

第2次南極観測に際して行なつた海水観測 及び、それに関する 2, 3 の考察

村内必典*・吉田栄夫**

REPORTS OF SEA ICE OBSERVATION OF THE JAPANESE ANTARCTIC RESEARCH EXPEDITION 2, 1957-58.

Sadanori MURAUCHI* and Yoshio YOSHIDA**

Abstract

The observation of sea ice, including ice of land-origin, was carried out by the Second Japanese Antarctic Research Expedition on board the "Soya", expedition ship to Antarctica, during December 1957 and February 1958.

The data obtained were not enough to comment on problems of sea ice, because the visual range was limited and the ship was ice-locked and drifted with the ice for 47 days.

The results of the observations and some considerations are as follows:

1) **Outline of observation** An iceberg was encountered at 58°48'S, 39°00'E on 17th of December 1957 for the first time, and the ship arrived at the ice edge at 62°50'S, 53°00'E on 20th of December 1957. The observation of sea ice was begun by 16 observers on that day.

The observations included 1) visual observation, 2) measurement of ice drift, 3) measurement of thickness of ice and 4) observation of the motion of ice floes, especially that caused by the waves existing in pack ice region.

2) Visual observation of ice condition

I) **ICE CHART** The ice conditions obtained by visual observation with the aid of a marine radar and a optical range-finder are compiled in the Ice Chart (Fig. 2). The Ice Chart does not represent the ice conditions *at any given time*, but shows the ice conditions around the ship, for the ship had drifted with the ice from off Prince Olav Coast to off Riiser-Larsen Peninsula.

II) **BOUNDARY OF PACK ICE** The ice edges confirmed are as follows:

Table 1.

Date	Latitude	Longitude
Dec. 20, 1957	62°50'S	53°00'E
Feb. 6, 1958	67 46	31 22
Feb. 8, 1958	67 43	39 18
Feb. 23, 1958	67 53	39 31

The ice edge on 20th of December 1957 was very indistinct and lay far north (about 180 nautical miles off the coast) in comparison with last year (Jan. 1957). By the last decade of February 1958, the boundary of pack ice was

* 国立科学博物館, 第1次及び第2次南極地域観測隊員. 第3次南極地域観測隊越冬隊員. The National Science Museum. Member of the Japanese Antarctic Research Expeditions, 1956-57 and 1957-58. Member of the Wintering Party, the Japanese Antarctic Research Expedition, 1958-60.

** 東京都立大学理学部地理学教室, 第2次及び第4次南極地域観測隊員. Department of Geography, Faculty of Science, Tokyo Metropolitan University. Member of the Japanese Antarctic Research Expeditions, 1957-58 and 1959-60.

receding to the south over 50 nautical miles, and the edge became much distinguishable.

III) OTHER ICE CONDITIONS The amount of ice was almost 8/10 to 10/10 except near the pack ice edge, where the amount was 1/10 or less.

Off Prince Olav Coast (40°E) and Riiser-Larsen Peninsula (32°E), crack, leads or other open water were often observed in the ice fields.

Predominant ice type was the hummocked winter ice one or two meters thick, among which there existed weathered ice floes of three meters or more in thickness, seemingly polar ice.

The surface of ice was almost covered with snow 30 to 45 cm deep except for snow-drifts caused by blizzards. Sometimes puddles could be seen on the surface of the ice floe.

The ice ridges rose 50 cm or one meter above the general level of the surface before the blizzards during the first decade of January, but after the blizzards they grew up to one or two meters.

Water sky and ice blink were often observed.

3) Measurement of ice drift by wind

While drifting with the ice, the velocity and the direction of the ice drift could be measured by transition of ship's position. The position of the ship was determined by astronomical observation and radar measurement of the relative movement of the ship to the stranded icebergs (Fig. 3 shows the seeming relative movements of the stranded icebergs to the ship during 28 and 31, Jan.).

The results obtained and the mean velocity and direction of wind at that period are shown in Table 2.

From the above data the characteristics of ice drift can be considered. The mean deflection of ice drift to the wind direction is 17°. The deflections varied according to movement of the ship's position. The minima of deflection appeared when the ship was off the east coast of the mouth of Lützow-Holm Bay (40°E) and

off Riiser-Larsen Peninsula (32°E). It seems to indicate that the drift current is strongly influenced by obstructions such as shore line or fast ice.

As to the relationship between wind velocity (V) and drift velocity (v), the following equation can be obtained from Fig. 4.

$$v \text{ (knot)} = 0.049 V \text{ (m/sec)}$$

Using the same unit, $C (v/V)$ which denotes the characteristics of ice drift is 0.025.

The variation of C as well as the variation of the deflection of ice drift indicates the disturbance of shore line or fast ice to ice drift (Fig. 5).

4) Measurement of thickness of ice floe

by boring The boring of ice floe near the ship was carried out with the aid of mechanical engineers. The boring holes were set in a line at a distance of every two meters on the starboard in direction of 45° to the bow. A measuring line was 50 meters. The first hole was set one meter off the side of the ship. The height of the ice above the sea level was determined by levelling. Fig. 6 shows the result of boring. It was examined at what extent the sea ice attains its equilibrium isostatically.

If the height of the ice above the sea level and the depth of the ice under the sea level are $f(x)$ and $\varphi(x)$ respectively, the total thickness of ice is then $f(x) + \varphi(x)$ (x is the distance from the origin.). Assuming the density of ice being uniform, the following equation can be obtained:

$$\rho_i \int_0^x \{f(x) + \varphi(x)\} dx = (\rho_w + \beta) \int_0^x \varphi(x) dx \cdots (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_i : \text{mean specific weight of ice} \\ \rho_w : \text{specific weight of sea water} \\ \beta : \text{coefficient} \end{array} \right\}$$

When the ice is in isostatic equilibrium, β is zero. Therefore, β denotes whether the isostasy comes into existence or not. Taking ρ_w for one, the following equation can be led from equation (1):

$$\beta = \frac{\rho_i \int_0^x \{f(x) + \varphi(x)\} dx - \int_0^x \varphi(x) dx}{\int_0^x \varphi(x) dx} \dots (2)$$

When $x \rightarrow \infty$, the isostatic equilibrium comes into existence naturally, namely, β is zero. And then the equation can be transformed into

$$\rho_i = \frac{\int_0^{x_\infty} \varphi(x) dx}{\int_0^{x_\infty} \{f(x) + \varphi(x)\} dx} \dots (3)$$

ρ_i can be calculated from equation (3). But x is not sufficiently large for the calculation of ρ_i . Therefore, we consider approximately the extension of the isostatic equilibrium from the variations, ρ_i and β .

Table 3, Figs. 7 and 8 show the variations, ρ_i and β . β varies decaying regularly according as x increases. It may be deduced that its amplitude approaches to zero where x is about 70 meters. So the isostatic equilibrium may come into existence within the extension of 60 or 70 meters.

The pack ice in which the ship was ice-locked was 3.9 meters in mean thickness, and the ice being very hummocked, the isostasy of ice did not exist within the extension of 50 meters.

5) **Observation of the motion of ice floes**

The inclinations of ice floe around the ship were observed several times from 22nd to 24th of January. The position of the ship at that time was about 30km south from the ice edge.

The observation was carried out by using a method which consists in recording the period and the rolling of the ship to the ice floe at a sufficient distance from the ship with a Wild theodolite (Fig. 9).

第2次南極観測において、海洋観測の一部として、氷海行動中に海氷観測（冰山等の陸成氷を含む）を行なった。観測船宗谷が流氷に閉じこめられ、氷とともに漂流したこと、目視範囲が限定されていることなどによつて、得られた観測結果は不十分なものではあるが、一資料として報告し、2, 3の考察結果も述べる。

The rolling is considered to be caused by the surface wave coming into ice field from the ocean.

Fig. 10 was made by plotting the maxima and minima of observed inclination values and joining each point so as to indicate a simple harmonic motion. Wave period obtained, T , is 20 seconds.

The wave can be represented as

$$y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{L} \right), \dots (4)$$

where T is the wave period, A denotes the amplitude, L is the wave length, and x is taken in the direction of wave propagation.

As the swell is the surface wave, the period T is expressed as

$$T = \sqrt{\frac{2\pi L}{g}}, \dots (5)$$

where g is the acceleration of gravity. If the observed inclination of the rolling is θ ,

$$\tan \theta = \frac{dy}{dx} \dots (6)$$

From the equations (4) and (6), we obtain

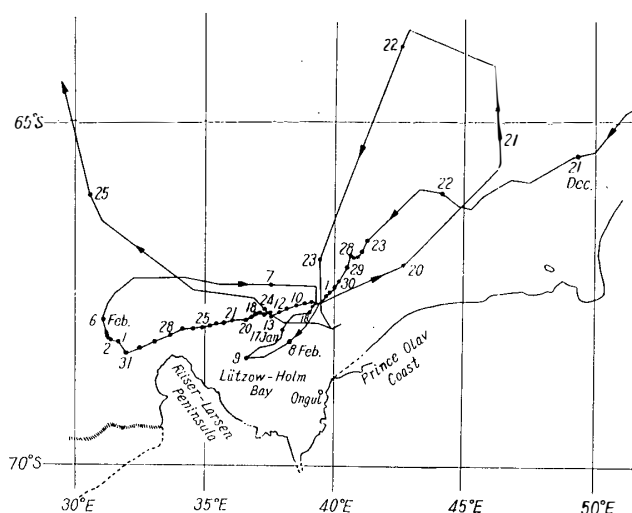
$$\tan \theta = -\frac{2\pi A}{L} \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{L} \right).$$

Using θ_m for the maximum inclination,

$$A = \left| \frac{L}{2\pi} \tan \theta_m \right| = 0.7 \text{ cm,}$$

for $\theta_m = 15''$ (estimated graphically from Fig. 10) and $L = 600 \text{ m}$ (calculated from the equation (5)).

In conclusion, the oscillation to be considered due to the swell conveyed 30 km into ice field from the ocean had decayed, and the wave amplitude and the wave period were chiefly less than one cm and 20 seconds, respectively.



第1図 宗谷の航跡図 (第2次南極観測)

Fig. 1. The track chart of the "SOYA" during December 1957 and February 1958.

1. 観測の概況

海氷観測は第2次南極観測におけるものに準じて、観測隊員16名によつて船の羅針甲板上より行なつた。国際海氷命名(WMO制定)に基づいて、あらかじめ作成された観測記録紙に氷量、表面の状況、氷型等を一時間毎に目視によつて記録し、補助として見取図の作成、radarによる観測を行なつて氷状を記録した。その他、船の漂流中、坐礁氷山のradar測定による流氷移動の観測、氷盤のboringによる氷厚測定、氷盤のうねりによる運動の測定をも併わせ行なつた。

宗谷は1957年12月17日、 $53^{\circ}48'S$ 、 $39^{\circ}00'E$ で始めて氷山を認めた。12月20日、 $62^{\circ}50'S$ 、 $53^{\circ}00'E$ で始めて一氷盤を認めて氷縁に達し、12月20日より海氷観測を開始した。

2. Lützow-Holm 湾附近の氷状

i) **Ice Chart** 得られた観測記録に基づいて Ice Chart (第2図) を作成した。しかし第1次南極観測において作成されたものに比して、船の自走距離が少く、長期に亘つて船が氷とともに漂流したため、時間的経過が長く、その間の氷状の全体的な変化を知ることができず、また氷縁について不明であつた場合が多いので、Ice Chart はあまり重要な意味をもつていない。ここに掲げたものは観測記録表示の便宜的方法として、時間的経過を無視して作成したものである。以下に述べる氷状も多かれ少なかれこれと同様の意味でその意義は限定される。

ii) **流氷縁** 宗谷は1957年12月20日、 $62^{\circ}50'S$ 、 $53^{\circ}00'E$ で氷量1/10以下の流氷を認めた。氷縁は第1次観測時(1957年1月)に比べて著しく明瞭さを欠いていた。氷縁の

海岸よりの距離は約 180 哩であり、1957 年 1 月の 40 哩に比してかなり北偏していたといえる。この原因に関しては流氷の絶対量の差，時期の相異，低気圧通過による流氷の擾乱等が考

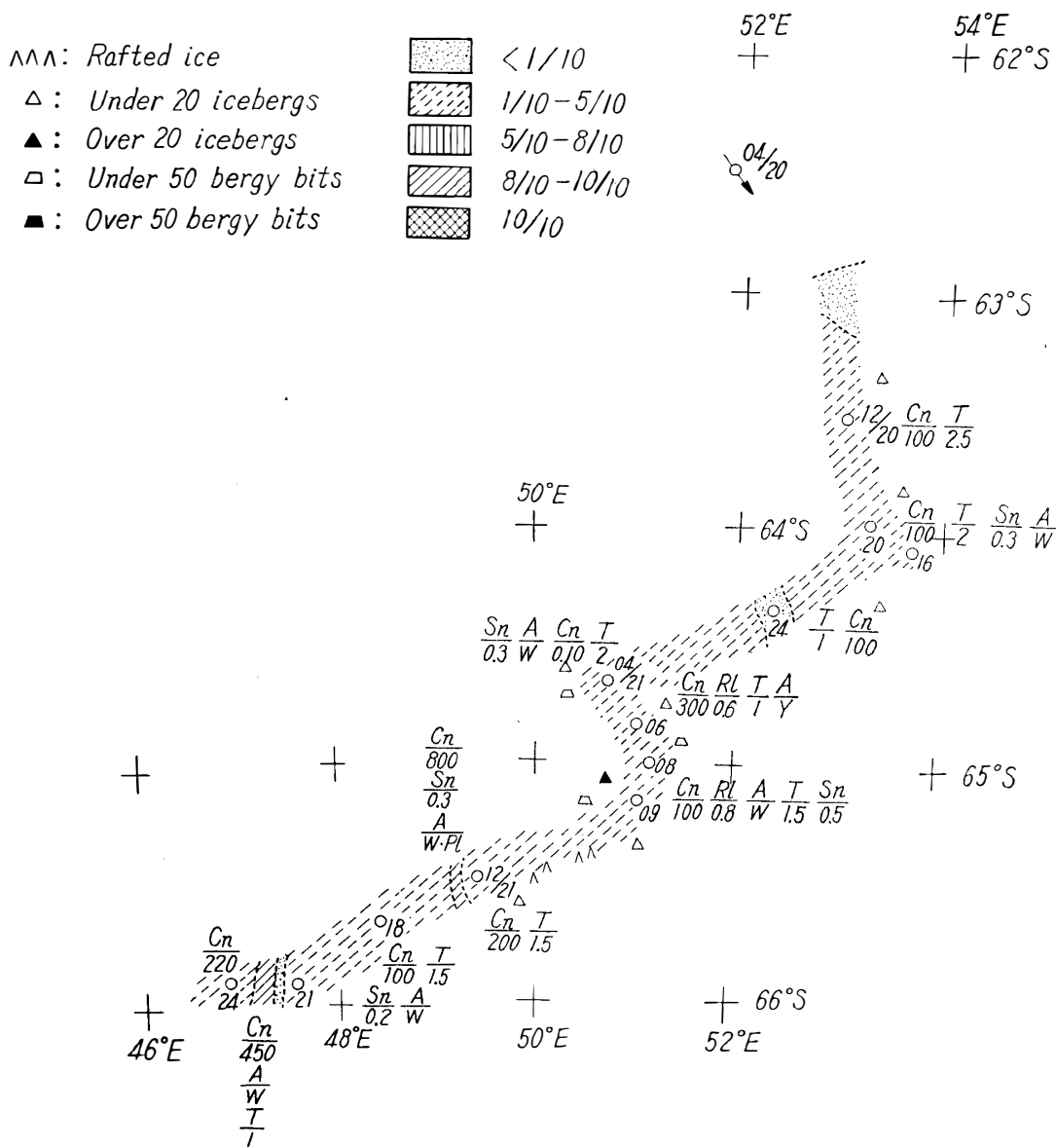


Fig. 2 (A). Ice Chart from Dec. 20 to Dec. 21, 1957.

- 06/22: Ship's position
0600 ship time, Dec. 22, 1957
- $\frac{Cn}{241}$: 2/10: Sluge, brash and ice cakes
4/10: Small and medium floes
1/10: Large floes
- $\frac{T}{1.5}$: Thickness in meter
- $\frac{RI}{1}$: Height of ridge in meter
- $\frac{Sn}{0.3}$: Snow cover in meter
- $\frac{A}{W \cdot PI}$: Age (W: winter ice; PI: polar ice)

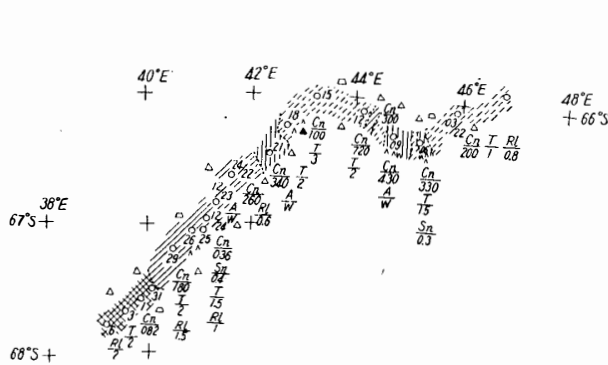


Fig. 2 (B). Ice Chart from Dec. 22, 1957 to Jan. 6, 1958.

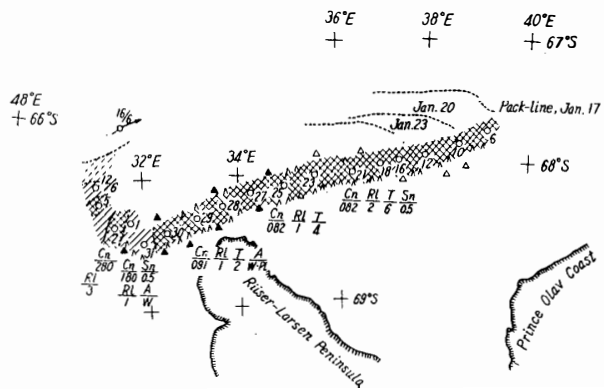


Fig. 2 (C). Ice Chart from Jan. 6 to Feb. 6, 1958.

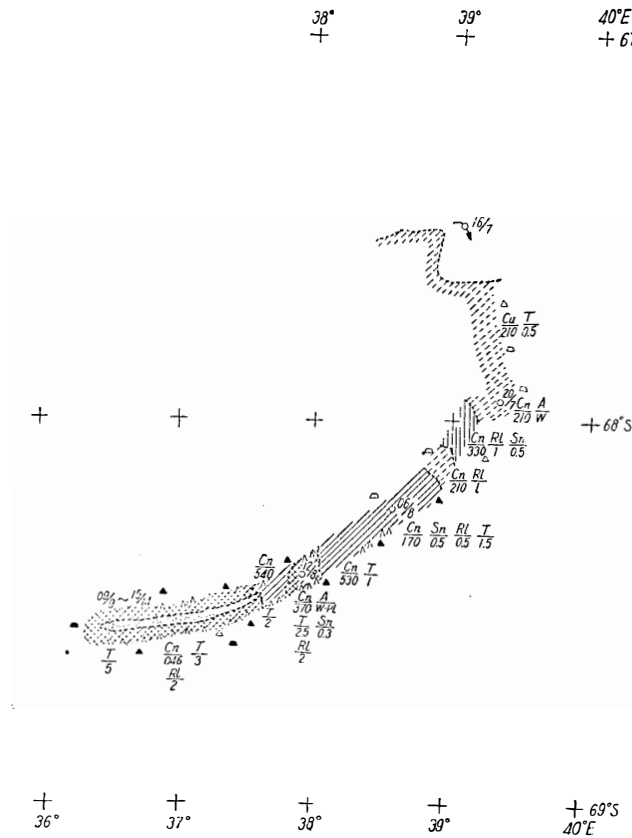


Fig. 2 (D). Ice Chart from Feb. 7 to Feb. 14, 1958.

えられるが、資料不足のためいずれとも決定できない。

氷縁の方向は Enderby Land 沖ではほぼ南西に延びるもののようである。

宗谷が確認した氷縁の位置は次の通りである。

従つて 39°E 付近においては、1月初旬から2月下旬に至る間に氷縁は少くとも 50 哩以上南へ後退した。また 1958 年 2 月における氷縁はきわめて明

第1表 パックアイスの氷縁
Table 1. Boundary of pack ice.

年月日 Date	緯度 Lat.	経度 Long.
1957年12月20	62°50' S	53°00' E
1958年 2 月 6	67 46	31 22
" " 8	67 43	39 18
" " 23	67 53	39 31

瞭で、1957年12月20日におけるものと著しい対照を示している。

iii) 氷量 流水帯の外縁に近い所では氷量 1/10 程度であつたが、内部はおおむね氷量 8/10 ないし 10/10 であつた。特に 1958年1月7日以後1月31日に至るまで、船は Prince Olav 海岸沖から Riiser-Larsen 半島沖まで氷とともに漂流したが、この間の氷量は 10/10 であり、開水面は1月末に生じた lead, crack を除いてほとんどみられなかつた。

1957年12月末、65~66°S, 51~41°E 付近では、1/10~3/10 の粗流水帯中にしばしば帯

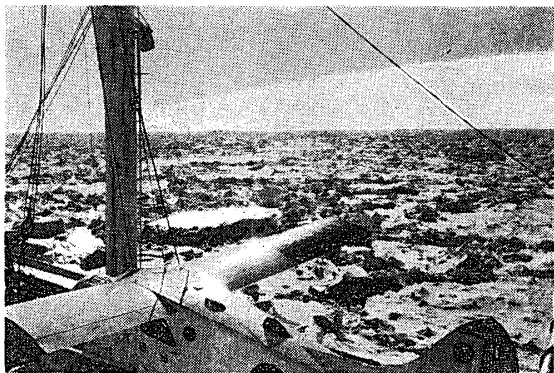


写真 1 密流水 (1958年1月12日
大瀬正美撮影)

Photo. 1 Very close pack ice on 12th of
January, 1958 (taken by M. Ose).

状に 7/10~8/10 の密流水帯があり、南北につらなつていた。氷の粗密の変化は南北方向とともに東西方向にも生じていた。

Prince Olav 海岸沖 (40°E 付近) および Riiser-Larsen 半島西岸沖付近 (32°E 付近) は開水面の発生し易い場所と考えられる。すなわち 40°E 付近では 1957年12月末に開水面がみられ、また 1958年2月初旬 37°E, 68°30'S

付近にほぼ東西に延びるかなり広い lead が存在したが、water sky の観察から、さらに東方

方に広い開水面が存在することが推定された。Riiser-Larsen 半島西岸沖では、その東側に比べて lead, pool, crack が急に増し、氷状に不連続的な変化が認められた。

iv) 氷型 全般的に、hummock した氷厚 1 ないし 2 m の一冬氷が多かつたが、氷厚 3 m 以上に達し、風化の進んだ二冬氷又は多年氷と推定される氷盤も存在した。2月初旬 Lützow-Holm 湾口 68°S, 37°E 付近で遭遇した海氷は、大部分が氷厚 4 ないし 8 m に達する多年氷と考えられる。

冰山、冰山片等の陸成氷も流水中に全般的にみられたが、特に多かつたのは Prince Olav 海岸西方および Riiser-Larsen 半島沖の海面である。Riiser-Larsen 半島沖の Gunnerus Bank は浅いため坐礁した冰山が多かつた。

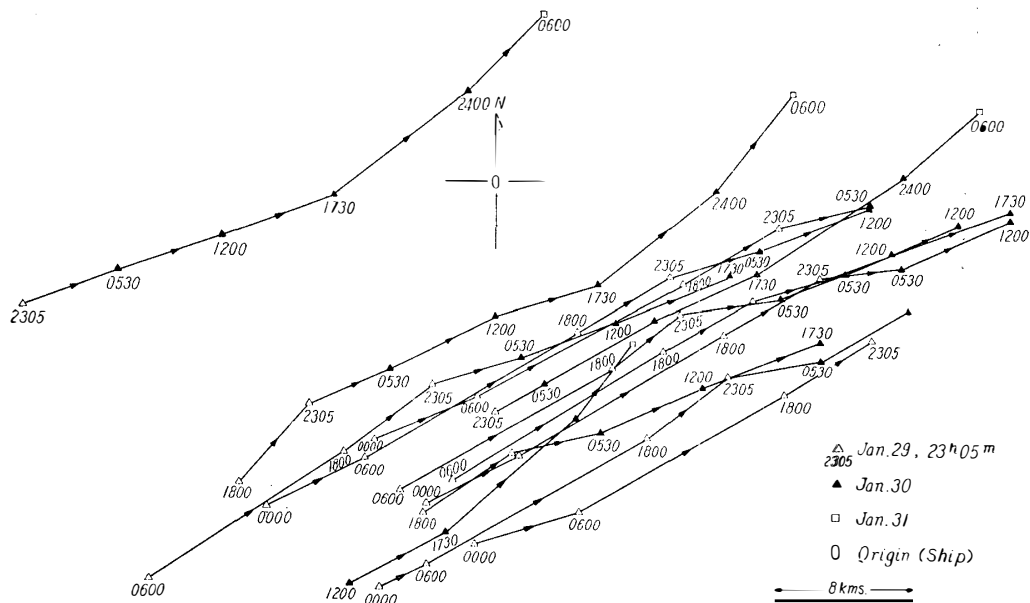
v) 表面の状態 流水の表面は blizzard 後の吹溜まりを除くと厚さ 30 ないし 45 cm 程度の積雪に覆われている場合が多く、50 cm を越える積雪は少なかつた。表面に puddle の生じている流水もしばしば認められた。

氷の突起部の平坦部よりの高さは1月初旬の blizzard 前は 50 cm ないし 1 m であつたが、blizzard 後では1ないし 2 m に達するものが生じた。Lützow-Holm 湾口の厚い海氷では、3 m に達するものも存在した。

以上のほか、water sky, ice blink もしばしば観察された。

3. 流水の風による漂流

12月23日から翌1958年の1月31日まで、宗谷はほとんど beset の状態で流氷とともに漂流した。この間、ある時は自力で海水の中を航行したこともあつたが、自走した距離は少いので、これを差引いて、漂流の方向および速さを求めることができる。船位は大部分は天測によつたが、Riiser-Larsen 半島沖では前述の坐礁冰山に対する船位の変化を求めて漂流速度を求めた。



第3図 座礁冰山の相対的な動き

Fig. 3. Graph showing the relative movement of the ship to stranded icebergs during Jan. 29 and Jan. 31.

第2表の第1欄に日付（正午より正午まで）、第2欄に漂流の速度 (knot) と方向を示した。第3欄には平均風速 (m/sec) と平均風向を示してある。第4欄には風の吹いて行く方向と漂流の方向との差（偏りが反時計廻りを正とする）、すなわち偏角 (The deflection of ice drift) を示した。

i) 風速と偏角の関係 第4図 (B) に横軸に風速、縦軸に偏角をとり、風速と偏角の関係を示した。偏角は相当にばらついているが、風速が大きくなると次第にまとまる傾向がある。流氷の偏角について、Nansen 以来多くの観測があるが、今回の例では平均して（偏角の極端に大きなもの、すなわち +70° 以上と -30° 以上のものは採用しない）+17° となつた。この値は北極洋で得られている 25~30°¹⁾ という値に比べると小さいが、これは南極大陸の沿岸の影響によるものと思われる。

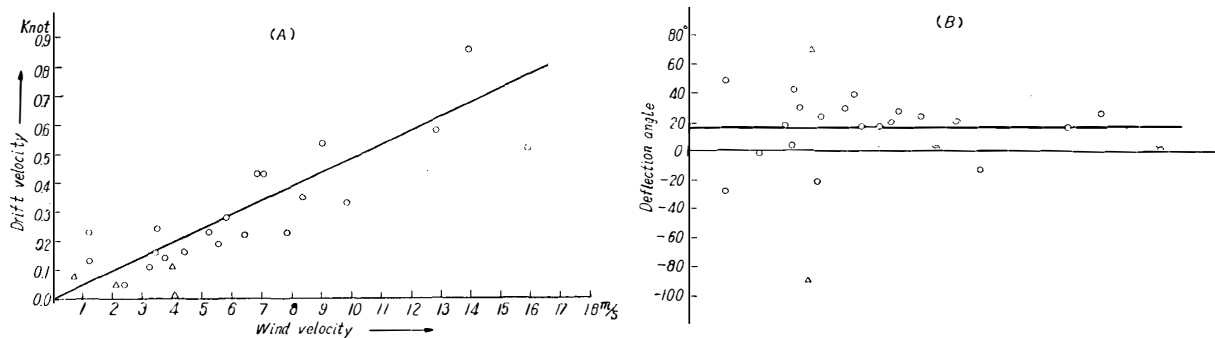
なお、宗谷の漂流期間約1ヶ月の間、日によつて偏角が違つかどうかを確かめてみた。第5図に、横軸に日付、縦軸に偏角をとつた。種々の丸印は偏角の plot であるが、図の中に示す

第2表 風と漂流との関係

Table 2. Relation between wind and drift.

C: drift velocity/wind velocity

I Date	II Wind		III Drift		IV Deflection angle	V C
	mean velocity	mean direction	velocity	direction		
Dec. 23-24	5.2 m/s	96°	0.23knot	245°	31	0.022
24-25	3.4	81	0.16	256	5	0.023
25-26	2.4	85	0.05	267	-2	0.011
26-37	2.1	250	0.05	335	94	—
27-28	4.0	76	0.11	346	-90	—
28-29	1.2	81	0.13	212	49	0.054
Jan. 29- 3	7.8	75	0.23	233	22	0.015
3- 4	1.2	26	0.23	233	-27	0.096
4- 7	0.7	88	0.08	301	-133	—
7- 9	4.3	55	0.09	256	-21	0.015
9-13	9.8	68	0.33	253	-5	0.017
13-14	4.1	272	0.01	21	71	—
14-17	4.4	92	0.61	248	24	0.018
17-18	3.7	108	0.14	259	31	0.019
18-19	3.2	99	0.12	261	18	0.019
19-20	5.5	93	0.18	233	40	0.017
20-21	7.0	118	0.43	269	29	0.031
21-22	6.4	102	0.22	265	17	0.017
22-23	6.8	107	0.43	257	20	0.032
23-24	3.5	113	0.24	250	43	0.040
24-26	5.8	85	0.28	248	17	0.024
26-27	8.3	96	0.35	272	4	0.021
27-28	9.0	103	0.54	262	21	0.030
28-29	15.9	71	0.52	246	5	0.017
29-30	12.8	87	0.58	250	17	0.026
30-31	13.9	90	0.86	241	29	0.031

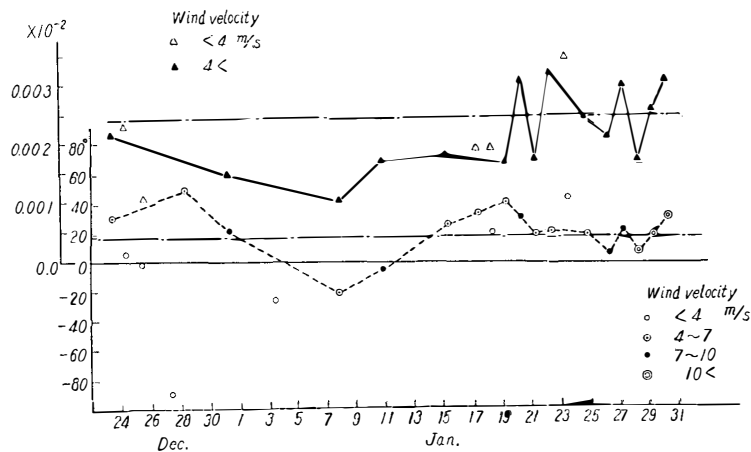


第4図 (A) 風速と氷の漂流速との関係 (B) 漂流の偏角と風速との関係

△ は偏角 ±50° 以上の場合を示す.

Fig. 4 (A). Graph showing drift velocity increasing with wind velocity.

(B). Graph showing the variation of deflection angle of ice drift.



第5図 上： C-curve, C の日による変化
下： 偏角の日による変化

Fig. 5. Upper: C-curve showing the variation of C during Dec. 24, 1957 and Jan. 31, 1958.
Lower: Graph showing the variation of deflection angle during Dec. 1957, and Jan. 1958.

ように、風速 4 m/sec 以上に対する点を破線で結んだ。風速 4 m/sec 以下は前述の如く偏角のばらつきが大きいので、ここでは plot するのみにとどめている。さて、破線は明らかに、日によつて偏角が変つたことを示している。すなわち 12 月のうちは偏角は 20~40° の間にあつたが、1 月のはじめから 13 日頃までは偏角は減少し、負の値になつてゐる。1 月 15 日頃から 25 日頃までは再び正の方向に増大し、25 日から 29 日頃までに再び減少している。この日付は航跡図よりみると、1 月初旬の極小は Prince Olav 海岸に沿うて流れてゐた流氷が、Lützow-Holm 湾の定着氷につきあたり、その流れる方向を西に大きく変える所に相当している。また 1 月 25 日から 30 日頃に現われる極小は、流氷が Riiser-Larsen 半島先端を通過する所に相当している。両極小とも、漂流が定着氷あるいは陸地によつて押えられたと考えられる。

このような特別な場所以外では、およそ 20~40°、すなわち平均して 30° 前後の偏角を示し、沿岸等の障害物の影響がほとんどない状態で風によつて流されたと考えてよいのではないか。

ii) 風速と漂流の速度の関係 第4図(A)に、風速と漂流速度の関係を示した。三角の点は偏角が平均偏角から ±50° 以上になつて、風による漂流と考えにくいので、これ等の点 4 箇所はこれから行なう統計的処理からは除いた。さて 1 目みると、風速と漂流速との間に 2 次曲線の関係がありそうなので

$$v = a + bV + cV^2 \dots\dots\dots(1)$$

[v: 漂流速 (knot), V: 風速 (m/sec), a, b, c: 係数]

の式につき、最小二乗法により各係数 a, b, c を求めてみた。

$$a = -0.0045 \pm 0.07$$

$$b = +0.049 \pm 0.025$$

$$c = -0.00030$$

a も c もともに非常に小さな数となり、第2表に示す風速と漂流速の関係は直線で結ばれ、しかもその直線は原点を通ると考えてよいことがわかった。すなわち両者の関係は

$$v = (0.049 \pm 0.025) V \dots \dots \dots (2)$$

で結ばれる。ここで **data** のばらつきが大きいので確かなことはいえないが、漂流速度は、風速が0になつたときは0になり、今まで常識的に考えられていたように、風がなくとも、あるいは逆の方向に風が吹いても、西向きに漂流するという根拠は、この **data** からは統計的には得られない。もちろん **Lützow-Holm** 湾付近の風は、西寄りの漂流を起こす方向にほとんど常に吹いているので、常に西向きの漂流があると考えてよい。なお、流氷の流れには海流も大いに関係していると考えてよいが、宗谷の **beset** された流氷の流れからは、西向きの定常的海流についても、0.07 knot 程度以上のものの存在は **probable** でないということになる。

さて、普通風速に対する漂流速度の比、すなわち $C = \frac{v}{V}$ を求めて漂流の特性とするが、今回の場合は

$$C = 0.049 \left(\text{knot} / \frac{\text{m}}{\text{sec}} \right) = 0.025 \text{ (同単位)}$$

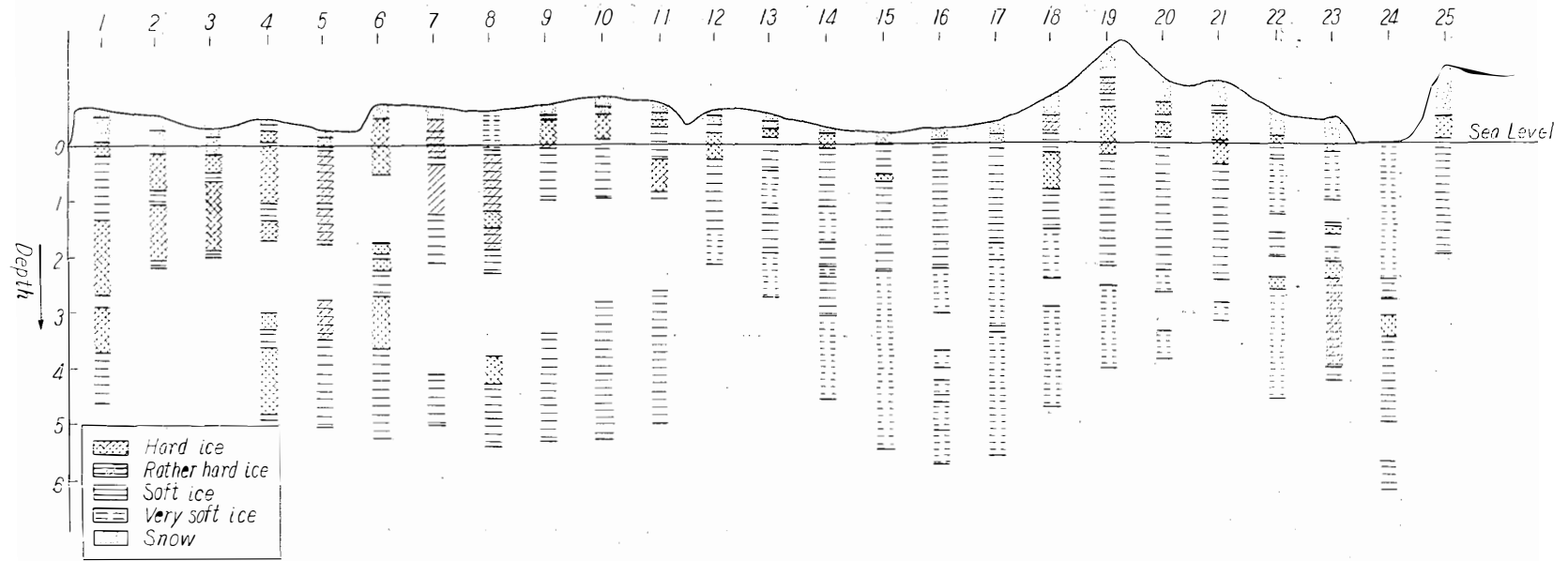
となる。

北極洋の場合²⁾ 0.02 前後の値を求めているが大体それと一致している。

第2表第5欄に C を示した。偏角について行なつたと同様に、日による C の変化を第5図に三角印をもつて示した。風速 4 m/sec 以上のものの点を実線で結んである。この図を見ると、1月20日以前に比べて以後は C の値が一般にやや大きくなつている。なお偏角の減少した1月上旬および **Riiser-Larsen** 半島沖通過の際には、前後に比べて C が減少して偏角の場合と矛盾しない傾向がみられる。

4. Hummocky pack ice の isostasy の問題

1月初旬から宗谷の **beset** した流氷は、大氷盤の形で1月下旬まで、外見上ほとんど変化がみとめられないまま西方へ漂流した。1月22日から23日にかけて、この大氷盤の平均の厚さを求めるつもりで、機械班の応援のもとに、ドリルを用いて穿孔し、厚さを測定した。その場所は宗谷の右舷側、船橋の下から右前方 45° の方向に 50 m の測線を取り、舷側から 1 m の所に第1の孔をあけ、それより 2 m 間隔に穿孔して厚さを測定した。一枚の氷の下に氷の層があり、さらにその下に氷盤があることが時々あるので、**drill** は長さ 7 m まで接続し、下方に氷盤がない事を確実に確かめた。厚さの精度は 5 cm、海面上、氷盤の表面の高さは簡



第6図 氷盤のボーリング柱状図

Fig. 6. Cross-section of pack ice near the ship resulting from boring columns.

単な levelling を実施した。第 6 図に drill の結果を図示する。氷の硬軟の度合は drill する時の手応えによつた定性的なものである。

図でわかるように、氷の間に水の層が入りこんでいる所があるが、これは上部の氷は薄く、下部の氷は隣りの氷塊の下部が ram 状に入りこんでいるものと考えられる。

測定の結果を第 3 表に示す。第 3 欄は海水面上の高さ $f(x)$ (原点からの距離 x による函数) を示す。海水面下の氷の厚さは同じく第 4 欄に $\varphi(x)$ で示す。この際氷の厚さは水の層を除いて氷の部分の和で表している。

第 3 表
Table 3.

No.	x	$f(x)$	$\varphi(x)$	$f(x)+\varphi(x)$	ρ_i	$\beta(\rho_i=0.907)$	$\beta(\rho_i=0.904)$
1	0	50	460	510	0.918	6.5×10^{-3}	2.1×10^{-3}
2	2	25	220	245	0.901	7.4	4.5
3	4	10	200	210	0.912	-5.7	-9.1
4	6	35	360	395	0.912	-4.8	-8.9
5	8	15	405	420	0.924	-17.6	-21.9
6	10	50	400	450	0.917	-10.8	-14.2
7	12	40	300	340	0.912	-6.0	-9.4
8	14	50	380	430	0.908	-1.5	-4.3
9	16	50	280	330	0.902	5.0	1.5
10	18	65	335	400	0.896	11.9	9.6
11	20	55	335	390	0.892	16.9	13.6
12	22	50	220	270	0.887	22.3	19.0
13	24	40	280	320	0.886	23.2	19.9
14	26	15	460	475	0.894	14.7	11.2
15	28	0	550	550	0.904	3.3	-0.2
16	30	5	500	505	0.910	-4.6	-7.7
17	32	15	560	575	0.916	-10.3	2.6
18	34	50	420	470	0.915	-8.3	3.2
19	36	110	365	475	0.906	1.1	-2.1
20	38	70	320	390	0.902	5.7	2.5
21	40	65	275	340	0.898	9.8	6.6
22	42	10	385	395	0.902	5.6	2.8
23	44	15	340	325	0.907	0.4	-2.8
24	46	0	275	275	0.909	-2.5	-5.9
25	48	45	200	245	0.907	0.0	-3.3

x : Horizontal distance from origin (m). Origin is the first hole.

$f(x)$: Height above the sea level (cm)

$\varphi(x)$: Depth under the sea level (cm)

$f(x)+\varphi(x)$: Ice thickness (cm)

ρ_i : Mean density of ice

β : Coefficient

さて、このように hummock した氷盤は、小さい面積の範囲内では、自重と浮力が釣合つているとは限らない。すなわち isostasy が成立つていないとはかぎらない。相当広い範囲をと

れば isostasy は成立しているはずであるから、現在氷厚を測定した氷は、どの程度の広さで isostasy が成立しているか吟味してみよう。

今、氷はどの部分も密度は一定と考える。原点から x の距離における氷厚は $f(x) + \varphi(x)$ となるから、次の式を考えよう。

$$\rho_i \int_0^x \{f(x) + \varphi(x)\} dx = (1 + \beta) \int_0^x \varphi(x) dx \dots\dots\dots (1)$$

- ρ_i : 氷の平均の比重
- ρ_w : 海水の比重 (1 とおく)
- β : 係数

原点から x までの範囲で isostasy が成立していれば $\beta=0$ となる。つまり β は isostasy が成立しているか否かを示す係数になる。

(1) 式を変形して

$$\beta = \frac{\rho_i \int_0^x \{f(x) + \varphi(x)\} dx - \rho_w \int_0^x \varphi(x) dx}{\rho_w \int_0^x \varphi(x) dx}$$

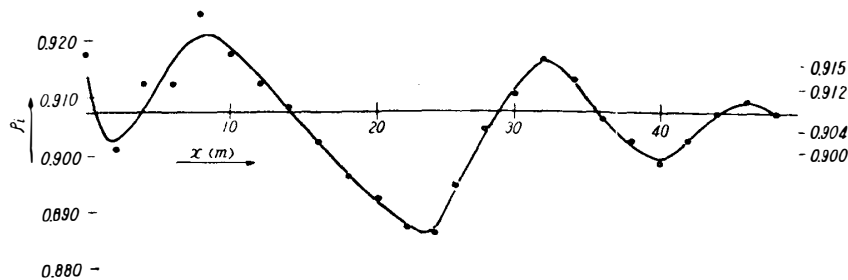
$\rho_w = 1$

$$\therefore \beta = \frac{\rho_i \int_0^x \{f(x) + \varphi(x)\} dx - \int_0^x \varphi(x) dx}{\int_0^x \varphi(x) dx} \dots\dots\dots (2)$$

さて、 $x \rightarrow \infty$ の時には当然 isostasy が成立するから $\beta=0$ すなわち (2) 式より

$$\rho_i = \frac{\int_0^{\infty} \varphi(x) dx}{\int_0^{\infty} \{f(x) + \varphi(x)\} dx} \dots\dots\dots (3)$$

つまりこの式から ρ_i が求められる。しかし今回は $x=48$ m までしか測定しなかつたので、 x の十分大きな値に対する ρ_i が求められない。しかし x が順に増大するにつれて、(3) より求めた ρ_i の変化の様子を調べてみれば、 $x=48$ m において求めた ρ_i が $x=\infty$ のときの ρ_i

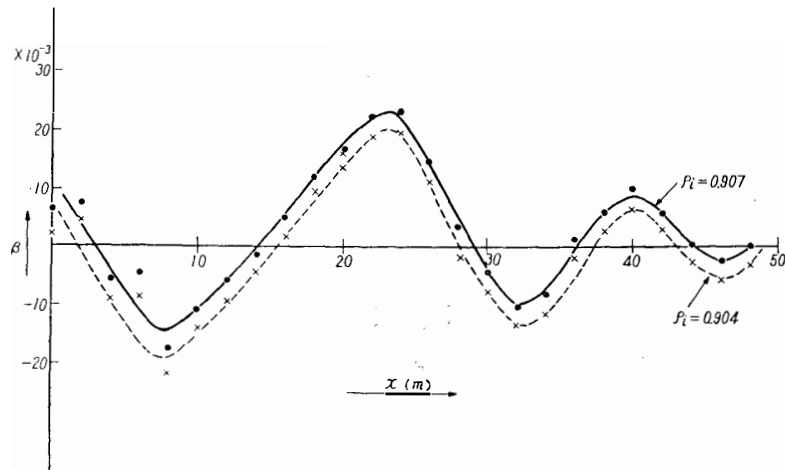


第7図 $\rho_i(x)$ -curve, ρ_i の x による変化を示す。

Fig. 7. $\rho_i(x)$ -curve showing the variation of ρ_i according to the increasing of x .

にほぼ近いものであるかどうか大体知ることができるはずである。さてこのような意図のもとに x の増加に対する ρ_i の変化を第7図に示した。

次第に ρ_i の振巾は減じ、 $x=48\text{ m}$ では $\rho_i=0.907$ となる。さらに ρ -curve から $x \rightarrow \infty$ の時は 0.904 に近い値に収まる傾向がみられる。 $x=48\text{ m}$ まででは $\rho_i=0.907$ であるので、まず最初に $\rho_i=0.907$ として、前述の β の変化 (x の増加に対する) を調べてみよう。第8図に示す如く x の小さい値に対しては、 β が大きく変動し *isostasy* は成立していない。しか



第8図 β -curve, β の x による変化を示す。

Fig. 8. β -curve showing the variation of β according to the variation of x .

し $x=40\text{ m}$ あたりに行くと、 β の変動の振巾は大分減じ、*isostasy* の成立に近づいていることがわかる。この測定は十分長い測線をとって行なうことをしなかつたので、 x の十分大きい値に対して、 β がどの程度の振巾をもつて収つてゆくか確かめることができなかつた。

次に $\rho_i=0.904$ として β を求めてみた。破線で結んだ曲線はそれであるが、 β の変化の傾向は $\rho_i=0.907$ の場合と違いはない。

β は x の増加につれ図のように規則的に減衰しつつ変化するから、 $x=48\text{ m}$ よりさき、 $x=70\text{ m}$ のあたりでは振巾は 0 に近づくと想像してよさそうである。すなわち $60\sim 70\text{ m}$ の範囲をとれば *isostasy* が成立していると考えてよさそうである。しかし測線が短かつたこと、測定例が 1 つであることから確定的なことはいえない。

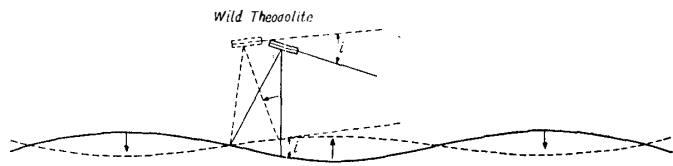
福富等の研究³⁾によると、オホーツク海で厚さ $12\sim 18\text{ cm}$ の hummocky ice では、 5 m 前後の範囲をとれば *isostasy* が成立するということであるが、南極洋の如く厚く著しく hummock している氷では、 50 m 近い範囲でも *isostasy* は未だ完全には成立していないということがわかつた。

なお、氷厚 $f_{(x)} + \varphi_{(x)}$ の平均は 3.89 m となる。

5. 氷盤の振動について

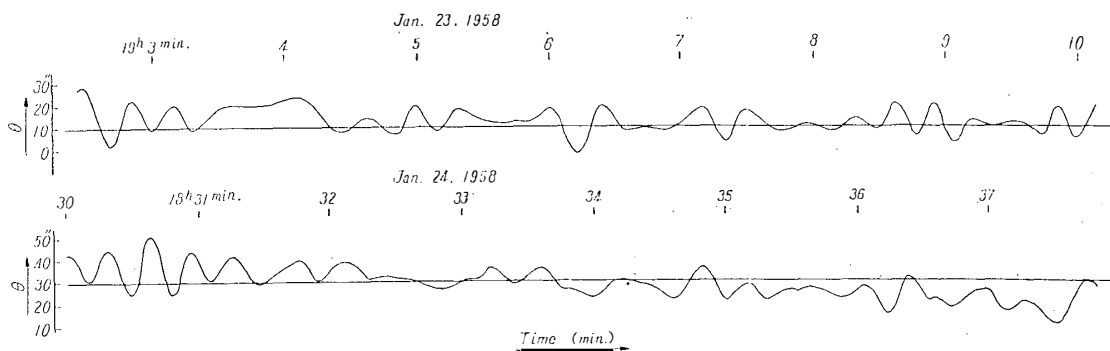
1月23日から数回、Wild 経緯儀を用いて宗谷付近の氷盤の傾斜観測を行なった。方法は第9図に示すが、はじめ Wild で十分遠方の著明な目標に十字線を合わせる。うねりのために氷盤が i だけ傾斜した場合は、目標に注目するためには i だけ Wild の鉛直角を修正しなければならない。うねりによつて目標も上下運動をするが、目標まで距離が十分大きくとつてあり、 i が小さいので測定値にはこの影響は入らない。

測定してみると、振動の週期が20秒弱で変化が早く、次々と極大と極小の角を読み取つて行くだけで精一杯であつた。測定結果を示す第10図にはその極値を plot し、あとは単絃振動になるように各点の間を



第9図 経緯儀による氷盤の傾斜の測定
Fig. 9. Measurement of inclination of ice floes with Wild theodolite.

結んだ。読み取りは極大、極小の値であるが、その変化は大體単絃振動を行なつてゐることが、Wild の視野内における目標の運動から推定された。



第10図 氷盤傾斜の測定結果
Fig. 10. Graph showing the motion of ice floe resulting from the measurement of inclination of ice floe.

傾斜の変化は主として週期が20秒付近のものであり、単絃的振動をすることから、うねりが氷海に入つてきておこされると考え、以下簡単な考察を試みる。

うねりの波形として

$$y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{L} \right) \dots\dots\dots (4)$$

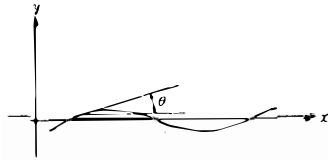
- T : うねりの週期
- A : 振 巾
- L : 波 長
- x : 第11図の如く波の進行方向に x をとる。

なお、うねりは重力波であるから⁴⁾

$$T = \sqrt{\frac{2\pi L}{g}} \quad (g: \text{重力加速度}) \dots\dots\dots (5)$$

の関係がある。

今、第 11 図の如くすれば y -curve の切線



第 11 図
Fig. 11.

$$\frac{dy}{dx} = \tan \theta \dots\dots\dots (6)$$

の θ が測定角度になる。

(4) 式を x で微分すると、

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{2\pi A}{L} \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{L} \right)$$

$$\therefore \tan \theta = -\frac{2\pi A}{L} \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{L} \right)$$

θ の最大角 θ_m に対して

$$\tan \theta_m = -\frac{2\pi A}{L}$$

$$\therefore A = \left| \frac{L}{2\pi} \tan \theta_m \right| \doteq 0.7 \text{ cm}$$

この際 L は (6) 式に $T=20 \text{ sec}$ を代入して約 600 m と得られるのを用い、 θ_m としては第 6 図から θ の最大値 $15''$ を用いた。

以上大体の order として 1 月 22 ~ 24 日 頃は週期 20 秒程度の波長 600 m 位のうねりが主として氷海に入っていて、その振巾も 1 cm 以下という非常に小さいものであつた。うねりにより氷盤が彎曲し、破壊されることがあるが、この程度の小さいうねりが氷盤を破壊するとは考えられない。この当時は氷縁までは約 30 km あつた。

さて、宗谷付近の氷盤上で重力測定が Worden gravimeter により行なわれたが、氷盤のうねりによる g の変化は (4) 式を t で 2 回微分して、

$$\ddot{y} = -\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 A \sin 2\pi \left\{ \frac{t}{T} - \frac{x}{L} \right\} = \Delta g$$

$$\Delta g_{max} = \left| \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 A \right| \text{ となる.}$$

$A=0.7 \text{ cm}$ の場合には、

$$\Delta g = 70 \text{ mgal} \text{ となる.}$$

第 6 図からわかるように、ある時には数十秒間にわたりうねりの振巾が非常に小さくなることがあるので、その時をねらつて重力測定ができるわけで、実際に重力班は測定を行なつた。

6. 結 語

1) 宗谷の氷海航行中および beset 中における宗谷付近の氷状観測を行なった。その結果を第 2 図に示した。

2) beset 中の宗谷の漂流から、流水の漂流について観察し、風速 (V) と漂流速度 (v) との間には、

$$v \text{ (knot)} = 0.049 \times V \text{ (m/sec)}$$

の式で表わされる直線関係が成立つことを示した。 v/V の比は同じ m/sec 単位を用いれば、0.025 となる。

漂流方向の風向からの偏角は、平均すると 17° となり、漂流に対する沿岸の影響の強いことがわかった。

なお、漂流する場所により、沿岸あるいは定着氷の縁の影響が偏角および v/V 比の変動となつて現われていることを示した。

3) boring の結果、宗谷が beset された氷盤は、平均の厚さ 3.9 m とわかった。そして著しく hummock しているために、小面積の範囲では isostasy は成立っていないし、径 50 m 位の範囲でも完全に isostasy が成立しているとはいえなかつた。多分径 60~70 m になつて isostasy が成立してくるのではあるまいか。

4) 1月 22~24 日頃、氷縁から 30 km 奥に位置する宗谷の付近では、沖から入るうねりによると考えられる振動は非常に減衰しており、主として週期 20 秒程度、振幅 1 cm 程度のものであることが、氷盤の傾斜観測から推定された。

5) 以上の観測測定は氷象観測班員および機械班員によつて行なわれたものである。ここに深く御礼を申し上げる。なおこの観測および測定は、常に永田隊長の御指導と御鞭撻に負う所が多かつたことを記し、ここに厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Н. Н. Зубов: Льды Арктики. 266.
- 2) ,, : 前掲
- 3) 福富孝治・楠 宏: 低温科学, 第 8 輯. 59.
- 4) H. V. Sverdrup, M. W. Johnson and R. H. Fleming: The Oceans (1954) 525.