



Title	着氷の物理的研究 . : 着氷の寸法効果
Author(s)	小口, 八郎
Citation	低温科学, 6, 125-130
Issue Date	1951-03-31
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/17489">http://hdl.handle.net/2115/17489</a>
Type	bulletin (article)
File Information	6_p125-130.pdf



[Instructions for use](#)

## 着氷の寸法効果\* (着氷の物理的研究. IV.)

小口 八郎

(北海道大学理学部物理学教室)

(昭和25年11月受理)

### I. 物体の雲粒捕捉率

着氷の気象条件が全く同じである場合にも、着氷する物体の大きさがちがっているとその着氷する割合は変ってくる。これは物体の大きさによつて、雲粒の捕捉される割合が異つてくることによるものとされている。物体の雲粒捕捉率の問題は、着氷に関する大切な一つの課題として理論的にもかなり詳しく研究されて来た。Albrecht<sup>(1)</sup>はこの問題を流体力学的に取扱い、氣流中にある雲粒が慣性力のために氣流に随伴しきれないで物体に衝突して捕捉される割合を理論的に計算した。大氣の單位体積中に存在する雲粒による水量が $\omega$ で、風速が $V$ なる雲中に置れた断面積 $S$ なる物体に $t$ 時間中に捕捉される雲水量(即ち着氷量)を $M$ とするとき、

$$M = \alpha V t S \omega$$

この $\alpha$ が捕捉率である。一般に $1 \geq \alpha \geq 0$ で、又 $\alpha$ は風速 $V$ 、雲粒半径 $a$ 、物体の大きさ $R$ によつてきまる。物体が円柱(半径 $R$ )の場合には $\alpha$ はほぼ次の式で表わされる。

$$\alpha = \frac{1}{1 + 0.83 \frac{Va^2}{R} \times 10^{-3}}$$

今井氏<sup>(2)</sup>はAlbrechtの研究を吟味し更に研究を進めた結果、 $\alpha = f\left(\frac{Va^2}{R}\right)$ ではあるが、 $f$ の形は簡単に表すことが出来ない事を決論し、数値積分を用いて $\alpha$ を求め、 $\alpha$ と $\frac{Va^2}{R}$ との関係を図で示した。

Albrecht及び今井兩氏の理論的研究の結果は着氷の問題にとつてかなり重量であり、實際の着氷にこれ等の理論的結果がうまくあてはまるか否かを検討する必要がある。今井氏は理論的結果を導くために用いた仮定に出来るだけ合うような条件の下で着氷の實驗を行い、理論と實驗がかなりよく合うことを見出ししている。筆者は、理論に用いた仮定に合う条件とは無関係に、一方向きに着方が成長する普通の着氷について $\alpha$ の実測を行い、實驗値と理

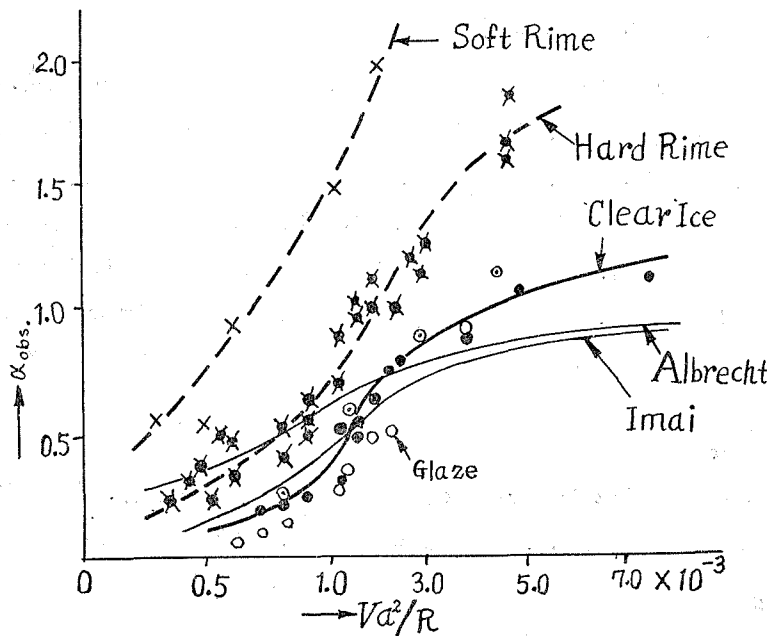
\* 北海道大学低温科学研究所業績 第116號

論値とを比較してみた。

$\alpha$  を実験的に測定する方法としては、同じ氣象条件の下で太さのちがつた数本の金属製の円柱に着氷させ、その着氷量  $M$ 、風速  $V$ 、雲粒半径  $a$ 、着氷時間  $t$  を測定して  $\alpha$  を求めた。雲水量  $w$  は  $a$  の頻度分布曲線及び雲粒の空間密度個数から出した。その方法は別報告<sup>(4)</sup>を参照せられたい。なお  $a$  としては、大きさの最大頻度を與えるものよりは最大雲水量を與える大きさをとることとした。<sup>\*</sup>

## II. $\alpha$ の實測値について

物体を大氣中に固定して着氷させる場合又は航空機が雲中飛行の際に着氷する場合に於ては、着氷は定つた着氷面に一方向きに成長する。このような状態で着氷が進行する場合に



第 1 圖

は、捕捉率の理論に用いられた仮定とは少し異つてくる。即ち、理論では着氷によつて物体の周りの流線が変らないこと、及び流れは層流をなしていることを仮定しているが、一方向きに着氷がどんどん成長する場合には、着氷の成長につれて着氷面が変わり流線は初めの状態とちがつ

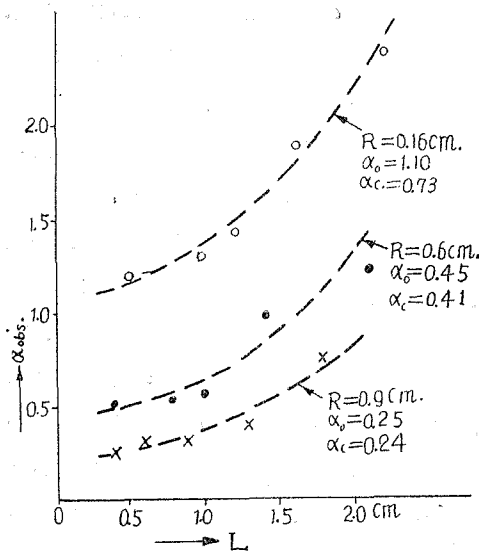
てくる。又自然の大氣の流れは層流をなしていることは珍らしく、大ていの場合には乱流をなしている。着氷の初期にはたとえ層流をなしている場合でも、一方向きの着氷が進行すれば、着氷面附近には渦流が生ずるものとみた方が自然である。従つて、実験的に求めた  $\alpha$  は理論的に導いた  $\alpha$  とはちがつてくることが予想される。それで実験的に求めた捕捉率を  $\alpha_{obs}$  とし、理論的の値を  $\alpha_{calc}$  で表わすことにする。

いろいろな条件の下で多数の  $\alpha_{obs}$  を実測し、それと  $\frac{Va^2}{R}$  との関係調べてみた。第 1 図に示す。なほ図中に Albrecht 及び今井の理論的結果をも併せ示した。第 1 図から明かな

\* このことについては前報告“着氷氣象条件”，第 3 節参照。

如く、 $\alpha_{obs.}$  は  $\alpha_{calc.}$  と同様  $Va^2/R$  によつてきまつてくるが、 $Va^2/R$  の増加に対する  $\alpha_{obs.}$  の増加の傾向は  $\alpha_{calc.}$  のそれに較べるとずつと大きい。又  $\alpha_{obs.}$  の増加傾向は着氷の凍結の様式によつて異なり、着氷の種類によつてちがつた傾向を示す。即ち、粗霧氷や霧氷では  $Va^2/R$  の大きいところでは  $\alpha_{obs.}$  は  $\alpha_{calc.}$  に較べてよほど大きい。一方風洞内の高速着氷では、 $\alpha_{obs.}$  と  $\alpha_{calc.}$  との差は割合に小さい。雨氷の場合には捕捉された霧粒の一部は水のまま流失するので、 $\alpha_{obs.}$  は  $\alpha_{calc.}$  よりも小さくなつたのは当然である。

着氷が成長するにつれて着氷の形が変わり、これが雲粒の捕捉率を変えるものとするとき  $\alpha_{obs.}$  は着氷の成長量によつて変つてくる筈である。いま着氷の成長量（物体面から着氷先端



第 2 圖

までの長さ)と  $\alpha_{obs.}$  との関係を密霧氷の例について示すと第 2 図の如くなつた。成長量  $L$  が増すと  $\alpha_{obs.}$  は急激に大きくなるのが分る。又  $L$  による  $\alpha_{obs.}$  の変化は、 $R$  が小さい程急になる傾向がある。第 2 図に示したる曲線について  $\Delta d/\Delta L$  をとつてみると、 $\Delta d/\Delta L$  は  $L$  に正比例することが分つた。即ち、

$$\frac{\Delta d}{\Delta L} = kL$$

これを、
$$\frac{dd}{dL} = kL$$

とおき、 $L=0$  で  $\alpha_{obs.} = \alpha_0$  とすると、

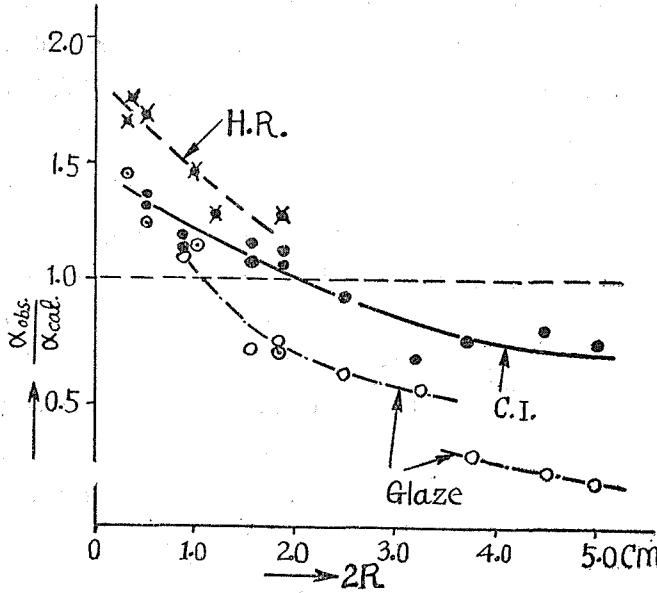
$$\alpha_{obs.} = \alpha_0 + \frac{k}{2} L^2$$

となる。着氷の成長の初めに於ては、 $\alpha_{obs.}$  は  $\alpha_{calc.}$  に等しいものとするれば、 $\alpha_0 = \alpha_{calc.}$  になる筈である。第 2 図に示した例について、 $\alpha_0$  を求めてみると、円柱が細いときには  $\alpha_0$  は  $\alpha_{calc.}$  よりも大きく、円柱の太さが増すにつれて  $\alpha_0$  と  $\alpha_{calc.}$  との値は近づき、太さが或程度以上になると、逆に  $\alpha_0$  は  $\alpha_{calc.}$  よりも小さくなる。この傾向は風洞着氷の粗氷の場合にも現われている。しかし粗氷では  $\alpha_0$  と  $\alpha_{calc.}$  との差は霧氷の場合よりもずつと小さい。これは  $\alpha_{obs.}$  と  $L$  との関係式の  $k$  を比較しても分る。即ち霧氷の場合は  $R$  が 0.16~1.0 のとき  $k=0.7\sim0.4$  となり、粗氷では  $k=0.4\sim0.2$  となつた。このように自然着氷の霧氷が、風洞着氷の粗氷に較べて  $\alpha_{obs.}$  と  $\alpha_{calc.}$  との差が大きくなるのは、霧氷の方が著しく先拵がりに成長するためであると思われる。しかし風洞着氷の場合にも先拵がりの傾向はあるので、 $\alpha_{obs.}$  と  $\alpha_{calc.}$  との差が生ずるのであろう。

$\alpha_0$  は  $\alpha_{obs.}$  と  $L$  との関係から推定した値である。正しい  $\alpha_0$  を実測することは實際上不可能なので、成長  $L$  が 0.5cm 以下であつた着氷の例について  $\alpha_{obs.}$  を測り、これと  $\alpha_{calc.}$  とを比較

\*  $Va^2/R$  は  $V, a$  が餘り變らないときには  $R$  によつてきまる。

してみた。  $\alpha_{obs.}/\alpha_{calc.}$  と  $2R$  との関係を示す。成長が  $0.5\text{cm}$  以下の初期の状態に於ても、一方向きの着氷の場合には、 $\alpha_{obs.}$  と  $\alpha_{calc.}$  はかなりちがって居り、 $R$  が小さいとこ



第 3 図

ろでは  $\alpha_{obs.} > \alpha_{calc.}$  で、 $R$  が大きくなると  $\alpha_{obs.} < \alpha_{calc.}$  となる傾向は  $\alpha_0$  の場合と同様である。

一方向きの着氷に於ては、着氷の初期に於て既に  $\alpha_{obs.}$  と  $\alpha_{calc.}$  とがちがっていることは、かなり重要な問題である。このように  $\alpha$  の実測値と理論値とが喰いちがっているのは、測定の方法が悪かつたか、又はこの理論が一方向きの着氷には完全によくあてはまらないということによるものである。実測値  $\alpha_{obs.}$  を求める

ために行つた測定のうちで、雲粒の測定は一番誤差が生じ易く、従つて  $\alpha_{obs.}$  が全く正確であるとは期し難い。しかし  $R$  による  $\alpha_{obs.}$  の変化する傾向が  $\alpha_{calc.}$  の示す傾向と一致しないことは、測定の誤差だけでは説明することは出来ない。着氷流体の理想状態を仮定して導いた  $\alpha_{calc.}$  は実際には必ずしもよくあてはまらないと見ても差支えないであろう。

### III. 相 對 的 捕 捉 率

既に第 1 図に示した如く、 $\alpha_{obs.}$  は  $Va^2/R$  によつて変わる。  $V, a$  が同じ場合には  $\alpha_{obs.}$  は  $R$  だけによる。そこで  $\alpha_{obs.}$  と  $R$  との関係を調べてみた。或る円柱の  $d$  を基準にとり、これと他の円柱の  $d$  との比を求めて、 $R$  と比較してみる。今半径  $R_0$  なる柱に  $t_0$  時間中に円柱の単位長さあたりに着氷する量を  $M_0$  とすると、

$$M_0 = \alpha_0 \cdot 2R_0 \omega_0 V_0 t_0$$

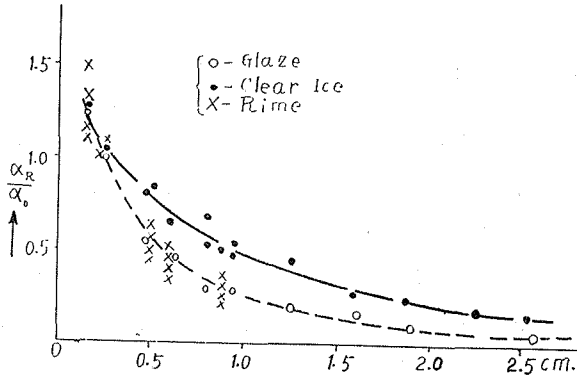
$\omega_0$  は雲水量、 $V$  は風速である。  $R$  なる柱については、 $\omega, V$  及び  $t$  が同一なときには、

$$M = \alpha \cdot 2R \omega V t_0$$

故に

$$\frac{\alpha}{\alpha_0} = \frac{M}{M_0} \frac{R_0}{R}$$

$R_0$  としては  $0.25\text{cm}$  のものを選んだ。  $\omega, V$  及び  $t$  のちがつた条件の下で着氷させた数例について、 $\alpha/\alpha_0$  と  $R$  と関係を示すと第 4 図の如くなつた。  $\alpha/\alpha_0$  と  $R$  との関係は着氷の種類によ



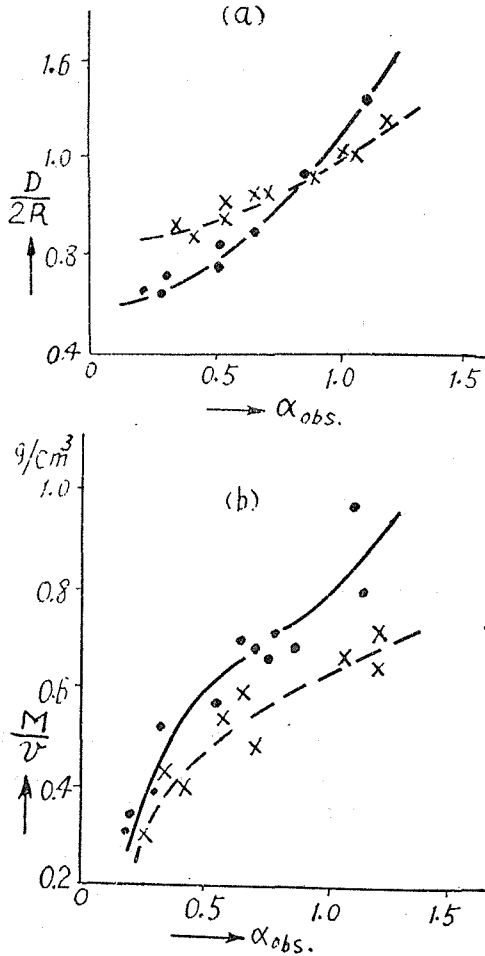
第 4 圖

柱では先狭ばまりに着氷することによるものであろう。

つてちがつてくる。しかし \$R\$ による \$d/d\_0\$ の減少の傾向は、

$$\frac{d}{d_0} = e^{-\beta\sqrt{R}}$$

の形で表わされる。\$\beta\$ は着氷の種類による項である。第 4 図の例では、粗氷は \$\beta \div 0.6\$、霧氷は \$\beta \div 0.9\$ となる。霧氷の減少は粗氷よりも急激である。これは霧氷の場合では細い円柱は著しく先抜がりに、又太い円



第 5 圖

#### IV. 着氷の範囲と密度

着氷の範囲の方法効果については今井氏の詳しい報告がある<sup>(3)</sup>。それでここでは着氷の範囲とそれに関係ある二三の問題を調べることにした。

着氷の範囲の量としては、着氷をその成長方向に平行な面で切つたときの柱の円周に沿うて測つた長さ \$D\$ で表わすことにする。\$D\$ と柱の直径 \$2R\$ との比 \$D/2R\$ と \$\alpha\_{obs.}\$ との関係を図 5 (a) に示す。図 5 (a) には粗氷及び霧氷の例を示した。着氷の範囲の寸法効果は粗氷の方が大きいことが分る。これは霧氷が成長する場合には風速が弱く、又風の息や風向の fluctuation のために、着氷の範囲の寸法効果が減少したものとみられる。

直径 \$2R\$ の円柱の単位長さあたりの \$t\$ 時間中の着氷量を考え、着氷の密度を \$\rho\$ とすると、

$$\frac{D}{2R} = \frac{d\omega Vt}{\rho L}$$

但し \$\omega\$、\$V\$ 及び \$L\$ はそれぞれ雲水量、風速

及び着氷の成長である。上式を書き変えると、

$$v = D \times L = \frac{1}{\rho} \cdot 2R\alpha\omega Vt = \frac{1}{\rho} M \quad (M: \text{着氷量})$$

故に  $\frac{M}{v} = \rho$  となる。しかし実際の着氷では先拵がり又は先狭ばまりに成長するので、 $M/v = \rho$  が成り立つものとは限らない。いま  $L < 9.5 \sim 0.8 \text{cm}$  の初期の着氷の例について  $M/v$  と  $\alpha_{\text{obs}}$  との関係を図 (b) に示す。 $M/v$  は  $\alpha_{\text{obs}}$  によつて急激に変わり、この変化は粗氷霧氷共にはげしい。霧氷につき  $\rho$  を実測して  $M/v$  と較べてみると、 $M/v$  とはかなりちがつた値となつた。一般に円柱が細い場合 ( $\alpha_{\text{obs}}$  が大きい) には  $M/v > \rho$  で、円柱が太い場合 ( $\alpha_{\text{obs}}$  が小さい) には  $M/v < \rho$  となる傾向がある。これは前にも述べた如く、着氷は円柱が細いと先拵がりに、太いと先狭ばまりに成長することによるものと見ることが出来る。

### 摘 要

実験的に霧粒の捕捉率を求めて、理論的に計算される捕捉率と比較してみた。その結果、円柱の細いところでは実測値は理論値よりも大きく、円柱の太いところでは実測値は理論値よりも小さいことが確かめられた。そして実測値と理論値との開きは粗氷が小さく霧氷では大きいことが分つた。そしてこの傾向が着氷の寸法効果に全面的に現われてくる。この原因は結局一方向きの着氷は、円柱が細い場合には先拵がりに、太い場合は先狭ばまりに成長することにある。

以上の測定を行うに当つて、風洞着氷の資料を戴いた高野玉吉氏に感謝する次第である。

### 文 献

- 1) Albrecht, F. 1941. Theoretische Untersuchung über die Ablagerung von Staub aus strömender Luft und die ihre Anwendung auf die Theorie der Staubfilter. Phys. ZS. 32, 48.
- 2) 今井一郎 1942. 物體による氣流中の微粒子の捕捉. 中央氣象台彙報 20, 67.
- 3) 今井一郎 1944. 着氷の寸法効果. 雪氷, 6, 246.
- 4) 小口八郎 1949. 霧粒の大きさ及び粒の測定 低温科學 2. 105.

### R é s u m é

Some literatures on the subject of such as were available to the author have been conducted. This paper reports on the experimental results of the problem according to measurements of icing obtained in natural conditions and in the artificial high velocity wind channel which was set up on Mt. Niseko. Compared with theoretical result, it is pointed out that the scale effect of one side icing that ice grows in the same direction is not perfectly correspond with the theoretical result. There are some problems, and it is supposed; the real conditions of icing is not satisfied with theoretical assumptions.