

## 草津殺生河原地熱地帯調査報告

—特に内部変質帯の性質について—

安藤 武\*

### On the Sesshō-gawara Geothermal Region in Gumma Prefecture

By

Takeshi Andō

#### Abstract

The Sesshō-gawara thermal region is situated about 3 km west from the Kusatsu hot springs, Gumma prefecture. In this report, the author explains about the geological structure, the chemical characteristic of the vapour, and also the rock alteration recognized by the boring core at the Sesshō-gawara.

This area consists of Sesshō lava (quartz-bearing two-pyroxene andesite, about 20 m thick) and underlying tuff-breccia. The vapour contains much  $H_2S$  and  $SO_2$ , which seem to have its origin in the oxidation of  $H_2S$  at subterranean. The rock characterized by impregnation of the free sulphur has intensively altered to clay. Iron sulphide-bearing silicified zone was ascertained at the depth of 150 m by the test boring in this area.

#### 1. 緒言

群馬県と長野県の県境に位置する草津白根火山をほぼ中心として、この地域にはいくつかの噴気・温泉群が分布する。

噴気帯： 白根山・殺生河原・万座温泉・発哺温泉等  
温泉： 草津温泉・熊の湯・五味一七味温泉・平穩温泉群等

殺生河原地熱地帯は草津町の西方直距約 3 km の地点にあり、白根山と草津町のほぼ中間に位置する。この地帯は中部電力ならびに東京電力が地熱発電の研究地帯として選定し、現在 2 本のテストボーリングを行つて試錐調査を実施中である。共同調査の結果については草津地熱発電共同調査研究委員会からその一部が報告されている。

#### 2. 地質

この地帯は草津白根火山の一部で、ほとんど全地域が草津白根火山の火山砕屑物と新旧の熔岩によつて占められている。この地域の地質については、すでに太田良平によつて「草津図幅」として調査発表されている。

ここでは殺生河原附近の地質状況について概要を述べ

る(註1)。

この地域の基盤地質は第三紀の酸性深成岩類・変朽安山岩類・斜長石流紋岩類であるが、草津白根火山の基盤としては、さらに新第三紀ないし更新世に属する高井熔岩・横手山熔岩・洞口熔岩などの旧期火山岩類を分布するようである。草津白根火山は更新世から現世に及ぶ火山活動に属し、まず最初に草津白根火山の基礎をつくつた凝灰角礫岩(主として火山灰からなる)を噴出した。この凝灰角礫岩はきわめて広く分布し草津町一帯の台地を構成している。殺生河原地熱地帯でも 20 m 内外の新时期熔岩層を掘り抜いた後に深く凝灰角礫岩層に掘り込んでいる。この厚い凝灰角礫岩層を覆つて草津白根火山の旧期熔岩類(青葉山熔岩等 8 種類の熔岩を分布する)、および本白根熔岩・殺生熔岩の新时期熔岩を分布する(第 1 図参照)。

#### 3. 地熱地帯

この地域に分布する変質帯には時代的に新旧 2 種類の變質帯が存在する。すなわち新しい變質帯は殺生河原・小殺生等、現在地温があるか、あるいは多少の硫黄現象の認められるものである。古い變質帯は草津硫黄・

註 1) この地域の地質については太田良平の調査結果に負うところが多い。

\* 地質部



第1表 草津温泉の主要成分

(単位 mg/l)

名称	No	源泉温度(°C)	pH	おもな陰イオン				おもな陽イオン							
				Cl'	HSO <sub>4</sub> '	SO <sub>4</sub> '	HPO <sub>4</sub> '	K'	Na'	Ca''	Mg''	Fe''	Fe'''	Mn''	Al'''
白旗の湯	1	63.0	1.45	816.8	1010.0	1232.0	12.8	17.7	30.7	50.7	24.5	103.0	13.6	2.3	153.3
熱の湯	2	61.0	1.45	798.7	1108.0	1172.0	18.2	18.6	29.7	48.5	20.1	77.9	11.4	2.3	155.5
西の河原	3	48.5	1.45	799.6	1165.0	1179.0	9.3	7.6	51.4	50.6	24.4	87.4	13.1	2.2	147.2
地蔵の湯	4	60.5	1.45	816.8	1010.0	1232.0	18.3	17.7	30.7	50.7	24.5	103.0	13.6	2.3	153.3
千代の湯	5	58.0	1.45	797.0	1095.0	1140.0	12.1	7.0	35.3	44.3	21.2	79.5	20.4	2.2	144.6
鷺の湯	6	58.5	1.45	792.7	1092.0	1132.0	26.2	5.1	38.6	47.8	24.0	76.7	20.7	2.2	142.7
湯畑の湯	7	65.0	1.5	752.8	1879.9	104.2	8.2	23.3	29.7	87.5	32.4	30.6	0	0.7	121.2

分析: No.1~No.6 東京衛生試験所 昭和18年 No.7 木村健二郎 (東京大学理学部化学教室) 昭和27年

白根硫黄・石津硫黄鉱山等であり、一般に多量の硫黄を鉱染し変質規模の大きなものがある。この種の古い変質帯は現在の地熱とほとんど関係がない。

### 3.1 殺生河原

殺生河原地熱地帯は標高1,550m内外(試錐第1号井の孔口標高は1,541m, 試錐第2号井は1,557mである)に位置し、硫黄変質帯は長径約500m, 短径約150mのほぼ楕円形であり、変質帯のはず中心において、長さ約300m, 幅最大60mの間に多数の小噴孔を散在して高地温帯を分布している。この地熱地帯には地表水がなく「からぶき」状を呈しているのみで、一般の地熱地帯にあるような地獄はみられない。草津温泉の湧出地帯とは450m内外の高低差がある。

### 3.2 草津温泉

上州草津温泉として古くから知られている著名な温泉である。凝灰角礫岩層から自然に湧出し、温泉の湧出地帯は西の河原—湯畑—地蔵の湯に至る東西1km余にわたっている。源泉温度は50~65°Cであり、その湧出量ははるむね7,000l/min(湯畑—5,000l/min, 西の河原—約1,500l/min, その他約500l/min)に及ぶ膨大な量である。泉質についてはすでに調査され、わが国における最も特異性のある温泉として知られている。著量の遊離塩酸(730~770mg/l)および遊離硫酸(1,000~1,170mg/l)を含み、強酸性(pH 1.45)を呈する含硫化水素酸性明礬緑礬泉である。なお主要成分は第1表に示した通りである。

### 3.3 小殺生

殺生河原と草津温泉のほぼ中間にあたる地点にある。現在は直接地表に異状温度は認められないが、硫化水素臭を伴っている小規模な変質帯である。

### 3.4 白根山噴気孔

白根火山抛出物(火山灰・ラピリー・火山岩からなる)を噴出した爆裂火口跡の噴気が湯釜の東側に僅かに現存

する。これらの火口跡すなわち湯釜の底には多量の硫黄を沈澱し(現在はほとんど採掘し終つている)、過去には盛んに硫黄活動が行われていたことを示す。

### 3.5 万座温泉

白根山の西方2km内外に分布する一大噴気地帯であり、ほぼ南北に連なる3つの小噴気地帯で構成されている。この地熱地帯は草津白根火山より旧期の火山に属する高井熔岩から直接噴気している。なお万座地熱地帯については別に報告<sup>2)</sup>されている。

これらの噴気温泉群は草津白根火山と深い関係にあり、ほぼ東西に連なっている。特に殺生河原—小殺生—草津温泉の間には密接な関係があるものと考察される。なおこれを結ぶ東西性の弱帯の存在が推定される。

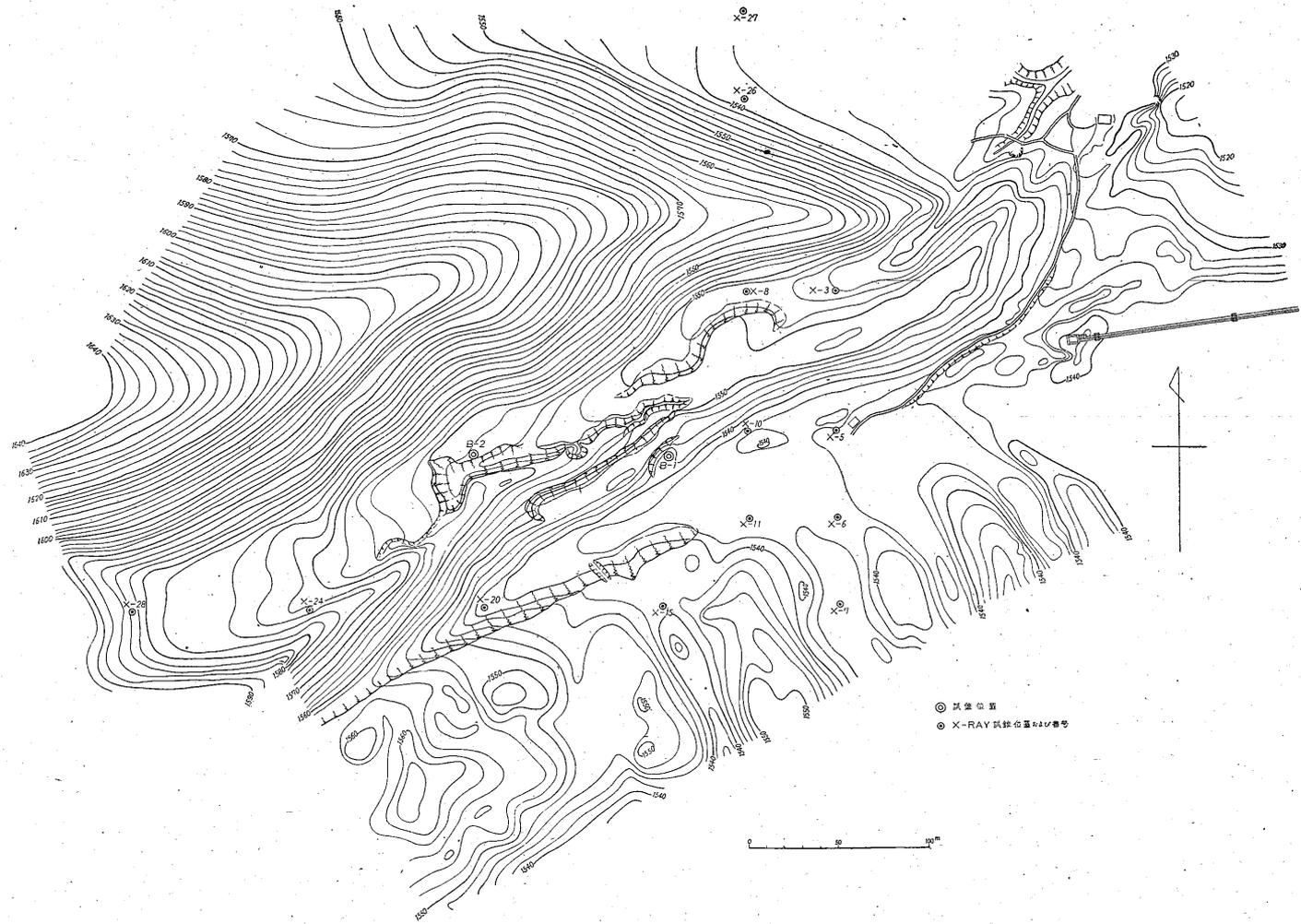
## 4. 殺生河原地熱地帯について

### 4.1 地温分布

X-RAY 試錐機による地温分布調査は中部電力および東京電力の共同調査班によつて昭和30年3月から6月にかけて実施された。掘鑿坑数は15本、掘鑿深度は延432mである。X-RAY 試錐地点、各坑井の深度および孔底温度は第2図および第2表の通りである。特にNo. 24地点では鉛直試錐のほかに山側と谷側に向かつて2本の斜掘り(30°の傾斜)が行われた。

### 4.2 噴気ガスの性質

この地帯の噴気ガスの分析結果は第3表に示した。No. 1およびNo. 2はX-RAY No. 24地点における鉛直孔と谷側斜孔の噴気を分析した。No. 4は1号試錐井と2号試錐井の中間にあたる台地上の自然の噴気露頭について分析した。No. 3はX-RAY No. 10地点における蒸気の伴なわれない噴出ガスについて分析した。No. 5およびNo. 6は試掘中の坑井について試掘過程(1号井は掘進深度135m, 2号井は132mのとき)にガスの逸出があるか否かを分析したものである。この地熱



第2図 殺生河原地熱地帯の地形および試錐位置分布図

草津殺生河原地熱地帯調査報告 (安藤 武)

第2表 X-RAY 試錐孔の深度および地温

No (位置)	掘鑿深度 (m)	孔底温度 (°C)	備 考
3	25.00	45.2	{ 孔口=10.0 3m=16.5 8m=13.5 15m=13.5 20m=11.0 25m=14.0
5	41.07	34.7	
6	25.00	14.0	
7	25.00	9.5	
8	21.50	28.0	
10	25.04	49.0	
11	40.28	42.0	
15	23.48	17.0	
20	25.12	75.8	
24	25.40	83.1	
24	30.08	58.8	山側斜孔 // ガス分析
24	30.10	91.5	谷側斜孔 // ガス分析
26	29.60	13.0	
27	25.20	10.0	
28	40.00	21.2	

註) 孔底温度の測定は掘鑿終了後1時間後に行ったもの。

第3表 噴気ガスの成分

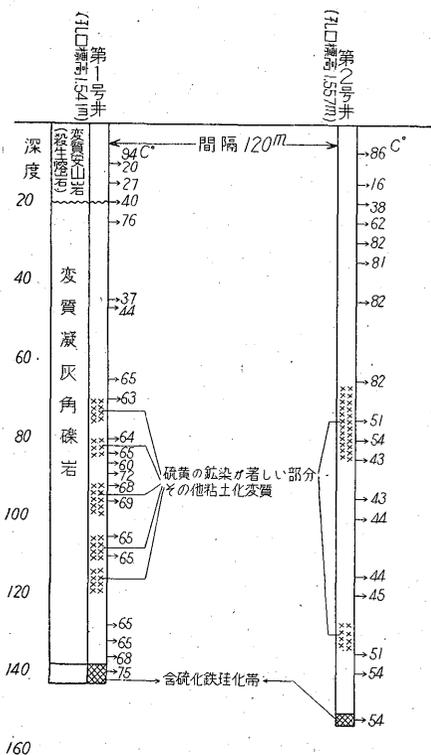
I. ガス成分

No	試料採取位置	温度 (°C)	蒸気凝縮水 対ガス比		ガス百分率 Vol. %					
			凝縮水	ガス	H <sub>2</sub> S	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	残ガス (N <sub>2</sub> )	
1	X-RAY 試錐 No. 24号 (谷側斜孔)	94	1.2	98.8	30.2	21.4	43.6	none	4.8	掘進深度135m, ロット引揚後 坑口からは6mの地点で採取する // 132m // //
2	X-RAY 試錐 No. 24号 (垂直孔)	94	1.2	98.8	53.0	38.2	//	8.8		
3	X-RAY 試錐 No. 10号	63	0	100	40.0	9.5	37.5	//	13.0	
4	噴気露頭 (試錐1~2号中間)	94	1.0	99.0	56.6	37.2	0.6	5.6		
5	試錐 1号井	66	0	100	tr.	tr.	0.9	20.3	78.8	
6	試錐 2号井	53	0	100	tr.	tr.	0.6	20.4	79.0	

II. 噴気成分(噴気を Dry steam として概算したもの)

No	試料採取位置	温度 (°C)	蒸気対ガス		噴気百分率 Vol. %					
			H <sub>2</sub> O	ガス	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> S	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	残ガス (N <sub>2</sub> )
1	X-RAY. No. 24号斜	94	93.8	6.2	93.8	1.9	1.3	2.7	0	0.3
2	// // 垂	94	93.8	6.2	93.8		3.3	2.4	0	0.5
4	噴気露頭	94	92.6	7.4	92.6		4.2	2.7	0.05	0.45

註. 1) 昭和30年8月4日ガス試料採取。  
 2) 北川式ガス検知管により, 試料ガス中に NH<sub>3</sub> の存在を検知した。



第3図 試錐柱状図

地帯には地表水の存在による地獄と通称される現象がみられないため、噴気による水の酸性度・溶存成分など地熱現象を解する1つの手掛りとなる水質調査はできなかった。

噴気ガスの分析その他定性試験(ガス検知管、ガス捕集管等を使用)の結果によるとこの地帯の噴気は他の地熱地帯の噴気と比較して水蒸気が少なく、不凝縮性ガスが著しく多く、かつこの不凝縮性ガス中には多量のSO<sub>2</sub>ガスが含まれる。なお噴気の凝縮水はpH 3.7以下の強酸性を呈し、凝縮水は顕著に白濁する。このことはSO<sub>2</sub>ガスの共存を簡単に示すものである。露頭および浅い鑿孔による噴気ガスはきわめて刺戟性であり、かつ腐蝕性の強い悪性ガスである。噴気ガス中におけるH<sub>2</sub>SとSO<sub>2</sub>の両ガスの共存関係およびSO<sub>2</sub>の存在理由についてはすでに述べたことがあり、この地帯で噴気ガス中にSO<sub>2</sub>の存在することは、岩漿からの初生的揮発成分と考えるよりは、主として無水帯におけるH<sub>2</sub>Sの2次の酸化と考えることの妥当性がより明らかにされた。

#### 4.3 試錐地質および岩石の変質

殺生河原地熱地帯では120mの間隔を置いて2本のテストボーリングが中部電力および東京電力の共同調査班

によつて実施されつつある。試錐の岩芯は噴気変質ないし温泉変質を受けて著しく分解し、その結果原岩の判定は少なからず困難になつている。筆者の岩芯判定によると、ほぼ20m付近までは表層の熔岩(殺生熔岩と思われる)であるが、それ以下は現在の深度、すなわち150m付近まで凝灰角礫岩(火山灰を主とする凝灰質である)の変質したものである。このことは周辺の地質構造からもある程度推定され、主として草津白根火山の基礎をつくる凝灰角礫岩層を掘つている。

岩芯は灰白色(粘土化を主とした部分)~黄白色(多量の硫黄を鉱染した部分)~黒色(コロイド状の硫化鉄を鉱染している部分)等を呈するが、その変質は粘土化を主体としたもので、孔底の珪化帯に至るまでは類似した変質の傾向がみられる。深部においても方解石あるいは沸石の晶出はいまのところまったく認められない。大きな特徴としては粘土化とともに多量の遊離硫黄の鉱染がみられる。なお黒色を附与するコロイド質硫化鉄の鉱染はみられるが、黄鉄鉱の鉱染はきわめて少ない。試錐第1号井は深度138m、試錐第2号井は深度150mでいずれも含硫化鉄珪化帯にあつた。この珪化帯は両坑井ともほとんど同じレベルに相当する。この珪化物は40%内外の硫化鉄と珪酸からなる黒色で緻密・堅硬なものであり、多量の硫化鉄を含むことによつて著しく特徴づけられた珪化帯である。硬い珪化帯にあつたため30年度における試掘はこの珪化帯の若干の試掘によつて一応中止された。

#### 5. 変質帯の特徴ならびに珪化帯の成因

試錐による岩芯の変質の概要、噴気ガスの性質についてはすでに述べた通りであり、この変質状態は草津殺生河原地熱地帯のきわめて重要な特徴を示すものである。珪化帯以上の140~150mの地層は降雨などの地表水が容易に浸透しつつある地帯である。このように容易に地表水を深部まで浸透する地帯を透水性無水帯と呼ぶことにする。この透水性無水帯内では、下方から上昇してきた噴気と、上部から浸透した地下水の間に大きな熱化学反応が行われた。すなわちH<sub>2</sub>Sはこの帯内で酸化され(主として浸透水中の溶存酸素に基因すると考えられる)、その一部はSO<sub>2</sub>に変化し(120°C以上の高温状態で)、このSO<sub>2</sub>はさらにH<sub>2</sub>Sと反応して内部で遊離硫黄を晶出して変質帯内に鉱染した。その一部は噴気ガスの分析結果にも表われているように、地表に逸出する。同時に酸化作用に基因して地表からの浸透水は酸性温泉水となり、岩石に酸性変質を及ぼしたと解される。カオリン化のみによるこのような粘土化変質は酸性鉱水の作用によ

ると考えられるもので、この変質過程に岩石中の成分、主として石灰・苦土・アルカリの全部、鉄の大部分、珪酸の一部を溶脱した。

鉄は一般に硫化鉄として変質帯内に分結されるが、長期間による滲透水の作用により、透水性無水帯の下部において著しい分結を起こしたものであろう。同じように透水性無水帯内から溶脱された珪酸の一部が、その下部で晶出した結果としてこのような含硫化鉄珪化帯の生成をみるに至つたものと思う。なお可溶性成分(石灰・苦土・アルカリ類)および酸化に基因した硫酸根(硫酸塩および遊離硫酸として)は温泉水として高度に分散しつつ地形的に東方に流下して草津温泉源を涵養する地下水の一部となつているものと解される。草津温泉はその温泉の化学的性質・水理地質・地形から殺生・小殺生を含めたその西方地帯に及ぶ深部熱源と少なからぬ関係にあるものと思う。

透水性無水帯内における変質は成分の溶脱によつて容積変化を起こし、内部は脆弱あるいは亀裂の多い状態になつている。このことは実際のボーリング結果に表われたように多量の逸水現象を引き起こし、試錐作業を困難にする。

なお透水性無水帯内では実際の地温が探知し難い。このことは試錐過程における坑底温度の測定結果に表われ、かつ X-RAY による地温分布調査もこの地帯における深部の地温を十分に探査するに至つていないものと解される。

## 6. 結 言

以上主として草津殺生河原地熱地帯の地質構造、噴気ガスの性質および試錐地質による内部変質の特徴について述べた。

これを要約すると次の通りである。

1) 殺生河原地熱地帯で表層 20m 内外までは殺生熔岩(草津白根火山の新期熔岩)であるが、それ以下は凝灰角礫岩である。

この凝灰角礫岩はこの地帯ではほとんど凝灰質であり 150m 以下まで続いている。

2) 噴気ガスは著量の  $\text{SO}_2$  ガスを  $\text{H}_2\text{O}$  ガスと共存する。なお噴気の凝縮水は  $\text{SO}_2$  の存在のために白濁し、pH は 3.7 以下である。この  $\text{SO}_2$  は主として透水性無水帯内における  $\text{H}_2\text{S}$  の高温下における 2 次的酸化に基因すると解される。

3) 草津殺生河原のように、降雨等の地表水を深部まで滲透する地帯を透水性無水帯と呼ぶ。この透水性無水帯の厚さは殺生河原地熱地帯で 150m 以上に及んでいる。

4) 透水性無水帯内では噴気と滲透水との間に熱化学反応が行われ、酸性鉱水によるカオリン化を主とした粘土化変質が顕著に行われている。なお硫黄の鉱染が著しく、鉱染範囲は 120m 以下の深部にまで及んでいる。方解石・沸石類の晶出は現在の 150m の深度までまったく認められない。

5) 岩石の変質に伴なつて成分の溶脱が行われ、厚い範囲(約 150m)に及ぶ容積変化が行われている。その結果として内部は脆弱あるいは亀裂の多い状態となり、試錐過程に逸水を起こして試錐を困難にしている。

6) 透水性無水帯の下底に含硫化鉄珪化帯を生成している。この珪化帯は 40% 内外の硫化鉄を含む黒色堅硬な珪化物である。この珪化帯の厚さは現在不明であるが、成因すなわちこの上部における容積変化から推定して、著しく厚いとは考え難い。この珪化帯を掘り抜いてこれ以下に試掘することによつて初めて真の地温あるいは蒸気温度が探知され、かつこの地帯において天然蒸気が得られるか否か、すなわち地熱発電の成否が決定されると思う。

7) 以上草津殺生河原地熱地帯は地熱地帯の蒸気と水との関係を支配する構造地質としてきわめて大きな特異性を有する。

(昭和30年11月調査)

## 文 献

- 1) 地質調査所：宮崎県海老野地熱地帯調査報告，地質調査所月報，Vol. 6, No. 10, 1955
- 2) 中村久由外 1 名：群馬県万座温泉調査報告，地質調査所月報，Vol. 8, No. 1, 1957