



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	飽和水蒸気中における吸湿性粒子の成長速度の測定
Author(s)	木下, 誠一; KINOSITA, Seiiti
Citation	低温科学. 物理篇, 12, 113-120
Issue Date	1954-03-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17880
Type	departmental bulletin paper
File Information	12_p113-120.pdf



飽和水蒸気中における吸湿性粒子 の成長速度の測定*

木 下 誠 一

(低温科学研究所 応用物理学部門)

(昭和 29 年 3 月 受理)

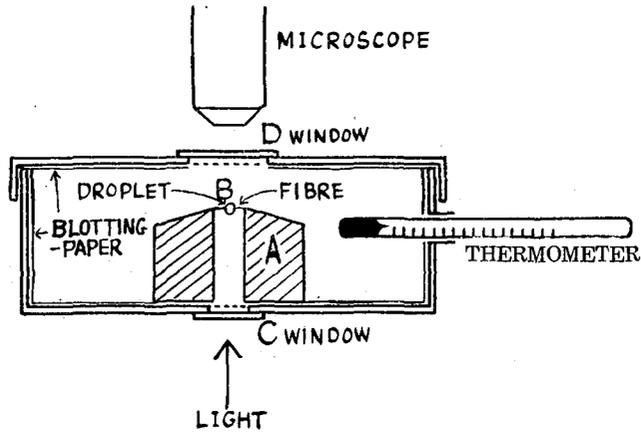
I. は し が き

海洋を起源とする吸湿性粒子が、すべての大気凝結核の構成要素であるという考えには、疑問がある¹⁾²⁾としても、この粒子が凝結核として active なことは疑いのないことである³⁾。又最近質量が 10^{-10} gr 以上の巨大な海鹽粒子が、降雨をひきおこすのに大きな役割を果すことが、F. H. Ludlam⁴⁾ や A. H. Woodcock によつて提唱された。更に、荻原、小林⁵⁾ は人工降雨の際の種まきに、吸湿性粒子を使うと、効果があることを理論的に取扱つている。それ故、このような吸湿性粒子が、乾燥した固体の状態から急に水蒸気で飽和された空間におかれる時、どのような経過で凝結が進行するか、又凝結速度即ち水滴の成長速度がどの位であるかを、実験的に確かめておくことは、降雨機構や、霧発生機構の研究の上に、大切なことである。一方、この水滴の成長速度は、気温と核物質の種類とによるものであるから、逆に成長速度の測定から吸湿性核が何であるかを推定することも可能になると考えられる。筆者は湿度 100% の小さな箱を作り、この箱の中に乾燥した既知の吸湿性粒子を急に入れて、その粒子を核として、水蒸気が凝結し、水滴が成長して行く過程を、顕微鏡寫眞によつて観測した。以下はその概要である。

II. 測定方法

底面が一辺の長さ 4 cm の正方形で、高さが 1 cm のブリキ箱を作り、その中央部に第 1 圖 A のように、まんやかに径 1.5 mm の穴のあいている眞鍮の圓柱(斜線部)を取付ける。この穴の上端 B に、試料の粒子を懸垂する細い纖維をはる。この纖維はメタクリル樹脂の纖維で神山、森口⁶⁾ が用いたのと同じである。この樹脂をベンゾールパウオキサイドに溶かし、これをピンセットの先端につけて、急に引張ると、直径が $1\sim 2\mu$ の細い纖維が得られる。この纖維の上に水滴を成長させるのであるが、こうすると、水滴は殆んど自由大気中に懸垂しているものと考えてよい。箱の底面の中央 C と、蓋の中央 D には、径 8 mm の圓い穴をあけて、セル

* 北海道大學低温科学研究所業績 第 250 號



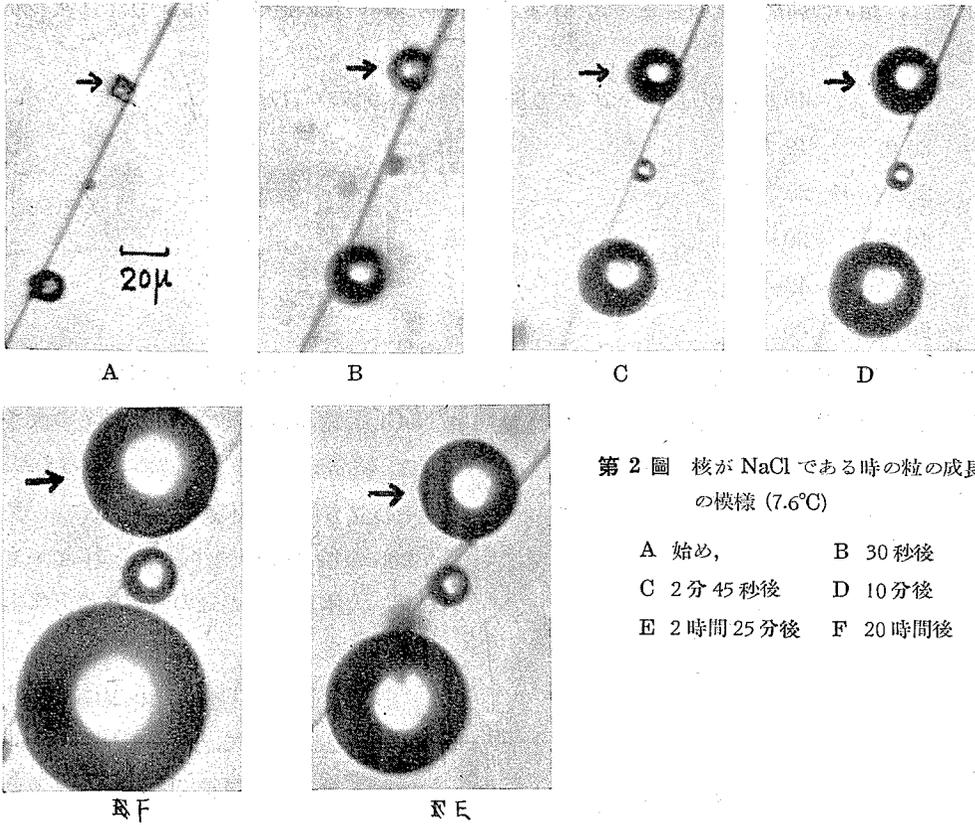
第 1 圖 實 驗 装 置

ロイドで蔽い、小窓をつくる。従つて、B 部分にはつた繊維を外から顕微鏡で観測出来るようになつてゐる。側面の一箇所に、径 3 mm の小さな穴をあけて、ラヂオゾンデ用の小型寒暖計をつつこんで、箱内の気温を測る。窓以外の箱の内面は、全部濾紙で蔽う。濾紙に水をふくませ、箱を密閉すると箱の内部は水蒸気で飽和される。

實驗に際しては、まずブリキ箱の蓋をとり、吸湿性物質の水溶液をつくり、それを霧吹きで吹いて細かい液滴にし、B 部にはつた細い繊維に受けとめる。つぎに、繊維に懸垂した液滴を結晶化するまで乾燥させる。液滴が蒸發し、完全に結晶化してから、箱の内面の濾紙に急に水を注ぎ、急いで蓋をする（豫め蓋の内側の濾紙には水をふくませておく）。箱の内部は直ちに湿度 100% になり、粒子を核として水蒸気が凝結し、水滴の成長が始まる。その過程を接眼レンズ 8 倍、對物レンズ 10 倍で、顕微鏡寫眞にとり、實物の 100 倍に引伸した印畫から、その時々刻々の滴の直径を測つて、成長曲線を得ることが出来る。印畫上では、0.1 mm 程度の讀取りの誤差があるので、滴の直径にも 1μ 程度の誤差が入つて来る。

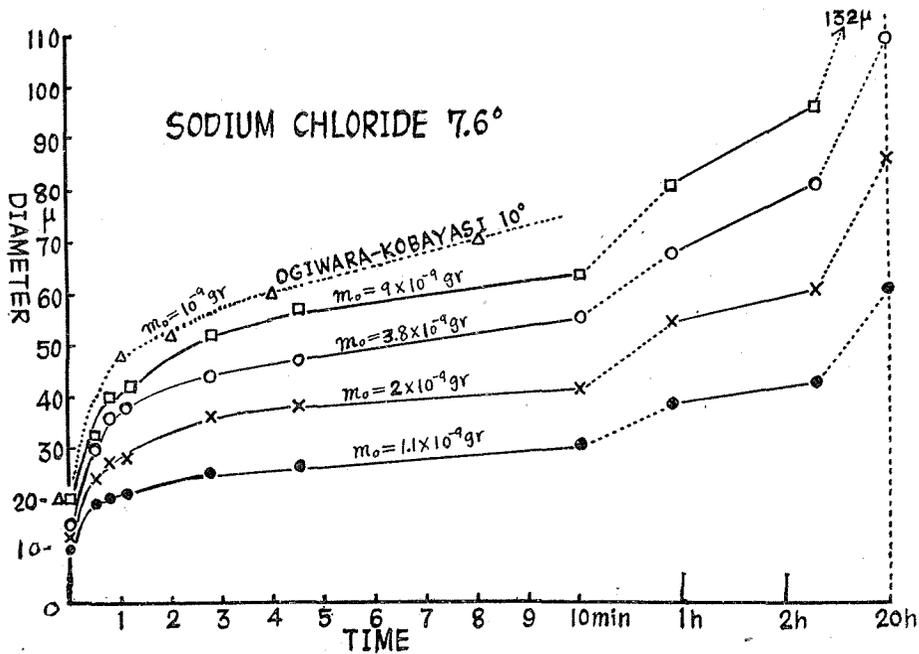
III. 實 驗 結 果

吸湿性物質として、まず純粋な NaCl について調べてみた。蒸溜水 250 cc に、2.5 gr の NaCl をとかして、この液を霧吹きで、B 部分の細い繊維に吹きつけた。繊維の上には、直径が $5\sim 50\mu$ の液滴が數個同時に捕えられた。これに電燈を近づけて、滴を乾燥させたのであるが、第 2 圖 A は、繊維に懸垂した乾燥状態にある NaCl の結晶を示す。その中の矢印で示したはつきり立方体と認められる結晶の稜の長さは、 8μ である。従つて、その質量は 1.1×10^{-9} gr である。この粒とその近くに懸垂している他の二つの粒について、凝結開始後の成長の過程の寫眞が、引續いて第 2 圖に示されている。B は 30 秒後、C は 2 分 45 秒後、D は 10 分後、E は 2 時間 25 分後、F は 20 時間後の状態である。



第2圖 核が NaCl である時の粒の成長の模様 (7.6°C)

- A 始め, B 30秒後
- C 2分45秒後 D 10分後
- E 2時間25分後 F 20時間後



第3圖 核が NaCl である時の成長曲線 (7.6°C) (点線は荻原, 小林の理論)

例えば、始めの結晶の稜の長さ 8μ 、質量 1.1×10^{-9} gr の粒の直径の成長の様子は次の通りである。

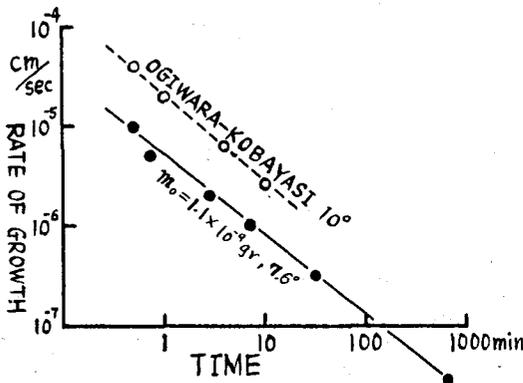
始め	10μ (稜の長さ 8μ の立方体と同体積の球の直径)
30 秒	19
2分 45 秒	25
10 分	30
145 分	42
20 時間	60

この時の箱の内部の気温は 7.6°C で、この実験で得られた成長曲線が、四つの粒について、第3 圖のグラフの實線で示されている。 m_0 は始めの NaCl の結晶の質量である。始めの大きさは、結晶形のはつきり認められるものは、

その立方体と同体積の球の直径に、又結晶形の餘りはつきり認められないものも、大体同体積の球の直径に直して表わしてある。

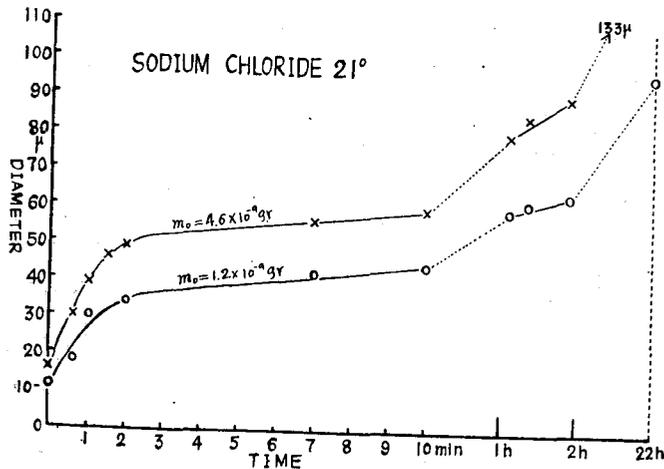
核の質量が 1.1×10^{-9} gr の粒 (第2 圖の矢印) について、特に成長速度—時間曲線を第4 圖の實線で示す。成長速度は凝結初期に非常に速く、時間がたつにつれ、急激に遅くなつて行くのが解る。

箱の内部の気温が 21°C の時のグラフ

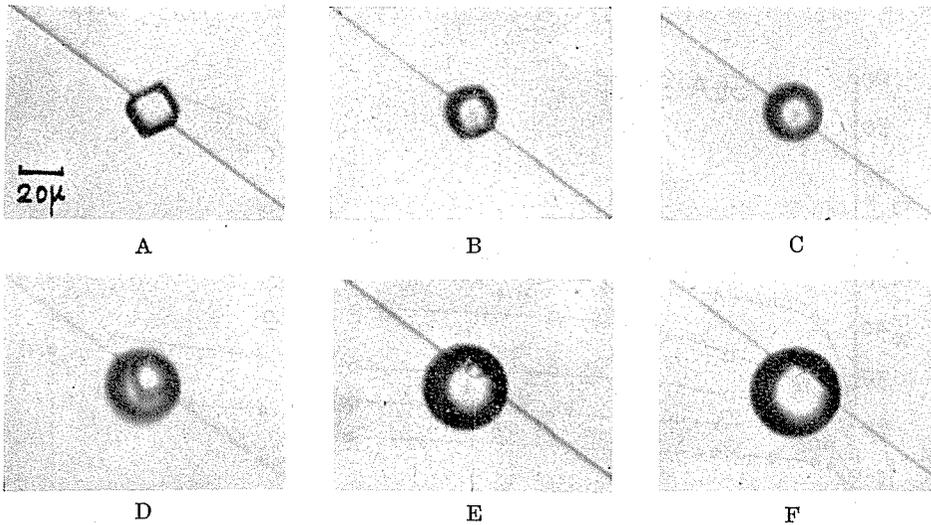


第4 圖 核が NaCl である時の成長速度曲線 (點線は荻原, 小林の理論)

が、第5 圖に示されている。第3 圖の 7.6°C に比べて、かなり速く成長することが解る。



第5 圖 核が NaCl である時の成長曲線 (21°C)



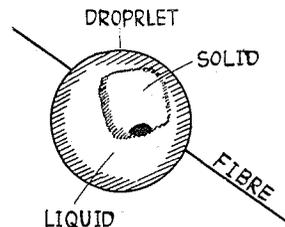
第 6 圖 核が NaCl である時の凝結初期の様子

つぎに、凝結初期に結晶粒子がどのような過程で、水滴に變つて行くかを、大きな粒子（稜の長さ 15μ の立方体の結晶）について観測した。第 6 圖の A, B, C, D, E, F がそれである。始め A のように完全な立方体であつたものが、凝結が始まると、まず角がとれて圓くなり (B), 次第に大きくなって行くが、第 7 圖のスケッチのように内部に明らかに固体の部分が残つていて (D, E), それ次第に小さくなり、遂に消えて完全な液体になる (F) のが解る。従つて、始めのうちには、滴の中に固体部分と液体部分が共存しているわけである。この實驗では、箱の内部の温度は 9°C で、固体部分が消え F の状態になつたのは、凝結開始後 1 分 30 秒であつた。

固体部分が完全に消えてしまうまで、それを取りまく液体部分が NaCl の飽和溶液であるかどうかを調べてみる。簡単な計算によつて、NaCl の結晶がとけて飽和溶液 (26%) になつた時

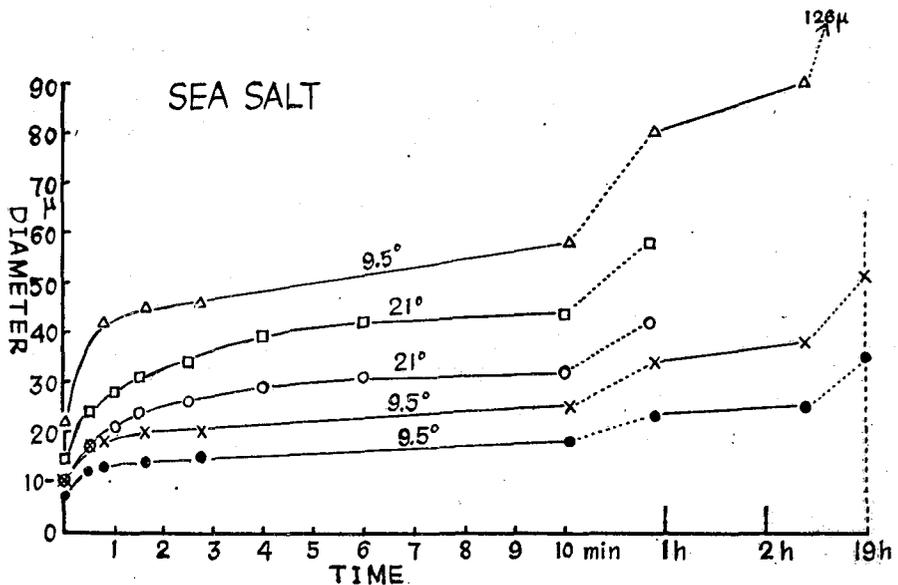
の液滴の直径は、始めの結晶の稜の長さの 2.1 倍である。ところが、實驗では、始めの結晶の稜の長さ 15μ に對して、固体部分が消えた瞬間の滴 (第 6 圖 F) の直径は 40μ で、稜の長さの約 2.7 倍である。従つて、液体部分は NaCl の飽和溶液ではない。一様な濃厚の液とすると、18% の濃度である。このことから、固体部分を取りまく液は、滴の中心の固体部分のごく近くの濃度が飽和であるけれども、表面に近いほど薄いと考えられる。當然のことであるが、表面には常に水蒸気が凝結しており、やがてゆつくりと滴の中心に向つて

擴散してゆくと考えられるので、このような現象がみられるのである (この時の擴散係数は $1.17\text{ cm}^2/\text{day}$ で、空氣中での水蒸気の擴散係數 $0.22\text{ cm}^2/\text{sec}$ に比べて、非常に小さい)。このことは、次節に述べる成長速度に関する理論値と實驗値との違いからも説明される。



第 7 圖

凝結初期の固体部分と液体部分が共存している場合のスケッチ



第 8 圖 核が海鹽である時の成長曲線

つぎに、海水を霧吹きで吹いてつくつた海鹽核について同じように実験をした。箱の内部の温度が 9.5°C と 21°C のときの例が、第 8 圖 に示されている。海鹽と NaCl とで、特に大きな違いがないようであつた。併し、今後尙検討が必要であらう。

IV. 理論式との比較

荻原、小林⁶⁾ は吸湿性物質の飽和水溶液の滴から出發して、飽和水蒸氣中における水滴の成長速度を與える式を導いている。更にその式を使つて、氣温が 10°C のときに、始めの直径が 20μ の NaCl の飽和溶液 (26%) の滴について、成長曲線を求めている。このときの滴の中の NaCl の質量は、丁度 10^{-9}gr なので、筆者の実験と比較するため、第 3 圖にその成長曲線を點線で示してある。又第 4 圖にその成長速度曲線を點線で示してある。理論値の方が實驗値よりも、かなり成長が早いのは次の原因によると思われる。

(1) 理論では成長過程にある滴内において、濃度勾配がなく、常に一樣な濃度として計算している。實際には、前節で述べたように、表面濃度がかなり低く、従つて表面に接する部分の水蒸氣密度が、滴全体を一樣な濃度とした場合よりも大きい。それ故、成長速度も理論値よりは小さい筈である。

(2) 理論では始め飽和溶液の滴から出發しているので、始め結晶から出發した實驗に比べて、滴内部の濃度勾配は、より小さいと考えられる。従つて、(1) の効果は實驗程は大きくない。ここで、理論を、實驗の場合の始めの粒の直径が、 20μ のものに對應させると、割合よく合う。

(3) 實驗の場合の技術上の問題として、箱内を濃度 100% にすることは、瞬間的に素早く

行うことが難かしく、数秒の時間がかかること、及び箱内が完全に 100% であるか、又箱内の気温が一樣であるかの吟味が難かしいこと等の不満足な点があるため、いくらか成長が遅くなることが考えられる。

終りに、この研究に際しいろいろと御指導をいただいた吉田順五教授、黒岩大助助教授に又メタクリル樹脂の繊維をわけて下さった気象研究所の神山恵三、森口實の兩氏に厚く感謝の意を表する次第である。

尙この研究は文部省科学研究費によつて行つたものである。

文 献

- 1) Daisuke Kuroiwa 1953 Electron-Microscope Study of Atmospheric Condensation Nuclei. Studies on Fogs, p. 349.
- 2) 荻原晰二・大喜多敏一 1952 電子顕微鏡による雲及び霧核の研究. 気象集誌, 30, No. 2, p. 132.
- 3) Köhler, H., 1921 Über die Tröpfchengrößen der Wolken und die Kondensation. Met. Zeit., 38, p. 359.
- 4) Ludlam, F. H., 1951 The Production of Showers by the Coalescence of Cloud Droplets. Quart. J. Roy. Met. Soc., 77, p. 402.
- 5) Woodcock, A. H. 1952 Atmospheric Salt Particles and Raindrops. J. Met., 9, No. 3, p. 200.
- 6) 荻原晰二・小林禎作 1954 積雲中における吸湿性粒子の生長とその人工降雨への應用, 本誌, p. 95.
- 7) 神山恵三・森口實 1952 細い繊維による霧粒の捕そくと霧粒の赤外線吸収測定について. 防霧林に關する研究, 第2輯, p. 43.

Résumé

It is well-known that a hygroscopic particle acts as a condensation nucleus in moist air. Recently several investigators suggested that gross sea salt droplets could be used in seeding for artificial precipitation. The present author measured experimentally the rate of growth of a water droplet with a hygroscopic nucleus in moist air.

By means of spraying the solution of a known hygroscopic substance several droplets were suspended on a fine resin-fibre stretched horizontally in a small chamber lined with dry blotting-paper. (Fig. 1) After they had been dried up and changed to small crystals, the blotting-paper was quickly moistened with pure water in order to make the air in the chamber saturated with water vapor. At this instant water vapor began to condense on the crystals and they were surrounded by a film of solution. The diameters of the droplets made in this manner around the crystals increased rapidly at the beginning although their growing rates were gradually decreased thereafter.

The rates of growth of droplets of NaCl-solution are shown in Fig. 3 and Fig. 4 for the temperature of 7.6°C and in Fig. 5 for the temperature of 21°C. Fig. 8 shows the growing rate of droplets which grew on sea-salt crystals instead of on pure NaCl crystals for temperatures of 9.5°C and 21°C.

Photographs shown in Fig. 2. illustrates the growing of droplets on NaCl crystals at the temperature of 7.6°C. The mass of the marked crystal is 1.1×10^{-9} gr.

In order to see in what manner the crystal was dissolved away into the solution surrounding it, condensation of water was caused to take place on a comparatively large

crystal of edge-length 15μ . Fig. 6 shows several stages of growth of droplet for this case.

The dotted lines in Figs. 3 and 4 are theoretical curves of growing rate of a droplet at the temperature of 10°C initiated on a crystal of mass 10^{-9} gr obtained by S. Ogiwara and T. Kobayasi under the assumption that the concentration of solution surrounding the crystal is uniform from the crystal's surface up to the droplet's surface. The theoretical values of the growing rate are comparatively larger than the experimental ones, which shows that the concentration of solution is not uniform but is much smaller at the droplet's surface than that assumed in the above mentioned theory.