

南極観測船「ふじ」による氷海航行に関する実態調査

小林 佑規*

The Actual Condition of Navigation in a Frozen Sea on the Antarctic Observation Ship "Fuji"

By
Yuki KOBAYASHI

Abstract

Recently Ship Research Institute has a research program into the development of merchant ships going through the frozen sea area. As a part of this project, the manoeuvrability of icebreaker "Fuji" and also environment at the frozen sea area are investigated.

Japanese Government sends the Japanese Antarctic Research Expedition to Showa Station at the Antarctic zone every year. Icebreaker "Fuji" has been carried out the transporting task for these ten years.

The author had a chance to participate in the 16th J. A. R. E. 1974-1975 as a member of supporting party. On board this ship he carried out some observations while the ship was going to Antarctic Ocean area.

This actual ship test had two aims, one to get experiences as a researcher of navigations at the frozen sea, the other to conduct some test measurements. The test items were navigating conditions, acceleration, strain of propeller shaft, temperature changes of deck plate, rolling and pitching, etc.

Results of these measurements were included in this report. As the ice conditions in the frozen sea area differs largely from year to year, it is, by all means, necessary to continue these structural, navigating and environmental investigations.

はじめに

世界的なエネルギー不足の打開策の一環として、最近北方圏の地下資源または海底資源の開発が注目されている。これらの資源を利用するためには、資源の掘削技術もさることながら採取された資源の大量輸送手段の解決が課題となっている。

当研究所では、これらの輸送手段として氷海商船の開発に着手しようとしており、そのための予備調査として氷海域での船舶航行実態調査を行なった。

わが国は南極地域へ毎年観測隊を派遣しており、碎

氷艦「ふじ」(南極観測船)がその輸送を行なっている。第16次南極地域観測隊(1974~1975)が派遣されるにあたり、夏隊オブザーバーとして乗船する機会が得られたので、当研究所研究計画(00-4905)にもとづき氷海航行に関する実態調査として実船試験を行なったものである。なお、氷海域への航行に関する実船試験は始めてでもあり、今回は氷海環境についてあるいは氷海航行の体験を主体とし、氷海における砕氷時の加速度、プロペラ軸トルク、甲板温度計測など若干の船舶機能調査を行なったので報告する。

1. 砕氷艦「ふじ」の概要

砕氷艦「ふじ」¹⁾(南極観測船)はわが国の南極観測

* 船体構造部

原稿受付: 昭和50年11月4日

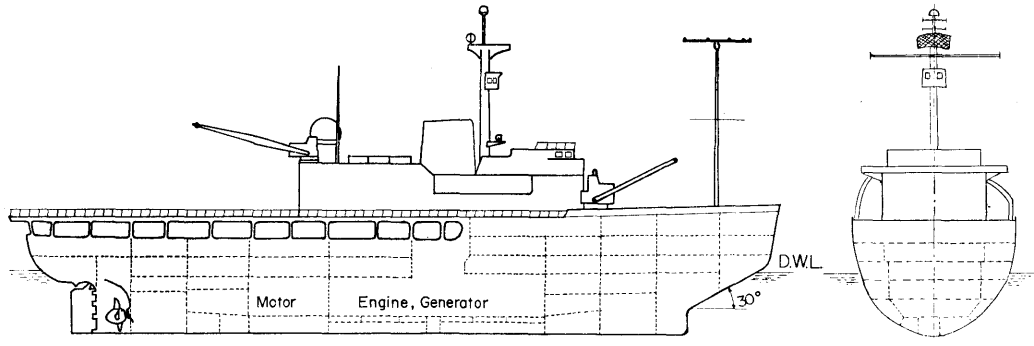


図-1 「ふじ」の外観と中央断面形状

支援のために昭和 40 年 7 月建造され、第 7 次南極地域観測から毎年 1 回南極へ航行し、昭和 49 年第 16 次観測で建造以来 10 年間巡航している。

図-1 に「ふじ」の外観及び中央断面形状を、表-1 にその主要目を示す。

表-1 「ふじ」の主要目

全 長	100.0m
最 大 幅	22.0m
深 さ	11.8m
喫 水	8.1m
排 水 量	約 8,000 トン
乗 組 員	約 200 名
観測隊員等	約 45 名
搭載ヘリコプター	3 機
機 関	横浜 MAN V8V 30/42 ディーゼル発電機関 4 基 推進電動機 直流 2,250 kw 4 基
軸 数	2
軸 馬 力	12,000 馬力
速 力	16.5 ノット

船型は氷海中での船の運動を容易にし、氷に挟まれたとき船体に加わる荷重を軽減するように設計され、船体中央部附近の断面形状は概ね円弧状である。船首は氷盤に乗り上げて砕氷するため喫水線附近は、水平線に対し 30° の傾斜となっている。

エンジンは氷海において頻繁に正転、逆転が繰返えられることなどから電気推進が採用され、ディーゼル原動機、発電機、推進電動機をそれぞれ 4 基備え、プロペラは 4 翼 2 軸で喫水線下約 3.5m の深さのところにある。

「ふじ」は氷海内を航行するため、ビルジキールはない。従って動揺を軽減するため、第 1 甲板と第 3 甲板の間に 3 対の U 字官式減揺タンクを備えている。船の横揺れ固有周期 10sec に対する減揺タンクが一番大きく、その他のものは 3 分の 1 または 6 分の 1 である。また、砕氷能力を増大するため 3 対のヒーリングタンクと 1 対のトリミングタンクを備えている。ヒーリング性能は排水量 7,575 トンのとき 1 分間で傾斜 4.5° を得ることができ、トリミング性能は同排水量において、トリム変化量 1.42m である。

この他、航空輸送や氷状偵察のため 3 機のヘリコプターとその発着に要するヘリ甲板を備えているのが特徴である。

2. 南極地域観測と昭和基地

わが国の南極地域観測は、国際地球観測年 (IGY) を契機に学術的な国際協力事業の一環として開始された。第 1 次日本南極地域観測は、1956~1957 年に行なわれ、海上保安庁の灯台補給船「宗谷」が耐氷船に改良され、観測隊を昭和基地 (1957 年 1 月開設) へ輸送した。その後「宗谷」は第 6 次観測 (1961~1962) まで南極地域へ航行した。第 7 次観測 (1965~1966) 以来昭和基地への輸送は、防衛庁に所属する砕氷艦「ふじ」が担当し、第 16 次観測 (1974~1975) まで毎年 1 回航行し現在に至っている。

昭和基地は、南極大陸のリュッツホルム湾内の東オングル島に設置され、位置は 69°00'S, 39°35'E、海抜は 15m である。今回第 16 次南極地域観測隊は、40 名から編成され、このうち 30 名は越冬隊として基地に残り、10 名は夏隊として南極地域の観察、測地、南極海域の海洋観測などを行なって「ふじ」と共に帰

国した。その他夏隊のオブザーバーとして、南極地域観測推進統合本部委員1名、環境庁1名、当研究所から著者が同行した。「ふじ」の乗組員は182名であった。

3. 「ふじ」の行動概要

第16次南極地域観測における「ふじ」は、昭和49年11月25日、東京港（晴海）を出港して以来、147日間、20,390マイルを航行し、昭和50年4月20日同港に帰港した。途中往航にフリーマントル、復航にケープタウン及びシンガポールに寄港した。また南極海の氷海では定着氷（fast-ice）に約1ヶ月半アイスアンカーで係留した他、ブリザード（blizzard）の来襲により流氷海域（pack-ice zone）で1週間漂流した。

今航海における「ふじ」の航海時間は3,015時間、航走時間は1,834時間、平均速度は11.1ktである。図-2に航跡図を、表-2及び表-3にそれぞれ、「ふ

じ」の航海諸表及び喫水、排水量などを示す。

以下「ふじ」の行動についての概要をのべる。

3-1 東京出港からフリーマントルまで

午前11時東京港を出港し、針路をSSWにとり南下、セレベス海、マカッサル海峡、ロンボック海峡を航行、12月3日赤道を通過し、予定どおり12月11日、11時フリーマントル（オーストラリア）に入港した。

気象海象状況は、11月27日、太平洋上（25°N、135°E）において、うねりの階級7（風向—NE、風速—35kt）が最高であった他全般に晴の日が多く平穏で動揺も少なかった。特にセレベス海及びマカッサル海峡においては動揺はほとんどなかった。ロンボック海峡通過時は天候もよく、数百メートルおきに帯状になった何本もの潮目が観測され、潮目を横切って航行した。

また、出港してから太平洋上において、総員離艦訓

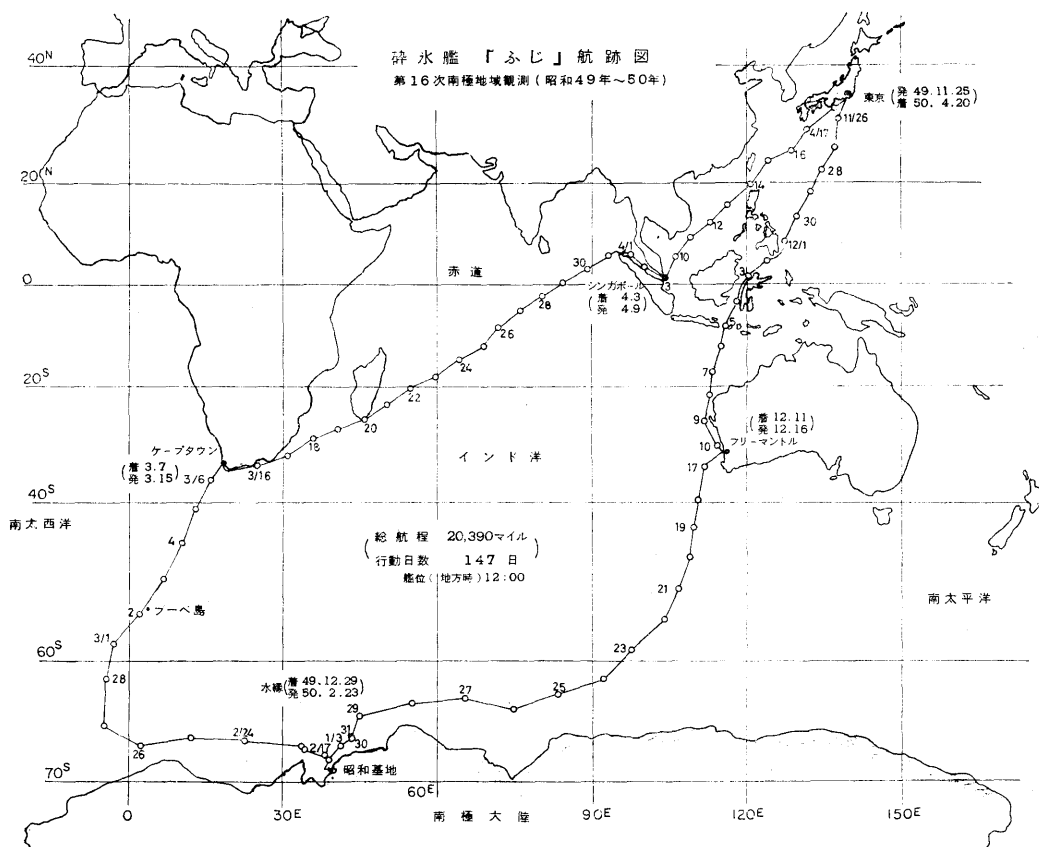


図-2 航跡図

表-2 海域ごとの航程と船速

地 点	日・時	航海時間 時-分	航走時間 時-分	航 程 マイル	船 速 kt
東 京 フリーマントル	49.11.25, 11:00	373-34	371-56	4,581.7	12.3
	49.12.11, 10:53				
フリーマントル 氷 縁	49.12.16, 10:03	321-57	306-56	3,554.2	11.6
	49.12.29, 14:00				
氷 縁 氷 縁	49.12.29, 14:00	1,343-00	198-13	439.5	2.2
	50. 2.23, 13:00				
氷 縁 ケープタウン	50. 2.23, 13:00	286-04	267-58	3,139.9	11.7
	50. 3. 7, 11:21				
ケープタウン シンガポール	50. 3.15, 08:57	452-57	451-37	5,706.7	12.6
	50. 4. 3, 11:24				
シンガポール 東 京	50. 4. 9, 09:26	237-54	237-30	2,968.4	12.5
	50. 4.20, 09:00				
合 計		3,015-26	1,834-10	20,390.4	11.1

表-3 航海中の排水量

		測 定 月/日	排水量 ton	喫 水 (右舷) m			傾 斜 度	トリム m
				d_f	d_a	平 均		
東 京	出 港	11/25	9,500	9.30	9.16	9.23	右 0.2	前 0.14
	入 港	12/11	8,900	8.95	8.75	8.85	右 0.5	前 0.20
フリーマントル	出 港	12/16	9,570	9.50	9.04	9.27	右 3	前 0.46
	定着氷着	1/ 4	8,950	8.92	8.88	8.90	0	前 0.04
氷 海	氷縁発	2/20	8,000	8.22	8.32	8.27	0	後 0.10
	入 港	3/ 7	7,670	8.05	8.07	8.06	0	後 0.02
ケープタウン	出 港	3/15	8,040	8.26	8.36	8.31	右 0.2	後 0.10
	入 港	4/ 3	7,500	7.90	8.00	7.95	左 0.5	後 0.10
シンガポール	出 港	4/ 9	7,640	7.88	8.20	8.04	左 0.2	後 0.32
	東 京	入 港	4/20	7,260	7.80	7.80	7.80	0

練及び防火、防水などの諸訓練を行なった。

本船は手動操舵であり、全ての指揮、号令は艦橋より発せられる。ワッチは5直制で、艦橋には常時5~6名操縦にたずさわっており、船尾にも1名の当直者が見張りをしている。機関は2機2軸運転により原速ないしは第1強速とし、平均プロペラ回転数は115

rpmで、航程4,582マイルに対する船速は12.3ktであった。

3-2 フリーマントルから氷縁まで

12月16日、10時、フリーマントルを出港し、50°S 110°E (12月20日) 附近まで南下し、それ以後、暴風圏内をSWに針路をとり、12月22日55°Sを通

過した。

12月23日、初氷山を視認、以後毎日氷山の漂流している海域を航行し、24日(61°17.7'S, 94°53.7'E)からエンダービー沖に向けて西航し、南極大陸周辺をまわるようにして航行した(図-3, 図-4)。

12月26日, 23時30分, マックロバートソンランド沖の氷舌(ice tongue)に遭遇(氷量 1/10~2/10の流水海域を航行)したため, この氷縁(ice-edge)に沿って北上, 27日, 10時00分, 再度西航を開始し, 12月29日, 14時00分流水縁に(65°23.7'S, 44°35.0'E)着いた。

40°S から 60°S にかけては, 定常的に強い偏西風が卓越しいわゆる暴風圏を形成している。本船は暴風圏では低気圧をさけて航行したため特に大きな低気圧には遭遇しなかった。暴風圏での天気は晴れまたは曇で, 平均風速 20~40 kt, 波浪及びうねりの階級はそれぞれ最高で 4~5, 6~7 であり時に減速し, 横揺れの軽減する針路となる食事針路もとられた。最低気圧は 61°S で 963.4 mb であった。また, 12月26日, 27日と流水海域に入った時は, うねりの階級は1で動揺は小さかった。

高層気象観測のため早朝パルーンを上げたり, 海水の表面採水やプランクトン採取さらに海水の深さに対

する水温, 塩分濃度の測定など各種の海洋観測が1日1回ないし2回行なわれ, 1~3.5時間漂流することもあった。また電磁海流計による海流測定には数10分間針路を変更したり減速したりして航行する。

機関は2機運転, 第1強速で航行, 平均速度は11.6 kt であった。

12月21日(52°S, 105°E)のころから強風, さらに海水温度も低下(4°C)し, 甲板には5分と出られない状態を感じた。この時, 船内に始めて暖房が開始された。

3-3 氷海航行

通常の大洋航行に対し, 氷海(frozen sea)内を航行することを氷海航行と呼ぶ。

(1) 砕氷方法

砕氷方法はプロペラ推力を主体に比較的薄い氷を連続して砕氷する連続砕氷(continuous mode)と, チャージング(charging, ramming mode)に大別される²⁾。チャージングは助走距離を適当にとり, プロペラ推力による船体のもつ運動エネルギー(慣性力)とプロペラ推力を同時に作用させ, 船首を氷盤に突当てて砕氷する方法である。1回のチャージングには5~10分間要する。

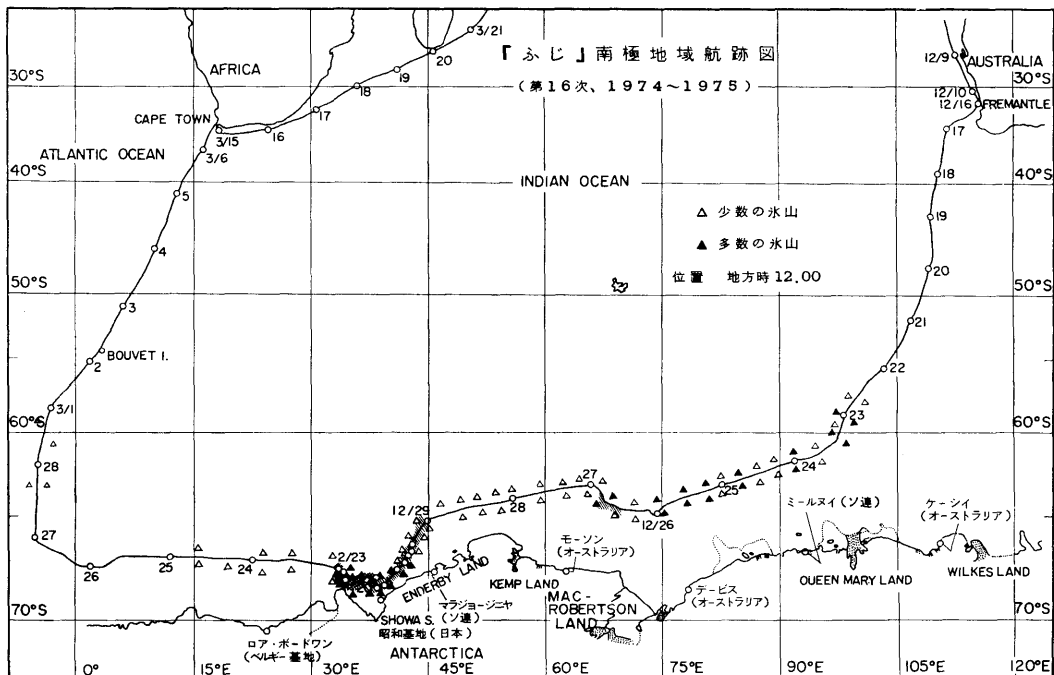


図-3 南極地域航跡図

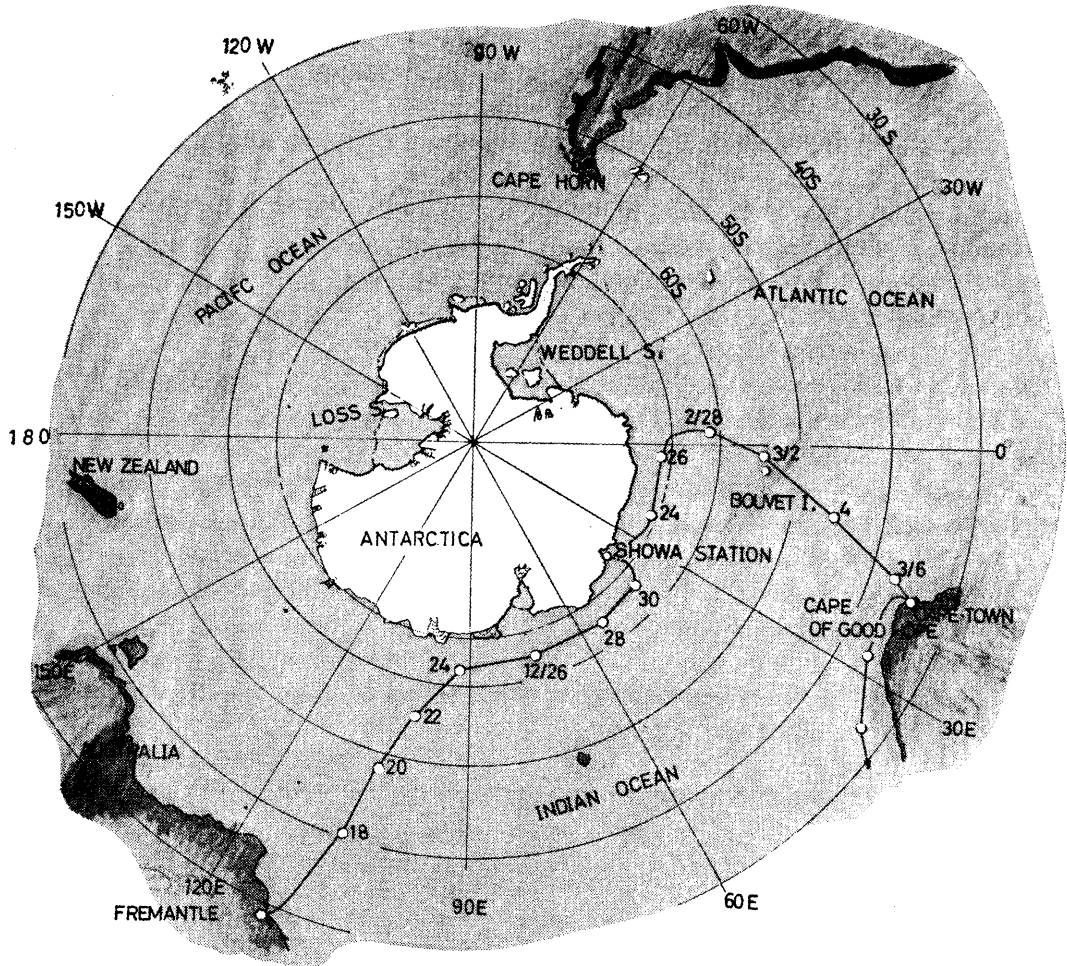


図-4 南極大陸と航跡図

(2) 機関の操縦

機関は4機運転とし、大洋航行時の回転数制御に対し電流制御で行なわれ、微速から第4強速まで正逆回転が頻繁に行なわれる。電流制御は、機関室よりむしろ艦橋において操縦され、機関室では諸機器の監視が主体になる。

針路は氷状図や上部操舵所よりの情報をもとに決められるが、チャージングで後進の時はプロペラに氷塊が巻込まれないよう船尾よりの情報も艦橋に刻々伝えられる。

(3) 氷状偵察

「ふじ」は物資輸送用ヘリコプター (S-61A, 積載量約2トン) 2機と氷状偵察用のヘリコプター (Bell, 2

人乗り) 1機を搭載している。Bell はもっぱら近距離の氷状偵察用であり、S-61A は長距離の氷上偵察にも用いられる。

ヘリコプターは、ヘリ甲板より発着し、上空において海水の状況を偵察し、開水面 (open water) やリード (lead) の大きさや方位、海氷の量や分布を「ふじ」に伝える。艦橋からはほんの手前の氷状しかつかめないで、この氷状偵察は氷海航行にとって非常に有力な手段と考えられる。また、航路の設定に際し、Bell は船首から数100mの位置にて飛行し、「ふじ」を誘導したり、氷盤上にカラーマーク (snow mark と呼ぶ) を落下させて砕氷し易い航路の目標地点なども定める。

写真-1 に上空より見たリードを、写真-2 に流氷海域を航行中の「ふじ」を示す。

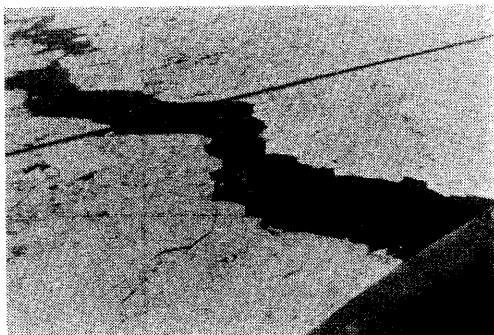


写真-1 上空よりみた氷状 (小さなリード)

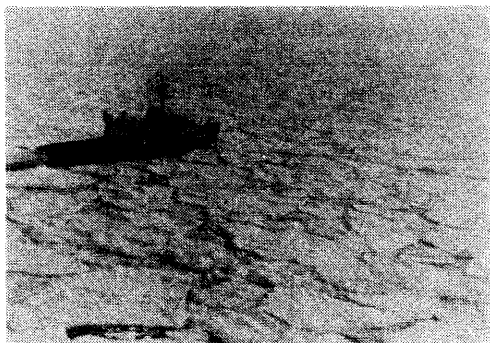


写真-2 流氷海域を航行中の「ふじ」

(4) 氷状図

氷状偵察からの情報をもとに、海水の分布や量を時々刻々図に表わしたものである。目標点には「ふじ」の位置はもちろん、冰山やスノーマークが用いられ、それらに随時名前が付けられていく。同時にレーダーや人工衛星からの情報も駆使される。航行中の氷状図は狭領域を示す図がほとんどであるが、図-5 や 図-8 なども氷状図である。

氷海では、冰山が浮遊する他一円氷海で埋っているが、空に雲があると、開水面がその上空の雲に映り、その部分の雲がうす黒く見える。これを水空 (water sky) という (写真-3)。一方、外洋から空を見て雲底が白く輝いて見える部分を氷映 (ice brink) といい (写真-4)、その下の部分には流氷海域のあることを示している。これらは、氷海航行にとってやはり操船の重要な要素となるものである。

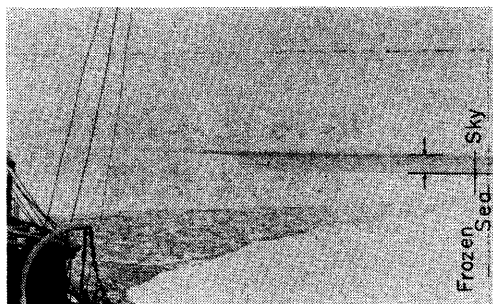


写真-3 水空 (water sky)

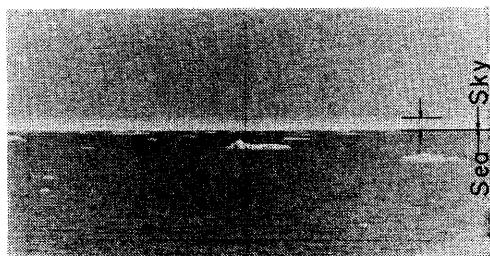


写真-4 氷映 (ice brink)

3-3-1 氷海進入から定着氷縁着まで

図-5 に氷海進入航跡図及び氷状図を示す。図-6 は氷海域での航行を砕氷方法で分類して示した図である。

S-61A 及び Bell による氷状偵察を行ない、12月29日14時00分針路をSWにとり、リュッツホルム湾に向けて氷海航行を開始した。氷海進入時の流氷 (pack-ice) の氷状は、氷量 1/10~5/10、氷厚 1m 以下、氷盤 (ice-floe) の直径 50m 以内の平坦氷 (level ice) で、約1時間連続砕氷で航行した。その後は氷量が 8/10~10/10 の最密群氷 (very close pack-ice) となり、氷厚は 1~1.5m、直径 50~200m の平坦氷で、積雪も数 10cm ある流氷となり、1月1日までチャージングにより砕氷して航行した。

1月2日の氷状は氷量 4/10~8/10 で直径 200m を越える氷盤もあったが、氷厚も 1m 以下で、開水面やパドル (puddle) も多く、比較的氷量の少ない流氷海域を連続砕氷で航行した。

1月3日は氷量 10/10 の最密群氷で、氷厚 1.5m 以上のうえ積雪量も多くチャージングを繰返えて砕氷した。一時は船体が 3m 近くの氷盤に挟まれ、爆破準備をしたが、準備段階で船体が氷盤から離れたため、爆破をせずにその氷盤から離脱することができた。

1月4日、定着氷沿いにできたフローリード (flaw

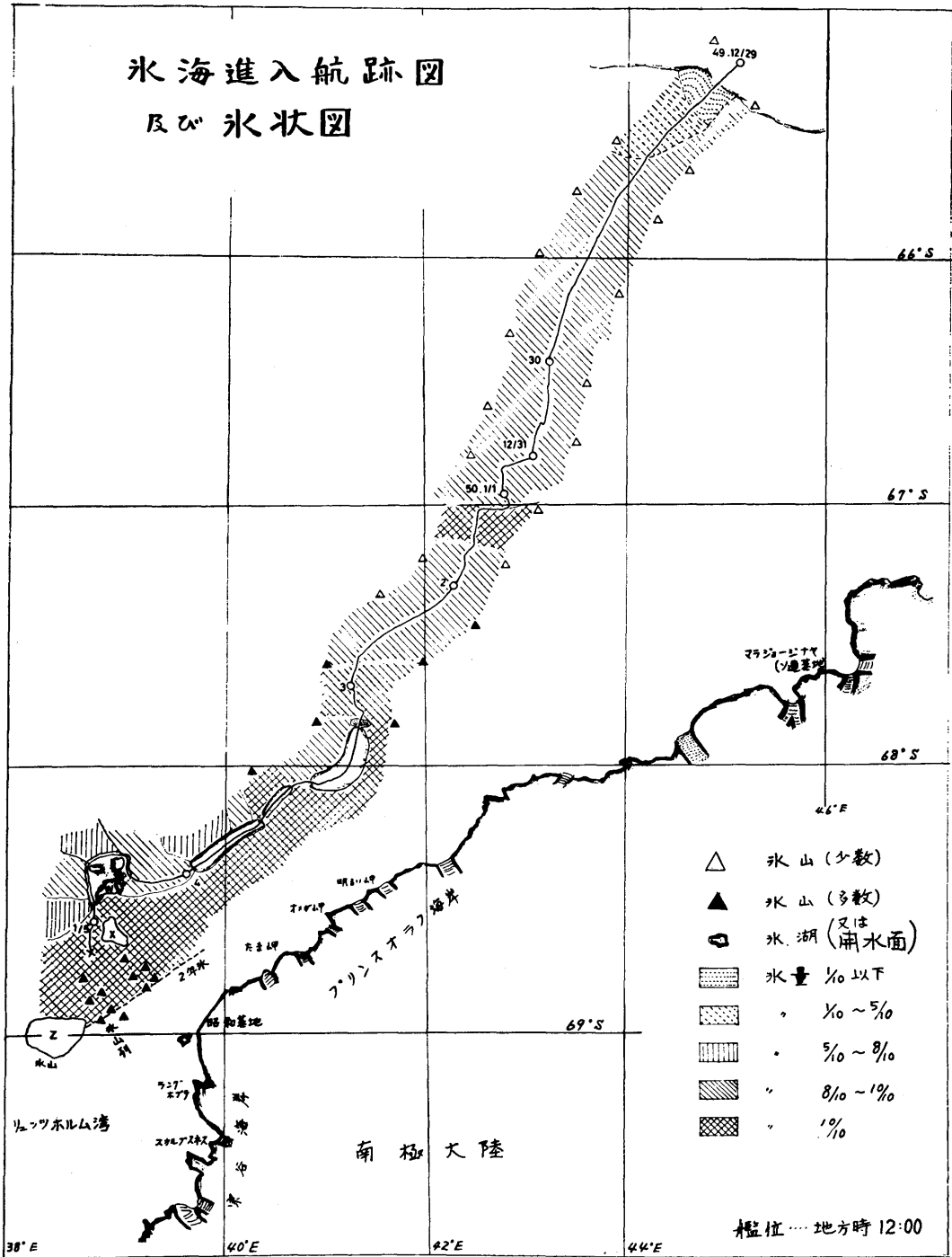


図-5 氷海進入航跡図及び氷状図

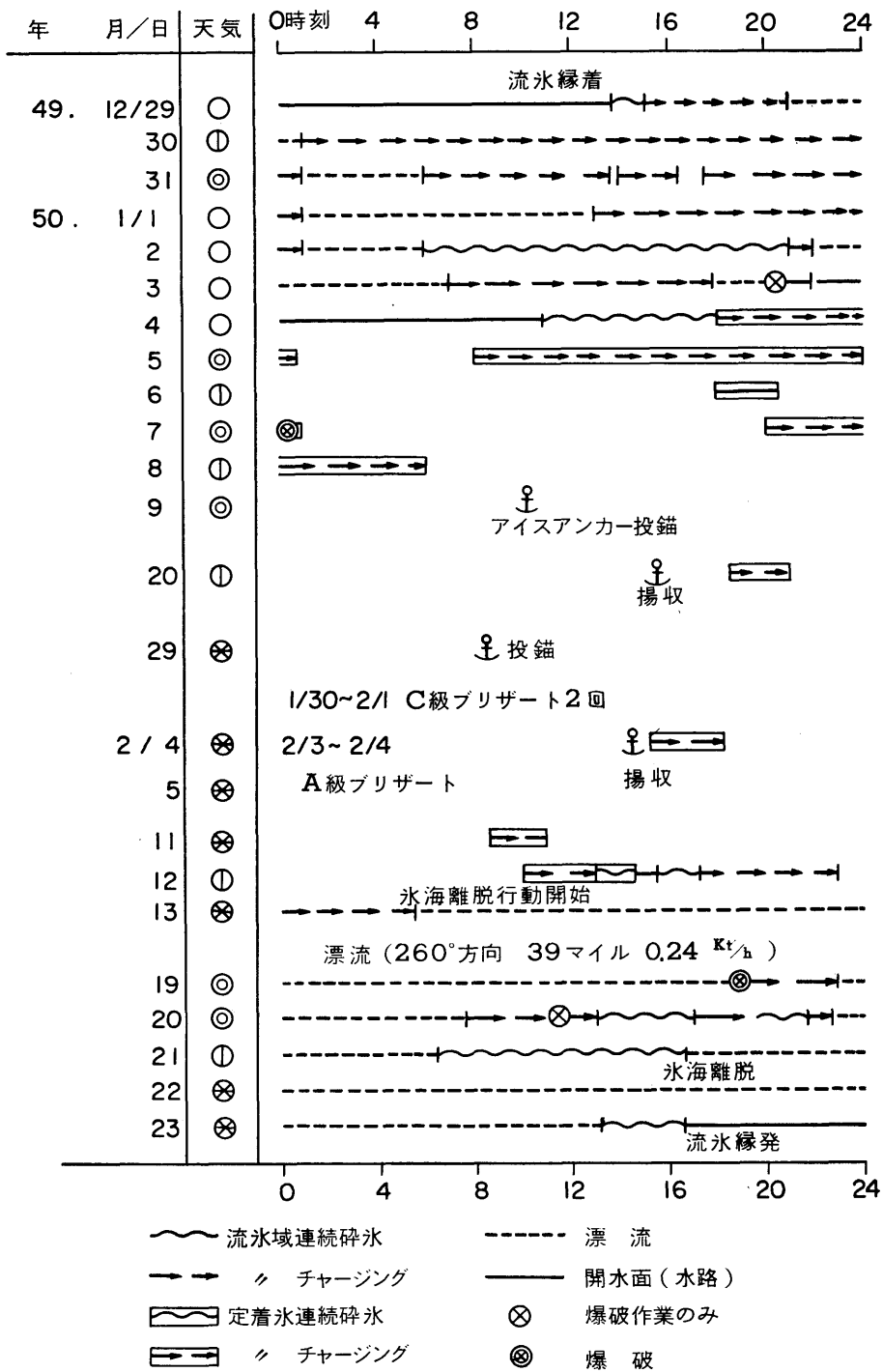


図-6 氷海航行実施図

lead, 俗称大利根水路) に到達したためスムーズに開水面を航行, 氷厚 2m を越す氷盤もあったが開水面が多かったため難なく砕氷し, そのまま定着氷縁 (fast-ice-edge) に達した。

流水海域進入時から定着氷へ到達するまでの天候は晴れで, 12月29日からは白夜となり砕氷効率は上がった。ただし, 白夜でも太陽高度の低くなる午前1時頃から朝方までは, 気温も低くその間は砕氷航行は行なわれなかった。流水海域内で行なわれたチャージングは, 587回で, 1回当たり平均進出距離は 104m, 1時間当たり平均進出距離 730m, 1月3日までの流水海域の航程 200 マイルに対する平均船速は 2.2 kt である。

写真-5 及び 6 に流水海域及び定着氷のチャージングの状況を示す。

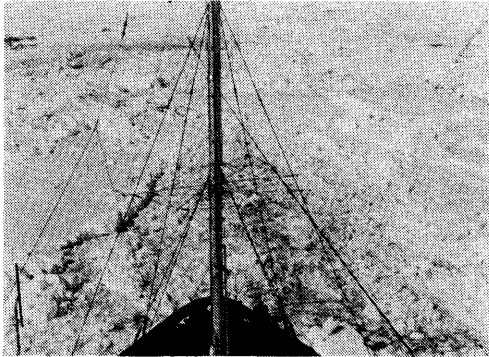


写真-5 チャージング (流水海域)

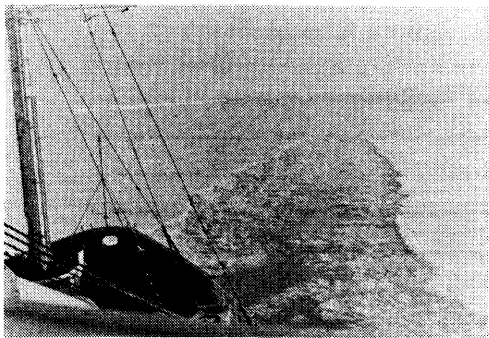


写真-6 チャージング (定着氷)

3-3-2 定着氷内の行動

図-7 に定着氷内の航跡図を示す。1月4日 19時15分, 昭和基地 (Showa station) より 328°, 35.4 マイルの地点より定着氷に進入を開始した。

定着氷縁附近の氷状は, 氷厚 1.2~1.5m, 積雪 0.2 m の1年氷 (fast year-ice) で, チャージングにより砕氷した。チャージングは1月8日まで続けられ (図-6 参照), 4日から5日にかけての平均進出距離は 63m であったが, 8日には氷厚 1.5m で, 積雪も 0.5~0.7 m と厚く, 1回当たりの平均進出距離は 19m となり, 砕氷効率の低下, 燃料の節約, 推進器の保護を考慮して昭和基地接岸は断念された。

1月8日, 昭和基地より 321° 28.25 マイル地点を第1待機点とし, アイスアンカーを投錨して定着氷内に係留し, 昭和基地へ物資輸送が行なわれた。

1月20日, 第2待機点 (S/S 321°, 28.15') でもアイスアンカーを取る他, 第3, 第4待機点へと定着氷内では4箇所移動した。また1月7日には, チャージングの際, 船首を定着氷に乗り上げ, 船首附近を爆破して, 船体を定着氷から離脱する作業も行なわれた。

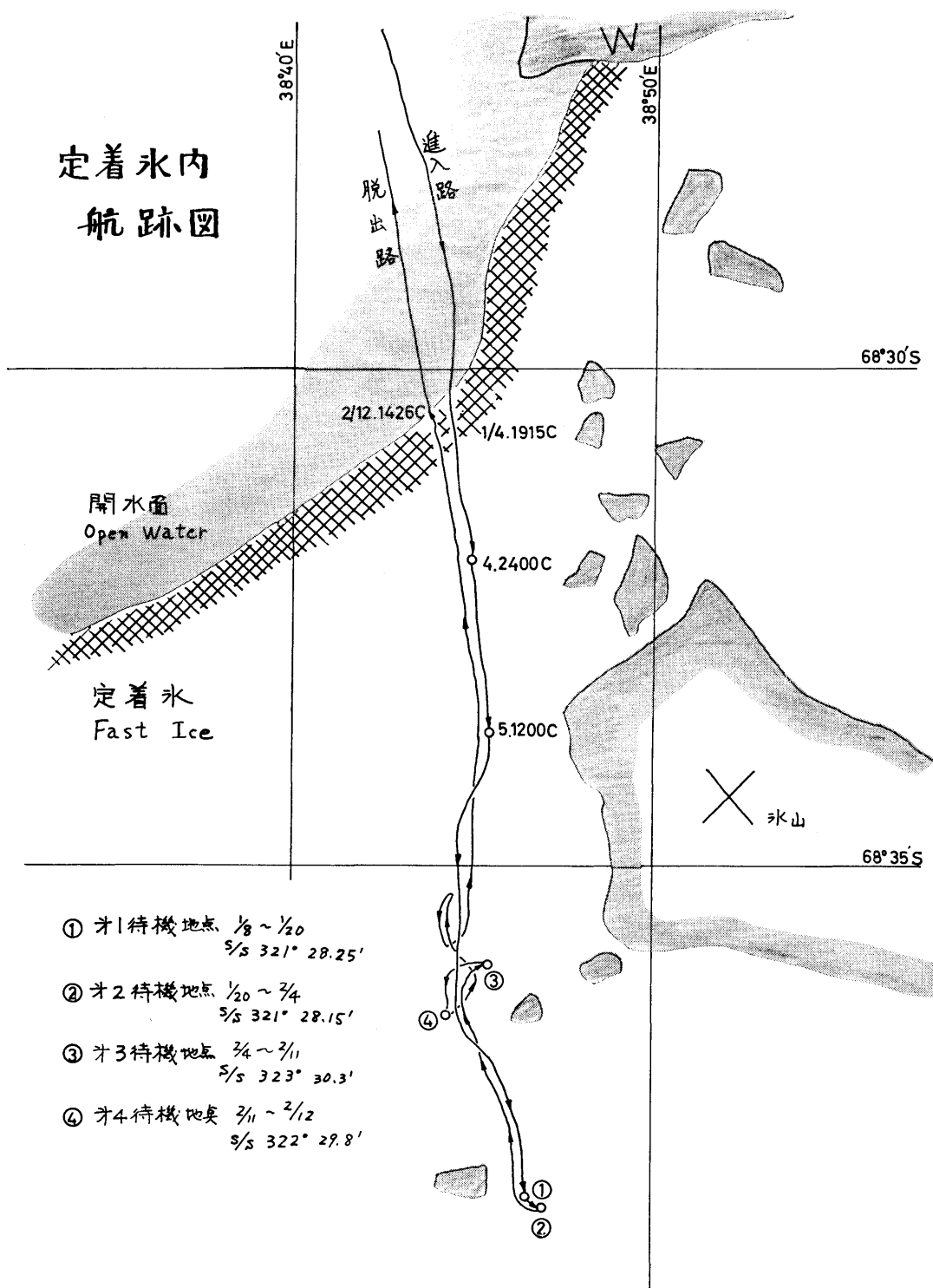
2月12日, 第4待機点から帰路に向かう際は, 進入路の附近西側を砕氷したが, 進入路はブリザートの来襲もあって, 埋まっており, 小さな氷丘脈 (pressure ridge) を形成していた。氷状は, 積雪が解け, 氷厚も薄く, 青みを帯びた色の氷に変わっていた。

1月の天候は非常によく, 物資輸送も順調に行なわれたが, 29日から天候が悪化, 2月8日までに C 級ブリザート 3回, A 級ブリザート 1回 (瞬間最大風速 88 kt, 最大風速 70 kt) の来襲を受けた。特に2月3日の A 級ブリザートの来襲を受けた時は, 船体が氷盤の圧力を受け, 1時間に約 0.5° の割合で傾斜し始め, 最大 4° 傾斜した。

3-3-3 定着氷縁発から氷海離脱まで

氷海離脱航跡図及び氷状図を 図-8 に示す。2月12日, 14時26分, 定着氷縁を離れ, W 氷山の西側の開水面に入り, 氷量 1/10~5/10 の流水海域を北上したが, 17時00分, 氷量 8/10~10/10 の最密群氷となった。天気は 22時00分に雪と変わり, 夜間のうえ視界もなく, ブリザートに備えて船首を風向に向けて漂泊しようとした。しかし, 氷量 10/10, 氷厚 2~4.5m の氷状で, 朝方までチャージングをしたがほとんど進出せず 13日, 05時44分, 砕氷航行を中止し, 漂泊待機した (位置 68°10.5'S, 38°51.0'E)。漂泊後は吹雪を伴った風雪が強まり, 風速 30~40 kt の C 級ブリザートに近い状態となった。この東北東の風雪は 14日朝まで続き, 氷状はハンモックした上, 雪積量も多く, 海水面は全く見えず, 「ふじ」はビセット (Beset)

定着氷内航跡図



- ① 才1待機地点 $\frac{1}{8} \sim \frac{1}{20}$
S/S 321° 28.25'
- ② 才2待機地点 $\frac{1}{20} \sim \frac{3}{4}$
S/S 321° 28.15'
- ③ 才3待機地点 $\frac{3}{4} \sim \frac{3}{11}$
S/S 323° 30.3'
- ④ 才4待機地点 $\frac{3}{11} \sim \frac{2}{12}$
S/S 322° 29.8'

図-7 定着氷内航跡図

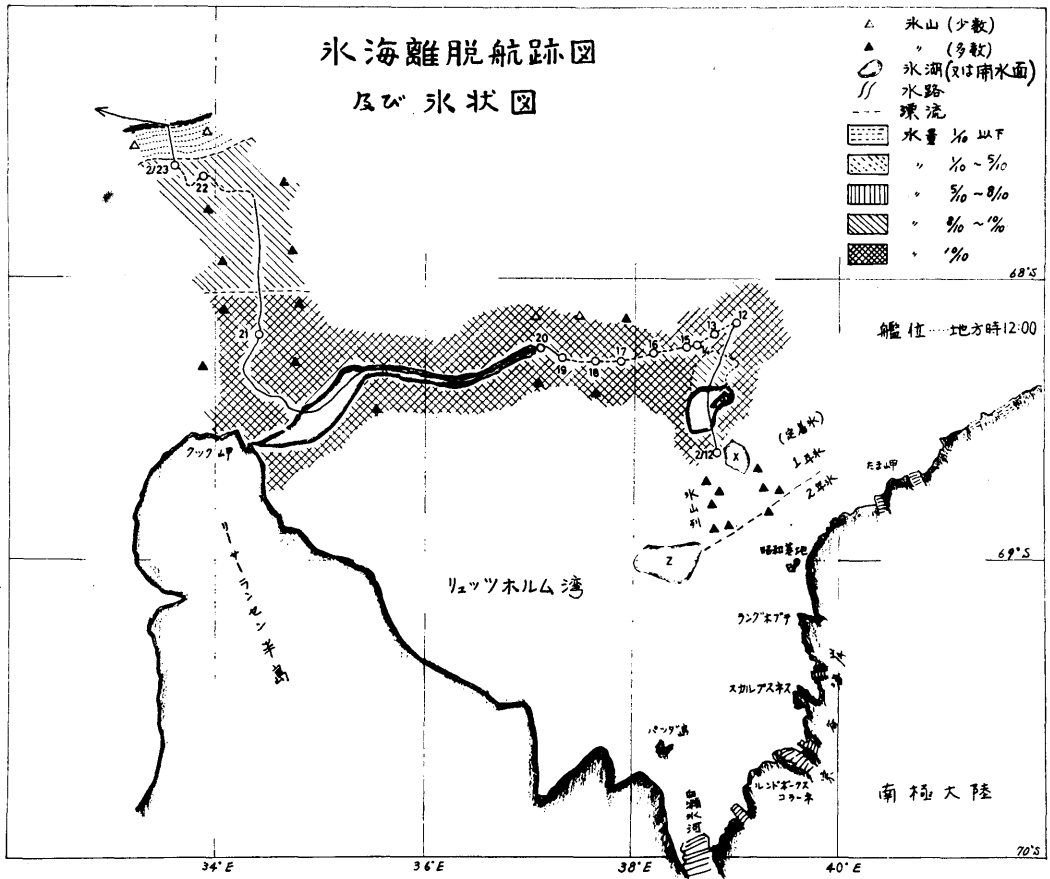


図-8 氷海離脱航跡図及び氷状図

された。以後天気は曇ないし雪の日が続き、氷状偵察もできず天候の回復を待ちつつ氷盤とともに漂流した。

15日、16日に至って風向は東よりとなり、16日には「ふじ」周辺の流氷にクラックが発生、18日、19日には風向は東からさらに南よりないしは南西方向となり、氷盤間や氷盤に多数のクラック (crack) ができてきた。

19日、天候が回復 S-61A による広域氷上偵察を行ったところ、流氷縁までは全域にわたり、氷量 10/10 であったが、西方に1本のフラクチャー (fracture)、数本のクラックがあった。人工衛星エッサの情報では、リーサーラルセン半島の東側に大きな氷湖が発生しており、前述のフラクチャーが氷湖に連なっていることが予想されたため、「ふじ」周辺の氷盤を爆破、18時48分、砕氷航行を開始した。

結局「ふじ」は2月13日から19日まで、流氷海域でピセットされ、氷盤と共に 260° 方向に 39 マイル (1時間に 0.24 ノット) の速度で漂流した。なお漂流については後述する。

20日は、S-61A 及び Bell による氷状偵察を繰返す一方、Bell が船首前方にて「ふじ」を氷量 10/10 の最密群氷にできた水路へ誘導し、クック岬の東方の氷湖を航行、リーサーラルセン半島の北より北上した。21日も Bell のリードへの誘導で、ほぼ連続砕氷を行ない、22日に氷縁近くに到達したところで、2日間ヘリコプターの防錆作業を実施した。

3-3-4 爆 破

氷海航行における氷盤の爆破は、有力な砕氷方法の一つと考えられる。航路の切開きのため氷塊を小さく爆破したり、船体を氷盤から離脱するために爆破は利用されたが、概ね次の3つが氷海における爆破の対象

になるようである。今航海ではこれらのいずれの場合にも遭遇した。

- ① 船体側面が氷盤間に挟まれて動けなくなったとき
- ② 船首を氷盤に乗り上げて動けなくなったとき
- ③ 船体のほぼ全周が氷盤にとじ込められたとき
(ピセット状態)

①の原因は氷盤または氷盤間を砕氷して航行した際、船速が大き過ぎるためによるもので、船体周辺の氷盤が互いに干渉して船体をくぎ付けにしてしまう。

②の原因も、船速が大で氷盤や定着氷に衝突したとき氷盤が破壊しないときに生じ易く、チャージングの場合に船首を乗り上げることがほとんどである。

①や②の場合、水空（ミズアキ）が多いと、ヒーリングやトリミングを繰り返して動かせると船体は氷盤から離れるが、水量が9/10～10/10と詰まってくると、爆破を行なわないうで船体と氷盤を離脱するのは困難である。

③の原因はピセット状態や、ハンモック氷 (hummocked ice)、厚い氷盤などで航路を全く閉ざされた時で、砕氷能力を越える氷塊に遭遇したときに行なわれる爆破と考えられる。

爆破は、大きな衝撃を伴うために船体保護を考慮して、比較的薄い氷や船体近くでは火薬を水中に、厚い海水では海水の中にセットする。乗員は2～3名の爆破実施者を除き全員船内に入り、全ての開閉扉は閉鎖される。今回の砕氷航行では、船体を氷盤に挟まれた時2回、船首を定着氷に乗上げた時1回、ピセット状態から脱出のために1回の爆破準備作業が行なわれ、そのうち2回爆破を実施した。以下その例について示す。

爆破例 1；船首を定着氷に乗上げたとき (図-9)。

1月6日、23時56分、チャージングの際、定着氷に乗上げた時で、図-9に示す。氷厚2～2.5m、積雪量0.15～0.7mの定着氷に直径100mmの穴を6箇所あけ、3kgあるいは1kgの火薬がセットされた。天気は曇、気温 -0.1°C で作業には32名で1時間36分を要した。

爆破の結果は、衝撃も少なく、火薬のセットされた附近の水が多少灰で黒くなった他氷状の変化はなかった。しかし、爆破後は1回の後進で軽く船首が氷盤から下りたことを考えるとかなりの効果があったものと推察される。

爆破例 2；航路切開きのとき (図-10)。

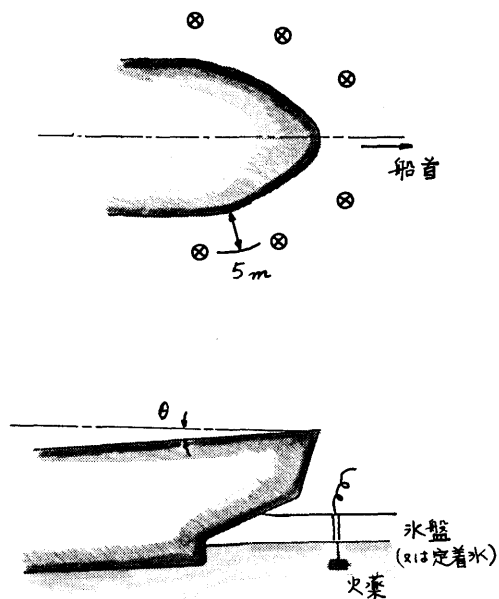


図-9 氷盤の爆破 (その 1)

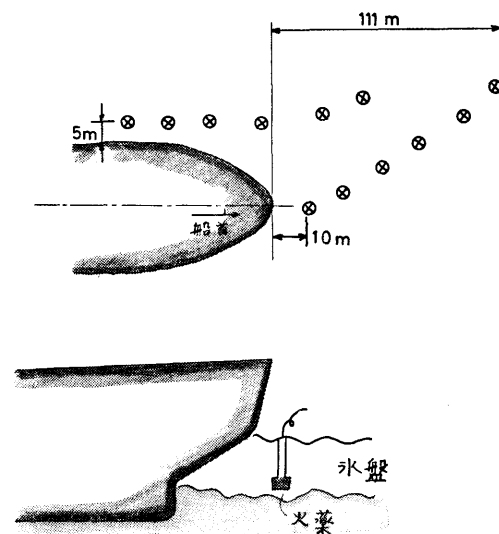


図-10 氷盤の爆破 (その 2)

2月19日、船首前方がハンモック氷で閉ざされ、船体全周が氷盤に囲まれ、ピセット状態からの脱出のために実施された。船首10mから100数10m先までは氷厚3～4mのハンモック氷であり、約2列20mおきに12箇所ボーリングし1kgないし10kgの火薬が充填された。作業は18名で3時間21分要し、天気は曇、気温は -4.2°C であった。

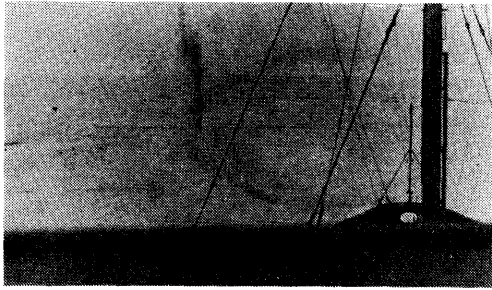


写真-7 爆破

爆破時は、船首前方の氷塊が数 10m まで上がり、船体は大きな衝撃を受けた(写真-7)。艦橋の窓や船体露出部は、氷と海水で汚れ、附近の氷塊は粉々になった。船体はまた全周を氷盤に囲まれているため、前進、後進を繰返し行なっているうちにチャージングのできる海面が現われ、爆破した氷盤を砕氷して航行することができた。

爆破例 3; 船体を氷盤に挟まれたとき(図-11)。

最密群氷を砕氷中に右舷側氷厚 2~3m、直径 20~30m の氷盤、左舷側 50~100m の氷盤に挟まれた時に爆破作業が行なわれた。幸い右舷側の氷盤は船体への接触面積が少なかったため、作業終了間際に自力で

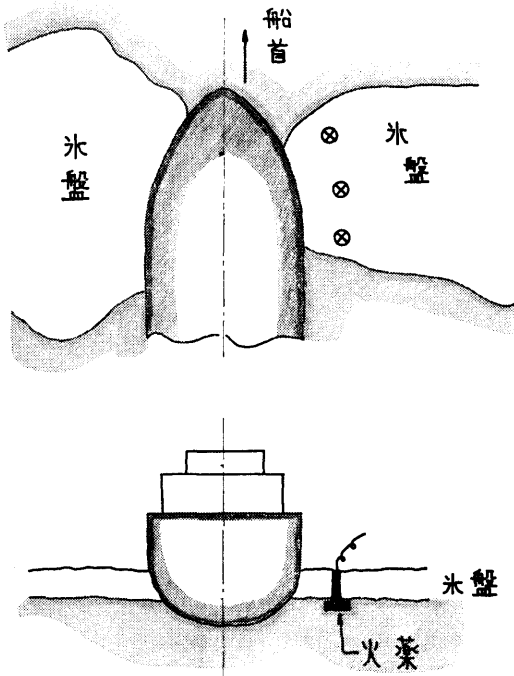


図-11 氷盤の爆破(その 3)

氷盤から離脱することができた。

3-4 流水縁からケープタウンまで

2月23日、うねりの伝わる流水海域に停泊していた「ふじ」は13時00分、流水縁(pack-ice edge, 67°35.2'S, 33°36.0'E)を離れ67°Sに沿って西航を開始した。氷縁を離れる時は、今年新たに結氷した大小様々なはず葉氷(pancake ice)が多く見られた。

冰山は流水海域から15°E附近まで見られたが、0°Eから西経に入り、27日北上して63°S, 5°W附近来るとウェッデル海より漂流した冰山が見え出し50°S附近まで見えた(図-3参照)。

氷縁附近の天候は雪か曇で風も強くて膚寒く、ケープタウンまでは太陽はほとんど見られない曇の天気であった。暴風圏では2回ほど低気圧(最低気圧970mb, 風速30~36kt, 波浪階級6~7, うねりの階級7)に遭遇し、往航の暴風圏よりは荒海であったが、おおむね平穏裡に航行した。途中海流測定や各層観測などの海洋観測を実施し、3月7日11時21分、ケープタウンに入港した。

機関は2機運転第1強速のみならず、4機運転も実施され、船速は10~13.7ktであった。船内暖房は3月5日停止された。

3-5 ケープタウンからシンガポール、東京入港まで

3月15日、09時00分、ケープタウン出港後は好天に恵まれ、インド洋で海流測定などの海洋観測を行ない、マラッカ海峡を航行、4月3日、11時24分、シンガポールに入港した。同月9日、09時26分、シンガポール出港後も天気は良く、九州南端より黒潮にのり、4月20日予定通り東京港に入港した。

4. 計測結果とその考察

4-1 鋼板の温度計測

低温環境域での調査の一つとして船体鋼板、とりわけ露天甲板の温度を航海中に計測した。

4-1-1 計測方法と計測場所

温度の計測は携帯用サーミスタ温度計により所定の鋼板に検出端子を接触させ、特に大きな気象変化のない日を選び3~4時間ごとに計測した。

計測場所は図-12に示すように露天甲板(01甲板)を主体に7箇所設定した。図-12のA点はマストより2m後部の甲板上、B点はハッチカバーの上、C点はハッチの1.5m後部、D、E点は手すりから2m離れた甲板、F点は飛行甲板の最船尾である。G点は喫水線下約4mの海水に接している船側鋼板である。

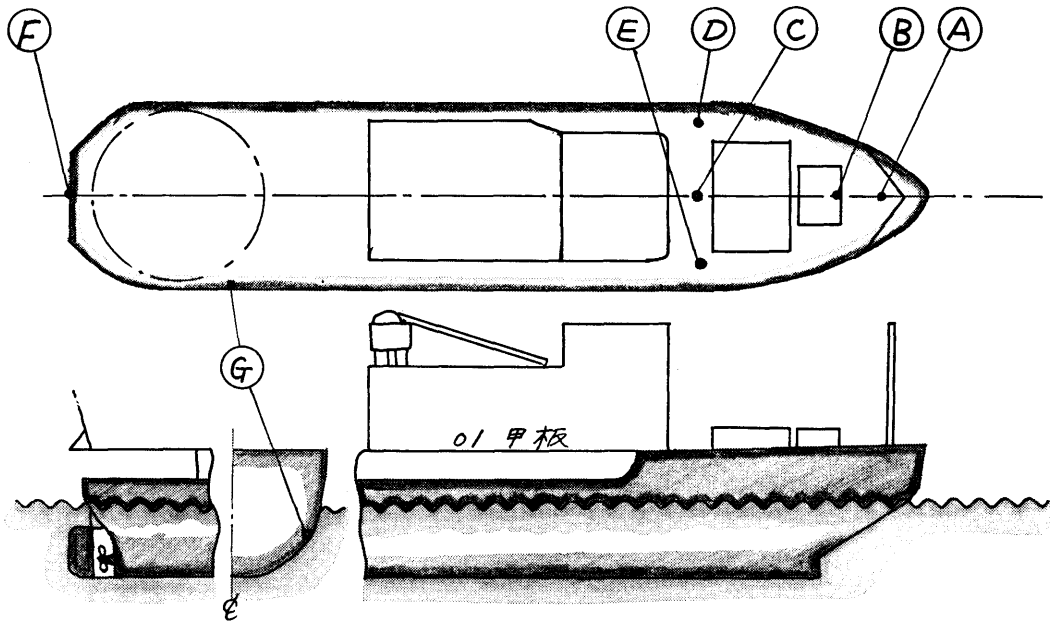


図-12 温度計測点

4-1-2 計測結果

(1) 最高温度と最低温度

計測は 34 回行ない、その結果を気象条件と合わせ表-4 に示す。

計測した限りにおいて、鋼板の最高温度は甲板上の C 点で 55.5°C が記録された。これは 49 年 12 月 1 日、13 時 30 分、 8°N 、 127°E 附近（ミンダナオ島の東）を航行中に計測されたものである。天気は朝から晴れ、気温 30.1°C で風は NNE-15kt、気圧 1007.8 mb 、湿度 70%、視程 40 km という好天であり、雲形は Cu, Ci, 雲量 3 という気象条件であった。海上はうねりの階級 1、波浪の階級 2 ときわめて静かで海水温度は 27.9°C であった。

最低温度は飛行甲板上の F 点で記録され -6.4°C であった。(50 年 1 月 8 日、23 時 30 分) この時「ふじ」は定着水内におり、気温 -3.6°C 、海水温度はこの氷海域の結氷温度である -1.9°C 、気圧は 998.0 mb 、東の風 3 kt、雲形は Sc, Ac, Ci, 雲量 3 で、湿度は 84% と高かった。またこの日の気温は 15~17 時にかけて 0°C 、以後じょじょに低下し、夜間の 2 時には風も止み -7.1°C まで下がったのに対し、天気は一日

中視程 40 km の晴れであったが、23 時からは視程 3 km に低下し、24 時には完全な霧になり、その後、数時間は視程 0.1 km という濃霧であった。最低温度は、霧に変わる直前に記録されることは特筆すべきであろう。さらに、最低温度、最高温度共、気温を越えて低くまたは高く計測されている。

(2) 緯度による温度変化

図-13 は、地方時 10 時から 14 時までに計測した B 点における甲板温度とその時の気温を緯度に対してプロットした図である。この図から甲板温度は気温に左右されることはいうまでもないが、湿度や風速にも

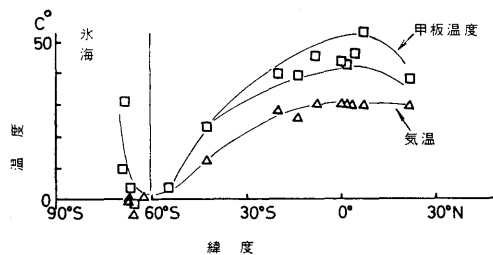


図-13 緯度の相違による甲板温度及び気温の変化

表-4 甲板温度の

	月/日	時刻	Lat.	Long.	針路	船速 kt	甲板温度 °C						
							A	B	C	D	E	F	G
1	11/28	14:30 i	21°46.2'N	134°26' E	—	—	31.5	38.0	40.0	40.8	39.0	35.2	28.0
2	12/ 1	13:30 h	7°52' N	127°00.5' E	—	—	40.5	53.0	55.5	43.5	41.5	39.0	29.5
3	12/ 2	7:00 h	4°36.5'N	124.45.0' E	—	—	28.8	29.8	28.5	29.5	28.0	29.2	28.5
4	"	10:00 h	4°14' N	124°12.8' E	—	—	49.8	45.3	41.0	43.5	29.8*	33.7	29.0
5	"	14:15 h	3°43.1'N	123°29.0' E	—	—	38.5*	38.0*	37.2	37.7	38.5	35.2	29.0
6	12/ 5	15:00 h	8°40.5'S	115°44.5' E	—	—	50.0	45.0	49.3	40.5	40.3*	39.5	30.5
7	12/19	11:00 g	43°00' S	109°20.8' E	—	—	25.5	22.7	26.5	19.7	15.3	14.6	12.3
8	12/22	13:30 g	55°44.8'S	103°02' E	—	—	4.5	3.7	4.0	5.8	3.2	1.3	3.0
9	12/25	17:30 e	63°28.5'S	81°07.1' E	—	—	7.3	5.7	5.5	4.5	5.5	2.7	0.6
10	1/ 8	6:45 c	68°38.3'S	38°46.4' E	—	0	0.1	9.0	4.2	3.5	4.0	2.5	-1.9
11	"	12:45 c	"	"	—	0	27.0	31.3	6.5*	33.3	6.2	24.5	-0.1
12	"	15:10 c	"	"	—	0	24.0	28.7	3.7*	6.3*	10.5	26.3	-1.9
13	"	23:10 c	"	"	—	0	2.2	-3.7	-1.5	-3.5	2.5	-6.4	-1.9
14	1/19	10:00 c	"	"	—	0	5.2	9.5	8.0	11.3	3.7	1.6	-1.9
15	2/22	10:00 c	67°38.1'S	33°54.2' E	—	0	-1.5	-1.3	-2.6	-0.5	-2.6	-3.5	-1.5
16	"	16:30 c	67°39.6'S	33°47.6' E	—	0	1.3	-0.8	-1.0	3.6	-1.9	-3.5	-1.0
17	"	22:00 c	67°40.2'S	33°44.2' E	—	0	-3.3	-3.6	-3.6	-3.4	-3.3	-5.2	-1.4
18	2/23	7:00 c	67°36.9'S	33°39.6' E	350	0	-3.5	-3.6	-2.4	-2.4	-2.3	-4.8	-1.1
19	2/26	14:00 b	67°26.8'S	1°38.3' E	180	0	6.2	3.4	3.8	5.3	3.8	0.6	1.5
20	3/11	7:00 b	Cape Town		313	0	18.2	17.3	18.3	17.6	17.8	19.5	13.1
21	"	13:30 b	"	"	"	0	45.0	39.4	49.6	31.4	54.5	28.2	13.5
22	"	20:30 d	"	"	"	0	22.0	21.0	22.1	22.1	20.7	21.5	13.9
23	3/22	7:00 d	21°24.9'S	54°05.4' E	58	13.8	24.0	24.9	25.2	23.6	25.0	25.6	26.6
24	"	10:00 d	21°03.2'S	54°37.1' E	58	14.0	26.4*	34.4	40.3*	42.6	41.3	34.2	26.6
25	"	13:00 d	20°40.5'S	55°12.7' E	63	14.0	51.3	39.7	50.8	51.2	29.9*	35.9	27.0
26	"	16:00 d	20°24.4'S	55°50.5' E	63	13.5	45.8	37.0	28.8*	42.8	27.2*	34.4	28.1
27	"	19:00 d	20°08.5'S	56°27.4' E	62	14.0	27.0	25.8	25.9	25.8	25.6	26.3	27.6
28	3/29	7:00 f	0°28.5'S	84°15.6' E	59	12.5	27.8*	27.8	27.2	27.7	27.0	28.0	28.8
29	"	10:00 f	0°10.5'S	84°47.2' E	59	12.5	38.5	43.8	47.5	37.4	48.1	35.5	29.0
30	3/30	7:30 f	1°57.8'N	88°32.5' E	55	12.5	28.5	29.7	29.4	29.1	29.2	29.4	28.6
31	"	10:20 f	2°16.9'N	89°00.9' E	57	12.5	38.5	39.5	42.0	32.5	42.9	33.2	29.0
32	"	13:00 f	2°35.4'N	89°28.8' E	54	12.5	45.5	43.0	44.5	41.4	42.3	37.8	29.2
33	"	15:45 f	2°54.9'N	89°59.5' E	57	12.2	51.0	44.6	33.8*	43.2	33.3*	40.8	29.7
34	"	19:40 f	3°20.9'N	90°39.6' E	57	12.0	28.3	27.4	26.2	27.6	27.5	28.5	29.4

かなり影響するであろう。熱帯地域では、気温 30°C 前後に対して、甲板温度は 40~50°C まで上昇し、高緯度になるに従い、気温と共に低下し、60°S 付近では気温、甲板温度とも 0°C となっている。さらに高緯度になると気温は 0°C 程度であっても甲板温度は 30°C 近くまで上昇している。60°S 以南での計測は氷海域を航行中であり、氷のない洋上での温度に比較し

て、このように日中の甲板温度は高く上昇する特徴がある。氷海での計測は天気がよく、風も少ない時であり、南極特有の低湿度もいちぢるしく影響していることであろう。しかし太陽のでない曇の天気、風雪の強いときはこの限りでない。

(3) 甲板温度の1日の変化

赤道附近、定着氷、流水海域に対する甲板温度の1日

測定値と気象

(* 計測点が日影となっていた甲板温度)

気温 °C	水温 °C	天気	気圧 mb	湿度 %	風向風速 kt	視程 km	雲形	雲量
29.2	26.3	①	1,010.8	70	N06	30	Cu, Ac, Ci	4
30.1	27.9	①	1,007.8	70	NNE15	40	Cu, Ci	3
29.0	27.4	①	1,007.5	78	NW04	40	Cu, Ac, Ci	4
29.2	27.7	①	1,007.0	74	WNW08	40	Cu, Ci	4
29.5	27.7	①	1,005.5	71	WNW10	40	Cu, Ac, Ci	6
30.5	28.9	①	1,005.0	60	SSW06	30	Cu, Cb, Ac, Ci	5
12.6	10.2	☉	1,009.0	79	NW32	15	Sc	8
2.8	2.1	☼	988.8	85	NNE40	8	St	8
1.1	0.0	☼	983.2	79	SW06	20	St, Sc, Ac	8
-6.5	-1.9	①	991.8	84	C00	30	Ac, Ci	5
-0.7	-1.9	①	995.8	63	S01	40	St, Ac, Ci	3
0.0	-1.9	①	996.6	60	C00	40	St, Ci	2
-3.6	-1.9	①	998.0	84	E03	3	Sc, Ac, Ci	3
-3.7	-1.7	●	998.5	88	SW05	0.6	Ac	7
-5.0	-1.9	☼	984.5	86	SE17	10	St, Ns	8
-4.5	-1.9	☼	981.8	83	ESE24	15	St, Sc, As	8
-4.7	-1.9	☼	982.8	77	ESE25	10	St, Ns	8
-5.0	-1.9	☉	982.9	72	ESE19	20	Sc, As	8
1.0	0.9	☉	1,000.8	64	NW12	50	Cu, Sc, As, Ci	7
19.6	12.0	①	1,017.3	57	SE25	—	—	—
26.0	12.0	①	1,016.0	47	SSE29	—	—	—
23.0	11.5	①	1,015.2	53	SSE35	—	—	—
26.1	26.0	○	1,010.5	65	ENE05	50	Cu, Ac	1
27.1	25.9	○	1,012.2	59	ENE05	50	Ac, Ci	1
27.9	26.3	○	1,011.5	54	E02	50	Cu, Ci	1
27.3	26.3	①	1,010.5	61	SSE02	50	Cu, Ci	3
27.0	26.7	①	1,012.5	65	SE10	50	Cu, Ci	3
29.3	28.6	①	1,009.1	73	WSW13	40	Cu, Cb, Ac, Ci	6
30.9	28.5	①	1,010.6	67	WSW12	50	Cu, Cb, Ac, Ci	4
29.0	28.7	①	1,007.5	70	SW10	40	Cu, Cb, Ac, Ci	6
29.0	28.7	☉	1,009.4	73	W11	40	Cu, Cb, Ac, Ci	7
30.0	28.6	①	1,007.7	69	WSW05	40	Cu, Cb, Ac, Ci	4
30.2	28.8	①	1,005.7	67	SSW02	40	Cu, Cb, Ac, Ci	5
29.0	28.8	①	1,008.0	70	WNW01	50	Cu, Ac	3

の変化についてまとめた。

図-14の①は気温の1日の変化であり、④から⑩の図は、図-14に示す所定の計測点に対する甲板温度と計測時点での気温との差、 ΔT_A (deg)を縦軸としそれぞれプロットしたものである。③は海水に接する③点の鋼板温度と海水温度との差を ΔT_w (deg)で示した。

上記3地域で計測した日の気温の変化は図-14の①

に示したが、気象状況は次のとおりである。

赤道附近での計測は、3月30日、正午、90°E、2°N附近を航行中に行なわれたもので●印で示してある。天気は晴、風は朝方5~10ktで、日中は2~5ktに変わり、以後1~2ktの風速が続き、海上はうねりの階級1できわめて静かであった。図-14の①で示すとおり1日の気温は安定しており、平均気

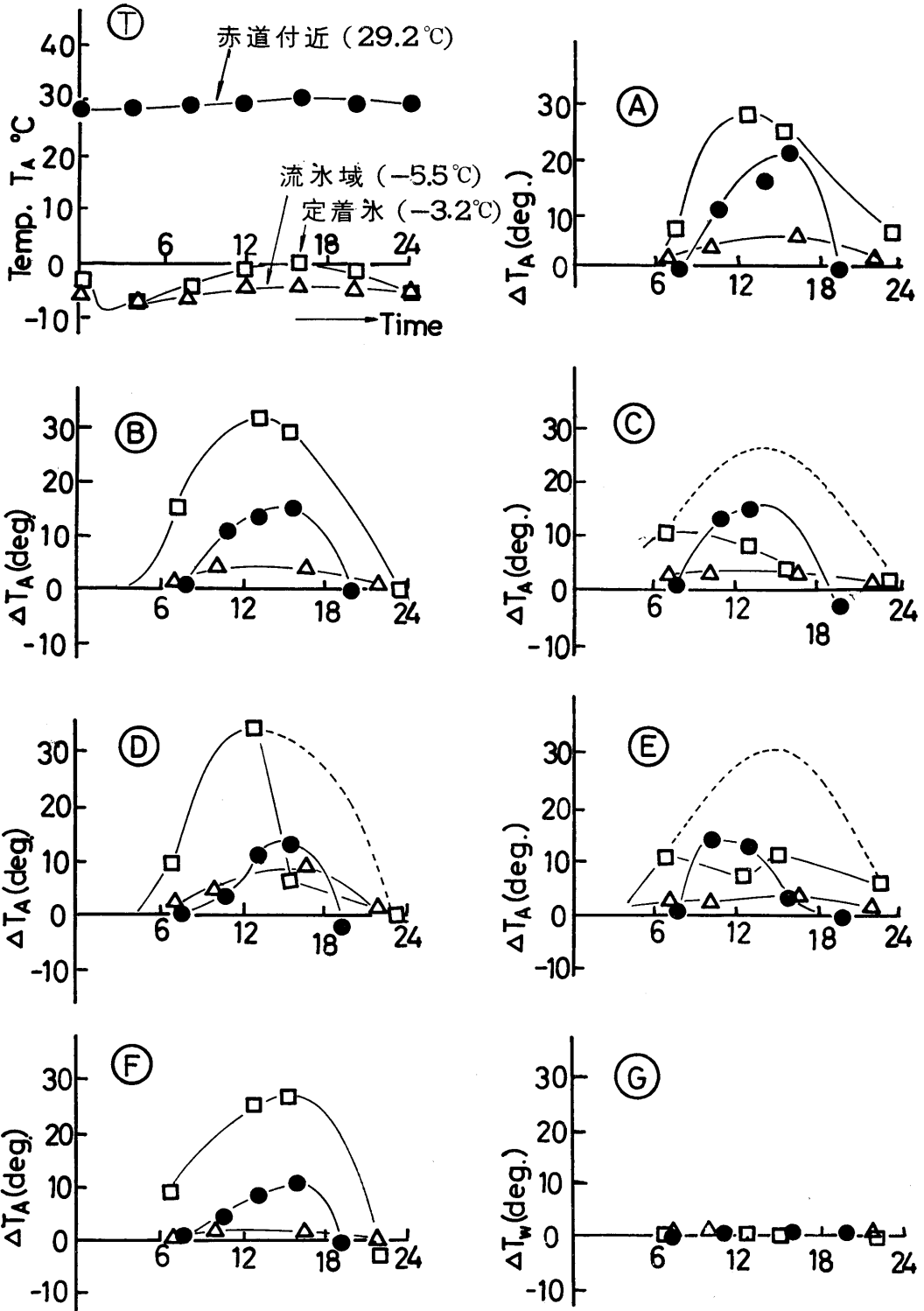


図-14 甲板温度の1日変化

温は 29.2°C であった。海水温度もほとんど変化なく 28.7°C であり、湿度は 70% 前後である。

定着氷での温度は、1月8日計測した例を図-14に記号口で示す。天気は視程 40 km の晴れ、気温は午前0時に -3.1°C であったが3~4時には -8°C に低下、以後太陽高度が増加するに従い上昇し、15~17時にかけて 0°C、夜中は -7.0°C まで低下している。風は日中ほとんどなく 0~1 kt で、夕方2時間ほど 4~5 kt となった。平均気温は -3.2°C、海水温度は -1.9°C、湿度は朝夕が 84% で、日中は 60% に下がった。

流水海域では2月22日の計測を△の記号でプロットした。天気は雪で 25 kt の風が1日中吹いていた。気温は夜中から朝にかけて冷え込み6時には -7.9°C、日中は -4.5~-4.8°C で1日の平均気温は -5.5°C とほぼ一定している。海水温度は -1.9°C と一定であるが、湿度は 87~75% にじょじょに低下している。定着氷と流水海域での計測における大きな気象の相違は、太陽の日射があるかないか、あるいは風の強弱である。また、氷海では船内暖房 (15~18°C) を、熱帯では気温より 3°C ほど低い船内冷房を実施している。

このような気象条件における甲板温度差の変化 ΔT_A (deg), ΔT_w (deg) の1日変化の図から概ね次のことがいえる。

いずれの計測点においても、正午になるにつれて甲板温度は上昇し、太陽高度の高い位置附近で最高温度となり、夕方になるにつれて低下していることである。この傾向は赤道における変化より氷海内の方が著しく、朝夕の太陽高度の低い時刻での甲板温度は気温とほぼ同じである。特に定着氷内においては、日中の気温が 0°C にもかかわらず、甲板温度は 30 deg も上昇しているのに対し、赤道での甲板温度は 50°C 近くまで上昇はするものの、気温との差は 20 deg にすぎない。しかし強風で太陽のない流水海域での甲板温度は、日中でも 0°C 位で、気温との差は数度上昇する程度であり、天気の良い定着氷と比較してほとんど温度は上昇していない。

㉔、㉕、㉖点での定着氷における甲板温度と気温との差 ΔT_A は、小さく測定されているが、これは甲板上に装備されているクレーンによって測定点が日影となり、日射を受けていないためであるので実際には破線で示すように他の計測点と同様な傾向になるであろう。

㉗点、飛行甲板上での計測で、最も外気の影響を

受け易い点で、他の測定点とほぼ同様な曲線を示しているが、どちらかと言えば温度上昇はゆるやかであるが、温度降下は急である。

㉘点、鋼板が海水に接しているため、気温に影響なくどの海域においても海水温度より 1°C 以内の高い温度を示した。氷海では結氷温度が -1.9°C であるので、海水に接している鋼板温度はそれより下がることはない。

以上の結果から、甲板温度の変化は日射と風の影響が一番大きいと考えられる。風は甲板の温度を一樣にし、さらに気温と同温度に近づける作用をするが、気温 -4.7°C のとき甲板温度 -3.6°C~-5.2°C となるなど気温より低くすることもある。日射は、風のない場合、気温がマイナスでも、甲板温度を著しく上昇させ、定着氷内では気温 -0.7°C のとき日射で 33.3°C、日影で 6.5°C と両者の気温との温度差には約5倍の開きがある。また甲板温度の1日の変動についてみると、定着氷内で 37°C であるのに対し熱帯では 20°C であった。全航海を通じては、熱帯の最高温度 55.5°C に対して、氷海での最低温度は -6.4°C であったので約 62°C の温度の変動を受けたことになる。

4-2 氷象調査

船舶が氷海域を航行するにあたり、氷の厚さ、大きさ、氷質、破壊強さなどの性状や、量、流水の分布などを適確に把握する必要がある。このような性状や分布が航行中瞬時に判断できれば、砕氷航行における効率の向上はもとより、砕氷船の強度や砕氷能力からくる操船等に関する信頼性も増すであろう。

「ふじ」は氷状に関しては目視によるものが多く、氷状偵察や人工衛星による広域の状況に関するデータも用いているが、砕氷航行とその操船には過去 10 数年に及ぶ経験によるものが多く。

(1) 氷状観察

氷海航行では氷状図を作成して航行することは先に述べたところであるが、この氷状図や雪氷用語に関しては WMO で国際的に定義され、記号が定められている⁹⁾。

航行中の氷状に関し、後に示す砕氷加速度やトルク計測に関するバックデータとするため、密接度(氷量)、氷塊(氷盤の大きさ)、氷形、氷厚、積雪量などについて目視による観察を行なった。一方「ふじ」は1時間ごとに砕氷して航行した氷状の密接度等について記録しており、その一覧表を表-5に航程と合わせて示した。記号は図-8に示すものと同じである。

表-5 水海航行時の水状と航程

	12/29		30		31		50. 1/1	
	水状	航程	水状	航程	水状	航程	水状	航程
01	△	118		40	☒ △	2.5	☒ △	0.9
02	*	*		34	☒	0.4	*	0
03	*	*		21	☒	0	☒	*
04	*	*		14	☒	*	☒	*
05	*	*	△	0.6	☒	*	☒	*
06	*	*	☒ △	0.7	☒	*	☒	*
07	☒	☒	*	10	☒	☒	☒	☒
08	*	☒	☒	1.2	☒	0.4	☒	☒
09	☒	☒	☒	0.9	☒ △	3.0	*	☒
10	△	☒	☒	0.5	☒	2.3	☒	☒
11	☒	☒	☒	1.0	☒	1.4	☒	☒
12	☒ △	☒	☒	0.8	☒	0.9	☒	☒
13	☒	9.4	☒	1.2	☒	1.1	☒	0.3
14	☒	8.0	☒	0	☒	3.7	☒	0.5
15	*	9.0	☒	☒	☒	0.9	☒	☒
16	☒ △	7.4	☒	3.5	☒	1.0	☒	3.8
17	☒ △	6.4	☒	3.3	☒	0	☒	3.5
18	☒	6.9	☒	0.4	☒	0.8	☒	0.5
19	☒ △	6.1	☒	☒	☒	1.2	☒	1.1
20	☒	5.4	☒	0.5	☒	0.2	☒	2.5
21	*	5.3	☒	0	☒	0	☒	0.3
22	☒ △	3.5	☒	0.3	☒	1.8	☒	0.2
23	☒	3.8	☒	1.2	☒	2.4	☒	1.2
24	☒	3.7	☒	0.6	☒	1.0	☒	0.6

	1/2		3		4		5	
	水状	航程	水状	航程	水状	航程	水状	航程
01	☒ △	1.0	☒ ▲	0	☒ ○ ▲	5.8	☒ ▲	0
02	☒	0	☒	☒	☒	2.7	☒	☒
03	☒	☒	☒	☒	☒	4.9	☒	☒
04	☒	☒	☒	☒	☒ ☒	☒	☒	☒
05	☒	☒	☒	☒	☒ ☒	7.8	☒	☒
06	☒	☒	☒	☒	☒ ☒	0.8	☒	☒
07	☒	1.2	☒	☒	☒ ☒	0	☒	☒
08	☒	1.7	☒	☒	☒ ○	☒	☒	☒
09	☒	2.1	☒	1.0	☒	8.4	☒	0.4
10	☒	1.1	☒	0.4	☒	5.0	☒	☒
11	☒	3.7	☒	1.8	☒	4.8	☒	0.5
12	☒	6.2	☒	☒	☒	3.7	☒	☒
13	☒	4.3	☒	1.2	☒	4.9	☒	0.2
14	☒	5.3	☒	1.0	☒	2.5	☒	0.4
15	☒ ▲	4.5	☒	1.7	☒	4.3	☒	☒
16	☒ ▲	3.9	☒	0.8	☒	2.0	☒	0.6
17	☒	2.9	☒	0.6	☒ ☒	2.7	☒	0.2
18	☒	2.2	☒	3.2	☒	3.9	☒	0.3
19	☒	3.9	☒	0	☒	6.0	☒	0.2
20	☒	1.3	☒	☒	☒	1.7	☒	☒
21	☒	0.6	☒	0.6	☒	0.7	☒	0.4
22	☒	0.6	☒	0.9	☒	0.3	☒	0.1
23	☒	0	☒	2.7	☒	0.4	☒	0.2
24	☒	☒	☒	10.4	☒	0.6	☒	0.3

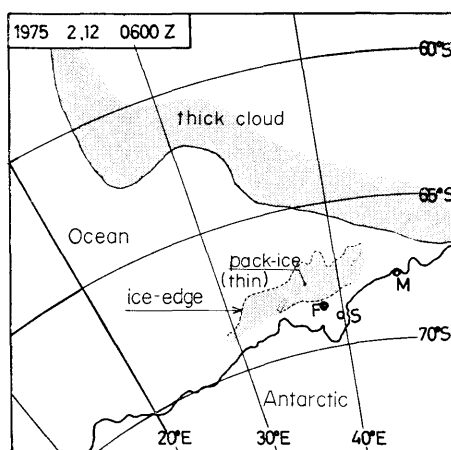
	2/12		13		14		15		16		17		18		19	
	水状	航程	水状	航程	航程 (マイル)		航程 (マイル)		航程 (マイル)		航程 (マイル)		航程 (マイル)		航程 (マイル)	
01	☒ ▲		☒ ▲ ▲													
02	*	*	☒	☒												
03	☒	☒	☒	☒	2.3	2.3	0.4	1.4	1.4	1.3	1.8					
04	☒	☒	☒	☒												
05			☒	☒												
06			☒	☒												
07			☒	☒	0.4											
08			☒	☒												
09					2.3	0.3	0.4	1.4	1.4	1.3	1.8					
10																
11		0.6														
12		0.5														
13		0.7								0.2	0.3					
14		1.6					0.2				0					
15		8.2						1.0			0					
16		5.1			2.3	0.4		1.4			1.5	0.1				
17	☒ ▲	1.2					0.7				0.4					
18	☒	2.2														
19	☒	2.5													0.4	
20	☒	0.4													1.2	
21	☒	2.7													1.4	
22	☒	3.8			2.3	0.4	1.4	1.4	1.3	1.8					0.3	
23	☒	☒														0.2
24	☒	☒														0

	2/20		21		22		23	
	水状	航程	水状	航程	水状	航程	水状	航程
01	☒ ▲	0		0	☒ ▲		☒ ▲	
02	☒	0		0	☒		☒	
03	☒	0		0	☒		☒	
04	☒	0		0	☒		☒	3.2
05	☒	0		0	☒		☒	
06	☒	0	☒	☒	☒	0	☒	
07	☒	0	☒	5.8	☒	0.5	☒	
08	☒	0.2	☒	4.4	☒	2.5	☒	
09	☒	☒	☒	2.6	☒		☒	2.3
10	☒	0	☒	0	☒	1.8	☒	
11	☒	☒	☒	0.9	☒		☒	
12	☒	0.5	☒	6.8	☒		☒	
13	☒	2.8	☒	6.2	☒		☒	0.5
14	☒	5.0	☒	4.6	☒		☒	8.5
15	☒	8.5	☒	7.1	☒	(3.1)	☒	12.6
16	☒	3.0	☒	7.3	☒		☒	
17	☒	9.3	☒	(0.5)	☒		☒	
18	☒	14.6	☒	(0.8)	☒		☒	
19	☒	4.5	☒	☒	☒		☒	
20	☒	3.5	☒	☒	☒		☒	
21	☒	1.8	☒	☒	☒		☒	
22	☒	0.7	☒	4.7	☒	0.7	☒	
23	☒	0	☒	☒	☒		☒	
24	☒	☒	☒	☒	☒		☒	

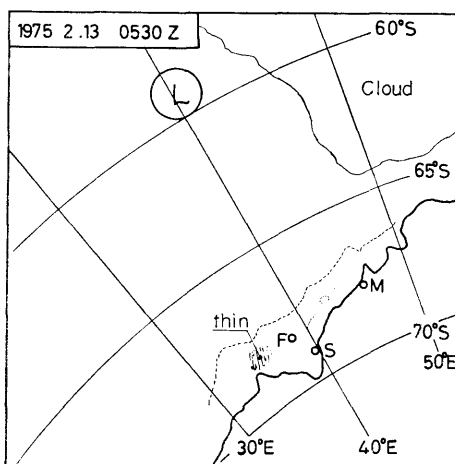
氷状偵察での経験では、リードや氷盤の大きさ、水量などは上空から見るため良く判別できることがわかった。一面張りつめた定着氷では、海氷の色の相違で1年氷と2年氷の判別がよくでき、2年氷はその色が1年氷より白く、多くのパドルがあったが、1年氷の表面は平坦であった。

(2) 漂流と流水の速度

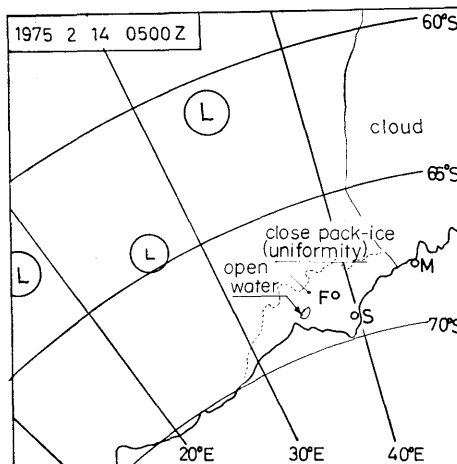
「ふじ」は2月12日夜から2月19日まで流氷海域で1週間ピセットされ、流氷と共に漂流した。この間における氷状変化を人工衛星エッサからの情報をもとにみてる。図-15に、エッサの写真のコピーし漂流している間の氷縁の様態を示す。エッサからの写真では低気圧の移動状況や氷縁、開水面、大利根水路(定



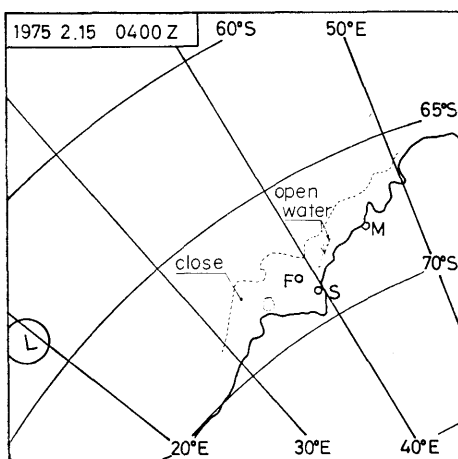
(1)



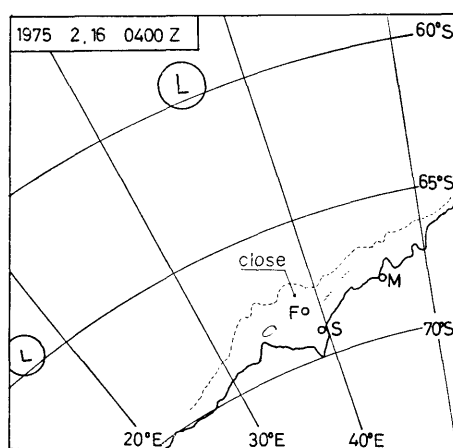
(2)



(3)

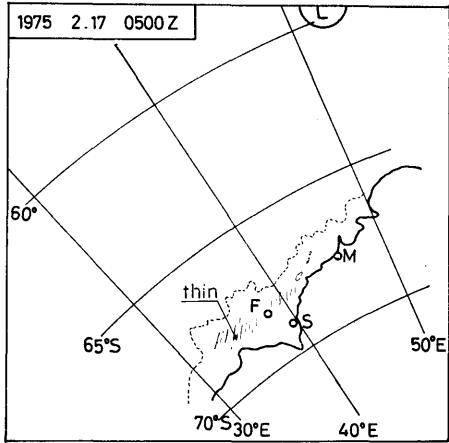


(4)

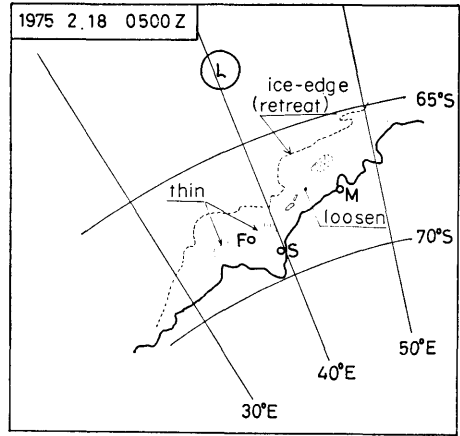


(5)

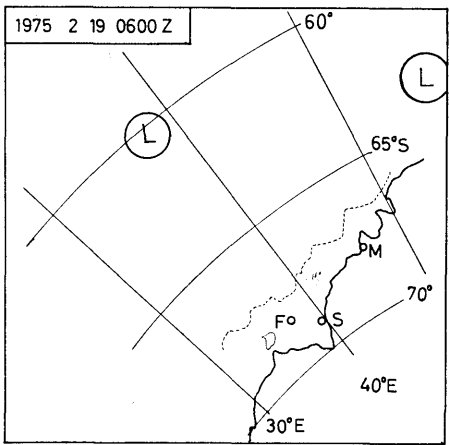
図-15 氷状、氷縁の様態



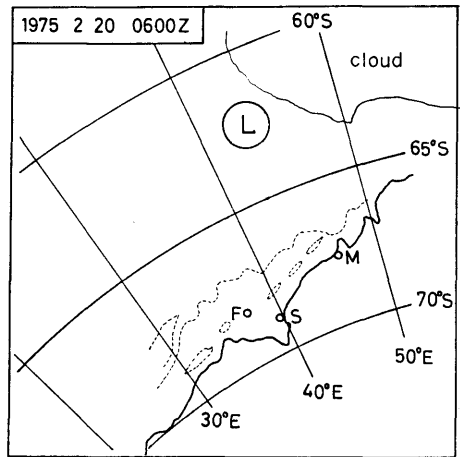
(6)



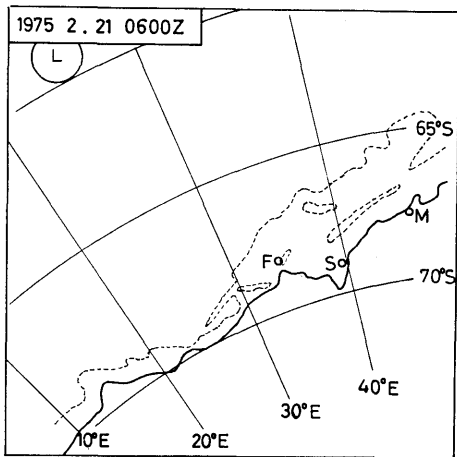
(7)



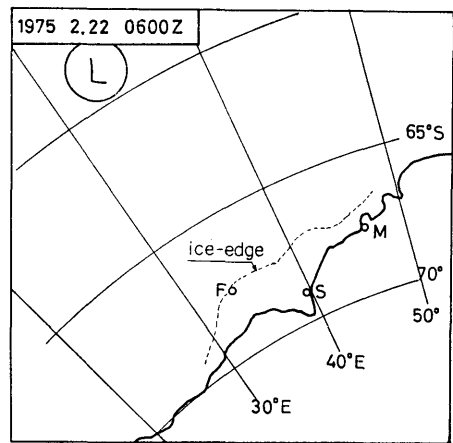
(8)



(9)



(10)



(11)

図-15 氷状, 氷縁の様態

着氷と pack-ice の間にできた水路で毎年ここを「ふじ」は航行している場合が多い) などがかなり明確に判別できる。図-15 でFは「ふじ」の位置を、Sは昭和基地 (Showa station, 69°00'S, 39°35'E), M はソ連

のマラジョーリナヤ基地 (Molodyozhnaya station, 67°40'S, 45°51'E), ㊦は低気圧の中心である。

2月12日, 06:00z (09:00c) には「ふじ」は昭和基地より 322°, 30 マイルの定着氷上におり, 定着氷

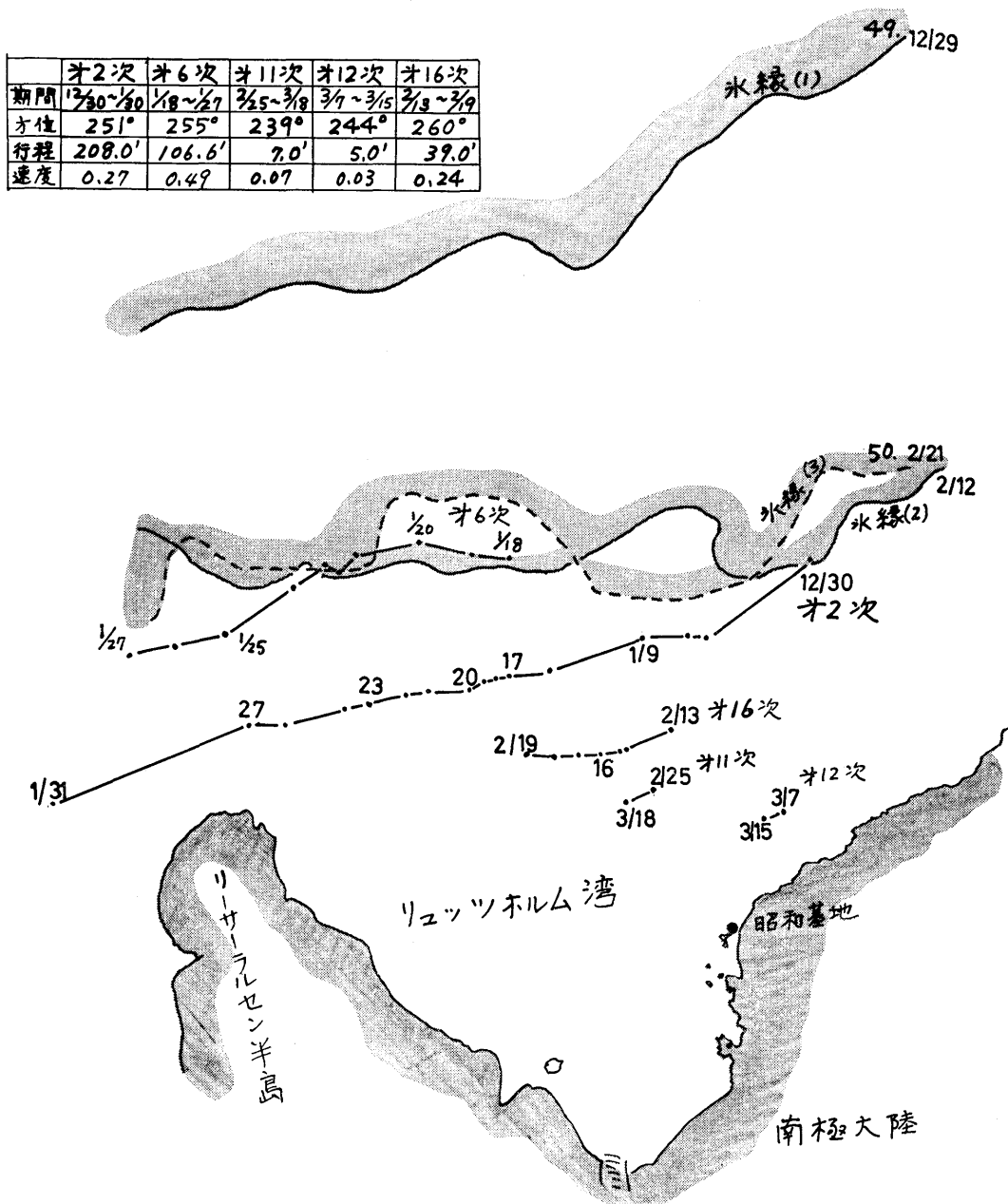


図-16 漂流図

表-6 漂流中の気象

月/日	時刻 z	天気	視程 km	風向—風速 kt	気圧 mb	気温 °C	湿度 %	海水温度 °C
2/12	06:00	☉	50	E-8	997.9	-4.9	68	-1.9
2/13	05:00	⊗	0.5	ENE-21	991.0	-3.3	88	-1.9
2/14	05:00	⊗	0.5	ENE-14	978.1	-3.0	86	-1.9
2/15	04:00	⊗	10	C-0	979.9	-0.9	87	-1.9
2/16	04:00	⊗	4	E-11	986.6	-2.1	86	-1.9
2/17	04:00	⊗	20	E-10	990.9	-5.2	88	-1.9
2/18	05:00	⊗	15	ESE-10	987.0	-3.0	82	-1.9
2/19	06:00	☉	30	SSW-2	999.0	-4.7	83	-1.9
2/20	06:00	⊗	15	SSE-1	999.2	-4.1	81	-1.9
2/21	06:00	⊙	0.7	SE-8	994.4	-10.0	86	-1.9
2/22	06:00	⊗	8	SE-16	985.3	-5.6	87	-1.9

縁までは約 6.5 マイル、流水縁までは約 90 マイルの位置にあった。エッサの写真では流水縁があまり明確でないほど pack-ice は比較的薄いと考えられるが、60°S, 10°E に大きな低気圧があり、65°S から北にかけては厚い雲におおわれていた。

2月13日、雪で視界を閉ざされている時点では、クック岬の北東は特に薄い氷状のようで、大根水路が多少見えている。14日には海上に低気圧が多く発生し、荒れ模様であり、流水縁が明確に見えることから流水はかなり一様につまっていると考えられる。またクック岬の北東には大きな氷湖が発生した。

以後風は北東から東南に向きが変わり、氷盤にクラックが入るなど氷状に変化がみられ、17日、18日となるにつれて pack ice は薄くなりつつある。20日に至っては流水はかなりゆるみ、水路がいくつもできているようである。

この漂流中の位置を、氷縁や過去において漂流した航跡と一緒にして図-16 に示した。漂流の方向は常に西南西で、今回の漂流は 260° 方向に 39 マイル、平均 0.24 kt の漂流速度であった。漂流中の気象として、図-15 の氷状図に対する時刻のものを表-6 に示した。

第2次南極地域観測での「宗谷」は、図-16 のように約 1 ヶ月流水中で漂流した。この際、村内、吉田は風と漂流の関係について観測を行ない、風速に対する漂流速度の比として $C = v/V = 0.049 \left(\text{kt} / \frac{\text{m}}{\text{sec}} \right) = 0.025$

(同単位) の漂流特性を求めた⁴⁾。ここで v は漂流速度 (kt) で V は風速 (m/sec) である。吉田らの風速と漂流速度についての測定結果を図-17 に、今回第 16 次観測での結果を図-18 に示す。図-18 ではかなりばらつきはあるものの、2月13日から19日までの漂流 33.3 マイル (漂流速度 0.23 kt/hour) に対するこの期間の平均風速は 9.17 kt (4.72 m/sec) であることから、風速に対する漂流速度の比は $C = 0.049$ となり吉田らの第2次南極観測における観測結果とよく一致している。

一方海水の漂流を支配する力は、文献「南極」⁵⁾ によると、(i) 風の氷表面に及ぼす応力、(ii) 海水と海水との間の水の応力、(iii) コリオリの力、(iv) 海面の傾斜によって生ずる圧力傾度の力、(v) 流水内部に働く応力 (氷の内部抵抗) などが考えられるとしている。

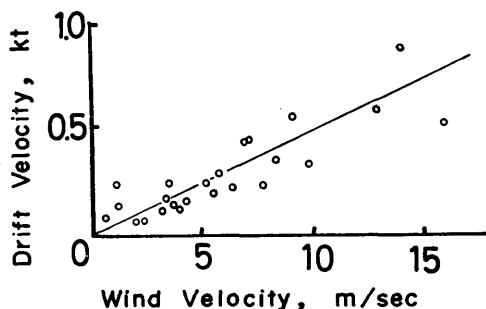


図-17 風速と氷の漂流速との関係 (村内、吉田)

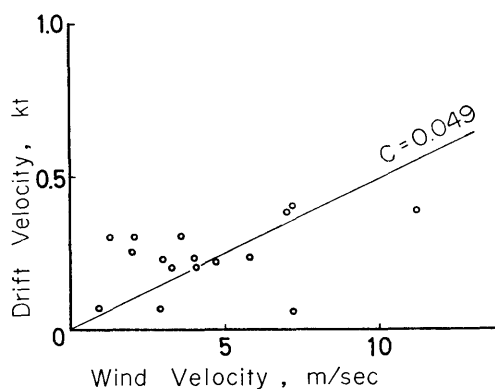


図-18 風速と氷の漂流速との関係

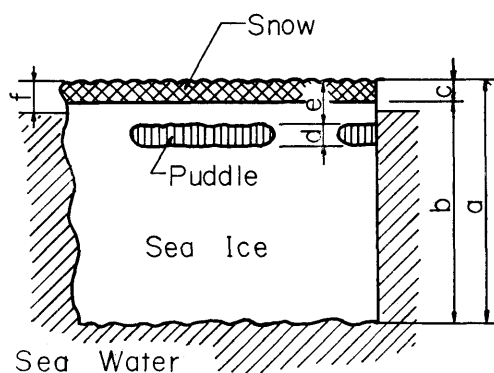


図-19 海水の断面

昭和基地周辺の測定では、風力係数(同単位)は0.021~0.023 偏角は沿岸近くで岸との間に氷がはりつめ左偏しにくく 16° と小さい。南極周辺の海水の移動は、沿岸部で東から西へ向かい、南極全域で風力係数が0.021~0.033, 偏角はコリオリの力で左偏し $30^\circ\sim 35^\circ$ と観測されている。また、W. プレンネッケは、ウェッデル海での観測で、氷の風力係数は、0.0278 (0.0209~0.0319) であるとし、風力係数は水量に支配され、風向にあまり関係しないとしている。ちなみに、ナンセンは北極において、風力係数0.019を見出し、氷の漂流速度は風速の約 $1/50$ であるとしている。

(3) 氷厚測定と海水の成長

「ふじ」が定着氷で係留している間に2回、流水海域でピセットされている間に2箇所をボーリングして氷厚測定を行なった。ボーリングは、直径100mmのカッターを手動ないし、電動で回転させ行なった。ボーリングした海水の断面及び氷厚等の測定結果をそれぞれ、図-19, 図-20, 表-7に示す。

図-19は表-7の測定番号1及び2に対する1冬氷(winter ice)の定着氷並びに測定番号3に対する流水(平坦氷)の断面を示す。いずれも、海水の表面には

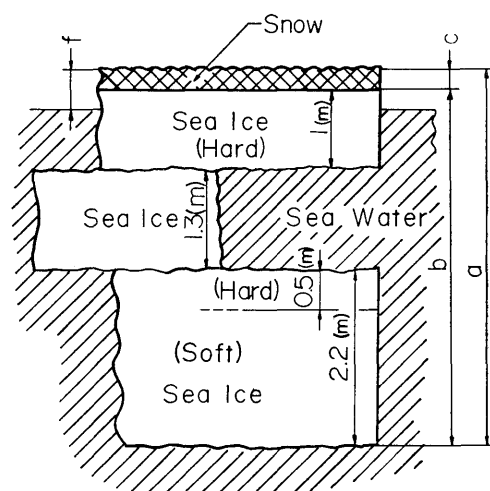


図-20 ハンモック氷の断面

積雪があり、表面から10数cm深さの海水内に数cmのバドルができていた。定着氷の表面は、鱗状に波打っており、その口の開いている方向が太陽の方向と一致している。この海水の表面は南極大陸のルドボークスコラーネで見た大陸氷床とよく似た鱗状であった

表-7 海水ボーリング結果(単位 cm)

測定番号	計測日	氷の種類	全体の厚さ a	氷の厚さ b	積雪量 c	バドルの厚さ d	バドルの位置 e	海水の露出部 f	断面図	備考
1	1/26	定着氷	156	144	12	5	16	19	図-19	4回の平均, 1年氷
2	2/5	定着氷	98	88	10	10	19	9	"	2回の平均, 1年氷
3	2/18	流水	77	72	4~5	5	19	16	"	平坦氷
4	2/18	流水	455	450	4~5	—	—	30	図-20	ハンモック氷

が、大陸氷床のそれは非常に硬かった。

図-20 のハンモック氷は、ピセット中にボーリングしたもので、表-7 の測定番号4に対応する。この海水は測定番号3の平坦氷から数 m 離れた位置の平坦氷で、測定番号3の水盤との間にクラックが1本入って、水盤が多少段違いに浮いている海水である。海水の表面は測定番号3のそれとほとんど変わっていないのに、全体の厚さは 4.5 m もあった。断面の構造は、表面部が厚さ 1 m の海水で硬く、下部にある 2.2 m の海水は、比較的軟かかったが、その上部の部分 50 cm ほどは硬かった。中間に海水の部分もあり、ボーリングした結果ハンモック氷であると推定される。結局、この流水を爆破して砕氷したのであるが、爆破後のチャージングに際し、砕氷が困難だったことは、この厚さに対する海水の破壊には相当のエネルギーが必要であることを物語っている。

なお、測定番号1の 1.5 m の定着氷に対する砕氷能力は、チャージング1回当たりの平均進出距離 19.3 m, 1 時間当たりの平均砕氷距離 153 m であり、測定番号2の 1 m の定着氷に対するそれは、チャージング1回当たり 108 m, 1 時間当たりの砕氷距離 817 m であった。

海水は塩分濃度によって結氷温度が変化し、塩分濃度の高いほど結氷温度は低くなる。南極海の塩分濃度は 33~34% (1 kg の海水に含まれる塩類の重量グラム数) といわれ、結氷温度は -1.9°C である。今回ボーリングした時の氷の温度は $-0.8 \sim -1.6^{\circ}\text{C}$ であった。真夏である1月始めは、海水の融解過程にあり、パドルができ易い。約2ヶ月定着氷内に停泊した間に「ふじ」の周囲にもパドルが生じ、さらに帰りの pack-ice では、氷盤に円筒状の穴が垂直に貫通するようなパドルも成長している。このような穴のあいた海水では厚さが 1.5 m を越えても、砕氷は比較的容易であった。

昭和基地での積雪と海水の観測結果⁶⁾を引用すると

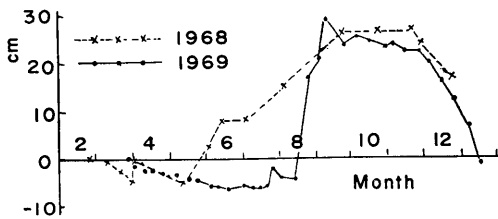


図-21 Mean cumulative accumulation in snow

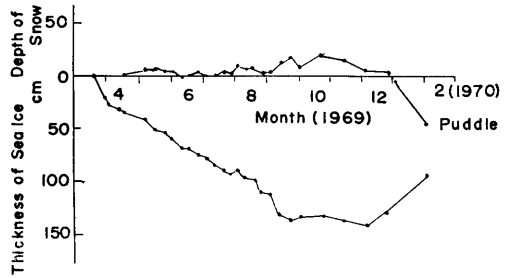


図-22 Growth and decay of sea ice (Thickness of sea ice excludes that of infiltrated ice)

積雪は図-21に示すように、9~10月にかけて多く、平均 30 cm である。海水は図-22にみるように3月下旬から結氷を始め9月から11月ごろまで成長を続け、厚さ 1.4 m 以上にも達するが、1月からパドルが発生し、海水は融解し始める。一般にリュッツホルム湾では、1冬氷は約 1.5 m 位まで成長するといわれており、それより厚い海水は極氷 (polar ice) として2年氷ないし2冬極氷 (young polar ice), 2年以上経過した海水に対しては多冬極氷 (arctic pack) と呼ばれている。

(4) 南極海における着氷

冬の北方洋では海水のしぶきが風で船体に付着し、凍結していわゆる船体着氷現象がよく生ずる。今回南極海における氷海航行中に船体着氷現象が生ずるかどうかについて随時目視観察を行なった。

流水海域での航行では、先の甲板温度計測でもみられるように、夏の南極海は気温が比較的高く、気温がマイナスでも甲板温度は上昇すること、さらに湿度も低く乾燥しており、海水のしぶきがかからないこともあって海水が凍結して甲板に氷が付着することはなかった。しかし、気温がマイナスで、濃霧の際霧氷 (rime) がロープやポールに 1~2 cm の高さで、風上に向かって付着したことが数回あった。同時に船首附近の甲板の手すりに 2~3 cm のつらら (icicle) が数本できた状態が観察されたが、これらは霧が凍結したもので海水のしぶきなどによってできたものではない。またブリザートの際は露天甲板に数 10 cm の雪のふきだまりができてたり、飛行甲板には 1~2 cm 厚の氷が張った。この氷は雪が融解して凍結したもので、着氷 (icing) の一つであると考え。写真-8 及び 9 に霧氷を写真-10 に甲板上に凍結した着氷の様子を示す。

ここで霧氷のできた状況をみてみよう。最初に「つらら」と「霧氷」ができたのは、12月29日の朝であ

った。「ふじ」は氷縁近くの海面を航行中で、前日の夕方から翌日の朝にかけて視程 0.1~1.0 km の濃霧で、気温は $-2.0\sim-2.5^{\circ}\text{C}$ 、風速は 5~12kt であった。2 回目は定着氷内に係留している 1 月 16 日の朝で、霧氷が 2 cm の高さに成長した。気象条件は前

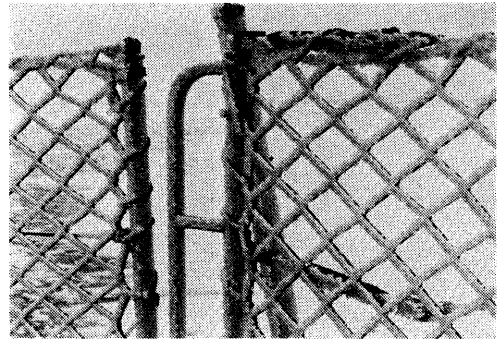


写真-9 霧氷

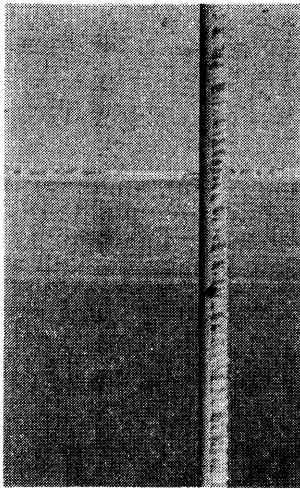


写真-8 霧氷



写真-10 甲板上に凍結した水

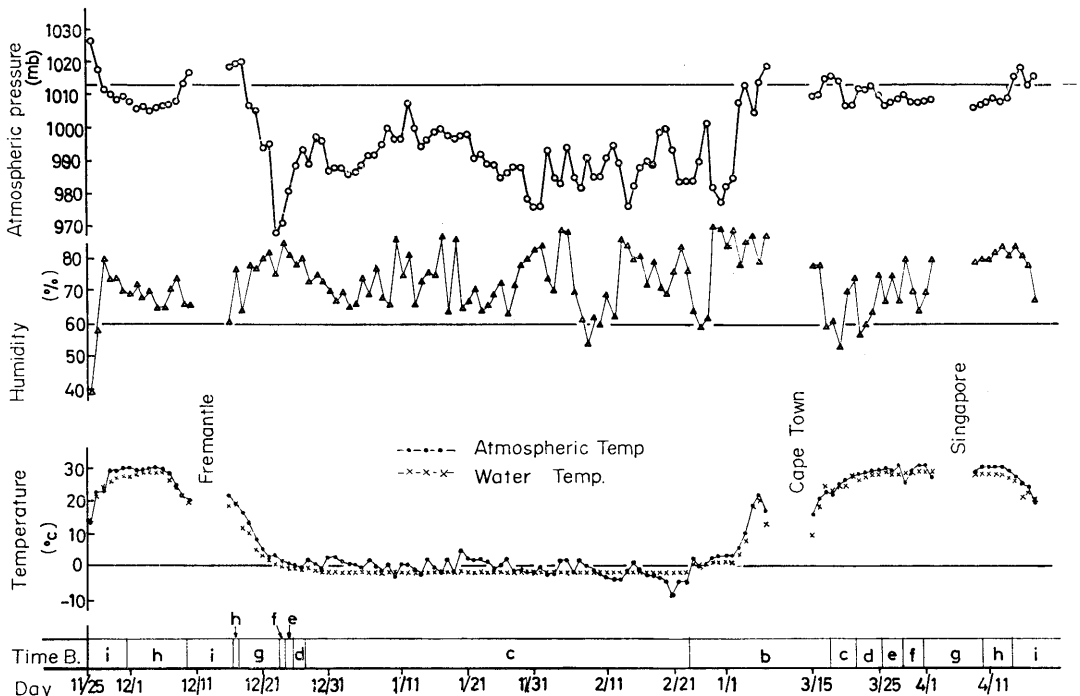


図-23 航海中の気象、海象 (地方時 12:00)

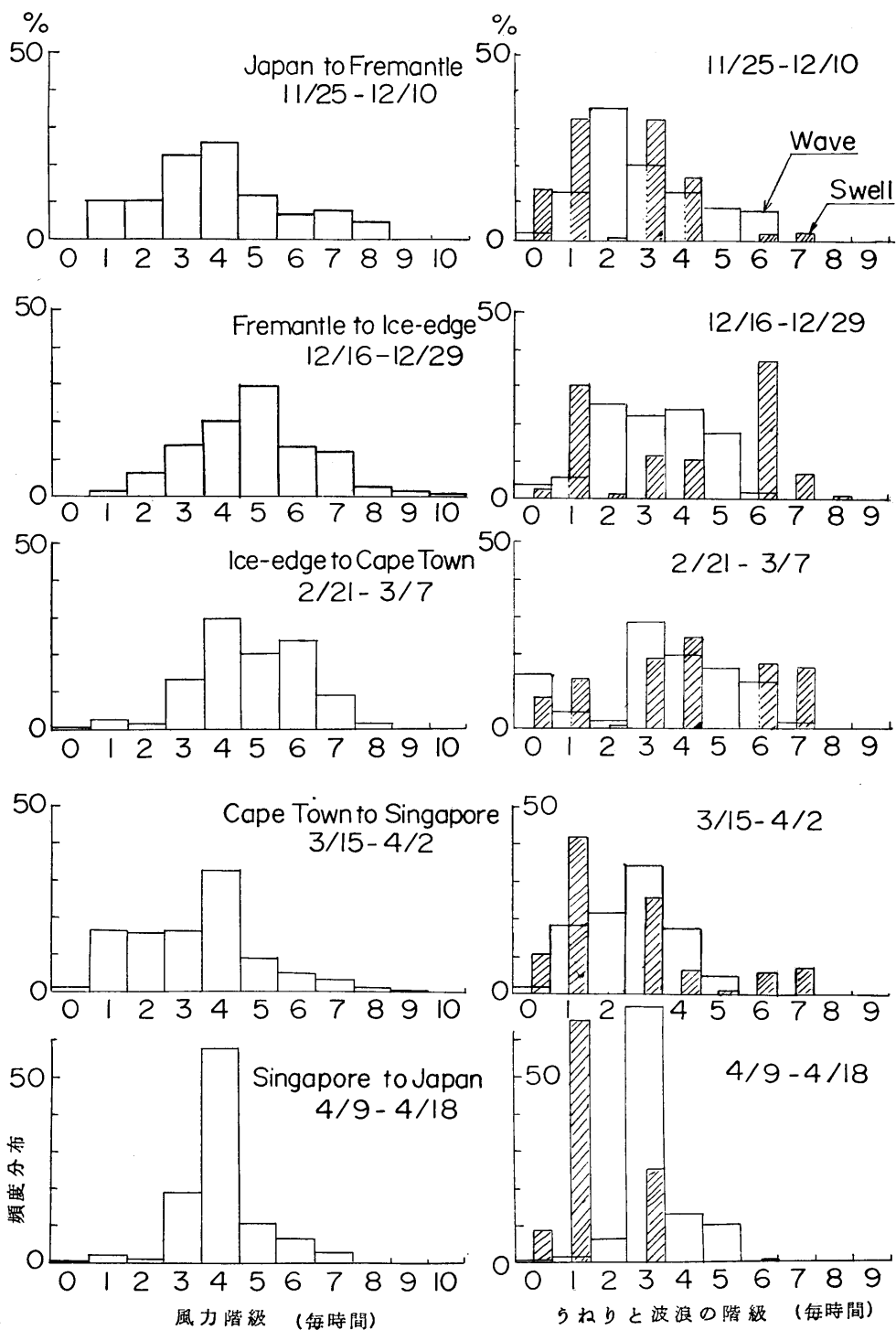


図-24 海域ごとの風力及びうねりと波浪の階級の頻度分布 (毎時間)

回の時と同様、夜中から朝にかけて視程 50m~1km の濃霧で、気温が $-5.0^{\circ}\text{C} \sim -6.0^{\circ}\text{C}$ 、風は 2~5kt である。

いずれも海水の「しぶき」によるものではなく、夜半から朝にかけて発生した霧により、気温が零下以下で過冷却の霧 (freezing drizzle) が氷晶となって、凍結したものであり、風速が適度に弱かったため、ポールやネットに風上に向かって付着したものである。

4-3 船体の動揺及び加速度、砕氷能力

4-3-1 気象、海象

航海中「ふじ」が観測した地方時 12 時の気象 (気温、水温、湿度、気圧) を図-23 に示す。

個々の海域での状況は前述したので省略するが、特徴あるのは、南極海における気温と水温で、気温はほとんど 0°C 近く、海水温度は -1.9°C と一定であることである。気圧は南極海においては 1 気圧より低かった。南極海における「ふじ」の観測した今航海の気象観測極値 (表-8) によると、最高気温は 5.5°C 、最低気温は 2 回記録され、 -10.6°C であった。

うねり及び波浪と風力階級の頻度分布について、それぞれの海域ごとに「ふじ」の観測した 1 時間ごとのデータをもとに図-24 に示した。暴風圏を航行したフリーマントルから氷縁、氷縁からケープタウンへの航路において、うねり及び風力階級の頻度分布は、他の海域のそれらと比較して高い階級の方に現われている。

4-3-2 船体の動揺及び加速度の計測

第 1 甲板上の右舷側 (中心線より数 m の距離) にある居住区 (第 4 士官室) に、ジャイロ式傾斜計及び上下方向、前後方向の加速度計 (2g max.) をそれぞれ設置し、4 チャンネルのデータレコーダに記録した。図-25 に計測器の設置場所を、図-26 にその結線図を示す。

計測は航海中及び砕氷時に随時 20~30 分行ない、計測中の気象、海象は乗組員の協力により目視によった。以下結果について若干考察する。

図-27 は航海中のうねり及び波浪の階級、動揺、風速である。いずれも 1 日のうちの最大値を気象データよりプロットしたものであり、横揺れは気象室に設置されたクリノメータによる片振幅の最大値である。南緯 40° から 55° にかけては暴風圏を航行中で、海上も荒れており、うねり、波浪の階級は 6~7 と高くなっている。横揺れは大洋航海中は常時 3 対の減揺タンクを使用しているにもかかわらず、暴風圏では両舷とも 30 度ないしそれを越えている。しかしペンドラム

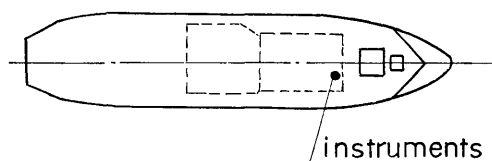


図-25 計測器の設置場所

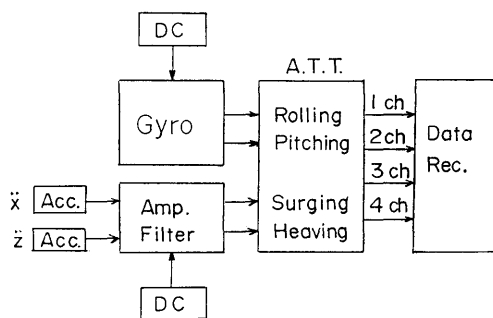


図-26 計測器の結線図

表-8 気象観測極値

気温	最高	5.5°C	50年 1月20日
	最低	-10.6°C	1月14日 2月21日
気圧	最高	1,009.2 mb	1月12日
	最低	974.0 mb	1月31日
風速	最大	ENE 70 kt	2月3日
	最大瞬間	ENE 80 kt	2月3日

式クリノメータによる横揺れ表示は実際より高く現われるといわれている⁷⁾。一方、氷海中では、海面が一面海水に覆われているため、うねりや波浪が全くなく、動揺は生じなかった。従って同図中には氷海中の動揺、うねり等は示されていない。風速は氷海域で特に高くなっている日もみられるが、これはブリザートの来襲によるものである。

図-28 は、航海中にジャイロにて計測したローリング、ピッチングの両振幅または加速度を計測日に対してプロットしたもので、1 回の計測中に記録された最大値のみを示している。船速 0 は海洋観測中に漂流している間に計測したものであり、うねりと風の方向は図の上側を船首とした相対方向を表わしている。

計測は随時行なったのでこの計測値から航海中の最

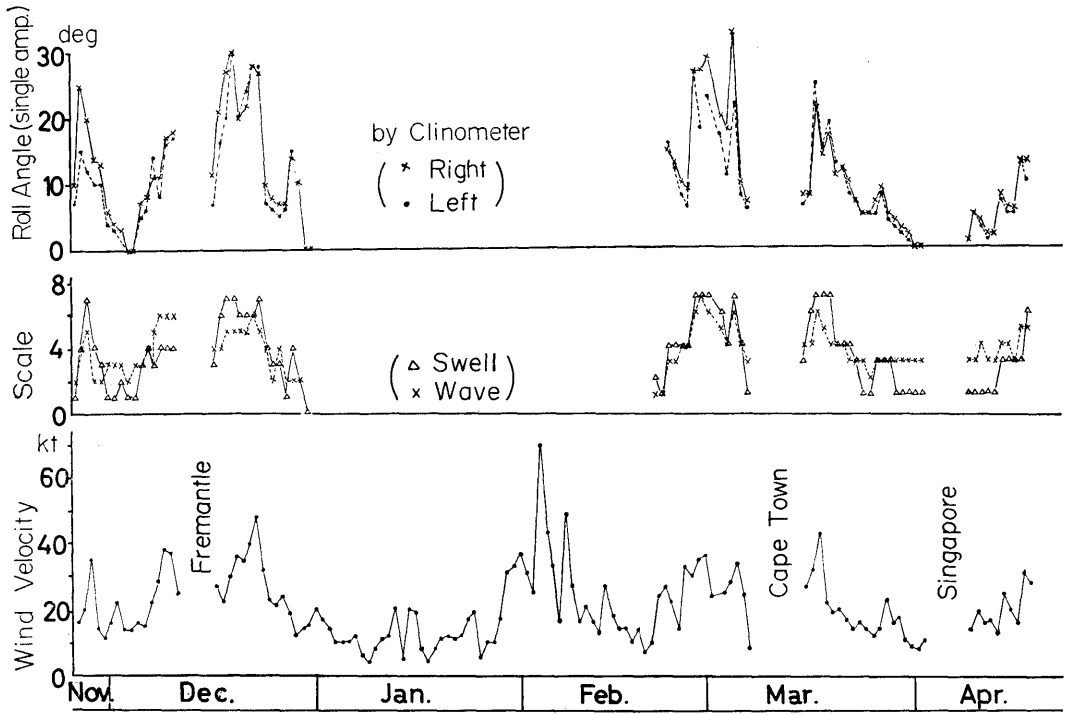


図-27 航海中の風速，うねりと波浪の階級，動揺，(1日のうち最大値)

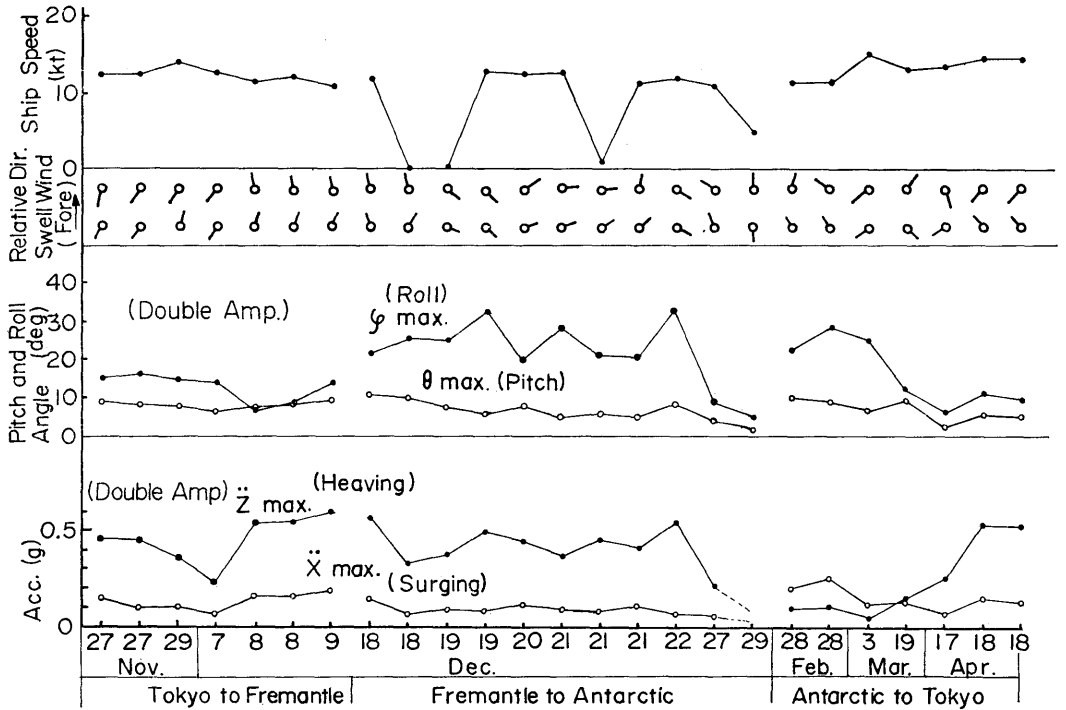


図-28 加速度と動揺の最大値 (両振幅)

大値などを見出すのは妥当ではないと思われるが、計測した範囲では、ピッチングが概ね $7\sim 8^\circ$ であるのに対し、ローリングは暴風圏で20数度にもなり、 30° を越えた時もあった。ローリングが大きくなる時は船側ないしは斜め後部よりうねりを受ける場合のようである。加速度は前後方向で $0.1\sim 0.2g$ 、上下方向で $0.3\sim 0.5g$ 生じており、上下方向で最大 $0.6g$ も記録された。さらに上下方向加速度は、ピッチングの激しいときに大きく計測されている。

機関は原速ないし第1強速で操縦され、船速は $12\sim 12.5$ kt、平均軸回転数は 115 rpmである。

4-3-3 砕氷時の加速度

前述の船体加速度は、連続砕氷及びチャージングなどの砕氷時にも氷状の様な状況をにらみ $20\sim 30$ 分間計測した。表-9は砕氷モード、氷状の相違などと合わせて衝突加速度、上下加速度、船首の傾斜などについて、1回の計測における計測値の最大値のみをまとめたものである。

衝突加速度は氷海航行中に氷盤に船首が衝突した時に生じた負の加速度であり、計測値の最大値はいずれ

の場合も $0.1g$ に達していない。

衝突力は、付加質量を無視し、衝突加速度と排水量から計算している。チャージングの場合の最大衝突力は、 $98\sim 277$ トンが計測され、積雪量が多いと小さくなっており、これは氷盤へ衝突する際、積雪がエネルギーを大きく吸収するためであると考えられる。連続砕氷における最大衝突力は、 $112\sim 400$ トン生じており、氷厚、水量などの氷状の影響により異なっている。ここでの連続砕氷とは、一様に張り詰めた氷海中を一定の船速で連続して砕氷している状態ではなく、流氷海域内を氷盤に突当たりながら断続的に砕氷して航行している状態をさしている。

衝突力そのものをチャージング時と連続砕氷時と比べた場合、概略的にはチャージング時より連続砕氷時の方が衝突力は大きい傾向がある。このことは、あらかじめ定められた砕氷 (brash ice) の多い助走距離を前進して氷盤に突当たるチャージング砕氷より、断続的に氷盤に突当たりながら航行している連続砕氷時の方が船速が大きいため、氷盤への衝突力が大きく計測されたものと考えられる。さらに、砕氷には船首を

表-9 砕氷時の加速度測定結果

月/日	計測番号	砕氷モード	最大衝突加速度 \ddot{x} g	上下加速度 (最大両振幅) \ddot{z} g	船首傾斜度	最大衝突力 ton	気温 $^\circ\text{C}$	氷 状 等				
								種類	氷 量	氷 厚 m	積雪量 m	そ の 他
12/29	19	連続	—	—	+0.43 -0.43	—	-1.0	流水	1/10~3/10	0.6 以下	—	径 10m 以下の板氷
12/29	20	"	0.042	0.069	+0.29 -0.29	376	-0.0	"	10/10	1.0	0.1	同上、氷盤の輪郭起伏
12/29	21	"	0.036	0.058	+0.29 -1.14	322	-1.2	"	10/10	1.2	—	径 10~20m の平坦氷
12/30	22	チャージング	0.011	—	+0.14 -0.57	98	0.1	"	10/10	1 ~1.5	0.5~0.8	径 10~200m の平坦氷
12/31	23	"	0.031	0.046	+0 -0.86	277	2.4	"	10/10	1 ~1.5	0.2~0.4	径 50~80m の平坦氷
1/ 2	24	連続	0.019	0.058	+0.29 -0.86	170	2.1	"	7/10~8/10	0.8~1	0.1~0.2	径 10~200m の平坦氷、パドルあり
1/ 4	25	"	0.039	0.104	+0.29 -1.14	349	-3.0	"	7/10	0.8~1	0.3~0.8	径 10~200m の平坦氷
1/ 4	26	"	0.033	0.092	+0.29 -1.0	295	1.2	"	7/10~8/10	1.2~1.8	0.6~0.8	同上、パドルあり
1/ 4	27	チャージング	0.022	0.058	+0.57 -0.29	197	-1.3	定着氷	10/10	1.5	0.1 ~0.15	1 冬氷
2/12	28-2	連続	0.014	0.046	—	112	-3.0	"	10/10	0.6~0.8	0	1 冬氷
2/20	29	"	0.028	0.08	+0.29 -0.63	224	-5.2	流水	4/10~6/10	1 ~1.5	0.5	径 10~200m の平坦氷
2/20	30-2	"	0.028	0.058	+0.29 -0.86	224	-4.3	"	7/10~8/10	1 ~1.5	0.2	径 10~200m の平坦氷
2/21	31	"	0.05	0.092	+0.29 -1.57	400	-7.0	"	7/10~8/10	0.8~1.0	0.2	径 10~20m の平坦氷

(注) 船首傾斜において、+ は船首を氷盤にのり上げた状態であり、- は船首を海水中に突込んだ状態である。

氷盤に突当てたり、乗り上げたりして氷盤を破壊するが、その際、チャージング砕氷の場合は、水量が多いときであり、船体のもつ慣性力は氷盤へ前後方向に衝突する力の他、船首を氷盤に乗り上げつつすべる即ち上下方向への力も相当配分される。一方、連続砕氷での状態では、船首が氷盤に衝突したとき、氷厚が薄い場合は船首の自重のみで氷盤を破壊して前進するが、氷厚が多少厚くなると船首の自重では氷盤を破壊できず、船首を氷盤に乗り上げるか、附近の海面に氷盤を追しのけるかして航行する。結局、連続砕氷において船首が氷盤に衝突して氷盤が破壊しない時は、海面に浮遊した氷盤の逃げが遅いため衝突力は時々大きな値（衝撃力）となって生じたものと推定される。いずれにしても氷盤への衝突力は、氷厚、積雪量、水量などの氷状や、船体の操縦により相当異なるであろう。

一般に砕氷は前述のように推進力で船首を氷盤に乗り上げ、船首の自重で氷盤を破壊しつつ前進するが、この時の船首の上下傾斜をジャイロ式傾斜計から計測値の最大値を表-9に示した。船首の上下の傾斜は、氷盤に乗り上げたとき及び氷盤を破壊して船首が水面に入ったときそれぞれ最大で $+0.57^\circ$ 、 -1.57° が計測された。この傾斜における船首の喫水線に対する変動量は、氷盤への乗り上げ時で 0.5m、氷盤破壊時で水面下に 1.37m 程度である。船首の上下は、定着氷や最密群氷（水量 10/10）における砕氷時より、水量

7/10~8/10 程度の連続砕氷時に大きいようである。ちなみに本船は、トリミングタンクを備えているが、作動に所要時間を多く要するためほとんど使用されなかった。ヒーリングは、船体が氷盤に挟まれた時使用され、チャージングの前進時に作動させながら氷盤に突当たると砕氷効率は向上するといわれている。しかし常時作動させることはほとんどなかった。

4-3-4 チャージングによる砕氷

表-10は、第16次南極観測で実施されたチャージングの1日ごとの進出距離についてまとめたもので、氷状は1日の平均的状态を示している。チャージングは、1,116回繰返えされ、約98kmの航程に対し147時間を要した。従ってチャージング1回当たりの平均進出距離は87m、1時間当たりの砕氷進出距離は663mで、1回の所要時間は約8分であった。

チャージングによる進出距離は、定着氷より流氷海域の方が水量が少ないため大きい。しかし2.5m以上の多年氷やハンモック氷になると流氷海域でも進出距離は著して低下し、2月13日には1回当たり2m、1時間当たり18mの進出距離となっている。

図-29は、チャージング砕氷による1日平均の海水の氷厚と1日ごと、1回当たりの平均進出距離の関係をプロットしたもので、第16次（表-10）で実施されたチャージング及び第13次（チャージング回数7,623回）でのそれを合わせてプロットした。ここで氷厚が1.5mを越える海水は、ハンモック氷も含めて2年氷

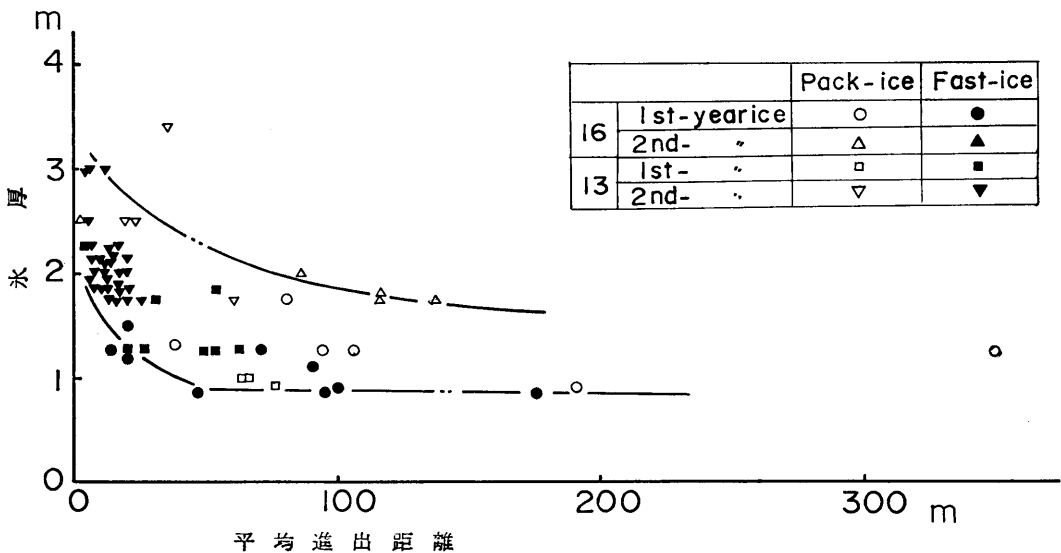


図-29 氷厚と平均進出距離の関係（1日平均）

表-10 チャージングにおける進出距離と氷状

月/日	チャージング		航程 km	進出距離		平均 気温 °C	氷 状 等						
	時間 h:m	回数		各回平均 m	1時間 当平均 m		氷の 種類	氷量	氷厚 m	積雪量 m	氷形	氷盤直径 m	そ の 他
12/29	3:33	4	1.3	325	366	-1.3	流水	8/10~10/10	1 ~1.5	—	平坦氷	10~50	
12/30	20:40	155	16.3	105	789	-1.0	"	8/10~10/10	1 ~1.5	0.5~0.8	"	10~200	氷盤の輪郭部ハンモック状、砕氷浮遊
12/31	19:04	126	12.1	96	635	1.3	"	9/10~10/10	1 ~1.5	0.2~0.4	"	50~80	"
1/ 1	11:32	95	7.6	80	659	1.0	"	9/10~10/10	1.5~2	0.5	"	10~200 (200以上)	多少ハンモック氷あり、パドル少しあり
1/ 2	13:53	69	13.1	190	944	0.1	"	4/10~ 8/10	0.8~1	0.1~0.2	"	50~200	砕氷、パドルあり
1/ 3	11:51	112	9.6	86	810	-0.5	"	10/10	1.5~2.5	0.7	"		2年氷少しあり
1/ 4	3:02	26	1.0	38	330	-1.8	"	7/10~ 8/10	0.8~1.8	0.3~0.8	"	10~200	
1/ 4	4:36	46	4.1	89	891	-1.8	定着氷	10/10	0.7~1.5	0.1~0.5			1年氷
1/ 5	15:49	121	8.6	71	544	-1.3	"	"	1 ~1.5	0.1~0.3			"
1/ 6	2:10	19	0.9	47	416	-0.0	"	"	0.7~1.0	0.2~0.4			"
1/ 7	3:55	35	0.5	14	128	-1.9	"	"	1 ~1.5	0.2~0.7			"
1/ 8	5:43	50	1.0	20	175	-3.2	"	"	0.8~1.5	0.5~0.7			"
1/20	3:17	27	0.5	19	152	2.3	"	"	1.4~1.6	0.4~0.6			"
2/ 4	2:53	22	2.2	100	763	1.2	"	"	0.88	0.12			"
2/11	2:02	19	1.8	95	885	-3.9	"	"	0.7~1.0	0.1~0.15			"
2/12	4:19	23	4.0	174	927	-4.2	"	"	0.6~1.0	0.1~0.3			" パドルあり、 進入路に沿って砕氷
2/12	6:09	57	6.6	116	1,073	-4.2	流水	9/10~10/10	1.5~2	0.3~0.7	ハンモック氷	10~200	
2/13	5:33	61	0.1	2	18	-3.4	"	10/10	2.5以上	0.6	ハンモック氷 平坦氷	10~200	
2/19	2:37	19	2.2	116	840	-4.5	"	8/10~10/10	1.5~2	0.5	同上		
2/20	4:30	30	4.1	137	911	-5.2	"	7/10~ 8/10	1.5~2	0.5	同上	10以下 (10~200)	
合 計	147:08	1,116	97.6	87	663								

として分類した。氷厚が 2~3m の 2 年氷の定着氷では 1 回当たりの平均進出距離は、20m 以下と極端に小さい。流氷海域での進出距離は、氷量との関係で氷厚 2m でも 100m 進出し、1 年氷と 2 年氷の差はあまり大きくない。

図-30 は、積雪量と、1 日ごとのチャージングにお

ける 1 回当たりの平均進出距離との関係を 図-29 と同様を示したものである。積雪量に対する進出距離は、氷厚の相違による影響が著しいため、特に目立った相関がない。

図-31 は、定着氷におけるチャージングについて計測した前後加速度、プロペラ軸トルクの記録の一例を

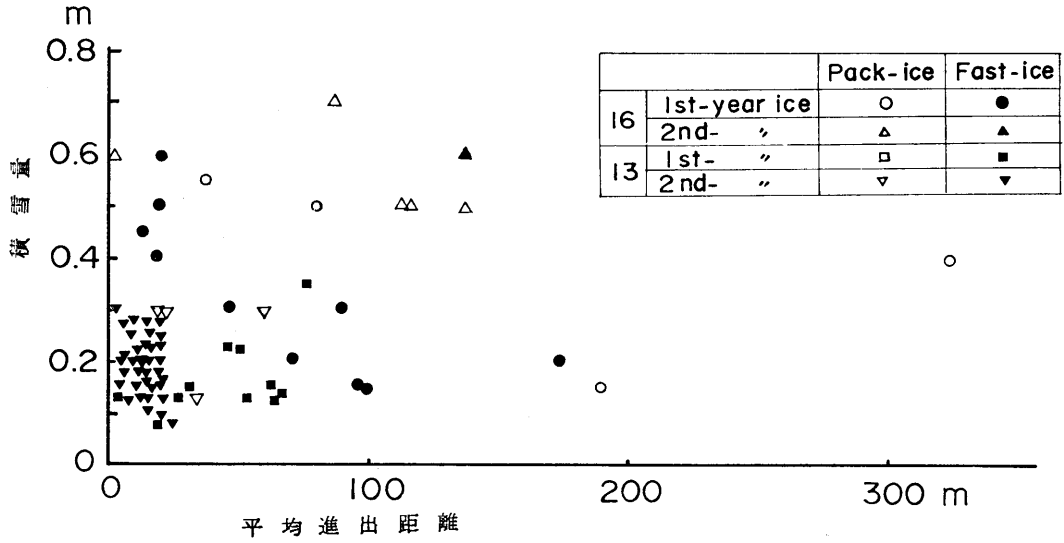


図-30 積雪量と平均進出距離の関係 (1 日平均)

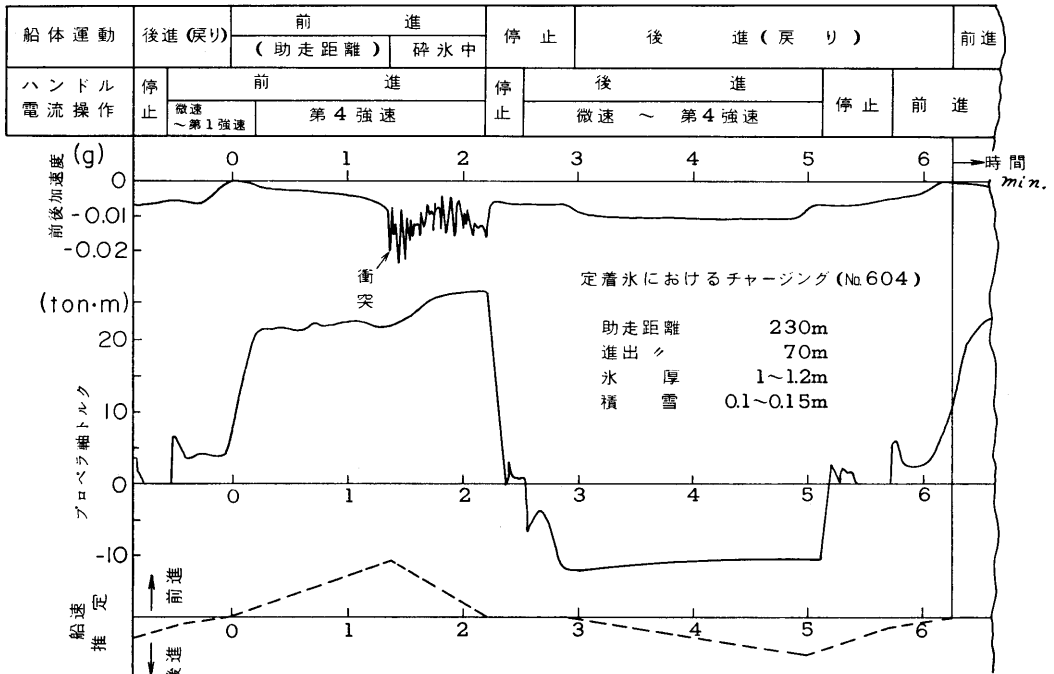


図-31 定着氷のチャージングにおける船体運動の一例

示したものであり、電動機のハンドル電流操作と船体運動を合わせて示した。この例は、助走距離を 230m とした時で、チャージング1回の所要時間6分に対し、砕氷している時間は1分、助走前進時間1.5分、後進が4分である。船速は氷海航行中は不明なので船体運動と電流操作から推定した。

定着氷におけるチャージングは、氷状も連続して一様なため、加速度や後に述べるプロペラ軸トルクは一定の周期で繰返えされている。これはまた、助走距離として船体の長さの2~3倍即ち200~300m戻り、5~7ktの船速で船首を氷盤に突当てることを目安にして操船しているところからくるものでもある。表-11は、表-10のチャージング記録のうち定着氷におけるチャージングについてのみ、氷厚及び積雪量の相違に対して分類し、それぞれの平均進出距離、平均助走距離をまとめたものである。定着氷での全平均1回当たり助走距離260mに対し、平均進出距離は71mであり、進出距離は助走距離の27%にあたる。表-11から、氷厚及び積雪量に対する1回当たりの平均進出距離をプロットするとそれぞれ図-32及び図-33となる。これらの図において積雪量 H_s については0.5mを、氷厚 H_i については1.5mを基準に記号を変えて示した。図-32で氷厚1.5mにおけるチャージングでの進出距離は、氷厚の相違に対して一概に定め難いが、氷厚が薄くなるにつれて多少伸びている。しかし、この程度の氷厚に積雪がある場合には、図-33にみられるように積雪量によって進出距離にかなりの相違がみられる。積雪量0.2m以下では進出距離にあまり影響なく、0.2mを越えると進出距離は著しく低下

表-11 定着氷におけるチャージング

分類	チャージング回数	氷厚 H_i (m)	積雪量 H_s (m)	平均助走距離 L_2 (m)	平均進出距離 L_1 (m)	進出度 $R=L_1/L_2$	全厚さ H_i+H_s (m)
1		50.85	0.4	233	103	0.442	1.25
2		31.0	0.15	241	110	0.456	1.15
3		261.2	0.15	241	84	0.349	1.35
4		111.5	0.2	219	92	0.420	1.7
5		151.5	0.2	234	88	0.376	1.7
6		341.0	0.15	270	79	0.293	1.15
7		181.0	0.5	307	39	0.127	1.5
8		51.0	0.2	344	53	0.154	1.2
9		491.0	0.3	283	77	0.272	1.3
10		191.0	0.4	268	49	0.183	1.4
11		51.3	0.4	362	18	0.050	1.7
12		51.2	0.6	360	9	0.025	1.8
13		201.5	0.7	323	13	0.040	2.2
14		81.0	0.5	310	21	0.068	1.5
15		341.2	0.7	293	19	0.065	1.9
16		101.5	0.5	319	17	0.053	2.0
17		31.5	0.3	320	14	0.044	1.8
18		271.4	0.4	232	19	0.082	1.8
19		170.9	0.1	147	76	0.517	1.0
20		50.6	0.1	158	616	3.898	0.7
21		60.9	0.15	168	113	0.673	1.05
22		130.45	0.05	126	88	0.698	0.5
23		71.0	—	231	20	0.087	1.0
24		71.2	0.2	224	165	0.737	1.4
25		81.0	0.2	256	304	1.188	1.2
	360			*260	*71	*0.273	

* は加重平均

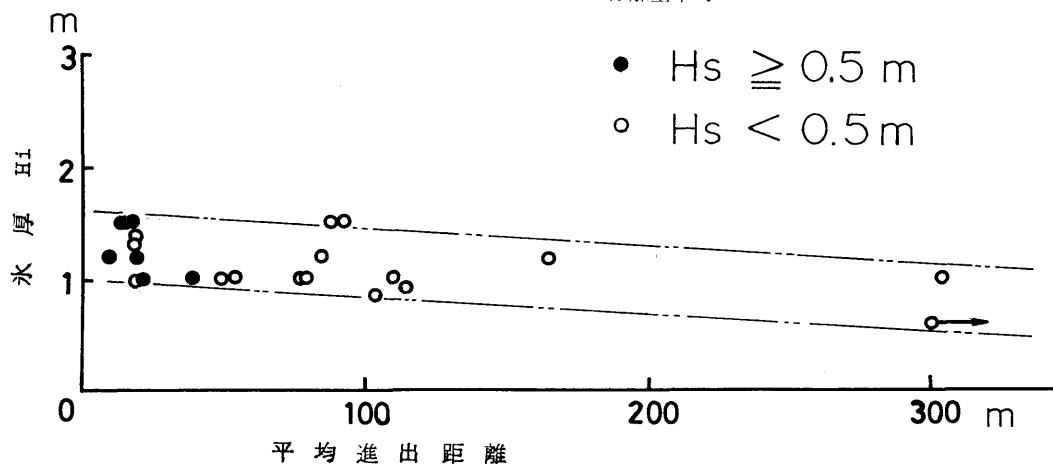


図-32 定着氷のチャージングにおける氷厚と平均進出距離の関係

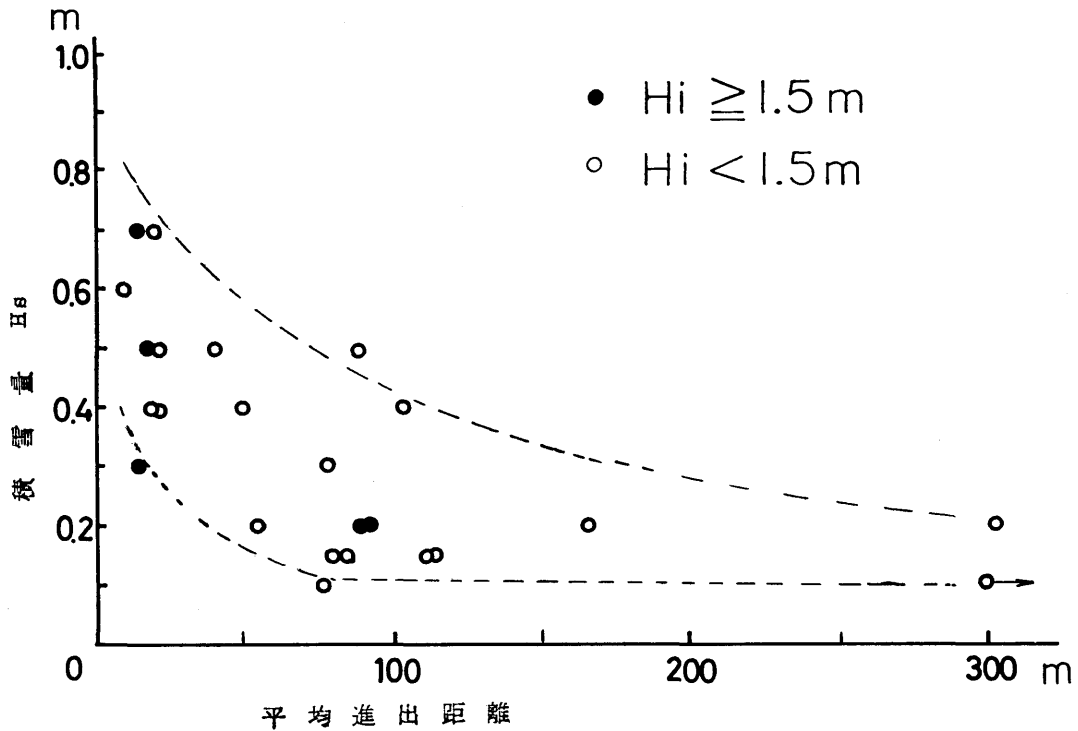


図-33 定着氷のチャージングにおける積雪量と平均進出距離の関係

し、ひいては積雪による運動エネルギーの吸収が大きいことを示している。

4-3-5 砕氷能力

今回の体験によると、砕氷能力は概ね海水が一樣に張りつめた氷海では、氷厚 60~80 cm 位まではプロペラ推力のみで連続して砕氷できるが、それ以上の氷厚ではチャージングにたよらざるを得ない。しかし、水量の少ない流水海域や、バドルの発生した融解過程にある流水に対しては 1.5 m 程度の比較的厚い海水でも断続的に連続砕氷ができる。

砕氷 (brash ice) や積雪は砕氷能力を著しく低下させる。また夜間など気温とともに海水温度が低下しても海水の強度が上昇して砕氷能力は落ちる。

前述の定着氷におけるチャージング (表-11) について、進出距離 L_1 と助走距離 L_2 との比を進出度 $R = L_1/L_2$ と定義し、 R と L_2 についてプロットすると図-34 のようになる。両者の間にはほぼ直線関係が成立し、

$$R = C - 0.0033L_2$$

となる。助走距離 $100 \text{ m} < L_2 < 360 \text{ m}$ の範囲で定数 C は 1.06~1.25 である。この関係は、 L_2 に対する L_1

の割合が一定しておらず、 L_2 を大にしても R が小さくなっている即ち進出距離は小さい。これは図-35 に見られるように、 R が小さい時は氷厚と積雪量の和が大きい時で、砕氷の限界を示していると考えられる。従って定着氷では図-34 から L_2 が 300~360 m で R を 0.04 とすると、図-35 の氷厚と積雪量の和が 1.6~1.7 となり、これ以上の厚い氷盤に対しては砕氷能力はほとんどないことになる。

砕氷船の氷に対する抵抗は、1) 砕氷そのものの抵抗、2) 破壊した氷塊を動かしたり水中に沈めたりする抵抗、3) 砕氷した氷の中を航行するための抵抗、4) 水の摩擦や造波抵抗などの和として推論している文献⁹⁾ もみられる。南極海における「ふじ」の砕氷航行では、氷を破壊するエネルギーと、砕氷した小さな氷塊や砕氷 (brash ice) を排除するに要するエネルギーが大きく、これらをプロペラ推力と船体の慣性力で補っていると考えられる。厚い氷盤を砕くためには、爆破も有力な手段であるが、作業に相当な時間を要するので、船首や船側附近の氷盤を短時間に砕く補助的砕氷手段を開発し、プロペラ推力や慣性力と併用すれば、軸馬力を増大しなくてもさらに砕氷能力や砕氷効

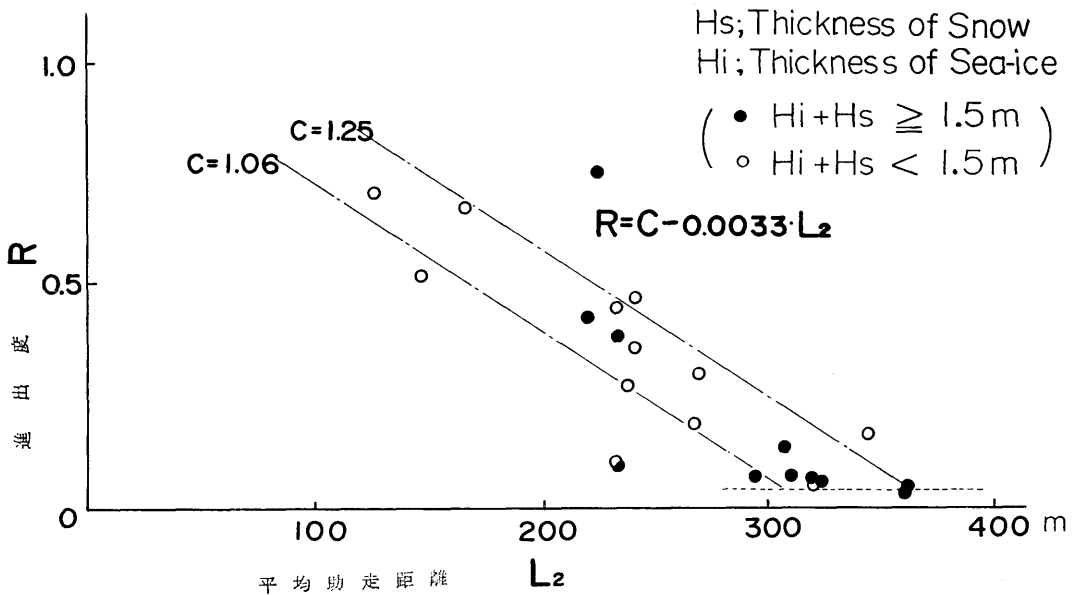


図-34 定着氷における進出度と平均助走距離の関係

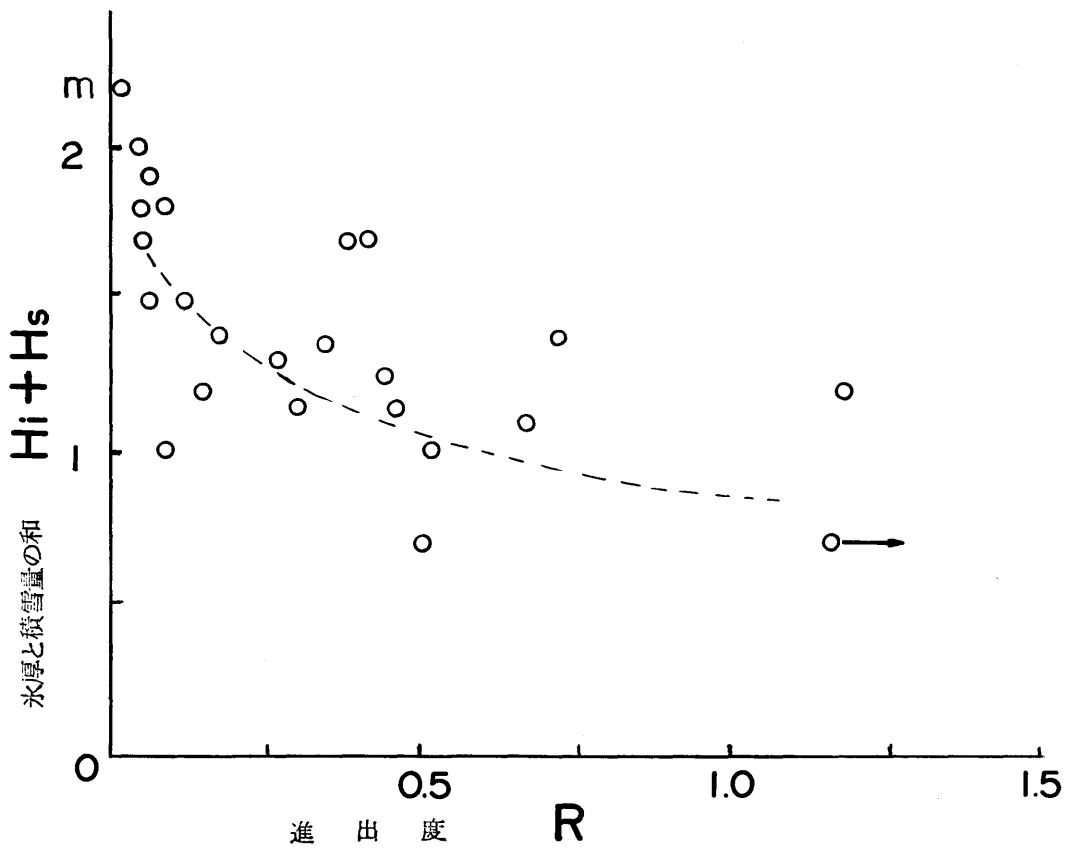


図-35 定着氷における氷厚と積雪量の和が進出度に及ぼす影響

率を向上することができるであろう。

4-4 プロペラ軸トルクの計測

4-4-1 推進機関

大洋航行中は4機の原動機のうち、2,3号機を主体に運転し、原速ないしは第1強速、速力12~13 ktで航行した。軸の平均回転数は110~115 rpm, 2機2軸運転で、電圧650~700V, 電流は1軸あたり2,000~2,400Aであった。

氷海航行では、4機2軸運転で電流制御により第1強速ないし第4強速で、電流値2,200A, 電圧580~650Vで航行した。チャージング時は、前進、後進が繰返えされそれぞれ微速、原速、第1, 第2, 第4強速の電流値の設定を確認しつつ運航された。

機関のコントロールは、大洋航行では機関室で、回転数を設定し、氷海航行では艦橋の操縦卓で電流設定がなされた。

4-4-2 プロペラ氷塊接触回数

氷海では特にチャージング時に砕氷した氷塊が船底に潜ったり、水あきが少なく氷塊の逃げ場がないと、氷塊がプロペラ翼に接触する。この時はプロペラの翼や軸に過大の負荷を生じ、しばしば推進機器の損傷原因の一つとなっている。氷塊がプロペラに巻き込んだ時は電動機の電流値が規定電流値より1,000A以上も増加する。今回右翼への接触回数は220回(最大電流値4,000A), 左翼へ236回(最大電流値4,500A)あり、合計456回の接触があった。過去における氷塊の

翼への接触回数(15次が19回, 14次が2,501回, 13次が4,244回)と比較するとそれほど多くなく、13次での最大電流値は右軸で5,200A, 左軸で4,600Aに達している。

4-4-3 プロペラ軸トルクの計測

右軸の平行部(直径575mm)にストレインゲージを貼付し軸のねじり変動及び回転数を検出し計測した(図-36)。同時に船尾加速度計を冷房機室に設置し、

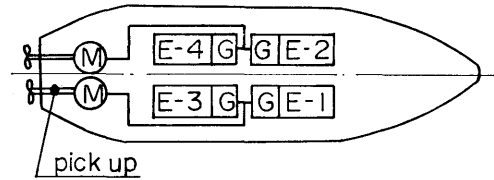


図-36 推進機関の配置と軸歪検出位置

大洋航行及び氷海航行時に随時20~30分間計測し4チャンネルのデータレコーダに記録した。機器の構成及び結線は図-26とほぼ同様である。大洋航行時のトルクは計測場所の環境も悪く満足できる計測ではなかった。また回転及び船尾加速度は全計測ともよく計測できなかった。表-12に計測したトルク値を砕氷モードに分類してまとめた。

暴風圏におけるトルク値は、ほぼ一定して記録されており、10.6 ton-mであった。

連続砕氷の場合、流水海域及び定着氷ともほぼ一定

表-12 氷海における推進軸トルクの計測結果

砕氷モード	トルク T ton-m	ねじり 応力 τ kg/mm ²	機 関					氷 状, 海 象 等			
			船速 kt	回転数 rpm	電 圧 V	電 流 A	その他	水量	氷厚 m	積雪 m	その他
暴 風 圏	10.6	0.28	13.2	原速 110	660	2,050	2機運転 3号機	波浪階級4, うねり階級6			
流 氷 連 続 砕 氷	13.0	0.35	(5)	第4 強速 115	700/680	2,000/2,100	4機運転 1号/3号 機	7/10 ~8/10	0.8~1	0.2	10m以下 の水盤
流 氷 チャ ージ ング	前進 25.2~27.4 後進 11~19.2 (32.9)	0.68~0.73 0.29~0.51 (0.88)	—	第4 強速 —	—	—	同 上	7/10 ~8/10	1~1.5	0.2	氷盤径 10~200m
定 着 氷 連 続 砕 氷	24.4	0.65	(5)	第4 強速 108	650/620	2,150/1,950	4機運転 1号/3号 機	10/10	0.6 ~0.8	薄	表面より 15cm下 にパドル あり
定着氷 チャ ージ ング	前進 23~26.7 後進 10.5~19.4	0.62~0.72 0.28~0.52	—	第4 強速 —	—	—	同 上	10/10	1~1.5	0.1 ~0.15	1 冬氷

のトルクで、氷厚 0.8~1m、水量 7/10~8/10 の流水海域でのトルクは 13.0 ton-m で暴風圏の約 2 割増、氷厚 0.6~0.8 m の 1 年氷の定着氷では 24.4 ton-m であり、暴風圏の約 2.3 倍であった。

チャージング時のトルクは、図-31 にみられるように変動しており、前進、後進と繰返えされるパターンが明確に現われている。第 4 強速に電流が設定され船体が前進を開始する時点では、プロペラへの流入速度が小さいので、回転数が比較的小さく、トルク値は 23 ton-m と大きく、定着氷に衝突し、海氷に乗り上げて砕氷中はさらに大きくなり、トルクは 26.7 ton-m に達している。後進では、第 4 強速でも 11~19 ton-m と前進と比較して小さいが氷盤から下りる時に大きなトルクを生じている。チャージングにおいては、前進後進ともそれらの最初と最後が高い値となっている特徴がある。さらに流水海域でのチャージングにおける後進では 32.9 ton-m と高いトルクが瞬時に生じている記録もあり、この時電流をすぐゼロに戻していることから、おそらく氷塊がプロペラ翼に巻き込んだ時であると推定される。

軸のねじり歪から、プロペラ軸に働くねじり応力を計算すると、いずれの場合も 1 kg/mm^2 以下であり、チャージング時では暴風圏の 2.6 倍程度である。

5. 結 言

第 16 次南極地域観測における砕氷艦「ふじ」の航海を体験し、二、三の計測を行なった結果、まとめとして次の諸点をあげる。

(1) 甲板温度は最高 55.5°C 、最低 -6.4°C が記録され、両温度ともそれぞれその時点の気温より高くあるいは低く計測されている。

(2) 甲板温度は、南極海の氷縁附近の海上において最も低く、気温とほぼ同じである。

(3) 甲板温度の気温に対する 1 日の変化は、日中に大きく生じ、夕方から朝方にかけては小さく気温とほぼ同温度になる。

(4) 氷海における甲板温度は、日射、風速、湿度等に著しく影響され、気温が -0.7°C において日向では 33.3°C が記録され、日向と日影では気温との温度差に約 5 倍の開きがある。さらに甲板温度の 1 日の変動は氷海で 37°C 、熱帯で 20°C 生じ、氷海の温度変動の方が熱帯のそれより大きい。

(5) 海水に接している鋼板温度は、気温に関係なく海水温度よりほぼ 1°C 以内温度が高い。

(6) リュッツホルム湾における風力係数は、0.049 である。

(7) 暴風圏における船体動揺は大きく、ローリング角度は両振幅で 30° を越え、特に船側ないし斜め後部よりうねりを受ける場合に大きいようである。

(8) 氷海における砕氷時の前後加速度は小さく、氷盤への衝突力は 400 トン以下であり、チャージング時よりむしろ流水海域を断続的に連続砕氷して航行している場合に大きく生じている。

(9) 連続砕氷における砕氷能力は、定着氷で 0.6~0.8 m 程度であるが、流水海域では水量、氷質によって相当異なるため連続砕氷の可能な氷厚は一概に決められない。

(10) 砕氷 (brash ice) や積雪は砕氷能力を著しく低下させる。

(11) 流水海域におけるチャージング砕氷の進出距離は、氷厚よりむしろ水量に相当影響するので、1 年氷と 2 年氷との差はそれほどない。

(12) 定着氷におけるチャージング砕氷の進出距離は、氷厚が 1.5 m を越えると著しく低下し、氷厚 1.5 m 以下では、積雪量の影響を著しく受ける。進出度と助走距離には $R=C-0.0033L_2$ の関係が成立し、助走距離を 300 m 以上とっても進出距離は小さく、海水の厚さと積雪量の和が 1.6~1.7 m を越える定着氷に対しては砕氷能力がほとんどない。

(13) プロペラ軸の負荷トルク計測の一例では暴風圏で 10.6 ton-m、流水海域及び定着氷の連続砕氷でそれぞれ 13.0、24.4 ton-m、チャージング時では前進、後進に対してそれぞれ 25~27、11~19 ton-m である。

(14) プロペラ軸のねじり応力は、 1 kg/mm^2 以下である。

(15) その他、氷海航行に関して次の点を付記する。

氷海では水量やその分布などについて艦橋ではほとんど判別できない。これについては「ふじ」が実施しているように、氷海の状態を把握するのに氷状偵察など上空より観察することが最適であり、ヘリコプターにより針路を誘導したり、snow mark を落下して目標地点を定めることも氷海航法において有力な手段である。

爆破の使用は、補助的砕氷手段として有力であるが、他の方法による氷盤の破壊方法を考案し、チャージングなどと併用できれば、一層砕氷能力は増加するであろう。

また、「ふじ」は氷海において位置決定は天測によっており、船速に至っては全く不明なので、この種の機器が必要と考えられる。

謝 辞

この実船試験は、当研究所の研究計画にもとづき行なわれたものであるが、体験航海及び計測にあたっては、南極観測を実施する文部省学術国際局ユネスコ国際部国際学術課、同省極地研究所、星合孝男第 16 次南極地域観測隊長、吉田栄夫同副隊長他観測隊員の皆さん、並びに防衛庁海上幕僚監部防衛部南極観測支援室、森田衛「ふじ」艦長他乗組員の多大の御協力を得た。ここに改めて厚く御礼申し上げる次第である。

また準備やとりまとめに際しては、当研究所運動性能部耐航性研究室、機関性能部動力伝達研究室、船体構造部などの当研究所実船試験関係各位の御協力を得たことを附記する。

参 考 文 献

- 1) 山川健郎; 南極観測船「ふじ」について, 造船協会誌, 第 438 号 (昭和 41 年 1 月)
- 2) 江守一郎, D. J. シューリング; 模型実験の理論と応用, 技報堂, p. 110
- 3) WMO; Sea-ice Nomenclature, (1970)
- 4) 村内必典, 吉田栄夫; 第 2 次南極観測に際して行った海水観測及び, それに関する 2, 3 の考察, 南極資料, No. 8, (1959)
- 5) 鳥居鉄也他編; 南極, 共立出版, (1973)
- 6) R. Naruse, Y. Endo, T. Ishida and Y. Ageta; Observations of Snow Accumulation and Sea Ice at Syowa Station, Antarctica, 南極資料, No. 40, (1971)
- 7) 小川陽弘 他; コンテナ船あめりか丸による北太平洋航海性能試験, 船舶技術研究所報告, 第 8 巻, 第 2 号 (1971)
- 8) J. W. Lewis and R. Y. Edwards; Methods for Predicting Icebreaking and Ice Resistance Characteristics of Icebreakers, SNAME, (1970)