

# 吾妻火山周辺の温泉に関する地球化学的研究

山形大学教育学部化学教室

加 藤 武 雄

(昭和37年4月19日受理)

## 1. 緒 言

吾妻火山とは西吾妻山、東大嶺、家形山、一切経山などを主峯とする火山群で山形、福島両県の県境をなし、その周辺には多数の温泉が湧出している。山形県側に湧出するものとしては五色、新五色、滑川、姥湯、大平、吾妻、白布高湯、新高湯の諸温泉があり、福島県側には高湯、微温湯、土湯、幕川などの温泉が見出だされる。これらのうち山形県側の温泉については山形県衛生部<sup>1)</sup>により化学分析が行なわれ、福島県側のものについては宮永<sup>2)</sup>により衛生化学的な立場から報告がなされている。しかし両者をまとめた地球化学的な報文はまだ公けにされていない。筆者は1953年に高湯<sup>3)</sup>および微温湯<sup>4)</sup>における触媒作用を明らかにし、さらに1957年には吾妻火山周辺の温泉15について地球化学的な調査を行なった。ここでは1957年の調査により得られた結果をまとめて報告する。

## 2. 温泉の分布と地質概況

吾妻火山周辺の温泉群は地理的には2群に大別される。すなわち西吾妻地区のもの(西吾妻温泉群)と東吾妻地区(東吾妻温泉群)に属するものとの2群である。前者に属するものとしては白布高湯、新高湯、大平、吾妻の4温泉が挙げられる。残りのもの、すなわち滑川、姥湯、五色、新五色、高湯、微温湯、土湯、幕川などが後者の温泉群に所属する。これらの地理的位置を明らかにするために、分布図を図1に示す。また、いま挙げた2温泉群について地質の概況を略記しよう<sup>1,5)</sup>。

はじめに西吾妻温泉群から説明を行なう。この温泉群の分布する地域は西吾妻山の北部に位し、大樽川および松川の源流地帯に当る。吾妻、大平の西温泉は松川源流地域に湧出し、白布高湯および新高湯は大樽川源流付近に分布する。このように地形的にはさらに2群に分れるが、地質的にはこれらは密接な関連性をもつ。すなわち吾妻温泉付近では角閃石花崗岩を基盤とし、第三系としては安山岩を伴う礫質砂岩黒色頁岩層が小範囲に分布する外、これを貫く斜長石英粗面岩のやや広い発達が見とめられる。またその周辺の高地帯には吾妻火山の噴出物が広く分布する。次に白布高湯温泉付近では基盤の角閃石花崗岩が広く露出し、これを被うて第三系に属する安山岩および角礫岩層、また第四系に属する吾妻火山の噴出物たる輝石角閃石安山岩の熔岩および火山灰が分布している。その他、花崗岩をつらぬいて多数の半花崗岩脈が発達し、また第三系と花崗岩との境界には斜長石英粗面岩の侵入が認められる。

これから東吾妻温泉群を包含する地域の地質を概説しよう。この地域は吾妻山系のうちでも東方に位置し、家形山、一切経山および吾妻小富士を中心として温泉が分布している。このうち五色、新五色、滑川および姥湯を含む山形県側について述べよう。この地域は第三系に層する地層とこれを被う

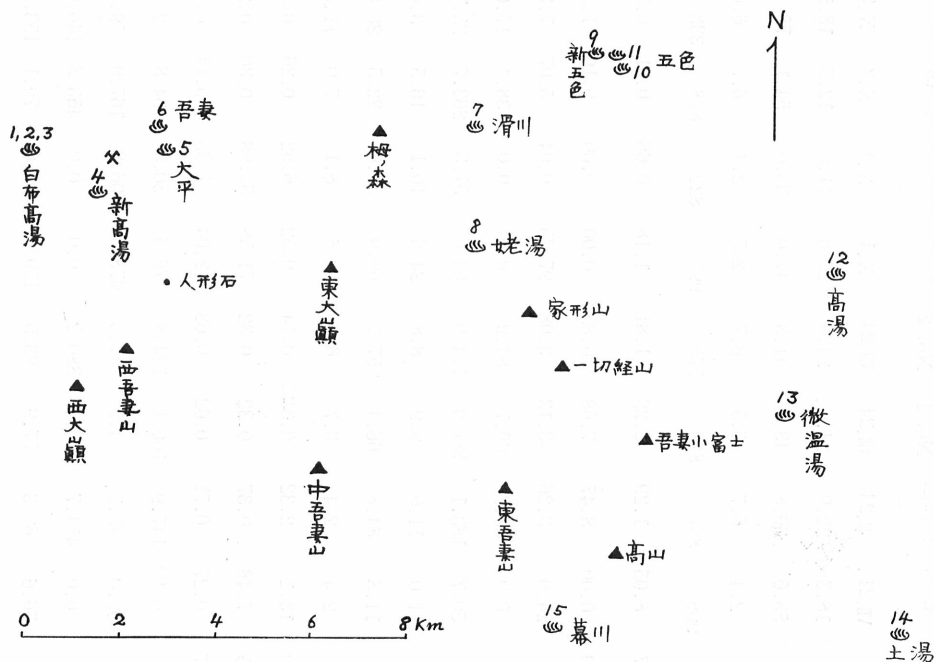


図1 吾妻火山周辺の温泉分布図

吾妻火山の新期火山噴出物とから構成されている。第三系に属する地層は砂礫質凝灰岩、角礫凝灰岩、石英粗面岩、流紋岩、石英凝灰岩などから成り前川やその支流に沿うて広く分布する。なお滑川温泉付近を NW—SE に走る、いわゆる滑川断層によつてこの地域は二分される。すなわち断層線の南側には石英粗面岩および流紋岩質からなる上位の地層が発達し、この北側にはそれよりも下位の地層が発達する。吾妻火山の噴出物は輝石角閃石安山岩の熔岩、集塊岩および火山灰などから成り、上述の第三系を被うてこの地域の高地帯に分布している。福島県側の温泉地帯について一言するが、一切経山では噴気孔の活動が認められ高湯温泉周辺にも硫気孔が点在する。土湯、幕川の両温泉は現在活動を続けている地域よりは離れ、その周辺には第三紀の水成岩とそれを貫く火山岩が露出する。

### 3. 温泉分析の結果および考察

各温泉について試水を源泉において採取した。化学分析の方法は主に“鉱泉分析法指針”<sup>6)</sup>にしたがつた。分析の結果を表1にかかげる。いまこれらに基づいて説明を行なう。

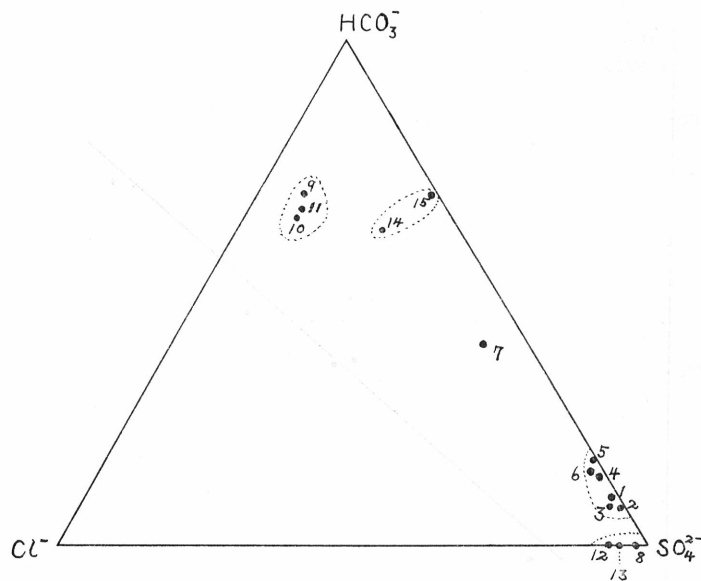
はじめに  $\text{Cl}^-$ — $\text{HCO}_3^-$ — $\text{SO}_4^{2-}$  の3成分の重量百分率を三角座標<sup>9)</sup>に表わしてみると図2のようになる。このようにしてみるといま対象にしている温泉は次のような型に分けられる。

(1)  $\text{SO}_4^{2-}$  型の温泉： $\text{SO}_4^{2-}$  を主成分とするもので、西吾妻温泉群のすべてと東吾妻温泉群のうち一切経山周辺にある姥湯、高湯、微温湯の酸性泉グループがこの型に属する。

(2)  $\text{SO}_4^{2-}$ — $\text{HCO}_3^-$  型の温泉： $\text{SO}_4^{2-}$  および  $\text{HCO}_3^-$  をほぼ同程度に含むもので東吾妻温泉群の滑川温泉だけがこの型に入れられる。

(3)  $\text{HCO}_3^-$  型の温泉： $\text{HCO}_3^-$  を主成分とするものでこの地方ではさらにつぎのように分けられる。 $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$  の型と  $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$  の型とであるが前者に属するものは五色温泉グループで、後者



図2  $\text{Cl}-\text{HCO}_3-\text{SO}_4^{2-}$  の関係

には土湯、幕川両温泉があてはまる。いずれも、東吾妻温泉群に属する。

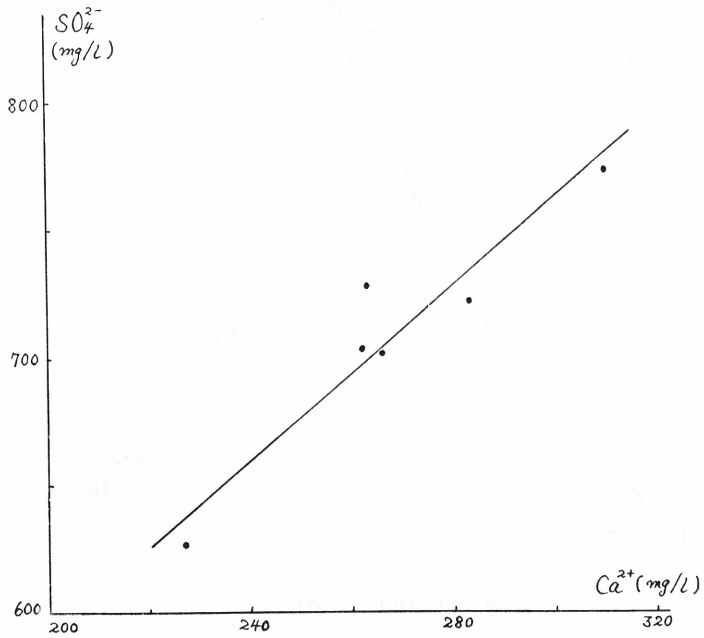
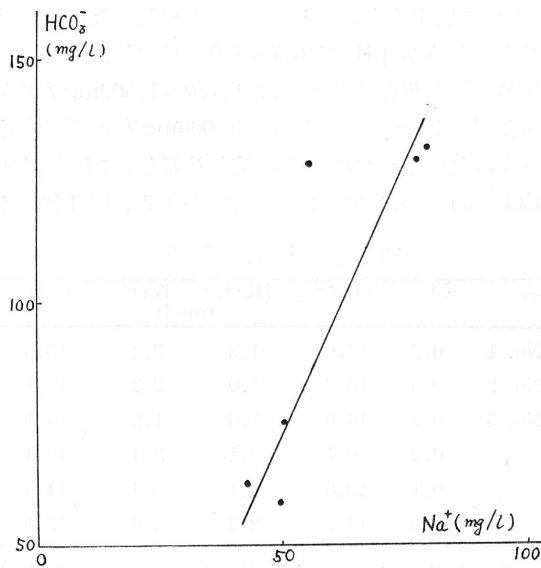
このように化学的に考えても吾妻火山周辺の温泉は大きくは東吾妻温泉群と西吾妻温泉群とに分けられ、さらに東吾妻温泉群は小さな4つの群に分けられることが明らかである。これから各群について化学成分の上から特徴を述べることにする。

**3.1 西吾妻温泉群** これに属するものとしては白布高湯、新高湯、大平および吾妻の諸温泉が挙げられる。 $\text{SO}_4^{2-}$  型の温泉であるが pH が 6.7~7.0 の範囲にあり、一切経山周辺の  $\text{SO}_4^{2-}$  型温泉（酸性泉）とは性質がちがう。全蒸発残留物量は 1,170~1,502mg/l を示し、吾妻火山周辺の温泉中最大の値を示す。この群以外では全蒸発残留物が 1,000mg/l 以下である。いまこれに属する諸温泉について溶存化学成分のうち主なイオンのミリ当量を計算し、これを表2に示す。また同時に  $\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}$  および  $\text{Na}^{+}-\text{HCO}_3^{-}$  の二つについて相関関係を図3、図4にかかげる。

表2 東 吾 妻 温 泉 群

温泉名	$\text{Cl}^{-}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^{-}$	$\text{Na}^{+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Fe}^{2+} + \text{Al}^{3+}$
			(me/l)			
白布高湯 No. 1	0.3	14.6	1.2	2.2	13.3	0.1
" No. 2	0.3	15.2	1.0	2.2	13.1	0.1
" No. 3	0.3	15.0	1.0	1.9	14.1	0.1
新高湯	0.2	16.1	2.1	2.4	15.4	0.1
大平	0.1	13.0	2.1	3.4	11.3	0.6
吾妻	0.3	14.7	2.2	3.5	13.1	0.1

表2によればこの群のいずれの温泉についても  $\text{Ca}^{2+}$  の当量数と  $\text{SO}_4^{2-}$  の当量数とはほぼ等しいことがわかる。また  $\text{Na}^{+}$  の当量数と  $\text{HCO}_3^{-}$  の当量数ともほぼつり合う。したがってこの温泉群は  $\text{CaSO}_4$  を主成分、 $\text{NaHCO}_3$  を副成分とする温泉であることが明らかである。また図3および図4からうかがえるように  $\text{Ca}^{2+}$  濃度と  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度との間ならびに  $\text{Na}^{+}$  濃度と  $\text{HCO}_3^{-}$  濃度との間に

図3  $Ca^{2+}$ — $SO_4^{2-}$  の関係 (西吾妻温泉群)図4  $Na^+$ — $HCO_3^-$  の関係 (西吾妻温泉群)

は、それぞれ正の直線関係が成り立つ。ここには図示しないが泉温と全蒸発残留物との関係を調べると、この間にも直線関係の成立が認められた。こうした事情をも合わせ考えると西吾妻温泉群は同一の機構によつて湧出しているものとみても誤はないであろう。

この他特徴としては硫化水素含有量がすべて 10mg/l 以下で少く、 $\text{HBO}_2$  もたかだか 16mg/l 程度にすぎないことおよび泉温が 52.1~60.9°C で吾妻火山周辺ではもつとも高いことなどが挙げられる。

**3.2 東吾妻温泉群** この温泉群をまとめて述べることは困難であるからさきにみたように次の 4 群に分けて順次説明を進めることにしよう。

**3.2.1 一切経山周辺温泉群** すなわち姥湯、高湯、微温湯の 3 温泉である。pH が 2.4~2.5 の  $\text{SO}_4^{2-}$  型の酸性泉で付近には一切経山の噴気孔をはじめ多くの硫気孔の分布をみる。いずれも吾妻火山の活動と密接な関係にある。泉質の特徴を明らかにするために主成分の濃度をミリ当量にて表現したものを表 3 に示す。これら 3 温泉を通じて  $\text{H}^+$ 、 $\text{Na}^++\text{K}^+$ 、 $\text{Fe}^{2+}+\text{Al}^{3+}$  の当量和が、ほぼ  $\text{SO}_4^{2-}$

表 3 一切経山周辺温泉群

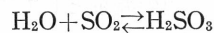
温泉名	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{H}^+$ (me/l)	$\text{Na}^++\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$	$\text{Fe}^{2+}+\text{Al}^{3+}$
姥湯	0.2	12.7	8.3	2.5	0.8	1.3
高湯	2.2	20.4	6.0	3.4	5.1	8.0
微温湯	1.4	14.7	4.6	2.7	2.6	6.1

の当量数とつり合うことがわかる。したがつて、酸性を支配するものは硫酸と考えられる。また表 1 をも参照して判断すれば高湯、微温湯では  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  を主体とし、姥湯はやや趣を異にして、この代りに  $\text{FeSO}_4$  を多く含有することが知られる。微温湯は 33°C で低温なほかに硫化水素をほとんど含まないが、他の二つは泉温が 50°C 前後で硫化水素含有量も著しい。とくに高湯、姥湯では他のイオウ化合物の検出<sup>7)</sup>も行なつたが、表 4 のように亜硫酸イオン、チオ硫酸イオンの存在が認められた。これらの結果からみると、姥湯、高湯などは、 $\text{H}_2\text{S}$  および  $\text{SO}_2$  (高湯では  $\text{HCl}$  も) を主体とする火

表 4 イオウ化合物の含有量

温泉名	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{S}^{2-}$ (m-mol/l)	$\text{SO}_3^{2-}$	$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$
姥湯	6.3	0.86	0.30	0.13
高湯	10.2	2.89	1.35	0.20

山性発散物がガス状または熱水状態で地下よりはげしく上昇して周囲の岩石を溶解し、次のような反応<sup>8)</sup>を起しながら湧出に至るものと考えられる。



この付近にはイオウ鉱床も存在し、このような湧出機構を考えることは正しいであろう。高湯では  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  を含むのに対し、姥湯では  $\text{FeSO}_4$  を含むのは熱水上昇中に接触する岩石の種類がちがうためと思われる。微温湯はもともと高湯と同系統の温泉と考えられるが、これは源泉が遠く、さらに地表水の滲透したものが混入しているのではなからうか。

このように一切経山周辺の温泉は直接に火山活動の影響を受けており、おなじ  $\text{SO}_4^{2-}$  型の温泉としても西吾妻温泉群とは全く異なる性格を示す。

**3.2.2 滑川温泉および五色温泉群** 滑川温泉と五色温泉群とは異なつた型の温泉であるが、こ

ここでは考察の便宜上まとめて記述する。はじめに主な化学成分をミリ当量に計算したものを表5に示しておく。なおこれには比較のため姥湯の分もつけ加えてある。

表5 滑川温泉および五色温泉群

温 泉 名	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup> +Al <sup>3+</sup>
			(me/l)			
姥 湯	0.2	12.7	0.0	2.5	0.8	1.3
滑 川	1.3	6.6	4.0	8.8	2.7	0.4
新 五 色	4.2	0.9	7.5	8.0	4.4	0.1
五 色 No. 1	4.5	0.9	6.4	8.2	3.6	0.05
〃 No. 2	4.1	1.0	6.2	7.8	3.4	0.04

滑川温泉は SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> を同程度に含有する型と言えるが、主成分としては Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> が挙げられよう。全蒸発残留物は姥湯に近く約 1g/l である。泉温も 52.8°C を示し姥湯 (53.0°C) に近い。また Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup> はほぼ五色温泉群と同程度の含有量を示す。しかし全体的に考えると滑川温泉の諸化学成分の濃度は姥湯と五色温泉群との中間に当るものが多い。地理的にもここは両者の中間地帯になる。姥湯がもつとも火山活動の中心に近く、そこを遠ざかるにつれて滲透水などの影響も現われて SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 型から SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 型 (滑川温泉) に移行し、さらに HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 型 (五色温泉群) へと移行するものと考えられる。

五色温泉群になると泉温も低く 40°C 前後で全蒸発残留物はたかだか 867mg/l に落ちる。ここでは鉄分の激減が目立つ。前述のように HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 型ではあるが Cl<sup>-</sup>>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> になっていることが特徴といえる。当量数のつり合いを検討すると、つぎようになる。すなわち (Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>)+(Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>)≒Cl<sup>-</sup>+HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>。また HBO<sub>2</sub> の含有量が吾妻火山周辺の温泉中最大であり、63.9~67.6mg/l を示すことも特色の一つであろう。

**3.2.3 土湯、幕川温泉群** 五色温泉群と同じように HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 型の温泉と言えるが Cl<sup>-</sup><SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> となっている点が異なる。いま主な溶存化学成分をミリ当量に計算して表示すれば表6のようになる。陽、陰両イオンの当量数のつり合いをみると (Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>)+(Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>)≒SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>+HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> が成り立つ。また pH は両者ほぼ等しく 6.6~6.7 である。このように共通点はあるものの泉温、全蒸発

表6 土湯、幕川温泉群

	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup> +Al <sup>3+</sup>
			(me/l)			
土 湯	2.7	3.5	7.4	11.8	1.7	0.04
幕 川	0.1	1.2	2.4	1.2	2.4	0.05

残留物、化学組成には異なる点が多い。HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 型の温泉として同一群にまとめたが、こまかく言えば湧出機構は両者においてかなりのちがいを示すものと思われる。特記すべきは幕川温泉は吾妻火山周辺の温泉中最高の泉温 (73.1°C) を示し、全蒸発残留物 (333mg/l) が最小であることである。この温泉は水蒸気を主とした熱気その根源とするように考えられるが詳細は今後の研究に俟ちたい。

#### 4. 結 語

以上吾妻火山周辺の温泉群について、15個の源泉の化学分析を行ない、その結果にもとづいて二、三の考察を行なった。これをまとめると次のようになる。

1. 西吾妻温泉群は SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 型の温泉で中性を示す。CaSO<sub>4</sub> を主成分とし、NaHCO<sub>3</sub> を副成分とす

る。大平、吾妻、白布高湯、新高湯がこれに属する。

2. 東吾妻温泉群は次の4群に分けられる。

- a. 一切経山周辺温泉群：吾妻火山の活動に直接関係があり、酸性の  $\text{SO}_4^{2-}$  型の温泉である。姥湯、高湯、微温湯がこれに属する。
- b. 滑川温泉： $\text{SO}_4^{2-}-\text{HCO}_3^-$  型の温泉で、姥湯と五色温泉群との中間的な性質を呈する。
- c. 五色温泉群： $\text{HCO}_3^-$  型の温泉で、アニオン含有量が  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$  になっている。
- d. 土湯・幕川温泉群： $\text{HCO}_3^-$  型の温泉であるが、アニオン含有量が  $\text{Cl}^- < \text{SO}_4^{2-}$  になっている。

この研究を行なうに当り、当教室の鈴木勲君に現地調査および実験上、いろいろ協力していただいた。記して謝意を表する。

### 文 献

- 1) 山形県衛生部、山形県の温泉各論編 (第1集) (1955)、山形県
- 2) 宮永、福島県における温泉の衛生化学検査、温泉科学 **10**, 22~27 (1959)
- 3) 加藤、温泉の触媒作用に関する研究II 福島県高湯温泉について、山形大学紀要 (自然科学) **2**, 215~218
- 4) 加藤、温泉の触媒作用に関する研究III 福島県微温湯温泉について、同誌 **2**, 275~278 (1953)
- 5) 渡辺、福島県の温泉について、温泉科学 **6**, 12~14 (1954)
- 6) 厚生省、“衛生検査指針VI (鉱泉分析法指針)” (1957) 協同医書出版、東京
- 7) A. Kurtenacker, “Analytische Chemie der Sauerstoffsäuren des Schwefels (Chemische Analyse, Bd 38) (1938). Stuttgart
- 8) I. Iwasaki and T. Ozawa, Genesis of Sulfate in Acid Hot Spring, Bull. Chem. Soc. Jap., **33**, 1018~1019 (1960)
- 9) 太秦、那須、瀬尾、温泉の化学的研究 (第51報) 青森県温泉についての二、三の考察、日化 **81**, 395~400 (1960)

## Geochemical Investigation on the Hot-springs of the Azuma Volcanic Region

Takeo KATŌ

(Laboratory of Chemistry, Faculty of Education, Yamagata University)

The Azuma volcanic group rises up in the mountainous area of Yamagata and Fukushima Prefectures. The volcanoes here are topographically divided into two subgroups, the east and the west districts. Several hot-springs are distributed in the surrounding area of the volcanoes. They also can be classified geochemically into two groups corresponding to the topographical subgroups mentioned above.

In 1957, the author explored this mountainous area and analysed the water taken from the hot-springs. The results thus obtained are reported here in detail. These are summarized as follows:

1. The hot-springs of the west district are represented by Ōdaira, Azuma, Shirabu-takayu and Shin-takayu. The spring water of this group is characterized by



a high content of gypsum. In other words, this group consists of neutral  $\text{SO}_4^{2-}$  type hot-springs.

2. On the hot-springs in the east district, different from the west area, the circumstances are more complicated. This group consists of four small subgroups of different types.

(a) The hot-springs in the vicinity of Mt. Issaikyō: Ubayu, Takayu and Nuruyu belong to this group. In regard to the chemical constituents, these waters are acid with a considerable  $\text{SO}_4^{2-}$  content.

The springs under consideration are of acid  $\text{SO}_4^{2-}$  type. It is needless to say that the spring waters have a close relation to the volcanic activity of Mt. Issaikyō.

(b) Namekawa hot-spring: the water from this hot-spring contains  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{HCO}_3^-$  as the major components. Accordingly, this shows intermediate properties between Ubayu and Goshiki hot-spring.

(c) Goshiki hot-spring group: this group includes Goshiki and Shin-goshiki hot-spring. Both of them belong to a simple thermal spring of  $\text{HCO}_3^-$  type. It is worthy of remark that the amount of  $\text{Cl}^-$  precedes that of  $\text{SO}_4^{2-}$ .

(d) Tsuchiyu and Makukawa hot-spring group: as in the case of Goshiki hot-spring these are characterized by the abundance of  $\text{HCO}_3^-$  ion. While, different from Goshiki hot-spring,  $\text{Cl}^-$  content is smaller than  $\text{SO}_4^{2-}$  content.