

# 関東における酸性降水物の分布特性と その輸送経路に関する解析

宇都宮大学大学院工学研究科 学生員 太田 雅人  
宇都宮大学大学院工学研究科 正会員 長谷部 正彦  
宇都宮大学工学部 正会員 鈴木 善晴

## 1. 背景と目的

近年、ヨーロッパや北米では、高い酸性度を持つ降雨が観測され、それが原因と考えられる湖沼の酸性化や森林の衰退が報告されている。一方、日本においては、欧州に匹敵するほどの高い酸性度を持つ降雨が観測されているが、生態系への明確な影響は見られていない。

そこで、本研究では、将来、顕在化してくるであろう酸性降水物による影響を検討するため、長期観測データを用いて、北関東（群馬、栃木、茨城）を中心とした酸性降水物の時空間分布特性について解析を行った。さらに、酸性降水物の主要前駆物質の一つである硫黄酸化物を大量に排出する中国による、北関東への影響を検討するため、気塊の移流を扱ったトラジェクトリー解析を行った。

## 2. 酸性降水物の時系列変動

### (1) 解析データ及び観測地点

本研究では、酸性降水物の主要前駆物質大気中濃度として、大気汚染物質濃度を、また、降水中イオン濃度として、酸性降水物調査データを用いた。観測データは酸性雨調査報告書<sup>1)</sup>によるものである。本研究における大気中濃度および降水中イオン濃度の解析地点を図-1に示す。どちらについても解析期間は1999年4月から2003年3月までの4年間とする。

### (2) 主要前駆物質大気中濃度

酸性降水物の主要前駆物質である硫黄酸化物や窒素酸化物（以下、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ とする）について解析を行った。一例として、図-2に、栃木県における $\text{NO}_x$ および $\text{SO}_2$ 濃度の季節変動を示す。 $\text{NO}_x$ 濃度に関して、冬季に高くなるという季節変動がみられた。 $\text{SO}_2$ 濃度に関しても、 $\text{NO}_x$ 濃度と同じような季節変動がみられた。この季節変動には、降水による大気中物質の除去作用が大きな影響を与えている。実際、降水量が多い夏季から秋季にかけては、 $\text{NO}_x$ および $\text{SO}_2$ 濃度が低くなっている。

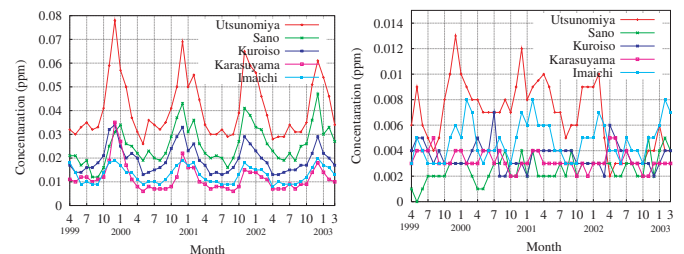
### (3) 降水中イオン濃度

降水を酸性化する硝酸イオン、硫酸イオン（以下それぞれ、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ ）について解析を行った。図-3に栃木県における $\text{NO}_3^-$ および $\text{SO}_4^{2-}$ 沈着量の季節変動を示す。両イオン沈着量には、夏季から秋季にかけて多く、冬季から春季にかけて少ないという季節変動がみられた。これは、降水量の季節変動と一致



(a) 主要前駆物質大気中濃度 (b) 降水中イオン濃度

図-1 解析地点（群馬県，栃木県，茨城県）



(a)  $\text{NO}_x$  濃度 (b)  $\text{SO}_2$  濃度

図-2 栃木県における  $\text{NO}_x$  および  $\text{SO}_2$  濃度の季節変動（1999年4月～2003年3月）

することから、沈着量は降水の多寡に大きく依存していると考えられる。次に、図-4に栃木県における降水中 $\text{NO}_3^-$ および $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度の季節変動を示す。 $\text{NO}_3^-$ 濃度に関しては、明確な季節変動はみられなかったが、 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度には、冬季に高くなるという季節変動がみられた。 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度が冬季に高くなるのは、冬季に降水量が減少し、降水中 $\text{SO}_4^{2-}$ が相対的に多くなることによって生じるものと考えられる。また、 $\text{SO}_4^{2-}$ の前駆物質である $\text{SO}_2$ の大量排出国である中国による影響も考えられる。本研究では後者の中国による長距離輸送の影響を検討するため、トラジェクトリー解析を行った。

## 3. METEX を用いたトラジェクトリー解析

### (1) 解析データおよび解析方法

本研究では、地球環境研究センターで開発されたMETEX(METEorological Data Explorer)を用いて、トラジェクトリー解析を行った。データは風向、風速等のNCEP/NCAR再解析データを用いた。計算はシグマ座標系上で、空気塊は周囲の風によってのみ移動するとして、風の東西・南北及び垂直成分のから算出する三次元法を用いて、バックワードトラジェクトリーを算出した。計算対象は、栃木県宇都宮市

Key Words: 酸性雨, 硫黄酸化物, 窒素酸化物, 乾性沈着, 湿性沈着, トラジェクトリー解析

〒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

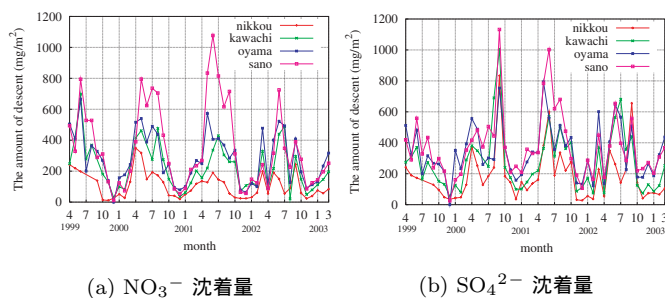


図-3 栃木県における  $\text{NO}_3^-$  および  $\text{SO}_4^{2-}$  沈着量の季節変動（1999年4月～2003年3月）

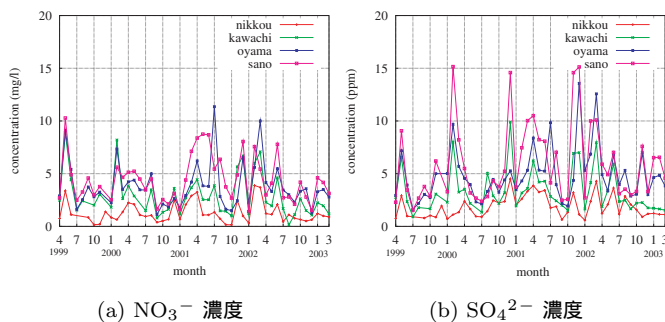


図-4 栃木県における  $\text{NO}_3^-$  および  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度の季節変動（1999年4月～2003年3月）

上空 1500 m に到達する空気塊であり、夏季と冬季に分けて計算を行った。

## (2) 解析結果

例として、図-5に1999年8月（夏季）および同年12月（冬季）における宇都宮市上空に到達するトラジェクトリーを示す。夏季は、1999年8月1日から3日ごとに、8月31日まで、冬季は、同年12月1日から3日ごとに12月31日まで、それぞれ、昼12時に到達する空気塊を3日間遡ったバックワードトラジェクトリーである。図-5より空気塊は主に、夏季は太平洋上から、冬季は大陸から到達することが明確になった。冬季については、中国上空から空気塊が到達することから、北関東へ長距離輸送の影響があると考えられる。そこで、次に、降水中  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度の分布特性について解析を行った。

## 4. 酸性降下物の分布特性

図-6に2000年1月及び2001年1月の降水中  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度の分布図を示す。観測地点以外の濃度は補間計算を行った。分布図から、日本海側で濃度が高く、北関東では濃度が低くなっていることが分かる。つまり、中国から輸送されてきた  $\text{SO}_4^{2-}$  は、その多くが日本海側で沈着し、北関東へ到達するケースが少ないと考えられ、中国からの長距離輸送の影響は小さいと考えられる。したがって、北関東における酸性降下物の要因としては、東京など南関東からの酸性物質の拡散による影響、または、ローカルな発生源からの寄与度が卓越していると考えられる。

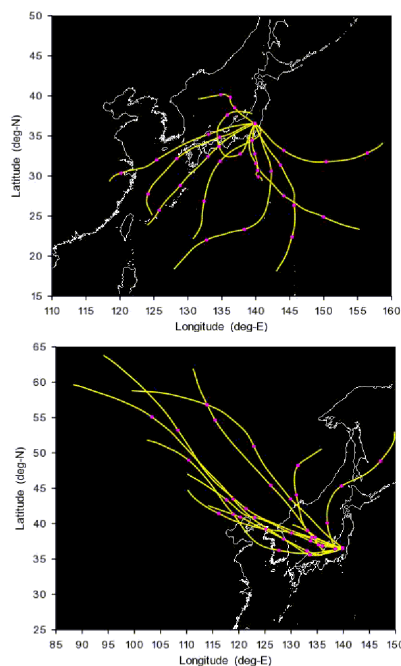


図-5 宇都宮市における夏季（上）および冬季（下）でのバックワードトラジェクトリー

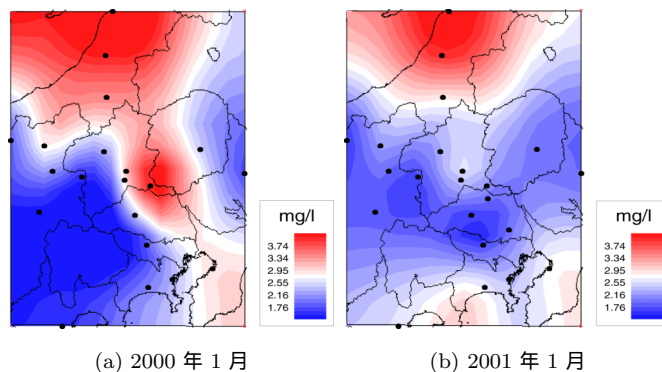


図-6 降水中  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度の分布特性（2000年1月，2001年1月）

## 5. まとめと今後の課題

$\text{NO}_x$  および  $\text{SO}_2$  濃度の季節変動には、降水の除去作用が大きな影響を与えていることが明らかとなった。また、降水の除去作用による降水中  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度の季節変動には、降水の多寡の影響と中国からの長距離輸送による影響が考えられた。そこで、中国からの影響を検討した結果、北関東へのその影響は小さいことが明らかとなった。今回は、中国の影響を空気塊の移流経路のみから考察したが、今後は酸性物質の輸送過程での拡散、反応、到達、沈着等を考慮した長距離輸送モデルを用いて詳細な解析を行い、輸送メカニズムを明らかにする予定である。

### 参考文献

- 1) 関東地方環境対策推進本部大気環境部会：酸性雨調査報告書，平成11年度～平成14年度
- 2) 太田：関東地方における酸性降下物の分布特性の解析，水文・水資源学会論文，2004
- 3) 地球環境センター：CGER METEX，<http://cgermetex.nies.go.jp/metex/index.jp.html>