十一 (1970): パドルの形成から消滅まで。低温科学。物理篇, **28**, 204-213.
- Enomoto, H., Nishio, F., Warashina, H. and Ushio, S. (2002): Satellite observation of melting and break-up of fast ice in Lützow-Holm Bay, East Antarctica. *Polar Meteorol. Glaciol.*, **16**, 1-14.
- 船木 實, Ant-Plane Group (2006): 南極観測用小型無人航空機 Ant-Plane の開発—その可能性と課題—。南極資料, **50**, 212-230.
- Hoshiai, T. (1981): Aerial census of Weddell seal (*Leptonychote weddelli* Lesson) in Lützow-Holm Bay, Antarctica. *Nankyoku Shiryo (Antarct. Rec.)*, **71**, 109-112.
- Matsuda, T. (1964): Ecological observation on the breeding behaviour of Adélie penguin (*Pygoscelis adélie*) at Ongulkalven Island near Syowa Base, Antarctic Continent. *Nankyoku Shiryo (Antarct. Rec.)*, **20**, 1-7.
- Matsuda, O., Ishikawa, S. and Kawaguchi, K. (1990): Fine-scale observation on salinity stratification in an

- ice hole during melting season of Antarctic sea ice. *Nankyoku Shiryô (Antarct. Rec.)*, **34**, 357–362.
- Ogata, J. and Suzuki, K. (2006): Oceanographic data of the 46th Japanese Antarctic Research Expedition from December 2004 to March 2005. *JARE Data Rep.*, **295** (Oceanography 30), 56 p.
- Ohshima, K.I., Yoshida, K., Shimoda, H., Wakatsuchi, M., Endoh, T. and Fukuchi, M. (1998): Relationship between the upper ocean and sea ice during the Antarctic melting season. *J Geophys. Res.*, **103**, 7601–7615.
- 大槻晃久・小達恒夫・工藤 栄・福地光男 (2006): 2004–05 年夏季のオングル海峡定着水下における植物プランクトンと栄養塩の時系列変化, *南極資料*, **50**, 231–250.
- Takahashi, Y. (1960): On the puddles of Lützow-Holm Bay. *Antarctic Meteorology, Proceedings of the Symposium Held in Melbourne February 1959, Symposium Publications Division. New York, Pergamon Press*, 321–332.
- 牛尾収輝 (2003): 頻発する南極リュツォ・ホルム湾の海水流出—1980 年~2003 年の海水状況から—. *南極資料*, **47**, 338–348.
- Watanabe, K. and Satoh, H. (1987): Seasonal variations of ice algal standing crop near Syowa Station, East Antarctica, in 1983/84. *Bull. Plankton Soc. Jpn.*, **34**, 143–164.