



Title	酸性降下物の大陸から日本への越境輸送量の推定
Author(s)	片谷, 教孝; 福宮, 直純
Description	第5回衛生工学シンポジウム (平成9年11月6日 (木) -7日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 2 評価・モデル . P2-8
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 5, 91-94
Issue Date	1997-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7711
Type	departmental bulletin paper
File Information	5-2-8_p91-94.pdf



酸性降下物の大陸から日本への越境輸送量の推定

片谷 教孝、 福宮 直純 (山梨大学工学部)

1. はじめに

我が国における酸性雨等の酸性降下物が注目されるようになって久しい。その間、数多くの沈着量の測定が行われ、酸性化の状況が明らかとなってきた。

酸性降下物の問題の最大の特徴として、汚染物質の長距離輸送を伴う点が挙げられる。そのため、原因物質の発生する地域と、酸性物質が降下して被害をもたらす地域とは、異なる場合が多くなる。酸性物質の長距離輸送は、1000kmあるいはそれ以上のスケールで起こることが知られており、したがって国境を越える輸送を伴うことになる。そのため酸性降下物問題はいわゆる越境汚染問題の一つとして扱われている。

日本における酸性降下物に対しても、大陸からの汚染物質の輸送が寄与しているという考え方が一般的となっている。その一つの証明として、主として冬季に日本海側で観測される高い酸性降下物濃度に対し、日本海上における航空機や船舶を用いた観測などによって、大陸から日本への汚染物質の輸送が寄与していることが示されている。また、モデル計算を用いてこれらの輸送を再現する研究もいくつか行われている。

越境汚染の性質を持つ環境問題に対して有効な対策をとるためには、まず原因物質の排出と酸性物質の降下との間の位置的、量的な関係を、定量的に把握することが必要である。その一つの手段は観測であり、最近では降下物の成分中の同位体元素の存在比を原因物質中の同位体存在比と比較することによって、降下物中の汚染物質の起源を知る方法が実用段階に近づいてきた。またモデル計算では、発生源ごとに別々に計算することが可能であるため、どこの発生源の影響がどこに出ているかを知るための手段として有効であること

が知られている。これらの研究により、日本の酸性降下物に対する発生源の国別あるいは地域別の寄与率を求めることができれば、対策の検討に有益な情報が得られるが、これまでの研究例ではまだ値に大きなばらつきがあり、現状では確定的な情報とはなっていない。

本報では、まず日本海上を輸送される汚染物質の量をモデル計算によって求めた例を示し、越境輸送量の季節的な変化などを考察する。次いで筆者らが求めた国別・地域別の発生源寄与率を示すとともに、他の研究例との比較を行って、それらの差異の原因について考察した結果を報告する。

2. 計算モデル

本研究で用いたモデルは、既報¹⁾のモデルと同様のもので、基本的に3次元オイラー型のモデルである。詳細は前報を参照されたい。気象データは Aerological Data of Japan と気象庁の数値予報モデルによっており、発生源データは Akimotoら²⁾のものを基本として、国内の主要な火山の排出量を加えたものを用いた。

用いたデータの対象年次は、1987年10月から1988年9月までの1年間である。

3. 日本海上を輸送される汚染物質量の推定

まず大陸から日本へ、逆に日本から大陸への汚染物質輸送量の概略を把握するため、日本海上に仮定した鉛直断面を通過する汚染物質フラックスを月単位で積算することを試みた。なおこの試算では、対象物質は硫酸化物の総量とした。

図1にモデル計算の対象地域と、鉛直断面を設定した位置(太線部分)を示す。本研究のモデルでは、地表から上空700hPa(約3000m)までを計算しており、過去の航空機観測によ

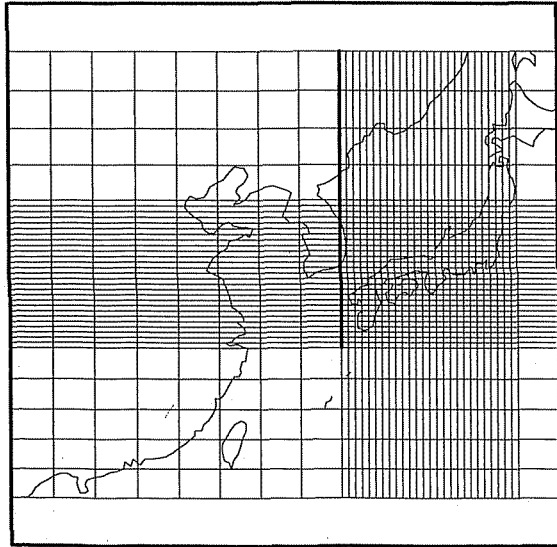


図1 計算対象範囲と、設定した鉛直断面

る知見などからみて、長距離輸送の大半はこの高度範囲で行われているとみられることから、輸送フラックスのほぼ全量が捕捉されているとみてよい。

ここでは図中の鉛直断面を西側から東側に通過したフラックスを大陸から日本への流入量、東側から西側に通過したフラックスを日本から大陸への流出量とみなした。ただしこの方法では、単純に鉛直断面を通過したフラックスを積算しているだけで、通過した後に海上に降下した量や、通過前に降下した量は考慮していない。また日本の上空に流入した

汚染物質の全量が日本に降下するわけではない。したがって、流入量といっても、日本への降下量と直接リンクする量ではないことに注意する必要がある。

計算結果を図2に示す。なお硫黄酸化物量はSO₂換算で示してある。まず流入量を見ると、冬季に40～60万t/月と圧倒的に大きな値を示しており、北西の季節風に乗って汚染物質が大量に輸送されていることを表している。夏季には10～15万t/月と、量的にはずっと少なくなるが、それでも流出量より多いことが注目される。南東の季節風に乗れば、夏季には流出量をもっと増えてもおかしくはないが、これが増えない理由としては次のような点が挙げられる。

- ① 日本からの硫黄酸化物発生量は、火山を加えても大陸の1割にも満たない。
- ② 冬季には北西から南東への風系が卓越するのに対して、夏季には南東から北西への風系だけでなく、循環を含めた複雑な風系が出現することが多い。

これらの流入量に対して排出量は、火山を加えても10万tから20万tの間であり、いかに流入量が大きいかかわかる。

また流入量の年間積算値は約4Mtとなった。これは中国、韓国、北朝鮮、台湾における年間排出量(約22Mt)の約2割にあたる。

(単位:10万t)

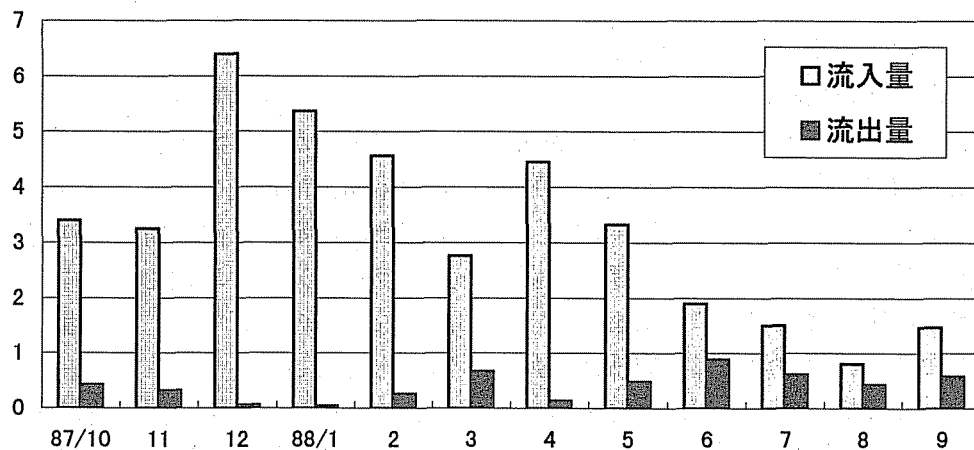


図2 日本海上を通過する硫黄酸化物のフラックス
(流入量：大陸から日本、流出量：日本から大陸)

3. 発生源地域別の寄与率の推定

筆者らはこれまで、上記のモデルを用いた計算結果をいくつか報告してきた。モデルの整合性・妥当性の検証が完全に行われたとはいえない段階であるが、今回はそのモデルが正しいとの仮定に基づいて、国別(地域別)の発生源寄与率の推定を試みた。

通常の大気モデルでは、濃度や沈着量に対して発生源ごとの加成性が成り立つとされている。すなわち、各発生源別に輸送計算を行って求めた濃度(寄与濃度)を積算すれば、全発生源を一度に入力して輸送計算を行って求めた濃度と一致するという仮定である。この仮定は一般的に成り立つが、化学反応の寄与が大きい場合にはずれが生じ、また数値計算誤差の影響も無視できないことが多い。

ここで用いた方法は次式によるものである。基本的には、発生源別の加成性を仮定するのではなく、発生源を除くことによる濃度や沈着量の減少量に対して加成性を仮定する。こうすることによって、数値計算誤差の影響が少なくなることが経験的に明らかとなったため、この方法を採用した。

なおこの方法は計算が簡便であるが、あまり大きな発生源をもつ地域があると、誤差が大きくなる危険がある。そこで今回の試算では、発生源が大きく面積も広い中国を3つの地域に分けて計算した。

$$R_{ij} = \frac{H_{ij}}{\sum_{i=1}^n H_{ij}} \times 100\% \quad H_{ij} = D_{tj} - D_{ij}$$

- R_{ij} : 発生源 i から地域 j への寄与率
- D_{tj} : 全発生源データを用いた場合の地域 j における沈着量計算値
- D_{ij} : 発生源 i を計算から除いた場合の地域 j における沈着量計算値
- H_{ij} : 発生源 i を計算から除くことによる沈着量の減少量

計算結果を図3に示す。計算は国内の地点別に行ったが、ここではそれらの加重平均値を示す。これによると、日本へのSO₂沈着量に対する国外発生源の寄与は、季節によって大きく異なるが、通年では中国が約32%、韓国が約7%であることがわかる。また火山発生源の寄与が大きいことはよく指摘されているが、本研究の方法ではその寄与率は約11%と見積もられる。ただし火山の寄与は地点によって大きく異なり、西日本では季節によって40%前後にも達する場合がある。

季節別に見ると、冬季には国内人為発生源の寄与は3割程度に減少し、中国の寄与が5割前後まで上昇する。逆に夏季には国内人為発生源の寄与が7割程度まで上昇している。これらの結果は、前項で示した越境輸送量の見積もりとおおよそ整合がとれているが、量的な関係についてはもう少し細かく検討して見る必要がある。

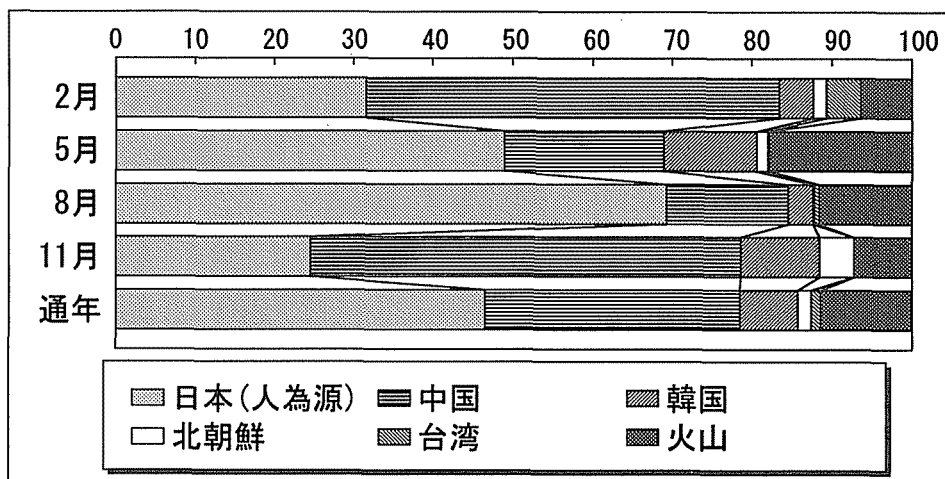


図3 日本のSO₂降下量に対する国別発生源寄与率(1988年)

4. 他の研究例との比較

これまでにモデル計算による越境汚染の見積もりを行った例はあまり多くない。ここではHuang³⁾、市川⁴⁾、北田⁵⁾の3例を取り上げ、比較を行った。なお、これらの計算の対象年次は完全に同一ではないが、データの制約から、そのまま比較した。

なお、市川らのモデルはラグランジュ型であり、その他のモデルはオイラー型である。しかし筆者らの過去の研究によれば、ラグランジュ型モデルとオイラー型モデルでも、鉛直構造が類似していれば極めて近い計算結果が得られることがわかっている⁶⁾。その意味において、これらのモデルの基本構造には、大きな差異はないとみることができる。

表1に見られるように、研究者による値のばらつきは、対象物質が異なることを考慮しても、非常に大きい。前述のようにモデルの基本構造には大きな差異はなく、発生源データもほぼ同等なものであり、気象データもほとんど共通であることから、主たる差異の原因は、沈着パラメータにあるものと推定される。またモデルの鉛直構造や、鉛直方向の輸送計算方法も影響している可能性がある。

表1 発生源寄与率の推定値の比較

研究者	対象物質	発源地域	寄与率
Huang	S成分	中国	3.5%
"	"	大陸全体	6.3%
市川ら	SO ₄ (wet)	中国	36%
"	"	大陸全体	53%
北田ら	S成分	大陸全体	50~80%
本研究	SO ₄	中国	32%
"	"	大陸全体	42%

5. おわりに

日本の酸性降水物に対する大陸発生源の寄与についての知見を得るため、日本海上を通過する硫酸化物量の積算値を求め、次いで各国別の発生源寄与率を推定した。この推定値は多くの仮定に基づいており、研究者によって値にばらつきがあることから、まだ精度面では不十分な点があるといえる。ただし今後の国際協力を効果的に行うためにはこれらの数字は重要であり、今後さらに精度の高い見積もりを行うことが必要といえる。

引用文献

- 1) 佐々木啓聡他; 第2回衛生工学シンポジウム論文集, pp66-71 (1994)ほか
- 2) Akimoto H., et al.; Atmos. Environ., 28, pp213-225 (1994)
- 3) Huang M., et al.; Water Air and Soil Pollution, 85, pp1921-1926 (1995)
- 4) Ichikawa Y., et al.; Water Air and Soil Pollution, 85, pp1927-1932 (1995)
- 5) 北田敏廣他; 平成7-8年度科研費基盤研究A(1)07305023(代表者:野池達也)研究成果報告書, pp10-17 (1997)
- 6) 片谷教孝他; 日本気象学会1994年秋季大会講演予稿集, p81 (1994)