

小野 晃 (名大 水圏研)

1. はしがき

「火山と気候」というテーマをtentativeなものとして提出した。ところが考えてみると、セントヘレンズ火山噴火のブームで、「火山と気候」に関しては、加藤周一ではないが、敦島の大和心を人間わば朝から匂う山ほど解説があり、私は付け加える新しいことばを持ちあわせていない。そこで表題を変更することを許していただいて、「私に成層圏エアロゾルが見えてきた過程」について少し話をしてみたい。火山噴火に伴う成層圏汚染の遠隔探査についてはレーザーレーダーが大活躍中であるが、ここで私はレーザーレーダーでは「みる」ことができない「成層圏エアロゾルの1つの側面」について私が直接「みた」ことを中心に話をすすめる。

2. Dr. E. G. Bowenの想像力—流星塵起源の雨

雲降水の物理学の分野の研究をしてきた私が、「成層圏エアロゾル」に出会ったそもそものきっかけはDr. E. G. Bowen(オーストラリア連邦科学産業研究機構: CSIRO, 雲物理研究所)の「流星塵起源の雨」(1953, 1956)にさかのぼる。

日本など中緯度地方で降る雨の多くは、雲の上部が零度以下の過冷却の水雲になっていて、この部分に氷晶が発生することが前提となっている。過冷却の水雲のなかには氷晶が発生するためには、「氷晶核」と呼ばれる特別な機能を持つエアロゾル粒子が必要で、「氷晶核」について発生源や物質などその実態を解明することは1960年代前半の重要な研究課題であった。私達日本のグループは、野外観測や室内実験から大気中氷晶核の発生源は地表土壌に含まれている粘土鉱物であるという結論を得ていた。ところがDr. Bowenはこれに対して、全く異なる宇宙起源の氷晶核—流星塵説を唱えていた。彼は世界各地の約300の観測所の日降水量の50年にわたる資料を統計的に処理し、毎年ある特定の暦日に世界各地で降水量が高いことを見つけ、この降水量の特異日が「流星雨」と相関のあることに気づいた。Bowenは世界各地で暦日に降水量の特異日があるのは、流星シャワーに起源する流星塵が氷晶核として効くためであろうと想像した。しかしこの流星塵説は説明できないいくつかの事実があり全面的な支持は得られなかった。同じ研究所のDr. Biggは隕石を用いて流星塵の氷晶核としての性質を調べる実験を行った。流星の発光高度に近い低圧下で隕石を加熱蒸発し、再凝結で発生した微粒子は氷晶核としてすぐれた能力を持つことを見出した。当時Dr. Bowenの研究所に滞在していた私は彼の実験に興味を持ち、隕石を構成するどのような鉱物種が有効な氷晶核としての能力を持つかを知るため、同じ隕石を用いて追試を行った。しかし結果はネガティブで、同時に彼の実験は発光高度を低く見積り、酸化雰囲気中での実験となり、鉄の酸化物ができてこれが氷晶核として効いていたことをつきとめることができた。

しかし彼はなかなか降参しなかった。そこで大気球を使って成層圏の現場で粒子を採集し、氷晶核としての性質と物質構成を調べることで決着をつけることになった。

実際にはじめて大気球をあげたのは1969年3月。はじめに採集したサンプルを電子顕微鏡を通して見たのが図1に示すような粒子であった。その大部分の粒子はまさに「硫酸粒子」であった。これらの粒子には氷晶核としての能力はなく、以来私はこの成層圏エアロゾル粒子を追い求めることになった。このように私と成層圏エアロゾルとの出会いは、Dr. Bowenの想像力にのせられた自然氷晶核の起源に因る研究のspin offとして始まったのである。

3. 個々の成層圏エアロゾル粒子の物質構成

成層圏エアロゾルの実態が知られるようになったのは、航空機や大気球を用いた成層圏での現場での直接観測によることが大きい。

私達の成層圏エアロゾル粒子の研究は、*impactor*で集めたエアロゾル粒子を電子顕微鏡の観察を通じた粒径分布、形態分析が主体であった。

当時成層圏エアロゾル粒子の化学組成に関する情報としては、*bulk sample*の化学分析による平均的組成とか、数濃度の測定がそれぞれ独立に行われていた。1970年代の初め、私達は個々の粒子について物質構成を知ることが成層圏エアロゾル粒子の生成消長機構を知る上で重要と考え、電子顕微鏡を利用した試薬薄膜法を開発した。

成層圏エアロゾル層を構成する粒子は $0.1\mu\text{m}$ 程度の粒径のものでその mass は 10^{-15}gm と極めて微量である。従って通常の化学分析では、これら一つ一つの組成を検出することはできない。

そこで、私達は成層圏エアロゾル粒子として想定されている *sulfate* 粒子一つ一つを検出する方法として、塩化バリウム薄膜法を開発した。

真空蒸着で塩化バリウム薄膜をつくり、この上にエアロゾル粒子を捕集する。次に *octanol* 蒸気処理を行って、塩化バリウム薄膜上で *sulfate* 粒子との化学反応をおこすと粒子を中心に硫酸バリウムが析出する。この方法を用いると 10^{-7}gm 以上の SO_4^{2-} イオンを含んだ *sulfate* 粒子一つ一つの検出ができる。

成層圏で直接採集したエアロゾル粒子にこの塩化バリウム薄膜法を適用した結果、その主要な物質は硫酸あるいは硫酸アンモニウムであることを直接示すことができた。

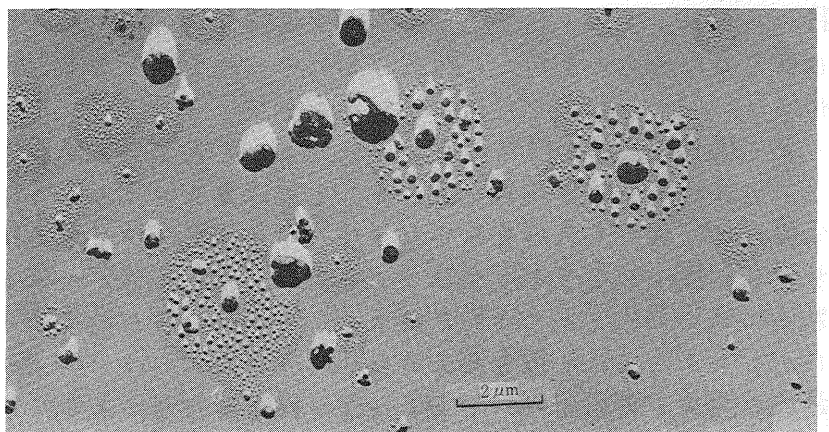
ところで *sulfate* 粒子を構成する SO_4^{2-} イオンがどのような陽イオンと結合しているか、この化学形を含む存在状態を観測からおさえることは成層圏エアロゾルの生成消長機構の解明に有力な手がかりとなる。特に *sulfate* 粒子の成長に果す NH_3 の役割が注目されている。私達は NH_4^+ 粒子一つ一つを検出する方法として *sodium tetraphenylborate* ($\text{Na}[\text{B}(\text{C}_6\text{H}_5)_4]$) 薄膜が利用できることを見つけた。これから更に成層圏の *sulfate* 粒子の内部構造を詳しく知ることができると思う。

塩化バリウム薄膜法はすでにのべたように *sulfate* 粒子一つ一つの検出ができるので、成層圏のみならず対流圏における *sulfate* 粒子の挙動が実によく見えるようになった。

まず都市は *sulfate* 粒子の強力な発生源であることや、これら *sulfate* 粒子は雲粒形成の際の有効な凝結核として働くことなどを明らかにすることができた。

また南極やヒマラヤのように人間活動から遠くはなれた地域でも、*sulfate* 粒子は主要なエアロゾル粒子として普遍的に存在していることを観測から明らかにすることができ、その全体像をつかむことができるようになった。

以上さまざまではあるが「みたいもの」を「みる」新しい手段を手にした結果、自然について新しい事実を知ることができた私の研究のうちのうちをお見せした。



成層圏エアロゾル粒子の電子顕微鏡写真