

HYSPLIT を用いた中国起源の酸性物質に関する 移流拡散シミュレーション

宇都宮大学大学院工学研究科 ○ 学生員 渡邊 宗一郎
前田建設工業(株) 正会員 松田 慎介
宇都宮大学大学院工学研究科 正会員 鈴木 善晴
宇都宮大学大学院工学研究科 正会員 長谷部 正彦

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。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、移流拡散モデルHYSPLIT4を用いた物質輸送シミュレーションにより、冬季に中国から排出された二酸化硫黄が東日本へ到達するまでの酸性物質の放出・移流・拡散・沈着の一連の輸送過程について検討する。さらに、将来の二酸化硫黄排出量予測データ(科学技術研究所)を用いたシミュレーションを通して、東日本における今後の越境汚染の影響について考察する。

2. HYSPLIT4による輸送シミュレーション

HYSPLIT4 (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Ver.4) はDraxlerら^{1),2),3)}によって開発された物質輸送モデルで、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移流・拡散の計算が行われる。モデルの初期条件に用いる気象データは、NOAAによる $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ の再解析データを使用した。計算領域は、宇都宮の緯度・経度を中心に $30^{\circ} \times 70^{\circ}$ 、分解能は $0.15^{\circ} \times 0.15^{\circ}$ とし、鉛直層は地表面、0m - 500m層、500 - 1000m層、1000m - 2000m層、2000m - 3000m層の5層に分類した。また、沈着速度に関しては、市川ら⁴⁾およびStohl *et al.*⁵⁾を参考に0.002m/sを使用した。

3. 東日本における輸送過程の解析

(1) 計算条件と計算ケース

本研究では、科学技術政策研究所から公表されているアジア地域の SO_x 排出量の将来予測データに基づき、冬季の SO_2 の長距離輸送に関して、3ケースのシミュレーションを行う(表-1)。

酸性物質の主要発生源には、中国でも特に日本への影響が高いと推測された北京、河北、山西、遼寧、黒龍江の5地点を選定した。エアマスの放出開始時

表-1 計算ケース一覧

ケース	想定したシナリオ
現状	2000年2月のシミュレーション
悲観的シナリオ	環境対策は進展しない
楽観的シナリオ	環境対策が日本並みに進展

表-2 各ケースの放出率

	北京	河北	山西	遼寧	黒龍江
現状 (t/h)	52.04	120.21	88.58	124.89	61.76
悲観的 (t/h)	59.29	137.10	101.03	140.89	70.21
楽観的 (t/h)	18.04	43.26	32.65	40.75	30.71

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0:00までの12時間とした。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二酸化硫黄排出量の将来予測データを基に、表-2に示す値を用いた。

(2) 冬季の移流・拡散過程の考察

図-1、図-2に、現状および悲観的シナリオにおける放出から6, 24, 96時間後の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、中国5地点から放出されたエアマスは、より北緯に位置する遼寧と黒龍江から放出された気塊と、その他の地点から放出された気塊とが異なる移流・拡散過程を経て日本へ到達することがわかった。ここでは前者を気塊a、後者を気塊bとして考察を行う。

まず、気塊aは、ほとんど拡散されずに高い濃度を保ったまま南東方向へと移流し、24時間後には日本の中国地方へ到達する。そして、96時間後には日本をほぼ完全に通過する形で太平洋側へぬける。一方、気塊bは徐々に円形状に拡散し、気塊aに比べ時間的な遅れを伴って九州地方へと到達する。図-3に、現状および悲観的シナリオにおけるつくばでの二酸化硫黄濃度と沈着量の時系列変動を示す。同図より、24時間程度で到達する気塊aは高濃度で到達するため、日本への寄与度が高く、一方で気塊bは十分に拡散されて日本へ到達するため、気塊aに比べてその寄与度は低いと推測される。

(3) 発生源寄与率の算定と将来の越境汚染の影響

ここで、現状を基準としたときの悲観的シナリオおよび楽観的シナリオの沈着量増加・減少割合を計算す

キーワード：酸性物質、長距離輸送、HYSPLIT、環境影響評価

宇都宮大学大学院工学研究科地球環境デザイン学専攻 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2 TEL(FAX): 028-689-6214(6213))

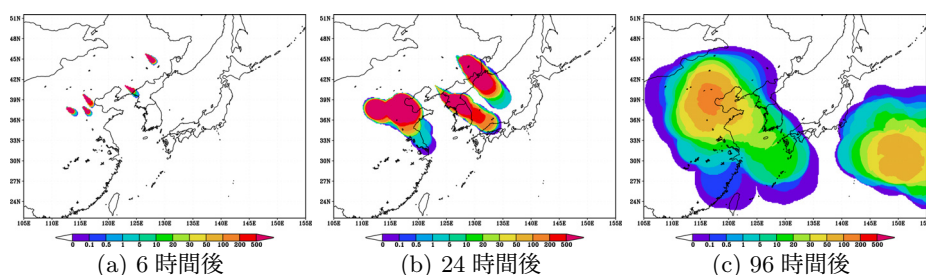


図-1 現状の0-500m層における沈着量・濃度分布

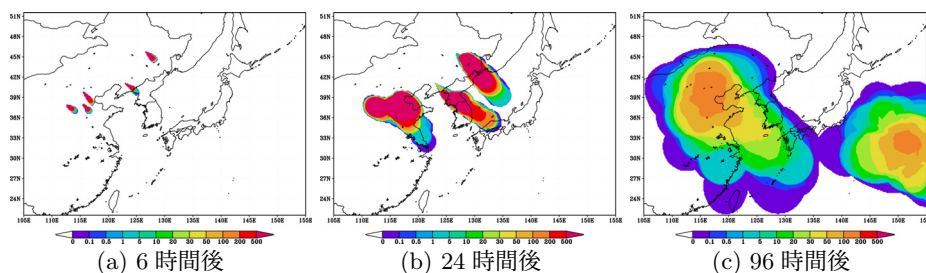


図-2 悲観的シナリオの0-500m層における沈着量・濃度分布

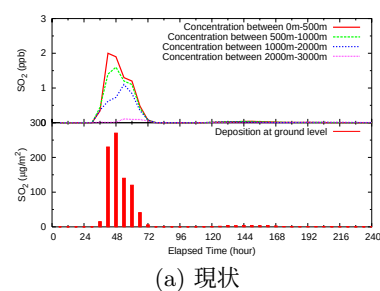
る。図-3に示すつくばでの二酸化硫黄沈着量について計算値の時間平均をとると、現状で $21.37 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 、悲観的シナリオで $24.23 \mu\text{g}/\text{m}^2$ が得られる。これより悲観的シナリオの増加割合は $1.134 (=24.23/21.37)$ と推測される。同様に楽観的シナリオでの減少割合は 0.344 と推定された。

次に、つくば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から、現状におけるつくばの0-500m層での二酸化硫黄の平均濃度が約 0.217 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5省から排出される人為起源の二酸化硫黄が 392.3 万 t 、同年の中国全土からの排出量が 2208.6 万 t と見積もられており、後者は前者の約 $5.63 (=2208.6/392.3)$ 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 0.217 ppb を 5.63 倍した値 1.222 ppb が、中国全土からつくば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と同時期につくばで観測された二酸化硫黄の濃度は 6 ppb 程度であることから、中国全土からつくばへ輸送される二酸化硫黄の寄与率は、 $1.222/6.0=0.204$ より、約 20.4% と推定される。市川ら⁶⁾の解析によれば、つくば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、冬季(11月)が約 $33\sim35\%$ となっており、解析手法の違いを考慮すれば、上記の推定結果はほぼ妥当なものとなっている。

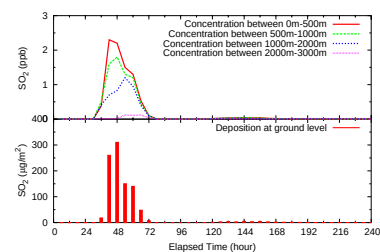
同様に、楽観的シナリオについて新潟での計算も加えた発生源寄与率の計算結果を表-3に示す。

4. 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長距離輸送について、3ケースのシミュレーションを行い、発生源寄与率の算定を通してモ



(a) 現状



(b) 悲観的シナリオ

図-3 つくばでの二酸化硫黄濃度と沈着量の時系列変動

表-3 中国からの寄与率とケースごとの沈着量増加・減少率

	発生源寄与率		沈着量増加・減少割合	
	新潟	つくば	新潟	つくば
現状	61.1%	20.4%	1.0	1.0
悲観的	69.3%	23.1%	1.156	1.134
楽観的	15.4%	5.2%	0.372	0.344

デルの妥当性を検証した。また、今後中国において環境対策が進展しなかった場合、中国からの沈着量の増加は、現在の $1.1\sim1.2$ 倍と推定され、逆に環境対策が日本並みに進展した場合、 $0.3\sim0.4$ 倍に減少すると推定された。

参考文献

- 1) Draxler, R. R. and A. D. Taylor : Horizontal dispersion parameters for long-range transport modeling, J. Appl. Meteorol., 21, 367-372, 1982.
- 2) Draxler, R. R. : Hybrid single-particle Lagrangian integrated trajectories (HY-SPLIT) Version3.0 User's guide and model description, NOAA Tech. Memo. ERL ARL-195, 1992.
- 3) Draxler, R. R. and G. D. Hess : Description of the HYSPLIT4 MODELING SYSTEM, NOAA Tech. Memo. ERL ARL-224, 2004.
- 4) 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.
- 5) Stohl, A., C. Forster, A. Frank, P. Seibert, and G. Wotawa : Technical Note - The Lagrangian particle dispersion model FLEXPART version 6.2, Atmos. Chem. Phys., 5, 2461-2474, 2005.
- 6) 市川陽一, 藤田慎 : 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, 電力中央研究所研究報告 T93012, 電力中央研究所, 1994.