



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	船体着氷に関する研究(Ⅰ)：着氷についての初期的実験
Author(s)	守村, 慎次; MORIMURA, Shinji
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 18(3), 213-222
Issue Date	1967-11
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/23319
Type	departmental bulletin paper
File Information	18(3)_P213-222.pdf



船体着氷に関する研究 (I)

着氷についての初期的実験

守 村 慎 次*

Studies on the Ice Accumulation on Ships (I)

Shinji MORIMURA

Abstract

It is known that ice accumulation on ships sailing in northern waters in the winter not only hinders deck operations but also is dangerous for the ship.

There has been not yet found the final solution though the research on this problem has been done by the British Shipbuilding Research Association, the Maritime Safty Agency of Japan, the Laboratory of Low Temperature Science of Hokkaido university and others.

Recent studies have developed the methods to reduce icing or take off accumulated ice on ships.

The present writer developed some equipment which consists of a reflux duct to simultate the condition which cause icing on ships in order to seek methods of prevention or reduction of icing.

Many experiments on icing can be done in a laboratory with the equipment but, of course, they must be checked in a natural environment.

In this paper the equipment and the results of early experiments are reported.

ま え が き

冬期、北方海域を航行する船舶が、しばしば遭遇する障害の1原因として、着氷現象が挙げられる。船体着氷は、甲板作業に支障を招くのみならず、小型船においては、その安全性にも重大影響をおよぼしている。

1955年、北太西洋で起った2隻のトロール漁船の遭難をきっかけとして始められた船体着氷への対策研究は、その後、いろいろな角度から、着氷対策の提案が試みられたが、未だ、決定的な解決を見出すことができない。然しながら、最近、着氷の緩和、或いは、付着後の除氷方法として興味ある報告がなされている。

着氷の原因は、これまでの報告から、特定の気象条件の中で空中に飛散した海水飛沫の凍着に限定されてきている。田畑ら²⁾によると、船がしぶきをかぶり始める風力状態から着氷があらわれ、気温が -2.5°C の時でも、可成りの着氷が見られた、と報告されている。

筆者は、着氷の防止、或いは緩和の可能性を、実験的に考えるために、北海の自然を同程度に再現できる密閉還流ダクト型式の実験装置を準備した。実験室における解析は、自然における実船実験にくらべて、充分適正な比較を考慮せねばならないが、種々の気象状態をつくり出して、数多くの測定観察に基づく資料について考察できる長所を持っている。

ここでは、主として、実験装置の機能、及びそれによる初期的な実験結果についてのみ報じた。

* 北海道大学水産学部漁船工学講座

実 験 装 置

実験のための主要装置は、Fig.1 に示される密閉還流ダクトである。内部空気は、冷却コイルとヒーターを精巧なサーモスタットで調節運転することにより、設定温度から $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ の範囲内に調整され、送風機によって環流させられる。このとき、気流は $0^{\circ}\text{C}\sim -25^{\circ}\text{C}$ の値をとり得るよう設計された。ダクトの測定部の断面は $500\text{mm}\times 500\text{mm}$ からなり、この断面を通過する風速は、送風機の無段変速により、 $3\text{m/s}\sim 15\text{m/s}$ の範囲を連続的に変化できる。これらの範囲は、これまで幾つかの研究報告から、すべての着氷条件の解析ができるよう考慮されたものである。

測定部は、真空ペアガラスによって、温度差による表面の結露を防ぎながら、ダクト内を透視できるように作られた。内部の観察を、より便利にするため取付けられた天井照明は、実験中の写真撮影をも可能にしている。

冷却コイルは着霜による性能低下を考慮して、運転中にも除霜が行えるように、同型の銅コイル冷却器を2連設け、ダンパーによる開閉を計画したが、実際の運転においては、殆んどの実験が、コイルの除霜を必要とする時間内に終了するため、運転中に除霜を行う機会がなかった。

この実験装置について、最も有効な機能を要求されるしぶきの噴射装置は、当初から、可成り多くの方式について論議せざるを得なかったが、結局、スプレーノズルによる上方吹き上げ方法が採用された。即ち、別個に用意された水槽で、所定の温度に冷却された液体が、ポンプによって加圧されて、ノズルから上方に噴射される仕組みとなっている。噴射量は途中の手動バルブで調節され、しぶきの大きさは、ノズルの口径を3種類組合せることによって、7種類の飛沫群を作り出せる。

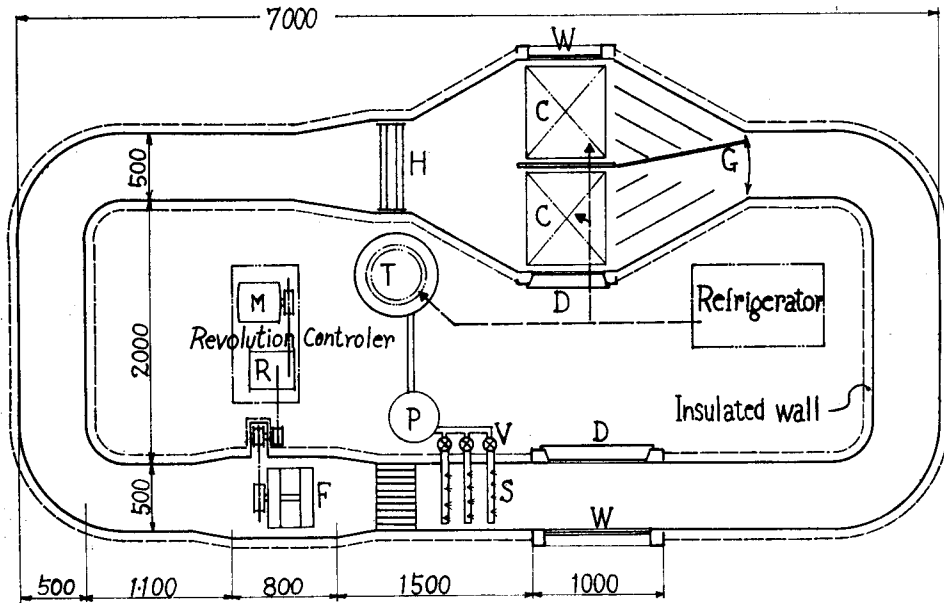


Fig. 1. Outline of the equipment

- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| W: Observing window | D: Operational lid |
| S: Device of water spray | V: Flux control valve |
| P: Water pump | T: Cooling Water tank |
| C: Cooling coil | G: Guide damper |
| H: Control heater | F: Air blast fan |
| M: Motor | R: Speed reducer |

ダクトの全壁は、厚さ 75mm のポリスチロール系断熱材で防熱され、内部空気は、必要によって新気取入口を開閉する以外、殆んど外気と絶縁されている。内部空気の湿度は、スプレーの操作及び運転時間の変動で測定が極めて困難なので、まだ放置のままにされているが、現時点では、船体着氷に対する湿度の影響は殆んど少ないとされている。Fig. 2 及び Fig. 3 はダクトの概観と測定部の観測窓である。

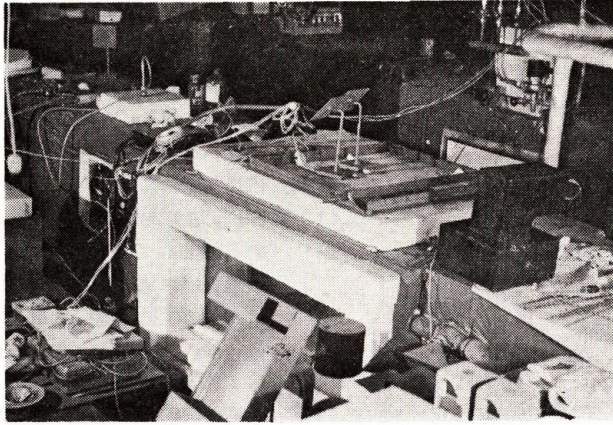


Fig. 2. Appearance of equipment

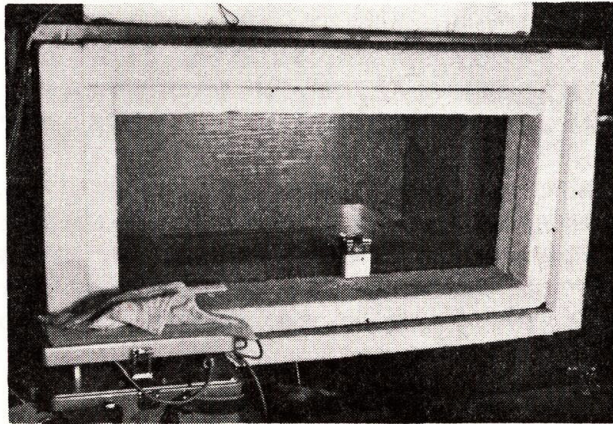


Fig. 3. Appearance of observing window

しぶきに関する予備実験

船体に付着する海水の飛沫は、主に、波と船との出合周期によって断続的に飛散したものであるのに対し、この装置によるしぶきは、常に一定量が連続的に発生するため、ここに重大な相違点はあるが、飛沫群を構成するしぶきの大きさの分布は、特に海洋上で、船がいわゆるグリーンウォーターをかぶる場合を除くと、両者の間の相違を可成り小さく制限することができた。これは、実験的に得られた結果にチェックを施すことによって海洋上のしぶきを想定することができることを意味する。

Fig. 5 は、海洋上で船体に飛沫するしぶきと、ダクトの内部に発生するしぶきを比較したものであ

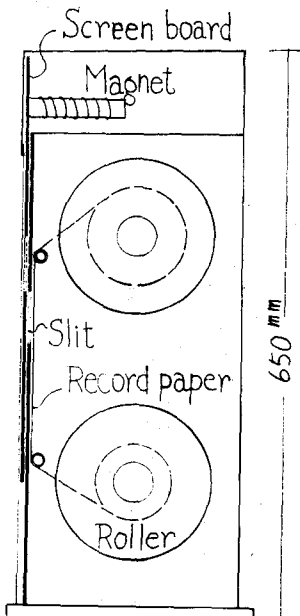


Fig. 4. Rough section of the spray seizer

る。これらの写真は、硝酸銀を主成分とする混合液で処理された濾紙に海水飛沫が付着して変色した状態である。

海水の飛沫の捕捉には、Fig. 4 のような装置を作成し、航行中の船上でしぶきをつかまえた。この装置は、スリットのある箱壁に、別のスリットを開けた板を滑らせて、適当な時間だけ箱の内部の濾紙にしぶきが付着できるようにしたものである。ダクト装置内においても、海上においても、飛沫の中に、記録用濾紙を露出させた時間は 0.1~0.5 秒の範囲内に制限した。

Fig. 5 において両者のしぶきを比較すると、船上においてグリーンウォーターをかぶらない場合は、A-1 のようになって、個々の粒子は、たかだか直径 1mm に換算できる程に小さいが、船体で砕かれた波頭が小さな粒になって散らないまま飛行すると A-2 のように、水塊の状態、船上の構造物にぶつかる。極端な場合、これらの水塊は、一つの流れとなって船上を洗うことは想像できよう。一方、

実験ダクトでしぶきを発生させた場合、最小のノズルを選択した時 B-1 の如く、ほぼ A-1 に近い状態をつくり出せるが、ノズルの性質上、可成り大きな口径を選んでも B-2 のようになって水塊と考えられるような飛沫を得るのは困難であった。然しながら着氷の機構を考察するにあたって、粒子の凍結と水塊膜の結氷は異なった角度から解析されるべきなので、この装置の段階では、前者をとって満足するものとした。

装置内のしぶきの飛行は、測定部の断面で一様な分布を得ることが望ましいので、この分布を確かめるために、一つの鉄格子を準備した。Fig. 6 は、その鉄格子にしぶきが凍着した状態の 1 例である。この実験から、しぶきの量は測定部のダクト壁付近で急激に減少するが、実験の供試体を設置する中央部付近では大体一様であり、実験時間を長くすると、凍結し難い大きさのしぶきや氷柱の影響で下側ほど着氷が増大することがわかった。従って、実際の着氷実験では、この氷柱の影響が充分考慮されねばならない。

模型着氷実験

実験装置内で、着氷の生ずる条件と着氷量に及ぼす諸因子の影響を確かめるために、はじめに、Fig. 7 で示されるような模型を作製した。実験はこれらの模型に着氷せしめることからはじめられた。模型を使った実験から、最初に明らかにされたのは、着氷量は、形状の違いによってより、しぶきの衝突する断面積の違いによって、その差が認められる、と言うことである。また、模型に着氷した状態を示す Fig. 8 によってしぶきの付着しない裏側には、全く着氷が見られない。これらのことから、船体着氷は、海水の飛沫のみに起因して、周囲の水蒸気圧の影響を無視できることは容易に理解される。仮りに、船体部分における水蒸気の結露が、何らかの作用で起ったとしても、その量は、特別な障害を招くに至らないはずである。

模型 II (斜平板) についての実験結果を Fig. 9 に示した。これによると、実質的な着氷の付着量

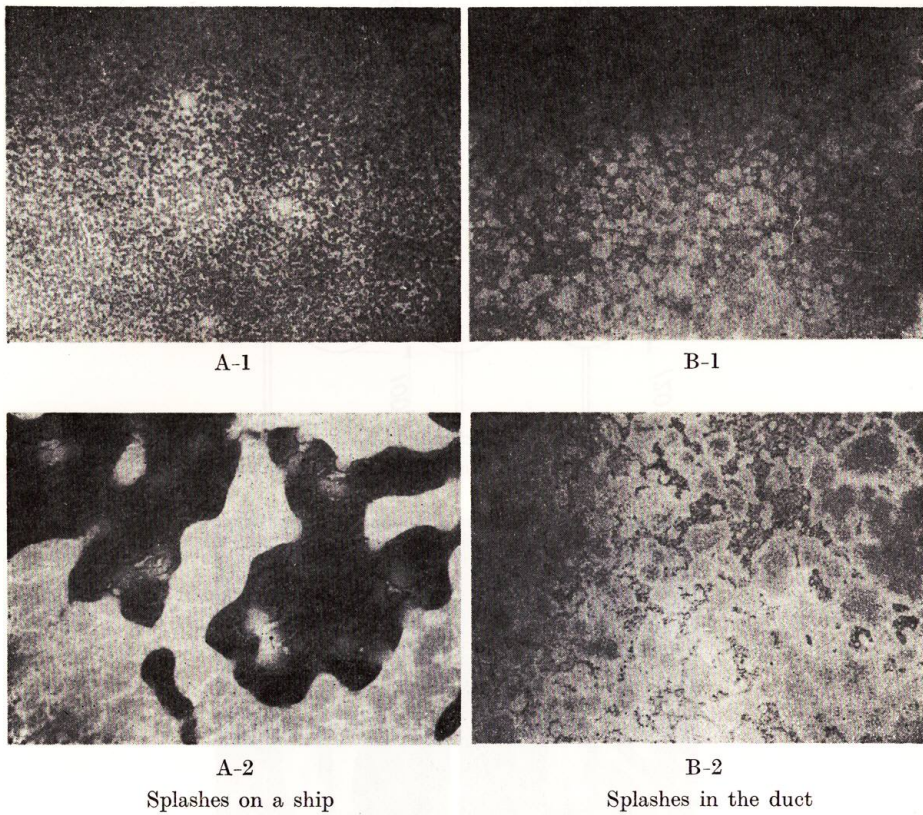


Fig. 5. Comparison of splashes between on a shipboard and in the examination duct

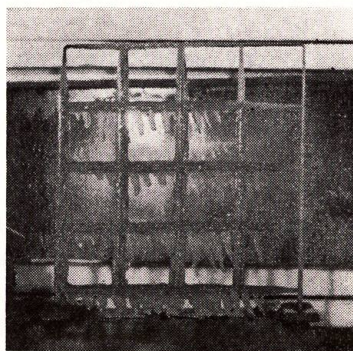


Fig. 6. A state of ice accumulated distribution on the grid

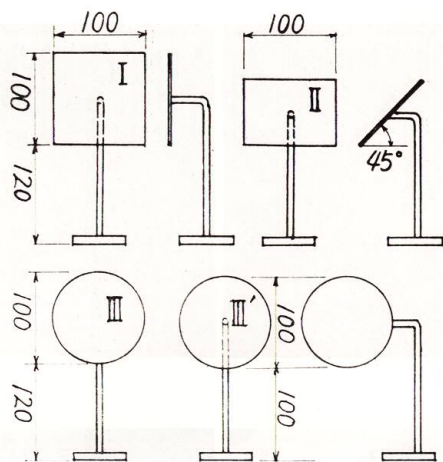


Fig. 7. Examination models for ice accumulation

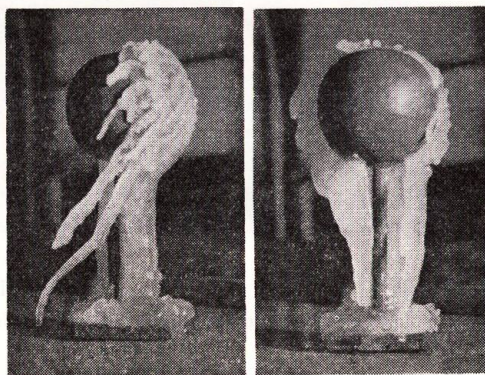


Fig. 8. Instance of ice accumulation on the model plate (III)

は、温度の降下によって一次的に、氷の厚さの増加分としてふえるのであるが、この模型の大きさからはみ出る氷柱によって、見掛けの付着量は二次関数的に増大している。即ち、氷柱が生じはじめると、飛沫の衝突面積が増大して、凍着が更に発展する効果があらわれたものである。

それぞれの着氷量を得るに当って、吹き出されたしぶきの密度は、おのおの、少しずつ異なるのであるが、このしぶきの量と着氷量との関係を検査した結果、両者には殆んど相関が認められなかった (Fig. 10)。従って着氷量は、飛沫の舞い上る条件に到達した後は、大体、温度に支配されると云える。然しながら、この解釈の限界は、飛沫群を構成する個々の粒子の大きさを考慮することにより、再度チェックされねばならないだろう。なぜなら、飛沫の粒子が極端に大きく、いわゆるグリーンウォーターとなって流れる場合、或いは、粒子が極めて小さく、船体に付着する以前に空中で氷結して下り場合、いずれも、凍着現象を想定し難いからである。

Fig. 11 は、模型 II (斜平板) に着氷が生じた状態を撮影したものである。図により、気温の変化によって、着氷の様子は、それぞれ違った特徴を有しているが、これは、付着した氷が、気流と殆んど同温度となるためである。実際の、船上における着氷の表面温度は、たかだか -7°C 位に想像できるので、(11-3) のように硬い氷の状態は、あまり見られないと思われる。

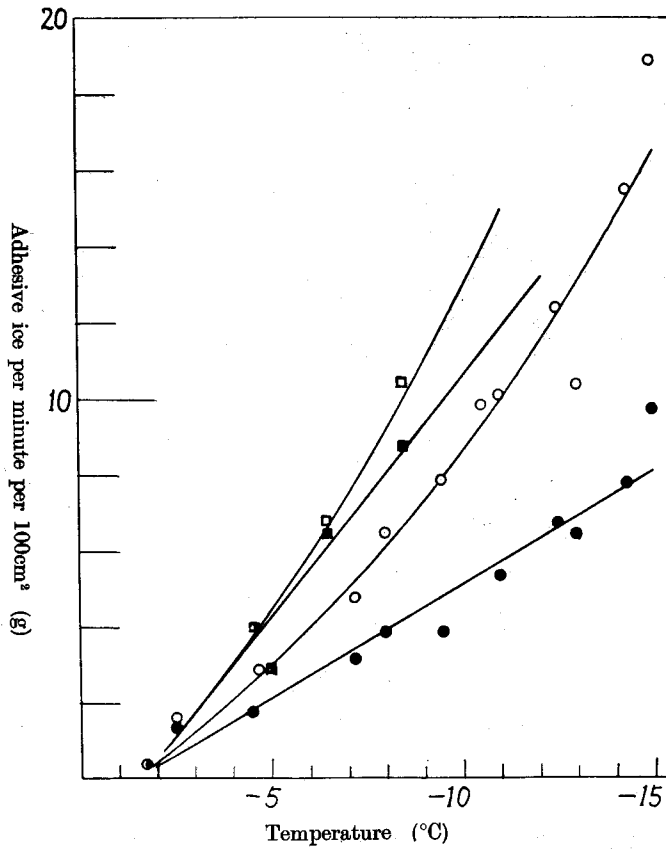


Fig. 9. Adhesive ice quantity on the surface of an iron plate covered a space of 10cm by 10cm during one minute
 ○ : included icicles while a wind velocity of 5 m/s
 ● : excluded icicles while a wind velocity of 5 m/s
 □ : included icicles while a wind velocity of 8 m/s
 ■ : excluded icicles while a wind velocity of 8 m/s
 Each curve and line is drawn from least squares method

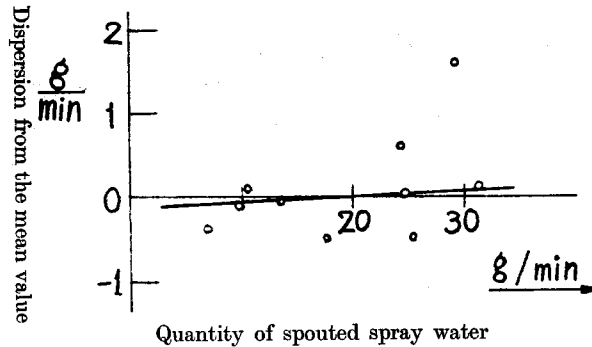
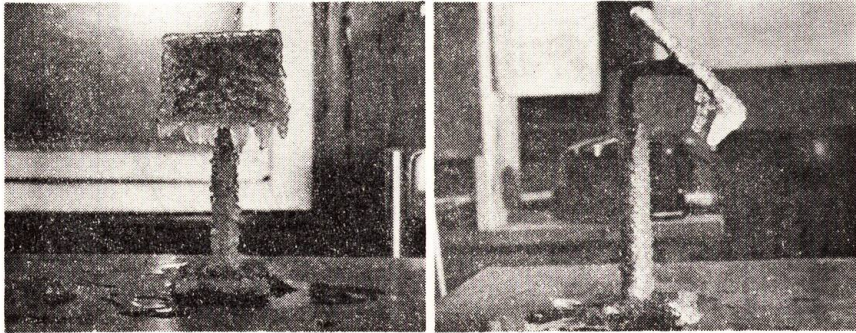


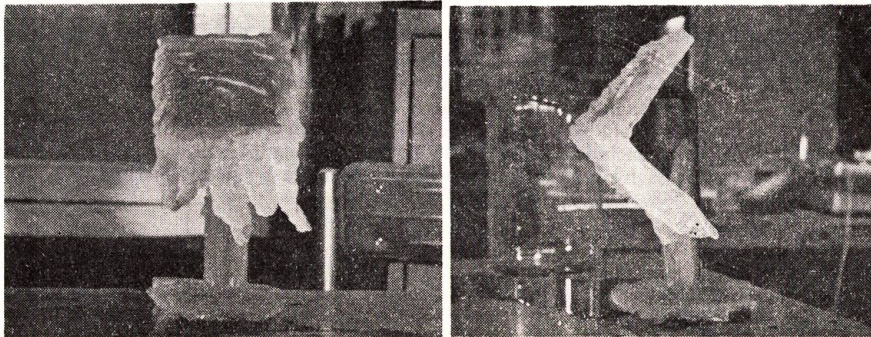
Fig. 10. Interrelation between splashes and variations of ice accumulation (line gives the statistical mean)



(11-1) $v = 5.3$, $\theta = -2.5$, $q = 24$, $t = 50$



(11-2) $v = 5.0$, $\theta = -7.2$, $q = 7$, $t = 30$



(11-3) $v = 5.2$, $\theta = -15$, $q = 28$, $t = 20$

Fig. 11. Instances of ice accumulation on the model (II)
 v : Wind velocity (m/s)
 θ : Air temperature in the duct ($^{\circ}\text{C}$)
 q : Volume of splashed water per minute (g/min./section)
 t : The time required (min)

なお、これらの実験に用いたしぶきの温度は、状態変化が行われつつある 0°C の水である。直接海水を使用しなかったのは、初期実験の段階で、装置を腐蝕させる危険にさらすことを怖れたためである。

附 属 的 考 察

一般に、海水の飛沫が船体に凍着する時、飛沫内に塩分核が含まれているため、しぶきの粒子が全部氷結せずに濃塩分が残される。従って、ダクト内で、水粒を飛ばして着氷せしめる場合より、着氷の発達が遅れるものと思われる。このことは、しぶきの粒子が空气中を飛行している間の熱交換についても、同様に考えることができるかも知れない。今、海水飛沫が、船体に衝突する前の飛行中に放散する熱量について考えると、観念的には、しぶきが、可成り凍り易い状態になっているにもかかわらず、粒子は液体を保って船体に付着すると考えられる。しぶきの粒子からの熱放散が、一定の熱伝達率で行われると仮定した時、液体の凝固点を考えるために、ヌセルト数に基づいてしぶきの直径 D と外気との温度差 $d\theta$ に対応する放散熱量を計算すると、これらの関係は Fig. 12 のようになる。図より、純水に近い粒子であれば、比較的小さな温度差でも、す速く凍結して丁うことが言えるので、海上では、水塊状態を除く殆んど粒子は、空中で既に過冷却状態となっていることが想像される。これより、外気温度が可成り低下しても、粒子が空中で氷結せず、凍着し易い状態が維持されると推察された。

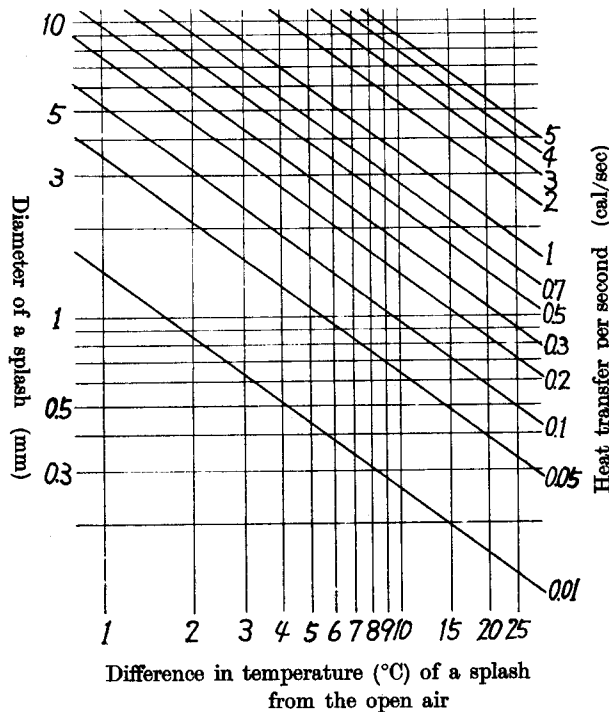


Fig. 12. Heat transfer of splashes

あ と が き

今回は、実験装置による着氷現象への考察の第一段階を述べるに留って、その防止対策には触れていない。現在、着氷対策に関する具体的な動勢は、先頃、水産庁漁船研究室を中心にまとめられている。筆者は、今後、これまでの諸報告を参考の上、更に基礎的な実験を企画しながら、着氷対策の一端を求めたいと思っている。

なお、着氷実験に供する主装置の試作に当り種々ご協力を頂いた田尻機械工業 K.K. しぶきの捕捉に際しご援助下さった北大練習船北星丸の諸氏、並びに本研究に当りご指導賜わった高橋助教授に感謝の意を表する。

文 献

- 1) 横山信立・今成栄一(1967). 漁船の着氷対策について. 水産技術. 創刊号, 14-19.
- 2) 田畑忠司・岩田秀一・小野延雄(1963). 船体着氷に関する研究. 北大低温業績. 物理篇 21, 173-221.
- 3) 海上保安部船舶技術部(1962). 巡視船ちとせの着氷試験成績.
- 4) The British Shipbuilding Research Association(1957). Trawlers icing research, B. S. R. A. Report No. 221.