

箱根火山における大気中硫化水素の分布状態

栗屋 徹, 平野富雄, 鈴木孝雄, 大木靖衛

神奈川県温泉研究所*

Distribution of Hydrogen Sulfide in the Air, Hakone Volcano

by

Tōru AWAYA, Tomio HIRANO, Takao SUZUKI and Yasue ŌKI

Hot Spring Research Institute of Kanagawa Prefecture

Hakone, Kanagawa

(Abstract)

H₂S content in the air at some solfataric areas in Hakone volcano was analyzed to obtain the distribution of H₂S for a prevention of H₂S toxic accident. H₂S contents in the air at Ōwakudani solfataric area ranged from 0 to 30 cm³/m³, may not be so dangerous for a short time geological inspection of visitors. A record of continuous observation at Tamagochaya, Ōwakudani, H₂S concentration was small with high wind velocity and large with low wind velocity, respectively. H₂S contents in the air around sulfide springs and steam wells at Yunohanazawa area were ranged from 0 to 5×10⁴ cm³/m³. The vegetation of the shrub of the Ubako area was seriously harmed by steaming of a well collapsed. The scattered materials from the well, mostly acid thermal water, had thinly screened trees and had also acidified the soil. Diffusion of H₂S in the air is estimated using Sutton's equation and the calculated model fits well with actual example.

*神奈川県箱根町湯本997 〒250-03

神奈川県温泉研究所報告 第7巻, 第1号, 27—42, 1976

はじめに

箱根には大涌谷、早雲山、湯ノ花沢等の硫黄地帯がある。箱根では昭和47年大涌谷で建築工事中に硫化水素中毒死亡事故が発生したが、この他にも昭和26、27年に入浴客の硫化水素中毒事故があり、事故防止のために注意する必要がある。箱根以外でも草津、鳴子などで硫化水素による中毒事故がしばしば発生している。この調査は中毒事故を未然に防止するための基礎資料を得るために実施し、箱根の硫黄地帯の大気中硫化水素濃度を測定し、その拡散分布について考察した。

大涌谷遊歩道周辺の大気中硫化水素の分布

大涌谷硫黄地帯をめぐる遊歩道は一周700m、約30分間のコースであり箱根の代表的な観光ルートの一つである。調査地域を図1に示す。さらに、大涌谷―神山登山道、大涌谷―姥子登山道でも H_2S 臭があり測定した。

測定方法 可搬型の H_2S 捕集装置(図2)に一定量の試料ガスを導入し、 H_2S をアルカリに吸収させる。そのアルカリ吸収液をメチレンブルー比色法あるいはヨウ素酸カリウム―チオ硫酸ナトリウム 滴定法で H_2S 濃度を求めた。北川式検知管による測定もあわせて行なった。

遊歩道における分布 測定結果は表1に示す。大気中 H_2S の多い地点は玉子茶屋付近であり、最高 $20\sim 30\text{cm}^3/\text{m}^3$ であった。このあたりは瞬間的に高い濃度を示すこともある。労働衛生上の許容濃度 $10\text{cm}^3/\text{m}^3$ よりやや高いが、短時間の見学なら特に問題はないであろう。 H_2S 濃度は風向、風速によって影響されるので気象状態に注意する必要がある。今回の調査では玉子茶屋付近では気流が渦を巻いて動いており、噴煙は15～30秒毎に一周している。付近の噴気孔を点源とするとそれから約20m離れると H_2S 濃度は $1\text{cm}^3/\text{m}^3$ 以下に低下している。同様に、 H_2S 濃度が $1\text{cm}^3/\text{m}^3$ 以下になる範囲を推定したのが図1の曲線である。

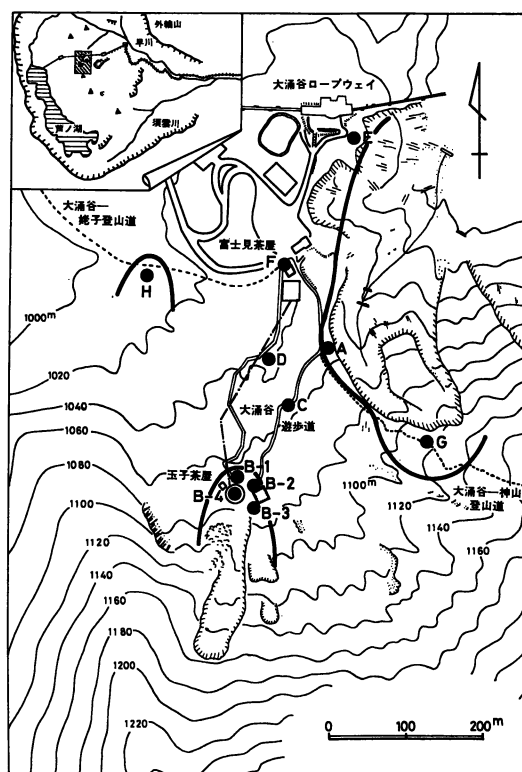


図1 大涌谷遊歩道周辺の硫化水素測定地点
記号は表1に該当する。曲線は H_2S $1\text{cm}^3/\text{m}^3$ 以下になる推定範囲。鎖線は連続測定装置の配管図を示す。

登山道における分布 大涌谷―神山登山道において、昭和48年秋頃より本登山道に噴気活動が移動して来て道路上での H_2S 臭が強くなったとの情報があった。昭和49年1月24日の調査では地表から蒸気が発散し、大気中 H_2S は $30\text{cm}^3/\text{m}^3$ であった（図1のG点）。その後、硫気活動は活発化して昭和50年4月7～8日の強風雨の際に、立ち枯れていた樹木が倒れ小規模な地じりも起こった。昭和50年4月19日には H_2S は $200\text{cm}^3/\text{m}^3$ に達した。地熱分布は測定中である。また、大涌谷―姥子登山道でも1箇所（H点） H_2S 臭が強かった。

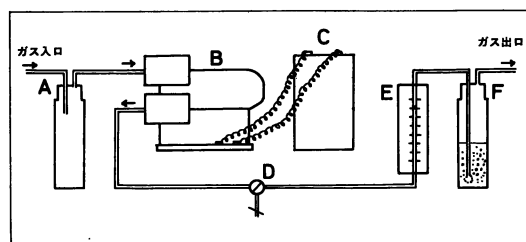


図2 可搬型硫化水素測定装置

A 気液分離びん, B エアポンプ（イワキAP115）, C 12V蓄電池, D 三方コック, E 流量計, F アルカリ吸収液

表1 大涌谷遊歩道周辺の硫化水素の測定結果

測定日	気温 ($^{\circ}\text{C}$)	気圧 (mmHg)	風速 (m/sec)	測定地	H_2S (cm^3/m^3)	測定日	気温 ($^{\circ}\text{C}$)	気圧 (mmHg)	風速 (m/sec)	測定地	H_2S (cm^3/m^3)
48. 8.16	20.8	673	12	A	1.5					B-4	5.0～6.2
48. 8.21	25.8	675	4	B-1	2.0～4.7					C	<0.1
				B-2	1.9～3.1	49. 4.26	13.7	664	22	B-2	1.4
				B-3	3.7～4.6					B-4	2.8
48. 9.11	19.8	669	15	B-1	0.6	49. 5.23	15.1	664	3	A	<0.1
				B-2	0.4					B-2	1.1
				B-3	2.9～11.0					B-4	1.8
				D	<0.1					C	0.1
48. 9.12	21.5	670	11	E	<0.1	49. 6. 4				B-4	9.3
				F	<0.1	49. 6.12				//	12.4
48.10.24	11.5	672	4	A	1.1	49. 7. 1				//	7.～15.*
48.11.15	18.0	674	6	B-1	16.7	49. 8.30				//	2.9～3.1
48.11.16	11.0	669	11	D	<0.1	49. 9.28	20.2			H	10.～50.*
48.11.20	0.9	667	4	A	0.1	49.10.14	15.3			B-4	7.～15.*
				B-2	3.6	50. 4.19			1	G	5.～200.*
				F	<0.1	50. 4.22				A	1.～5.*
48.12. 5				A	2.～10.*					B-1	10.*
49. 1.23		662	10	B-2	3.2					B-3	10.*
49. 1.24	-0.7	663	1	A	1.2					B-4	20.～30.*
				B-4	21.3					C	<1.*
				D	0.3					D	<1.*
49. 1.24	-0.7	663	1	G	30.*					F	<1.*
49. 2.18	5.3	670	1	A	2.～3.*	50. 6.26				B-3	2.～20.*
				B-4	12.～13.*					B-4	20.*
49. 2.22	4.0	667	17	B-2	0.2～0.9					E	<1.

測定地は図1の記号に該当する。 H_2S 濃度は可搬型捕集装置を用いた平均10分間の測定値だが、*印は検知管法による3分間測定値を示す。気圧、風速は大涌谷自然科学館にて測定。

大涌谷玉子茶屋付近の硫化水素の連続測定

大気中 H_2S 濃度の経時変化および気象条件による H_2S の拡散を調査するために連続測定を行なった。試料ガス吸いこみ口は玉子茶屋付近の1箇所に、高さ1.5m(人間の鼻の位置)に固定し雨よけをつけた。途中にドレインポットを数箇所設けた。試料ガスはナイロン管で連続的に硫黄地帯から300mはなれて駐車場近くの富士見茶屋裏にある据置型の自動分析装置にポンプで吸引される(図1)。硫化水素の連続測定装置は銀—硫化銀電極を作用電極とする定電位電解法による湿式自動記録装置である(図3)。これは東京大学物性研究所の田村正平先生の指導により柳本製作所で今回新たに開発、製作されたもので、作用電極の電位が安定で長時間の使用に耐えるように設計されている。

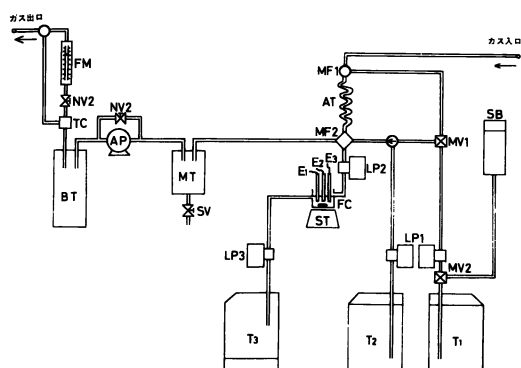


図3 硫化水素連続測定装置の流路図

A T 吸収管, MF 1 気液接触マニホールド, MF 2 気液分離マニホールド, E 1 銀—硫化銀電極, E 2 参照電極, E 3 白金電極, FC フローセル, ST 攪拌器, LP 1 吸収液・緩衝液用定量ポンプ, LP 2 被検液用定量ポンプ, LP 3 排液用定量ポンプ, SB スパン校正液びん, MV 1 切換弁, MV 2 切換弁, T 1 吸収液貯槽, T 2 緩衝液貯槽, T 3 排液貯槽, MT ミストトラップ, AP 試料ガス吸引ポンプ, NV 1 流量調整器, NV 2 流量調整器, BT バッファータンク, TC 切換コック, FM 流量計

測定結果を表2, 図4に示す。大気中 H_2S 濃度は1時間内の最高値を読み取った。平均風速は箱根町立大涌谷自然科学館, 降水量は箱根ロープウェイ株式会社の資料による。図から大気中 H_2S は風速によって変化し, 風速が強くなると拡散されやすくなり H_2S は減少し(最低 $5\text{cm}^3/\text{m}^3$), 風速が弱くなるとよどみやすくなり H_2S は増加する(最高 $28\text{cm}^3/\text{m}^3$)。また, 降水量によっても変化すると思われるが, その関係はつかめなかった。降雨のある日には H_2S 濃度が約 $5\text{cm}^3/\text{m}^3$ と一定値に近づき, 降雨のない日には H_2S 濃度は $28\sim 5\text{cm}^3/\text{m}^3$ と変動が激しいようである。

H_2S ガスの拡散は風向, 風速, 日射量, 降水量などの気象条件によって変化する。特に玉子茶屋付近は渦を巻くように火山ガスが動いている。今回の測定ではある時間の平均値をはかっているので瞬間的にはより高濃度になっている可能性もある。気流条件が安定な場合にはガスは拡散されにくく谷間によどみやすくなると考えられる。

表 2 大涌谷玉子茶屋付近の硫化水素の連続測定結果

測定日 (昭和)	時刻 (hr)	H ₂ S (cm ³ /m ³)	平均風速 (m/sec)	測定日 (昭和)	時刻 (hr)	H ₂ S (cm ³ /m ³)	平均風速 (m/sec)	測定日 (昭和)	時刻 (hr)	H ₂ S (cm ³ /m ³)	平均風速 (m/sec)	測定日 (昭和)	時刻 (hr)	H ₂ S (cm ³ /m ³)	平均風速 (m/sec)			
49. 6. 3	15	18.9	3	49. 6. 5	21	19.4	9	49. 6. 16	19	7.7	7	49. 6. 22	18	8.1	2			
	16	18.0	4		22	19.4	9		20	5.7	6		19	3.2	2			
	17	28.3	4		23	16.6	10		21	7.2	6		20	5.1	2			
	18	20.5	2		24	19.0	10		22	6.5	5		21	5.3	2			
	19	12.3	2	49. 6. 6	1	17.8	6	49. 6. 17	24	5.9	4	49. 6. 23	24	5.1	3			
	20	20.5	1			2	18.6			8	2			3.4	4	1	3.4	2
	21	23.8	2			3	18.6			8	3			3.6	4	2	3.8	0
	22	13.9	3			4	16.6			9	4			3.9	4	3	3.4	0
	23	22.5	2			5	16.2			10	5			4.7	5	4	4.9	0
	24	17.6	3			6	16.2			8	6			7.3	6	5	6.2	0
49. 6. 4	14	23.5	2			7	16.2			9	7			5.4	6	6	4.3	0
		22.7	2			8	17.0			9	8			7.7	1	7	6.0	1
		23.5	2			9	18.2			10	9			8.8	1	8	5.5	0
		21.9	2			10	19.0			9	10			7.7	1	9	4.7	0
		24.7	1	11	21.1	10	8	7.7	1	10	6.4	1						
		24.7	3	12	22.7	9	17	18.3	1	11	6.0	1						
		21.5	3	49. 6. 15	18	13.6	8	49. 6. 21	18	15.5	0	12	5.7	1				
		21	21.5			3	19			5.4	11	19	12.8	0	13	6.2	0	
		22	19.0			3	20			7.0	11	20	13.2	1	14	6.0	0	
		23	20.2			2	21			7.2	11	21	11.5	2	15	6.0	1	
24	19.4	3	22			5.0	10			22	10.2	2	16	5.1	0			
49. 6. 5	1	18.6	5			23	5.9			9	23	12.8	3	17	7.2	2		
		2	19.0			5	24			7.7	8	24	13.2	2	18	3.2	2	
		3	17.4			6	49. 6. 16			1	5.6	9	49. 6. 22	1	12.3	2	19	3.2
		4	17.8	8	2	6.8		9	2		13.2	9			20	4.7	2	
		5	17.0	7	3	6.5		6	3		8.3	6			21	4.7	2	
		6	16.6	9	4	6.5		4	4		7.4	10			22	3.8	3	
		7	16.6	8	5	9.7		2	5		6.4	9			23	4.0	5	
		8	16.2	8	6	20.0		3	6		7.9	8			24	4.0	5	
		9	16.6	8	7	11.1		2	7		7.0	8			49. 6. 24	1	3.8	3
		10	14.6	9	8	11.8		1	8		5.7	7					2	3.2
11	15.4	11	9	12.9	1	9		7.0	8		3	3.2					5	
12	14.6	8	10	14.0	1	10		—	7		4	5.1					4	
13	14.6	8	11	16.5	2	11	—	7	5	3.4	2							
14	16.6	8	12	16.1	2	12	11.7	4	6	3.4	3							
15	17.4	7	13	10.4	3	13	8.1	4	7	4.3	2							
16	19.8	6	14	10.8	3	14	7.9	2	8	4.3	2							
17	20.6	6	15	11.8	6	15	11.1	2	9	3.0	3							
18	19.8	2	16	9.1	7	16	11.7	0	10	6.4	2							
19	22.3	3	17	9.1	8	17	8.7	0										
20	18.2	9	18	7.5	8	18												

表2 つづき

測定日 (昭和)	時刻 (hr)	H ₂ S (cm ³ /m ³)	平均風速 (m/sec)	測定日 (昭和)	時刻 (hr)	H ₂ S (cm ³ /m ³)	平均風速 (m/sec)	測定日 (昭和)	時刻 (hr)	H ₂ S (cm ³ /m ³)	平均風速 (m/sec)	降水量 (mm)			
49. 7. 3	14	4.6	12	49. 7. 5	7	5.2	4	49. 7. 10	20	5.2	12	昭和49年 6 月		昭和49年 7 月	
	15	5.2	12		8	4.8	1		21	4.9	12	1日	—	1日	21
	16	4.2	12		9	3.7	1		22	6.6	14		—	2	54
	17	4.6	13		10	4.2	2		23	6.3	13		—	3	9
	18	4.8	12		11	3.1	2	49. 7. 11	24	6.6	13	4	10	4	42
	19	5.0	13		12	4.2	2		1	4.8	14	5	44	5	60
	20	5.0	14		13	3.1	2		2	5.4	13	6	1	6	3
	21	4.2	15		14	5.4	2		3	7.1	12	7	—	7	213
	22	3.7	15		15	3.1	1		4	7.0	8	8	0	8	1
	23	3.1	14		16	3.7	1		5	7.3	7	9	1	9	2
	24	3.3	15		17	4.0	1		6	8.8	6	10	6	10	46
49. 7. 4	1	3.7	16		18	3.5	1		7	9.0	6	11	3	11	13
	2	4.8	16	49. 7. 6	19	5.2	2		8	8.2	5	12	—	12	3
	3	5.4	13		20	5.4	1		9	7.6	5	13	5	13	8
	4	6.4	12		12	7.5	4		10	7.7	6	14	9	14	6
	5	5.8	11		13	9.8	3		11	7.7	6	15	—	15	1
	6	5.6	11		14	7.9	4		12	6.5	5	16	—	16	7
	7	4.6	10		15	7.3	4		13	5.1	1	17	73	17	9
	8	6.4	9		16	8.5	3		14	5.4	1	18	7	18	7
	9	6.9	6		17	6.0	4		15	6.3	1	19	—	19	76
	10	7.9	6		18	6.9	4					20	—	20	22
	11	6.7	6		19	4.8	4					21	67	21	0
	12	6.9	5		20	4.2	4					22	2	22	0
	13	6.0	6		21	3.5	4					23	43	23	0
	14	5.6	7		22	3.5	5					24	21	24	23
	15	5.2	6		23	4.2	4					25	—	25	71
	16	5.0	8		24	2.9	4					26	—	26	—
	17	5.2	8	49. 7. 7	1	4.8	3					27	75	27	—
	18	5.6	9		2	4.4	3					28	19	28	0
	19	4.2	7		3	3.5	4					29	4	29	—
	20	4.6	9		4	4.8	3					30	4	30	—
	21	4.8	8		5	2.9	2							31	—
	22	4.6	6		6	5.8	4								
	23	4.6	8		7	5.0	3								
	24	4.6	10												
49. 7. 5	1	4.6	10	49. 7. 10	13	7.4	10	H ₂ S 濃度は1時間の最高値をとった。 平均風速は箱根町立大涌谷自然科学館、降水量は箱根ロープウェイ株式 会社の資料による。							
	2	4.2	7		14	7.9	12								
	3	4.4	7		15	7.4	12								
	4	4.8	5		16	6.5	14								
	5	5.0	4		17	5.0	14								
	6	5.6	6		18	4.8	14								

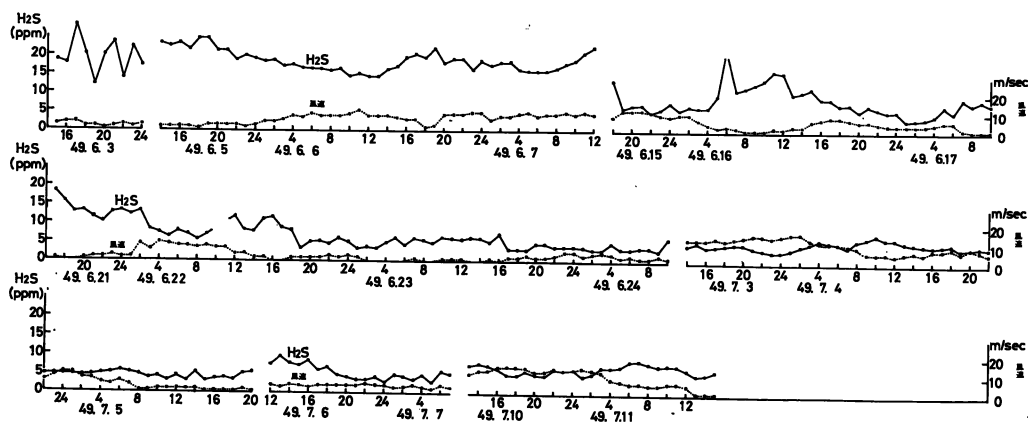


図 4 大涌谷玉子茶屋付近の硫化水素の連続測定結果
大気中 H_2S 濃度と平均風速の関係 ($\text{ppm} \rightleftharpoons \text{cm}^3/\text{m}^3$)。

湯の花沢付近の硫化水素の分布

湯の花沢付近には硫黄山硫黄地帯をひかえ、自然湧出する硫黄泉があるが、昭和26, 27年に入浴中に硫化水素中毒事故を起こし、現在は使用されていない。また、ここでは3本の蒸気井が温泉造成や暖房に利用されている。温泉造成後の排出ガスの中に含まれる H_2S で硫化水素中毒の危険性も予想されるので、この付近の H_2S も測定した(図5)。

測定結果は表3に示す。蒸気井 A_1 , B_1 は周期的に変化する様子が蒸気の濃淡でわかる。大気中 H_2S も $100 \sim 1200 \text{cm}^3/\text{m}^3$ と変動が大きい。与右衛門湯源泉(C_1)は道路のわきにある横穴自然湧泉で現在は使用されていない。この付近の H_2S の最大濃度は $1200 \text{cm}^3/\text{m}^3$ (C_3)と測定された。また、蒸気から温泉を造成する造成槽(A_3)や熱交換廃ガスの排出口(F , G)では H_2S が高濃度に濃集されやすく、 $10000 \sim 50000 \text{cm}^3/\text{m}^3$ 以上になっており非常に危険である。人工的な施設を作り、 H_2S ガスの放出を無制限に放置しておく事は植生の破壊、中毒事故の危険からも問題が多い。

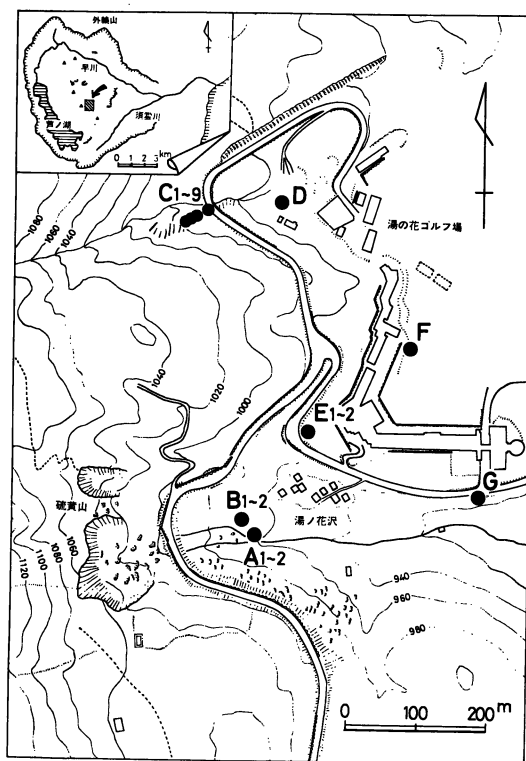


図 5 湯の花沢付近の硫化水素測定地点
記号は表3に該当する。

表3 湯の花沢付近の硫化水素の測定結果

測定日	測定地	気温 (°C)	H ₂ S (cm ³ /m ³)	備考
47. 4. 5	B ₁ 25号蒸気井	11.2	570.	国土
47. 4. 6	A ₁ 27 //	9.7	1200.	町
	B ₁ 25 //		100.	蒸気温度 112°C
47. 8. 2	// 25 //		300.	// 98°C
47.11. 9	A ₁ 27 //		400.	// 128°C
	B ₁ 25 //		950.	// 97°C
48. 1.19	A ₂ 造成槽		1400.	泉温77.5°C, pH2.8, 水中H ₂ S 27. mg/ℓ
48.12.11	C ₁ 与右衛門湯源泉	2.8	500.	泉温12.3°C
48.12.12	// //	3.1	170.	pH2.3, 水中H ₂ S 290mg/ℓ
	D 大岩風呂		1100.	泉温22.4°C, pH2.7, 水中H ₂ S 240. mg/ℓ
49. 3. 2	F ドレイン排出口		>5×10 ⁴	泉温92.5°C
	G //		10 ⁴	泉温95.3°C
49.10. 9	C ₇ 源泉まで14m	19.2	40. ~90.	水中H ₂ S 31. mg/ℓ
	C ₈ 道路下		0.6~3	泉温23.5°C, 水中H ₂ S 5.9mg/ℓ
49.11.28	C ₁ 与右衛門湯源泉	9.4	600. ~930.	
	C ₆ 源泉まで5 m		70. ~90.	
	C ₇ // 14m		6.8~7.	
50. 2.13	C ₁ 与右衛門湯源泉	2.0	250. ~280.	
	C ₂ 源泉まで1 m		200. ~300.	
	C ₃ // 2 m		550. ~1200.	
	C ₄ // 3 m		100. ~200.	
	C ₅ // 4 m		150.	
	C ₆ // 5 m		20.	
50. 2.18	A ₂ 造成槽	-0.5	>3600.	
	B ₂ ガス抜き孔		750.	
	C ₁ 与右衛門湯源泉		150.	
	C ₂ 源泉まで1 m		270.	
	C ₃ // 2 m		350.	
	C ₄ // 3 m		100.	
	C ₅ // 4 m		80.	
	C ₆ // 5 m		12.	
	C ₇ // 14m		2.	
50. 3.11	C ₁ 与右衛門湯源泉	7.6	130. ~250.	風速1.2m/sec
	C ₈ 道路下		0.2	
	E ₁ ドレイン排出口		100.	
50. 3.18	// //	2.3	250. ~1500.	蒸気温度89.8°C
	E ₂ 廃孔		320. ~370.	// 81.0°C
50. 3.27	A ₂ 造成槽		6500.	
	B ₂ ガス抜き孔		650.	

測定地は図5の記号に該当する。

姥子F号蒸気井周辺の樹木の枯死の原因調査

姥子地区には2本の蒸気井が掘さくされている。C号（温泉台帳元28号）は工事中である。F号（温泉台帳元24号）は蒸気井のケーシングが破損し、蒸気が暴出して周辺の樹木が枯死した（昭和50年5月12日の神奈川新聞）。箱根を守る会の松浦正郎氏（私立旭丘高教諭）は「硫化水素によって土壌が酸性となってしまう、このためジワジワと木が枯れた」と語っている。その被害状況、枯死の原因を調査した。

蒸気井の位置、樹木の立枯れ状況を図6に示す。樹木の立枯れはN45°Eの方向に沿っており、蒸気井の北東側が著しく枯れた。蒸気井からN45°E方向20mまでは樹木は完全に枯死している。24m

付近では新芽をふいている灌木もある。檜の立枯れの先端は蒸気井から50mの位置である。あわせて深さ1mの地中温度を測定し、図6に等温線を示す。

蒸気井周辺の土壌を採取し、可溶性成分を分析した。試料aは蒸気井より2m離れた点(図6)で表面を採取。試料bは蒸気井より6m離れた点で、表土(b-1)、深さ20~25cmの黒色の腐植土壌(b-2)および深さ50cmの褐色の関東火山灰層(b-3)を採取。試料Cは14m離れており、深さ別にc-1, c-2, c-3と採取。dは50m, eは70mの点で、fは姥子方向へ150m下った点である。蒸気井から20m離れると乳白色の蒸気井放出物はすくなくなり、24mでは見られない。分析結果(表4)からa, b, c点のpHは4以下で、 SO_4^{2-} が多く、それ以遠では SO_4^{2-} が少ない事がわかる。

F号蒸気井の噴出蒸気凝縮水及び熱水の化学組成を表5に示す。現在、蒸気井の周囲にとび散っ

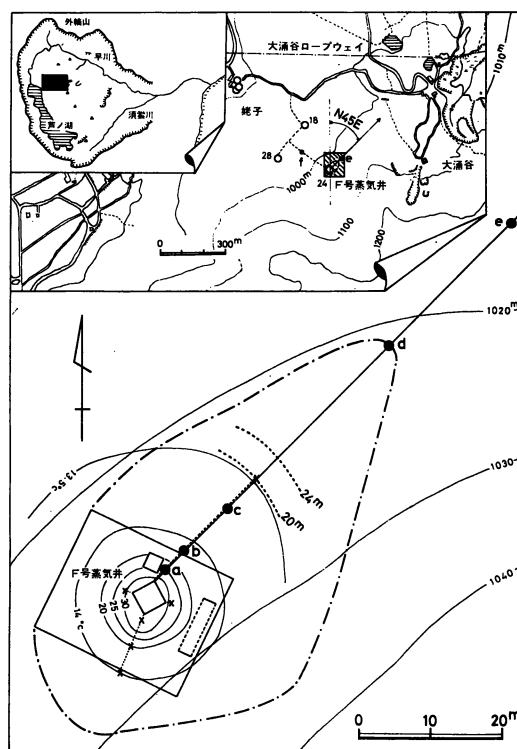


図6 姥子F号蒸気井の位置、樹木の立枯れ状況
鎖線で囲んだ部分は国有林の立枯れしている範囲を示す。記号は土壌採取地点を示し、表4に該当する。

表4 姥子F号蒸気井周辺の土壌の溶出実験結果(24時間)

試料	蒸気井からの距離(m)	深さ(cm)	採取量(g)	水の量(ml)	pH	Ca+Mg (Caとして)		Total Fe		Cl ⁻		SO ₄ ²⁻	
						400ml 中(mg)	試料1g 当り(mg)	400ml 中(mg)	試料1g 当り(mg)	400ml 中(mg)	試料1g 当り(mg)	400ml 中(mg)	試料1g 当り(mg)
a	2	地表	111.3	400	2.60	—	—	3.86	0.035	0.82	0.007	96.1	0.863
b	-1	6	地表	123.7	//	10.3	0.092	1.50	0.012	0.30	0.002	54.2	0.438
	-2	//	20~25	100.0	//	3.72	0.104	—	—	0.39	0.004	50.5	0.505
	-3	//	50	110.8	//	3.70	0.121	—	—	0.61	0.006	56.9	0.513
c	-1	14	地表	88.5	//	2.49	0.032	0.80	0.009	0.19	0.002	19.2	0.217
	-2	//	20~25	87.4	//	3.30	0.064	—	—	0.19	0.002	25.9	0.297
	-3	//	50	99.2	//	3.72	0.053	—	—	0.19	0.002	32.7	0.329
d	-1	50	地表	113.2	//	4.00	0.009	—	—	—	—	1.5	0.014
	-2	//	20~25	156.2	//	4.40	0.008	—	—	0.30	0.002	0.6	0.004
	-3	//	50	131.2	//	5.45	0.022	—	—	0.33	0.003	6.0	0.045
e	-1	70	地表	125.4	//	4.30	0.008	—	—	—	—	2.9	0.023
	-2	//	20~25	106.7	//	4.51	0.011	—	—	0.35	0.003	6.7	0.063
	-3	//	50	127.3	//	5.60	0.014	—	—	0.37	0.003	2.5	0.020
f	-1	150	地表	124.8	//	5.35	0.006	—	—	—	—	1.2	0.009
	-2	//	20~25	137.9	//	5.70	0.007	—	—	—	—	4.4	0.032
	-3	//	50	108.2	//	5.31	0.011	—	—	0.52	0.005	5.8	0.053

試料は図6の記号に該当する。

ている熱水は酸性 (pH≒3) である。蒸気井が完成した当初は中性に近い熱水をともなっていた。

蒸気井周辺の樹木の枯死の原因として、(1)火山蒸気中に含まれている硫酸、珪酸、硫黄等の乳白色放出物が樹木の幹や葉を薄くおおい、炭酸同化作用や呼吸作用に障害を与えた。(2)蒸気井完成当初は蒸気にともなう熱水等は中性を示したが、現在は酸性に変わっている。酸性熱水の飛まつが風に運ばれ、N45°E 方向では蒸気井から20m付近までの土壌を酸性化している、等の事が考えられる。

表5 姥子F号蒸気井の噴出蒸気凝縮水及び熱水の化学組成

採水日	温度 (°C)	pH	蒸発残留物 (mg/ℓ)	K ⁺ (mg/ℓ)	Na ⁺ (mg/ℓ)	Ca ²⁺ (mg/ℓ)	Mg ²⁺ (mg/ℓ)	Fe ²⁺ (mg/ℓ)
44. 6. 20	95.	7.1	241.	2.52	10.4	26.1	6.20	
46. 1. 11	96.3	6.2	459.	2.61	38.3			19.8
50. 5. 16		3.1				54.1		

Cl ⁻ (mg/ℓ)	SO ₄ ²⁻ (mg/ℓ)	HCO ₃ ⁻ (mg/ℓ)	H ₂ SiO ₃ (mg/ℓ)	備 考
3.44	83.5	30.5	89.7	熱水100ℓ/min, 井深158m
12.1	269.	11.1	14.0	
26.7	660.			

大気中硫化水素の拡散減少

風速による硫化水素の拡散減少は Sutton の式を用いて計算される (大久保, 1975)。

点源が地表にある時の濃度分布は

$$C = \frac{2Q}{\pi u C_y C_z x^{2-n}} \exp \left\{ -\frac{1}{x^{2-n}} \left(\frac{y^2}{C_y^2} + \frac{z^2}{C_z^2} \right) \right\}$$

であらわされるという。ここでQは放出速度 (mol/sec), u は風速 (cm/sec), x は風の主軸方向の距離 (cm), y は横方向 (cm), z は高さ (cm) である。大気が中立の安定性の時, $n=0.25$ で, 平坦な草地では $C_y=0.4\text{cm}^{1/8}$, $C_z=0.2\text{cm}^{1/8}$ が適当である。

$y=2z$ として式を簡単にすると

$$\ln \frac{x^{1.75}}{7.958(Q/Cu)} = \frac{-y^2}{0.08x^{1.75}}$$

となる。種々のQ/Cuに対して x と y , z との関係を求めると図7になった。

箱根における噴気井の噴出流量は2.4~0.02m³/sec(大山, 1971)であり, 平均値として0.1m³/secとする。蒸気中のH₂S濃度を10³cm³/m³と見積ればQ=10²cm³/secとなる。風速1m/sec ($u=10^2\text{cm/sec}$)の時, $C=10^2\text{cm}^3/\text{m}^3$ になる範囲は図7より $Q/Cu=10^2/10^2 \times 10^2 \times 10^{-6}=10^4$ の曲線で示される。地表では主軸方向6.3mに達するが, 横方向0.5m, 高さ0.25mにすぎない。C=10cm³/m³になる範囲はQ/Cu=10⁵で示され, $x=23.5\text{m}$, $y=1.5\text{m}$, $z=0.8\text{m}$ に拡がる。風速が3m/secの時はQ/Cu=

$10^5/3$, 風速が 5 m/sec の時は $Q/Cu = 10^5/5$ で示されるように到達距離は減少する。即ち, 風速 1 m/sec のとき点源の濃度が $1/10$ になる地表距離は 6.3 m , $1/100$ になる地表距離は 23.5 m である。風速が 3 m/sec では 12.6 m で $1/100$ の濃度になり, 5 m/sec では 9.4 m で $1/100$ に減少すると推定される。

実際には玉子茶屋付近の噴気孔を点源とすると, それから約 20 m 離れると大気中 H_2S は $1 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ 以下に低下している。この付近は気流が渦を巻いて動いており, 気象条件も常に安定であるとは限らない。上記の Q の見積りも大きすぎるかも知れない。Sutton の式は理論的なガス濃度の最高値を示してくれる。同様にして大気中 H_2S が $1 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ 以下になる範囲を推定したのが図 1 の曲線である。

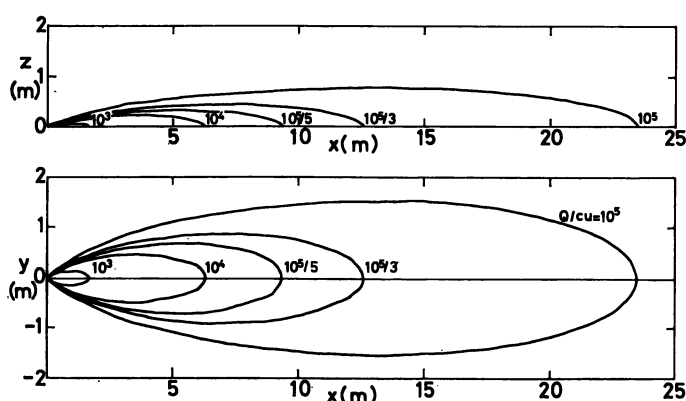


図 7 拡散式による硫化水素の風下方向の濃度分布
x 主軸方向距離, y 横方向距離, z 高さ, Q 放出速度, C 硫化水素濃度, u 風速

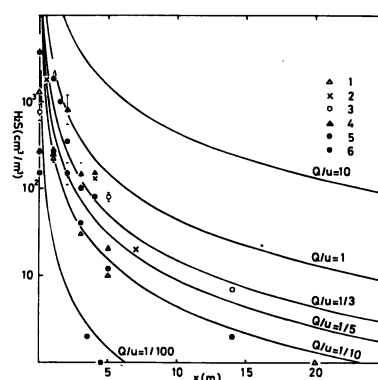


図 8 硫化水素濃度と風下の主軸方向到達距離の関係
Q 放出速度, u 風速, 番号は表 6 の実測値に該当する。

表 6 硫化水素濃度の距離による減少

No. 1	大涌谷玉子茶屋付近 (48. 9. 11)							
	位置	噴出孔	1 m 風下	3 m 風下	5 m 風下	20 m 風下		
	H ₂ S(cm ³ /m ³)	1300.	220.	30.	10.	(1.		
No. 2	湯の花沢ドレイン排出口付近 (49. 3. 2)							
	位置	排出口	0. 5 m 風下	4 m 風下	7 m 風下			
	H ₂ S(cm ³ /m ³)	5×10 ⁴	1800.	130.	20.			
No. 3	湯の花沢与右衛門湯源泉付近 (49. 11. 28) 気温9. 4℃							
	位置	源泉	5 m 風下	14 m 風下				
	H ₂ S(cm ³ /m ³)	600~930	70~90	6. 8~7				
No. 4	湯の花沢与右衛門湯源泉付近 (50. 2. 13) 気温2. 0℃							
	位置	源泉	1 m 風下	2 m 風下	3 m 風下	4 m 風下	5 m 風下	
	H ₂ S(cm ³ /m ³)	250~280	200~300	550~1200	100~200	150.	20.	
No. 5	湯の花沢与右衛門湯源泉付近 (50. 2. 18) 気温-0. 5℃							
	位置	源泉	1 m 風下	2 m 風下	3 m 風下	4 m 風下	5 m 風下	14 m 風下
	H ₂ S(cm ³ /m ³)	150.	270.	350.	100.	80.	12.	2.
No. 6	大涌谷中毒事故現場 (基礎工事用穴) (47. 10. 12), 平賀ら (1973)							
	位置	深さ 3 m	深さ 2 m	深さ 1. 5 m	深さ 1. 0 m	地表	高さ 0. 5 m	高さ 1. 5 m
	H ₂ S(cm ³ /m ³)	>3600.	>1800.	1000.	110~200	40.	2.	0.

図8は種々の Q/u に対する主軸方向到達距離と H_2S 濃度の関係を示す。箱根における実測値（表6）を図にプロットした。例えば、大涌谷遊歩道では $Q/u=(1/10)cm^2$ に沿っている。大涌谷の平均風速は $4.2m/sec$ （大涌谷自然科学館資料）だから $Q=42cm^3/sec$ 。噴気孔における H_2S 濃度は $1300cm^3/m^3$ であり、噴出流量は $0.03m^3/sec$ と予想される。これは箱根の平均噴出流量とよくあっている。

まとめ

箱根の観光コース、大涌谷遊歩道における大気中硫化水素の分布を調べた。最高 $20\sim 30cm^3/m^3$ であり、労働衛生上の許容限度 $10cm^3/m^3$ よりやや高いが、気象状態に注意すれば短時間の見学なら特に問題はないであろう。大涌谷一神山登山道、大涌谷一姥子登山道に H_2S 濃度の高い箇所があり、通行上注意する必要がある。

据置型の連続測定装置で大気中 H_2S 濃度と風速との関係を調べた。風速が強くなると H_2S は減少し、風速が弱くなると H_2S は増大している。

湯の花沢付近では温泉造成後の廃ガス中に H_2S が高濃度に濃集される($10000\sim 50000cm^3/m^3$)のでその対策が必要であろう。

姥子F号蒸気井周辺の樹木の枯死の原因は、蒸気井放出物が樹木をうすくおおい障害を与え、酸性熱水の飛まつが土壌を酸性化した事などによると考えられる。

大気中 H_2S の拡散減少はSuttonの式を用いて拡がりの範囲が求められた。即ち、風速 $1m/sec$ のとき点源の濃度が $1/10$ になる地表距離は $6.3m$ 、 $1/100$ になる地表距離は $23.5m$ である。風速が $3m/sec$ では $12.6m$ で $1/100$ の濃度になり、 $5m/sec$ では $9.4m$ で $1/100$ に減少すると推定される。実際には噴気孔を点源とするとそれから約 $20m$ 離れると大気中 H_2S は $1cm^3/m^3$ 以下になっており、気流も常に移動しているので上記の推定は理論的な最高値を示すだろう。拡散の実測例を図8にプロットした。減少曲線にわりとよくのっている。

今後の課題として、大涌谷一神山登山道付近の地熱異常の拡がりやそれにとまなう温泉余土化の調査が必要であろう。蒸気井の掘さくにより、周囲の樹木が枯死し、温泉余土化を促進しているの、この行政的対策が要望される。

謝 辞

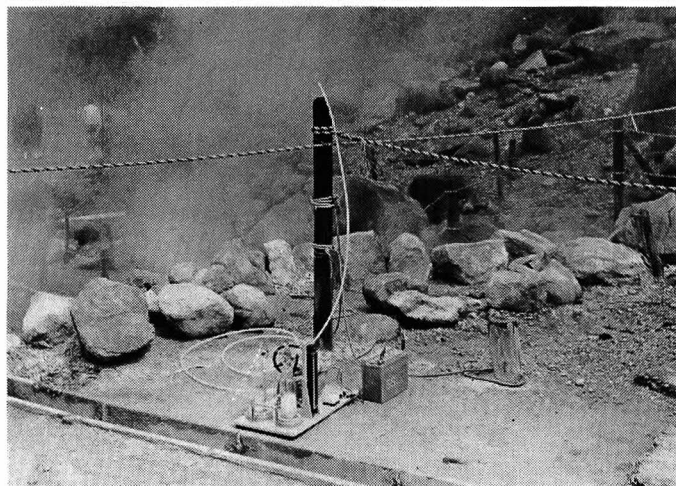
東京大学物性研究所の田村正平先生は H_2S 連続測定方法を指導された。株式会社柳本製作所、箱根温泉供給株式会社は装置設置に協力された。風速、降水量の資料は箱根町立大涌谷自然科学館、箱根ロープウェイ株式会社から提供された。生活環境課今木恒郎技師は調査が円滑に進む様はかって頂いた。温泉研究所平賀士郎科長には有益な助言を頂いた。温研小鷹滋郎主任研究員、広田 茂氏、大山正雄氏、伊東 博氏、小梶藤幸氏は現地調査に協力された。以上の方々に厚く御礼申し上げる。なお、この調査は神奈川県衛生部温泉等研究調査費によった。

参考文献

- 粟屋 徹, 平野富雄, 久保寺公正 (1974), 箱根の造成温泉等の硫化水素, 神奈川温研報告, Vol. 6, No. 1, 11—30.
- 平賀士郎, 鈴木孝雄 (1973), 大涌谷における硫化水素中毒事故調査(Ⅰ), 神奈川温研報告, Vol. 4, No. 2, 47—54.
- 大木靖衛, 平野富雄, 小鷹滋郎(1973), 大涌谷における硫化水素中毒事故調査(Ⅱ), 神奈川温研報告, Vol. 4, No. 2, 55—64.
- 大久保明 (1975), 生態学と拡散, 築地書館.
- 大山正雄, 平野富雄, 粟屋 徹, 鈴木孝雄 (1971), 箱根火山の蒸気, 神奈川温研報告, Vol. 2, No. 3, 133—142.
- 大気汚染全国協議会第三小委員会 (1973), 大気汚染ハンドブック(3) (気象論), コロナ社.



大涌谷遊歩道 (図 1, B—2 地点)
(49. 4. 26)



大涌谷遊歩道 (図 1, B—4 地点)
(49. 4. 26)



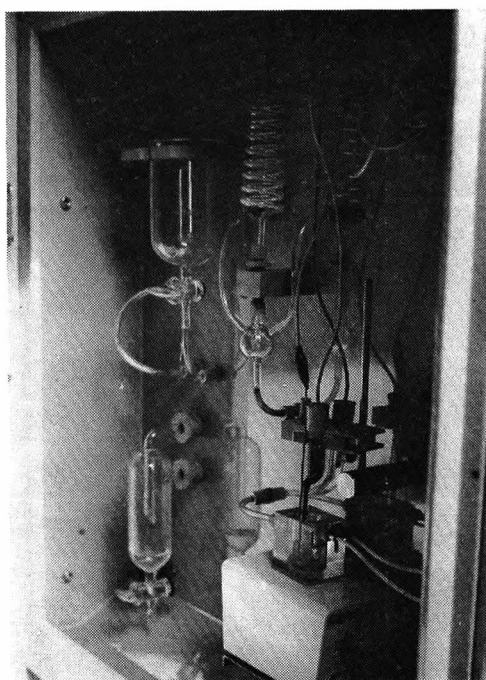
大涌谷一神山登山道 (図1, G地点)
(49. 1. 24)



大涌谷一神山登山道 (図1, G地点)
(49. 1. 24)



H₂S連続測定 ガス吸いこみ口 (右前)



H₂S連続測定装置



湯ノ花沢 (図5, A₁ 地点)
(50. 4. 12)



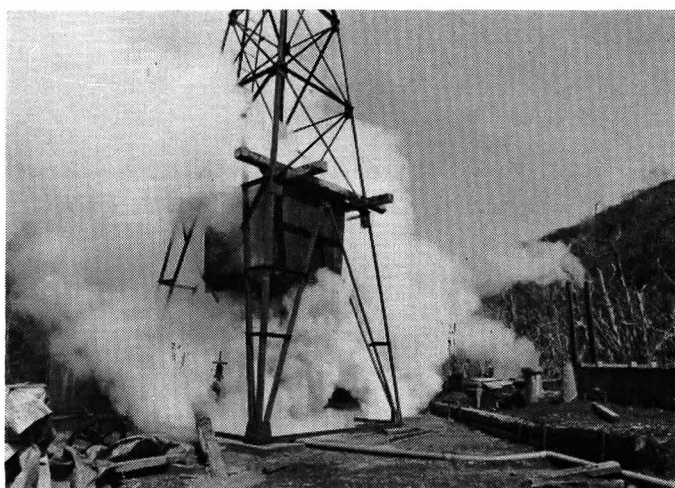
湯ノ花沢 (図5, B₁ 地点)
(50. 4. 12)



湯ノ花沢 (図5, C₁ 地点)
(50. 4. 12)



湯ノ花沢（図5，F地点）
（49. 3. 2）



姥子F号蒸気井の蒸気暴出
（50. 4. 12）



姥子F号蒸気井周辺の樹木枯死
（50. 4. 12）