

## 煙とガスと放射能を追う (2)

—湿潤条件での大気汚染の測定と数値計算—\*

吉川 友章\*\*

### 1. 汚れた霧と雨の測定

1974年7月、平素は大気汚染の少ない北関東の山ぞいを始め、東京周辺で、霧雨の中を登校中の学童約3万人が目や喉に刺激を感じ、光化学スモッグに次ぐ新しい型の大気汚染として、大きく報道された。すでに静岡県、山梨県などでは、前年から小人数の被害が出ていたため、環境庁では筆者が担当して「湿性大気汚染」と名づけ、関係都県の協力のもとに、実測調査を開始した。地上で採取した雨や係留気球で採取した雲水の化学分析から、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、アンモニアなどがばいじんとともに水滴に取り込まれ、ばいじん中の重金属の触媒効果により、硝酸、硫酸その他の刺激性物質を生成していることは推定できたが、要因物質や反応機構は複雑で、現在でもこれを予測、防止するための理論やモデルは確立されていない。

欧米では、工業地域からの大気汚染物質が寒帯前線域に移流して、いわゆる「酸性雨」の要因となって森林や湖沼の生態系を破壊しており、いま深刻な国際問題となっているが、わが国では、こうした慢性被害よりも、住民の急性症状が先に社会問題となった。その原因として、わが国は北欧やカナダに比べて雨量が多く、樹木に着いた降り始めの汚染物質がすぐ洗い落とされること、閉ざされた湖沼が少なく、急な河川によって汚染が短期間に海へ流れ出ること、土壌がもともと酸性よりで、植物が酸に強いことなどが指摘されている。しかし最近では、杉林に大量の立ち枯れが出始めたという報告もあり、酸性雨との関係が調査されている。

気象研究所に移った筆者は、酸性降雨研究の前段階として、1984年より4年計画で大気汚染物質が海上を移流するときの挙動の解明とモデル開発をめざした研究を担当し、湿潤状態でのガス状あるいは粒子状の大気汚染物質のほか、微水滴の粒径別空間濃度分布の測定を行った。特に、この目的のために開発した測定装置と実験装置では、映像解析や精密空調などの最新技術を導入して、貴重なデータを自動収録できるようにした。

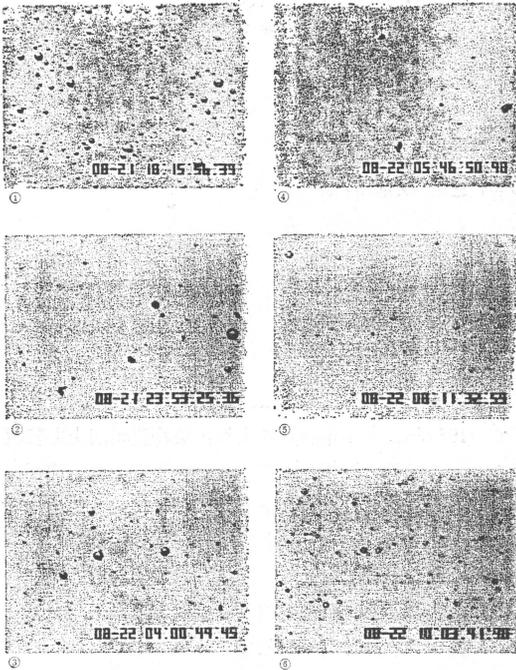
その一つは全水分検測装置で、現場に置いた検測部が、気温、露点温度をMTに連続記録するとともに、インパクターによりフィルム面に微粒子を付着させ、裏側から顕微鏡を通した映像をVTRに録画する。フィルム面は任意の時間ステップで移動し、粒子が十分付着すると、次の新しい面が変わる。VTはのちほど研究室の解析装置により、粒子がほどよく着いた画面を選んで、粒径別に自動計数される。なお、解析装置は、粒子の大きさだけでなく、色、形も識別するため、不定形の固体粒子と球形の微水滴を区別して数えることもできる。フィルム上の微水滴の直径と、実際の水滴の直径の関係は、前もって実験で調べてあり、インパクターの流速、開放時間もわかっているため、水滴や微粒子の大気中の空間密度が計算される。第1図と第2図はこの装置を用いて、函館七重浜で収録したVTR画面と、微水滴の解析結果を示す。

さらに別のプロジェクトでは、インパクターに高速シャッターをつけた検測装置を作り、航空機に搭載して雲の中を飛び、雲粒の水平分布を測っている。また、VTRの代わりに、テレビ送信器をつけた検測部をラジオゾンデとともに気球につけて飛ばし、雲粒の高度分布を地上で受信、録画する方式も使われている。

もう一つ、湿った大気汚染研究のため開発した実験装置として、水分取り込みチャンバーがある。二つの同じ

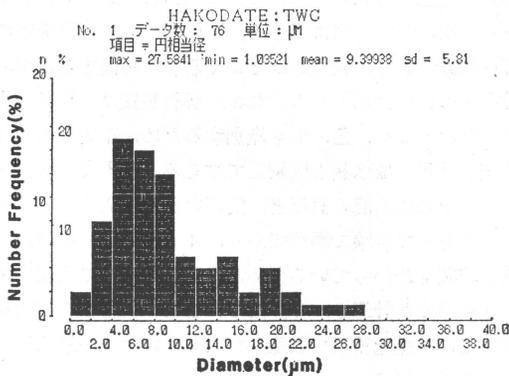
\* Study on smoke, gas and radioactive pollutants (2)—Measurement and computation of air pollutants in the wet condition—

\*\* Tomoaki Yoshikawa, 気象研究所応用気象研究部。



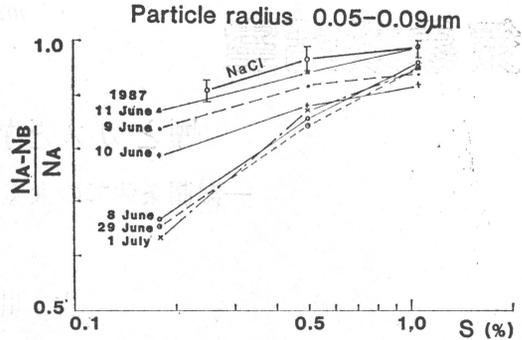
全水分検測装置によって得られた微粒子(直径10 $\mu$ m以上)。

第1図 函館七重浜で収録された全水分検測装置による微粒子の映像(円形は水滴, 不定形は固体粒子)



第2図 第1図の左上の映像を解析して得られた粒径分布(水滴の場合は, このように一山型になるが, ばいじんの場合は不定型分布となる)

大きさの円盤型容器内の気象条件を精密に制御して水蒸気を過飽和状態としたあと, 一方に種々の粒子状物質を流入させ, 他方との比較によって雲核としての効率を測定する装置で, 粒子状大気汚染物質の水分凝結による降



第3図 乾燥半径 0.05~0.09 $\mu$ m のエアロゾル粒子のなかで雲粒を形成したものの個数割合と水蒸気過飽和度との関係(参考に NaCl 粒子の例も入れた)

下(レインアウト)に関する基礎データを与える。

第3図は, この装置によって測定された筑波の自然大気中の粒子の凝結効率を示す。飽和度が高いときは測定日による差は少ないが, 低飽和では, 効率がめだって悪い日がある。電子顕微鏡による解析によると, 低飽和の領域まで効率のよいときは, 筑波に北東風が吹き, 海洋から吸湿性の粒子が多く飛来してきているのに対し, 効率の悪い日は, 南西風により, 南関東方面から炭素系の粒子が多く運ばれてきていることがわかった。

さらにこのチャンパーによる次の実験として, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ガスを単独あるいは混合で器内に注入し, ガスから粒子への変化やガスの微水滴への取り込みを測定することとし, すでに装置の改修を終えている。最終的には, チャンパーに強力な冷凍機を付加し, 低温での過飽和空気や過冷却水滴に対する汚染粒子の挙動を測定することを計画している。これらは汚染雪の予測, 対策に資するだけでなく, 氷晶核として効率のよい物質や作用条件を調べて, 降雪制御の基礎を確立することにつながっていく。

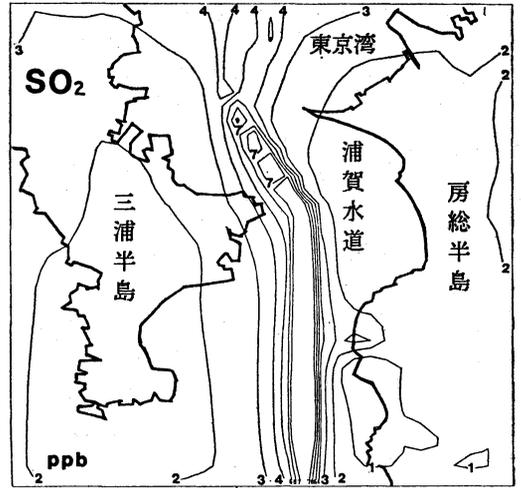
## 2. 水分を考慮した大気汚染の計算

最近の欧米の酸性雨の文献では, 雨に取り込まれて地上に達する大気汚染物質の年間総量を見積るのに, 850 mb の天気図から気流のメッシュ値を与えて, ガス状あるいは粒子状の汚染物質の移流・拡散を計算しておき, 雨に入って地上に沈着する率を実測から推定した雨量メッシュ値に比例させて積算する手法を使っている。

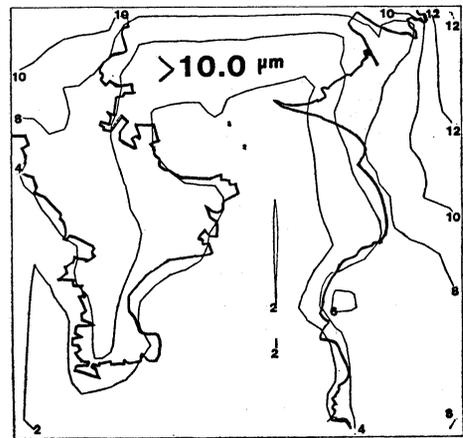
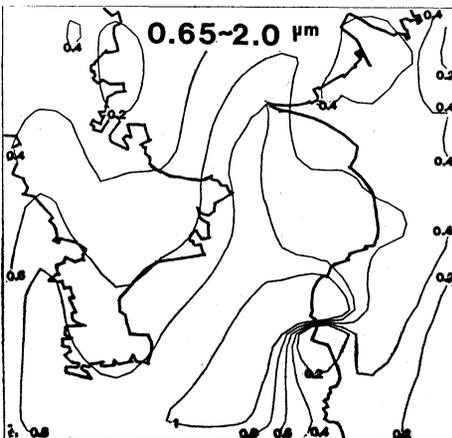
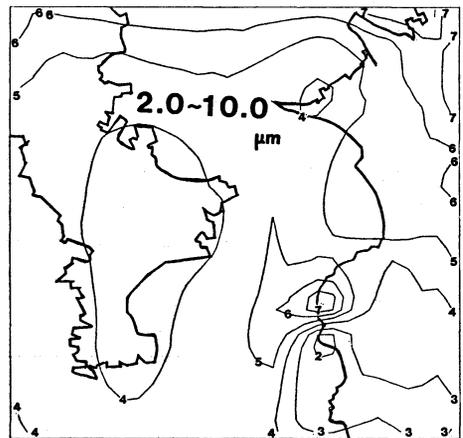
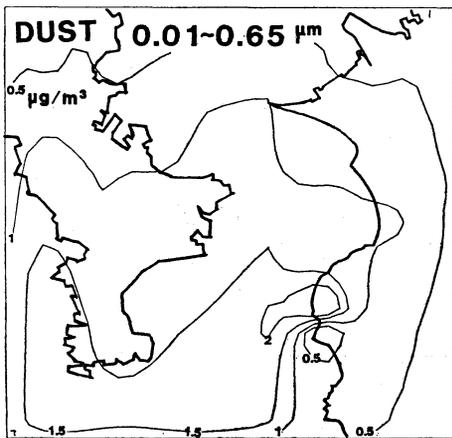
筆者らは, 船や沿岸工業地から放出された大気汚染物質が, 海上の豊富な水蒸気, 微水滴, 海面などの影響を

受けて、物理的に変質しながら海面に沈着する過程をモデル化した。まず、各発生源から放出されたガス状汚染物質が、湿潤大気中で微粒子に変わる。その変換率や速度は、さしあたり文献による数値を与え、のちに実測で検証した。ガスから変わった微粒子は、煙源から直接放出される微粒子と合わせて、粒径別に濃度が与えられる。湿潤大気中では、微粒子は水分の凝結による成長と、衝突併合の効果により、次第に大粒子に移行する。水分の凝結過程は Hänel の実験式を引用し、衝突成長は粒子濃度と粒径による落下速度の違いを考慮して計算する。各粒子は移流、拡散しながら、粒径に応じて Stokes 理論に従い重力落下する。地表面では再びはね上がるが、海面ではすべて沈着するものとした。移流・拡散の過程は、すでに乾いた大気汚染の研究で開発されたプログラムがあり、粒子の成長・落下モデルと結合できる。

1987年9月の北東気流の雨の日、東京湾口を例にし



第4図 東京湾口域の SO<sub>2</sub> 分布の計算例 (1987年9月4日12時)



第5図 粒子状物質の粒径別濃度分布 (時刻は SO<sub>2</sub> と同じ)

て、水分の効果を含む大気汚染物質の挙動と濃度分布を計算した。また、東京湾南部の海上と、三浦半島東岸近くの海上にチャーター船を配置して、沿岸で  $\text{CBr F}_3$ 、沖合で  $\text{SF}_6$  を同時放出し、三浦半島南東部に展開した30点の測定点で捕集、分析することにより、ガス汚染物質の移流、拡散の計算を検証した。各船上では各気象要素、海水温はもとより、 $\text{NO}_x$  と粒径別ダストの測定を行ったほか、半島内陸ではドップラーソナー（音波レーダー）により、気流と乱流の連続、自動測定を行って、湿った粒子の挙動計算の基礎とした。特に浦賀水道では、船舶技術研究所が担当して、船舶排ガス測定用のライダーにより、通行する大型船のばい煙を直接測定したり、望遠 VTR で航路を通るすべての船を記録した。この VTR 映像から各船の固有名がわかり、船籍リストからエンジンの型式、出力がわかるため、画面を横切る速度を合わせて、排ガス量を推定した。このほか、湾周辺の陸上のすべての大気汚染の発生源と湾内の船の排ガスについてもデータを集め、計算のインプットとした。

第4図は水分効果を入れて算入した東京湾口の  $\text{SO}_2$  の濃度分布を示す。湾奥からの  $\text{SO}_2$  は、拡散と粒子化のため、2~3 ppb に減少しているが、湾口では風向と航路が一致したため、5~6 ppb の船の寄与が明瞭に認められる。 $\text{NO}_x$  についても同様に、10~15 ppb の広域汚染に加えて、航路近傍では船が 10 ppb ほど寄与していることがわかった。

粒径別の粒子状物質については、4区分の粒径サイズ別に、水分効果、重力落下および地表のはねかえりを入れて計算した。第5図に各粒子区分ごとの地表濃度分布を示す。区分1と2(0.01~0.65  $\mu\text{m}$  と 0.65~2.0  $\mu\text{m}$ ) では、湾奥からの粒子がほとんど大粒子に移行して少なくなり、船の寄与が風下の房総半島西岸に達している。湾口や三浦半島海上で少し濃度が高いのは、半島内や浦賀水道で放出されたガス状汚染が粒子化したものとみられる。区分3と4(2~10  $\mu\text{m}$  と 10  $\mu\text{m}$  以上) では、船と三浦半島内放出分の大粒子に成長した寄与や直接、大粒子で放出した分の寄与も認められるが、東京湾南部では、湾奥からの小粒子が移流中に成長した効果が著しい。船は煙突が低いので、小粒子が房総西岸や東京湾口に拡散しているが、大粒子は成長段階で海面に落ち、直接放出する分だけが認められる。陸上部分では、大粒子が車などから多く放出されているうえ、地表ですべてはねかえりとしたために濃度が高い。現実には、湿った地表ではかなりの率の沈着があり、モデルの改良を必要とする。

このような水分が関与するときの粒子の挙動は、酸性雨の予測、対策のほか、悪天時の放射性粒子の拡散予測にも重要な事象である。次回は、原子力施設の緊急時対策のために開発した移流・拡散予測モデルとレーダ反射物体をトレーサーとした3次元拡散実験について述べる。

## 平成元年度(第26回)秩父宮記念学術賞推薦要項

**趣旨:** 秩父宮記念学術賞は、秩父宮殿下が、財団法人日本学術振興会総裁として、我が国の学術振興のために多大の尽力をされた御事蹟を記念して昭和38年度に制定されたもので、秩父宮殿下が格別に深い関心を寄せられた「山」に関する科学で顕著な業績を挙げた者に対して授賞を行うものである。その選考及び授賞については、日本学術振興会において実施している。

**授賞の対象:** 「山」に関する個人又はグループによる学術上顕著な研究調査の業績で、次の各条件を満たすものを対象とする。

① 山に関する学術的研究調査であること、

② 山における自らの実地研究調査活動を中心とするものであること。

③ 新しい知見又はデータの収集等により、新領域の開拓又は研究の進展に貢献すると認められるものであること。

④ 学術文献として公開されているものであること。

(現在印刷中等のもので、平成元年12月末までに必ず公開されるものを含む)

**推薦の締切期日:** 平成元年10月20日(金)

(気象学会提出締切期日: 10月12日)