

群馬県下の温泉水中のホウ酸含量

群馬県衛生公害研究所

酒井 幸子

(昭和56年2月20日受理)

Boric Acid Content of Hot Spring Waters in Gunma Prefecture

Yukiko SAKAI

Gunma Institute of Public Health, Gunma Prefecture

Abstract

Boric acid content of hot spring waters(122 wells) in Gunma prefecture was determined by titration or colorimetry. The hot springs which contain more than 50mg/l HBO_2 were Yashio, Isobe, Mine, Sarukawa, Shiraiwa, Shima, Yakushi, Hatonoyu and Yunokami. A high HBO_2 concentration were found in Yashio(667 mg/l), Isobe(563 mg/l) and Mine(198 mg/l) cold springs. These springs are characterized by high concentrations of sodium, chloride and carbonate ions. The mean value of boric acid content in springs(122 wells) was 28.5mg/l HBO_2 . There was a high correlation between HBO_2 and Cl^- in Shima, Sarugakyo and Kusatsu hot springs. High HBO_2/Cl^- ratios(0.10–0.20) were obtained in Yujuyuku, Sarugakyo and Hōshi hot springs.

1. 緒 言

ホウ酸は、温泉水中に含まれる微量成分のひとつである。本邦の温泉水中のホウ酸含量の平均を、奥野(1941)は、 HBO_2 として0.0382 g/kg(試料数536)、多賀谷(1942)は、0.024 g/l(試料数404)と報告し、これらの値はいずれも海水の0.019 g/kgより多い。西村(1955)は、ホウ酸含量の多い温泉を、成因によって、化石水型のものと同火山発散物型とに分類している。

群馬県内には、磯部、八塩、嶺鉱泉のように高いホウ酸含量を持つ温泉がある(武藤, 1954)。今回、群馬県内の温泉水中のホウ酸含量を54の温泉(総源泉数122)を対象として分析を行い、温泉水中のホウ酸濃度分布を調べ、温泉水中の炭酸物質、ヒ素、塩素との関係について考察を行った。

2. 分析対象温泉

分析対象温泉の位置とその温泉名および所在地を図1に示した。図中の31, 47~54は冷鉱泉であり、他は泉温25℃以上の温泉である。



図1 分析対象温泉位置図

* 冷鉱泉

No.	温泉名	所在地	No.	温泉名	所在地	No.	温泉名	所在地
1	湯の小屋	利根郡水上町	19	猿ヶ京	利根郡新治村	37	白岩	吾妻郡長野原町
2	宝川	〃	20	新三国	〃	38	薬師	吾妻郡吾妻町
3	向山	〃	21	川古	〃	39	鳩の湯	〃
4	湯桧曾	〃	22	法師	〃	40	湯の上	〃
5	谷川	〃	23	四方	吾妻郡中之条町	41	川中	〃
6	水上	〃	24	沢渡	〃	42	塩川	北群馬郡小野上村
7	丸沼	利根郡片品村	25	大塚	〃	43	伊香保	北群馬郡伊香保町
8	白根	〃	26	応徳	吾妻郡六合村	44	榛名湖	群馬郡榛名町
9	戸倉	〃	27	花敷	〃	45	榛名	〃
10	片品	〃	28	草津	吾妻郡草津町	46	東軽井沢	碓氷郡松井田町
11	土出	〃	29	奥万座	吾妻郡嬬恋村	47	嶺*	安中市
12	老神	利根郡利根村	30	万座	〃	48	磯部*	〃
13	川場塩河原	利根郡川場村	31	表万座*	〃	49	下仁田*	甘楽郡下仁田町
14	上牧	利根郡月夜野町	32	嬬恋	〃	50	大島*	富岡市
15	奈女沢	〃	33	田代	〃	51	宝蔵寺*	多野郡上野村
16	大峰	利根郡新治村	34	石津	〃	52	八塩*	多野郡鬼石町
17	上毛高原	〃	35	半出来	〃	53	薬師山*	伊勢崎市
18	湯宿	〃	36	四季	吾妻郡長野原町	54	猿川*	勢多郡黒保根村

3. 分析項目および分析方法

泉温, pH, HCO_3^- , CO_2 は現地地で測定した. $\text{K}^+ \cdot \text{Na}^+ \cdot \text{Fe}^{2+} \cdot \text{SO}_4^{2-} \cdot \text{HCO}_3^- \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{As}$ は鉱泉分析法指針 (1978), $\text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+}$ は中川ら (1972) の方法, Cl^- は硝酸第二水銀法, HBO_2 はマンニットを用いる容量法と一部アゾメチンHを用いる比色法 (肥料分析法, 1977) によった.

4. 分析結果と考察

分析結果を表1に示した. 5 mg/l 未満が40源泉 (33%) で, 10mg/l 未満が64源泉 (52%) であり, HBO_2 含量の平均は, 28.5mg/l であった.

表1 分析結果

No	温泉名	源泉名	泉温 (°C)	pH	蒸発残渣 (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Fe (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	HBO ₂ (mg/l)
1	湯の小屋		80.0	7.6	748	9.5	138	26.2	4.35	0.02	133	175	91.5	24.5
2	宝川	1号井	51.0	7.6	375	5.2	91.2	15.0	0.33	0.00	81.3	74.0	36.6	18.8
		第5号	73.0	7.4	1006	12.5	175	46.0	1.60	1.53	305	200	27.7	34.3
3	向山	宝珠の湯	25.7	9.4	107	0.70	21.8	5.82	0.20	0.12	2.1	30.3	9.8	0.0
4	湯桧曾	薬師の湯	52.0	7.4	379	4.58	49.8	35.8	0.97	0.00	99.9	88.4	43.3	2.7
5	谷川	孤峰の湯	61.5	8.2	602	4.4	86.0	77.5	0.02	0.26	114	185	15.8	12.0
		荘淳子源泉	30.0	7.8	1756	4.9	132	357	0.70	0.00	173	980	22.6	7.5
		大学の湯	39.0	8.5	242	1.40	35.0	27.5	0.08	0.00	38.4	73.0	9.8	1.1
		共同通信の湯	29.5	7.0	272	1.05	39.5	35.2	0.76	0.00	55.2	60.0	18.3	2.3
		憩の湯	39.0	7.8	304	1.60	38.8	41.3	0.22	0.00	50.7	80.0	15.1	1.1
		鶴の湯	39.0	8.4	406	2.35	54.5	58.0	0.07	0.00	73.9	120	15.7	3.2
		亀の湯	54.0	8.4	625	3.45	79.5	88.0	0.05	0.00	112	273	15.1	3.9
		御裳濯の湯	44.5	8.3	985	3.20	77.3	182	0.13	0.00	107	510	9.0	3.9
		雫の湯	35.0	8.2	187	1.06	25.0	24.0	0.41	0.00	25.4	48.0	24.4	7.3
		岩間の湯	43.4	7.6	515	3.10	69.0	77.0	0.08	0.57	93.9	177	12.1	5.6
		清の湯	49.5	8.2	728	3.15	74.0	120	0.13	0.00	108.3	340	12.0	4.6
		不盡の湯	52.0	8.2	863	3.30	76.5	148	0.29	0.00	108.6	357	10.9	3.7
		薬師の湯	44.0	8.0	723	2.80	64.0	120	0.24	0.00	90.6	280	8.1	3.3
		河鹿の湯	49.1	8.2	1109	3.15	81.0	210	0.09	0.00	109.7	600	8.1	4.0
		螢の湯	44.5	7.9	1047	2.95	77.3	195	0.11	0.00	105.5	564	9.6	4.3
不老泉	39.5	8.2	767	2.35	60.0	138	0.14	0.00	82.6	300	13.2	2.9		
峰岸の湯	37.0	8.4	534	3.22	68.0	70.0	0.05	0.00	98.2	180	15.1	3.4		
谷の湯	38.0	8.0	333	1.20	38.0	47.8	0.11	0.15	49.4	114	34.2	0.9		
不動湯	60.0	8.7	509	3.60	69.0	59.0	0.02	1.11	88.6	145	25.3	5.0		
荘英明源泉	46.0	8.5	533	2.70	86.0	58.0	0.09	0.00	135.3	140	21.8	6.6		
6	水上	不動の湯	49.0	7.9	1474	4.60	128	272	0.17	0.00	148	845	30.5	11.0
		天狗の湯	46.5	7.2	1989	6.30	124	379	0.00	0.10	80.7	1140	39.7	6.0
		旧湯	46.0	7.8	1303	4.30	113	242	0.40	0.00	125	724	30.5	9.8
		新湯	36.5	7.6	706	3.65	59.0	126	1.41	0.00	67.9	357	48.8	3.3
		塩屋源泉	32.0	7.7	1059	2.80	73.5	208	0.58	0.00	94.3	600	39.7	6.9
		横吹の湯	27.9	7.9	610	2.26	63.0	95.0	0.16	0.00	44.7	260	24.4	9.0
7	丸沼	混合泉	48.0	7.7	828	8.8	102	92.2	0.4	0.00	96.8	282	153	7.5
8	白根	上の湯	62.8	7.8	661	5.6	152	29.8	0.43	0.02	89.1	230	59.5	1.1

No.	温泉名	源泉名	泉温(°C)	pH	蒸発残渣(mg/ℓ)	K ⁺ "	Na ⁺ "	Ca ²⁺ "	Mg ²⁺ "	Fe "	Cl ⁻ "	SO ₄ ²⁻ "	HCO ₃ ⁻ "	HBO ₂ "
9	戸倉	水芭蕉の湯	30.9	10.4	238	1.1	47.0	2.0	0.00	0.10	32.8	47.6	59.1	1.4
10	片品	新井の湯	52.8	8.0	336	3.46	61.8	3.8	0.00	0.04	60.8	30.8	37.3	3.3
11	土出	萩之湯2号井	47.5	9.2	241	1.7	45.5	0.0	0.9	0.10	5.9	16.3	97.3	0.3
		塩沢の湯	25.8	7.6	187	0.7	27.5	8.2	3.0	0.11	9.1	7.4	89.3	0.0
12	老神	1号泉	58.7	9.1	552	4.7	104	26.6	0.8	0.53	140.3	136	51.9	9.6
		10号泉	52.4	8.3	483	3.9	90.5	22.0	0.5	1.31	117.4	127	36.6	8.8
		3号泉	48.1	7.1	596	4.9	105	20.5	1.6	11.1	119	230	31.7	11.8
		4号泉	56.2	9.2	631	5.4	128	25.5	0.2	0.18	163	180	53.7	17.1
13	川場塩河原	宮田の湯	16.5	9.6	139	0.7	28.9	0.3	0.1	0.00	4.4	5.8	64.3	0.0
14	上牧	新湯1号泉	42.5	7.6	1451	7.5	185	166	3.0	0.05	302	586	52.8	16.2
15	奈女沢	釈迦の霊泉	24.8	9.7	160	0.40	20.3	3.3	0.00	0.03	4.4	30.0	61.0	0.0
		建物の下	25.0	9.3	132	0.35	22.0	4.0	0.02	0.00	5.2	17.4	16.8	0.0
		プールわき	21.5	9.6	150	0.15	26.2	3.1	0.01	0.00	6.1	33.2	19.8	0.0
16	大峰	堤の湯	27.6	7.8	200	0.7	28.5	2.4	0.7	3.46	2.7	23.6	61.0	2.1
17	上毛高原	上毛高原の湯	28.7	8.4	308	3.2	64.0	0.60	0.00	2.44	13.8	8.5	146	3.2
18	湯宿	元湯	64.5	7.2	1450	4.4	199	158	2.1	0.00	116	660	—	23.7
19	猿ヶ京	村有1号泉	63.5	7.2	1717	28.0	206	196	6.8	0.15	387	572	104	36.6
		県有泉	39.0	7.3	1079	8.5	120	175	1.5	0.00	134	419	—	26.7
		三国の湯	35.0	7.7	803	4.5	126	88.2	1.5	0.05	167	260	—	28.9
		湯島	62.0	7.6	1706	10.0	149	313	2.6	0.00	155	730	—	23.7
		湖城閣泉	51.3	7.3	1150	18.0	175	129	2.2	0.55	216	425	—	35.5
		藤生1号泉	60.5	7.5	1720	28.0	257	209	1.8	0.00	403	543	—	41.2
19	猿ヶ京	藤生2号泉	46.9	7.2	1139	16.5	179	124	1.3	0.10	244	345	—	35.1
		村有2号泉	28.2	7.7	342	2.8	24.0	58.8	3.4	0.06	21.0	137	—	2.2
20	新三国	新三国	29.0	7.6	119	0.35	15.5	4.0	0.1	2.46	3.2	36.3	8.1	0.0
21	川古	川古の湯	34.0	7.3	1539	11.8	126	285	1.40	0.00	113	690	—	13.1
22	法師	寿の湯	41.5	8.0	1296	4.3	78.0	283	0.0	0.00	101	574	—	16.2
23	四万	田村館不老の湯	50.0	7.6	1397	21.5	260	153	2.06	0.00	450	285	85.4	32.6
		明治湯	78.0	6.4	2113	68.0	480	179	1.20	0.18	755	385	76.3	43.5
		岩根の湯	78.0	6.6	2359	81.5	563	161	1.80	0.33	934	333	80.8	52.5
		滝の湯	83.0	6.8	2570	101	618	163	1.44	0.32	1047	346	76.3	69.1
		龍宮の湯	74.0	6.4	2538	90.5	595	162	1.80	0.81	1015	328	72.0	68.2
		かかしの湯	59.5	7.2	1561	26.0	298	175	2.24	0.02	510	302	94.6	31.0
		四万館の湯	59.0	7.3	1518	23.0	290	178	2.06	0.61	504	300	94.0	31.9
		君の湯	54.0	7.3	1509	24.5	295	174	2.10	0.12	507	305	97.6	25.7
		三木屋第2の湯	54.0	7.4	1518	23.0	290	170	2.56	0.00	494	296	90.0	36.7
		神告の湯	53.0	7.2	1563	26.0	308	179	2.30	0.02	524	307	94.6	35.3
		菩薩の湯	59.0	7.2	1503	23.0	295	171	2.10	0.63	499	322	90.0	33.5
		塩の湯	60.0	7.2	1500	24.6	290	170	2.30	0.08	505	320	97.6	28.2
		常盤の湯	60.0	7.2	1506	24.6	305	174	2.40	0.00	513	307	100.7	28.0
かじかの湯	58.5	7.4	1489	24.6	298	171	2.24	0.00	500	300	99.2	31.3		
緑の湯	56.0	7.4	1493	23.0	305	175	2.56	0.01	497	310	106.8	31.0		
長静館の湯	54.0	7.4	1522	23.0	305	180	2.30	0.02	507	310	97.6	34.2		
つばたやの湯	59.0	7.2	1536	23.1	315	163	2.35	0.00	505	335	88.5	34.0		
泉屋の湯	52.5	7.2	1492	23.0	292	158	2.20	0.00	480	322	82.4	34.0		
山口館不老の湯	62.0	7.1	1545	23.3	309	158	2.25	0.02	499	382	79.3	33.3		

No.	温泉名	源泉名	泉温 (℃)	pH	蒸発残渣 (mg/L)	K ⁺ "	Na ⁺ "	Ca ²⁺ "	Mg ²⁺ "	Fe "	Cl ⁻ "	SO ₄ ²⁻ "	HCO ₃ ⁻ "	HBO ₂ "
23	四万	つばめの湯	59.0	7.2	1555	23.6	313	160	2.30	0.05	504	355	85.4	32.9
		薬師の湯	53.5	8.9	1187	5.60	117	220	0.05	0.00	37.4	634	9.0	1.4
		御夢想の湯	57.0	8.9	1210	5.60	119	226	0.06	0.00	39.6	634	15.1	1.8
		山鳥の湯	64.5	8.2	1125	5.65	110	199	0.00	0.00	35.7	582	9.0	5.1
24	沢渡	県有泉	55.0	8.2	1145	5.9	128	185	0.07	0.00	182	435	16.5	19.2
25	大塚	ぬる湯	34.0	7.1	466	0.65	83.0	46.0	0.4	0.01	144.6	104	39.7	2.0
26	応徳	昭和の湯	53.5	8.0	1064	4.1	173	136	1.32	0.00	182	420	42.5	18.4
27	花敷	川端の湯	45.0	7.2	1412	2.45	178	231	0.40	0.29	146.8	580	20.1	9.6
28	草津	湯畑	63.5	2.2	1696	12.8	40.5	88.3	36.5	26.0	388	665	0.00	9.1
		地藏の湯	61.0	2.2	1706	12.8	37.5	81.5	34.3	20.7	367	847	0.00	9.1
		西の河原	50.0	2.2	1386	11.2	30.5	63.3	25.4	8.60	336	698	0.00	10.2
		煮川源泉	57.5	2.2	1511	11.8	35.5	76.0	31.3	20.5	328	885	0.00	7.6
		なぎの湯	41.5	2.2	1180	11.8	25.0	55.0	19.4	18.6	246	687	0.00	5.2
		万代鉦	95.0	2.0	2289	16.5	44.8	82.3	40.4	2.10	656	1102	0.00	15.0
29	奥万座	法性の湯	53.0	3.0	700	6.7	34.9	60.1	22.5	0.9	58.0	368	0.00	9.0
30	万座	苦湯2号	75.0	2.5	1726	20.0	155	27.4	76.0	4.14	104	940	0.00	12.6
		鉄湯2号	82.5	2.6	1525	18.5	118	26.5	91.2	0.84	134.6	960	0.00	9.1
31	表万座	米無源泉	17.2	2.2	2512	4.1	10.9	59.0	21.4	135	11.5	1657	0.00	0.0
32	幡恋	笹乃湯	40.3	7.3	1086	27.0	188	58.8	52.3	1.08	246.4	239	258	3.2
33	田代	しふの湯1号	34.0	7.0	2091	60.8	355	132	108	5.60	765	3.0	673	24.0
34	石津	1525m地並坑内	43.5	7.4	2818	20.5	160	364	155	0.32	53.4	1415	454	0.3
35	半出来	恵の湯	40.8	7.2	4943	105	845	367	133	0.53	2032	550	200	15.8
36	四季	2号泉	33.5	8.2	702	27.8	140	73.1	8.46	0.23	31.1	57.6	520	11.0
		1号泉	29.2	7.4	608	21.5	118	56.4	6.69	0.15	20.4	55.6	447	7.2
37	白岩		50.5	8.0	3004	5.3	683	217	1.16	0.00	1025	643	18.3	80.6
38	薬師		43.0	7.4	3459	24.0	490	364	24.5	1.15	1007	688	272	67.4
39	鳩の湯		40.0	7.1	3356	23.2	455	364	23.8	1.20	944	743	290	63.0
40	湯の上	神の湯	40.5	6.8	3438	21.8	400	466	14.5	0.44	781	850	164	58.3
		神告の湯	55.0	6.7	3541	19.5	450	436	26.8	0.32	917	928	164	58.1
41	川中	美人湯	34.8	7.4	1644	1.40	34.0	494	0.00	0.02	14.3	1028	29.3	0.3
42	塩川	恵の湯	44.4	9.0	1214	19.0	270	6.8	0.1	0.01	547	27.7	131	5.0
43	伊香保	本線	45.3	5.8	1167	12.5	106	141	31.4	6.1	140.2	285	290	6.4
44	榛名湖	ゆうすげの湯	37.8	7.4	1898	27.0	256	127	93.3	2.20	613	298	148	15.1
45	榛名	神夢乃湯	32.2	7.4	166	4.8	16.5	4.8	2.7	0.04	4.3	3.3	67.8	6.1
46	東軽井沢	ユタカの湯	32.8	8.6	1939	14.0	725	2.0	2.32	1.04	251	8.0	1141	17.5
47	嶺		16.5	6.9	14755	33.8	5350	60.0	9.4	0.53	4570	7.2	8561	198
48	磯部		19.0	8.0	27831	225	9160	67.0	38.8	0.00	12574	3.5	5803	563
49	下仁田	清流の湯	11.5	5.8	766	4.5	102	118	26.0	0.60	44.8	3.5	170.5	0.0
50	大島	榊の湯	10.0	8.4	548	1.5	140	11.1	5.2	0.03	99.1	52.5	254	0.0
51	宝蔵寺	弥陀の湯	13.0	6.2	716	9.3	141	42.2	18.3	0.28	305	3.5	238	12.8
52	八塩	神水館の湯	—	7.0	22113	1430	6940	264	120	0.22	9738	1088	3905	667
53	薬師山	薬師の湯	17.3	6.2	360	7.3	19.0	37.2	12.6	14.0	30.2	103	85.4	0.0
54	猿川	内野の湯	19.5	6.2	3212	130	340	240	144	18.0	1140	1.0	812	97.5

分析対象とした122源泉について泉温の頻度分布と、それらのうち HBO₂ 濃度が10mg/l以上の源泉 (122源泉中58源泉) についての泉温の頻度分布とを比較し図2に示したが、泉温の高い源泉にホウ酸含量の高い源泉が多いことが明らかである。このことは、温泉水が地下深所において熱を得る過程でホウ素を取り込んだことを意味しているとも考えられる。

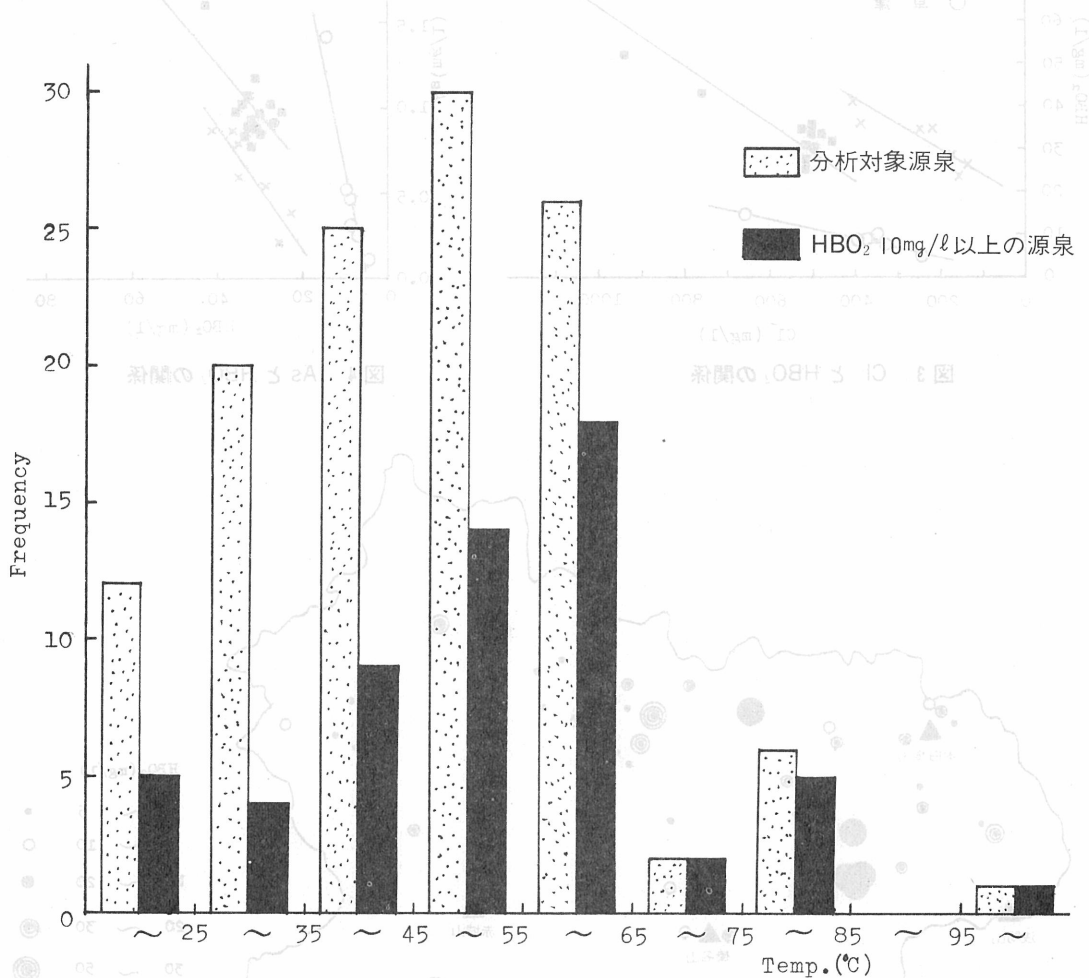


図2 泉温の頻度分布

ホウ酸と Cl⁻ の間には、良い正の相関がみられることは各地の温泉で報告されている (たとえば野口, 1979; 相川, 1977) が、群馬県の温泉においてもこの関係が認められる。

四万, 猿ヶ京温泉で HBO₂ が 10mg/l 以上の源泉と草津温泉の HBO₂ と Cl⁻ の関係を図3に示したが、いずれの温泉においても HBO₂ と Cl⁻ は良い正の相関を示している。

四万温泉においては、野口ら (1974) は10源泉の分析を行い、それらの HBO₂ 濃度を 1.7~66 mg/l と報告している。今回、23源泉の分析を行い HBO₂ として 1.4~69.1mg/l の値を得た。四万温泉は、四万川上流部より日向見・新湯・山口地区とあり、HBO₂ の含量は、日向見地区 (分析対象3源泉) で 1.4~5.1mg/l、新湯地区 (分析対象4源泉) で 43.5~69.1mg/l、山口地区 (分析対象16源泉) で 25.7~36.7mg/l と明らかに異なる濃度範囲にある。

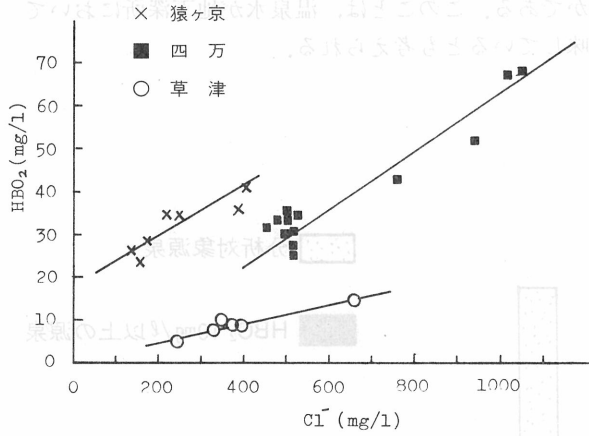


図3 Cl⁻ と HBO₂ の関係

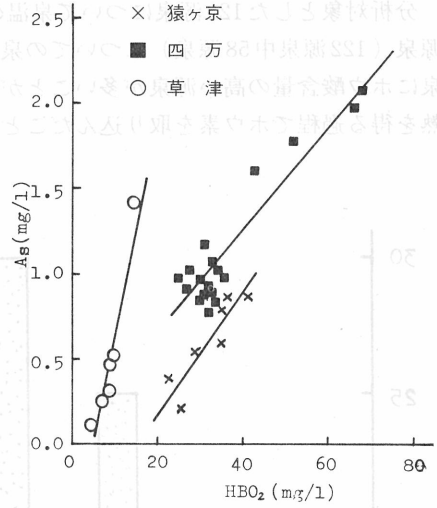


図4 As と HBO₂ の関係

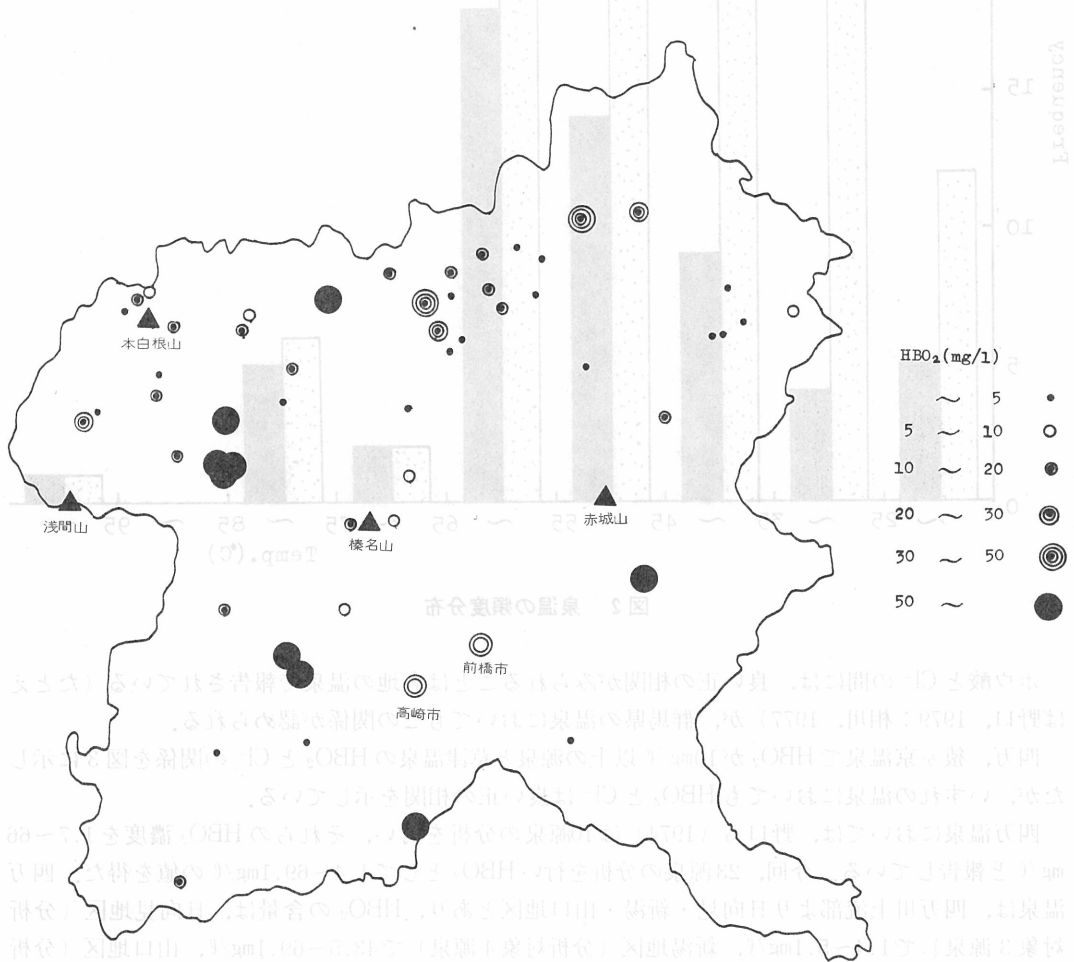


図5 HBO₂ 濃度分布

また、四万、猿ヶ京および草津温泉における HBO_2 と As 濃度の関係を図 4 に示したが、やはり良い相関がみられる。これは As と Cl^- が温泉水において良い相関を示す (Watanuki, 1963) ことから当然予想されることである。

県内の温泉水中のホウ酸含量の濃度分布を図 5 に示した。源泉が 2 つ以上ある温泉地では、最高濃度をもつ源泉を代表とした。 HBO_2 濃度が $50\text{mg}/\ell$ を越えたのは、八塩、磯部、嶺、猿川、白岩、四万、薬師、鳩の湯および湯の上温泉の 9 ヶ所であった。これらのホウ酸含量の高い温泉水のデータを表 2 に示した。これらの源泉は、蒸発残渣および Cl^- とともに今回調査を行った源泉の中で高い値を示している。これら 12 源泉中 9 源泉の泉質は、Na-Cl 泉で、そのうち八塩、磯部、嶺および猿川は冷鉱泉である。この結果は、 Na^+ 、 Cl^- 、 HCO_3^- を多量に含有する冷鉱泉にホウ酸が多いという武藤 (1954) の報告と一致する。

表 2 HBO_2 を多く含む温泉

温泉名 (源泉名)	泉温 (°C)	pH	蒸発残渣 (mg/ℓ)	HBO_2 (mg/ℓ)	Cl^- (g/ℓ)	As (mg/ℓ)	泉 質
八塩鉱泉(神水館の湯)	20.0	7.0	22113	667	9.738	<0.01	Na-Cl 冷鉱泉
磯部 鉱 泉	19.0	8.0	27831	563	12.57	<0.01	Na-Cl· HCO_3^- 冷鉱泉
嶺 鉱 泉	16.5	6.9	14775	198	4.570	<0.01	Na- HCO_3^- ·Cl 冷鉱泉
猿川温泉(内野の湯)	19.5	5.8	3212	97.5	1.140	<0.01	Na·Ca-Cl· HCO_3^- 冷鉱泉
白 岩 温 泉	50.5	8.0	3004	80.6	1.025	1.28	含 As-Na·Ca-Cl· SO_4 温泉
四 万 温 泉(滝の湯)	83.0	6.8	2570	69.1	1.047	2.05	含 As-Na·Ca-Cl 温泉
四 万 温 泉(龍宮の湯)	74.0	6.4	2538	68.2	1.015	1.95	含 As-Na·Ca-Cl 温泉
薬 師 温 泉	43.0	7.4	3459	67.4	1.007	1.83	含 As-Na·Ca-Cl· SO_4 温泉
鳩 の 湯 温 泉	40.0	7.1	3356	63.0	0.944	2.75	含 As-Na·Ca-Cl· SO_4 温泉
湯の上温泉(神の湯)	40.5	6.8	3438	58.3	0.781	1.28	含 As-Ca·Na-Cl· SO_4 温泉
湯の上温泉(神告の湯)	55.0	6.7	3541	58.1	0.917	1.72	含 As-Ca·Na-Cl· SO_4 温泉
四 万 温 泉(岩根の湯)	78.0	6.6	2359	52.5	0.934	1.77	含 As-Na·Ca-Cl· SO_4 温泉

八塩、磯部鉱泉が化石水型の温泉であることは、安定同位体の測定からも説明されている (Sakai and Matsubaya, 1974)。嶺鉱泉は、付近の地質から磯部と同じく化石水型の温泉である可能性が強い。猿川温泉は、赤城山東南斜面に 30m 掘さく湧出した温泉であるが、詳細は不明である。これら群馬県内の高ホウ酸含有泉である八塩、磯部、嶺、猿川冷鉱泉は、 Cl^- の他に炭酸物質 (HCO_3^- 、 CO_2) が温泉水中に多く含まれていることが特徴である。温泉水中の炭酸物質の濃度とホウ酸の濃度との間には、必ずしも一定の関係は存在しない。これは、ホウ酸含量の高い冷鉱泉では、炭酸物質濃度が大きいのが、ホウ酸含量の高い高温泉では、炭酸物質含量が低いことに一因がある。

また、 HBO_2 が $50\text{mg}/\ell$ 以上含まれる白岩、四万、薬師、鳩の湯および湯の上温泉は、いずれも第三紀の火成岩地帯にあり群馬県内において高ヒ素含有泉でもあることが著しい特色である。これら的高 HBO_2 含有泉を群馬県地質図中に示した (図 6)。

塩素とホウ素はマグマの揮発性成分であるとともに、いわゆる可溶性元素であり、一度岩石から溶出されると溶液中にとどまり、容易には二次鉱物の構造の中に入らないために、熱水と岩石中の塩素とホウ素の比は密接な関連をもっている (水谷, 1970)。蒸発残渣量の少ない温泉は、浅い循環水の影響をかなり受けていると考えられるので、ここで

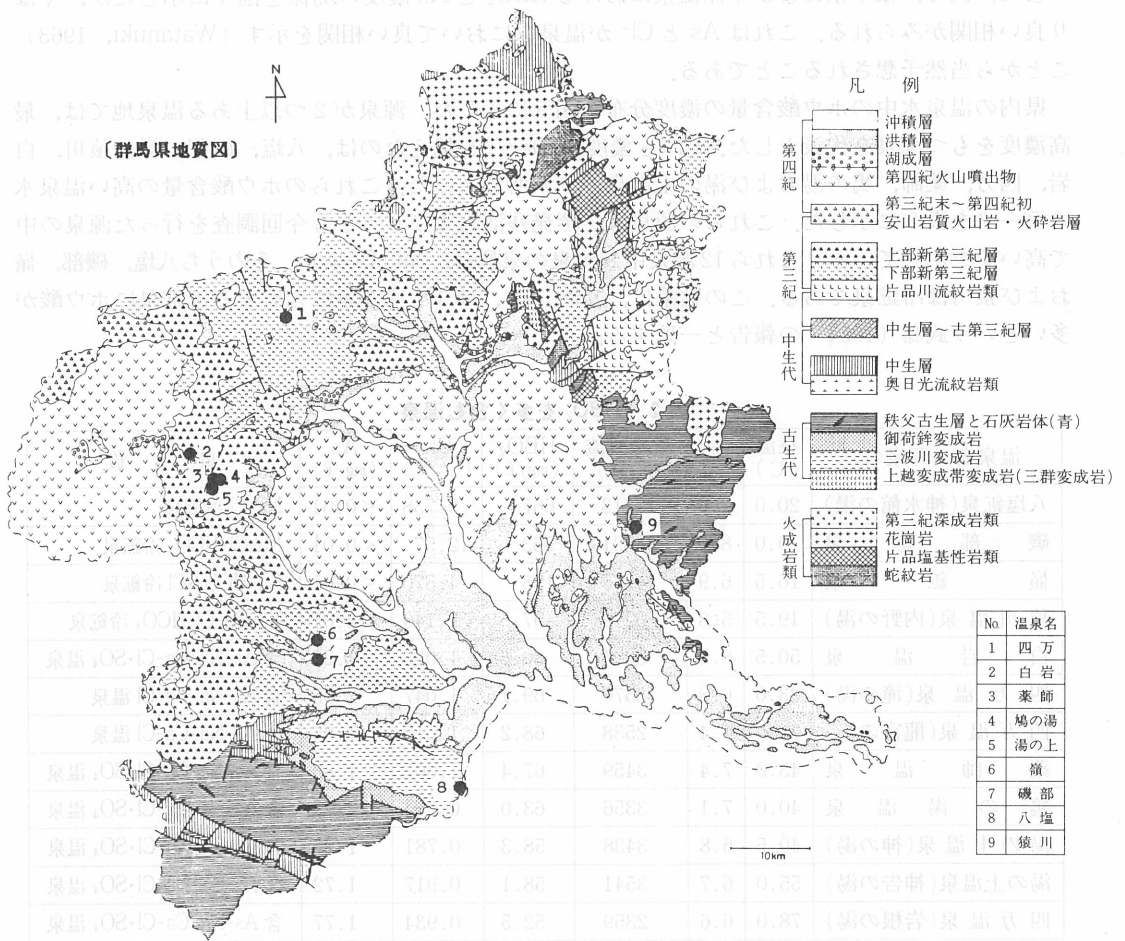


図6 群馬県地質図と高ホウ酸含有泉の分布 (木崎 原図)

は蒸発残渣量が1000mg/l以上で、 HBO_2 が10mg/l以上の50源泉について HBO_2/Cl^- について考察を行った。

HBO_2/Cl^- の値を図7に示した。表2に示した HBO_2 含量の高い温泉の HBO_2/Cl^- の値は0.043～0.086であった。 HBO_2/Cl^- の値が大きい温泉は、湯宿(0.20)、猿ヶ京(0.10～0.20)および法師(0.16)温泉であった。これらの温泉は上越グリーンタフ地域にあり、猿ヶ京温泉のボーリングコアから海成の頁岩層の存在が知られている。

相沢・赤岩(1979)によれば頁岩中のホウ素含量は淡水成層よりも海成層で平均含量にして約40ppmほど高いということから、湯宿、猿ヶ京および法師温泉の HBO_2/Cl^- の値が大きいのは、海成の頁岩層の存在に一因があるとも考えられる。

5. まとめ

群馬県下54の温泉(総源泉数122)について分析を行い、次の結果を得た。

1. HBO_2 含量は、5mg/l未満が40源泉(33%)で、10mg/l未満が64源泉(52%)であり、平

地 文

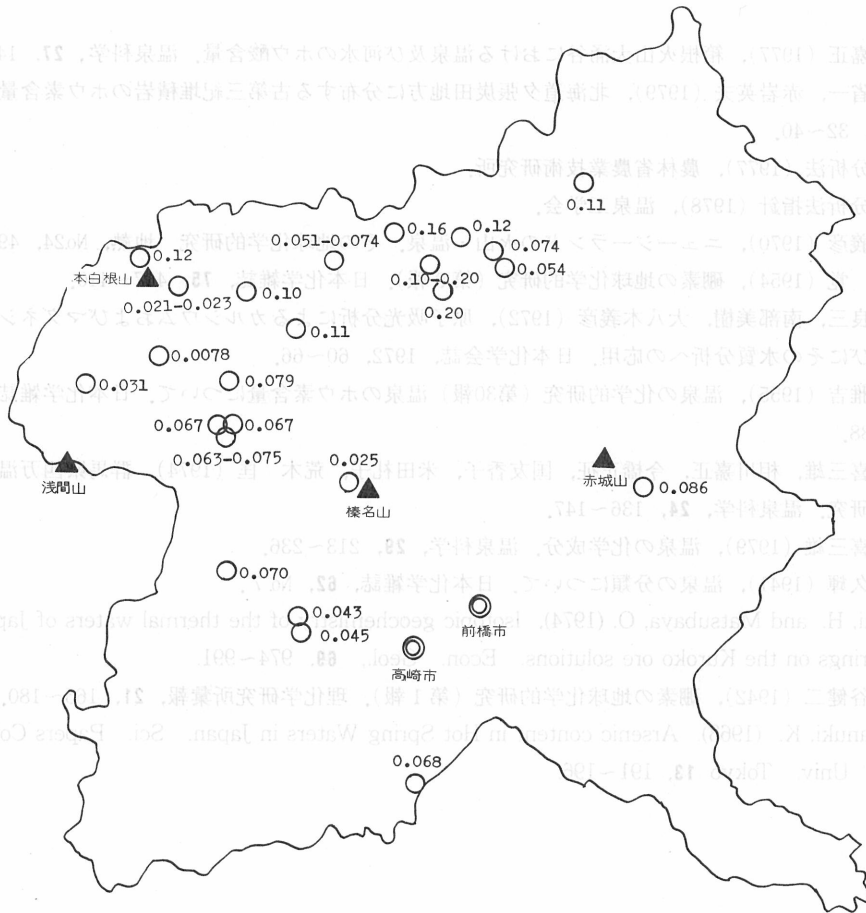


図7 HBO_2/Cl^- の値の分布 (蒸発残渣量 $\geq 1000mg/l$, $HBO_2 \geq 10mg/l$ の温泉)

均含量は、 $28.5mg/l$ であった。

2. 八塩、磯部、嶺および猿川のような冷鉱泉に多量の HBO_2 が含まれており、それらを除くと泉温の高い源泉に HBO_2 含量の高い源泉が多い傾向がみられた、
3. 四万、猿ヶ京および草津温泉において、 HBO_2 と Cl^- 、 HBO_2 と As の間に良い正の相関が認められた。
4. HBO_2 $50mg/l$ 以上であった白岩、四万、薬師、鳩の湯および湯の上温泉のホウ酸の起源については、いずれも高ヒ素含有泉であることより、広義の火山性起源と考えることが妥当である。
5. HBO_2/Cl^- の値は、湯宿、猿ヶ京および法師温泉において大きく、これらの温泉は、海成の頁岩層の存在の影響を受けているものと思われる。

◇

◇

本報告をまとめるにあたり、群馬県の地質について詳細に御教授いただきました群馬大学教育学部木崎喜雄博士、又、研究をするのにあたり、多大な御助言と御校閲をいただきました東京大学教養学部綿抜邦彦博士に深謝いたすとともに、本稿の御校閲をいただきました群馬県衛生公害研究所氏家淳雄所長に厚くお礼を申し上げます。

文 献

- 1) 相川嘉正 (1977), 箱根火山大涌谷における温泉及び河水のホウ酸含量. 温泉科学, **27**, 143~153.
- 2) 相沢省一, 赤岩英夫 (1979), 北海道夕張炭田地方に分布する古第三紀堆積岩のホウ素含量. 地球化学, **13**, 32~40.
- 3) 肥料分析法 (1977), 農林省農業技術研究所.
- 4) 鉱泉分析法指針 (1978), 温泉工学会.
- 5) 水谷義彦 (1970), ニュージーランドの火山・温泉. その地球化学的研究. 地熱, No.24, 49~57.
- 6) 武藤 覚 (1954), 硼素の地球化学的研究 (第9報). 日本化学雑誌, **75**, 407~410.
- 7) 中川良三, 南部美樹, 大八木義彦 (1972), 原子吸光分析によるカルシウムおよびマグネシウムの定量ならびにその水質分析への応用. 日本化学会誌, 1972, 60~66.
- 8) 西村雅吉 (1955), 温泉の化学的研究 (第30報) 温泉のホウ素含量について. 日本化学雑誌, **76**, 584~588.
- 9) 野口喜三雄, 相川嘉正, 今橋正征, 国友香子, 米田礼子, 荒木 匡 (1974), 群馬県四万温泉の地球化学的研究. 温泉科学, **24**, 136~147.
- 10) 野口喜三雄 (1979), 温泉の化学成分. 温泉科学, **29**, 213~236.
- 11) 奥野久輝 (1941), 温泉の分類について. 日本化学雑誌, **62**, No.7.
- 12) Sakai, H. and Matsubaya, O. (1974), Isotopic geochemistry of the thermal waters of Japan and its bearings on the Kuroko ore solutions. Econ. Geol., **69**, 974~991.
- 13) 多賀谷健二 (1942), 硼素の地球化学的研究 (第1報). 理化学研究所彙報, **21**, 165~180.
- 14) Watanuki, K. (1963). Arsenic content in Hot Spring Waters in Japan. Sci. Papers Col. Gen. Educ., Univ. Tokyo **13**, 191~196.

図 1 HBO\Cl の割合 (1000mg/L HBO\Cl の割合) の温泉の分布図

温泉のホウ素含量は、2.5mg/L 以下である。箱根火山大涌谷の温泉は、HBO\Cl の割合が 100% であり、それ以外の温泉は、HBO\Cl の割合が 50% 以下である。箱根火山大涌谷の温泉は、HBO\Cl の割合が 100% であり、それ以外の温泉は、HBO\Cl の割合が 50% 以下である。箱根火山大涌谷の温泉は、HBO\Cl の割合が 100% であり、それ以外の温泉は、HBO\Cl の割合が 50% 以下である。

箱根火山大涌谷の温泉は、HBO\Cl の割合が 100% であり、それ以外の温泉は、HBO\Cl の割合が 50% 以下である。箱根火山大涌谷の温泉は、HBO\Cl の割合が 100% であり、それ以外の温泉は、HBO\Cl の割合が 50% 以下である。箱根火山大涌谷の温泉は、HBO\Cl の割合が 100% であり、それ以外の温泉は、HBO\Cl の割合が 50% 以下である。