

氷海航行セミナー報告

吉田 栄夫*

Report on the Seminar “Problems of Ice Navigation”

Yoshio YOSHIDA*

Abstract: The First Seminar on the Problems of Ice Navigation was held at National Institute of Polar Research on October 12th, 1984. The objective was to review the present scientific knowledge of sea ice and technological problems relating to ice navigation, in particular in the Antarctic, and to seek the possibility of cooperative research on ice navigation in scientific and technological aspects. Discussed subjects were as follows: 1) Distribution and characteristics of sea ice and survey methods, 2) Sea ice characteristics in the vicinity of Lützow-Holm Bay revealed from satellite image analysis, 3) Ice navigation of icebreakers FUJI and SHIRASE, 4) Sea ice problems in the shipbuilding technology, 5) Sea ice observation by remote-sensing techniques, 6) Sea ice thickness measurement by an impulse radar. Results of discussion were useful as a basis for future research.

要旨: 1984 年 10 月 12 日、国立極地研究所で所内外の関係者約 70 名の参加を得て氷海航行セミナーが開催された。これは船舶の氷海航行に関して科学的、技術的問題点を探り、従来の資料の分析、現在の調査技術の検討などを通じて、今後の研究の方向性を模索し、科学的基礎の確立を目指す第一歩として行われたものである。海水の両極における地域的特性やその調査方法、実際の氷海における船舶の運用、船舶工学と海水の性質、リモートセンシングによる海水の探査などについて話題提供と討議が行われ、当初の目的が達成された。

1. は し が き

南極地域の輸送、海域の観測には、海水に覆われる氷海での船の航行を欠かすことができない。わが国は第 1 次-第 6 次観測における「宗谷」、第 7 次-第 24 次観測での「ふじ」の両砕氷船によって、南極大陸周辺海域の中で有数の密群氷域を有するリュツォ・ホルム湾を中心とする海で、苦闘を重ねながら経験を蓄積してきた。しかし、これらの間に得られた海水の諸性質や航行技術とその応用についての情報の科学的分析はほとんど行われていないか、あるいは少なくとも公にされていない。

前国立極地研究所長永田 武博士は第 25 次観測の夏季に観測隊に同行し、観測・設営全般について視察を行って、現状分析と問題点の指摘を行ったが、そこでは砕氷航行に関する共同研究の推進についての提言がある。これを踏まえて、氷海航行に関する科学研究の第一歩として、昭和 59 年 10 月 12 日に国立極地研究所で「氷海航行セミナー」を開催した。このセミナーの計画立案には、前 晋爾（前国立極地研究所雪氷部門教授、現北海道大学工学

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

部応用物理学教授)が当たったが、セミナー開催に際しては中国出張中であつたので、筆者が代わって司会を務めた。本セミナーについてのプロシーディングス刊行は予定されていないので、筆者がその概要を報告し、記録に留めることとした。

2. セミナープログラム

あいさつ 楠 宏 国立極地研究所企画調整官 10:30-10:40

座 長 吉田栄夫 (国立極地研究所)

I. 海氷の概観

1. 海氷の分布と特性 10:40-11:25

小野延雄 (北海道大学低温科学研究所)

2. リュツォ・ホルム湾およびその周辺の海水 11:25-12:00

山内 恭 (国立極地研究所)

II. 船舶からみた海水

1. 氷海航行の諸問題 13:00-13:45

佐藤 保 (「しらせ」艦長)

2. 船舶工学上の問題点 13:45-14:30

北川弘光 (船舶技術研究所)

III. 電波による海水リモートセンシング

1. 方法論 14:40-15:25

岡本謙一 (電波研究所鹿島支所)

2. 観測例 15:25-16:00

和田 誠 (国立極地研究所)

IV. 総合討論 16:00-17:00

3. 報告と討議の概要

まず I.1. では、1) 砕氷船の巨大化によって氷海航行は自由となったか、2) 人工衛星情報は航行に必要なデータを与えるか、3) 海水とくに南極のその特性について十分な知見があるか、4) 観天望気の現況はどのようなものであるか、以上の4項目の設問によって考察が進められた。1) では最近の北極海でのソ連船のビセットが紹介され、ソナーによる探査では ice keel の深さは 30 m にも及ぶところがあること、従って氷海航行は船の大型化でも容易ではなく、氷状による航行難易度の察知技術の進展、航法の体系化の確立、南極海水の特性研究が必要であることが強調された。2) では LANDSAT, NOAA-AVHRR, NIMBUS, SEASAT SAR の特性が紹介され、とくに U-2 型機, LANDSAT, NOAA-VHRR からの写真によって得られる海水状況の比較が示され、今後は SEASAT SAR からの情報が望まれること、人工衛星情報も十分とはいえず、各種データの組み合わせによる判読技術の育成

が必要であることが述べられた。

3) では、まず両極地域での海水域の季節変動や全面積、年間を通じての開水面の存在などについて比較がなされ、ついで物性のうち結氷に伴うブラインの挙動、積雪の影響とブライン、結晶構造などが示された。とくに南極では積雪に由来する小結晶からなる層が多いこと、閉鎖的な北極海では長期間永続する氷丘脈が形成されることがあるが、南極では周辺が大洋で囲まれ開放的であって、氷丘の形成という形になることが多いことが指摘された。これに関連して、構造、温度と強度、結晶の大きさなどに基づく、主としてソ連による南極海水の分類、北極での海面上の氷の高さと海面下の氷の深さの関係の調査が紹介された。以上から南極海水の特性ではとくに多雪氷の形成と性質、氷丘化の研究を推進する必要があることが述べられた。また、南極ではこれまで個々の海水の動きはほとんど追跡されていないので、DCS ブイの開発利用を図って調査すべきことが強調された。4) では氷霧、氷映、氷空などは局地的な航行に有効であるが、とくにこうした目視観測の定量化を図る必要があるとされた。

I.2. では、昭和基地で 1980 年以降実施してきた TIROS-NOAA シリーズ気象衛星受信観測のうち、現在すすめている 1983-84 年の衛星画像データ解析の結果が主として報告された。NOAA-AVHRR では、可視域-赤外域の 4-5 チャンネルの画像が得られ、可視域の太陽光の反射率、近赤外-赤外域の射出率などから情報を読み取ることになる。例えば 1983 年 3 月の画像では、定着氷域とその沖の開水面域、さらに外洋側に 100-300 km の幅で広がる流水域らしきものが判読できる。これらを蓄積して氷野の変化、流水縁の季節変化がとらえられる。

また、海水の厚さが変われば温度が変わることを予測し解析を試みたところ、海水があまり厚くなければ厚さと温度差の関係から、表面温度から厚さの程度を知りうる可能性があることがわかった。反射率についてはまだ理由は明らかでないがハンモックアイス帯で若干低くなっており、これから判別できる可能性がある。なお、1983-84 年夏の定着氷縁における顕著なハンモックアイス帯は、衛星画像によれば 10 月に定着氷が割れて開水面が生じたところに対応すると思われる。これらの解析には航空機による目視観測の結果も利用した。なお、マイクロ波による画像解析も若干試みている。分解能が低いのが難点であるが雲に影響されないので、概観を行ううえで有効である。人工衛星データからどこまで判読が行えるか、今後さらに定量化を図り、ground truth の取得と、それとの対応を行って精度を向上させてゆきたいと結ばれた。

以上 2 つの発表に関し、年間を通じた開水面—とくに Weddell polynya—の形成状況とその要因、ブイ観測の目的と方法、南極の海水の漂流や氷丘の厚さなどに関して質疑があった。

II.1. では、まず、これまで「ふじ」によって氷海航行の経験が蓄積されたが、この経験

に基づく航行法については、基本的なものを除き必ずしも意見が一致しているわけではないこと、これは南極の氷状が年ごとに著しく変わることによると考えられ、砕氷船の航海術は確立されているとは言い難いこと、ここではリュツォ・ホルム湾付近に限っての経験的、感覚的な航海法について述べることで、今後数値的な裏付けを得て航海術の確立を図ってゆきたいことが述べられた。

ついで操船法について、1) 氷海進入の準備、2) 天気の予察とその重要性、3) 氷縁の形状からみた進入路決定、4) 流水中および定着水中でのトリムのとり方、5) 氷状把握の方法、6) flaw lead の特性とそれに対する注意、7) 氷山群に対する船の対応の仕方、8) 種々の船位決定法、9) 風と潮流に対する処置、10) 天候不良の場合の対処の仕方、11) 停泊の方法、12) 推進機と舵の使用法、13) 砕氷方法、14) 砕氷能力の問題、などについて見解が述べられた。最後に氷海ではプロペラ、舵の損傷がないよう操船することが最も重要であること、時機の判断を誤らぬこと、忍耐が必要であること、海水に対する知識が重要であること、ice seamanship の養成には長期間を要することが強調された。

II.2. では、船舶の設計上必要な海水に関するデータ、実船試験・模型試験・理論の関係とそれを船舶設計に役立てる手順などについての話題提供が行われた。砕氷船では最近船の幅も長さも増大の傾向にあり、出力の増加が著しいが、排水量と出力の関係にはある制限があり、船としては画期的な進歩というものはなく、次第に改善されてきたのが概況である。

海水の氷況データには、設計上必要なデータと運航上必要なデータとがあり、これはまた長期情報と短期情報ともいうことができる。設計上必要なデータには、密接度、平均氷厚、氷厚、強さ、弾性率、氷摩擦、氷盤内圧、平均積雪量と雪質、氷丘脈の幅、keel depth, sail height, orientation, consolidation の度合い、遭遇頻度、氷盤の大きさなどがある。航行性能では、これらの氷の物性と、氷の種類、また連続砕氷とラミング砕氷という操船モードに対する水中抵抗を考慮し、さらにプロペラ軸系・主機特性と関連する推進効率の低下を考慮しなければならない。氷丘脈通過時の安定性や、操縦性からみた氷厚と船速との関係、船首形状も重要である。

模型実験では、模型氷を用い試験を評価して実船性能の推定を行っているが、十分な結果を得ているとはいえない。氷物性の計測も実施しているが、曲げ強度、弾性率などは実際には決定が難しい場合もある。氷摩擦ではとくに動摩擦の決定が難しい。実船性能とモデルの比較によって改善を図りたい。

以上のような2つの発表に対しては、流水中での停船による観測と操船上の問題点、プロペラ推進による馬力増大の限界と砕氷能力などに関して質疑が行われた。

III.1. では、カナダにおける海水のリモートセンシングについての研究、経験を踏まえて、リモートセンシングでのセンサーを中心に話題が提供された。リモートセンシングの対象となるのは、1) 海水の種類・年齢やそれらの分布、2) 氷丘(脈)の形状、3) 氷山の状況、

4) 海水のダイナミクス, 5) 海水の厚さ, などであるが, ここではとくに表面状態に関するセンサーおよび厚さについてのセンサーを取り上げて論ずることとされた。

海水の複素比誘電率は海水に比して極めて小さく, 深く潜らせるときは 0.1-1 GHz など低い周波数を使用する必要がある。センサーとしては, 1) マイクロ波放射計, 2) マイクロ波散乱計, 3) 映像レーダー (実開口レーダー; 合成開口レーダー), があり, 昼夜の別なく, また雲の有無に関係なく測定できる。まず, パッシブなものとしてのマイクロ波放射計は輝度温度の測定を行うもので, 航空機による観測例では, 赤外放射計による測定に比しエッジが顕著に判別でき, また放射率の違いで氷の年齢区分が行える。13.3 GHz の測定では海水ののし上がりも観測できた。

アクティブなものとしてのマイクロ波散乱計では, コンベア 580 型機によるファンベーム・ドップラー方式による測定例がある。これは測定地点を固定してみれば, そこでの入射角が変わることになり, 入射角による依存性を測定できる。氷山での実験例があるが, 入射角の小さい場合と大きい場合の間に, 海と同じ性質を示すところが生じて, その入射角では海との判別が難しいことがわかった。入射角を固定して (45°), その散乱係数で年齢を区分することも可能であり, またマイクロ波放射率とマイクロ波散乱係数の関係を利用して年齢区分が行える。映像レーダーの分解能は 3 m である。

以上は表面状態のリモートセンシングであるが, 氷厚測定用レーダーとしては, 1) 短いパルスレーダー, 2) FM-CW レーダー, 3) HISS レーダー, 4) インパルスレーダー, がある。パルスレーダーの垂直方向の分解能はパルス幅で決まるが, 五大湖での測定例では, S バンドパルスレーダー (2.86 GHz) を使用し, パルス幅 1 ns として 15 cm 厚の分解能であり, オーガーでの測定とレーダーによる測定とでは, 平均誤差は 0.1% で一致した。ただし, 誘電率をよくおさえておく必要がある。

HISS レーダー (holographic ice surveying system radar) は広い帯域を必要としないことや, アンテナアレイについて位相器を必要としないなどの利点がある。地上車載用インパルスレーダーでは, パルス幅 2 ns, 帯域 300 MHz のものの使用例があり, カナダ北極圏の 1 m 厚以下の一年氷, 3 m 厚以下の多年氷について精度 5-10% で測定されている。

氷海航行については, これらを選択して組み合わせて利用することによって効果を上げられるであろう。ただし, 夏の南極の海水では, 表面の雪やパドルの形成などがあって, 低い周波数では難しい点があると思われる。

以上が海水のリモートセンシングの諸方法についての発表であった。

III.2. では, 第 23 次越冬隊の西尾文彦, 大前宏和によるインパルスレーダーを用いての氷厚測定例が紹介された。使用した周波数は 80, 120, 300, 500, 900 MHz であったが, 80 および 120 MHz は故障で測定できなかった。パルス幅は 3 ns で分解能は 45 cm と算定されるが, 80-200 cm 厚の海水を測定し, オーガーによる測定 (1 地点のみ) および生物

観測用の5カ所のピットとの比較を行った。この結果、氷厚および内部のブライン層の位置判定について、かなり満足すべき測定結果が得られたことがわかった。また、アンテナを回転させて測定した結果からは、精度をさらに上げる見込みが得られたという。

以上、Ⅲでの発表に対し、分解能と測定対象の氷厚の問題、測定方法全般などについて質疑があった。

4. 最後の総合討論や質疑の結果

1) 南極海水については不均質であることが多く、データも少ないので砕氷船による測定が重要である。とくに船が氷海中を航行していること自体が測定であり、海水の測定と併せて、船の動きや出力その他の種々の記録を利用することが必要であること。

2) リモートセンシングについての表面状態、氷厚の把握は、費用をかけることによってある程度確実に行えること、航空機からのソーナーを用いた調査も有効であること。

3) 以上のことから、リモートセンシングに影響を与える海水の状況をさらに把握すること、センサーの種類を増やしてデータを蓄積すること、氷海航行に最少限必要な資料は何であるかを摘出して、それを得る努力をすること、などが強調され、結びとなった。

5. お わ り に

本セミナーは、約70名の理学・工学の諸分野の方々の参加を得て、実りある討議を行うことができた。所外からこの試みに賛同され、ご協力をいただいた方々に対し、厚くお礼申し上げます。若干の感想を付け加えさせていただくならば、第1次観測以来蓄積された氷海とそこでの航行に関する諸事象の分析は、今後に残されているようであり、当面これを行うことによって、一つの大きな前進が得られるのではないかと思われる。これに関して私どもも早急な対応をなさなければならないことを痛感した次第である。

(1985年4月16日受理)