東京の地上附近における自然大気中の氷晶核の観測並に 富士山頂における沃化銀粒子発煙実験の影響について

根本 茂・高橋喜彦・相馬清二・工藤知子

On the Observation of the Number of Ice Crystal Nuclei in the Air Near the Ground at Tokyo and the Effect of the Cloud Seeding with Silver Iodide at the Top of Mt. Fuji

By S. Nemoto, Y. Takahashi, K. Soma and T. Kudo

Meteorological Research Institute, Tokyo

(Manuscript received 20 March 1957)

Abstract

As the experiment of cloud seeding with silver iodide has been made by the Chubu Electric Power Company at the top of Mt. Fuji from November 1955, in concert with this the observation of the number of ice crystal nuclei by the cold box (its schematic diagram is shown in Fig. 2) was made at Nakano Branch of Meteorological Research Institute (Tokyo) in order to detect the increase of the number of ice crystal nuclei in the air near the ground at Tokyo due to the cloud seeding and to make a datum to determine whether the cloud seeding might be effective or not to the rainfall observed at Tokyo.

It is necessary to know the number of ice crystal nuclei in the air near the ground and its variation under various weather conditions on unseeded days for the detection of the increase of its number, therefore the observation has been continued over about a month (in actual 20 days) from February to March 1956. (Observations were made for two 5 minutes at each observation time of 11 h, 14 h and 16 h 30 m every day. But on the seeded days the number of observation has been especially increased).

However, since the number of ice crystal nuclei in the atmosphere is few and the detection by the method of small sampling as usually used can not be used for this observation, the continuously sucking air method was adopted. (Distributions of temperature and liquid water content in the cold box for the actual observation are shown in Figs. 3, 4, and 6, respectively).

The results obtained from these observations are as follows: For the number of ice crystal nuclei in the air near the ground at Tokyo (with the exception of seeded days),

- (i) Its number increased with wind velocity as shown in Fig. 7 and
- (ii) Their maximum and mean values were 0.8 and about 0.25, respectively, per litre of air as shown in Fig. 10 and
- (iii) Its number did not depend upon wind direction and weather conditions throughout this observation. (that is, it could not be found for its number to decrease on rainy days). (cf. Figs. 8, 9 and 7)

For the effect of the cloud seeding with silver iodide at the top of Mt. Fuji. (throughout this observation only 4 seeding experiments were made on Mar. 2, 3, 9 and 16)

- (iv) On Mar. 2 and 16, on which silver iodide smoke might be considered to direct towards the district of Tokyo from its path estimated from the direction of cloud motion and the weather map, the increase of the number of ice crystal nuclei was obviously found as shown in Figs. 11-(i), and 14-(i), (cf. Figs. 11-(iii), 14-(ii) and - (iii). At about 12 h on Mar. 2, 1956, the estimated trajectory of the smoke has directed to ESE as shown in Fig. 11-(ii), but the wind direction has changed from NNW to WSW since about 14 h 30 m when the front would be supposed to pass

through the Kanto district, and this will be also confirmed from Figs. 11-(i), -(iii) and -(iv).) and on other days, that is, Mar. 3 and 9 no increase could be found because of the deviation of the path of the smoke from the district of Tokyo as shown in Figs. 12-(ii), -(iii), 13-(ii), and -(iii),

- (v) Their maximum values amounted to about 3 or 4 times as large as that of unseeded usual days as shown in Figs. 11-(i) and 14-(i).

Fig. 1. The observation equipment.

- ① Pipe used for sucking outdoor air.
- ② Source of water vapor.
- ③ Pipe for supplying water vapor.
- ④ Cold box.

Fig. 2. Schematic diagram of the observation equipment.

まえがき

1955 年の 11 月頃より中部電力会社が富士山頂において沃化銀粒子の Cloud Seeding 実験を行つたので、この Seeding のために東京の地上附近で氷晶核がどの程度増加するかを検出し、東京附近に降雨があつた場合、それが Seeding の影響によるものかどうかの確定の一つの資料とするために、気象研究所中野分室において、Cold box を用いて氷晶核の観測を行つた。

Seeding による氷晶核の増加を検出するためには、Seeding の行われない日の地上附近の自然大気中の氷晶核の数、並に気象条件によるその変化の模様を知る必要があるので、今年 (1956 年) の 2 月から 3 月にかけて約 1 カ月間にわたつて、時間を決めて大体毎日観測を行つた。

しかし、自然大気中の氷晶核の数は非常に少ないので、従来行つて来たような Small sampling の方法では検出が困難であるので、この観測では、空気を連続的に Cold box の中へ引き入れながら観測する方法をとつた。

従来、氷晶核の観測を行つた例としては、Schaefer (1948~1950) が Washington 山において Cold box を用いて観測しているが、この場合は数を 1 つ 1 つかぞえたのではなく、4 段階 (1 litre 中に、約 1000 個、約 1 個、約 0.1 個、な

し) にわけて大体の数を求めているに過ぎない。又 Expansion cloud chamber によつて Threshold temperature を測定する目的で行われたのに Cwilong, Palmer (1949), Fournier d'Albe (1948, 1949) の実験があり、我国においては、人工降雨実験に際して三宅泰雄 (1952) が飛行機上にて、膜に吹きつけてとらえ、これを冷却して氷晶をつくる方法を用いたが結果ははつきりしない。極く最近では、Smith, Kassander (1956), 或は佐野悞 (1956) が Cold box を用いて氷晶の初めてあらわれる温度を測定している。

しかし、以上の例の中には、自然大気中の非常にわずかな氷晶核を検出するために我々が行つたような空気を連続的に Cold

box の中へ引き入れながら 1 個 1 個 氷晶の数をかぞえる方法は見当らない。

1. 観測装置

観測には Brine cooler によつて間接に冷却された Cold box を用い、この中へ屋外の空気を連続的に引き入れて冷却し、その空気中に含まれている氷晶核から氷晶をつくり、その数をかぞえた。観測装置の一部は Fig. 1 に示してあるが、その概略は Fig. 2 に示す如く、Cold box の上部(入口)に直径約 6 cm、全長約 6 m の円筒を

て、Cold box の中へ入つて行く空気の湿度並に温度を測定するようにし、観測は Cold box の側面に互に直角にあけた 2 つの窓の一方より光を当て他方の窓から行う。尚、Cold box で空気が通過しながら冷却される部分は、約 6.5 cm × 3.5 cm の矩形の断面を持つ長さ約 50 cm の角筒で、この角筒の外周を冷却された塩化カルシウム Brine が循環して筒の中を通過する空気を冷すようになっているが、更に角筒の内側には霜の着くのを出来るだけ少くし、且つ視野の背景を暗くして観測し易いようにするために 6 cm × 3 cm の断面を

Fig. 3. Temperature distribution in the central plane of the cold box vertical to the observation window. Amount of air sucked in: about 6.5 l/min. The ratio of vertical scale to horizontal is 1:2.

取り付け、その端は外気を吸い込むために窓より屋外に出し(地上約 8 m の高さに固定)、一方下部(出口)には Gear pump と Gas meter をつけてこれによつて窓外より Cold box を通して外気を引きながら図の如く円筒の側面から水蒸気の補給を行うようにしてある。Cold box 入口近くには、電気湿度計と Thermistor 温度計を取り付け

Fig. 4. Temperature distribution in the central plane of the cold box parallel to the observation window. Amount of air sucked in: about 5.5 l/min. The ratio of vertical scale to horizontal is 1:2.

持つ長さ約 42 cm の黒色のベルベット角筒が挿入してある。

この観測では、外の暖い空気を Cold box の中へ連続的に引き入れて観測するので、Cold box の中を空気が通過する時にどれ位温度が下るかが問題であるので先ず Cold box の中の空気の温度分布を調べてみた。

(i) Cold box 内の温度分布

温度分布は夫々 Fig. 3 及び Fig. 4 に示す如く角筒の中心部で等温線は下向きに凸になっている。而して下の方の一部分では温度が相対的に周囲より高くなっているが、これは角筒と互に直角に光源窓と観測窓があけてあつて、この部分は Brine が通らないため附近では温度が高くなっているのである。又光源窓、観測窓はいずれも 2 つの部屋にわかれており、外側の部屋には乾燥剤を入れ、内側の部屋 (Cold box の中心に近い方の部屋) には夫々角筒の側壁に向つて露出しているガラス面に露がつくのを防ぐために Heater が入れているが、この Heater の影響は殆んど認められなかった。しかし、このような温度分布は外気の温度並に空気を引く速さによつて変つてくる。Fig. 3 は $12.3 \sim 12.8^\circ\text{C}$ の空気を 6.5 l/min. の割合で、即ち約 6.0 cm/sec の平均速度で引いた場合の角筒の中心における観測窓に直角な面内、Fig. 4 は $12.0 \sim 13.6^\circ\text{C}$ の空気を 5.5 l/min. 即ち約 5.1 cm/sec の平均速度で引いた場合の角筒の中心における光源窓に直角な (従つて観測窓に平行) 面内における温度分布の実測例である。

(ii) 空気を引く速さの違いによる温度分布の変化

前述の如く、Cold box 内の温度分布は空気の引き方によつて変つてくることは明らかであるので、これがどのように変化するかを調べてみた。

$11.0 \sim 12.2^\circ\text{C}$ の空気を各々引く速さを変えて連続的に引き入れながら温度分布を測定した結果を

Fig. 5. Variation of temperature distribution in the cold box with velocity of air stream.

Fig. 5 に示した。

図の縦軸はベルベット角筒の中心における温度を表わし、横軸はベルベット角筒上端より測つた距離を表わしている。この図において、 4.2 l/min. の割合で引いた場合の結果は $26 \sim 31 \text{ cm}$ の距離のところで温度が低くなっているが、これは実験中に温度計が中心よりはずれて壁に近づいたためで、実際には点線で示したような分布をしていると考えられる。尚、図中 () 内に示してある値は、夫々その場合におけるベルベット角筒内の空気の平均の流速を示し、角筒の断面積を $6 \text{ cm} \times 3 \text{ cm} = 18 \text{ cm}^2$ として、毎分の空気の吸引量 (Gas meter によつて測定) の実測値より出したものである。

(iii) 水蒸気量

次に氷晶が成長するためには水蒸気の量が十分あることが必要であるが、水蒸気の補給は Fig. 2 に示される如く、外気を吸引する円筒の側面から行い、その際、外気中の水蒸気と補給された水蒸気と混合してどの程度の水蒸気が Cold box の中に入つて行くかを知るために、Cold box 上部入口附近に温度計と湿度計とを置いて相対湿度を測定した。

今、実験資料の内から例をとつて、Cold box 内に常に 100% になつているとして、その時の等含水量線を書いてみると、3月23日の例については、Fig. 6 の如くになつていいる。しかし、これは計算によつて推定した結果であるから実際の分布は多少これと異つていいると考えられる。

以上述べたような温度分布 (Fig. 3 或は Fig. 4) と含水量のもとでは、空気中に -5°C 位から作用し始める氷晶核があれば、作用し始めてから最短約 $2 \sim 3$ 秒経つて観測窓の視野内を通過することになり、Houghton, Reynolds 等の結果を用いて氷晶の大体の大きさを見積つてみると、 15μ 程度になるものと推定されるから充分観測出来る筈である。

2. 観 測

観測は 1956 年 2 月 29 日より 3 月 20 日に至る 20 日間、発煙した日は別として、1 日 3 回 (大体において、11 h, 14 h, 16 h 30 m 附近で夫々 5 分間づつ 2 回計 10 分間) Cold box 内の温度分布を大体、Figs. 3, 4 の状態に保つて行つた。この期間中富士山頂より発煙した日は 4 日あつたが、これらの日には特に観測の回数をふやした。

又、氷晶核の数の気象条件による変化を調べるためには、観測の行われている時の気象状態を知っておく必要があるので、同時に、風向、風速並に天気状態の観測も併せて行つた。

全観測を通じて、Cold box 内の温度（観測窓の直上）は大体 -10°C 前後であつたので、これから述べる結果は -10°C 附近の結果であつて、これより温度が低い場合についてはわからない。

3. 観測結果

観測結果を述べるに当つては問題が 2 つあるので、夫々にわけて整理することにする。即ち、先ず第 1 の問題は、 -10°C よりも高い温度で氷晶になる核が自然大気中（地上附近）にどれ位含まれていて、その数が気象条件によつてどのように変化するかということであり、第 2 の問題は富士山頂において発煙された沃化銀粒子のために地上附近（中野分室）における氷晶核の数がどの程度増加するかということである。従つて、順序として初めに地上附近における自然の氷晶核について述べる。

(i) 地面附近の大気中の氷晶核の数と風速との関係

（観測結果を互に比較するのに便利のように、観測された氷晶の数は全部空気 1 litre 当りの数になおしておいた）。

1956 年 2 月 29 日から 3 月 30 日に至る観測結果（但し、Seeding を行つた日は除く）を、横軸に風速をとり、縦軸に空気 1 litre 当りの氷晶核の数をとつて図に書いてみると Fig. 7 のようになつてゐる。即ち、風速が大きくなると氷晶核の数が増加していることがわかる。この増加の原因は、風が強くなり、乱れの強さが大きくなるに従つて地面附近にあつた氷晶核がより多く上方に運ばれるためであると考えられる。従つて、この結果からすると氷晶核の Source は地上にあると判断される。

(ii) 地面附近の大気中の氷晶核の数と風向との関係

風向によつて氷晶核の数がどのように変化するかを調べるために、空気 1 litre 当りの氷晶核の数を風向別に整理したものが Fig. 8 である。この図をみると、見掛上北よりの風の時に数が多くなつてゐるように見えるが、一方風向と風速との関係を調べてみると、Fig. 9 の如く北よりの風の時風速も大きくなつてゐるので、Fig. 8 の結果は風向によるよりもむしろ風速による結果として見掛上北よりの風の時に数が多くなつてゐると思へた方がよいと思われる。即ち、風向による氷晶核の数の変化はないと判断される。而して、風向の

変化は Air mass の違いを表わすものと考えたと上述の結果は、中野分室の地上附近においては、氷晶核の数は Air mass に関係しないと考えられる。

Fig. 6. Distribution of liquid water content in the cold box estimated from data observed on March 23, 1956, under the assumption that the relative humidity would be always kept in 100% in the inside of the cold box. Amount of air sucked in: about 6.5 l/min. The ratio of vertical scale to horizontal is 1: 2.

(iii) 天気状態による氷晶核の数の変化

天気状態による氷晶核の数の変化をみるために、Fig. 7 に雨の降つた日の観測結果を●印で示してあるが、これを見ると、今回の観測では雨の降らない日に比較して特に数が少ないということは認められなかつた。

(iv) 昼間における氷晶核の数の時間的变化

2 月 29 日より 3 月 30 日に至る観測結果（但し、Seeding を行つた日は除く）を横軸に時刻をとり、縦軸に空気 1 litre 当りの氷晶核の数をとつて、整理してみると、Fig. 10 の如くになり、この結果からは、ある特定の時刻（例えば、食事

Fig. 7. Relation between number of ice crystal nuclei and wind velocity near the ground observed at Nakano (Tokyo) during from Feb. 29 to Mar. 30, 1956. (with the exception of seeded days).

Fig. 8. Relation between number of ice crystal and wind direction near the ground observed at Nakano. Radial axis indicates number of ice crystal nuclei per litre of air. Feb. 29~Mar. 30, 1956. (with the exception of seeded days).

時)に氷晶核の数が増加するということは認められない。即ちこれは人工的な燃焼成生物中には -10°C よりも高い温度で作用する核がないということの意味するものと想像される。

以上の結果からして、Seedingの行われない日の氷晶核の数、即ち、自然大気中の地上降近の氷晶核の数は、風向には関係せず、風速が大きくなるに従つて数も増加し、この観測期間中における最大値は0.8個/l.で平均して約0.25個/l.であるということがわかった。従つてこれらの結果を基準として、次に第2の問題、即ち、富士山頂において発煙された沃化銀粒子の影響について調べる。

この観測期間中における発煙日は次の第1表に示す如く4日間で、そのうち3月2日、3月16日の例については明らかに氷晶核の数の増加が認められた。以下順を追つて述べることにする。

第1表

発 煙 日	発 煙 時 間
1956 年 3 月 2 日	10 h 30 m—15 h 00 m
" 3 月 3 日	11 h 15 m—13 h 30 m
" 3 月 9 日	9 h 30 m—13 h 30 m
" 3 月 16 日	9 h 00 m—13 h 00 m

3月2日の例 (増加を認める)

この日は、Fig. 11-(i) に示す如く、発煙開始 (10 h 30 m) から1時間経つた 11 h 30 m より 10 分間づつ、17 h 48 m まで殆んど連続的に観測を行つたので、観測結果を時間を追つて説明すると、14 h 頃までは、中野分室における地上風向は北西或は北北西で風速も弱く大体 1 m/sec. 程度であつたのが、14 h 25 m 頃には地上風向が西南西に変わり、風速もやや大きくなり、Drizzle が降つて、西南西方に Virga が認められた。14 h 40 m 頃より小雨がぱらつき (但し、自記雨量計の記録には認められなかつた。0.0 mm)、15 h 00 m 頃雨がやんで南西方向から晴れてきた。これ以後氷晶核の数が増加し始めて、15 h 50 m 頃最大となり、以後次第に減少して発煙終了後約 2 時間半経過した 17 h 30 m 頃通常の数になつた。

次に、氷晶核の数の増加が観測された時刻に果して煙が東京方面へ流れてきていたかどうかをみるために、館野の 11 h 40 m における高層観測の資料をもとにして、上空の気流の場は時間が経つても変わらないとし、且つ煙の鉛直下向きの速度に対して 0.5 m/sec, 1 m/sec の 2 つの場合を仮定して、煙の中心が流れた方向を推定してみると、Fig. 11-(ii) の如く、煙は東南東方向に流れていることになる。従つて、このままの状態であるならば、沃化銀の煙は東京方面へ流れてきていないことになる。しかし、中野分室における地上風の観測によれば、Fig. 11-(i) に示される如く、14 h 00 m 頃までは北西又は北北西であつた風向が 14 h 30 m 頃には西南西に変つている。更に

富士山より東にある数個所の測候所 (船津, 三島, 網代, 横浜, 東京, 熊谷) の 15 h 00 m の雲向の観測をみても、Fig. 11-(iii) に示される如く 1 km あたりの高さでは、南西方向より北東に向う流れが存在することがわかる。これは、9 h 00 m に近畿地方にあつた不連続線をともなつた低圧部が、この時刻に関東地方を通過し、それ以後風向が変つたものと考えられる、即ち、Fig. 11-(iv) に示した空の状態のスケッチからわかる如く、濃い Ns が通過する時にわずかの降雨をもたらし、通過後は南西方向よりずつと晴れたので、確に不連続線

Fig. 9. Relation between wind velocity and wind direction near the ground observed at Nakano. Feb. 29~Mar. 30, 1956. (with the exception of seeded days).

Fig. 10. Diurnal variation of number of ice crystal nuclei near the ground observed at Nakano during about a month from Feb. 29 to Mar. 30, 1956. (with the exception of seeded days). Length of bar in the Fig. indicates the time over which each observation was made.

Fig. 11-(i) Variation with time of number of ice crystal nuclei near the ground observed at Nakana on Mar. 2, 1956.

- ① at this time drizzle was observed.
- ② at this time rain was observed.
- ③ at this time rain ceased.
- ④ the sky began to clear from south-west.

が通過したものと考えられる。従つて、15 h 00 m 頃からは東京方面にも煙が流れてきているものと判断される。

3月3日の例 (増加を認めず)

この日の観測結果は Fig. 12-(i) に示す如く増加が認められなかつた。前述と同様にして気流の様態を調べたのが Fig. 12-(ii) であるが、これを見ると Path は東京に達する前に地上近くで西の方にまがつており、更に、Fig. 12-(iii) に示した各地の 12 h 00 m の地上風向の観測結果からしても東京附近の地上では大体北東及至東風が吹いている。これは又天気図についてみると、東海道から関東地方南岸沿に不連続線が停滞していて、地上近くでは絶えず北東気流が流れ込んできていることがわかつた。従つて、観測の行われた時刻には煙は東京方面へ流れてきていないものと考えられる。

3月9日の例 (増加を認めず)

この場合も、Fig. 13-(i) の観測結果からすると増加が認められない。煙の流れた Path を Fig. 13-(ii) 及び Fig. 13-(iii) から前と同様に推定してみると東南東方向に向つており、一方天気図を調べても、観測時間の途中で風向が急に変化するとは考えられないような気圧配置であつた。従つ

て、この場合にも、煙は東京方面に流れてきていないものと判断される。

3月16日の例 (増加を認める)

この日の観測結果は Fig. 14-(i) に示す如く、増加が認められた。この場合の煙の Path は Fig. 14-(ii) に示す如く富士山頂より北東に向つていると推定され、更に、Fig. 14-(iii) に示した各地の雲向並に地上風向の観測からしても、南西風が吹いていることが確かめられる。その上、天気図並に富士山頂の風向からみても、煙は確かに北東の方向へ流れていることがわかる。従つて、煙は観測の行われた時刻に東京方面へ流れてきているものと判断される。

以上述べた如く、4回の発煙実験のうちで、大体において南西或は西南西の風向のとき、即ち、富士山頂から煙が東京方面に向つて流れてきていると判断される3月2日、16日には確かに氷晶核の数の増加が認められ、夫々の場合の最大値は、Seeding の行われぬ日の最大値の約3倍並に4倍に達している。

4. 検 討

この観測では、他にもまだ考えなければならぬ点も沢山あるが、先ず初めに、既に §2 に述べたような温度分布並に含水量分布のもとで氷晶が

Fig. 11-(ii). Trajectories of smoke estimated from aerological data of Tateno under the assumption that the field of the air stream of upper layer would not change with time. The end of each tranjectory indicates the point where the smoke would be considered to reach the ground level for each assumed falling velocity of 0.5 and 1 m/sec. The time required to reach the ground level for each assumed falling velocity of smoke particles:
about 1 hour for 1 m/sec.
about 2 hours for 0.5 m/sec.

Arrows indicate wind directions at the top of Mt. Fuji at each time shown in ().

どの位の大きさになるかを調べてみた。

(i) 氷晶の大きさ

氷晶の大きさは勿論正確に求めることが出来ないで、ここでは大体の見当をつけるために、非常に大ざっぱではあるが、Houghton (1950) と Reynolds (1952) の結果を用いて見積つてみた。即ち、Houghton は plane dendritic type のものを circular disk と仮定して、その厚さは $0.0011 \text{ cm} = 11 \mu$ で変らず bulk density $= 0.5$ とし、結晶の質量を $1.728 \times 10^{-3} r^2$ (r は disk の半径)

Fig. 11-(iii). Direction of cloud motion and that of wind on the ground level at each weather station for 15 h 00 m on Mar. 2, 1956.

→ indicates direction of cloud motion at the height shown in ().

----→ indicates wind direction on the ground level.

At 12 h 20 m (after a lapse of 50 minutes and 1 hour from the beginning of AgI smoke seeding).

At 13 h 25 m (after a lapse of 55 minutes and 2 hours from the beginning of AgI smoke seeding).

At 15 h 10 m (after a lapse of 10 minutes from the cease of AgI smoke seeding. Number of ice crystal nuclei considerably increased after about 40 minutes from then.

Fig. 11-(iv). Sketches of states of the sky at each time of 12 h 20 m, 13 h 25 m, and 15 h 10 m on March 2, 1956, respectively.

Fig. 12-(i). Variation with time of number of ice crystal nuclei near the ground observed at Nakano on Mar. 3, 1956.

Fig. 13-(i). Variation with time of number of ice crystal nuclei near the ground observed at Nakano on Mar. 9, 1956.

Fig. 12-(ii). Trajectories of smoke estimated from aerological data of Tateno.

Fig. 13-(ii). Trajectories of smoke estimated from aerological data of Tateno.

Fig. 12-(iii). Direction of cloud motion and that of wind on the ground level at each weather station for 12h 00m on Mar. 3, 1956. (lacking observation of direction of cloud motion).

で表わされるとしたが、この結果と Reynolds の結果を用い、近似的に 2~3 秒で質量が 10^{-3} microgram になるとすれば、 $r=7.6\mu$ 従つて直径は 15.2μ となる。

Cold box の角筒内が例えば Fig. 4 の如き温度分布をしている場合には、ベルベット角筒の上端より約 15 cm 位入つたところで氷晶が出来始め、角筒の中心を落下するものは大体 3 秒位経つて観測窓の視野内を通過し、そのときの大きさが大体 $10\sim 15\mu$ 位の order になると推定される。従つて充分に観測出来ると考えられる。(Hecht and Mintz, 1939, の測定によれば、明い背景に対して明視の距離で見える細線の太さは、視角で $0.5''$, 即ち、 0.6μ の細さであるといわれている)。

(ii) Dust の観測

氷晶の観測を始めるに先立ち、外気を引き込む

円筒を Cold box の上端からはずして、下から Blower で通常約 5 分間空気を送つて中の Dust を出来るだけ外部へ吹き出した後で観測を行うようにした。しかし、それでも実際に観測を行っている最中に Dust が落下してきてこれを氷晶と間違えてかぞえる恐れがあるので、念のためどの程度の Dust が Cold box の中に入ってくるかを調べた。即ち、Cold box の温度を 0°C 以上（この場合には 14°C ）にして、連続して空気を引きながらその中に含まれる Dust の数をかぞえた。その結果の一例を

Fig. 15 に示してある。この中には光つて氷晶と区別のつかないものも含まれているが、その数は非常に少なくて、全体を通じてわずかに 1~2 個程度であり、実際の氷晶の観測に際しては他のものは全部明らかに氷晶と区別出来る。Fig. 15 について考えるに、例えば、たまたま 11 h 03 m より 11 h 08 m まで 5 分間氷晶核の観測を行つたと仮定すれば、7 個の Dust が氷晶以外によけいにかぞえられることになるが、実際の氷晶核の観測に際しては、明かに Dust とわかるものは最初から数の中に入れてないので、Fig. 15 に示したような Dust の分布からして、それらが数えられた氷晶の数に重大な影響を及ぼす程になるとは考えられな

い。即ち、実際の氷晶核の観測で得られた数の中には Dust は殆んど入っていないと考えてよい。

(iii) Cold box 内の拡散係数

Cold box 内の温度分布の実測値と、角筒を円筒と仮定しての断面における流れの速度分布とを用いて、図式解法 (Y. Takahashi) により渦動拡散係数を見積つてみた。

この結果、大体のことしかわからなかつたが、ベルベット角筒の内壁近くでは、大体において分子拡散係数の Order で、筒の中心付近では数 cm^2/sec の Order であつた。

Fig. 13-(iii). Direction of cloud motion and that of wind on the ground level at each weather station for each time of 9 h 00 m and 12 h 00 m on Mar. 9, 1956, respectively.

Fig. 14-(i). Variation with time of number of ice crystal nuclei near the ground observed at Nakano on Mar. 16, 1956.

Fig. 14-(ii). Trajectories of smoke estimated from aerological data of Tatenno.

Fig. 14-(iii). Direction of cloud motion and that of wind on the ground level at each weather station for each time of 12 h 00 m and 15 h 00 m on Mar. 16, 1956, respectively.

Amount of air sucked in: 5.71/min.
Cold box temperature : 14.0°C.
Wind velocity : 1 m/sec.
Wind direction : SW.
Duration of observation : 1 hour.
Apr. 13, 1956.

Amount of air sucked in: 6.01/min.
Cold box temperature : 14.2°C.
Wind velocity : 2 m/sec.
Wind direction : SW.
Duration of observation : 1 hour.
Apr. 13, 1956.

Fig. 15. An example of observation of dust at the temperature above 0°C of the cold box. All the dust which could be observed with the eye were counted and of these dusts only a few could not distinguished from the ice crystal for their behaviour similar to the ice crystal. (| indicates that a dust was observed just at the time).

(iv) Cold box 内を通過しながら冷却される空気と自然大気中の上昇空気との状態の比較

Cold box 内で実現された状態が、上昇して冷却する自然の空気のどのような状態に対応するかを調べてみる。

まず空気の平均流速が 5.1 cm/sec のときに、Cold box 内にて実測された平均温度分布より温度

勾配を求めると、ベルベット角筒上端より 21 cm 入ったところまでは、近似的に $-0.43^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ の割合で、更に深く、即ち、21 cm より 34 cm に至る間に対しては、近似的に $-0.15^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ の割合になっている。一方自然大気については、湿潤断熱変化をすると仮定して、一応、前者に対しては、高さ 3 km (平均温度 -4.96°C) の温度逡差の値 $-0.637^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ を対応させ、後者に対しては、高さ 4 km (平均温度 -10.66°C) の温度逡差の値 $-0.684^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ を対応させて、Cold box 内で実現されたような温度変化を示すためにはどのような上昇速度を持たなければならないかを見積つてみると、その値は、夫々、前者に対応しては 344 m/sec、後者に対応しては 112 m/sec となり、このような値はいずれも自然大気中にはあり得ないことになる。

その他考えなければならない事柄として、着霜の問題がある。即ち、Cold box の中に入つた水蒸気の一部が一度霜となつてベルベット角筒の内壁につくと、あとから入つてきた水蒸気の一部は次々とこれに食われてしまうが、この量がどれ位になるか、又出来た霜が観測中に落下してこれを氷晶と見誤る恐れがあるが、この影響がどの程度あるか、についてははつきりしたことはわからないが、空気の流れる速度が 5 cm/sec 程度であるので、経験的には殆んど落ちないように思われる。

又この観測では、外気を連続的に引き入れるために開放された空気引き入れ口における Suction が問題になる。即ち、風速が大きくなつて 10 m/sec 程度にもなると、Cold box 内の空気が上に吸いあげられて、内部の動揺がはげしくなつて満足な観測が出来なくなる。この点については将来適当な方法を講じたいと思つている。

5. 総括

この観測では、自然大気中の非常に少い氷晶核

を検出し、更に富士山頂における沃化銀粒子発煙実験の影響を調べるために、Cold box の中へ空気を連続的に引き入れて冷却する方法をとつた。その結果、更に色々と考えなければならない点もあるが、観測で得られた結果をまとめると次の如くなる。

即ち、東京の地上附近においては、自然大気中の氷晶核の数は、この観測期間中においては、風向に関係せず、風速と共に増加し、天気状態によつて変化しない。即ち、雨の降つた日に特に減少するという結果は認められなかつた。

又、富士山頂における沃化銀粒子の Seeding の影響については、天気図、並に気流の模様から東京方面に煙が流れてきていると判断される場合には、氷晶核の数の増加が認められ、その最大値はこの観測期間中の Seeding の行われない日の最大値の約 3 倍乃至 4 倍に達した。

最後に、この観測は、中部電力株式会社の富士山頂における Cloud Seeding 実験の一部として

行い、観測に使用した Cold Box は先に電力中央研究所の研究費で作つたものである。なお、電気湿度計に関しては、気象研究所高層気象研究部の小林寿太郎氏に、観測を実施するにあつては、物理気象研究部の佐粧純男、内田英治、徳植弘の各氏より多大の御援助を賜つたことを附記して感謝の意を表する。

参 考 文 献

1. 根本 茂 (1954): 昇華核の観測法について. 電力技術研究所応用部, 人工降雨研究報告 (沃化銀の発煙状況の測定法に関する研究) P. 20-40, 昭和 29 年 7 月
2. Houghton, H. G. (1950): A preliminary quantitative analysis of precipitation mechanism. Jour. Met. **7**, P 363-369.
3. Reynolds, S. E. (1952): Ice-crystal growth. Jour. Met. **9**, P. 36-40.
4. 高橋喜彦 (1941): 渦動拡散及び熱伝導の図式解法 気象集誌, 第 2 輯, 19 巻, 8 号. P. 321-327.