

氷海内海洋観測に用いるアイスフェンスの試作

高橋邦夫^{1,2*}・飯田高大^{1,2}・橋田 元^{1,2}・小達恒夫^{1,2}

Field test of “ice-fence” for oceanographic observation in the sea-ice zone

Kunio T. Takahashi^{1,2*}, Takahiro Iida^{1,2}, Gen Hashida^{1,2} and Tsuneo Odate^{1,2}

(2012年6月20日受付; 2012年9月4日受理)

Abstract: The powerful ice-breaking capability of the Japanese icebreaker *Shirase* raises the possibility of marine observations in the fast-ice and/or permanent ice zone; however, it has been difficult to use conventional equipment in such areas due to the risk of damage by sea-ice. The marine biological monitoring program in the sea-ice area off Syowa Station was started during the 52nd Japanese Antarctic Research Expedition to overcome the difficulties encountered when performing conventional oceanographic observations. The program employs “ice-fence” (diameter: 1000 mm, height: 700 mm, stainless-steel), which has been successful in protecting the observation equipment (e.g., plankton nets and CTDs) from damage by sea-ice. This report describes the results of field tests of the performance of “ice-fence” for oceanographic observations in sea-ice areas. Possible improvements to the system are also suggested.

要旨: 南極観測船「しらせ」は世界有数の砕氷能力を持つことから、通常の調査船では困難である定着氷域や流水域での海洋観測が可能である。しかし、これまで氷海内では海水の存在により観測測器を用いることが困難であった。第52次日本南極地域観測隊より、これまでの海洋生態系モニタリング観測をさらに氷海内においても実施することとなり、観測測器を海水からガードするアイスフェンスを用いることで、海水による観測機器の破損やプランクトン試料へのダメージを抑えることに成功した。本稿では、アイスフェンスの改良と現場での観測の概要について、また有用性や今後の改良点について報告する。

1. はじめに

南極海氷域は、(1) 海水形成に伴う高密度の低温・高塩分水の生成が海洋大循環の原動力となること（例えば、Jacobs, 2004; Johnson, 2008）、(2) 海水融解による低塩分表層水中では、春季に一次生産者である植物プランクトンの大増殖が見られ、それを捕食するナンキョ

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, Midori-cho 10-3, Tachikawa, Tokyo 190-8518.

² 総合研究大学院大学複合科学研究科極域科学専攻. Department of Polar Science, School of Multidisciplinary Sciences, The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI), Midori-cho 10-3, Tachikawa, Tokyo 190-8518.

* Corresponding author. E-mail: takahashi.kunio@nipr.ac.jp

クオキアミ等の動物プランクトンが高密度で分布し、物質循環の駆動力となること（例えば、Arndt and Swadling, 2006; Brierley and Thomas, 2002）、そして（3）生物起源の温室効果気体やエアロゾルが大気中の物理・化学過程に影響を与えること（例えば、Charlson *et al.*, 1987; Lawrence, 1993）から、地球規模での環境変動を予測する上で極めて重要な海域と言われている。しかしながら、海氷の存在により海洋測器を用いた調査が困難のうえ氷海内における海洋観測は砕氷能力を持った調査船が必要不可欠であるため、これまでに蓄積された知見は開放水面域に比べて極めて少ないのが実状である。日本南極地域観測隊（Japanese Antarctic Research Expedition: JARE）では新しい南極観測船「しらせ」が就航（第51次隊:2009/10年）したのを契機に、昭和基地沖、リュツォ・ホルム湾の沿岸定着氷を奥深くまで砕氷航行できる「しらせ」の能力を活用し、これまでの観測空白域である大陸棚海域での氷海内海洋生態系モニタリング観測を第52次隊(JARE-52)より開始した(図1)。これまで実施が困難であった海水域での海洋観測は、海氷による機器の損傷を防ぎ、脆弱な海洋生物（主にプランクトン）にダメージを与えることなくネット採集するための工夫が必要であり、そのために第

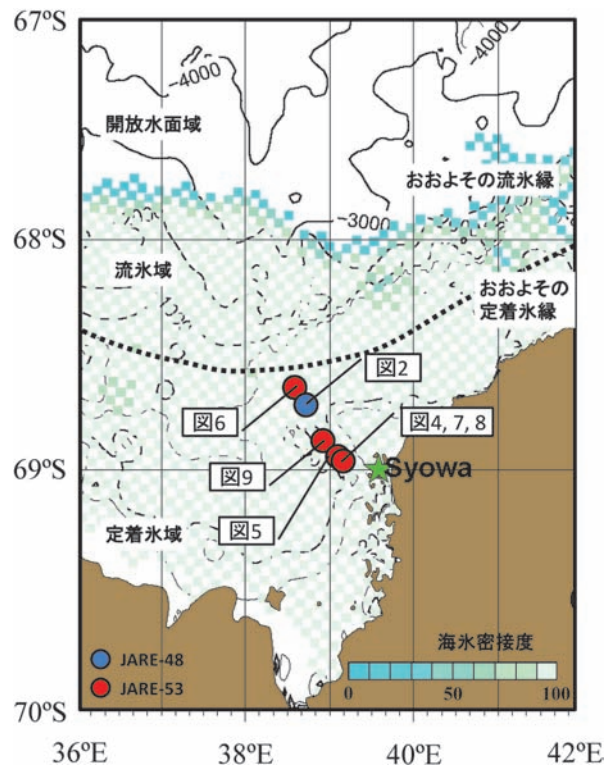


図1 昭和基地沖、リュツォ・ホルム湾の2月における海水氷接度。本報告に用いた写真の撮影地点を示す。

Fig. 1. Sea-ice conditions of Lützow-Holm Bay off Syowa Station.



図 2 第 48 次隊で用いたポリバケツによる“アイスフェンス”のプロトタイプ。
 (2006 年 12 月 18 日に 68°41'S, 38°42'E の観測点において撮影)。
 Fig. 2. Prototype of “ice-fence” in the sea-ice during the JARE-48th cruise.

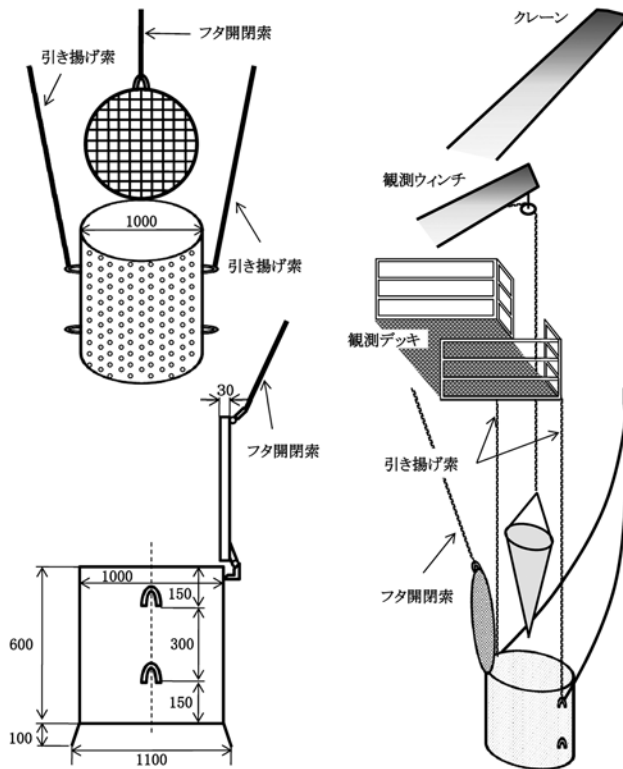


図 3 “アイスフェンス”の概略図
 Fig. 3. Schematic drawing of the “ice-fence”.

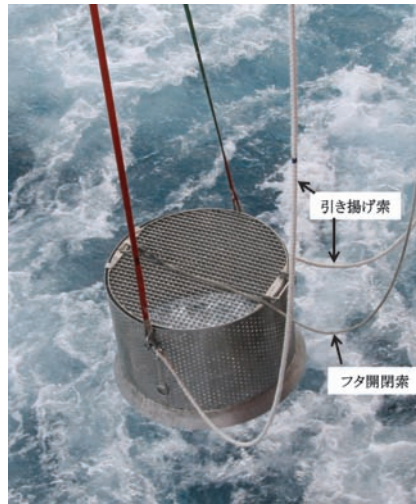


図 4 第 52 次・53 次隊で用いたステンレス製の“アイスフェンス”。
(2012 年 2 月 14 日 (第 53 次隊) に 68°57'S, 39°05'E の観測点
において撮影)。

Fig. 4. “ice-fence” used in the JARE-52nd & 53rd cruises.

48 次隊よりアイスフェンスが試作されてきた。

2. アイスフェンスの概要

第 52 次隊より開始した氷海内生態系モニタリング観測に先駆けて、第 48 次隊では定着氷域および流氷域において、ニスキン採水 (RIGO 社製採水器) を実施している。当時は底を抜いた二つの 40l ポリバケツを合わせ、筒状にしたもの (内径 400 mm, 高さ 1000 mm) を用いて浮氷を防いでいた (図 2)。しかしポリバケツは軽量で強度がないため、幅数メートルにおよぶ氷盤が浮いている海域では、氷に押し潰されたり押し流されたりすることが懸念され、ニスキン採水器を用いることができなかった。そこで第 52 次隊では、海水による影響に耐える強度と操作に適した重量を考慮したアイスフェンスを作製した (図 3, 図 4)。アイスフェンスは内径 1000 mm, 高さ 700 mm の円柱状であり、材質はステンレス (3 mm 厚) である。上部は開閉式のフタ構造となっており、フタ部は縦横 30 mm の細目構造で、閉じた状態から 180 度以上開くことができる。本体の強度を上げるためにステンレスを用いた一方で、クレーンによる吊り下げバランスを安定させるため、側面には直径 10 mm の穴を 50 mm 間隔で空けて軽量化を計り、総重量は 30 kg 以内となっている。さらにアイスフェンス本体をバランス良く引き上げるために、側面の対角線上にフックが取り付けられている (図 3, 図 4)。

3. 現場における観測概要

アイスフェンスの設置方法は現場の氷状により異なる。「しらせ」が砕いた浮氷が船尾に存在しない開放水面の場合、アイスフェンスを用いることなく海洋観測は実施可能である



図 5 第53次隊における氷海内海洋観測. 船尾が開放水面のため、アイスフェンスを用いることなく観測を行った. (2012年2月17日に68°56'S, 39°05'Eにおいて実施)

Fig. 5. Plankton net survey in the sea-ice zone during JARE-53rd. Since sea surface water was open, meaning that observations could be performed without using “ice-fence”.

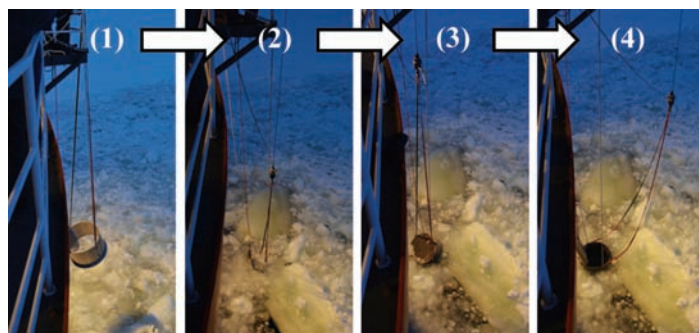


図 6 氷海内におけるアイスフェンスの設置方法. (1)フタ部を開けた状態でアイスフェンスを浮氷下に沈める. (2)海水下でフタ部を閉める. (3)そのままアイスフェンスを表面まで吊り上げ、フタ部を水面に出す. (4)フタ部を開けることで浮氷は取り除かれ、アイスフェンス内は開放水面となる. (2012年3月1日(第53次隊)に68°34'S, 38°39'Eの観測点において撮影).

Fig. 6. The setup method of “ice-fence” in the sea-ice region. (1) Descend with the lid opened. (2) Close the lid under the sea-ice. (3) Ascend to the surface. (4) Open the lid and remove sea-ice on the lid.

(図5). しかしながら、船尾が浮氷で覆われている場合は、船首を定着氷に付けたまま前進をかけて船後方への水流を起こし、一度浮氷を押し出す必要がある。水面が開いている隙にアイスフェンスを設置することで観測が可能となる。クレーンによりアイスフェンスを海水面に着水させた後、観測デッキ上において引き上げ索を操作し安定させる(図3)。大量に浮氷が存在するため、押し出した浮氷が短時間で再び水面を覆いつくして十分な設置時間が確保できない場合は、フタを開けた状態でアイスフェンスを降ろし、浮氷下に沈めたところでフタを閉める。そのままアイスフェンスを表面まで引き揚げ、上部が水面に出たところで観測デッキ上からフタ開閉索を操作してフタを開ける。この手順によりフタ部に乗っていた浮氷は取り除かれ、アイスフェンス内は開放水面となる(図6)。

第52次隊より開始された氷海内生態系モニタリング観測に用いる測器は、直径794mmのメモリー式CTD(Conductivity-Temperature-Depth profiler=電気伝導度水温水深計)(SBE 19 plus, Sea-Bird Electronics, Inc., USA)と自動採水器(SBE 55 ECO sampler, Sea-Bird Electronics, Inc., USA)および直径600mmの閉鎖式プランクトンネットである(図7)。CTDは精密機器であり、海水の接触は故障やデータ欠損の原因となる。また、ネットにより採集されたプランクトンの中にはゼラチン状の体質を持つ分類群をはじめ、脆弱で小型なものが多くを占める。そのため採集時に海水がネットに混入することで試料はダメージを受け、種の同定や計数が困難となることが懸念されている。しかし、これまで第52次隊(3回)および第53次隊(2回)で実施したアイスフェンスを用いた氷海内観測においては、海水によるCTDの損傷や動作異常は確認されず、正常なデータが取得されている(図8)。また、閉鎖式プランクトンネットによる試料においても1mm以下の小型動物プランクトンがダメージなく採集



図7 氷海内モニタリング観測で用いるメモリー式CTDと自動採水器(左図)および閉鎖式プランクトンネット(右図)。(2012年2月14日(第53次隊)に68°57'S, 39°05'Eの観測点において撮影)。

Fig. 7. CTD with a water sampler (left) and plankton net (right) used in the monitoring program in the sea-ice region.

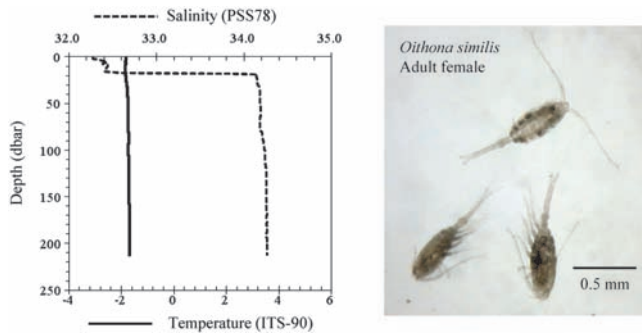


図 8 アイスフェンスを用いた観測により得られた CTD による水温・塩分の鉛直プロファイル（左図）と、プランクトンネットにより状態良く採集された 10 mm 以下の小型カイアシ類 *Oithona similis* の成体雌（右図）。（2012 年 2 月 14 日（第 53 次隊）に 68°57'S, 39°05'E の観測点において観測されたデータ）。

Fig. 8. Vertical profiles of temperature and salinity by CTD cast (left) and small copepods *Oithona similis* by plankton net (right) collected from the oceanographic observations using “ice-fence”.

できていることが確認されている（図 8）。これらのアイスフェンスの設置から CTD およびプランクトンネットの観測，アイスフェンスの回収までに要した時間は，およそ 1 時間程度であった。

4. まとめと改善点

これまで困難であった氷海内における海洋観測は，第 52 次・第 53 次隊においてアイスフェンスを用いることで海水の影響を取り除き，一定の成果を挙げている。また，海水で埋め尽くされた海域にアイスフェンスで開放水面を作り出すことで，バケツによる表層採水や XCTD（投下式水温塩分計）観測の実施も可能となった。さらにはプランクトンネット濾水計のキャリブレーションといった，海面に波がなく，風や潮流の影響で船が流されない条件が必要な観測項目の実施にもアイスフェンスは有用である。しかしながら，現在のアイスフェンスに改良を加えることで，氷海内における海洋観測の一層の充実を計ることが可能と考えられる。今後のために改善点などを以下に記す。

第 53 次隊の定着氷内においては，リュツォ・ホルム湾内の氷厚が 4.0 m 以上，積雪 1.5 m 以上であり，「しらせ」が昭和基地接岸を断念するほどに氷状が厳しかった。また，「しらせ」が砕いた雪と海水の小片（Brash-ice）が 1 m を超える程度に積み重なり（図 9），アイスフェンスを設置すること（開放水面を作ること）ができない海域があった。今後もこのような氷状が続くことが予想されることから，Brash-ice 対策としてアイスフェンスの高さを 1.5–2.0 m 程度まで伸ばす必要がある。また内径も広くすることで，より大型の観測機器への対応が可



図 9 第53次隊における定着氷域での Brash-ice。(2012年2月21日に68°50'S, 38°50'E 付近において撮影)。

Fig. 9. Brash-ice in the permanent fast ice zone during the JARE-53rd cruise.

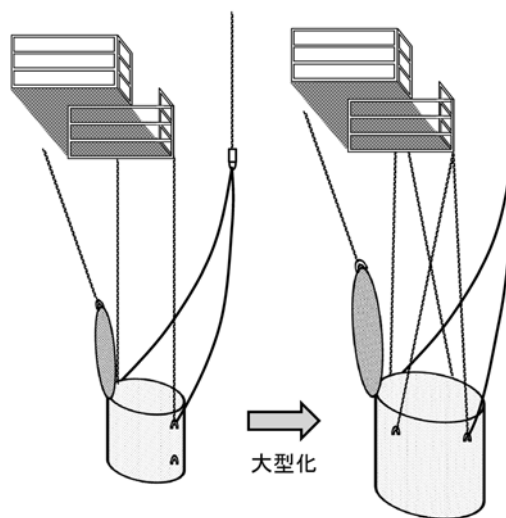


図 10 “アイスフェンス”の大型化への改良に伴う引き揚げ用フックの位置と設置概略図。引き揚げ用フックを横方向に設置することで、両サイドから各2箇所、計4箇所の引き揚げ索でバランスを強化する。

Fig. 10. Schematic drawing of the improvement point of “ice-fence”.

能である。一方、アイスフェンスが大型化することで、クレーンによる引き揚げ時のバランス維持が困難となることが予想される。そこで、対角線上の縦方向に2箇所ずつ取り付けられている引き揚げ用のフックを横方向に設置する。これにより、船の右舷・左舷の両サイドから各2箇所、計4箇所できり上げることアイスフェンスの大型化に対応し、バランスを強化できると考えている(図10)。

現場の氷状によるが、アイスフェンスの設置にはある程度のシフトタイムが必要となる。実際に海水が存在する場での設置訓練の実施は困難であるが、国内巡航期間に「しらせ」乗

員の協力のもと、十分な設置および観測の訓練を積むことが、アイスフェンスを用いた氷海内観測を円滑に進める上で重要となる。また今後、あらゆる氷状に対応し、さらには余分なシップタイムの浪費を抑えるためにも、毎年経験した氷状とそれに伴う観測概要の記録を継続して積み重ねることが重要となる。

謝 辞

第52次隊および第53次隊隊長はじめ隊員の皆さま、および「しらせ」乗員の皆さまには氷海内観測における様々な援助をいただいた。また、アイスフェンスの考案および製作にあたり、防衛省海上自衛隊「しらせ」艦装員およびユニバーサル造船株式会社の皆さまにご協力いただいた。ご支援に心より感謝致します。アイスフェンスを用いた本研究観測は国立極地研究所プロジェクト研究「東南極海洋の環境変動に関する研究」(KP-4)および日本南極地域観測隊基本観測課題「生態系変動モニタリング」(AMB-2)の一部として実施されたものである。

文 献

- Arndt, C.E. and Swadling, K.M. (2006): Crustacea in Arctic and Antarctic sea ice: distribution, diet and life strategies. *Adv. Mar. Biol.*, **51**, 197–315, doi: 10.1016/S0065-2881(06)51004-1.
- Brierley, A.S. and Thomas, D.N. (2002): Ecology of Southern Ocean pack ice. *Adv. Mar. Biol.*, **43**, 171–276, doi: 10.1016/S0065-2881(02)43005-2.
- Charlson, R.J., Lovelock, J.E., Andreae, M.O. and Warren, S.G. (1987): Oceanic phytoplankton, atmospheric sulphur, cloud albedo and climate. *Nature*, **326**, 655–661, doi: 10.1038/326655a0.
- Jacobs, S.S. (2004): Bottom water production and its links with the thermohaline circulation. *Antarct. Sci.*, **16**, 427–437, doi: 10.1017/S095410200400224X.
- Johnson, G.C. (2008): Quantifying Antarctic Bottom Water and North Atlantic Deep Water volumes. *J. Geophys. Res.*, **113**, C05027, doi: 10.1029/2007JC004477.
- Lawrence, M.G. (1993): An Empirical analysis of the strength of the Phytoplankton-Dimethylsulfide-Cloud-Climate Feedback Cycle. *J. Geophys. Res.*, **98** (D11), 20663–30673, doi: 10.1029/93JD01930.