

原 著

# 塩原温泉元湯の自然電位法による 温泉流動経路の検出

\*<sup>1</sup>関東学院大学工学部地球科学研究室, \*<sup>2</sup>(株)興和

伊藤 芳朗\*<sup>1</sup>, 柴田 隆夫\*<sup>1</sup>, 石井 栄一\*<sup>1</sup>,  
田中 康裕\*<sup>1</sup>, 齋藤 輝夫\*<sup>1</sup>, 南雲 政博\*<sup>2</sup>,  
坂東 和郎\*<sup>2</sup>

(平成4年7月14日受付, 平成4年8月20日受理)

## Detection of Passages of Hot Spring Water Using Self Potential Method at Shiobara-Motoyu Spa, Tochigi Prefecture

Yoshiro ITO\*<sup>1</sup>, Azuma SHIBATA\*<sup>1</sup>, Eiichi ISII\*<sup>1</sup>,  
Yasuhiro TANAKA\*<sup>1</sup>, Teruo SAITO\*<sup>1</sup>, Masahiro NAGUMO\*<sup>2</sup>  
and Kazuro BANDO\*<sup>2</sup>

\*<sup>1</sup>Study of Earth Science, Faculty of Engineering, Kanto Gakuin University\*<sup>2</sup>Development Division of New Techniqe Works, KOWA Co. Ltd.

### Abstract

There are three flowing springs, three fissure springs and two geysers at Motoyu Spa. A flow of water generates usually negative streaming potential. A flowing vein and relative magnitude of spring are estimated by the analyses of accumulated curve of electric potential and potential gradient curve using SP method. The passages of flow of spring water are decided by the continuity of electric potential anomalies among the survey lines. And the details of passage of water flow are estimated the changes of streaming potential caused by activity of the geysers.

### 1. まえがき

#### 1.1 塩原温泉元湯

栃木県那須塩原温泉郷には、おおみ大網、ふくわた福渡、しおがま塩釜、しおのゆ塩の湯、あまゆ甘湯、すまき須巻、はたおり畑下、もんぜん門前、ふるまち古町、もとゆ元湯、あらゆ新湯の温泉群がある。1920年代には、甘湯を除いた塩原十湯であった<sup>1)</sup>。最近では、中塩原

と温泉開発に成功した上塩原を加え、俗に塩原十三湯ともいわれる様になっている。元湯は、塩原温泉郷を流れる箒川の源流、赤川の標高800mの渓谷にある。元湯の歴史は古く、塩原温泉の発祥の地といわれている。承和元年(834年)僧空海の発見という伝承があり、江戸時代に入ってから、七つの温泉と四十八の浴舎を有し、奥州会津へ下る近道として、多数の来訪者で栄えたという。当時の模様を伝えると思われる図版をFig.1に示した<sup>2)</sup>。しかし、万治二年二月晦(1659, IV21)の地震(M6 3/4~7)<sup>3)</sup>により、村は土砂に埋没し、梶原の湯(現在のゑびすや旅館の源泉)のみ残ったといわれている<sup>2)</sup>。毎年の塩原温泉郷の「古式湯祭り」には、この湯が御神湯として運ばれている。現在の元湯温泉の全景をPhoto.1に示した。

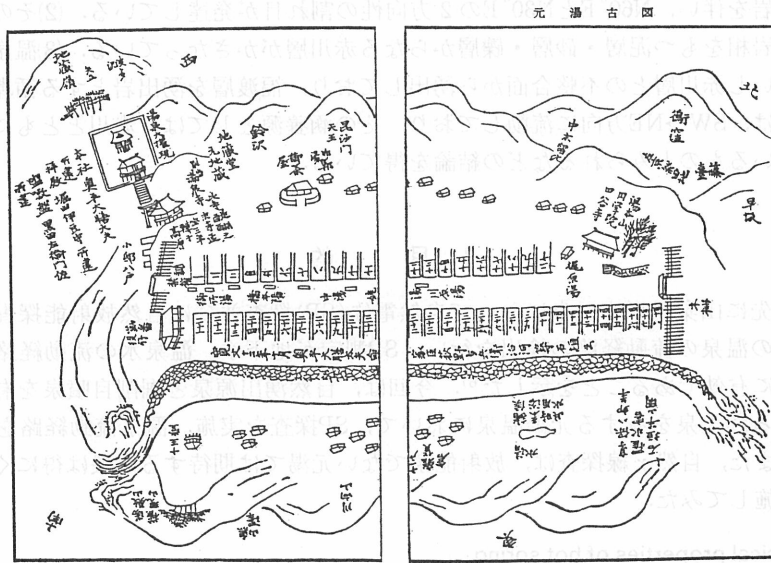


Fig. 1 Old sketch map of Motoyu Spa in the 1600s (Edo period)



Photo-1 A general view of Motoyu Spa in 1992

Eb: Ebisuya Hotel Ge: Gensenkan Hotel

Oi: Oidekan Hotel

## 1.2 元湯の源泉の地質構造

元湯の源泉の過去と現況をTable 1に示した。3本の自然湧出泉、2本の掘削間欠泉、3本の掘削自噴泉の計8本の源泉(1992年現在)がある。源泉の分布をFig.2に示す。源泉は、赤川の左岸のみに存在し、温泉旅館は3軒である。源泉からの取水の方法は、自然湧出によるもの、ポンプ揚湯によるもの、間欠泉に冷水を注入して、スケール防止と共に安定した噴出周期を得たり、多数のクラックに夫々パイプを挿入して集めたり、加熱温水を混合する方法などを行っている。

元湯の地質構造については、試錐の結果を参考とした<sup>4)</sup>、鈴木ら(1970)による地質調査、温泉調査があり<sup>5)</sup>、その地質断面図をFig.3に示した。調査結果によると、(1)第三紀の緑色凝灰岩の福渡層は流紋岩を伴い、N60°EとN30°Eの2方向性の割れ目が発達している。(2)その福渡層に不整合に、粗粒岩相をもつ泥層・砂層・礫層からなる赤川層がかさなっている。(3)温泉水は、福渡層の割れ目ないし赤川層との不整合面から湧出しており、福渡層を湧出岩とする循環亀裂泉である。(4)温泉水は、SW→NE方向に流動しており、その涵養源としては、赤川とともに、後沢の流水が関与しているものとみられるなどの結論を得ている。

## 2. 目的

著者らは、先に山梨県増富温泉において自然電位(SP)探査並びに自然放射能探査( $\gamma$ 線)により、自然湧出の温泉の流動経路の検出を行い、SP測定が地下水、温泉水の流動経路、すなわち水流脈の検出に有効であることを示した<sup>6)</sup>。今回は、自然湧出源泉と掘削自噴泉を有し、しかも炭酸ガスによる間欠泉を有する元湯温泉において、SP探査を実施、温泉流動経路を検出することを試みた。また、自然 $\gamma$ 線探査は、放射能泉でない元湯では期待する成果は得にくいと考えたが並行して実施してみた。

Table 1 Physical properties of hot spring

No.	Name of spring	Drilling year	Depth of drilling (m)	Observation time	Type of gush	Temperature of spring (°C)	Amount of discharge (l/min)	pH 1987.10	Electric conductivity mS/cm at 18°C	Remarks °C: air temperature
1	黄金の湯	1960	97.0	1970.6	N	37.0	20.0	—	—	17°C
				1992.4	N	39.0	8.0	6.5	2.6	
2	梶原の湯	1979.12	15.0	1970.6	N	39.0	8.4	—	—	13°C
				1987.4	P	37.3	15.8	7.5	3.0	
3	弘法の湯	1966.7	82.25	1970.6	G	49.5	17.0	—	—	* Mixing water
				1988.4	G	53.2	17.4*	7.6	3.9	
4	宝の湯	1966.8	108.0	1970.6	G	53.0	12.0	—	—	13°C (Stop in 1991)
				1987.5	N	55.2	—	7.3	4.8	
5	元泉館	1966.8	102.0	1970.6	G	46.5	23.4	—	—	* Mixing water * 1992.4
				1988.4	G	63.7	14.9*	7.2	4.4	
6	かんたんの湯 邯鄲湯	—	—	1970.6	N	51.0	4.0	—	—	13°C
				1992.4	N	50.7	3.2	6.8	5.1	
7	高尾の湯	—	1.5	1970.6	N	51.0	8.6	—	—	
				1992.4	N	—	—	—	—	
8	五色の湯	—	—	1970.6	N	49.5	7.2	—	—	* Best hole out of six spring
				1992.4	N*	46.0	3.1	6.7	3.8	
9	(後沢)	—	150	1970.6 1992.4	no gush					disappearance

Data in 1970.6: after A. SUZUKI<sup>5)</sup>. Type of gush. N: natural yield, P: pump up, G: geyser

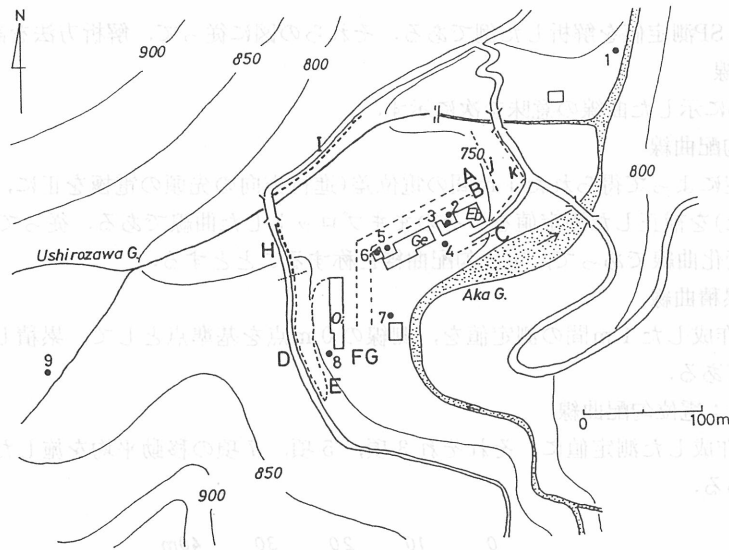


Fig.2 Topographic map of Motoyu spa

A, B, C, D, E, F, G, H and I: SP survey line j and k: Additional survey line  
 Eb: Ebisuya Hotel Ge: Gensenkan Hotel Oi: Oidekan Hotel  
 1~8: Source of hot spring 9: Drilling hole G.: River

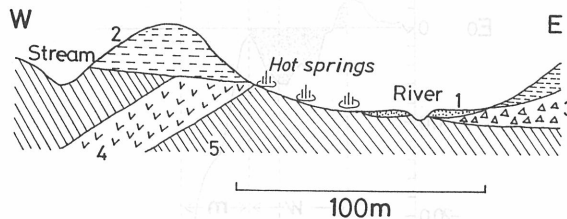


Fig.3 Geologic section of Motoyu spa after A. Suzuki<sup>5)</sup>

1: Gravel bed 2: Akagawa formation 3: Kogen lava 4: Rhyolite  
 5: Tuff Fukuwata formation is composed of 4 and 5.

### 3. 測定および解析方法

#### 3.1 自然電位法(SP法)

増富温泉と同一の測定方法によった<sup>6)</sup>. つまり, 設定した測線上に固定電極点を設けて, 他方の電極を移動させながら電位差を測定する伸長測定方式(略称L方式)でなく, 測線上を一定間隔にて, 一対の銅-硫酸銅電極(McMILLER製)を, 同時移動しながら測定する尺取虫測定方式(略称S方式)を採用した. 電圧計は高インピーダンス(100MΩ以上)のデジタル表示(DC 000.0 mV)のプリント方式(HIOKI-3234)を使用した. また, 20m程度の測線間隔をもつ複数の測線を設定し, 測定間隔は1~2 mとした. なお, 自噴源泉の近傍では精査も行ってみた.

測定値の補正に必要な電極間の固有電位差の測定は, 測線毎に行った. 土質や岩質の変化, 表土の温度差, 水溜り, 金属製の工作物や人工埋設物などの存在には留意した.

#### 3.2 解析方法

Fig.4, Fig.5は, 温泉湧出, 温泉水流脈, 地形, 熱変質帯, クラック群などの存在が確認でき



る地域におけるSP測定値を解析した例である。それらの図に従って、解析方法を詳述する。

### 3.2.1 解析曲線

Fig.4, Fig.5に示した曲線の意味を次に示す。

#### (1) $E_1$ : 電位勾配曲線

S方式測定によって得られた1m間の電位差(進行方向の先頭の電極を正に、後尾の電極を負に設定した)を補正した測定値を、そのままプロットした曲線である。従って、 $E_1$ 曲線は、電位勾配の変化曲線であって、電位勾配曲線と称することとする。

#### (2) $E_0$ : 電位累積曲線

$E_1$ 曲線を作成した1m間の測定値を、測線の0m点を基準点として、累積した値をプロットした曲線である。

#### (3) $E_3, E_5, E_7$ : 電位勾配曲線

$E_1$ 曲線を作成した測定値に、それぞれ3項、5項、7項の移動平均を施した値をプロットした曲線である。

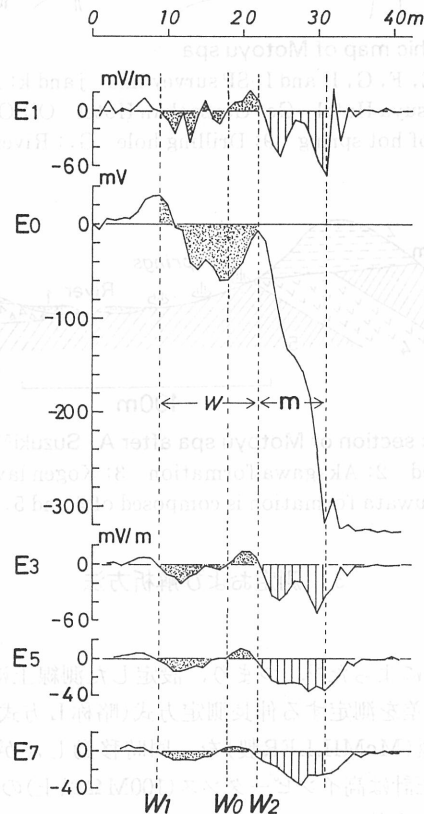


Fig.4 Method of analysis of the SP values

$E_1$  Curve: Potential gradient by SP correction values  $E_0$  Curve: Electric potential by accumulation of potential gradient of  $E_1$  Curve  $E_3, E_5$  and  $E_7$  Curve: Potential gradient by process of running average method based on 3,5 and 7 terms, respectively  $W$ : Vein of hot spring  $W_1$ - $W_2$ : Width of vein  $W_0$ : Center of vein  $m$ : Hydrothermal alternation zone

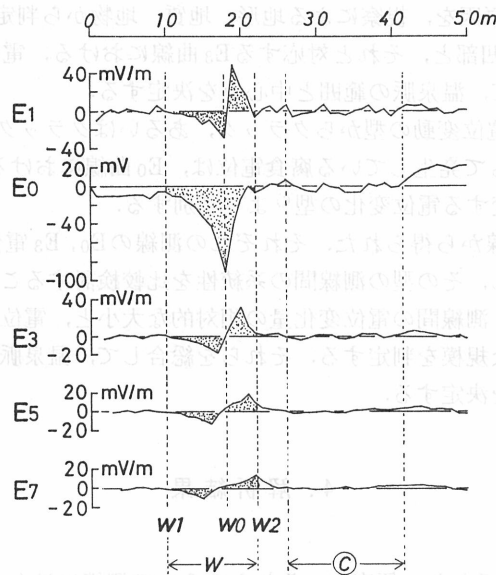


Fig.5 Method of analysis of the SP values

E<sub>1</sub>, E<sub>0</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>5</sub>, E<sub>7</sub>, W, W<sub>1</sub>, W<sub>2</sub> and W<sub>0</sub>: Same symbol as Fig.4

©: Fissure zone

3.2.2 各曲線の特徴

- (1) 各図のE<sub>0</sub>曲線における点模様の部分, W区間のW<sub>1</sub>—W<sub>2</sub>間が温泉水流脈(以下温泉脈と略称)の範囲であり, 温泉水の流動によって発生している流動電位による負の向きの電位変化が明瞭にみられる. 中心部W<sub>0</sub>は, その電位変化の最大を示す地点であり, 流速の最大な地点と考えられる.
- (2) Fig.4のm区間に示した縦線模様の範囲は, 熱変質を受けた白色粘土地帯であり, E<sub>0</sub>曲線では, 極めて大きな負の電位のドリフトがみられる. この様にE<sub>0</sub>電位累積曲線は, 土質, 地質, 地形の変化に原因する電位変化が強調される<sup>6)</sup>. それらのうちの周期の長い, 一樣なドリフトは, そのE<sub>0</sub>曲線を微分したものに相当するE<sub>1</sub>電位勾配曲線によって, ほとんど消去される. その反面, E<sub>1</sub>曲線のW区間にみられるように, E<sub>0</sub>曲線の微小な電位の凹凸を誇張してしまう. しかし, より高次の移動平均を施したE<sub>3</sub>, E<sub>5</sub>, E<sub>7</sub>曲線の順に, 微小な凹凸は目立たなくなる.
- (3) E<sub>3</sub>, E<sub>5</sub>, E<sub>7</sub>曲線のうち, 温泉脈W<sub>1</sub>—W<sub>2</sub>の範囲と, その中心部W<sub>0</sub>が明瞭に表現されているのは, E<sub>3</sub>, E<sub>5</sub>曲線である. 中心部W<sub>0</sub>は, E<sub>0</sub>曲線におけるW<sub>1</sub>—W<sub>2</sub>間の極小値であるから, 0線を切る位置にある. ただし, E<sub>5</sub>, E<sub>7</sub>曲線では, 高次の移動平均のために, その位置はずれてしまう.
- (4) Fig.5の©区間で示される範囲は, クラック地帯である. そこでは, 水分の流動速度が小さいために電位変化は小さいが, E<sub>1</sub>曲線にみられるような微小な凹凸群の電位変動となる. しかし, より高次の移動平均を施したE<sub>3</sub>, E<sub>5</sub>, E<sub>7</sub>曲線となるに従って, E<sub>1</sub>曲線にみられた明瞭な©区間の電位変動は消滅してしまう. クラック地帯の判別が容易である曲線はE<sub>1</sub>, E<sub>3</sub>曲線である.

3.2.3 解析手順

- (1) Fig.4, Fig.5に従って, 測定値よりE<sub>1</sub>曲線を作成し, さらにE<sub>0</sub>, E<sub>3</sub>曲線を作成し, 参考のためにE<sub>5</sub>, E<sub>7</sub>曲線を作成する.

- (2)  $E_0$  曲線のドリフトの原因を、視察による地形、地質、地物から判定する。
- (3)  $E_0$  曲線の電位変化の凹部と、それと対応する  $E_3$  曲線における、電位変化の負から正に急変する区間を比較検討して、温泉脈の範囲と中心点を決定する。
- (4)  $E_0$ ,  $E_3$  曲線における電位変動の型からクラック、あるいはクラック地帯を判定する。
- (5) 鉄柱、鉄管などによって発生している腐食電位は、 $E_0$  曲線における正の電位異常、 $E_3$  曲線における正から負に急変する電位変化の型<sup>6)</sup>より判別する。
- (6) 同一斜面の複数の測線から得られた、それぞれの測線の  $E_0$ ,  $E_3$  電位曲線において、共通する電位変化の型を見出し、その型の測線間の系統性を比較検討することにより、温泉水の流動経路を判別する。次に、測線間の電位変化量の相対的な大小と、電位変化の範囲の大小を比較して、温泉脈の相対的な規模を判定する。それらを総合して、温泉脈の中心部を測線間で連結して、温泉の流動経路を決定する。

#### 4. 解析結果

##### 4.1 SP測定的位置

Fig. 2に測定した測線を示した。便宜上、それらの9本の測線にはA, B, C, D, E, F, G, H, I (他に補助測線j, k)の名称を付した。A, B, E, F, Gの5本の測線は、温泉が湧出する地帯を囲む斜面上に設定された。C測線は平坦な河川敷にある。D, H, I測線は、温泉地を大きく取り囲む道路沿いに位置しているが、I測線のみは後沢川の谷を越えた道路沿いに設置されている。これ以外の場所における測線の設定は、地形、植生のために困難であった。なお、温泉を湧出する斜面においては、全く清水の自然湧出が見られていない。

##### 4.2 SP測定結果

###### 4.2.1 A, B, C測線

- (1) Fig. 6はA, B測線の間隔が18m, 測点間隔2mによるSP測定値の累積電位曲線( $E_0$ 曲線と略称、以下同様)である。図の点模様範囲は、電位変化が凹型であり、A, Bの測線を比較対照すれば、温泉の流動経路を予想することが出来る。図の下に示したS2, S3, S5, S6はFig. 2における源泉番号と同一の源泉である。S2, S3は、それぞれEb旅館における梶原の湯、弘法の湯であり、S2は湧出量(ポンプ揚湯)において元湯最大であり、S3は炭酸ガスによる間

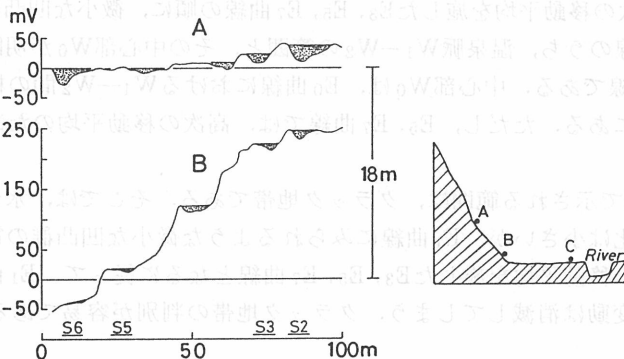


Fig. 6 Electric potential curve of SP ( $E_0$ ) at A and B line

Dotted part: Hot spring vein S2, S3, S5 and S6: Source of hot spring

The section of A, B and C survey line shows on the right side.

- 欠泉<sup>7)</sup>で自噴量が多い。S5, S6は、それぞれGe旅館における間欠泉<sup>7)</sup>と割れ目湧出泉であり、湧出量はS2, S3に比べて多くはない(Table 1)。
- (2) Fig.7は、Fig.6と同一のA, B測線と河川敷にあるC測線における電位勾配曲線(すべて3項の移動平均値, E<sub>3</sub>曲線と略称, 以下同様)である。B測線とC測線との間隔は40mである(A, B, C測線の高度関係はFig.6に示した)。Fig.7の点模様の範囲が、Fig.6にて温泉流動経路とみなした同一の範囲を微分形にて表したものに相当する。曲線の下に表示した長方形は、その電位勾配の変化の大きさに比例した縦幅と、変化の範囲と同一な横幅をもつ長方形として表現してある。従って、長方形の大きさは温泉流動量に比例しているとみなす。長方形内の縦太線は、Fig.6における電位変化の極小値(温泉脈中の流速最大点とみなす)の位置を示してある(長方形は以下同様の表現である)。B測線とC測線との間のS4は、宝の湯で、かつて間欠泉であったが、現在(1992年5月)はスケールのために閉塞してしまっている。
- (3) Fig.7のA測線にみられる温泉流動量(長方形の大きさからみて)は比較的が多いが、18m斜面を下ったB測線においては、温泉流動量は見掛け上減少している。この流動電位変化の減少の原因としては、(a)斜面の下部において温泉の流速が減少した、(b)斜面下部における崖錐堆積物<sup>4)</sup>により温泉脈がより深くなった、(c)A測線へ向かう温泉脈がクラックなどにより細分化したなどが考えられる。B測線に示される電位変化の範囲(長方形の横幅)が、いずれもA測線のそれよりも短いこと、クラックを示す微小電位変化(Fig.5参照)がA, B測線ともに見られないこと、また、斜面の地層の走向、傾斜(Fig.3参照)と斜面の地形などから、おそらく(a)の原因による見掛けの流動電位の大きさの減少(図の長方形の縦幅の減少)と(b)の原因による見掛けの流動電位の変化部の範囲の縮小(図の長方形の横幅の縮小)とが同時に作用しているものと思われる。C測線における流動電位の変化の大きな減少は、S2, S3, S4での揚湯による温泉流量の減少と、B測線の数m下からC測線にかけては河川敷で平坦となっていることによる流速の減少によるものと思われる。
- (4) なお、A, B測線の延長方向への温泉流動は、A, B測線と直角なj, k補助測線(Fig.2)における測定からは、赤川へ向かう流動のみみられた(測定結果は省略)。
- (5) Fig.7における矢印は、温泉流動の規模を表す長方形の位置、大きさをA測線とB測線とを

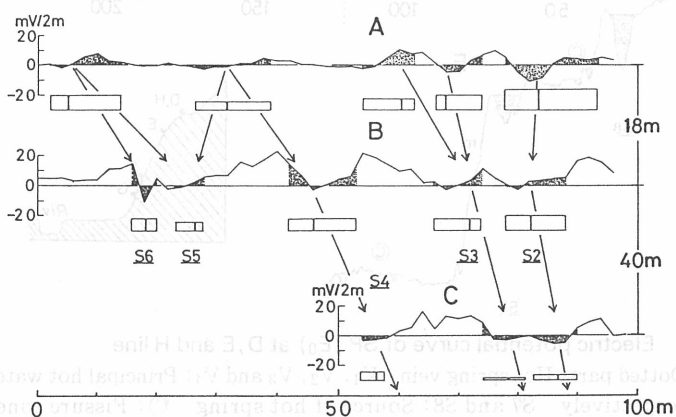


Fig.7 Electric potential gradient curve of SP (E<sub>3</sub>) at A and B line  
 Dotted part: Hot spring vein S2, S3, S5 and S6: Source of hot spring  
 Rectangle: Magnitude of hot spring vein that is classified according to dimension of potential change. Vertical line in rectangle: Center of hot spring vein Arrow: Direction of flow of hot spring

比較し、源泉の位置、湧出量をも考慮して、温泉流動方向として表現した。C測線への矢印も、源泉の位置、湧出量を考慮して、温泉流動方向とした。

#### 4.2.2 D測線, E測線, F測線, G測線

(1) Fig.8には、D測線, E測線(H測線は後述する)におけるE<sub>0</sub>曲線を示す。流動電位を示す電位の凹部を点模様で表した。明瞭な個所はV<sub>2</sub>と記された区域であって、Oi旅館の源泉8への有力な温泉流動経路であることがわかる。次いで、V<sub>3</sub>の個所であるが、D測線では2個所であるが、E測線では合流して1カ所となっている。これは、E測線にみられる粘土質の白色変質帯(m印)によって堰き止められて合流したものと思われる。この地帯には、クラックと思われる電位変動が2地区(◎)に見られる。

(2) Fig.9にはD, E, F, G測線のE<sub>3</sub>曲線が示されている。前述の4.2.1と同様に考えて、流動方向の矢印を決定した。この地帯の特徴は、V<sub>3</sub>の温泉流動がE測線からF測線にきて拡散してしまうこと(D, E, F, G測線の高度関係はFig.8に示してある)、また、2地帯の◎にみられるクラック地帯を温泉が流下しており、G測線の斜面の下の幅10mの河川敷では、3m程度掘ればどこでも、温泉水の自然湧出が見られるが、湧出量の多い脈は見い出されていない。

#### 4.2.3 H, I測線

Fig.10は、H, I測線におけるE<sub>3</sub>曲線を示してある(H測線のE<sub>0</sub>曲線、高度関係はFig.8に、I測線の高度、位置関係はFig.10に示してある)。V<sub>1</sub>, V<sub>4</sub>で示した個所に有力な温泉流動がみられる。しかし、谷を越えたI測線(Fig.2参照)では、水の流動を示す電位変化は見られない。すなわち、温泉湧出に關する地勢は、後沢川の右岸の山のみであって、左岸の山は關与していないことは明瞭である。V<sub>1</sub>の主要な温泉水流脈は、右岸の山の尾根の西側を通り(Fig.3の地質図参照)赤川方向へ向かって流動しているものと推定される。

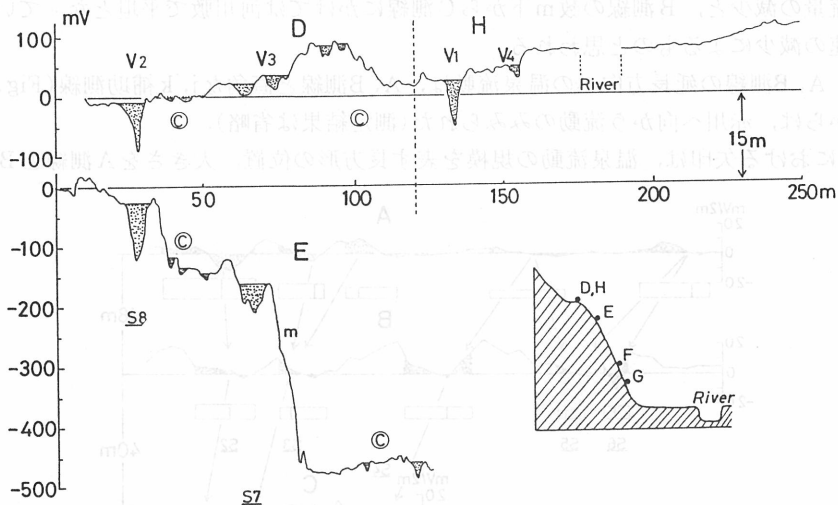


Fig. 8 Electric potential curve of SP (E<sub>0</sub>) at D, E and H line

Dotted part: Hot spring vein V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub> and V<sub>4</sub>: Principal hot water vein respectively S7 and S8: Source of hot spring ◎: Fissure zone m: Hydrothermal alteration zone The section of D, E, F, G and H survey line shows on the right side.

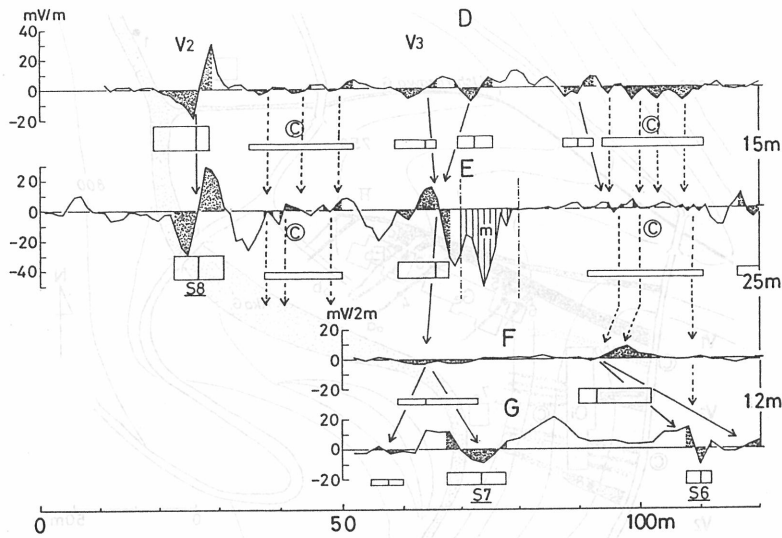


Fig.9 Electric potential gradient curve of SP ( $E_3$ ) at D, E, F and G line  
 V2 and V3: Principal hot water vein S6, S7 and S8: Source of hot spring  
 Arrow of dotted line: Direction of flow of hot spring through fissure zone  
 The rest of symbol are the same as Fig.8.

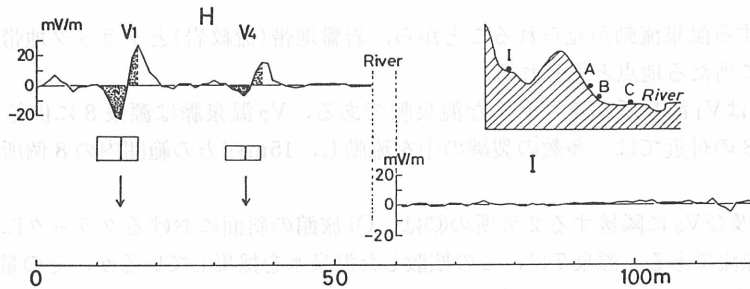


Fig.10 Electric potential curve of SP ( $E_3$ ) at H and I line  
 V1: Principal hot water vein The rest of symbol are the same as Fig.8 and Fig.9. The section of A, B, C and I survey line shows on the right side.

### 5. 温泉流動経路

自然電位測定(SP探査)による、以上の解析結果から得られた元湯温泉における温泉流動経路をFig.11にまとめて示した。温泉脈の幅は、電位曲線に見られた相対的な電位変化の大きさと幅(長方形)を考慮して図は作成された。

(1) 主要な温泉脈は、温泉地の背後の丘陵の尾根に沿って流動するV1である。V1脈は下流において、その脈の北側の温泉脈V4からの補給も受けているものと思われる。このV1温泉脈が、丘陵の麓に掘削された元湯における湧出量の多い源泉2, 3, 5(いずれも深度25~60mにて自噴)に供給している。それらの源泉は炭酸ガスを多く含み、源泉3, 5は間欠泉(4は嘗ては間欠泉)となっているが、炭酸ガスの供給経路(ガス噴出深度は25m)は分からない、V1温泉脈は、それらの源泉に供給後は、赤川の川床へ流動しているものと思われる。

源泉6は岩盤からの裂隙泉となっているが、この地点より南側の山の斜面は、多数のクラッ

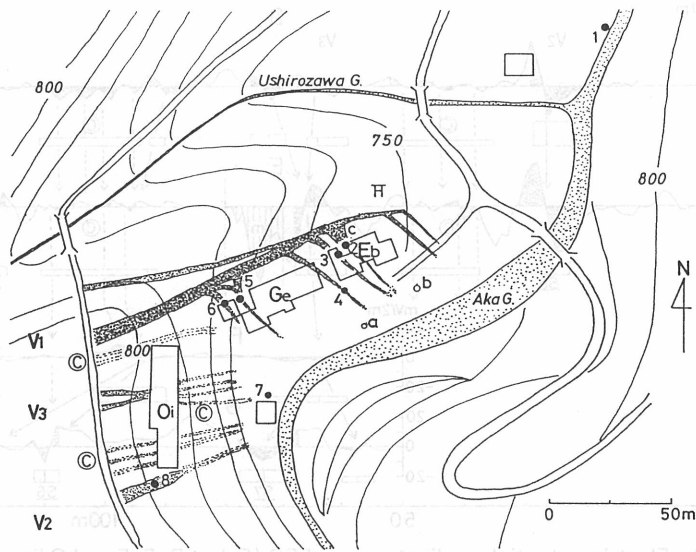


Fig. 11 Passages of flow of hot water at Motoyu Spa

V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub> and V<sub>4</sub>: Principal hot water vein respectively

⊙: Flow of hot spring through fissure zone Eb, Ge and Oi: Hotel

1~8: Source of hot spring a, b and c: Natural radioactivity anomaly

クを通路とする温泉流動が見られることから、岩盤地帯(流紋岩)とクラック地帯(緑色凝灰岩)との境界<sup>4)</sup>に当たる地点と思われる。

- (2) V<sub>2</sub>温泉脈はV<sub>1</sub>温泉脈に次ぐ有力な温泉脈である。V<sub>2</sub>温泉脈は源泉8に供給している。しかし、源泉8の付近では、多数の裂罅の中を流動し、15m四方の範囲内の8箇所から温泉が湧出している。
- (3) V<sub>3</sub>温泉脈及びV<sub>3</sub>に隣接する2カ所の⊙は、Oi旅館の斜面におけるクラックによる拡散した温泉流動の源流である。源泉7は、この拡散した温泉水を採集しているが、その量は多くない。この斜面の下の河川敷では、どこを掘っても3m深度で40℃以上の温泉水の滲出を見ることができる。
- (4) 源泉9 (Fig. 2参照)は、かつて試掘が行われたが温泉の湧出は見られず、ガスの噴出のみに終わっている。その付近の沢には、数箇所熱変質した白色粘土の露頭がみられ、中には硫黄泉をみるが、沢水の温度以上の湧出水は見られない。
- (5) 源泉1については、今のところFig. 11の温泉流動脈の延長とは考え難い。もし、後沢川の左岸の山体に、その源流をもつものと考えれば、別の探査の必要があり興味深い。
- (6) なお、 $\gamma$ 線自然放射能測定を、シンチレーション・サーベイ・メータ(TCS-131, アロカ製)で、SP測定と同一のA~I測線の測定点に於いて、増富温泉と同一の方法<sup>6)</sup>のメータ直読方式によって実施してみたが、顕著な変化地点は見られなかった。C, B測線(Fig. 2参照)においてのみ、バックグラウンドの2倍以上の地点が3カ所あった。それはFig. 11に示したEb旅館付近のa (3.5倍), b (5.2倍), c (2.8倍)の地点である。b地点は温泉排水の暗渠と一致している。a, c地点は、主要な割れ目<sup>5)</sup>の線上に当たるとすると、他の地点よりハイレベルの放射線強度の出現が理解できる。



6. 間欠泉の噴出、停止に伴う電位変化から温泉流動経路の検出

元湯には現在炭酸ガスによる二つの間欠泉No.3, No.5があり, No.3間欠泉(Eb 旅館)は10分ごとに噴出, No.4間欠泉(Ge 旅館)は40分ごとに噴出している. それらへ供給されている温泉脈は判明している (Fig.11)が, それらの間欠泉の周りで, 停止, 噴出の時間帯にSP測定を行い, 定常流れの温泉脈から, 噴出による急激な流れの変化に対応する流動電位<sup>8)</sup>を観測し, 間欠泉への温泉流動経路の細部を検出してみた.

間欠泉No.3における観測結果をFig.12に示した. 温泉脈中の間欠泉より8mの上流の測線における噴出中における電位勾配曲線 $E_3$ を $E_3^e$ とし, 停止中における電位勾配曲線 $E_3$ を $E_3^p$ として, それらの差の $\Delta$ 曲線( $\Delta = E_3^e - E_3^p$ )にみられる残差(斜線模様の区間)が, 噴出による流動電位の変動個所であり, 間欠泉への温泉流動経路の細部を示していると考えられる.

Fig.13は, 温泉脈中の間欠泉No.5の周りの2測線 (No.1, No.2)における同様な結果である. 間欠泉の噴出, 停止による電位勾配曲線(上述と同様にそれぞれ $E_3^e, E_3^p$ とする)のそれぞれ

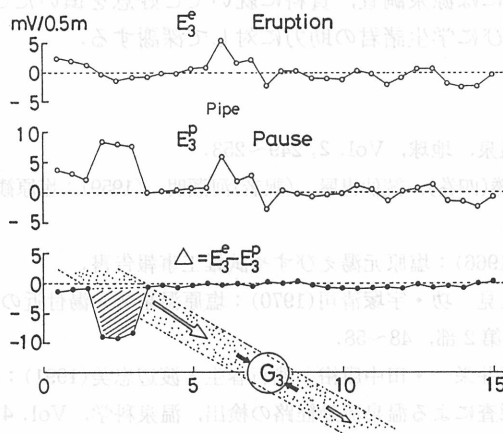


Fig. 12 Streaming potential caused by eruption of  $G_3$  geyser

Shaded portion: Hot water flow to geyser Arrow: Direction of flow to geyser Pipe: Corrosion potential of pipe  $E_3^e$ :  $E_3$  at Eruption stage  $E_3$ :  $E_3^p$  at Pause stage Streaming potential  $\Delta$ :  $\Delta = E_3^e - E_3^p$

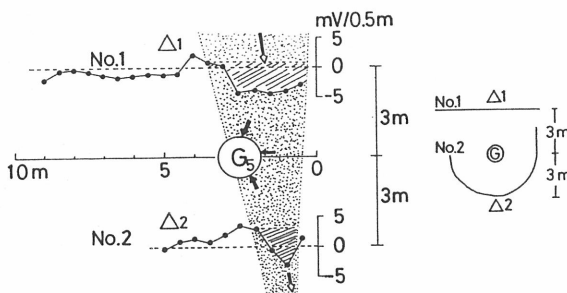


Fig. 13 Streaming potential caused by eruption of  $G_5$  geyser

Shaded portion: Hot water flow to geyser Arrow: Direction of flow to geyser Streaming potential  $\Delta_1$ :  $\Delta_1 = E_3^e - E_3^p$  Streaming potential  $\Delta_2$ :  $\Delta_2 = E_3^e - E_3^p$   $E_3$ :  $E_3^e$  at Eruption stage  $E_3$ :  $E_3^p$  at Pause stage

の測線における差を  $\Delta_1 (= E_3^e - E_3^p)$ ,  $\Delta_2 (= E_3^e - E_3^p)$  曲線で示してある。斜線模様の区間が、噴出に伴う流動電位の変動個所であり、間欠泉への温泉流動経路の細部を示しているものと考えることができる。

こうした方法は、間欠泉のみならず、揚水試験<sup>9)</sup>における揚水、停止、あるいは湧水における人工的な堰き止め、解放の試験などに適用すれば、それらの地下水流動経路の細部の検出に有効であろう。

### 7. あとがき

元湯温泉地帯の温泉脈の検出に、SP測定はかなり有効であることが判明した。温泉脈の規模の改良された判定方法も得られた。しかし、温泉脈の深度、泉温の高低の判定方法の確立は将来の問題とした。

元湯温泉のゑびすや旅館、元泉館、大出館には、温泉調査に多大なご協力を頂いた。特に、ゑびすや旅館主の佐藤 昇氏には源泉調査、資料に就いてご好意を頂いたことを感謝する。また、武藤理科の武藤竹男氏ならびに学生諸君の助力に対して深謝する。

### 文 献

- 1) 佐藤 生(1924)：塩原温泉，地球，Vol. 2, 249~253.
- 2) 奥 蘭田(1879)：塩溪紀勝(四卷)，読仙書屋。(訳者)河瀬明一(1959)：塩原観光協会，40~41, 36~37.
- 3) 理科年表(1990)：地207.
- 4) 栃木地質工業有限公司(1966)：塩原元湯ゑびすや試錐工事報告書.
- 5) 鈴木陽雄・月江寛智・人見 功・宇塚清司(1970)：塩原温泉郷元湯付近の地質と温泉，宇都宮大学教育学部紀要，No. 20, 第2部，48~58.
- 6) 伊藤芳朗・柴田 東・石井栄一・田中康裕・武石春生・渡辺忠美(1991)：山梨県増富温泉の自然電位法並びに自然放射能探査による温泉流動経路の検出，温泉科学，Vol. 41, 126~141.
- 7) 伊藤芳朗・柴田 東・桐原啓真・武石春生(1988)：塩原元湯間欠泡沸泉，日本温泉科学会研究発表予稿集.
- 8) 伊藤芳朗・斎藤輝夫・南雲政博(1978)：銭川間欠泉に伴う流動電位(I)，地熱，Vol. 15, 19~27.
- 9) 石井栄一・伊藤芳朗・南雲政博・柴田 東・市川 浩・斎藤輝夫(1991)：揚水に伴う流動電位，地下水学会研究発表予稿集.

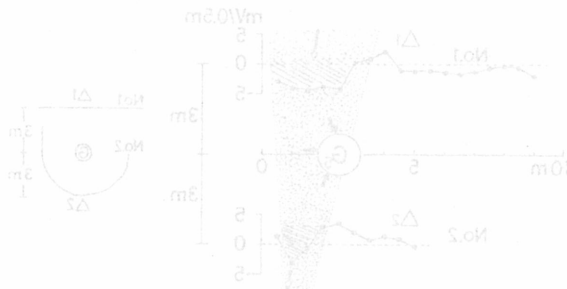


Fig. 13 Streaming potential caused by eruption of Geyser. Shaded portion: Hot water flow to geyser. Arrow: Direction of flow to geyser. Streaming potential  $\Delta_1 = E_2^e - E_2^p$ ,  $\Delta_2 = E_3^e - E_3^p$ .  $E_1^e$ ,  $E_2^e$  at eruption stage.  $E_1^p$ ,  $E_2^p$  at Pause stage.