

煙とガスと放射能を追う (3)

—原子力施設対策のための拡散実験と移流・拡散モデルの開発*—

吉川 友章**

1. 放射性物質の拡散を想定した実験と測定

1974年のオイルショックのあと、わが国でも国策として、エネルギー源を石油だけでなく、石炭、天然ガス、原子力等に分散することとし、その一環として、原子力発電所の立地が急速に進められ始めた。ところが、1979年のアメリカ TMI 事故の発生で、原発の安全性が問われ、これを契機に、わが国でも原子力施設の万一の事態を想定した緊急時対策の研究が始まった。折から、環境庁から気象研に移った筆者もこの研究の一部に係わり、数時間ないし1日位先までの気象拡散場を精密に予測するモデルの開発を担当した。また、その基礎データをえるために、いくつかの新しい測定法や拡散実験法を導入し、実用化した。

その一つに、レーダー電波反射物体(チャフ)を用いた拡散実験がある。軍事用に開発された最新のチャフは、驚くほど性能がよく、手のひらに載る程度の量を撒いただけで、気象条件によっては、距離にして100 km以上、時間にして2時間くらいまでレーダに映る。このチャフの素材は、直径1 μm位の毛髪状ガラス繊維にアルミニウムを蒸着させたもので、一見、ネコの毛のように見える。特注により、チャフの長さを使用するレーダー電波の半波長にそろえてもらおうと、そのレーダにだけよく映って、他の波長の電波を妨害しない。また、ドップラーレーダを使えば移動するチャフと、固定した山などの反射を区別して検出し、デジタル処理により、反射強度を色分けして表示できる。さらに、適当な位置に配置した2台のドップラーレーダで同時測定し、信号を電算機で

解析すると、チャフ雲内のすべてのレーダ解像メッシュについて、チャフの移動ベクトルが求められる。

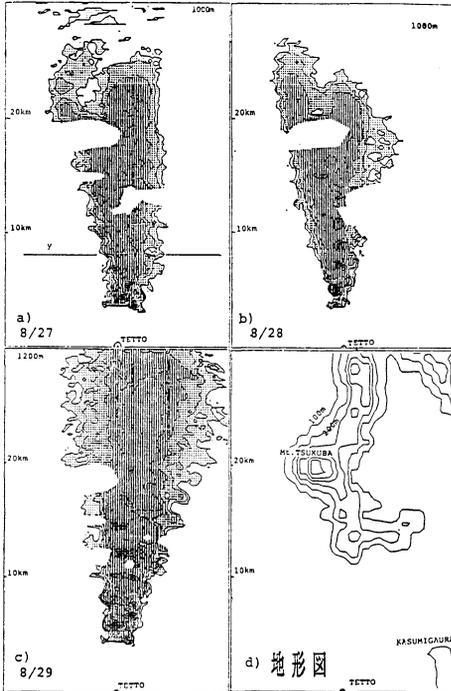
通常、レーダの水平スキャンを45度位とし、仰角を1度から6度位まで上げて、ドップラー解析を加えながら測定すると、対象空間全域を探索するのに約3分かかる。従って、3分に1回の割りで、チャフ雲内の反射強度とともに、メッシュ別の移流速度がわかる。反射強度の時間変化や拡散幅の解析から、拡散パラメータが計算され、水平移流ベクトルからは、チャフの落下速度19 cm/sを考慮して連続方程式を解くことにより、鉛直風の分布がえられる。これは、30分ないし1時間の平均着地濃度しかえられないトレーサーガスの拡散実験に比べ、画期的な性能であり、数時間内の時々刻々の濃度を問題にする放射性物質の事故時の拡散や、光化学スモッグ等の研究にとっては、3次元のデータがリアルタイムにえられる点で価値が高い。

チャフは目的によって、飛行機、山稜、鉄塔のいずれから散布してもよく、工夫次第では、打上げ花火による方法、係留気球やパイロットバルーンからリモコンで放出させる方法等も可能である。なお、使用の際には、航空管制やレーダ使用官署への連絡が必要である。無断で高空に撒いたり、外国の領空に流したりすると、ミサイルが飛んで来るかもしれない。

第1図は、気象研の213 mの鉄塔上から撒いたチャフが、20 km先の筑波山を越えて拡散したときの濃度分布の例を示す。わずか150 gのチャフを20分かけて少しずつ手で撒いて、連続ブルームにしただけで、30 km先でも明瞭に見える。図中のブルーム内に白く食いこんでいる領域は、筑波山塊の地形反射を除去した部分である。山地の背後に流れると、低空で測定感度が落ちるのは避けられない。なお、チャフが拡散したあとには目では見えない。

* Study on smoke, gas and radioactive pollutants (3) —Diffusion experiment and development of a diffusion model for the technical measure in nuclear sites—.

** Tomoaki Yoshikawa, 気象研究所応用気象研究部.



第1図 気象研鉄塔上より散布したチュフのレーダ映像(各回とも20分間で150gを撒いた)

このほか、チュフには多くの使い方があつた。原子力事故の場合、現場の排気塔から放射性物質の放出と連動してチュフを自動放出し、拡散をレーダ監視することも考えられ、高い山脈の稜線や上空に撒いて、山岳風下の気流、乱流を測定したり、海上の気塊の追跡、ジェット気流の位置と風速を確認する等、実用面での応用範囲も広い。

気流、拡散場のリアルタイムの現況監視と予測計算のインプットデータを与える手段として、音波のドップラー効果を利用した音波レーダ(ソダ)も導入した。気象研には、現在、スピーカー群の音波発信位相の調整で探知方向を変え、1台の送受信器で気流の3方向成分を測定する装置(アレイプロセッサ式ドップラーソダ)が3台あり、随時トラックで運んで野外実験に使っている。これによると、15秒に1回の割り、地上100mから800mまで、50mごとの(u, v, w)がえられ、さらに指定した時間内のデータの統計処理により、平均値と拡散パラメータが収録、表示される。また、音波の反射強度の鉛直分布から、大気の成層状態もわかる。

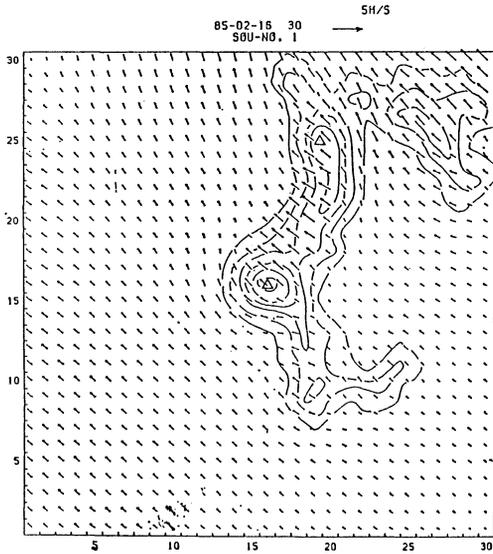
2. 放射性物質の移流、拡散モデル

ソ連のチェルノブイリ事故のように、大量の放射性物質が大気中に飛び出せば、半月足らずで世界中に広がる。また、例えば少量の放出でも、周辺の居住者には汚染の程度、避難の必要性の有無等、適切に情報を提供しなくてはならない。筆者等は、こうした原子力施設の緊急事態の推移とスケールに応じて、放射性物質の拡散を予測するモデルを3種類開発した。

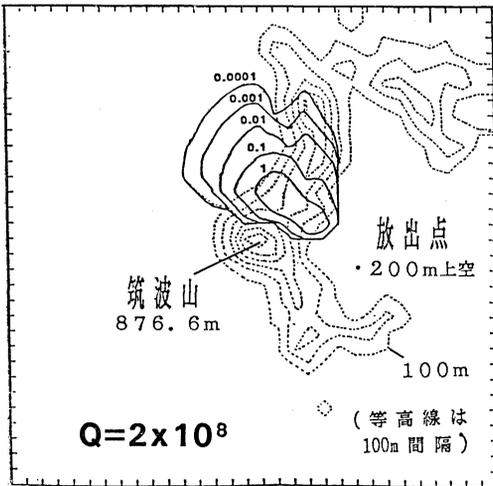
まず、放射性物質の放出直前あるいは直後の初期対策として、一刻も早く現況を把握し、数時間程度の拡散予測をする必要がある。このための手法は、現場で測定した地上および上空の気流データをもとに、変分法により地形起伏の効果を算入して、全メッシュの気流ベクトルを求めることとし、予測については、過去数時間の毎時の実測値と、前もって用意された実測点の主成分分析の結果から、時系列法により5~6時間先の値を与えて、実況と同様に変分法で全メッシュ値を求める。そして、この気流場を使って、粒子追跡法あるいは拡散方程式の差分法により、放射性物質の空間濃度の時間変化を予測する。このモデルは、すでに科学技術庁が東京に設置した緊急時対策センターに組み込まれ、全国の主要な原発サイトの監視センターとオンラインで結ばれて、現業体制として機能している。放射性物質の濃度から、さらに建物の遮蔽効果や蓄積沈着を考慮し、放射線被曝量を算定するモデルが原子力研究所で開発され、移流拡散モデルと連結されている。

次に迅速モデルを補完して、さらに6~12時間先までの気流、拡散場を精密に予測する手法として、非静力、非弾性条件のもとに運動方程式を差分法で解くモデルを開発した。現用の迅速モデル(SPEEDIという)では熱条件を詳しく算入できないが、このモデルでは、地表面の土質、植相、土地利用形態等をインプットし、太陽光高度の時間変化と地表の傾斜も考慮して、地表面と接地気層の間の熱交流を計算し、これに起因する局地対流をシミュレートするようになっている。メッシュサイズは対象エリアと対流スケールに応じて、数百mから5km位まで変えられる。放射性物質の拡散は、粒子モデルあるいは差分モデルのいずれを連結しても計算できる。

第2図に、実測の気流と気温をもとに平滑化した初期値を与え、精密モデルで計算した筑波山周辺の気流とガス状汚染物質の濃度分布を示す。気流が峰を避けて峠に収束し、連続放出されているブルーム状汚染が山稜の鞍部でくびれているのがわかる。



第2図 a 筑波山城で計算された気流分布 (一般風 SE 6m/s, やや不安定条件, 接地層内)



第2図 b 第2図 a の気流場で黒丸印の地点の 200 m 上空で放出されたガス状物質の拡散計算結果

200~300 km エリヤで, 海陸風, 山谷風を表現するモデルは, すでに大気汚染の計算の項でのべた菊地・木村モデルがそのまま利用できる. 極東スケール, 全地球スケールでは, 気象庁が定常業務として数値予報に使っているモデルで十分対応でき, これらに連結する拡散モデルは, どの座標系にも使えて, 任意の形の区域を指定して濃度分布が計算できることを考えると, 粒子追跡モデルが適している.

1986年のチェルノブイリ事故に際し, 筆者と木村は全地球モデルと粒子追跡モデルを使って, 放射性物質が北半球全域に拡散する様子を数値シミュレーションで表現し, スカンジナビア上空へ流れた放射性物質の一部が, シベリヤ経由の最短コースで, わが国への第1波として到達したことを明らかにした. 原子力のための気流, 拡散モデルの研究は現在も進行中で, 今後の課題として, 各スケールのモデルに応じた手法で, 放射性微粒子の雨による沈着効果を付加すること, 微量な希ガスの通年にわたる積算効果を算定するのに, 地形の起伏と不均質な熱条件を考慮して, 精度の向上を図ることを計画している.

3. あとがき

1988年3月, 筆者はソ連のチェルノブイリ原発を訪れ, 事後対策を視察する機会を得た. みにくく補修された3・4号炉の建屋が夕暮れのくもり空の下で, 灰色にくすんでいた. 4号炉ではいまも絶え間なく, 配管に水を送って冷やすことで, 溶融の進展を止めている. 周辺では汚染された森林と表土を取り除き, 他から新しい表土を運び入れる作業を行っており, さながら海の埋め立て工事現場の感じがする. ここから飛散した放射性物質が世界中を駆けめぐったとは, 信じられない光景であるが, ソ連担当官の示す放射線量計の針は, 4号炉前の広場で 5.5 mrem/h (日本の自然量のおよそ4万倍) を指していた.

環境問題では「事後対策」は一層厳しく, 採算を根底から覆えす. これからは, 政策に先行して, 安全なエネルギー開発, 快適な居住空間と交通体系を指向できるような研究に力を入れるべきである. この稿を終るに当たり, 改めて痛感している.