

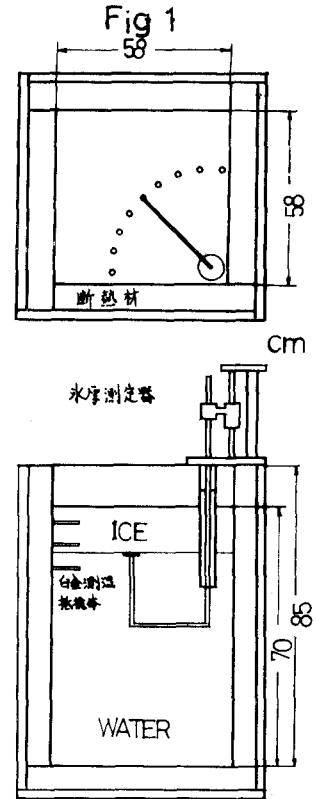
北大工学部 正員 佐伯 浩
正員 浜中 建一郎
学生員 ○阿部 茂

I. 緒言

北海道のオホーツク沿岸や東部沿岸に存在する各港は冬季間凍結し、港湾としての機能を果たし得ない。従来、我々は港内外の塩分濃度分布、水温分布等の現地計測、実験を行なつたが、現地計測中、水温が結氷温度に達する以前に結氷が起り始める現象が観測された。そこで本実験は、気温の降下に伴う水温変化、結氷機構、氷厚増加に着目し、海水の生成と成長に関する基礎的実験を行なつた。

II. 実験装置と測定方法

北大開発実験室の低温室において、気温をほぼ -10°C に保ち、側面・底面を50mmの断熱材で断熱し熱の出入りを水面だけにした、縦58cm、横58cm、深さ85cmのビニール水槽を用いた。水温の測定は、水深5, 10, 15cmの地点において白金測温抵抗体により測定し、電子記録計により自動記録させた。氷厚は、氷を壊す事なく測定する為、図示の如くL字型スチールパイプを用いた氷厚測定器を用い、約24時間間隔で、9点を測定した。塩分濃度は39.4%, 35.6%, 27.4%と変えて実験を行なつた。(Fig 1)



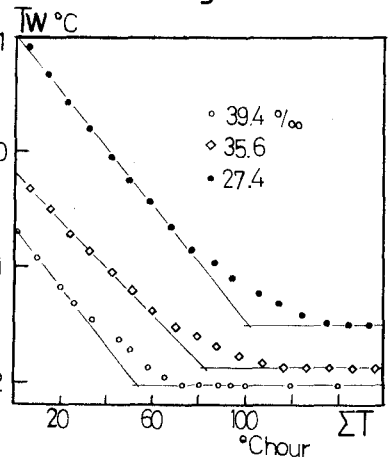
III. 実験結果と考察

1. 凝似結氷期間 海水を冷却してゆくと温度降下は寒度($^{\circ}\text{C hour}$)に対して近似的に直線変化である。さらに冷却すると、水深5cmの水温が結氷温度よりも0.5~0.7 $^{\circ}\text{C}$ 高い時点が直線的な温度降下からはずれ、次第に勾配は緩やかになり、最終的に結氷温度で一定値を保つ。この直線的変化からはずれる時点から結氷温度に至るまでの期間において、大気水面間の熱交換により水面から奪い去られるべき熱量が結氷に費やされていると考えられる。この期間では、水面は氷と水との共存状態にあると考えられる。故にこの期間を凝似結氷期間と名付ける。(Fig 2)

2. 結氷時の水温の鉛直勾配 周知の様に最大密度温度と結氷温度は塩分量の関数で、24.695%を境に性質を異にする。淡水の場合、最大密度を呈する4 $^{\circ}\text{C}$ までは鉛直勾配は発生しないが、それ以上冷却すると急速に勾配を持ち始め、結氷開始3日後でも水深5cmで0 $^{\circ}\text{C}$ 、10cmで1 $^{\circ}\text{C}$ 、水底で2 $^{\circ}\text{C}$ を示した。一方、塩分濃度24.695%以上の塩水では結氷温度に至るまで大きな鉛直勾配は発生せず、氷の生成中は、ほぼ全層結氷温度を保つ。これは対流による影響と考えられる。

3. 氷厚増加と積算寒度 理論的にも実験的にも、氷厚は時間と共に増加する。今ここに塩水の結氷温度と気温との差を積算した積算寒度の概念を取り入れると、氷厚は積算寒度に比例する。氷厚の増加は、

Fig 2



濃度の違い(39.4, 35.6, 27.4%)に拘らず、ほぼ一定の値を示し、その実験式は次式の如くである。I: 氷厚(cm)

$$I = 1.31(\Sigma T)^{0.61} \quad \Sigma T: \text{積算寒度}(^{\circ}\text{C}\cdot\text{day})$$

積算寒度を計算する時に、結氷開始時点を決めなければならないが、本実験では水面一面結氷して水面全体がほぼ同一状態であり、氷厚増加作用が開始されると考えられる、水温が結氷温度になる、この時点が結氷開始時点とした。(Fig 3, 4)

4. 理論値との比較 stefan, 北大低温研の研究によると、氷表面から奪われる熱量の全てが氷厚の増加に関与すると仮定した場合でも、ブライン中の氷の析出を考慮した場合においても、伝熱が熱伝導のみを考える場合、理論的には氷厚は積算寒度の平方根に比例する。低温研による、ブライン中の氷の析出を考慮した場合の理論的氷厚係数は、氷の融解熱 $80 \frac{\text{cal}}{\text{gr}}$ 、海水の密度 $0.95 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ 、ブライン密度 $1.1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ 、海水中の氷比率 0.63 、熱伝導率 $0.003 \frac{\text{cal}}{\text{cm}\cdot\text{sec}}$ として、塩分濃度 39.4%~27.4% で $2.88 \sim 2.82 \text{ cm}/(^{\circ}\text{C}\cdot\text{day})^{\frac{1}{2}}$ の値をとる。この式を Fig 3 に併記する。本実験においては、実験値は積算寒度の平方根に比例せず 0.61 乗に比例している。これは、実際には伝導のほかに対流による伝熱があり、水表面と底面の水温差による密度差、結氷による密度差などから対流が発生し、垂直熱輸送が行なわれていると考える。さらに塩水の場合、ブライン・気泡による断熱効果を考慮しなければならない。実験値は、0.61 乗に比例するが、係数は小さく、ある程度の範囲まで理論値より小さな値を持つ。

IV. 実際海面への適用

本実験で得た実験式を実際海面へ適用してみる。(Fig 5, 6)
○は 1944 年 2 月の網走、●は 1946 年 2 月の釧路におけるデータである。対数プロットの値は同一積算寒度の平均値である。気象条件の異なる各地点へ実験室で得た実験式が適用されることを意味している。Fig 6 に低温研が網走、釧路に関して求めた実験式

$$I = 2.1(\Sigma T)^{0.5} \text{ を併記する。}$$

V. 今後の問題点

本実験は気象条件が制約された基礎的な実験であり、実際海面へのある程度の適用は成されたが、実際には氷の融解に働く日射量、海水上の降雪による断熱効果等、気象条件による影響がある。さらに、対流の垂直熱輸送量、渦動による渦動熱伝導等多くの問題があり、今後これらの問題の解明が必要である。

参考文献

海水の研究(第1報~第18報) 北大低温科学研究所
海洋の分子物理学 V. V. シュレイキン
北氷洋の氷 H. H. ゴーボフ

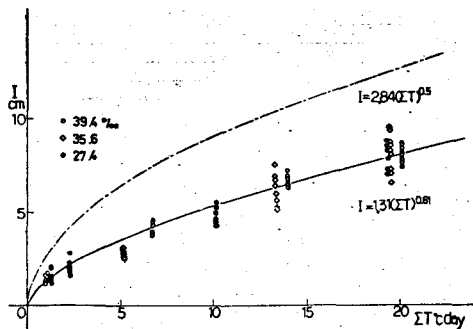


Fig 3

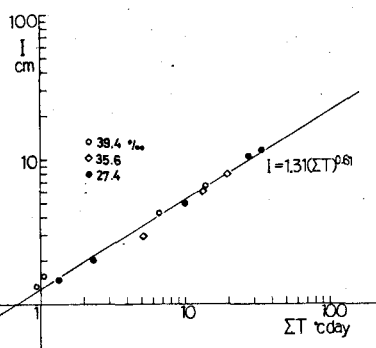


Fig 4

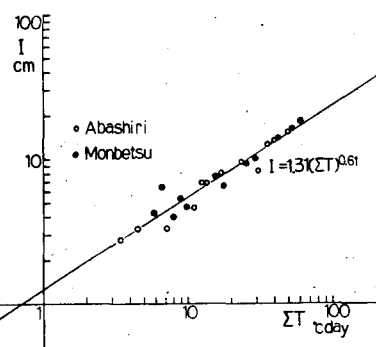


Fig 5

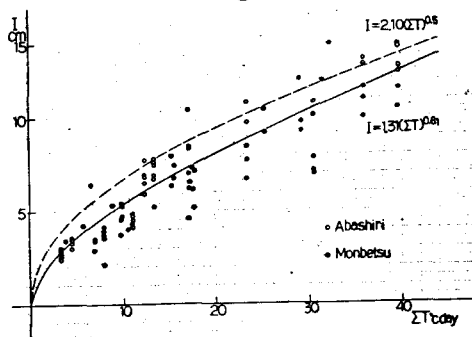


Fig 6