



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	海氷の研究（第14報）：氷海に於ける定常吹送流と氷の風に依る定常漂流
Author(s)	福富, 孝治; FUKUTOMI, Takaharu
Citation	低温科学, 7, 25-37
Issue Date	1951-09-05
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17497
Type	departmental bulletin paper
File Information	7_p25-37.pdf



海水の研究 (第14報)

氷海に於ける定常吹送流と氷の風依る定常漂流*

福 富 孝 治

(低溫科學研究所 海洋學部門)

(昭和24年3月受理)

I. 緒 言

¹⁾ 前報において、水量の少い海に定常風が連吹した場合、海流吹送流以外に風壓の影響を考慮して、その氷の漂流につき理論的考察を行つた。本報告においては、一般に海面の任意の面積が流氷で覆われていた場合に、定常的な風の連吹によつて起る氷の定常漂流につき吹送流と氷の風壓流の影響を考慮して理論的考察を試みた。

氷海の定常吹送流に関しては、Ekman 博士、Fjeldstadt 博士、Sverdrup 博士、野満博士、日高博士等の理論的研究がある。Fjeldstadt 博士の²⁾理論は、Ekman 博士の式に海の表面において氷の影響として表面吹送流 W に比例する抵抗を考えたのであるが、Sverdrup 博士は、³⁾これを一般に表面吹送流の或る函数 $F(W)$ とおいた。野満博士は、⁴⁾この抵抗は $\frac{dW}{dt}$ に比例すると考えた。しかしここでは定常状態を考えているのであるから、野満博士の場合は別問題である。日高博士は、⁵⁾氷の抵抗というものを考えなくても、氷海における氷の漂流の偏角が Ekman の理論値 45° より小であることは、渦粘性係数が海の表面から下方に増加するとすれば説明されることを注意した。

とにかく、従來の理論は、氷の漂流は表面吹送流と同一であるとの考えに立脚しているように思われる。筆者は前報⁶⁾において、氷とその下の海水との間には主として風壓に基づく相對流が存在することを指摘したが、かような場合の氷の漂流、表面吹送流について考察を試みたのであつて、従來の結果と吹送流についても異なつた結果を得た。

II. 理 論

一定海流のない廣く深い海の表面の或る面積が流氷により覆われている場合に、定常的な風が連吹して、吹送流も流氷の漂流も定常状態にあるものとする。この場合は個々の流氷塊の運動を論ずるのが目的でなく、全體としての氷の運動を論ずるのが目的であるから、流氷は互

* 北海道大學低溫科學研究所業績 第123號。昭和23年10月15日 日本海洋學會において發表。

の間では相対運動はない、即ち大きさや上面、下面の形状が皆相等しいものとする。今、

S : かような海面の面積

S_I : S なる海面中の氷の占める水平総面積

S_A : S なる海面中の露出海面の面積、従つて $S_A + S_I = S$ である。

S_i : 1 流水塊の水平表面積

S_i' : 風に對する 1 流水の受壓面積

S_i'' : 水流に對する 1 流水の受壓面積

ρ_a : 空氣の密度

ρ_w : 海水の密度

ρ_i : 氷の密度

η : 平面で境する 2 つの流體、または流體と固體との間の摩擦係數で、實驗によれば 0.002~0.0025 ぐらいの値である。

η' : 流體の中に種々の物體を置いたとき渦等を生ずるために働く抵抗の係數で、水理學によれば 0.4~0.8 ぐらいの値である。

T : 海面の單位面積に働いて海水を運動せしめようとする tangential force.

ν : 風下の方向から時計廻りに測つた T の偏角

M : 1 流水の質量で $M = S_i d \rho_i$ である。

d : 流水の平均厚

ω : 地球自轉の角速度

φ : 緯度

V : 風速

v : 流水の漂流速度

W : 流水の表層海水に對する相對流速 (主として風壓流速)

W' : 吹送流速

α : 風下の方向から時計廻りに測つた氷の漂流方向

β : 風下の方向から時計廻りに測つた相對流の方向

γ : 風下の方向から時計廻りに測つた吹送流の方向

μ : 海水の渦粘性係數

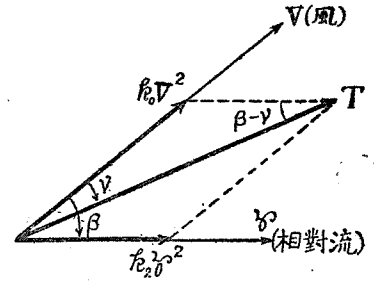
とする。

(1) 海水の運動

先ず海水の運動を考える。海水を運動せしめようとする力は、露出海面に働く風の張力と流水の表面海水に對する相對運動による張力との 2 力である。従つてこれ等の 2 力によつて惹起された水の運動は、露出海面の部分と流水下の海水部分とで多少異なる結果、海の表層では渦流を生じて複雑な運動をするはずであり、數學的取扱いは困難である。しかしながら、海水面

下少し入つた所では一樣な流れを生ずるものと考えられるから、複雑な表層部分は取除いて、次のような簡単な考察を行うことにする。即ち、海面下少し入つた所に海面に平行な一平面を考へて、この平面上には上に述べた2力が平均されて一樣に働くものと考えた。

故にこの平面の單位面積に働く力は第1圖に示したように、風下の方向に働く $k_0 V^2$ と相對流向に働く $k_2 \mathcal{W}^2$ とで、その合力が T である。但し



第 1 圖

$$k_0 = \frac{k_a S_A}{S} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} (1)$$

$$k_2 = \frac{1}{S} (k_w n S_i + \lambda k'_w n S_i'') = \frac{S_i}{S} (k_w + \lambda k'_w \frac{S_i''}{S_i})$$

$$\left. \begin{array}{l} k_a = \eta \rho_a, \quad k_w = \eta \rho_w \\ k'_a = \eta' \rho_a, \quad k'_w = \eta' \rho_w \end{array} \right\} (2)$$

で、 λ は 0 から 1 の間の値で、 $\lambda=1$ の場合は渦流による energy loss のない場合で、 $\lambda=0$ の場合は渦流による energy loss が完全に存在する場合である。又 n は S 中の流氷塊の數である。従つて第1圖において

$$\frac{T}{\sin \beta} = \frac{k_0 V^2}{\sin(\beta - \nu)} = \frac{k_2 \mathcal{W}^2}{\sin \nu} \quad (3)$$

なる關係があるから、

$$\frac{k_0}{k_2} = c', \quad \frac{\mathcal{W}}{V} \equiv x, \quad \frac{x^2}{c'} = X' \quad (4)$$

と置けば、tangential force とその偏角は次式で與えられる。

$$T = k_0 V \sqrt{1 + 2 X' \cos \beta + X'^2} \quad (5)$$

$$\tan \nu = \frac{X' \sin \beta}{1 + X' \cos \beta} \quad (6)$$

従つて、吹送流と吹送流向は Ekman 博士によれば、

$$W = \frac{T}{\sqrt{2\mu\rho_w\omega \sin \varphi}} \equiv \frac{T}{\rho} \quad (7)$$

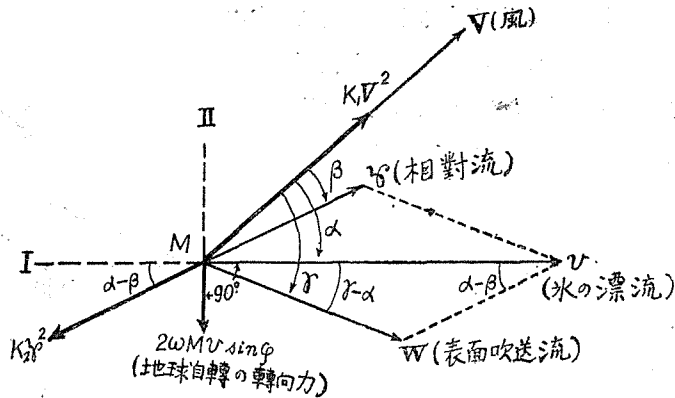
$$\gamma = \nu + 45^\circ \quad (8)$$

となるのである。

特殊な場合として、全海面露出の場合には $\frac{S_i}{S} = 0$ であるから $T = k_0 V^2$ 、 $\gamma = 45^\circ$ となり、通常よく知られた場合に一致し、全海面氷に覆われている場合には $\frac{S_i}{S} = 1$ であるから $T = k_2 \mathcal{W}^2$ 、 $\gamma = \beta + 45^\circ$ となる。

(2) 流氷の運動

次に氷の運動を考える。1つの流氷塊に働く力は第2圖において、氷の上面に働く風の抵



第 2 圖

抗力 $K_1 V^2$ と、氷の下面に働く水の抵抗 $K_2 W^2$ と、氷の漂流方向に對し、北半球では右に直角に働く地球自轉の轉向力 $2\omega Mv \sin \phi$ の 3 力である。但し、

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= k_a S_1 + k_a' S_1' \\ K_2 &= k_w S_1 + k_w' S_1'' \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

である。今、

$$c \equiv \frac{K_1}{K_2}, \quad b \equiv \frac{2\omega M \sin \phi}{K_2} \quad (10)$$

$$\frac{v}{V} \equiv u, \quad \frac{W}{V} \equiv y \quad (11)$$

と置き、第 2 圖において I, II 方向の力の釣合と、相對流、氷の漂流、表面吹送流の 3 者の間の關係を求めると、前報の場合と同様に次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} c \cos \alpha &= x^2 \cos (\alpha - \beta) \\ c \sin \alpha &= x^2 \sin (\alpha - \beta) + \frac{b}{V} u \\ u \sin (\alpha - \beta) &= y \sin (\gamma - \beta) \\ x \sin (\alpha - \beta) &= y \sin (\gamma - \alpha) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

再び

$$\frac{x^2}{c} \equiv X, \quad A \equiv \frac{c'}{c}, \quad m \equiv \sin 45^\circ = \cos 45^\circ, \quad f \equiv \frac{k_2 b m}{q} \quad (13)$$

と置き、

$$\left. \begin{aligned} \sin (\gamma - \beta) &= \frac{m}{\sqrt{A^2 + 2AX \cos \beta + X^2}} \{A(\cos \beta - \sin \beta) + X\} \\ \cos (\gamma - \beta) &= \frac{m}{\sqrt{A^2 + 2AX \cos \beta + X^2}} \{A(\cos \beta + \sin \beta) + X\} \\ \cos \gamma &= \frac{m}{\sqrt{A^2 + 2AX \cos \beta + X^2}} \{A + X(\cos \beta - \sin \beta)\} \\ \frac{by}{cV} \sin (\gamma - \beta) &= fA(\cos \beta - \sin \beta) + fX \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

なることに着目すれば、(12) 式から次式が得られる。

$$(1+f)X^3 - \{(3+2f-fA)\cos\beta + fA\sin\beta\}X^2 + \{(1+f) + 2(1-fA)\cos^2\beta + 2fA\sin\beta\cos\beta\}X - \{(1-fA)\cos\beta + fA\sin\beta\} = 0$$

これを變形すれば、

$$\{(1+f)X - \cos\beta + fA(\cos\beta - \sin\beta)\} \{X^2 - 2X\cos\beta + 1\} = 0$$

第2項は一般には零とならないから、

$$X = \frac{\cos\beta - fA(\cos\beta - \sin\beta)}{1+f} \quad (15)$$

が得られる。

又 (12) 式から

$$y = \frac{e^{\frac{1}{2}} X^{\frac{1}{2}} (\cos\beta - X)}{X \cos(\gamma - \beta) - \cos\gamma} \quad (16)$$

であり、(7) 式から

$$y = \frac{k_2 c V}{g} \sqrt{A^2 + 2AX\cos\beta + X^2} \quad (17)$$

であるから、兩式から

$$V = \frac{b}{f e^{\frac{1}{2}}} \frac{X^{\frac{1}{2}} (\cos\beta - X)}{X^2 + \{(A-1)\cos\beta + (A+1)\sin\beta\}X - A} \quad (18)$$

が得られる。即ち風速 V が既知であれば、(15) 式と (18) 式とから相対流の流速 \mathcal{W} と流向 β とは求められるのである。

次に (12) 式から

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{1 - X \cos\beta}{X \sin\beta} \right) \quad (19)$$

$$u = \frac{cV}{b} \{\sin\alpha - X \sin(\alpha - \beta)\} \quad (20)$$

であるから、風速の V 及び相対流の X 、 β がわかつておれば、(19) 式、(20) 式により氷の漂流の流速 v と流向 α は求められる。

また (17) 式と (8) 式、(6) 式により

$$y = \frac{f e V}{b m} \sqrt{A^2 + 2AX\cos\beta + X^2} \quad (21)$$

$$\gamma = 45^\circ + \tan^{-1} \left(\frac{X \sin\beta}{A + X \cos\beta} \right) \quad (22)$$

であるから、風速、相対流が既知であるから、(21)、(22) 式によつて吹送流の流速 W と流向 γ とは求められるのである。

以上に述べたように、氷の海水に對する相対流、吹送流、氷の漂流を求めるためには、風速以外に b 、 c 、 A 、 f 等の常數の値を知らなければならぬ。これ等の常數を示せば次式のものである。

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{e'}{e} \\ f &= \frac{\eta \rho_a m b}{q e'} \left(1 - \frac{S_I}{S}\right) \\ fA &= \frac{\eta \rho_a m b}{q e} \left(1 - \frac{S_I}{S}\right) \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

$$\left. \begin{aligned} b &= \frac{2 \omega d \rho_i \sin \varphi}{\eta \rho_w \left(1 + \xi \frac{S_I''}{S_I}\right)} \\ e &= \frac{\rho_a}{\rho_w} \cdot \frac{1 + \xi \frac{S_I'}{S_I}}{1 + \xi \frac{S_I''}{S_I}} \\ e' &= \frac{\rho_a}{\rho_w} \cdot \frac{\left(1 - \frac{S_I}{S}\right)}{\frac{S_I}{S} \left(1 + \lambda \xi \frac{S_I''}{S_I}\right)} \\ \xi &= \frac{\eta'}{\eta} \\ \frac{S_A}{S} + \frac{S_I}{S} &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

III. 計 算 例

上に述べた理論の1計算例を掲げる。場所をオホーツク海北海道岸沖として、緯度を $\varphi=45^\circ$ と假定する。また海氷は平らな氷盤と氷岩とが混在密着した氷野のようなものとして、

$$\frac{S_I'}{S_I} = 3 \times 10^{-3}, \quad \frac{S_I''}{S_I} = 24 \times 10^{-3}, \quad d = 100 \text{ cm}, \quad \rho_i = 0.9$$

と假定し、 $\eta = 0.0025$, $\eta' = 0.5$, 従つて $\xi = 200$, $\rho_a = 0.00129$, $\rho_w = 1.025$, 海水の渦粘性係数 $\mu = 100$ (風速 10 m/sec に對し Ekman 式による吹送流速は風速の 3% となり、實際に知られている値とほぼ一致するからこの値をとつた) を採用する。故に (24) 式から、

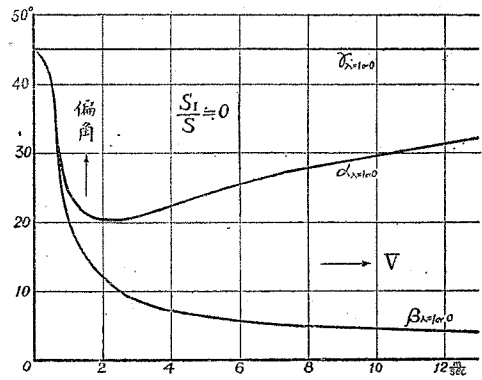
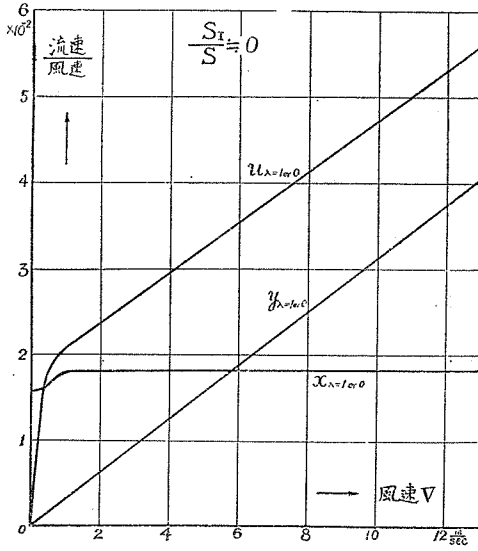
$$b = 0.622, \quad e = 0.347 \times 10^{-3}$$

が得られる。(23) 式により A , f , fA の値を氷量 $\frac{S_I}{S}$ が 0, 0.5, 1 の 3 場合について求めると第 1 表のようになる。但し $\lambda = 1$, $\lambda = 0$ はそれぞれ氷と水との境界において、海水の流水に對する氷の周縁と下面の突起による受壓面積に起因して水を運動せしめようとする力が全部有効に働く場合と、渦流を生じて全部失われた場合とである。但し、氷量 $\left(\frac{S_I}{S}\right)$ が 0 の場合には兩者の差異は問題にならない。

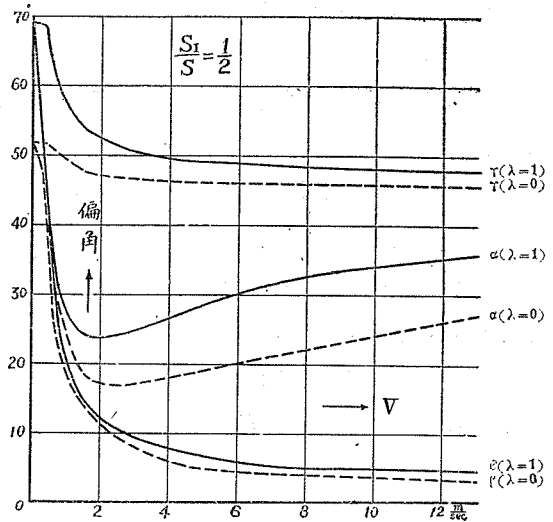
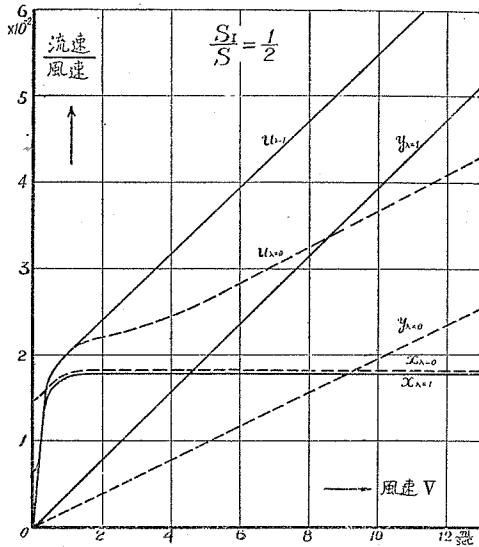
これらの場合には、前述の理論により相對流 $(x = \frac{W}{V}, \beta)$, 吹送流 $(y = \frac{W}{V}, r)$, 氷の漂流 $(u = \frac{v}{V}, \alpha)$ を計算し、氷量 $\frac{S_I}{S}$ が 0, 0.5, 1.0 の 3 場合を別々に圖示すれば第 3 圖, 第 4 圖, 第 5 圖が得られる。但し、圖には横軸に風速を、縦軸に流速の風速に對する比 x , y , u 又は流

第 1 表

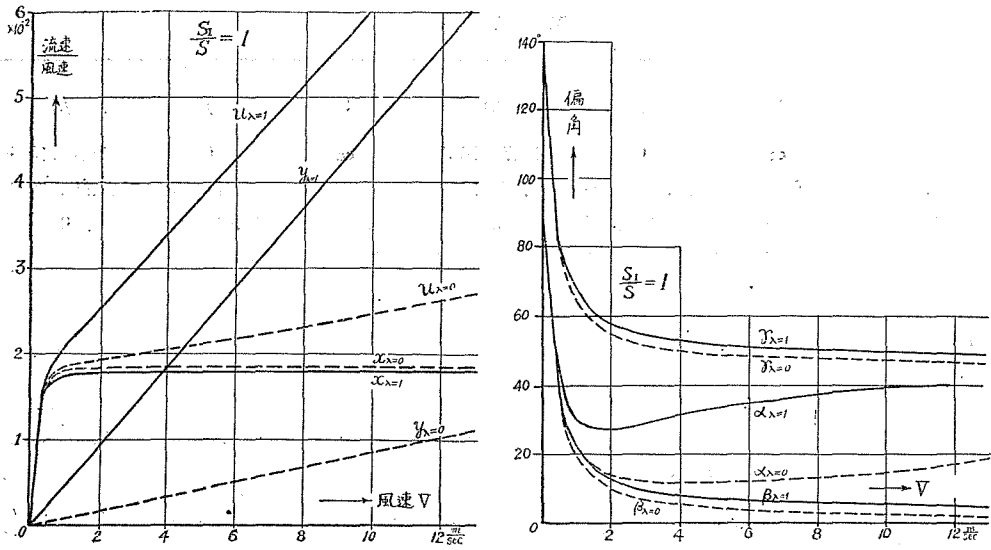
氷量 $\left(\frac{S_I}{S}\right)$	$\lambda = 1$			$\lambda = 0$		
	A	f	fA	A	f	fA
0	∞	0	39.7×10^{-3}	∞	0	39.7×10^{-3}
0.5	0.625	31.75×10^{-3}	19.85×10^{-3}	3.625	5.47×10^{-3}	19.85×10^{-3}
1.0	0	63.5×10^{-3}	0	0	10.94×10^{-3}	0



第 3 圖



第 4 圖



第 5 圖

れの風下からの偏角 (右偏) β , γ , α をとつて圖示してある。

圖によれば、氷の漂流は吹送流とかなり異なることは明らかにわかる。いま圖から氣付かれる諸點を挙げれば次の如くである。

1) 風速があまり小でなければ w の値はほぼ一定値を示す。即ち、相対流速 \mathcal{W} (風壓流) は近似的に風速 V に比例する。しかもこの比例常数は氷量や λ の値にはほとんど無關係で一定である。また相対流の風下からの偏角 β は風速が小であれば大であるが、風速が大となれば急に減少して、零より僅かに大きい或る一定値を示す。 $V=0$ に對する β の値は $\frac{S_1}{S}=0 \sim 1$ に對し λ に關係なく $45 \sim 90^\circ$ の間を變化する。

2) 吹送流速と風速との比 γ は、風速の極く小なる部分を除き近似的に風速 V に比例する。即ち、吹送流速 W は近似的には風速の 2 乗に比例する。この比例常數 g は $\frac{S_1}{S}$ が大となれば増加する。吹送流の風下からの偏角 γ は風速が小なる間は大きであるが、風速が大きくなるとだんだん減少して、 45° より僅かに大なる一定値を示す。 $V=0$ に對する γ の値は $\frac{S_1}{S}=0 \sim 1$ に對し $45 \sim 135^\circ$ の間を變化する。

3) 氷の漂流速と風速との比 u は、風速があまり小でなければ風速との間に近似的には正の直線關係が成立つ。即ち、

$$u \doteq D(1+EV)$$

で表わされる。但し、 D , E は正の値である。従つて漂流速 v は近似的に

$$v \doteq DV(1+EV)$$

で表わされる。 D は $\frac{S_1}{S}$, λ の變化に對し大略常數である。 E は $\frac{S_1}{S}$ が大となると小となる。

しかも大凡 $DE \doteq g$ である。漂流の風下からの偏角 α は一般に β と γ との中間の値を示し、風

速が小であれば大であるが、風速が少し増加すれば急に減少して極小値に達し、それ以上風速が大となれば漸次増大して、45°に近づく。しかし大ざっぱに見れば、風速があまり小でなければ0~45°の中間の或る一定値になつてゐるともいうことができる。

4) $\lambda=1$ と $\lambda=0$ の場合を比較すれば、相対流ではほとんど差がないが、吹送流と氷の漂流では當然のことではあるが $\lambda=1$ の場合の方が流速、偏角ともに大である。 α の場合には特に著しい。但し、 $\frac{S_1}{S}=0$ の場合には $\lambda=1$ と $\lambda=0$ におけるこれらの値はそれぞれ全く一致する。

5) 同じ風速の場合、氷量が増加しても相対流の流速、流向にはほとんど變化がないが、吹送流速及び氷の漂流速は $\lambda=1$ の場合には増加し、 $\lambda=0$ の場合には減少する。また吹送流の偏角は $\lambda=1$ 、 $\lambda=0$ の兩場合とも、氷量が増加すると多少増加するが、氷の漂流の偏角は $\lambda=1$ の場合は増加し、 $\lambda=0$ の場合は減少する。風速 5 m/sec に對するこれ等の關係を示すと第 2 表の如くなる。

第 2 表 風速 5 m/sec の場合の相対流、吹送流と氷の漂流

風速 $V=5$ m/sec	氷量 S_1/S	$\lambda = 1$			$\lambda = 0$		
		0	0.5	1.0	0	0.5	1.0
相 對 流	流速 W ($\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$)	9.1	9.1	9.1	9.1	9.2	9.2
	偏角 β (度)	6.3	6.7	7.0	6.3	5.0	5.0
吹 送 流	流速 W ($\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$)	7.8	9.9	11.6	7.8	4.9	2.2
	偏角 γ (度)	45.0	49.0	52.2	45.0	46.2	49.0
氷の漂流	流速 v ($\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$)	16.1	17.7	19.2	16.1	13.2	10.7
	偏角 α (度)	24.0	28.5	32.5	24.0	19.0	12.5

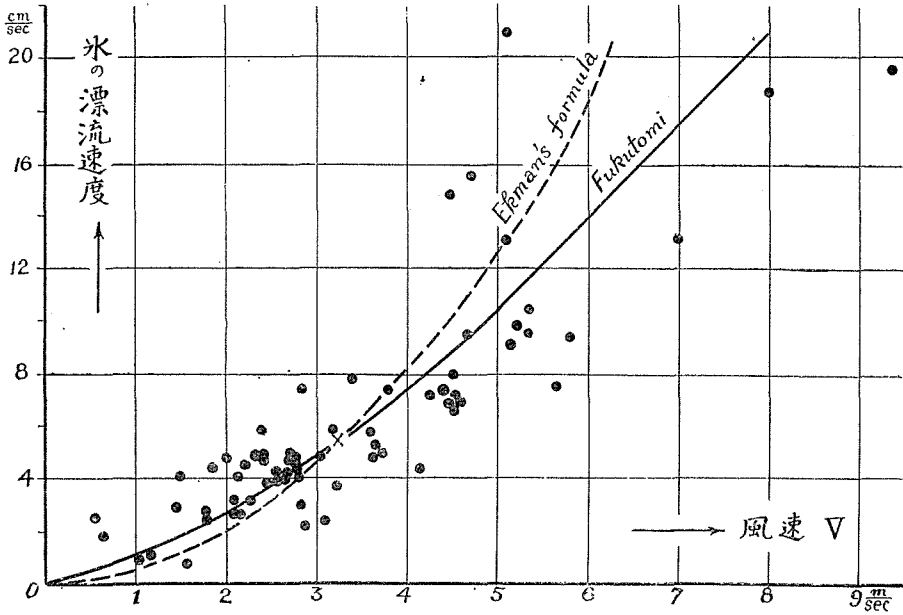
IV. Nansen 博士の漂流結果への適用

Nansen 博士は Fram 號による北極海の漂流 (1893~1896) の結果を適當の期間に區分して、その期間毎の平均風速と風による平均漂流速、その流向の風下からの偏角を算出している。今この結果によつて、横軸に風速をとり、縦軸にそれに對する平均漂流速又は偏角をとつて點を記入すれば第 6 圖及び第 7 圖が得られる。

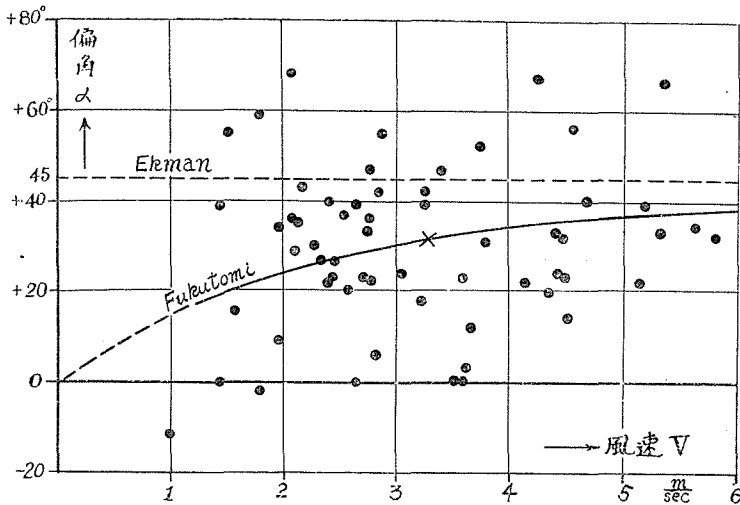
Ekman 博士が Nansen 博士の結果を説明するために、有名な吹送流の理論を公けにしたことはよく知られたことであり、それ以來多くの學者により氷が表面吹送流と同じ運動をするものとして研究が進められてきたのである。廣く深い海における定常的の表面吹送流は、Ekman 博士によれば風下からの偏角は 45° (北半球では右偏) で、流速 W は

$$W = \frac{\eta \rho_a V^2}{\sqrt{2 \mu \rho_w \omega \sin \varphi}} \tag{27}$$

で表わされる。従つて W は V^2 に比例することになる。第 6 圖において實測値の全平均 $V=328 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ 、 $v=5.48 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ で示される點を通るように (27) 式を圖示すれば第 6 圖の點線になり、こ



第 6 圖



第 7 圖

の曲線と實測値とはあまりよく一致しない。また第7圖の實測された偏角も、Ekman 博士の理論値 45° よりは小なる値が多いのである。

その後 Brennecke 氏が Deutschland 號の南極探検に際して觀測した結果も、Sverdrup 博士⁹⁾が Maud 號の北 Siberia 海の調査結果から求めたものも 45° より小であつた。この角度が理論値 45° と一致しないのは、これ等の海に流氷が存在して、表面流の流速の或る函數として示されるような抵抗がある影響であると考えられてきたのである。これに對し近年日高博士⁵⁾は、

Ekman 博士の μ が一定という代りに $\mu = \mu_0(1 + \alpha z)^2$ と置き、深さ z の變化に伴つて μ が變るものとすれば、偏角は 0° と 45° との中間値になることを示した。しかしながら、以上の測定結果はいずれも氷の漂流であるから、氷と表面流との間に相對運動が存在するならば再考しなければならないことは申すまでもない。

さて本論文の理論を Nansen 博士の結果に適用してみよう。先ずその前に理論式を少し簡単な形に書き換えておこうと思う。Nansen 博士の場合は全海面が流水で覆われていたと考えられるから、氷量 $\frac{S_1}{S} = 1$ である。従つて $A = 0$ であるから、(15) 式、(18) 式は次のようになる。

$$X = \frac{\cos \beta}{1+f} \quad (28)$$

$$V = \frac{b}{c^{\frac{1}{2}}} \frac{X^{\frac{1}{2}}}{X + \sin \beta - \cos \beta} \quad (29)$$

第 5 圖からわかるように、風速が或る程度以上大であれば β は小であるから、 $\sin \beta \approx \beta$ 、 $\cos \beta \approx 1$ とおけば、(28) 式と (19) 式とから

$$X \approx \frac{1}{1+f} \quad (\because W \approx \frac{c^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{1+f}} V) \quad (30)$$

$$\beta \approx \frac{f}{\tan \alpha} \quad (31)$$

となり、(29) 式にこれを代入すれば氷の漂流の偏角 α として

$$\tan \alpha \approx \frac{\frac{c^{\frac{1}{2}}}{b} f \sqrt{1+f} V}{1 + \frac{c^{\frac{1}{2}} f}{b \sqrt{1+f}} V} \equiv \frac{(1+f)EV}{1+EV} \quad (32)$$

が得られ、また (20) 式から氷の漂流の速さ v は近似的に

$$v \approx \frac{c^{\frac{1}{2}}}{(1+f)^{\frac{1}{2}}} V \left(1 + \frac{c^{\frac{1}{2}} f}{b \sqrt{1+f}} V\right) \equiv DV(1+EV) \quad (33)$$

で表わされる。また吹送流速とその偏角は (21) 式、(22) 式から

$$y = \frac{W}{V} \approx \frac{cf}{b(1+f)} V \quad (34)$$

$$r \approx 45^\circ + \frac{f}{\tan \alpha} \quad (35)$$

が得られる。

今、(33) 式及び (32) 式で與えられる v と α との近似式を Nansen 博士の結果に適用してみる。第 6 圖、第 7 圖の實測値から D 、 E 、 f は獨立に求められるはずであるが、偏角の値は點がかなり散在していてそれだけの精度がないので、風速 V 、漂流速 v 、偏角 α の正切の平均値 $\bar{V} = 328$ cm/sec、 $\bar{v} = 5.48$ cm/sec、 $\overline{\tan \alpha} = 0.612$ ($\alpha = 31.5^\circ$) (いずれも第 6 圖、第 7 圖中に \times 印で示す) を満足するように (32)、(33) 兩式の D 、 E 、 f の値を種々變化せしめ、 $\frac{S_1'}{S_1}$ 、 $\frac{S_1''}{S_1}$ の値

が正の値を示すものの中で最も實測に合致するような D, E, f の値を求めた。但し、 $m=0.707$, $\omega=0.727 \times 10^{-4}$; $\rho_i=0.9$, $\varphi=83^\circ$; $\mu=100$, $\rho_w=1.025$, $d=350$ cm (Papanin 氏が北極探検の際、1937年5月23日北極近くで測定した氷野の平らな部分の氷厚は3.1 mであつたから、これに氷丘の部分を考慮して350 cmととつた) とした。

その結果として $D=8.63 \times 10^{-3}$, $E=2.86 \times 10^{-3}$, $f=0.264$ が最も適當と推定された。この値を (33) 式と (32) 式に代入して v 或は α と V との關係を圖示すれば第6圖、第7圖中の實線のようになる。即ち、實測値とかなり一致した結果が得られるのである。

次に求められた D, E, f の値から λ の値と b, c の値、従つて $\frac{S'_i}{S_i}$, $\frac{S''_i}{S_i}$ の値とを計算すれば第3表に示したようになり、 λ の値は $\lambda=1$ となつている。また参考までに筆者等が風壓流の測定結果から求めた大氷盤、大氷岩の値を一緒に掲げた。

第 3 表

氷の種類	測定者	氷量 ($\frac{S'_i}{S_i}$)	平均氷厚 (d)	λ	b	c	$\frac{S'_i}{S_i}$	$\frac{S''_i}{S_i}$
氷野	Nansen	1.0	3.5m	1.0	1.014	0.151×10^{-3}	5.5×10^{-3}	82×10^{-3}
大氷岩	福富, 楠, 田畑	0.05	9.8m	—	1.74	0.288×10^{-3}	18.7×10^{-3}	98×10^{-3}
大氷盤(?)	同上	0.05	5.7m	—	0.653	0.043×10^{-3}	0.5×10^{-3}	156×10^{-3}

Nansen 博士が觀測した流氷は氷野を代表するものと考えられる。氷野は平坦な氷の部分と氷丘野の部分とから構成されているから、 $\frac{S'_i}{S_i}$, $\frac{S''_i}{S_i}$ の値は共に氷岩、氷盤の中間に位することが期待されるが、この場合 $\frac{S'_i}{S_i}$ についてはかような關係が成立しているが、 $\frac{S''_i}{S_i}$ については成立していない。これはむしろ筆者等の觀測した大氷盤が異常のものであることに原因するらしい。何故なれば、その平均氷厚が5.7 mであり、明らかにオホーツク海で結氷のみによつて生じたものとは思えない。また $\frac{S''_i}{S_i}$ の値が $\frac{S'_i}{S_i}$ に比較して非常に大であり、これはやはり氷丘野の一部が破壊されて生じたものとするべきであらう。なお多くの氷について測定が必要であり、將來の研究に俟たなければならない。ここではただ $\frac{S'_i}{S_i}$, $\frac{S''_i}{S_i}$ の見當を示しただけである。

V. 結 語

廣く深い海の表面の任意の面積が流氷で覆われている場合、定常風が連吹したときに起る定常的表面吹送流、氷の水に對する定常相對流、及び氷の定常漂流につき理論的考察を行つた。又この結果を Nansen 博士の北極海における漂流結果に適用したが、かなり一致した結果を得た。

本研究に要した費用の一部は文部省自然科學研究費によつた。厚く感謝の意を表する。

文 獻

- 1) 福富孝治 1951 海水の研究(第13張)氷量の小さい海に於ける氷塊の風による定常漂流 低温科學, 7, 11
- 2) Fjeldstad J. E 1930 (表題不明) Zeits. f. Angew. Math. u. Mech, 10, 121.

- 3) Sverdrup H. U. 1928 Die Eistrift im Weddelmeer. Ann. d. Hydr. u. Mari. Met., **56**.-9.
- 4) Nomitsu Takaharu 1933 A Theory of the rising stage of drift current in the ocean (I. The case of no bottom current). Memoirs. Coll. Sci. Kyoto. Imp. Univ., A **16**, 161~175
- 5) 日高孝次 1930 風と表面吹送流とのなす角について. 海と空 **10**-10, 377~392
- 6) 福富孝治, 楠宏, 田畑忠司 1949 海水の研究(第12報) 流水の海水に對する相對漂流の一測定. 低温科學 **6**, 85.
- 7) Nansen F. 1902 The oceanography of the north polar basin. The Norwegian North Polar Expedition 1893~1896. Scientific results. **3**-9-10. 427.
(須田院次 1931~1932 ナンゼンの "Oceanography of the north polar basin" を讀みて. 海洋時報 **3**-1, 229~246 による).
- 8) Brennecke, W. 1921 Die Ozeanographischen Arbeiten der Deutschen Antarktischen Expedition. 1911~1912. Arch. d. Deutsch. Seewarte. **39**.
- 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 **4**-1, 1~46.
- 10) 竹尾式譯 1942 バンバーニオン北極探險記 36.

R é s u m é

The writer studied theoretically on the surface-drift-current and the drift of sea-ice due to wind in the wide and deep sea of any ice-area-percentages, when the steady wind blows on the surface of the sea and also the drift current and the drift of ice attain to a stationary state. He, also, applied his theory for the results of the drift of ice-field that observed by Dr. F. Nansen in the Arctic Ocean, and found that the results are fairly coincident with the observations.