



|                  |   |
|------------------|---|
| Title            | 海氷下面における水から氷への熱流量   |
| Author(s)        | 小野, 延雄  |
| Citation         | 低温科学. 物理篇, 42, 175-178  |
| Issue Date       | 1984-03-05  |
| Doc URL          | <a href="http://hdl.handle.net/2115/18494">http://hdl.handle.net/2115/18494</a> |
| Type             | bulletin (article)  |
| File Information | 42_p175-178.pdf   |



[Instructions for use](#)

Nobuo ONO 1983 Short Report: Heat Flow from Water to Ice at Lower Surface of Sea Ice. *Low Temperature Science, Ser. A, 42*.

## 海水下面における水から氷への熱流量\*

小 野 延 雄

(低温科学研究所)

(昭和58年10月受理)

### I. ま え が き

海洋表層中を海から大気へと流れる鉛直渦動熱流量の実測は困難なことが知られている。冬に海面が海水でおおわれると、波やうねりが抑制されて激しいじょう乱が押えられていること、海水を足場として測器を降ろして計測できることなどの利点はあるものの、海水から氷層への熱流量の直接測定は多くの困難をともなっている。それは海水直下の水温分布には、巨視的には結氷温度の一定値で鉛直温度勾配が見られないし、微視的には海水下面から排出される高濃度のブラインの流下によって、むしろ水平的に水温や流れの場の不均質が考えられる状況だからである。

それゆえこの海水下面における海水から氷層への熱流量は、これまで大気-海水-海洋系の熱収支において、無視されたり、帳尻合わせ的に見積られたり、数値計算においていくつかの値を代入して氷厚や氷域分布の合う最適値を選ぶなどして推定されてきた。それらの値は2~20 Wm<sup>-2</sup>におよんでいる<sup>1)</sup>。

一方、海水を熱流計として使い、水中熱流量から下面成長潜熱と氷層の含有熱量変化とを差引いて海から氷への熱流量を得ようとする試みも古くから行われてきた<sup>1)</sup>。しかし、海水の表面近くは気温の変化にもなる水温変化や日射の内部吸収があって熱的ふるまいが複雑であるし、下層では氷層増加の潜熱計算に必要な純氷率が塩分量や融点に近い氷温のわずかの違いで大きく変わるので、この下面熱流量を精度よく知るのはむずかしいという実情にある。

この報告は、海水の温度・塩分量鉛直分布の特徴を生かして、下面熱流量を精度よく求める方法を考案し、それをを用いて2, 3の例についてこの熱流量を求めてみたものである。

### II. 解 析 方 法

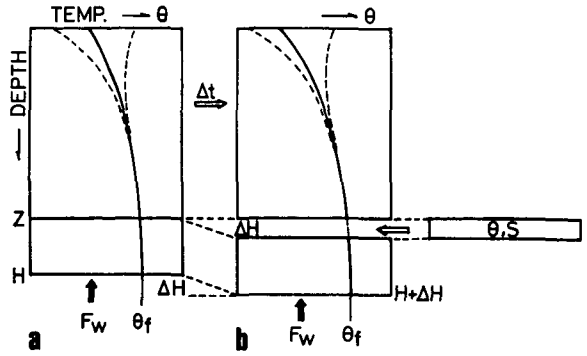
海水の鉛直温度分布を見ると、表層は気温につれて変化するが、下面は常に結氷温度に保たれており、下層はほぼ直線的な温度勾配をもっている。

一方、海水の塩分量の鉛直分布は、表面付近で塩分量が高く、中層に極小値を持ち、下層で再び高くなるという姿をとる。氷厚が増すにつれて全層の平均塩分量は減少傾向をたどるが、それは主として表層、中層の塩分量が減るためで、極く薄い場合を除けば下層の塩分量の

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第2605号

変化は小さい。

海水の塩分量と温度の鉛直分布のこのような特徴は、もし成長する海水下面に固定した移動座標系で眺めれば、海水下層の温度と塩分量の鉛直分布がほぼ定常と見なしうることを示している。第1図 a は、厚さ  $H$  の海水中の鉛直温度分布の模式図である。ほぼ定常と見なしうる層の中に深さ  $z$  の面をとり、そこに切



第1図 解析方法の概念図

れ目を入れて氷層を上下2層に分けたと考える。下層の水を第1図 b に示すように、 $\Delta t$  時間の氷厚増加量  $\Delta H$  だけ押し下げると、 $z$  面の下に  $\Delta H$  のすきまができる。そのすきまにその深さの氷温  $\theta$  と塩分量  $S$  とをもつ  $\Delta H$  の厚さの氷板を作ってはめ込んだとすると、それは海水が  $H + \Delta H$  の厚さを持った時刻  $t + \Delta t$  の温度や塩分量の状態にはほぼ等しい。

深さ  $z$  の面の単位面積を単位時間に流れる熱流量は熱伝導率を  $k$  とするとき  $k \frac{d\theta}{dz}$  で与えられ、それは海水下面での氷成長の潜熱と、厚さ  $H - z$  の氷層の含有熱量変化  $\Delta q$  と、海水下面における水から氷への流入熱量  $F_w$  との和に等しい。すなわち、

$$k \frac{d\theta}{dz} = L' \rho' \frac{dH}{dt} + \Delta q + F_w \tag{1}$$

ここで  $L'$ ,  $\rho'$  は氷厚増加の潜熱を与えるために純氷率を考慮した潜熱および密度であり、温度や塩分量の関数となって純氷とは異った値をとる。この  $L'$ ,  $\rho'$  あるいは  $\Delta q$  は、下層の温度や塩分量に大きく依存するために、これらの値を精度よく知ることはむずかしい。

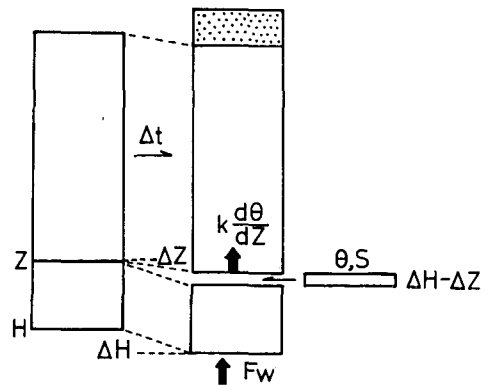
第1図 b の考えによれば、 $z$  面を通る熱流量はすきまにはめ込む  $\Delta H$  の厚さの海水を作るときの熱  $Q\rho\Delta H/\Delta t$  と  $F_w$  との和として

$$k \frac{d\theta}{dz} = Q\rho \frac{\Delta H}{\Delta t} + F_w \tag{2}$$

で表わされる。 $Q$ ,  $\rho$  はそれぞれ温度  $\theta$ , 塩分量  $S$  の海水の融解熱と密度である。この  $Q$ ,  $\rho$  および  $k$  は、小野<sup>2)</sup> によって温度、塩分量、気泡の体積分率の関数として示されている。

実際の観測例について適用しようとする

と、 $\Delta t$  時間中に積雪荷重による氷層の沈下があったり、積雪の氷化による氷厚増加があったりして、氷厚増加量が下面成長量と一致しない場合が見られる。第2図にこのような場合の取扱いを示した。 $z$  面が  $\Delta t$  時間後に  $\Delta z$  だけ下方に鉛直変位したとすると、 $z$  面で切った下の氷を



第2図 積雪等により氷層の鉛直変位があるときの取扱い

$\Delta H$  押し下げるだけでなく、上の氷も  $\Delta z$  だけ沈める必要がある。その結果、 $\Delta H - \Delta z$  のすぎまに氷の板をはめ込めばよいことになり、求める下面熱流量は

$$F_w = k \frac{d\theta}{dz} - Q\rho \frac{\Delta H - \Delta z}{\Delta t} \quad (3)$$

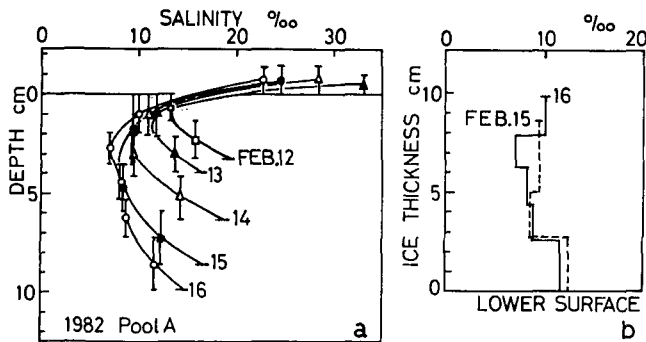
となる。

### III. 適用例

1982年2月にサロマ湖(塩湖)の平坦海水にプールを作って薄氷を成長させ、種々の観測を行なった。その時のプールAにはった薄氷の塩分量分布と氷温分布の推移はすでに報告されている<sup>3,4)</sup>。第3図aにその塩分量鉛直分布の推移<sup>3)</sup>を示した。塩分量は薄氷を2~3cmごとの何層かに切って、各層の平均塩分量として測ったものである。12日から13日にかけて約1cmの積雪があり、14日までに若干の降雪が加わって1.4cm位になり、その後16日までほぼこの積雪深を保っていた。

第3図bは15日と16日の塩分量鉛直分布を海水下面をそろえて示したものである。氷厚9~10cmの薄い海水の下約半分5cm位で塩分量鉛直分布がほぼ等しく、切れ目を入れて押し下げる考え方が精度よく適用できることがわかる。

14日から15日にかけてと、15日から16日にかけての解析結果を第1表に示した。No. 1, 2の欄は  $\Delta t$  を24時間として  $\Delta H/\Delta t$  を求めて計算したもので、 $F_w$  として  $55 \text{ Wm}^{-2}$  位の値が得



第3図 サロマ湖プールA 海水の塩分量推移

第1表 解析例

| No. | 場所           | 期間                  | $\Delta H$<br>(cm) | $\Delta z$<br>(cm) | $(\Delta H - \Delta z)/\Delta t$<br>(m/s) | $d\theta/dz$<br>(deg/m) | $kd\theta/dz$<br>(W/m <sup>2</sup> ) | $Q\rho(\Delta H - \Delta z)/\Delta t$<br>(W/m <sup>2</sup> ) | $F_w$<br>(W/m <sup>2</sup> ) |
|-----|--------------|---------------------|--------------------|--------------------|---|-------------------------|--------------------------------------|--|------------------------------|
| 1   | サロマ湖<br>プールA | 1982. 2.<br>14-15   | 1.6                | 0                  | $1.85 \times 10^{-7}$                     | 55                      | 99.0                                 | 45.5   | 53.5                         |
| 2   | 〃            | 15-16               | 0.9                | 0                  | $1.04 \times 10^{-7}$                     | 45                      | 81.0                                 | 25.6   | 55.4                         |
| 3   | 〃            | 14-15               | 1.6                | 0                  | $2.47 \times 10^{-7}$                     | 55                      | 99.0                                 | 60.7   | 38.2                         |
| 4   | 〃            | 15-16               | 0.9                | 0                  | $1.39 \times 10^{-7}$                     | 45                      | 81.0                                 | 34.1   | 46.9                         |
| 5   | 昭和基地<br>付近   | 1976. 8.<br>17-9. 9 | 16.0               | 3.0                | $6.54 \times 10^{-8}$                     | 12                      | 26.4                                 | 20.2   | 6.2                          |

られた。しかし滝沢ら<sup>4)</sup>に示されている氷温記録からもわかるように、日中の5~6時間は全層が結氷温度近くまで上っているので、日中は氷がほとんど成長していないと考えられる。計算にあたって下層の温度勾配は日中の期間を無視して夜間の値を平均値として用いた。そこで成長量を日中をすてた18時間で割って成長速度を求めて計算した $F_w$ の値をNo. 3, 4欄に示した。薄い海水の場合、これまで知られていた2~20  $\text{Wm}^{-2}$ を上回る40  $\text{Wm}^{-2}$ 前後の値が得られることがわかる。

第1表のNo. 5の欄には、昭和基地付近の定着氷での若土による観測結果<sup>5)</sup>を用いた適用例を示した。この期間、海水は165 cmから181 cmへと成長し、積雪増により約3 cm沈下した。 $z$ 面は125 cmにとったが、その温度、塩分量は $-6^{\circ}\text{C}$ 、4‰位であった。得られた $F_w$ の値は表に示されているように6.2  $\text{Wm}^{-2}$ であった。

これらの結果は、氷下面における海から氷への熱流量が一定値ではなく、氷厚やその他の条件によって大きく変ることをうかがわせている。そしてこの方法は差分的に求めるものであるから、種々のパラメタ依存を調べる場合でも比較的容易にデータが得られるという利点がある。ただし、 $F_w$ の決定の精度は、 $(\Delta H - \Delta z/\Delta t)$ の精度に大きく依存するので、海水下面での真の成長量を知るためには、海面を基準にして測るだけでなく氷層中にしばしば見ることのできる気泡の層などを基準に下面成長量を求めるなどの工夫が必要となる。今後はこれらの点に留意した実測を行なって、海水下面熱流量のパラメタ依存関係を調べたいと考えている。

この研究は文部省科学研究費一般研究B「世界気候にかかわる海水のモデル化のための基礎研究」(課題番号56460037, 代表者小野延雄)によった。

## 文 献

- 1) McPhee, M. G.-Untersteiner, N. 1982 Using sea ice to measure vertical heat flux in the ocean. *J. Geophys. Res.*, **87**, C 3, 2071-2074.
- 2) 小野延雄 1968 海水の熱的性質の研究 IV. 海水の熱的な諸定数. *低温科学, 物理篇*, **26**, 329-349.
- 3) 若土正暁・滝沢隆俊 1982 新しく生長した海水の塩分量分布. *低温科学, 物理篇*, **41**, 167-172.
- 4) 滝沢隆俊・若土正暁 1982 海水上の積雪. *低温科学, 物理篇*, **41**, 159-165.
- 5) 若土正暁 1981 昭和基地周辺の海水について II. 海水の塩分量分布. *低温科学, 物理篇*, **40**, 119-125.