



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	海氷の研究（第12報）：流氷の海水に対する相対漂流の一測定
Author(s)	福富, 孝治; FUKUTOMI, Takaharu; 楠, 宏 他
Citation	低温科学, 6, 85-93
Issue Date	1951-03-31
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/17485">https://hdl.handle.net/2115/17485</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	6_p85-93.pdf



## 海氷の研究 (第12報) 流水の海水に対する相對漂流の一測定\*

福富孝治, 楠 宏, 田畑忠司

(低温科学研究所 海洋学部門)

(昭和23年10月受理)

### I. 緒 言

北海道オホツク海沿岸では例年1月から5月にかけて流水が去来する。流水の運動は海潮流と風の影響によることはよく知られているが、海潮流によつては殆んどその通りに運動するが、風によつては風速にある reducing factor を乗じただけ運動し、その流向も地球自轉の影響を受けて風下の方向から多少偏差している。Nansen 博士<sup>1)</sup>その他北極海における観測によれば流水の漂流速度は平均して風速の約1/57で、流向は風下に対して平均28°右偏していることが知られている。田口竜造氏<sup>2)</sup>は昭和21年3月網走測候所の風力塔上から写真撮影法により沿岸の氷塊の運動を測定し、風速10m/sec前後の場合に漂流速度と風速との比として1/22位、流向は風下の方向と略々一致した結果を得た。Brennecke 博士<sup>3)</sup>は南極海その他の観測の結果から流水の風による運動は主として吹送流によることを指摘しているが、然し筆者等が過去数年に亘つて網走港、紋別港附近の海水について観察してきたところでは風圧流の影響も無視出来ない様に思われる。

一般に陸岸からの測定や天測による海水の漂流の測定結果では海潮流、吹送流、風圧流の綜合された影響が観測されるのであるから、この結果だけでは流水に及ぼすこれら個々の影響を検出することは不可能であり、流水に及ぼす風の影響を調べるにはどうしても吹送流と風圧流とを別々に観測することが望ましいのである。斯様な見地から筆者等は昭和23年4月21日から25日に亘る5日間、日本海獣会社の永勝丸(20屯)に便乗して、オホツク海北海道岸沖の流水について先ず風による流水の表面海水に対する相對運動の測定を行つた。本年は例年より流水の経過状態が早目で既に流水時季の終りに近かつたので氷野には出会わず、流水は大きいものでせいぜい一辺の長さが20~30m程度の氷岩、氷盤であつたので氷野についての観測は出来なかつた。又時化のために残念ながら氷岩、氷盤についても二三の観測しか出来なかつた。然しそれでも流水の水に対する相對運動が従来知られていた漂流の値と同じ

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第111号 昭和23年10月15日、日本海洋学会に於て発表。

程度のもので決して無視出来ないことが判つた。以下にその研究結果の概略を述べる。

尙観測に際しては、日本海獣会社の方々特に調査課長内田一三氏、永勝丸船長熊谷幸次郎氏並に乗組員の方々の御援助を頂いた。こゝに厚く感謝の意を表する。

## II. 測定方法

風に起因した流水の表層水に対する相対的運動（以下簡単に相対流と書く）の測定は次の2つの方法によつて行つた。

### 1) 測流浮標を用うる方法

運搬に便なるために第1図に示した小型の測流浮標を作つて用いた。即ち、直径2~3cm、長さ約3mの竹竿の中央より稍上部に抵抗板として松板(30×60cm)を二枚互いに直角に組合わせて取付け、竿の下部には袋に小石を詰めて重錘とし、丁度竹竿の上部約1mが水上に出るように釣合わせたものである。尙竿の上部に赤色旗(20×30cm)を標識として取付けた。水上の露出部分は至つて少いから風による抵抗は無視できる程度であり、従つて水中の抵抗板の作用で表層水の運動の通りに漂流する。

定常の状態に於て氷塊の運動は海潮流、吹送流及び相対流（主として風圧流）の合成流であり、測流浮標の運動は海潮流と吹送流との合成流であるから、氷塊と浮標との位置における海潮流、吹送流が等しいと考えられる程度の隔りの範囲では、測流浮標に対する氷塊の相対的運動を実測すればこれは相対流（主として風圧流）を示す筈である。

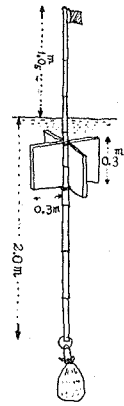
斯様な原理から観測に際しては測流浮標を相対流の測定をしようとする氷岩又は氷盤の風上の方に投込み、その水上に出来るだけ長く基線  $\overline{AB}$  を設けその両端 A, B に prismatic compass を設置して1分ごとに両点から同時に測流浮標の標識旗を狙つて方位角を測定して測流浮標に対する氷の相対運動を求めた。又携帯用の風向風速計を同じ氷上の C 点に設置して浮標方位角の測定と同時に風向及び1分間の平均風速を求めた。用いた風速計については予め無風の折にこれを自転車に水平にとりつけ一定距離を往復して自転車の速さと風速計の読みとからその風速の読取値に対する補正値を求めて置き、実測に際して補正を行つた。

又測定時間中に氷盤の廻転が起つていたとすれば誤差が伴うのでこの有無をしらべるために基線の両端 A, B から折々互いに見通してその方位角を讀んでその変化を調べたが実際の場合にはその影響は小さくて省略出来る程度であつた。

測流浮標が氷塊のごく近くにある間は氷塊の水に対する相対運動に伴う渦流が存在し、浮標が不規則な運動をするから適当な距離だけ離れてから測定を始めることが肝要である。

### 2) 測深線の傾斜角度による方法

細い糸の下端にとりつけた抵抗の大きい重錘を船から水の表層につり下げた場合、船と海



第1圖  
測流浮標

の表層との間に相対的に流れがあれば重錘に働く水の抵抗により線は直線的に傾斜する。

重錘の水中の重量を  $W$ 、重錘に働く抵抗の係数を  $C$ 、流速を  $v$ 、傾斜角を  $\theta$  とすれば福富<sup>4)</sup>の研究により

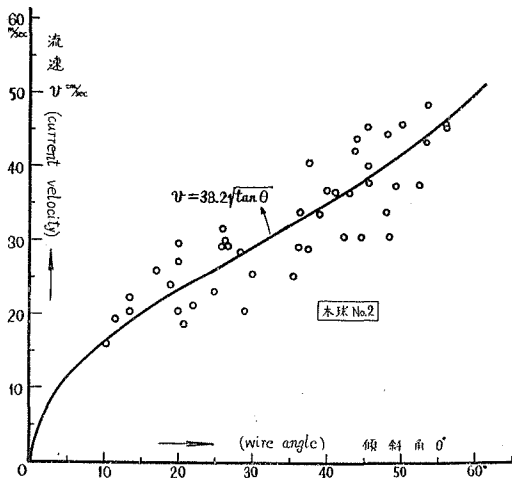
$$v^2 = \frac{W}{C} \tan \theta \quad \dots\dots\dots (1)$$

なる関係がある。従つて  $\frac{W}{C}$  は常数であるからこれを  $k^2$  と置けば

$$v = k \sqrt{\tan \theta} \quad \dots\dots\dots (2)$$

で表わされる。即ち、常数  $k$  を予め決定して置けば傾斜の角度と方向とから逆に流速、流向を推算することが出来るわけである。

この原理により測深線を流水塊の縁辺で氷の底面下 2 ~ 3m の深さに重錘が沈下する様に



第 2 圖 測深線の傾斜角と流速との検定曲線

入れれば、その傾斜及び方向から流水の表層水に対する相対運動（主として風圧流）が求められることは第 1 の方法と同様である。

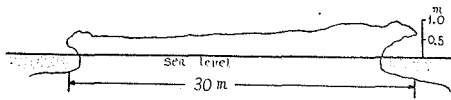
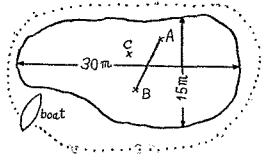
筆者等の用いた測深線は直径 0.52mm の細い釣糸で、重錘は常数  $k$  を大きくするために内部に鉛を鑄込んだ木球をエナメル塗装したもので、その直径は 4.86 cm、質量は 72.64gr である。常数  $k$  を決定するために出発前網走河口において舟の上から種々の流速を示す場所での表層に重錘の部分を下せしめて傾斜角  $\theta$  を測定し、流速  $v$  は木片を川に投入して

一定距離を流下する時間を秒時計で測つて求めた。第 2 図は横軸に傾斜角をとり、縦軸に流速  $v$  をとつてその結果を図示したものである。川の流れがその場所を僅か距たると可成り不整であつたために実測値はばらついているが、 $k$  の値としては近似的に 38.2 (cm/sec) が得られた。

### III. 測定の結果及び論議

測定は昭和 23 年 4 月 23 日、24 日の兩日、距岸 10 湮位沖合（水深凡そ 150 m）の流水帯中の氷盤、氷岩について行つた。緒言に述べた様に流水終期に近かつたため氷野には全く出会うず、やつと探し当てた流水群（氷量 5 ~ 10 % 位）もその氷の大きさが皆小さく、筆者等はその大なるものを選んで実測を行つたのである。4 月 22 日、23 日のオホツク海北海道沖の海面状況は 0 ~ 3 位で流水帯にとりつた時の状況は 2、流水帯内は 0 を示した、当時沿岸 2 ~ 3

渚では表面水温は4~8 Cで塩分は31.4~32.4%, 沖には所々海水の融解水と思われる水温は



第3圖(A) 氷盤の見取圖

1°C 内外塩分は周囲より小さい水塊が記録された。流水帯内の表面水温は 0.4~0.7°C, 塩分は 31.4%位, 流水の Cl 含有量は 0.06%位であつた。風は 23 日の日中は WSW 4m/sec 位であつたが夜半以後は ENE 乃至 E8~10m/sec に変わり, 海面状況も流水帯内で 2, 流水帯外で 4~5 を示した。



第3圖(B) 測流浮標に依る流水の相対流の観測と當時の氷の状況 (右方の2名はプリズマチックコンパスによる浮標の方位測定, 左方の1名は風速計による風向風速の測定)

第I表 浮標方位の時間的变化

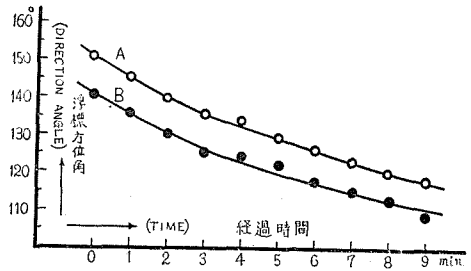
測点 番号	経過 時間	風速 m/sec	風向*	浮標の方位角*		平滑曲線からの讀取値	
				∠A	∠B	∠A	∠B
1	0	8.5	67.5	151°	140.8	151°	141°
2	1	8.5	67.5	145.5	136.9	145.5	135.5
3	2	8.1		140	130.9	140	130
4	3	10.3		136.5	125.5	136	126
5	4	9.6		134	124.2	132.5	122.5
6	5	10.2		129.5	122.3	129.5	123.5
7	6	8.5		126.5	117.8	126.5	117.5
8	7	8.7	67.5	123.5	115.3	123.5	115
9	8	8.7	67.5	123.5	113.9	123.5	112.5
10	9			118.5	109.9	118	110
平均		m/sec 9.0	67.5	*(風向, 方位角は N より時間廻りに計つた)			

先ず測流浮標を用いた測定結果について述べる。測定した流水は第3圖にその略図を示した様にいたつて平坦な氷盤で大きさは凡そ15m×30mで海面上の平均高度は70cmであつた。測定は24日11時頃であるが、測定時の平均風速は9.0m/secで風向はENEであつた。

氷盤上にとつた基線 AB の長さは 7.40m である。基線の両端 A, B から測流浮標の方位角∠A 及び∠B の測定値 (北から時計廻りに測つた角) 及び風速風向の測定値は第I表に示した。∠A 及

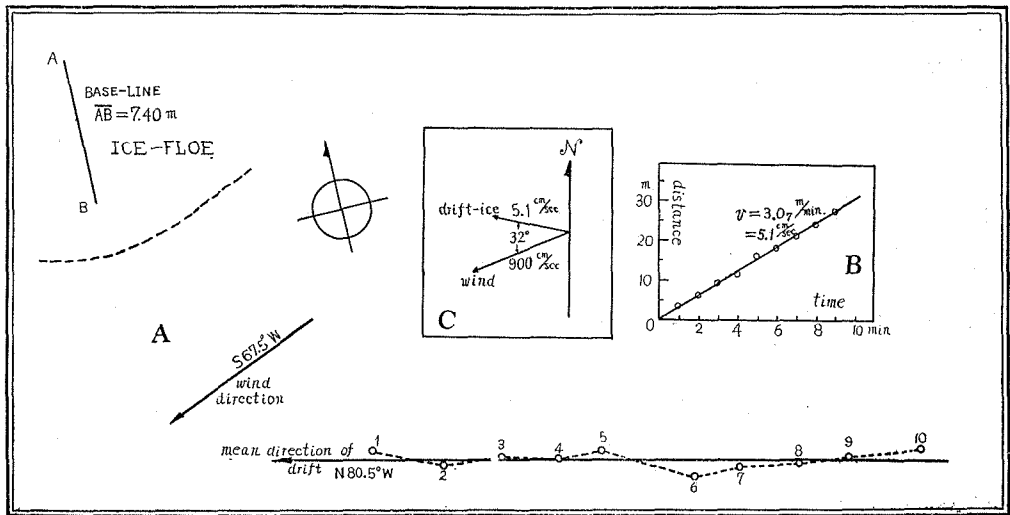
び∠Bを縦軸に、経過時間を横軸にとつてその時間的变化を图示すれば第4図が得られる。

測定当時は 10 m/sec に近い風のため小さい氷盤上では多少の動揺があつたために Compass にもその動揺が傳わり、又 1 分隔きの測定であつたので磁針の振れが damp する迄待つ事なしに多少の振れの中心を推測した影響などで読取の方位角には多少の誤差が含まれているものと考えられるので、個々の測定値を其儘用いず、第4



第4圖 測流浮標方位角度の時間的变化

図中に示した様に読取値を平滑曲線で結んでそれについて方位角を求め、作図によつて 1 分隔きの浮標の位置を求めた。これを第5図(A)に示した(この図ではあたかも流氷塊が不動で浮標が流されている様に表わされている)。この図から判るように流氷塊は浮標に対し或る方向に略直線状に移動して居り、その平均



第5圖 (A) 浮標の位置及び漂流方向を求めた圖  
(B) 風壓流の大きさを求めた圖  
(C) 風系及び風壓流のベクトル圖

方向は図中に示した様に磁針方位で N80.5°W であり、風下の方向は S67.5°W であつたから、氷の漂流方向は風下の方向から右へ 32° 偏していたことになる。第1表及び第5図(A)から判るように基線の長さが小さいので浮標からの距離が遠くなれば方位角の測定誤差は一定範囲内であつても位置の誤差が当然大きくなる。従つて流速を求める際にはその影響を取去るために順次に第1点から各点迄の距離を求めて之を縦軸にとり、横軸に経過時間をとると第5図(B)に示す如く直線の関係が得られるから、この直線の傾斜を求めて平均漂流速度を計算した。その大きさは  $v = 5.1 \text{ cm/sec}$  で平均風速  $V = 900 \text{ cm/sec}$  に対する比をとれば、 $\frac{v}{V} = \frac{1}{177}$  である。

以上の結果を要約すれば第 II 表の様になる。

第 II 表 測流浮標により求めた氷盤の相対流

測定 No.	月日時	氷 盤		平均風向	平均風速 (V)	$\frac{v}{V}$	偏角*	流 氷		記 事
		平均流向	平均流速 (v)					種 類	大 き さ	
1	IV月24日 11h	N80.°5W	cm/sec 5.1	67.°5	cm/sec 900	1/177	+32°	氷 盤	$\begin{matrix} m & m \\ 15 \times 30 \\ \text{水面上高さ} \\ \text{平均} & 0.7m \end{matrix}$	海面状況 2

\* (風下の方向に対する流向の偏角, 右偏を正とする)

次に測深線の傾斜から風圧流の流向, 流速を求めた結果について述べる。測定した氷塊は上に掲げた場所と同一海域のものであるが, 何れも表面の凹突の多い氷岩であつた。測定の結果や氷塊の大きさ等は第 III 表に示した。

第 III 表 測深線の傾斜から求めた氷岩相対流

測定 No.	月日時	平均傾斜角	氷 岩		風向	風 速 (V)	$\frac{v}{V}$	偏角*	流 氷		記 事
			平均流速 (v)	平均流向					種 類	大 き さ	
2	IV月23日 15h	16.°6	cm/sec 21.0	—	248°	cm/sec 404	1/19	—	氷岩	$\begin{matrix} 15m \times 25m \\ \text{水面上高さ} \\ 1.5 \sim 3m \end{matrix}$	水温 0.4°C 快 晴 海面状況 0
3	IV 23 17	1.6	5.2	—	281	396	1/79	—	氷岩	$\begin{matrix} 15 \times 30 \\ 1.2m \end{matrix}$	水温 0.4°C 水中Cl=0.06% 海面状況 0
4	IV 24 10	6.7	12.9	274°	79	812	1/63	+16°	氷岩	(3) と同 じもの	海面状況 2

\* (風下の方向に対する流向の偏角 右偏を正とする)

この方法では流向即ち測深線の傾斜の方位は傾斜角が小さい場合には測定困難であり, 波浪があつて測深線に動揺がある場合にも読取りがあまり正確でない。即ち, No. 4 の偏角はあまり信用出来ない。この測定は流水の縁辺で行われなければならないが, 第 3 図に見られる如く春先になつて氷塊は弱くなつて居り, その縁辺の水面の部分は深く侵蝕せられているので危険である。筆者の一人は測定中氷が割れて転落した。非常に大きい氷でなければ第 2 の方法より第 1 法の測流浮標による測定が種々の点から正確な結果が得られると思う。

甚だ少い資料であるが以上の測定結果により氷盤, 氷岩の海の表層水に対する相対流は風速の 1/20~1/180 の程度であり, しかも流向は風下の方向に対し右に 32' にも達する偏角が起り得ることが判つた。Nansen 博士等により観測せられた流水の漂流と比較して流速, 流向ともに略々同程度の大きさであるから, 相対流即ち主として風圧流も吹送流の影響と同程度に流水の漂流の要素として無視出来ないことが判る。

次に斯様な流水の海水に対する相対流の原因としては,

i) 氷の水上部分に対する風圧と水の抵抗と地球自転の転向力とに原因して生ずる。

(風圧流)

ii) 風圧の影響ではなく, 海流があつて, この流れに浮んだ流水が地球自転の転向力と水の抵抗力とによつて相対運動をする。

の2つの場合が考えられる。

観測せられた相対流が以上の2原因の何れに主としてよつてゐるかは、当時の海流を測定して無く又測定資料が極めて少ないのではつきりしないが、以下に述べることから風圧流が主なものであるか、第2の場合であるとしても少くとも吹送流に基づく相対流である様に思われる。この問題<sup>5)</sup>に関しては次報にもう少し詳しく議論する。

風圧流の流速と風速との比は表面の平坦な氷盤では小であり、凹突の多い氷岩では大きいことは理論的に推察される。即ち今偏角は問題外として、地球自転の影響を無視すれば流氷の風圧流速 $v$ と風速 $V$ との比は近似的に

$$\frac{v}{V} = k' \sqrt{\frac{S}{S_w}} \dots\dots\dots(3)$$

で與えられる。但し、 $k'$ は常数、 $S$ は風に対する氷の水上部分の受圧面積、 $S_w$ は風圧流に対する水中部分の受圧面積である。氷を簡単なために円盤状(半径を $r$ 、平均の厚さを $d$ とする)であると仮定すれば前報<sup>4)</sup>より

$$\frac{S}{S_w} = \frac{\beta r + \frac{2\alpha d}{\pi}}{r r + \frac{2(1-\alpha)d}{\pi}} \dots\dots\dots(4)$$

となる。こゝに $\beta, \gamma$ は夫々氷の上面、下面における氷の凹突の度を表わす常数、 $\alpha = \frac{\rho_w - \rho_i}{\rho_w}$ で $\rho_w, \rho_i$ は夫々海水及海氷の密度、 $\pi$ は円周率である。

今氷の大きさ(厚さ、半径)は全く相等しく、下面の凹突の度も相等しいが、上面の凹突の度が異つてゐる二つの流氷を考えれば(4)式から、 $\beta$ が大即ち表面の凹突の大なる氷岩の方が、 $\beta$ が小即ち凹突の少ない氷盤よりも $v/V$ が大である。実測した流氷は第II表、第III表に示した様に同じ程度の大きさであるが、No. 1はNo. 2~No. 4に比較して $\beta$ が小である。 $\gamma$ の値は判らないが、表面の小凹突に対しては所謂 isostasy は成立つていないことは氷丘脈に関する研究<sup>7)</sup>の結果から明らかである。即ち下面では上面の緩漫な起伏のみが表われているのであるから、 $\gamma$ は上述の流氷の場合先ず同じ程度と考えれば定性的にはNo. 1がNo. 2~No. 4より小なることが推定されるのであつて、傾向としては観測値と一致している。海流に浮んだ流氷が地球自転の轉向力と水の抵抗力だけを受けて、運動する場合には其の相対流速は上表面の形には無関係である筈であるから、上の事実から風圧流が相対流の主要部分であることは推察出来る。又仮に第2の場合であるとしても、第III表のNo. 3, No. 4の場合に於て同一の氷岩が風速が大なる場合に相対流が大きいことから、少くとも吹送流に原因した相対流であろうと考えられるのである。これらの問題を定量的に論ずるにはどうしても個々の流氷塊についてその大きさや上面、下面に於ける受圧部分の形状面積を詳細に知ることが必要である。Sjoulejkin, Sverdrup は流氷の漂流速度と風速の比が風速の増加につれて大となることを指適している。今度の風圧流の測定に対しては数が少くて断言は出来ないが、No. 3, No. 4に示された同一流氷塊が風速が大なる場合に $v/V$ の値が大と

なるという定性的には相似な結果を示している。此度の観測においてはこれらの点に対しては資料が不充分であつた。将来は此等の点に留意して多くの観測を行いたいと考えている。

## 摘 要

1. 昭和23年4月オホツク海上に於て風による流氷の海水に対する相対流の観測を行つた結果流氷塊の漂流の一要素として風による相対流が無視出来ないことを二種類の測定方法(測流浮標による方法並に測深線の傾斜から求める方法)により確かめた。

2. 流氷の相対流の流速が氷の表面の凹突の度により異なるが、風速4~10m/secの範囲で風速の $\frac{1}{20} \sim \frac{1}{180}$ 位であつた。流向は風下の方向から右に最大32°位偏することが判つた。

3. 相対流の流速が氷の表面の凹突の度により異なることから、観測せられた相対流は主として風圧流に原因するものと推察した。尙次報にもう少し詳しく吟味を行うつもりである。

4. 今回は初めての試みであり、且つ流氷時期を誤つたり、時化にあつたりして充分多くの測定結果が得られなかつた。将来引続いて観測を行う予定であるから、多くの資料を得て詳細な論議を行い度いと思う。又風による氷の漂流についての理論的考察は引きつゞいて次報<sup>10)</sup>に報告する。

本研究に要した費用の一部は文部省科学研究費によつた、ここに記して厚く感謝の意を表する。

## 文 献

- 1) Nansen, F. 1902 The Oceanography of the North Polar Basin. The Norwegian North Polar Expedition. 1893—1896. Scientific Results. 3, 9—10. 427.
- 2) 田口龍造 1947 流氷調査報告 函館海洋气象台 流氷の漂流と風との関係 (流氷調査報告). 中央气象台研究速報 第23号 9—13.
- 3) Brennecke, W 1921 Die ozeanographischen Arbeiten der Deutschen Antarktischen Expedition. 1911—1912. Arch. d. Deutsch. Seewarte. 39.
- 4) 福富孝治 1943 測深線の傾斜から風圧流又は海流の近似的推定法. 日本海洋学会誌 2, 3, 19—29.
- 5) 福富孝治 (印刷中) 海水の研究 (第13報) 氷量の小なる海に於ける氷塊の風による定常漂流 低温科学 7,
- 6) 福富孝治 1943 海水の研究 (第1報). 亞庭灣の海水についての二三の観察. 日本海洋学会誌 3, 2, 79—83.
- 7) 福富孝治, 楠 宏 (印刷中) 海水の研究 (第15報) 氷丘脈の構造と生成 低温科学 8
- 8) Sjouleikin, W. W. 1938 The drift of ice-fields. Compt. Rend. Acad. Sci. de l'URRS., 8.
- 9) Sverdrup, H. U. 1928 The wind-drift of the ice on the North Siberian Shelf. The Norwegian North Polar Expedition with the "Maud", 1918—1925. Scientific Results. Bergen. 4—1, 1—46.  
Sverdrup, H. U, 1928 Die Eistrift im Weddelmeer. Ann. der Hydrog. u. maritimen Meteorol. 56—9, 265—274.

- 10) 福富孝治 海氷の研究 (第13報) (印刷中) 氷量の小なる海に於ける氷塊の風による定常漂流.  
低温科學 7
- 福富孝治 海氷の研究 (第14報) (印刷中) 氷海に於ける定常吹送流と氷の風による定常漂流.  
低温科學 7

---

Study of Sea-Ice. (The 12th Report).

Some Measurements of the Wind-Pressure Drift of Sea-Ice in Open sea.

Takaharu Fukutomi, Kou Kusunoki and Tadashi Tabata.

The writers carried out some measurements of the relative motions of sea ice to the surface sea-water due to wind in 10 miles off the Okhotsk sea coast by two methods; the one is a method by the current measuring drift-buoy and the other is that by the inclination of lead-line. And they ascertained that the velocity of the relative motion changed in moderate extents by the difference of roughness on the upper surface of ice, and obtained  $1/20$ — $1/180$  (for wind velocity 4—10 m/sec) as the ratio of the velocity of the relative motions to the wind velocity and  $16^\circ$ — $32^\circ$  as the clock-wise deflection angle of the direction of the motions measured from the ice side. They considered from the above-mentioned results that the chief cause of the relative motion may be the wind pressure upon the parts of ice above the sea level. As the observed velocity of the relative motions of ice to sea-water attained to the same order with those of the ice-drifts that observed by many authorities in the past, the writers noticed the necessity of taking the effects of the relative motion of ice (that is, the effects of wind-pressure drift) into consideration in the theoretical study of the drift-ice as same as the effects of the drift current of sea-water. The theoretical study may be reported in the next papers.