

流水塊の衰滅に就て

神戸海洋気象臺 宇田道隆

【昭和18年3月26日受理発表】

流水塊は南下するうちに次第に暖水と暖風及日射の作用を受けてその受熱により融解する。大西洋では、東グリーンランド海流及びブラドル海流に乗つて南下して来て北米のニューファンドランド沖の Grand Bank 附近でガルフ・ストリームの暖水に觸れて急激に融ける。吾國近海に於ても、オホーツク海側から太平洋側へ千島の海峡を経て流出した流水塊は親潮に乗つて南西へ下るのであるが、津軽海峡東方の北海道南海では冷水塊と暖水塊とが顕著な潮境を作つてゐるから、流水塊は此處まで入り込むと急激に融解が進行する。かやうな流水塊の融解に至る過程を考察しやう。

先づ簡単のために、水塊の温度は常に 0°C に保たれてゐるものとし、水塊周囲の冷水塊は絶えず氷に接觸しては冷却されて氷塊下に沈降し、更新を續けてゐるが、融解中も浮氷の靜的平衡は絶えずその水面と切り合ふ位置を變更しつゝ保たれてゐるものとする。

今全水量を M 、水面上の水量を M_1 、水面下の水量を M_2 、 dt 時間に融解によつて減少した水量を dM 、水面上のそれを dM_1 、水面下のそれを dM_2 とし(第1圖)、氷の密度 ρ 、周りの海水密度 ρ_0 、気温 θ_1 、水温 θ_2 、融解熱 L 、漂流速度を v 、浮流経路 (x 軸) 上に於ける気温、水温の分布をそれぞれ $\theta_1=f_1(x)$ 、 $\theta_2=f_2(x)$ とする。然る時は先づ平衡條件より

$$\rho(M_1+M_2)=\rho_0 M_2 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\therefore M_2 = \frac{\rho}{\rho_0} (M_1+M_2) = \frac{\rho}{\rho_0} M$$

$\frac{\rho}{\rho_0}$ は略々一定であるから、之を n と置くと¹⁾

$$M_2 = nM \quad \dots\dots\dots(1)'$$

従つて

$$M = (1-n)M \quad \dots\dots\dots(1)''$$

今流水塊が dt 時間に dM だけ融解するのは、 M_1 の部分の受熱量 $k_1 M_1 \theta_1 dt$ に應じて dM_1 だけ融解するものと、 M_2 の部分の受熱量 $k_2 M_2 \theta_2 dt$ に應じて dM_2 だけ融解するものとの合計である。茲に k_1 、 k_2 はそれぞれ大氣と氷及び海水と氷の間の動的熱傳導係數に相當する。従つて

1) 宇田道隆：日本近海の海水に関する物理的諸問題。雪氷，第3巻第1號。昭和16年より $M_2=6.3M_1$ ， $n=\rho/\rho_0=M_2/M=0.86$ ， $1-n=0.14$ ， $\rho=0.89$

$$dM = dM_1 + dM_2 \dots\dots\dots(2)$$

$$-\frac{dM_1}{M_1} \cdot L = k_1 \theta_1 dt \dots\dots\dots(3)$$

$$-\frac{dM_2}{M_2} \cdot L = k_2 \theta_2 dt \dots\dots\dots(4)$$

(3), (4) から

$$-d(M_1 + M_2) = (M_1 k_1 \theta_1 + M_2 k_2 \theta_2) \frac{dt}{L} \dots\dots\dots(4)'$$

(1)', (1)'', (2) を入れて

$$-dM = \frac{M}{L} [(1-n)k_1 \theta_1 + nk_2 \theta_2] dt \dots\dots\dots(5)$$

$vdt = dx$ を入れて

$$-\frac{dM}{M} = \frac{1}{vL} [(1-n)k_1 \theta_1 + nk_2 \theta_2] dx \dots\dots\dots(6)$$

$\theta_1 = f_1(x)$, $\theta_2 = f_2(x)$ を代入して

$$-\frac{dM}{M} = \frac{1}{vL} [(1-n)k_1 f_1(x) + nk_2 f_2(x)] dx \dots\dots\dots(6)'$$

従つて

$$M = Ae^{-\int \frac{g(x)}{vL} dx} \dots\dots\dots(7)$$

茲に

$$g(x) = (1-n)k_1 f_1(x) + nk_2 f_2(x)$$

(I) 今簡單なる場合を考へて、 $k_1 = k_2 = k$, $\theta_1 = \theta_2 = \theta = ax$, $g(x) = kax$, $v = v_0 = \text{const.}$ と置いて見ると、

$$M = Ae^{-\frac{ka}{v_0 L} x^2} \dots\dots\dots(7'a)$$

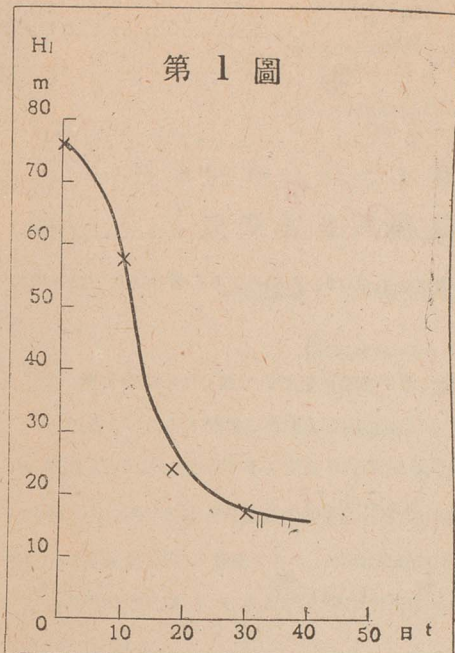
又は

$$M = Ae^{-\frac{kav_0}{L} t^2} \dots\dots\dots(7'b)$$

即ち確率曲線で示される如き融解過程を辿ることになる。今氷塊の高さ(全高)を H , 水面上の高さを H_1 , 水面下の高さ(或は深さ)を H_2 とすると(第1圖), (1)' を入れて

$$\frac{dH_1}{H_1} = \frac{dM_1}{M_1} = \frac{dM}{M} \dots\dots\dots(8)$$

H₁
m
80
70
60
50
40
30
20
10
0
上の高
つてゐ
なる確
線で表
(II)
とする
(7)よ
2)



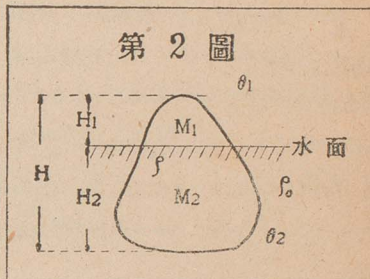
従つてこの場合

$$H_1 = Ae^{-bt^2} \dots\dots(9)$$

茲に

$$b = \frac{kav_0}{L}$$

アメリカの氷山監視船 Marion 號がラブラドル寒流中に浮流する氷山を追跡した記録によると²⁾、四月十一日に水面



上の高さ (H_1) が、76m., 10日後に 58m., 18日後に 24m., 1ヶ月後(五月十二日)に 18m. になつてゐたとある. H_1 を圖示すると第2圖の如くであり、これは計算すると

$$H_1 = 78e^{-0.00055t^2} \dots\dots(10)$$

なる確率曲線で示され、 $b=0.00055$ となる. H_1 の減り方は M の減り工合と同様に確率曲線で表はされる.

(II) 次に潮境に近づいた時の温度分布を考慮して

$$\theta_1 = a_1 x^2, \quad \theta_2 = a_2 x^2, \quad v = v_0, \quad k_1 \neq k_2$$

とすると、

$$g(x) = (1-n)k_1 a_1 x^2 + n k_2 a_2 x^2 = m x^2 \quad (\text{茲に } m = (1-n)k_1 a_1 + n k_2 a_2 \text{ と置く})$$

(7) より

2) Polarbuch (1933) の 74 頁所載 H. Smith の報告に據る.

$$M = Ae^{-\frac{m}{v_0 L} x^2} \dots\dots\dots(11)$$

又は

$$M = Ae^{-\frac{m}{L} v_0^2 t^2} \dots\dots\dots(11)$$

(8) より

$$H_1 = Ae^{-b v_0^2 t^2} \dots\dots\dots(11)''$$

従つてこの場合の曲線は略々 (9) の場合に似てをるが (9) の場合より一層急速なる流水塊の衰滅を示すこととなる。

(III) 次に漂流速度の最初遅く、次第に速くなり潮境に近づいて遅くなる場合を考へて

$$\theta_1 = \theta_2 = ax, \quad v = v_0 x(c-x)$$

と置くと、

$$k_1 = k_2, \quad g(x) = kax$$

とすれば

$$\therefore M = Ae^{-\frac{ka}{v_0 L} \int \frac{dx}{c-x}} = A(c-x)^{\frac{ka}{v_0 L}} \dots\dots\dots(12)$$

即ち

$$H_1 = A(c-x)^{m'} \dots\dots\dots(12)'$$

茲に

$$m' = \frac{ka}{v_0 L}$$

なる $x=c$ に頂點をもつ拋物線の下降部に當る曲線 ($v \geq 0$ であるから $x \leq c$) に従つて減衰する。

結び. 流水塊が漂流中暖風、暖水に觸れて如何に衰滅融解の過程を辿るかを數理的に考究した。其の結果は (7) 式で表はされるやうに一般に、時間に對し又は漂流距離に對し確率曲線をなして減衰することを知つた。尙簡単な實際に起る三つの場合を想定してこれを解き、實測の結果を説明できることを例示した。斯様な流水塊、流氷山に對する追跡觀測及び室内實驗が海水の寒流勢力消長及び氣候變化に及ぼす影響を考慮して其の基本研究たるべく盛んに行はれることを望んで筆を擱く。