

日本地域の酸性雨現象に及ぼす桜島噴煙の影響

The Impact of Emission from Sakurajima volcano on Acid Deposition in Japan

村尾直人*、太田幸雄*、山形 定*、溝口 勲*

Naoto MURAO, Sachio OHTA, Sadamu YAMAGATA, Isao MIZOGUCHI

ABSTRACT; To assess impact of emission from Sakurajima volcano on acid deposition in Japan, we performed trajectory analysis and Eulerian model simulations. The trajectories of plumes leaving from Sakurajima show a frequent transport over Japan islands during spring and autumn. Periodic passage of low pressure system is responsible for the transport. In addition, 40% of these trajectories pass over wet regions where pollutants in a plume are subject to wet removal by precipitation. The results from model simulations indicate that during spring sulfur dioxide emitted from Sakurajima volcano accounts for over 20% of the total sulfur deposition amount in western Japan. These results suggest that emission from Sakurajima volcano can play an important role in the acid deposition in Japan during spring and autumn.

KEYWORDS; Acid rain, Long range transport model, East Asia, Volcano, Sulfur dioxide

1. 緒言

東アジア地域では現在までに酸性雨による甚大な被害は認められていないが、同地域の酸性雨関連物質の排出量や降水のpH値は、大きな被害が認められている欧米とほぼ同程度となっていることが指摘されている。同時に、日本における観測結果からは、冬期の日本海側地域でみられる雨水や雪の高酸性化現象に近隣諸国の発生源からの寄与が大きいことが示唆されており^{1), 2)}、将来の近隣諸国の産業化に伴う酸性物質の排出量の増加が日本各地の酸性物質沈着量にどのような影響を与えるかが懸念されている。一方、東アジア地域には自然発生源として活発な活動をしているわが国の火山がある。火山噴煙が地域の汚染物質濃度や酸性沈着に影響していると考えられる事例が報告されている³⁾。したがって、地域の酸性雨現象の評価にあたっては、火山（特に桜島）や人為発生源から排出される硫黄酸化物の影響を個々に評価することが不可欠であると考えられる。しかし、火山からの距離が離れるにつれて火山起源物質の濃度が減少することや、火山噴出物の指標と利用されている物質の大気中の寿命が短いことなどから、火山からの距離が離れるにつれてその影響を測定から明らかにすることが困難になる。そのような課題に対しては、約1000kmスケールの汚染物質の輸送、拡散、反応及び沈着過程を適切に表現し、月平均や年平均での沈着量を評価することのできる長距離輸送モデルを用いた解析が有効な手段になる。酸性雨の影響が深刻な欧米ではモデル化の研究が多数行われているが、東アジア地域を対象とした研究例はあまり見られない。筆者らは、これまでに東アジア地域を対象とした酸性雨モデルの開発を行ってきた⁴⁾。本研究では、桜島噴煙が日本各地の酸性雨現象に及ぼす影響を評価することを目的として、

(1) 日本の人為発生源と同程度のSO₂排出量を持つ火山（桜島）の取り扱いの検討と評価

(2) 日本各地における沈着量に対する各種発生源（国内発生源、国外発生源、火山（桜島））からの寄与の見積もり

に関して検討した。

* 北海道大学工学部衛生工学科 Department of Sanitary and Environmental Engineering.,
Hokkaido Univ.

2. 方法

2. 1 桜島から排出されるSO₂の取り扱い

(A) 桜島からのSO₂の排出

桜島では1955年の大爆発以降活発な噴火活動が続いている。1986年以降爆発発生頻度こそ低下しているが、SO₂放出量は2,300 t/日の高レベルを持続しており⁵⁾、この量は、わが国の火山全体からの放出量の約60%にあたるとともに、わが国の人為発生源から排出されるSO₂量にほぼ匹敵する⁶⁾。

(B) 流跡線の作成

本研究では、まず等圧面流跡線の作成を行い、輸送経路と気圧配置との関係およびその季節変動をみた。酸性雨問題に限らず輸送を伴う大気汚染現象では、流跡線を作成して発生源と濃度測定点や被害地域との関係を確認することが多い。流跡線解析においては、利用可能なデータと流跡線の精度との関係が常に問題となる。特に自由大気中の輸送が重要な酸性雨等の長距離輸送問題に対しては、利用可能なデータの距離分解能が200~300 km、時間分解能が6~12時間といづれも悪く、また輸送時間が長いために鉛直方向の輸送を取り扱う必要が生じる。そのため、流跡線解析によって短時間の高濃度現象等を説明しようとする場合には、鉛直方向の風速を求め三次元の風速を用いた流跡線や等温位面流跡線が利用される。しかし、本研究での流跡線解析は季節別の輸送経路を概観する目的であるため、計算が簡便な等圧面流跡線を採用することとした。

解析では、1987年10月から1988年9月までの1年間を対象期間し、桜島上空を6時間毎(3:00, 9:00, 15:00, 21:00)に出発する気塊について3日間の追跡を行い、各月ごとに流跡線分布図を作成した。流跡線解析に使用したデータは以下の通りである。

(1) 噴煙の上昇高度：噴煙の上昇高度は、大気の安定度や風速、排熱量等によって左右される。木下⁷⁾は1987~1989年に鹿児島市内の二地点でビデオカメラを用いた噴煙の観測を行い、噴煙の上昇高度とラジオゾンデによる鹿児島上空900 hPaの風速との関係を求めた。その結果、定常噴煙(爆発を伴わない連続噴煙)では噴煙の上昇高度は排熱量よりも風速による混合効果の違いが支配的であることを示した。本研究では噴煙の上昇高度(ΔH:m)と風速(U:m/s)との関係を示した図より関係式、および噴煙の輸送高度(H)を以下のとおり求めた。

$$\Delta H = 1500 - (1500/17) * U \quad (1)$$

$$H = \Delta H + H_0 \quad (2)$$

ただし、H₀は火口高度で桜島の場合、1,050 mである。

(2) 風向・風速データ：風向・風速データには、気象庁日本域客観解析データ(JANAL)を使用した。このデータは観測データをもとに、客観解析の手法によって約40km間隔の地点に対して風データを求めたものである。データ点を図1に示した。

(3) 流跡線の作成：流跡線は一定の時間間隔(30分)ごとに補間(距離、時間)計算を行って求めた。本研究で用いた計算式は以下のとおりである。

$$x_2 = x_1 + \Delta t \left[\frac{\sum_{i=1}^4 (u_i / r_i^2)}{\sum_{i=1}^4 (1 / r_i^2)} \right] \quad (3)$$

$$y_2 = y_1 + \Delta t \left[\frac{\sum_{i=1}^4 (v_i / r_i^2)}{\sum_{i=1}^4 (1 / r_i^2)} \right] \quad (4)$$

ただし、(x₁, y₁) : 時刻tにおける気塊の存在位置

(x₂, y₂) : 時刻t+Δtにおける気塊の存在位置

Δt : 時間差分(30分)

i : (x₁, y₁)を含む格子の四隅の地点

(u_i, v_i) : 時刻 t 、高さ H (式(2)) における地点 i の水平風速。
 JANAL データを時間に関して線形補間、高度に関しては三次のスプライン補間を行ったもの。
 r_i : (x_i, y_i) と地点 i との距離

2. 2 酸性雨モデルの概要

我が国各地の酸性物質沈着量に及ぼす各種発生源の寄与を見積もるため、発生源別の計算を行った。計算は1988年2月および4月を対象として、① すべての発生源を含む計算、② 火山からの排出を取り除いた計算、③ 国外発生源および火山からの排出を取り除いた計算、を行い、それぞれの計算結果の差から各発生源(国外発生源、国内発生源、火山)の寄与を日本各地について試算した。寄与を算出する計算方法に関しては幾種類かの組み合わせを試みたが結果に大きな差は見られなかった。しかし沈着量は各種発生源の排出量に対して線形ではないため、結果はおおまかな見積もりとして解釈すべきと考えられる。

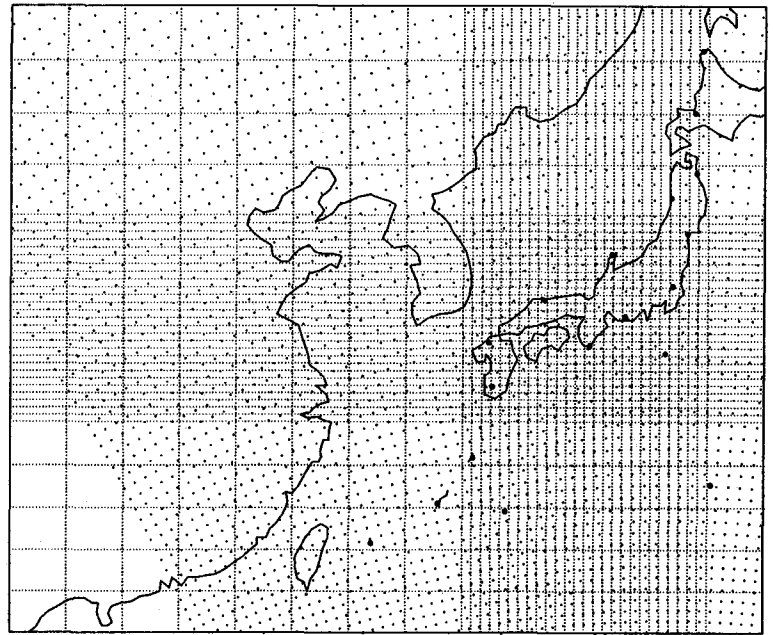


図1 モデルの対象領域とメッシュ分割および風速データ点
 ・わが国のラジオゾンデ観測地点
 ・JANAL 風速データ

計算に使用した酸性雨モデルの概要を以下にまとめる。モデルは、中国の中央付近から東側、台湾、韓国、北朝鮮および日本を対象領域(図1)とするオイラー型モデルである。モデルは、汚染物質の発生、輸送、反応による変換および沈着の各過程を含み、国外付近に関しては約240kmメッシュ、日本付近に関しては約40kmメッシュで湿性沈着量、乾性沈着量の計算を行う。対象物質は SO_2 および SO_4^{2-} である。これまでに行った計算では、冬期の日本各地の沈着量に関しておおむね良好な結果を得ている。

3. 結果および考察

3. 1 流跡線解析結果

図2に1988年2月、4月、7月、10月に関する流跡線解析結果を示す。季節によって流跡線の分布は大きく異なる。冬期においては、噴煙は上空の西風によってそのほとんどが太平洋に流れ出すことがわかる。また、夏期には、流跡線が太平洋に輸送されるものと朝鮮半島や中国方面に輸送されるものに大別される。特に7月にはこの傾向が顕著に見られた。気圧配置との対応をみたところ、梅雨期には主として太平洋上を輸送されること、南風が卓越する夏型の気圧配置のもとでは、朝鮮半島や中国方面に輸送されるものが多いことがわかった。

一方、高気圧と低気圧の周期的な通過が見られる春期や秋期においては、桜島噴煙が日本上空を通過して輸送される場合が多い。これらの輸送の多くは、日本海を通過する低気圧に伴う温暖前線にむかって吹き込む南東風によって起こっている。このような輸送の際には気塊は降水による洗浄を受けやすく、噴煙に由来する酸性物質の湿性沈着が起こると考えられる。4月に日本上空を通過する流跡線について、輸送

経路上の降水を調べたところ、約40%が輸送途中に降水による洗浄を受けていることがわかった。したがって、桜島の噴煙が日本各地の酸性物質の沈着に影響するのは春や秋に限られ、夏や冬にはその影響は小さいと考えられる。

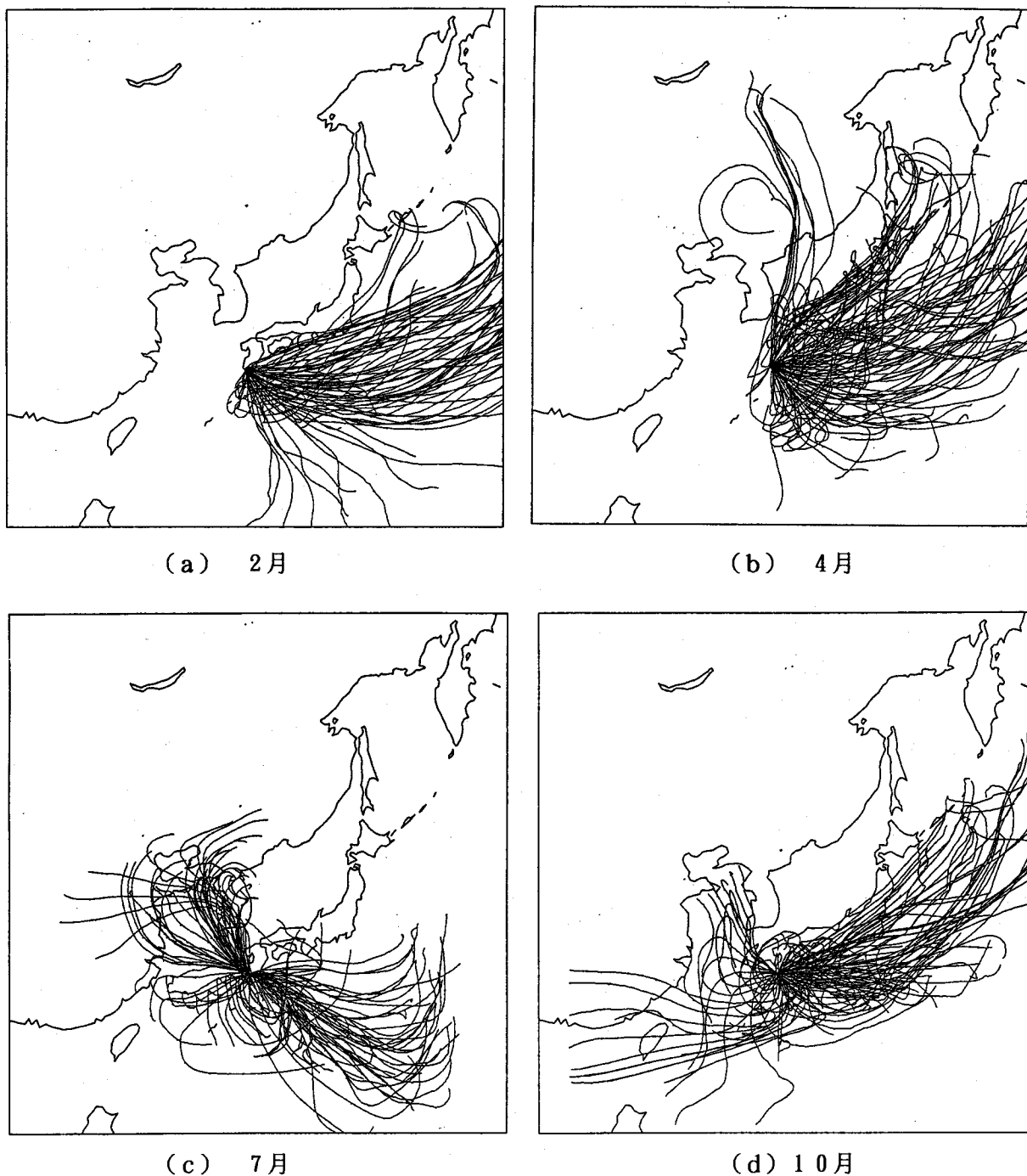


図2 1988年2月、4月、7月、10月に関する流跡線解析結果

3. 2 酸性雨モデル計算結果

1988年2月および4月について、モデル計算により日本各地の硫黄酸化物の沈着量に対する桜島の寄与を求めた。それぞれの月について得られた主な結果を以下にまとめる。

(A) 2月：これまでに指摘されているように、冬期においては日本海側の地点の沈着量が極めて多い。

図3に示した計算結果でも富山の沈着量が他の地点の2倍以上となっている。この地域は地域内に大きな発生源がなく、また冬期の主風向が北西～西であること等から大陸起源の汚染物質の寄与が指摘されているが、この計算結果においても全沈着量の93%程度が大陸からの寄与となっている。また、萩、広島、長崎でも70%以上の大きな値となった。一方、桜島に由来する沈着量は2月ではいずれの地点も12 (mg/m²/月) 以下と小さい値となった。これは、前述のように、この期間では季節風によって噴煙がほとんど太平洋に輸送されるためである。一方、仙台、武蔵野、名古屋、大阪などの都市域では、沈着量は小さいものの国内発生源の寄与が最も大きな値となった。

(B) 4月：2月と同様の計算を行い、各種発生源の寄与率に関して図4に示す結果を得た。4月においても、大陸起源の汚染物質の影響は大きく、富山、萩、長崎で寄与率が50%を上まわる結果となった。このように、大陸からわが国への汚染物質の輸送は春期においても行われていると考えられる。国外発生源の影響は、これまで冬期の日本海側で指摘されてきたが、これは降水量の分布・季節変動によって国外発生源の影響が冬期の日本海側に特に強く見られることによると考えられる。

一方、桜島噴煙に由来する沈着量は、15～137 (mg/m²/月) となり、寄与率では、名古屋、大阪、広島、高知で20%以上の結果となった。これらの結果に関しては、今後測定を含めた十分な検証が必要と思われるが、日本地域の酸性物質の沈着に関して桜島の影響が大きいことを示すものとして注目できる。

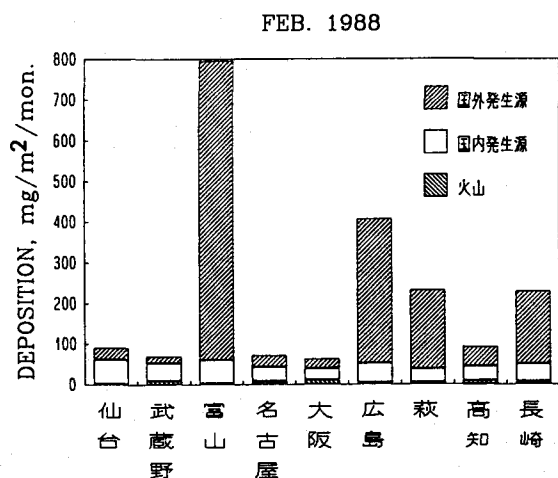


図3 日本各地の沈着量と各種発生源の寄与 (1988年2月)

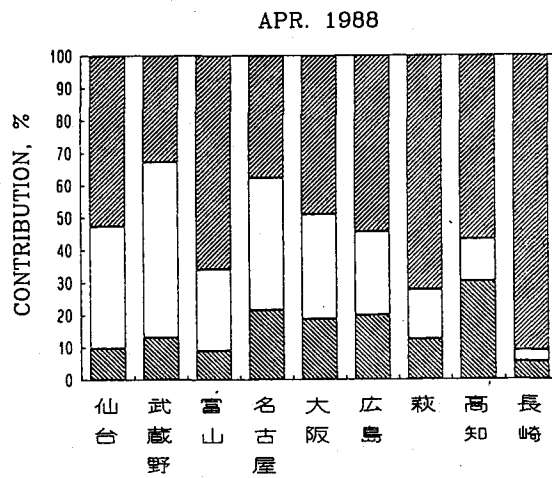


図4 日本各地の沈着量に対する各種発生源の寄与率 (1988年4月)
下から火山、国内、国外発生源

4. まとめ

本研究では、東アジア地域の酸性雨現象の特徴のひとつである火山(桜島)からのSO₂排出の問題を取り上げ、モデル計算によって日本各地の酸性沈着に与える影響を検討した。主な結論を以下にまとめる。

- (1) 流跡線解析を行った結果、春期、秋期に周期的に通過する高低気圧によって、桜島噴煙はわが国の上空を通過することが多い。その場合、わが国上空を通過する噴煙の40%が輸送経路で降水による洗浄を受けていると推定される。
- (2) 冬期および春期を対象としたモデル計算を行い、桜島から放出された硫黄酸化物の日本各地の酸性沈着に及ぼす影響を検討し、冬期には桜島の影響は小さいが、春期には西日本各地の酸性沈着量に20%程度の寄与があることを示した。

- (3) 桜島からは日本の人為発生源とほぼ同量の硫黄酸化物が排出されており、日本地域の酸性沈着の評価を行う場合、春期、秋期においてその影響は無視できない。

謝辞

本研究に御協力いただいた気象研究所吉川友章先生に御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 大泉 毅、福崎紀夫、漆山佳雄：人為活動に由来する硫黄の安定同位体比、第31回大気汚染学会講演要旨集、pp424 (1990).
- 2) 原 宏、山口幸祐、大喜多敏一：日本海側と太平洋側におけるイオン沈着量の季節変化、第31回大気汚染学会講演要旨集、pp431 (1990).
- 3) 山下敬則、森 淳子、本田雅幸、鶴野伊津志、若松伸司：長崎県における高濃度SO₂汚染の解析、大気汚染学会誌、26、320-332、(1991).
- 4) 村尾直人、太田幸雄、溝口 勲：東アジアを対象とした酸性雨モデルの開発、第28回衛生工学討論会講演集、49-51 (1992).
- 5) 太田一也、松尾訓道、清水 洋、福井理作、鎌田政明、鍵山恒臣：ら：二酸化硫黄放出量観測による火山活動度の評価、鹿児島国際火山会議論文集、406-409 (1988).
- 6) 藤田慎一、外岡 豊、太田一也：わが国における火山起源の二酸化硫黄の放出量の推計、大気汚染学会誌、27、336-343、(1992).
- 7) 木下紀正：桜島火山噴煙と大気拡散—序論的考察—、鹿児島大学教育学部研究紀要 自然科学編、41、1-17 (1989).