

九州における火山ガス長距離輸送の解析*

直江 寛明*¹・木下 紀正*²・池辺 伸一郎*³

要 旨

阿蘇火山博物館で測定している大気中の二酸化硫黄濃度が 30 ppb を越えた高濃度事象を対象に、気象データと衛星画像や桜島噴煙の地上観測などのデータを用いて発生源の推定を行い、特徴的な事例について気象条件との関連性について解析した。上層が東風系るとき、阿蘇火山からの直接的な影響がみられ、数百 ppb に達する高濃度が長時間にわたってしばしば観測された。桜島は常時多量の噴煙と火山ガスを放出していて、上層で南風系が卓越しているとき、150 km 離れた測定点で 30 ppb 以上、時には 100 ppb を越える高濃度が検出された。二酸化硫黄濃度の日変化で特に高濃度が観測されるのは、夜間に地表で放射冷却による接地逆転層が形成され阿蘇中岳火口からの火山ガスによる局所的な汚染濃度が極度に高められるとき、及び九州が移動性高気圧の後面に位置し、安定した大気中を桜島からの火山ガスが移流して混合層内の汚染濃度が高められたときと考えられる。

1. はじめに

硫黄系の大気汚染物質は大気中での滞留時間が長く、発生源から離れた地域にまで影響を及ぼすため、欧米では国境を越えた長距離輸送が国際的な問題となっており、東アジアでも注目されつつある。九州地方では、域内および大陸の人為起源大気汚染物質のほか、桜島や阿蘇などの火山活動が活発で、自然起源硫酸化合物などの火山ガスが混在して環境大気へ影響を及ぼしている。なかでも桜島南岳火口からの二酸化硫黄の放出量は年間約30~70万 t と見積もられ(鎌田他, 1985; 太田他, 1990)、日本の人為起源総排出量の年間約100万 t に比べられる大きな量であるといえる。その影響は桜島内外での定点観測で環境基準を越える高濃度事象として検出されており(柳川他, 1987)、桜島南東 30 km の志布志地域でも 40 ppb を越える事象が環境アセスメントの際などに検出されている(水野,

1980; 竹山他, 1989)。なお、火山ガスには大量の水蒸気とともに CO₂、HCl、H₂S など含まれるが、SO₂ は大量に含まれて長時間滞留し、その検出が容易である。

桜島南岳の爆発は年に約100~400回、噴煙の高さは海拔1500~4000m ぐらゐまで上昇するが、爆発をしていないときの定常噴煙は1000~2000m である。桜島の噴煙は比較的安定した上層大気中を鉛直方向にはあまり拡散せずに移流し、時には 100~200 km に達しているのが各種衛星画像に捉えられている(Kinoshita *et al.*, 1992)。高温で放出された火山ガスもこのような噴煙と挙動を共にし、SO₂ は移流の過程で一部酸化されて硫酸エアロゾルとなって噴煙下流の重要な構成要素をなすと考えられる。実際、北部九州においても桜島噴煙が酸性雨の要因となる事が九州衛生公害技術協議会大気分科会の合同調査(1990, 1991)で明らかにされている。また、長崎県下の平野部の多くの環境大気測定局で同じ日に SO₂ 濃度が 20 ppb を越える場合が年間数例見出され、移動性高気圧後面の下降気流による桜島火山ガスの影響と推定されるとともに、より高濃度の事象が雲仙野岳(標高1142m)でしばしば観測され、桜島火山ガスが南よりの風で移流した結果と推定されている(山下他, 1991)。多くの場合、桜島からの火山ガスが1000~2000mの煙流高度を保つとすれ

* Analysis of long-range transport of volcanic gas in Kyushu.

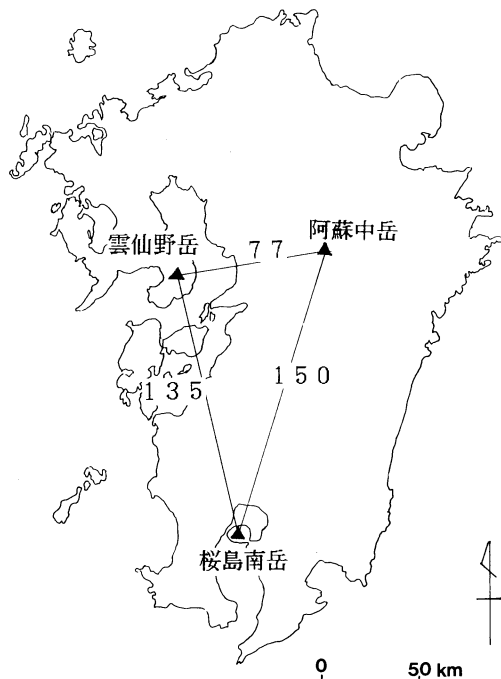
*¹ Hiroaki Naoe, 鹿児島地方気象台(現 大阪管区気象台)。

*² Kisei Kinoshita, 鹿児島大学教育学部。

*³ Shin-ichiro Ikebe, 阿蘇火山博物館。

— 1992年12月1日受領 —

— 1993年3月31日受理 —



第1図 九州の地図.

ば、その長距離輸送の検出には、平地よりも1000m級の山上観測が適していると考えられる。

阿蘇は中部九州にある大きなカルデラであり、その中に現在も活動中の中岳がある。活発な時期には噴火がみられ火山弾や火山灰を噴出するとともに、噴煙中の SO_2 量が著しく増加するといわれている。太田他(1990)は相関スペクトロメータを用いて日本における火山起源の SO_2 放出量を推定し、1988年について桜島は年間72.3万tに対し阿蘇山は13.5万tと見積もった。中央火口丘上の草千里にある阿蘇火山博物館では、火山活動のモニターのために SO_2 濃度連続測定を1988年11月から行っている。ところが、阿蘇火山の直接的な影響のほかに、北部九州にまで影響のみられる桜島火山ガスが検出される可能性がある。

そこで本研究では、桜島火山ガスの長距離移流の様相を解明して広域の大気汚染研究に資するために、阿蘇火山博物館で測定された SO_2 濃度データを用いて、気象条件や衛星写真、地上からの噴煙観測をもとに高濃度事象の発生源を推定した。また、特徴的な濃度変化について、その時の大気の成層状態、風系について詳細に調べ、流跡線解析の結果と比較検討した。なお、この結果を踏まえて、阿蘇火山活動と高濃度事象との関連について別途検討している(池辺他, 1993)。

2. 観測の概要

2.1 地理的關係

九州の地図を第1図に示す。桜島南岳(標高1040m)からみて阿蘇中岳(1323m)は北北東方向約150km、雲仙野岳(1142m)は北北西方向約135km離れている。雲仙野岳は阿蘇中岳の西77kmに位置している。 SO_2 測定点の阿蘇火山博物館(1150m)は、阿蘇中岳から西3kmに位置する。桜島から北北西方向と阿蘇から西方向には平野が開けており、雲仙桜島間、雲仙阿蘇間にさほど高い山はないが、桜島と阿蘇の間には標高1700m級の九州山地が横たわっている。桜島噴煙の地上観測は、桜島南岳から西南西方向に10kmの鹿児島市鴨池港近傍でおもに行った。なお、雲仙普賢岳(1359m)は野岳の北2kmにある。

2.2 SO_2 濃度測定方法

SO_2 濃度は二酸化硫黄自動計測器(京都電子工業製MODEL SX-07 467)を用いて溶液導電率法によって測定した。試料大気を吸収し、過酸化水素水を含んだ吸収液中にバブリングさせると、試料大気の中に含まれている SO_2 は、酸化反応 $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ によって硫酸となり、吸収される。この生成された硫酸は吸収液の導電率を高めるので、一定量のバブリングにより SO_2 の濃度に対応して導電率が増加する。この導電率の増加分を積算し、1時間値の SO_2 濃度として記録する。

2.3 噴煙観測、気象データと衛星画像

桜島噴煙の移流と拡散の観測には、その全景を捉える広角写真撮影と長時間にわたるインターバルビデオ記録を行った。阿蘇と桜島の火山活動については、それぞれの定期火山情報を参照した。気象データとしては、鹿児島における高層観測、阿蘇測候所の山上風観測のデータ、及びTV放映される「ひまわり」画像や天気図を参照して詳細な時間変化を検討した。

衛星データはLANDSAT-5、MOS-1 & 1b、SPOT-1 & 2、およびNOAA-11による高解像度データについて、フロッピーに収められた数値データの画像解析を行ない、一部はビデオコピー画像の形で参照した(木下他, 1991a, 1991b)。

3. データと解析

3.1 二酸化硫黄の濃度分布

(1) SO_2 濃度の1時間値

阿蘇の測定点における SO_2 高濃度の発現状況をみるために、1989年1月～1991年12月の3年間の SO_2 濃

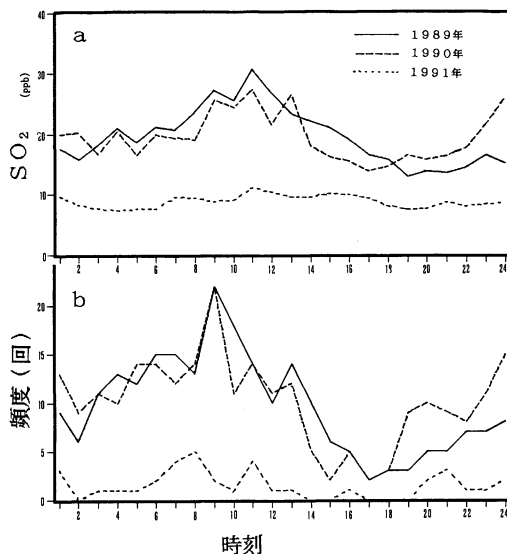
第1表 SO₂ 濃度の3年間の統計値 (濃度は ppb)

	1989	1990	1991	3年間
1時間値				
総数	8,658	8,700	8,672	26,030
最大値	1,800	2,273	560	2,273
最小値	2	1.5	1	1
平均値	19.8	19.6	8.9	16.1
標準偏差	54.3	65.0	16.6	50.1
幾何平均	10.2	9.4	6.4	8.5
SO ₂ ≤ 10	5,315	5,529	7,108	17,952
≤ 20	7,274	7,435	8,307	23,016
≤ 30	949	795	250	1,994
> 50	504	476	128	1,108
> 100	233	246	36	515
1日平均値				
> 40	32	41	3	76
> 100	8	7	0	15

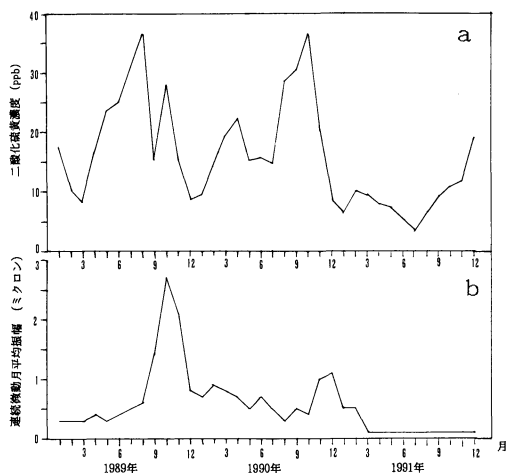
度1時間値データについて濃度ランク別の出現頻度を第1表に示す。全測定値(26030個)のうち、30 ppb以上の高濃度は1994回(7.7%)、50 ppbを越える高濃度は1108回(4.3%)観測され、最高値は2273 ppbであった。1時間値の環境基準 0.1 ppm を越えるものは515時間(2.0%)となっている。また、0.2 ppm以上の最長継続時間は14時間、0.5 ppm以上は5時間、1 ppm以上は2時間であった。この様に高濃度がしばしば見られるが、69%は10 ppb以下であり、過半は清澄な状態であった。1日平均値で見ると、40 ppbを越えた日数は76日(7.2%)で、そのうち15日間は100 ppbを越えた。日平均値の最大値は1990年10月7日の351 ppbであり、1989年7月30日の325 ppbがこれに次いたが、共に南方の台風の影響による強い東風であった。

(2) SO₂ 濃度の時刻別平均値

SO₂ 濃度測定値を時刻別に年平均した値を第2図aに示す。1989年と1990年には同程度の変化を示し、1日のうちでは午前中の9時頃から高くなり、11時が最大で、17時から21時に最低を示すパターンがみられる。1991年には、前年、前々年と比べて濃度は半分ぐらいで、最大値と最小値は11.7、7.4 ppbとその時刻別変動は小さいが、3年間とも同じような昼が高く夕方低い傾向を示した。1時間値が100 ppbを越えた高濃度について時刻別頻度分布を第2図bに示す。全濃度平均は午前中が高く夕方が低い山型をしていた。同様に、夕方は高濃度がほとんど出現せず、夜間から増え9時に最も多く発生した。これは、午後混合層内で鉛直拡散が行われやすいのに対し、夜間は放射冷却により鉛直方向への拡散が抑えられるので汚染質が蓄

第2図 SO₂ 濃度の時刻別変化。

- (a) 全 SO₂ 濃度を時刻別に1年間平均した値。
(b) SO₂ 濃度が100 ppbを越えた回数。



第3図 1989年～1991年の3年間の変化の、
(a) SO₂ 濃度月平均値、
(b) 火山性連続微動月平均振幅。

積・滞留して濃度が高められ、それが地形効果のため拡散が抑制されて午前中まで継続した結果と考えられる。

(3) SO₂ 濃度の月別平均値の変動

SO₂ 濃度の月平均値の変化を第3図aに示す。一般に、火山活動の活発な時期は噴煙中のSO₂が著しく増加するといわれている。観測点は阿蘇中岳火口から3 kmしか離れていないので、SO₂の測定値はその直

第2表 1990年高濃度事象。day., t. は高濃度事象の開始時間, h. は継続時間, av., max は高濃度が継続している間の平均値と最大値, sou. は発生源を表す。

no.	day	t.	h.	av.	max	sou.	no.	day	t.	h.	av.	max	sou.	no.	day	t.	h.	av.	max	sou.
1	01/07	24	23	56	355	A/S	51	05/26	14	7	34	65	A	101	09/11	1	7	30	41	S
2	01/17	13	7	28	36	A	52	05/27	9	4	33	42	A	102	09/15	21	4	36	56	S
3	01/18	2	3	31	37	S	53	05/28	11	8	54	76	A	103	09/18	6	9	131	270	A
4	01/28	7	11	24	37	S	54	05/29	13	7	53	117	A	104	09/21	14	1	85	85	A
5	02/03	23	3	35	48	A	55	06/03	9	18	93	610	S/A	105	09/21	21	2	223	305	A
6	02/05	12	19	34	76	A	56	06/06	21	2	57	89	A	106	09/22	19	17	336	1080	A
7	02/08	3	6	63	138	A	57	06/07	5	13	71	310	A	107	09/25	16	9	36	100	A
8	02/09	14	4	48	73	A	58	06/10	11	15	25	35	A	108	09/26	4	12	201	690	A
9	02/10	7	7	37	64	S	59	06/11	6	19	44	93	A	109	09/27	2	6	128	345	A
10	02/13	10	12	46	210	A	60	06/12	7	16	37	94	A	110	09/27	19	5	172	380	A
11	02/15	11	5	26	45	A	61	06/13	11	8	29	40	A	111	09/28	12	2	61	92	A
12	02/17	11	7	57	250	A	62	06/14	5	7	25	41	S	112	09/28	20	15	180	470	A
13	02/21	11	9	28	51	A/S	63	06/17	12	2	27	32	A	113	10/02	20	4	139	360	A
14	02/22	4	4	27	36	S	64	06/17	21	4	44	82	A	114	10/03	12	1	52	52	A
15	02/25	2	6	68	216	A	65	06/19	2	5	29	46	S	115	10/05	18	15	68	325	A
16	02/27	6	4	30	43	A	66	06/23	7	15	30	44	S	116	10/07	2	16	524	2273	A
17	02/27	19	1	65	65	A	67	06/24	3	14	27	72	S	117	10/09	7	6	95	114	A
18	02/28	2	8	196	760	A	68	06/30	6	4	56	150	A	118	10/10	19	7	226	500	A
19	03/01	4	12	209	520	A	69	06/30	18	3	64	124	S	119	10/12	9	5	102	355	A
20	03/01	21	2	65	100	A	70	07/09	10	3	27	31	S	120	10/14	21	10	66	125	A
21	03/03	1	7	98	230	A	71	07/10	9	27	38	92	S	121	10/19	14	4	93	150	A
22	03/10	10	15	82	575	A	72	07/20	15	9	29	80	S	122	10/19	23	2	905	1000	A
23	03/11	4	5	84	173	S	73	07/21	22	5	37	68	A	123	10/20	10	12	50	255	A
24	03/13	16	7	22	34	A	74	07/22	7	2	61	74	A	124	10/21	11	9	60	156	A
25	03/14	7	13	28	47	S	75	07/22	19	4	126	305	A	125	10/22	1	3	90	128	A
26	03/17	11	8	35	61	A	76	07/27	4	2	32	34	A	126	10/24	11	5	101	352	A
27	03/23	23	4	28	39	S	77	07/27	11	14	63	275	A	127	10/24	21	2	256	415	A
28	03/26	20	24	109	610	A/S	78	07/28	7	18	54	128	A	128	10/25	6	9	29	55	S
29	03/31	16	1	75	75	A	79	07/29	6	16	52	175	A	129	10/28	5	30	69	700	A
30	04/01	8	7	122	210	A	80	07/30	22	18	43	215	A	130	10/30	22	3	181	285	A/S
31	04/02	10	11	199	690	A	81	08/01	15	6	36	53	A	131	10/31	11	6	92	194	A
32	04/03	3	9	64	168	S	82	08/02	8	17	35	96	A	132	10/31	21	3	46	69	A
33	04/10	6	16	136	510	A	83	08/03	4	17	53	240	A	133	11/01	4	8	29	37	S
34	04/19	10	11	73	325	A	84	08/04	5	14	25	31	A	134	11/02	10	14	58	105	S
35	04/25	9	3	29	38	S	85	08/05	5	42	63	645	S/A	135	11/03	18	9	253	870	A
36	04/26	23	46	100	1300	A/S	86	08/07	8	22	44	94	A	136	11/05	24	2	136	180	A
37	04/29	21	1	38	38	A	87	08/08	12	12	43	166	A	137	11/08	1	17	74	305	A
38	04/30	4	1	46	46	A	88	08/09	14	4	65	100	A	138	11/13	12	16	32	55	S
39	04/30	11	9	48	136	A	89	08/12	19	1	71	71	A	139	11/15	23	21	59	193	?
40	05/01	6	19	50	225	A/S	90	08/13	4	17	53	205	A	140	11/18	10	6	82	192	A
41	05/05	23	3	84	114	A	91	08/14	10	6	39	79	S	141	11/18	21	2	60	80	A
42	05/07	18	4	84	144	A	92	08/15	5	15	111	770	S/A	142	11/19	5	10	103	305	A
43	05/10	8	10	39	76	S	93	08/16	8	2	88	124	A	143	11/23	23	2	53	59	A
44	05/11	4	14	36	140	S	94	08/21	13	16	235	600	A	144	11/26	1	2	30	38	S
45	05/12	15	5	31	51	A	95	08/26	7	38	66	350	A	145	11/29	14	1	41	41	A
46	05/13	3	10	40	93	A	96	08/28	3	19	72	480	A	146	12/05	11	3	51	78	S
47	05/17	5	6	130	520	A	97	09/04	24	2	41	57	A	147	12/13	10	1	72	72	A/S
48	05/23	11	4	47	71	A	98	09/05	10	8	59	118	S/A	148	12/17	6	7	71	124	S
49	05/23	22	1	57	57	A	99	09/07	15	25	76	640	A	149	12/19	23	11	72	130	S
50	05/24	7	1	40	40	A	100	09/10	9	8	82	325	A	150	12/30	11	4	29	51	A/S

接的影響を受けており、山上の風向風速と火山活動に対応した濃度変化がみられる。東よりの風が吹く時は風速が弱く高濃度がしばしば出現し、北西風の強い冬

季は低濃度であった。

第1表に示したように、SO₂濃度年平均値は1989年、1990年はほぼ等しく、1991年には半減し、火山活

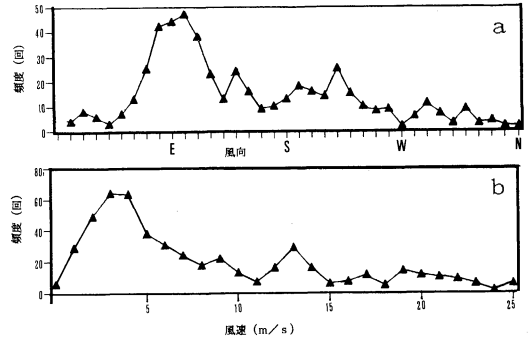
第3表 桜島が原因と考えられるときの気圧配置.

日本上空をおおう高気圧がその後東に移動	14
九州が移動性高気圧の後面で低気圧が接近	4
日本南岸に前線または低気圧接近	6
西高東低の気圧配置がゆるむ	2
日本南方の高気圧	5
南東海上の高気圧後面で日本海に気圧の谷	7
日本列島に前線や低気圧があり全国的に雨	2
黄海・東シナ海に雨	2

動の消長とほぼ対応している。測定点の近くの阿蘇火山の活動は1989年の6月ごろから活発になり、この年の8月が極大値 36.8 ppb を示した。火山活動は10月下旬がもっとも激しく、中岳火口の西 1.2 km に位置する阿蘇山上測候所で降灰量が11日間で 25494 g/m² に達した(池辺・渡辺, 1990)。10月下旬平均 SO₂ 濃度は 46. ppb で、阿蘇火山の強い影響がみられ、雲仙野岳にも阿蘇火山ガスが到達していることが検出されている(森他, 1990)。1989年11月から1990年7月までは 15 ppb 前後でピーク時の半分以下に低下したが、1990年8~10月は再び 30 ppb 前後とかなりの高濃度になった。火山活動の目安として阿蘇山測候所発表の火山性連続微動の月平均振幅(第3図b)をみると、全体では 0.1~2.7 μm の範囲で、1989年秋が 1.5~2.7 μm と最も大きく、その3か月以外は 1 μm を越える月はなかった。1989年の高濃度 SO₂ の原因は、阿蘇山の火山活動に対応して大量の SO₂ ガスが放出されたものとみられる。しかし1990年の8~10月は、火山性連続微動の月平均値が前年の秋と比べて1/5以下にも関わらず、同じくらいの高濃度 SO₂ が測定された。火山性微動と SO₂ 放出量の相関については、今後さらに検討を要する。

(4) 高濃度出現時の上層風

1時間値が 100 ppb を越えた時について、鹿児島における指定気圧面 850 hPa (海拔約1500m) の風向・風速別頻度分布を第4図a, bに示す。但し、1日4回の高層観測のデータを1時間値に内挿した。阿蘇桜島間 150 km の距離による上層風の違いや桜島火山ガスの到達に要する時間差も無視できないが、統計的傾向をつかむことは出来る。風向別の頻度分布をみると、東寄りの風が最も多く全体の48%で、次いで南西風が多かった。風速別の頻度分布をみると、弱風時(5 m/s 以下)が全体の48%をしめていた。同様の解析を 500 ppb を越えたものについておこなった結果、より濃度が高くなると風速にはあまり依存せず、むしろ風速の



第4図 SO₂ 濃度が 100 ppb を越えた時刻の鹿児島島における 850 hpa 面の高層風内挿値について、
(a) 風向別、
(b) 風速別頻度。

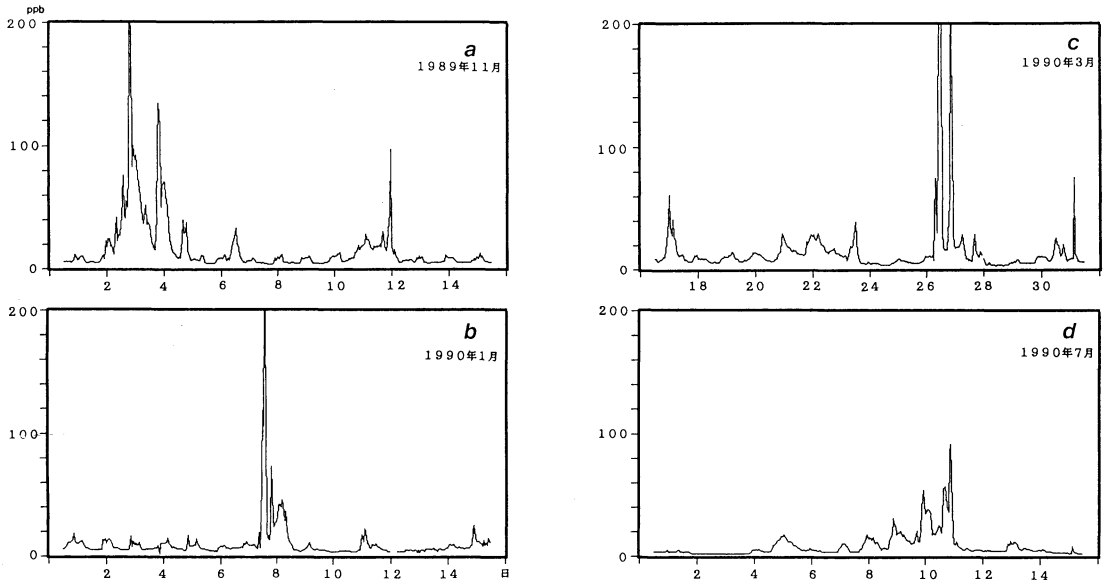
強い方に最大値がみられた。

3年間での最大値は、1990年10月7日13時の 2273 ppb である。このとき、九州に台風9021号が接近し、阿蘇で 26.5 mm の日降水量があった。阿蘇では、風が一日中 10 m/s 前後の強風で、午前中東風のため阿蘇火山ガスが直接影響を及ぼしたためである。午後になると北風に変わり、それに対応して濃度も低くなった。

3.2 1990年の高濃度事象

1990年1年間の高濃度事象を以下のようにして抜き出し、発生源を推定した結果を第2表に示す。まず1時間値が 30 ppb 以上のものをすべてピックアップし、その前後で連続して 20 ppb 以上のものをひとつの事象と定義する。但し、20 ppb 以上が継続していなくても、濃度変化や気象条件から連続的な事象と判断できるものは一つの高濃度事象と見なした。表には事象の開始日時と継続時間、その間の平均値と最大値を示している。高濃度 SO₂ の発生源については阿蘇起源は A、桜島起源は S と記し、連続して変移した場合は A/S、あるいは S/A と記した。鹿児島の高層風、阿蘇山上測候所の3時間毎の風のデータ、地上天気図や高層天気図、テレビによる気象情報や鹿児島市鴨池港近傍からの桜島噴煙の観測などを用いて判断した。31の事例については衛星画像も参照した。

1990年1月から12月までの1年間で150例みられた。これら的高濃度事象のうち107例が阿蘇、30例が桜島、12例が阿蘇と桜島によるものと推定された。北西風の卓越する1月と12月は4, 5例と少ないが、それ以外の月は10~20事例あった。なお、1例(11月15日)は起源不明である。



第5図 高濃度事例群を含む15日間の SO_2 濃度の時間変化. 縦軸は 200 ppb まで示す.

(a) 1989年11月1～15日, (b) 1990年1月1～15日, (c) 1990年3月17～31日, (d) 1990年7月1～15日.

連続して変移する場合も含めて、桜島起源と推定されたもの42の事例の日について、地上天気図の気圧配置を調べた結果を第3表に示す.

このように、九州の上層風で南風が卓越する気圧配置のとき桜島起源の火山ガスが阿蘇に移流し、特に高気圧におおわれて大気が安定しているような状態では高い SO_2 濃度が見られる.

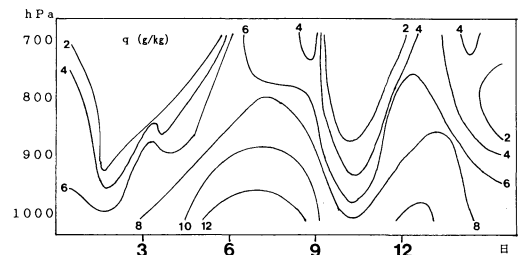
九州衛生公害技術協議会の調査(1991)では、1989年度1年間の熊本・大分・福岡・佐賀・長崎の平野部を主とする32の測定局のうち2ヶ所以上で1時間値が50 ppb以上の事例が22あることが報告されている. 時期はずれるが、第2表のデータでは桜島だけによる30例のうち50 ppb以上が17事例あり、測定点が高地であるために高濃度が検出されやすいと考えられる.

3.3 事例解析

桜島火山ガスの影響の見られる特徴的な高濃度事例群について、それを含む15日間の SO_2 濃度の変化を第5図に示し、そのときの気象条件を以下で検討する.

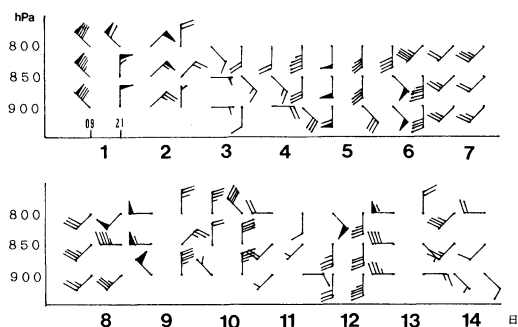
(1) 1989年11月2～6, 11～12日

この期間の気象概況は、2～4日、10～11日には移動性高気圧におおわれ全国的に晴れ、1日、6～9日、12～13日は前線を伴った低気圧が通過し雨をもたらした. 空気の沈降で大気の成層が安定と考えられる3日と11日の850～800 hPa では気温の逆転が起きている. 上空の空気の下降による地上付近への影響をみる

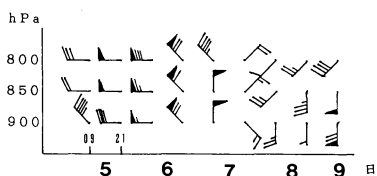


第6図 1989年11月1～14日にかけての鹿児島における比湿(単位乾燥空气中に占める水分量, q ; g/kg)の時間高度断面図.

ために比湿の値を使い、鹿児島におけるこの期間の比湿の時間高度変化を第6図に、高層風の変化を第7図に示す. 2日と10日は大気が強安定で沈降しているのがみられる. 1日は北風が強く低濃度で、3日は高気圧に覆われ風が弱いため阿蘇火山ガスによる高濃度がみられた. 4日は高気圧が東に抜け九州地方では等圧面に沿った南風が卓越し、桜島火山ガスが北へ流れ、阿蘇に高濃度 SO_2 をもたらしている. 5～7日は強い南風により桜島火山ガスがもたらされているが、朝鮮半島から低気圧が接近しそれに向かって吹き込んでいたため、大気が安定でなく40 ppb以下にとどまった. 10日は大陸に高気圧と千島付近に低気圧があるため、偏西風が強まり、鹿児島では比較的強い北風が吹いている. 12日は高気圧が東に抜けて南風が吹きこむと、



第7図 1989年11月1日～14日にかけての 800～900 hPa の鹿児島における上層風の時間高度断面図。

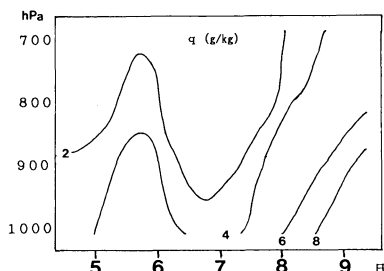


第9図 第7図と同じ。ただし、1990年1月5～9日。

桜島火山ガスが北方に移流し、高濃度 SO_2 が阿蘇で検出された。なお、この期間には雲仙野岳での SO_2 濃度測定があり(森他, 1990), そこでの 30 ppb を越える高濃度事象は桜島火山ガスの影響と推定される(直江他, 1992)。

(2) 1990年1月8日

1月6～9日の期間の気象概況は、6日は冬型で7日にかけ北風で低温。7日から8日にかけては移動性高気圧に覆われてよく晴れている。9日は前線を伴った低気圧が接近し、西日本で雨であった。1990年1月5～9日の期間の比湿の時間高度変化を第8図に、高層風の変化を第9図に示す。7日は急激な比湿の減少があり、8日9時の 850～800 hPa の気温減率は $1.7^\circ\text{C}/1000\text{m}$ と小さな値で、鉛直拡散が抑えられている。 SO_2 濃度は7日は低濃度で、8日の未明に 355 ppb に達する高濃度になった。大気が安定し高度100mぐらいの接地逆転層が形成されていると考えられ、局所的な汚染が強められた結果といえる。8日の昼間に接地層の逆転は解消されたが、九州は高気圧の後面に位置しているので、安定した成層大気中を桜島火山ガスが長距離輸送され、汚染質が阿蘇にもたらされたため日中に再び 40 ppb 程度の濃度が続いた。この間、桜島では多量の噴煙が放出され、北流していた。8日夜から



第8図 第6図と同じ。ただし、1990年1月5日～9日。

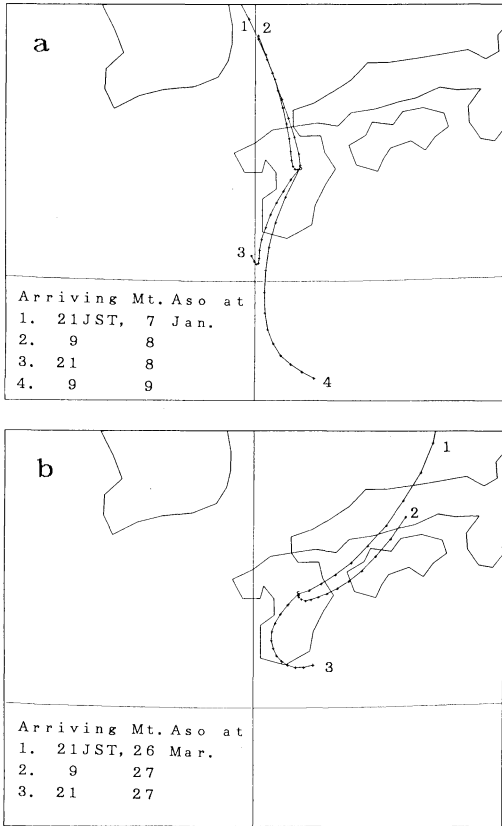
は低気圧の接近に伴う暖かく湿った空気が流れてきて、大気の状態が不安定になった。9日も南風が卓越しているにもかかわらず、低気圧の接近と雨のため、濃度が低い。

流跡線解析の結果を第10図に示す。850 hPa の等圧面上で、阿蘇に到達する時間を遡った24時間の後退流跡線を求めた(タイムステップは2時間)。流跡線解析は林田・笹野(1988)の開発したプログラムにより、気象庁数値予報課作成の12時間毎の全球客観解析データを2時間毎に内挿して行った。桜島噴煙は 850 hPa の上下にわたる事が多く、火山ガスについても実際にはここで求めた一本の流跡線を含む水平拡散があると考えられるが、概略の移流経路を推定するには十分であると判断した。

第10図 a をみると、7～8日は九州の北から空気塊が移流し、8～9日は南方から阿蘇に到達しているのがみられ、この時間帯の高濃度事象は桜島火山ガスからの移流であることを支持している。また、1月8日10時の LANDSAT 画像では、阿蘇の噴煙は ENE へ、桜島の噴煙は NNE へ向かっており、上記の推測を支持している。

(3) 1990年3月26, 27日

第5図 c で 30 ppb を越える事象は第2表の no. 26～29があるが、ここでは最も顕著な事象である no. 28について述べる。3月25日は冬型で季節風が強く気温が下がっている。26日の午後は移動性高気圧が日本海に入り、冬型が弱まった。13時の NOAA のデータでは桜島噴煙は WSW へ流れている。九州地方は移動性高気圧の前面に位置しているため天気はよく、また、比湿をみて空気が沈降しているのが判った。この日の SO_2 は低濃度であったが、27日になり高気圧が緩やかにおおると、800～850 hPa で逆転層ができ大気は安定で、夜間に接地逆転層が形成されたため、610 ppb にも

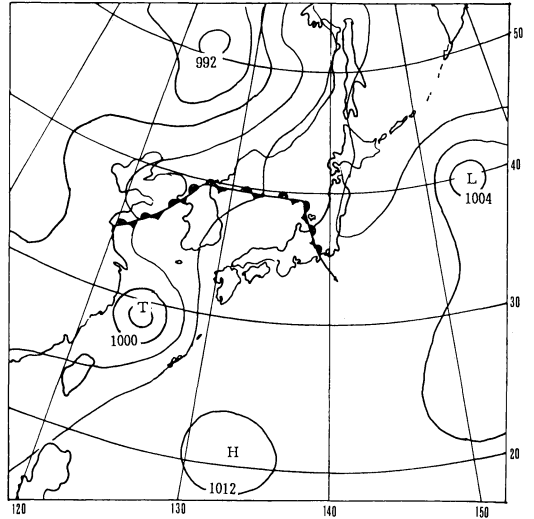


第10図 到達地点を阿蘇とする 850 hpa の等圧面に沿った後退流跡線。
(a) 1990年1月7日～9日。
(b) 1990年3月26日～27日。

達する高濃度 SO₂ が検出された。27日未明は急減し、日中になってまた高濃度が測定され、二つのピークがみられた。第10図bの後退流跡線をみると、26日21時、27日09時は東から流れてきているので、26日夜から27日の朝にかけての 100 ppb を越える高濃度は阿蘇火山ガスによるものである。

27日の日中の上空は南風系で、安定した大気中を桜島火山ガスが北に向かって移流し、20～30 ppb 程度の高濃度になったと考えられる。第10図bの後退流跡線では、27日21時は南から流れてきたもので、その前後の時間は桜島の可能性が高いことを示している。27日午後上海付近に前線を伴う低気圧が発生し、28日の夜低気圧が東シナ海から四国へ接近した。28日九州各地は豪雨となり阿蘇で 105.5 mm の降水があった。28日から比湿が急激に上昇し、大気が不安定になったため低濃度になった。

(4) 1990年7月9～11日



第11図 1990年7月10日21時の地上天気図。

第11図に1990年7月10日21時地上天気図を示す。7日は九州南部で梅雨明け。台風9007号が9日から11日にかけて東シナ海から黄海朝鮮半島へと北上する。比湿の日変化はなく、気温減率は 3～5°C/1000mであった。九州は台風の北東～東に位置しているため、南よりの風が吹き込む。9日は快晴で、桜島火山ガスが北方へ移流しているのが、11時の MOS-1b および14時の NOAA-11 の衛星画像にみられる。途中積乱雲に取り込まれたりする可能性もある。10日から11日にかけて高濃度事象がみられ、上空の風は南成分が卓越しており、桜島の影響と推定される。

4. まとめ

阿蘇火山博物館における環境大気中の SO₂ 濃度は、3 km 東の阿蘇中岳火口からの火山ガスの影響を強く受けている。火山活動の活発な時期に、東よりの風あるいは弱風の夜間から午前中にかけて高濃度事象がしばしば観測される。他方、強い北西風のときなど火山活動の状況によらず低濃度で、過半は 10 ppb 以下の清澄な状態である。火山活動と SO₂ 放出量の相関の解明には、気象条件の測定値に与える影響を評価する必要がある。さらに検討を進めている。

150 km 南南西の桜島火山ガスの影響と推定される高濃度事象は、南よりの上層風のしばしば観測され、1990年には42事例見られた。特に、移動性高気圧の後面で沈降し安定した大気中では比較的強い高濃度となること事例解析から確かめられた。桜島からの火山

ガス長距離移流の検出には、1000m以上の高地での観測が効果的であり、火山博物館における経常的観測は貴重な手がかりとなると考えられる。濃度の絶対値の評価には、上層の風系による水平拡散や九州山地の地形効果など更に検討すべき点が多い。

なお、測定点から 77 km 西の雲仙普賢岳の噴火は 1990年11月17日に始まり、溶岩ドームの形成と火砕流の発生は1991年5月下旬以降である。第2表に挙げた1990年にはその影響はみられず、1991年についても顕著な事例は見られなかったが、なお精査中である。

謝 辞

国立環境研究所の向井人史氏には流跡線解析の計算に御協力頂き、阿蘇山測候所には風のデータを使用させて頂いた。また、鹿児島県環境センターの宝来俊一氏には環境調査研究の論文・資料について御教示頂いた。ここに深く感謝します。

参 考 文 献

- 林田佐智子・笹野泰弘, 1988: 大規模な物質輸送現象解明のための流跡線解析とその問題点, 日本気象学会春季大会講演予稿集, p. 244.
- 池辺伸一郎・渡辺一徳, 1990: 阿蘇火山中岳の最近の活動—1988年3月~1989年11月—, 地質ニュース, 426, 6-14.
- 池辺伸一郎・木下紀正・直江寛明・渡辺一徳, 1993: 阿蘇草千里における SO₂ ガス高濃度事象と中岳火山活動との関連性, 地球惑星科学関連学会1993年合同大会講演予稿集, p. 319.
- 鎌田政明他編, 1985: 地熱流体の化学—環境科学の視点から—, 東京大学出版会.
- 木下紀正・細山田三郎・斉藤誠一・白沢あずみ, 1991a: NOAA-AVHRR 画像にみる桜島噴煙拡散の地上観測との対比, 第11回学術講演会論文集, 日本リモートセンシング学会, p. 149-152.
- 木下紀正・細山田三郎, 1991b: 桜島噴煙拡散の衛星画像と地上観測, 鹿児島大学教育学部研究紀要自然科学編, 43, 1-22.
- Kinoshita, K., N. Masumizu and K. Tsutsumi, 1992: Analysis of Satellite Images on the Dispersion of Volcanic Ash Clouds from Mt. Sakurajima, Proc. 18th International Symposium on Space Technology and Science, p. 2003-2008.
- 九州衛生公害技術協議会大気分科会, 1990: 九州・沖縄地方酸性雨共同調査報告書 (平成元年度).
- 九州衛生公害技術協議会大気分科会, 1991: 九州・沖縄地方酸性雨共同調査報告書 (平成2年度).
- 水野建樹, 1980: 桜島から放出された二酸化硫黄が環境濃度へ及ぼす影響について (事例研究), 天気, 27, 479-488.
- 森淳子他, 1990: 雲仙野岳における大気観測—SO₂ およびエアロゾルの挙動—, 第31回大気汚染学会講演要旨集, p. 246.
- 直江寛明・木下紀正・池辺伸一郎, 1992: 火山ガス長距離移流と阿蘇における高濃度 SO₂, 日本気象学会春季大会講演予稿集, p. 157.
- 太田一也他, 1990: 日本における火山起源の SO₂ 放出量の検討, 第31回大気汚染学会講演要旨集, p. 442.
- 竹山栄作他, 1989: 桜島火山噴出物の動態に関する研究 I—大隅地域における SO₂ の挙動—, 鹿児島県環境センター所報, 5, 61-67.
- 山下敬則 他, 1991: 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.
- 柳川民夫他, 1987: 桜島火山周辺地域における高濃度 SO₂ 出現状況とその特徴, 鹿児島県環境センター所報, 3, 27-39.