

第 54–55 次日本南極地域観測隊 (JARE-54 & -55) における アイスフェンスを用いた氷海内海洋観測

高橋邦夫^{1,2*}・高村友海¹・小達恒夫^{1,2}

Report on a modified ice-fence for oceanographic observations under heavy
sea-ice conditions during JARE-54 and JARE-55

Kunio T. Takahashi^{1,2*}, Tomomi R. Takamura¹ and Tsuneo Odate^{1,2}

(2014 年 4 月 8 日受付; 2014 年 6 月 2 日受理)

Abstract: The marine biological monitoring program in the sea-ice area off Syowa Station was started by the 52nd Japanese Antarctic Research Expedition. The use of an “ice-fence” protected observation equipment (e.g., plankton nets and CTDs) from damage due to sea-ice. However, heavy sea-ice conditions have occurred frequently off Syowa Station in recent years. Therefore, we modified the ice-fence (diameter: 1000 mm, height: 1200 mm, stainless steel) to enable observations under heavy sea-ice conditions. This report describes the results of field tests of the modified ice-fence performed during the 54th and 55th Japanese Antarctic Research Expeditions.

要旨: 第 52 次日本南極地域観測隊より開始した氷海内における海洋生態系モニタリング観測において、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ために、測器を海水からガードする“アイスフェンス”を用いている。これまで一定の成果を挙げてきてはいるが、近年の昭和基地周辺における厳しい氷状においても観測を可能とするために、アイスフェンスの改良を継続した。本報告では第 54 次隊および第 55 次隊において実施したアイスフェンスの改良の紹介と、実際の現場における観測の概要について報告する。

1. はじめに

日本南極地域観測隊 (Japanese Antarctic Research Expedition: JARE) では沿岸定着氷の奥深くまで砕氷航行できる「しらせ」の能力を活かし、観測空白域であった昭和基地沖、リュツォ・ホルム湾の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。これまで海水の存在により海洋測器を用いた調査が困難であった海水域での海

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, SOKENDAI (The Graduate University for Advanced Studies), Midori-cho 10-3, Tachikawa, Tokyo 190-8518.

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

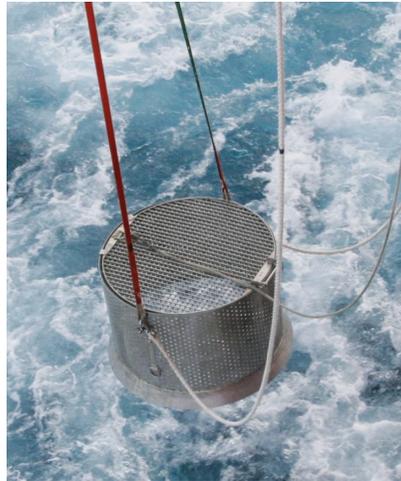


図 1 JARE-52 と 53 で用いた“アイスフェンス” (高橋ほか, 2012; 図 4).
Fig. 1. “Ice-fence” used during the JARE-52 and JARE-53 cruises (from Takahashi et al. 2012).

洋観測は、海水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アイスフェンス（図 1）を用いることで、海水の影響を取り除くことに成功した（高橋ほか, 2012）。実施観測項目は CTD（Conductivity-Temperature-Depth profiler）（SBE 19plus, Sea-Bird Electronics, Inc., USA）と自動採水器（SBE 55 ECO sampler, Sea-Bird Electronics, Inc., USA）による海洋環境観測、および閉鎖式プランクトンネットを用いた動物性のプランクトン採集であり、現場の氷状はさまざまではあったが、これまでに JARE-52 で 3 回、第 53 次隊（JARE-53）で 2 回の合計 5 回、アイスフェンスを用いた氷海内観測に成功しており、取得データや採集標本に異常は見られていない（高橋ほか, 2012; 図 8 を参照）。しかしながら、JARE-53 の定着氷内においては、「しらせ」が昭和基地接岸を断念する程に氷状が厳しく、アイスフェンスの設置が不可能であり、観測の実施を断念した海域が存在した。今後もこのような厳しい氷状が継続することが想定されたため、1) 厳しい氷状に対応すること、2) 余分なシップタイムの浪費を抑えること、さらには 3) 安全性を高めることを目指して第 54 次隊（JARE-54）、第 55 次隊（JARE-55）においてアイスフェンスの改良を継続して試みた。本稿はアイスフェンスの試作を報告した高橋ほか（2012）の続報として、アイスフェンスの改良過程を紹介するとともに、現場において実施した観測概要を報告する。

2. JARE-54 におけるアイスフェンスの改良

JARE-53 の定着氷内の氷状は、氷厚 4.0m 以上、積雪 1.5m 以上であり、「しらせ」が砕氷

航行によって砕いた雪と海氷の小片 (Brash-ice) が 1 m 程度に積み重なり、高さ 700 mm のアイスフェンスを設置すること (フェンス内に開放水面を作ること) が困難な海域が存在した (高橋ほか, 2012). そこで JARE-54 では、内径 (1000 mm) は現状の直径幅のままで、高さを 500 mm 伸ばして 1200 mm とした (図 2). 材質は本体の強度を保つために、現状と同じステンレスの板厚 3 mm を用いた. これまでは軽量化を計る目的で、側面には直径 10

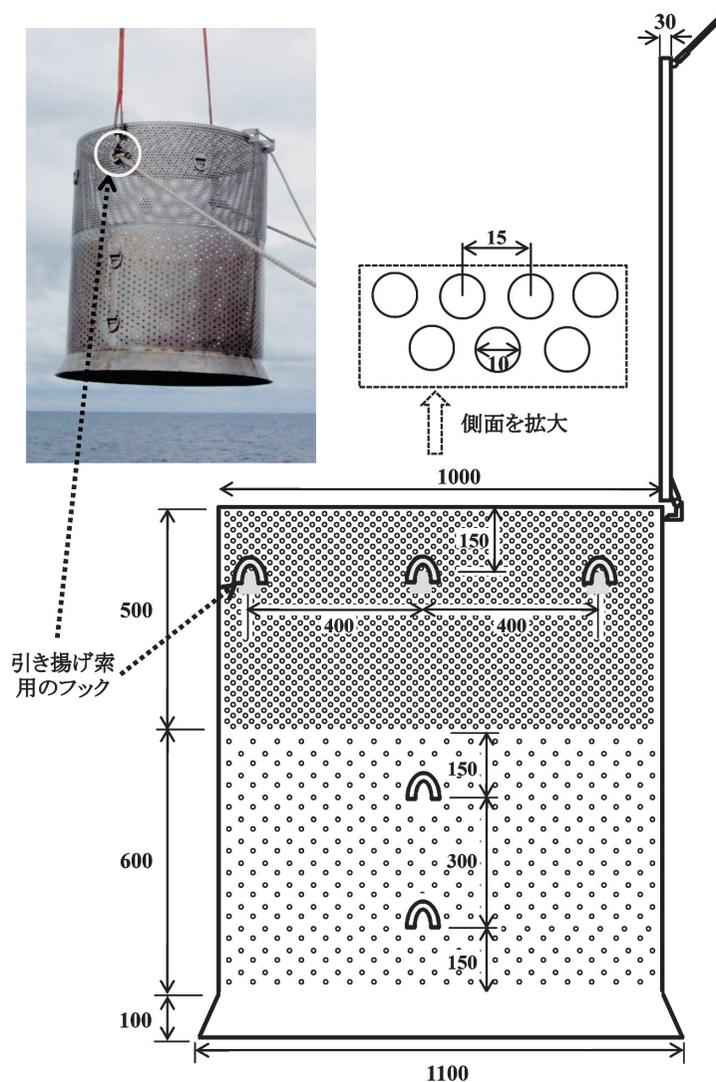


図 2 JARE-54 で実施したアイスフェンスの伸長概略図 (写真は 2012 年 9 月 11 日に「しらせ」国内巡航中に撮影).

Fig. 2. Schematic drawing of the modified ice-fence employed during JARE-54 (11 Sep. 2012).

mm の穴を 50 mm 間隔で空ける工夫を行っていたが、高さを 500 mm 伸ばすことによる重量化を最小限に抑えるため、側面の穴は直径 10 mm を 15 mm 間隔とした (図 2)。本体の総重量は 70 kg 以内となっている。またアイスフェンスをバランスよく引き揚げるためのフックは、これまで対角線上の縦方向に 2 箇所ずつ取り付けいていたが、横方向に 40 mm 間隔で 3 箇所ずつ設置した (図 2)。

3. JARE-54 における観測概要

JARE-54 では JARE-53 同様に氷状が厳しく、「しらせ」は 2 年連続で昭和基地接岸を断念する事態となった。しかしながら、アイスフェンスを用いた氷海内モニタリング観測は定着氷内で 2 回 (観測点 A, B) の実施に成功している (図 3)。また後述するが、流水域の観測点 C では一度アイスフェンスの設置を試みた。しかし最終的には流水縁の開放水面域での実施となった (図 3)。

観測点 A では、JARE-53 でアイスフェンスの設置を断念した海水の小片 (Brash-ice) が積み重なって存在する氷状であった。しかし、高さを 500 mm 伸ばした改良が功を奏し、フェンス内への Brash-ice の侵入を許すことなく観測を実施することができた (図 4a)。大型化による設置および回収時間や手順への影響は見られず、円滑に観測を実施することができた。

観測点 B は定着氷内ではあったが、氷厚が薄い海水であった。そのため「しらせ」による砕氷によって海水は小片には砕けず、大きな氷盤状に割れる状態であった (図 4b)。船尾が氷盤で覆われていたため、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、氷盤を押し出すことを試みたが、氷厚が薄くて船が前進する事態となった。そこで「しらせ」は旋回を試み、氷盤の隙間に開放水面域を作り出すことで、アイスフェンスの設置が可能となった (図 4b)。アイスフェンスの設置から観測、およびアイスフェンスの回収までの作業に要した時間は、およそ 1 時間半程度ではあったが、大きな氷盤が開放水面域に押し寄せることなく、観測が実施できた。

JARE-54 においては、流水域の幅 (定着氷縁から流水縁まで) は狭くなっていた。これは強い北風によって、流水が定着氷縁に押し流されたためと推測された。はじめに浮氷が漂う流水域でアイスフェンスの設置を試みたが、沖合から来た“うねり”が高く、アイスフェンスが上下左右に動揺し、設置・観測を断念する事態となった (図 4c)。そのため数マイル北上して流水縁に移動し、開放水面域に観測点 C を設けて、アイスフェンスを使用せずに観測を実施した (図 4d)。

4. JARE-55 におけるアイスフェンスの改良

JARE-54 では JARE-53 での経験をもとに、Brash-ice 対策としてアイスフェンスの高さを伸ばす改良を行って観測に挑んだ。その結果、JARE-53 では困難であった厳しい氷状に対応

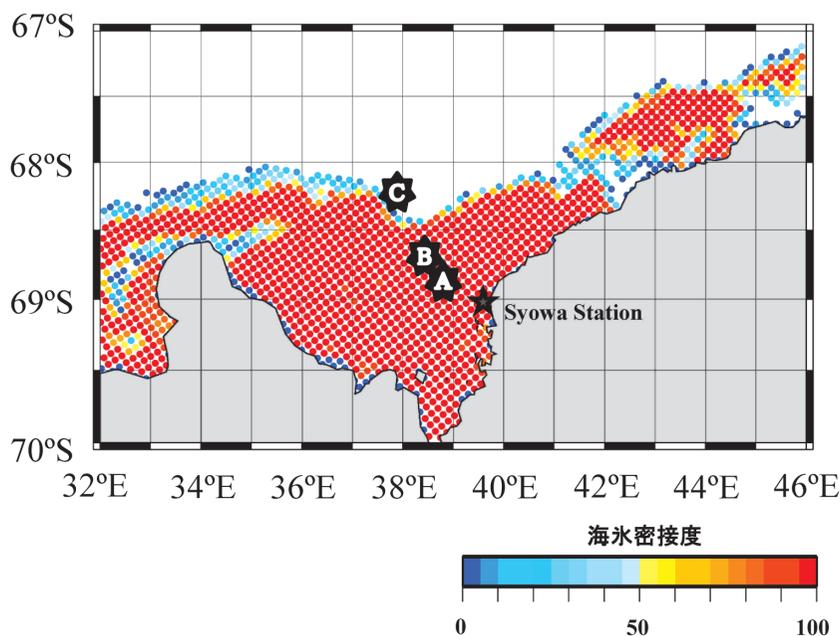


図 3 JARE-54 における氷海内海洋生態系モニタリング観測点と観測時における昭和基地沖、リュツォ・ホルム湾の海水氷密接度 (JAXA より提供, AMSR2/GCOM-W1 データをもとに作成).

Fig. 3. Sampling stations for oceanographic observations in the sea-ice zone, and sea-ice conditions in Lützow-Holm Bay off Syowa Station during JARE-54. The sea-ice concentration data were obtained from Daily AMSR2 sea ice maps (<http://www.iup.uni-bremen.de:8084/amr2/>).

することができた. 一方で安全に観測を実施するためには, クレーンによる引き揚げのバランス維持を確保する必要がある. アイスフェンスの大型化には安全性の確保との両立が必須であるため, さらなる大型化を伴う改良には限界があり, 困難であると考えた. よって JARE-55 では, 安全性への配慮およびより効率よくアイスフェンスを厳しい氷状に設置するために, 以下の 2 点の改良を実施した.

1) 現在の形状では, アイスフェンスを人力で運搬するためにフェンスを確保する部位がなく, 70 kg の重量物の移動が困難であった. そのため安全で容易に持ち運びができるように対角線上に 8 箇所, 移動用の取っ手を取り付けた (図 5a).

2) これまでフタ部の開閉はいずれもフタ開閉索を上下させることにより行っていたが, 設置時の角度によっては円滑にフタ部が閉まらず, 浮氷を取り除くタイミングを逸することがあった. そこで, 上部のフタ部の閉鎖を容易に実施するために, フタ部に閉鎖索用金物を取り付けた (図 5b). これによりフタ部を開く動作は, これまで通りフタ開閉索を引き揚げることにより行い (図 5c), 一方で閉鎖動作は, 取り付けたフタ閉鎖索を引き揚げることにより円滑に行うことが可能となった (図 5d).

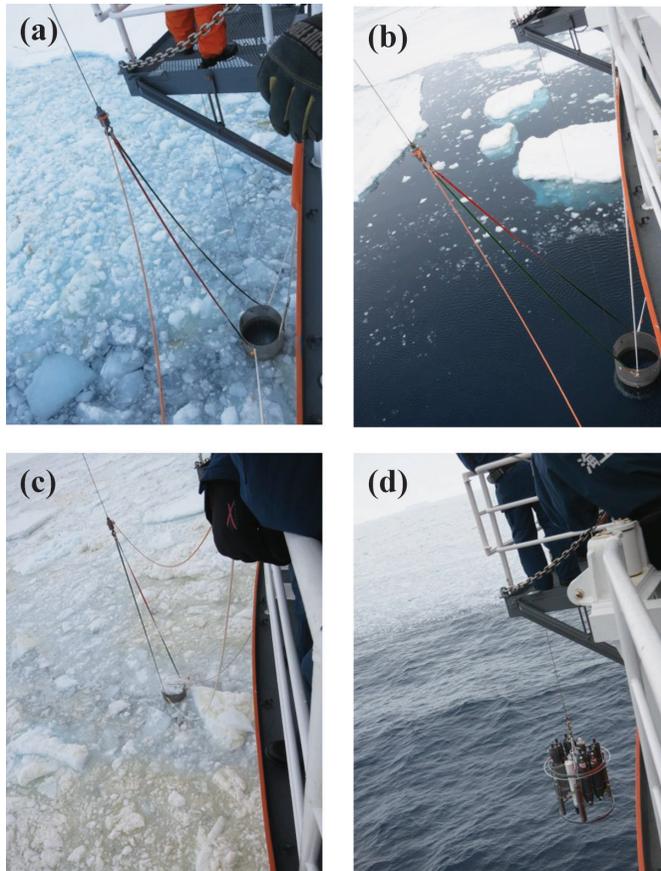


図 4 JARE-54 における氷海内海洋観測時の水状。(a) 観測点 A (2013 年 2 月 10 日に 68°50' S, 38°55' E において実施), (b) 観測点 B (2013 年 2 月 16 日に 68°40' S, 38°38' E において実施), (c) 流水域においてアイスフェンスの設置を試みた観測点 (2013 年 2 月 17 日に 68°27' S, 37°55' E において実施), (d) 観測点 C (2013 年 2 月 17 日に 68°23' S, 37°50' E において実施)。

Fig. 4. Sea-ice conditions at sampling stations during the JARE-54 cruise. (a) Station A (10 Feb. 2013). (b) Station B (16 Feb. 2013). (c) Observations using the ice-fence were cancelled by a heavy surge on the sea surface (17 Feb. 2013). (d) Station C (17 Feb. 2013).

5. JARE-55 における観測概要

JARE-55 では「しらせ」が 3 年振りに昭和基地接岸を果たしたが、定着氷内の氷状は JARE-53 および JARE-54 同様に厳しいものであった。アイスフェンスを用いた氷海内モニタリング観測は、定着氷内で 2 回 (観測点 A, B) の実施に成功した (図 6)。また流水域の乱氷帯において一度アイスフェンスの設置を試みたが、アイスフェンスを静置することができず、最終的には JARE-54 と同様に流水縁の開放水面域での実施となった (観測点 C) (図 6)。

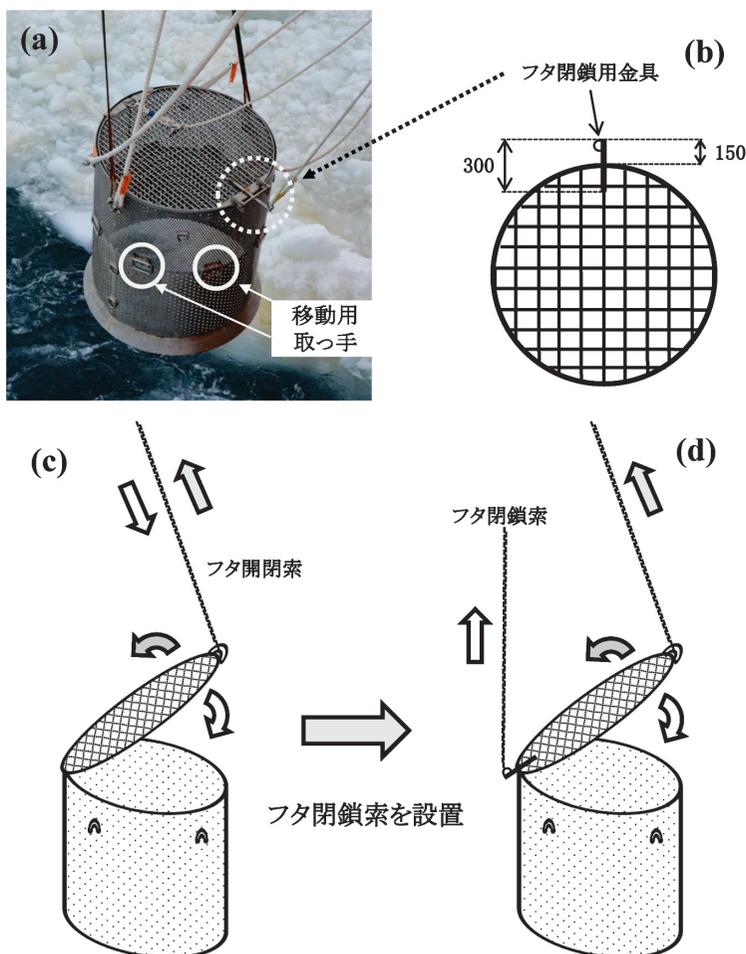


図 5 JARE-55 で実施したアイスフェンスへの持ち運び用取っ手およびフタ部閉鎖用金物の取り付け図. (a) 移動用取っ手の取り付け位置, (b) フタ閉鎖用金具の取り付け位置, (c) 改良前のフタ開閉索, (d) 改良後のフタ開閉索. 従来はフタ開閉索のみでフタ部の開閉操作を行っていたが, フタ閉鎖索を取り付けることによって閉鎖を容易に行えるようにした. (写真は 2014 年 2 月 11 日に 68°11'S, 38°51'E において高野直氏撮影).

Fig. 5. Schematic drawing of improvements made to the ice-fence during JARE-55 (11 Feb. 2014; photograph by N. Takano).

観測点 A は定着氷内にあるわずかな開放水面域において実施した. 周囲の氷厚も薄くアイスフェンスの設置も 10 分以内で容易に行うことができた. 観測中に大きな氷盤が押し寄せせることもなく, 円滑に観測を実施することができた (図 7a).

観測点 B は海水の小片 (Brash-ice) が積み重なり, また観測点 A に比べて厚い海水が混在する氷状であった (図 7b). そのため何度か前進をかけて船後方への水流を起こし, 海水

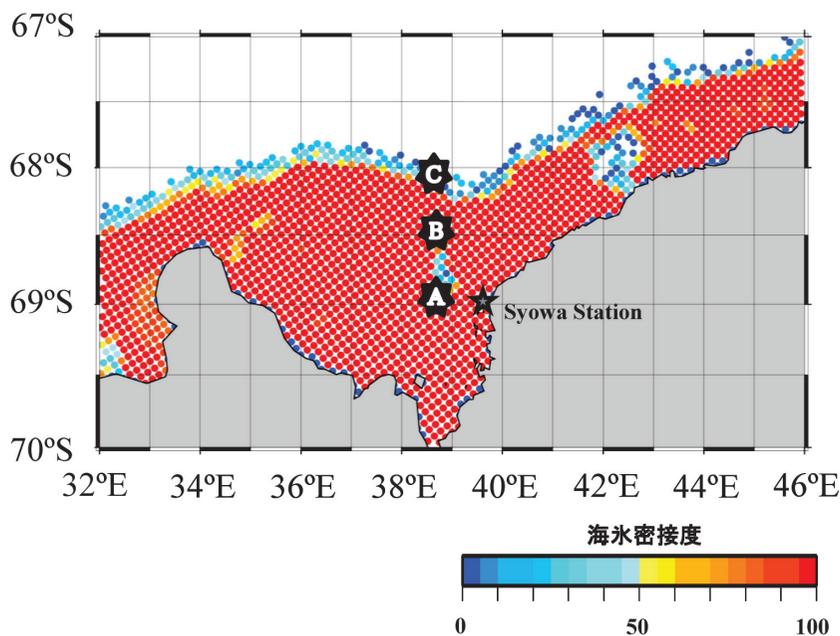


図 6 JARE-55 における氷海内海洋生態系モニタリング観測点と観測時における昭和基地沖、リュツォ・ホルム湾の海水氷接度 (JAXA より提供, AMSR2/GCOM-W1 データをもとに作成).
 Fig. 6. Sampling stations for oceanographic observations in the sea-ice zone, and sea-ice conditions in Lützow-Holm Bay off Syowa Station during JARE-55. The sea-ice concentration data were obtained from Daily AMSR2 sea ice maps (<http://www.iup.uni-bremen.de:8084/amr2/>).

を押し出すことで、アイスフェンスを設置した。また、2 回目の CTD キャスト前に厚い海水によりアイスフェンスの位置がわずかに移動したため、一度水面から離してから再設置を行った。再び水流によって海水を押し出すことにより、設置を容易に行うことができた。アイスフェンスの設置から観測、およびアイスフェンスの回収までの作業に要した時間は 1 時間半程度であり、再設置を要したにも関わらず予定時間内ですべて実施することができた。

JARE-55 復路の北上時では一年氷帯を抜けると乱氷帯が広がっており、いわゆる流水域が存在せず、乱氷帯を抜けると開放水面域であった。これは JARE-54 のわずかな流水域と同様に強い北風によって、流水が定着水縁に押し流されて乱氷帯を形成したのと考えられた。はじめに開放水面域より数マイル南側の乱氷帯でアイスフェンスの設置を試みたが、乱氷帯を砕水した氷状は比較的大型の浮氷が多く、さらには海水氷接度が高いことから海水を押し出して開放水面を作っても、すぐに浮氷で埋まってしまった (図 7c)。そのためアイスフェンスを海水下に沈めることが困難であり、設置作業を何度もやり直す状況であった (図 7d)。さらには設置したアイスフェンスが沖合から来た“うねり”によって上下左右に動揺し、静置することが困難であった。約 1 時間の設置作業を試みたが、観測測器を沈めている

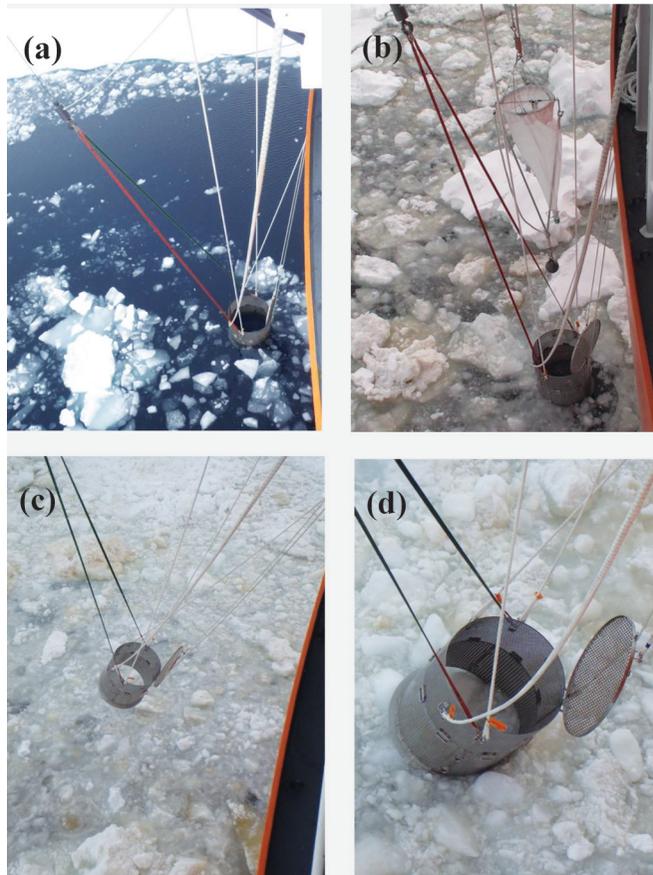


図 7 JARE-55 における氷海内海洋観測時の氷状。(a) 観測点 A (2014 年 2 月 9 日に $68^{\circ}52' S$, $38^{\circ}42' E$ において実施, 水野団氏撮影), (b) 観測点 B (2014 年 2 月 9 日に $68^{\circ}29' S$, $38^{\circ}40' E$ において実施, 水野団氏撮影), (c) および (d) 流氷域においてアイスフェンスの設置を試みた観測点 (2014 年 2 月 11 日に $68^{\circ}11' S$, $38^{\circ}51' E$ において実施, 高野直氏撮影)。

Fig. 7. Sea-ice conditions at sampling stations during the JARE-55 cruise. (a) Station A (9 Feb. 2014; photograph by D. Mizuno). (b) Station B (9 Feb. 2014; photograph by D. Mizuno). (c) and (d) Observations using the ice-fence were cancelled by a heavy surge on the sea surface (11 Feb. 2014; photograph by N. Takano).

時間 (CTD および自動採水器でおよそ 20 分程度), アイスフェンスを常に静置させていることは困難と判断し, 観測を断念する事態となった。そのため数マイル北上して, 開放水面域においてアイスフェンスを使用せずに観測点 C を実施した。

6. おわりに

JARE-52より開始した氷海内海洋生態系モニタリング観測は、アイスフェンスを用いることで一定の成果を挙げている（高橋ほか，2012）。アイスフェンスは厳しい氷状への対応，安全性，円滑な観測の実施を考慮した改良をJARE-55まで毎年繰り返し行ってきた。その結果，特に定着氷内においては十分に有用性が評価できることから，現時点での形状で一応の完成形と判断している。一方で，JARE-54の流水域およびJARE-55の乱氷帯域においては，開放水面域から入る“うねり”が高く，アイスフェンスを静置することができない事態が発生した。アイスフェンスの内径は1000mmであるのに対し，用いている観測測器は直径794mmのCTDと自動採水器，および直径600mmの閉鎖式プランクトンネットである（高橋ほか，2012）。現状のアイスフェンスは大型化を避けるために，測器を通すのに十分に余裕のある直径幅を持って製作されてはおらず，あくまでもアイスフェンスが海水面に静置されることを前提としている。そのため，流水域での観測は“うねり”が入ってこない海域での実施が必要条件となるが，今後もJARE-54，JARE-55のように流水域がほとんどなく，高い“うねり”が入ってくる条件に遭遇した場合は，アイスフェンスを安全に設置すること，また測器との接触を避けることを優先し，アイスフェンスによる観測を避け，開放水面域で実施するのが賢明であると思われる。

アイスフェンスを用いた観測は，JARE-52～55の4年間で合計9回の実施に至った。これまで知見の乏しかった大陸棚海域における観測結果は，世界的にも希少なデータセットであり，すでに海水分布に伴った動物プランクトンの分布，種組成に関する成果が公表されている（Ojima *et al.*, 2013）。今後も様々な氷状や天候の中で，アイスフェンスを用いた観測経験を積み重ねることで，より安全にモニタリング観測を継続することが重要である。

謝 辞

第54次および第55次日本南極地域観測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改良にあたり，防衛省海上自衛隊「しらせ」艀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する。海水密接度の情報は国立極地研究所，南極観測センター，清水大輔博士から提供いただいた。第55次日本南極地域観測隊夏隊同行者の高野直氏，水野団氏からは現場における観測風景写真を提供していただいた。以上の皆さまに厚く感謝する。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

- Ojima, M., Takahashi, K.T., Iida, T., Odate, T. and Fukuchi, M. (2013): Distribution patterns of micro- and meso-zooplankton communities in sea ice regions of Lützow-Holm Bay, East Antarctica. *Polar Biol.* **36**, 1293–1304, doi:10.1007/s00300-013-1348-y.
- 高橋邦夫・飯田高大・橋田 元・小達恒夫 (2012): 氷海内海洋観測に用いるアイスフェンスの試作. *南極資料*, **56**, 447–455.