

東アジア地域を対象とした酸性雨モデルの開発

北海道大学工学部衛生工学科 ○村尾直人、太田幸雄、溝口 勲

1. はじめに

酸性雨を初めとする長距離輸送を伴う大気汚染現象に対して、より有効な対策を行うためには、被害地域に対する発生源からの寄与を明らかにすることが重要である。このような課題に対しては、約 1,000 km スケールの汚染物質の輸送、拡散、反応及び沈着過程を適切に表現し、月平均や年平均での沈着量を評価することのできる長距離輸送モデルの開発が必要となる。酸性雨の影響が深刻な欧米では、モデル化の研究が多数行われているが、東アジア地域を対象とした研究例はあまり見られない。本研究では、中国東部、台湾、韓国、北朝鮮を含む地域を対象として、汚染物質の長距離輸送過程を説明するためのモデルを作成し、今後の環境保全対策に資することを目的とした。

2. モデルの概要

2. 1 モデルの構成

汚染物質の移流・拡散を計算するためのモデルは、ラグランジュ型とオイラー型とに大別される。本研究では、対象とする発生源が面的に広範囲に分布し、また、濃度や沈着量を評価する対象地点も全国的に広がっていることからオイラー型を採用した。モデルの基本式は以下に示す通りである。尚、対象物質は SO_2 および SO_4^{2-} とした。

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} = & - \frac{\partial u C}{\partial x} - \frac{\partial v C}{\partial y} - \frac{\partial \sigma C}{\partial \sigma} + \frac{\partial}{\partial x} \left[K_h \frac{\partial C}{\partial x} \right] \\ & + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_h \frac{\partial C}{\partial y} \right] + \left[\frac{g}{10^5 P^*} \right]^2 \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\rho^2 K_z \frac{\partial C}{\partial \sigma} \right] \\ & + \text{Reaction} + \text{Emission} + \text{Deposition} \end{aligned}$$

ここで、 C : 濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)、 t : 時間 (s)、
 x, y : 座標 (m)、 σ : 鉛直方向座標 (—)、
 u, v : 風速成分 (m/s)、 σ : 鉛直方向風速成分 (s)、
 K_h, K_z : 水平方向、鉛直方向の拡散係数 (m^2/s)、
 g : 重力加速度 (m/s^2)、 P^* : 地表面と上端の気圧差 (mb)、 ρ : 空気密度 (g/m^3) である。

この方程式を移流項及び水平拡散項は二次モーメント法で、鉛直拡散項は、Crank-Nicholson 法で解いた。

2. 2 計算条件、使用データ及び解析

計算の対象範囲は、図 1 に示すように、中国の中央付近から東側、台湾、韓国、北朝鮮を含んでいる。

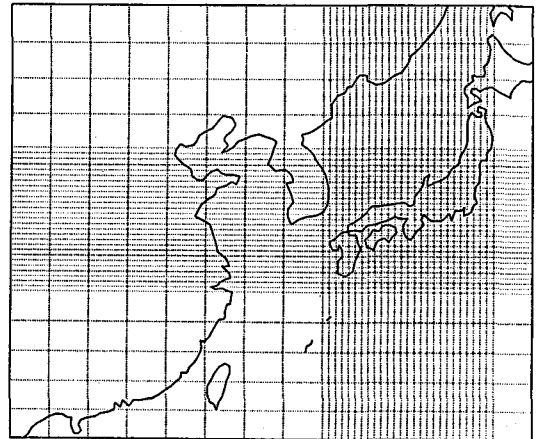


図 1 計算対象範囲と格子分割

格子分割は、国内は東西30分、南北20分、国外は東西3度、南北2度とした。風データは、国内については、エアロロジカル・データ（特異点）を鉛直方向に内挿したものを用い、国外については、気象庁の日本域客観解析値を用いた。降水量データは国内は AMeDAS、国外は、気象庁の世界気象資料の時・日別ファイルによった。また文献に従い、拡散係数は季節、時刻、高度別に、沈着速度は土地利用区分別の値とした。発生源データについては、国内は都道府県別の排出量をメッシュ単位に配分したものを、国外は、各国の公的レポートの排出量の値またはエネルギー消費量からの推定値を用いた。

解析においては、まず各種パラメータの酸性沈着量に与える影響を調べるため、乾性沈着速度、洗浄比等について感度解析を行った。次に、我が国各地の酸性物質沈着量に及ぼす各種発生源からの寄与を見積もるため、発生源別の計算を行った。

3. 結果の概要

3. 1 沈着量の分布

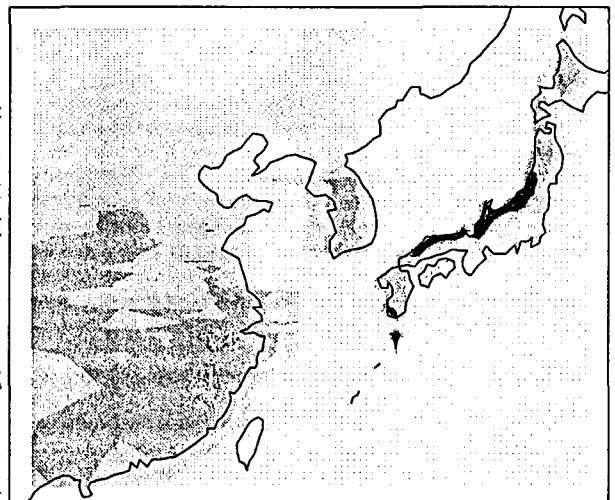
SO_4^{2-} の月間沈着量の計算例（2月）を図2に示す。 SO_4^{2-} 沈着量は湿性沈着の寄与が大きく、その分布は降水量分布を反映したものとなっている。一方、 SO_2 沈着量は乾性沈着の寄与が大きく、その分布は発生源分布を反映したものとなっている。

3. 2 結果の検証

全体に計算値は実測値よりもかなり小さい値となった。これは、実測値のない日本海域での降水量を陸上の値を参考に与えているため、海域での沈着量を過剰評価しているためと思われる。また、海上の乾性沈着速度も長距離輸送量に大きな影響を持つ。海上での乾性沈着速度が小さい藤田ら¹⁾の値を用い、さらに海上での雨を無しとすると計算値は実測値とほぼ同等になる（図3）。

3. 3 桜島の寄与

桜島では、1986年以降爆発発生頻度こそ低下しているが、 SO_2 放出量は 2,300 t/日の高レベルを持続しており²⁾、この量は我が国の人為発生源から排出される SO_2 量にほぼ匹敵する。本研究では、まず等圧面流跡線の作成を行い、輸送経路と気圧配置との関係およびその季節変動をみた。流跡線は桜島上空を6時間毎に出発する気塊について3日間の追跡を行い作成した。次に桜島からの排出を含む場合と含まない場合についてモデル計算を行い、各地の沈着量に対する桜島の寄与を求めた。噴煙の上昇高度は、1987～89年の観測から求められた噴煙の上昇高度と鹿児島上空 900mbの風速の間の関係³⁾を用いた。



SO_4^{2-} , mg/m² FEB.,1988
Total deposition

図2 SO_4^{2-} 沈着量の計算結果例 分類のカテゴリ
グレイは 0,10,20,30,50,100,300,900

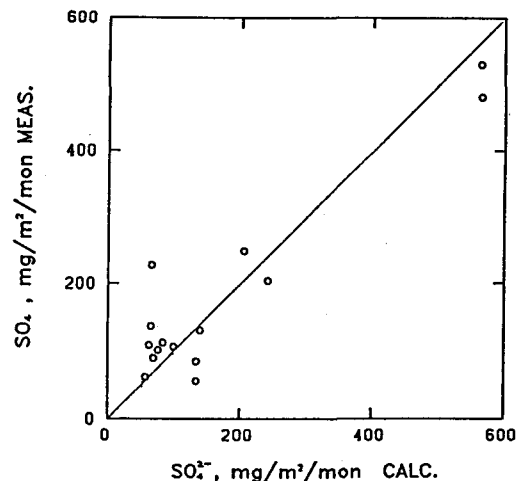


図3 実測値と計算値との比較

図4に1988年2月、4月に関する流跡線解析結果を示す。冬期と春期で流跡線の分布は大きく異なり、桜島の影響が冬期には小さく、春期のように頻繁に高低気圧が通過する時期に大きいことが示唆された。それぞれの月について、モデル計算により、仙台、武蔵野、名古屋、富山、大阪、広島、萩、高知および長崎の硫黄酸化物の沈着量に対する桜島の寄与を求めた。その結果、桜島に由来する沈着量は、2月ではいずれの地点も12 ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{月}$)以下と小さい値となったが、4月では、15~137 ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{月}$)となり、沈着量に対する寄与率では、名古屋、大阪、広島、高知で20%を上まわる結果となった。これらの結果に関しては、今後測定を含めた十分な検証が必要と思われるが、日本地域の酸性物質の沈着に関して桜島の影響が大きいことを示すものとして注目できる。

3. 4 日本域での硫黄酸化物の収支推定

これまでに、計算結果の検証を終えた1988年2月に関して、モデル対象領域中の日本付近の領域における硫黄酸化物の収支推定を行った。算出した項目は、移流による流入および流出量、発生量（人為・火山）、沈着量である。

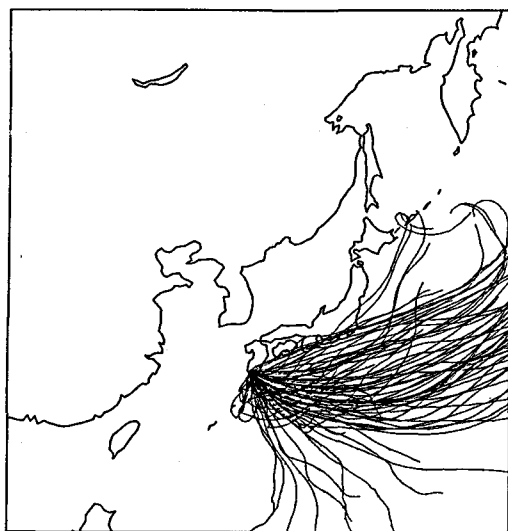
図5に1988年2月に関する日本域での硫黄酸化物の月間物質収支の試算結果を示す。2月は西寄りの風が卓越しているため、最もアジア大陸からの寄与が大きい時期と考えられ、この試算からも、国内地表面への沈着量に対する寄与は、冬季には国内地表発生源と比較してアジア大陸からの流入がかなり大きいことが示される。しかし夏季には卓越風向が異なるため、これらの寄与は季節別に大きく異なることが予想される。

今回の計算はまだ試算段階であるため、今後さらにモデルの検証を行って、より詳細な検討を進める必要がある。

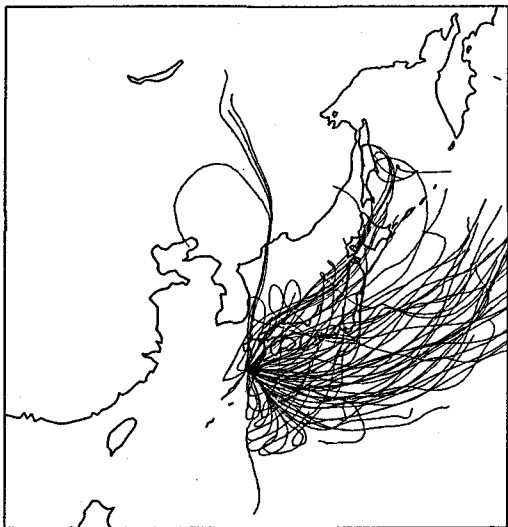
引用文献

- 1) 藤田ら(1990)、大気汚染学会誌、25, 343.
- 2) 太田ら(1988)、火山、33, 125.
- 3) 木下(1989)、鹿児島大学教育学部紀要自然科学編、41、1.

謝辞 データの提供ならびに御協力をいただいた
（財）産業公害防止協会に御礼申し上げます。



(1) 2月



(2) 4月

図4 桜島を出発する流跡線（1988年）

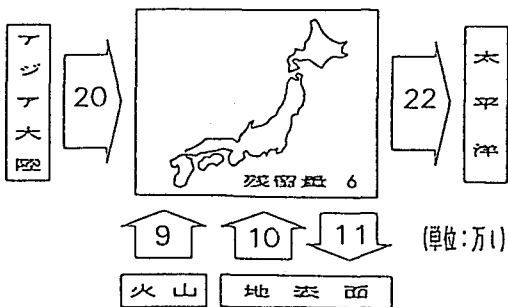


図5 硫黄酸化物の月間物質収支
(1988年2月、単位は万トン・ SO_2)