

酸性降下物による地球規模の環境影響に関する研究

京都大学 久保田 馨

京都大学 正会員 松岡 譲

京都大学 正会員 藤原 健史

1. はじめに

本研究では、酸性降下物による環境影響を地球規模かつ長期的立場から検討できるモデルを作成した。計算対象領域である全球を水平方向 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 、鉛直方向 3 層の格子に分割し、対象物質を SO_2 、 SO_4^{2-} 、 NO 、 NO_2 、 HNO_3 、PAN(peroxyacetylnitrate)、 NO_3^- 、 NH_3 、 NH_4^+ の 9 物質として、物理・化学的変質過程を組み込んだ 3 次元オイラー型モデルを用いて硫黄と窒素の沈着量分布を計算した。また、求めた降下物質の酸性当量および窒素量を、土壌のそれぞれの臨界負荷量と比較することにより、大気由来の土壌酸性化および窒素肥沃化を評価した。その結果、世界全陸域での SO_x 、 NO_x 、 NH_x の総沈着量はそれぞれ 51.1Tg-S、23.2Tg-N、35.1Tg-N となった。また環境影響評価では、土壌酸性化の影響が顕著な地域は全陸域の 8.54%、窒素肥沃化の影響が顕著な地域は 11.7%であった。

2. 背景と目的

近年、成層圏オゾンの破壊、地球温暖化、そして酸性雨といった地球規模の環境問題が大きく取り上げられ、その対策は急務とされている。なかでも、酸性雨問題は局所的なスケールから地球的なスケールの幅広い問題を含んでおり、他の地球環境問題に比べて異なった様相を示す。ヨーロッパや北米では、30 年以上も前から酸性雨による数々の影響が報告されており、その現象の解明や対策が講じられてきた。特にヨーロッパにおいては、1979 年の長距離越境大気汚染条約締結に始まり、1985 年にヘルシンキ議定書、1988 年にはソフィア議定書が採択され、大気汚染物質の排出抑制、削減が着実に進められてきた。しかしその一方で、東南アジア地域では近年の著しい経済成長、工業化、及び石炭への強い依存などから排出量が増加し、その周辺国への酸性物質の影響が懸念されている。このような状況のもと、池田(2001)は東アジアにおける硫黄酸化物の長距離輸送をモデル化して沈着量分布を求め、松岡(1992)は硫黄酸化物の発生量予測とともに全球において 1960 年から 2100 年までの沈着量を求め、酸に対する土壌の緩衝速度を示した。本研究では、硫黄酸化物および窒素酸化物について、全球規模の拡散・沈着の計算を 1 年 間について行い、土壌酸性化や大気由来の窒素肥沃化の程度をそれぞれの臨界負荷量を基準とした超過率によって表すことにより、酸性降下物に対する影響が強い地域を明らかにした。

3. 方法

本研究では、全球を対象領域とし、大気由来の硫黄酸化物、窒素酸化物、アンモニアが地球環境に与える影響について評価した。計算フローを図 1 に示す。大気中の汚染物質の長距離輸送を考えた場合、発生源から放出された汚染物質は物理・化学的変質を受け、さらに地表面への沈着除去を起こしながら輸送される。本モデルでは、池田(2001)や他の文献を参考に、 SO_2 、 SO_4^{2-} 、 NO 、 NO_2 、 HNO_3 、

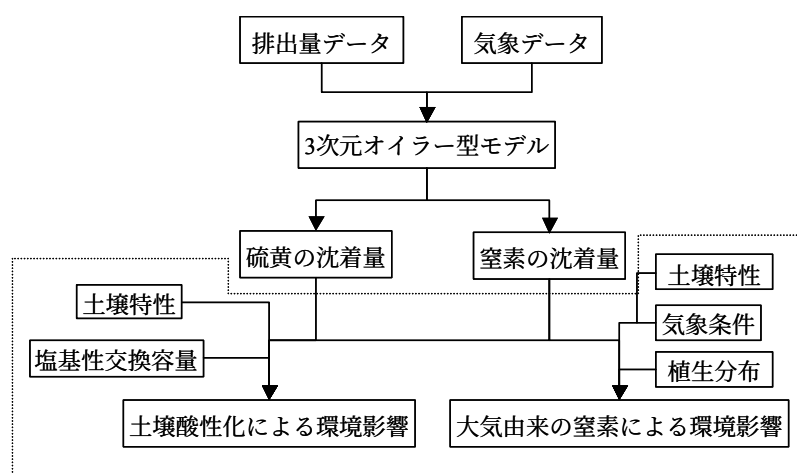


図1 モデルの概要

キーワード 地球環境、酸性降下物、長距離輸送モデル、土壌酸性化、窒素肥沃化

連絡先 〒606-8501 京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻大気・熱環境工学分野 藤原健史 TEL 075-753-4783

PAN、 NO_3^- 、 NH_3 、 NH_4^+ の9物質に関する反応式を立てた。乾性沈着は物質、土地利用、季節、昼夜の違いを、湿性沈着は物質、季節の違いを考慮した。硫黄酸化物及びアンモニアについては雲に取り込まれ除去されるレインアウトを考慮した。

拡散計算には3次元オイラー型モデルを用い、全球のグリッドは水平方向に $1^\circ \times 1^\circ$ のメッシュとし、鉛直方向に σ 圧力座標系を用いた3層(上層境界540.2hPa、 $\sigma=0.457, 0.758$)とした。風速、温度、降水量には、ECMWFによる2000年の6時間毎(降水量は12時間毎)のデータを用い、拡散・沈着計算は6時間間隔とした。幾つかの都市について沈着量の計算値をWMOの観測値と比較し、沈着係数に修正を加えて比較的良好一致を得ることを確認した。

算出した沈着量は影響評価の入力データとして用いた。土壌酸性化の程度は、酸性化の超過率(陽イオン交換容量と相対感受性から決まる臨界負荷量に対する硫黄酸化物・窒素酸化物の正味の酸性当量)で評価した。ここで、正味の酸性当量とは、沈着量の酸性当量から窒素不動態、脱窒、交換性塩基の沈着量に関する当量を差し引いた残りである。また、大気由来の窒素肥沃化の程度は、窒素負荷の超過率(植生種類と土壌特性・気象条件等から決まる臨界負荷量に対する窒素の沈着量)で評価した。

4. 結果と考察

本研究では、 SO_x 、 NO_x 、 NH_x の沈着量の計算、及び酸性降下物による環境影響の評価を行った。その結果、 SO_x の影響はヨーロッパ、東アジア・インド、アメリカ東部で、 NO_x 、 NH_x の影響はこれらの地域に加え、アフリカ中央部、南アメリカ東中央部で大きくなった。また、世界全陸域の総沈着量は、 SO_x が51.1Tg-S(1995年)、 NO_x が23.2Tg-N(1995年)、 NH_x が35.1Tg-N(1990年)となった。

土壌酸性化については、アメリカ東部、ヨーロッパ北部、中国東部、及び南アメリカ北東部において影響が大きいことがわかった。また、正味の酸性当量が臨界負荷量より大きくなっている地域(超過率>1)は、世界全陸域で $1.11 \times 10^{13} \text{ m}^2$ (全陸域の8.54%)で、さらに超過率>2の地域は $5.48 \times 10^{12} \text{ m}^2$ (全陸域の4.20%)であった。地域別に考えると、超過率>1の地域はアメリカにおいて $1.69 \times 10^{12} \text{ m}^2$ (18.0%)、ドイツで $1.86 \times 10^{11} \text{ m}^2$ (52.1%)、中国で $1.53 \times 10^{12} \text{ m}^2$ (15.9%)であった。一方、大気由来の窒素肥沃化については、中国東部、インド北部、ヨーロッパ中央部、及びアフリカ中央部において、影響が大きいことがわかった。窒素沈着量が臨界負荷量より大きくなった地域(超過率>1)は $1.52 \times 10^{13} \text{ m}^2$ (全陸域の11.7%)で、超過率>2の地域は $4.01 \times 10^{12} \text{ m}^2$ (3.07%)であった。地域別に考えると、アメリカ、カナダはそれぞれ $8.55 \times 10^{11} \text{ m}^2$ (9.11%)、 $4.92 \times 10^{11} \text{ m}^2$ (4.93%)であり、アジア地域についてはインドで $1.78 \times 10^{11} \text{ m}^2$ (5.41%)、中国で $3.00 \times 10^{12} \text{ m}^2$ (31.2%)となった。

5. おわりに

本研究では、対象領域を全球とし、3次元オイラー型モデルを用いて硫黄、窒素の沈着量を求めた。さらに、算出された沈着量と臨界負荷量を比較することにより、土壌酸性化と窒素肥沃化の評価を行った。これにより、現時点において被害を強く受けている地域を特定することが可能となった。今後、このモデルを用いて将来における酸性降下物の影響を調べる予定であり、東アジアなど経済発展が見込まれる地域からの影響が強く現れる場所と時期を明らかにし、酸性降下物の排出抑制に関する具体的な方策について検討したい。

参考文献

- ・池田有光(2001):東アジア全域を対象とした総合的な大気汚染物質排出量制御方策の確立、平成9年度~平成12年度科学研究費補助金(基盤(B)(1))研究成果報告書
- ・松岡 譲(1992):人為起源の硫黄酸化物による地球的規模な環境影響について、環境システム研究, 20, 142-151