

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

薩摩林光*・中込和徳*・川村 實**・梶野瑞王***・植田洋匡****

2000年7月に噴火が始まった三宅島の火山ガスによる長野県下への影響を把握するため、八方尾根と市街地における大気や降水への影響（寄与率）について解析した。八方尾根は標高1850mの北アルプス山岳地域に位置し、三宅島から北北東に330kmの地点である。他の地点はいずれも各都市の市街地にある。本研究では各地点の1995年度～2003年度のデータを用いて解析した。

八方尾根における噴火した年度の火山ガスによる年間寄与率は大気中SO₂が67%、エアロゾル中SO₄²⁻が40%、降水中SO₄²⁻が38%もあり、三宅島火山ガスによる影響が顕著であった。その後減少したが、いずれの項目とも、3年後の2003年度においてもその影響がはっきり認められた。

市街地における大気中SO₂濃度はほとんどの地点において、噴火年度の火山ガスによる年間寄与率は県下平均で大気中SO₂が20%、降水中SO₄²⁻が36%であり、SO₄²⁻/NO₃⁻当量濃度比の県下平均寄与率は33%であった。その後、市街地ではほとんどの地点でしだいに減少し、3年後の2003年度には噴火前のレベルに戻った。

キーワード：三宅島火山，二酸化硫黄，硫酸イオン，大気汚染，エアロゾル，降水

1. 緒言

火山から放出される噴煙（火山灰，エアロゾルおよび火山ガス）は局所的な大気汚染のみならず広域的な大気汚染を引き起こす。三宅島火山は北西太平洋上に位置し（図1），2000年7月8日に噴火を開始した。噴火後5ヶ月間はSO₂噴出量が最大で60,000ton/day以上あり，北東アジアの人為起源の放出量と同程度¹⁾，日本全土の放出量の20倍²⁾に匹敵した。その後しだいに5,000～10,000ton/day程度まで減少し，現在に至っている³⁾。

三宅島火山ガスの影響による大気中のSO₂濃度の増加や降水のpHの低下およびSO₄²⁻降下量の増加については全国各地の報告がある⁴⁾。長野県においても2000年9月に各地で環境基準を超える高濃度SO₂が出現した。著者ら⁵⁾は八方尾根で移流してきた火山ガスの気塊中での酸性物質（硫酸など）の挙動（生成，反応など）について解析し，その結果を報告した。その概要は次のとおりである。

三宅島火山から多量に放出されたSO₂は輸送中に硫酸を大量に生成した。この生成した硫酸は，まずアンモニアと反応し，(NH₄)₂SO₄を生成した。硫酸は過剰に存在するため，NO₃⁻やCl⁻をエアロゾルか

らガス相に移行させ，残りは硫酸ミストとして存在した。放出されたHClやHNO₃（酸性ガス状成分）は乾性や湿性沈着速度が硫酸ミストなどのエアロゾル成分に比べ極めて速いため，硫酸とともに降水を強く酸性化し，環境の酸性化に影響する恐れがあることが判明した。

本研究では，長野県下の山岳地域と市街地における三宅島火山ガスの大気や降水への影響，主にSO₂やSO₄²⁻の増加率（寄与率）について検討し，その結果について報告する。

2. 調査方法

2.1 調査地点および調査期間

調査地点を図1に示す。八方尾根は北アルプス山岳地域に位置する標高1850mの国設八方尾根酸性雨測定所であり，三宅島から北北東に330kmの距離がある。他の地点はいずれも県内各都市の市街地にある。本調査では各地点の三宅島火山の噴火前後の1995年度～2003年度のデータを用いて解析した。

* 環境保全研究所 環境保全チーム 〒380-0944 長野市安茂里米村1978

** 北信保健所，*** 京都大学 防災研究所，

**** 京都大学 防災研究所 現(財)日本環境衛生センター 酸性雨研究センター

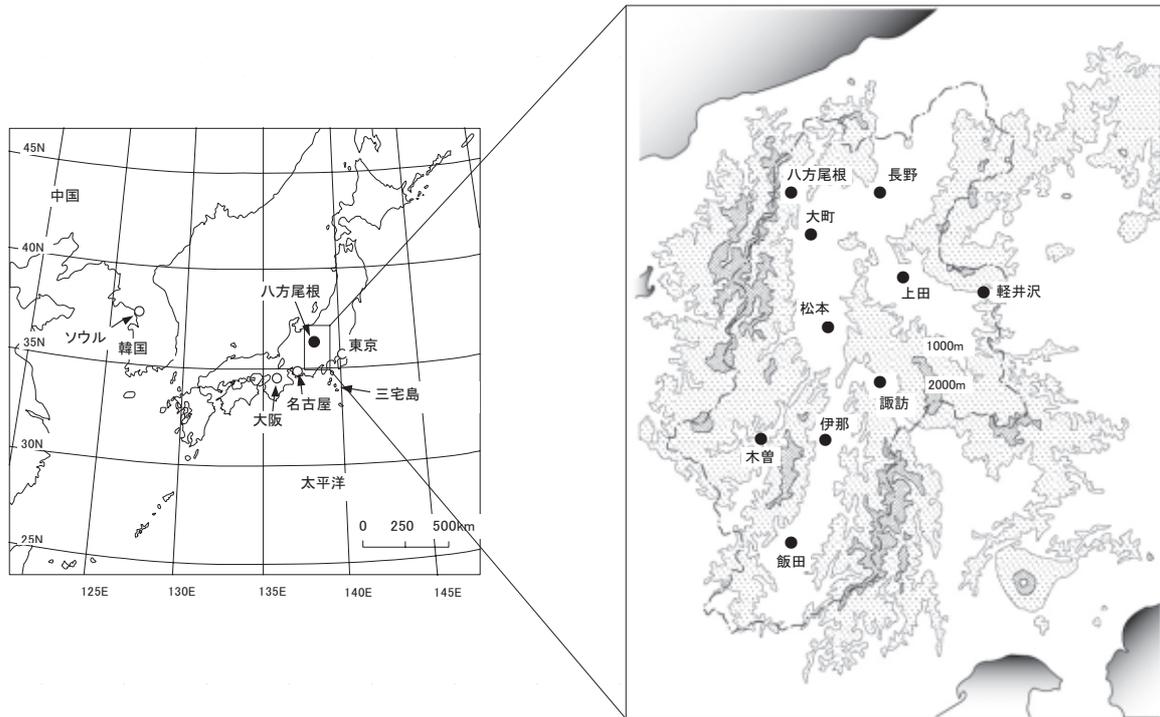


図1 測定地点

表1 八方尾根における三宅島火山ガスによるガス、エアロゾルおよび降水への影響

		単位	噴火前 [*]		噴火後 ^{**}		三宅島火山 寄与率
			濃度	S.D. ^{***}	濃度	S.D. ^{***}	
大気	SO ₂	ppb	0.4	0.0	0.8	0.3	50
エアロゾル	SO ₄ ²⁻	μg/m ³	2.3	0.1	3.3	0.3	30
降水	SO ₄ ²⁻	mg/m ² /30d	234	9	298	73	21
降水	S/N	当量濃度比	1.9	0.1	2.5	0.3	25

^{*} 1998～1999年度, ^{**} 2000～2003年度, ^{***} 年度別平均濃度の標準偏差。

2.2 測定方法

八方尾根における大気中のSO₂濃度は国設酸性雨測定所（紫外線発光法, Thermo Electron, model 43C-T）のデータを用いた。大気中のエアロゾルはテープエアサンプラーにより毎日12～15時に採取しSO₄²⁻などの水溶性成分を分析した^{5),6)}。降水はろ過捕集による採取器により採取し, pH,ECおよびSO₄²⁻などの成分を分析した⁷⁾。

市街地におけるSO₂濃度は大気常時監視局（溶液導電率法）のデータを用いた。降水はろ過捕集法により採取し, pH,ECおよびSO₄²⁻などの成分を分析した⁷⁾。

2.3 三宅島火山ガスによる寄与率

三宅島火山ガスによる寄与率は噴火前の平均値に対し、噴火後の増加分が火山ガスによると仮定すると、次式が成り立つ。

$$\text{寄与率(\%)} = (\text{Ma}-\text{Mb})/\text{Ma} \times 100$$

M：大気中SO₂濃度, エアロゾル中SO₄²⁻濃度,
降水中SO₄²⁻月間降下量とS/N当量濃度比

Ma：噴火後の平均値

Mb：噴火前の平均値

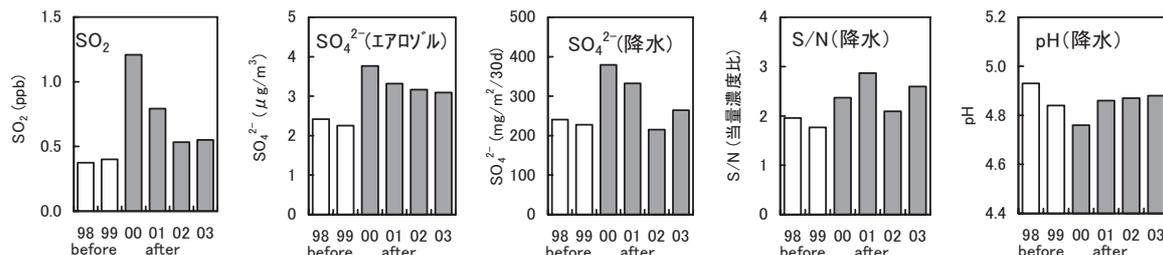


図2 三宅島火山の影響(八方尾根)

なお、火山ガス中のNO₃⁻濃度はSO₄²⁻に比べ極めて低く、比をとることにより、混合や拡散などの気象要因による影響を小さくできる。噴火前において、この比は個々の地域ごとにほぼ一定であり、その変動はSO₄²⁻降下量に比べて小さかった(図4参照)。そのため、火山ガスの影響度の指標として有効であると考えられる⁸⁾。

3. 結果および考察

3.1 山岳地域における三宅島火山ガスの影響

火山からの噴煙や人為大気汚染物質などによる環境への影響は汚染物質の濃度レベルが低い、山岳地域において現れやすい。八方尾根における大気中のSO₂濃度、エアロゾル中のSO₄²⁻濃度、降水のSO₄²⁻月間降下量、降水中のSO₄²⁻/NO₃⁻(S/N)当量濃度比の噴火前と噴火後の平均値と標準偏差および三宅島火山による寄与率を表1に、年度別平均値(降水のpHを追加)を図2に示す。

大気中のSO₂濃度に三宅島火山ガスの影響が顕著に認められた。噴火後濃度が上昇し、噴火の始まった2000年度の濃度は噴火前の平均値の3倍程度も増加した(図2)。その後SO₂濃度はしだいに減少したが、3年後の2003年度においても火山ガスの影響がみられた。火山から排出されたSO₂が輸送中に光化学反応により生成した⁵⁾エアロゾル中のSO₄²⁻の濃度は2000年度には約1.5 μg/m³増加した。その後減少したが、2003年度においてもその影響がはっきり認められた。降水のSO₄²⁻月間降下量とS/N比においても三宅島火山ガスの影響がみられた。降水のpHは2000年度に一旦低下したが、その後次第に高くなった。

噴火した2000年度の火山ガスによる年間寄与率は大気中SO₂が67%、エアロゾル中SO₄²⁻が40%、降水中SO₄²⁻が38%であった。その後、寄与率はしだいに減少し、3年後にはそれぞれ、33%、26%、

11%まで減少した。なお、噴火後4年間の平均寄与率はそれぞれ、50%、30%、21%であり(表1)、八方尾根においては三宅島火山ガスによる影響が顕著であった。

3.2 市街地における三宅島火山ガスの影響

長野県の市街地におけるSO₂濃度の1時間最高値および日平均最高値を年度別に表2に示す。三宅島火山の噴火が始まった2000年度に松本、飯田、諏訪、伊那、大町、木曾において1時間値の最高値が環境基準値100ppbを超える高濃度が出現した。また、同年度に飯田、諏訪、伊那において日平均値の最高値が環境基準値40ppbを超えた。これらの高濃度の出現は三宅島に近い県下の南の地域で多くみられた。

大気中SO₂濃度の年度平均値を図3に、噴火前(1995~1999年度)と噴火後(2000~2003年度)の平均濃度と標準偏差および三宅島火山ガスによる寄与率を表3に示す。伊那と木曾を除き、いずれの地点においても、噴火前の平均値に比べ噴火後の濃度が増加した。噴火した年度の伊那と木曾を除く年間平均寄与率は12~30%であったが、3年後には飯田を除き0~12%に減少した。なお、噴火後4年間の平均寄与率は0~23%であり、県下の平均で13%であった。SO₂年平均濃度の寄与率は長野、飯田、諏訪で大きい傾向があったが、寄与率の地域性はみられなかった。

降水のpH、SO₄²⁻月間降下量およびS/N比の年度平均値を図4に示す。pHは噴火開始年度(2000年度)およびその翌年に、いずれの都市においても低下(酸性化)がみられたが、2003年度にはほぼ噴火前のレベルに戻った。SO₄²⁻月間降下量およびS/N比はいずれも2000年度と2001年度ですべての都市で増加がみられたが、その後減少し、ほぼ噴火前のレベルに戻った。

表2 地点別SO₂濃度の1時間値の最高値および日平均値の最高値(単位：ppb)

1時間値の最高値

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003 年度
長野	37	18	21	21	15	76	42	24	28
松本	25	36	27	26	27	139	42	28	20
上田	43	35	24	20	20	75	33	88	21
飯田	30	43	30	29	19	383	83	33	92
諏訪	46	65	38	27	50	247	77	64	75
伊那	21	22	17	20	15	232	78	28	17
大町	72	64	48	47	46	102	46	45	36
木曾	18	15	22	11	11	138	67	28	23
全県	72	65	48	47	50	383	83	88	92

日平均値の最高値

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003 年度
長野	12	11	9	9	8	32	17	12	10
松本	10	11	8	10	9	34	14	11	9
上田	16	11	10	9	8	23	15	15	11
飯田	12	13	13	13	9	80	32	13	61
諏訪	17	27	18	10	11	55	23	14	16
伊那	15	17	12	9	7	51	27	10	9
大町	14	14	17	9	10	28	13	12	9
木曾	13	8	5	5	5	31	14	8	6
全県	17	27	18	13	11	80	32	15	61

：環境基準値を超過

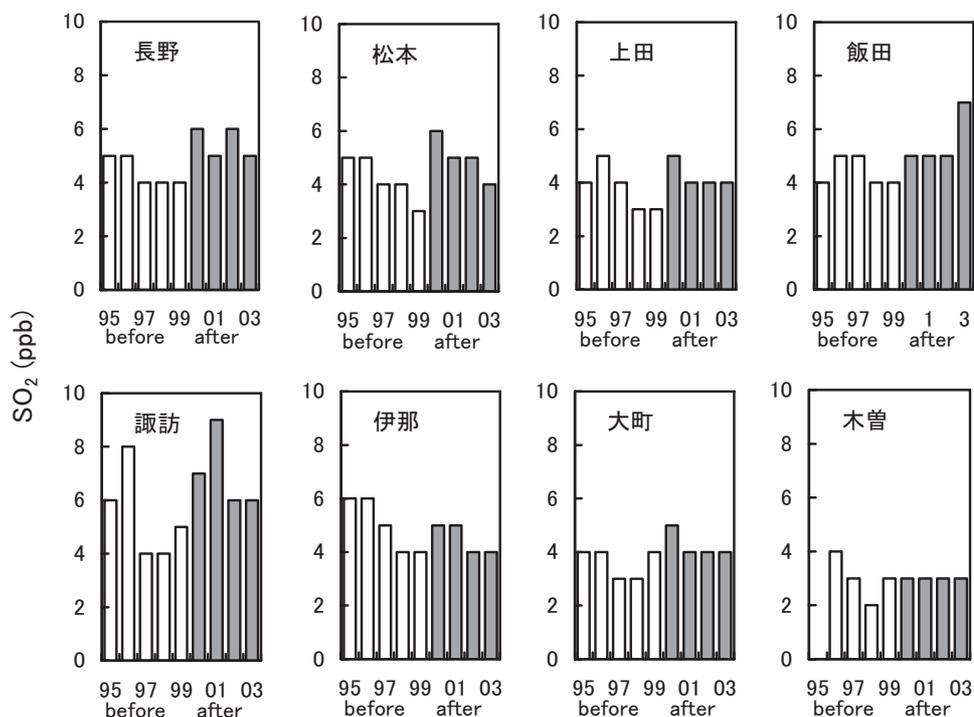


図3 大気中SO₂濃度に対する三宅島火山の影響(年度平均値)

表3 三宅島火山による大気中のSO₂濃度への影響

	噴火前 [*]		噴火後 ^{**}		三宅島火山 寄与率 (%)
	濃度 (ppb)	S.D.	濃度 (ppb)	S.D.	
長野	4.4	0.5	5.5	0.6	20
松本	4.2	0.8	5.0	0.8	16
上田	3.8	0.8	4.3	0.5	11
飯田	4.4	0.5	5.5	1.0	20
諏訪	5.4	1.7	7.0	1.4	23
伊那	5.0	1.0	4.5	0.6	0
大町	3.6	0.5	4.3	0.5	15
木曾	3.0	0.8	3.0	0.0	0
平均	4.2	0.9	4.9	0.7	13

^{*} 1995~1999年度の平均, ^{**} 2000~2003年度の平均.

表4 三宅島火山による降水中の硫酸イオンへの影響

	噴火前 [*]		噴火後 ^{**}		三宅島火山 寄与率 (%)
	降下量 (mg/m ² /30d)	S.D. ^{***}	降下量 (mg/m ² /30d)	S.D. ^{***}	
長野	120	19	131	37	8
松本	74	12	109	22	32
上田	80	15	113	27	29
飯田	140	25	173	24	19
諏訪	97	14	127	23	24
伊那	127	14	153	21	17
軽井沢	100	9	157	34	37
木曾	99	10	131	12	24
平均	104	15	137	25	24

^{*} 1998~1999年度, ^{**} 2000~2003年度, ^{***} 年度別平均濃度の標準偏差.

表5 三宅島火山による降水中のS/N比の変化

	噴火前 [*]		噴火後 ^{**}		三宅島火山 寄与率 (%)
	S/N (当量濃度比)	S.D. ^{***}	S/N (当量濃度比)	S.D. ^{***}	
長野	1.4	0.3	1.5	0.3	5
松本	1.3	0.1	1.7	0.2	26
上田	1.1	0.1	1.5	0.3	26
飯田	1.7	0.1	2.2	0.4	24
諏訪	1.3	0.2	1.7	0.4	22
伊那	1.7	0.1	2.2	0.4	20
軽井沢	1.0	0.0	1.4	0.3	32
木曾	1.4	0.1	2.0	0.4	31
平均	1.4	0.1	1.8	0.3	23

^{*} 1998~1999年度, ^{**} 2000~2003年度, ^{***} 年度別平均濃度の標準偏差.

降水のSO₄²⁻月間降下量およびS/N比の噴火前と噴火後の平均値と標準偏差および三宅島火山ガスによる寄与率を表4, 表5に示す. 噴火した年度の年間平均寄与率はSO₄²⁻月間降下量が24~48%, S/N比が7~44%であったが, 3年後にはいずれも0~21%に減少した. なお, 噴火後4年間のSO₄²⁻月間降下量による, 火山ガスの平均寄与率は8~32%であり, 県下の平均は24%であった. また, S/N比に

よる火山ガスの平均寄与率は5~32%, 県下の平均は23%であり, SO₄²⁻月間降下量の寄与率とよく一致した. 降水のSO₄²⁻月間降下量およびS/N比の寄与率は松本, 上田, 軽井沢で大きい傾向があり, SO₂濃度の寄与率の大きい都市とは異なっていた.

市街地においても, 大気中SO₂濃度と降水のSO₄²⁻月間降下量およびS/N比のいずれも, 三宅島の火山ガスの影響がみられたが, 大気(4年間の県下平均

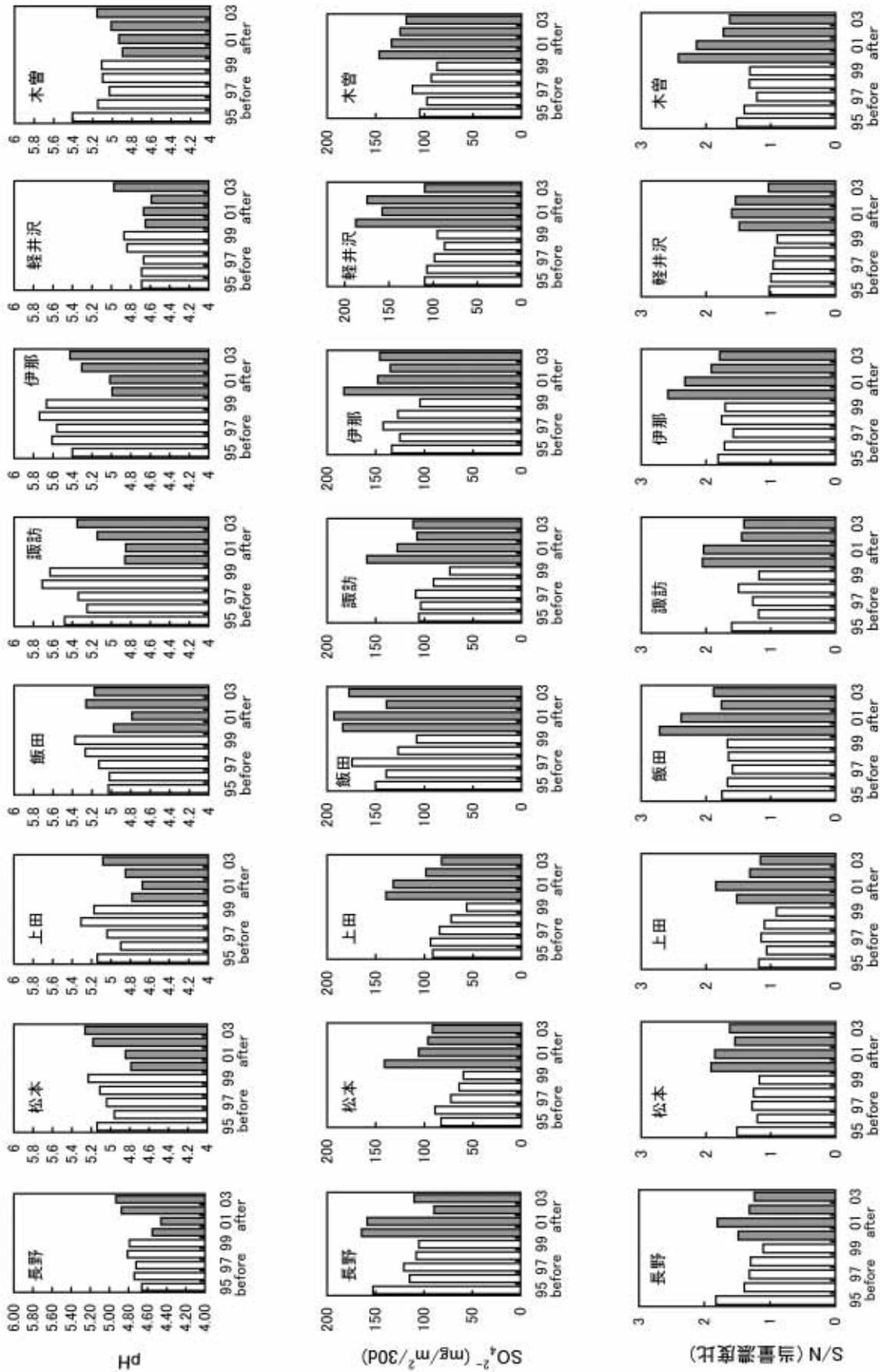


図4 降水のpH, SO_4^{2-} , S/N比に対する三宅島火山の影響 (年度別平均値)

で13%) に比べ降水 (4年間の県下平均で24%, 23%) への影響が大きかった。この理由は、三宅島火山からの火山ガスの放出高度が1000m~3000m⁹⁾ と高いため、長野県へ移流してきた火山ガスは上空を通過してしまうことが多いのに対し、降水では上空のSO₄²⁻を捕集し、降下してくるためと考えられる。

4. 結語

長野県下の山岳地域 (八方尾根) と市街地における三宅島火山ガスによる大気や降水への影響 (寄与率) について検討した。

八方尾根において、噴火した年度の火山ガスによる年間寄与率は大気中SO₂が67%, エアロゾル中SO₄²⁻が40%, 降水中SO₄²⁻が38%もあった, その後減少したが, いずれの項目とも, 2003年度においてもその影響がはっきり認められた。噴火後4年間の平均寄与率は大気中SO₂が50%, エアロゾル中SO₄²⁻が30%, 降水中SO₄²⁻が18%であり, 山岳地においては三宅島火山ガスによる影響が顕著であった。

市街地における大気中SO₂濃度は伊那と木曾を除き, いずれの地点においても, 噴火前の平均値に比べ噴火直後の濃度が増加した。噴火した年度の伊那と木曾を除く年間平均寄与率は12~30%であったが, その後減少し, ほとんどの地点で3年後の2003年度には噴火前のレベルに戻った。また, 噴火後4年間の平均寄与率は0~23%であり, 県下の平均で13%であった。降水中のSO₄²⁻による寄与率は, 噴火した年度の年間平均寄与率はSO₄²⁻月間降下量が24~48%, S/N比が7~44%であったが, 3年後にはいずれも0~21%に減少した。噴火後4年間の火山ガスの平均寄与率は8~32% (県下の平均で24%) であった。また, S/N比による, 火山ガスの平均寄与率は5~32% (23%) であった。

謝 辞

八方尾根におけるSO₂は環境省国設八方尾根酸性雨測定所における連続測定結果を使用した。

文 献

- 1) Z. Klimont, J. Cofala, W. Schopp, M. Amann, D.G. Streets, Y. Ichikawa, and S. Fujita (2001) Projection of SO₂, NOx, NH₃ and VOC emissions in East Asia up to 2030, Water Air Soil Pollut., 130, 193-198.
- 2) A. Kannari, T. Baba, H. Ueda, Y. Tonooka, and K. Matsuda (2001) Development of multi-pollutant emissions inventory in Japan, paper presented at 7th International Joint Seminar on the Regional Deposition Processes in the Atmosphere, Natl. Inst. for Environ. Studies, Tsukuba, Japan.
- 3) 気象庁ホームページ (2005)
<http://www.jma.go.jp/jp/volcano/>
- 4) 例えば, 大塚浩子, 井上広史, 吉田正次 (2002) 三宅島火山ガスが愛知県内の大気および降水中の硫黄酸化物濃度に与える影響, 全国環境研会誌, 27, 31-39.
- 5) 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.
- 6) 薩摩林光, 川村 實, 鹿角 孝男, 西沢 宏, 二木克己, 村野健太郎, 植田洋匡 (2002) 中部山岳地域における大気中エアロゾル成分濃度の季節変動, 長野県衛生公害研究所研究報告, 25, 1-9.
- 7) 環境省 (1990) 酸性雨等調査マニュアル.
- 8) 岡田拓也 (2003) 三宅島火山ガスのつくばにおける大気および降水中の硫黄酸化物濃度への影響, 筑波大学大学院環境科学研究科, 平成14年度修士 (環境科学) 学位論文.
- 9) M. Chino (2001) Regional diffusion simulations of volcanic gas in Miyakejima island, paper presented at Workshop on the 2000 Eruption of Miyakejima and Air Pollution, Japan Soc. for Atmos. Environ., Tokyo.

**Effects of Miyakejima volcanic gas
on airborne particles and precipitations in Nagano Prefecture**

Hikaru SATSUMABAYASHI*, Kazunori NAKAGOMI*, Minoru KAWAMURA,
Mizuo KAJINO, and Hiromasa UEDA

** Nagano Environmental Conservation Research Institute, Environmental Conservation Team,
1978 Komemura, Amori, Nagano 380-0944 , Japan*