

長野県北部における二酸化硫黄濃度上昇事例

中込和徳¹・山下晃子²・梶野瑞王³・原田 勉⁴・薩摩林 光¹

2005年5月29日に長野県北部で観測された二酸化硫黄濃度上昇事例について、大気常時監視データ解析、後方流跡線解析および数値モデル計算を実施した。それらの結果、二酸化硫黄の発生源として、浅間山の火山ガスが有力である可能性が示唆された。

キーワード：浅間山，二酸化硫黄，後方流跡線解析，数値モデル，八方尾根測定局，大気常時監視データ

1. はじめに

二酸化硫黄（以下SO₂）は、ぜんそくや気管支炎などの呼吸器障害を引き起こす刺激性のガスで、主要な大気汚染物質の一つとして常時監視されている。このSO₂は、工場等における石炭や石油などの燃焼排ガス以外に、三宅島や桜島などの火山からも放出されており、その挙動や環境影響について多くの研究がなされている^{1)~7)}。例えば薩摩林ら¹⁾は長野県下の山岳地域と市街地において、三宅島火山ガスによる大気や降水への影響（寄与率）を見積もった。鹿角ら²⁾は2000年9月に長野県内で観測された高濃度SO₂の原因を、後方流跡線解析の結果から三宅島火山ガスであると推定するとともに、長野県北部におけるガス・エアロゾル測定により、高濃度の硫酸エアロゾルの存在を確認した。西沢ら³⁾はメソスケールの気象モデルと結合した大気化学物質の輸送モデルを三宅島火山ガスの大気拡散に適用し、その動態を再現した。また梶野ら⁴⁾は観測データと数値モデル計算結果から、三宅島火山噴火の東アジア地域への影響を解明し、火山ガス等の環境影響を解明する上で数値モデル計算が有用であることを示した。

長野県内の代表的な火山の一つである浅間山は、長野県東部の群馬県境に位置する。2004年9月に中規模爆発を起こし、その後もSO₂を含む火山ガスを放出し続けている。この浅間山火山ガスの長野県東部への影響については、山下ら⁵⁾が大気中SO₂および降水中硫酸イオン等への影響について報告して

いる。

本研究では、長野県北部において2005年5月29日に観測されたSO₂濃度の上昇事例について、まず大気常時監視データおよび気象データの解析を行い、現象の特徴を整理した。次に後方流跡線解析を実施し、SO₂の発生源について検討した。さらにSO₂発生源の候補の一つと考えられた浅間山の火山ガスについて、数値モデル計算を実施し、その影響について検討した。

2. 調査方法

2.1 調査地点

図1に調査地点および浅間山（標高2568m）の位置を示す。長野市内に位置する環境保全研究所（以下環保研）、真島および篠ノ井の3測定局は互いに5km程度離れており、ともに千曲川流域に開けた同じ盆地内に位置している。須坂局は長野市内の測定局から東または東北東に10km以上離れているが、同じく千曲川流域の盆地内に位置する。国設の酸性雨測定所である八方尾根測定局（以下八方）は、白馬村の唐松岳山腹の標高1850m地点に位置し、長野市内の測定局から西または西北西に30km以上離れており、その間には標高1000m以上に及ぶ山地帯が広がっている。

2.2 測定方法

SO₂は八方、篠ノ井および真島が紫外線蛍光法で、その他の局は溶液導電率法で測定された。浮遊粒子

1 長野県環境保全研究所 環境保全部，〒380-0944 長野市安茂里米村 1978
 2 上田保健所 検査課 〒386-8555 上田市材木町 1-2-6
 3 京都大学防災研究所 〒611-011 宇治市
 4 長野県環境保全研究所 循環型社会部

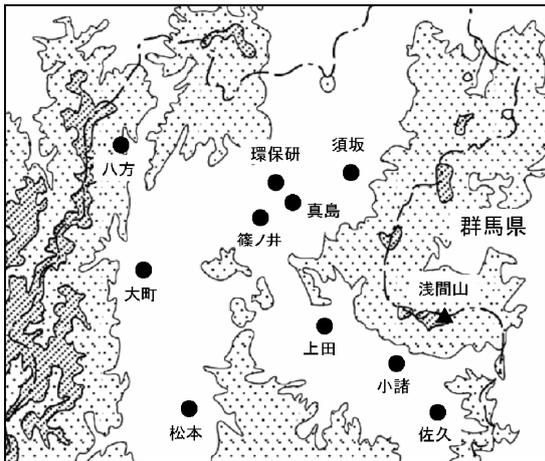


図1 測定地点（諏訪，伊那，飯田および木曾は図のさらに下）

状物質（SPM，八方はPM10）はβ線吸収法で測定された。窒素酸化物は八方，篠ノ井および真島が化学発光法で，その他の局はザルツマン試薬を用いた吸光光度法で測定された。光化学オキシダントは八方および環保研が紫外線吸収法で，その他の局は中性ヨウ化カリウム溶液を用いた吸光光度法で測定された。それぞれ24時間連続測定における，1時間平均値を解析に利用した。

2.3 後方流跡線解析

後方流跡線の計算は，国立環境研究所地球環境研究センターのホームページで提供されている，気象データの解析および表示のオンラインシステム（CGER METEX）を利用した。このオンライン計算では，米国の環境予測センター（NCEP）の再解析データを気象場として使用している。この気象データは，東西，南北2.5°間隔の全球データで，時間間隔は6時間である。また，約4000mより下層では，地表と，1000 hPa（約100m），925 hPa（約800m），850 hPa（約1500m），700 hPa（約3000m），および600hPa（約4500m）の等圧面上の気象データがある。

2.4 数値モデル計算

モデルの基本構成は梶野ら⁴⁾の研究と同様の数値計算モデルで，気象モデルにはMM5を使用している。MM5はペンシルバニア州立大学と米国国立大気研究センターによる第5世代の3次元非静力学平衡領域メソスケールモデルである⁸⁾。計算領域は，東アジア全域をカバーする60km格子間隔の親

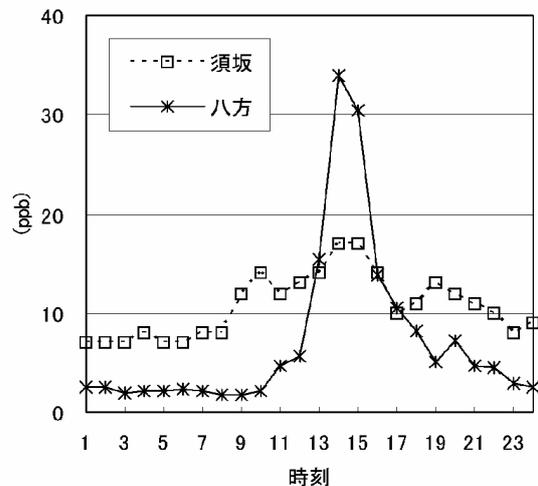
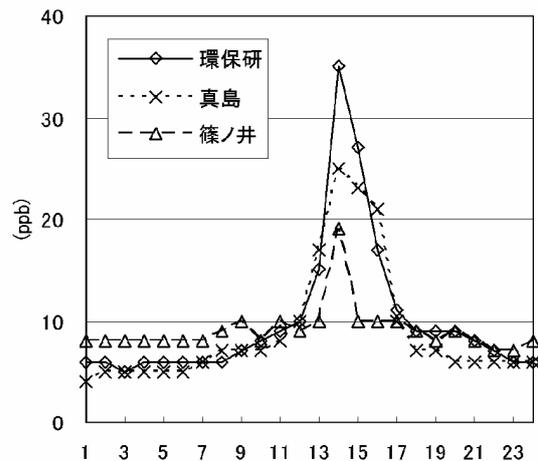


図2 2005年5月29日のSO₂濃度の時間変化

領域の中に，浅間山をほぼ中心として日本付近をカバーする12km格子間隔の子領域を設定した。鉛直方向には，地表から対流圏界面（11kmで一定）までの30層を設定した。

浅間山からのSO₂の放出条件については，噴煙高度を500mで一定とし，放出量は気象庁による実観測データを3次スプライン関数で補間して使用した。

3. 結果および考察

3.1 SO₂濃度上昇状況

図2に示すように，2005年5月29日14時から15時頃を中心に，長野市内（環保研，真島，篠ノ井）および須坂の測定局でSO₂濃度が上昇した。最高値は環保研で観測され，14時に35ppbに達した。須坂の濃度上昇は他局に比較して早い時刻（9時頃）から，遅い時刻（22時頃）まで見られた。また八

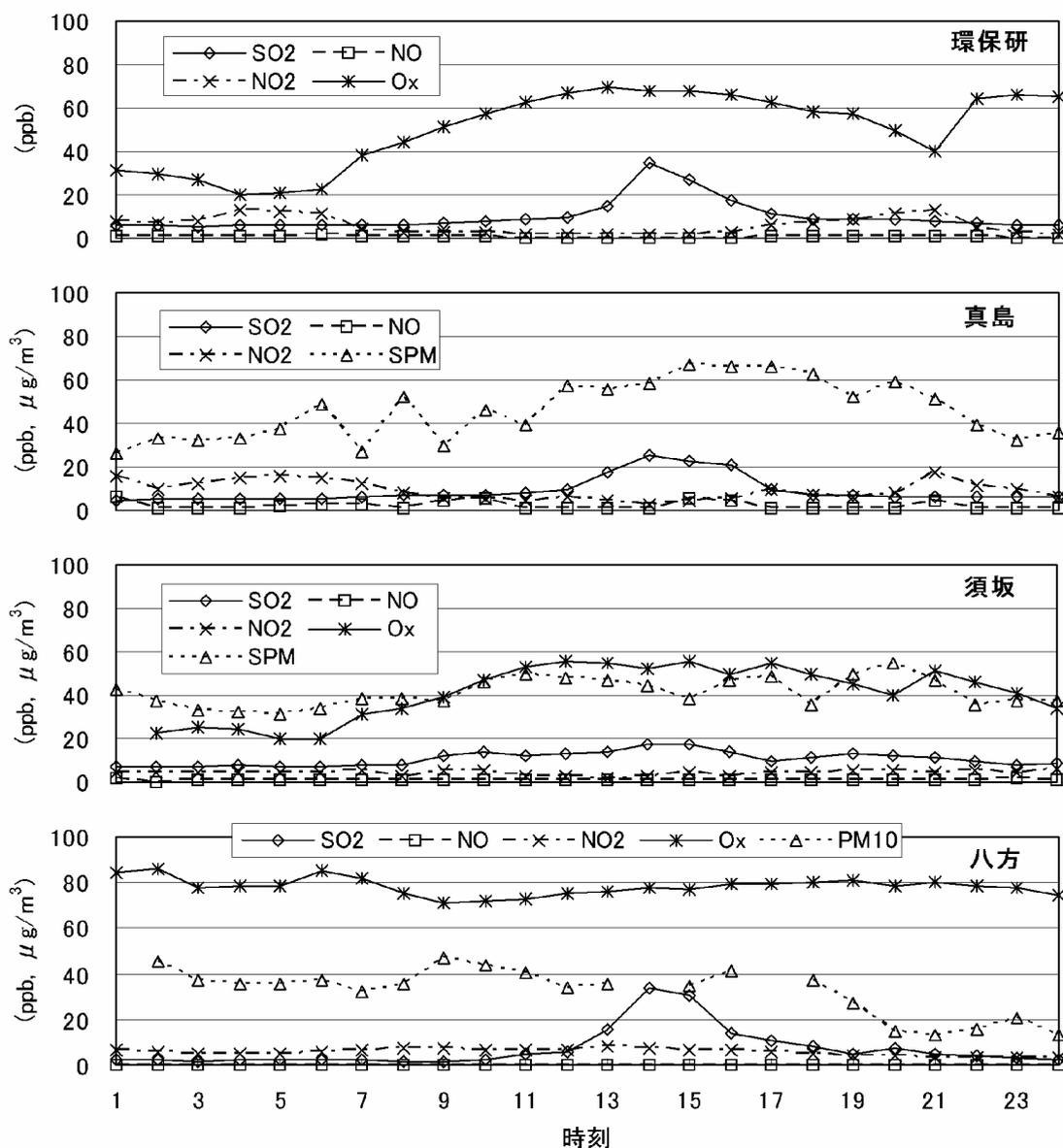


図3 環保研，真島，須坂および八方における2005年5月29日の大気汚染物質濃度の時間変化（環保研のSPMは欠測．単位はSPMおよびPM10のみ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ．）

方でも，長野市内の測定局と同様のSO₂濃度上昇が観測され，14時に最高値34ppbを記録した．このようにSO₂濃度上昇は長野市内だけではなく，須坂および八方など，環保研から10～30km離れた地点でも同時に観測された．長野県内のその他の局については，松本および大町で13時頃に弱いピーク（それぞれ15および9ppb）が見られたが，上田，小諸，佐久，諏訪，伊那，飯田および木曾ではSO₂濃度の上昇は見られなかった．これらのことから5月29日のSO₂濃度上昇現象は長野県北部地域に限られた現象であり，その影響の範囲から，工場など盆地内の発生源よりも，浅間山や三宅島，あるいは

中国大陸など，比較的遠距離にある発生源からの影響を受けたものと推定された．

また，環保研，真島，須坂，および八方において，SO₂濃度の上昇状況を，浮遊粒子状物質（SPMまたはPM10），一酸化窒素（NO），二酸化窒素（NO₂）および光化学オキシダント（Ox）濃度の時間変化と比較してみると，明確に関連した項目は見られず，SO₂濃度のみが単独で上昇していた（図3）．SO₂濃度が上昇した14時頃の環保研における大気汚染物質の状況を見ると，オキシダント（Ox）濃度は八方（標高1850m）と同程度まで上昇していたが，一酸化窒素（NO）および二酸化窒素（NO₂）

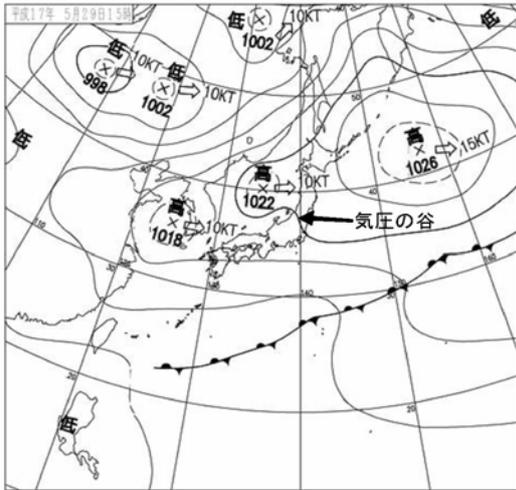


図4 2005年5月29日15時の地上天気図(気象庁より引用)

濃度は、それぞれ0および2ppbと低い値であった。また、気象庁の資料⁹⁾によると、5月29日の長野市内の天候は曇りであったが、6時から14時頃までは、平均で1時間当たり0.6時間の日照があり、14時頃には、気温は25℃付近まで上昇し、相対湿度は30%弱まで低下した。

3.2 後方流跡線解析結果

長野県北部においてSO₂濃度が上昇した2005年5月29日の気象庁による地上天気図の様子をみると、日本列島は移動性高気圧の後縁に覆われており、等圧線の様子から、長野県北部では、弱い東～南東の風が吹いていたと推測された。また、SO₂濃度が上昇した15時頃には、長野県北部に弱い気圧の谷がかかった状況も見られた(図4)。大気常時監視局および気象庁地上気象観測所における、同時刻の風向風速の分布を図5に示す。この図から、浅間山の南から西側に延びる千曲川流域の低地にほぼ沿って、軽井沢、小諸から東御、上田を経て更埴IC、篠ノ井に至る、西から北向きの風の流れが見られた。また、浅間山と環保研のほぼ中間に位置する菅平(標高1253m)では、浅間山から環保研へ向かう北西向きの風が吹いていた。さらに、八方および大町においても北西向きの風が吹いていた。以上の風向きから、SO₂の発生源としては、SO₂高濃度観測地点の南東方向に位置する浅間山が候補として考えられた。一方、長野市以北の松代、環保研、吉田、飯山および信濃町では、逆に南向きの風が吹いており、長野市内で南北の風が収束している様子が見られた。そこでより詳細に検討するために後方流

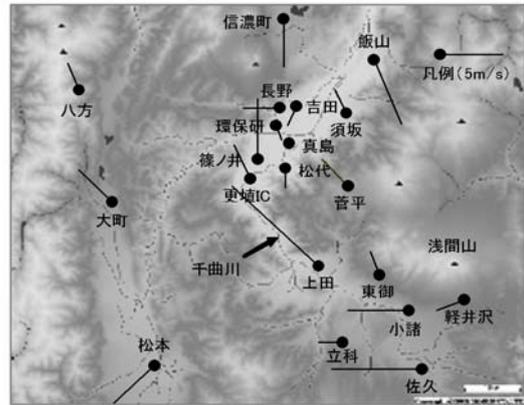


図5 2005年5月29日15時の地上風(信濃町、飯山、長野、菅平、東御、軽井沢および立科は気象庁より引用。その他は大気常時監視局のデータを使用。)

跡線解析を実施した。

計算は、環保研(東経138.18°,北緯36.63°,標高360m)および八方(東経137.80°,北緯36.69°,標高1850m)において、2005年5月29日15時を起点とし、両地点とも、1000m,2000m,2500mおよび3000m地点への到達気塊の経路を求めた。算出方法は3次元法を、垂直座標系はシグマ座標系をそれぞれ選択し、後方へ1日間計算した。環保研と八方の計算結果はほぼ一致していたため、代表して環保研の結果を図6に示す。どの高さの到達気塊も、ほぼ一定の高度を、東～東南東方向から進んで来ていた。図7に長野県北部の状況を拡大して示す。高度が高くなるにつれて経路が南側にずれ、浅間山の噴煙の高さである2500～3000mの経路は、浅間山山頂の15kmほど北側を通過しており、その影響の可能性が示唆された。しかし、測定点の高さに近い1000～2000mの経路は浅間山の約30km北側を通過しており、後方流跡線解析のみで浅間山の影響を明確に示すことは出来なかった。今回利用した流跡線解析システムで使用している気象場の水平間隔は200km以上あり、長野県北部の局所的なスケールで見た場合には、水平的な風の場合や、2500～3000mの上空から地表へSO₂が降下するプロセスなどが十分に再現し切れていない可能性が考えられた。そこで、より詳しい解析を行うために、数値モデルを用いて浅間山から放出されたSO₂の濃度分布を計算した。

3.3 数値モデル計算結果

図8に環保研および八方におけるSO₂濃度の実測

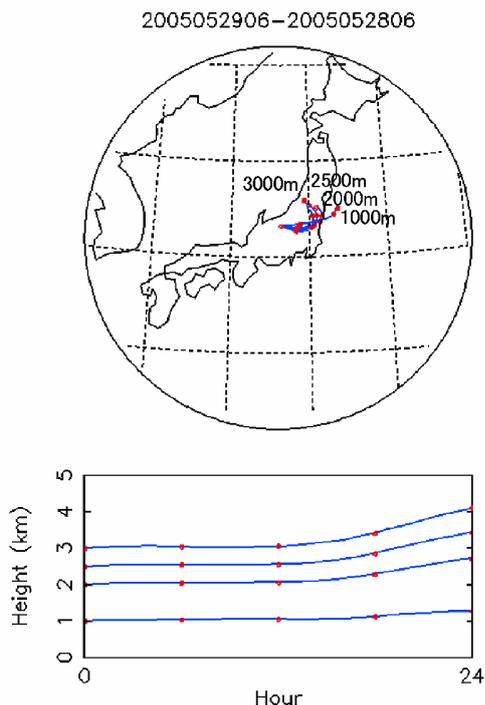


図6 2005年5月29日15時に環保研へ到達した気塊の経路 (CGER METEX による出力。図中の時刻は世界標準時。)

値および計算値の時間変化の様子を示す。SO₂濃度の計算値は、実測の約1/10程度の低い値であったが、時間変動パターンはよく一致していた。このことから、2005年5月29日に長野県北部で観測されたSO₂濃度の上昇現象が、定性的には、数値モデル計算によって再現出来た可能性があると考えられた。SO₂濃度が上昇した15時における、数値モデ

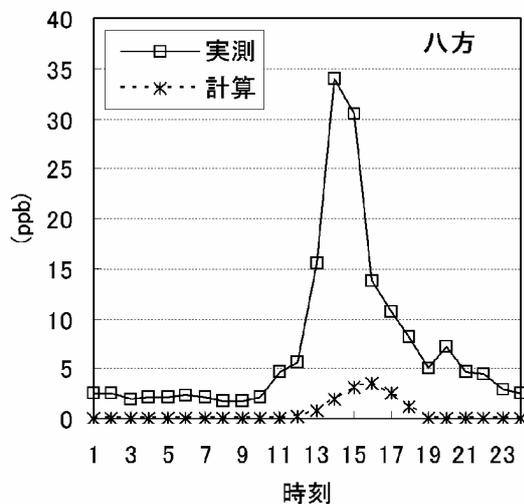
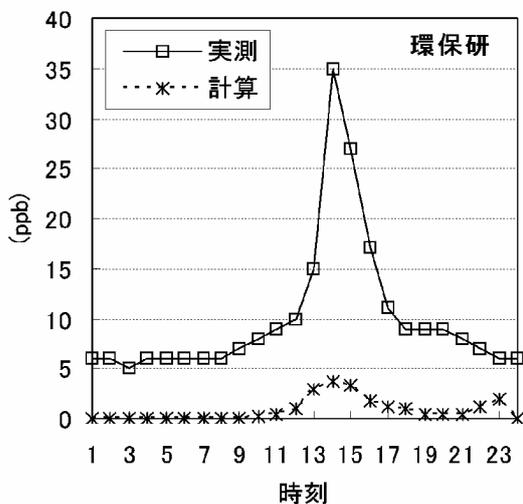


図8 環保研および八方における2005年5月29日のSO₂濃度の時間変化 (実測と計算の比較)

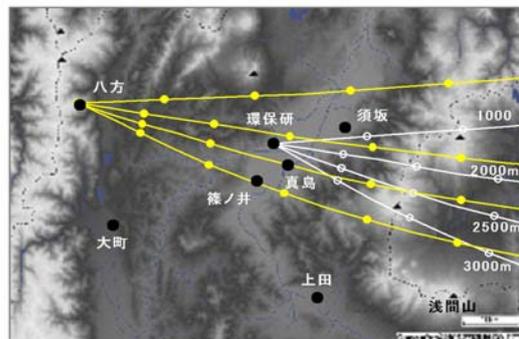


図7 2005年5月29日15時に環保研および八方へ到達した気塊の経路 (長野県北部の拡大図。1時間毎の位置を○で示す。)

ル計算結果の水平分布 (地表) を図9に示す。長野県北部に局所的な高濃度のスポットが見られ、実測の結果ともパターンが一致していた。

4. まとめと今後の課題

2005年5月29日に長野県北部で観測されたSO₂濃度上昇事例について、大気常時監視データ解析、後方流跡線解析および数値モデル計算を実施した。それらの結果、SO₂の発生源として、浅間山の火山ガスが有力である可能性が示唆された。数値モデル計算は、観測データや流跡線の解析だけでは難しい、メカニズムの解明に有効であると考えられる。今後は数値モデル計算結果と実測値のさらなる比較

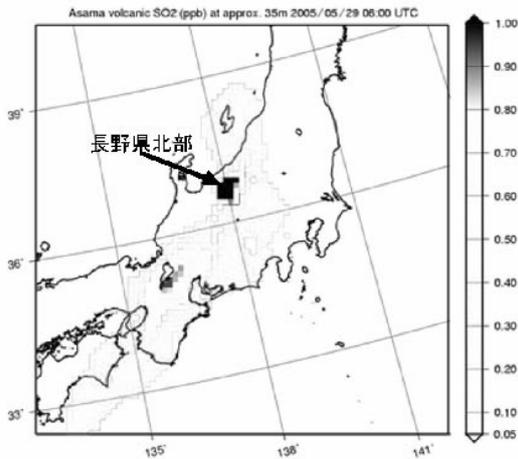


図9 数値モデル計算による2005年5月29日
15時の地表SO₂濃度(長野県北部は1ppb以上)

により、モデルの再現性の検証を進めるとともに、モデル内に再現された、長野県北部の局所的なSO₂高濃度現象の発生メカニズムを解明することが望まれる。

文 献

- 1) 薩摩林光, 中込和徳, 川村實, 梶野瑞王, 植田洋匡 (2006) 三宅島火山ガスによる長野県の大気および降水への影響, 長野県環境保全研究所研究報告, 2, 29-36.
- 2) 鹿角孝男, 川村實, 薩摩林光, 西沢宏, 村野健太郎 (2002) 長野県北部で観測された三宅島の火山ガスにより生成した高濃度硫酸エアロゾル, 大気環境学会誌, 37, 75-80.
- 3) 西沢匡人, 茅野政道 (2004) メソスケール気象モデルと結合した大気化学物質輸送モデルの開発と三宅島火山ガスの大気拡散への適用, 大気環境学会誌, 39, 31-42.
- 4) M. Kajino, H. Ueda, H. Satsumabayashi, J.An(2004) Impacts of the eruption of Miyakejima Volcano on Air Quality over Far East Asia, *J. Geophysical Research*, 109, D21204.
- 5) 山下晃子, 二木克己, 西澤洋一, 木村元一, 中込和徳, 薩摩林光 (2007) 長野県東部における浅間山火山噴火による大気及び降水への影響, 長野県環境保全研究所研究報告, 3, 57-62.
- 6) H. Satsumabayashi, M. Kawamura, T. Katsuno, K. Futaki, K. Murano, G.R. Carmichael, M.Kajino, M. Horiguchi and H.Ueda(2004) Effects of Miyake volcanic effluents on airborne particles and precipitation in central Japan, *J. Geophysical Research*, 109, D19202.
- 7) 鶴野伊津志, 若松伸司, 植田洋匡, 村野健太郎, 酒巻史郎, 栗田秀實, 薩摩林光, 寶来俊一 (1997) 春季の移動性高気圧通過時の九州地域での二次汚染物質と火山性SO₂の挙動, 大気環境学会誌, 32, 404-424.
- 8) G.A. Grell, J. Dudhia and D.R. Stauffer(1994) A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model(MM5), NCAR Technical Note, 398+STR, 117pp.
- 9) 気象庁, 気象観測 (電子閲覧室), <http://www.data.kishou.go.jp/>.

High Concentration Event of Sulfur Dioxide Gas in Northern Nagano

Kazunori NAKAGOMI¹, Akiko YAMASHITA², Mizuo KAJINO³,
Tsutomu HARADA⁴ and Hikaru SATSUMABAYASHI¹

- 1 Nagano Environmental Conservation Research Institute, Environmental Conservation Division, 1978 Komemura, Amori, Nagano 380-0944, Japan.
- 2 Ueda Public Health Center, 1-2-6 Zaimokutyo, Ueda 386-8555, Japan.
- 3 Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Uji, Kyoto 611-0011, Japan.
- 4 Nagano Environmental Conservation Research Institute, Recycling Society Division.