

## 鹿児島県新湯温泉の化学的研究

坂元隼雄

〒 891-0132 鹿児島市七ツ島 1-1-10 (一財) 鹿児島県環境技術協会

### ■ はじめに

鹿児島県霧島市(旧始良郡)牧園町にある「新湯温泉」は、川床から噴出する噴気ガスによって地下水などが温められた天然(自然)温泉を利用する小規模温泉であった。この温泉は噴気ガス中に含まれる硫化水素を地表水が溶かし込み、アトピー性皮膚炎や水虫などの疾患に効能があることが注目され、県外からの利用客が増加するようになった。したがって、自然の噴気ガスによる湯量では需要を賄うことができなくなった。その対応策として地下掘削(ボーリング)によって得られた噴気ガスを沢水に吹き込んで造る人工造成温泉(以後は造成温泉と略記する)が造られ、利用されるようになった。

1989年3月26日、新湯温泉の治療泉の脱衣場で硫化水素による母子二人が死亡する事故が起こった。著者らは事後直後の試料の採取は諸事情から困難であったが、1989年5月から1990年7月までの新湯温泉の噴気ガス・造成温泉等の調査を行った。その結果を報告する。

今後、このような痛ましい事故を繰り返さないことを願って記すことにする。

### ■ 新湯温泉の概況

新湯温泉は「はじめに」で記したようにアトピー性皮膚炎などに薬効が口伝いに知られるようになり、湯治客が増加した温泉である。同温泉は鹿児島県の北東部に位置している。その場所は図1に示す。また、同温泉の噴気ガスと沢水を使った温泉造成装置(槽)の概略図は図2に、同造成温泉装置(槽)で造られた温泉を使った露天風呂の外観は図3に示す。同露天風呂は噴気ガス中に含まれる硫化水素が沢水に溶け込んでおり、空気中の酸素によって硫化水素が徐々に酸化される。その際に生成するコロイド状の硫黄と光(太陽光)から生み出される景観は訪れる人の心を和ませている。

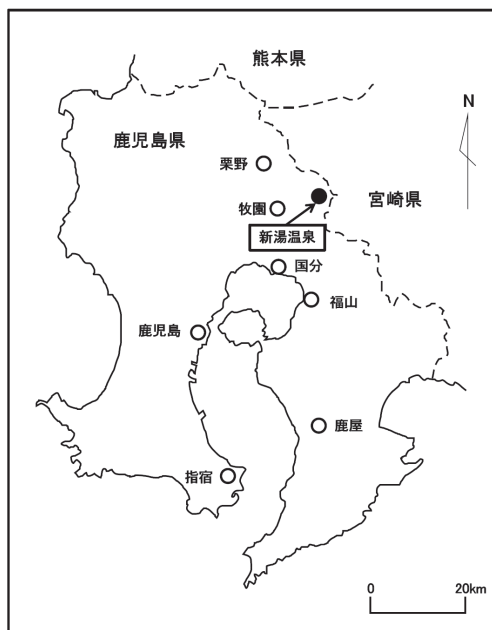


図1. 新湯温泉の位置.

Sakamoto, H. 2016. Chemical study of Shinyu Hot Spring in Kagoshima Prefecture. *Nature of Kagoshima* 42: 497-505.

☑ The Foundation of Kagoshima Environmental Research and Service, 1-1-10 Nanatsujima, Kagoshima 891-0132, Japan (e-mail: sakamfh@yahoo.co.jp).

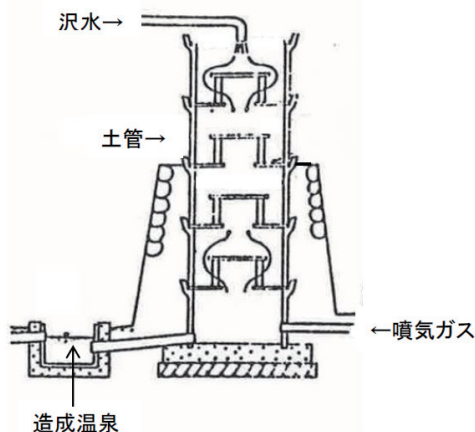


図2. 新湯温泉の温泉造成装置(槽).



図3. 新湯温泉の露天風呂.

## ■ 試料の採取地点

新湯温泉の新燃荘の周辺には自然の噴気ガスが噴出する場所が数多く存在する。特に温泉宿に通ずる橋の下の河川には多数の噴出孔(アワ)が存在し、その様子を確認することができる。

また、掘削したボーリング孔から噴出する噴気ガスに新燃岳の谷間から流れ下る水(沢水)を導水し、造成温泉装置(槽)(図2)の中で混合し、造成温泉が造られている。造成温泉用ボーリング孔並びに露天風呂などから噴出する噴気ガスの試料採取地点は図4に示す。

## ■ 噴気ガスおよび水中を潜(くぐ)り抜けた噴気ガスの採取方法と分析法

新湯温泉の噴気ガスおよび水中を潜(くぐ)り抜けた噴気ガスの採取方法と分析法の一部は下記

(1), (2) に記す。噴気ガスの採取は、(1) 噴気ガス(水中を潜ったもの)はポリエチレン製のロートに二口注射器(100 ml)を付け、水上置換により噴気ガスを採取する(大西・鎌田, 1977, 1982; 鎌田ほか, 1986; 坂元, 1989)。

(2) ボーリング孔からの噴気ガスの採取はボーリング孔にガラス管またはテフロン管を挿入し、二口注射器(100 または 200 ml)を付け、注射器の中を噴気ガスで十分に置換した後、注射器の周りを氷水で濡らしたタオルなどで冷却し、水蒸気を凝縮させながら不凝縮ガスの採取を行う。この際、凝縮した水は廃棄を繰り返し、できるだけ多くの不凝縮ガスを採取する。特に注意することは注射器内への空気の混入を極力減らすことである。

(1), (2) で採取した噴気ガスの温度が200℃以下と低い新湯温泉などの不凝縮ガス[水蒸気(水)を除いたガス]中にはフッ化水素(HF)、塩化水素(HCl)、二酸化硫黄(SO<sub>2</sub>)などは含まれていない(小沢, 1965; 平林, 1982)。

次に、注射器で採取した不凝縮ガスは水酸化カリウム(5N)水溶液(2 ml)を加え、振とうすると二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)と硫化水素(H<sub>2</sub>S)による体積減少が起こる。その際の体積減少を測定する。一方、注射器中に注入した水酸化カリウム(5N)水溶液に吸収された二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)と硫化水素(H<sub>2</sub>S)はメスフラスコに移し一定量(100 ml)とする。その一定量(10-20 ml)を滴定用のビーカーに採取し、ヨウ素滴定法により硫化水素の量(体積)を計算する。

次に、水酸化カリウム(5N)水溶液を加えて体積減少した体積の内訳は硫化水素(H<sub>2</sub>S)の体積を差し引き二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の体積を算出し、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)と硫化水素(H<sub>2</sub>S)の組成割合(%)を計算する。

また、水酸化カリウム(5N)水溶液に吸収されなかった残留ガス(Rガス)[ヘリウム(He)、水素(H<sub>2</sub>)、酸素(O<sub>2</sub>)、窒素(N<sub>2</sub>)、メタン(CH<sub>4</sub>)]は図5に示す分析法(手順)に従い、ガスクロマトグラフィーで測定し、それぞれの化学成分の組成割合(%)を計算する(大西・鎌田, 1981)。

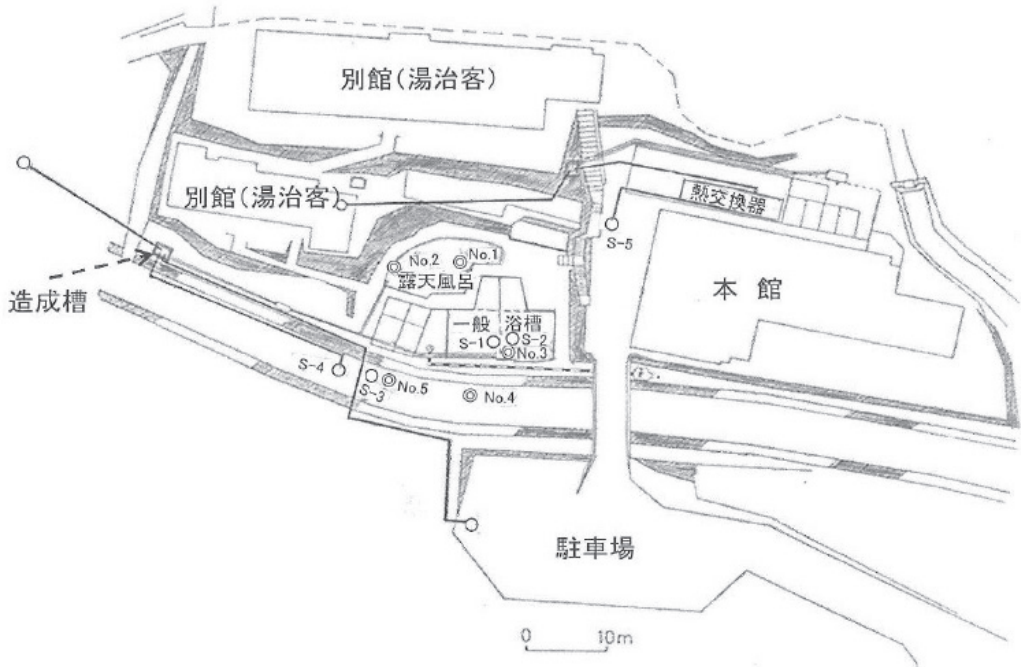


図4. 新湯温泉の噴気ガス採取地点. ○: ボーリング孔からの噴気ガス (S-1 ~ S-5), ◎: 水中を潜り抜けた噴気ガス (No.1 ~ No.5).

■ 結果と考察

新湯温泉周辺および霧島火山地域から噴出する噴気ガスの化学組成

新湯温泉の浴室と露天風呂は噴気地帯の直上にある。その噴気ガスの温度は地表では95℃前後である。同噴気ガスは地表面の水中を潜り抜けて大気中に放出されるものがある。したがって、噴気ガスの化学組成は水との接触の度合いを反映し、かなりの変動が認められるものがある。

新湯温泉のボーリング孔から直接採取した噴気ガスと水中を潜った噴気ガスの化学組成は表1, 2に示す。

水中を潜った噴気ガスは水に溶けやすい二酸化炭素などの化学成分は水との接触時間や水温などによって変化する。したがって、他の溶け難い残留成分 (R ガス) の化学組成にも影響を与えている (表1, 2 参照)。

造成温泉の温度と硫化水素濃度の関係

新湯温泉は地表面で観察される噴気活動は決

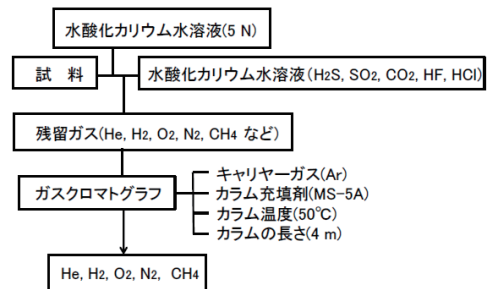


図5. 噴気ガスの分析法.

して大きいとはいえない。また、掘削によるボーリング孔から得られる噴気ガスの圧力は霧島地域の中では決して高いとは言えない。新湯温泉の噴気ガスの化学組成は表1に示した。

表1の噴気ガスの硫化水素濃度は霧島地区の栗野岳温泉や桜島持木足投海岸温泉などに比較すれば高いという特徴がある (大西・鎌田, 1977, 1982; 坂元, 1989)。

また、不凝縮ガス (R ガス) (水酸化カリウム水溶液などに溶け込み難いガス) の組成の中で水

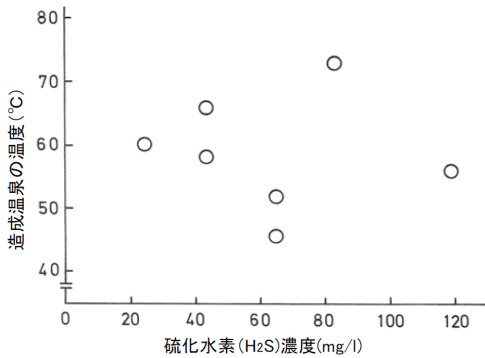


図 6-1. 造成温泉の温度と硫化水素 (H<sub>2</sub>S) 濃度の関係.

素濃度が低い。このことは新湯地域の火山活動の活動度が低く、噴気ガスの圧力が低いことやガスの発生量が少ないことと関係していると考えられる。

新湯温泉のボーリング孔からの噴気ガスを使って、造成温泉を造る際、浴用に必要な温度だけでなく薬効成分の一つと考えられている硫化水素を効率よく溶かし込む必要がある。

図 2 に示した造成温泉装置を作成し、造成温泉の温度と水中に溶け込んだ硫化水素濃度の関係について調べた。その結果は図 6-1 に示す。

図 6-1 からは造成温泉の温度が 50–60°C 程度になるように噴気ガスと沢水を混合することが温泉の利用目的に合っていると考えられる。

表 1. 新湯温泉噴気ガスの化学組成.

採取地点	採取年月日	温度 °C	噴気ガス (水を除く) (体積%)			残留ガス (R ガス) (体積%)			
			硫化水素 (H <sub>2</sub> S)	二酸化炭素 (CO <sub>2</sub> )	残留ガス (R ガス)	ヘリウム (He)	水素 (H <sub>2</sub> )	窒素 (N <sub>2</sub> )	メタン (CH <sub>4</sub> )
S-1	1989.06.13	23.0	8.0	88.7	3.3	0.006	0.053	48.1	51.9
S-2	1989.06.13	91.1	10.7	86.7	2.6	0.006	0.333	41.9	57.7
S-3	1989.11.08	41.0	7.5	86.9	5.6	0.005	0.800	51.2	48.0
S-3	1990.02.05	50.4	8.1	87.2	4.7	0.005	1.28	46.7	52.0
S-4	1990.07.14	96.0	9.1	88.9	2.0	0.005	0.165	45.0	54.8
S-5	1990.07.14	95.0	9.6	88.3	2.1	0.006	0.231	47.4	52.4

表 2. 新湯温泉噴気ガス (水中を潜り抜けた) の化学組成.

採取地点	採取年月日	温度 °C	噴気ガスの化学組成 (体積%)			残留ガス (R ガス) の化学組成 (体積%)			
			硫化水素 (H <sub>2</sub> S)	二酸化炭素 (CO <sub>2</sub> )	残留ガス (R ガス)	ヘリウム (He)	水素 (H <sub>2</sub> )	窒素 (N <sub>2</sub> )	メタン (CH <sub>4</sub> )
露天風呂 No.1	1989.05.20	42.7	3.2	85.4	11.4	0.007	0.21	53.5	46.3
露天風呂 No.2	1989.05.20	42.6	3.0	84.7	12.3	0.011	0.18	52.7	47.1
露天風呂 No.1	1989.06.13	37.7	2.8	86.9	10.3	0.007	0.21	53.5	46.3
露天風呂 No.2	1989.06.13	38.0	3.1	88.4	8.5	0.011	0.18	52.7	47.1
露天風呂 No.1	1989.06.15	40.5	1.6	89.2	9.2	0.005	0.20	59.6	40.1
露天風呂 No.2	1989.06.15	40.2	5.6	88.8	5.6	0.006	0.03	58.1	41.9
露天風呂 No.1	1989.09.08	41.8	1.0	85.4	13.5	0.005	0.22	55.7	44.1
露天風呂 No.2	1989.09.08	41.5	1.1	86.2	12.8	0.004	0.04	59.2	40.8
露天風呂 No.1	1989.11.08	36.6	0.75	82.2	17.0	0.004	0.17	58.4	41.5
露天風呂 No.2	1989.11.08	36.5	1.8	86.4	11.8	0.004	0.02	59.1	40.9
露天風呂 No.1	1990.02.05	19.0	0.47	58.6	41.0	0.005	0.19	57.3	42.5
露天風呂 No.2	1990.02.05	19.0	1.0	80.8	18.2	0.005	0.10	53.8	46.1
露天風呂 No.1	1990.05.19	41.2	3.5	87.8	8.7	0.004	0.12	53.7	46.2
露天風呂 No.2	1990.05.19	41.3	2.5	55.0	42.5	0.004	0.08	61.5	38.5
露天風呂 No.2	1990.07.14	50.8	3.4	92.4	4.2	0.004	0.03	54.7	45.3
浴室 No.3	1989.06.15	35.0	4.4	83.0	12.5	0.006	0.18	47.3	52.5
河川の中 No.4	1989.06.13	16.2	3.9	90.2	5.9	0.004	0.07	70.9	29.1
河川の中 No.4	1989.06.15	16.5	7.3	88.6	4.1	0.004	0.25	52.8	46.9
河川の中 No.4	1990.05.19	16.1	4.4	88.4	7.1	0.006	0.23	54.9	44.9
露天風呂 No.5	1989.06.15	38.1	3.3	90.0	6.7	0.006	0.20	60.8	39.1
露天風呂 No.5	1989.09.08	41.3	3.7	85.8	10.5	0.004	0.47	57.7	41.8
露天風呂 No.5	1990.05.19	46.0	3.7	88.8	7.5	0.004	0.08	45.7	54.2
露天風呂 No.5	1990.07.14	47.2	8.0	89.8	2.2	0.004	0.51	50.9	48.6



### 造成温泉装置（槽）からの距離と硫化水素濃度並びに硫酸イオン濃度の関係

造成温泉装置（槽）からの流下距離と硫化水素濃度並びに硫酸イオン濃度の関係を図 6-2 に示す。

硫化水素は水には比較的溶け難い化学成分である。しかし、造成温泉にはかなりの量の硫化水素を溶かし込んでいる（図 6-1 参照）。水中に溶け込んだ硫化水素は温泉造成装置（槽）から流下に伴い、空気中の酸素と触れて徐々に酸化し、その一部はコロイド状の硫黄になって配管に付着する。しかし、流下距離 0-40 m の範囲では硫化水素の濃度は減少が認められるが、硫酸イオン濃度は変化がないことを示している。このことは硫化水素から硫酸イオンへの変換は時間を要することが推察される（図 6-2、表 3 参照）。

### 新湯温泉（造成温泉）と沢水の化学成分濃度の分析結果

新湯温泉の造成温泉装置で生成された造成温泉と造成温泉に使用した沢水の化学成分濃度の分析結果は表 3 に示す。

造成温泉の化学成分濃度について温度と硫化水素については前述した。造成温泉に使用した沢水は表 3 が示すように硫化水素濃度は検出限界以下である。したがって、造成温泉中の硫化水素は噴気ガスから供給されたものである。新湯温泉の造成温泉装置（槽）で生成された造成温泉は硫化水素や二酸化炭素を除けば谷を流れ下る沢水の化学成分の組成にほぼ等しいと言える。

### 新湯温泉噴気ガスの二酸化炭素、硫化水素および残留ガス（R ガス）濃度の経時変化

新湯温泉噴気ガスの硫化水素（ $\text{H}_2\text{S}$ ）、二酸化炭素（ $\text{CO}_2$ ）および R ガス濃度の経時変化は図 7 に示す。

噴気ガスの化学組成は水との接触の度合いを反映し、かなりの変動が認められる。図 7 の調査期間（1989.05.20 ~ 1990.07.14）では、二酸化炭素の濃度はほとんど変化が認められない。しかし、硫化水素濃度はかなりの変動が認められている。

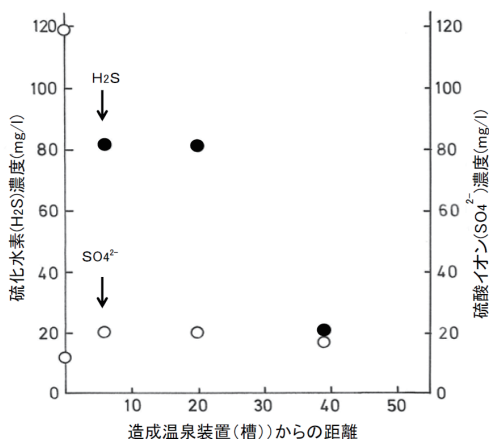


図 6-2. 造成温泉装置（槽）からの距離と硫化水素（ $\text{H}_2\text{S}$ ）濃度並びに硫酸イオン（ $\text{SO}_4^{2-}$ ）濃度の関係。

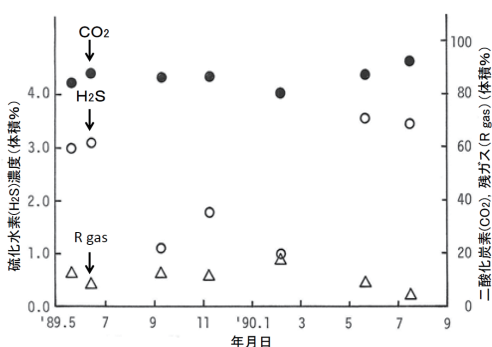


図 7. 新湯温泉噴気ガスの二酸化炭素（ $\text{CO}_2$ ）（●）、硫化水素（ $\text{H}_2\text{S}$ ）（○）および残留ガス（R gas）（△）濃度の経時変化。

また、新湯温泉の噴気ガスの残留ガス（R ガス）濃度は一部には変化が認められるが、調査期間が短くその変化は小さい。

### 新湯温泉から大気中に放出される自然噴気ガスの量の推定

新湯温泉から自然に放出される噴気ガス（水を除いた）の総量は約 10 l/min と推定される（著者らの実測結果による）。したがって、自然放出の硫化水素の量は 0.5 l/min 程度と考えられる。また、造成温泉装置（槽）より発生する硫化水素の量は自然噴出のものと比較して一桁以上多いものと考えられる。したがって、ボーリング孔から造成温泉装置（槽）に送られ、周辺大気中に漏出する硫化水素の挙動と気象状況には十分に注意を払う必要がある。

表3. 新湯温泉（造成温泉）と沢水の化学成分濃度の分析結果.

整理番号	試料	採年月日	温度 ℃	pH	Na <sup>+</sup> mg/l	K <sup>+</sup> mg/l	Mg <sup>2+</sup> mg/l	Ca <sup>2+</sup> mg/l	総Fe mg/l	総Mn mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l	総CO <sub>2</sub> mg/l	H <sub>2</sub> S mg/l	F <sup>-</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l
1	新湯造成温泉槽	1989.05.20	52.0	4.21	-	-	-	-	-	-	-	-	65.0	-	3.6	15.5
2	新湯造成温泉槽	1989.06.13	45.0	2.93	2.1	0.57	0.70	0.77	0.53	0.48	15.2	4.2	15.3	0.05	3.8	19.0
3	新湯造成温泉槽	1989.06.15	58.3	4.35	1.8	0.45	0.61	0.60	0.33	0.54	12.6	3.1	43.4	0.06	3.0	17.4
4	新湯温泉浴槽入口	1989.06.15	57.6	4.45	1.7	0.44	0.61	0.51	0.29	0.53	12.8	3.8	40.4	0.06	3.0	16.8
5	新湯温泉浴槽	1989.06.15	38.0	3.95	2.1	0.61	0.64	1.82	0.10	0.57	14.1	3.2	2.1	0.06	3.2	26.0
6	新湯造成温泉槽	1989.09.08	60.1	4.73	2.3	0.58	0.78	0.82	0.38	0.62	32.1	3.5	24.5	0.06	2.6	14.0
7	新湯造成温泉槽から3.5m 流下	1989.09.08	58.7	5.39	2.3	0.68	0.79	0.77	0.58	0.65	32.0	3.5	24.5	0.06	2.6	13.4
8	新湯造成温泉槽から10m 流下	1989.09.08	58.6	5.17	2.2	0.57	0.80	0.66	0.66	0.67	21.0	4.4	22.4	0.06	2.7	15.6
9	新湯温泉浴槽	1989.09.08	54.0	5.75	2.3	0.62	0.81	0.77	0.29	0.65	21.0	4.0	2.7	0.06	2.7	17.6
10	新湯造成温泉槽	1989.11.08	66.1	5.55	4.5	1.58	2.91	2.82	0.02	0.75	30.2	2.6	43.4	0.14	2.6	11.8
11	新湯温泉浴槽	1989.11.08	59.1	6.48	4.5	1.61	2.83	2.70	0.29	0.76	34.6	3.8	0.7	0.12	6.9	27.0
12	新湯造成温泉槽	1990.02.05	73.1	6.06	3.3	1.07	1.84	1.61	0.06	0.77	23.8	6.1	82.9	0.08	7.6	40.2
13	新湯温泉浴槽	1990.02.05	61.8	6.66	3.3	1.11	1.79	1.81	0.10	0.78	23.4	5.8	0.4	0.08	3.1	31.7
14	新湯造成温泉槽	1990.07.14	56.2	4.85	3.3	0.90	1.88	2.73	0.05	0.21	19.0	2.0	11.9	0.06	2.6	12.5
15	新湯造成温泉槽から5m 流下	1990.07.14	56.0	5.01	3.4	0.90	1.85	2.33	0.20	0.24	20.0	1.5	81.6	0.05	2.7	20.0
16	新湯造成温泉槽から20m 流下	1990.07.14	55.1	5.01	3.5	0.90	1.83	2.59	0.20	0.23	20.0	2.0	81.6	0.05	3.9	20.0
17	新湯造成温泉槽から40m 流下	1990.07.14	53.1	5.63	3.4	0.90	1.87	2.16	0.18	0.22	25.0	2.4	20.4	0.05	6.6	17.5
18	新湯温泉露天風呂 No.1	1989.05.20	42.7	4.12	2.2	0.60	0.77	0.72	0.84	0.38	17.6	7.0	52.3	0.04	3.3	33.4
19	新湯温泉露天風呂 No.2	1989.05.20	52.0	4.21	2.1	0.56	0.76	0.76	0.89	0.43	20.7	4.4	65.0	0.05	3.2	23.4
20	新湯温泉露天風呂 No.1	1989.06.13	37.7	3.30	2.5	0.68	0.93	0.93	0.90	0.45	20.3	5.0	65.0	0.05	3.2	43.0
21	新湯温泉露天風呂 No.1	1989.06.15	40.5	3.66	2.6	0.74	1.13	1.36	0.49	0.55	18.5	2.6	7.2	0.07	3.8	56.0
22	新湯温泉露天風呂 No.1	1989.09.08	41.8	3.31	2.5	0.63	0.90	1.06	0.62	0.68	19.0	5.2	6.5	0.06	2.9	46.4
23	新湯温泉露天風呂 No.3	1989.09.08	41.3	3.53	2.4	1.80	2.37	4.39	2.15	0.57	49.4	5.6	9.8	0.09	2.7	107
24	新湯温泉露天風呂 No.1	1989.11.08	36.6	3.43	5.0	1.74	2.85	2.31	0.29	0.72	36.2	7.2	7.2	0.11	3.4	64.0
25	新湯温泉露天風呂 No.1	1990.02.05	19.0	3.23	3.3	1.11	1.82	1.73	1.14	0.71	25.2	5.4	6.0	0.08	2.9	90.8
26	新湯温泉露天風呂 No.2	1990.07.14	50.8	5.29	3.4	0.93	1.88	2.26	0.88	0.16	24.0	4.0	53.0	0.05	8.8	15.0
27	造成温泉用沢水	1989.06.15	15.8	4.50	2.0	0.49	0.62	1.06	0.10	0.50	14.1	3.6	0.0	0.06	3.4	11.8
28	造成温泉用沢水	1990.07.14	16.2	6.81	3.7	0.90	2.04	2.40	0.25	0.20	27.6	2.6	0.0	0.05	2.3	5.7

## 新湯温泉環境大気中の硫化水素濃度に対する注意事項

新湯温泉施設は、地形的に窪地に位置している（一般浴室、露天風呂は噴気地帯の直上にあることを常に考えておくべきである）。

噴気地帯で良く見られる現象の一つに噴気孔の位置の移動がある。噴気ガスの量も火山活動の消長や気象条件によって変化することが知られている。特に、雨の降る前の低気圧の襲来や無風状態の時には注意が必要である（二酸化炭素や硫化水素などの空気より重いガスが窪地に溜まり易い）。

噴気ガスの主成分は水（水蒸気）である。水を除いた主成分は、硫化水素（空気の1.17倍重い）と二酸化炭素（空気の1.52倍重い）であり、いずれも空気よりも重い気体である。したがって気象条件によっては硫化水素中毒や酸欠（酸素濃度が18%より低い状態）を引き起こす可能性がある。ちなみに大気中の酸素濃度は約21%である。

高濃度の硫化水素が発生する場所へ来客者が立ち入る可能性のある場所には柵を設け、“硫化水素に注意”の警告の看板の設置、人が居住する場所には常時監視システムなどの設置が望まれ

る。また、硫化水素は銅などを使った電化製品の劣化を引き起こすがあるので常時監視システムのチェック（正常に働いているか）を怠ってはならない（露木ほか、1990）。

1919（大正8）年から2015（平成27）年までに国内で起った噴気ガス等による事故の例をまとめて表4に示す。これらの中には硫化水素によるものだけでなく、二酸化硫黄や二酸化炭素による酸素欠乏が関与したと考えられるものもある。

## 地熱資源の有効活用と保護

近年、大型の温泉施設などが建設され、自然に湧出する温泉水だけでは湯量不足を生じている温泉地がある。その解決策としては地下にボーリング（掘削）をし、噴出する噴気ガスを真水に吹き込んでつくる「造成温泉」が広く用いられている。この際に、ボーリング孔から噴出する噴気ガスの化学組成は地域的な特徴がある。

100℃前後の噴気ガス中の主成分は、水蒸気（H<sub>2</sub>O）（約98%）である。水蒸気は冷やされて液体の水（H<sub>2</sub>O）になり、残ったガスの約2%中には二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）、硫化水素（H<sub>2</sub>S）、窒素（N<sub>2</sub>）などが含まれている（図8参照）。

表4. 火山・温泉地域で発生した噴気ガス等による中毒事故例。

発生日月	場 所	事故の内容
1919（大正08）年07月06日	那須温泉（栃木県）	殺生石付近で3名が中毒、うち2名が死亡
1921（大正10）年11月26日	那須温泉（栃木県）	中毒死事故が発生
1951（昭和26）年11月05日	箱根湯乃花沢（神奈川県）	男子2名が露天風呂で中毒死
1952（昭和27）年03月27日	箱根湯乃花沢（神奈川県）	女子1名が浴室内で死亡
1958（昭和33）年	大雪山旧火孔（北海道）	温泉からの硫化水素ガスで2名が倒れた
1960（昭和35）年	大雪山	温泉からの硫化水素ガスで2名が倒れた
1967（昭和42）年11月04日	立山地獄谷（富山県）	男子2名がキャンプ中に中毒死
1969（昭和44）年08月25日	鳴子温泉（宮城県）	自宅浴場にて女子1名が死亡
1970（昭和45）年04月下旬	立山地獄谷（富山県）	山小屋の作業員1名が死亡
1971（昭和46）年12月27日	草津白根山（群馬県）	振り沢スキー場で6名が死亡
1972（昭和47）年10月02日	箱根大涌谷（神奈川県）	工事用の穴で作業員3名が倒れ、1名が死亡
1972（昭和47）年10月28日	那須湯本（栃木県）	入浴中の男子1名が死亡
1973（昭和48）年02月10日	草津白根（群馬県）	1名が雪洞内に転落し手当てを受けた
1976（昭和51）年08月04日	草津白根（群馬県）	登山中の女子高生2名、引率者1名が死亡
1985（昭和60）年07月22日	立山地獄谷（富山県）	露天風呂の湯穴で1名が死亡
1986（昭和61）年05月08日	玉川温泉（秋田県）	叫沢付近の沢で1名が死亡
1989（平成元）年03月26日	新湯温泉（鹿児島県）	治療泉脱衣場で母子2名が死亡
1997（平成09）年07月14日	八甲田山（青森県）	自衛隊訓練中3名が死亡、CO <sub>2</sub> 、酸欠か？
1997（平成09）年10月15日	安達太良山（福島県）	女性理容師4名が死亡
1997（平成09）年11月23日	阿蘇中岳（熊本県）	観光客1名が死亡、1名重体
2005（平成17）年12月29日	泥湯温泉（秋田県）	父母・子2名死亡
2015（平成27）年03月18日	乳頭温泉（秋田県）	作業員2名、市職員1名が死亡

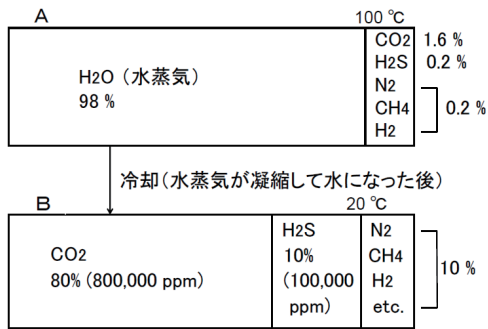


図8. 噴気ガスの水蒸気凝縮による非凝縮ガス濃縮の概念図。

また、200℃を超える噴気ガス中には二酸化硫黄 (SO<sub>2</sub>) が含まれることが多い (小沢, 1965)。

二酸化炭素, 硫化水素, 窒素などは噴気ガス (水を除く) の常在成分であり, 硫化水素と二酸化硫黄は有毒ガスとして知られている。二酸化硫黄は濃度が高くなると喉を強く刺激するので感知され易いため事故例は少ないが, 喘息などの疾患をもつ人には注意が必要である。

一方, 硫化水素は濃度が低い場合は卵が腐ったような臭気のある無色の気体であるが, 濃度が高くなると嗅覚麻痺などの症状が現れ, 濃度の高低を感知することはできなくなる致死性の有毒ガスである。硫化水素による中毒事故は私達が忘れかけた頃に発生している。

我が国の硫化水素による中毒死事故の例は, 秋田県の乳頭温泉・泥湯温泉, 鹿児島県の新湯温泉など約20例が報告されている。私達は過去の事故例 (地質調査所, 1998) から学ばなければならないことがある。

地下から自然に噴出する噴気ガス, ボーリングによる噴気ガス中の水蒸気が凝縮して液体の水になると, 硫化水素などの濃度の濃縮 (約50倍) が起こる。その濃縮機構の概略は図8に示す。

再度繰り返しになるが, 硫化水素は空気に比べ1.2倍重い。特に無風状態で低気圧下の気象状況では, 噴出した硫化水素は低い窪地に流れ込み, 事故に繋がっているケースが多い。泥湯温泉では雪解けの窪地に溜まった高濃度の硫化水素を吸い込んだための事故であった。

このような事故を防ぐには硫化水素が噴出している場所に人が立ち入らない柵を設け, 有毒ガスの危険性を警告する。また, 硫化水素が噴出する場所で作業する人には, 防毒マスクの着用や検知器 (測定器) の携行を義務付け, 安全管理を周知徹底する必要がある。

旅館やホテルの浴用, ハウス園芸, 養魚, 福利厚生施設, 健康維持施設などへの温泉の利用の増加などで, 一部の地域では温泉資源の枯渇が懸念される地域がある。地熱開発に伴う温泉資源の活用と保護をどのように調和させていくかは今後の重要な課題である (坂元, 2015)。

また, エネルギー不足が叫ばれる昨今, 高温の温泉 (50℃以上) の排熱やボーリングによる蒸気を利用した発電・農業や施設冷暖房などへの積極的な活用が行われようとしている。

私達は, 地熱エネルギーを有限な資源と捉え, 環境安全に配慮し, 21世紀の人々に役立つ有効活用の進展を願っている。

## ■ 謝辞

本研究を行うに当たり, 鹿児島大学の (故) 鎌田政明博士・大西富雄博士, 東京工業大学の (故) 小坂丈予博士・(故) 小沢竹二郎博士には終始ご教示をいただいた。現地調査では新湯温泉 国民宿舎新燃荘の (故) 岩元静夫・岩元宗孝氏には多大なお世話になった。心より深謝する。また, 噴気ガスならびに温泉の採取, 分析等では鹿児島大学理学部化学科の有留雅人・黒木俊幸・満窪文彦・吉田陽一・斜木一樹学士には, 多大なご協力を得た。ここに記して, お礼を申し上げる。

## ■ 引用文献

- 地質調査所. 1998. わが国の火山ガスの実態及び火山ガス事故の状況調査報告, 地質調査所研究資料集, 1-344.
- 鎌田政明・坂元隼雄・坂元隆己. 1986. 桜島持木足投海岸温泉ガス微量成分の変化と火山活動, 第5回桜島火山の集中総合観測, 97-102.
- 平林順一. 1982. 桜島火山の地球化学, 火山, 第2集, 27, 293-309.
- 大西富雄・鎌田政明. 1977. 桜島持木足投海岸における温泉ガスの化学組成とその推移, 第2回桜島火山の集中総合観測, 88-92.



- 大西富雄・鎌田政明. 1981. 火山ガス中の残留ガス微量成分の定量, 日本化学雑誌, 179-180.
- 大西富雄・鎌田政明. 1982. 持木足投海岸温泉における温泉ガスの化学組成変化と南岳の火山活動, 第4回桜島火山の集中総合観測, 81-90.
- 小沢竹二郎. 1965. 火山ガス. 火山, 第2集, 10周年特集号, 10, 221-232.
- 坂元隼雄. 1989. 持木足投海岸温泉ガスの化学組成変化と桜島火山南岳の活動, 第7回桜島火山の集中総合観測, 81-87.
- 坂元隼雄. 2015. 地熱資源の有効活用と保護, 温泉科学, 65, 1.
- 露木利貞・黒川達爾雄・坂元隼雄. 1990. 温泉の地球化学的考察, 鹿児島県の温泉, 霧島火山地域の温泉 (その1), 45-67.