

## 霧水の生成機構について

内田 武\*・楠本 韶\*\*  
越智 利彦\*\*・梶 聖悟\*\*

## Icing mechanism of rime on a column

by

Takeshi UCHIDA\*, Sho KUSUMOTO\*\*  
Toshihiko OCHI\*\* and Seigo KAJI\*\*

The pile of small ice particles is produced when the cold air containing plenty of small supercooled water droplets collide to an object and the droplets change into ice. Such a phenomenon or its product is called "icing" and the rime, a kind of icing, covering the mountain is widely known as a beautiful creation of nature in the winter. However the chances the icing occurs are limited in Southern district in Japan like Nagasaki even in Mt. Unzen famous for the rime because the condition of the climate to produce the icing is not so frequently satisfied. The present study was conducted to make it possible to see indoor artificial icing throughout the year.

In this study cooled wet air of the temperature  $-5$  to  $-10^{\circ}\text{C}$  was forced to flow through an acrylic resin pipe of 30mm diameter and 1750mm length in which a needle and a small branch were mounted as the base the icing grows. Mists from the atomizer was used to wet the cooled air. Using these facilities the relations between the test conditions and the characteristics of icing produced were investigated.

The results are as follows;

- (1) Various types of icing, hard rime, soft rime, glaze and air hoar were produced artificially by controlling the test conditions.
- (2) The shapes and the grow speed of icing changed with the test conditions and some of the relations between them were clarified.
- (3) The catch ratio in the present experiment was remarkably small in comparison with another researcher's data. The reason is not clear, however it would have been from the difference of the content of water droplets in the air.

## 1. 緒言

## 1.1 はじめに

自然界でみられる着水には、その自然環境条件によって多くの種類がある。その中でも、霧水は美しい冬の華として、樹氷と並びよく知られている。

我々の近辺にも、別名「花ぼうろ」と親しみを込めて呼ばれている雲仙<sup>山</sup>の霧氷が有名で、冬の夕刻山頂付近に霧がかかり冷たい北ないし北西の風が吹く翌日は、妙見岳・普賢岳・国見岳一帯は“水晶の殿堂”のように輝く。しかし、霧氷が生成する気象条件を満足

昭和63年9月30日受理

\*機械工学科(Department of Mechanical Engineering)

\*\*機械工学第二学科(Department of Mechanical Engineering II)

雲仙は、長崎県島原半島中央部に位置し、普賢岳(1359m)、国見岳(1347m)、妙見岳(1333m)、野岳(1142m)などの総称であり、雲仙国立公園の中心をなす山々である。

することは珍しく、そのため霧水着水の予報を出すことは難しい。しかも、日が昇り大気が暖まってくると、霧水は次第に枝々から剥落するため長時間の観察も難しく、観光面からみても人工的に霧水を生成することが望まれる。

以前より、着水についての研究はなされているが<sup>1)~5)</sup>、そのほとんどは航空機の翼やプロペラあるいは電線への着水を対象にしたものである。その上、希望する気象条件の得られる山頂付近に装置を設置し、天候の変化に伴って環境条件が変化する状態で、そこに発生した過冷却状態にある雲粒を装置内へ送り込み試験を行っている。この雲粒とは、雲や霧を構成している粒径  $2\ \mu\text{m}\sim 130\ \mu\text{m}$  (最大頻度  $12\ \mu\text{m}$ ) の微小水滴のことであり、そのため、雲粒半径や温度にはかなりのばらつきがあるように思われる。

そこで、本研究では自然界でみられる霧水(着水)に似た人工霧水を室内で再現性よく生成することを主目的として、低温室内で超音波加湿器により発生させた噴霧の雲粒を用い、雲粒半径および温度のばらつきを最小限に抑えた予備的実験を行った。また、その生成した着水の外観および構造が温度・風速等の影響による変化についても述べる。

### 1. 2 着水の分類

着水とは、大気中に浮遊する水蒸気や雲粒と呼ばれる微小水滴が物体に付着・氷結する現象である。

着水の分類には、いくつかの方法があるが、水蒸気や微小水滴が氷結し風上に向かって一方向に成長する着水について、その外観、付着力および構造的特徴から大別すると、樹霜 (Air hoar)、粗霧水 (Soft rime)、密霧水 (Hard rime)、軟粗氷 (Soft clear ice)、粗氷 (Clear ice)、雨水 (Glaze) が挙げられる。粗霧水と密霧水および軟粗氷と粗氷は、それぞれひとまとめに

して霧水 (Rime)、粗氷 (Clear ice) と呼ばれることもある。また、その他樹水 (Fog deposit) と呼ばれる着水もあるが、これは雪片と微小水滴が混じり合った着水で、一般には樹木全体を包み込むように生成するものである。そのため、今回対象とした着水とは基本的に性格が違うものなので、着水の分類からは除外した。

Table 1 は、上に挙げた着水について小口八郎の文献<sup>1)</sup>を参考にして、生成される気温、風速および密度や特徴を記している。

### 1. 3 雲仙の霧水

九州内では、雲仙だけでなく九重や霧島などでも霧水は着水する。ところが、雲仙の霧水が他の地区とは違いかなり親しみを込められているのは、着水方法や着水構造・外観等が違っているからのように思われる。それは、雲仙に発生する雲粒が他の地区のものより小さいためだとも言われている。

Fig. 1 に、雲仙周辺の狭域図を示す。霧水は、11月下旬から3月上旬の期間に雲仙山頂付近に霧がかかり冷たい北ないし北西の風が吹き付けると比較的多く着水している。しかし、霧水が生成する気象条件が得られるのが珍しいことは前述の通りである。着水範囲は、図中斜線で示した妙見岳・国見岳・普賢岳の北側から西側斜面およびそれらの岳々を結ぶ谷の部分が多い。標高にして1200m以上と思われる。

Fig. 2 は、落葉樹の枝々に着水した雲仙の霧水であり、白色不透明な着水であることがよくわかる。これは、枝に衝突した微小水滴が氷結し、それを種(核)として次々水滴が付着し、風上に向かって成長したものである。

霧水が着水した時の雲仙での気象条件の記録はほとんどない。そこで、雲仙岳測候所の好意による絹笠山

Table 1 Classification of icing

	Air hoar	Rime		Clear ice		Glaze
		Soft rime	Hard rime	Soft clear ice	Clear ice	
Temperature	-5 ~ -18°C	< -4°C	< -4°C	-2 ~ -6°C	< -6°C	> -5°C
Wind velocity	≅ 0 m/s	< 5 m/s	5 ~ 20m/s	5 ~ 20m/s	> 20m/s	—
Density	—	0.2~0.3	0.4~0.6	0.6~0.8	0.8~0.9	≅ 0.9
Color	White opacity	White opacity	White opacity	White opacity	Translucence	Transparence
Adhesion	Very small	Small	Big	Medium	Very big	Big
Characteristics	Needle-shaped Fun-shaped Hexagonal-shaped	Granular Tip: moniliform shaped (Tailofshrimp)	Granular Tip: Piled with droplets	Outside: granular Inside: clear ice	Bubble mixed Densense	Patterned with benzen-ring

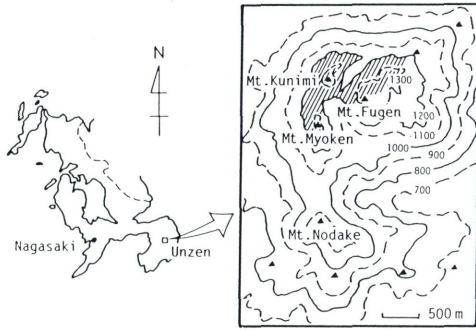


Fig. 1 Narrow area map of the Unzen

(標高849m, 雲仙から南西約4.4km)での気象データを雲仙での霧氷着氷の条件としてみた。雲仙と絹笠山とは約500mの標高差があるため、必ずしも絹笠山のデータが霧氷着氷の条件と言うわけではないが、昭和47年11月から昭和52年3月の期間のうち11月～3月の冬期で233日間着氷しており、それによると気温0～-10°C, 風速2～8 m/sの条件でよく着氷している。また、着氷した日の平均気温, 最低気温, 平均湿度, 平均風速を着氷日数で平均すると、それぞれ-1.5°C, -4.4°C, 78%, 4.9m/sであった。

## 2. 実験方法

### 2. 1 実験装置

実験装置は Fig. 3 に示すように、内径30mmの透明アクリルパイプの一端にロートを取り付け、もう一端には掃除機 (National 製, MC-400WD) を接続したものである。この装置は低温室内に設置して、希望する風速が得られるように掃除機への入力電圧を調整した。

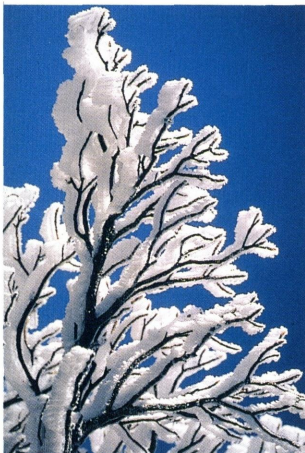


Fig. 2 Rime icing of the Unzen

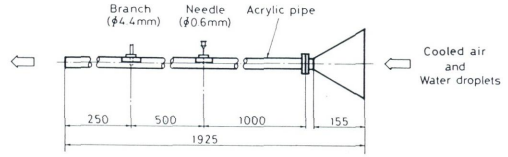


Fig. 3 Facilities for icing experiments

掃除機で低温室内の低温空気を吸引する際、自然界の雲粒に見立てた超音波加湿器 (東芝製, KA-508) によって発生させた微小水滴をロート前面に導き、微小水滴もいっしょに吸引した。

パイプフランジ部から風下へ1000mmと1500mmの地点に、それぞれステンレス製注射針 (外径0.6mm) と木枝 (外径4.4mm) をセットして、それらへの着氷を観察した。実験条件として、気温は-5°Cと-10°C, 風速は5, 10, 15m/sとし、超音波加湿器の水の使用量 (以下加湿量) は80cc/hと180cc/hとした。

上記の様々な条件で実験を行い、着氷成長長さ, 着氷の密度, 捕捉率, 外観などの観察を行った。

### 2. 2 超音波加湿器の雲粒

雲粒の捕獲は、あらかじめ洗浄したカバーガラスの片面にシリコン油 (10000cs) を薄く塗り、超音波加湿器から発生した雲粒を含んだ加湿空気をシリコン油膜面に吹き付けることにより行った。しばらく放置しておくと、シリコン油膜内に雲粒が沈降して行くので、それを顕微鏡で観察し、雲粒径を測定した。

Fig. 4 は、この方法により捕えた雲粒の写真であり、Fig. 5 は観察した110個の雲粒についての雲粒半径の頻度分布を実験で、その雲粒半径を持つ雲粒の重量頻度分布を破線で示している。ここで、雲粒重量を用いているのは、物体への着氷重量を考える場合、雲粒半径  $1 \mu\text{m}$  の雲粒の重量は半径  $10 \mu\text{m}$  の雲粒の重量の  $1/1000$  にしかすぎないから、雲粒半径そのものの頻度よりもその雲粒半径を持つ雲粒の重量頻度の方が重要だからである。Fig. 5 に示しているように、雲粒半径の

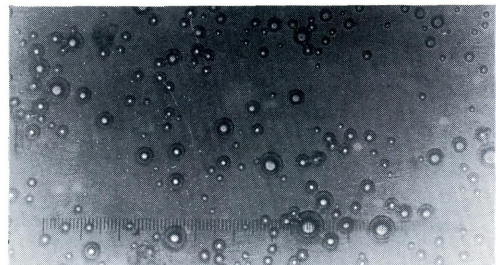


Fig. 4 Water droplets  $\square$  50  $\mu\text{m}$

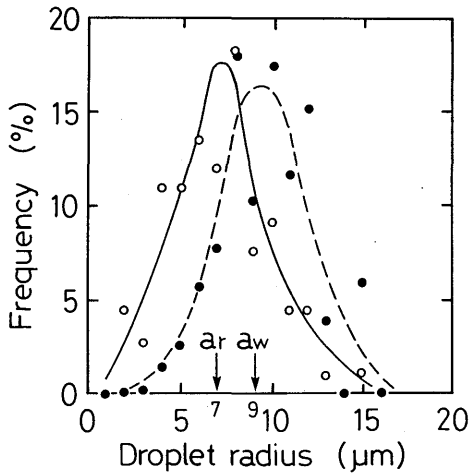


Fig. 5 Frequency curve of water droplet radius

最大頻度  $a_w$  は  $9 \mu\text{m}$  となっている。今回は、この  $a_w = 9 \mu\text{m}$  を雲粒半径として使用する。

### 2. 3 計測事項

着氷長さは、前述の被着水物（注射針、木枝）から風上に向かって成長した長さを計測した。

密度を求めるのに際し、Fig. 6 に着氷の一般的構造の模式図を示す。着氷は、外界と通じる空隙④と、着氷内部に封じ込められ、外界と完全に遮断された気泡⑤を含んでいるのがほとんどである。今回は着氷の密度として、空隙④を含めた部分の密度  $\rho$  と空隙④を除いた部分の密度  $\rho_0$  を計測した。但し、 $\rho_0$  は気泡⑤を含んだ密度である。計測には、カンティレバー（4ゲージ、荷重換算係数：0.367g/V）を用い、着氷の重量  $m_0$ 、灯油中に沈めた場合空隙④に灯油が浸入するものとしたときの、浮力が働いている状態での着氷の重量  $m_1$  および灯油から引き上げたとき空隙④に灯油を含んだ着氷の重量  $m_2$  を測定し、着氷の密度  $\rho$  および  $\rho_0$  を次式により求めた。

$$\rho = \frac{m_0}{m_2 - m_1} \times \rho_1 \quad (1)$$

$$\rho_0 = \frac{m_0}{m_0 - m_1} \times \rho_1 \quad (2)$$

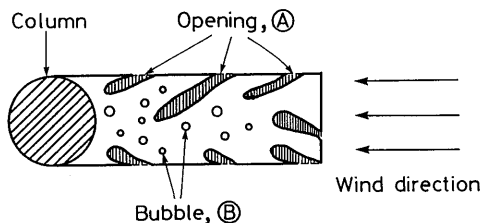


Fig. 6 General structure of icing (schematic)

ここで、 $\rho_1$  は灯油の密度 ( $0.8\text{g}/\text{cm}^3$ ) である。また、着氷の構造を考える上で着氷の空隙④の割合を表す空隙率  $\delta$  と着氷内部に封入された気泡⑤の含有の割合を表す気泡含有率  $\beta$  を次式により求めた。但し、 $\rho_2$  は水の密度  $0.92\text{g}/\text{cm}^3$  である。

$$\delta = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0} \times 100 \quad (\%) \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\rho_2 - \rho_0}{\rho_2} \times 100 \quad (\%) \quad (3)$$

また、被着水物前面を通過する雲粒が被着水物に捕捉される割合、すなわち捕捉率について、Albrecht の計算式を用いた理論値  $a_{cal}$  と実験値  $a_{obs}$  を求めた。Albrecht は、この問題を流体力学的に取扱い気流中にある雲粒が慣性力のために気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次式のように計算した。

$$a_{cal} = \frac{1}{1 + 0.83 \times 10^{-3} \times R / Va^2} \quad (5)$$

ここで、 $V$  は風速 (cm/s)、 $a$  は雲粒半径 (cm)、 $R$  は物体の半径 (cm) である。但し、Albrecht は円柱周りの流線は完全に層流をなし、着氷することによる物体の形状変化はないという仮定の基に数値計算を行っている。

実験値  $a_{obs}$  は、注射針への着氷について計測した着氷重量  $M$  (g) を用いて、次式によって算出した。

$$a_{obs} = \frac{M}{V \times t \times S \times W} \quad (6)$$

ここで、 $V$  は風速 (m/s)、 $t$  は時間 (s)、 $S$  は被着水物（注射針）の流れと直交する断面積 ( $\text{m}^2$ )、 $W$  は雲水量 ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) である。この雲水量は、加湿量 ( $\text{cc}/\text{h}$ )、風速等から換算したものである。

### 3. 実験結果

着氷の成長長さ、捕捉率、密度などは、着氷条件すなわち温度、風速、雲水量、被着水物の直径および材質などの要因の影響を受ける。Table 2.1, Table 2.2 は、各条件下での観察時間、 $Va^2/R$ 、着氷長さ、捕捉率、密度など一連の結果である。なお、表中の着氷長さ、捕捉率  $a_{obs}$  は実験終了時での値であって、実際は時間と共に変化するものである。

#### 3. 1 着氷長さ・密度への諸因子の影響

Table 2.1, Table 2.2 に示したように、各条件で1回ずつの実験を行ったに留まっているので、ここでは定性的な結果を述べる。

被着水物として、外径  $0.6\text{mm}$  の注射針と外径  $4.4\text{mm}$  の木枝を使用したところ、注射針は全般に風上に向かって末広がりに着氷するが、木枝では枝の外径とほぼ同じ幅を保ったまま着氷した。

Fig. 7 は、注射針への着氷を台形近似して着氷先端

の幅  $D$ 、針の外径を  $D_c$  としたときの着氷の広がり具合  $D/D_c$  と着氷長さ  $L$  の関係について加湿量180cc/h の場合を実線で、80cc/h の場合を破線で示している。図中の①～⑧は、Table 2.1 および Table 2.2 での試験番号に対応している。また、加湿量180cc/h でのデータについて、実験開始から5・10・15分経過を破線で結んでいる。これによると、風速が大きいほど着氷は長く生成しない。また風速が15m/s の場合、5分経過までは5・10m/s の場合より横への広がりが先行している。しかし、その後広がり率は時間と共に頭打ちになり、15分経過後には風速の違いによる  $D/D_c$  の差はそれほど小さくなくなり、約4となっている。実験開始5分経過毎の着氷長さを見ると、風速が10・15m/s では着氷長さの増加量が小さくなっているのに対し、5 m/s ではほぼ時間に比例して成長しており、風速は小さい方が着氷が長いことがわかる。

温度の影響を見ると、①②③⑦が-5℃、④⑤⑥⑧が-10℃であるが、風速10m/s の場合は温度・加湿量に変化してもそれほど差はみられない。一方、5 m/s と10m/s の場合は温度が高い-5℃ (①・③) の方が

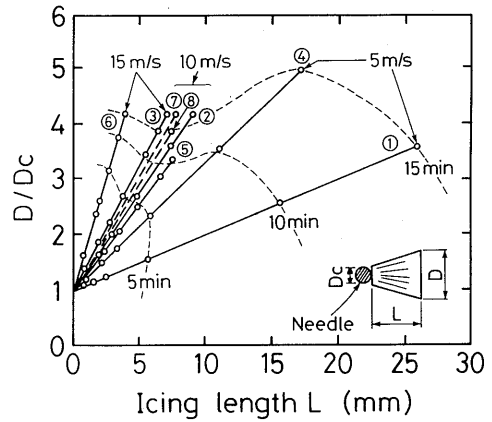


Fig.7  $D/D_c$  vs. Icing length  $L$

$D/D_c$  が小さくなり、着氷長さが長くなることがわかる。この理由として、温度が高い方が水滴の水結に時間がかかり、まだ水滴表面が濡れているときに次の水滴が飛んできて付着しやすいこと、および風速が大きい方が水滴同志がかなり密に付着したり、広がりが付着しようとしても吹き飛ばされやすくなることが

Table 2.1 Experimental results (humidified water : 180 cc/h)

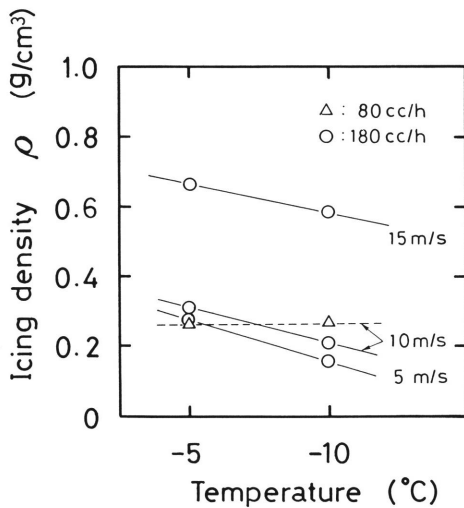
Temp (°C)	Wind Speed (m/s)	No.		Time (min)	$Va^2/R \times 10^{-3}$ (cm <sup>2</sup> /g)	Icing length Icing weight (mm (g))	Catch ratio		Density (g/cm <sup>3</sup> )		$\delta$ (%)	$\delta$ (%)
							$\alpha_{obs}$	$\alpha_{cat}$	$\rho$	$\rho_0$		
-5	5	①	N	15	13.50	25.6 (0.12)	0.11	0.94	0.28	0.84	66.7	8.70
			B	//	1.84	20.9 (—)	—	0.69	—	—	—	—
	10	②	N	15	27.00	9.13(0.09)	0.11	0.97	0.31	0.82	62.2	10.9
			B	//	3.68	5.77(—)	—	0.82	—	—	—	—
	15	③	N	20	40.50	7.20(0.11)	0.10	0.98	0.67	0.81	17.3	12.0
			B	//	5.52	3.70(—)	—	0.87	—	—	—	—
-10	5	④	N	15	13.50	17.4 (0.08)	0.07	0.94	0.16	0.72	77.8	21.7
			B	//	1.84	15.4 (—)	—	0.69	—	—	—	—
	10	⑤	N	15	27.00	7.67(0.04)	0.05	0.97	0.20	0.81	75.3	12.0
			B	//	3.68	4.67(—)	—	0.82	—	—	—	—
	15	⑥	N	15	40.50	3.97(0.04)	0.04	0.98	0.59	0.89	33.7	3.26
			B	//	5.52	2.40(—)	—	0.87	—	—	—	—

(N : Needle, B : Branch)

Table 2.2 Experimental results (humidified water : 80 cc/h)

Temp (°C)	Wind Speed (m/s)	No.		Time (min)	$Va^2/R \times 10^{-3}$ (cm <sup>2</sup> /g)	Icing length Icing weight (mm (g))	Catch ratio		Density (g/cm <sup>3</sup> )		$\delta$ (%)	$\delta$ (%)
							$\alpha_{obs}$	$\alpha_{cat}$	$\rho$	$\rho_0$		
-5	10	⑦	N	30	27.00	7.80(0.08)	0.08	0.97	0.27	0.86	68.6	6.52
			B	//	3.68	5.47(—)	—	0.82	—	—	—	—
-10	10	⑧	N	30	27.00	7.47(0.04)	0.04	0.97	0.26	0.68	61.8	26.1
			B	//	3.68	4.93(—)	—	0.82	—	—	—	—

(N : Needle, B : Branch)

Fig. 8 Icing density  $\rho$ 

挙げられる。

Fig. 8は、着水の全空隙を含めた密度 $\rho$ を示している。この図では、上述の理由を裏付けるように温度が高い方が、また風速が大きい方が密度 $\rho$ が大きくなっている。Table 2.1にも示しているが、風速15m/sでの空隙率 $\delta$ が他の条件のものよりかなり小さいことから密に付着していることが伺える。密度 $\rho_0$ は温度・風速・加湿量の影響をあまり受けず0.68~0.89g/cm<sup>3</sup>（平均0.80g/cm<sup>3</sup>）であった。

また、木枝の場合は外径とほぼ同じ幅で着氷が成長し、着氷長さが注射針の場合より短いことを除けば温

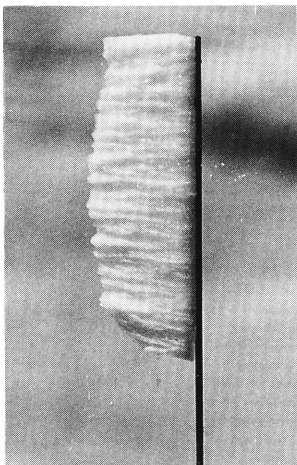


Fig. 9 Typical icing formed on the needle

度・風速による影響は注射針と同じ傾向であった。

Fig. 9は、今回注射針に着氷生成させた人造霧水の代表例である。Fig. 2に示した「雲仙の霧水」によく似た着氷であることがわかる。この着氷は、分類すると粗霧水と思われる。

今回実験を行った条件で得られた着氷を分類すると、着氷の種類は温度よりも風速に因るところが大きく、風速15m/sではFig. 10(a)に示すように白色不透明・粒状で空隙が少なく、密度 $\rho$ は0.59~0.67/cm<sup>3</sup>と大きく、粒が密に固まってお付着力も大きい。分類では、密霧水である。風速10・5 m/sでは、Fig. 10(b)に示すように白色不透明・粒状で尾鱗状の着氷があり、空隙はかなり多い。密度 $\rho$ は0.16~0.31g/cm<sup>3</sup>と小さく、粒が疎に固まってお付着力が小さい。分類では、粗霧水である。しかし、風速5 m/sで温度が-5°Cと高くなると、Fig. 10(c)に示すように白色不透明な部分に透明な部分が混じっており、針状で空隙も多くなり、密度は0.28g/cm<sup>3</sup>で付着力も小さい。これは先程の粗霧水と雨水が混じり合った着氷と思われる。

この他、温度-3°C・風速6 m/s・加湿量180cc/hの条件下で雨水が、温度-10°C・風速0 m/s・加湿量80 cc/hの条件下で樹霜が生成した。

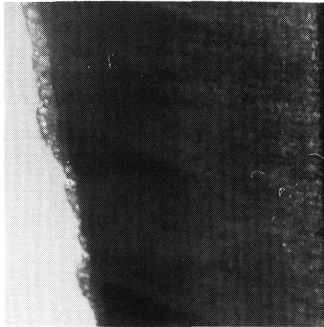
### 3. 2 捕捉率への諸因子の影響

Fig. 11は、注射針について加湿量180cc/hの実験で得られた捕捉率 $a_{obs}$ の時間変化である。この $a_{obs}$ は、式(6)を用いて算出しているが、式(6)中の着氷重量 $M$ は実測値ではなく、Fig. 7でも示したように着氷の形状を風上に開いた台形に近似し、着氷長さ計測毎に重量 $M$ を求めた計算値である。Fig. 11を見ると、捕捉率は風速に大きな影響を受けることがわかる。温度-5°Cの場合、5 m/sでは観察時間の間中増加しているが、10m/s・15m/sと風速が大きくなるにつれて着氷初期では5 m/sより大きくなっているが、5分経過した当りから捕捉率の低下が始まり、それぞれ10分ないし13分後に5 m/sでの捕捉率と逆転している。この捕捉率の低下は、Fig. 7にも示したように風速が大きくなるにつれて単位時間当りの着氷の成長量が小さくなるのが大きな要因である。温度が-10°Cと低くなると、捕捉率は各風速とも-5°Cの場合より低下しているが、時間的変化は同じ傾向である。

木枝の場合は、前述したように注射針のような末広がりとは異なり、枝の直径とほぼ同じ幅で着氷しているため注射針の場合より捕捉率が小さいことは予想されることである。木枝の捕捉率は、注射針の場合の1/2~1/3であることを除くと時間的変化は注射針の場合と同じであった。

次に、他研究機関の結果と比較してみる。ここでは、Fig. 12 に示したように Albrecht が提唱した着氷条件のパラメータ  $Va^2/R$  を横軸とした捕捉率について比較する。図中、実線・一点鎖線はそれぞれ Albrecht および今井一郎<sup>7)</sup>による近似式の結果である。●印は高野玉吉による実験値<sup>5)</sup>でそれらを破線で結んでいる。

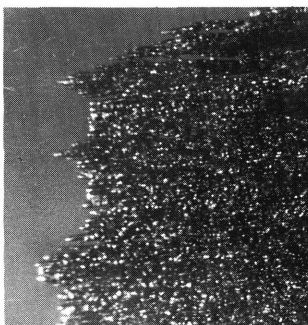
ここで、高野の結果が  $Va^2/R > 3 \times 10^{-3}$  で理論値を越え、しかもその捕捉率が1を越えているのは、特に被着氷物の半径  $R$  が小さい場合に末広がりに着氷するため、被着氷物の断面積に対する捕捉率としては理論



(a) Hard rime



(b) Soft rime



(c) Soft rime and Glaze

Fig. 10 Example of icing produced artificially by the various test condition

└──────────┘ 1 mm

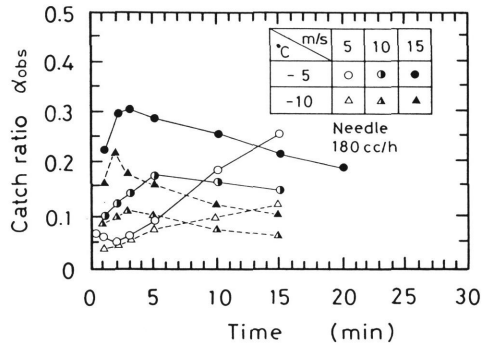


Fig. 11 Effect of temperature or wind velocity on catch ratio  $\alpha_{obs}$

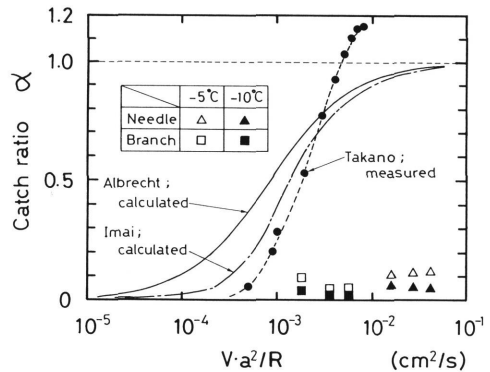


Fig. 12 Comparison of the another researcher's data

値および1を越えているとしている。

今回の結果を図中に記しているが、注射針の場合は最終着氷重量を木枝の場合は、重量測定をしていないため着氷形状・密度から求めた重量を用いて捕捉率を算出した。今回は、 $Va^2/R$  は  $1.84 \times 10^{-3} \sim 4.05 \times 10^{-2}$  の範囲で実験を行ったが、明かに理論値および高野の実験値より著しく小さい。この理由は明かではないが、Table 3 に示した各氏の実験条件等を見る限り、今回の実験での雲水量が今井・高野両氏のものよりかなり多い点が異なっているので、そのことがこのような捕捉率となった理由の一つと考えられる。今後、この点に充分留意した検討が必要である。

#### 4. 結 論

諸実験の結果、自然界でみられる霧氷に似た着氷物を生成させることができた。雲仙でみられる霧氷は、外観的にみて“粗霧氷”だと思われる。また、様々な条件で密霧氷・粗霧氷・雨水・樹霜を着氷させることができた。

次に、着氷条件として温度を  $-5 \sim -10^\circ\text{C}$ 、風速  $5 \sim 10 \sim 15\text{m/s}$ 、加湿量を  $80 \sim 180\text{cc/h}$  と変化させて、被着



Table 3 Comparison of another study

	Author		Ichiro imai		Tamakichi takano
			Thin column	Thick column	
Temperature (°C)	-3~-10		-2.2~-11.7	-1.1~-7.9	-0.5~-10.5
Wind velocity (m/s)	5~15		3.7~32.7	6.1~20.4	47~51
Humidified weight (g/m <sup>3</sup> )	2.84~15.1		?	0.07~0.44	0.07~0.59
Droplet radius (μm)	9		3.8~8.2	3.8~7.4	5~12
Stick	Stainless steel Hollow column	Branch	Brass Hollow column	Brass Hollow column	Brass Hollow column
Stick radius (cm)	0.03	0.22	0.05~0.80	0.72~12.0	0.25~2.55
$Va^2/R$ ( $\times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$ )	13.00~40.5	1.84~5.52	0.14~22.3	0.014~0.83	0.6~7.4
Catch ratio	0.04~0.11	0.02~0.10	?	0~0.68	0.07~1.14
Test duration (min)	15~30		2~40	120~240	5~10

水物はステンレス製注射針（外径0.6mm）と木枝（外径4.4mm）を用いた実験を行い、着氷長さ・捕捉率・密度などへの影響を調べた。以下に、それらの結果を述べる。

#### 1. 着氷長さ・密度・構造

(1) 注射針の場合、一般的に風上に向かって末広がりに着氷する。風速が大きいくほど、着氷は長く生成せず広がり幅が大きくなる。しかし、風速に関わりなく広がり幅対注射針の外径の比 ( $D/D_c$ ) は4程度までが限度のようである。

(2) 温度は高い方が、 $D/D_c$  が小さくなり着氷長さが長くなる。

(3) 密度  $\rho$  は、温度が高い方が、また風速は大きい方が大きくなる。

(4) 風速15m/sでは密霧氷、10・5 m/sでは粗霧氷が生成した。但し、風速5 m/s・温度-5°Cの場合には、粗霧氷と雨水が混成した。

(5) 木枝の場合、枝の外径とほぼ同じ幅じ保ったまま着氷する。着氷長さは注射針より短い。

#### 2. 捕捉率

(1) 風速が大きいくほど、着氷初期での捕捉率は大きいくが、10・15m/sでは5分経過後から低下して、10分程度経過後には5 m/sの場合が一番捕捉率がよくなる。

(2) 温度が高い方が捕捉率は大きい。

(3) 得られた捕捉率は、他研究機関のものより著しく小さい。これは、特に雲水量の差異によるものと思わ

れるが検討を要する。

最後に、本研究の実施に当たって多くのご援助とご討議を頂いた雲仙かせや旅館主人・高橋弘明氏、雲仙岳測候所所長・柴田政勝氏、本学・川口勝之教授、石田正弘教授、植木弘信助教授に厚くお礼申し上げる。また、熱心に研究に協力された学生諸君に心から謝意を表す次第である。

#### 参 考 文 献

- 1) 小口八郎；着氷の物理的研究 I～V, 低温科学, 6 (1951), 95~146.
- 2) 黒岩大助；模型プロペラの着氷, 低温科学, 6 (1951), 1.
- 3) 黒岩大助；プロペラの着氷, 低温科学, 6 (1951), 11.
- 4) 今井一郎；着氷の寸法効果, 雪氷, 6, 10(1944), 16.
- 5) 高野玉吉；風洞による着氷の研究 I～V, 低温科学, 5 (1950), 1~50.
- 6) Albrecht, F.; Theoretische Untersuchung über die Ablagerung von Staub aus stromeder Luft und die ihre Anwendug auf die Theorie der Staubfilter, Phys. ZS, 32, 48 (1931).
- 7) 今井一郎；物体による気流中の微粒子の捕捉（着氷の物理一）, 気象集誌, 2, 19, 6 (1941), 217.