



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	わが国西端から流入する大気汚染
Author(s)	速水, 洋
Description	第12回衛生工学シンポジウム（平成16年11月4日（木）-5日（金） 北海道大学クラーク会館）．国境を越える環境問題（企画セッション1）．発表番号2
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 12, 5-8
Issue Date	2004-10-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/1216
Type	departmental bulletin paper
File Information	k1-2_p5-8.pdf



企画セッション わが国西端から流入する大気汚染

速水 洋, 市川陽一, 藤田慎一
(電力中央研究所)

1. はじめに

化石燃料の燃焼で生じる二酸化硫黄(SO₂)や窒素酸化物(NO_x)はガス状物質であり、大気中での滞留時間(寿命)が2,3日と短いため、ほとんどが発生源から百kmオーダーの距離に留まる。ところが、それらが変質して硫酸塩や硝酸塩の粒子になると、滞留時間は2~3倍、輸送距離は千kmのオーダーとなり、容易に国境を越えてしまう。わが国は西風が卓越する中緯度にあつて、風上に汚染物質の大発生源域である中国大陸を抱える。2000年のわが国からの二酸化硫黄(SO₂)排出量が約80万トン、窒素酸化物(NO_x)が約220万トンであるのに対し、中国大陸(中国+朝鮮半島)からの排出量はそれぞれ約2,380万トン、約1,270万トンと莫大である¹(ちなみに、この年の三宅島からのSO₂発生量は400万トン以上²)。そのため、中国大陸で発生したこれらのガス状物質や粒子状物質がわが国に到達し、大気質に影響を及ぼす可能性が十分に考えられる。わが国は排出対策を実施・検討して汚染の軽減に努めているが、中国大陸から流入する汚染物質の量によっては、十分な効果が得られないおそれがある。

ここでは、わが国西端から流入する汚染物質がわが国の大気質に及ぼす影響を把握する目的で、著者らが実施してきた調査について紹介する。

2. 濃度の鉛直分布

「酸性雨」研究が盛んになり始めたころ、越境するような物質の長距離輸送は、地表や降水との接触が少なく、風の強い自由対流圏で起きているとの見方があった。汚染物質がどの高度を運ばれるかは重要で、たとえば遙か上空を通過するのであれば、地表の大気質には影響しないことになる。そこで著者らは航空機に観測機材を搭載し、対馬と福江島の間を片道ずつ高度を変えて数回往復し、ガス状・粒子状物質の濃度を測定した。図1にSO₂の測定結果³を示す。鉛直分布は下層と上層に二分され、それぞれの層内で濃度は比較的均一化されている。粒子状硫酸塩についても同様の鉛直分布が得られ、物質は下層を輸送されることがわかった。

観測と同時期に、著者の所属していたグループでは硫黄化合物の長距離輸送モデルを開発し、すでに実測値との比較から予測の妥当性を確認していた³。このモデルは、地上から高さ1kmまでの仮想的な気柱が風に乗って運ばれるトラジェクトリー型輸送モデルで、気柱内は完全混合が仮定されていた。図1の結果はこの仮定を支持するものであり、濃度均一の気柱は輸送状態の適切な“モデル”であることが示された。

なお、これらの航空機観測は、大陸からの

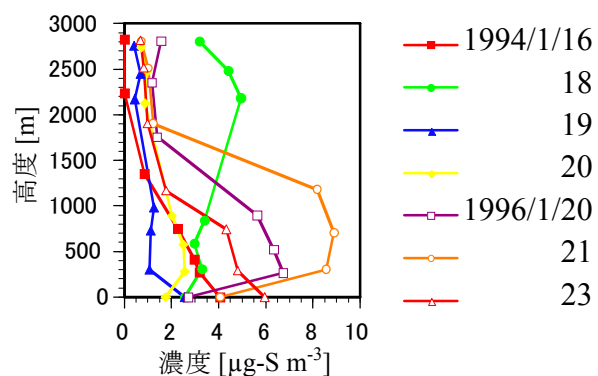


図1 SO₂濃度の福江-対馬間鉛直分布

物質輸送が活発になる春ではなく真冬に行われた。調査が国からの資金によることもひとつの理由ではあるが、そのころは冬の日本海側の酸性沈着が問題視され、漠然と北西の季節風が物質輸送を担っていると考えていたためである。

3. 福江島での定点観測

福江島(長崎県五島市)は、中国大陸にもっとも近いわが国西端の島である。交通のアクセスもよく、多くの機関がわが国への物質輸送を捕らえる適地と見ている。著者らも、上述の航空機観測の以前より、福江島で観測を行っていた。2000年冬からは島の西側に観測地点を移し、ガス状・粒子状物質の長期連続観測を開始した。そのころの大気側の「酸性雨」研究は、硫黄化合物(SO₂, 硫酸塩)に加えて窒素化合物(NO_x, 硝酸・硝酸塩, アンモニア・アンモニウム塩)にも目を向けていた。硝酸・硝酸塩, アンモニア・アンモニウム塩には条件によりガス・粒子間を移動するという、硫酸塩にはない特性があるため、ガスか粒子化どちらかの観測では片手落ちになるおそれがあった。さらに、ガスと粒子とでは除去特性が大きく異なることから、ガスと粒子を分別してそれぞれの濃度を測定する必要があるがあった。そこで著者らは、従来のフィルタパック法にデニューダを接続した方法(図2)⁴を採用し、観測を開始した。

図3は、2001年春のガス状・粒子状物質の濃度⁵である。この年は大規模な黄砂が頻繁に発生したが、黄砂の代表成分であるカルシウム塩の濃度はそれに応じて変動した。硫酸塩とアンモニウム塩はおもに微小粒子(粒径 2.5 μm 以下)にあつて、カルシウム塩濃度に対応しているように見えるが、ピークの到来がやや早い。黄砂は強風時に巻き上げられて発生するが、汚染物質は静穏下で蓄積され高濃度化する。中国大陸において、黄砂の発生源は西に、汚染物質の発生源は東に位置する。それぞれを、移動性高気圧と、その背後で発達した低気圧が通過すれば、黄砂と汚染物質の気塊が発生しうる。これらの気塊が続けて襲来することにより、ピークの間差が生じたと思像される。

ガス状の硝酸はほとんどなく、デニューダの使用はややオーバースペックだったといえる。粒子状の硝酸塩は硫酸塩などと同様に挙動するが、非黄砂時でもおもに粗大粒子に存在している。黄砂以外に陽イオン種を供給する粗大粒子として、海塩がある。海塩と結びついた硝酸塩が福江島に到達する機構は、いくつか考えられる。まず、NO_xが輸送途上で硝酸に変質し、それが海塩に取り込まれた。これには、滞留時間の短いNO_xが輸送されることと、硝酸の生成反応に必要な酸化剤(オゾンやラジカル類)が輸送気塊に含まれることが条件となる。これは、発生源が近ければ(九州北部もしくは朝鮮半島南部)、十分に満たされる。もうひとつは、輸

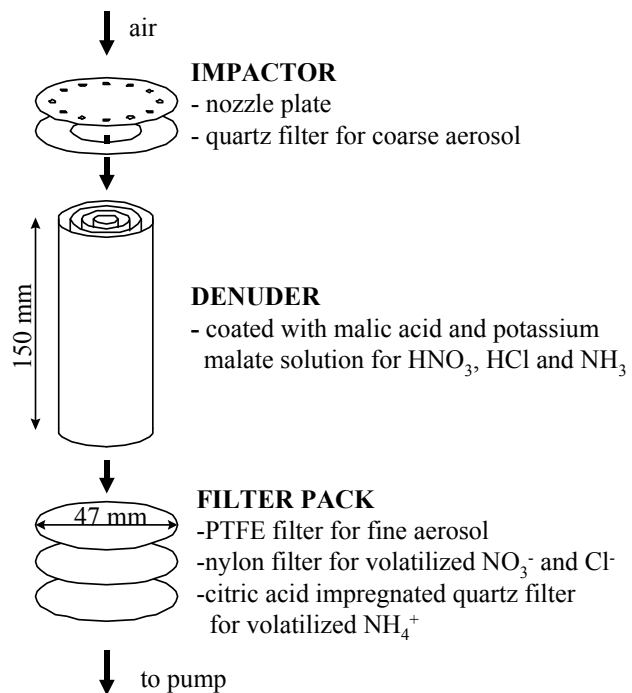


図2 デニューダ付フィルタパック・サンプリャ

送途上で硫酸塩が生成され、すでに生成されていた微小粒子状の硝酸アンモニウムと反応し、これによりガス化した硝酸が海塩と反応した。硫酸塩の生成速度は遅く、微小粒子の滞留時間は長いことから、この機構は発生から時間を経た気塊で進行する。実際には、ふたつの機構が絡み合って福江島に到達していると考えられる。

4. 発生源寄与の解析

観測では濃度やその変動を知ることにはできるが、物質の由来や履歴を知ることはできない。これには、原因物質の大気中への排出から、大気中での移流・拡散、変質、除去を扱い、濃度や沈着量を推計する輸送モデルが必要である。

著者らのグループは、上述のトラジェクトリー型モデルを用いて、わが国の硫黄沈着に対する国内外発生源の寄与を見積もった³。その結果、中国大陸の寄与は40%と推計されたが、この値は他機関による推計結果よりかなり大きかった。今、定常状態を仮定して、わが国をすっぽりと覆うボックスの物質収支を考えると、ボックス内の除去量(沈着量)がすべて側面からの流入により供給されたとすれば国

外の寄与率は100%となり、ボックス内での発生によるとすれば寄与率は0%となる。すなわち、ボックスに出入りするフラックスが同じと見積もるモデルであっても、まったく異なる寄与率を算出する可能性がある。この不整合を契機として国際的なモデルの比較試験 MICS-Asia⁶ が展開され、初期拡散と鉛直分布の扱いが不整合の要因であると指摘されたが、MICS-Asia は今も続いている。

近年、都市部で粒子状物質の濃度が高く、関心を集めている。都市の粒子状物質は粒径が小さくさまざまな化学成分を含むことから、健康のみならず、植物、建造物、視程、気候などに影響する可能性がある。著者らが1998年から2001年まで東京都狛江市で測定したPM_{2.5}(粒径2.5 μm以下の粒子)濃度は年平均27 μg m⁻³であり、長期濃度に対する米国の環境基準(15 μg m⁻³)を大きく上回った。東京都の積極的なディーゼル車排ガス対策により、炭素を主成分とする一次発生の粒子は9%減少したが⁷、それで

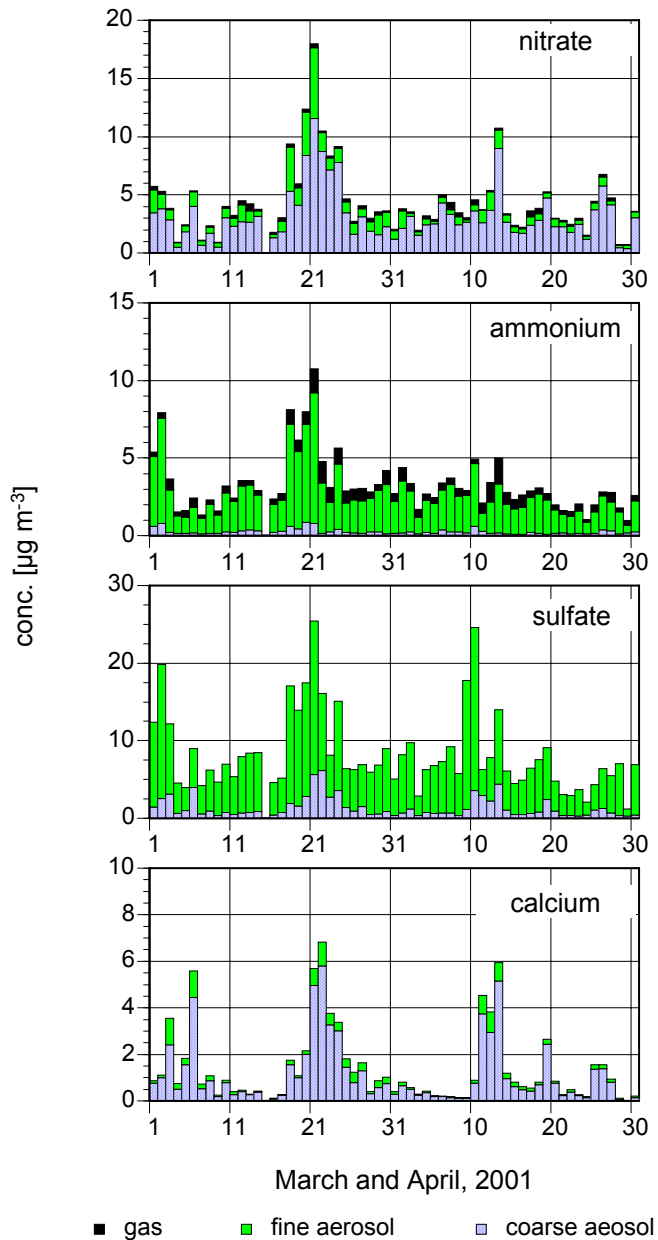


図3 福江島におけるガス状・粒子状物質の測定結果

も依然として米国環境基準値より高い。これには、大気中でガス成分が粒子化して生成する二次生成粒子が関与しているとみられる。

著者らは、二次生成粒子の無機成分に着目し、長期濃度の評価に取り組んでいる。図 4 は、夏(2000年 7 月)の関東地方における硝酸塩と硫酸塩の濃度分布を推定したものであるが⁸、硝酸塩が北関東で高い濃度分布を示すのに対し、硫酸塩濃度はほぼ一様の分布になっている。これは、領域内の発生源の影響を硝酸塩は強く受け、硫酸塩はあまり受けないことを反映している。試しに領域内の発生源だけで計算したところ、硝酸塩は 46 %、硫酸塩は 15 %にしかならなかった。すなわち、(短期的な高濃度はさておき)月単位の平均濃度は領域外発生源の影響の大きいことが示唆された。領域外から流入する濃度は東アジア域の計算結果を与えており、現段階では、関東から一旦流出したもの、関東外の国内からの流入、国外からの流入を区別していない。今後は、福江島での観測データも活用し、わが国の粒子状物質濃度に対する国内外発生源の寄与評価を進める。

参考文献

- 1) http://www.cgrer.uiowa.edu/EMISSION_DATA/index_16.htm
- 2) http://www.seisvol.kishou.go.jp/tokyo/320_Miyakejima/320_index.html
- 3) Ichikawa ら, Journal of Applied Meteorology 37, 1364-74, 1998.
- 4) 速水・藤田, 大気環境学会誌, 2004.
- 5) Hayami, Atmospheric Environment, 審査中
- 6) <http://www.adorc.gr.jp/adorc/mics.html>
- 7) <http://www.metro.tokyo.jp/INET/CHOUSA/2004/10/60ea1200.htm>
- 8) 速水, 電中研報告, 2004.

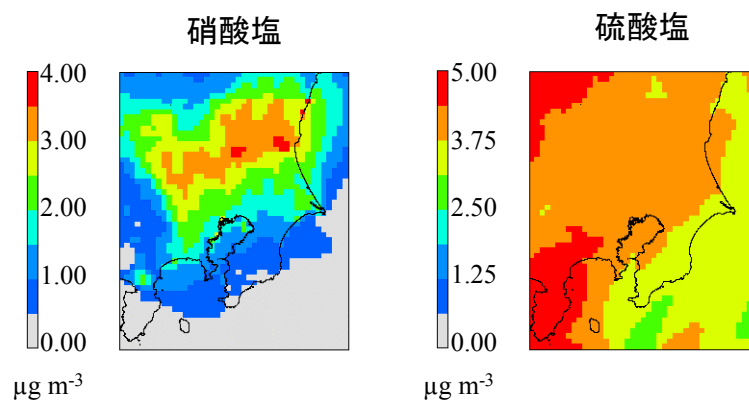


図4 2000年7月の微小粒子の平均濃度分布