

昭和60年7月

原 著

飯豊山地および周辺地域の温泉 に関する二、三の地球化学的知見

山形大学教育学部化学教室

加藤武雄, 大宮由子*, 杉山智子**

(昭和59年10月16日受付, 昭和60年2月10日受理)

Some Geochemical Remarks on the Hot Springs in Iide Mountains and its Neighboring Area

Takeo KATO, Yoshiko OMIYA*
and Tomoko SUGIYAMA**

Laboratory of Chemistry, Faculty of Education, Yamagata University

Present : *The 3rd Yamagata Primary School,

**Kurokawamata Primary School, Niigata Prefecture

Abstract

Cold and hot springs in Iide mountains and its neighboring area which extend over Yamagata, Nigata and Fukushima Prefectures, were studied by using the results of geological surveys and chemical data of spring waters. These waters can be classified into the following several groups by the chemical constituents and their regional distribution.

Group	No. of spring	Temp. °C	Total residue g/l	Chemical Characteristics	
				Cation	Anion
Yunosawa	6, 7, 8, 9, 10	40~55	0.93~1.52	Na ⁺ > Ca ²⁺ > Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻ ≥ Cl ⁻ > SO ₄ ²⁻
Yunotaira	11, 12, 13, 14, 15	44~56	0.75~1.38	"	} Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ²⁻
Asahi	1, 2	9.8~18.8	4.44~5.03	"	
Iide	4, 5, 16, 18	11.8~41	2.4~11.8	"	
Arakawa- kyo	20, 21, 22, 23	40~60	0.93~2.49	"	Cl ⁻ > SO ₄ ²⁻ > HCO ₃ ⁻
Kirinzan Atsushio	17, 19	40.3~64	1.41~12.8	"	Cl ⁻ > SO ₄ ²⁻ > HCO ₃ ⁻ Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ²⁻

* 現在：山形市立第三小学校

** 現在：新潟県山北町立黒川俣小学校，旧姓：宮竹

The majority of these springs belong to saline springs of $\text{Na}^+\text{-Cl}^-$ type, and it is deduced from the analyses of Li^+/Na^+ and K^+/Na^+ ratios that these waters are derived from the geothermal brines, which differ from the oil-field brines.

1 緒 言

飯豊山地は山形・新潟・福島¹⁾の3県にまたがり、そこには多くの温泉が湧出するが、地理的に現地調査のきわめて困難な地域である。個々の温泉の泉質に関しては、県行政の単位ごとに調査が行われて、それぞれ報告もなされている(福島県¹⁾;山形温協²⁾)。しかし、その全地域にわたる温泉をまとめたものとしては、わずかに加藤の報文³⁾があるにすぎない。これも、取扱った温泉数が少く、それらについての地球化学的な概観を試みたにすぎない。

このたびは、前回よりも詳細な調査を行って、それらの化学的特徴を明かにし、二、三地球化学的な新知見を得た。本報では飯豊山地の温泉を中心にして、その周辺地域にもおよんで論ずることとする。

2 温泉地質の概要

朝日・飯豊山地および隣接する鷹の巣山地は東北日本のいわゆるグリーンタフ地域に当たり、食塩泉の多く分布する地域である。つぎに飯豊山地を主にして温泉地質の概要を記す。

2・1 朝日山地

朝日山地は、おもに花崗岩類によって構成され、古寺・朝日の両鉱泉は、それを貫く岩脈の接触部より湧出する。この地域には温・鉱泉が少い。

2・2 飯豊山地

飯豊山地は、一口にいえば、朝日山地とおなじく花崗岩類の隆起山塊である。この地域には古生層が発達するが、二畳紀の年代とみられ、飯豊山地中央部、鹿瀬——日出谷地区、荒川沿岸、玉川——大石川地区などに露出し、粘板岩・砂岩を主とし、多くの個所で花崗閃緑岩の貫入を受けてホルンフェルス化している。この地域における貫入時期は白亜紀後期から古第三紀にわたるものと考えられる⁴⁾。

この地域の温泉の分布は図1に示されるとおりである。これらを地理的に北部と西・南部の2地域に分けて述べることにする。

(1) 北部地域

すべて荒川水系の玉川流域に分布し、地質的には山岳地帯(湯の沢温泉群)と山麓地帯との2温泉群に分けられる⁵⁾。いずれも山形県内にある。

山岳地帯:玉川の左支川湯の沢溪谷の局限された流域に湧出する。この温泉群の特徴は、花崗閃緑岩に貫入した石英斑岩中か、または両者の接触面から湧出していることである。この温泉群の源泉は下流より順に、一番沢——三番沢、旧飯豊温泉、天狗湯の3地区に分布する。

一湯の沢の右支川に当たる一番沢、二番沢、三番沢には、もと5源泉があったが、このたびは三番沢源泉のみを選んだ。飯豊1・2号泉は旧飯豊温泉地区の源泉で、天狗湯は右支川サゴイ沢右岸の岩壁およびその崖下より湧出する源泉である。

山麓地帯：泡の湯と川入鉱泉の二つのみで、湧出母岩は前者は内川層、後者はその下位の川入層である。ともに凝灰岩質の地層で、それを貫く流紋岩の発達する地域から温泉が湧出する⁶⁾。

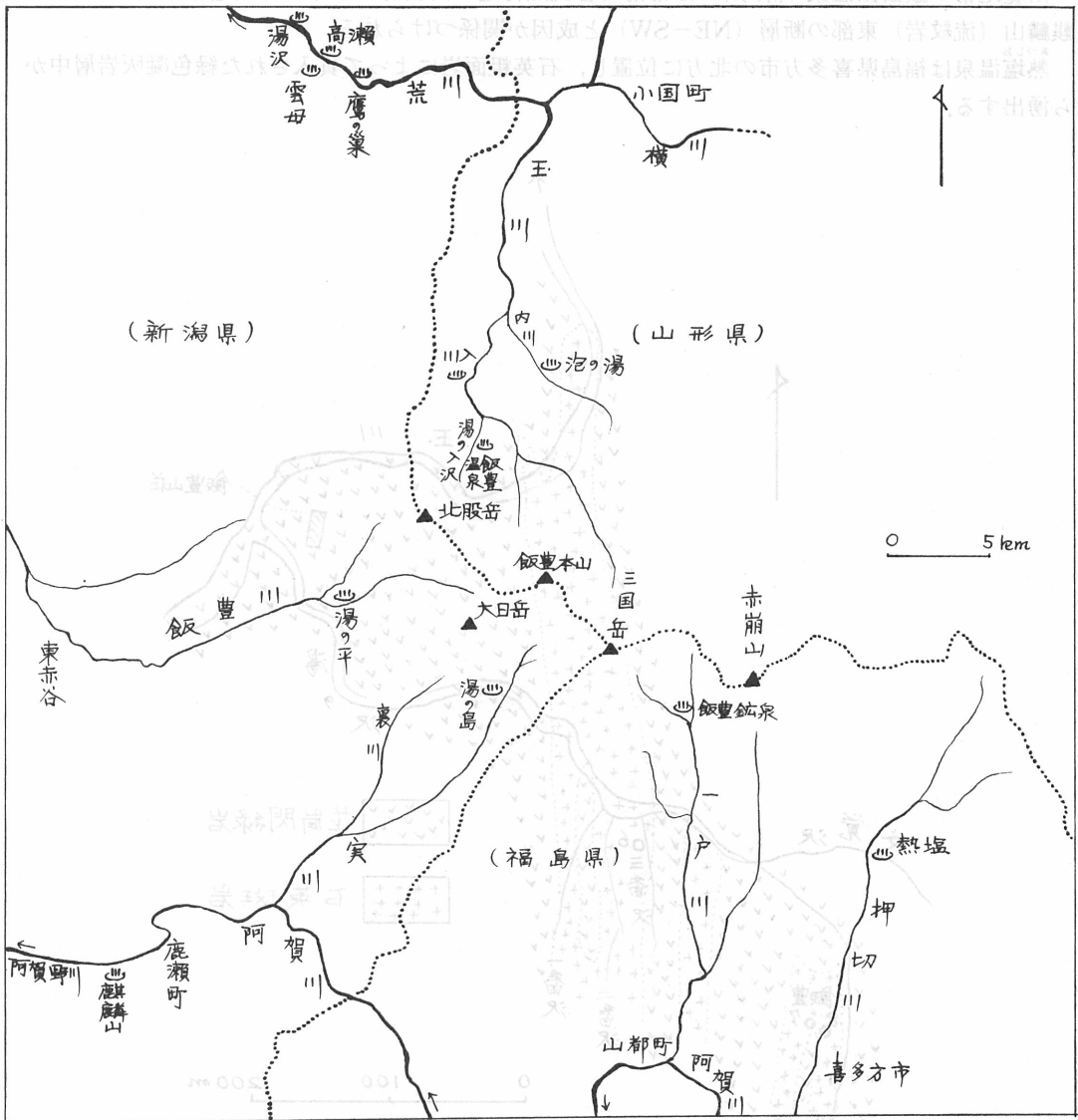


図1 飯豊山地の温泉分布図

(2) 西・南部地域

山岳地帯：新潟県側に湯の平温泉・湯の島鉱泉，福島県側に飯豊鉱泉が湧出する。

湯の平温泉は飯豊川（加治川上流部）源流の右岸に位置する。花崗岩（小川型）の割目より自然湧出するが、ここはホルンフェルスと花崗岩とが断層（NW-SE）で接する地域に当たる。

湯の島鉱泉は実川（阿賀野川右支川）の上流右岸の湯の島小屋付近の湿地に湧出する。源泉は花崗閃緑岩（実川型）の割目から浸出している。

飯豊鉱泉は一戸川（阿賀川右支川）上流の左支川小白布川右岸の古生層中から自然湧出する。

古生層は二疊紀の粘板岩から構成されるが、花崗閃緑岩の貫入によって接触変質を受け、ホルンフェルス化している。

山麓地帯：麒麟山温泉（新潟県）は常滑川合流点付近の阿賀野川左岸の津川層中から湧出する。麒麟山（流紋岩）東部の断層（NE-SW）と成因が関係づけられる。

熱塩温泉は福島県喜多方市の北方に位置し、石英粗面岩によって貫入された緑色凝灰岩層中から湧出する。



図2 飯豊温泉周辺の地質略図

2・3 目 荒川峡温泉群

荒川沿いに、鷹の巣、高瀬、雲母、湯沢の4温泉が上流より順に湧出している。鷹の巣温泉は右岸にあり、周辺には古生層の粘板岩や津川層が発達して、それを貫く流紋岩の割目より温泉が湧出する。高瀬、雲母温泉は荒川を挟んでそれぞれ右、左岸に位置し、ともに津川層を湧出母岩とする。湯沢温泉は4温泉中最も西端に位置し、花崗岩の割目より湧出する。

表1 温泉分析法

温泉名	採水年月日	Tw (°C)	pH	RpH	4.3Bx (me/l)	8.4Ax (me/l)	T.Re (mg/l)	Li ⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Sr ²⁺ (mg/l)	Fe ²⁺ (mg/l)	Mn ²⁺ (mg/l)	Al ³⁺ (mg/l)	F ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	Br ⁻ (mg/l)	I ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	H ₂ S (mg/l)	HBO ₂ (mg/l)	H ₂ SO ₄ (mg/l)
1 古寺鉱泉	78.10:17	9.8	5.8	8.0	21.7	15.0	5031	1.80	867	31.0	131.1	549.9	21.7	14.5	2.00	1.08	0.14	1630	7.33	0.11	352	1513	0.16	4.8	88
2 朝日1号泉	78.10:18	18.8	6.5	8.0	7.78	9.60	4435	7.75	956	150	63.1	611.6	2.15	24.4	3.80	0.08	0.14	1551	6.04	0.09	109	2280	3.41	48.7	107
3 朝日2号泉	78.10:18	11.5	6.4	7.6	6.92	8.34	6420	14.9	1566	236	70.4	412.1	2.12	25.8	2.30	2.95	3.72	1560	6.19	0.17	95.9	3526	1.66	11.4	104
4 池の湯温泉	79.10:9	41.0	6.5	8.2	27.7	9.18	11834	8.82	3050	334	38.2	830.0	15.4	29.6	1.48	0.84	0.06	4319	14.8	0.09	1844	1721	0.61	118	159
5 川入鉱泉	76.11:3	11.8	6.1	7.9	17.8	-	5918	7.29	1905	150	74.1	263.3	7.23	8.6	1.32	0.00	-	2538	8.72	0.23	537	1509	-	61.6	44
6 三番沢鉱泉	76.10:23	40.0	6.5	8.2	4.88	1.63	930	0.98	190	22.3	4.8	130.4	1.01	0.54	0.56	0.00	-	191	1.03	0.06	196	394	-	11.2	66
7 飯豊1号泉	76.8:5	46.1	6.3	8.4	6.88	-	1466	1.56	297	31.3	2.4	198.1	1.43	2.28	0.99	0.00	-	295	1.18	0.12	327	552	-	29.0	90
8 飯豊2号泉	76.8:5	53.0	6.3	8.4	7.20	-	1520	1.68	297	35.7	6.0	197.6	1.45	2.01	1.05	0.00	-	313	1.19	0.12	296	583	-	15.6	94
9 天狗崎1号泉	76.8:5	52.8	7.1	8.4	7.08	-	1512	1.60	283	35.1	5.6	196.5	1.45	2.43	1.09	0.00	-	306	1.13	0.15	300	547	-	17.8	88
10 天狗崎2号泉	76.8:5	55.0	6.8	8.2	7.03	-	1468	1.57	272	35.1	2.6	202.0	1.39	2.30	1.04	0.00	-	299	1.02	0.12	326	499	-	6.6	86
11 湯の平1号泉	77.10:8	56.0	6.7	8.1	5.45	5.90	1384	1.26	273	26.0	1.8	107.1	0.69	1.82	0.44	0.00	-	308	1.14	0.32	238	338	-	10.4	80
12 湯の平2号泉	77.10:8	47.8	6.9	8.0	5.22	1.10	1120	1.20	283	25.7	7.8	103.7	0.69	9.42	0.45	0.00	-	302	0.72	0.32	171	472	-	6.9	62
13 湯の平3号泉	77.10:8	44.0	6.8	8.0	4.37	0.92	966	1.03	240	23.3	3.5	96.4	0.66	0.02	0.06	0.00	-	268	0.81	0.19	192	318	-	10.4	42
14 湯の平4号泉	77.10:8	44.0	6.5	7.9	4.34	1.68	1048	1.14	236	23.6	8.4	88.0	0.85	1.08	0.32	0.00	-	263	0.91	0.26	200	281	-	12.1	48
15 湯の平5号泉	77.10:8	52.0	6.7	8.0	4.21	1.45	754	0.98	235	21.0	2.6	93.6	0.69	0.52	0.76	0.00	-	233	0.92	0.39	242	294	-	13.9	60
16 湯の島鉱泉	79.9:1	21.8	6.6	8.0	12.8	3.30	2403	2.52	630	78.5	19.6	171.2	1.33	27.3	0.92	0.57	0.34	898	3.89	0.00	74	862	0.03	63.5	49
17 麒麟山温泉	79.8:31	40.3	7.4	8.0	1.15	0.03	1409	0.21	350	22.6	4.9	65.6	1.26	0.47	0.52	0.09	0.09	438	1.10	0.00	336	18	0.14	76.6	62
18 飯豊鉱泉	77.9:28	16.0	6.3	7.8	32.1	9.83	8002	10.1	2150	275	138.6	473.1	1.52	2.12	0.50	0.00	-	2910	19.7	0.90	804	2302	-	91.8	84
19 熱海温泉	77.9:29	64.0	7.6	8.3	2.14	0.27	12786	5.45	3100	195	16.1	1144.8	2.87	1.75	0.70	0.00	-	6497	10.1	0.52	338	515	-	78.0	74
20 湯沢温泉	78.12:10	40.0	7.4	7.8	1.53	0.06	926	0.54	285	17.0	1.2	35.2	0.36	0.15	0.53	0.11	2.84	225	1.25	0.00	294	130	2.90	5.5	31
21 高瀬温泉	78.12:10	69.0	8.2	8.3	2.73	0.15	2446	2.16	790	70.0	2.0	86.4	1.30	0.17	0.64	0.09	6.26	914	4.36	0.09	464	323	0.19	13.4	68
22 鷹ノ巣温泉	78.12:10	54.0	7.3	8.0	1.39	0.09	1667	1.42	500	42.0	1.7	81.3	1.51	0.14	0.70	0.14	3.06	564	3.46	0.00	385	195	1.77	14.0	70
23 雲母温泉	78.12:9	59.0	8.0	8.1	2.55	0.23	2485	2.25	885	71.0	1.8	85.3	1.11	0.16	0.46	0.07	5.84	943	5.04	0.07	444	540	2.96	22.6	91

(注) 4.3Bx...pH4.3アルカリ度, 8.4Ax...pH8.4酸度

3 温泉の化学的特徴

3・1 概観

現地調査および化学分析の方法は、これまでとおなじく環境庁の鉱泉分析法⁷⁾にはば従った。はじめに、その結果を表1に示し、同時に主要溶存成分に関する組成ダイアグラム（当量百分率表示）を図3に掲げる。

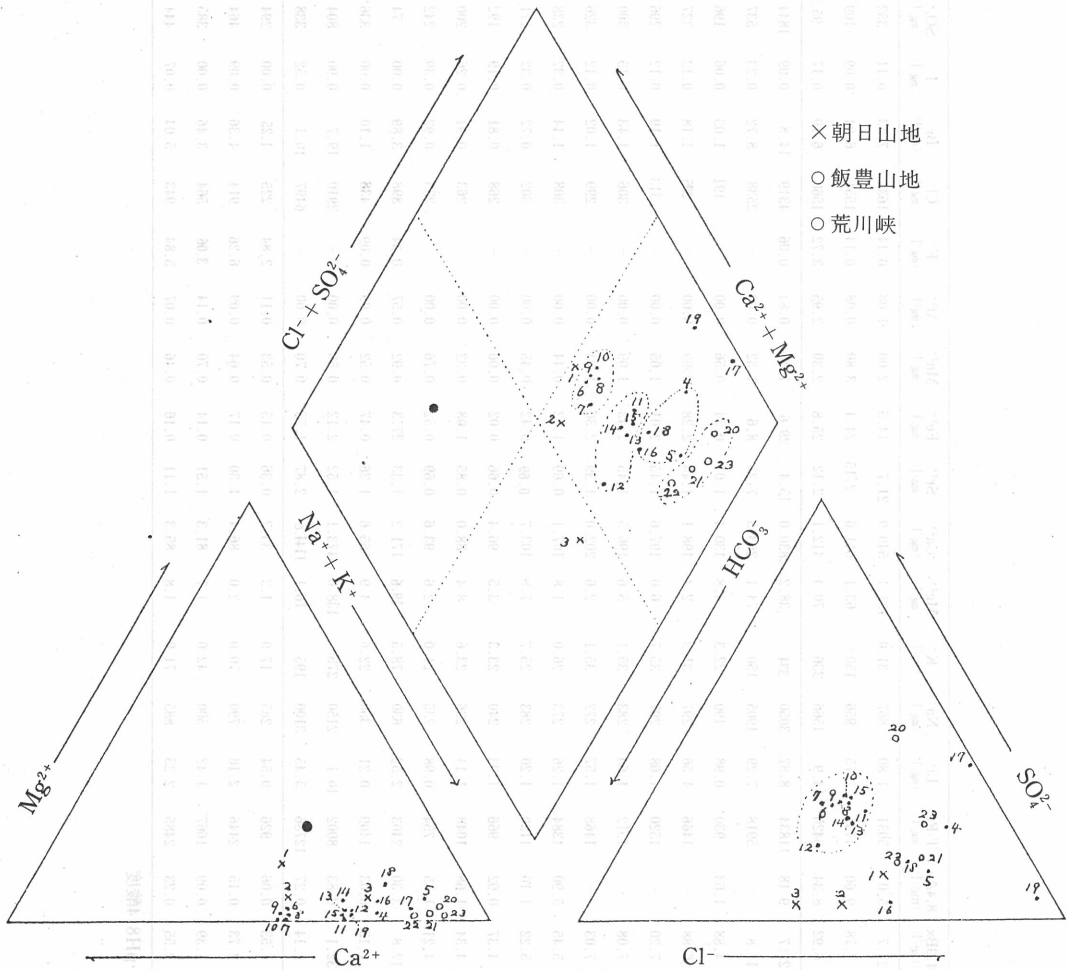


図3 温泉成分の組成ダイアグラム

対象温泉は地理的分布から表2のように5群に分けられるが、主成分 (Na^+ , Cl^-) の含有率をみても、表2のように各群ごとに特有な値を示す。表中、飯豊鉱泉群とあるのは、便宜上川入、湯の島、飯豊の冷鉱泉に泡の湯を加えたものである。なお表2には例外的な朝日2号、麒麟山、熱塩を除いた。

まずカチオンの当量大小関係は、全源泉に例外なく $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ が成り立つ。表2によれば、 Na^+ の全カチオンに対する当量比は、朝日鉱泉群が最低の約50%で、湯の沢、湯の平、飯豊、荒川峡の温(鉱)泉群の順に高くなり、とくに荒川峡では80%を越す。したがって図3のカチオン三角座標上でも、大局的には上記各温泉群がべつべつにまとまりを示す。

表2 主成分の当量百分率

温泉群	Na ⁺ /Σカチオン	Cl ⁻ /Σアニオン
湯の沢温泉群 (No.6, 7, 8, 9, 10)	51~53	34~36
湯の平温泉群 (No.11, 12, 13, 14, 15)	61~63	40~46
飯豊鉍泉群 (No.4, 5, 16, 18)	67~77	60~67
荒川峡温泉群 (No.20, 21, 22, 23)	80~86	45~64
朝日鉍泉群 (No.1, 2)	48~50	52~59

(注) No. 3, 17, 19 を除く。

つぎにアニオン全体について当量の大小関係を見ると、二、三の例外を除けば、湯の沢温泉群だけがHCO₃⁻型で、他はことごとくCl⁻型にあてはまる。さらにこまかに各温泉群について特徴を調べると、次のようにまとめられる。

HCO₃⁻ > Cl⁻ > SO₄²⁻: 湯の沢 (No. 6 ~ 10)

Cl⁻ > HCO₃⁻ > SO₄²⁻: { 湯の平 (No.11~15)
飯豊 (No. 4, 5, 16, 18)
朝日 (No. 1, 2)

Cl⁻ > SO₄²⁻ > HCO₃⁻: 荒川峡 (No.20~23)

アニオンの三角座標では、飯豊山岳地帯の湯の沢・湯の平の2温泉群が狭い範囲に密集する。ちなみに湯の沢温泉群ではHCO₃⁻ > Cl⁻の関係とはいうもののHCO₃⁻ ≒ Cl⁻が成り立つ。

全体を総合すると、対象とした温泉は地理的分布からだけでなく化学組成からも5群に分けられるが、湯の平、飯豊、朝日、荒川峡などNa⁺-Cl⁻型温泉が主体になっている。

3・2 飯豊山地の温泉

前項で飯豊山地の温泉は、化学組成から大局的には湯の沢・湯の平・飯豊の温(鉍)泉群に分けられることを明かにした。つぎに、これらの群について、さらに具体的に化学的特徴をみることにする。湯の沢・湯の平の両温泉群は、飯豊山地の北股岳を挟んで、その両側に位置し、山岳地帯を代表するのでまとめて述べることにする。

飯豊山岳地帯温泉群 (No. 6 ~ 15): 泉温は、湯の沢 (No. 6 ~ 10) が40~55℃、湯の平 (No.11~15) は44~56℃で両温泉群にはほとんど差がない。pHは全体として6.1~7.1の範囲にあり、全蒸発残留物は0.7~1.5g/lで一般に湯の沢の方がやや多い。なお、両群を合せて主成分のNa⁺, Cl⁻に関する濃度 (mg/l) の相関図を描くと、図4のように正の相関関係が成り立つ。回帰方程式は次のとおりで、相関係数rは危険率1%にて有意である。

$$Na^+ = 0.816Cl^- + 33.8 \quad (r=0.942)$$

これは両温泉群の成因の類似性を暗示する。

飯豊鉍泉群 (No. 4, 5, 16, 18): pHが6.1~6.6で全蒸発残留物が多く、湯の島 (2.4g/l) を除くと6~12g/lにもおよび、湯の島は湿地に浸出する鉍泉で、本来の源泉水が希釈され、泉温も日射の影響を受けている。泉温は、泡の湯が41.0℃でやや高いが、他は10~20℃台の冷鉍泉である。これらのNa⁺/Cl⁻ (重量比) は0.70~0.75でたがいに類似し、湯の島以外の3鉍泉に関して、主成分Na⁺, Cl⁻の各濃度 (g/l) と泉温Tw (℃) との間には正の相関関係が成り立つ。回

帰方程式は次のとおりで、相関係数 r はともに危険率 5% にて有意である。

$$\text{Na}^+ = 1.50 + 0.0381\text{Tw} \quad (r = 0.997)$$

$$\text{Cl}^- = 1.89 + 0.0594\text{Tw} \quad (r = 0.998)$$

また鉄分(酸可溶性鉄)の多いのも特徴で、とくに泡の湯、湯の島にいたっては $30\text{mg}/\text{l}$ に近く、川入、飯豊鉱泉もそれぞれ 8.6 、 $2.12\text{mg}/\text{l}$ 含有する。いずれも炭酸含有の食塩泉で、たがいに類似した成因が考えられる。

その他の温泉：麒麟山 (No.17)・熱塩 (No.19) の両温泉は、化学組成・地質の両面からみて、飯豊山地の大部分の諸温(鉱)泉と異なる。熱塩は $\text{pH} 7.6$ 、 Na^+ 、 Cl^- がそれぞれ 3.1 、 $6.5\text{g}/\text{l}$ で飯豊全地域の温泉中最高である。アニオン中で占める Cl^- の当量比も最大の 92% を占める。麒麟山は $\text{pH} 7.4$ 、全蒸発残留物が $1.4\text{g}/\text{l}$ で湯の沢温泉群に近いが化学組成は異なる。さらに他とちがって HCO_3^- したがって溶存炭酸に乏しいことも両温泉の特徴である。

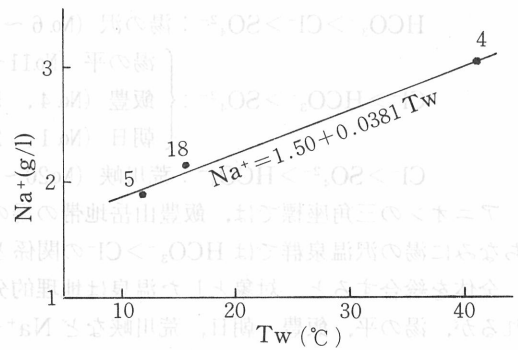
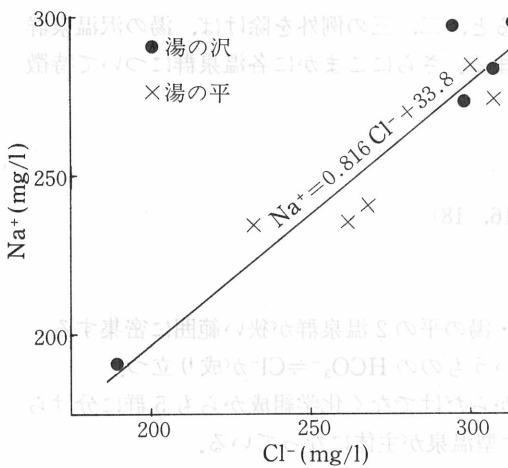


図4 Na^+ — Cl^- 濃度相関図(飯豊山岳地帯温泉群) 図5 Na^+ 濃度—泉温相関図(飯豊鉱泉群)

3・3 荒川峡温泉群 (No.20~23)

いずれも食塩泉で、 pH が $7.3 \sim 8.2$ 、湯沢以外では泉温が高い ($54 \sim 60^\circ\text{C}$)。全体に共通して $\text{Na}^+ \doteq \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ の当量関係が成り立つ。湯沢に限って $\text{Cl}^- \doteq \text{SO}_4^{2-}$ が見られるが、これ以外については $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ の関係が成り立つ。しかし全温泉について、 T - Re および Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} の各イオンの濃度 (mg/l) と泉温との間には正の相関関係が見られる。なお、いずれの場合にも相関係数 r は危険率 5% にて有意である。回帰方程式は次のとおりである。

$$T-\text{Re} = 77.6\text{Tw} - 2254 \quad (r = 0.967)$$

$$\text{Na}^+ = 27.6\text{Tw} - 825 \quad (r = 0.926)$$

$$\text{Ca}^{2+} = 2.62\text{Tw} - 67.6 \quad (r = 0.980)$$

$$\text{Cl}^- = 35.5\text{Tw} - 1230 \quad (r = 0.966)$$

$$\text{SO}_4^{2-} = 8.16\text{Tw} - 37.7 \quad (r = 0.986)$$

化学組成がたがいに類似し、しかもこのような相関関係が成立することは、これらの温泉が同一成因であることを示す。湯沢——鷹の巣の方向とこれに交差する高瀬——雲母の方向とにそれぞれ断層が走ることから、これら 4 温泉は同一起源のものと推定される。

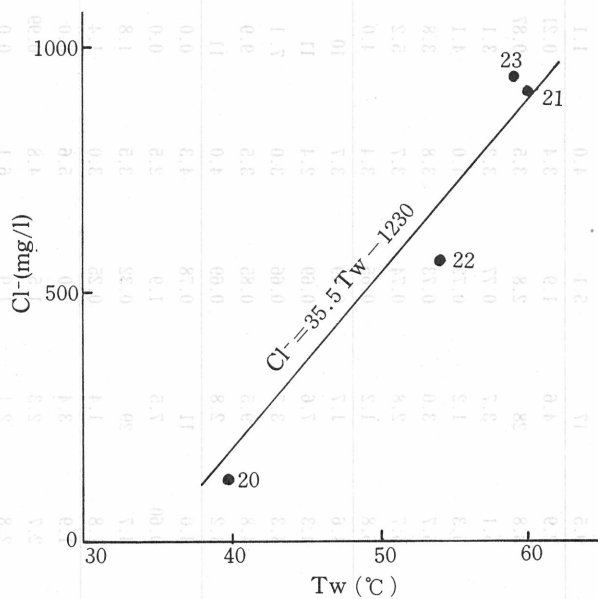


図6 Cl⁻濃度—泉温相関図(荒川峡温泉群)

3・4 朝日山地の鉱泉 (No.1~3)

ともに炭酸含有の冷食塩泉で、pHは6前後、RpHは8.0となる。全蒸発残留物が5g/lに近く、著量のFe²⁺、Mn²⁺を含む。

3・5 二、三の地球化学的考察

今回対象とした温泉のなかで飯豊山地の温泉には、湯の沢温泉群のようにHCO₃⁻>Cl⁻を示すものもあるが、全体的には食塩泉が多い特徴をもつ。これらの食塩泉の成因を知る一手段として各種溶存成分の含有比を表3に示して考察を進める。これには油田塩水の代表として戸沢温泉(山形県最上ガス田野野 Tk 2号泉)の値(加藤⁸⁾)も載せておく。これによれば、飯豊山地の温泉では二、三の化学成分の含有比が対応する油田塩水の値に類似するものがあったとしても、全体として見ると油田塩水とは異なる。

つぎに、われわれが食塩泉の成因を知るために有効な一手段として提案したLi⁺/Na⁺—K⁺/Na⁺関係図(一國¹⁰⁾)を飯豊山地の温泉に適用してみる。これらは図7のように、全体としてよくまとまり、とくに飯豊山岳地帯温泉群(湯の沢・湯の平)は熱水性塩水(geothermal brine)の領域に密集する。また、飯豊鉱泉群も熱水性塩水の近傍に位置を占める。しかし、組成ダイアグラム(図3)において飯豊山地の集団からずれていた麒麟山(17)・熱塩(19)の両温泉は、図7においても同様に離れて位置する。すなわち、油田塩水と熱水性塩水との中間領域にある。

このように温泉地質とLi⁺/Na⁺—K⁺/Na⁺関係図からみれば、飯豊山地の大部分の温泉は熱水性塩水起源と推定され、例外的な上記2温泉はもとも海水起源であろうが、その堆積環境の圧力・温度がじゅうぶんでなく、油田塩水と熱水性塩水との中間に位置するものと考えられる。この周辺の朝日山地・荒川峡の温泉も大局的には熱水性塩水起源とみてよからう。

さらに、Sr²⁺—Ca²⁺、Mg²⁺—Ca²⁺の関係図(図8)を描いて考察を進める。この図におい

表3 溶存成分の含量比

温泉	当量			重量			比			重量			比			
	$\frac{Na^+ + K^+}{\Sigma \text{カチオン}}$	$\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{\Sigma \text{カチオン}}$	Cl ⁻ Σアニオン	$\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{\Sigma \text{カチオン}}$	$\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{\Sigma \text{カチオン}}$	SO ₄ ²⁻ Σアニオン	$\frac{Na^+ + K^+}{\Sigma \text{カチオン}}$	$\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{\Sigma \text{カチオン}}$	Cl ⁻ Σアニオン	$\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{\Sigma \text{カチオン}}$	$\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{\Sigma \text{カチオン}}$	$\frac{K^+ / Na^+}{(\times 10^2)}$	$\frac{Li^+ / Na^+}{(\times 10^3)}$	$\frac{Mg^{2+} / Ca^{2+}}{(\times 10^2)}$	$\frac{Sr^{2+} / Ca^{2+}}{(\times 10^2)}$	$\frac{Br^- / Cl^-}{(\times 10^3)}$
1 古寺 鉱泉	0.49	0.48	0.59	0.48	0.32	0.09	3.6	2.1	24	4.0	4.5	0.67				
2 朝日 1号線	0.54	0.43	0.52	0.45	0.03	0.02	15.7	8.1	10	3.5	3.9	0.58				
3 朝日 2号線	0.70	0.25	0.42	0.56	0.02	0.02	15.1	9.5	17	5.1	4.0	1.1				
4 泡の湯 温泉	0.76	0.23	0.64	0.15	0.20	0.20	11.0	2.9	4.6	1.9	3.4	0.21				
5 川入 鉱泉	0.82	0.18	0.67	0.23	0.10	0.10	7.9	3.8	28	2.8	3.5	0.87				
6 三番沢 鉱泉	0.56	0.44	0.34	0.41	0.26	0.26	12	5.1	3.7	0.77	3.3	3.1				
7 飯豊 1号泉	0.58	0.42	0.35	0.37	0.28	0.28	11	5.3	1.2	0.72	4.0	4.1				
8 飯豊 2号泉	0.57	0.43	0.36	0.39	0.25	0.25	12	5.7	3.0	0.73	3.8	3.8				
9 天狗湯 1号泉	0.56	0.44	0.36	0.38	0.26	0.26	12	5.7	2.8	0.74	3.7	5.2				
10 天狗湯 2号泉	0.55	0.45	0.36	0.35	0.29	0.29	13	5.8	1.2	0.65	3.4	4.0				
11 湯の平 1号泉	0.69	0.31	0.46	0.29	0.25	0.25	9.5	4.6	1.7	0.69	3.7	10				
12 湯の平 2号泉	0.69	0.31	0.43	0.39	0.18	0.18	9.1	4.3	7.6	0.69	2.4	11				
13 湯の平 3号泉	0.68	0.32	0.45	0.31	0.24	0.24	9.7	4.3	3.7	0.66	3.0	7.1				
14 湯の平 4号泉	0.68	0.32	0.44	0.31	0.25	0.25	10	4.8	9.5	0.85	3.5	9.9				
15 湯の平 5号泉	0.69	0.31	0.40	0.30	0.30	0.30	8.9	4.2	2.8	0.69	4.0	11				
16 湯の島 鉱泉	0.71	0.24	0.62	0.34	0.04	0.04	13	4.0	11	0.78	4.3	0.0				
17 麒麟山 温泉	0.80	0.19	0.62	0.02	0.36	0.36	6.5	0.60	7.5	1.9	2.5	0.0				
18 飯豊 鉱泉	0.74	0.26	0.60	0.28	0.12	0.12	13	4.7	29	0.32	3.5	1.8				
19 熱塩 温泉	0.71	0.30	0.92	0.04	0.04	0.04	6.3	1.8	1.4	0.25	3.0	1.4				
20 湯沢 温泉	0.86	0.12	0.45	0.14	0.41	0.41	6.0	1.9	3.4	1.0	5.6	0.0				
21 高瀬 温泉	0.88	0.11	0.64	0.13	0.23	0.23	8.9	2.7	2.3	1.5	4.8	0.99				
22 鷹ノ巣 温泉	0.83	0.15	0.58	0.12	0.30	0.30	8.4	2.8	2.1	1.9	6.1	0.0				
23 雲母 温泉	0.89	0.10	0.59	0.20	0.21	0.21	8.0	2.5	2.1	1.3	5.3	0.74				
戸沢 温泉	0.98	0.069	0.91	0.086	0.00	0.00	7.5	0.11	21	3.1	6.2	10.7				
油田 塩水	0.91~0.97	0.03~0.09	0.61~0.98	0.02~0.39	<0.00	<0.00	2~7	<0.2	30~600	1~6	2.4~8.1	6.0~60				

(注) 油田塩水の値は太藁ら⁹⁾による。

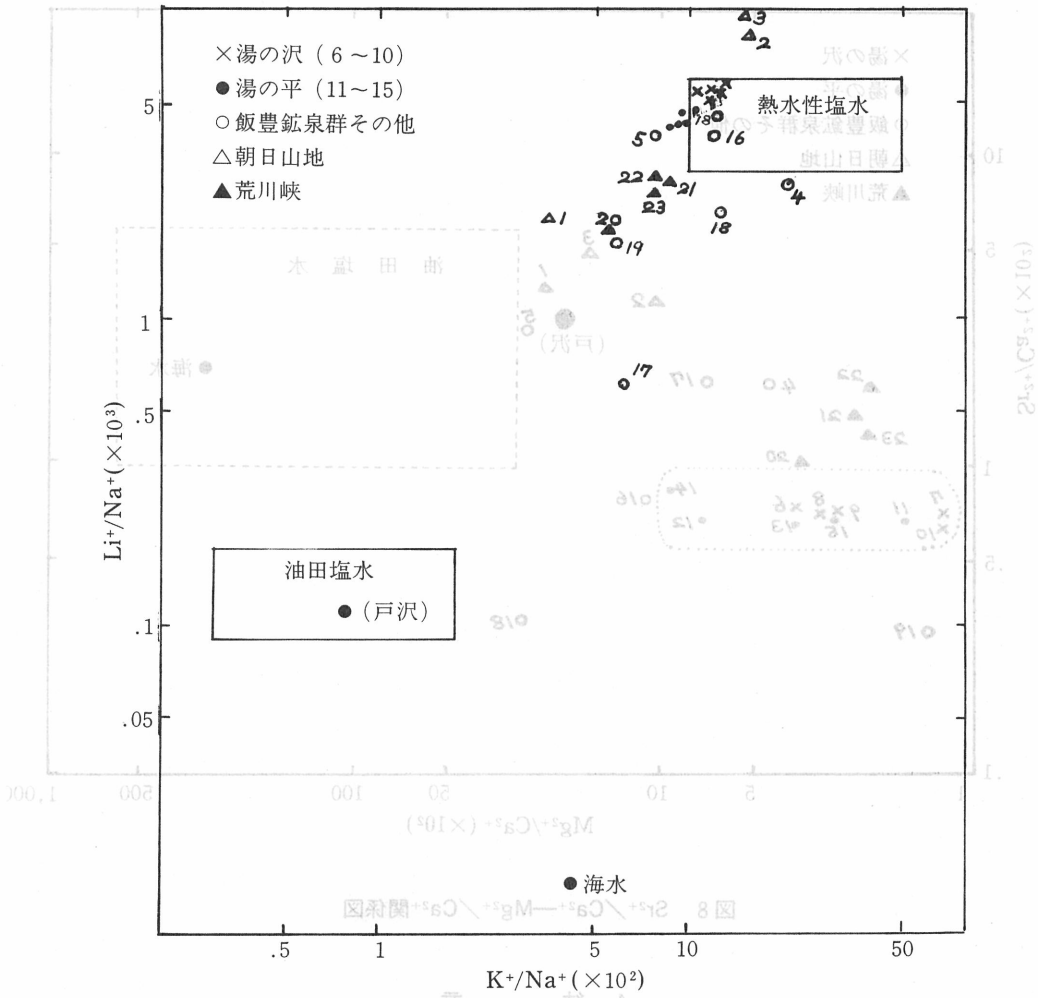


図7 Li⁺/Na⁺—K⁺/Na⁺関係図

でも、二、三油田塩水の領域に近いものもあるが、大部分はこれより離れて位置を占める。とくに飯豊山岳地帯温泉群はよくまとまり、 Sr^{2+}/Ca^{2+} が $(0.65\sim 0.89)\times 10^2$ 、 Mg^{2+}/Ca^{2+} が $(1.2\sim 9.5)\times 10^2$ の狭い範囲内に収まる。朝日山地、荒川峡の各温泉群もそれぞれ特有のまとまりを示す。飯豊山岳地帯の集団のみを見ると、 Sr^{2+}/Ca^{2+} の値が全体としてほぼ等しいのに、 Mg^{2+}/Ca^{2+} の方は、一般に泉温の高いものほど値が小さい。高温になると、岩石と温泉との間に次のような反応が生ずるので、温泉水中の Mg^{2+}/Ca^{2+} の値が減少するのである(水谷¹¹⁾。

$Mg^{2+} + Ca\text{-silicate} \rightarrow Mg\text{-silicate} + Ca^{2+}$
 これらの事実も、飯豊山岳地帯の温泉をはじめとして対象温泉の大部分が、油田塩水起源ではなく熱水性塩水起源であることを暗示する。

(1) 湯の沢の温泉群は、湯の沢(6~10)と湯の平(11~15)の二つの温泉群に分かれるが、湯の沢の温泉群は、湯の沢(6~10)と湯の平(11~15)の二つの温泉群に分かれる。(2) 湯の平の温泉群は、湯の平(11~15)と湯の沢(6~10)の二つの温泉群に分かれる。(3) 湯の沢の温泉群は、湯の沢(6~10)と湯の平(11~15)の二つの温泉群に分かれる。(4) 湯の平の温泉群は、湯の平(11~15)と湯の沢(6~10)の二つの温泉群に分かれる。(5) 湯の沢の温泉群は、湯の沢(6~10)と湯の平(11~15)の二つの温泉群に分かれる。(6) Li⁺/Na⁺—K⁺/Na⁺関係図は、湯の沢(6~10)、湯の平(11~15)、飯豊鉱泉群その他、朝日山地、荒川峡の各温泉群のデータを示している。

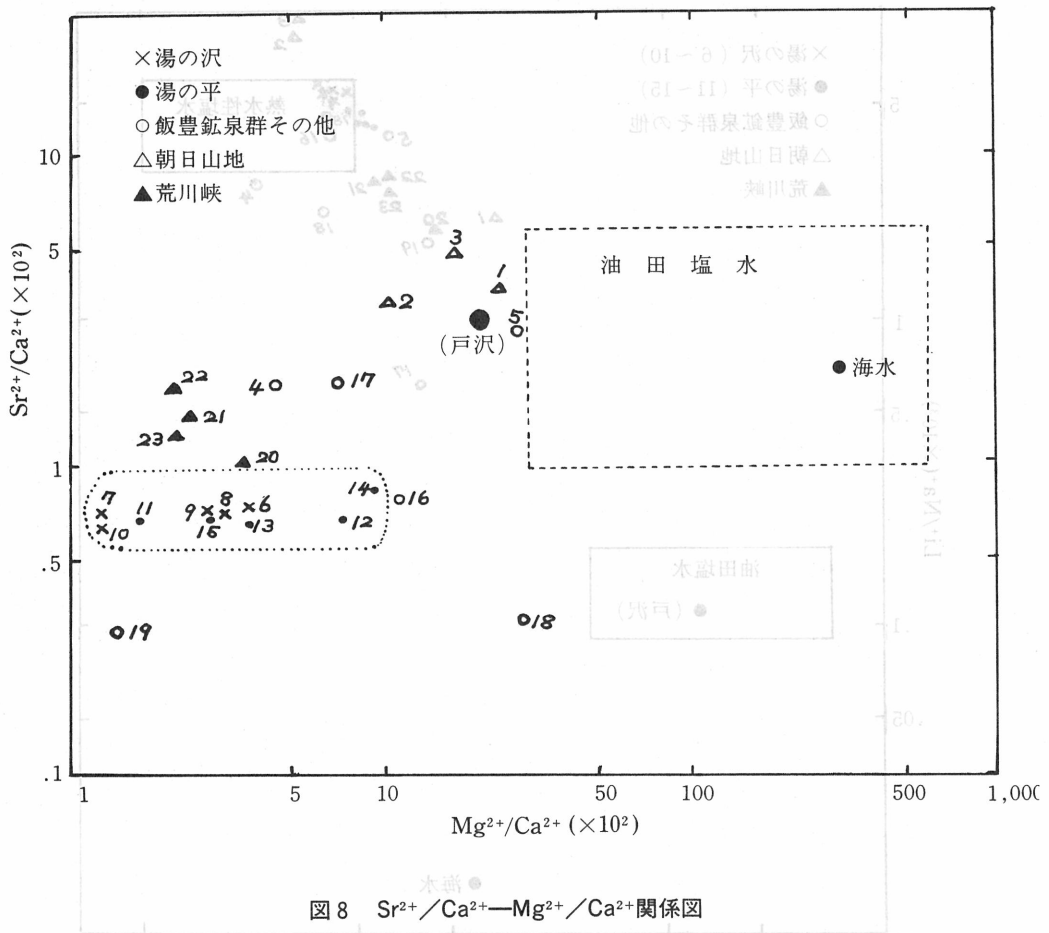


図8 Sr²⁺/Ca²⁺—Mg²⁺/Ca²⁺関係図

4 結 言

飯豊山地およびその周辺地域の温(鉱)泉について、溶存成分の化学的特徴を検討してきたが、次のようにまとめられる。

- (1) 主溶存成分の濃度(当量)に関し、カチオンではすべてに $Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$ が成り立つが、アニオンの場合には地域的に異なる。
 $HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{2-}$: 湯の沢
 $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-}$: 湯の平, 飯豊, 朝日
 $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$: 荒川峡
- (2) 湯の沢・湯の平両温泉群は、化学組成がたがいに類似し、両群を合わせても主成分の Na^+ , Cl^- の濃度間には順相関が見られ、両温泉群の成因は同一と推定される。
- (3) 飯豊山地の川入, 泡の湯, 飯豊, 湯の島の鉱泉集団——飯豊鉱泉群——は、全蒸発残留物がその山岳地帯の温泉群に比し1けたほど多く、たがいに類似の化学組成を示す。
- (4) 荒川峡温泉群は地質、化学組成からみて成因は同一と推定される。
- (5) 各種溶存成分の含有比は、大局的には対象温泉のすべてに関して油田塩水とは異なる。
- (6) $Li^+/Na^+—K^+/Na^+$ 関係図においても、対象温泉の大部分が熱水性塩水の領域に密集

して油田塩水とは起源を異にすることが明かである。

(7) 総合的にみて飯豊山地の温泉は熱水性塩水起源と推定される。

この研究を行うに当たり、現地調査に際して山形大学の志田勇・新関八郎の両先生、新潟県新発田市の平野弘・信の両氏および同県鹿瀬町役場（とくに清田甲五氏）に協力していただき、いろいろお世話になった。また当時在学中だった井島美智子・那須美穂子・佐藤比呂子の各嬢も現地調査・実験に協力した。この他に、新潟県自然保護課より荒川峡温泉に関する詳細な資料をいただいた。なお、この研究に要した費用の一部は山形県自然保護課に負っている。以上の方がたおよび諸機関に対し、とくに記して深謝の意を表する次第である。

文 献

- 1) 福島県：「福島県の温泉（改訂版）」，福島県，80p. (1970)
- 2) 山形県温泉協会：「山形県温泉誌」，541p. (1973)
- 3) 加藤武雄：朝日・飯豊山系の温泉に関する地球化学的研究，温泉工学会誌，5，1～7 (1967)
- 4) 新潟県：「20万分の1新潟県地質図および同説明書」，新潟県，493p. (1977)
- 5) 佐藤五郎・加藤武雄：荒川水系(朝日・飯豊山系)の水質，「最上川」，山形県総合学術調査会，105～125 (1982)
- 6) 山形県：「飯豊・泡の湯地区の温泉賦存状況調査報告書」(手記) (1977)
- 7) 環境庁：鉱泉分析法(改訂)，温泉工学会誌，13，1～75 (1978)
- 8) 加藤武雄・志田勇・新関八郎：山形県最上ガス田地帯の温泉に関する地球化学的研究，温泉工学会誌，12，1～12 (1977)
- 9) 太秦康光・那須義和：油田塩水と温泉水の化学成分の比較，日本化学雑誌，81，401～404 (1960)
- 10) 一国雅巳・鈴木勲子・加藤武雄：食塩泉の化学的特徴，温泉科学，25，21～25 (1974)
- 11) 水谷義彦・浅井 寛・浜砂武聖：伊豆半島南部の中性塩化物泉の起源，火山(第2集)，19，139～150 (1975)