



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	海氷の研究（第18報）：オホーツク海、特に南半部海域における流氷の風による移動
Author(s)	福富, 孝治; FUKUTOMI, Takaharu
Citation	低温科学, 9, 137-144
Issue Date	1952-12-30
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/17529">https://hdl.handle.net/2115/17529</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	9_p137-144.pdf



## 海氷の研究 (第18報)

### オホツク海特に南半部海域における流氷の風による移動\*

福 富 孝 治

(低温科学研究所 海洋学部門)

(昭和27年3月受理)

#### I. 序 言

オホツク海に於ては外海から暖流系水が流入する宗谷海峽附近等を除き、冬季いたるところで結氷が生ずると思はれることは既に第3報<sup>1)</sup> 第4報<sup>2)</sup> に考察した。かくして、生じた海水は海流や風により漂流移動する筈である。しかし、オホツク海に於ては宗谷海峽から入つて北海道北見海岸に沿つて沖を南東流する對馬暖流の末流を除き殆んど海流はないものと考えられている<sup>3)</sup> から、流氷の移動を支配する主要な因子は風であると考えられる。風に依る流氷の漂流については既に第12報<sup>4)</sup> 第13報<sup>5)</sup> 第14報<sup>6)</sup> に論じ、且海面がかなりの面積露出している場合における北海道オホツク海沿海の流氷の襲来期、退去期の流氷移動については第13報に於て研究し、實際とかなりよく一致する結果を得た。

北海道沿岸は對馬暖流末流の影響で盛氷期を除き比較的氷量が小さいと考えられるから、以上の議論で充分であると思われるが、オホツク海全域における流氷の移動を論ずる場合には寧ろ全海面が海水で覆はれていると考えるべきである。

本論文においてはオホツク海全域が海水で覆われている場合にその部分部分で海水が風により如何なる移動を行うかを吟味してみたのである。

#### II. 全海面が流氷で覆はれている場合、流氷の風による漂流を與へる近似式

第14報によれば全海面が流氷で覆われている場合、定常状態における流氷の漂流速 $v$ 及びその風下からの偏角 $\alpha$  (北半球では右偏) は近似的に次式で表わされるが、これらの式は第14報<sup>6)</sup> 第

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第145号

昭和27年4月8日 日本海洋学会年会に於いて発表

6 図第7 図に示した様に北極海における実際の観測結果とかなりよく一致せしめることが出来るのである。

$$v = DV(1 + EV) \quad \dots\dots (1)$$

$$\tan \alpha = \frac{(1+f)EV}{1+EV} \quad \dots\dots (2)$$

但し  $D = \frac{C^{\frac{1}{2}}}{(1+f)^{\frac{1}{2}}} \quad \dots\dots (3)$

$$E = \frac{C^{\frac{1}{2}} f}{b(1+f)^{\frac{1}{2}}} \quad \dots\dots (4)$$

$$f = \frac{\eta \rho_{\omega} m b}{g} \left( 1 + \lambda \xi \frac{S_i''}{S_i} \right) \quad \dots\dots (5)$$

$$C = \frac{\rho_a}{\rho_{\omega}} \frac{1 + \xi \frac{S_i'}{S_i}}{1 + \xi \frac{S_i''}{S_i}} \quad \dots\dots (6)$$

$$b = \frac{2\omega d \rho_i \sin \varphi}{\eta \rho_{\omega} \left( 1 + \xi \frac{S_i''}{S_i} \right)} \quad \dots\dots (7)$$

$$g = \sqrt{2\mu \rho_{\omega} \omega \sin \varphi} \quad \dots\dots (8)$$

であつて、上式の各記號は次の様な意味の量である。

$S_i$  : 1 流氷塊の水平表面積

$S_i'$  : 風に對する 1 流氷の受圧面積

$S_i''$  : 水流に對する 1 流氷の受圧面積

$\rho_a$  : 空氣の密度

$\rho_{\omega}$  : 海水の密度

$\rho_i$  : 流氷の密度

$\xi = \eta' / \eta$

$\eta$  : 平面で境する 2 つの流体、又は流体と固体との間の摩擦係数で實驗によれば 0.002 ~ 0.0025 なる値である。

$\eta'$  : 流体の中に種々な物体をおいたとき渦を生ずるために働く抵抗の係数で、水理学によれば 0.4 ~ 0.8 ぐらいの値である。

$d$  : 流氷の平均厚

$\omega$  : 地球自轉の角速度

$\varphi$  : 緯 度

$V$  : 風 速

$v$  : 流氷の漂流速

$\alpha$  : 風下の方向から時計廻りに測つた流氷の漂流方向

$\mu$  : 海水の渦動粘性係数

$$m = \sin 45^\circ = 0.707$$

$\lambda$  : 0~1の間の常数,  $\lambda = 1$ は渦流による energy loss のない場合,  $\lambda = 0$ は渦流による energy loss が完全な場合

である。

オホツク海中央部の流氷には氷野片が多いと考えられるから前報<sup>6)</sup> 36頁記載の氷野片の値 (北極海における Fram 號の測定結果から求めた値) を用いることとし

$$\frac{S_i'}{S_i} = 5.5 \times 10^{-3}, \quad \frac{S_i''}{S_i} = 82 \times 10^{-3}, \quad \lambda = 1$$

とする。又  $\eta' = 0.5$ ,  $\eta = 0.0025$  (従つて  $\xi = 200$ ),  $\rho_a = 0.00129$ ,  $\rho_w = 1.025$ ,  $\rho_i = 0.9$ ,  $\omega = 0.727 \times 10^{-4}$ ,  $\mu = 100$  を代入すれば

$$C = 0.151 \times 10^{-3}$$

が得られる。 $f$ の値は緯度 $\varphi$ や流氷の平均厚 $d$ によつて変化する。北極海では $f$ の値は0.27位で1に對して度外視できないが, 中緯度では氷厚があまり大でないから $f$ は1に比較してかなり小さい値である。例へば $\varphi = 51^\circ$  (オホツク海の平均緯度),  $d = 100 \sim 50 \text{cm}$  (オホツク海における結氷の厚さ) とすれば  $f = 0.0670 \sim 0.0335$  となる。

故に近似的に3~7%位の誤差を許せば,  $f$ は1に對し無視できるから

$$D \doteq C^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots (9)$$

となり,  $C$ は常数であるから $D$ も常数となる。又

$$E \doteq \frac{f}{b} C^{\frac{1}{2}} = \frac{C^{\frac{1}{2}} \eta \rho_w m}{q} \left( 1 + \lambda \xi \frac{S_i''}{S_i} \right) \quad \dots\dots (10)$$

となり,  $q$ は $\sqrt{\sin \varphi}$ の函数であるから $E$ も亦 $\sqrt{\sin \varphi}$ だけの函数となる。而して $D$ も $E$ も氷の平均厚 $d$ には無関係となる。従つて, (1) (2)の各常数に上記の値を代入すれば

$$v \doteq 1.234 \times 10^{-2} V \left( 1 + 3.184 \times 10^{-3} \frac{V}{\sqrt{\sin \varphi}} \right) \quad \dots\dots (11)$$

$$\tan \alpha \doteq \frac{3.184 \times 10^{-3} \frac{V}{\sqrt{\sin \varphi}}}{1 + 3.184 \times 10^{-3} \frac{V}{\sqrt{\sin \varphi}}} \quad \dots\dots (12)$$

で與えられる。但し,  $v$ ,  $V$ の單位は cm/sec である。即ち平均氷厚が大でなく, 従つて $f$ の値が1に對して無視できる様な中緯度の流氷 (氷野片) に對しては (11), (12) 式により風によるその漂流速及び風下からの偏角を求めることができる筈である。第1表は風速  $V = 3 \sim 9 \text{m/sec}$ , 緯度  $\varphi = 43^\circ \sim 61^\circ$  (オホツク海に於ける緯度の範囲) に對する氷野片の漂流の速さ $v$ 及び風下からの偏角 (右偏)  $\alpha$  を (11), (12) 式により計算して示したものである。

第1表 風による氷野片の漂流の速さ  $v$  cm/sec 及び風下よりの偏角  $\alpha$  ( (11), (12)式による計算値) (括弧内は偏角, 単位: 度)

緯度 $\phi^\circ$	風 速 cm/sec												
	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
43	8.0 (28)	10.1 (30)	12.6 (31)	15.2 (32)	18.1 (33)	21.2 (34)	24.5 (35)	28.1 (36)	32.0 (36)	36.0 (37)	40.3 (37)	44.9 (37)	49.7 (38)
45	7.9 (28)	10.0 (30)	12.4 (31)	15.0 (32)	17.8 (33)	20.9 (34)	24.2 (35)	27.7 (35)	31.5 (36)	35.5 (37)	39.8 (37)	44.3 (37)	48.8 (38)
47	7.8 (28)	9.9 (30)	12.3 (31)	14.9 (32)	17.6 (33)	20.6 (34)	23.9 (35)	27.4 (35)	31.1 (36)	35.0 (36)	39.3 (37)	43.6 (37)	48.2 (38)
49	7.8 (28)	9.9 (29)	12.2 (31)	14.7 (32)	17.5 (33)	20.4 (34)	23.7 (34)	27.1 (35)	30.8 (36)	34.6 (36)	38.8 (37)	43.2 (37)	47.7 (38)
51	7.7 (28)	9.8 (29)	12.1 (31)	13.6 (32)	17.3 (33)	20.2 (34)	23.5 (35)	26.8 (34)	30.5 (35)	34.3 (36)	38.4 (37)	42.7 (37)	47.2 (37)
53	7.7 (27)	9.7 (29)	12.0 (30)	14.5 (32)	17.2 (33)	20.0 (34)	23.3 (34)	26.5 (35)	30.2 (36)	34.0 (36)	38.0 (37)	42.2 (37)	46.6 (37)
55	7.6 (27)	9.6 (29)	11.9 (30)	14.4 (31)	17.0 (33)	19.9 (33)	23.1 (34)	26.3 (35)	29.9 (35)	33.7 (36)	37.7 (36)	41.9 (37)	46.2 (37)
57	7.6 (27)	9.6 (29)	11.8 (30)	14.3 (31)	16.9 (32)	19.7 (33)	22.9 (34)	26.1 (35)	29.6 (35)	33.4 (36)	37.4 (36)	41.4 (37)	45.7 (37)
59	7.5 (27)	9.5 (29)	11.7 (30)	14.2 (31)	16.8 (32)	19.6 (33)	22.7 (34)	25.9 (35)	29.4 (35)	33.1 (36)	37.1 (36)	41.1 (37)	45.4 (37)
61	7.5 (27)	9.5 (29)	11.7 (30)	14.1 (31)	16.7 (32)	19.5 (33)	22.5 (34)	25.7 (35)	29.2 (35)	32.8 (36)	36.8 (36)	40.8 (37)	45.1 (37)

$v$ ,  $\alpha$  が風速, 緯度だけでなく氷厚にも関係する場合には, 或る場所で生じた海水が風で移動して場所を変えると, その氷厚  $d$  の影響が極めて複雑で実際の取扱いが困難となるが, (11), (12) 式では氷厚に関係がないからその取扱いが非常に簡単である。

### III. オホツク海特に南半部海域における流氷の風による移動

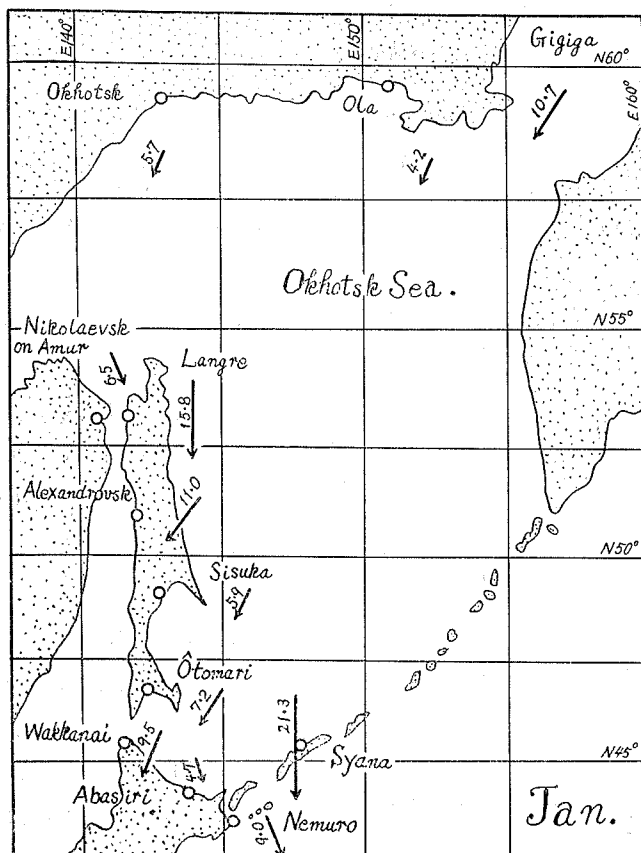
以上の結果をオホツク海における流氷の移動に適用してみた。第4報<sup>2)</sup>によればオホツク海では11月中旬その最北部から凍結が始まり漸次南方へ擴つて1月初旬頃には外海からの流入水のある部分を除きどこでも結氷が起る様な状態になつていゝと考えられる。そして流氷は第5報<sup>1)</sup>によれば平年には春季4月中旬頃まであり, 遅い年では5月下旬に及ぶこともある。従つて, ここでは1月, 2月, 3月, 4月における流氷移動の状態を調べてみた。

(11), (12) 式によれば定常状態における流氷の漂流速  $v$  及び風下からの偏角  $\alpha$  は氷厚には無関係で風速  $V$  と緯度  $\phi$  のみの函数であるから, 沿岸の観測所における月平均風速から附近海域の月平均状態としての  $v$ ,  $\alpha$  は計算される。第2表には平年の1月における沿岸各気象観測所における平均風速, 最多風向<sup>3)</sup>と, これから計算された月平均状態としての流氷の漂流速, 偏角及び流向を示した。第1図はその結果で, 上記観測所附近の海面に, 推算された流氷の移動方向を矢印で示し, その漂流速(哩/日)を数字で記入し, 尙矢の長さを流速に比例させて表わした。

2月, 3月, 4月については舊日本領以外の資料が見当らなかつたので致し方なく調査をオホツク海南半部に限定することにした。第3表は敷香, 大泊, 稚内, 網走, 根室, 紗那における2月, 3月

第2表 1月に於けるオホツク海沿岸の平均風速 $V$ と最多風向, 氷野片の風による漂流の速さ $v$ , 風下よりの偏角 $\alpha^\circ$ , 漂流方向

地名	緯度, 経度		月平均 最多 風速 風向		$v$	$\alpha$	流向	漂流の速さ 漂/日
	N	E	m/sec					
Gighiga	$\phi = 62.1^\circ$	$\lambda 160.6^\circ$	6.1	N	23.0	$34^\circ$	SW~SSW	10.7
Ola	59.6	151.2	3.4	N	9.1	29	SSW	4.2
Okhotsk	59.4	143.3	4.1	N	12.2	30	SSW	5.7
Nikolaevsk on Amur	53.1	140.7	4.4	NW	14.0	32	SSE	6.5
Langre	53.3	141.5	7.5	NW	34.0	36	S	15.8
Alexandrovsk	50.9	142.1	6.0	N	23.5	34	SW~SSW	11.0
敷	49.2	143.1	4.1	N	12.7	31	SSW	5.9
大	46.7	142.8	4.6	N	15.4	32	SSW~SW	7.2
稚	45.4	141.7	5.4	NNW	20.3	34	SSW	9.5
網	44.0	144.3	3.5	NW	10.1	30	SSE	4.7
根	43.3	145.6	5.2	NW	19.3	33	SSE	9.0
紗	45.2	147.9	8.7	NW	45.7	37	S	21.3



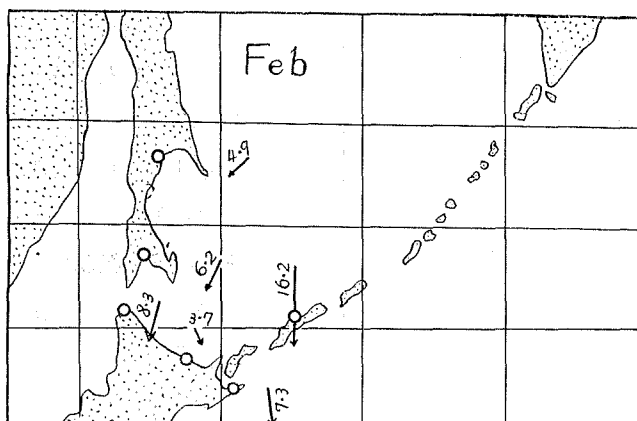
第1圖 平年の1月に於けるオホツク海の流氷の移動  
 矢の方向: 流氷の移動方向  
 矢印に付けた数字: 流氷の漂流速 (漂/日)

4月の平年に於ける平均風速, 最多風向と計算された $v$  (cm/sec 及び漂/日単位の値),  $\alpha$ の値と流氷の漂流の方向を示した。又第2図, 第3図, 第4図に夫々2月, 3月, 4月における流氷の移動方向と漂流速とを第1図と全く同様な様式で示した。

第1図を見ると, 1月における流氷移動の大勢はその流向は概ね南西でオホツク海の各部から樺太, 北海道へ向つて集つてくる様な形勢を示している。そしてその速さは1日に5~20漂位で1ヶ月間には150~600漂にも達することになる。勿論実際には沖や沿岸の水野

第3表 2月, 3月, 4月におけるオホツク海南半部沿岸の平均風速と最多風向, 氷野片の漂流の速さ, 偏角(風下から右偏), 流向.

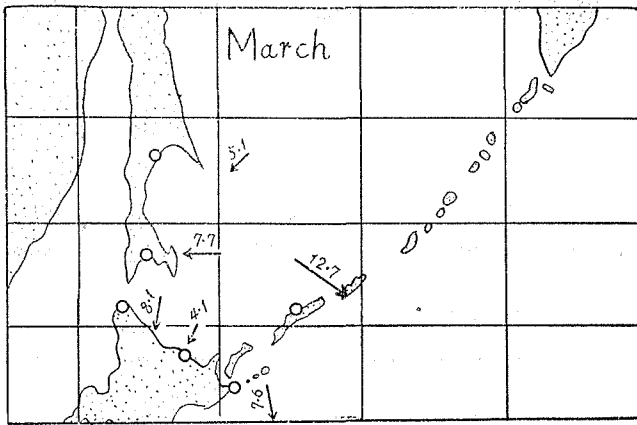
地名		2月	3月	4月
敷香	平均風速 $V$ (最多風向)	3.6m/sec (N)	3.7m/sec (N)	3.5m/sec (SSW)
	$v$ (a)	10.4cm/sec (29°)	10.9cm/sec (30°)	9.9cm/sec (29°)
	漂流速(流向)	49哩/日 (SW)	5.1哩/日 (SW)	4.6哩/日 (NE)
大泊	$V$ (最多風向)	4.2 (N)	4.8 (ENE)	4.5 (SSW)
	$v$ (a)	13.3 (31)	16.6 (33)	14.9 (32)
	漂流速(流向)	6.2 (SSW)	7.7 (W)	7.0 (NE)
稚内	$V$ (最多風向)	5.0 (NNW)	4.9 (NNW)	4.7 (SSW)
	$v$ (a)	17.8 (33)	17.3 (33)	17.0 (32)
	漂流速(流向)	8.3 (S~SSW)	8.1 (S~SSW)	7.0 (NE)
網走	$V$ (最多風向)	3.0 (NW)	3.2 (N)	3.2 (S)
	$v$ (a)	8.0 (28)	8.8 (29)	8.8 (29)
	漂流速(流向)	3.7 (SSE)	4.1 (SSW)	4.1 (NNE)
根室	$V$ (最多風向)	4.6 (NW)	4.7 (NW)	4.8 (SSW)
	$v$ (a)	15.7 (32)	16.3 (32)	17.0 (33)
	漂流速(流向)	7.3 (SSE~S)	7.6 (SSE~S)	7.9 (ENE~NE)
紗那	$V$ (最多風向)	7.4 (NW)	6.4 (W)	5.7 (W)
	$v$ (a)	34.7 (37)	27.2 (35)	22.1 (34)
	漂流速(流向)	16.2 (S)	12.7 (SE~ESE)	10.3 (SE~ESE)



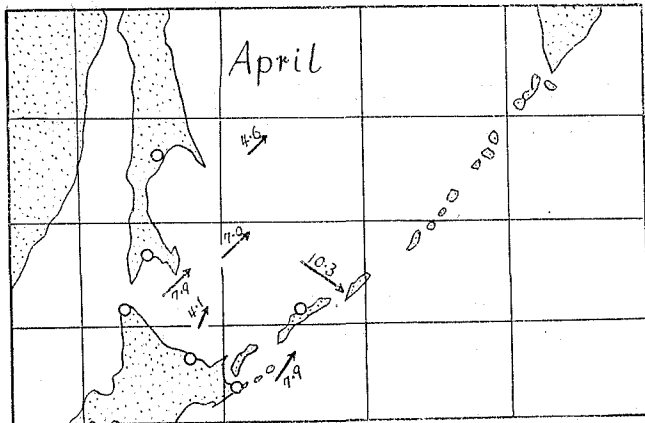
第2圖 平年の2月に於けるオホツク海南半部の流氷移動  
 矢の方向: 流氷の移動方向  
 矢に付けた数字: 流氷の漂流速(哩/日)

2月(第2図), 3月(第3図)における流氷移動も大体1月と似た傾向を示すが, 3月はその様子が少し乱れている様に見える。ところが4月(第4図)になると流氷移動の様子が一変

に衝突してかなり減速されるものと思われる。又この衝突により第15報<sup>9)</sup>に述べた様に多くの氷丘野(Hummocky field)が形成せられるものと思われる。北海道オホツク海沿岸に襲来する流氷野には氷丘野や数枚平坦海水が重なり合つたと思われる平坦な海水が多いが, 斯様な機構で生成されたものではあるまいか。



第3圖 平年の3月に於けるオホツク海南半部の流氷の移動  
 矢の方向：流氷の移動方向  
 矢に付けた数字：流氷の漂流速(哩/日)



第4圖 平年の4月に於けるオホツク海南半部の流氷の移動  
 矢の方向：流氷の移動方向  
 矢に付けた数字：流氷の漂流速(哩/日)

し、樺太北海道に集つた流氷が概ね北東方向、紗那では南東方向へ退去する様子が見られ、その漂流速は4~10哩/日となつている。北海道沿岸では平年には流氷の襲来は1月から多くは2月にかけて起り、そしてだんだん海岸氷野の広さを増し、2月の中旬から3月中旬頃その面積が最大となり3月の中旬から4月にかけて流氷はだんだんと退去し平均して流氷終期りが4月20日頃であることも以上の結果とよく一致している。

#### IV. 結 語

海面の大部分が流氷で覆われている場合、風による定常的な流氷の移動の速さと方向は、オホツク海の如き中緯度では近

似的に風速と緯度だけの函数であり、流氷の平均厚には無関係であることを第14報の結果から導き出した。この關係式を用いて平年におけるオホツク海特に南半部海域の流氷移動の大勢を調べてみた。この結果はかなり實際観測される流氷移動と一致する様である。かような調査を年毎に行うことができればオホツク海の流氷移動の年による変化、従つて北海道沿岸の流氷初期終期の問題などをかなり明らかにし得られるのではないかと思われるが、オホツク海沿岸の多くの気象観測所における平年の各月又は任意の年の各月の平均風の風向風速の分布について資料が見当らなかつたのと、流氷の風や海水に對する抵抗に關する観測値等も不充分であるので、残念ながらこれ以上の研究は將來に譲りたいと思う。

終りに臨み、本研究に要した費用は文部省科学研究費に依つた。ここに厚く感謝の意を表する。

### 文 献

- 1) 福富孝治 1950 海氷の研究 (第3報) 沿岸海氷の生成に就いての理論的考察. 低温科学, 3, 131.
- 2) 福富孝治 1950 海氷の研究 (第4報) オホツク海中央部に於ける結氷の生成に就いての理論的考察. 低温科学, 3, 143.
- 3) 梶浦欣二郎 1949 オホツク海の夏季海況に就いて. 日本海洋学会誌, 5, 13.
- 4) 福富孝治 楠 宏 田畑忠司 1949 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. 低温科学, 6, 85.
- 5) 福富孝治 1951 海氷の研究 (第13報) 氷量の小さい海に於ける流氷塊の風による定常漂流. 低温科学, 7, 11.
- 6) 福富孝治 1951 海氷の研究 (第14報) 氷海に於ける定常吹送流と氷の風による定常漂流. 低温科学, 7, 25.
- 7) 福富孝治 楠 宏 1950 海氷の研究 (第5報) オホツク海南部沿岸に於ける流氷終期の一近似的予報法. 低温科学, 3, 159.
- 8) 中央气象台編 1931 本邦気候表  
田口龍雄 1932 ベーリング海, オホツク海, 日本海北部の海氷に就いて. 海洋時報, 4, 489.
- 9) 福富孝治 楠 宏 1951 海氷の研究 (第15報) 氷丘脈とその生成に就いて. 低温科学, 8, 59.

### R é s u m é

As an extension of his theory (Study of Sea Ice, the 14th Report) the writer attained the conclusion that in the frozen sea of medium latitude such as the Sea of Okhotsk, where the ice-area percentage is very large, the speed and the direction of the steady drift of sea ice due to wind do not depend on the thickness of the ice, but are the function of wind velocity and latitude. Thereupon, he applied this relation to the investigation of the general tendency of the drift ice in the Sea of Okhotsk, especially in its southern part. The results, which are shown in Figs. 1~4, show good coincidence with the observed drift of ice at the Okhotsk Seacoast of Hokkaido.