



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	海氷の研究（第19報）：オホツク海、日本海、北極海の沿海における凍結初日と気温との関係
Author(s)	福富, 孝治; FUKUTOMI, Takaharu
Citation	低温科学. 物理篇, 11, 87-94
Issue Date	1953-10-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17869
Type	departmental bulletin paper
File Information	11_p87-94.pdf



海水の研究 (第19報)

オホツク海, 日本海, 北極海の沿海における
凍結初日と気温との関係

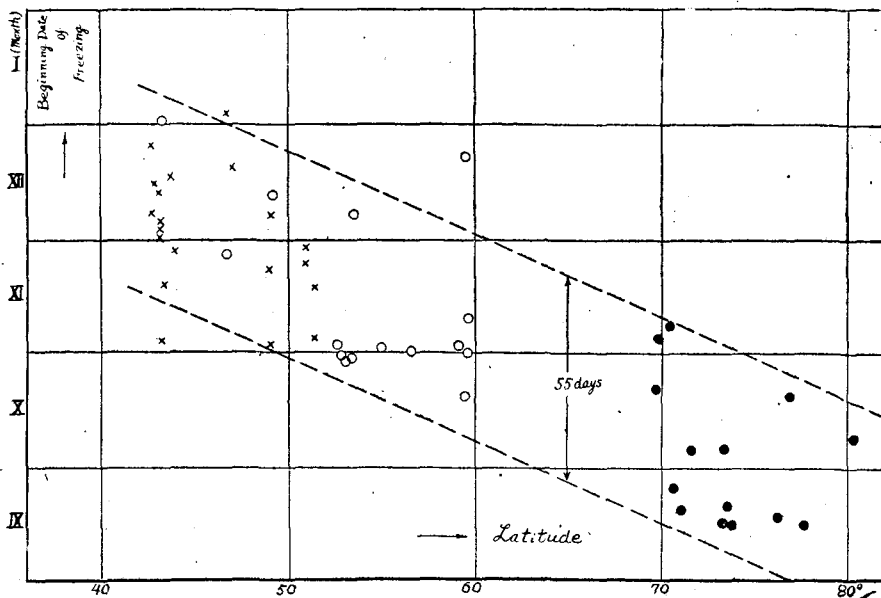
福 富 孝 治

(低温科学研究所 海洋学部門)

(昭和28年8月受理)

I. 序 言

寒地の海岸において海水の凍結が初めて認められるのは沿岸海水がその結氷温度にまで降下して後起ることは申すまでもない。海水に過冷却が起る場合には多少の遅延がおこる筈であるが筆者らの今日までの観測結果によれば多くの場合には過冷却現象は認められなかつたし、この現象が見られた場合も特別な1~2の場合を除いては實際上無視できる程度であつた。



第1圖 北方海の沿岸における凍結初日と緯度との関係
(黒丸: 北極海, 白丸: オホツク海及びアムール湾, 掛印: 日本海)

従つて、任意の場所の或年の凍結初日（ここでは海面に晶氷、アイスクリーム状海水、又は薄氷が初めて認められた日を指している）はその場所の水温の観測結果と海水鹽分が判つておれば知ることができるのであるが、水温の連続観測は到る所で行われていないので困る場合が多い。

第1圖はオホック海、日本海、北極海沿岸の凍結初日と緯度との關係を圖示したものである。この圖によつても凍結初日が北方に行くに従つて早くなる傾向はよく判るが、同じ緯度でも場所によつて55日位の範圍内で變化しており、定量的にはあまり役立たない。

沿岸水温と気温とはかなり密接な關係があり、しかも気温は世界各地にかなりの密度で観測所がありその結果が公表されているから、凍結初日と気温との關係が判れば大層便利である。従つて、本論文においては此の問題につき研究してみようと思う。

II. 凍結初日と気温との關係を示す近似式

筆者は嘗つて海水の研究(第3報)²⁾において北方海の沿岸海水の生成につき考察を行い、凍結条件、凍結初日、氷厚、最大氷厚等と気温との理論的關係を求めたことがある。

即ち、沿岸に平均深度 d 、水温 θ なる水塊を考え、この水塊においては水平方向にも垂直方向にも対流や亂流によつて水温は一樣に保たれているものとする。海水の密度を ρ 、比熱を c 、気温を T 、時間を t 、海面から空氣への熱傳達係数を K で表し、海面から空氣中に熱が散逸する結果水温が低下すると考へて

$$\frac{d\theta}{dt} + \lambda\theta = \lambda T \quad \text{但し } \lambda = \frac{K}{d\rho c} \quad \dots\dots (1)$$

なる式を導いた。

又気温の變化としては年周變化のみに着目して

$$T = T_0 - A \sin \frac{2\pi}{\tau} t \quad \dots\dots (2)$$

とした。但し、 $\tau=365$ 日、 A は気温の年周變化の半振幅、 T_0 は海水の結氷點を基準として測つた年平均気温、時間 t は秋に気温が降下して年平均気温となつた日を原點としている。

(1)、(2) 式を満足する水温 θ は結局

$$\theta = T_0 - \frac{A}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi}{\lambda\tau}\right)^2}} \sin\left(\frac{2\pi}{\tau} t - \delta\right) \quad \dots\dots (3)$$

$$\text{但し、} \quad \tan \delta = \frac{2\pi}{\lambda\tau} \quad \dots\dots (4)$$

で與えられ、時間の原點から気温が海水の結氷温度になる迄の日數 t_1 は

$$t_1 = \frac{\tau}{2\pi} \sin^{-1}\left(\frac{T_0}{A}\right) \quad \dots\dots (5)$$

となり、 $d < 100$ m であれば水温が凍結點に迄降下する日數 t_2 は近似的に

$$t_2 = \left(\frac{d}{\rho c}\right) + \frac{\tau}{2\pi} \sin^{-1}\left(\frac{T_0}{A}\right) \dots\dots\dots (6)$$

で表わされる。即ち、時間の原點から凍結初日までの日數 t_2 は氣温が海水の結氷點になる日數 t_1 より $\left(\frac{d}{\rho c}\right)$ 日だけ後れることを意味する。

$\left(\frac{K}{\rho c}\right)$ の値は前の實驗結果 (第3報第8圖) によれば近似的に

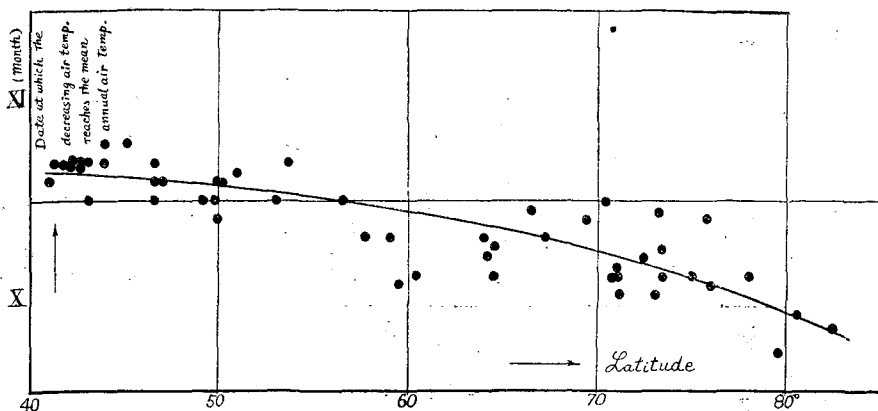
$$\frac{K}{\rho c} = 0.53 + 0.229V \dots\dots\dots (7)$$

で與えられる。但し $\frac{K}{\rho c}$ の單位は m/日、 V は風速 (m/sec) である。従つて、 $\left(\frac{d}{\rho c}\right)$ の値はその場所によつても、年によつても多少變化する。

以上が海水の研究 (第3報) 中の凍結初日に關する結果の要約であるが、オホック海、日本海、北極海沿岸の實際の凍結初日がこの關係式によつてどの程度まで正しく表わされるかを以下に吟味してみようと思ふ。

III. オホック海、日本海、北極海沿岸の凍結初日と氣温との關係

氣温は普通毎月の平均氣温の長年の平均値が與えられている。従つて、北方海の沿岸の或る場所で觀測された凍結初日についても、數年の觀測がある場合にはその平均値を求めて資料とした。そして、その場所の月毎の平均氣温の長年の平均値を用いて、年平均氣温 T_0 (ここでは沿岸海水の結氷點を -1.6°C とし、これを基準として T_0 を測つた)、年周變化の半振幅 A 、及び秋に氣温が年平均氣温を示す日即ち t の原點の月日 (第2圖に依つて求めた) を求めた。第1表はオホック海、日本海、北極海についてこれらの値を記したものである。凍結初日の資料は舊東亞研究所²⁾及び田口氏³⁾の報告により、氣象資料は中央氣象臺⁴⁾、舊東亞研究所⁵⁾の報告及び理科年表等によつた。凍結初日の觀測地でその土地の氣温の觀測値がなくてもその附近に



第2圖 氣温が下つて年平均氣温になる日と緯度との關係

第 1 表 オホツク海, 日本海, 北極海の沿岸の凍結初日, T_0 , A 等の値

海 域	地 名	緯 度 (φ) N	經 度 (λ) E	凍結初日 (月 日)	T_0	A	時間原點 (月 日)	$t_{2,obs.}$	T_0/A	t_1
オホツク海 及 び アムール灣	Palana*	59.1°	159.9°	X 12 (4)	-1.4°C	16.5°C	X 30	+13 H	-0.085	- 5.011
	Jamsk*	59.6	154.4	X 31 (2)	-3.1	17.1	X 30	+ 1	-0.181	-10.5
	Jamskaiya Bay*	59.6	154.4	X 9 (5)	-3.1	17.1	X 30	+10	-0.181	-10.5
	Kikchik*	53.5	156.0	XII 7 (1)	+2.7	9.0	X 2	+35	+0.300	+18.0
	Taous Bay*	59.5	150.0	X 19 (3)	-3.4	17.1	X 30	-11	-0.199	-11.7
	Shantar Great Is.*	54.9	137.5	X 1 (5)	-1.1	15.8	X 1	0	-0.070	- 4.0
	Ola	59.6	151.3	X 7 (2)	-3.4	17.1	X 30	+ 8	-0.199	-11.7
	Aian Bay	56.5	138.1	X 1 (3)	-2.1	15.5	X 1	0	-0.135	- 8.0
	Langre	53.3	141.5	X 28 (5)	-1.5	16.6	X 2	- 5	-0.090	- 5.3
	Pronge*	52.8	141.3	X 30 (5)	-1.2	17.6	X 2	- 3	-0.068	- 4.0
	Dzhaore Point*	52.6	141.3	X 2 (4)	-1.5	16.6	X 2	0	-0.090	- 5.3
	Nikolaevsk (Amur River)	53.1	140.8	X 28 (4)	-0.9	18.7	X 2	- 5	-0.048	- 3.0
	敷 香	49.2	143.1	XII 12 (5)	+1.6	16.7	X 3	+39	+0.096	+ 5.6
	大 泊	46.7	142.8	X 26 (20)	+4.6	14.2	X 3	+23	+0.324	+19.0
根 室	43.3	145.6	I 1 (多)	+7.2	11.4	X 4	+58	+0.632	+40.0	
	Kloster Kamp, De Castries Bay	51.4	140.9	X 4 (5)	-1.1	14.7	X 2	+ 2	-0.075	- 4.5
	” , Tartary Bay	51.4	140.9	X 17 (5)	-1.1	14.7	X 2	+15	-0.075	- 4.5
	Alexandrovsk	50.9	142.1	X 28 (4)	+1.8	18.2	X 2	+26	+0.099	+ 6.0
	Jonquire*	50.9	142.1	X 24 (5)	+1.8	18.2	X 2	+22	+0.099	+ 6.0
	Milioutin, Tartary Str.*	49.0	140.3	XII 7 (4)	+2.6	17.6	X 3	+34	+0.148	+ 8.6
	” , Sovietski Harbour*	49.0	140.3	X 2 (4)	+2.6	17.6	X 3	- 1	+0.148	+ 8.6

日本海	Nikolaevsky*	49.0	140.4	X 22 (3)	+2.6	17.5	X 3	+19	+0.149	+ 9.0
	Veselyi Jar*	43.9	135.8	X 27 (6)	+4.0	14.9	X 4	+23	+0.269	+16.0
	Chikhachevsky, Olga Bay	43.7	135.3	XII 17 (5)	+4.0	14.9	X 4	+43	+0.269	+16.0
	Basargin*	43.1	132.0	XII 13 (3)	+7.0	16.5	X 4	+39	+0.424	+25.4
	Vladivostok	43.1	131.9	XII 5 (6)	+7.0	16.5	X 4	+31	+0.424	+25.4
	Tokarevski, East Bospopus*	43.1	131.8	XII 1 (6)	+7.0	16.5	X 4	+27	+0.424	+25.4
	Amur Bay*	43.1	131.8	XII 3 (6)	+7.0	16.5	X 4	+29	+0.424	+25.4
	Northern Part of Amur Bay*	43.3	132.0	X 18 (4)	+7.0	16.5	X 4	+14	+0.424	+25.4
	Pesehanyi*	43.2	131.7	XII 3 (1)	+7.0	16.5	X 4	+29	+0.424	+25.4
	Brussovski, Amur Bay*	42.8	131.5	XII 15 (6)	+7.0	16.5	X 5	+40	+0.424	+25.4
	Slavianski Bay*	42.8	131.5	XII 7 (6)	+7.0	16.5	X 5	+32	+0.424	+25.4
	Rimski Korsakov Is.*	42.7	131.5	XII 25 (1)	+7.0	16.5	X 5	+50	+0.424	+25.4
	真 岡	47.1	142.1	XII 19 (5)	+5.6	13.7	X 3	+46	+0.408	+24.6
本 斗	46.7	141.9	I 3 (5)	+6.2	13.4	X 3	+61	+0.463	+28.0	
安 別	50.0	142.1	XII 18 (5)	+2.9	15.9	X 2	+46	+0.182	+10.7	
北極海	カラ海, ジェラーニエ岬*	76.9	68.6	X 19	-9.7	13.0	X 18	+ 1	-0.746	-49
	〃, マートチキン・シャル	73.3	56.4	X 5	-7.3	12.9	X 22	-17	-0.566	-35
	〃, カルスキエ・ウオロータ*	70.4	58.8	X 7	-6.0	12.9	X 24	+14	-0.465	-28
	〃, エゴルスキ・シャル*	69.8	60.8	X 4	-6.0	12.9	X 25	+10	-0.465	-28
	〃, マレニサレ岬*	69.7	66.8	X 11	-6.0	12.9	X 24	-13	-0.465	-28
	〃, ベールイ島水道*	73.3	70.1	X 16	-11.5	16.9	X 22	-36	-0.681	-43.5
	〃, デイクソン島海峡	73.5	80.4	X 20	-11.5	16.9	X 21	-31	-0.681	-43.5
	〃, デイクソン島灣	73.5	80.4	X 15	-11.5	16.9	X 21	-36	-0.681	-43.5
	〃, チェリュースキン岬*	77.7	104.1	X 15	-12.9	18.6	X 17	-32	-0.694	-44.5
ラプテフ海, テイクシー島*	71.6	128.9	X 5	-14.1	23.6	X 23	-18	-0.598	-37	
〃, コテリスイ島*	76.2	138.7	X 17	-15.4	18.6	X 19	-32	-0.829	-57	

N. B. 凍結初日の欄中括弧内の数字は平均に使用した資料の年数である。

気温の観測値がある場合にはその値を代用することにした。表中地名に*印を付した場所はかようなところである。

参考として、第1表の資料及び他のオホック海、日本海、北極海等の資料から、秋に気温が年平均気温を示す月日即ち時間原点を求めてその値を縦軸にとり、緯度を横軸にとつて図示すれば第2圖が得られる。圖から気温が秋に年平均気温を示す月日はオホック海沿岸では凡そ11月4日~10月29日であるが、北極海沿岸では10月中旬位であることが判る。

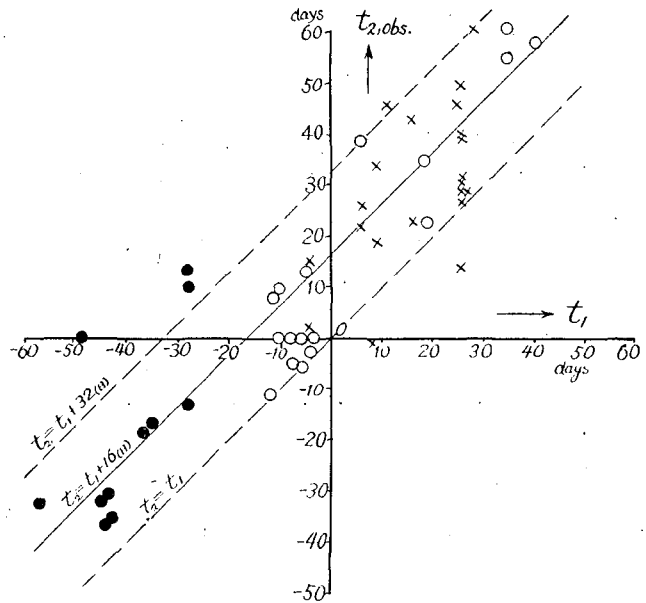
先ず、第1表中の凍結初日の日付と時間原点の日付とから、時間原点から起算して凍結初日に到る日数 $t_{2,obs}$ を求めた。次に、第1表中の各地点につき、 $\frac{T_0}{A}$ を求め(5)式によつて t_1 を計算した。これらの値も第1表に示した。

縦軸に斯くして得られた $t_{2,obs}$ の値をとって横軸にそれに對應する t_1 の値をとつてみると第3圖が得られる。圖にはオホック海及びアムール灣の値は白丸で、北極海の値は黒丸で、日本海の値は×印で示した。又圖には $t_2 = t_1$

(6)式において $\left(\frac{d}{\rho c}\right) = 0$ である場合)なる線、 $t_2 = t_1 + 16$ (日)及び $t_2 = t_1 + 32$ (日) ((6)式において

$\left(\frac{d}{\rho c}\right) = 16$ (日) 及び $\left(\frac{d}{\rho c}\right) = 32$ (日) である場合)を點線又は實線で示した。圖を見る

と $t_{2,obs}$ が $t_2 = t_1$ なる線以下の不合理なものが1~2箇所ある。これは凍結の観測年数が短かくてその平均が気温の長年の平均値と相應しなかつたか、気温資料として附近の値を使用したことによる誤差に原因したものと思われる。しかし、 $t_{2,obs}$ の多くの點は $t_2 = t_1$ 線と $t_2 = t_1 + 32$ (日) 線との中間にあり、 $t_2 = t_1 + 16$ (日) 線を中心として±16日の範囲に分布しているといえる。即ち、理論式(6)は近似的には成立つていと推定されるのである。何故なれば(6)式において $\left(\frac{d}{\rho c}\right)$ の値は各場所毎に沿岸水塊の平均深度や風速によつて多少異つた値をとるとしても、 t_1 の値には無關係であるから、各場所の t_2 の値を示す點の分布は平均状態として當然 $t_2 = t_1$ 線に平行的な分布をすべきことが期待



第3圖 時間原点から凍結初日までの日数 $t_{2,obs}$ と気温が海水の凍結温度に降下するまでの日数 t_1 との関係
(黒丸：北極海、白丸：オホック海及びアムール灣、掛印：日本海)

されるのであり、實際の観測値も圖から判る様に同様の分布をしているからである。

即ち、 $\left(\frac{d}{\frac{K}{\rho c}}\right)$ の値は場所によつて異なるが16日±16日なる値をもつと考えられるのである。

北方海の秋季の平均風速は大體5 m/secと見なされるから、(7)式から $\frac{K}{\rho c} \approx 1.7$ (m/日)となり、従つて沿岸氷塊の平均水深 d の概値は27 m±27 mとなる。

$\left(\frac{d}{\frac{K}{\rho c}}\right)$ の概値が判つたから、或る場所の T_0 、 A 、及び時間の原點の月日さえ判つておれば(6)式によつて凍結初日は近似的に推定されるのである。これは上に述べた平年の場合だけでなく任意の年についても適用できるのである。

しかし、凍結初日はもう少し嚴密には氣温だけではなく、その沿海における凍結初日前の風向風速にも多少の關連があるのである。この問題については後報に報告する豫定である。

IV. 總括及び結語

以上の結果を綜合すれば次の様である。

(1) 海氷の研究 (第3報) において求めた凍結初日と氣温との近似的關係を示す理論式(6)は近似的には實際に適用されること。

(2) オホック海、日本海、北極海においては(6)式中の $\left(\frac{d}{\frac{K}{\rho c}}\right)$ の値は場所によつて、多少異なるが16日±16日程度の値であること。

終りに臨み、本研究に要した費用は文部省科學研究費によつた。ここに記して感謝の意を表す。

文 献

- 1) 福富孝治・植 宏・田畑忠司 1950 海氷の研究 (第9報) 網走、紋別における沿岸海水下の海水の温度、鹽分について。低温科學, 3, 193~206.
- 2) 福富孝治 1950 海氷の研究 (第3報) 沿岸海氷の生成についての理論的考察。低温科學, 3, 131~142.
- 3) 東亞研究所 1943 北極洋大陸沿岸の氷狀調査。北極洋調査資料, 4, 1~100.
- 4) 田口龍雄 1932~1933 ベーリング海, オホック海, 日本海北部の海氷について。海洋時報, 4, 489.
須田暁次・關和男 1931~1932 ベーリング海, オホック海及び近海各港における流氷初終日。海洋時報, 3, 697.
須田暁次 1931 宗谷海峡及び亞麻灣の海氷に就て。海洋時報, 3, 438.
- 5) 中央氣象臺 1942 地名別本邦氣候表。
- 6) 東亞研究所 1943 1927年までの北極海氣候調査資料。北氷洋調査資料, 7, 1~44.
東亞研究所 1943 北極海, カナダ群島及びアラスカの氣候概説。北氷洋調査資料, 6, 1~66.

Résumé

We studied, in the present paper, the relation between the observed beginning date of freezing in the coastal water of the Okhotsk Sea, the Japan Sea and the Arctic Sea and the corresponding air temperature, and ascertained that the relational equation (6), which was derived theoretically in the "Study of Sea Ice" (the 3rd Report), is practically applicable in the first approximation.

We also recognized the fact that the time interval between the calculated date at which the decreasing air temperature reaches the freezing point of sea water and the observed date of commencement of freezing lies in the range of 16 ± 16 days, being variable with the mean depth of the coastal water mass and with the wind velocity.