

II-517

東アジアから排出された SO_x の地球規模輸送に関する数値解析
— 輸送における高低気圧の役割 —

広島県 正会員 田中一浩
豊橋技術科学大学 正会員 北田敏廣

1. はじめに

中国他の東アジア5カ国から排出される SO_2 は年間(昭58)約1900万トン(うち、日本は約112万トン)¹⁾であり、その8割を中国が占める。本研究では、これらの汚染質の地球規模輸送シミュレーションを行い、日本に対する乾性沈着量を推定した。シミュレーションには1986年4月25日～5月4日の10日分の気象庁GCM(General Circulation Model)の出力場を用いた。

なお昨年²⁾の発表で、輸送に関して移流効果のみを考慮していたが、今回は鉛直方向の拡散過程も考慮した。さらに、汚染質が地表面で取り除かれる乾性沈着、および SO_2 から SO_4^{2-} へ変換される過程をも含めるようにモデルを拡張し SO_2 及び SO_4^{2-} のより現実的な濃度分布と乾性沈着量を推定した。

2. 解析方法

本研究の対象領域は、全球に渡り地表面から20(km)までの領域(すなわち対流圏及び下部成層圏)である。この領域を経度方向128点、緯度方向66点、鉛直方向14点の格子点網で近似した。

Lagrange型輸送モデルの概要を次に示す。モデルは3次元移流過程を含み、また(積雲対流以外の)サブグリッドスケール現象を鉛直乱流拡散効果として考慮している。すなわち、流速成分 u_i を(1)式のように仮定した。

$$u_i = \bar{u}_i + u_i' \quad (i=1,2,3) \quad (1)$$

ここに、 $\bar{u}_i$:平均流速成分、 u_i' :サブグリッドスケールの完全にランダムな速度変動である。右辺第2項による粒子の移動は、正規確率変数として与えた。その標準偏差は、鉛直拡散係数 K_z を用いて $\sigma_z = \sqrt{2K_z \Delta t}$ で求め、各タイムステップ毎に各粒子に正規乱数を発生させることによって実際の移動距離を求めた。大気境界層内の乱流拡散係数鉛直分布には、別途 $K-\epsilon$ モデルの出力として得た日変化プロファイルを使用した。中国大陸の SO_2 排出源分布は、藤田ら¹⁾の推計を基に、地表からの高さ100(m)に仮定した20ヶ所の排出点により近似した。これらの排出点から4個づつ(計80個)仮想流体粒子を2時間毎に放出し、時刻刻み20分で各粒子の動きをモデルにより計算した。なお、初期排出時の汚染物質はすべて SO_2 であると仮定し、気相化学反応($\text{SO}_2 \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$)によって SO_4^{2-} が生成されるものとした。この時、一次反応を仮定し反応速度係数は $k=0.002(\text{hr}^{-1})$ に設定した。また、この2つの化学種について、地表面への乾性沈着による除去を考慮した。乾性沈着による大気から地表面への質量フラックスは、最下層(高さ50mのボックスを仮定)の濃度と、化学種及び地表面の状態によって決まる沈着速度との積によって表現した。汚染質は単一の SO_x 粒子として輸送され、この反応・乾性沈着による質量変化は各粒子の持つ属性として表現した。

3. 結果及び考察

Case 1は輸送のみ、Case 2ではさらに反応、乾性沈着を考慮している。

(1) 輸送特性

図1に、Case 1の汚染質の4日目及び10日目の分布を示す。10日目には、汚染質の一部は強い偏西風によって、北米を経由して大西洋上にまで輸送された。図1(b)をみると、汚染質は水平方向に一様な分布ではなくて島状の高濃度帯を形成している。これは、汚染質の長距離輸送が、発達した低気圧が北緯50°の線

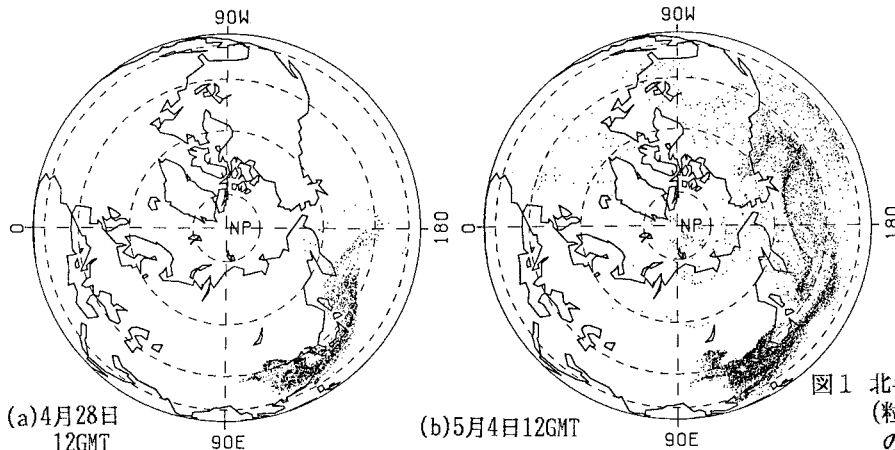


図1 北半球汚染質プロット
(粒子1点は約50tonの SO_2 を表す)

に沿って東方に通過するときを生じるものであり、そのような低気圧の生成が3～4日の周期で生じることに対応すると考えられる（一部、昨年発表）。

(2) 乾性沈着量

中国大陸を起源とする SO_x の東アジアにおける沈着量を推定した。図2に、中国大陸の排出源による10日分の沈着量(SO_2 , SO_4^{2-})分布を、また図3に日本の排出源のみによる同様の結果を示す。これらの結果を用いて、日本の代表的な3点での乾性沈着量のうち、大陸起源、日本起源の比率を調べたところ、図4に示すようになった。特に大阪を中心とする300(km)×250(km)範囲内では SO_x ($SO_2+SO_4^{2-}$)の平均沈着フラックスのうち14%程度が大陸起源であるとの結果となり、予測されるように西日本ほど大陸からの影響が大きいことが示された。また、環境庁の報告³⁾によれば、 SO_4^{2-} の乾性沈着量は、春期の西日本では15～30($mg/m^2 \cdot 10day$)程度であり、本モデルで推定した人為起源 SO_x 沈着量とオーダー的に一致した結果となった。

4. おわりに

春期に3～4日の周期で通過する低気圧が、北太平洋上への汚染気塊の間欠的な輸送をもたらす。すなわち、東アジアから北米大陸西岸にかけて SO_4^{2-} 濃度2($\mu g/m^3$)程度の高濃度層が2～4(km)の高度に島状に分布することが予測された。さらに、大気境界層の日変化をシミュレーションに導入したことは、下部自由対流圏への汚染質の供給増加を促し、長距離輸送される化学物質量の増加をもたらした。

また、日本の乾性沈着量に対する大陸起源の寄与は西日本ほど高く、大阪14%（全体29.66 $mg/m^2 \cdot 10day$ ）、秋田11%（全体6.8 $mg/m^2 \cdot 10day$ ）、北海道2.3%（全体13.66 $mg/m^2 \cdot 10day$ ）となった。今後実測データとの定量的な比較が必要である。

参考文献

- 1) 藤田慎一、市川陽一(1989)：東アジア地域における二酸化硫黄発生量の推計、電中研報告(T88086)。
- 2) 田中一浩、北田敏廣(1990)：平成2年度土木学会第45回年次学術講演会。
- 3) 酸性雨対策検討会大気分科会(1990)：酸性雨対策調査報告書。

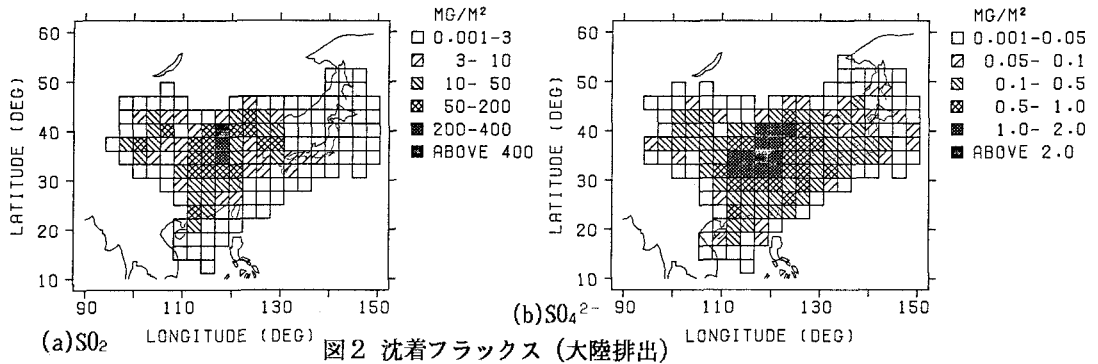


図2 沈着フラックス（大陸排出）

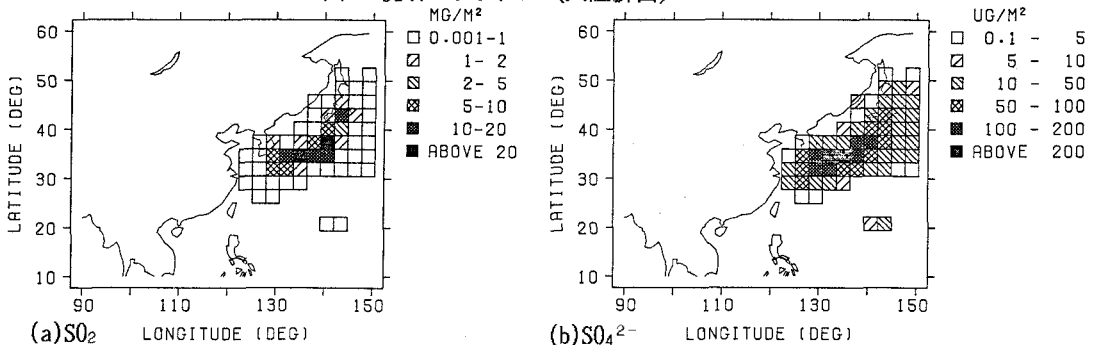


図3 沈着フラックス（日本排出）

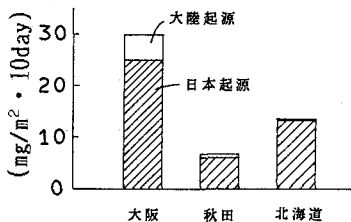


図4 沈着フラックス、大陸起源、日本起源内訳