

酢酸ナトリウムを用いた樹氷生成のモデル化

Modeling of rime formation using sodium acetate

岩手県立一関第一高等学校 3年

横田新生 菊地真大 来栖遥希 鈴木完司

YOKOTA Neo, KIKUCHI Mahiro, KURUSU Haruki, SUZUKI Kanji

要約

私たちは、樹氷生成の過程に興味を持ち、どのような自然条件が樹氷の生成に影響を与えるのか酢酸ナトリウムを用いて調べることにした。実験に適した水溶液の濃度を調べ、樹氷のモデルを作成した。斜面を用いて流れによる結晶化の方向について調べたところ、水滴の流れによる変化は確認できなかった。風を起こして酢酸ナトリウム水溶液を樹木に衝突させると結晶は大きく成長した。このことから、風は樹氷生成に影響を与えていることが分かった。

<キーワード> 結晶化 流れ 風

ABSTRACT

We investigated what conditions affect rime formation with sodium acetate. When we searched the direction of crystallization by flow using a slope, there was no change due to the flow of water droplets. When we make a wind and let water droplets collide with a tree the crystal grew large. For this reason, we found that wind affected the formation of rime.

Keywords: crystallization, flow, wind

1 はじめに

「新版・雪氷辞典」によると、樹氷とは風で運搬されてきた雲粒などの過冷却水滴が樹木などの物体に衝突して凍結したもののことである。私たちは樹氷生成の過程を明らかにするためにそのモデル化を試みた。

内田ら(1991)は超音波加湿器を用いた氷点下での霧氷の生成に成功している。しかし、室温での樹氷生成には冷却装置が必要であり、より簡単にモデル化できないか検討した。矢野・長南(2010)は融点が高く室温でも実験できるため、酢酸ナトリウムとチオ硫酸ナトリウムは過冷却の実験に適していると報告している。そこで、私たちは酢酸ナトリウムを用いて樹氷生成のモデル化を試みた。

2 実験1：水溶液の濃度の決定

樹氷のモデルを作成するためには衝撃を与えてから結晶化するまでの速さが重要となるため、実験に最適な濃度を特定するため4つの濃

度で結晶化とその速さを調べる実験をした。

<使用したもの>

酢酸ナトリウム五水和物、水、ビーカー、ガスバーナー、電子天秤

<実験方法>

水と酢酸ナトリウムのモル比がそれぞれ4:1, 3:1, 2:1, 1:1となる水溶液を作成した。常温まで冷ました水溶液に結晶を落とし、結晶化させた。

<結果>

モル比が4:1のときは結晶化しなかった。それ以外の濃度の時は速いほうから、1:1>2:1>3:1の順で結晶化した。しかし、モル比が1:1の時は衝撃を与える前に自然に結晶化してしまうことがあった。実験には適さないと考え、この濃度に最も近く計算が容易なモル比である1.5:1の水溶液(6.13mol/L)で実験をすることにした。

3 実験2：結晶生成の確認

私たちが調べた限りでは、酢酸ナトリウムを用いた樹氷生成のモデル化の先行研究がなかったため、樹氷に近い形のものを作製することができるかを調べた。

<使用したもの>

酢酸ナトリウム水溶液、食用色素（青）、木材（桐）、ビーカー、ガスバーナー、電子天秤、双眼実体顕微鏡

<実験方法>

水溶液に食用色素を入れ、青色に染色する。これは結晶が木材に付着したときに色が付いていたほうが観察しやすいためである。その水溶液を霧吹きに入れ、木材に吹き付けたときの衝撃で結晶化させた。できた結晶を双眼実体顕微鏡で観察した。



Figure.1 Equipment of the experiment:2

<結果>

木材を覆うように薄く結晶が付着した。できた結晶を観察すると結晶が成長した方向はばらだった。

<考察>

今回の実験で付着した結晶は、水溶液が空気中で蒸発してできた結晶がそのまま付着したものであるとも考えられる。しかし、安井ら(2011)の研究から、空気中に噴霧された水粒子の蒸発するまでにかかる時間は粒子の半径ごとに明らかにされている。(Table. 1)、霧吹きで飛ばした水滴の大きさはおよそ 0.7mm (700 μ m) ほどであるため、蒸発するまでは少なくとも 44 秒以上かかるかと解釈でき、蒸発する前に木材と衝突したといえる。

Table.1 Radius of droplet and time to evaporate

Air Temperature : 20[deg C]	Initial Radius Droplet[μ m]	Time[s]
Relative Humidity : 50[%]	10	0.3
	25	4
	50	14
	75	28
	100	44

したがって、木材に付着した結晶は過冷却状態にあった水滴が衝突した衝撃で結晶化したものであると考えられる。また、自然に発生する樹氷は横方向に大きくなるが、今回作成したモデルはそのような様子が見られなかったため、風などの自然条件が樹氷の生成に影響を与えているのではないかと考えた。

4 実験3：液体の流れと結晶化の関係

結晶化せずに付着した水滴が、樹木に沿って垂れたときの樹氷生成への影響を調べる必要性があると考えた。そこで斜面における無風状態での液体の流れは結晶化に関係があるかどうかを調べることにした。

<使用したもの>

酢酸ナトリウム水溶液、ビーカー、ガスバーナー、電子天秤、金属トレイ、スタンド
双眼実体顕微鏡

<実験方法>

結晶化の素となる結晶が水溶液の流れによって流されないようにするために、予め金属トレイの上部に結晶を固定した。そのトレイをスタンドに立てかけ、傾きを作り、水溶液を流し入れて結晶化させた。できた結晶を双眼実体顕微鏡で観察し、流れがない状態で作った結晶と比較した。



Figure.2 Equipment of the experiment:3

<結果>

水溶液に流れを作りながら結晶化させる実験を傾きを変えながら数回行った。傾きを小さくしたときは結晶になるのが速く、流れを発生させることができなかった。傾きを約 60 度にしたとき初めて実験に成功した。できた結晶と流



Figure.3 The crystal with flow



Figure.4 The crystal without flow

れがない状態で作った結晶を比較すると、流れがない状態で作成した結晶は、結晶を落とした一点のみを中心に結晶化が進行していたのに対し、流れがあった状態で作成した結晶は、層状になっていた。また、結晶化が進む方向が水溶液の流れによって制限されている様子は確認できなかった。

<考察>

今回の実験で作成した結晶が層状になっているのは、一度結晶になったものの上をもう一度水溶液が流れることで、過冷却状態の水溶液が土台となった結晶と反応し、新たな結晶化が始まったためだと考えられる。実際に樹氷が作られる環境では、風によって運ばれてきた水滴が次々と樹木に衝突して結晶化していくので実際の樹氷も結晶が層状に重なっていると考えられる。このことは、酢酸ナトリウム水溶液の濃度によっては、主に樹氷の厚みを増す働きを助けさらに成長させると示唆される。しかし、水溶液の流れと結晶化の方向には関係性が見られなかったことから、斜面での重力によって発生している水滴の流れと樹氷の成長方向は関係がないと考えられる。

5 実験4：風を加えたモデル作成

斜面での重力が空気中の水滴に与えた流れと結晶化には関係性がなかった。風は樹氷の生成条件に影響を与えていると考え、空気中の酢酸ナトリウム水溶液の水滴に強い流れを起こして木材に衝突させる実験を行った。

<使用したもの>

酢酸ナトリウム水溶液、ビーカー、ガスバーナー、電子天秤、木材（桐）、食用色素（青）双眼実体顕微鏡、手持ち扇風機

<実験方法>

実験2と同様に水溶液を用意し、霧吹きで木材に向かって吹き付けるときに、その後方から扇風機の風を当てた。この時の風速は 2.7m/s だった。できたモデルを実験2で作成したモデルと比較した。



Figure.5 Equipment of the experiment:4

<結果>

できたモデルの結晶は実験2で作成したモデルの結晶よりも水滴が飛んでくる方向に大きく成長した。霧吹きによって飛ばされた水滴は風がなかった時よりも風があったときのほうが収束していた。



Figure.6 The model of rime with and without wind

<考察>

風があったときの結晶のほうが大きく成長した理由は二つ考えられる。一つは飛ばされた水滴が実験2ほど発散しなかったため木材に衝突する水滴の量が多くなったことである。もう一つは風によって水滴に勢いがつき、木材に衝突

したときの衝撃が補われたことである。実験2では木材に衝突してすぐに結晶化しなかったために垂れてしまった水溶液もあったが、今回の実験では木材に衝突したときの衝撃が強く、すぐ結晶化したため水滴が飛んでくる方向に成長したのだと考えられる。よって、木材に衝突したときの衝撃の大きさが関係するのならば、風を強めたり弱めたりすることでも違った結果が得られると考えられる。これらのことから風は樹氷生成の過程に影響を与えていることが確認できた。

6 まとめ

- ① 6.13mol/L の酢酸ナトリウム水溶液を用いると室温での樹氷のモデル化が可能であることが明らかになった。
- ② 斜面を流れる酢酸ナトリウムの水溶液は流れながら結晶化し、層状になることが明らかになった。しかし、水溶液の流れと結晶化の方向には関係が見られなかった。
- ③ 酢酸ナトリウムの水滴を、霧吹きで木材に吹き付けた結晶と風速2.7m/sで木材に吹き付けた結晶を比較したところ、風のあったときの結晶のほうが大きく成長していた。このことから酢酸ナトリウムを用いた樹氷生成のモデル化では、風が結晶の形成速度を数倍大きくすることが明らかになった。
- ④ ①から樹氷を流れる水溶液が濃度によっては樹氷生成を促進すると示唆される。

7 今後の課題

今回の私たちの研究を発展させるために必要なことは以下の3つである。1つ目に、結晶化の速さを特定する水滴の温度にかかわる気温による樹氷の生成の違いを調べることである。2つ目に、空気中の水滴の大きさは0.001mm～0.01mmとされているが、霧吹きで飛ばした水滴の大きさはそれよりも大きいため、水滴の大きさによって作成される結晶にどのような変化があるのかを調べる必要がある。3つ目に、実際の樹氷は水で形成されるが、私たちは酢酸ナトリウム水溶液を用いてモデル化したため今回の実験で明らかになったことが自然環境でも同じであるとは言えない。そこで、結晶化する速さ

などの水と酢酸ナトリウムの性質の違いを調べる必要がある。

謝辞

本研究を進めるに当たり、ご指導いただいた先生方には厚く御礼を申し上げます。本当にありがとうございました。

参考文献

- 内田武・楠本韶・安藤司文 (1991) : 霧氷生成に及ぼす各種因子の影響, 雪氷, 53 (2), 145-154
- 矢野慎・長南幸安 (2010) : 高等学校における過冷却の教材化の研究, 弘前大学教育学部紀要, 104, 57-63
- 安井さおり・山中俊夫・相良和伸・甲谷敏史・桃井良尚 (2011) : 空気中に噴霧された水粒子の挙動解析に関する基礎的研究, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, A-87, 173-176

