

日本南極地域観測隊の夏期行動中における海水分布情報の提供システム

田村岳史^{1*}・清水大輔²・牛尾収輝^{1,3}・大島慶一郎²

Data supply system of sea ice information for the Japanese Antarctic Research Expedition during summer

Takeshi Tamura^{1*}・Daisuke Simizu²・Shuki Ushio^{1,3}・Kay I. Ohshima²

(2011年6月16日受付；2011年8月11日受理)

Abstract: We developed a system to supply Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS (AMSR-E) sea ice concentration data to the Japanese Antarctic Research Expedition (JARE). Using this system, digital sea ice concentration data were provided to JARE-51 and -52 on the icebreaker *Shirase*, with a lag time of 1–2 days. The sea ice data were highly useful during the deployment of the moorings. The system was also utilized by other Japanese research vessels in the Southern Ocean, and the sea ice data were helpful for the operation of the vessels.

要旨: 最新の高分解能の Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS (AMSR-E) 海水氷密度データを南極地域観測隊に提供するシステムを開発した。このシステムによって、デジタルデータとしての海水分布情報が1–2日程度の遅れで第51次及び第52次日本南極地域観測隊に送られ、係留系設置作業に関わる現地判断に役立てることができた。さらに、このデータは東京海洋大学「海鷹丸」や海洋研究開発機構「白鳳丸」等の南極海水域周辺を航行する他の日本の観測船にも提供され、それぞれの船の運航上の参考情報として役立てられた。

1. はじめに

日本南極地域観測事業における昭和基地方面への人員・物資輸送は、南極観測船「しらせ」によって行われている。「しらせ」は12月中～下旬に昭和基地に接近し、翌年2月中～下旬に同基地沖の海水域を離脱する。この時期の当海域の海水状況は、海水融解の進行と風

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, Midoricho 10-3, Tachikawa, Tokyo 190-8518.

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 060-0819.

³ 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), Midoricho 10-3, Tachikawa, Tokyo 190-8518.

* Corresponding author. E-mail: tamura.takeshi@nipr.ac.jp

による海水漂流によって時空間的に大きく変動し、観測船の砕氷航行の難易度に大きく影響を与える（楠，1975）。第51次及び第52次日本南極地域観測隊では、東南極ケープダンレーポリニヤ（東経70度）における係留系設置、及びそこでの高密度水形成に関する現場観測が行われた。ここでの係留系の設置・回収作業は2月中～下旬に行われており、海氷の有無は作業の遂行に大きく影響する。

海水域における研究観測の実施及び砕氷航行を含めた観測オペレーションの遂行のためには、南大洋の特に昭和基地沖や各観測海域において、リアルタイムの海水密度度を把握していることが不可欠である。1970年代後半から始まった人工衛星搭載のマイクロ波放射計による観測によって、海水密度度の情報をほぼリアルタイムで取得することができるようになった。マイクロ波データは昼夜を問わず、また天候の影響を受けずに全球をカバーする範囲で取得でき、極域においては1日1回以上データを取得することができる。現在、南大洋におけるマイクロ波放射計による海水密度度情報は、Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS (AMSR-E)の最新のアルゴリズムを使うと、最大6.25 kmの空間分解能でほぼ毎日取得することができる（Spreen *et al.*, 2008）。海水密度度データを準リアルタイムで観測船に提供するシステム（実際の運用では1-2日程度の遅れがある）を作ることにより、個々の研究観測のみならず、南極観測事業全体にも貢献できる。さらに、このシステムは東京海洋大学「海鷹丸」や、海洋研究開発機構「白鳳丸」等の南極海水域周辺を航行する他の日本の観測船に対しても同様の貢献ができる。

上述の背景より、最新の高分解能のAMSR-E海水密度度データをデジタルデータとして「しらせ」船上の観測隊に送り、日本で得られる情報と同レベルの質の（通信の過程で劣化しない）データを提供するシステムを開発した。本報告では、従来の方法についてのレビューを簡略に行い、海洋観測に関わる行動計画、特に航路検討の参考など現地観測隊における運用例と共に、本システムを解説する。

2. 「しらせ」船上の観測隊へ提供されてきた海水情報の内容と課題

「しらせ」は、例年11月の東京出港前に防衛省南極観測支援班を経由して、高空間分解能画像であるRADARSAT衛星のSynthetic Aperture Radar (SAR)画像（衛星回帰周期は24日）を入手し、昭和基地に至る航路周辺の海水状況、特にリュツォ・ホルム湾東部の定着氷縁の位置や形状、同湾内定着氷野内の氷山群の分布状況の概略把握に活用している。しかし、回帰周期が長いRADARSAT衛星による情報だけでは、時空間的変動の激しい海水状況の把握には不十分である。それを補う情報として、Defense Meteorological Satellite Program (DMSP)衛星のSpecial Sensor Microwave Imager (SSM/I)画像（マイクロ波）や、National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)衛星のAdvanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)画像（赤外、可視領域）が有効である。これらはSAR画像に比べて

空間分解能は劣るが、毎日の取得が可能である。AVHRR, SSM/I, そして AMSR-E データの解像度と一日当たりの取得頻度はそれぞれ、およそ 1 km, 25 km, 6.25–12.5 km; 4–6 回, 2 回, 2 回である。SSM/I 画像は Web 上で公開されているものが即時利用できる（例えば、<http://polar.ncep.noaa.gov/seaice/Analyses.html#shmap>）。なお、NOAA/AVHRR 画像は、海水分布を知るための利用に際しては雲が少ないことが必要となる。しかしながら、通常南極では雲が多く、昭和基地で受信処理される画像のうち、AVHRR 画像を利用できる日はかなり限られている。

これらの情報は、2002 年出発の第 44 次観測隊以降、国立極地研究所（以下、極地研）から「しらせ」船上の観測隊に向けて発信されている。不定期ではあるが提供した情報は、SSM/I 画像（南極海全域、リュツォ・ホルム湾周辺拡大図）（牛尾, 2007）と NOAA/AVHRR 画像（平沢ほか, 2002）、米国立氷センター（National Ice Center: NIC）公表の海水密接度分布図等のアナログ画像データである。衛星画像上で海水状況に顕著な変化が認められた場合には、変化の特徴についてコメントを付している。なお、2004–05 年の第 46 次隊で実施された「しらせ」船上鯨類目視調査の支援に際しては、SSM/I 画像拡大図と NOAA/AVHRR 可視画像を極地研から船上観測隊宛に電子メールまたはファクシミリによって高頻度で送信した。衛星画像上で示された海水状態と現場のそれとでは一致しない点もあるが、氷縁位置や海水域内の開水面・低密接度領域の分布の概略が把握でき、鯨類調査海域を選定する上で有益な情報となったことが牛尾（2007）により報告されている。

従来の SSM/I 画像の利用については、Web 上で公開された画像ファイル（JPEG または GIF 形式）の拡大や、トリミングにとどまっていた。海洋観測の候補地点周辺の詳細な海水状況を把握するためには、各画像上に緯経線や、より詳細に描いた大陸沿岸線を加えて現地観測隊が活用しやすい海水分布画像を作成することが必要である。

3. 南極観測船「しらせ」用の AMSR-E 海水密接度データセット

我々が第 51 次、第 52 次隊向けに開発したデータ提供システムは、ブレーメン大学が HP (<http://www.iup.uni-bremen.de:8084/amr/amre.html>) 上でほぼリアルタイムで提供している海水密接度データを使用する（データの詳細については Spreen *et al.*, 2008 を参照）。このサイトでは全球の AMSR-E 海水密接度画像及びデータが daily データとして公開されている。この海水密接度データをダウンロードして、昭和基地を含めた東南極海水域の範囲で切り出し、各グリッドの海水密接度を 1 バイト整数で表現し直して、海水密接度の daily データを作成する。このデータを圧縮して、観測船「しらせ」に送ることになる。アナログの画像からデジタルのデータに変更したことにより、送信時のデータ容量を大きく圧縮できるようになり、より正確な情報を送ることができるようになった。

北海道大学低温科学研究所（北大低温研）の海洋・海水動態研究室のサーバー上で、以上

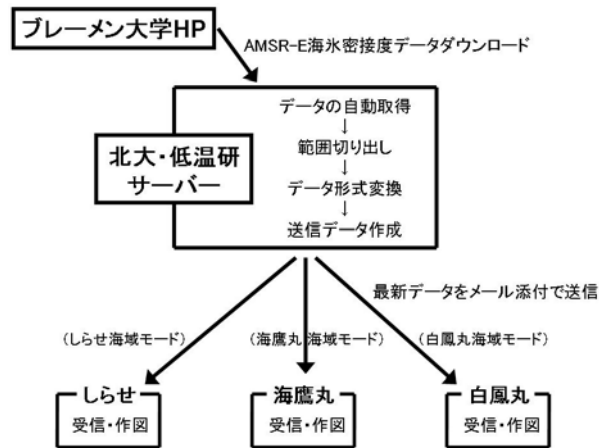


図1 海水密度データ作成・送信の流れ

Fig. 1. The flowchart of the data supply system of the sea ice concentration data.

の作業を自動化するシステムを開発した。本システムは、一日に数回の頻度で上記のプレーメン大学 HP にアクセスして、海域によって分けられたいくつかの設定モードで自動的に daily データを切り出している (図 1)。このデータが、北大低温研より「しらせ」に乗船している海水観測隊員へ、電子メールに添付されて毎日送られることになる。「しらせ」が実際にデータを受け取るまでの遅れは 1-2 日程度である。

「しらせ」側でメール添付のデータを受信した観測隊員は、このデータから観測海域の海水密度分布図を作成する。図 2 はその一例である。このデータは緯経線に沿ったグリッドではなく、ポーラステレオグリッドであるため、各グリッドの緯度経度情報を、観測隊員に対して日本を離れる前にあらかじめ渡してある。この一連の方法によって、「しらせ」に送る海水密度データの一当たりの容量を最小限に抑えることができる。一回に送られる海水密度データの容量は、圧縮効率の差から時期によって違いがあり、約 10-70 kB 程度である。

4. 海水密度データの活用例

4.1. 第 51 次隊

海水密度分布図の利用は、海洋・海水観測に関わるものと、「しらせ」の航行に関するものに分けられる。海水域周辺を航行中には、海水密度データは電子メールの添付ファイルとして毎日「しらせ」乗船の隊員宛に送られた。日本から送られた数値データは「しらせ」乗船中の担当者によって可視化され、観測計画に使用された (図 2)。「しらせ」にも海水情報取得システムが搭載されているが、我々の提供したデータはより高解像度のマイクロ波データが反映されている海水密度アルゴリズムを使用しているため、より高精度であっ

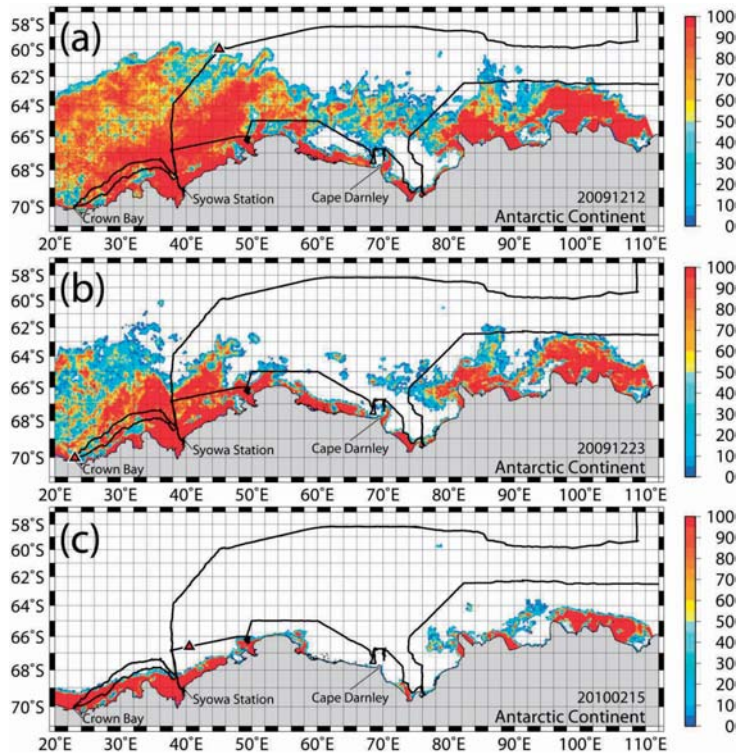


図2 (a) 2009年12月12日, (b) 2009年12月23日, (c) 2010年2月15日における海水氷接度 (%) の空間分布. 黒色の線は観測船「しらせ」の航跡を, 赤色の三角はそれぞれの日における「しらせ」の位置を示す.

Fig. 2. Spatial distribution of sea ice concentration [%] on (a) 12 December 2009, on (b) 23 December 2009, and on (c) 15 February 2010. Black lines show the cruise track of icebreaker Shirase. The ship's position at each day is superimposed as red triangle.

た. このため, 「しらせ」で取得している情報に加えて我々のデータを使用することで, 効率的な海洋・海水観測及び, より安全で最適な航路の決定に役立てることができた. 「しらせ」では NOAA による赤外画像を受信できる設備が搭載されているため, 赤外画像の情報も運行に使用されている. NOAA の画像情報は今回使用した海水氷接度データよりも空間解像度は高いが, 前述のように雲の存在が障害となり, 一週間にわたって海水状況が全く判明しないことも稀ではない.

第51次隊においては, ケープダンレー沖の海水は12月末で大部分が融解しており(図2b), 更にリュツォ・ホルム湾を離れる2月中旬の段階では海水が皆無であることがわかったので(図2c), 当初の観測計画を現場で変更する必要性は生じなかった. また, 実際の観測時に海水はほとんど見当たらず, 予定どおりに観測を遂行することができた. 設置予定点

に海水が無いことが事前に判明していたため、計画変更を考慮せずに当初の計画での準備や設置に集中して取り組むことができ、さらに XCTD（投下式水温電導度水深計）の観測点の決定に際しても役立った。このことは海水密接度データの有用性を示すものであった。

通常、「しらせ」運行において海水密接度情報が必要になる時期は、海水の張り出しがまだ大きい往路のフリーマントルからリュツォ・ホルム湾沖定着氷に入るまでである。第 51 次隊においては、昭和基地より西へ約 800 km の位置にあるクラウン湾への往復の際にも、海水密接度の情報が必要となった（図 2 の航跡を参照）。図 2a は往路で海水域進入直前、図 2b はクラウン湾への輸送作業中、図 2c は昭和基地からの帰路に、定着氷域を出た直後の海水密接度分布をそれぞれ示している。海水域において「しらせ」は、海水密接度分布図から読み取った海水密接度の低い場所を選んで航行した。特に、そのほとんどが海水域での航行であったクラウン湾への往復において、海水密接度情報は燃油や時間の節約という点で役立った。

4.2. 第 52 次隊

第 52 次隊においても、「しらせ」が昭和基地に投錨中以外は、基本的に海水データはほぼ毎日配信された。往路においては、特に開水面域から流水域に突入する際の進路設定に、AMSR-E 海水分布図が大いに役立った。第 52 次隊で AMSR-E 海水分布が最も効果的な役割を果たしたのは、ケープダンレー沖での係留系設置点の見極めにおいてである。係留系設置は 2 月下旬に予定されていたが、2011 年 2 月のケープダンレー沖の海水状況は例年に比べて海水密接度が極めて高く、2 月上旬においても係留系設置予定点（W1-3, E1-2）は海水域であった（図 3a）。特に西側の予定点（W1-3）周辺は広い範囲にわたって 100% に近い海水密接度であった。このような状況の中、刻々と変化する海水密接度の情報を「しらせ」船上の観測隊員と国内の担当者が共有することで十分な議論を重ね、係留設置点を実施 3 週間前の時点で変更する決断をした。西側の設置予定点は、設置予定時においても係留系の設置が困難な海水域になっている可能性が高いと判断し、西側の 3 点（W1-3）すべてを東側に移し、東側に 5 点（N1-5）を集中させて係留系を設置する計画に変更した。東側に 5 点を集中する案はもともと代案としてあったもので、科学的価値が減じるものではない。この変更に伴って設置水深が変わり、係留系のデザインを一部変更する必要があったが、早めの決断により機材の修正や変更を行う時間を十分に確保でき、適切に変更がなされた。

図 3b は、係留系設置前日に送信された海水分布図であるが、3 週間前に予想したとおり、元の西側の予定点（W1-3）周辺は海水密接度が高く、設置が難しい状況にあった。一方で、新しい設置点を含む東側の設置ライン（N1-5）は開水面であった。ただし、周辺では結氷が始まっているシグナルも見え始めていた。係留系設置の日、西風により西側の海水が一部流れてきたため、1 点のみわずかに設置点をずらすことがあったが、ほぼ予定どおりに全

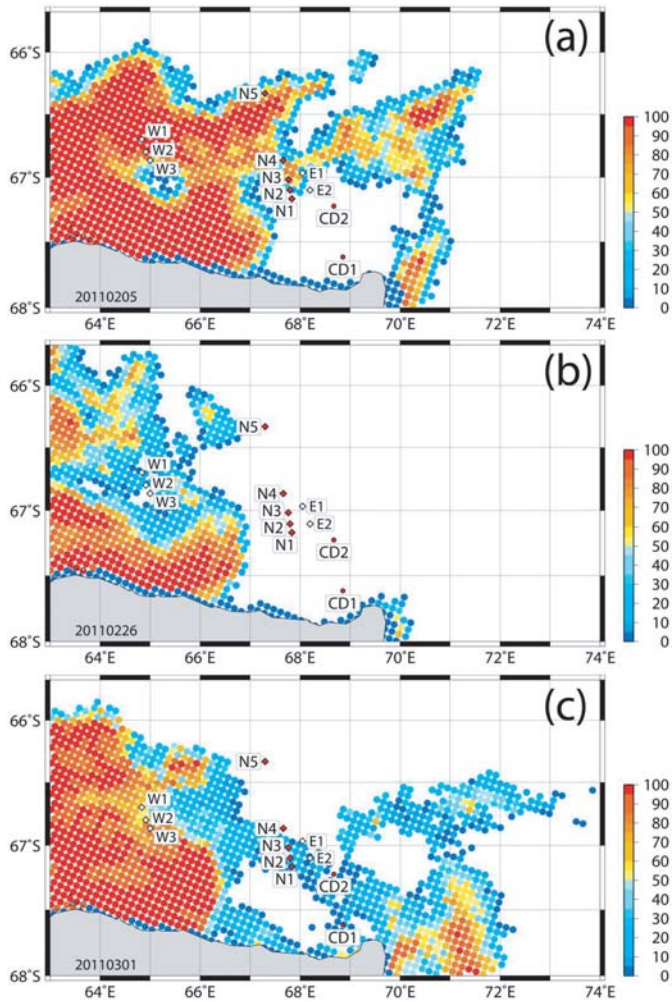


図3 (a) 2011年2月5日, (b) 2011年2月26日, (c) 2011年3月1日におけるケーブタンレー沖の海水氷接度 [%] の空間分布. E1-2, W1-3 は当初計画されていた係留点, N1-5 は実際に設置した係留点を示している. CD1-2 は回収を行った係留点を示している.

Fig. 3. Spatial distribution of sea ice concentration [%] on (a) 5 February 2011, on (b) 26 February 2011, and on (c) 1 March 2011, off the Cape Darmlay. E1-2 and W1-3 show the planned location of the moorings. N1-5 show the actual location of the moorings. CD1-2 show the location of the recovered moorings.

5 点の係留系を 1 日で設置することができた。この際にも、AMSR-E 海水分布が参考になり、非常に効率よく船の運航と係留系の設置が行われた。場所によっては結氷が開始されていたが、係留系の設置に支障はなかった。図 3c は係留系設置・回収の次の日の海水分布であるが、係留系設置域周辺は全面的に結氷域となっていることがわかる。係留系設置が 1-2 日遅

れていたら、設置作業が困難になっていた可能性がある（2011年は海水の結氷開始も例年よりかなり早かった）。以上からわかるように、AMSR-E 海水情報は、係留系設置点の適切な見極めと、迅速かつ効率的な「しらせ」の運航と係留系設置作業に大いに貢献することとなった。

4.3. 「海鷹丸」及び「白鳳丸」の南極航海

2010年12月～2011年1月に行われた東京海洋大学「海鷹丸」と、海洋研究開発機構「白鳳丸」の南極航海においても、同様に北大低温研より AMSR-E 海水密接度データが電子メールにより配信された。各船上で担当者が海水分布図を描画することで、それぞれの船の運航に役立てられた。なお、データの切り出し範囲は、それぞれの航海の予定航路に基づいて設定された。

5. おわりに

「しらせ」や他の観測船が航行する夏期には、海水融解によって海水の表層に水が溜まることがある。この融解水の存在がマイクロ波データに影響を与えるために、本システムで使用されている海水密接度データは、融解期においてその精度が低いと報告されている (Comiso *et al.*, 1997; Nihashi *et al.*, 2005)。最新の AMSR-E データを使用しても、氷縁での過小評価等の問題もあり、AVHRR や Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) 等の可視・赤外画像との併用がより望ましいと考えられる。このような注意点はあるにせよ、今回開発されたシステムによって行われた、より正確で低容量の海水密接度データの提供は、南極海水域周辺を航行する観測船にとって、係留観測のような特殊なケースのみならず、通常の海水域航行においても有益な情報となる。将来的には、本報告と同様のシステムを継続的に運用し、南極海水域周辺を航行する日本の観測船に海水データを提供する体制を整えることが望まれる。

謝 辞

海水密接度データとして、プレーメン大学の海水リモートセンシンググループがホームページ上でリアルタイムに公開している AMSR-E 全球海水密接度データを用いた。本稿の査読者及び編集委員の方々からは有益なコメントをいただいた。観測船「しらせ」への海水密接度データの電子メール添付配信には、北川暁子氏にも協力をいただいた。本システムの船上での運用は、第52次隊では深町 康・小野数也両氏、「海鷹丸」では嶋田啓資氏、「白鳳丸」では野木義史氏によって行われた。本システムの利用状況に関して頂いたコメントも含めて、ここに感謝の意を表す。

文 献

- Comiso, J.C., Cavalieri, D.J., Parkinson, C.L. and Gloersen, P. (1997): Passive microwave algorithms for sea ice concentration: A comparison of two techniques. *Remote Sens. Environ.*, **60**, 357–384.
- 平沢尚彦・改井洋樹・山内 恭 (2002): 昭和基地で再開された NOAA 衛星受信の概要と初期的成果. *南極資料*, **46**, 40–55.
- 楠 宏 (1975): 南極昭和基地周辺の海水縁の変動. *雪氷*, **37**, 192–200.
- Nihashi, S., Ohshima, K.I., Jeffries, M.O. and Kawamura, T. (2005): Sea-ice melting processes inferred from ice-upper ocean relationships in the Ross Sea, Antarctica. *J. Geophys. Res.*, **110**, C02002, doi:10.1029/2003JC002235.
- Spreen, G., Kaleschke, L. and Heygster, G. (2008): Sea ice remote sensing using AMSR-E 89-GHz channels. *J. Geophys. Res.*, **113**, C02S03, doi:10.1029/2005JC003384.
- 牛尾収輝 (2007): 南極昭和基地周辺域の海水状況把握における衛星画像の活用. *雪氷*, **69**, 263–271.