

第4次南極地域観測海氷調査報告

鈴木 義 男*

REPORT ON SEA ICE OBSERVATIONS OF THE JAPANESE ANTARCTIC RESEARCH EXPEDITION IV, 1959-60 WITH THE "SOYA"

Yosio SUZUKI*

Abstract

Introduction Since m/s "SOYA" had reached the ice edge on Dec. 27, 1959 at 65°15'S, 48°35'E, the officers on watch carried out continuous visual ice observations, under the supervision of the navigating officer, until the ship left the ice off Riiser-Larsen Peninsula on Feb. 21, 1960. The items of observation were nearly identical with those of the previous three expeditions^{1,2,3)}.

As the ship was not bound with drift ice, several surveying cruises were performed between 33°E and 50°E and eleven oceanographic stations were set up in the region.

Miscellaneous observations other than general, for instance, observations on the drift of ice field and icebergs, were also made on occasion.

1. Some comments on ice terminology and recording form Several terms were supplemented to the WMO ice terminology⁴⁾ mainly from Russian source⁵⁾. Terms were rearranged and compiled in "A glossary of ice terminology to be used in JARE"⁶⁾. An example of supplemented terms is *secondary slush*, which is a combined conception of *melting sludge* in Baltic ice code and *ledyanaya podushka* in Russian terminology.

Observed items were nearly identical with those required by the U. S. Hydrographic Office's reporting form⁹⁾. Obtained results were compiled in ice charts. Notations used in charts

were also similar to those of the U. S. Hydrographic Office⁸⁾. However, the following changes were made both in observed items and in chart notations in order to describe encountered ice conditions more adequately:

a) *The size of predominant floes was recorded by nearest meters as the index of mechanical decaying.* The item "puddling" seems to be insufficient to describe the decaying state of Antarctic drift ice which decays mechanically before puddles have developed on it. Another index of mechanical decaying such as whether floes have angular or smooth outlines should have been recorded.

b) *Inter-ice melting sludge was excluded from the first group in the item "concentration by size" and its existence was indicated by a prefix Sl.* Though it is difficult to distinguish between ice cakes and melting sludge from the air, the ship observer must distinguish them because the latter behaves quite differently from the former during the compression or the dispersion of an ice field. Melting sludge, if exists, usually covers inter-ice area completely. The compression (or dispersion) of the ice field, not causing hummocking (or formation of open water), only changes the thickness of sludge. The latter, which has important effects on the navigability, should have been recorded at least qualitatively.

2. General ice observations

* 北海道大学低温科学研究所, 第4次南極地域観測隊員. The Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University. Member of the Japanese Antarctic Research Expedition, 1959-60.

2a) *Note on observation practice.* Separate measurements of snowdepth and ice thickness were difficult because the boundary was not clear to identify whether it is porous ice or firnized snow. For convenience' sake, the upper layer easily separable by turning over floes was regarded as snow. In this sense, most floes were covered by snow 0.3-0.5 m thick.

Estimation of the age of floes was also difficult. The age of little hummocked floes was estimated by their thickness, as usually done. But, this method seemed inadequate for summer ice, for level ice less than 1 m thick often had two planktonrich brown thin layers.

2b) *Ice conditions along ice edges* and 2c) *Those in ice field.* Main results are shown in Figs. 1-10. Along edges, ice cakes were predominant and inter-ice area was usually covered by melting sludge. If the edge was under the dispersing effect of wind, there appeared along it a narrow region of a small ice concentration composed only of brashes (no melting sludge). Newly developed ice fields composed of small pancake ice were only seen after the middle of February. On Jan. 21 giant clusters of floebergs were seen at 45°30'E on the edge.

Vast and big floes encountered in the region south of 67°20'S during the first penetration of the ship into ice area were probably fragments of the shore ice. The heights of reliefs on them were more than 3 m, but the fraction of hummocked area was rather small (2/10-3/10).

2d) *The shore ice off the western part of the Prince Olav Coast and the lead off the edge of the shose ice.* Although the width of the lead on 40°E meridian had narrowed from several kilometers on Jan. 3 to several hundred meters on Jan. 15 and finally the lead disappeared on Feb. 4, the position of the edge did not change during the observation period (Jan. 3-Feb. 10). The constant position of the edge must have some relations with the bottom relief (the sea suddenly deepens northward from about 300 m to 1000 m at several kilometers north of the edge).

Along the edge there was a hummocked narrow zone (2-3 km wide). South of the zone there was another a little wider zone (less than 20 km wide) where sasturgi running NEN-WSW were developed. Farther south the surface was flat. Puddles were developed little even in the beginning of February.

3. Miscellaneous observations

3a) *Icebergs.* The first iceberg was seen at 53°09'S, 32°17'E on Dec. 23, 1959 and the last at 54°00'S, 25°10'E on Feb. 26, 1960.

The largest iceberg which was observed off Cape Ann was supposed to be identical with the vast iceberg observed by Russian ice breaker "LENA" at 65°40'S, 88°14'E on Feb.16, 1957¹⁰.

3b) *Drift of icebergs.* Only the drifts in the lead were analyzed showing the existence of a current of about 0.3 knot there (Table 1).

3c) *Drift of ice field.* From Jan. 22 to Jan. 27 the ship drifted in an ice field composed of 50% cakes and 50% melting brashes and sludge (Fig. 6). The relative speed of the ship to the cakes (and also to sludge) was surprisingly low (only several meters per hour). This shows that the resistance of the melting sludge against the movement of the ship was very strong. The drift of the ship was analyzed as the drift of the ice field (Table 2).

3d) *Dispersion of ice edge by the wind.* A return survey of the edge between 42°E and 33°E was made on Dec. 29 and 30. The edge was dispersing northward under the effect of W-SW wind. A rough analysis gave the wind coefficient of about 0.08 for the drift of scattered brashes.

4. **Summer ice diminution in observed area** On Dec. 7. Japanese whaling fleets observed ice edge at about 62°S. As it was at about 65°S -66°S on Dec. 27-29, the retiring speed along the meridian amounted to about 20km/day. This rapid retiring was undoubtedly due to the intense melting of the ice field dispersing under the effect of prevailing westerly there.

South of 66°S, the diminution process in the region A was considered to differ from that

in the region B (Fig. 11). Ice conditions in the region A indicated that the ice field there had not experienced any intense movement. There the ice field was probably under the dispersing effect of weak westerly and the diminution of ice was chiefly due to melting. In the region B, on the other hand, the ice field were continuously moving west-south-westward. There the diminution of ice was partly attributed to the decrease in the amount of ice supply from Enderby Land.

By the beginning of February, the ice field off the Prince Olav Coast had retired within 70 km from the coast. Off Cape Ann no drift ice existed in the middle of February.

5. The meaning of oceanographic observations to the analysis of the ice diminution process Summer ice diminution is determined by two factors: the melting of ice and the movement of ice. The latter is caused primarily by wind. Now, the most characteristic feature of wind regime in the Antarctic coastal region is the existence of easterly near coast and of westerly off the sea. The ice field is dispersed by westerly and then melts rapidly. Therefore, early in summer (at the end of December or at the beginning of January) the ice edge is probably at about the boundary between easterly and westerly. Wind regime reflects on sea regime and the said boundary appears in the sea as the so-called Antarctic Divergence. Thus, to know the position of the Antarctic Divergence becomes important for ice diminution considerations.

Our eleven stations were not adequately located for the determination of the position of the Antarctic Divergence. But, from the obtained temperature distribution, the concave of the Antarctic Divergence on 38°E meridian was

deduced (The author considers that the Divergence will be nearly parallel to 1°C isotherm in Fig. 14.).

Concerning the melting, it is difficult to estimate the amount of melted ice from heat balance considerations. But, assuming that no advection occurs in the sea, it may be estimated from considerations of the dilution of the surface water. The obtained oceanographic data were analyzed from this point of view (Table 3, where D , S_1 and S_2 mean the thickness of the surface water, the salinity in winter and the mean salinity in summer, respectively). Reasonable values were obtained for stations 1, 2, 3 and 4, showing that advection corrections for these stations were negligible. This again indicates that in the region A the ice field had not experienced intense moving.

Acknowledgements As mentioned in the introduction, the ice observations were carried out by the members of the Navigation Section of the "SOYA". The author expresses his sincere thanks to Mr. TETSUO SHIMOMATSU, the then navigating officer, and other members of the Navigation Section. Mr. KOSEI YOSHIDA, the then fourth officer, compiled the excellent ice charts, on which Figs. 1-10 of the text are based. The contents of §§ 2 and 3 are also mainly due to him. Oceanographic data used in § 5 were kindly offered before publication by Mr. SHIGERU FUKASE of the Nagasaki Marine Meteorological Observatory, chief oceanographer of the expedition. Asst. Prof. KOU KUSUNOKI and Mr. NOBUO ONO of the Institute, both the former members of JARE, gave many useful suggestions. The author expresses his hearty thanks to all of them.

宗谷は 1959 年 12 月 27 日, 65°15'S, 48°35'E で氷縁に達し, 1960 年 2 月 21 日 Riiser-Larsen 半島沖で氷海を離れた。この間, 航海科当直士官は船橋より連続して一般氷状観測を行なった。前 3 回^{1,2,3)}と異なり, 長期間氷塞されることがなかったので, 33°E より 50°E 間の氷状を数回調査し, 夏の氷の消衰過程を概観することができた。

一般氷状調査のほか、氷野や氷山の漂流などの観測も随時行なわれ、また上記海域で 11 点の海洋各層観測が行なわれた。

§ 1. 用語, 観測方式, 結果の整理について

一般氷状調査を行なうには、氷状を記述するに十分な数の用語を明確に定め、氷状と観測目的とに応じて適切な観測方式を選ばねばならない。

第 1, 2, 3 次観測を通じ、WMO 1956 年制定の用語集⁴⁾が用いられたが、その経験からこの用語集では不十分と考えられたので、おもにソビエト用語集⁵⁾からいくつかの語を補い*、また WMO 用語集の定義不明確な点の解釈を統一して、暫定的な用語集をあんだ⁶⁾。

観測項目は第 1, 2 次ではカナダ通報式⁷⁾、第 3 次では 1958 年 WMO 勧告船上通報式に従い、毎時ごとに船橋または羅針甲板上から観測を行ない各通報式のコードで記録する(氷厚、積雪深、密接度などは実数値も記入)とともに、氷縁位置、水路などについては見取図を作っている。観測結果はいずれも合衆国水路部形式⁸⁾の氷状図にまとめられた。今回もこの形式の氷状図を作ることにしたので、観測項目も合衆国通報式⁹⁾(カナダ通報式にほぼ同じ)によるとし、1958 年 WMO 勧告通報式もみちびけるよう、最多氷と次多氷の氷形、起伏面積 10 分比、など数項目を加えた。記録は 1 部コードによるとし、観測項目と必要コードを印刷した記録用紙を作った。なお前 3 回とも通報式の面にとらわれて、1 観測点各項目につき 1 情報に限ったようである(視程内平均状況、または船のごく近傍の状況のいずれかを用いる。例えば、船が最密群氷のまっすぐな氷縁付近で外洋にある場合、全密接度は 5 または 0 のいずれかで記録)。現在の南極観測の氷状調査では、詳細な通報の義務もまた実際上の必要もないから、1 観測点各項目 1 情報に限る必要はないので、今回は氷状見取図に示される異なる氷状域毎に氷状を記録することにした。

第 4 次観測での著者自身の経験では、用意した観測項目、氷状コードはあまりにも一般的すぎて、南極の氷状記述には適切とはいいい難かった。その詳細な議論は別の機会にゆずり、ここでは現地観測開始後暫定的に改めた 2 点をのべる。

a) 氷の機械的崩解の指標としての氷盤の大きさ

南極観測で対象となる海水氷は夏の崩解期の氷であるから、その氷状記録では氷がいかなる崩解状態にあるかの記録が重要である。

氷の崩解には熱的崩解(融解)と機械的崩解(破壊)とがある。厚い広大な氷盤または沿岸氷では、表面からの融解(パドル形成)が重要であり、パドルが充分発達した後に機械的に崩解し小氷盤や板氷となるが、このときには、氷は上下両面から激しい融解をうけて蜂の巣氷

* WMO 用語は国際間の気象情報交換上必要最少限の用語を与えたもので、これ以外の語の使用を望ましくないとするのではない。この点についての議論は文献 10) p. 8 以下をみよ。

(Rotten ice) となり、やがて砕氷や2次氷泥*となる。WMO 1958 年案および合衆国水路部方式（さらにソビエト方式も）とも崩解をこの図式でとらえ、融解状態または puddling の観測項目を設け、パドルの発達度によりコードを作っている。

薄い氷ではパドルの発達する前に氷は機械的に崩解して小さい小氷盤や板氷となり、融解はもっぱら下面で進み、やがて下面は蜂の巣状となってゆく。南極氷縁付近の夏の氷はこのようなもので、これを上記方式で分類すれば Rotten ice とする他はない**。この種の氷の崩解状態は機械的崩解の程度により分類してはじめて詳細となる。機械的崩解の指標としてもっとも簡単なものは氷の大きさである（夏に氷の大きさは増加することはないと考えられる）。氷の大きさは合衆国方式では大きさ別密接度の項で間接的に記録されるが、崩解度の指標として把握されてはいないようである。WMO 1958 年案には最多氷および次多氷の氷形の項があるが、コード記録なので、分類が多少大まかである。それで今次観測では、卓越した氷盤の最大の大きさを実数値で記録し、氷状図にも記号 D/n で記入した。機械的崩解状態については、氷盤の外形が角ばっているか丸味をおびているか、2次氷泥が氷間に存在するかどうか、などの情報も望ましい。前者は今回は記録されなかった。後者については次項を見られたい。

b) 密接度における氷間の氷泥（2次氷泥）の取り扱い

合衆国通報式には氷の大きさ別密接度の項があり、氷は大きさにより3群にわけられ、各群の密接度が記録される。第1群は板氷、小板氷、砕氷、氷泥である。南極の夏には氷泥（2次氷泥）は単独では存在せず、必ず板氷や氷盤と共存し、ふつう氷間をほぼおおい尽している。氷泥は氷野の圧縮に際しては層の厚さをますだけでももちろん氷丘化はおこらない、また氷野の疎化の時は層の厚味が薄くなるだけですぐに開水面のできることはなく、ある程度以上薄くなり開水面ができはじめると急速に融解消滅するのである。氷泥のこのような性質から、これは板氷、小板氷とは区別するのがよいと思う（砕氷をどちらにに入れるかは問題であるが、今回は砕氷は小板氷、板氷と同じ群にいった）。そこで今回は氷泥を第1群から除きその存在のみを記号 S1 で表わした。

氷泥層の厚さは船の航行性に大きな関係を持つから、定性的にでも記録した方がよかった（厚くなると白っぽくなる）。

以上のべた用語、記録方式の変更、補充はいずれも全く暫定的なものであり、今後の南極地域観測の継続に際しては観測手段と南極氷状とを充分考慮した用語集および観測方式を確立することが望まれる。

* 第4次採用語。崩解のできる雪泥状氷。ソビエト用語“ledyanaya podushka”とBaltic ice codeの“melting sludge”とを併せた概念。

** 両方式の Rotten ice はパドルが充分発達した後に崩解した氷を指すのが本義のように思われる。下面が蜂の巣状になりはじめたことはむしろ別項目で示すべきであろう。

§ 2. 観測された氷状

2a) 観測上の問題点

観測は船橋上より行なった。船橋よりの視程は約6浬である。氷縁の形の決定にはレーダーがしばしば用いられた。密接度は船上よりの測定はヘリコプター上よりのものより大きな値を与える傾向があった。

氷厚は船首で破碎され横倒しになったもので測定した。氷上にはふつう積雪があり、この積雪の下部はフィルン化し一方氷の上部は観測時期には多孔質となっているので、積雪深と氷厚とを厳密に分離することは原理的にも難しいのではないと思われる。便宜的に氷が転覆するときに容易に分離する上層を積雪とみなすことにした。1月17日第2次輸送拠点で測定した氷は120cmの氷層の上に30cmの氷化雪または多孔質氷があり、さらに5cmの氷層が介在しその上に30cmの固い積雪層があった。この氷は積雪30cm、氷厚155cmと記録される。氷が厚くて破碎できない時はボーリングによる直接測定も行なわれた。

氷の年令の推定はきわめて困難であった。融解期前の平坦氷の年令はふつう氷厚から判断されるのであるが*、融解期の氷についてはこの方法は適当でない。厚さ1m程度の平坦な氷でもプランクトンの薄層がいくつも入っている氷もしばしば見られた(ただしこのことや上述の積雪層の2層構造が直ちに氷の多年生を意味するか否かは疑問である)。観測海域およびその東部海域で流水縁が夏の終りにほぼ海岸線まで後退することを考えると、夏のはじめに氷縁付近にみられる氷は大半一冬氷と考えてよからう。極氷と考えられる氷を記録する際は、極氷とみなした理由(氷厚、プランクトン層の存在、積雪の構造、氷丘の外形など)を詳細に付記することが望ましい。

調査航海では、船は氷縁からやや離れて外洋を航海することが多かった。氷縁位置の決定には充分であるが、詳細な氷状観測のため30~60浬ごとに氷域内に入ることが望ましい。今回はしばしば氷域内に仮泊したのでこの点はある程度みたされた。

2b) 氷縁付近の氷状

氷海到着時に調査した氷縁(第2回)は押し出しの風(27日21時までESE 9m/sec, 28日0時以後S~SW 6m/sec, (時間は41°E標準時))の影響下にあり、とくに41°E以西は無数の小氷舌をもつ典型的な緩氷縁になっていた。48°Eと42°Eとで氷域内に進入したが、厚さ0.5~0.8m、積雪0.3~0.5mの板氷が卓越しその密接度は5以上で、氷間は2次氷泥で埋まっていた。板氷は下面で激しく融解されており、船の進行に際しては抵抗なく破壊された。

1月31日から2月1日に調査した氷縁(第7回)はENE~Eの強風の影響下にあった。

* 文献10) p. 80でGORDIENKOは「氷の年令とは氷厚のことだ」と言っている。

風は 31 日 12 時には 19.5 m/sec に達し、2 月 1 日中も平均 7 m/sec で吹き続いたが、この時の風向は流氷野を Prince Olav 海岸線にそって移動させるだけで氷縁の拡散も氷縁付近の氷の圧縮をも伴わず、氷縁内の氷状は氷縁の所から一様で密接度 4 の板氷間を氷泥、砕氷が埋めていた。板氷の下面は蜂の巣状ではなく、この氷は下面からの激しい融解はうけなかったと思われる。

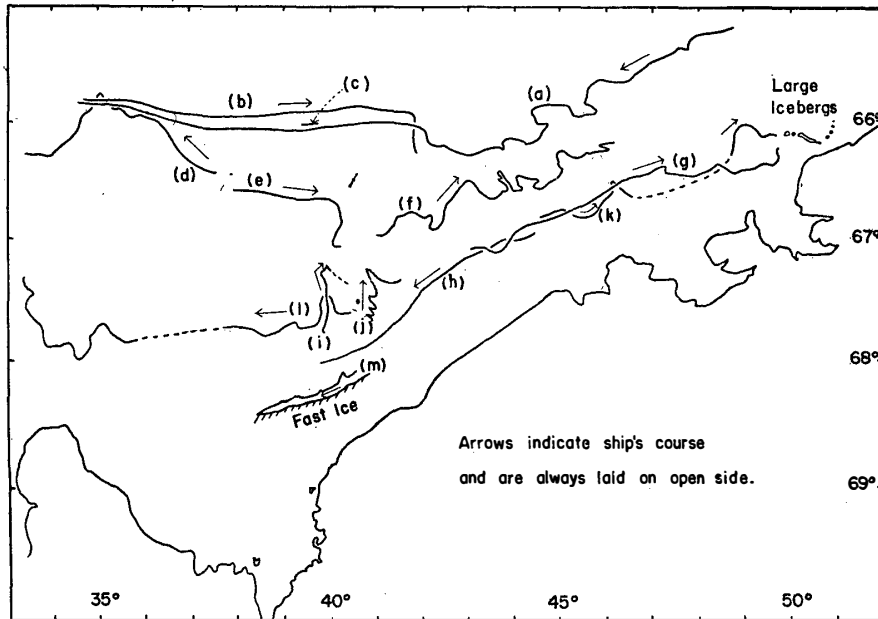


Fig. 1. Locations of ice edges on various dates.

Observed dates: (b) Dec. 29 and 30. (g) Jan. 27 and 28.

(i) Feb. 11, 12 and 13. (h) Feb. 15. For others see figs. 2-9.

2 月 20 日から 21 日の氷縁では、広い面積にわたり径 30 cm 以下の初期はすは氷の生成がみられた。

なお 1 月 21 日には 45°30'E の氷縁で多年生と思われる大氷岩を認めた。

2c) 氷域内の氷状

40°E 付近で輸送のため氷野内に 3 回侵入した (第 3, 5, 8 図)。氷の大きさも密接度も内部に進むに従い増大した。第 1 回侵入時に 67°20'S より突然巨、大氷盤があらわれ 68°S までの海域はこれらが卓越した。これらは沿岸氷の破片と思われる。そのあるものは径 10 km 以上に達した。氷盤はすべて高さ 3 m 程度の氷丘をもっていたが氷丘度はあまり大きくなかった。また小氷盤が再凍着したことが明らかなものもあった。これは各小氷盤のまわりが氷丘脈で囲まれているのでヘリコプターからみると容易に他と区別された。これら氷盤間はプールおよび水路が連っていたが、氷盤間の接触部 (たかだか 10 m 程度の) を宗谷は自力では突破するのが困難で、67°30'S 以南ソビエト砕氷船オビ号に先導された。1 月 6 日の脱出時にこの巨、大氷盤群はやや北上し、また各氷盤の大きさは小さくなっていたが、侵入時にみたものが破碎したのか別のものであるかは不明である。第 2 回侵入時 (第 5 図) にはこの付近には小氷盤しか

存在しなかった。第3回侵入時には 40°E 付近で氷縁は沿岸氷から 15 哩まで後退し、氷盤の大きさも沿岸氷縁で数 10 m の程度であった。

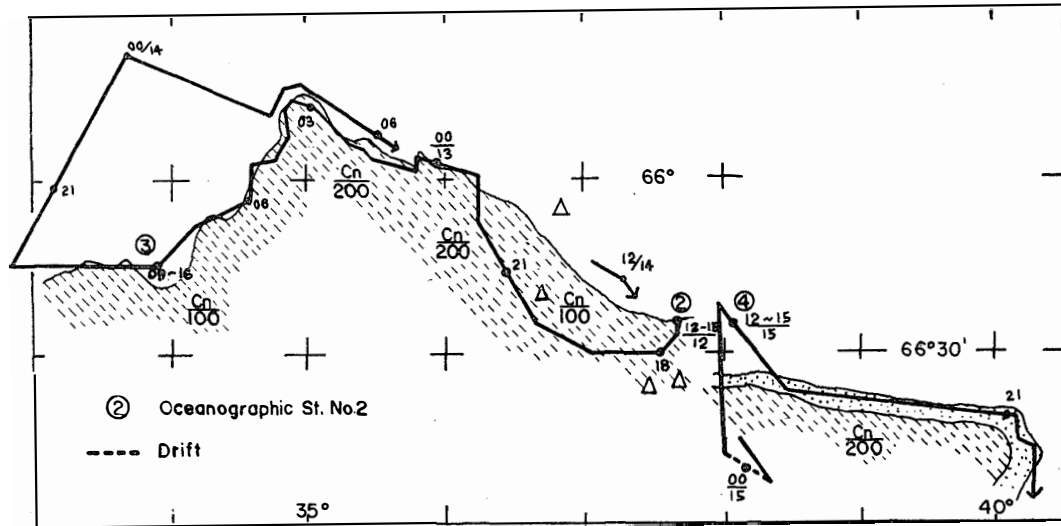


Fig. 4. 1200 Jan. 12 to 1800 Jan. 13 and 0900 to 2100 Jan. 15.

2d) Prince Olav 海岸西端沖の沿岸氷と沿岸氷縁の開水面

第1次観測の時、Lützow-Holm 湾口には 40°E , $68^{\circ}20'\text{S}$ 付近から WSW にのびる水路が存在し、大根水道と名付けられた。第2, 3次観測でもこの付近の開水面の存在が空から推定²⁾されあるいは空中より認められた³⁾。今回も1月2日第1回侵入時に第1次観測時よりやや北偏した所に、同じく WSW にのびる水路が存在した。この幅は 40°E で約 7 km で、水路は西は $38^{\circ}20'\text{E}$ で終わっていた。第1次観測の時水路はこの付近で南の広い開水面につながっていたが、今回はこの開水面は認められなかった。

水路の南測は第1次観測では大氷盤の密接域と観測されているが¹⁾、今回は沿岸氷であった。この沿岸氷縁は氷縁にそって幅 2~3 km の氷丘域があり、その南は WSW にのびるサスツルギ列が発達し ENE の卓越風の存在を示していた。しかし、このサスツルギ域も氷縁から 12, 3 km にとどまり、その先は昭和基地まで平坦であった。

1月16日のヘリコプター偵察では沿岸氷縁は $40^{\circ}30'\text{E}$ 以東 NNE にのび、第3次観測の氷縁走向に似ていた。 40°E の氷縁位置は第3回侵入時まで変わらず、1月2日以降沿岸氷の大規模な破壊は2月10日までは起こらなかったようである。

パドルの発達は著しくなく、2月3日筆者は昭和基地までの間に空中より数個を認めたのみである。

水路の幅は 40°E で1月16日に 1 km 以下となり、2月3日には幅数 100 m 程度で4日には消滅した。水路内水深は $68^{\circ}25'\text{S}$, $38^{\circ}39'\text{E}$ (第1次輸送拠点) で 215 m, $68^{\circ}17'\text{S}$, $39^{\circ}51'\text{E}$ (第3次輸送拠点) で 340 m であり、侵入、脱出時の測深によるといずれも数哩北上すると水深

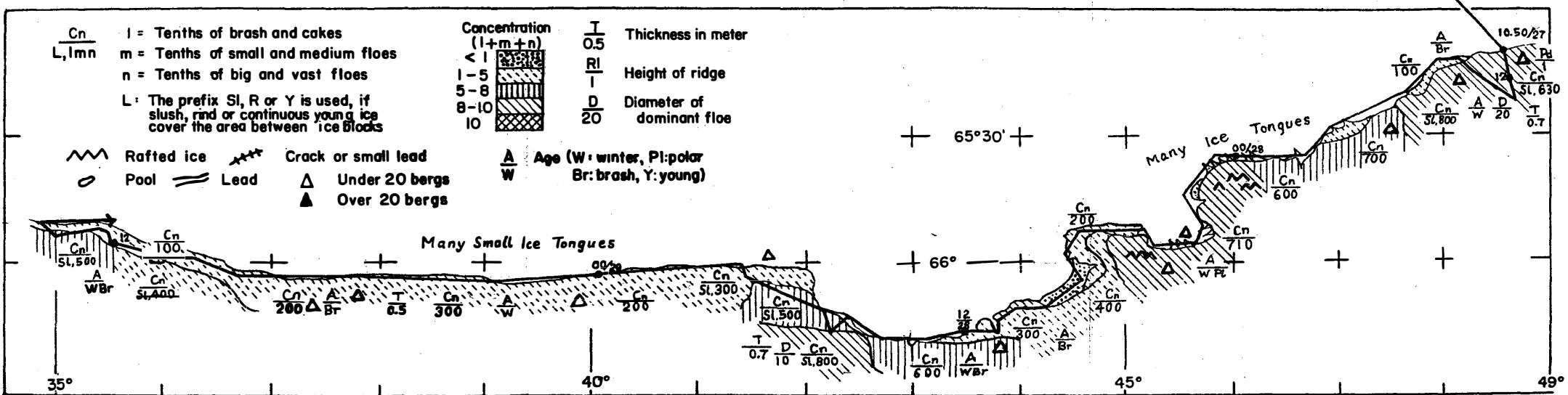


Fig. 2. Ice chart; 105° S.T. Dec. 27 to 150° Dec. 29 (S.T.=GMT+0300).

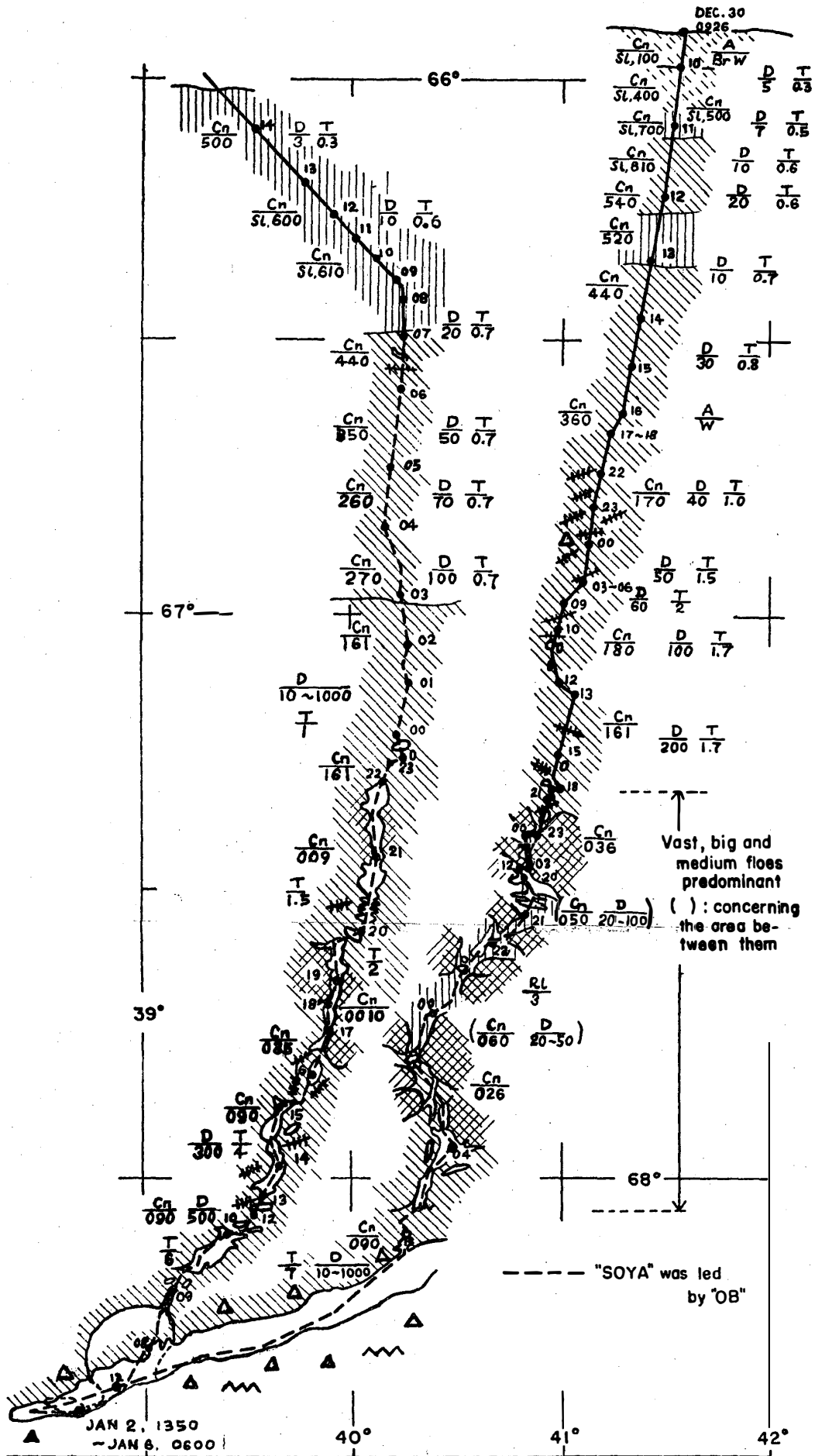


Fig. 3. 0926 Dec. 30 to 1350 Jan. 2 and 0600 Jan. 6 to 1400 Jan. 7.

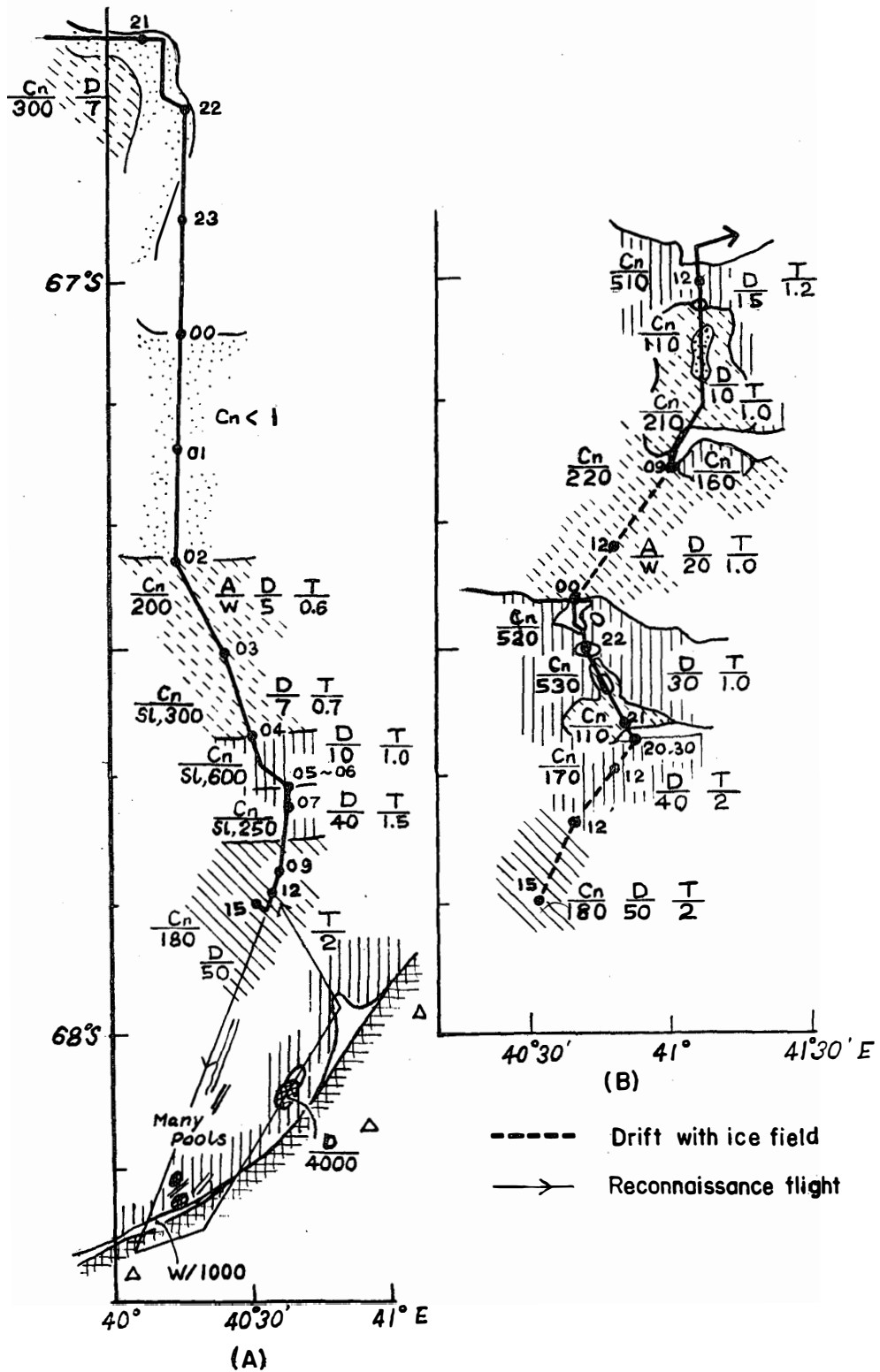


Fig. 5. (A) 2100 Jan. 15 to 1500 Jan. 16.

(B) 1500 Jan. 16 to 1200 Jan. 20.

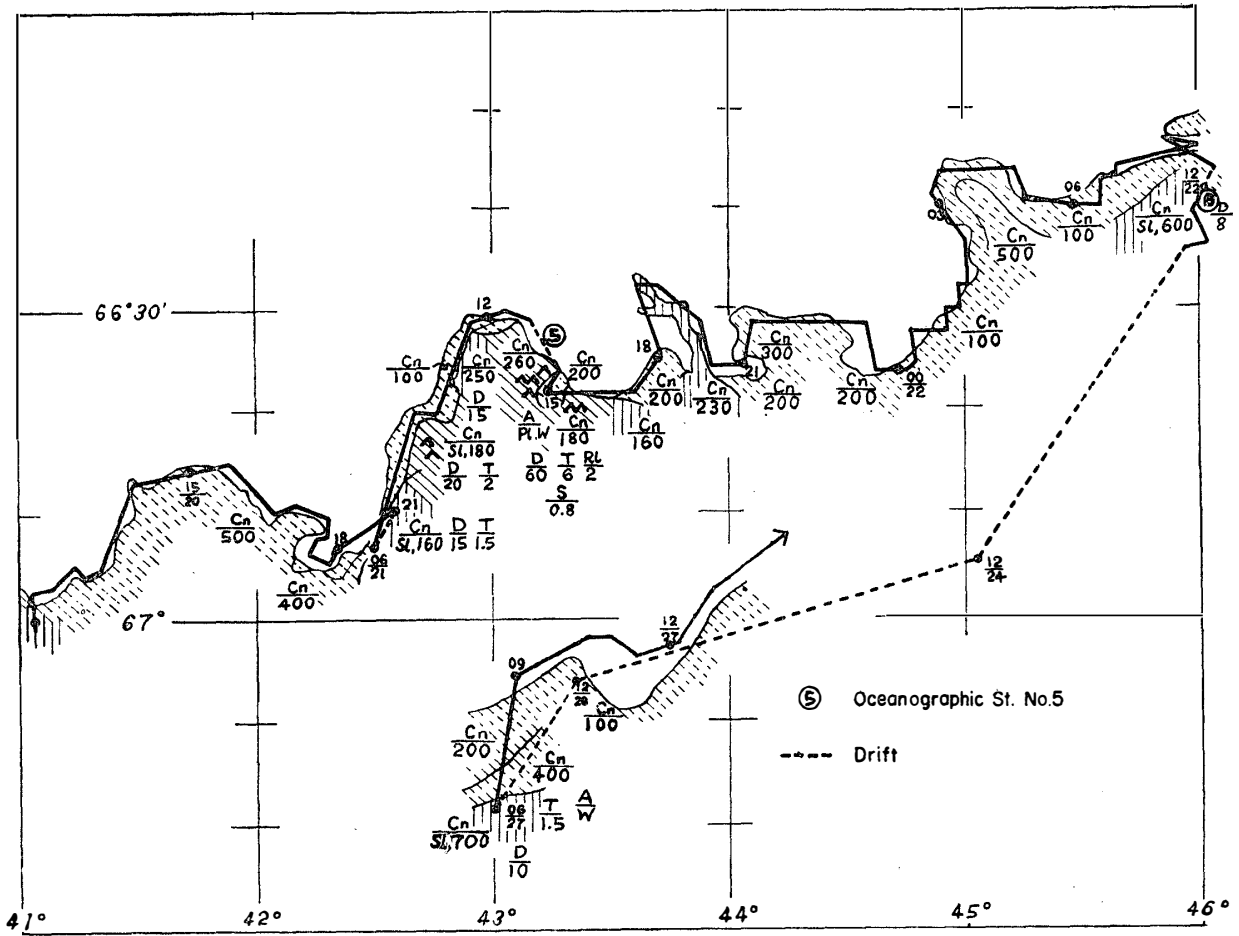


Fig. 6. 1200 Jan. 20 to 1200 Jan. 27.

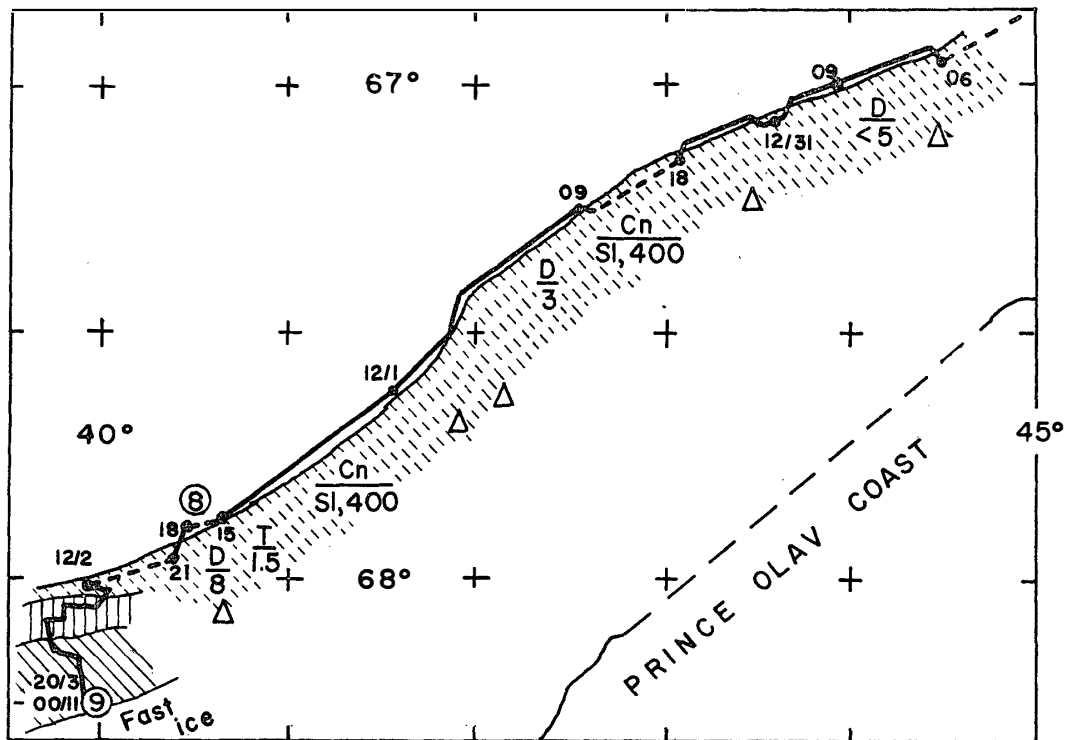


Fig. 7. 0600 Jan. 31 to 2000 Feb. 3.

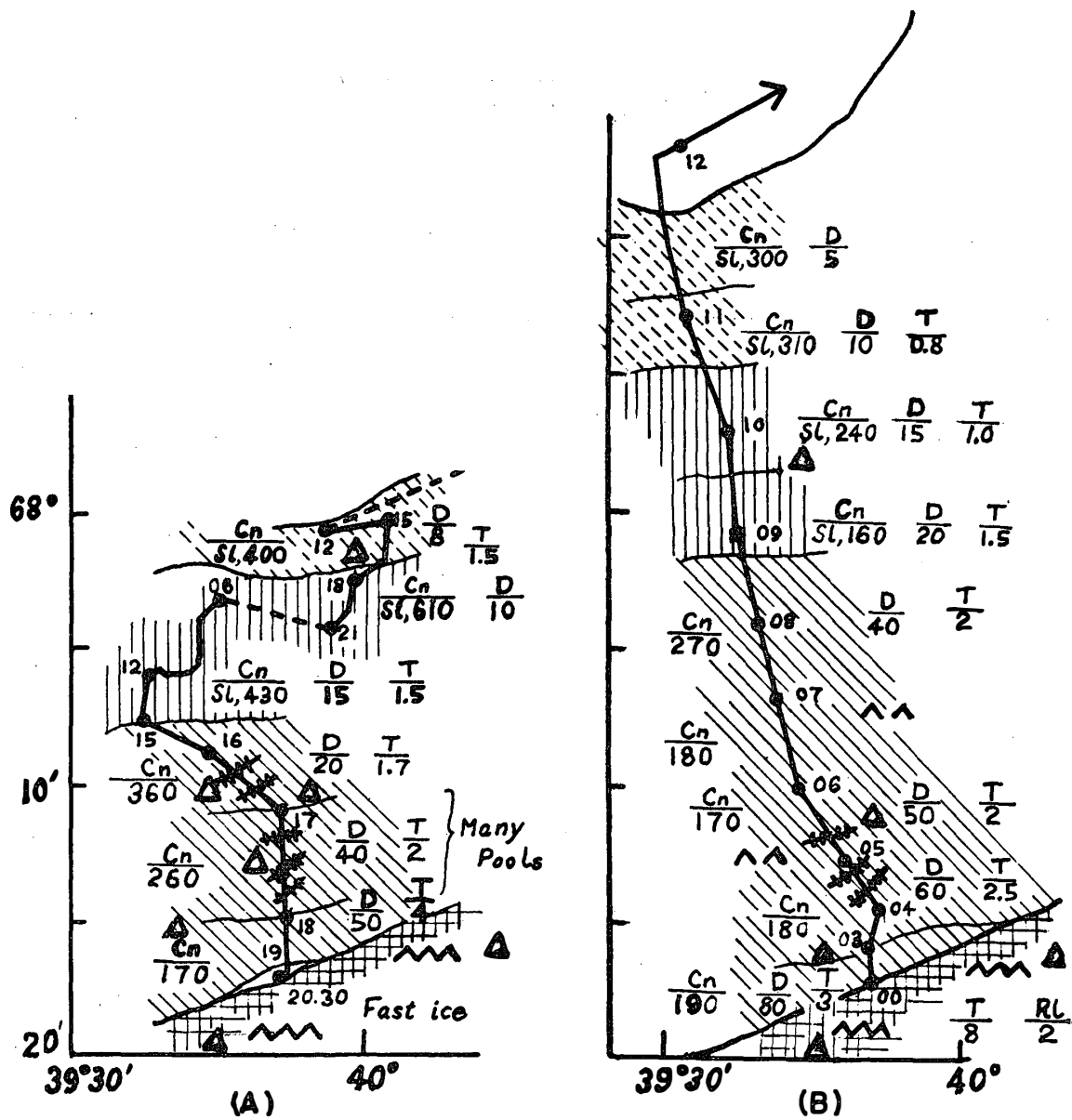


Fig. 8. (A) 1200 Feb. 2 to 2030 Feb. 3.

(B) 0000 to 1200 Feb. 11.

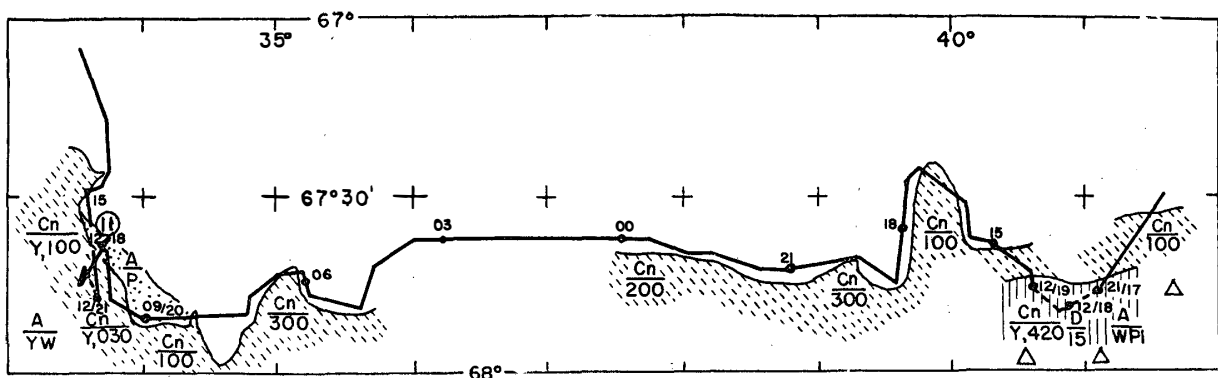


Fig. 9. Feb. 17, 19, 20 and 21.

1000 m に達する．すなわちこの水路は大陸棚の縁に存在するのである．

§ 3. その他の観測結果

3a) 氷 山

最北の氷山は往航時 $53^{\circ}09'S$, $32^{\circ}17'E$ (1959 年 12 月 23 日), 復航時 $54^{\circ}00'S$, $25^{\circ}10'E$ (1960 年 2 月 26 日) でそれぞれ認められた．

氷山の多くは高さ 40m, 長さ数 100 m 以下の卓状氷山であったが, 第 1 次輸送拠点付近で長さ 9 km のものを, また 1 月 28 日と 2 月 16 日に Ann 岬沖で, 最大のものは 13 km 以上 (隣接したものを含めれば 20 km) に達する巨氷山群をみた (第 10 図)．

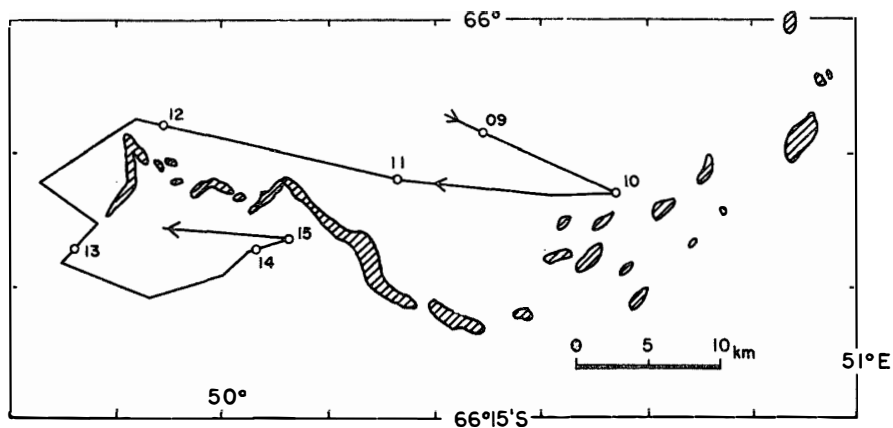


Fig. 10. Large icebergs off Cape Ann on Feb. 16, 1960.

1957 年ソビエトのレナ号は $45^{\circ}E \sim 100^{\circ}E$ 間の氷山を調べたが, 10 km 以上のものは 3 個しか認めていない．最大のもの (21.5 km) は 1957 年 2 月 16 日に West Ice shelf 縁の $65^{\circ}40'S$, $88^{\circ}14'E$ で認められている¹⁴⁾．巨氷山の数が非常に少ないことを考えると, この氷山を Ann 岬沖でわれわれが認めた巨氷山と同一と推定できる． $88^{\circ}E$ より $50^{\circ}E$ までは $66^{\circ}S$ に沿って約 1700 km であり, この移動に 1000 日を要したとすれば平均速度 1.7 km/day ($\approx 0.04 \text{ kt}$) を得る．漂流期間はより短く (Ann 岬沖で坐礁していた可能性あり), 漂流距離はより長いと思われるので, この漂流速は不合理に小さいとはいえない．

3b) 氷山の漂流

第 1, 3 次輸送拠点で計 9 個の氷山の漂流をレーダー観測した．開水面内の 2 例 2 区間のみを第 1 表に示す．

氷山の大きさが非常に違うのに, 2 例の結果はよく一致する．氷山の漂流速を表面海流速の $3/4$ 程度と考えれば, この付近に 0.3 kt の西流が存在すると推定できる．

上記 2 氷山は第 1 表の後には氷野内に入り, その流速は $0.18 \sim 0.05 \text{ kt}$ におちた．他例はすべて氷野内漂流で氷山は複雑な運動をしている．結果は省略する．

第1表 大利根水道内の氷山の漂流

Table 1. Drift of Icebergs in the Lead near 68°25'S, 38°35'E.

氷山 Iceberg	高さ Height 長さ Length	期 間 Period	流 程 Distance	流 向 Course	流 速 Speed
A	$\frac{40m}{6600m}$	1800 Jan. 3 ~1800 Jan. 4	6.1 knot	252°	0.25 knot
B	$\frac{40m}{9000m}$	1800 Jan. 3 ~0800 Jan. 4	3.1	251°	0.22

3c) 氷泥に埋まる氷野の漂流

船は氷泥が氷間を埋める氷野内に強風時しばしば退避漂泊したが、多く悪天候で天測を行っていない。1月22日より27日朝の漂泊時(第6図)には4点の天測点がある。この氷野は密接度5の板氷間を砕氷、氷泥が埋めていた。船の風上側には三角形の開水面ができたが、板氷の風上には開水面はできない。しかも船と板氷との相対速度は数 m/hr であったから、船の漂流速は氷野自身の漂流速と考えてよい。なおこのことは氷泥が風力係数の異なる物体の漂流速を一樣にするという(観点をかえれば氷泥がその中を運動する物体に及ぼす抵抗が大きいという)いちじるしい性質を示すもので興味がある。解析結果は第2表に示した。

第2表 板氷 50% 砕氷・2次氷泥 50% の氷野の漂流

Table 2. Drift of Ice Field composed of 50% Cakes 50% Brushes and Slush.

期 間 Period	漂 流 Drifts		平均風力 Mean Wind		偏 角 Deflection Angle	風力係数 Wind Coefficient
	流向 Course	流速 Speed	吹送方向 Course	風速 Speed		
1200 Jan. 22 ~1200 Jan. 24	217°	0.85 knot	265°	12.2 m/sec	48°	0.036
1200 Jan. 24 ~1200 Jan. 26	253°	0.69	274°	11.1	21°	0.033
1200 Jan. 26 ~0600 Jan. 27	213°	0.72	254°	6.5	41°	0.057
1200 Jan. 22 ~0600 Jan. 27	230°	0.75	267°	10.4	37°	0.037

3d) 疎流水縁の風による拡散

12月28日夜から30日朝、41°E~33°Eの氷縁を往復調査したが、この間氷縁は数裡北上している。ある氷がどのような風をうけたかは船が移動しているのでわからないが、船の観測した風が広い範囲で一樣であったとし次の様に推論してみる。29日09時~21時、37°E~34°30'E間での船上観測値によると平均風向SW積算風程(ベクトル和)約130kmである。09時に観測した氷縁の21時までの移動量は移動方向をN~NEと考へ約10kmで、風力係数は0.08となる。開水面に拡散してゆく氷塊に対する値としては妥当な値である。観測間隔の長い東方でも北上量がそれほど多くないのは一つには融解で氷縁の氷が消滅するためであろう。

§ 4. 観測海域の氷野の夏の消衰

インド洋出漁中の日本捕鯨船団によれば、12月7日氷縁は 62°S 付近にあった。27日～29日の氷縁(第1図(a))は $65^{\circ}\text{S}\sim 66^{\circ}\text{S}$ にあり、この間の南下速度は 20 km/day に達する。この海域では偏西風が卓越し氷野は北上拡散して多くの開水面を生じ、それによる太陽輻射の吸収によって氷は急速に融解消滅したのであろう。

これ以後の消衰過程は、Lützow-Holm 湾沖と Prince Olav 海岸沖とでは異なるように思える。氷縁(a)は $49^{\circ}\text{E}\sim 43^{\circ}\text{E}$ ではほぼ WSW に走るが、 43°E から北上した後、 42°E 以西は西に走っている。 43°E の凹みは、氷縁(b), (e) にみられるように順次 SW に移動している。これは Lützow-Holm 湾沖の静止した水域(氷縁(a)の 41°E 以西、(d), (e) のある海域)に、ENE 方向から WSW 方向に向い氷が流れこんでいることを暗示する(第11図)。

このことはまた、氷縁(a)の 42°E 以東および氷縁(f)の氷状からも推定される。この氷縁は屈曲が多く、また氷状図でみると氷状が氷縁沿いにはげしく変化しているが、これはこの氷縁が抵抗をうけつつ WSW に移動しているからであると思われるのである。おそらく第11図の領域Aでは氷は弱い偏西風でゆっくりと拡散し、1月中旬中には融解消滅するのであろう。領域Bの氷はたえず WSW に移動し、ここでの氷縁の後退はおもに Enderby Land からの氷の供給の減少によるのであり、また融解も氷域内部の開水面の増加によるよりもむしろ他海域からの暖水の流入によると考えられるのである。

Prince Olav 海岸では氷縁は1月末には大陸岸から40哩以内に後退する。この頃 51°E の Ann 岬では氷縁は距岸数哩となり、Enderby Land からの氷の供給は殆どなくなる。流氷はなお WSW の移動を続け、また東の強風では氷縁(j)のように氷舌を作って(この時 E 10 m/sec) 大きく西に分離するので、2月中氷縁はさらに後退するが、2月半ばより新氷の生成もはじまるのでその後退量は大きくはなからう。

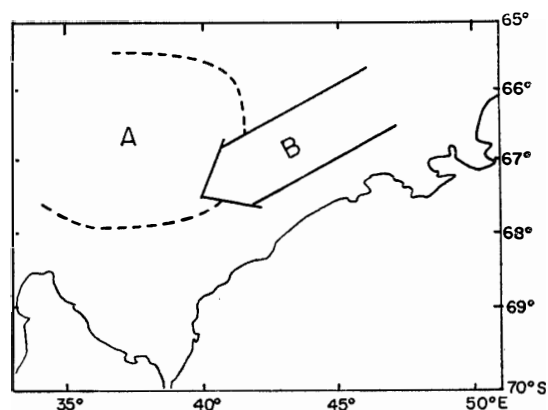


Fig. 11. Regions of different ice dimination process.

§ 5. 氷野の消衰と海況

夏の氷縁の後退は氷の運動と氷の融解とでできまる。氷の運動は局所的な風に支配されるが、風の分布を知るのは難かしい。それで、ある期間の氷の平均運動を知るために ZUBOV は平均

天気図を用いる等圧線漂流理論¹²⁾を考えた*。また長期間の風の状況は海況に反映することを思うと、長期間の氷の平均運動は海況から判断できるはずである。

南極周辺の風系の特徴は、沖の周極偏西風と岸近くの東成分をもつ風との存在で、その境界が夏の氷の消衰を理解するに重要なことは前節でみた。この風系は海況に反映して、沖の東流と岸の西流の存在となり、それはいわゆる南極発散線で境される。

調査海域の南極発散線は従来 63°S 付近と考えられていたが、氷況はこの発散線が Lützow-Holm 湾沖ではずっと南下していることを示すようである。

今次調査海域で 11 点の各層観測を行なった。南北の測線 (62°S より沿岸に向う) 上に測点をとっていないので発散線の位置を決定できないが、次のような推定を試みてみよう。

南極発散線には高温の南極周極水が上昇する。第 12 図から 38°E 付近で 66°S 以南に南極周極水が侵入していることがわかる。また第 13 図から水温 1°C の水が 200 m 深以浅に上昇するのは第 14 図の 1°C 等温線の北側である。南極発散線はこの等温線よりは北であろうが大体の形はこれに似ている。第 13 図 a 点 (65°44'S, 34°23'E で、1 月 14 日 02 時に異常に高い表面水温 (+0.9°C) を観測したことは、あるいはこの付近を南極発散線が通ることを示すのかも知れない。

最後に融解の問題にふれる。我々は融解がはじまってからある時刻までの融解量を知りたいのである。氷の融解はもちろん熱の吸収によっておこる。従って氷が吸収した熱を知れば融解

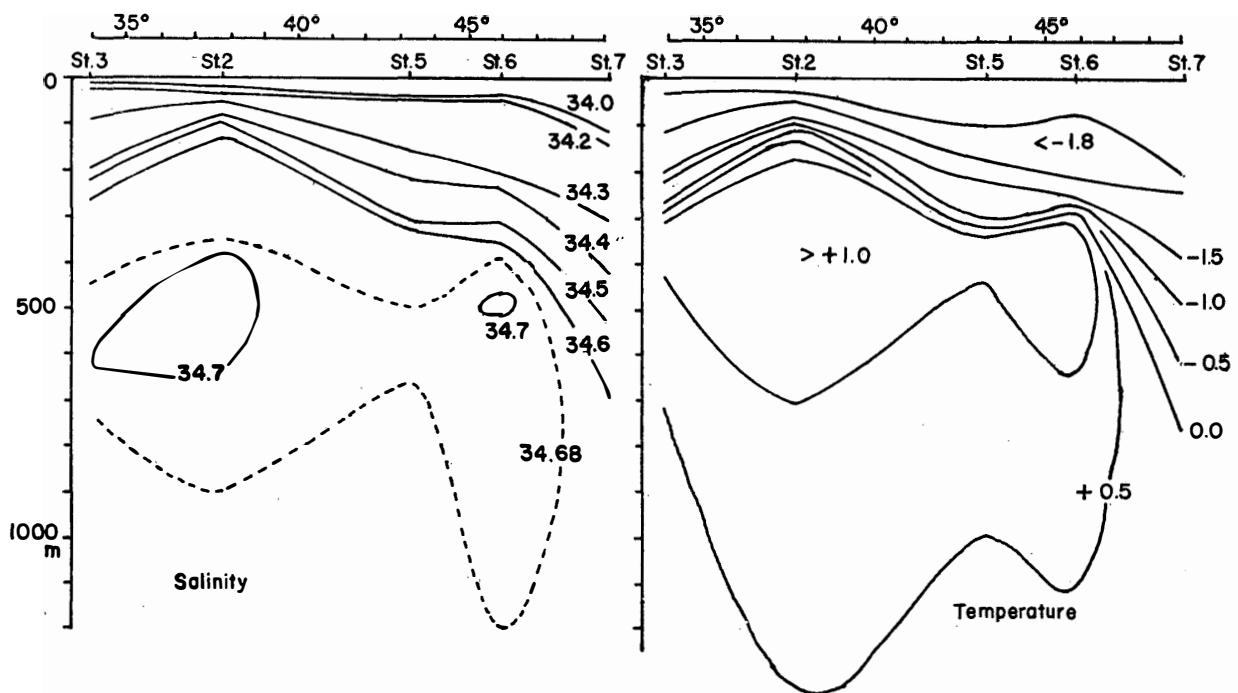


Fig. 12. Distributions of salinity and temperature approximately along 66°20'S.

* 今次観測の氷縁位置を ZUBOV の理論で解析することは有用と思われる。

量はわかるわけであるが、その推定は難かしい。

南極の海には高温高塩分の水塊上に低温低塩分の南極表層水が存在する。この水は冬には一様な塩分、温度となっているが、夏は氷の融解による淡水の供給のため上部から淡められる。しかしこれは表層水の底まではおよばないから、夏の観測から冬の塩分を推定することができる。冬の表層水の厚さを D m. 塩分を S_1 , 夏の観測時の平均塩分を S_2 , 海面 1 cm^2 あたりの供給淡水量を $v\text{ cm}^3$ とすれば、次式がなりたつ (流れはないと仮定して)。

$$(100D+v)S_2=100DS_1 \quad (1)$$

従って、

$$v=\frac{100D(S_1-S_2)}{S_2} \quad (2)$$

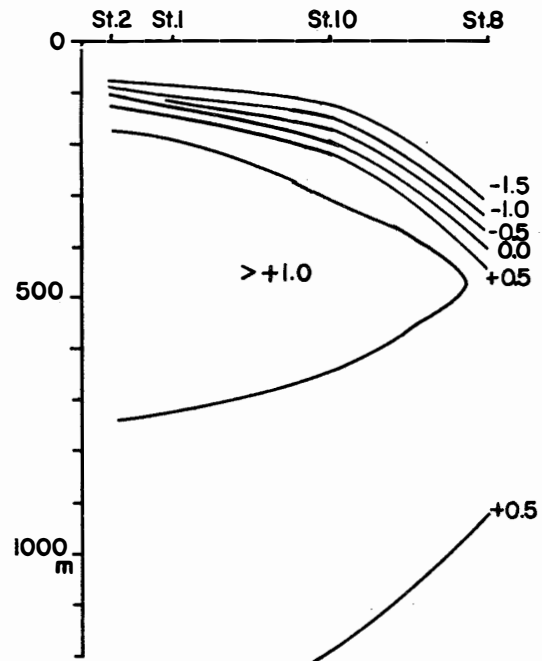


Fig. 13. Distributions of temperature along St. 2, 1, 10 and 8.

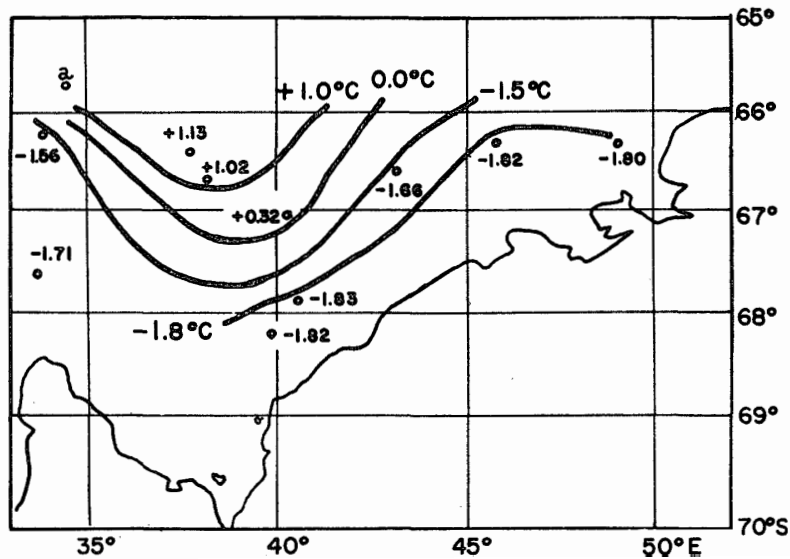


Fig. 14. Isotherms on 200 m depth surface.

このようにして夏の海洋各層観測から氷の融解量を推定できるのである。各観測点に対する計算結果を次表に示す。

表から第 10 図領域 A 内 (測点 1, 2, 4) では供給淡水量は約 60 cm の純水の融解に等しいのに、領域 B 内 (測点 5, 6) では約 180 cm の純水の融解を要することがわかり、これはまた測点 5, 6 では淡水の移流が行なわれていることを示すものといえよう。

第3表 観測時までに各観測点に供給された淡水量

Table 3. Estimation of the amount of fresh water supplied since the end of winter.

St. No.	Date	Long.	Lat.	Depth	D^*	$D(S_1-S_2)^*$	S_2	v
1	Jan. 11	66°42'S	38°06'E	4400m	75m	15.38m-%	34.17%	45 cm ³ /cm ²
2	12	66 25	37 44	4650	75	16.30	34.16	48
3	13	66 14	33 54	1360	150	24.95	34.21	73
4	15	66 25	38 03	4650	150	18.12	34.26	53
5	21	66 38	43 15	3300	220	53.66	34.14	157
6	22	66 17	45 57	2800	230	53.80	34.15	158
7	28	66 18	49 08	1470	340	95.67	34.10	280
8	Feb. 1	67 53	40 38	2300	320	60.21	34.20	176
9	7	68 17	39 51	349	(349)	92.34	34.11	271
10	13	67 01	40 16	3700	No salinity data			
11	20	67 38	33 41	1050	250	25.35	34.28	74

* 簡単のため、 $S_1=34.38\%$ と仮定し、観測時 34.38% であった深さを D とした (測点9を除く)。

* For simplicity, we assumed $S_1=34.38$ and determined D correspondingly (except for st. 9).

今回の観測は宗谷航海科により行なわれた。下松哲雄航海長(当時)以下の士官各位に深く感謝します。氷状図(第1~10図)は吉田弘正四席航海士(当時)の作られた原図にもとづくもので、また §2,3の内容も同航海士に負う所が多い。

§5 で使った海洋観測データは第4次南極地域観測隊海洋主任深瀬茂氏の好意による。

低温科学研究所、元南極地域観測隊員、楠宏、小野延雄両氏からは有益な助言をうけた。厚く感謝します。

文 献

- 1) Kusunoki, K: Antarctic Record, No. 3, pp. 132-140 (1958).
- 2) 村内典典・吉田栄夫: 南極資料, No. 8, pp. 464-481 (1959).
- 3) 小野延雄: 南極資料, No. 10, pp. 683-691 (1960).
- 4) World Meteorological Organization: Abridged International Ice Nomenclature (Genva, 1956). (和訳) 気象庁: 海水用語集 (1958).
- 5) Евгений, Н.И.: Альбом ледовых образований на морях (Ленинград, 1955). (海水写真集).
- 6) 気象庁: 海水用語解説 (1959).
- 7) Armstrong, T.: Sea ice recording and reporting methods, pp. 53 (Defence Research Board, Canada, 1955).
- 8) U. S. Hydrographic office: Ice observations.
- 9) " " : Ship ice log.
- 10) National Academy of Sciences-National Research Council: Arctic Sea Ice (1958).
- 11) Гордиенко, П. А., Федотов, В. И. и Шильников, В. И.: Ледяной покров прибрежных вод восточной антарктиды (Ленинград, 1960). (ソビエト南極観測報告, 第11巻).
- 12) Зубов, Н. Н.: Льды Арктики (Москва, 1945).