

# 温泉科 學

## 第 7 卷 第 2 号

昭和 31 年 3 月

原 著

### 温泉の地球化學的研究

#### 第 1 報 日光湯元温泉

\*坂本 峻雄・\*\*益子 安・\*佐藤 幸二

(\*中央温泉研究所地質部・\*\*同化学部)

(30年10月20日受理)

#### 1. 緒 言

日光湯元温泉は栃木県日光市に属し、中禅寺湖の北方約6kmの湯ノ湖畔にあり、金精山の西南麓に位置し、標高は1500mである。交通は日光よりバスが通ずる。

筆者等は昭和29年夏より秋にかけてこの温泉を調査する機会を得た。

#### 2. 地形及び地質

湯元附近の基盤をなす岩石は、第三紀に噴出した(角閃石)黒雲母石英粗面岩である。この岩石は所により岩相の変化が著しく、凝灰質角礫質を呈する所もある。湯元西方にそびえる温泉岳、前白根山を連ねる連嶺はすべてこの石英粗面岩からなる。(但し、奥白根山、金精山頂部は後に噴出した火山岩である)。これら石英粗面岩からなる山は、東へと高度を減じ、特に湯元を通る南北の線附近で著しく高度がさがり、遂に三岳熔岩の下に入り、これにより不整合におおわれるに至る。

三岳は湯元の東方に噴出の中心をもつ熔岩円頂丘で、その火山構造及び岩質は男体山等とは異り、丹勢、大真名子、小真名子、太郎、山王帽子等の諸火山とその性質が酷似する。噴出の時代は第四紀で、上述の石英粗面岩の基盤の侵蝕面上に噴出した。この火山の噴出により金精峠よりの各は戦場ヶ原への出口を絶たれ、そこに湯ノ湖の盆地をつくつた。それ以前はこの谷はほぼ現在の西北—東南の方向のまま真直ぐに戦場ヶ原に達していたものと思はれる。三岳熔岩はかんらん石輝石安山岩で多くの捕かく岳を含有する。

湯元の盆地から金精峠への各の底は、沖積層でおおわれている。ボーリングの記録によればこれらの沖積層は粘土層をはさむ砂礫層が主である(この部分のコアは保存されていない)。

湯元温泉の湧出地点は三岳の西側山麓に沿い、南北に分布する。最も湯量の多いいわゆる湯本源泉地は、湯元の中心より北方約200mにあり、これより南へ約400m湯ノ湖北端に至る迄の間に湧出地点が点在す。湯ノ湖北端の湖畔にあるボーリング1ヶ所をのぞき、それらはすべて自然湧出又は地表にきわめて浅い穴をうがつた程度のものである。これらの湧出はいずれも沖積層中よりの湧出である。

湯本源泉地は蓼ノ湖の南にある小さな峠の南麓にあり、径約200mの南に開いた馬蹄形の地形で、その西北は温泉岳の東南斜面、東は三岳の西斜面により囲まれている。この馬蹄形の底部は大半沼沢地で、その東南隅に三岳西斜面の小谷でできた小規模な扇状地様の砂質粘土を主とする堆積物があり、ここに源泉が位置する。周囲の山腹はすべて石英粗面岩で三岳熔岩との不整合面は東側山腹20m以上

の高所にある。この三岳山麓の石英粗面岩の露出は南につづき、板屋旅館背後の山腹下部もなお20m程の高さまで石英粗面岩よりなる。これより南では不整合面は急に低下し、ボーリング地点（湯ノ湖北端）では井深25m付近ではじめて沖積層と石英粗面岩との境界に達する。このことから、この附近で石英粗面岩の基盤の地形は南に急斜した走向ほぼ東西の斜面をなすらしく、その斜面の延長は西方金精峠への谷の北側の斜面とほぼ一致することがわかる。これは三岳火山噴出前の谷の地形を表しているものと思われる。

源泉附近の石英粗面岩は緑泥石化作用をうけ緑色を呈する。又特に著しく温泉作用による変質をうけた所は白色の岩石に変化し、鏡下では石英の斑晶以外はすべてオパール、カオリン等の鉱物に変化している。現在の温泉湧出の規模に比して、その変質の範囲は可成り広く、板屋旅館背後の石英粗面岩もオパール化作用を著しくうけている。しかしこれら変質岩がどのような形方向で分布しているかは露出僅少で詳細は不明である。

他方三岳熔岩は温泉作用による変質をうけること殆んどなく、温泉湧出点附近の礫層中の礫といえどもその表面がわづかにおかされているにすぎない。

以上の事実から、この温泉作用は三岳の火山作用よりも、むしろ石英粗面岩に関係づけるのが妥当と考えられ、これは日光地方の火山温泉すべてについても亦云えることではないかと思う。

### 3. 主要源泉の湧出状況

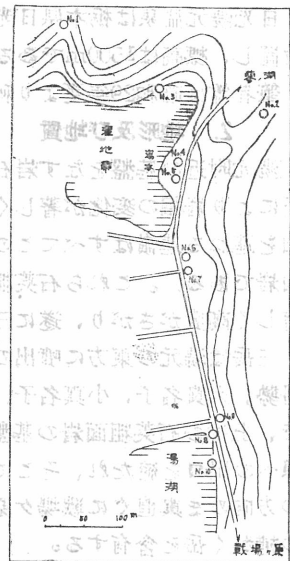
湯ノ湖畔には湯元の源泉中唯一つのボーリング源泉がある。井深25m附近迄沖積層、泉温は40°Cより次第に上昇し、25m付近で風化石英粗面岩に達し泉温67°Cを示す。30m以下は堅い石英粗面岩で井底120m迄これがつづく。コアを検しても温泉作用による著しい変質をうけた形跡はない。泉温は不整合面よりやや下方35m付近で73°Cの最高値を示すが、これより下では急に58°C程度にさがる。この事実はボーリング地点では、温泉が直接石英粗面岩の深部より湧出しているというより、むしろ温泉が沖積層中を流動していると考えた方がよい様に思われる。然し70°Cを超える高温を示している点から見ると、このボーリング地点からあまり遠くない石英粗面岩中にその源泉があるものと想像される。現在ボーリング孔からは自噴しているが量は少い。ボーリング孔の高さは湖水面から約1.50mである。

板屋旅館裏手に露出する石英粗面岩は温泉作用による変質を受けており、共同浴場の泉源は恐らくこの附近の石英粗面岩中にあるものと思われる。現在地表に湧出する温泉を利用しているだけである。然しこの附近は石英粗面岩が相当強く変質を受けていることから見て、深部にもつと有力な泉源が求められる可能性がある。

湯本の一帯は所々に温水の湧出が見られ、北側の縁辺では石英粗面岩の裂口中より流出する所もある。主たる湯場は東側の小扇状地様堆積物の上で、そこに穴を穿つて土でかこいをし屋根をつけたプールが8ヶ所ばかりつくられている。

この馬蹄形の沼沢地の地形は、附近の石英粗面岩の変質が特に進んでおり、従つて外よりも著しく侵蝕をうけたために出来たものと思われ、この附近の石英粗面岩内には有力な泉源が存在するものと想像される。三岳熔岩がすぐその東側にあるが、熔岩が噴出する以前すでにこのような地形は出来ていたと思われる。

この沼地の基盤がどの位の深さにあるかはわからぬが、中心附近でも20m位、周辺部ではより浅いであろうと推定される。各プールの泉温は何れも65°C以上を示している。それ以下の温泉を示すもの例えばプールB(58.5°C)



第1図 湯元温泉断面図

や、62.0°Cを示すプールなどでは、湧出量に対してプールが広すぎることに、或は保温設備の不完全なこと等に基いているようである。

プールF (68°C) は最も優勢な源泉で、プールの底から発泡しつつ湧出し、現在引湯中の水位は沼面より+1.05mである。プールの底には鉄管打込その他の何らの施設も無い由であるがそれにも拘らず水位が高いことは注目すべき事実である。隣接のプールではこのように水位の高いものはなく+0.2m以下である。

プールFにおいて最も有方な湧出を見ていることは、この附近が前述の様に小扇状地をなしているように見えることから考えて、この部分の地層が限られた範囲で特に透水率の高い組織をもっているためであろう。各プールによつて水位が異なるけれども湧出量と引湯量の関係が明かでないから、そのすべてが地質又は湧出量の差に基くかどうか明かでない。然しプールFは水位が最も高く同時に温度が高い。湧出量は今回調査出来なかつたが恐らく他のプールよりも多い。従つてプールFでは地層の透水率及び泉温の高いために比重及び粘性の低下その他の諸条件が相俟つて、優勢な温泉の通路を生じているものと考えられる。

#### 4. 泉 質

湯元に湧出する源泉に就いて化学分析を行つた。成績は第1表に示す如くである。

湯元温泉群の泉質は何れも硫酸塩類を母体とする硫黄泉であつて、pHは8附近の弱アルカリ性を示し、著量の遊離硫化水素を含有している。調査の対象となつた源泉は8ヶ所である。

以下各項目に就いて略述する。

##### (イ) 泉温及び蒸発残渣

南部の源泉は、一般に泉温低く北部になるに従つて高温となる傾向がある。最も高温を示すのはプールFで、この附近は地元の人達によつて湯本(ゆのもと)と呼ばれている。

概して温度の高い源泉は蒸発残渣が少ない。但し、利用されていない2自然湧出口は温度も低く、蒸発残渣も少なく、冷地下水の混入を示していると思われる。

##### (ロ) 各成分に就いて

Na<sup>+</sup>及びK<sup>+</sup>——Na<sup>+</sup>の含量(mg/l)及びmillival% (以下mv%と略記する)は南部のもの程大で、泉温と逆の傾向を示している。ポーリング源泉が最高質を有するが、この源泉は他の源泉と種々の点で異つている。K<sup>+</sup>はNa<sup>+</sup>とほぼ同様の傾向を示している。

Ca<sup>2+</sup>——Ca<sup>2+</sup>はNa<sup>+</sup>と全く反対の傾向を示し、南になるに従つてmg/l、mv%が減少している。此の中プールF及びその一帯はCa<sup>2+</sup>の含量大である。

Cl<sup>-</sup>及びHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>——Cl<sup>-</sup>及びHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>は含量は少いが、ほぼNa<sup>+</sup>の値に比例して増減する傾向を示している。

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>——SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>はアニオンの主成分であつて、Ca<sup>2+</sup>とほぼ並行して増減する傾向を示す様であるが、各源泉による差異はNa<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>ほど明確には認められない。

HS<sup>-</sup>——HS<sup>-</sup>はmv%に就いて見ると、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>に富んだ源泉では比較的少く、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の少い源泉では反対に大きい値を示している。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の含量は温度と比例しているため、泉温の高い源泉は硫化水素の含量の少い場合が多くなる。

##### (ハ) 湧出地下水

湧出水の1は湿地帯北方の山腹、他は金田峠道のもので、後者は湯元の飲料水として利用されている。何れもpHは7.0附近、殆んど中性で、蒸発残渣も少く、特異な成分も含有せず、これが温泉に混入したとしても温泉の組成も著しく変化せしめる事はない。

第1表 湯元源泉分析成績表

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
源 泉	湧出水 沼地北方	湧出水 金田峠道	自然湧出 濕地帯 北帯	湯本 プールB	湯本 プールF	共同浴場 北側	共同浴場 南側	中宮祠 送湯源泉	湖 畔 ポーリン ボグ	自然湧出 湖 畔	
泉 温 (°C)	8.5	14.5	41~(46.5)	58.5	68	59	58	55.5	59	42	
pH (at18°C)	7.0	7.3	下部 7.94	7.78	7.96~ 8.04	7.72~ 7.96	7.72	8.16	8.1	8.1~ 8.15	
湯面H <sub>2</sub> S(p.p.m)				30	200	10~15			150	100	
Pt—SCE (mv)	210	160~ ~170	260~ ~270	330	310	285	285	310	310	300	
Fe—SCE (mv)	410	485	460	460	510	435~ ~460	435	510	510	515~ ~535	
蒸発残渣(mg/l)	316	78	892	1190	1210	1300	1262		1380	806	
メタ珪酸(mg/l)	288	49.5	135	130	93.5	137	120	156	174	112	
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>			96.5	112	118	145	142	134	320	90	
カ	Na'	}	mg	4.2	4.9	5.1	6.3	6.2	5.8	9.6	3.9
			mval	32.5	33	32.5	37.3	38	41.5	55.5	39
			mval%	15.6	18.4	19.5	23.4	21	21	25.4	15
チ	K'	}	mg	0.4	0.47	0.5	0.6	0.54	0.53	0.65	0.37
			mval	3.1	3.2	3.18	3.55	3.3	3.8	3.78	3.7
			mval%	146	178	190	188	178	134	126	98
オ	Ca	}	mg	7.3	8.9	9.5	9.4	8.9	6.7	6.3	4.9
			mval	56.5	60	60.5	55.5	54.5	48	36.5	49
			mval%	10.7	7.8	7.8	7.8	7.8	11.3	10	10
ン	Mg'	}	mg	0.89	0.65	0.65	0.65	0.65	0.94	0.84	0.83
			mval	6.9	4.4	4.1	3.84	4	6.2	4.85	8.3
			mval%	268.8	316.2	335.3	364.2	348.8	300	481	213
ア	計	}	mg	12.9	14.9	15.75	16.95	16.3	13.97	17.3	10.0
			mval	46	62.3	74.5	85	88.5	71	106	43.6
			mval%	1.3	1.9	2.1	2.4	2.5	2.0	3.0	1.23
ニ	Cl'	}	mg	10	13	13.5	14.3	16	16.3	18.6	12.9
			mval	395	475	543	480	495	390	433	320
			mval%	8.2	9.9	11.3	10.0	10.3	8.1	9.0	6.70
ホ	SO <sub>4</sub> '	}	mg	65	68	72.5	59.6	66	62	56	70
			mval	36	36	39	52	48	47.5	67	19.6
			mval%	0.59	0.59	0.64	0.85	0.77	0.78	1.1	0.32
ロ	HCO <sub>3</sub> '	}	mg	4.8	4.1	4.1	5.08	4.9	5.95	6.8	3.35
			mval	82.5	72.7	5.0	116	69	72.5	99	43
			mval%	2.5	2.2	1.5	3.5	2.1	2.2	3.0	1.3
ハ	HS'	}	mg	20	15	9.65	20.8	12.4	16.8	18.6	13.6
			mval	559.5	646.0	706.5	733	638.4	581.0	705	426.2
			mval%	12.6	14.6	15.54	16.75	15.7	13.08	16.1	9.55

## 5. 總 括

湖畔のポーリング1本と地表の観察だけで地下の状態を推定することは困難であるが、各源泉を比較して次のことが考えられる。

即ち、泉源は一次的には変質を受けた石英粗面岩中に温泉脈をなしている。その温度は80°C以上であろう。地下の石英粗面岩の斜面とこれを蔽う沖積砂礫、粘土層との境界部（地表から20m程度）で被圧地下水と混合し、二次的泉源を形成している。

湧出量、温度の点や、基盤岩石の変質作用から見て、湯本源泉地が一次的泉源に最も近いのではないだろうか。

湧出した温泉の分析の結果から見ると、湯元泉群は硫酸塩(主として石膏 $\text{CaSO}_4$ )を母体とした硫黄泉であつて、各源泉は従来の分類によれば同一の泉質を与えられるべきものであるが、これを些細な点にわたつて比較するときは $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{++}$ の割合及び $\text{Cl}^-$ 量の差違からこれを二つの温泉の混合系と解釈する事が出来る。即ち、北部の湯本源泉地一帯は $\text{Ca}^{++}$ 及び $\text{SO}_4^{--}$ が支配的な高温源泉(恐らくは $80^\circ\text{C}$ 附近)の主力地帯であり、南部は含食塩芒硝石膏泉的な源泉(恐らくは $60^\circ\text{C}$ 附近)の熱力地帯という事が出来る。更に極めて模型的な解釈をすすめれば、これら二つの中心地には含まれる地帯で湧出する温泉は、その二つの中心よりの距離に逆比例した率でそれ等の2温泉を混合含有しているという事が出来る。而して、この地点より外に遠ざかるにつれて急速に地下循環水の支配するところとなる。

然し、この解釈を以つて、直ちに日光湯元に二つの別個の温泉脈があると考える事は早計であつて、比較的表面的現象としてかかる傾向があるのであつて、この地帯の温泉群はすべて本質的には一つの源泉であると考えるべきである事は言を俟たない。

終りに、この研究の発表を承諾された地元関係者の方々、終始御激励を賜つた所長服部安蔵博士、地質に関して貴重な御意見を寄せられた東京大学理学部山崎正男助手、温泉の分析を行つた所員甘露寺泰雄、高橋吉也の諸氏に深甚なる謝意を表する次第である。

後記、奥日光開発株式会社の高松三郎氏の私信によれば、同会社はその後、湯本にボーリングを施行し、優勢な新源泉を得たとの事である。その結果について少しく考察を進めて見よう。

ボーリングを行つた地点は湯本湿地帯の北岸であつて、深さ夫々46m、57m、75.5m、87.5mの4本のボーリングを行つた。岩石はすべて石英粗面岩のみよりなり、坑底温度は深さと共に増し、最高値は $74^\circ\text{C}$ を示している。湧出量は、何れも $300\sim 400\text{l/m}$ であるが、掘進中急激に湧出量の増す所が2、3ヶ所あり、温泉が石英粗面岩中の裂こより出ている事が明かである。

栃木県衛生研究所は、4源泉の中2源泉の分析を行つたが、それぞれ含砒素・石膏・土類・硫化水素泉及び含石膏・土類・硫化水素泉であつて北部の湯本源泉地の泉質とは、含石膏・硫黄泉と云う点で本質的に大差がない。但し、 $\text{Na}^+$ 及び $\text{HCO}_3^-$ のmillival%が若干増加しているが、これは南部の湖畔ボーリングでもこの傾向が見られ、之がボーリング源泉の一般的傾向であるかどうかははつきりしない。

## Geochemical Studies on the Mineral Springs

## Part 1. Nikko Yumoto Spa

\*Takao SAKAMOTO \*\*Yasushi MASHIKO, \*Koji SATO

\*(Geological Inst.&amp; \*\*Chemical Inst., Hot Spring Research Center)

Nikko Yumoto Spa is near the boundary between Tochigi Prefecture and Gunma Prefecture, and its altitude is about 1500 m.

About 10 Spring sources are distributed linearly in a north-south direction along the westside foot of Mt. Mitsudake. Mt. Mitsudake consists of the newer Mitsudake lava, and the older Plagio-liparite lies beneath this lava. Both members are covered by the alluvial deposits (gravel, sand and clay). The older Plagio-liparite is metamorphosed partially by the spring water, but the metamorphism is not observed on the Mitsudake lava. The spring water is discharging naturally from the older Plagio-liparite.

The character of these spring water belongs to the sulphate-bearing Sulphur Spring; however, strictly speaking, these springs are divided into two groups by the ratio of Ca ion,  $\text{SO}_4$  ion and Cl ion. One group is located in the northern part of this spa, in which Ca ion and  $\text{SO}_4$  ion are superior to other ions in atomic ratio; on the other hand, the southern part of this spa is the region of influence of  $\text{CaSO}_4$  spring water which is rich in NaCl and  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

The former is higher than latter in temperature, and the highest temperature is  $68^\circ\text{C}$  at the ground surface.