

国立環境研究所

鶴野 伊津志

(財)計量計画研究所

大原 利真

1. はじめに

東アジアスケールの酸性雨・酸性降下物の国境を越えた長距離の越境汚染の重要性が指摘されている。このような越境汚染の動態を定量的に調べるには、野外観測データと数値モデルを同時に用いた研究が極めて有効である。ここでは、1992年2月に国設対馬（以下対馬）測定局で観測された高濃度のサルフェート¹⁾を、3次元物質輸送・変質モデルを用いて解析し高濃度汚染の生じる気象条件を検討する。

2. 物質輸送・変質モデル

物質輸送モデルは、STEM (Sulfur Transport Eulerian Model ; Carmichael *et al.*²⁾)を修正して用いた。このモデルは、気相・固相・液相反応過程や乾性・湿性沈着過程を含むリージョナルないしはメソスケールの物質輸送・変質過程をシミュレートすることが可能な3次元のオイラー型モデルであり、輸送、反応及び沈着の3種類のサブモデルによって構成される。今回は、気相反応のみを考慮し、固相・液相反応や湿性沈着過程モジュールは利用していない³⁾。対馬、福岡小郡への輸送を解析するために、中国・朝鮮半島・日本列島を含む東経110度から150度、南北方向が北緯20度から50度を計算領域とし、経緯度1度(グリッド数：東西41、南北31)に分割した。モデルの鉛直方向に10レベルをとり、各グリッド点の高度は、200、400、700、1000、2000、3000、4000、5000、7000、10000 mである。東アジア地域におけるSO₂とNO_x排出量はAkimoto and Nariai⁴⁾による経緯度1度メッシュデータファイルを用いた。また、NMHC排出量は、Piccot *et al.*⁵⁾による国別成分別排出量を経緯度1/3度メッシュの人口データによって分解し、再度、経緯度1度メッシュデータに統合した。気象データは、気象庁の全球客観解析データの風速、温度、露点温度、等圧面高度を距離・時間補間した。沈着過程で重要な乾性沈着速度は、海・平野・山岳別に、Weselyの乾性沈着モデルによって、主要な物質のメッシュ点毎の乾性沈着速度を与えた。STEMによる計算は2月4日9時に初期濃度ゼロ（ただし、O₃は35 ppb）として開始した。また、Hayashida *et al.*⁶⁾の方法で対馬・福岡の上空1500 m高度から等温位面に沿ったバックトラジェクトリーを求めた。図1にモデル計算のフローを示す。

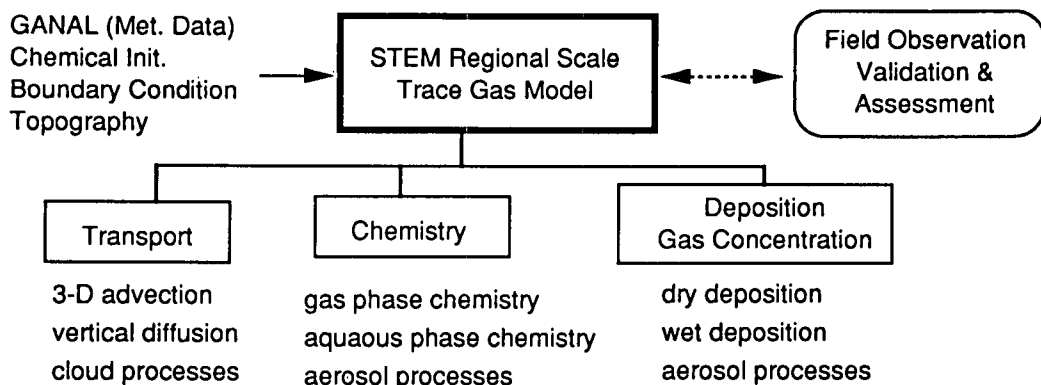


図1 3次元物質輸送・変質モデルの計算のフロー図

3. 結果と考察

1992年2月には、対馬で SO_4^{2-} のシャープな濃度ピークが13日と23日～24日にかけて観測された。図2には2月12日～14日にかけての地上天気図、図3には高濃度を観測した1992年2月12日～13日の主要な高低気圧の位置、高度1000mでの風速・風向、対馬、福岡から計算されたバックトラジェクトリー、モデルで計算された SO_4^{2-} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)の等濃度線 ($z^*=200\text{ m}$)を示している。同様に、図4には、2月22日～24日にかけての地上天気図、図5には図3と同様な計算結果を示す。図6には1992年2月4日～28日の対馬でのエアロゾル中の NO_3^- 、 SO_4^{2-} 濃度の観測値 (×、○)とモデルの結果を示す。

これらの図から明らかなように、モデルの計算値は実測値によく一致している。トラジェクトリーは12日～13日は西から、23日～24日にかけて西～北西からの移流を示した。モデルの SO_4^{2-} の高濃度域は、中国大陸東部とそれより濃度は低いが朝鮮半島南部から山口県北部沖にもみられる。トラジェクトリー解析とモデルの結果は、低気圧の通過後の西高東低の気圧配置になる前の、大陸からの北西風の吹き出しによる汚染物質の輸送を示している。このように、1992年2月のエアロゾル高濃度現象は大陸形成された高濃度汚染物質の直接的に受けているものと考えられる。1991年2月に行われた同様な観測でも冬型の気象条件は類似していたが、観測期間中に2度の低気圧が日本付近を縦断している。特徴的な点は1992年2月には2度の低気圧の通過が日本の南岸沖であったのに対して、1991年では2度とも対馬付近から日本列島を西から東へ縦断し、15日～17日には二つ玉低気圧の通過に伴い日本各地で大荒れの天気となった点である。これらのことは、日本付近の低気圧の通過が大陸域からの汚染物質の輸送の流出のトリガーであるが、低気圧の通過位置が高濃度発現の有無の重要なポイントであることを示している。即ち、同じ冬型の気象条件下であっても、日本南岸を台湾近海で発生した低気圧が発達しながら東進し、その後に大陸から高気圧の張り出しに伴う北西気流が吹き出すことが極めて重要な要件である。

4. まとめ

詳細な化学反応メカニズムを含む3次元の物質輸送・変質モデルを用いて、東アジアスケールの主に

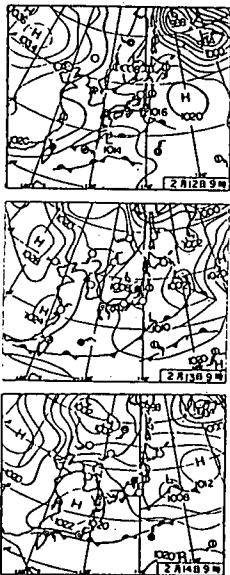


図2 1992年2月12日～14日の地上天気図

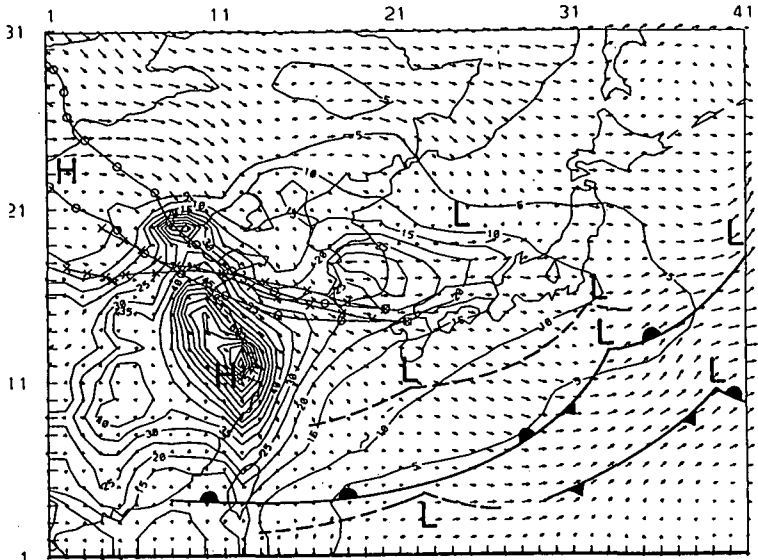


図3 1992年2月13日9時のモデルの $z^*=200\text{ m}$ でのサルフェート濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)、12日～13日の梅雨前線と主要な高低気圧の位置 (点線12日、実線13日)、高度1000mでの風速・風向。対馬、福岡からのバックトラジェクトリー (○12日、×13日出発)

SO_4^{2-} の高濃度の越境汚染のシミュレーションを行った。今回の計算は、気相反応+ SO_4^{2-} 生成のみであったが、モデル結果は対馬で観測された濃度変動を適切に再現していた。従来の越境汚染のシミュレーションは SO_2 から SO_4^{2-} への単純な変換率を仮定したラグランジュ的なモデルを用いた月平均の沈着量計算を中心としたものが多い。本研究では、詳細なオイラー型のモデルを用いてモデル計算を行い、かつ、測定間隔の短い大気中の SO_4^{2-} の観測値とモデル結果を比較し、従来の研究に見られない高精度でのモデルの検証を行った。今後は、雲・降水を加味し、液相・固相の反応を含めたモデル研究を進める必要がある。

参考文献 1) 若松ら (1992), 第33回大気汚染学会講演要旨集, 2306. 2) Carmichael *et al.* (1986), *Atmos. Environ.*, 20, 173-188. 3) 大原ら (1994), 第35回大気汚染学会講演要旨集, C118. 4) Akimoto and Narita (1994), *Atmos. Environ.* 28, 213-225. 5) Piccot *et al.* (1992), *J. Geophys. Res.*, 97, D9, 9897-9912. 6) Hayashida *et al.* (1991), *J. geophys. Res.*, 96, 15469-15478.

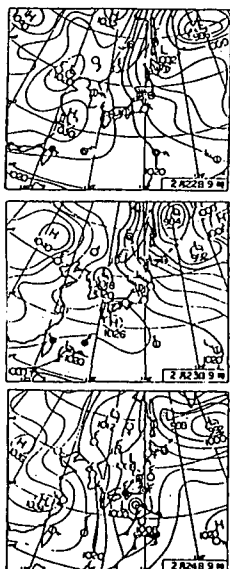


図4 1992年2月22日
～24日の地上天気図

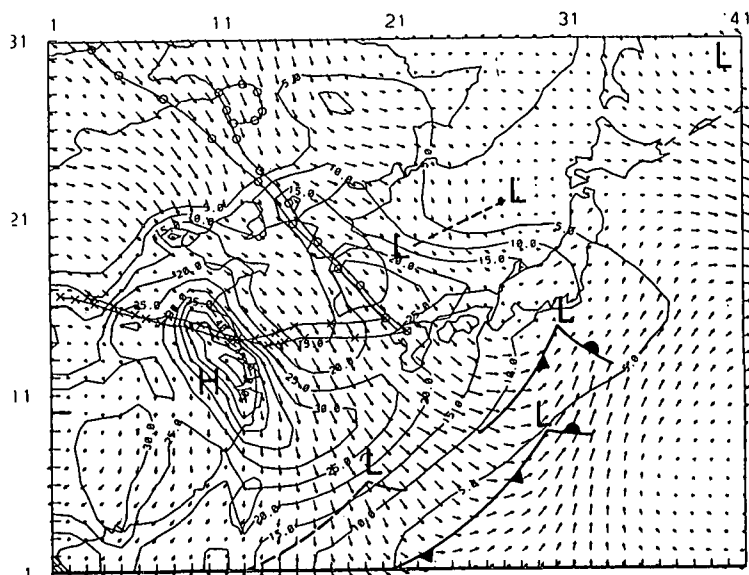


図5 図3と同じ、ただし1992年2月24日。

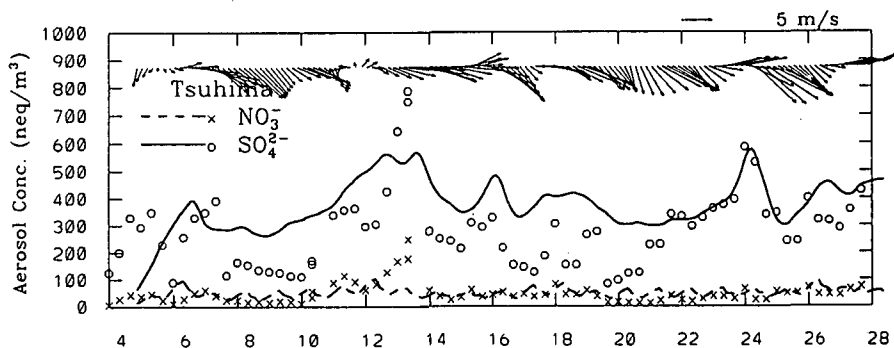


図6 1992年2月の対馬でのエアロゾル中の NO_3^- 、 nssSO_4^{2-} 濃度の観測値(×、○)とモデル計算値。図中の矢印はモデル計算($z^*=1000\text{m}$)に用いた風向・風速。