

9 か月間の二酸化硫黄曝露による三宅島小児住民の呼吸器影響

イワサワ 岩澤	サト コ 聡子*	ミチカワ 道川	タケヒロ 武紘*	ナカ ノ マ キ コ 中野真規子*	ニシワキ ユウ ジ 西脇 祐司*
ツボ イ 坪井	タズル 樹*	タ ナカ 田中	シゲル 茂 ^{2*}	ウエムラ タカモト 上村 隆元*	アイ ミロイェヴィッチ Ai Milojevic*
ナカシマ 中島	ヒロシ 宏 ^{3*}	タケバヤシ 武林	トオル 亨*	モリカワ アキヒロ ^{4*} 森川 昭廣 ^{4*}	マルヤマ コウイチ 丸山 浩一 ^{5*}
クドウ 工藤	ショウジ 翔二 ^{6*}	ウチャマ 内山	イワ オ 巖雄 ^{7*}	オオマエ 大前	カズユキ 和幸*

目的 2000年 6 月に三宅島雄山が噴火し、二酸化硫黄（SO₂）を主とする火山ガス放出のため同年 9 月に全住民に島外避難命令が出された。火山ガス放出が続く中、火山ガスに関する健康リスクコミュニケーションが実施され、2005年 2 月に避難命令は解除された。本研究では、帰島後 1 年 9 か月経過した時点における、SO₂ 濃度と小児の呼吸器影響の関連について、2006年 2 月から11月の 9 か月間の変化を検討した。

方法 健診対象者は2006年11月時点で、三宅島に住民票登録のある19歳未満の住民を対象とした。そのうち、受診者は、141人（受診率50.4%）で、33人は高感受性者（気管支喘息などの気道過敏性のある呼吸器系疾患を持つ人あるいはその既往のあり、二酸化硫黄に対し高い感受性である人）と判定された。

健康影響は、米国胸部疾患学会の標準化質問票に準拠した日本語版の自記式質問票により、呼吸器に関する自覚症状調査、生活習慣、現病歴、既往歴等の情報を収集した。努力性肺活量検査は、練習の後、1 被験者あたり 3 回本番の測定を実施した。

環境濃度は、既存の地区名を一義的な括りとし、当該地区の固定観測点での SO₂ モニタリングデータをもとに、避難指示解除より健診までの22か月間のデータについて、その平均値により居住地域を低濃度地区（Area L）、比較的曝露濃度の高い 3 地域（H-1、H-2、H-3）と定義し、SO₂ 濃度（ppm）はそれぞれ0.019、0.026、0.032、0.045であった。

結果 自覚症状では、「のど」、「目」、「皮膚」の刺激や痛みの増加が、Area L と比較すると、H-3 で有意に訴え率が高かった。呼吸機能検査では、2006年 2 月と2006年11月のデータの比較において、高感受性者では%FVC、%FEV1 で有意に低下（ $P=0.047$, 0.027）していたが、普通感受性者では低下は認めなかった。

結論 高感受性者では呼吸機能発達への影響の可能性も考えられ、注目して追跡観察していくべきである。

Key words：火山ガス、二酸化硫黄、小児、呼吸器系症状、スパイロメトリー

Ⅰ 緒 言

三宅島の雄山は、2000年 6 月より火山活動が活発化した。同年 8 月の最大規模の噴火に続いて火砕流が発生し、山頂火口からの二酸化硫黄を中心とする多量の火山ガス放出活動に移行したため、同年 9 月に全住民に島外避難命令が出された。放出量は減少したが、ガス放出が続く中、2005年 2 月に避難指示は解除となった。本研究では、SO₂ 濃度と小児の呼吸器影響の関連について、帰島後の2006年 2 月から11月の 9 か月間の変化を検討した。

* 慶應義塾大学医学部衛生学公衆衛生学

^{2*} 十文字学園女子大学人間生活学部食物栄養学科衛生学公衆衛生学研究室

^{3*} 防衛医科大学校衛生学公衆衛生学講座

^{4*} 群馬大学大学院医学系研究科小児生体防御学分野

^{5*} 東京都児童相談センター

^{6*} 複十字病院

^{7*} 京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻環境衛生学講座

連絡先：〒160-8582 東京都新宿区信濃町35

慶應義塾大学医学部衛生学公衆衛生学教室

岩澤聡子

II 研究方法

避難解除時点でのSO₂濃度は、急性または慢性呼吸器影響リスクがあるレベルであり¹⁾、三宅村火山ガスに対する安全確保に関する条例（平成17年三宅村条例第12号）により、全住民を対象とした健康診断が毎年実施され、結果は住民へ報告されている。

健診対象者は2006年11月時点で、三宅島に住民票登録のある19歳未満の住民（280人）で、受診者は141人（受診率50.4%）であった。

三宅村のSO₂濃度常時モニタリング7測地点での連続測定データから、2005年2月から2006年11月のSO₂濃度の平均値を求めた。SO₂濃度により島内居住地区をArea L（伊豆・神着地区）、H-1（伊ヶ谷地区）、H-2（坪田地区）、H-3（阿古地区）に4分割した。

健診内容は2006年2月と2006年11月で同様に実施し、呼吸器自覚症状は、米国胸部疾患学会（以下ATS American Thoracic Society）の標準化質問票²⁾に準拠した日本語版の自記式質問票を使用し、生活習慣、現病歴、既往歴等の情報も収集した。呼吸機能は、ATS推奨基準³⁾に適合したスパイロメーター（Easy One, ndd Medical Technologies, Andover, MA）を使用して努力性肺活量を測定した。測定前に検査のコツを習得させるべく練習を行い、1被験者あたり3回の測定を実施した。解析に採用したスパイログラムは、ATSの基準³⁾に準じて選択し、年齢・身長をモデルとした予測式⁴⁾により補正を行った。呼吸機能については、2006年11月と2006年2月の健康診断の両方に参加し、ATS基準³⁾に適合したスパイログラムが得られた54人について解析した。

気管支喘息など気道過敏性のある呼吸器系疾患を持つ人あるいはその既往がある人を高感受性者と定義した。判定は、小児科専門医により感受性を疑う疾患（気管支喘息、喘息様気管支炎、喘息気味、呼吸不全、在宅酸素使用中）の有無、呼吸器症状標準質問票の項目（これまでに胸がゼーゼーとかヒューヒューして、息が急に苦しくなる発作を起こしたことがありますか。そのような発作は、いままでに2回以上ありましたか。医師に喘息、喘息様気管支炎または小児喘息と言われたことがありますか。）の有無、呼吸機能検査での所見の有無、疾患の治療状況を総合的に判断した。

統計解析は、4つの曝露濃度レベルでの呼吸機能検査の平均値の差の検定を行うため、分散分析と対応のあるt検定を行った。自覚症状については、有訴率を比較するため、分割表分析（ χ^2 検定あるいはFisherの正確検定、McNemar test）により検定

した。統計ソフトはSPSS Ver15を使用した。

III 研究結果

Table 1に対象者の特性、SO₂濃度、自覚症状を示した。

SO₂濃度の平均値は0.031 ppm、1時間平均値が0.1 ppmを超える割合は、5.0%であった。地区毎の平均濃度は、Area L, H-1, H-2, H-3で各々0.019, 0.026, 0.032, 0.045 ppm、1時間平均値が0.1 ppmを超える割合（%）は、2.0, 4.4, 6.0, 7.5であった。

自覚症状では、「のど」、「目」、「皮膚」の刺激や痛みの増加が、Area Lと比較すると、H-3で有意に訴え率が高かった。

Table 2に、呼吸機能検査の結果を感受性別に示した。2006年2月と2006年11月のいずれも、高感受性群は普通感受性群より年齢が高く身長もやや高いにもかかわらず、FEV1%で有意に低値（ $P=0.029$, 0.004）でありほとんどの呼気流量は遅かった。2006年2月から2006年11月の変化では、普通感受性群では呼吸機能指標は増大し、年齢・身長調整値である%FVC、%FEV1に変化はなかったが、高感受性群では、%FVC、%FEV1で有意に低下（ $P=0.047$, 0.027）していた。各地区別の呼吸機能検査値の比較では、地区間での有意差は認めなかった。

IV 考察

本研究は、三宅島での2000年の噴火以降、小児住民を対象とした火山性の二酸化硫黄曝露による健康影響を評価した初めての疫学研究である。

環境基本法では、SO₂の環境基準として、「1時間値の1日平均値が0.04 ppm以下であり、かつ1時間値が0.1 ppm以下であること」とされている。三宅島における火山ガス成分はSO₂が多く、濃度の平均値は0.031 ppm、1時間平均値が0.1 ppmを超える割合は5%であり、島の中のどの地域も環境基準を満たしていない。しかし、他の硫化水素や塩化水素、二酸化炭素、硫酸ミスト、浮遊粒子状物質は健康影響発生の可能性が低いレベルであるという特徴がある¹⁾。

一般的に、平均曝露濃度よりも短期的な高濃度曝露は、刺激症状を生じる。「のど・目・皮膚」の刺激や痛みの増加の自覚症状は、Area Lと比較すると、H-3 areaで有意に訴え率が高く、この地区は5分値の最高値が高く、1時間値が0.1 ppm以上である割合が高かった。2008年に石上ら⁵⁾により、三宅島で2005年2月から7月までの間に15日ほど滞在した帰島支援ボランティアを対象とした研究でも、火

Table 1 Characteristics of study population, Concentration of SO₂, and prevalence of subjective symptoms.

	All n = 141	Area				<i>p</i> [§]
		L n = 55	H-1 n = 9	H-2 n = 31	H-3 n = 46	
Participation rate (%)	50.4	61.1	75	48.4	40.4	
Male (%)	50.4	52.7	88.9	51.6	39.1	0.05
Age (year)						
mean ± SD	10.7 ± 4.4	10.2 ± 4.9	11.8 ± 2.4	10.0 ± 4.2	11.5 ± 4.0	0.38
range	0-18	0-18	8-15	0-16	1-17	
Hyper-susceptives (%)	23.4	18.2	44.4	12.9	32.6	0.07
Concentration of SO ₂ during February 2005 to November 2006.						
Average (ppm)	0.031	0.019	0.026	0.032	0.045	
Rate of SO ₂ 1-hour average exceeding 0.1 ppm (%)	5.0	2.0	4.4	6.0	7.5	
Maximal five-minute average concentration (ppm)	17.25	4.27	5.40	17.25	5.52	
Prevalence of respiratory symptom (%)						
Do you usually have a cough?	16.1	11.1	11.1	20.7	20.0	0.55
Do you usually bring up phlegm from your chest?	10.9	9.3	11.1	16.7	8.9	0.72
Does your chest ever sound wheezy or whistling?	22.9	12.7	33.3	16.7	37.0*	0.02
Have you ever had an attack of wheezing that has made you feel short of breath?	17.4	14.5	44.4	10.0	20.5	0.10
After you returned to the island, do you feel increase of the frequency of symptoms below?						
“Cough”	15.2	10.0	0.0	14.8	23.9	0.15
“Phlegm”	10.6	9.8	0.0	11.1	13.3	0.69
“Wheezy or whistling when breathing”	6.1	5.9	0.0	3.8	8.7	0.71
“Irritation and/or pain of throat”	16.0	7.8	22.2	11.5	26.7*	0.07
“Irritation, runny nose, and/or sniffles of nose”	25.8	16.0	44.4	25.9	32.6	0.15
“Irritation and/or pain of the eyes”	17.4	9.8	22.2	14.8	26.7*	0.17
“Itchy of the skin”	9.1	3.9	0.0	7.4	17.8*	0.08
“Catching a cold”	14.2	10.0	0.0	13.8	21.7	0.22

Area L: Izu, Kamitsuki and Mimoi districts. Area H-1: Igaya district. Area H-2: Tsubota district. Area H-3: Ako district.

§: *p* by one-way ANOVA or Chi square test.*: *P* < 0.05 compared to Area L area by chi square test or Fisher's exact method.

山性ガス SO₂ 濃度と自覚症状発生率との間に、明瞭な量-反応関係がみられたと報告されている。また、三宅島成人住民を対象とした報告の中でも、2年間の居住により、自覚症状の増加が観察された⁶⁾。これらの結果は、本研究と一致する。

普通感受性群と比較すると、2回の呼吸機能検査共に高感受性者群では一秒率が有意に低くほとんどの呼気流量指標が小さかったことから、高感受性群と普通感受性群の分類には妥当性があると考えられた。

初回と9か月後の呼吸機能検査の比較では、高感受性群で%FVCと%FEV1が有意に低下していた。普通感受性者と高感受性者間で約1cmの身長の違いがあったが、呼吸機能予測式⁴⁾から計算

される1cmの身長差は%FVCで1.5%、%FEV1で1.7%寄与しているにすぎず、観察された差は身長の成長差では説明できなかった。追跡期間が9か月と短く、検査人数が14人と少ないことがこの結果の解釈を困難にするものではあるが、高感受性群では成長に応じてFVCとFEV1が増加していないことを示唆している。検索した範囲では小児高感受性者の呼吸機能成長に関する文献はなく、今回観察された結果が高感受性者特有の現象であるのか、SO₂がこの結果に寄与しているのかについては評価することはできなかった。高速道路からの居住距離と肺機能発達について、10歳から18歳まで8年間追跡したコホート研究では、500m以内に居住している者は、一秒率、MMFが有意に低値であり、8年間の

Table 2 Nine-month changes in pulmonary function in study subjects who participated in both Feb 2006 and Nov 2006 health checkups.

	Feb 2006		Nov 2006		Nov 2006-Feb 2006	
Hypersusceptives n = 14						
Age	12.7 ± 3.2	(7-17)	13.7 ± 3.2	(8-18)		
Height (cm)	148.8 ± 16.0	(117-171)	151.1 ± 14.9	(121-170)	2.29 ± 2.23*	
FVC (L)	2.81 ± 1.06	(1.45-5.13)	2.85 ± 1.05	(1.62-5.03)	0.04 ± 0.18	(-0.27-0.36)
FEV1 (L)	2.31 ± 0.84	(1.32-4.25)	2.30 ± 0.90	(1.47-4.33)	-0.01 ± 0.27	(-0.79-0.25)
FEV1% (%)	83.2 ± 8.87#	(67.9-96.4)	81.4 ± 13.1#	(50.3-93.2)	-1.74 ± 8.23	(-26.79-7.64)
PEF (L/s)	5.10 ± 1.61	(2.77-8.27)	5.15 ± 1.97	(2.57-9.12)	0.05 ± 0.88	(-2.14-1.37)
MMF (L/s)	2.45 ± 1.10	(1.23-5.65)	2.45 ± 1.29	(0.74-6.06)	0.00 ± 0.44	(-1.18-0.50)
MEF75 (L/s)	4.11 ± 1.43	(2.53-7.96)	4.31 ± 1.71	(1.56-7.86)	0.20 ± 0.87	(-1.70-1.75)
MEF50 (L/s)	2.83 ± 1.10	(1.51-5.71)	2.89 ± 1.35	(0.84-6.17)	0.06 ± 0.68	(-1.23-1.09)
MEF25 (L/s)	1.44 ± 0.92	(0.50-4.38)	1.34 ± 1.07	(0.40-4.68)	-0.10 ± 0.35	(-0.86-0.37)
%FVC (%)	96.0 ± 18.4	(74.3-136.4)	92.1 ± 18.7	(66.1-128.9)	-3.9 ± 6.7*	(-15.6-8.1)
%FEV1 (%)	90.9 ± 18.3	(57.8-120.0)	85.3 ± 22.4	(47.2-116.7)	-5.5 ± 8.3*	(-28.3-4.7)
Normosusceptives n = 40						
Age	11.3 ± 3.0	(5-17)	12.4 ± 3.0	(6-18)		
Height (cm)	147.6 ± 16.1	(117-172)	150.8 ± 15.0	(122-172)	3.20 ± 2.47**	
FVC (L)	2.58 ± 0.72	(1.26-4.19)	2.77 ± 0.81	(1.32-4.74)	0.20 ± 0.25**	(-0.29-0.64)
FEV1 (L)	2.28 ± 0.67	(0.98-3.67)	2.45 ± 0.75	(1.07-4.16)	0.19 ± 0.24**	(-0.27-0.71)
FEV1% (%)	88.1 ± 6.18	(72.6-100.0)	89.0 ± 6.14	(76.9-98.0)	0.84 ± 5.12	(-8.68-15.98)
PEF (L/s)	4.75 ± 1.63	(1.68-8.05)	5.18 ± 1.69	(2.75-9.40)	0.44 ± 0.91**	(-1.35-2.42)
MMF (L/s)	2.71 ± 1.02	(0.70-4.86)	3.00 ± 1.06	(1.43-5.27)	0.29 ± 0.6**	(-0.98-1.85)
MEF75 (L/s)	4.45 ± 1.59	(1.33-7.94)	4.75 ± 1.53	(2.74-9.15)	0.31 ± 0.89*	(-1.31-2.77)
MEF50 (L/s)	3.10 ± 1.17	(1.09-5.93)	3.46 ± 1.26	(1.72-6.73)	0.38 ± 0.71**	(-0.99-2.27)
MEF25 (L/s)	1.57 ± 0.66	(0.34-2.89)	1.73 ± 0.76	(0.68-3.35)	0.16 ± 0.49	(-1.39-1.72)
%FVC (%)	93.6 ± 12.2	(72.1-121.5)	92.7 ± 10.3	(74.5-113.5)	-0.8 ± 9.3	(-21.7-18.2)
%FEV1 (%)	95.0 ± 13.0	(70.3-126.9)	93.8 ± 11.2	(72.0-115.2)	-0.9 ± 11.3	(-25.1-32.3)

***: $P < 0.05$, 0.01 by paired t-test #: $P < 0.05$ compared hypersusceptives to normosusceptives by t-test

呼吸機能成長が遅れていた⁷⁾。しかし、オゾン、二酸化窒素、酸性ガス、PM₁₀、PM_{2.5}、炭素などの複合曝露であり、本研究との比較は難しい。

V 結 語

二酸化硫黄平均濃度0.031 ppm 環境下で、高感受性者では呼吸機能発達への影響の可能性も考えられ、注目して追跡観察していくべきである。

本研究は、東京都三宅村『帰島後健康診断（呼吸器系）データ分析業務委託研究費（平成17～19年度）』の一部として行われた。

（受付 2009. 3.19）
（採用 2009. 9.29）

文 献

- 1) 東京都総務局．内閣府．三宅島火山ガスに関する検討会報告書．2003; 1-81.
- 2) Epidemiology Standardization Project. Recommended respiratory disease questionnaires for use with adults and children in epidemiological research. Am Rev Respir Dis 1978; 118: 7-53.
- 3) Standardization of Spirometry, 1994 Update. American Thoracic Society. Am J Respir Crit Care Med 1995; 152: 1107-1136.
- 4) Hankinson JL, Odencrantz JR, Fedan KB. Spirometric reference values from a sample of the general U.S. population. Am J Respir Crit Care Med 1999; 159: 179-187.
- 5) Ishigami A, Kikuchi Y, Iwasawa S, et al. Volcanic sulfur dioxide and acute respiratory symptoms in Miyakejima island. Occup Environ Med 2008; 65: 701-707.
- 6) Iwasawa S, Kikuchi Y, Nishiwaki Y, et al. Effects of SO₂ on respiratory system of adult Miyakejima resident 2 years after returning to the island. J Occup Health 2009; 51: 38-47.
- 7) Gauderman WJ, Vora H, McConnell R, et al. Effect of exposure to traffic on lung development from 10 to 18 years of age: a cohort study. Lancet 2007; 369: 571-577.

Nine-month observation of effects of SO₂ on the respiratory system in child Miyakejima citizens

Satoko IWASAWA*, Takehiro MICHIKAWA*, Makiko NAKANO*, Yuji NISHIWAKI*,
Tazuru TSUBOI*, Shigeru TANAKA^{2*}, Takamoto UEMURA*, Ai MILOJEVIC*,
Hiroshi NAKASHIMA^{3*}, Toru TAKEBAYASHI*, Akihiro MORIKAWA^{4*}, Kouichi MARUYAMA^{5*},
Shoji KUDO^{6*}, Iwao UCHIYAMA^{7*} and Kazuyuki OMAE*

Key words : volcanic gases, sulfur dioxide, child, respiratory symptoms, spirometry

Background Mt. Oyama on Miyakejima Island erupted in June 2000 and all Miyake village citizens were forced to evacuate the island in the September, due to continuous eruptions and emission of unsafe amounts of volcanic gas, mainly sulfur dioxide (SO₂). Beginning in February 2005, residents returned to live on the island despite the fact that volcanic gas was still being emitted.

Objective To examine changes in the respiratory systems of included children from February 2006 to November 2006.

Methods The study population was 141 children who participated in health checkups in November 2006, including 33 SO₂ hypersusceptible children who had a current or past history of asthma, obstructive lung function, current symptoms of whistling and wheezing, and/or deterioration of respiratory symptoms. Respiratory effects were evaluated by a questionnaire for respiratory symptoms and by spirometry. SO₂ was monitored at 7 sampling points within inhabited areas, and the mean SO₂ concentration from February 2005 to November 2006 was 0.031 ppm. The area was categorized into four areas by average SO₂ concentration, namely, areas L, H-1, H-2, and H-3, where the average SO₂ levels were 0.019, 0.026, 0.032, and 0.045 ppm, respectively.

Results Compared to children in area L, the frequencies of “phlegm” and “irritation of the nose” were significantly greater in the children in areas H-2 and H-3. %FVC and %FEV1 in hypersusceptible children were significantly reduced in November 2006 as compared to February 2006 ($P=0.047$, 0.027), though no reduction observed in normosusceptible children.

Conclusion Respiratory functions in hypersusceptible Miyakejima children may be affected by SO₂ exposure, and further follow-up observation is necessary.

* Department of Preventive Medicine and Public Health, School of Medicine, Keio University, Tokyo, Japan

^{2*} Department of Public Health, School of Human Life Sciences, Jumonji University, Saitama, Japan

^{3*} Department of Preventive Medicine and Public Health, National Defense Medical College, Tokorozawa, Saitama, Japan

^{4*} Department of Pediatrics and Developmental Medicine, Gunma University Graduate School of Medicine, Maebashi, Gunma, Japan

^{5*} Bureaus of Social Welfare and Public Health, Tokyo Metropolitan Government, Tokyo, Japan

^{6*} Department of Pulmonary Medicine/Infection and Oncology, Nippon Medical School, Tokyo, Japan

^{7*} Urban and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Kyoto University, Kyoto, Japan