

HYSPLIT を用いた中国起源の 酸性物質に関する長距離輸送シミュレーション

宇都宮大学工学部 ○ 学生員 松田 慎介
宇都宮大学工学部 正会員 長谷部 正彦
宇都宮大学工学部 正会員 鈴木 善晴

1. はじめに

近年、経済発展が目覚ましい東アジア地域における越境汚染問題が深刻化している。中でも1970年から1990年代に欧米で猛威を振るった酸性雨の問題が我が国でも顕在化し、地域によってはpH4程度の非常に酸性度の高い降水が観測されている。こういった問題を解決するためには、どの地域からどれだけ汚染物質が輸送されているか(地域別発生源寄与率)を明らかにし、それをもとに国家レベルで働きかける必要がある。1990年代以降、各研究機関によって酸性物質の長距離輸送に関する多くのモデルが開発され、大陸から日本への酸性物質の輸送メカニズムに関する研究が進められてはいるものの、その結果には大きなバラツキがあり、モデルの妥当性を検証する必要がある。

本研究では、特に中国からの酸性物質の長距離輸送に着目して、輸送モデルHYSPLIT4を用いた数値シミュレーションを行うとともに、発生源寄与率の算定を通してモデルの妥当性の検証を行う。

2. HYSPLIT4の概要

HYSPLIT4(Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Ver.4)は、Draxerら¹⁾が1982年から2004年の間に四段階に渡って開発した長距離輸送モデルである。このモデルは大気中の移流・拡散および沈着過程の計算を含むモデルであり、既存の二酸化硫黄の発生源、発生量、その他の計算条件を入力し、現実の気象条件下での濃度変化を検証するシステムである。発生した汚染物質の移流計算は、汚染物質をパフあるいは粒子(または両者の混在したもの)と仮定し、それらをラグランジュ的に追跡することで行われる。

3. 酸性降下物

酸性雨に含まれる代表的な酸性物質として、主に二酸化硫黄及び窒素酸化物があげられる。

二酸化硫黄は、輸送過程でオゾンなどによって酸化されることで徐々に硫酸に変わり、長距離輸送される。硫酸は非常に揮発性が低いため、大気中で生成するとすぐに細かい粒子となり、この粒子が雲核となって雲を形成することで雨を降らせたり、あるいは降雨に溶け込むことで酸性雨となる。一方、窒素酸化物は輸送過程で徐々に反応するわけではなく、発生源近くで酸化されることで硝酸となる。硝酸は、雨に溶け込んで地上に沈着するだけでなく、揮発性

が高いため、ガスとして大気中に存在し、そのままの形で沈着する。

本研究では、エアマス粒子に二酸化硫黄を設定し、計算に用いるパラメータには、拡散比1.9、モル重量64.00(g/mol)を使用した。放出高度は150mを起点とし、鉛直層は地表面(0m)、0m-1000m層、1000m-3000m層、3000m-5000m層、5000m-10000m層の5層に分類した。また、沈着速度に関しては、市川らの研究報告²⁾およびAndreas Stohl *et al.*の粒子拡散モデルFLEXPARTを参考に0.002m/sとした。

4. 東日本における輸送過程の解析

(1) 中国を発生源とする輸送シミュレーション結果

冬季のSO₂の輸送を想定して中国からの長距離輸送のシミュレーションを行う。気象データにはNOAAによる2.5°×2.5°の再解析データを用い、佐藤らのトラジェクトリー解析の結果³⁾から、酸性物質の主要発生源に中国の河北省、遼寧省、山東省の3地点を選定した。解析期間は2002年10月から2003年2月、エアマスの放出開始時刻は各月15日の12:00とし、エアマスの放出時間は12:00から18:00までの6時間とした。なお、エアマスの濃度分布と物質の沈着量分布の出力は、エアマス放出開始後6時間間隔で、120時間後の20日12:00までとした。また、放出率に関しては、科学技術政策研究所から公表されている各省の2000年における二酸化硫黄排出量データから平均放出率を計算し、河北省で70.88t/h、遼寧省で124.89t/h、山東省で221.69t/hとした。

図-1、図-2に10月15日12:00の放出から24時間後と96時間後における二酸化硫黄の濃度分布および沈着量分布を示す。同図より、放出から24時間には日本へ到達していなかったエアマスが東方向に移流することで日本へ到達し、96時間後には日本全体を覆うようにして拡散していることが確認できる。

図-3に2002年10月15日の新潟とつくばにおける二酸化硫黄濃度と沈着量の時系列変動を示す。同図より、両地点とも0-1000m及び1000-3000m層に濃度が現れ、それ以上の高層まではエアマスが拡散していないことがわかる。1000m以上の濃度は現れた直後には沈着量にあまり影響していないと考えられるが、時間の経過とともに重力により徐々に沈着すると推測される。

(2) 発生源寄与率の算定

ここで、新潟市およびつくば市において観測データとシミュレーション結果の比較を行う。まず、図-3

Key Words: 酸性物質, 長距離輸送, HYSPLIT, 環境影響評価

〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科 Tel.028-689-6214 Fax.028-689-6213

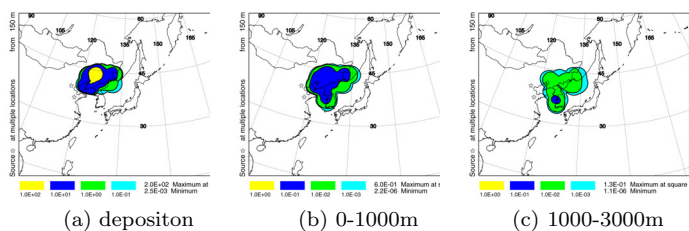


図-1 2002年10月15日12:00放出開始から24時間後の沈着量・濃度分布

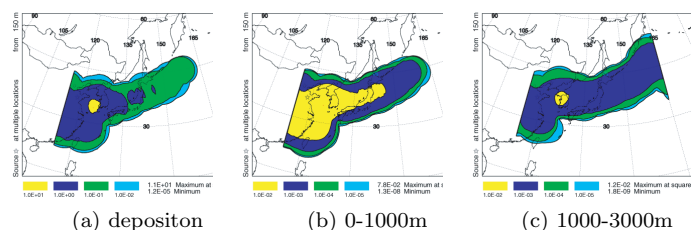
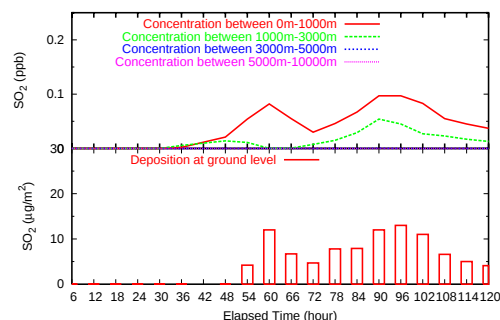


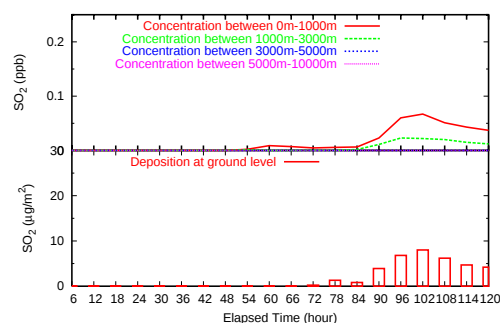
図-2 2002年10月15日12:00放出開始から96時間後の沈着量・濃度分布

からは、新潟市の0-1000 m層における二酸化硫黄の平均濃度が約0.097 ppbと算定される。一方、科学技術政策研究所によれば、2000年に中国北東部3省から排出された人為起源の二酸化硫黄が409万t、同年の中国全土からの排出量が1998万tと見積もられており、後者は前者の約4.9(=1998/409)倍となっている。したがって、この比率から推定すると、上記の0.097 ppbを4.9倍した値0.475 ppbが、中国全土から新潟市へ輸送される二酸化硫黄の推定濃度となる。さらに、国立環境研究所の「環境数値データベース」によれば、図-3と同時期に新潟市で観測された二酸化硫黄の平均濃度は0.894 ppbであることから、中国全土から新潟市へ輸送される二酸化硫黄の寄与率は、 $0.475/0.894=0.531$ より、約53%と推定される。市川ら⁴⁾の解析によれば、新潟県の二酸化硫黄濃度における中国大陆からの輸送量の寄与率は、夏季(6月)が約43%、冬季(11月)が約63%となっており、これらの値と比較すると、上記の推定結果はほぼ妥当なものとなっている。

また、つくば市においても同様な計算を行ったところ、中国大陆からの輸送量の寄与率は0.239(約24%)と推定された。市川らの解析では、つくば市における同寄与率が約33%から35%となっており、解析手法の違いを考慮すれば、本研究の推定値は妥当なものと考えられる。以上より、中国を発生源とする二酸化硫黄の寄与率を計算することで、本研究の輸送シミュレーションの妥当性を確認することができた。また、上記の推定値が示すように、中国からの酸性物質の輸送は、我が国の日本海側だけでなく太平洋側の地域にも広く影響を及ぼしており、ローカルなスケールでの詳細な環境影響評価を実施することで、近年の中国における急速な近代化の影響を考慮した環境対策の策定が求められている。



新潟



つくば

図-3 2002年10月15日における新潟とつくばでの二酸化硫黄濃度と沈着量の時系列変動

5. まとめ

本稿では、HYSPLIT4を用いた輸送シミュレーションにより、中国からの酸性物質の放出・移流・拡散・沈着の一連の輸送過程について検討した。

冬季における中国からの輸送シミュレーションにより、10月から12月にかけては36時間前後でエアマスが日本上空に到達し、分布が日本全体を覆うように広がっていることがわかった。また、中国三省からの二酸化硫黄発生源寄与率は新潟で53%、つくばで23%と推定され、他の機関の研究結果と比べて同程度の結果となり、モデルの妥当性が確認できた。

今後は、酸性物質の長距離輸送によるローカルな地域を対象とした環境影響評価を行うとともに、温暖化予測情報と将来のSO₂排出量の予測結果を用いた、将来における酸性物質の長距離輸送についても検討を行う予定である。

参考文献

- 1) R.R.Draxler: Hybrid single-particle Lagrangian integrated trajectories(HY-SPLIT): Version3.0-User's guide and model description. NOAA Tech. Memo. ERL ARL-195, 26pp. and Appendices. [Available from National Technical Information Service,5285 Port Royal Road, Springfield, VA 22161], 1992.
- 2) 市川陽一, 速水洋: 東アジアを対象とした硫酸化物の長距離輸送モデルの評価, 電力中央研究所研究報告 T96044, 電力中央研究所, 1997.
- 3) 佐藤正人, 長谷部正彦, 鈴木善晴: 移流拡散モデルを用いた東日本における酸性降水物の輸送メカニズムに関する研究, 宇都宮大学, 2007.
- 4) 市川陽一, 藤田慎一, 我が国の硫酸イオンの湿性沈着量に及ぼす東アジア各国の寄与評価, 電力中央研究所報告 T93012, 電力中央研究所, 1994.