

煙とガスと放射能を追う (1)

——大気汚染の測定, 実験と数値計算——*

吉川 友章**

1. まえがき

今回は、筆者が長年にわたって保ってきた大気汚染の研究から、大気汚染物質の移流、拡散に関するいくつかの新しい測定、実験と数値計算の手法について紹介しよう。

大気汚染にはさまざまな形態がある。発生源から出た1次汚染物質がそのまま拡散して、風下の人や生物に影響する場合は、扱いは比較的やさしい。わが国でも、戦後の産業成長期は、石炭を燃料としたため SO_2 やばい煙の対策を考慮して、接地逆転の発生から解消に至る下層大気の現象と、大気汚染物質の挙動が測定、解析された。1960年代には、石油コンビナートの高煙突からの SO_2 拡散が問題になり始め、筆者は新設された東京タワーを利用した気象と大気汚染の高度別測定、次いで、大型石油火力発電所の立地影響調査などを担当し、10~20 km スケールの大気汚染の拡散計算を手がけた。

1970年代に入ると、大気環境はさらに悪化し、「光化学スモッグ」と思われる2次汚染による急性被害が続出して、環境庁が設立された。筆者は環境庁に移って、この解明と予測、防止法の開発を相当し、関係都府県と協力して、大がかりな研究プロジェクトを推進した。

2. 大気汚染の移流・拡散測定

光化学スモッグ解明の特別観測では、大気汚染の広域追跡のため、まず、東京タワーの展望台から、200 kg/h 以上の SF_6 ガスを放出し、30 km 圏内で採取した多数のバッグサンプルを分析して、都心から郊外に流れるガ

スの拡散状況を解析した。また、京浜地区上空から、電波応答装置(トランスポンダー)をつけた無浮力気球(ノンリフトバルーン)を放ち、レーダで100 km 以上にわたって追跡した。気球には気圧高度計が装備され、無線テレメータにより、送られたデータから、大都市上を通過する気塊の鉛直運動も明らかにされた。

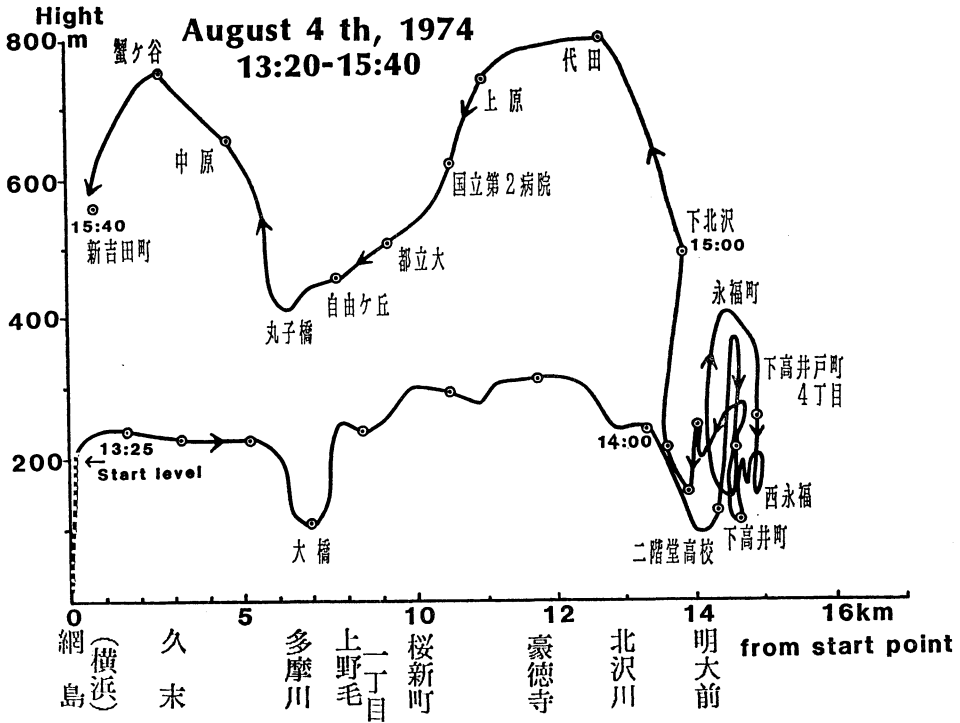
第1図は、横浜北部から放たれた気球が多摩川を越え、東京西郊の海風前線域で停滞したあと、前線の南下に伴って、再び横浜まで戻ってきた例を示す。市街地で気球が上昇し、多摩川で下降するのが認められる。無浮力気球には、鉛直気流によって指定高度からずれると、自ら元の高度に戻る機能があり、惰性効果も加わるために、鉛直の動きは必ずしも空気塊と一致しないが、定性的には流れの場を捕えている。この手法は、最近、航空法や電波法の制約がきびしいため、使われていない。しかし、レーダに代えて、オメガ法等の最新の位置決定法を導入すれば、アジアスケールの気塊の移流や、酸性雨に係る雲中の気流測定などに特性を発揮する可能性がある。

3. 大気汚染の長距離拡散実験

1980~1983年、瀬戸内地域の海上と山腹を行き来する大気汚染の解明と、シミュレーション検証のため、希土類をトレーサーとする拡散実験を行った。土壌中に含まれる希土類は、大気中ではバックグラウンドレベルが低く、放射化分析により高感度で検出されるため、少量の放出で遠距離の移流・拡散実験が可能となる。分析では、元素量として検出されるため、不純物を含む安価な化合物であっても、溶液にしたときの濃度さえ正確に測れば、トレーサーとして十分に使える。Cs, Lu, Sm 等は水によく溶けて均質な溶液となるため、これを塗装用の強力な噴霧器で数 μm の微小滴として大気中に放出す

* Study on smoke gas and radioactive pollutants (1)—Measurement, experiment and computation of air pollutants—.

** Tomoaki Yoshikawa, 気象研究所応用気象研究部.



第1図 横浜から放球したトランスポンダー付きノンリフトバルーンの流跡 (都環境科研による)

第1表 放射化分析に適する希土類元素とその特性 (矢野, 1983)

生成核種	半減期	検出限界*	主要光電ピーク**	大気中自然量
¹⁶⁵ Dy	2.3 時間	0.01 ng	94.6 KeV	一般に検出不能
¹³⁴ Cs	3.1 時間	0.24 ng	127.4 KeV	~0.3 ng/m ³
¹⁷⁵ Lu	3.7 時間	0.10 ng	88.3 KeV	~0.007 ng/m ³
¹⁵³ Sm	1.96 日	0.18 ng	103.2 KeV	0.2 ng/m ³
¹⁹⁸ Au	2.70 日	0.12 ng	411.8 KeV	検出不能
¹⁸⁶ Re	3.75 日	0.77 ng	137.0 KeV	検出不能

* $f = 3.5 \times 10^{12} \text{ n}_0 \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$, $t_1 = 1$ 時間の場合

** Ge (Li) の半値幅 2 KeV

ると、水分がすぐ蒸発して、サブミクロンの粒子として拡散する。これを陸上の開けた場所や海上の船、島等に配置したフィルターサンプラーで一定時間区切りで捕集し、密閉容器に入れて持ち帰る。フィルターはのちに、一定面積を切り取って原子炉に入れ、分析感度、半減期等を考慮して、適当な時間、中性子をあてて放射化する。これをγ線スペクトル解析器で測定すると、一つのサンプルからバックグラウンド物質を含めて、多くの物

質が検出される。従って、時間や場所を変えて異なるトレーサーを散布すれば、同一サンプルの1回の測定からそれらの寄与が識別される。

第1表に放射化分析に適する主なトレーサーとその特性を示す。分析の費用については、まだ放射化分析を営業にしている業者がないため、明確でないが、複数のトレーサーが同時に分析できることから、使い方によっては、通常のカストレーサーより安くなる。また、このト

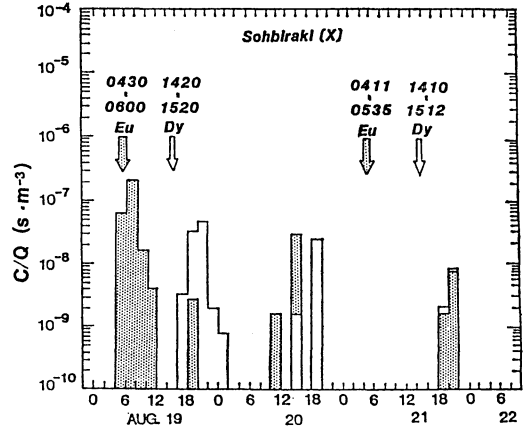
レーサーは雨や霧に取り込まれて化学反応しても検出できるため、大気中の浮遊粒子と雨を分けて採取すれば、それぞれの中の濃度配分がわかる。今後、酸性雨や降水制御の研究にも有力な手段として使えそうだ。なお、実験に当たっては、捕集フィルターに人為的なトレーサーの付着があると、実験精度に大きく響く。現地では、放出係とサンプラー係は宿舍も遠く離し、電話以外の連絡を禁ずるくらいの配慮が必要である。

第2図に四国の新居浜の山沿いと瀬戸内海上で放出した2種のトレーサーを、海岸で捕集して分析した例を示す。陸風時に山沿いで散いたトレーサーが海上へ出て、海風との交替のあと、再び陸上へ戻ってきているのがわかる。

3. 大気汚染濃度の測定

2次汚染物質を含む大気汚染の測定では、地上は現在のモニタリングステーションの方法(SO₂は導電率法, NOxはザルツマン法, OxはKI法)で対処できたが、飛行機やヘリコプターを使った上空の測定には、多くの課題が残っている。時間変動のはげしい光化学反応物質の空間分布を、気圧や気温が急変する航空機内の吸収液で捕集し、化学的に検出するには、原理的に無理がある。最近では、精度、追従速度がともに優れた化学発光法を導入し、小型データロガーと結んで、航空機測定に役立っている。当時、航空測定に対応できるNO₂、SO₂の測定機器として、太陽光の地表からの反射を分光し、汚染質に特有の吸収帯の減衰比から、測定高度と地表の間の積算濃度を測る手法も試みた。純光学的測定のため、レスポンスが早く、飛行機で広域分布を探索するには適するが、汚染物質の高度分布がえられないのが難点で、その後は使われていない。この方法は、人工衛星に搭載し、全地球規模の汚染分布を監視するのに向いているようだ。

汚染気塊の中をいっしょに移動し、化学反応を連続測定するアイデアとして、飛行船の利用を計画したが、使用時期が近づくと、いつも飛行船が破損したりして、いまだに実現していない。飛行船は大気をほとんど乱さずに気塊中を浮遊し、飛行時間、搭載重量が実行上は無制限、電源容量、キャビンの居住性等も格段に有利で、料金も割安である。今後、光化学スモッグや酸性雨の研究に使ってみたいと思っている。



第2図 四国新居浜市内で捕集された希土類トレーサー(矢印は放出時刻を示す。Euは捕集点より5 km 内陸で、Dyは22 km 沖合の海上で放出された)

4. 光化学スモッグの数値計算

1次汚染質に対処する数値計算では、主として住民の呼吸器に対する長期影響を評価するため、風向、風速、安定条件によって気象データを代表的なカテゴリーに分類する。そして、対象空間の気流と拡散条件を一様として、カテゴリーごとに解析的に解いた拡散式により、1時間平均濃度を算出し、気象カテゴリーの出現頻度に応じた長期間の重合平均濃度を求めている。ところが、光化学スモッグのように、日射が強いときの短時間の大気汚染濃度を問題にする場合は、海陸風や山谷風等も含めて、大気汚染濃度の時間変動を正確に表現するモデルが必要となる。

1975年頃、筆者は光化学スモッグの再現計算のため、定常状態を仮定した運動方程式を差分法で解き、限られた風と気温の実測値から、地表摩擦と地形起伏の効果を入れて、3次元の気流場を計算した。そして、毎時のメッシュ値を内挿して時間変動を与え、拡散方程式の差分解法と、簡略化した光化学反応式を連結して、初めて光化学スモッグの実地計算を行った。当時は、最大の電算機でもいまのミニコン程度の能力しかなく、数値シミュレーションはいつも計算容量の制約によって、計算式の簡略化、鉛直メッシュ数の削減等の妥協を強いられた。

その後、気象研の菊地(現気象庁長官)、木村等は、運動方程式を非圧縮、静力条件のもとに差分法で解き、海陸風、山谷風等のメソスケール循環の表現に適した予測計算モデルを開発した。折から、「南関東大気環境調

査」(気象庁と環境庁の共同業務)や、前記の放射化分析による拡散実験を含む「局地風と大気汚染物質の輸送に関する研究」等により、多くの質のよいパイナル、ゾンデのデータや拡散実験データがえられ、このモデルの検証、改良が進められた。最近では、水蒸気の凝結過程も組み込まれ、気象庁の広域数値予報と結合(ネスティング)し、1~2日先までの大気汚染の反応を含む移流、拡散を予測するための実用化研究が進められている。

また、香港気象台では、対象地域のスケールや地形条

件を考慮して、このモデルで局地風を予測することとし、プログラム習熟のために担当官を気象研究所に留学させた。いま、香港ではこのモデルをスーパーミニコンに入れ、航空機の発着、海峡の小型船の通行等に対して、きめの細い気象予測を提供するための実用テストを行っているほか、新空港の立地アセスメントにも使っている。

今回は、水分が関与する悪天時の大気汚染についてのべる。

IFHP/CIB/WMO/IGU 国際会議「都市気候・計画・建築」のお知らせ

<主催> IFHP/CIB/WMO/IGU 国際会議「都市気候・計画・建築」組織委員会

<共催> 世界：国際住宅連合(IFHP)・都市建築気候学委員会

国際建築情報会議(CIB)・W-71 建築気候学ワーキング委員会

世界気象機関(WMO)

国際地理学連合(IGU)・気候学委員会・局地気候小委員会

日本：日本建築学会、日本気象学会、日本地理学会

<後援> 空気調和衛生工学会、日本農業気象学会、日本造園学会、ほか

期 日：1989年11月6日(月)~11日(土)

会 場：国立京都国際会館

テーマ：気候と建築/日射/植栽の効果/大気汚染/気候変化と観測/建築環境設計/都市気候の予測/都市気候とエネルギー管理/水/都市境界層の風構造/都市キャノピー層の風構造/都市気候と建築材料/人間の健康と快適性/都市気候と都市計画/設計解析/ほか

使用言語：英語(ただし、24題の招待講演には同時通訳がある)

登録費：9月30日まで、一般25,000円、学生15,000円(バンケット費は別)

10月1日以降、一般30,000円、学生20,000円

問合せ：〒606 京都市左京区吉田本町 京都大学工学部建築学教室 中村泰人

075-753-5739(直通)

FAX 075-753-5748(教室)