

霧や雲の人工消散に関する研究の展望* [I. 凝集法]

浅井辰郎**

西沢利栄**

まえがき

東北地方は夏季オーホック海、樺太、千島周辺の気団から吹いてくる冷涼湿潤な風(ヤマセ)の影響を強く受けて冷害を受けることがあり、平年の収量もよくない。われわれは「下北半島の開発に関する基礎的研究」の一環として、ヤマセ雲を人工的に消散して日射増透を図ることに最終目的を置き、その第1歩として、ヤマセ雲の実態を入手できる限りの高層資料によって調査したり¹⁾。次の段階は人工消散の技術的側面を明らかにすることと信じ、本稿を草した。今後はこれらの技術に必要な気象資料を精密に実測する段階に進みたい。

さて以下展望するように「霧および雲の消散方法」はすでに種々試みられており、その目的も日射増透のみでなく多種多様である。1938年 H. G. Houghton と W. H. Radford²⁾ が「小地域における霧の消散」の最初に2つの目的をあげ、その第1は純学問的な目的であり、第2に航空および航海方面の要請によることを述べている。またわが国においても1944年、千島、北海道の飛行場を襲う海霧について多方面から研究がなされている³⁾。その後北海道庁からでた「防霧林の研究」⁴⁾には霧の消散機構および防霧林の効果等いろいろな面のすぐれた調査研究が収められている。また第2次大戦中イギリスでは「Fido」と呼ばれる重油を燃す方法で飛行場の霧の人工消散の研究⁵⁾がなされ実際に利用されたという。

雲に関しても、U. S. Weather Bureau の Cloud Physics Project⁶⁾として R. D. Coons と G. R. Gentry および R. Gunn 等が1948年1月から4月にわたって降水量の増加、抑制、さらに飛行のための視程の増加等を図る Cloud modification process に関して実際の限界や効用の調査を行っている。またこの種の実験を最初に行った Verrart⁷⁾は人工による雲霧の Modification が、
1) 降雹の減少、2) 旱害の軽減、3) 日射の増透によ

る都市生活者の健康増進、4) 洪水の制御、5) 山火事の抑制、6) 飛行場の霧の人工消散、7) 特別な天文観測時の雲の人工消散、8) 冬期観光地における人工降雪、9) 人工雲による霜害防禦等その利用面の多いことを述べている。H. G. Houghton⁸⁾も述べているように雲霧の消散の可能性は疑う余地もないが、これらの実験が大気中で広く実用化され、経済的にも引合うかどうかは実は問題である。このような意味で、研究の展望を行った。

I. 消散方法の諸系統

霧や雲の消散は大気中から霧粒や雲粒を何等かの方法で除去することで、基本的にはその粒子を他に移動させるか、(physical removal method)あるいは蒸発させてしまう(evaporation method)との2つの方法がある。これを細分すると次のようになる。

A Physical removal method

I 種まき法

- (1) 純水の散布法
- (2) 海水や溶液の散布法
- (3) 氷晶核の散布法

II 振動による捕捉促進法

- (1) Intense sound field の利用法
- (2) 乱流による捕捉促進法

III 電気的方法

- (1) Cottrell の方法
- (2) 帯電粒子散布法
- (3) 垂直電場による捕捉促進法
- (4) 雲粒荷電による捕捉促進法

B Evaporation method

I 直接加熱法

- (1) 油の燃焼法
- (2) 電熱加熱法
- (3) 化学反応熱法(酸化カルシウム粉末散布)
- (4) 赤外線吸収法

II 蒸気圧差利用法

- (1) 多孔性物質散布(シリカゲル等)

* 資源科学研究所業績第 901. -1958年10月10日受理-

** 資料源科学研究所

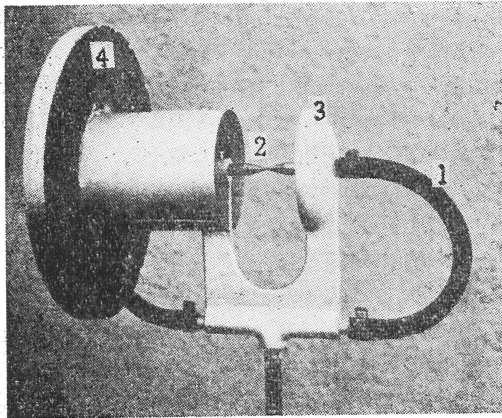
(2) 吸湿性物質散布 (塩化カルシウム等)

II. Physical Removal Method

(1) 種まき法

1° 純水の散布法 霧のかかっているとき降雨があるとしばしば視程が急に良くなることがあるが、このことから落下水滴の雲霧粒捕捉による消霧消雲法が見出される。

Houghton と Radford¹⁰⁾ によると Natural fog の場合には、 100μ ぐらいの直径をもつ水滴 (落下速度 26cm/sec) が適当であり、もし 100m の厚さの霧を $2000\text{m}^3/\text{sec}$ の割合で消霧するには 13.3kg/sec の割合で水が必要になるという。しかしこの方法では散布する水滴が小さくなりすぎてむしろ霧を濃くしたり、不都合になる場合が多い。しかし自然の雲霧粒スペクトルに、適当な粒径の水滴を送りこむことができれば可能なわけで、彼等は市販されている噴霧器を改良し、実験を行った。改良された噴霧器は第1図に示すようなものである。図中で(1)



第1図

circuler fluid sheet, (2) 2つの相対する jet 部分, (3) 風上の風よけ, (4) 風下の clear air 中に微水滴の散布を防ぐ部分。この噴霧器で Round Hill 飛行場に塩化カルシウム水滴を散布し、実験を行っているのであるが、これについては evaporation method の所で述べることにする。わが国においては三宅⁹⁾ が霧が通過し得るようにした風洞の入口に噴霧器をおき、一種の人工降雨を作り風洞通過後の霧粒数が30%程度減少したことを報告している。また Bowen¹⁰⁾ は1949年の9月から11月にかけて対流性の暖い雲に対し Sydney の近くで16ガロン入りのタンクを取り付けた飛行機から11回にわたる人工降雨の実験を行っている。このときの散水法は雲底から 1000ft の高度を飛行し、長さ 6ft の水平にとりつ

けた筒から 30ガロン/分 の割合で散水した。散水時の水滴の直径中央値は約 50μ であったという。この結果、雲厚 5000ft 以下の雲の場合は散水後 $10\sim 25$ 分で virga (雨足) をみたが、落下水滴の直径は散水後の飛行機観測では $0.25\sim 0.5\text{mm}$ ぐらいで、地上に達することが不可能であった。しかし散水後 $15\sim 40$ 分ぐらいの間に雲は消散している。雲厚 5000ft 以上の場合には、地上でもかなりの降雨をみ、雲は約1時間ぐらいで消散している。

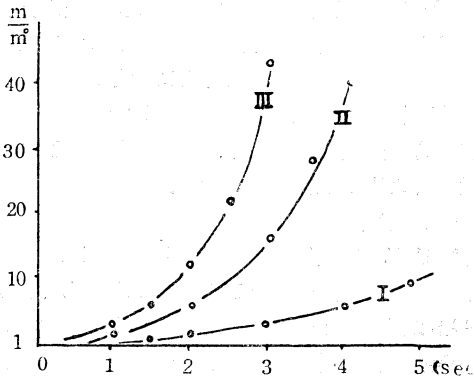
2° 海水の散布法 暖い雲への上のような純水滴散布に対して最近では海水を散布する方法がとられるようになった。これは溶液粒の平衡圧が純水粒より低いため、すみやかに半径 $20\sim 30\mu$ に水蒸気の凝結が進行し、その後は捕捉によって霧粒が成長する性質を用いるもので、此の種の実験として1953年の夏、石狩川上流地域を含む大雪山系における萩原、小林の研究¹¹⁾がある。この実験に当って用いた compressor は $4\sim 5\text{kg/cm}^2$ の圧力を有し、これで spray gun から食塩の飽和溶液を噴射している。噴射された溶液粒の粒径分布は nozzle の半径が 2.0mm , 2.5mm のものとも約 $10\sim 15\mu$ に最も頻度が多く雨滴の成長に好都合な粒径であったという。

対象になった雲は積雲であり、噴霧粒の数は 1cc が約 10^8 個程度であった。その結果降水は認められているが雲の消散については報告されていない。また磯野、藤田、駒林¹²⁾の白根山における種まきは厚さ約 50m の層状雲に spray gum を用いて食塩水を散布し、発射地点から風下方向に $42, 102, 219\text{m}$ 地点で粒度分布および含水量の変化を調べ、種まきの結果雲の含水量の減少していることがわかった。さらに九州電力¹³⁾が1956年武田、坂上、岡本の計画のもとに宮崎航空大学の双発機ビーチクラフトを使用し、機外にゴムホースを出し 72l の海水を3分間散布し実験を行っている。このときの溶液粒の直径は測定されていないので明確なことはわからないが飛行機の速度が $120\sim 130\text{km/hr}$ 程度であったことから Bowen の報告にある 50μ と大差ないものと考え、散布は積雲の雲頂、底および雲中で行い、雲厚約 1300m 、温度 $20\sim 13^\circ\text{C}$ の積雲に対し、散水後約50分で雲がうすれている。ヤマセ雲に対する散水法の効果については羽田野の推算的研究が最近印刷された。

3° 氷晶核の散布法 過冷却氷雲に対する氷晶核の種まきについても多くの実験が行われ、よい結果が知られているが暖かい雲霧を対象とするいまの場合これは省略する。

(2) 振動による捕捉促進法

1° intense sound field の利用 超音波とコロイド



第2図

第1表

超音波の振巾	m/m_0
0 mm	1
9×10^{-3}	2.1
18×10^{-3}	8.7
36×10^{-3}	13.6
54×10^{-3}	20.0

分散系の研究は1928年より Wood, Loomis この部門が開拓されて以来数多くの研究がなされている。第2図は Brandt と Hiedemann¹⁴⁾ がパラフィン油の煙に振動数は明記されていないが超音波を当て凝集の時間的变化をみたもので最初の1粒子の質量 m_0 に対する sound field 中での増加した質量 m との比を縦軸にとったものである。図中 I, II, III はそれぞれ振巾が 9×10^{-3} mm, 27×10^{-3} mm, 36×10^{-3} mm の超音波で、振巾の大きい場合程 m/m_0 の比の増加が著しい。また第1表は同じく煙草の煙にいろいろな振巾の超音波を5秒間送ったときの m/m_0 の値を示したものでパラフィン油の煙に比べてその値は小さい。また Parker¹⁵⁾ は酸化マグネシウムの煙に 220kc/sec の振動をあて単位体積中の粒子数の減少状態を調べている。その結果5秒後に約 1/10, 8秒後には約 1/40 に減少している。いま、ガス粒子の振動を x_{mon} とし、次のように表わせるとする。

$$x_{mon} = A \sin \frac{2\pi a}{\lambda} \sin \omega t \dots\dots\dots(1)$$

ただし、 a は振動体からガス粒子までの距離、 λ は音波の波長、 $\omega/2\pi = n$ は振動数、 A は a の距離におけるガス粒子の振巾とする。またこのガス中に浮遊する粒子に作用する摩擦力 K は、ガス粒子との相対速度を Δv とすると Stokes の法則から

$$K = 6\pi r \eta \cdot \Delta v \dots\dots\dots(2)$$

である。ただし η はガスの粘性係数、 r は浮遊粒子の半径である。(1)と(2)から浮遊粒子の運動の方程式は

$$m\ddot{x} = 6\pi r \eta (A \cdot \omega \sin \frac{2\pi a}{\lambda} \cdot \cos \omega t - \dot{x}) \dots\dots\dots(3)$$

となり、その解は

$$x = \frac{A \cdot \sin \frac{2\pi a}{\lambda} \sin(\omega t - \phi)}{\sqrt{\left(\frac{4\pi d r^2 \cdot n}{9\eta}\right)^2 + 1}} \dots\dots\dots(4)$$

となる。式中 d は浮遊粒子の密度である。次に、ガス粒子と浮遊粒子の sound field 中での振巾比 X/G とをとると

$$X/G = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{4\pi d \cdot r^2 \cdot n}{9\eta}\right)^2 + 1}} \dots\dots\dots(5)$$

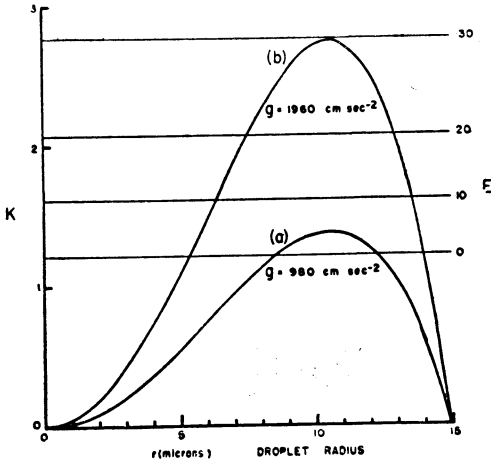
で表わされる。 d, η が一定であれば X/G は $r^2 n$ で決ってくる。また Brandt, Freund, Hiedemann¹⁶⁾ によれば不均一な粒径分布をする aerosol 中に音波を発生すると或る限界より大きい粒子は何等振動せず、小さい粒子はガスと同様な振動を、中間の粒子はガスより小さな振巾の振動をする。すなわち、大小種々の粒子がある場合にはそれらの振巾はいろいろになるので互に衝突し凝集するためと考えられる。Houghton と Radford は Round Hill¹⁷⁾ で測定した海霧の粒径分布から考えて、海霧粒子に振動を与えて凝集するに最も有効な振動数は 10^3 オーダーの可聴音波であるという。しかしこの Round Hill での観測から海霧粒子の平均間隔が 5 mm 程度であり、少なくとも振巾 5 mm の 10^3 c/s オーダーの音波が必要ということになると、非常に大きな装置になるので広域での実用的には困難であろうといっている。

2° 乱流による捕捉促進 また一方 East と Marshall¹⁸⁾ は雲粒が乱流によって衝突を起しやすくなることを研究し、乱流の重要なことを述べている。雲中の気流が乱れるということは dv/dt なる加速度を得ることであり、雲粒は静止空気中で重力加速度を dv/dt だけ増したことになる。第3図は半径 $s = 15\mu$ の雲粒に対する半径 r の雲粒の K (無次元量) 及び E (Langmuir の捕捉率) が $g = 980, 1960 \text{ cm sec}^{-2}$ の2つの場合に、変化する様子を示したもので明らかに g の大きい場合 K および E は大になることがわかる。

いま小気塊のもつ速度 V を

$$V = Re\{\widehat{V} \exp(i\omega t)\} \dots\dots\dots(6)$$

とし、半径 r の雲粒に Stokes の法則が適用されるとして、その速度 v_r は



第3図

$$v_r = Re \left[\frac{\hat{V}}{1 + i\omega\tau_r} \exp(i\omega t) \right] \dots\dots\dots(7)$$

となる。そこで交流理論におけると同じく実数部分が物理的意味を持つので $Re, \exp(i\omega t)$ は省略すると、半径 r, s をもつ雲粒の速度はそれぞれ

$$v_r = \frac{V}{1 + i\omega\tau_r} \dots\dots\dots(8)$$

$$v_s = \frac{V}{1 + i\omega\tau_s} \dots\dots\dots(9)$$

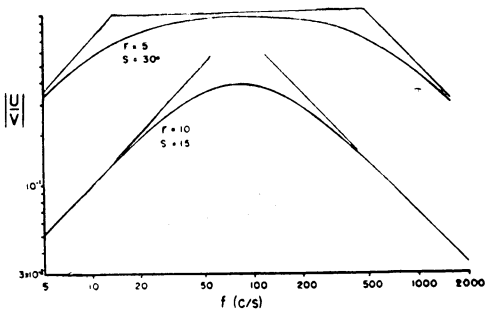
となり、両者の相対速度 U は

$$U = \frac{V_i \omega (\tau_s - \tau_r)}{(1 + i\omega\tau_s)(1 + i\omega\tau_r)} \dots\dots\dots(10)$$

となる。ただし τ_r, τ_s は time constant である。そこで小気塊のもつ速度 V に対する2つの雲粒間の相対速度の比をとると

$$\left| \frac{U}{V} \right|^2 = \frac{\omega^2 (\tau_s - \tau_r)^2}{(1 - \omega^2 \tau_s^2)(1 + \omega^2 \tau_r^2)} \dots\dots\dots(11)$$

で与えられる。この相対速度と気塊の振動数との関係を示したものが第4図である。この図から 30~200c/secで

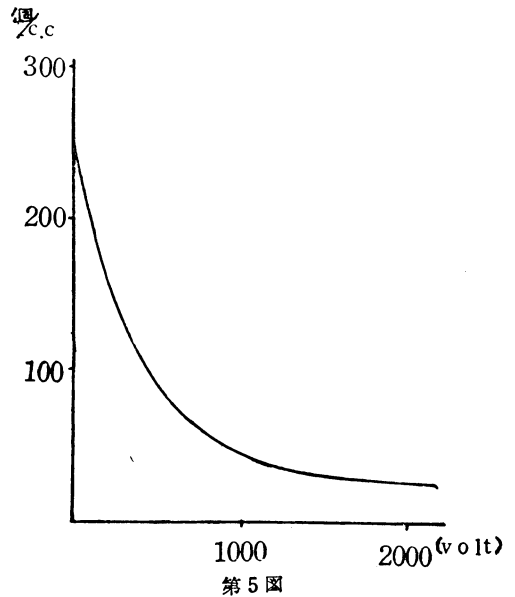


第4図

速度変動が生じるとき、その中の2つの雲粒の相対速度が最も大きくなり、雲粒が互に衝突しやすくなることがわかる。East と Marshall はさらに乱流によって生じる雲粒間の相対速度は不規則であるとして考察を行い、半径のかなり近い雲粒間でも相対速度が大きくなって衝突しやすくなることを論述している。

(3) 電気的方法

1° Cottrellの方法 この方法については, Penny¹⁹⁾ や Landenburg²⁰⁾ の研究, わが国では吉田, 高野, 黒岩²¹⁾ が2回にわたって実験を行っている。後者の第1回目の実験は根室の演習場で直径5cm, 長さ50cmの真鍮管を捕集電極として接地し, その管中に極めて細い針金を張り, 正または負の直流電圧をかけ, 捕集筒の一端から送風機で霧をおくりこんで霧粒の捕捉を行っている。管中の風速と完全に霧粒を捕捉し得る電圧との関係は直線であった。また捕集筒内壁にエオシンを塗布した紙をはり, 霧粒捕捉の分布状態をみた所, 管の入口から30~40%の所でほとんど捕捉されることがわかった。第2回目の実験は, ニコセアンヌプリ山頂で大規模に行われ, 縦横1.5尺, 高さ3尺の木製捕集筒中に9枚の鉄板を鉛直にならべて接地電極とし, 放電電極は太い針金の枠に直径0.2mmの細い針金を張り, これを接地電極の間に挿入して用いた。送風用の電動機は1馬力で空気の流れおよび捕集筒内の空気流はそれぞれ 0.62m³/sec と 2.5 m/sec であった。観測窓には全含水量測定管, 霧粒採取管, 湿度計を取り付け, 放電電圧を変化させながら測定



第5図

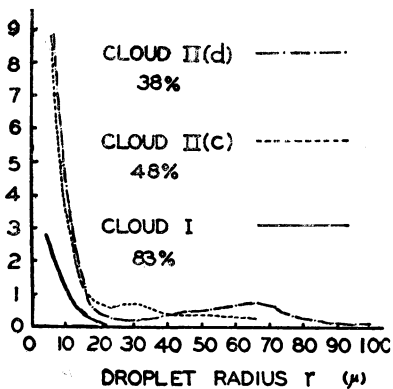
し、外気のそれと比較したり、霧粒数の減少状況を調査している。第5図は霧粒数の減少と電圧との関係で、1000volt 辺りになると約9/10を捕捉してしまう。ただし1000volt をこえても曲線は水平に近づき完全に捕捉することはないらしい。

2° 帯電粒子散布法 Houghton と Radford²³⁾ は霧粒の落下速度は 0.01~26cm/sec、霧粒間隔は 0.3~1.0cm である上に、霧粒の電荷も最大荷電量も少ないので、たとえ帯電粒子を多く散布しても小粒子では凝集は不可能と考えている。したがって霧粒を吸引できるくらいの荷電を持つためには霧粒に比して大きい粒子の散布が必要であろうと述べている。

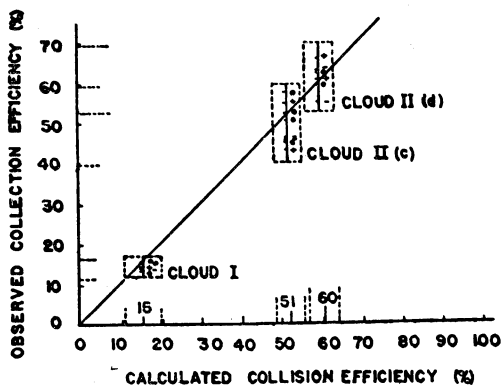
Humphreys²²⁾ は 1/51 e. s. u. の荷電をもった直径 100 μ の砂粒が静止空气中を落下することと、そしてこのような砂粒を散布して厚さ 10m の霧を毎秒 200m² にわたって消散させるためには毎秒 2.5kg の帯電砂粒が必要であると述べている。一方雲粒捕捉の研究において、K. Gunn と Hitschfeld²³⁾ は半径 1.6mm の水滴に 360V の

電位差で、雷雲の雨滴電荷にほぼ等しい (R. Gunn による) 約 0.2 e.s.u. の電荷をあたえ、その水滴を第6図に示すような3種類の人工雲中で3m落下させ捕捉率を調べてみた。人工雲の全雲水量は 1 gm⁻³ であるが、cloud I は 4 μ 以下の雲粒が 83%、cloud II (c) (d) は 6 μ 以下の雲粒がそれぞれ38%、48%をしめている。実験の結果は第7図のように正負の電荷の影響が認められない。図中点線のわく中縦点線は実験誤差の範囲を示し、横線は半径 4~6 μ 以下の雲粒捕捉率の両極限值を示す。

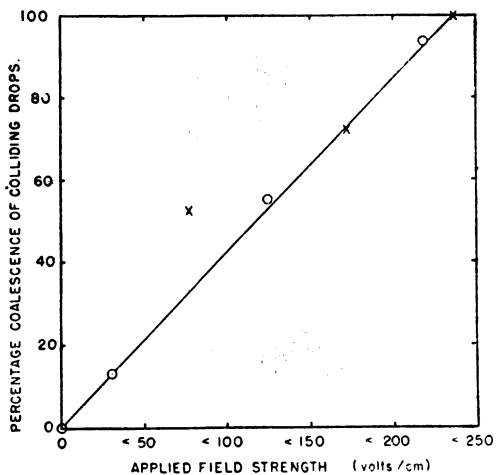
3° 垂直電場による捕捉促進 Sartor²⁴⁾ は下層大気の電位傾度が好天下においても 100~400 volts/m あり、雲中や雷雲中ではさらに大きいことから 40KV.DC. を用いて垂直電場を作り鉱油中で水滴の捕捉を調べてみた。実験にあたっては 5~25 μ の間の50組以上のものについて行い、その結果電場が 78.5 volts/cm 以外では第8図に示すごとく電場の強さと捕捉率との間には直線的関係がみられている。またこのような場合は重力落下による



第6図



第7図



第8図

2つの粒子間の運動経路とは異った経路をとるといふ。また 1000volt/cm の電場を与えると直ちに捕捉が生じ、Langmuir の値の求められていない 7 μ より小さい粒子と 10 μ より小さい粒子の捕捉率は50組の調査では 0.540 であり、Langmuir の値が 0.269 になる 10 μ と 15 μ の粒子54組では 0.575 が得られている。全雲粒分布範囲について調べなければ完全な解答は得られないけれども、このようなことから Sartor は重力落下だけで実験したときには生じなかった 5~25 μ の水滴に、ある値以上の電場 (鉱油中で 236volt/cm) を与えると捕捉率を高め

得るものと結論している。

4° 雲粒荷電による捕捉促進 Telford, Thorn-dike, Bowen²⁵⁾ は第9図に示すような装置を用いた Walttonprewett の方法で平均半径 77μ の分布範囲のせまい水滴に正負の電荷を交互にあたえ、その衝突捕捉を調べてみた。結果は第10図 (a) (b) に示すように、これは電荷の増加に伴って増加していることがわかる。そしてこの両図の差は水滴の空間密度が異なるためらしく、観測わくの中にそれぞれ毎秒 2.32 滴と 0.33 滴が観測されていた。すなわちその比は 7:1 であった。また

この実験で併合しなかったものが 3,251個、併合して大きくなったものが21個であり、この結果を

$$E = \frac{8 NVC}{\pi D^2 n^2 v H} \dots\dots\dots (12)$$

に代入し捕捉率 $E=12.6$ を求めている。ただしこの式中 D は大きくなった水滴の半径、 N は大きくなった水滴の数、 V は大きくなった水滴の落下速度、 C は水滴を含んでいる空間の大きさ、 v は水滴の近接速度、 H は各々の水滴が衝突併合を生じる筒の長さを示す。すなわちこの実験でのそれぞれの値は $N=21$ 個、 $V=10.8\text{cm sec}^{-1}$ 、 $C=4,610\text{cm}^3$ 、 $D=1.54 \times 10^{-2}\text{cm}$ 、 $n=3,251$ 個、 $v=1.11\text{cm sec}^{-1}$ 、 $H=76\text{cm}$ であった。

以上 (3), (4) についての理論的考察が R. Gunn²⁶⁾²⁷⁾²⁸⁾ によってなされている。すなわち雲粒荷電分布を導き、どの程度の荷電があったとき静電作用でどの程度衝突が促進されるかを雲粒半径 a が、i) $< 2 \times 10^{-4}\text{cm}$ 、ii) $< 2 \times 10^{-3}\text{cm}$ 、iii) $> 2 \times 10^{-3}\text{cm}$ の3つの場合について考察を行っている。i) の場合は、好晴積雲の内部や煙、細塵等の拡散にみられるように安定であって、このときの initial volume coagulation-constant K は

$$-\frac{1}{N^2} \frac{dN}{dt} = K = 1.2 \left(\frac{4kT}{3\eta} \right) \dots\dots\dots (13)$$

となり、荷電のない場合の20%増しになっている。ただし N は単位体積中の雲粒数、 η は雲粒の周りの粘性係数、 k は Boltzmann 常数、 T は絶対温度である。ii), iii) の雲粒半径の大きい場合には、半径 r_1, r_2 、質量 m_1, m_2 、終末落下速度 U_1, U_2 の2つのグループに雲粒を分け、それぞれ単位体積中に N_1, N_2 個存在するとき、雲粒間相互に静電作用でひきよせられる距離を S とするならば、1つの大きな雲粒が単位時間に衝突掃引する空間 dV/dt は

$$dV/dt = \pi(r_1+r_2+S)^2 U_R \\ = \pi(r_1+r_2)^2 U_R \left(1 \pm \frac{2S}{r_1+r_2} + \frac{S^2}{(r_1+r_2)^2} \right) \dots\dots (14)$$

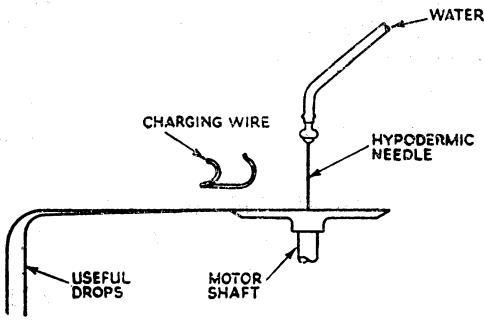
となる。

ただし $U_R = (U_2 - U_1)$ とする。

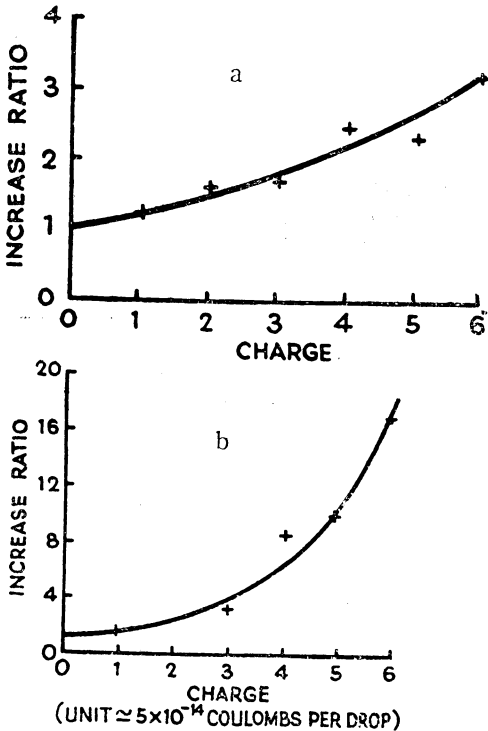
となる。また大きい雲粒に衝突する小さい雲粒数 dN_1/dt は

$$dN_1/dt = \pi(r_1+r_2)^2 U_R \left(1 \pm \frac{2S}{r_1+r_2} + \frac{S^2}{(r_1+r_2)^2} \right) \dots\dots\dots (15)$$

となる。〔 〕内の第2項は荷電の符号によるので平均すると打ち消し合い、第3項は電荷の存在によって衝突数の増すことを示している。しかし移動距離 S について、ii) の場合と iii) の場合は第2表からも判る様に



第9図



第10図

effective contact time (a/U) と acceleration time (U/g) が異なるため、その移動は前者は Stokes forces により、後者は inertial forces によると考えられるのでそれぞれ S_f , S_i は

第 2 表

Drop radius(a)	Effective contact time (a/U)	Acceleration time (U/g)
10^{-4}	8.5×10^{-3}	1.2×10^{-5}
10^{-2}	8.0×10^{-4}	1.2×10^{-3}
10^{-2}	1.4×10^{-4}	7.0×10^{-2}
10^{-1}	1.6×10^{-4}	6.5×10^{-1}

$$S_f = \frac{qQ}{6\pi\eta U_R r_1 r_2} \dots\dots\dots (16)$$

$$S_i = \frac{qQ}{U_R} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) \dots\dots\dots (17)$$

で表わされるものである。そこで qQ に Twomey²⁹⁾ が得た値を代入し、 S_f , S_i の吟味を行ってみると、 S_f についてはある程度の変化が起り、 S_i については変化がおこらないことがわかる。

次に雲内電場が異符号の荷電を持つ雲粒に作用したときの相対速度と、重力加速度による落下の場合の相対速度を比較して見る。すなわち一樣な雲内電場 E が荷電 Q の 2 つの雲粒に作用するときの相対速度は雲粒の運動が Stokes の法則に従うとすれば

$$U_E = 2\bar{Q}E/6\pi\eta r \dots\dots\dots (18)$$

である。一方重力加速度によるものは 2 つの雲粒の平均速度 U_i に対する両雲粒の相対速度 ($U_2 - U_1$) の比を H とすると

$$U_g = Hmg/6\pi\eta r \dots\dots\dots (19)$$

となる。ただし m は平均雲粒質量である。そこで同一雲内における両者を比較すると

$$\frac{U_g}{U_E} = \frac{Hmg}{2QE} \dots\dots\dots (20)$$

となる。ここに $H=0.2$, $g=10^3 \text{cm sec}^{-2}$, $Q/m=50 \text{e.s.u./g}$ を代入すると

$$\frac{U_g}{U_E} = \frac{2}{E} \dots\dots\dots (21)$$

となり、 $E=2 \text{stat volt}$ あるいは 600volt/cm になると両者の影響は等しくなる。そしてこのような値は普通の雷雲の中で観測される値であって、強い場合はさらに大きな値になってその効果も大きいことがわかる。Kinzer と Cobb³⁰⁾ によれば電荷の影響は雲粒半径 $7 \sim 8 \mu$ を境にして粒径の増加とともに急激に減少し、捕捉過程にお

いては相互の粒子が $2 \sim 3 \mu$ の距離までは乱流で運ばれ、その後荷電の影響で吸引されるという。

以上 Removal methods をまとめたつもりであるが未だ不十分な点もあろうから御指摘を頂きたい。次には evaporation method について報告する。(未完)

参 考 文 献

(ここにあげたもの以外にもいろいろな面からの直接的、間接的研究もあるが一応この展望をするに当って参考にしたものだけを記す)。

- 1) 浅井辰郎, 西沢利栄, 羽田野孝通 (1957): ヤマセ雲の高層気象学的研究 [A]. 資源研彙報 46-47, 40-48.
- 2) 浅井辰郎, 西沢利栄 (1958): ヤマセ時の雲と降雨について. 天気 5, 246-250.
- 3) H.G. Houghton and W.H. Radford (1938): On the local dissipation of natural fog. Pap. Phys. Ocean. Meteor. Mass. Inst. Tech. Woods Hole Ocean. Inst. 6, No. 3, 1-66.
- 4) 戦時研究 6-2 (1945): 千島・北海道の霧の研究, 第 1 期.
- 5) 北海道林務部 (1951-54): 防霧林に関する研究, 第 1 輯—第 4 輯.
- 6) H.G. Houghton (1951): On the physics of clouds and precipitation. Comp. Met. 165-181.
- 7) R. D. Coons, R. C. Gentry and R. Gunn (1948): First partial report on the artificial production of precipitation. stratiform clouds. Ohio Research Paper No. 30, 1-63.
- 8) A.W. Verrart, (1931): Meer zonneshijn in het nevelig noorden, meer regen in de tropen. N. V. Seyffardt's Boeke en Muziekhandel, Amsterdam, 1-31.
- 9) 三宅泰雄 (1945): 霧の人工消散実験の結果に就いて, 千島, 北海道の霧の研究, 第 1 期 81-87.
- 10) E. G. Bowen (1952): A new method of stimulating convective clouds to produce rain and hail. Q. J.R. Met. Soc. 78, 37-45.
- 11) 荻原晰二, 小林禎作 (1954): 積雲における吸湿性粒子の生長とその人工降雨への応用. 低温科学 12, 95-112.
- 12) 武田京一, 坂上務, 岡本督 (1958): 人工降雨の研究, 研究時報臨時増刊号, 九州電力総合研究所, 99-132.
- 13) 磯野謙治, 藤田秀, 駒林誠 (1956): 食塩水撒布による雲の粒度分布及び含水量の変化. 気象集誌 34, 177-189.
- 14) O. Brandt and E. Hiedemann (1936): The aggregation of suspended particles in gases by sonic and supersonic waves. Trans. Fara-

- dy. Soc. **32**, 1101-1110.
- 15) P.C. Parker (1936): Experiments on coagulation by supersonic vibrations. Trans. Faraday Soc. **32**, 1115-1124.
- 16) O. Brandt, H. Freund, and E. Hiedemann (1936): Zur Theorie der akustischen Koagulation. Kolloid Zeits. **77**, 103-115.
- 17) H. G. Houghton and W. H. Radford (1938): On the measurements of drop size and liquid water content in fogs and clouds. Pap. Phys. Ocean. Mass. Inst. Tech. Woods Hole Ocean. Inst. **6**, No. 4, 1-18.
- 18) T. W. R. East and J. S. Marshall (1954): Turbulence in clouds as a factor in precipitation. Q. J. R. Met. Soc. **80**, 26-47.
- 19) G. W. Penney (1937): A new electrostatic precipitation. Electrical Engineering, **56**, 159-163.
- 20) R. Landenburg (1930): Untersuchungen über die physikalischen Vorgänge bei der sogenannten elektrischen Gasreinigung. Ann. Physik **4**, 863-897.
- 21) 吉田順吾, 高野玉吉, 黒岩大助 (1954): 熱式及び電気式霧消散法の予備的研究, 千島, 北海道の霧の研究, 第1期, 88-97.
- 22) W. J. Humphreys (1926): Rain making and other weather vagaries.
- 23) K. Gunn and W. Hirschfeld (1951): A laboratory investigation of the coalescence between large and small water-drops. Jour. Met. **8**, 7-16.
- 24) D. Sartor (1954): A laboratory investigation of collision efficiencies, coalescence and electrical charging of simulated cloud droplets. Jour. Met. **11**, 91-103.
- 25) J. W. Telford, N. S. Thorndike and E. G. Bowen (1955): The coalescence between small water drops. Q. J. R. Met. Soc. **81**, 241-250.
- 26) R. Gunn (1955): The statistical electrification of aerosols by ionic diffusion. J. Colloid Sci. **10**, 107-119.
- 27) R. Gunn (1955): Droplet-electrification processes and coagulation in stable and unstable clouds. Jour. Met. **12**, 511-518.
- 28) R. Gunn (1955): Raindrop electrification by the association of randomly charged cloud droplets. Jour. Met. **12**, 562-568.
- 29) S. Twomey (1956): The electrification of individual cloud droplets. Tellus **8**, 445-452.
- 30) G. D. Kinzer and W. E. Cobb (1958): Laboratory measurements and analysis of the growth and collection efficiency of cloud droplets. Jour. Met. **15**, 138-148.

〔書評〕 小出 博著『自然を作りかえる人間』

(1957年3版)

福村書店 B6版 145ページ 150円

地球の歴史文庫の一冊として中学生向きに書かれたものである。人間の生活条件として衣食住の三条件が満たされなければならないが、この本は人間がこの三条件を演たすために自然界から資源をいかにとり出してきたかを歴史的に説明しております。

資源を地下資源、土地資源(観光資源を含む)、水資源、水産資源に分けて述べ、人間が資源を自然界から取り出す一方では、資源をとり出したことから生じた自然界の不均衡から災害が発生したことを述べている。資源と災害を関係付けながら人間の歴史を説明しているのがこの本の特徴であろう。そして自然を資源と災害の面から

見ることを教えてくれるこの本は中学生向きとしては或る部分では教師とか父兄の教えが必要とされる難しいところもあるが、全体としては説明がうまく分かりやすい。

近来気候の資源化として資源気候学が発達しつつある折柄、水資源の説明等は当を得たものと思う。水の利用や供水等、資源と災害の説明が分かりやすい。災害について、天災と言われているものにも人為的災害が多く、純粹の天災は少ないことを説いているのは中学生にもなるほどと感じさせるであろう。

最後に資源と災害を歴史的に説きながら、結びとして一覧表がないのはまともを悪くしていると思う。中学生向きに書かれたとは言いながら気軽な読物としてわれわれが読んでも一応は楽しめると思う。

(殿村清人)