

# 群馬県の温泉の化学成分

群馬県衛生公害研究所

酒井幸子

## Chemical Components of Hot Springs in Gunma Prefecture

Yukiko SAKAI

Gunma Institute of Public Health

### 緒言

群馬県には数多くの温泉が存在しているが、その特徴のひとつとして泉質が豊富であることがあげられる。“温泉の標本県”という言葉で表現してもおかしくないと思われるほど県内には種々の泉質がみられる。

昭和63年3月31日現在の県内の源泉数は337であるが、近年分析を行った233源泉を泉質別に分類したところ、単純温泉が79源泉と一番多かった。単純温泉は溶存物質質量(ガス性のものを除く)が1g/kgに満たないもので、泉温が25℃以上のものと分類されている<sup>1)</sup>。言い換えると、含有成分の種類や量が少なく、温度のみで“温泉”に該当している一群である。単純温泉はその性質上、温度のみに関心が向きがちであり、その含有成分の特徴についての報告はほとんどなされていない。

ここでは「群馬県の温泉の化学成分」として、単純温泉を中心に報告する。

### 群馬県の温泉の泉質について

温泉の泉質について、鉱泉分析法指針(改訂)(1978)には、「温泉法第2条で定義された“温泉”の中で、特に治療の目的に供しうるものを療養泉と定義し、療養泉は、その利用に資する目的で含有する化学成分に基づいて泉質に分類する。」と記されている。細かな泉質の分類はかなり煩雑であるが、概略は次に示したように分類される。

1. 塩類泉
- 塩化物泉
  - 炭酸水素塩泉
  - 硫酸塩泉(酸性の硫酸塩泉を含む)

第1表

物質名	限界値(1kg中)
CO <sub>2</sub>	1000mg 以上
Cu <sup>2+</sup>	1 "
Fe <sup>2+</sup> +Fe <sup>3+</sup>	20 "
Al <sup>3+</sup>	100 "
H <sup>+</sup>	1 "
S	2 "
Rn	30×10 <sup>-10</sup> キュリー単位

2. 単純温泉 { 単純温泉 (pH < 8.5)  
アルカリ性単純温泉 (8.5 ≤ pH)
3. 特殊成分を含む療養泉 (第1表に掲げる物質を1つ以上、限界値以上含有する)  
分析を行った県内の233源泉の中で療養泉に該当しているものは217源泉であった。それらの泉質別源泉数を表1に示した。

群馬県の単純温泉の位置

群馬県の単純温泉は図1に示したように、29の温泉でみられる。県の中央部から北部域にかけてみられ、県南部域には存在しない。単純温泉は前に示したようにpHによって分類され、pH 8.5以上の単純温泉をアルカリ性単純温泉という。図2にアルカリ性単純温泉の見られる15の温泉(総源泉数として30)の位置を示したが、利根川支流片品川流域の8つの温泉(総源泉数として21)に集中的に存在している。

分析結果および考察

1. 分析結果について

調査対象となった県内の233源泉は、ほとんど鉱泉中分析が実施されているが、単純温泉に分類された79源泉のpH、蒸発残留物およびCl<sup>-</sup>の測定値を表2に示した。

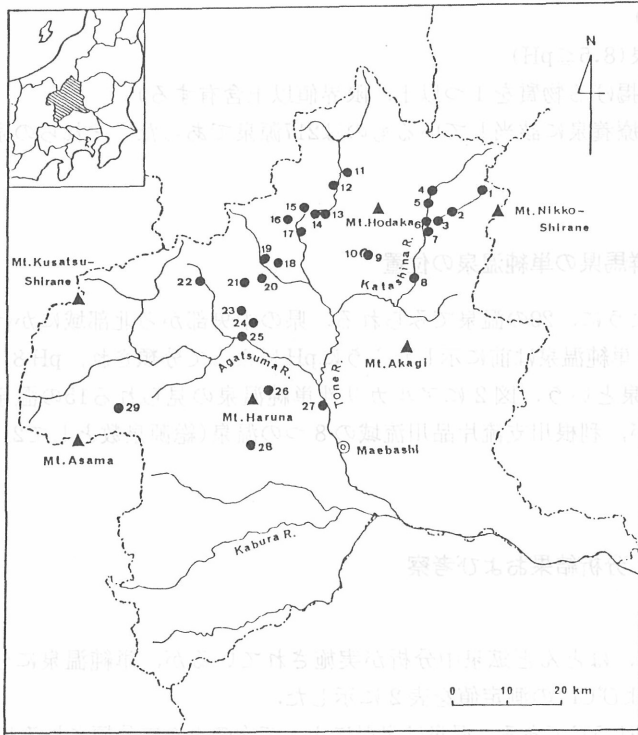
群馬県の単純温泉の泉温の平均値は41.5℃である。温泉は泉温によって次のように分類される<sup>1)</sup>。

泉 温		
冷鉱泉	25℃未満	
温泉	低温泉	25℃以上34℃未満
	温 泉	34℃以上42℃未満
	高温泉	42℃以上

図3に単純温泉全体とアルカリ性単純温泉の泉温による分類を示した。単純温泉全体では42℃未満の泉温の源泉が57%であるのに対して、アルカリ性単純温泉のそれは67%で、アルカリ性単純温泉は低温泉に多いことが明らかである。

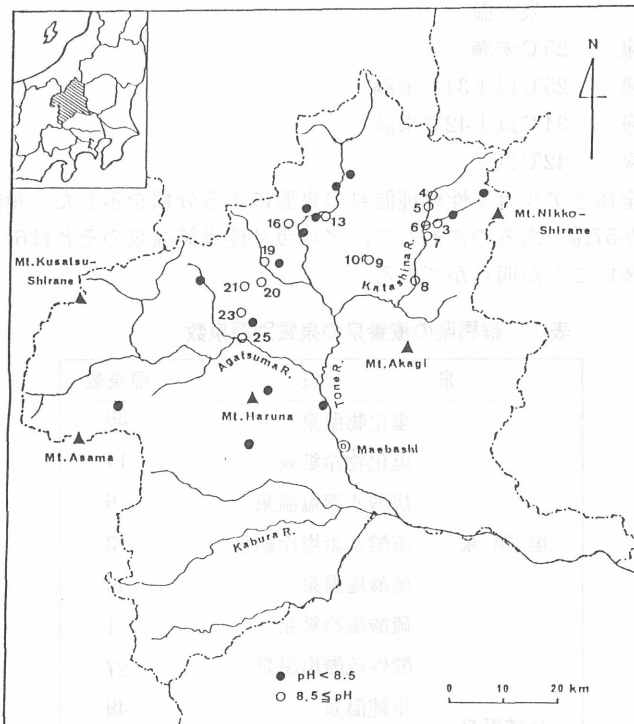
表1 群馬県の療養泉の泉質別源泉数

泉 質	源泉数	
塩 類 泉	塩化物温泉	36
	塩化物冷鉱泉	14
	炭酸水素塩温泉	6
	塩酸水素塩冷鉱泉	3
	硫酸塩温泉	49
	硫酸塩冷鉱泉	1
	酸性硫酸塩温泉	27
単純温泉	単純温泉	49
	アルカリ性単純温泉	30
特殊成分を含むもの	2	



No.	温泉名	10	桜川	20	上毛高原
1	丸沼	11	湯ノ小屋	21	奥平
2	白根	12	宝川	22	四方
3	東小川	13	向山	23	磯川塩平
4	戸倉	14	大穴	24	大塚
5	片品	15	湯松	25	中之条
6	鎌田	16	谷川	26	伊香保
7	須賀	17	水川	27	半田
8	老神	18	大峰	28	榛名
9	川場	19	新三	29	四季

図1 群馬県の単純温泉の分布



\*数字は図1と同じ温泉を示している。数字の記載ある温泉はアルカリ性単純温泉のみられる温泉である。

図2 群馬県の単純温泉のpHによる分類

表2 群馬県の単純温泉(分析結果)

\*図1のNo.に同じ

No.	温泉名(源泉名)	pH	蒸発残留物 (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	No.	温泉名(源泉名)	pH	蒸発残留物 (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)
1	丸沼(1号泉)	7.2	803	89.8		〃(4号泉)	7.8	853	243
2	白根(上の湯)	7.6	644	94.7	13	向山(宝珠の湯)	9.4	107	2.1
	〃(下の湯1号)	8.0	557	66.0	14	大穴(奥利根館 源泉1号)	8.4	413	104
	〃(下の湯2号)	8.3	401	43.0	15	湯衾曾(貞任の湯)	8.4	503	139
3	東小川(宮の下)	9.0	161	3.5		〃(厚生省の湯)	8.1	393	101
4	戸倉(尾瀬の湯)	10.1	234	20.2		〃(東証の湯)	8.4	319	82.8
	〃(水芭蕉の湯)	10.4	238	32.8		〃(薬師の湯)	8.2	346	91.6
5	片品(新井の湯)	9.2	337	44.2	16	谷川(不老泉)	8.2	767	82.6
	〃(萩の湯1号)	9.1	292	31.1		〃(不尽の湯)	8.3	863	109
	〃(萩の湯2号)	9.3	201	9.5		〃(薬師の湯)	8.0	723	90.6
	〃(市山の湯)	8.4	324	62.2		〃(亀の湯)	8.4	625	112
	〃(釈迦の湯)	8.9	300	67.3		〃(憩の湯)	8.4	211	32.0
	〃(閑野の湯)	8.7	258	29.4		〃(鶴の湯)	8.4	406	73.9
6	鎌田(半瀬の湯)	8.7	349	103		〃(大学の湯)	8.5	242	38.4
	〃(尾瀬の湯)	8.6	301	29.2		〃(峯岸の湯)	8.4	534	98.2
	〃(大崖の湯)	9.0	173	19.3		〃(雫の湯)	8.0	187	25.4
7	須賀川(滝の湯)	9.1	199	30.5		〃(不動の湯)	8.7	509	88.6
8	老神(1号泉)	8.7	524	123		〃(孤峯の湯)	8.2	602	114
	〃(2号泉)	8.4	676	94.1		〃(岩間の湯)	8.0	515	93.9
	〃(3号泉)	8.7	602	87.1		〃(みもすその湯)	8.4	688	70.6
	〃(4号泉)	8.2	572	139		〃(清の湯)	8.3	747	110
	〃(5号泉)	8.7	574	92.3	17	水上(荒木・松の 井共有泉)	9.0	241	18.5
	〃(6号泉)	8.6	409	79.3		〃(新湯)	7.6	706	67.9
	〃(7号泉)	7.1	568	134		〃(横笛の湯)	8.0	610	44.7
	〃(8号泉)	6.8	385	67.2	18	大峰(堤の湯)	7.8	200	2.7
	〃(9号泉)	7.1	419	87.8	19	新三国	8.6	88.3	5.2
	〃(10号泉)	8.3	483	117	20	上毛高原	9.5	209	8.6
	〃(薬師の湯)	7.4	195	21.7	21	奥平(湯平)	8.6	131	22.9
	〃(若の湯1号)	8.6	272	5.4		〃(第1号泉)	7.3	145	19.9
	〃(若の湯2号)	6.6	853	19.0		〃(第2号泉)	7.3	157	21.6
	〃(若の湯3号)	8.0	663	17.0	22	四万(湯の泉)	7.6	942	32.3
	〃(長寿の湯)	9.2	167	15.7	23	蟻川塩平	8.7	230	59.4
9	川湯(弘法の湯)	9.1	270	42.5	24	大塚(温湯2号)	7.1	466	145
	〃(丹後の湯)	8.7	128	5.7	25	中之条(天神の湯)	8.9	178	25.3
10	桜川(せせらぎの湯)	9.3	107	5.4	26	伊香保(旧湯)	6.1	880	79.8
11	湯ノ小屋(1号泉)	7.6	560	108	27	半田(高橋の湯)	8.2	550	83.7
	〃(2号泉)	8.0	433	82.9	28	榛名(神夢の湯1)	7.4	166	4.3
	〃(3号泉)	7.8	346	58.3		〃(神夢の湯2)	8.2	186	5.6
12	宝川(1号泉)	7.6	375	81.3	29	四季(1号)	7.4	608	20.4
	〃(3号泉)	7.9	631	152					

泉温が42℃以上の高温泉は丸沼・白根・片品・鎌田・老神・湯ノ小屋・宝川・湯桧曾および谷川温泉でみられ、県の北部域の利根川上流域および片品川流域の比較的限られた地域に存在している。

温泉水中の溶存物質量は全分析を行った結果得られる値であるため、ここでは便宜的に溶存物質の目安として蒸発残留物の値を表2に掲げた。蒸発残留物は110℃で恒量にした値である。蒸発残留物の値が大きかった四万温泉(湯の泉)<sup>2)</sup>と伊香保温泉(旧湯)<sup>3)</sup>の溶存物質量は、いずれも1g/kg未満である(四万温泉と伊香保温泉にある源泉は多く、代表的な泉質は四万温泉では塩化物温泉、伊香保温泉では硫酸塩温泉であるが、ここに示したような単純温泉もある)。単純温泉全体の蒸発残留物の平均値は421mg/lであった。図4に単純温泉全体とアルカリ性単純温泉の蒸発残留物の濃度別頻度を示したが、アルカリ性単純温泉は蒸発残留物が少ないことがわかる。

温泉水中のCl<sup>-</sup>の起源としては直接火山活動からきたものと、2次的に主として海水から由来したものとが考えられる<sup>4)</sup>。図5にCl<sup>-</sup>と泉温の関係を示したが、両者の間には正の相関関係が認められる。ほとんどの源泉でCl<sup>-</sup>は150mg/l以下であり、特にアルカリ性単純温泉のCl<sup>-</sup>は50mg/l以下のものが多い。この程度のCl<sup>-</sup>濃度は、前述した火山活動あるいは海水の寄与がなくても、岩石からの溶出で十分供給できるものと考えられる<sup>5)</sup>。

## 2. 水質組成図について

群馬県の単純温泉の化学的特徴を知るために、キーダイアグラムを用いて分類した(図6)。図6の各領域は化学成分的には次のようになる。

- I. アルカリ土類非炭酸塩
- II. アルカリ土類炭酸塩
- III. アルカリ炭酸塩
- IV. アルカリ非炭酸塩

また、これを水の起源として分類する場合は、図6に示したように分類されている。

群馬県の単純温泉は、前述の分類に従えばアルカリ炭酸塩かアルカリ非炭酸塩あるいはアルカリ土類非炭酸塩型であり、IIの領域(地下水)に属するものはひとつもない。佐藤によれば、関東平野の地下水はIIの領域にあり<sup>6)</sup>、県下の単純温泉とは際だった対照を示している。さらに佐藤はキーダイアグラム上に活火山地帯の温泉と温泉地帯温泉を示したが<sup>6)</sup>、これらを重ね合わせた分布と県内の単純温泉の分布は良く一致していた。また、片品温泉地内にあるA源泉は、1972年7月12日の調査では泉温25.6℃の単純温泉であったが、1985年11月29日には水温が18.0℃と低下しており、温泉法で定義された“温泉”でなくなっていた。この時の成分変化をキーダイアグラム上出表わすと、図7のA→Bという変化であり、水温の低下と共に地下水型(IIの領域)に変化

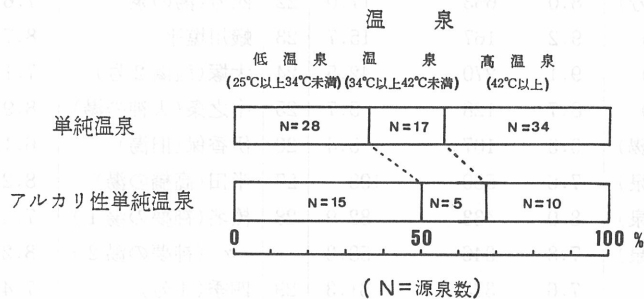


図3 泉温による分類

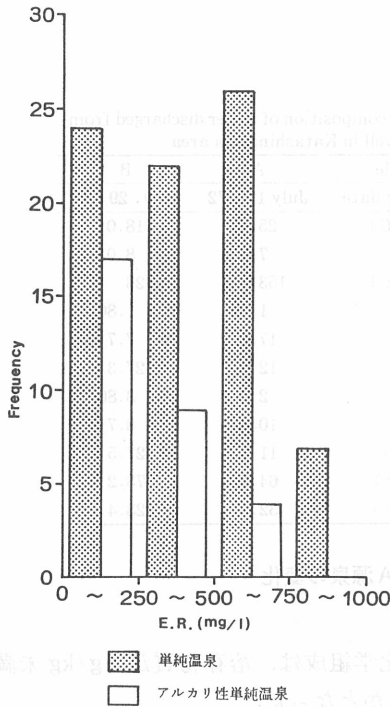


図4 蒸発残留物の濃度別頻度分布

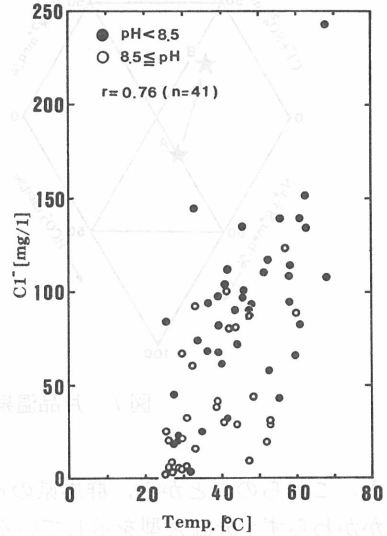


図5 単純温泉のCl<sup>-</sup>と泉温の関係

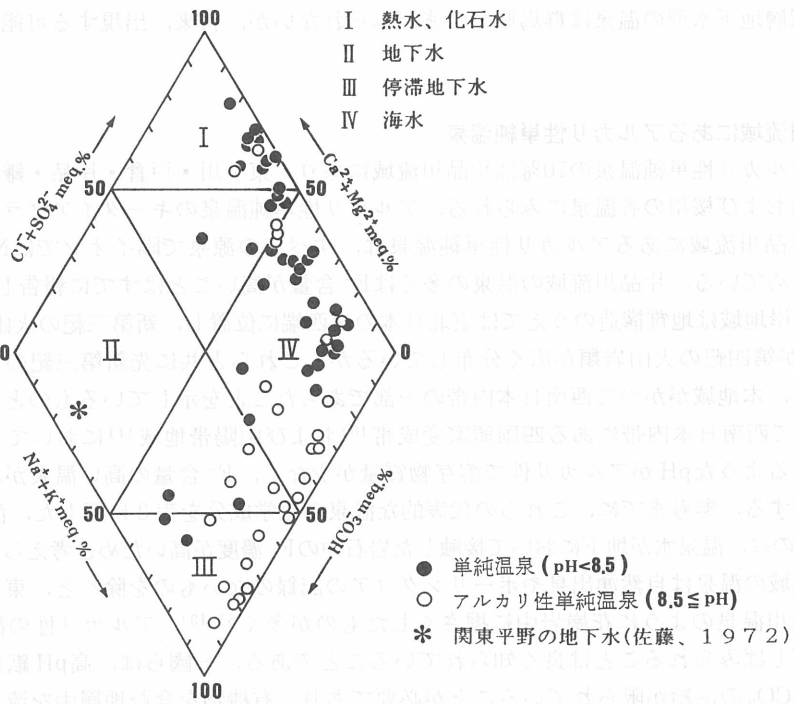
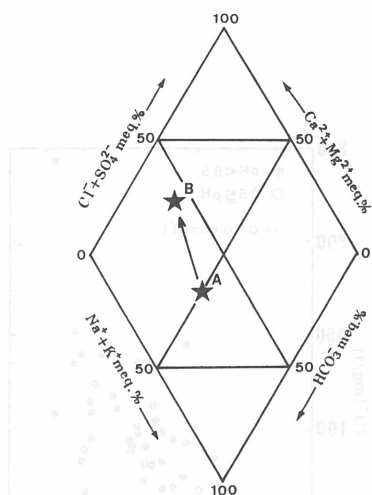


図6 単純温泉のキーダイアグラム



Chemical composition of water discharged from drilling well in Katashina spa area

Sample	A	B
Sampling date	July 12, '72	Nov. 29, '85
Temp. (°C)	25.6	18.0
pH	7.9	8.0
E.R. (mg/l)	153	128
K <sup>+</sup> (%)	1.52	1.80
Na <sup>+</sup> (%)	17.5	7.7
Ca <sup>2+</sup> (%)	12.6	27.3
Mg <sup>2+</sup> (%)	2.04	3.80
Cl <sup>-</sup> (%)	10.8	8.7
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (%)	11.3	27.5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (%)	64.7	73.2
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (%)	32.7	23.4

図7 片品温泉地内にあるA源泉の変化

していた。これらのことから、群馬県の単純温泉の化学組成は、溶存物質が1g/kg未満と少ないにもかかわらず十分温泉型を示していることが明らかとなった。

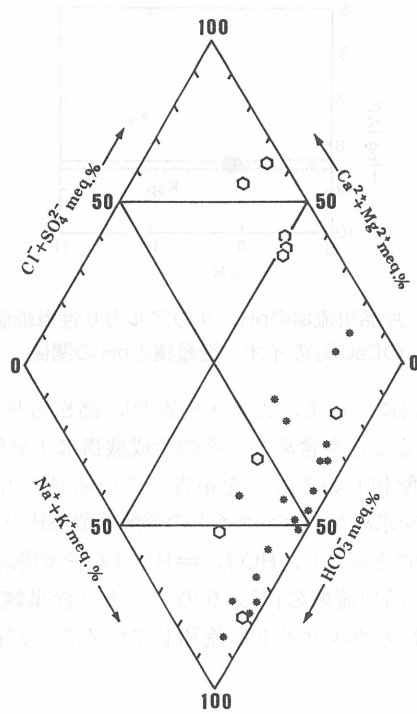
佐藤によると、濃尾平野にある単純温泉は、地下水型の単純温泉であり、普通の地温上昇率(2~4°C/100m)の地域に1000~2000mの深さの掘削が行われ深層地下水を得ている<sup>6),7)</sup>。このような深層地下水型の温泉は群馬県ではまだみられないが、将来、出現する可能性は十分考えられる。

### 3. 片品川流域にあるアルカリ性単純温泉

県下のアルカリ性単純温泉の70%は片品川流域にあり、東小川・戸倉・片品・鎌田・須賀川・老神・川場および桜川の各温泉にみられる。アルカリ性単純温泉のキーダイアグラムを図8に示したが、片品川流域にあるアルカリ性単純温泉は、すべての源泉で陽イオンではNa<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>が70%以上を占めている。片品川流域の温泉の多くはF<sup>-</sup>含量が高いことはすでに報告した<sup>8)</sup>。

片品川沿岸地域は地質構造のうえでは東北日本の南西端に位置し、新第三紀の火山岩類(グリーン・タフ)が第四紀の火山岩類が広く分布しているが、これらと共に先新第三紀の古期岩層も複雑に分布し、本地域がかつて西南日本内帯の一部であったことを示しているものと考えられている<sup>9)</sup>。そして西南日本内帯にある四国領家変成帯<sup>10)</sup>および山陽帯地域<sup>11)</sup>においても、片品川流域でみられるようなpHがアルカリ性で溶存物質質量が少なく、F<sup>-</sup>含量の高い温泉がみられることは注目になる。参考までに、これらの代表的な温泉の化学成分を表3に示した。温泉水中のF<sup>-</sup>濃度が高いのは、温泉水が地下において接触した岩石中のF<sup>-</sup>濃度が高いためと考えられている<sup>12)</sup>。

片品川流域の温泉は自然湧出泉やボーリングコアの記録のないものを除くと、東小川・片品・鎌田・須賀川温泉のように花崗岩中に掘さくしたものが多く<sup>8),13)</sup>、アルカリ性の温泉が花崗岩地帯にしばしばみられることは良く知られていることである。一國らは、高pH鉱泉水が生成するためにはCO<sub>2</sub>の供給が限られていることが必要であり、有機物を含む地層中を流れる地下水では多少のpHの上昇することはあってもpH>9とはならず、花崗岩質岩石地帯に高いpHの水がみられるのは、CO<sub>2</sub>の供給が限られているためと述べている<sup>14)</sup>。



- 片品川流域にあるアルカリ性単純温泉
- 片品川流域以外にあるアルカリ性単純温泉

図8 アルカリ性単純温泉のキーダイアグラム

表3 西南日本内帯にあるアルカリ性泉

温泉名	鎌田	片品	須賀川	鈍川 <sup>10)</sup>	林野 <sup>11)</sup>	かしお <sup>11)</sup>
所在地	群馬県利根郡片品村	群馬県利根郡片品村	群馬県利根郡片品村	愛媛県越智郡玉川村	岡山県英田郡美作町	岡山県岡山市粟井
泉温(℃)	53.2	49.1	40.9	19.3	17.6	20.0
pH	8.6	9.2	9.1	9.40	8.5	9.2
*E.R.(mg/l)	301	337	199	185.8	210.7**	265.028**
Na <sup>+</sup> (%)	100	81.0	60.0	58.0	56.08	85.119
K <sup>+</sup> (%)	1.15	3.30	1.1	0.3	0.781	4.006
Mg <sup>2+</sup> (%)	0.10	0.02	0.17	0.3	0.661	—
Ca <sup>2+</sup> (%)	1.2	2.1	3.0	3.2	8.423	2.804
Fe <sup>2+</sup> (%)	0.03	0.03	0.11	0.4	0.668	—
Cl <sup>-</sup> (%)	29.2	44.2	30.5	9.2	42.12	42.660
F <sup>-</sup> (%)	9.1	5.6	11.5	15.6	5.809	17.525
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (%)	7.5	34.8	15.3	8.2	4.006	20.028
***HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (%)	192	94.6	97.6	135.5	84.3	83.6

\* 蒸発残留物

\*\* 溶存物質総量

\*\*\* アルカリ度

10) 高津ら(1960)

11) 山本ら(1979)



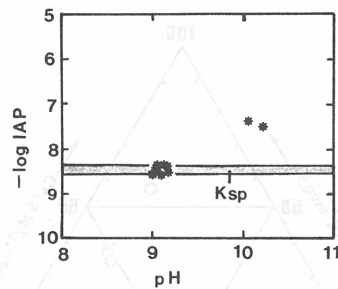


図9 片品川流域のpH>9のアルカリ性単純温泉のCaCO<sub>3</sub>のイオン活量積とpHの関係

本邦のアルカリ性温泉の成因について、大木・平野<sup>15)</sup>、高松ら<sup>16)</sup>、一國ら<sup>14)</sup>の報告があるが、pHが10を越えるものが稀であることを含めて、その生成機構は十分解明されていない。一國はpH>9の鉱泉水がカルサイトに飽和していることを報告している<sup>14)</sup>。片品川流域のpH>9の11源泉のCaCO<sub>3</sub>のイオン活量積(IAP)を求めた。カルサイトの溶解度積(SP)<sup>17)</sup>は25℃で $10^{-8.4}$ 、50℃で $10^{-8.6}$ で、アルカリ度のすべてをHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>とみなし、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>⇌H<sup>+</sup>+CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>の解離定数<sup>18)</sup>は25℃で $4.69 \times 10^{-11}$ 、50℃で $6.73 \times 10^{-11}$ である。片品川流域のpH>9のアルカリ性単純温泉はCaCO<sub>3</sub>のIAPとpHの関係を図9に示したが、いずれもカルサイトに飽和していることが確認された。

#### まとめ

群馬県下の単純温泉は、県中央部から北部域にかけて存在し、県南部に分布する中生層から古生層の地域にはみられないことから、熱源は火成活動によっているものと考えられる。単純温泉の化学組成からは、その生成機構として循環地下水が単に加温されたものではなく、停滞地下水となってある時間岩石と反応し、岩石から成分を溶出してきたものと考えられる。

#### 引用文献

- 1) 環境庁自然保護局：鉱泉分析法指針(改訂)，1-75，1978.
- 2) 酒井幸子：未発表データ
- 3) 酒井幸子，木暮 敬：伊香保温泉の化学成分，群馬県温泉協会学術調査研究報告，1988.
- 4) 湯原浩三，瀬野錦蔵：温泉学，p.159，地人書館，1972.
- 5) 山下幸三郎：温泉水中の溶存物質の起源について，温泉科学，**35**，20-33，1984.
- 6) 佐藤幸二：“非火山性温泉”について，岩井淳一教授記念論文集，557-565，1972.
- 7) 佐藤幸二：地質学からみた日本の温泉，地熱，**21**，71-78，1984.
- 8) 酒井幸子，氏家淳雄，木崎喜雄：群馬県下の温泉水中のフッ素について，温泉科学，**33**，9-23，1982.
- 9) 須藤定久，木崎喜雄：片品川沿岸地域の地質，群馬県温泉協会学術調査研究報告，1-7，1978.
- 10) 高津寿雄，中須賀 仁，河淵計明：鈍川鉱泉の化学的研究，温泉科学，**11**，34-37，1960.
- 11) 山本弘捷，大西 昇，市川省吾，畑 宏：岡山県における温泉の泉質について，岡山県環境保健センター年報 第3号，307-314，1979.
- 12) 鈴木励子：アルカリ性鉱泉中のフッ素，地球化学，**13**，25-31，1979.

