



Title	雪の結晶の生成条件について
Author(s)	花島, 政人
Citation	低温科学, 1, 53-65
Issue Date	1944-12-15
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17383
Type	departmental bulletin paper
File Information	1_p53-65.pdf



雪の結晶の生成条件について

花 島 政 人

§ 1. 緒 言

既に北海道帝國大學理學部紀要の「雪の研究」第 11 報⁽¹⁾に於て、雪の人工的生成が研究され、その中で雪の結晶形とその生成条件との關係が調べられてゐる。そこでは結晶形の分類の中で數種の平面結晶が單に樹枝狀結晶として分類されてゐるので、その生成条件も近似的なものになつてゐる、即ち前に樹枝狀結晶として取扱はれてゐた各種の平面結晶の中で、その外形は互にかなり似てゐるのであるが、生成条件は相當にちがつてゐるものがあることが、其の後の研究によつて判明した。

それでこの實驗では樹枝狀結晶の形を先づ詳しく定め、その生成の外的条件を調べた。それにひきついで扇形、及び角板結晶、針型結晶、鼓形結晶などの生成条件をも調べた。

この「雪の研究」の初期に於ける人工霜の研究⁽²⁾で、過飽和の度合として過飽和比 s^* なるものを考へ、その s と結晶形との關係を調べた。しかし s は實際の過飽和の度合を示すものではなく、唯一定の裝置に對して、水蒸氣供給の度合を決める一つの目安であつて、後の第 11 報でこの過飽和比 s の外に結晶が出来るところの氣温もその結晶形に大きな影響を及ぼすことが分つた。以前の定義による過飽和比 s は裝置によつて異なるばかりでなく、同じ裝置についても、内部の對流の様子がちがふと著しく値を異にするので、結晶形を決める外的条件としては不適當であることが知られたのである。しかし過飽和の度合をきめる要素を測定することは今までのところ困難であつたので、單に定性的な目安として當分の間これを採用することにした。

それで本研究では s の外に結晶の出来るところの氣温が結晶形に及ぼす影響を主として調べた。實驗は前の人工雪の研究と同じく、室温が -12°C 乃至 -45°C の低温實驗室内で行つた。

§ 2. 分 類

人工雪の生成に於て以前の一般分類では、雪の結晶全體の形を問題としてゐたのであるが、結

北海道帝國大學低温科學研究所報告第 6 號。氣象雜誌，第 2 輯，第 20 卷

(1) 北海道帝國大學理學部紀要第 2 輯，2 (1938) pp. 13-57，中谷，戸田，丸山，人工雪の研究續報 (英文)

(2) 北海道帝國大學理學部紀要第 2 輯，1 (1935) pp. 206-214，中谷，佐藤，霜の結晶の人工製作並に雪の結晶の生成機構について。

* 過飽和比 s は下から水蒸氣を供給する水槽の水温に對する飽和蒸氣壓と結晶の出来るところの氣温の飽和蒸氣壓との比。

晶形とそれを支配する外的条件との間の関係を詳しく調べるには、結晶の枝 1 本について論じた方が適切である。即ち結晶の枝の形の同じものは、同じ条件の下に出来るから枝の結晶習性が主な問題となるので、分類は主として枝の形について行ふことにして、次のやうに分けた。

樹枝状結晶:—

羊齒状, 普通樹枝状, 星状.

扇形結晶:—

扇形, 廣幅, 角板.

針状結晶:—

従前通り.

鼓型結晶:—

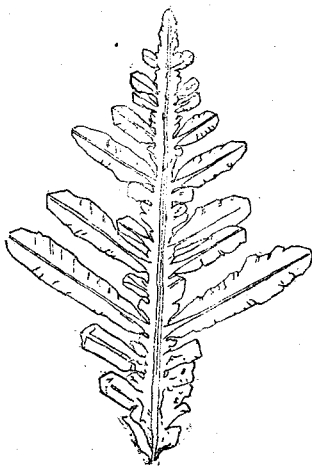
従前通り.

寫眞 No. 33 は樹枝状結晶の典型的なものの一つで、更に詳しく云へば羊齒状結晶の代表的なものである。かういふ結晶は生成の途中づつと羊齒状發達をするのに適した条件にあつたものである。ところが寫眞 No. 41 では、枝全體の形としては樹枝状でもその極く先端は少し廣がつて扇形になつてゐる。又寫眞 No. 35 の結晶は全體としては扇形であるが、それより出た枝は樹枝状である。かういふ場合は外にも屢々ある。これらは何れも結晶生成の途中で条件が變化したために出来たものである。例へばはじめから、寫眞 No. 41 の最後の条件、すなはち先端が廣がつた形のものになる条件にして

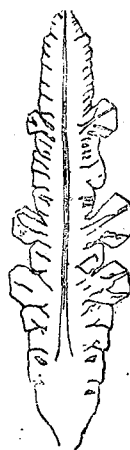
おけば、其の後に全體として樹枝状となるやうなことはない。この枝がひろがるどころの条件ではじめからつくれば、寫眞 No. 39 のやうな扇形結晶になるのである。即ち結晶出来上りの最後の条件からいへば寫眞 41 の結晶は、樹枝状結晶とは云へないので、むしろ扇形結晶とすべきものである。

このやうに生成の途中で条件が變化すると、枝についての外的条件を唯一種に規定することは出来ない。しかしさういふ資料も、かなりあつたので、それ等をも棄てずに、このやうなもので

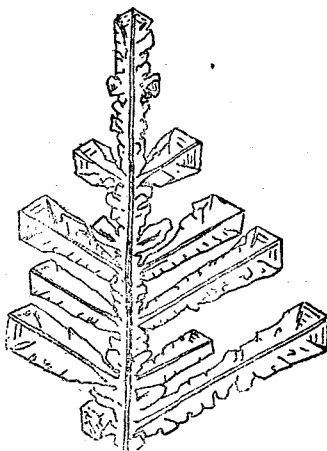
第 1 圖 a



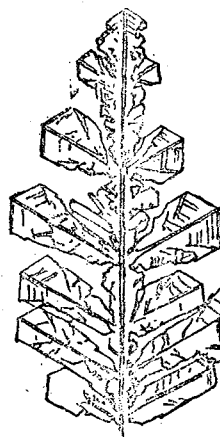
第 1 圖 b



第 2 圖 a



第 2 圖 b



は結晶の枝の先端の形を見て樹枝状か否かを定め、その形と最後の生成条件との間の関係を調べた。

例へば第 1 圖 a, b は終始完全な樹枝状結晶であるが、第 2 圖 a, b は最後の即ち結晶出来上りの時の生成条件で云へば、扇形とすべきなのである。この扇形か樹枝かの區別は、枝の先端が尖つてゐるか、擴がつてゐるかで決めるのが一番きめ易い。

寫眞 No. 37 に示す様な星状結晶は、枝全體の形としては、樹枝状とは云へないのであるが、このやうに先端が尖つたものは、同じ条件の儘に保つておくと後に枝分れすることが實驗的に認められたので、このやうなものも樹枝状結晶とすることにした。即ち星状結晶は樹枝状結晶の中に入れることにした。その方が生成条件との關係から見ると至當なのである。

§ 3. 装 置

人工雪生成の装置としては、第 11 報の研究に於て用ひられたものの第 1 型を主として使用した。第 3 圖がその大要で、大小 2 本の硝子管を圖のやうに立てて、下に電熱で温められてゐる水槽を置いたものである。この装置では、暖い水蒸氣は内側の硝子管を昇り、冷えた空氣は兩硝子管の間を下り、自然對流で、雪の結晶に都合のよい條件が得られるのである。

B は眞鍮の蓋で、内側には C なるコルクを張り、それに極く細い兎毛 H を吊し、その兎毛上の小突起を核として雪を作るのである。

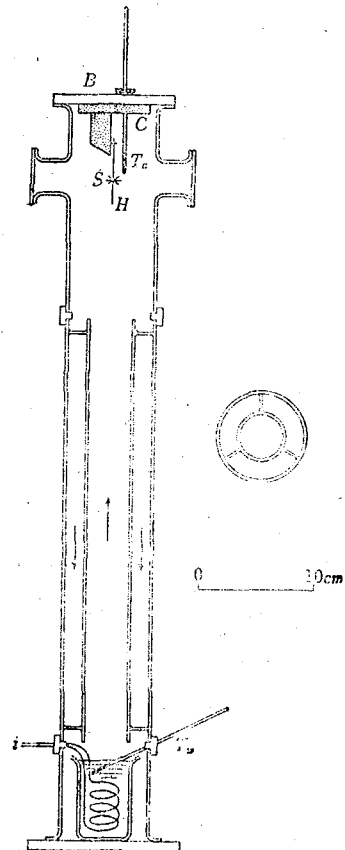
今回の實驗では低温室内で、更にこの装置全體を電熱で温度が加減出来る恒温箱内に入れて使つた。恒温箱の温度は低温室内の温度が -30°C を中心として $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 位かはつても、 -5°C 乃至 -25°C の間の任意の温度で一定に保てるやうにしてある。

結晶の出来るところの氣温 T_a は下の水蒸氣を供給する水槽の液温 T_w と、この恒温箱の温度との函数であるので、下の液温を變へる外に、この恒温箱の温度をも變へることによつて、結晶の出来るところの氣温 T_a を變化させて、生成条件を調べることにした。

§ 4. 實驗方法

充分乾燥した装置を低温室内の恒温箱内に放置し、大體 -20°C に冷える迄待つ。その間水槽は装置から外しておいて恒温箱の外で、液温が $+12^{\circ}\text{C}$ 位を保つやうにして置く。兩方が所要の温度になつたところで、常温の實驗室内で五酸化燐を入れた乾燥器中で充分に乾燥しておいた兎毛をシャーレーに入れて、

第 3 圖

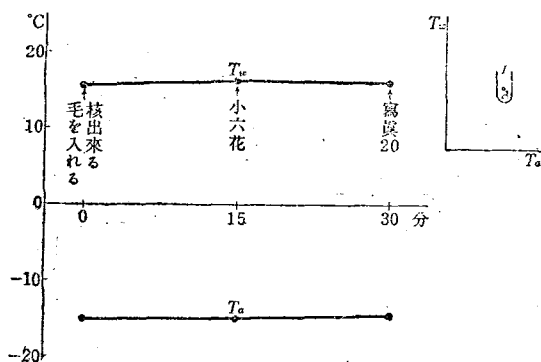


低温室内へ持込み、装置の下方へ水槽をつけると同時に、装置の蓋へ兎毛を吊してやる。そして水槽の電流と恒温箱の電流とを調節して、所要の T_a , T_w にして、種々な T_a , T_w の組合せで結晶を作つた。

雪の結晶は兎毛上に點々と離れるやうに作る必要があるが、それにははじめの核を兎毛上に孤立して作らねばならない。それで核がはなればなれに出来るやうな条件の下で、先づ核を作り、それから氣温と水温とを速く或はゆつとりと所要の T_a , T_w の組合せの条件にしてやることにした。例へば T_a を -18°C , T_w を $+12^{\circ}$ 乃至 $+15^{\circ}\text{C}$ 位にして、毛を入れると、15分乃至30分でその毛の上に點々と互にはなれて核が認められ、それは大抵平面六花の初期状態結晶となる。その後 T_w を徐々に上げ、恒温箱の温度も適當に調節して、 T_a が -15° 乃至 -16°C , T_w が $+15^{\circ}\text{C}$ 以上になるやうにして發達させると、美しい樹枝状六花結晶が得られるのである。

そこで結晶を取出して寫眞を撮るのであるが、時としては、更にまた装置に戻し、恒温箱の温度を調節し、 T_a を變へて他の形に發達させたりすることが出来る。

今までの實驗に於ては、美事な樹枝状結晶を作るには、核が出来てから後、水蒸氣を供給する水槽の液温 T_w を徐々に上げてやる事が、技術的な問題として必要とされてゐた。しかし今回の實驗で T_a , T_w を所要な一定の値にしておいて兎毛を入れてやり、その後もずつとその T_a , T_w を 1°C 以内の範圍で一定に保つておいても、樹枝状結晶が出来ることが分つた。寫眞 No. 53



第 4 圖

は此の様にして作つた樹枝状結晶の一例で、第4圖がその結晶生成の際の温度経過では此の様。もつとも T_a , T_w を終始一定に保ちながら樹枝状結晶を作ることはかなり困難であつて、美しい樹枝状結晶をつくるには矢張り水温を樹枝状に發達する条件の範圍内で、徐々に高める方が有利である。たゞそのことが樹枝状結晶の生成に絶対必要な条件ではないと、いふことが確められたのである。

針状結晶だけを作るときには、はじめから針の出来る条件にしておくと、結晶をつける兎毛全體に毛蟲のやうに霜がついてしまふ。それで先づ孤立した核の出来る易いところで核を作つて、その後すぐ針の出来る条件を後述の如く $T_a - 6^{\circ}\text{C}$, $T_w + 30^{\circ}\text{C}$ 位にすると、針状結晶の完全なものが出来る易かつた。針状結晶は氣温が暖く、水蒸氣の供給も多い条件の下で出来るので、初めからその条件にすると、毛に核が無數についてしまつて困るのである。

§ 5. 各種結晶の生成条件

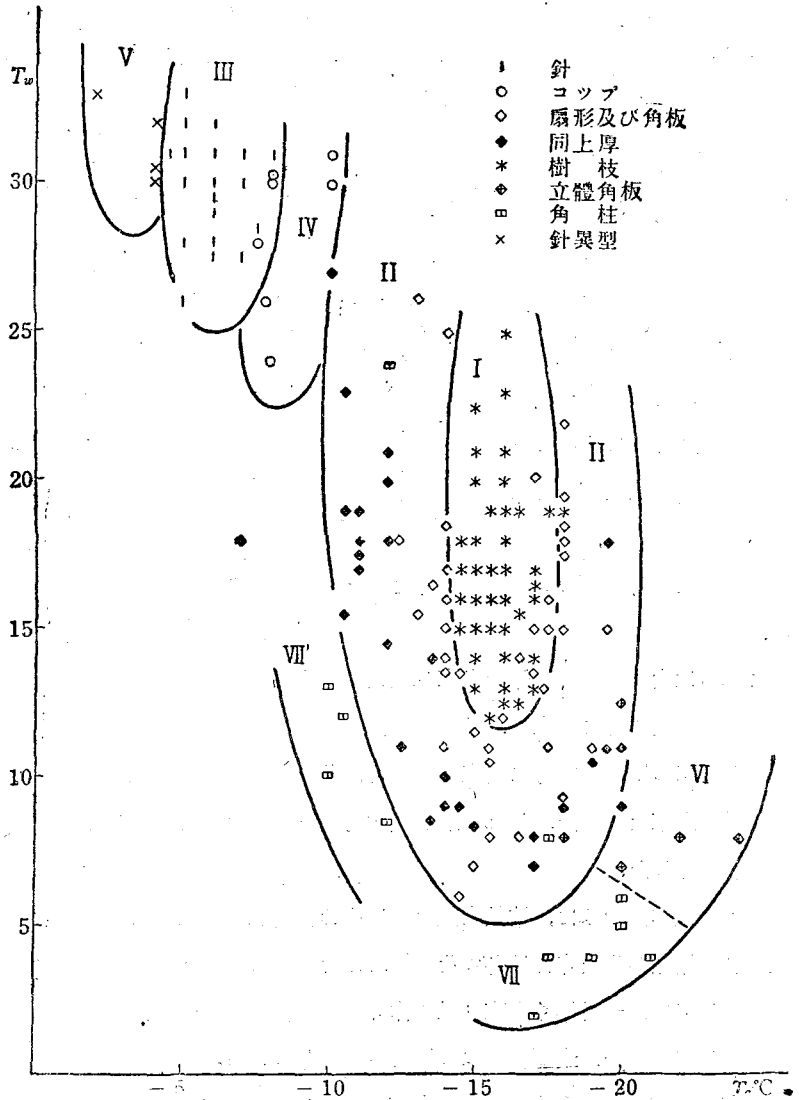
斯して得られた樹枝状、扇形、其の他取混ぜて約700枚の結晶の寫眞について、その生成の際

の温度経過と結晶形との間の関係を調べた。

その結果を総合して第5圖に示す。圖中縦軸には下から水蒸氣を供給する水槽の液温 T_w を、横軸には結晶の出来るところの気温 T_a を採つた。

結晶形は樹枝、扇形、厚角板、立體角板、針、針異型、コップ、角柱の8種に分けて、それぞれの符号で圖中に記入した。扇形といふのは本質的には角板と同じもので、初期状態に於て小六角板から成長すれば六角板となり、六花に切れたものから發達すれば、扇形となると思

第 5 圖



はれる。それで本文では扇形と角板とは同じものとして取扱つた。

a) 樹枝状結晶 雪の結晶の代表的なものと考へられてゐる樹枝状結晶を先づ調べた。その結晶は第5圖で分るやうに、この樹枝状結晶が出来る範圍は大體決まつてゐるのである。即ち同圖に就てIと印された範圍がそれである。これではじめて樹枝状發達の外的條件が判明したのである。即ち結晶の枝が完全な樹枝状發達をするためには、気温が -14°C 乃至 -17°C の範圍内にあることが大切な條件であることが知られた。 T_w は水蒸氣の供給度を示すもので、過飽和の度合を定性的に示してゐると考へられる。この T_w の値は圖で分るやうに、かなり廣い範圍内に互つてゐる。即ち気温が樹枝状發達になる範圍内にあるとき過飽和の度は相當大きい必要があるの

で、あまり小さいと適温の場合でも扇形結晶になつてしまふ。又水蒸氣が餘り多いと雲粒付結晶になるのである。

前にも述べたやうに、この範囲内で樹枝状結晶を作つておき、その後 T_a を上昇又は下降せしめて、生成条件をこの範囲外へ持つて來ると、その先端が廣がり始める。又逆にこの範囲外で扇形結晶を作つておき、それをこの樹枝状發達の範囲内へ持つて來ると、その扇形の先端から樹枝状の枝が伸びはじめるのである。

第5圖の樹枝状發達の範囲内で、その下の方、即ち水蒸氣の供給度が比較的少ない時には樹枝状と扇形とが混つてゐる。かういふ条件のところでは T_w 上昇の割合が或る程度（30分間に 1.5°C ）以上の時は、結晶は樹枝状となり、それ以下のとき、即ち水温を一定に保つた場合には扇形となつた。それでかういふ比較的樹枝状發達の困難な条件の下では、從來やつてゐたやうに水温を徐々に上昇せしめることも必要であることが分つた。

b) 扇形結晶及び厚角板 扇形又は角板結晶を見ると薄くて並行なすじのあるもの、ないもの、又厚味のあるもの、或は稜骨の出張つたものなどがあるが、その各々の生成条件は未だ簡單には決められないので、こゝではそれ等を一括して扇形結晶及び厚角板として、その生成条件を述べる。

これらは大體樹枝状結晶の出来る範囲から少しずれたところ、即ち樹枝の条件より稍気温の高い時、及び低い時に出来る。又気温が樹枝に適した場合でも水蒸氣の供給度が少ない時に扇形になる。そして T_a の高い時に出来た扇形と、 T_a の低い時に出来た扇形とはその形状にはつきりした區別が出来なかつた。それで扇形或は角板と厚角板とを一括して、その生成条件を第5圖中範圍 II で印した。

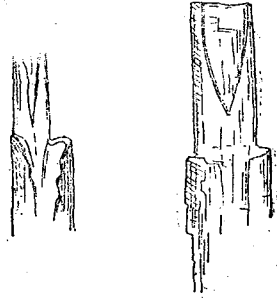
前にも述べたやうに、結晶全體の形はその初期状態で大いに支配されるので、扇形なり、樹枝状なりの結晶の生成条件は各々その枝だけを見ることにした。それで扇形を作る場合でも、初期状態としては、一番早く出来、且つ作り易い樹枝状小六花結晶を作り、それから扇形にする方法を主として採つた。先づ初めに T_a を -16°C 、 T_w を $+15^{\circ}$ 乃至 $+20^{\circ}\text{C}$ 位にする。上の条件で小六花が出来るので、次に結晶の出来るところの気温 T_a を順次に下げてゆく。それには恒温箱の温度を下げればよい。すると T_a が -17° 乃至 -18°C 位になると、その枝の先端が廣がり始めるので、扇形の条件になつたことが分るのである。更に T_a を下げて -20°C 位にすると立體角板になつてしまふ。

樹枝状六花結晶から逆に T_a を順次に上げてゆくと先づ T_a が -14°C 位から、枝の先端がすじのある扇形にひろがり始める。更に T_a を高くして同時に水蒸氣の供給も多くしてやると、そのへりが厚味を持ち始める。この角板が厚味をもつて來るのは、云ひ換へれば主軸の方向の發達が始まることである。この傾向は気温の上昇と共に更に著しくなり、ずつと気温が高くなると、結晶は主軸の方向へ細くのびて、次の針状結晶になるのである。

c) 針状結晶 気温 T_a を上昇させ、又更に T_w も高くして、水蒸気の供給度を多くすると、 T_a が -6°C 前後で針状結晶が伸び出す。この代表的な例を寫眞に示す。この人工針状結晶は天然のものと殆んど同じ構造を示してゐるので、唯天然の場合にはこれ程長い結晶は見られない。この針状結晶の出来る範圍は、第5圖に於て範圍 III で印した通りである。 T_a が更に高く、 -4°C にもなるともう完全な針状發達はしなくなつて (f) でのべるところの異型の針になる。

この針状結晶だけを作る時には、先づ孤立した核の出来易い条件の處で、核を作りそれが出来る

とすぐ、この III の条件にすると針状結晶だけが出来るのである。寫眞 No. 49 の針はそのやうな核の出来易いところから始めて、針の条件へ行く途中で核が出来、そしてその核からすぐ針が伸びたものである。實際に天然の場合でも、この針状結晶は気温の比較的高い時に降ることが、北海道及び樺太の觀測で確められてゐる⁽¹⁾。



第 6 圖

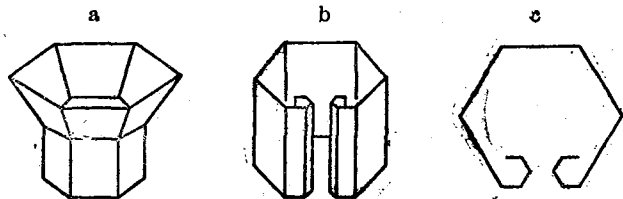
この針状結晶は大部分中空で、その先端の方には第6圖に示したやうなきれ目がある。このきれ目の出来る原因として、結晶の生長途中水蒸気が下方からのみ供給されるためかもしれないと考へた。

それで結晶に水蒸氣供給のむらが出来ないやうに、水蒸氣供給の方向に對して廻轉し乍ら作つて見た結果は豫期に反し、矢張りきれ目は出来た。又一本の兎毛に出来た數ヶの針状結晶について調べてみるとそのきれ目の向きはばらばらであつた。それでこのきれ目の出来る機構には差當りふれないことにした。

針状結晶が主軸の方向に伸びたものであることを示すよい例がある。それは先づ針を作つて置いて、それから樹枝状結晶の出来る条件にしてやると、針の先端から針と直角な面内に樹枝状の枝が伸びることである。天然の雪にも全く同様なものが見られる。

d) コップ型及び屏風型の結晶 これは骸晶生成の極端な場合であつて、六角柱又は六角錐の側面だけがのび出たやうな形をしてゐる。コップ型の結晶の寫眞は雪の研究第 11 報の寫眞 20 a に發表されてゐるが、その模型的スケッチを第 7 圖 a に示す。

この時結晶が斜めにひろがらなくて、主軸の方向へだけのびると屏風を六角に折りまげたやうな形になる。寫眞は六花の枝の先きにこの屏風型の結晶が發達した例である。この屏風だけを模型的に



第 7 圖

第 7 圖 b に示す。屏風形の場合は殆んど例外なく、六角の一辺がきれてその邊が内側に捲き込んだ形になる。第 7 圖 c はそれを上から見た形であつて、a のコップ型の場合にも、このやうに一辺が切れ込むことが多い。この種の結晶は天然の霜の中によく見られるので、その最も美事

(1) 北海道帝國大學理學部紀要. 第 2 輯, 第 1 卷, 9 號, 中谷, 關戸, 雪結晶の一般分類 (英文)

な例は Wegener 教授がグリーンランドの水河の裂罅の中で発見したものである⁽¹⁾。又天然の雪の場合にも、これと同じものがあることが北海道十勝の観測で知られた⁽²⁾。この種の結晶を總稱してコップ型としたのであるが、その生成条件は第5圖で見られるやうに丁度厚角板 II と針 III との間で水蒸氣の多い時に相當してゐる。その生成条件を範圍 IV とする。

雪の結晶が範圍 I、即ち氣温 -15°C 程度で樹枝になるのは、その温度では結晶が六方晶系の底面内へ發達することを示してゐる。その時温度が少し高くなると主軸の方向にのび始めて、厚角板となる。更に温度が高くなり水蒸氣の供給が十分であると、主軸の方向への發達が促進されて、コップ型となる。そして猶氣温が高くなつて -6°C 前後になると、主軸の方向へのみ非常に速く成長して針狀に結晶するのである。

この経過を次ぎ次ぎととらずと寫眞 No. 54 のやうな段階を通つて寫眞 No. 49 のやうな結晶が出来るのである。

e) 針異型 結晶生成の氣温が高くなると、 -6°C 前後で針狀結晶になるのであるが、氣温が更に高くなり -4°C 乃至 -1°C 位までも上ると、もはや完全な針狀には成長しなくなる。この範圍を針異型として、第5圖で × 印で示した。この型の結晶は不規則な形をしてゐて、その構造が未だ確定されないが、その生成条件を假りに範圍 V とする。

f) 立體角板 立體角板といふのは、小形の角板が立體的に集合したもので、天然の場合では、高山地方などで見られる俗稱うどん粉雪がこれに相當する。この立體角板の出来る条件は第5圖で ⊕ 印で示してある。この範圍は -20°C 前後の氣温の低いところで、水蒸氣の供給度も少い時である。その範圍は未だ確定出来ないが、大體範圍 VI のところに當る。

六花の樹枝狀結晶の先端に、この立體角板が發達した例を No. 47 に示す。

g) 角柱 角柱の出来る範圍は第5圖に □ 印で示しある。角柱は常識的にも從來云はれてゐるやうに、水蒸氣の供給度の少い時に出来る。氣温の範圍はかなり廣く、 -10°C から -20°C 以下に及んでゐる。もつとも上の方は -10°C が略々限界であるが、低温の方のもつと寒くても出来る筈であるが、この實驗ではそれ以上氣温の低い方は調べられなかつた。その範圍 VII 及び VII' が第5圖で見られるやうに範圍 II の外廓をなしてゐるやうな形になることは注目すべきことである。

以上は第3圖の裝置を使用して得られた結果であるが、この外、雪の研究第 11 報で裝置第 4 型と名付けたものを用ひても實驗した。この裝置では暖い水蒸氣を垂直に上昇せしめ、他の管を通つて下降させ、水蒸氣を含んだ空氣を循環させるやうになつてゐる。又第3圖の形を少し變へて胴を 1m 位にしたもの、即ち非常に長い筒のものでも雪を作つて見たが、いづれの場合も大體 T_0 の方は同じやうな値が得られた。 T_w の方は下の水槽上の水蒸氣が全部上まで行くとは限

(1) Seligman: Snow Structure and Ski Fields. p. 75.

(2) 北海道帝國大學理學部紀要、雪の研究後報で發表の筈。

らないので、装置の形によつて著しく異なることは勿論である。それで T_w は比較的の値を示すものとして採用すべきである。

以上を總括すると、結晶の樹枝状発達には T_a が -14°C 乃至 -17°C 位、扇形はそれより高い方、及び低い方へ稍ずれたところ、針状は -6°C 附近にあることが必要であること、即ちこれ等の場合結晶が出来るところの気温が大切な要素であることが判明したのである。但し上に得られた樹枝状発達の範囲に、下の方に限界のあること、及び針は水温が高くなければ出来ぬことなどのことから、矢張り過飽和の度合が或る程度以上でなければならないので、この點は従前の報告の通りである。

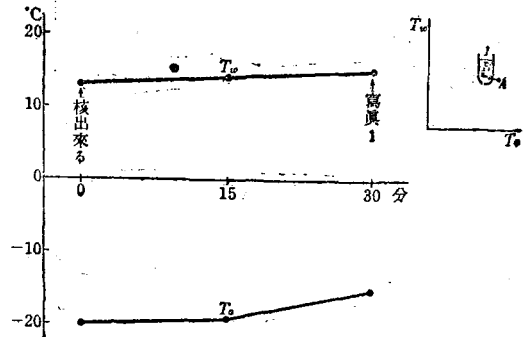
§ 6 人工雪と天然雪との比較

前節に於て詳述したやうに気温と水蒸氣の供給度とを調節することによつて、任意の雪の結晶を人工的に作り得る迄に進んだ。このやうにして作った人工雪は天然雪とその構造及び形に於て、全く同じものである。以下多數の例によつて説明する。

a) 寫眞 No.33 及び寫眞 No. 34 寫眞 No.34

に示した天然雪は樹枝結晶の中でも代表的なもので、この種の結晶を更に詳しく分類して羊齒状と呼ぶ。この結晶と全く同じものは第8圖に示したやうな条件で出来る。即ち初めに $T_a - T_w$ 圖中 A 點で示す初期状態の結晶を作り、それが出来た上で T_a を -15°C 位のところまで即ち $T_a - T_w$ 圖で B 點まで上げると、寫眞 No.33 に示したやうな羊齒状結晶が出来るのである。寫眞

第 8 圖

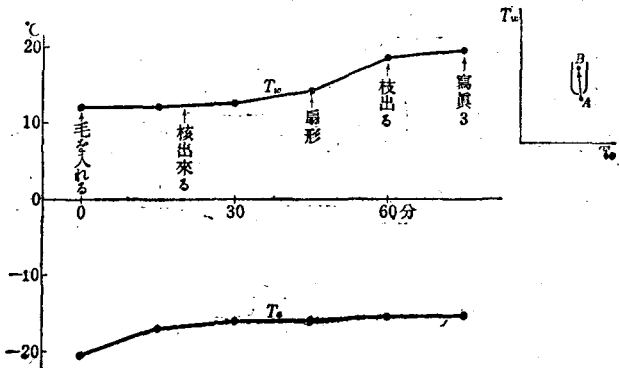


No. 33 と No.34 とを比較すれば、その形及び構造の一致は明瞭である。この種の羊齒状結晶は好条件の間では非常に速く生成するものであることが分る。この場合は初期状態がすぎ完全な羊齒状となり出してからは約 15 分位で普通の雪の大きさに成長した。

b) 寫眞 No. 35 及び寫眞 No.36

寫眞 No. 35 は第9圖のやうな経過で出来たものである。即ち気温は初めから大體樹枝状の条件であつたが、水蒸氣の供給不足のため、扇形に發達した。それを第9圖の $T_a - T_w$ 圖中の A 點で示す。其の後 T_w を上げて水蒸氣の供給を増すと、即ち

第 9 圖



T_a-T_w 圖中の B 點へ持つてゆくと扇形の角から樹枝がのび出したのである。この結晶と全く同じ形の天然雪の一例を寫眞 No. 36 に示す、

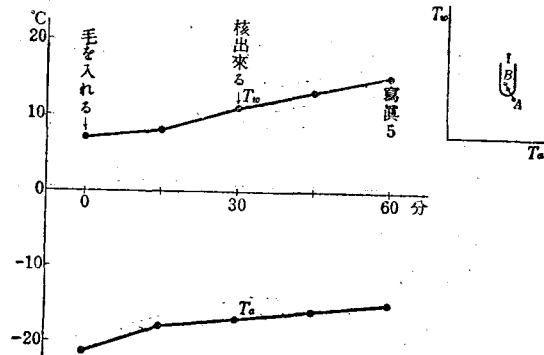
c) 寫眞 No.37 及び寫眞 No.38 寫眞 No.37 の人工雪と寫眞 No.38 の天然雪とも著しい類似を示す。この寫眞 No.37 のやうな形は星状と普通云はれてゐるが、枝の先端の性質から云へば、樹枝の一種である。この結晶は T_a-T_w 圖中 A で核を作つて後に範圍 I の B 點の條件にして作つたもので、この儘今暫く放置すれば普通の樹枝のやうに枝分れが生じて來るのである。それで寫眞 No.38 の天然雪は大形樹枝になるべき結晶の比較的初期のものであると考へられる。

d) 寫眞 No.39 及び寫眞 No.40 寫眞 No.39 の人工雪は扇形の結晶で、これは初期の状態に於て角板が得られたならば、六角板になるべきものである。扇形と角板とは大體同じ條件の下に出来るのであつて、その區別は初期状態に於て決まる。人工雪では初期状態として、小六角板を作ることが困難なために大抵は扇形となる。天然雪でもこの扇形が澤山あるので寫眞 No.40 はその一例を示す。この種の不規則な形の雪の結晶は「雪の研究」第7報でも詳述されたやうに、

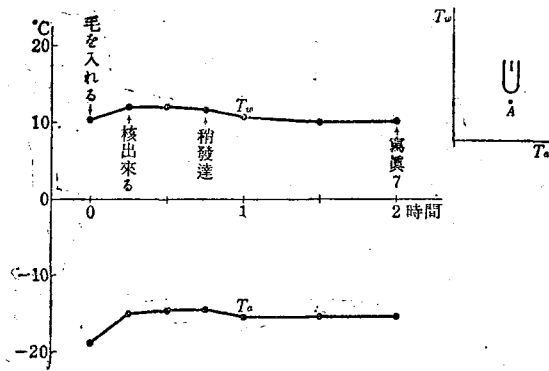
天然の場合にも澤山観測されるのであるが、從來とかく美しい規則正しい結晶のみに注意をひかれ易かつた爲に、一般には珍しいことのやうに思はれてゐるものである。この種の結晶は T_a-T_w 圖中の A 點で示す條件の下に長く放置された時に出来る。

e) 寫眞 No.41 及び寫眞 No.42 寫眞 No.41 の人工雪は樹枝状發達をしてゐる結晶が、氣温の降下によつてその先端が角板に擴がり始めた状態を示す。即ち第12圖の T_a-T_w 圖中、 A 點で核を作り、それを範圍I内の B 點へ持つて行つて樹枝状の發達をさせた末、再び氣温

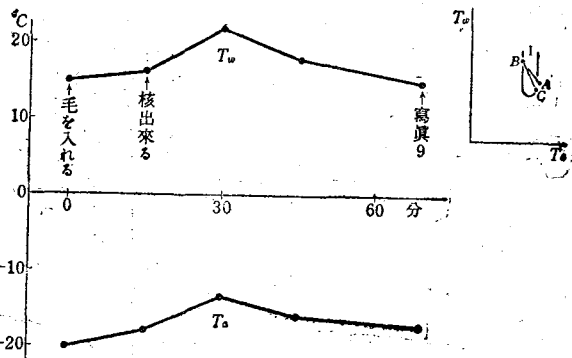
第 10 圖



第 11 圖



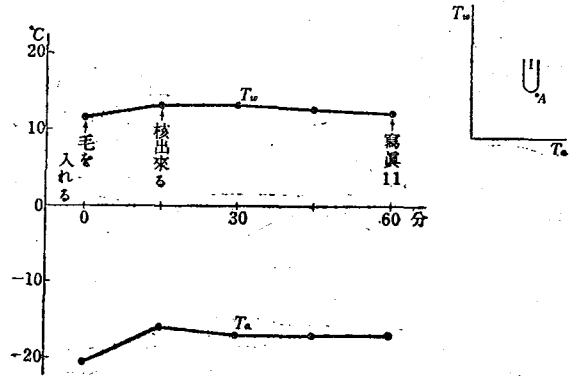
第 12 圖



及び水温を下げて、C 點の條件にしたものである。天然の雪でも寫眞 No. 42 に示す如く、樹枝状の先端がこのやうに擴がり始めたものも時々觀測される。寫眞 No. 42 の天然雪は一寸見ると普通の樹枝のやうに見えるがよく見ると上述のやうな細い點まで讀みとることが出来る。

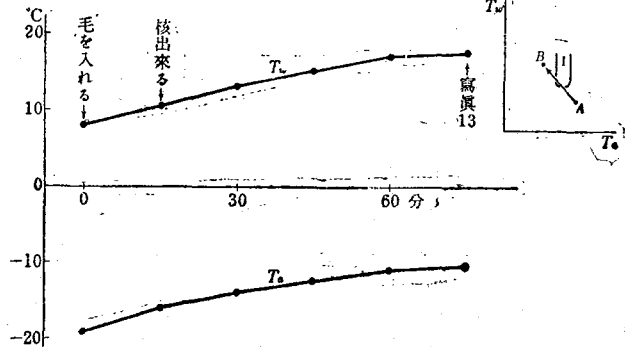
f) 寫眞 No. 43 及び寫眞 No. 44 寫眞 No. 43 は樹枝と角板との境の附近に條件を一定にして放置して出來た結晶を示す。上述のやうに、さういふ限界のところでは、水蒸氣の供給を徐々に増してゆることが樹枝状發達に有利なのである。それは結晶の成長と共に結晶の單位表面に供給される水蒸氣の量は減るからであると説明される。それで今のやうな條件の下では即ち第 13 圖の T_a - T_w 圖中 A 點に止めておくると結晶が少し大きくなると、先端が角板になり易いのである。寫眞 No. 43 の人工雪と全く同じ形の天然雪の一例を寫眞 No. 44 に示す。

第 13 圖



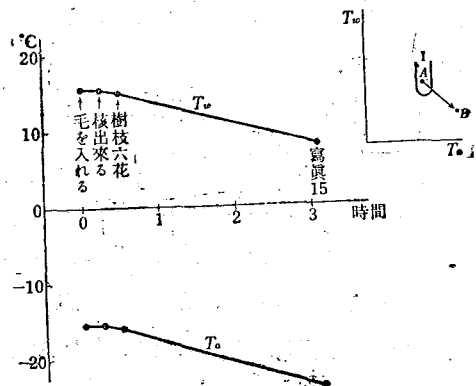
g) 寫眞 No. 45 及び寫眞 No. 46 寫眞 No. 41 の場合と逆に、範圍 I の條件から順次に T_a を上げてゆくと、前述の如くに、 T_a が -14°C 位から枝の先端が廣がりはじめる。そして更に T_a を高くすると、それが厚を味持ちはじめる。寫眞 No. 45 は第 14 圖の溫度經過圖で分るやうに、そのやうな經過で出來た結晶である。寫眞 No. 46 の天然雪の枝はこれと同じ形を示してゐる。

第 14 圖



h) 寫眞 No. 47 及び寫眞 No. 48 氣温が低くなつて、 -20°C 或はそれ以下になると結晶は立體角板となる。即ち第 5 圖に於て \diamond 印で示してあるのがそれである。寫眞 No. 47 は樹枝状六花の枝に、この立體角板がついたものである。第 15 圖の T_a - T_w 圖に於て範圍 I の A 點で樹枝状六花を作り、その後 B 點即ち立體角板の條件にする

第 15 圖

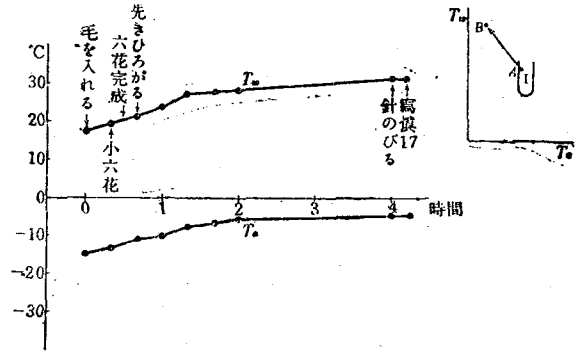


とこのやうな雪になる。寫眞 No. 48 はこれと全く同じ性質の天然雪であつて、かういふ雪が降るときは上層に樹枝状發達、即ち $T_a - T_s$

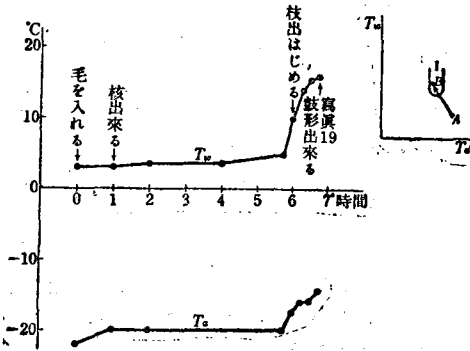
圖の範圍 I の状態があり、地表近い所に、気温の反轉で寒い層があつたものと思はれる。

i) 寫眞 No. 49 及び寫眞 No. 50 寫眞 No. 49 は樹枝状六花の面から直角に針状結晶を伸び出させた結晶で、寫眞はその側面から撮つたものである。生成過程は第 16 圖に示す如くである。即ち初

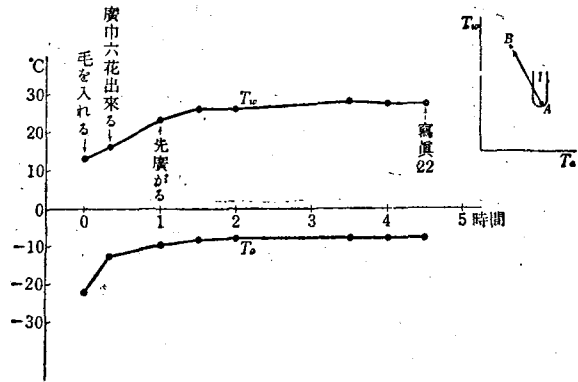
第 16 圖



第 17 圖



第 18 圖

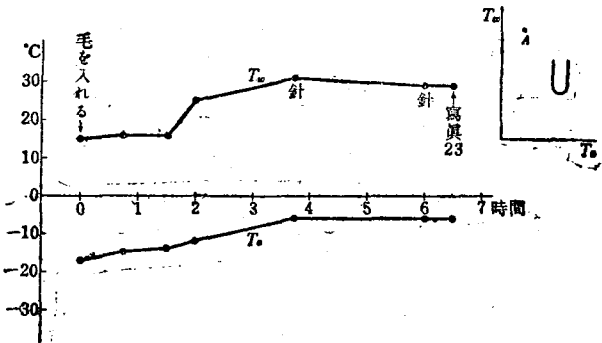


めに樹枝状結晶を作り、その後針の出来る条件にしてやると、かういふ結晶が出来る筈であり、又事實その通りに出来るのである。かういふ結晶は非常に珍しいやうに見えるが、天然にも降るのであつて、その一例を寫眞 No. 50

に示すこの場合は地表近いところに水蒸氣の充分多い温い層があつたものと解釋される。

j) 寫眞 No. 51 及び寫眞 No. 52 これは鼓型の結晶を作つた例である。鼓型を作るには、初め角柱を作つて置いて、それが相當に發達したところで範圍 I 内へ持つてゆけば、その兩底面が

第 19 圖



平面状に伸び出して鼓型になる。但し角柱の成長速度は小さいので、第 17 圖に示した如く、十分長い時間角柱の條件に保つておく必要がある。寫眞に天然雪の鼓を比較のために示す。

k) 寫眞 No. 54 寫眞 No. 54 は樹枝狀六花の枝の端に、六花の面と直角に屏風型の結晶を發達させたものである。生成經過は第 18 圖に示す如くであつて T_a-T_w 圖中 A 點から B 點へ持つてゆけば、このやうな結晶になる。この時、もし B が少し左上方にずれば、寫眞 No. 49 の針になるのである。この寫眞は斜に撮つたものであるが、普通に上方から透過光線に撮ると、樹枝狀六花の縁が黒くふちどられたやうに寫るのである。さういふ結晶は天然にも澤山見られるので、その黒いふちどりは雪粒がついたために生ずることもあるが、この場合のやうに屏風型發達が原因であることもある。

1) 寫眞 No. 55 寫眞 No. 55 は完全な長い針狀結晶の寫眞である。その生成過程は第 19 圖に示す如くで、要するに針の出来る條件に長く放置すればかういふ結晶になるのである。唯針の出来る條件は氣温が高く、水蒸氣も餘りに多いので、結晶を吊す兎毛全體に霜が出来易い。それで孤立した核の出来る條件で孤立した核を作り、それからの針狀結晶の出来る條件にしてやるのである。

§ 7 總 括

上述の如く低温室内で、色々な條件の下に、各種の雪の結晶を作り約 500 回の實驗の結果を綜合して、結晶形とその生成條件との間の關係を調べた。その結果結晶形は第一近似としては、氣温 T_a と水蒸氣供給度の目安となる水溫 T_w とで決定されるものであることが分り、各種結晶の生成範圍を T_a-T_w 圖中で決めることが出来た。このやうに結晶形を支配する要素が判明したので任意の雪の結晶を作ることが出来るやうになつた。そしてそのやうにして作つた人工雪とそれに相應する天然雪を比較することによつて、天然雪の上空に於ける生成過程を推測することが出来ることになつた。

本研究は北海道帝國大學低温研究室に於て中谷教授の指導の下に文部省科學研究費によつて行つたものである。