

# 口永良部島の火山ガスと温泉

東京工業大学火山流体研究センター

平林 順一・野上 健治

鈴木 隆・水橋 正英

## 1. はじめに

口永良部島は 1980 年に山頂で割れ目噴火が発生し、以後 1996 年、1999 年～2000 年に地震の群発が観測されているが(井口ほか, 2001)<sup>1)</sup>、噴火は発生していない。同島には新岳火口縁周辺と古岳火口内に噴気活動があり、島の北側海岸には湯向温泉、寝待温泉、西の湯温泉が湧出している(図 1)。

筆者らは、1980 年の噴火直後に新岳山頂火口東側に開口した割れ目での火山ガス、海岸の温泉、噴出火山灰などを採取し、その化学的特性から 1980 噴火は高温の火山ガスが関与した水蒸気爆発であるとした。また、温泉は雨水、海水、火山ガス凝縮水などの混合であると説明した(平林ほか, 1981)<sup>2)</sup>。

その後 1992 年および 1998 年に新岳火口縁の火山ガスおよび海岸に湧出する 3 つの温泉の調査を実施し、その化学的特性と変化については、第 3 回諏訪瀬島集中総合観測報告書にまとめた(平林ほか, 2000)<sup>3)</sup>。

平成 12 年度に実施された口永良部島集中総合観測に参加し、同島の火山ガスおよび温泉

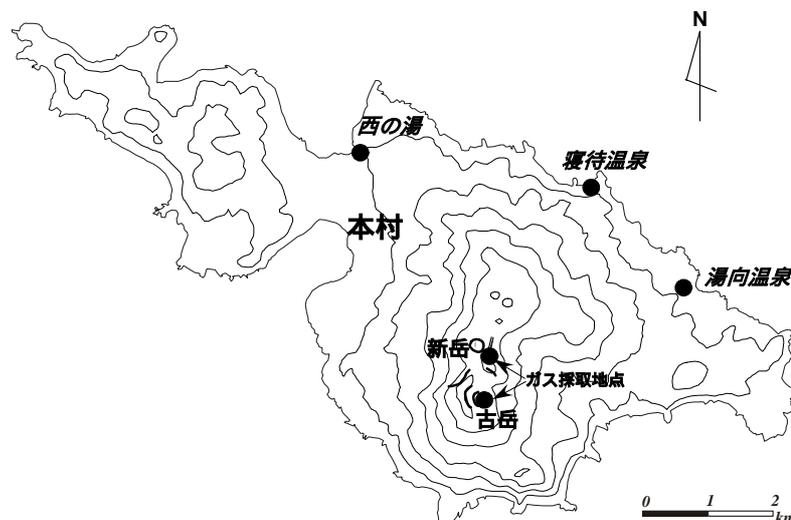


図 1. 口永良部島の火山ガスと温泉の調査地点

水の化学的特性と変化について調査を行った。2000年の調査時にはこれまでと同様に新岳の火山ガスと海岸の温泉の調査を実施し、これに加えて古岳の噴気ガスについても調査を行った。また、これまで調査を繰り返してきた新岳火口東の噴気については、温度の連続観測を開始し、同噴気および古岳火口内の噴気ガスの放出量測定も併せて行った。

## 2. 火山ガス

表1に1980年の噴火直後に、割れ目火口で採取したガスを含め、これまでの各調査時に採取した火山ガスの化学組成を示した。1992年新岳火口東側の噴気ガスの温度は342、335であったが、1998年は噴気圧力が弱く、温度も150、145と約200低下していた。2000年の調査時には、さらに温度が低下し、103と2年間に約50低下した。気象庁の測定によれば、同噴気ガスの温度は、1975年には276、1990年には280（気象庁1976<sup>4)</sup>、福岡管区気象台、1991<sup>5)</sup>）、1996年には160であった（福岡管区気象台、1997<sup>6)</sup>）。

火山ガス成分の反応( $\text{SO}_2 + 3\text{H}_2 = \text{H}_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$ )から求めた見かけの平衡温度(AET)は、1992年には約400であったが、1998年の最高AETは350に低下し、2000年のAETは、266と更に約90低下していた(図2)。これらの観測結果から、同噴気ガスの温度は少なくとも1996年には200以下となり、最近まで温度低下が継続している。

2000年の火山ガスの化学組成は、水蒸気が99%と主成分で、水蒸気を除いたdry gasではHClが0.3%、 $\text{SO}_2$ が2.1%、 $\text{H}_2\text{S}$ が16%、 $\text{CO}_2$ が80%の組成であった。また、アルカリに吸収されないR-ガスは、 $\text{N}_2$ が主成分で93%含まれる。その他の成分では $\text{H}_2$ が3.5%、 $\text{CH}_4$ が2.1%、Arが1.3%であった。これらガス組成を1998年調査時の結果と較べてみると、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$ が増加しHCl、 $\text{SO}_2$ が激減し、また $\text{H}_2$ 濃度も低下している。火山活動の指標となる火山ガスのHClとイオウガス( $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{S}$ )の比は1992年の0.17に較べ、1998年の値は0.27、0.48と大きくなったが、2000年の値は0.02と著しく小さくなった。また、 $\text{SO}_2$ と $\text{H}_2\text{S}$ 比は1992年の値2に比べ、1998年が0.5と著しく小さくなったが、2000年の値は更に小さく0.13であった(図3)。また、2000年のR-ガス中の $\text{H}_2$ 濃度は1992年、1998年に較べ低くなっている。

古岳火口内の噴気ガスの最高温度は113であり、新岳火口東の噴気温度より高い。同噴気ガスは $\text{H}_2\text{O}$ が96%、Dry gasはHClが1.7%、 $\text{SO}_2$ が7.1%、 $\text{H}_2\text{S}$ が3.2%、 $\text{CO}_2$ が87%の組成で、 $\text{H}_2\text{O}$ は新岳噴気に比べ若干少なく、逆にHCl、 $\text{SO}_2$ 濃度は高い(Dry gas base)。また、Rガス中の $\text{H}_2$ 濃度は0.6%と新岳噴気に比べて低い。

表1. 口永良部島の火山ガス組成

場所	Date	Temp	AET	H <sub>2</sub> O V%	Composition of gases exclusive of water						Composition of R-gas				
					HF	HCl	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CO <sub>2</sub>	R	He	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	Ar
割目 新岳	Oct.16, '80	97.2				0.01	40.5	0.2	59.3						
	Apr.28, '92	335	410	96.7	0.57	9.1	35.9	17.5	36.5	0.37	--	41.4	58.0	0.635	0.04
	"	342	387	96.7	0.59	9.0	36.8	16.5	36.8	0.34	--	28.2	71.3	0.497	
	Nov.30, '98	150.4	217	99.06		8.88	11.9	21.4	57.6	0.24	0	3.52	95.4	0.147	0.774
		145.1	349	99.07		14.3	10.7	19.3	54.8	0.85	0	37.5	61.8	0.114	0.572
古岳	Dec.08, '00	103	266	98.76		0.33	2.10	16.36	80.07	1.14	0	3.49	93.05	2.15	1.30
	Dec.08, '00	113	314	96.22		1.71	7.11	3.16	86.58	1.44	0	0.64	99.0	0	0.332

表4. 口永良部島の温泉水の化学組成

試料	Date	Temp.	pH	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	Cl	SO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>
湯向	Oct., '80	39.5	5	388	72.1	99	10.6	0.1	0	1	870	195	85
	Apr., '92	42	4.4	628	153	239	30.1	--	22.5	3.1	1457	280	56.4
	Nov., '98	39.9	4.5	513	132	165	19.9	--	--	--	1250	232	60.3
	Dec.'00	42.9	4.7	638	145	210	22.2	0	0	3.1*	1260	327	126
寝待	Oct., '80	45.2	6	1650	209	322	138	41.4	0.3	6.9	3040	755	57
	Apr., '92	45	2.8	940	218	314	41.2	--	--	6	2515	298	54.8
	Nov., '98	49.6	2.5	955	225	319	55	--	--	5.4	2389	673	50.6
	Dec.'00	50	2.6	942	224	308	46.3	0.2	7.5	5.8*	1900	769	88.4
西の湯	Oct., '80	58.5	5.9	1740	140	196	24.9	3.7	0.5	0.9	1940	341	167
	Apr., '92	61	7.8	1118	178	222	41.2	--	17.4	0	2515	293	54.8
	Nov., '98	63.2	5.8	1049	170	230	31.9	--	--	1.3	2289	263	86.3
	Dec.'00	60.8	6.6	965	147	197	23.7	0.8	0	1.4*	1806	267	195

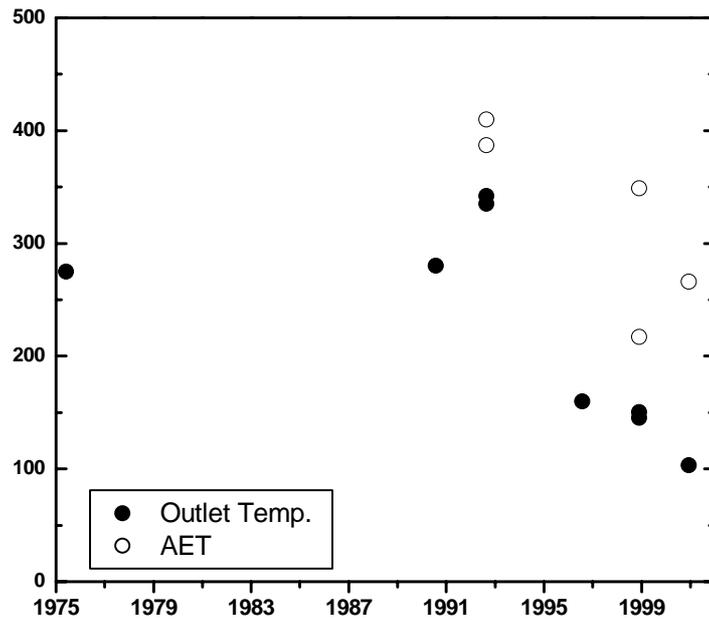


図 2. 口永良部島新岳の噴気温度と見かけの平衡温度(AET)

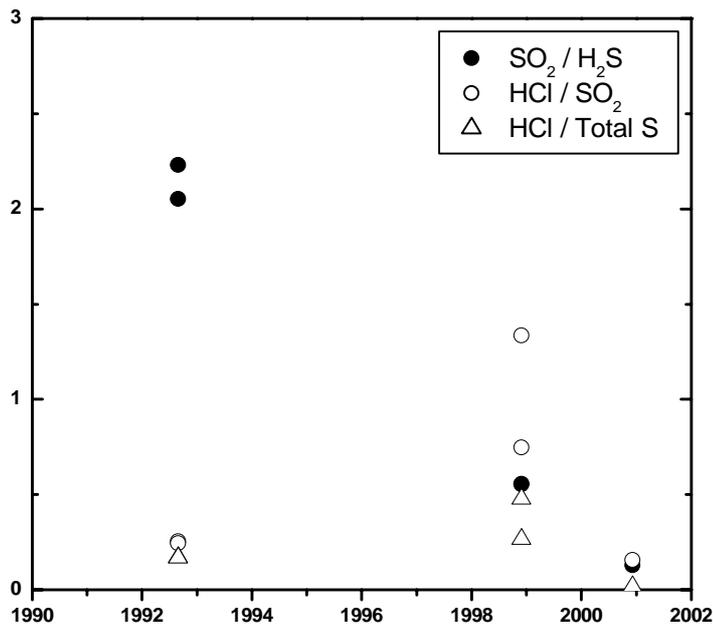


図 3. 口永良部島新岳の噴気ガスの HCl / Total S 比, HCl/SO<sub>2</sub> 比, SO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S 比

### 3. 火山ガス放出量

新岳火口東噴気および古岳火口中からの噴気孔ガス放出量(水の放出量)をピトー管と差圧計を用いて測定した。測定方法は、噴気孔に石英ガラス製ピトー管を挿入し、これに差圧計 MKS-223BD(1Torr または 10Torr)を接続して、全圧と静圧の差を LS-3300(20M)で収録した。サンプリング間隔は 1 秒で 30 秒間測定した。流速の算出に必要な噴気の密度は、噴気温度と測

表 2. ピトー管を用いた火山ガス(水蒸気)放出量測定結果

Locality	Date	Temp.	Velocity m/s	噴気孔面積 m <sup>2</sup>	水蒸気放出量 ton/day
新岳	2000/12/8	98.2	11.3	0.0045	0.24
古岳 I	"	100.2	13.1	0.0037	2.31
古岳 II	"	114.6	37.2	0.0019	0.83

表 3. 古岳火口内の噴気ガス(水蒸気)放出量

噴気 No.	水蒸気放出量 ton/day	噴気 No.	水蒸気放出量 ton/day
1	1.20	9	2.68
2	1.22	10*	0.83
3*	2.31	11	0.62
4	0.94	12	3.85
5	1.06	13	4.51
6	0.82	14	1.17
7	1.06	15	2.02
8	3.61	16	1.82
合 計			29.72

定時の気圧における飽和水蒸気密度を用いた。また、噴気孔内の流速分布は一様ではないため、噴気出口の径が大きい噴気孔においては噴気孔内の数点で流速測定を行い、その平均値から流速を求めた。径が小さい噴気孔では、中心の最も流速の早い点で測定を行い、次の関係式(湯原・瀬野, 1969)<sup>7)</sup>から流速を求めた。

$$V_{ave}=0.77V_{max}$$

ただし、 $V_{ave}$  は噴気孔内の火山ガス平均流速、 $V_{max}$  は最大流速である。噴気放出量は、求めた流速と測定した噴気出口の径および密度から算出した。

古岳火口内には噴気孔が多数存在し、すべての噴気孔で放出量を測定することが困難であったため、代表的な噴気孔 2 点において流速の測定を行った。他の噴気孔については、等距離(4.4m)で写真撮影を行い、放出量測定を行った 2 ヶ所の噴気孔の火山ガス放出状況と比較し、写真解析によって放出量を求めた。

ピトー管を用いた火山ガス放出量の測定結果を表 2 に示した。古岳 I 噴気孔では噴気孔内の 3 点で流速を測定した。また、写真解析による古岳噴気地帯の火山ガス放出量を表 3 に示した。表 3 の 3\* および 10\* はピトー管を用いた放出量測定を行った噴気孔である。測定の結果、口永良部島火山から放出される火山ガス量(水蒸気量)は約 30 ton/day と求められ、桜島火山の定常的な噴煙活動による放出量 10,000 ~ 20,000 ton/day(Hirabayashi et al., 1986)<sup>8)</sup>に比べて 1/500 程度である。また、草津白根山全体から放出される火山ガス量(鈴木ほか, 2000)<sup>9)</sup>の約 1/7 である。

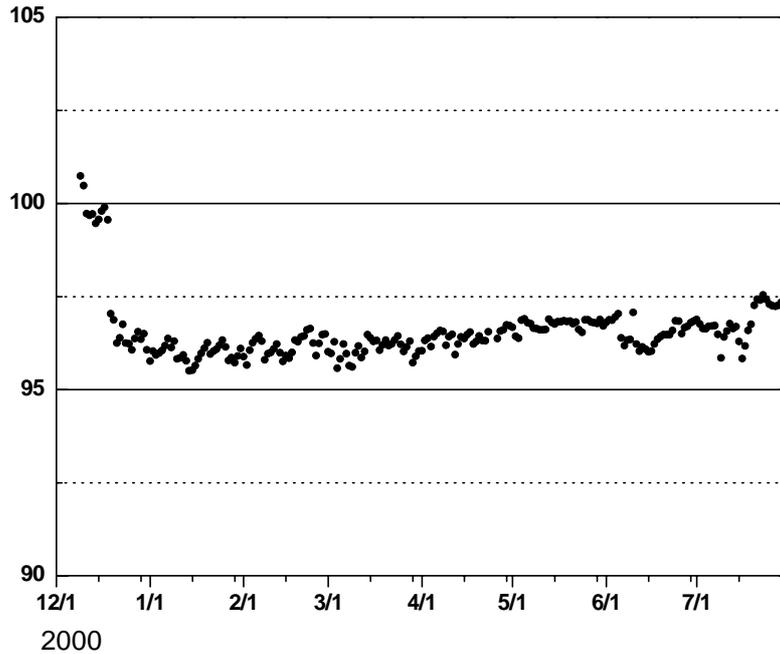


図 4. 新岳火口東噴気の日平均温度変化

#### 4. 噴気温度の連続観測

新岳火口東噴気の温度の連続観測を 2000 年 12 月から開始した。測定は、センサーに熱伝対を用い、測定周期は 1 時間で行った。センサーは、噴気孔横の地中に 40cm 挿入した。データは、オーブコム衛星を介し、インターネットで受信するシステムを用いた。観測開始からの 2001 年 8 月までの日平均温度を図 4 に示した。

噴気温度は、観測開始直後 100 を超えていたが、12 月中旬にはセンサー挿入部に亀裂が形成され、温度は約 4 低下し 96 となった。その後 2 月から気温上昇に伴って徐々に温度上昇し、8 月初旬には 97.5 となった。この間、火山活動を反映した温度変化は観測されていない。

#### 5. 温泉

口永良部島の北海岸には東から湯向温泉、寝待温泉、西の湯温泉が点在する。表 4 に温泉水の化学組成および酸素・水素同位体組成を示した。水温は西の湯温泉が最も高く 61 で、寝待温泉が 50、湯向温泉が 43 で、1998 年の調査時の温度と大きな差はない。温泉の pH は、寝待温泉が 3 以下で酸性泉、湯向温泉が 4.5 で弱酸性泉、西の湯温泉は 6 で中性泉である。溶存成分の特長は、いずれも Cl<sup>-</sup>濃度が 1,000mg/l を超え、Na<sup>+</sup>イオンとの比は海水組成に

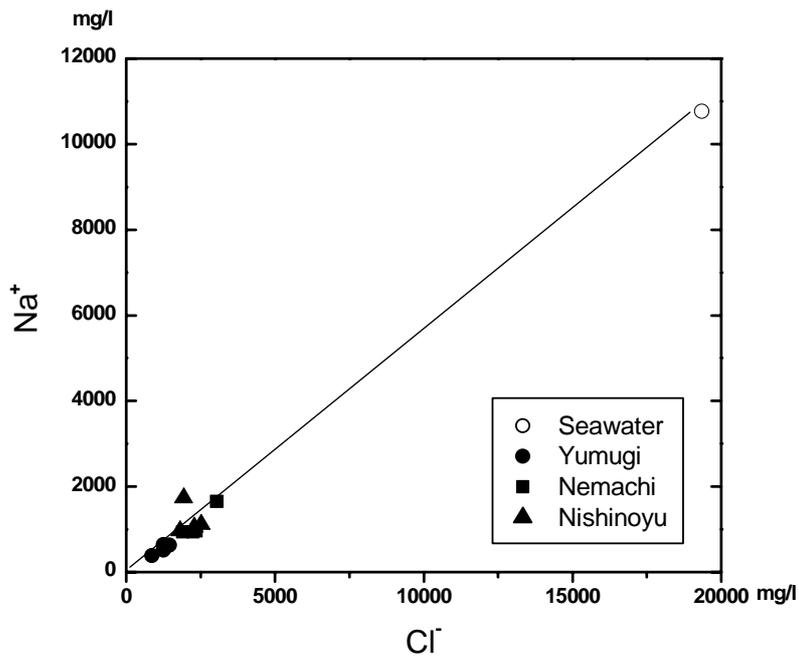


図5. 口永良部島に湧出する温泉水のNa<sup>+</sup>とCl<sup>-</sup>の関係  
○:海水, ●:湯向温泉, ■:寝待温泉, ▲:西の湯温泉

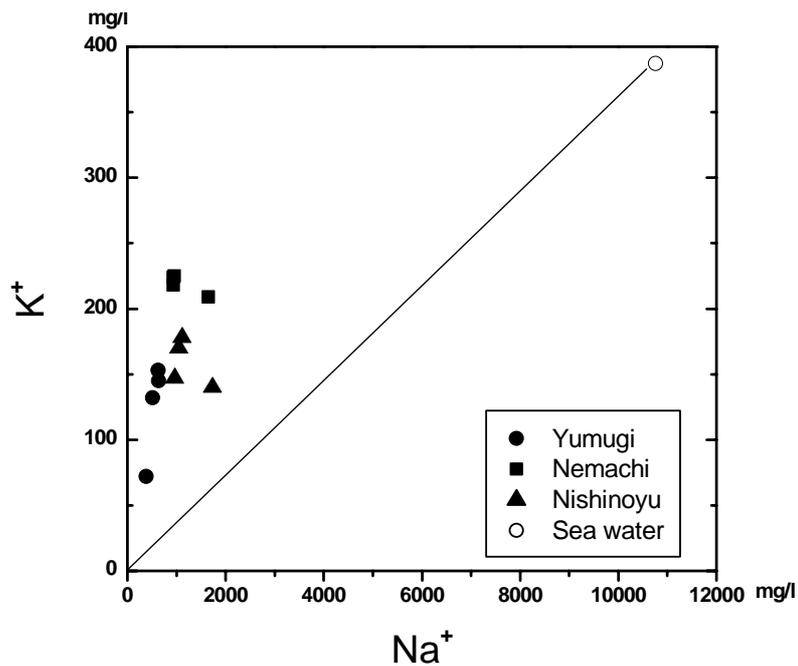


図6. 口永良部島に湧出する温泉水のK<sup>+</sup>とNa<sup>+</sup>の関係  
○:海水, ●:湯向温泉, ■:寝待温泉, ▲:西の湯温泉

近く、いずれの温泉も海水の影響を受けている(図5)。しかし、K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>比は海水のそれと較べ高く、単なる海水の混入ではなく、温泉に混入する海水は岩石との相互作用を受けたものと言える(図6)。また、Ca<sup>2+</sup>とMg<sup>2+</sup>の比も海水に較べ著しく高いことも海水と岩石との相互作用を示唆している。しかし、Ca<sup>2+</sup>とSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の関係は、いずれの温泉水も海水組成から大きくはずれ、特に湯向温泉で顕著であるが、石膏(Gypsum)の組成に近く、水中のCa<sup>2+</sup>は岩石との相互作用を受けた海

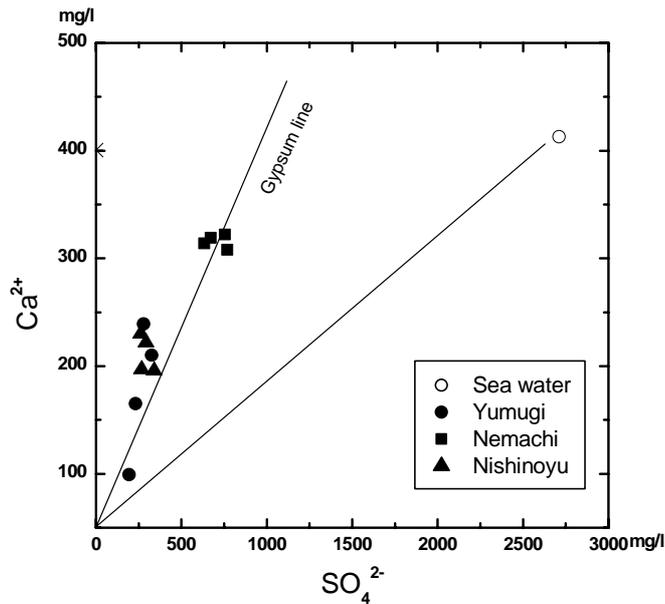


図 7. 口永良部島に湧出する温泉水の  $\text{Ca}^{2+}$  と  $\text{SO}_4^{2-}$  の関係  
○: 海水, ●: 湯向温泉, ■: 寝待温泉, ▲: 西の湯温泉

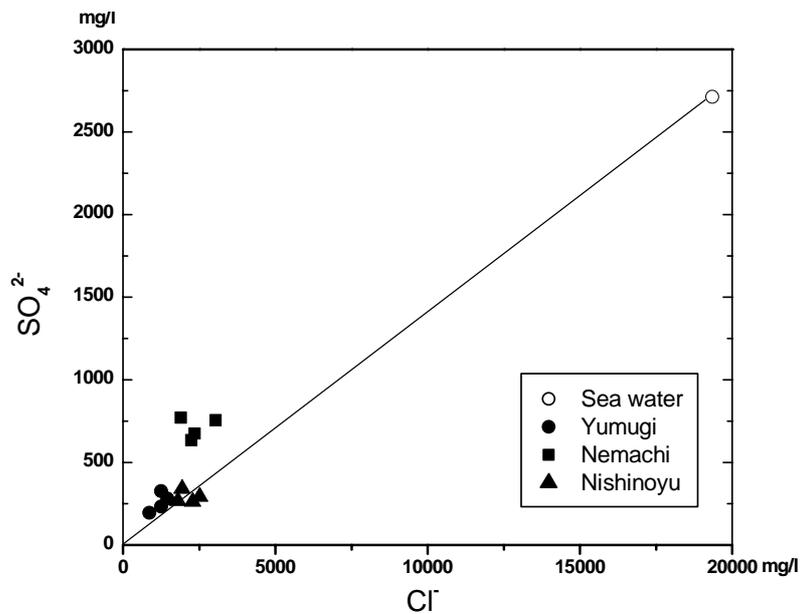


図 8. 口永良部島に湧出する温泉水の  $\text{SO}_4^{2-}$  と  $\text{Cl}^-$  の関係  
○: 海水, ●: 湯向温泉, ■: 寝待温泉, ▲: 西の湯温泉

水の影響と石膏の寄与があると考えられる(図 7)。図 8 に示されているように、 $\text{Cl}^-$  と  $\text{SO}_4^{2-}$  比は、寝待温泉のみが海水組成から大きくずれ、 $\text{SO}_4^{2-}$  に富んでいる。このことと同温泉の pH が 3 以下であること、温泉に若干の  $\text{H}_2\text{S}$  が含まれていること、湧出地点が新岳に近い北海岸であることなどを考慮すると、寝待温泉は、他の温泉に較べて火山ガス凝縮水(火山性熱水)の影響を大きく受けているとともに、海水の寄与も大きい。

これら温泉水の各溶存成分濃度は、混合する海水の割合が若干異なるために、例えば Na, Cl などの濃度に違いが見られるものもあるが、1998 年調査時の結果と大きくは変わっていない。

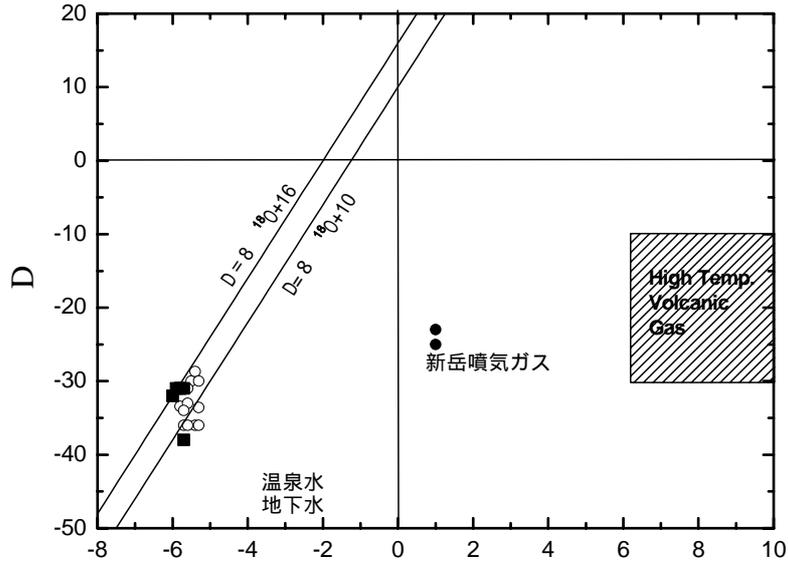


図 9. 温泉水および火山ガス凝縮水の酸素・水素同位体比

温泉水の酸素・水素同位体比は， D が-30 ~ -31 ‰，  $^{18}\text{O}$  が-5.3 ~ -5.6 ‰で，1980 年，1992 年，1998 年の値と較べると，水素同位体比が若干重くなっている。温泉水の水の多くは天水起源と考えられるが，岩石と相互作用を受けた海水や火山ガス凝縮水の影響も若干受けている(図 9)。

#### 謝 辞

今回，口永良部島集中総合観測の一環として火山ガス・温泉の調査を行うにあたり，計画を総括され，調査に関しいろいろご便宜を賜りました京都大学防災研究所火山活動研究センター石原和弘教授，井口正人助教授に感謝申し上げます。

#### 参 考 文 献

- 1) 井口正人・山本圭吾・高山鐵朗・前川徳光・西村太志・橋野弘憲・八木原 寛・平野舟一郎 (2001):口永良部島火山における火山性地震の特性. 京大防災研年報, 44, B-1, 317-326.
- 2) 平林 順一・小坂 丈予・酒井 均(1981):口之永良部島火山および温泉の地球化学. 1981 年度日本地球化学会年会講演要旨, 43.
- 3) 平林順一・大場 武・野上健治(2000):口永良部島および中ノ島の火山ガスと温泉. 第3回 諏訪瀬島火山集中総合観測報告書(代表 石原和弘), 95-104.
- 4) 気象庁(1976):口之永良部島. 火山機動観測実施報告, 12 号, 11-27.
- 5) 福岡管区気象台(1991):口之永良部島. 九州地域火山機動観測実施報告, 12, 1-13.

- 6) 福岡管区気象台(1997):口之永良部島.九州地域火山機動観測実施報告, 12, 1-23.
- 7) 湯原浩三・瀬野錦蔵(1969):温泉学. 地人書館.
- 8) Hirabayashi, J., Ohsaka, J. and Ozawa, T. (1986) : Geochemical Study on Volcanic Gases at Sakurajima Volcano, Japan. J. Geophysical Res., 91, B12, pp.12,167-12,176.
- 9) 鈴木 隆・平林順一・大場 武・野上健治・鍵山恒臣(2000):草津白根山における火山ガスの放出量. 日本火山学会 2000 年秋季大会講演予稿集, 102.

(Received on January 10, 2002)