

草津白根山から放出される揮発性成分量

平林 順一・水橋 正英

東京工業大学 火山流体研究センター

The discharge rate of volatiles from Kusatu-Shirane volcano, Japan

J. Hirabayashi, and S. Mizuhashi

Tokyo Institute of Technology, Volcanic Fluid Research Center

1. はじめに

群馬県北西部に位置する草津白根山山頂には、湖底から火山ガスおよび熱水が噴出している強酸性の火口湖「湯釜」があり、山頂周辺には活発な噴気活動や高温で強酸性の温泉活動が存在する。特に、東麓の草津温泉の活動は、少なくとも 800 年以上継続している。このように、熱水系が発達した草津白根山では、マグマからの揮発性物質は噴気ガス、温泉水、河川水、土壌ガスなど多様な形態で放出されている。

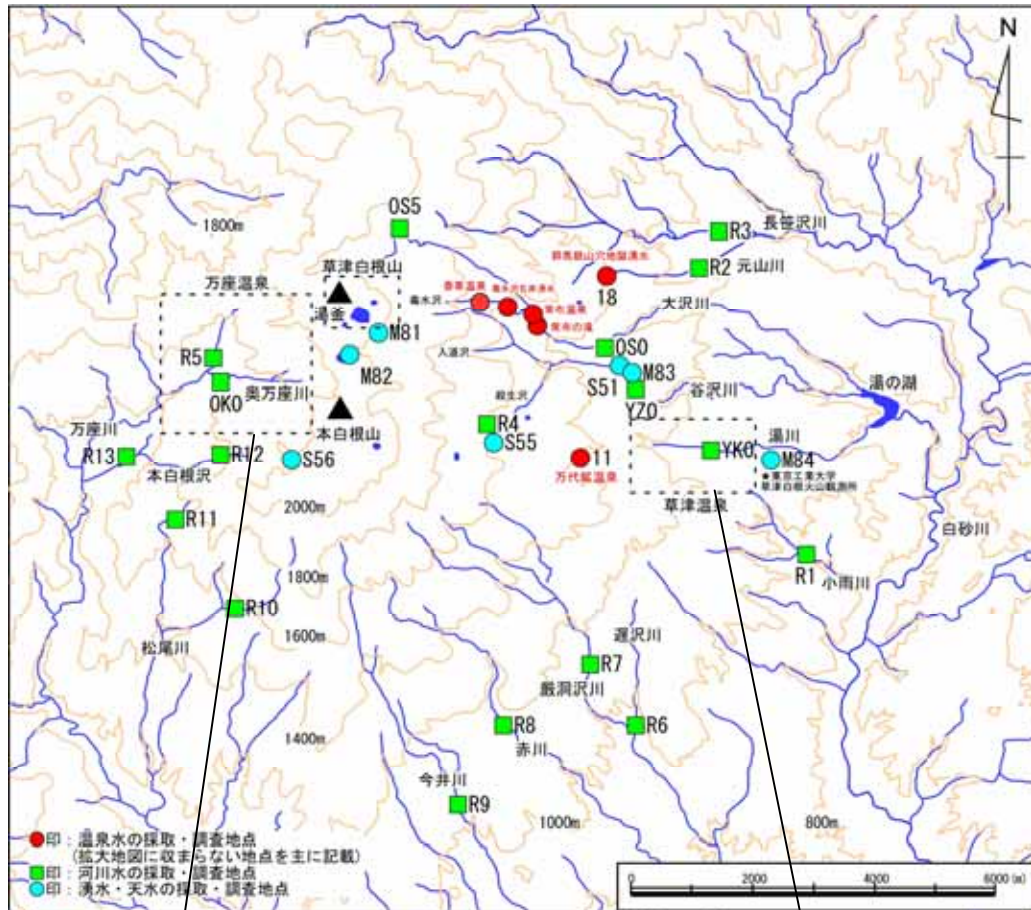
揮発性物質放出量を正確に見積もることは、熱水系の構造や火山活動の消長を考える上で非常に重要である。これまで、火山ガスとして放出される揮発性物質質量（鈴木，2000，2002）、温泉水として放出される揮発性物質質量（水橋，2002）、また山頂域の地表面から放出される二酸化炭素量（齋藤，2004）などが明らかにされている。

草津白根山周辺の温泉は、地中に浸透した雨水が、多孔質の殺生溶岩を透水層とし、その下に伏在する緻密質な青葉溶岩を不透水層として、伏流水として東方へ流下する過程で、中腹の殺生河原噴気地帯を通過する際に、マグマからの火山ガスと接触し、熱と化学成分を与えられて高温で強酸性の温泉水として湧出すると言われてきた（倉沢・角田，1985）。最近の研究では、マグマから上昇した火山ガスが地下浅所で地下水と接触・凝縮した後、気液分離し、その高温で強酸性の液相部分が流下する過程で地下水の付加、周辺岩石との中和反応、火山ガスとの再接触などを経て湧出すると考えられている（平林，1999，大場ほか，2000，Ohwada，2003）。一般的に、火山ガス成分のうち、HClは水に溶解し塩化物イオンに、SO₂は自己酸化還元反応で硫酸イオンとなる。したがって、温泉水や河川水に溶存する化学成分のうち、塩化物イオン（Cl⁻）と硫酸イオン（SO₄²⁻）はマグマ由来のHClとSO₂起源と考えることができる。本報告では、草津白根山から温泉水および河川水として放出されるCl⁻とSO₄²⁻の放出量についてまとめた。

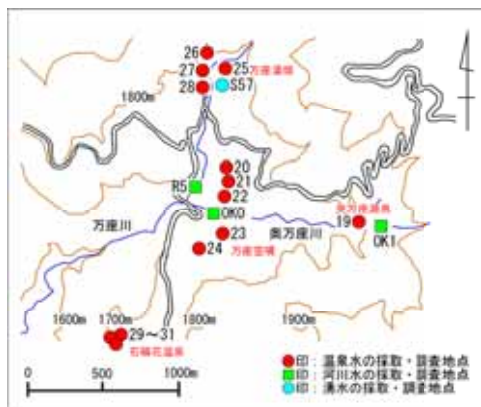
2. 調査地点

第1図に調査した草津白根山一帯で調査した温泉および河川を示し,第2a図に西麓の万座温泉地区の拡大を,第2b図に東麓の草津温泉地域の拡大を示した.

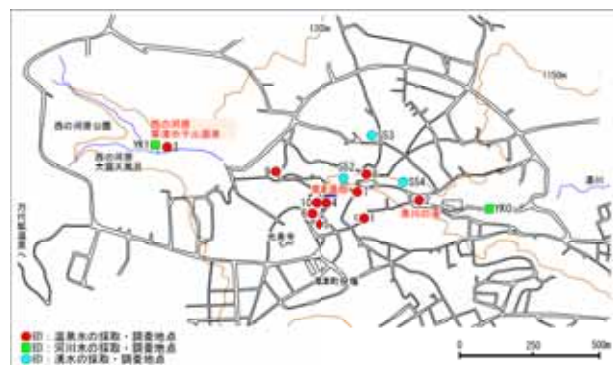
草津白根山東山麓には,香草温泉,常布温泉,万代鉦温泉,草津温泉,群馬鉄山温泉など多くの酸性温泉が点在する.香草温泉は,山頂の東約2kmに位置し,毒水沢の河岸数ヶ所から湧出している.香草温泉から約1.3km方の大沢川と毒水沢の合流地点近くには常布温泉があり,河



第1図 草津白根山周辺の温泉および河川



第2a図 西麓の万座地域拡大図



第2b図 東麓の草津温泉地域拡大図

岸から少量の温泉が湧出し、そのやや下流に常布の滝がある。香草温泉から常布温泉間の河岸および常布の滝周辺数ヶ所からも酸性の湧水が滲み出している。草津温泉は、山頂の南東約 7 km、標高 1100 ~ 1200 m に位置し、草津湯畑を中心にその上流の西の河原から下流の煮川の湯に至る東西約 1 km の範囲に十数ヶ所の源泉が分布している。草津温泉の西方約 2 km は、草津白根山周辺で最も湧出量が多く、高温で強酸性の万代鉱温泉がある。また、山頂から約 4 km 東方には、かつて沈殿褐鉄鉱床を作った群馬鉄山穴地獄湧水がある。一方、山頂から 2 km 西麓の万座地域には、万座湯畑温泉、万座空噴温泉、奥万座温泉、橋温泉などが存在する。このほか、山頂の北側斜面には、噴気ガスとともに湧出する小規模な温泉がある。

草津白根山周辺の多くの酸性河川は、大きく白砂川水系、万座川水系、白根山南麓水系の 3 つに大別され、いずれも最終的に吾妻川に流入する。白砂川水系は、草津白根山東麓斜面を流下する長笹川、大沢川とその支流の毒水沢、谷沢川とその支流の入道沢、殺生沢ならびに湯川、小雨川などで構成されている。このうち、大沢川は芳ヶ平付近を源流として南東方に流下し、常布の滝の手前で南側から毒水沢と合流する。毒水沢は湯釜、水釜の東側付近に端を発し、途中、香草温泉の温泉水が流れ込んでいる。また、この合流地点付近で、常布温泉の温泉水が河川に流れ込んでいる。谷沢川は草津白根山山頂直下の庄右衛門の滝を源流とし、入道沢、殺生河原をそれぞれ源頭とする支流が合流した河川である。湯川は天狗山山麓に端を発し、万代鉱温泉、湯畑などの草津町内の諸源泉に加えて、町内の廃湯が流れ込んでいる。これら東側の 3 河川は石灰中和され、湯の湖を経由して白砂川に流れ込んでいる。

草津白根山西麓および西南麓を流下する万座川は大苦湯沢、奥万座川、白根沢、松尾川などが合流し、万座川水系を形成している。万座川は万座湯畑をはじめ各源泉の影響を受けた水質を示している。奥万座川は上流域の硫化水素を大量に含む奥万座源泉、万座空噴およびこの付近に分布する噴気孔の影響を受けた河川である。

草津白根山南麓に端を発する白根山南麓水系の遅沢川、赤川、今井川などは直接吾妻川に流入する河川で、遅沢川は支流として巖洞沢川を、またその支流として赤仁田沢を持つ。これらの河川は流域に存在する白根硫黄鉱山廃坑の坑内水の影響を受けているものが多いが、自然湧出する温泉水の流入はなく、草津白根山の火山活動の直接的な影響は少ない。

3. 温泉水、河川水の流量測定法および化学組成の分析法

3.1 流量測定法

温泉・湧水の流出量の測定は、主に一定容積の柵を満たすのに要する時間を測定し湧出量を算出する柵受法を用いた。2~4 回の測定を行いその平均値をもって湧出量とした。また、河川流量測定は広井電気式流速計を用い、河川の断面を 3~7 に区分し、それぞれの区間の流量を流速と断面積から計算により求めた。河川流量の測定は、河床の状態の悪いところ、水流が急激または緩慢でないところ、逆流、留水などの生じないところを選び、また降雨の影響を考慮し、降雨のあった日の翌日、翌々日を避けた。また、同じ地域の河川については、同じ日に調査を行った。

3.2 温泉水および河川水の化学分析

水温、pH は現地で試料採取時に測定した。また、pH が 2.5 以上の試料については、 Fe^{2+} を定量するために現地で、ジピリジルを用いて固定した。

Na⁺, K⁺は、原子吸光分析法で、Ca²⁺, Mg²⁺, 全鉄, Al³⁺, MnO₂, SiO₂はICP発光分光分析法で、Fe²⁺は、ジピリジル吸光光度法で定量した。また、Cl⁻, SO₄²⁻はイオンクロマトグラフ法で分析した。

湧出量の多い温泉水については、温泉水中に溶存するH₂S濃度を、約 1 の測定チャンパーに一定量の温泉水を入れ、6NHCl溶液を約 5m 加えて温泉水に溶存しているH₂Sをチャンパー内の気相に分離させた後、検知管で濃度を測定して求めた。

4. 結果

草津白根山周辺の温泉水の化学組成、湧出量などを第 1 表に、火山性湧水の化学組成を第 2 表に、天水の化学組成を第 3 表に、河川水の化学組成および流量を第 4 表にそれぞれ示した。草津白根山周辺の温泉水の湧出量は、17,000 /minである。このうち、万代鉱温泉の湧出量は 9,270 /minで全体の約 55 %を占めている。また、これに草津温泉の湧出量を加えると 15,000 /minとなり、両温泉の湧出量は草津白根山周辺の全温泉湧出量の 88 %となる。各温泉の湧出量と化学組成から草津白根山周辺の温泉として放出されるCl⁻量は 16 ton/day, SO₄²⁻量は 34 ton/dayである。万代鉱温泉と草津町内の温泉を合わせた、Cl放出量は 15.4 ton/dayで全体の約 96 %, SO₄²⁻放出量は 30.4 ton/dayで全体の約 89 %を占めている。草津白根山周辺の温泉水中に含まれる硫黄の化学種は、SO₄²⁻が大部分であるが、H₂Sが溶存する源泉もある。主な源泉の温泉水中に溶存H₂S濃度と湧出量から求めたH₂S総放出量は約 0.19 ton/dayと少なく、温泉水として放出される硫黄化学種としてはSO₄²⁻のみとして取り扱っても問題はないと言える。

草津白根山周辺に分布する酸性河川は主に温泉水が流れ込むことによって形成される。しかし、河川の河岸や河床から深部の熱水の影響を受けた地下水が河川へ流入している可能性もあり、2002年8月から9月にかけて、草津白根山一帯の河川の水質および河川流量の測定を行い、温泉水および河川水として放出される揮発性物質質量を見積もった。

草津白根山一帯の河川は、Cl⁻濃度が 25 mg/ 以上の河川と 5 mg/ 以下の河川に大別される。また、半谷、小倉(1995)は、日本の河川の平均的なCl⁻濃度は 5 ~ 10 mg/ 程度であり、それ以上の濃度の河川水は、人的な影響か火山活動の影響を受けていると指摘している。そこで、Cl⁻濃度が 10 mg/ 以上の河川を草津白根山の火山活動の影響を受けた河川とした。それぞれの河川において流量と河川水の化学組成から、草津白根山周辺で河川水として放出されるCl⁻とSO₄²⁻量は、それぞれ約 27 ton/day, 約 70 ton/dayとなり、温泉水として放出されるCl⁻量 16 ton/day, SO₄²⁻量 34 ton/dayに比べて、Cl⁻は約 1.7 倍, SO₄²⁻は 2 倍となる(水橋, 2004)。この結果は、火山活動として放出される揮発性物質質量の見積もりには、温泉水とともに河川水として放出される揮発性成分量は無視できないことを示している。

草津白根山周辺からの温泉水および河川水としてのCl⁻の放出源は、次の 3 カ所に大別される。放出量がかつとも多いのは、万代鉱温泉や草津町内の温泉水が流れ込む湯川で(約 15 ton/day)、次いで草津白根山東麓の大沢川(約 6 ton/day)と元山川(約 4 ton/day)である。本白根山東麓の湯川以外の河川では、河川水として放出されているCl⁻, SO₄²⁻は温泉水のその倍以上に達する。したがって、これらの河川では揮発性物質の放出は温泉水ではなく主に河岸や河床などから流出している地下水の寄与が大きい。また、同一地域で比較した場合、Cl⁻放出量の増加率に比べて

第1表 草津白根山周辺の温泉水の湧出量および化学組成

地点番号	試料名	採取年月日	湧出量 l/min	水温 ℃	pH	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Fe ²⁺ +Fe ³⁺ mg/l	Al ³⁺ mg/l	MnO ₂ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	SiO ₂ mg/l	溶存H ₂ S mg/l
1	地蔵の湯	2001/7/25	286	51.1	2.05	54.4	23.7	70.7	33.3	17.7	48.6	2.9	319	799	180	
	"	2002/8/25		47.8	2.07	53.3	26.1	73.1	34.4	17.4	52.1	3.0	336	849	179	7.2
	"	2003/8/8		50.8	2.06	54.1	26.4	73.6	35.7	20.2	55.2	3.0	330	854	178	5.3
2	煮川の湯	2001/7/25	808	49.4	2.01	50.0	23.3	68.4	31.3	16.7	45.4	2.7	297	757	169	
	"	2002/8/25		50.9	2.09	50.3	24.4	69.3	32.1	16.0	50.0	2.8	304	788	168	6.5
	"	2003/8/8		47.9	2.09	51.6	24.6	69.0	33.0	17.5	52.1	2.8	303	791	171	4.3
3	西の河原・草津ホテル源泉	2001/7/25	130	49.2	1.94	67.5	30.8	79.0	35.7	15.6	63.3	3.0	412	815	171	
4	草津湯畑	2001/7/25	3111	52.9	1.99	58.1	26.2	73.1	34.1	16.7	51.3	2.9	338	798	176	
	"	2002/8/20		53.5	2.05	57.2	27.1	77.8	36.2	16.6	57.7	3.1	364	870	180	6.7
	"	2003/6/7		52.9	1.98	56.5	27.2	77.0	35.6	19.5	57.9	3.0	375	886	172	
	"	2003/8/8		52.8	2.06	58.1	28.5	77.3	36.9	17.6	61.1	3.0	361	861	180	5.3
	"	2003/9/14		52.2	2.07	57.9	22.9	74.0	34.8	17.0	54.0	3.0	360	878	180	5.8
	"	2003/10/24		52.4	2.08	57.3	24.2	75.0	35.8	17.8	57.1	2.9	355	857	188	5.8
5	白旗の湯	2001/7/25	949	52.6	2.00	57.9	26.6	77.1	34.3	16.6	49.4	3.0	346	819	173	
6	草津館・若乃湯	2001/7/25	38	51.9	2.01	58.3	25.8	75.4	34.7	16.6	48.9	2.9	347	821	171	
7	大飯屋源泉	2001/7/25	150	46.8	2.04	49.6	23.3	69.6	30.6	16.1	42.6	2.5	293	746	165	
8	ての字屋・源泉	2001/7/25	8	46.4	2.06	49.1	23.1	67.4	31.5	15.5	42.2	2.6	282	732	162	
9	極楽館	2001/7/25	100	38.9	2.15	38.3	16.9	60.3	23.0	12.8	42.0	1.7	219	579	140	
10	熱の湯	2001/7/25		50.6	1.95	56.9	26.1	78.3	36.0	17.2	50.4	3.0	338	827	168	
11	万代鉱温泉	2001/8/11	9270	94.8	1.51	120	67.9	107	62.7	9.7	67.0	5.4	960	1810	414	
	"	2003/8/4		95.8	1.55	109	66.7	105	60.9	14.2	66.9	5.2	889	1800	436	0.4
	"	2003/9/14		94.7	1.57	108	51.9	101	58.7	11.3	59.8	4.9	978	1760	439	0.4
12	香草温泉8号源泉	2001/8/9	32	63.6	1.12	144	124	288	153	521	681	11.7	3830	5720	259	
13	香草温泉3号源泉	2001/8/9	25	55.7	1.35	114	81.4	239	124	319	409	9.6	2170	3580	220	
14	毒水沢右岸湧水I番	2001/8/9	50	30.4	2.17	77.7	29.9	216	86.8	43.1	254	6.8	816	1400	201	
15	毒水沢右岸湧水	2003/8/7		29.1	1.91	70.9	37.8	193	82.5	105	187	6.7	1050	1660	169	
16	常布温泉	2001/8/14	6	35.1	2.91	95.0	40.4	227	96.1	129	275	7.5	802	1350	200	
	"	2003/8/7		35.6	3.03	91.4	39.1	211	88.1	135	280	6.7	1050	1500	201	
17	常布の滝	2001/10/25	100	24.6	3.20	101	41.7	266	96.3	110	211	7.9	823	1310	178	
18	群馬鉄山穴地獄	2001/7/26	102	28.7	2.66	55.8	31.0	134	51.6	29.2	128	3.5	398	954	140	
19	奥万座源泉	2001/7/27	93	45.6	3.04	35.2	26.6	90.7	17.1	2.0	8.6	1.3	56.5	510	60.7	
	"	2002/8/25		43.2	2.95	26.5	5.0	93.8	17.7	1.4	10.1	1.4	54.1	359	61.9	239
	"	2003/8/4		43.5	3.15	27.1	5.4	94.0	18.0	1.5	11.1	1.4	52.8	360	62.4	235
	"	2003/9/14		43.5	3.11	27.9	4.8	92.9	17.7	1.1	10.1	1.4	61.5	414	64.7	260
20	大苦湯源泉(上)	2001/7/27	24	74.2	2.44	96.9	25.5	51.9	44.5	3.0	15.0	6.4	150	1030	108	
21	大苦湯源泉(中)	2001/7/27	5	61.6	2.54	99.9	25.5	48.3	44.2	2.9	12.4	6.5	141	1040	112	
22	大苦湯源泉(下)	2001/7/27	5	39.7	2.80	12.2	5.5	17.0	6.4	13.6	17.3	0.8	10.2	686	82.0	
23	万座空噴	2001/7/27	120	85.8	1.46	383	149	62.8	253	7.7	47.7	33.6	633	4500	391	
	"	2002/8/28		88.8	1.45	405	130	71.2	268	10.0	50.1	35.4	725	4958	397	0.3
	"	2003/9/14		91.6	1.51	375	122	63.1	279	6.5	41.4	32.3	611	4480	409	1.5
24	橋温泉	2001/7/27	50	32.3	4.45	61.6	52.9	51.0	20.5	1.3	0.0	2.8	39.5	326	85.4	
25	万座湯畑	2001/7/27	1000	75.6	2.20	107	66.2	46.3	62.7	4.5	7.9	7.5	112	756	99.3	
	"	2002/8/20		75.2	2.41	90.6	25.9	46.5	63.7	5.0	8.0	7.6	109	763	101	57.5
	"	2003/8/4		75.1	2.47	94.8	28.8	45.8	61.7	5.3	8.2	7.2	102	710	104	100
	"	2003/9/14		74.8	2.43	89.6	25.0	44.7	59.6	4.6	8.0	6.9	112	752	103	77.7
26	日進館・ラジウム源泉	2001/7/27	25	76.5	2.27	150	19.0	34.9	111	0.1	3.6	12.0	149	984	125	
27	日進館・鉄湯源泉	2001/7/27	25	86.3	2.38	122	17.6	32.2	100	0.3	0.0	10.0	112	862	103	
28	松屋旅館(日進館横)	2001/7/27	120	86.4	2.37	115	18.6	33.5	98.0	0.1	0.0	9.8	108	836	92.5	
29	石楠花温泉下段(左)	2001/8/13	13	80.2	7.67	52.7	11.3	41.1	7.3	0.1	0.3	5.8	2.7	189	122	
30	石楠花温泉下段(右)	2001/8/13		90.9	7.10	50.0	11.8	43.5	7.2	0.7	0.4	0.5	3.1	156	125	
31	石楠花温泉	2003/9/14		94.5	8.23	49.4	6.8	44.7	8.6	0.3	0.2	0.5	3.5	170	136	3.2
32	湯釜湖水(0m)	2001/8/20		27.7	1.29	21.8	11.8	117	24.1	91.1	130	1.6	2130	2040	171	
	"	2002/8/20		25.8	1.26	22.2	13.4	104	22.0	94.9	134	1.5	2460	1872	160	1.5
	"	2003/8/4		26.1	1.25	22.5	14.5	94.0	23.7	82.6	141	1.6	2482	1827	160	3.1
	"	2003/9/14		25.5	1.21	23.5	13.0	94.2	23.9	81.0	139	1.5	2820	1900	171	0.0
33	湯釜北側温泉(N-9)	2001/8/5		94.1	2.19	50.6	14.6	151	62.0	234	197	5.0	2.0	2860	284	
34	湯釜北側温泉(N-10)	2001/8/5		92.8	2.36	34.5	16.5	90.9	46.4	250	59.0	3.4	1.5	1560	291	
35	湯釜北側温泉(N-14)	2001/10/9	2	93.7	1.89	17.3	1.8	64.4	38.0	11.1	120	2.6	1.9	1830	315	
36	湯釜北東温泉A	2001/10/25	12	39.0	3.01	111	34.8	263	142	32.2	32.8	12.6	730	789	214	
37	湯釜北東温泉B	2001/10/26	10	39.8	2.94	103	23.6	402	148	107	62.2	13.1	593	1490	204	

第2表 草津白根山周辺の火山性湧水の化学組成

地点番号	試料名	日付	水温 ℃	pH	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Fe ²⁺ +Fe ³⁺ mg/l	Al ³⁺ mg/l	MnO ₂ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	SiO ₂ mg/l
S51	五郎清水	2003/6/8	10.2	6.67	1.5	1.1	3.0	0.7	0.0	0.0	0.0	1.2	7.5	15.7
	"	2003/8/26	9.6	6.82	1.4	0.7	2.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.8	6.8	16.1
S52	湧水(千代の湯前)	2003/6/7	10.6	7.25	2.8	1.0	6.2	1.5	0.0	0.0	0.0	1.5	8.9	26.2
	"	2003/8/8	11.9	7.35	3.2	1.4	6.5	1.7	0.0	0.0	0.0	1.6	10.1	28.4
S53	桐島屋湧水・妙法水	2001/7/25	25.1	5.61	6.7	3.7	13.3	3.1	0.0	0.0	0.0	10.4	33.5	48.3
	"	2003/8/8	15.1	5.70	6.1	3.2	17.9	4.2	0.0	0.0	0.0	12.7	44.5	36.9
S54	床屋裏湧水	2001/7/25	15.8	4.49	6.9	4.3	10.2	2.3	0.0	0.0	0.2	7.3	36.5	37.4
S55	振子沢湧水	2001/8/21	15.2	2.12	18.5	3.5	54.2	23.1	24.3	48.3	1.9	13.9	1200	96.5
S56	白根沢鉱泉	2001/10/25	11.7	1.75	25.8	169	89.8	28.7	41.1	119	1.9	1.6	2430	103
S57	万座湧水(日進館前)	2001/7/27	12.3	3.27	11.5	3.3	33.3	7.7	3.2	6.3	0.7	7.1	163	45.6
S58	湯釜東湧水	2001/7/30	20.3	3.60	32.1	3.9	239	17.3	0.1	57.4	1.3	1.6	1040	138
S59	湯釜南湧水	2001/8/20	18.8	2.22	34.4	5.7	340	23.6	381	233	1.2	2.3	4030	140
	"	2003/9/14	14.9	2.26	39.8	8.8	386	31.3	394	284	1.5	1.3	4410	204

第3表 天水の化学組成

地点番号	試料名	採取年月日	水温 °C	pH	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Fe ²⁺ +Fe ³⁺ mg/l	Al ³⁺ mg/l	MnO ₂ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	SiO ₂ mg/l
M81	雪・ヒュッテ入り口	2003/5/14	-	5.04	0.6	1.2	0.0	0.0	0.7	0.6	0.0	0.5	0.2	6.3
M82	雪・弓池	2003/5/14	-	7.42	0.7	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.3	0.1
M83	雪・谷沢川	2003/5/14	-	7.49	1.2	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.3	0.0
M84	観測所降水	2003/5/16	-	6.00	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.1	0.0
M85	山頂融雪水	2003/6/6	4.4	3.52	0.6	0.4	2.9	0.4	0.5	2.1	0.0	0.7	36.6	7.8

第4表 主な河川の流量と化学組成

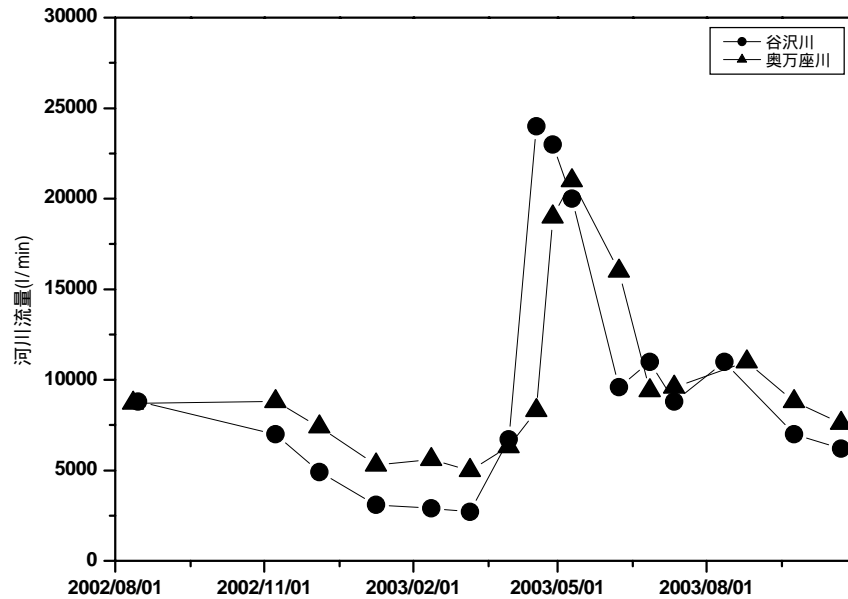
地点番号	調査地点名	調査年月日	水温 °C	pH	河川流量 l/min	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Fe ²⁺ +Fe ³⁺ mg/l	Al ³⁺ mg/l	MnO ₂ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	SiO ₂ mg/l
YK0	湯川	2002/8/13	35.8	2.65	33000	46.0	24.2	58.8	27.3	9.7	39.3	2.3	308	708	160
R1	小雨川	2002/8/24	18.2	3.57	6800	9.8	4.0	32.7	8.5	0.1	5.5	0.8	25.1	124	53.3
OS1	大沢川	2002/8/15	19.7	2.83	10000	46.2	17.8	121	46.7	37.0	83.1	4.2	403	698	107
YZ0	谷沢川	2002/8/15	16.1	2.93	8800	16.0	4.3	54.8	19.1	10.6	26.0	2.0	67.8	366	73.8
R2	元山川	2002/8/12	23.6	3.09	8700	39.6	20.4	101	38.9	21.1	96.2	2.8	286	744	121
R3	長笹沢川	2002/9/14	13.4	7.49	2100	3.4	1.4	6.6	2.1	0.1	0.0	0.0	2.4	9.8	27.1
R4	振子沢坑内水	2002/8/9	15.2	3.03	860	18.1	5.0	87.0	29.6	14.7	36.4	2.1	161	491	65.7
OK0	奥万座川	2002/8/12	16.1	3.58	8700	14.2	4.3	42.5	12.8	12.5	20.4	1.1	41.6	287	70.2
R5	万座川	2002/8/12	30.7	3.51	10000	52.3	11.3	28.7	33.9	7.9	8.9	4.1	61.3	479	79.4
R6	遅沢川	2002/8/24	12.4	6.16	7200	5.7	3.6	22.7	6.7	0.0	0.0	0.0	1.7	84.4	41.7
R7	殿洞沢川	2002/9/11	18.2	2.24	7100	11.0	5.5	49.7	15.1	110	77.8	2.0	3.1	1430	99.4
R8	赤川	2002/9/11	12.8	4.12	6500	5.5	2.2	13.7	4.1	0.0	1.9	0.2	1.2	84.6	57.8
R9	今井川	2002/9/11	11.2	4.46	7500	7.6	4.0	31.3	5.4	0.0	3.1	0.1	1.5	123	41.7
R11	松尾川支流	2003/9/21	9.4	6.32	950	3.2	0.9	8.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.7	30.0	35.1
R12	本白根沢上流	2003/9/21	8.6	2.18	1200	5.2	3.0	14.6	4.0	69.2	50.7	0.4	1.6	940	77.3

SO₄²⁻ 放出量の増加率の方がより大きい。これは、土壌からの水溶性付着成分の溶出や振子沢湧水(S55)、山頂域の融雪水(M85)のようなSO₄²⁻/Cl⁻比の高い水の混入に起因すると考えられる。

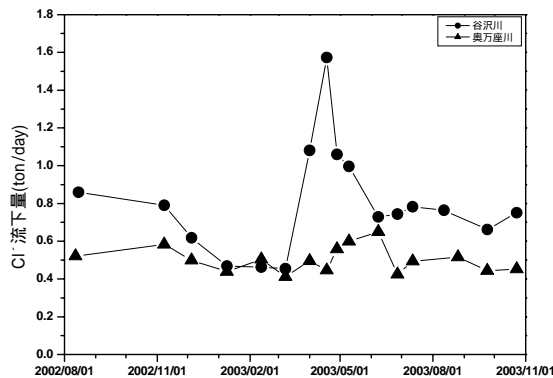
一方、草津白根山西麓の万座温泉地域では万座川と奥万座川を合わせてもCl⁻放出量は約 1.4 ton/dayと少なく、草津白根山では温泉水および河川水として放出される揮発性成分の大部分は東山麓から放出されている。

草津白根山のような積雪地域では、12月から翌年の2月ころまでの積雪期に河川流量は減少し、3月から5月までの融雪期に河川流量が増加する一般的な傾向がある。河川流量の増減とともに揮発性物質放出量も変動すると考えられ、東麓の矢沢川と西麓の奥万座川において2002年11月から2003年10月までの間、月に1~3回の水質調査および河川流量測定を行った。

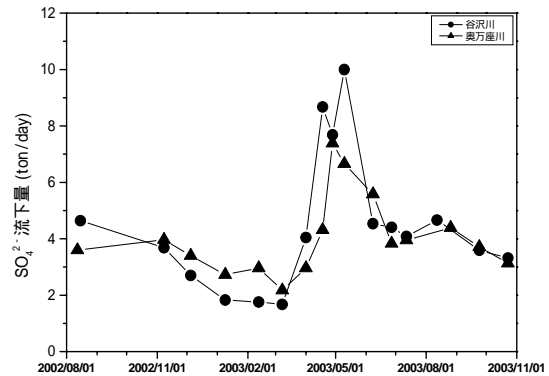
谷沢川および奥万座川の河川流量は、融雪期の始まる4月頃から増加しはじめ、5月に最大となる。その後河川流量は減少し始め、積雪期の始まる11月から3月にかけて著しく流量が少なくなる(第3図)。矢沢川におけるCl⁻流量およびSO₄²⁻流量は河川水の流量変化と対応して増減する。一方、奥万座川のSO₄²⁻流量も矢沢川と同様に河川流量の季節変化に応じて増減するが、Cl⁻流量の季節変化は明瞭ではない(第4a図、第4b図)。しかし、両河川ともにSO₄²⁻/Cl⁻比のは融雪期に大きく、積雪期に小さく、河川流量と同様の变化を示す(第5図)。このことは、河川流量が少ない時期には、熱水リザーバーの寄与を受けた深部のSO₄²⁻/Cl⁻比の低い水の寄与が大きく、逆に河川流量が増加する時期は、熱水リザーバーとは接触していない表層付近を流下するSO₄²⁻/Cl⁻比の高い水の寄与が大きいためであると考えられる。また、2002年11月から2003年10月までの両河川における河川流量、揮発性物質流量、SO₄²⁻/Cl⁻比の年平均値を求めると、いずれも2002年8月に行った調査の値と良く一致している。このことから、先に述べた草津白根山周辺の河川水として放出されるCl⁻: 27 ton/day、SO₄²⁻: 70 ton/dayは妥当な値であると言える。



第3図 矢沢川および奥万座川の流量の季節変化



第4a図 矢沢川，奥万座川のCl⁻流下量



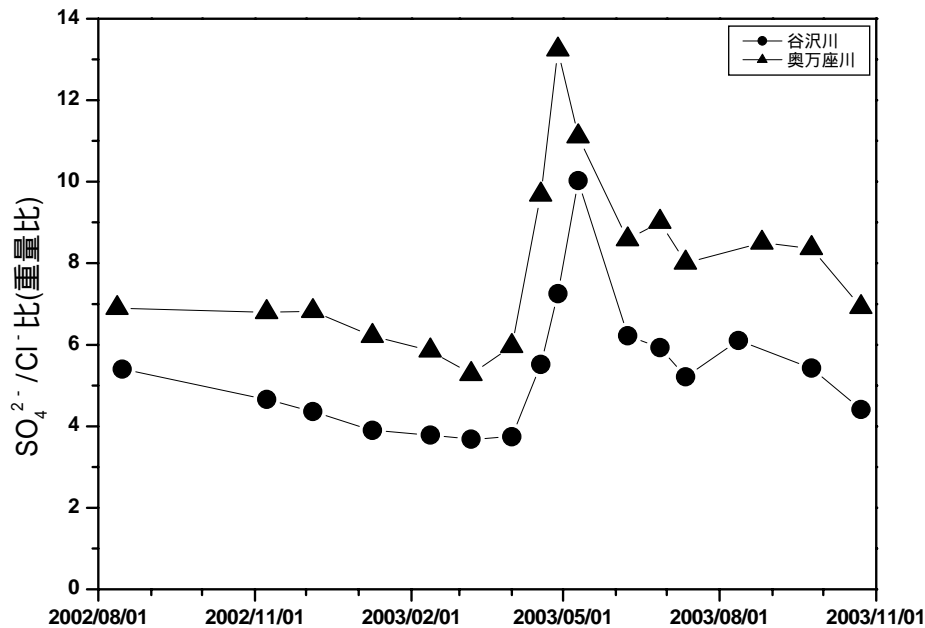
第4ba図 矢沢川，奥万座川のSO₄²⁻流下量

5. まとめ

1. 草津白根山周辺の温泉水として放出されるCl⁻およびSO₄²⁻量は、それぞれ 16 ton/day, 34 ton/dayである。また、硫黄化学種として温泉水に含まれるH₂S量は無視できる。
2. 草津白根山周辺の酸性河川は、温泉水および河岸、河床から流入する火山性湧水から成り、河川水として放出されるCl⁻量は約 27 ton/day, SO₄²⁻量は約 70 ton/dayとなり、温泉水のみの両成分の放出量比べてそれぞれ 1.7 倍、2 倍である。このことから、酸性河川水としての揮発性成分放出量は重要である。
3. 津白根山周辺の噴気ガスのDry gas中には、HClをほとんど含まず、またSO₂も微量で、H₂SとCO₂が主成分である。したがって、火山ガスとして放出されるHClは無視することができる。ま

た， SO_2 と H_2S を併せた放出量も 2.6 ton/dayと少ない．これを SO_4^{2-} に換算すると約 7.2 ton/day となり，温泉水および河川水として放出される SO_4^{2-} 量のわずか 10 %で，草津白根山では揮発性成分の大部分が温泉水および河川水として放出されている．

- 4．草津白根山では温泉水および河川水として放出される揮発性成分の大部分は東山麓から放出されている．



第 5 図 矢沢川，奥万座川の $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ 比の季節変化

文 献

- 半谷高久・小倉紀雄 (1995): 水質調査法 (第 3 版). 丸善
- 平林順一 (1999): 火山流体の生成と火山活動. 温泉科学, 49, pp.99-105.
- 倉沢辰巳, 角田安則 (1985): . 地熱, 22, pp.1-8.
- 水橋正英 (2002): 草津白根山周辺に分布する温泉水の湧出機構. 東京工業大学卒業論文
- 水橋正英 (2004): 揮発性物質放出量から推定される草津白根山の熱水系. 東京工業大学修士論文
- 大場武・平林順一・野上健治 (2000): 草津白根山の火山熱水系. 温泉科学, 49, pp.163-175.
- Ohawada, M. (2003): Behavior of volatiles in volcanic hydrothermal systems inferred from noble gas abundances and isotopic ratios. Doctorate thesis of Tokyo Institute of Technology
- 齋藤政城 (2004): 草津白根山山頂域における土壌からの二酸化炭素拡散放出量. 東京工業大学卒業論文
- 鈴木隆 (2000): マグマからの揮発性物質放出量. 東京工業大学卒業論文
- 鈴木隆 (2002): 火山ガス放出量と放出圧力振動メカニズム. 東京工業大学大学院修士論文

