

凝結核に関する最近の研究とその展望

黒 岩 大 助

I. 序

水は地球表面から蒸発して大気中に入り、液相又は固相のいわゆる hydrometeor として降水する。この水の熱学的循環をつかさどる原動力は、いうまでもなく太陽の熱エネルギーであるが、このサイクルのなかで凝結核の果たす役割は何か？ といえは水の相変化を促進する大気核触媒 “atmospheric nucleation catalysis” と考えることができる。自然大気中でおこる水蒸気の凝結は水分子だけの結合 “homogeneous nucleation” によるのではなく、空気中に懸垂しているある特別な性質をもった粒子に選択的におこる “heterogeneous nucleation” であるということは、遠く前世紀の終り頃からわかってきた。このような性質をもった粒子は何か？ という問題は古くから気象学界のなかでもっとも注目されてきた問題の一つであった。一般にある特別な粒子が大気中で global な凝結核としてふるまうために必要な条件は何かというとおよそ三つある。第1は、水蒸気の相変化をひきおこす触媒としてすぐれた activity をもっていること、第2には霧や雲の population をまかなうために十分な大気濃度をもっていること、第3には、それらの粒子を大気中に供給するに足る十分な起源 origin をもっていることである。この3条件をそなえた凝結核として古くから気象学者の注意をひいてきたものは衆知のごとく海塩粒子であった。しかし、これに対しては多くの批判があり、現在においてもまだその実体は明らかになっていない。最近、雲物理学の進歩に伴い雲の “artificial modification” の研究が盛んになるに及び、核触媒の研究は再び気象学者の注意をひきつゝあるように思われる。我々はここに乏しい資料にもとづいてその最近の研究の動向を展望してみたいと思う。

II. 海塩核説とその批判

1922年、スウェーデンの気象学者 H. Köhler⁽¹⁾ は、過冷却した雲粒の氷結によってできた樹氷を分析してそのとがした水のなかに海塩の組成ができることを示し、これは雲粒1個が平均 1.4×10^{-14} の大きさの海塩粒子（乾燥した塩の結晶にすると約 0.4μ ぐらい）を凝結核とし

てもっているからであると考えた。彼はまたその程度の大きさを持つ NaCl 又は海塩の結晶は大気中で水蒸気の凝結をひきおこすのに十分 active であることを熱力学的に厳密に証明した⁽²⁾⁽³⁾。以下、我々はこのように大きさが 1μ に満たない微細な海塩粒子をかりに “Köhler nuclei” とよぶことにしよう。このような海塩粒子は、海水が風でふきちぎられてできること、海洋は地球表面で広大な面積を占めていることなどを考えると、うえにのべた3つの条件を一応満足しているようにみえる。これが海塩核説のおこりである。その後、H. L. Wright⁽⁴⁾ がアイルランドの海岸で視程と相対湿度（以下 R. H. とかく）との観測を行い、R. H. が78%以下では、視程と R. H. との間には何の関係もないが、R. H. が78%を超えると急に視程がわるくなることを観測した。彼は、これは大気中に R. H. が78%になると水蒸気を凝結して水滴になる active な粒子が存在すること、そのような粒子は質量が $10^{-13} \sim 10^{-14} \text{g}$ ぐらいの海塩粒子と考えられること、その濃度は空気1cc中に約63個ある計算になることを示して海塩核説を支持した。また、Owens⁽⁵⁾ が顕微鏡下で NaCl や MgCl_2 などの結晶が R. H. 73~79%で吸湿して水滴になることを確かめた実験も更に海塩核説を裏付けるものであった。

ところが海塩核説に対する反対意見もこれと前後して提出された。その第1は Findeisen⁽⁶⁾ である。彼は炎色反応によって大気中の塩素粒子の検出を行った結果、南ドイツの上空あたりでは海塩粒子はごく少なくて質量が $10^{-6} \text{g} \sim 10^{-10} \text{g}$ ぐらいの大きなものが $10^{-2}/\text{cc}$ 程度浮遊しているにすぎないことを見出した。霧や雲の水滴は $10^2/\text{cc}$ のオーダーで存在するので、海塩粒子がその凝結核をまかなうためにはあまりに少な過ぎるようにみえる。また、Simpson⁽⁶⁾⁽⁷⁾ も Wright が行った R. H. と視程との観測結果を批判し、R. H. が79%附近で activate されて水滴になる粒子は何も海塩粒子だけに限らず Junge⁽⁸⁾ の主張するような燃焼生成物であっても説明できること、風の噴射によってちぎれる海水滴の大きさは表面張力のため 1μ 以下の小さい粒子はできにく

いこと、もしこのような Köhler nuclei がつくられて
いるとしても海洋がその origin であるためには rate
of production が海面 1cm^2 当り、毎秒 10^4 個のオー
ダーとなり、このような機構は天然には考えられないと
して強く反対した。

Köhler⁽⁸⁾ は、Findeisen の反対に直に応酬し、次の
ような実験で Köhler nuclei の生成を証明しようとし
た。彼はガラス管に海水を入れ、その表面に接近してお
かれたノズルから、強い空気を吹出して吹きちぎって
みた。その結果、ノズルの風速が 25m/s を超えると初め
て大きさが 1μ 以下の小さい海塩粒子がつくられるこ
とを確かめた。しかし、このような条件がたやすく天然にお
こっているとは考えられず、自説の有力な裏付けにはほ
ど遠いものであった。Wright も Simpson の批判に対
しては、微細な海塩核が生成されるプロセスとしては
Melander effect (沸騰していないが温かい海水面から
水の蒸発にともなって、海塩粒子が空気中へ逸脱する現
象)のごときものを考えればよいと逃げていたが、この
effect もごく最近になって、J. P. Lodge, J. E. Mc-
Donald, F. Baer⁽¹⁰⁾ によって、理論的にも実験にも完
全に否定されている。

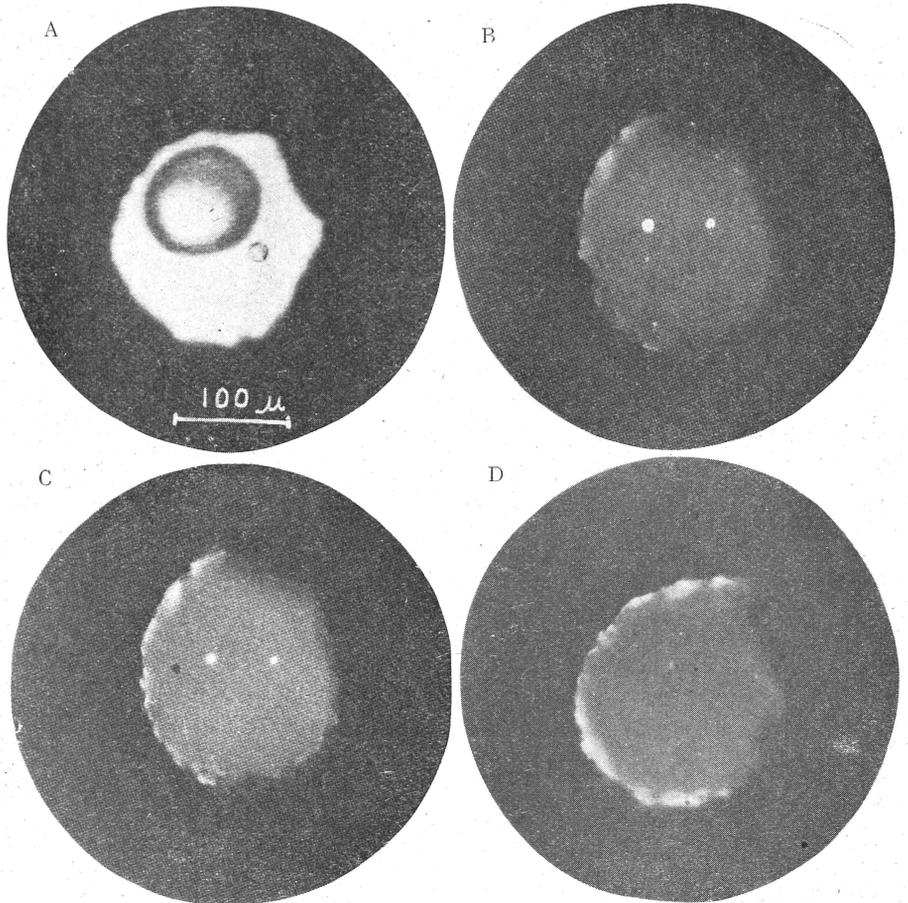
以上のごとく、海塩粒子はそれが大気凝結核としてふ

るまうために満足させねばならぬ3条件のうち、第1の
activity に関しては何等疑いはないとしても、第2~3
の点に関して多くの疑問を残しており、また反対説の主
な根拠もこれらの点についているわけである。実際、
Aitken Counter で大気中の凝結核の数を測定してみ
ると、大都市で $10^6 \sim 10^5/\text{cc}$ 、田舎の清浄な空気中で 10^5
 $\sim 10^4/\text{cc}$ も存在しているのに、凝結核の origin と考え
られる海上では、 $10^3/\text{cc}$ 以下であるという。Aitken
Counter は測定時の膨張比が自然大気中の凝結時のそれ
とかなりかけはなれているとはいえ、洋上の空気中で核
数が陸上のそれに比べ桁違いに少ないのはなっとくがゆ
かない。また、凝結核の化学組成に関する最も信頼すべ
き information として、我々は多くの地球化学者たち
による hydrometeor の化学分析の結果をあげることが
できるが、その結果も必ずしも海水の組成を検出でき
るとは限らず、むしろ、イオンの比をとると、非常に異
っていて凝結核はすべて海塩粒子でまかなわれているとい
う単純な考えに反省をうながしているようにみえる。1
例をあげると、フランスの J. Bricard⁽¹¹⁾ は、Köhler
と同じように冬期山岳にできる樹氷を化学分析し、その
結果を海洋性気団、大陸性気団、極気団に分け解折して
みたが Cl^- 含有量は気団の種類にはよらないこと、樹氷

第1図

凝結核の
Hygrometric test

- A...コロジオン膜に
附着した霧粒(明視野)
- B...R. H. 100%に
30分放置(暗視野)
- C...R. H. 90%に
30分放置(暗視野)
- D...R. H. 73%に
30分放置(暗視野)



のなかには Na はほとんど含まれていないことを報告している。

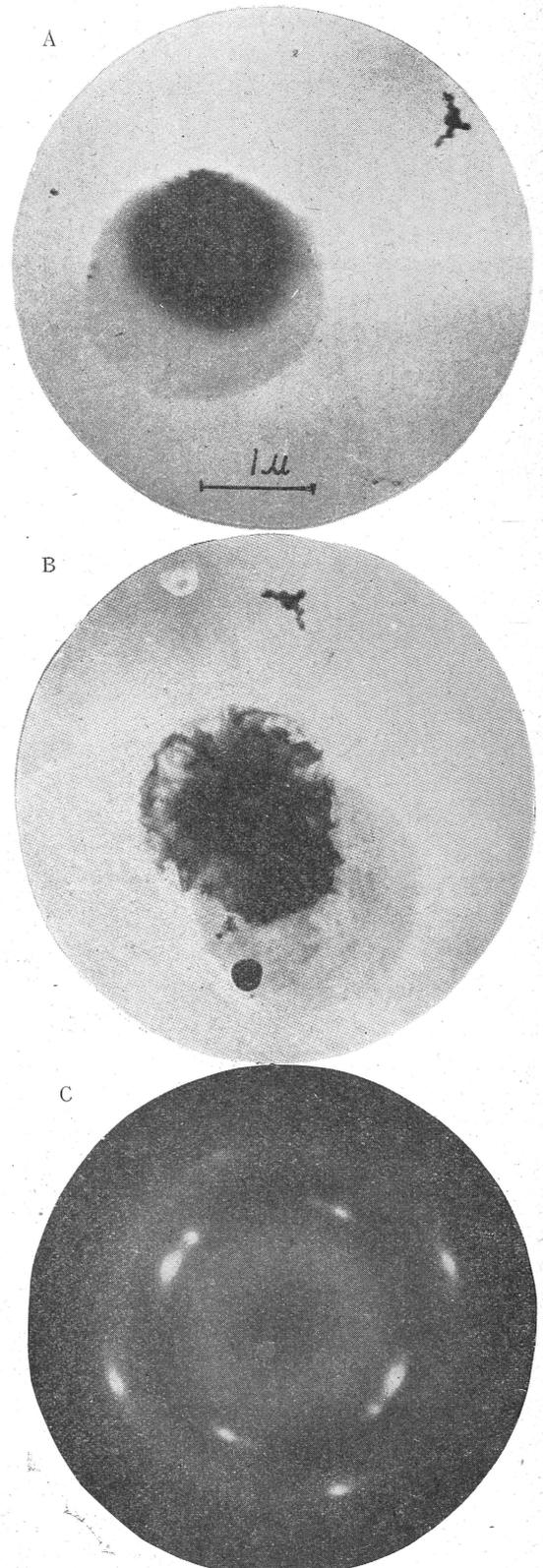
III. 電子顕微鏡による核の直接検出——海塩核か？ 燃焼核か？

凝結核の化学的組成についての正確な知識を得る手段としては、現在のところ化学分析によるのが一番であろう。しかし霧粒や雲粒だけを純粋に大気中の夾雑物から pick up して捕集することがほとんど不可能なため、核以外の他の物質の混入をさけることができない。従って分析によって得られた結果が直ちに核の組成をあらわすとは限らない。それ故、正確には雲粒又は霧粒1個1個に含まれている核を検出し、これについてその大きさや組成を明らかにしなければならない。この要求に応ずるため、電子顕微鏡、電子顕微鏡分析法、顕微化学分析法等の microtechnique がこの分野に応用され始めたのである。

高分解能をもった電子顕微鏡によって凝結核を調べようとする予備的な研究は Linke, 黒岩, 只野⁽¹³⁾, Höslér⁽¹⁴⁾ 等によって行われていたが、本格的な研究がすすめられるようになったのは1950年以後である。著者は数年来、北海道東部海岸にかゝる海霧やニセコアンヌプリ山頂の雲粒の凝結核などについて電子顕微鏡による研究をつづけてきた。その結果、常識的にはほとんど海塩粒子を凝結核として発生していると考えられていた海霧の核のなかにも、海塩核の他に多くの燃焼成生物や少数ではあるが土壌物質と思われるものが見出された。そしてその大きさは大体 1μ 前後のものが多くことを知った。それ等の結果は部分的に既に出版してきた⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾。

こゝに著者の研究の一端を紹介しておきたいと思う。

第1図Aは、現地で電子顕微鏡用の試料支持台（トレーガーという）に張られたコロジオン膜の上に、大小2個の霧粒が捕えられた瞬間の光学顕微鏡写真である。霧粒を捕捉して Sampling の終わったトレーガーは直ちにデシケーターのなかにしまわれるので霧粒は蒸発し、そのあとに凝結核を残す。研究室でこのあとを電子顕微鏡で調べればよいわけである。電子顕微鏡にかける前にこの核の activity を調べてみよう。Bは、このトレーガーを湿度100%の容器に封入して約30分放置し、光学顕微鏡で写真をとったものである。もと霧粒がついていた同じ場所にちやんと水滴が成長しているのがみられる。もとの写真で、大きい方の霧粒は小さい方のその約10倍（体積では1000倍の大きさを持っていたがBではほぼ同じ大きさに凝結している。次にこのトレーガーを湿度90%の容器に移して約30分放置すると水滴はやせて直径は少し小さくなる（C）。更に同じ試料を湿度73%の容器に移し30分放置するとDのごとく水滴は蒸発して消えてしまう。すなわちこの霧粒の核は湿度73%では水蒸気を凝結しないのである。写真はいずれも暗視野照明法がと



第2図 海塩核の変態

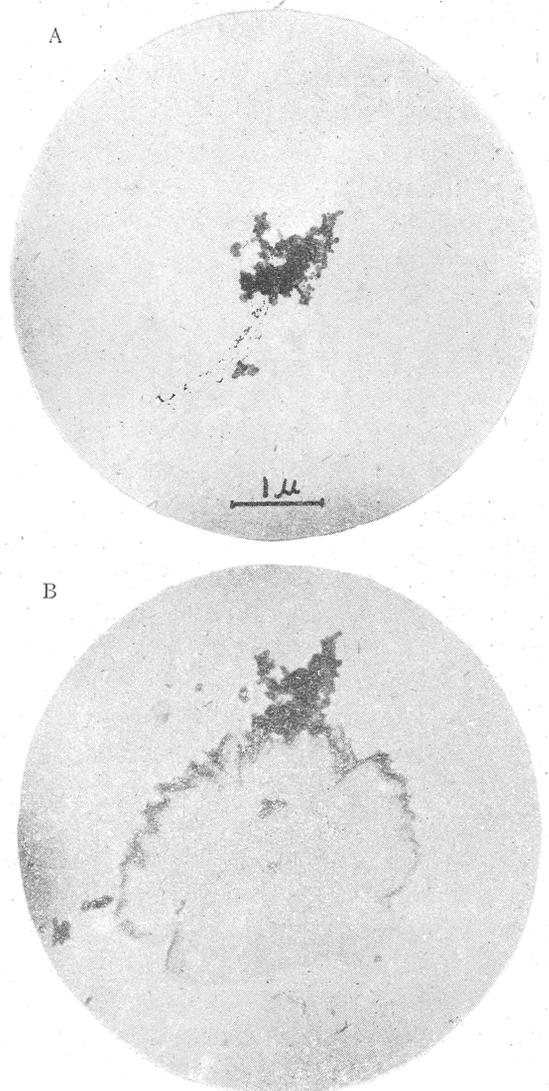
- A……最初の電子顕微鏡写真
B……水蒸気を凝結させた後の変態
C……同上 micro-diffraction pattern

られているのでもう少しでも水蒸気が凝結して水滴になれば光を散乱し、容易にみとめることができるはずである。このようにして、天然の霧核が湿度何%になれば、activate されるかを知ることができる。次に電子顕微鏡写真の数例をかゝけておこう。第2図のAは代表的な海塩核の写真である。これを海塩核と判定したのは次のような理由による。この試料を一たん電子顕微鏡の外へ出して、この核の上に人工的に水蒸気の凝結をおこさせる。光学顕微鏡でのぞいているとこの核の位置にもとのように霧粒が成長してゆくのが見られる。次にこの核を乾燥させて再び電子顕微鏡にかけて写真をとったのがBである。核はAと比べると全く形が変わっていることがわかる。このことはAの核が凝結した水にとけて新しく形を変えたことを意味している。これは水にとける核である。次に電子顕微鏡をそのまま電子廻折装置に切替えてこの核の micro-diffraction pattern をとって見たのがCである。規則正しい食塩の cubic system の結晶構造を示すラウエスポットがみとめられる。このようにしてAは海塩核と断定出来たわけである。

第3図、Aは燃焼核と思われるものの代表的なものである。形のうえからみても第1図の海塩核とは全く異っていることがわかる。この核にも人工的に水蒸気の凝結をおこさせ、再び写真をとって見たが、第2図Bのように形には全く変化はなかった。だからこれは水に溶解しない核である。そして micro-diffraction pattern も結晶に特有なラウエスポットはみられず無定形構造を示した。これだけでも燃焼核と判定してもよいのであるが、更に、光学顕微鏡のもとで、micro-manipulatorにより10%の硝酸をこの核に加えて反応させ、今一度電子顕微鏡にかけ写真をとったのが第3図のBである。核の一部に何か硝酸と反応する物質が含まれていたとみえて溶解物が流れ出しているが、核全体としてはほとんど硝酸には犯されていない。だからこの核は燃焼生成物であると断定したのである。

第4図、Aは土壤核の代表的なものである。この核も水に溶けない固体の核であるがこれに10%の硝酸を加えてやるとB図のごとくその縁辺は浸蝕されて崩壊し、溶解物が周囲に広がっている。

著者はこのようにしてこれまでに調べてきた海霧の凝結核を、海塩核、燃焼核、土壤核の3種類に大別して分類してみると、現在のところ海塩核が40%、燃焼核が50%、土壤核が10%となり、その大きさの分布を示したのが第5図である。我々の調べた核の数は二百数十個にすぎず、また天然の霧粒は1cc中に 10^2 個のオーダーで含まれていることを思えば最終的結論は下せないが、海霧の凝結核は海塩粒子だけではないということはいえるであろう。電子顕微鏡下にみられる核の形は複雑であって、その大きさを正確に表現することはできないが、第



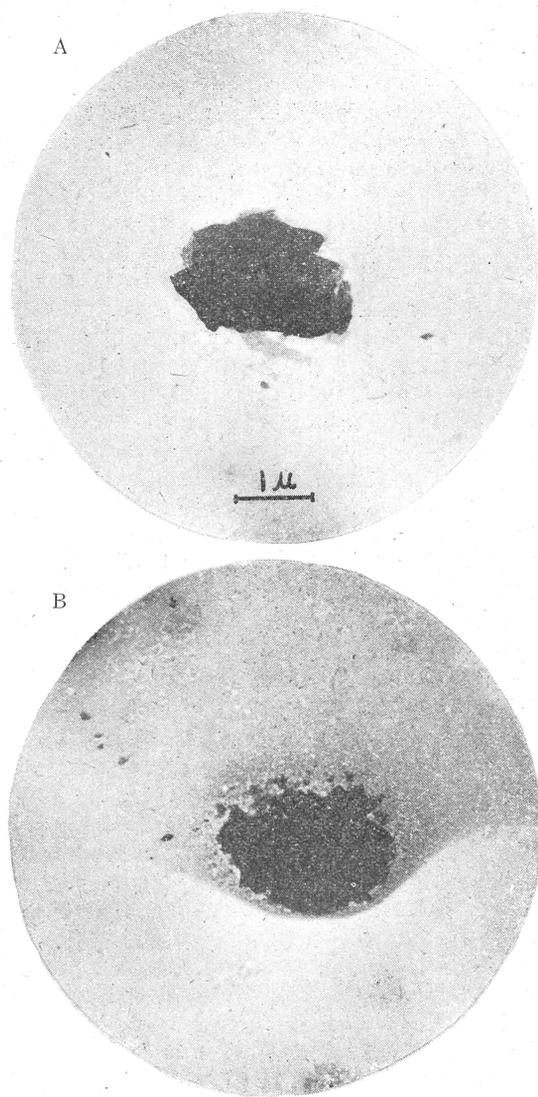
第3図 燃焼核の酸処理

A……処理前
B……10%硝酸で処理したあと

5図から、燃焼核は大体 $0.2\sim 1\mu$ の範囲のもの、海塩核は $1\mu\sim 3\mu$ の範囲のものが圧倒的に多いことがわかる。

日本における他の多くの研究者たち、荻原、大喜多⁽¹⁸⁾、山本、大竹⁽¹⁹⁾、熊井⁽²⁰⁾、磯野⁽²¹⁾等によって凝結核雪華の中心核に関するすぐれた研究がなされているがそれらの結果もまた、海塩核の他に多くの燃焼核、土壤核の存在を認めている。

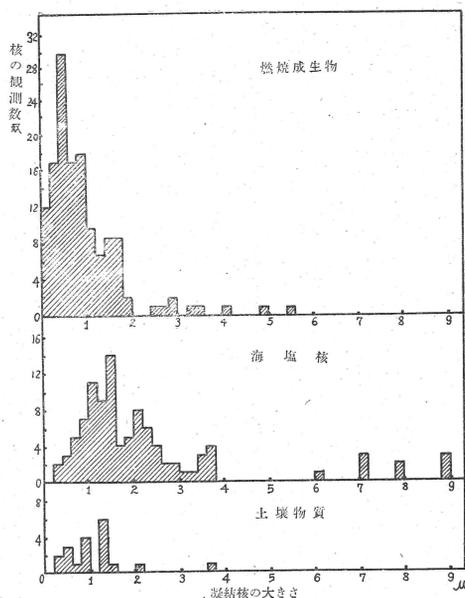
これに対し、全く対照的な結果を出しているのはフランス、イタリーの研究者たちである。Dessens⁽²²⁾が針金の棒に非常に細いもの糸(半径 $=0.01\mu$)をはって田舎の清浄な空気中にさらして光学顕微鏡で調べてみると、半径が $10\mu\sim 0.1\mu$ 以下に及ぶ小さなdropが無数に附着しているのをみとめた。これを乾燥してみると大き



第4図 土壌核の酸処理

A……処理前
B……10%硝酸で処理したあと

な drop は突然結晶化して立方状の結晶になるものもあったが 1μ 以下の微滴は湿度が $30\sim 50\%$ 位になっても容易に結晶化せず液滴のまゝとゞまっているのをみた。彼はこのような結晶は NaCl であり、液滴は NaCl の過飽和溶液と考えた。しかし粒子の大きさが 1μ 以下になると光学顕微鏡でははっきりと形をみることはむづかしく粒子のまわりに生ずる光の廻折からその大きさの見当がつけられるにすぎない。Dessens はこれら微細な核の実体をもっとはっきりみるために、Lafarque, Stahl 等とともに、くもの糸の方法によって、フランス各地方から sampling してきた凝結核を電子顕微鏡にかけて写真をとってみた。その結果、形の上から判定したところではほとんどすべて海塩の結晶とみられるものばかりであ



第5図 海霧の凝結核の構成

た⁽²³⁾。その結果から彼等は大气凝結核は大きさが $1\mu\sim 0.01\mu$ に及ぶ海塩粒子、すなわち Köhler nuclei が主役を演じており、他の種類の粒子の contribution は考えられないと結論している。また、Facy⁽²⁴⁾(²⁵)は、フランスの Trappe 地方で採集した核はほとんど全部海塩核であり、電子顕微鏡による所見では、大きさが $1\mu\sim 0.01\mu$ の核は、 $MgCl_2$ 、 $1\mu\sim 10\mu$ の大きさの核は大部分が NaCl の結晶を主体とするものであったが、まれに、硫酸塩、又は炭酸塩、あるいは両者の混合物がみられたと報告している。彼等は我々が行ったような判定の手続きによらず電子顕微鏡で写し出された核の外形だけからその組成をすべて海塩核と判定しており、多分に凝問な点もあるが、それはともかくとして、Köhler nuclei の存在を直接検出によって裏付けようとしているのは甚だ興味深いことである。イタリーの Ariverti⁽²⁶⁾も、Dessens と同じ方法で各地で凝結核の検出を行い、その結果フランスの研究者たちと同じく海塩核説の立場をとり、我々の結果に対して批判を加えている。

最近、質量が $10^{-10}gr$ 以上の比較的大きな海塩粒子が温暖な雲から降雨をひきおこす重要な一つの因子であることが認められるようになってから、大気中に懸垂している海塩粒子の濃度及びそのスペクトルに関する研究が Woodcock⁽²⁷⁾、Crozier, Seely⁽²⁸⁾、Twomey⁽²⁹⁾等によって行われるようになった。しかし、これらの研究に用いられている海塩粒子の捕捉と検出の technique は、州として目方が $10^{-10}g$ 以上の大きな粒子に限られているため、大気中に Köhler nuclei が存在しているか否かについては何の知識もうることは出来ない。そこで、

Junge⁽³⁰⁾⁽³¹⁾ は、大気中に浮んでいるエアロゾルを半径が 1μ 以上のものとそれ以下のものとに分別して捕集し、その各々の group について電子顕微鏡、電子廻析を補助手段とし、化学分析を行った。観測は最初、ヨーロッパ大陸の汚染された continental air mass について行い、後にアメリカ東部海岸での maritime air mass について行われた。その結果、気団の種類如何にかかわらず海塩核は半径が 1μ 以上の aerosol の group のなかだけに発見された。彼は風力が 5 以上のとき海面から大気中に搬出される海塩粒子の大きさは、直径にしてほぼ 2μ 以上の大きなものだけに制限されるであろうと考えている。このことは、すでに Simpson が海塩核説への反対理由の一つとして強調してきたことであるが、海風のなかにおいてさえも 1μ 以下の Köhler nuclei は存在しないという彼の結論は、フランスの研究者の結果と比べて甚だ興味あることである。

最後に燃焼核説を主張するソ連の N. S. Smilnov 及びその協力者⁽³²⁾ の研究をあげておこう。彼等は限外顕微鏡 ($1\mu \sim 0.01\mu$ までの粒子が観測できる) 及び高性能の核計数器を用いて大陸内部における霧の発生と気象条件との関係を調べたところ、霧の発生及び大気中における凝結核の数が工業中心からの風向や風速と密接に関連することを多くの観測事実によって確認し、大気凝結核の起源としては海洋よりも人間の生成活動がより大きな役割を演じていることを強調している。

IV. 海塩核の成生と搬出機構に関する

最近の研究

以上のごとく、電子顕微鏡による凝結核の最近の研究は、新しい知見をあげつゝあるが現在のところ、海塩核説に対し批判的な結果と肯定的な結果とがあり、まだその帰すは明らかでない。しかしながら、海塩粒子の凝結核としてのすぐれた能力と海洋が地球表面で占める広大な面積とを考えると大気凝結核としての役割をむげに否定するわけにはゆかないであろう。我々は、ここで再び Findeisen や Simpson の強い反対の理由を思い出してみよう。それは、海塩粒子の大気濃度が非常に少ないこと、海水の機械的な disintegration では、Köhler の主張するような核は成生され難いこと、もしそれが可能だとしても、海面におけるその rate of production が我々の常識を超える量になることなどであった。強風の日、海岸地方では海水のしぶきが盛んに放出され、それが風によってかなり奥地にまで輸送されてゆくことは潮風の問題として古くから知られていた。しかし、どのような大きさの海塩粒子がどのくらいの濃度で搬出されているか、気象学者のつよい注意をひくようになったのは、ごく最近のことである。A. H. Woodcock その他の人々の研究がそれであるが、しかしこれらの結果から得られる大気中の塩粒子の information は大きさが $2 \sim 3\mu$ 以上の大きいものに限定されていた。ところが、くもの糸による捕捉と電子顕微鏡による研究から大きさが 1μ 以下の Köhler nuclei が大気中に存在し、且つそれらが大気凝結核の主役を演じていることを新しい立場から主張しているのが前述のフランス、イタリアの研究者たちである。もしそれが事実ならば、そのような海塩粒子は Findeisen, Simpson, Junge 等の反対に矛盾しないメカニズムで大気中に搬出されていなければならない。研究は当然、海塩核の成生機構にまでむけられてゆく。

海水の disintegration や Melander effect によらず Köhler nuclei が成生される一つのプロセスとして次のようなことが考えられる。それは海面から放出された海水滴が空気中で蒸発固化するときに無数の微粒子に分裂してしまうという考えである。海水は溶解度を異にする各種の塩類を含んでおり、結晶化が別々におこって分裂する“可能性”があるわけである。この考えは既に三宅⁽³³⁾ によって suggest されていて、新しいものではないが海塩核説を主張する Facy⁽³⁴⁾ はこのことを実証しようとして次のような実験を行った。彼は細長い金属の筒を加熱し、そのなかに海水を噴霧して強制的に蒸発させてみた。その結果、大きな海水滴は乾燥の際に分裂しなかったが、中位の滴は時によって約 100 個位の fragment に分裂し、その際できる微粒子のなかには、円筒内部の異常に乾燥した気流にふれているにもかかわらず、固化しないで drop のまゝでいるものもあることをみた。彼はこの実験から適当な大きさの海水滴の蒸発によって微細な海塩核が生成される可能性があるといっているが、このような異常な条件が天然に広く分布していることはあまりないであろう。著者⁽¹⁵⁾ もかつて、細いガラス繊維のうえで海水滴を蒸発させてみたことがあるが分裂は確認できなかったし、Dessens⁽²²⁾ もくもの糸の上で NaCl の溶液の drop を結晶化させたとき分裂はごく稀にしか観測していない。

空気中に懸垂した海水滴が蒸発するとき細かい微粒子に分裂するかどうかは甚だ疑問であるが、物体の表面、たとえば、ガラス板の上で蒸発するときは、無数の細かい fragment に分裂することはありうる⁽³⁵⁾。このような事実から、最近、ソ連の Grabovskiy⁽²⁶⁾ も海水滴の空中分裂を仮定して、大気凝結核の起源は海にありとし、1 年間に全世界の海面から大気中へ渦動輸送されてゆく塩素量を計算した。彼は風によって海塩粒子が海面から大気中へ搬出されてゆくことを海塩の“機械的蒸発”——Mekhnicheskogo Ispareniya——とよんでいるが、風速が 16 m/s を超える海域からの機械的蒸発量は、年間 $8 \cdot 10^9 \text{ ton}$ に達する。一方、hydrometeor として年間、地球表面に降ってくる塩素量は $1.4 \cdot 10^9 \text{ ton}$ であるから海洋は十分大気凝結核の起源としての役割を果しているとは彼は主張する。彼の論文は Simpson と同じ論法で逆に、海塩核説を肯定しようとするもので甚だ興味深いものであるが、しかし海塩の機械的蒸発量と、降水の含有塩分量との間に矛盾がないとしても、そのことから直に大気凝結核が海塩粒子でまかなわれているとするのは早計であるように思われる。

それならば、海塩粒子はどのような機構で海面から大気中に放出されているであろうか？

スクリップス海洋研究所の W. C. Jacobs⁽³⁷⁾ は sea haze の観測の際に、また植物学者の S. G. Boyce⁽³⁸⁾ は海岸植生の研究の途中で、海面から大気中に搬出されてゆく海塩粒子は、海水が風でふきちぎられるよりも海面に生じた泡が破裂する瞬間に小さな drop が放出されることを suggest し、また観測も行った。しかし、これらの観測はもっぱら間接的方法であってしかも giant sea salt nuclei しか検出できなかったから、Köhler nuclei が確かに成生されているか否か明らかでなかった。

Facy⁽²⁴⁾ は、海水滴の蒸発分裂では Köhler nuclei の成生をうまく説明できなかったため、この気泡の破裂に注目して次のような実験を行った。タンクに入れた海水を人工的に泡立たせ、つぎつぎと消えてゆく泡の上方で

空気を吸いこみ電子顕微鏡用トレーガーに核を捕捉して調べてみた。その結果、コロジオン膜のうえに大小さまざまな粒子が観測されたがそのうち、大きなものは明らかに NaCl の結晶であったが、大きさが $1\mu-0.01\mu$ にわたる小さい粒子は、明らかに電子顕微鏡内部の高真空にさらされていても依然として液滴のまゝとままとっているのがみられた。彼はこのような drop は、海面にできた気泡の膜がだんだん薄くなって光の干渉縞があらわれ、やがて破裂する瞬間に大気中に放出されるだろうと考えた。そして彼はこのような薄膜になると溶けているイオンの表面吸着量の差から NaCl が脱落して膜はほとんど $MgCl_2$ だけとなるから、このようにして成生される drop はほとんど "MgCl 核" であり、かつて Dessens が野外の非常に乾いた空気中で見出した液滴核こそこのようなプロセスでつくられたものであろうとのべている。しかし、Sylvan Rubin⁽³⁹⁾ は、工業中心の燃焼成生物で汚染された大気中でも無数に液滴核が存在することをみとめているので、"liquid drop" だからといって必ずしも海洋性のものとはいえないであろう。

こうなると、泡の破裂の瞬間を高速度写真にとってみてみる。最近、Woodcock とその協力者⁽⁴⁰⁾ 及び Knelman 及びその協力者⁽⁴¹⁾ は、海水の泡の破裂の瞬間を高速度映画で撮影して海塩核成生の機構を調べた。その結果、泡は破裂の瞬間に数個の小さい水滴を jet のように数 cm の高さに放出するが、倍率が小さいため、Köhler nuclei が同時に成生されているか否かは確認することはできなかった。

次に、巧妙な方法で泡の破裂にともなう Köhler nuclei の成生を実証しようしたのは B. J. Mason⁽⁴²⁾ である。彼は cloud chamber のなかで、蒸溜水の泡と海水の泡とを別々に破裂させ、そのとき発生する霧を観測した。その結果、蒸溜水の泡の破裂では全く霧はできなかったが海水泡の破裂では濃い霧が発生し、直径が 3 mm の泡1個の破裂によって約 100~200 個の核が放出されその大きさは、正に Köhler nuclei に相当するといっている。

以上のごとく、凝結核の問題は多くの人々により、新しい idea によって研究されつゝあるが、その解決はなお一層多くの実証的研究にまたねばならないであろう。なぜならば天然現象のスケールは我々の想像もつかぬほど大きく且つ細かいからである。

著者の凝結核に関する研究は、大部分が文部省の科学研究費によった。これなくしてはこの研究の遂行はほとんど不可能であったであろう。多くの理解を寄せられた文部当局並びに日本気象学会に対し心から謝意を表す次第である。

文 献

- (1) Köhler, H., 1922 Zur Kondensation des Wasserdampfes in der Atmosphäre. Geophys. Pub. 2, 6.
- (2) Köhler, H., 1936 The Nucleus in and the Growth of Hygroscopic Droplets. Trans. Faraday Soc. 32.2 1152
- (3) Köhler, H., 1950 On the Problem of Condensation in the Atmosphere. Nova. Acta. Reg. Soc. Sci. Upsal. 14 No. 9.
- (4) Wright, H. L., 1940 Atmospheric Opacity at Valentia. Quat. J. R. M. Soc. 66. 66.
- (5) Owens, J. S., 1926 Condensation of Water from the Air upon Hygroscopic Crystals. Proc. Roy. Soc. A 110, 738.
- (6) Simpson, G. C., 1941 Sea-Salt and Condensation Nuclei Quat. J. R. Meteor. Soc. 67, 290.
- (7) Simpson, G. C., 1941 On the Formation of Cloud and Rain Drop. Quat. J. R. Meteor. Soc. 67, 99.
- (8) Junge, V. C., 1936 Zur Frage der Kernwirksamkeit des Staubes. Meteor. Zeit. 53, 168.
- (9) Köhler, H., 1941 An Experimental Investigation on Sea Water Nuclei. Nova Acta. Reg. Soc. Sci. Upsal. 12, No. 6.
- (10) Lodge, J. P., McDonald, J. E., E. Baer., 1954 An Investigation of the McLeod Effect. J. of Meteor. 11, 318
- (11) Bricard, J., 1940 Recherches des Corps qui se trouvent dans le Givre Rev. Scientifique. 1, 35.
- (12) Linke, F., 1943 Kondensationskerne im Elektronenmikroskop sichtbar gewachst. Naturwiss. 31, 230.
- (13) 黒岩大助 1944 超電子顕微鏡による霧核の研究 千島及び北極海塩の霧の研究 48.
- (14) Hosler, C. L., 1951 Preliminary Investigation of Condensation Nuclei under the Electron Microscope. Trans. Am. Geoph. U. 31, 707
- (15) 黒岩大助 1950 電子顕微鏡による霧核の研究 防霧体の研究 I
- (16) Kuroiwa, D., 1951 Electron-Microscope Study of Fog. Nuclei. Jour. of Meteor. 8, 151
- (17) Kuroiwa, D., 1953 Electron-Microscope Study of Atmospheric Condensation. Nuclei. Studies on Fogs. (Ed. T. Hori)
- (18) Ogiwara, S., T. Okita., 1952 Electron-Microscope Study of Cloud and Fog Nuclei. Tellus. 4, 233.
- (19) Yamamoto, G., T. Otake 1954 Electron-Microscope Study of Cloud and Fog Nuclei. Rep. of Rain-Making in Japan. 1, 132.
- (20) Kumai, M., 1951 Electron Microscope Study of Snow Crystal Nuclei. Jour. of Meteor. 8, 151.
- (21) Isono, K., 1953 An Electron-Microscope Study of Ice Crystal Formation. Jour. of Meteor. Soc. Japan 31, 318.
- (22) Dessens, H., 1944 The Use of Spiders' Threads in the Study of Condensation Nuclei. Quat. J. R. Meteor. Soc. 75, 23.
- (23) Dessens, H., Lafargue, C., R. Stahl 1952 Nouvelles Recherches sur les Noyaux de Condensation. Ann. de Geophys., 8, 1.
- (24) Faey, L., 1951 Eclatement des Lames et Noyaux de Condensation. Jour. Sci. de la Meteor. 3, 86.
- (25) Faey, L., 1952 Forme des Microcristaux les Noyaux de Condensation. Jour. Sci. de la Meteor. 4, 9.
- (26) Aliverti, G., 1954 Untersuchungen über die flüssige Komponente des atmosphärischen Aerosols. Arch. fur Meteor. Geophys. Biok. A 7, 252.
- (27) Woodcock, A. H., 1952 Atmospheric Salt Particles and Raindrops. Jour. of Meteor. 9, 200.
- (28) Crozeier, W. D., Seely, B. K., 1949 Some Techniques for Sampling and Identifying Particulate Matter in the Air. Resear. and Dev. Divi. Techn. Rep. No 3 NR.
- (29) Twomey, S., 1954 The Composition of Hygroscopic Particles in the Atmosphere. Jour. of Meteor. 11, 334.
- (30) Junge, C., 1953 Die Rolle der Aerosole und der gasförmigen Beimengungen der Luft in Spurenstoffhaushalt der Troposphäre. Tellus 5, 1.
- (31) Junge, C., 1954 The Chemical Composition of Atmospheric Aerosols, I. Mesurment at Round Hill Field Station. June-July 1953. Jour. of Meteor. 11, 323.
- (32) Smirnov, N. S., et al 1954 K Voprosu O Prishozhdenii Yader Kondensatii. Izv. AkII SSSR 3, 293.
- (33) 三宅泰雄 1939 雨水の化学 気象集誌 17, 20.
- (34) Faey, L., 1951 Embruns et Noyaux de Condensation. Jour. Sci. de la Meteor. 3, 62.
- (35) 黒岩大助 1955 台風15号による送電線の塩害と線ガラスに附着した塩の結晶 天気 2, 10.
- (36) Grabovskiy, R. I. 1952 Mirovoy Okean kak Istochnik Atmosferykh Yader Kondensatii. Izv. AkII SSSR ser Geofiz. 2, 56.
- (37) Jacobs, W. C., 1937 Preliminary Report on a Study of Atmospheric Chlorides. Month. Weath. Rev. 65, 147.
- (38) Boyce, G. S., 1951 Source of Atmospheric Salts Science. 113, 620.
- (39) Rubin, S., 1952 Liquid Particles in Atmospheric Haze. Jour. of Atmos. and Terre. Phy. 2, 130.
- (40) Woodcock, A. H., et al 1953 Giant Condensation Nuclei from Bursting Bubbles. Nature 172, 1144.
- (41) Knelman, F., et al 1954 Mechanism of the Bursting of Bubbles. Nature, 173 261.
- (42) Mason, B. J., 1954 Bursting of Air Bubbles at the Surface of Sea Water. Nature 174, 470.