

# 裂罅泉について

和田 昭 夫

## Abstract

The authour investigated the model of Hot spring in rock fissures. By the observation of appreciable rock fissures, the rock fissures of different size is named, I order, 2 order 3 order etc. 2 order is developed from I order and smaller than it. 3 order to 2 order is the same. etc. At each cases Analogy exist. For example, the ratio of each in width is nearly same.

The supposition may be possible that Analogy exist in rock fissures which contains Hot spring, especially length and temperature difference between two end of fissure.

From that, the authour proved that the temperature equation of Hot spring in rock fissures is  $\Delta v_F = 0$ .

If rock is heat source of Hot spring, the equation is  $\Delta v_h = c$ .

In soil, heat flows by conduction and flow of Hot spring.

The authour defines the thermal potential  $\Psi$  by  $q = \text{grad } \Psi$

The type of the thermal potential of Hot spring may be suggested.

The pattern of existence of Hot spring may be calculated by analogue computer by the use of 1m or 10 cm depths soil temperature.

The bohring of Hot spring is one type of artificial rock fissure and same discussion is possible.

## 序 言

裂罅泉の1つとして定山溪温泉が知られている。川底の岩石（石英班岩）の割れ目から温泉が流出し温泉としての使用は、1つの川底のボーリング以外はそれによっている<sup>1)</sup>。温泉が存在する状態は、川岸に露出している岩石の割れ目から推定することが可能である。露岩の割れ目を観察すると、最も大きい割れ目とそれより小さい割れ目、それと、更にそれより小さい割れ目、…の間に相似関係が大体成立する。そこで割れ目及び温泉流動に関する Analogy を仮定し、岩石の割れ目中の温泉の温度に関する方程式を得た。ボーリングについては、それを、人為的な岩石中の割れ目と考えてよく同様の議論が成立する。

## I. 雪下の、温泉熱源による地温について

既に筆者は、植生のある場所、温泉が地下に存在する場所の、雪下の地表温度が0°Cに保たれていることにより、地温例えば10cm深地温の精密測定により温泉の存在及び存在形式を求めることの可能性について発表しているが<sup>2)</sup>、更にこの問題を数学的見地から議論してみる。

この場合の地温を求める方程式は次の通りである。

$$\begin{array}{ll}
 \text{in air,} & v = v_a \\
 x = 0, & v = v_s \quad t_1 < T < t_2, V_s = 0 \\
 x = x_1 & v = v_1 \quad \dots\dots\dots\textcircled{1} \\
 0 \leq x < D & \Delta v = 0 \\
 x = D & v = T_o
 \end{array}$$

但し、 $t_1 < T < t_2$ は積雪期間、 $x_1$ :測定深、 $v_1$ :測定温度、 $D$ :温泉源の深さ(熱源の深さ)  $T_o$ :温泉(熱源)の温度、 $v_s$ :地表温度、境界条件の合成分解は熱伝導の方程式に於て可能であり、解は各々の境界条件に於る解を合成したものであることが既に証明されている<sup>3)</sup>。故に①式を matrix 表示したとき、その加法、減法演算に於て matrix 演算形式を満足する。

①式に対する matrix を次の様に定める。

$$\begin{pmatrix} v_a \\ v_s \\ v_1 \\ T_o \end{pmatrix} \dots\dots\dots ②$$

②に対して次の matrix 算法が成立する。

$$\begin{pmatrix} v_a \\ v_s \\ v_1 \\ T_o \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_a \\ v_s \\ v_1' \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ v_1'' \\ T_o \end{pmatrix} \dots\dots\dots ③$$

$v_a, v_s$ は1年を周期とする周期函数である。その変化分は fourier 級数により次の様に表すことができる。

$$T_s = a_0 + (a_1 \cos \omega t + b_1 \sin \omega t) + (a_2 \cos 2\omega t + b_2 \sin 2\omega t) + \dots\dots\dots$$

但し,  $\frac{2\pi}{\omega} = 1 \text{ year}$ ,

この fourier 級数は,  $\pi, -\pi$ に関して偶函数であることを考慮しそして時刻の原点を実際に応じて定めれば,  $T_s = A_0 + A_1 \cos(\omega t - \epsilon_1) + A_2 \cos(2\omega t - \epsilon_2) + \dots\dots\dots$ となる。解 $v$ は次式で表わされる<sup>3)</sup>

$$v = A_0 + A_1 e^{-\sqrt{\left(\frac{\omega}{2\kappa}\right)x}} \cos\left(\omega t - N\left(\frac{\omega}{2\kappa}\right)x - \epsilon_1\right) + A_2 e^{-\sqrt{\left(\frac{2\omega}{2\kappa}\right)x}} \cos\left(2\omega t - N\left(\frac{2\omega}{2\kappa}\right)x - \epsilon_2\right) + \dots\dots\dots ④$$

それによると, 後の項程振巾が小さくなり, 位相のずれは大きくなる。振巾が次第に小さくなることを考慮し, 近似式として $n$ 項迄考えると, 位相のずれの最大値は第 $n$ 項に於るものである。故に測定点の深さが小さく, 例えば10cmで積雪後かなりの期間, 例えば1ヶ月経過した場合, ③式の右辺の第一項に於る $v_1'$ は $x=D$ に於て $v=0$ なので $0^\circ\text{C}$ となる。ところが左辺の第2項に於る $v_1''$ は気温 $v_a$ が一定温度 $0^\circ\text{C}$ に保たれている場合であり, 気温の影響がなく熱源, 即ち温泉によるものだけの温度になる。故に地表が $0^\circ\text{C}$ に保たれ地下に温泉(熱源)が存在する定帯問題に帰着できる。

積雪がない場合, みかけの冷却の式 $\frac{\partial V}{\partial x} = \textcircled{H}(v - v_a)^{4.5.6.2}$ に於ては,  $\textcircled{H}$ の値を決定しなければならない。この $\textcircled{H}$ の特に場所に於るばらつきに, 地温の測定精度が支配さ

れる。故に温泉存在形式を推定する場合、その精度は、雪下に於る方法よりも低いだろう。

定山溪温泉の川岸の1箇所（月見橋から1 km位上流）で、雪下の10cm深地温を2点測定し温泉の存在形式を推定する試みを行った。+0.4℃と+0.2℃を得、これを $\Delta v=0$ を満足する抵抗網で予め作成したモノグラフと対比し、川底に温泉流路となる総体的に見て垂直の割れ目を推定した。これは1つの試行である。

特に温泉の存在しない普通の土地について議論するならば、雪下の比較的浅い2つの異なる深度に於る地温測定より、太陽の影響のない地球のみによる熱流、即ち地殻熱流が求められる可能性があることが予想される。

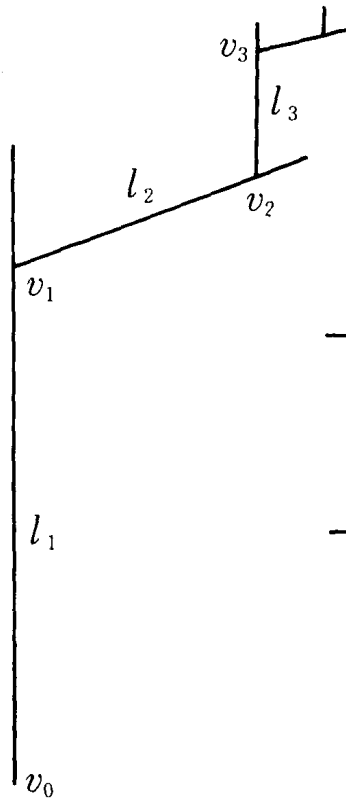
## II. 裂罅泉に於る岩石の割れ目中の温泉の流動

定山溪温泉は裂罅泉である。温泉が岩石の割れ目中をいかに流動し、温度がいかなる方程式で記述されるかについて考察した。

岩石の割れ目直に存在する温泉は、河岸に露出する岩石特にその割れ目の観察によって推定される。

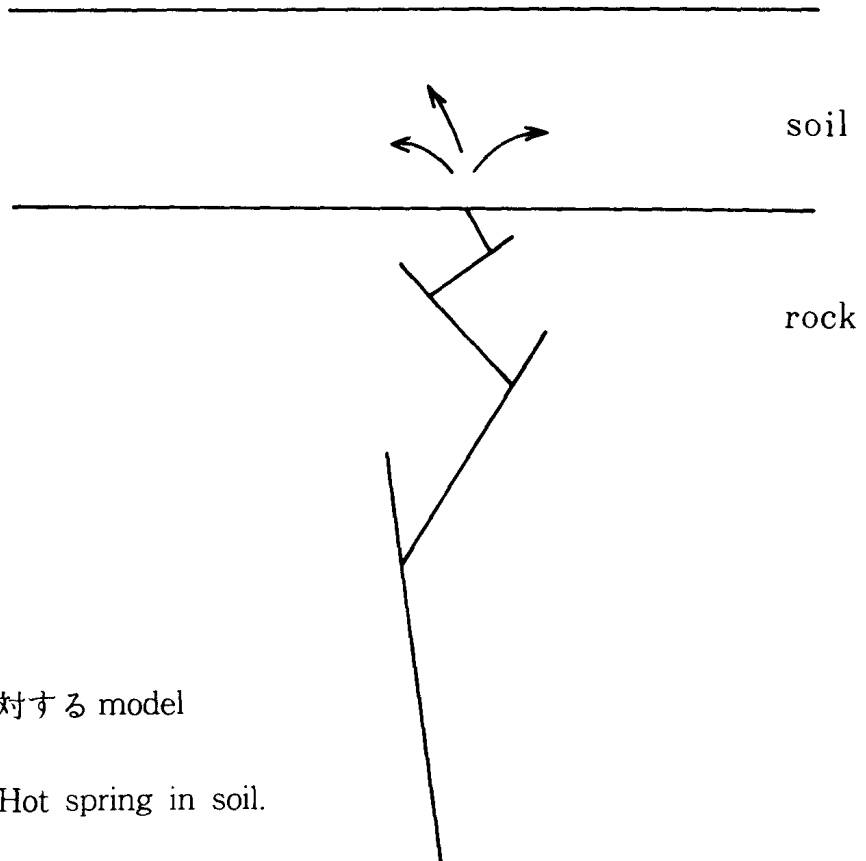
月見橋附近の露岸の観察より次の考察を行った。岩石の割れ目は一見 at random であるがよく観察すると、先づある比較的広い巾を持った大きな割れ目があり、これを第1次の割れ目とよぶことにする。それからより小さい巾を持った割れ目が派生し、これを第2次の割れ目とよぶことにする。第2次の割れ目から更に小さい巾の割れ目が派生しこれを第3次の割れ目とよぶ。同様に第4次、第5次…の割れ目が存在する。そこで割れ目の巾と長さに注目すると、観察した対象に於ては、第2次は第1次に対して大体 $\frac{1}{2}$ の巾と $\frac{1}{2}$ の長さを持ち、第3次と第2次、第4次と第3次……に於てもほぼ同様である。即ち長さ $l$ と巾 $w$ に関し、 $n$ 次と $n-1$ 次の比はほぼ等しい。この様な割れ目の長さ $l$ と巾 $w$ に関する相似則から次の仮定を置く。「第1次と第2次の割れ目、第2次と第3次、…第 $n-1$ 次と第 $n$ 次…に対して特に長さ $l$ と割れ目の両端に於る温度差に於て **ANALOGY** が成立する。」割れ目に対する模式図を、第1図に示す。

図の様な模式を仮定し、岩石中の温泉が露岩の割れ目と同様な割れ目に存在する



第1図 裂隙泉に於ける岩石の割れ目に対する Model

Fig. 1 Model of rock fissures in which Hot spring exists.



第2図 層状泉に対する model

Fig. 2 Model of Hot spring in soil.

と推定しそれに対しても同じ模式, 第2図を考えれば analogy 式として次式を得る。図の様に第  $n$  次の割れ目の両端に於る温泉の温度を  $v_n, v_{n-1}$ , 割れ目の長さを  $l_n$  とすれば,

$$\frac{v_1 - v_0}{l_1} = \frac{v_2 - v_1}{l_2} = \frac{v_3 - v_2}{l_3} = \dots = \frac{v_n - v_{n-1}}{l_n} = c \quad \dots\dots\dots ⑤$$

⑤式より, 次式を推定する。grad  $v_n = c \dots ⑥$  ⑥式より

div grad  $v_F = \Delta v_F = 0 \dots ⑦$ を得る。但し  $v_F$ : 岩石の割れ目中の温泉の温度, 但し, 上述の議論に於て温度に関する定常状態を仮定した。

周囲の岩石に於て  $v_R$  を岩石の温度とすると,  $\Delta v_R = 0$  が定常状態に於て成立することを考慮すると, 温泉水を含んだ岩石に於て総体的に  $\Delta v = 0 \dots ⑧$  が成立する。

### III. 層状泉について

層状泉については第2図に示すように今迄論じた温泉の存在する岩層の上に、やはり温泉の存在する土層が存在する model を考えることができる。

土中に於て温泉水は Darcy の法則に従って流動する。故に温泉流動による熱流  $q_{s1}$  に対して、次式が成立する。 $q_{s1} = K'_{s1} v_s \text{grad } \phi_s \cdots \textcircled{9}$  但し、 $K'_{s1}$ : 透水係数  $\phi_s$ : 水圧・温泉水は熱伝導によっても周囲に熱を与える。この場合、土の温度と、温泉の温度は等しい、この熱流を  $q_{s2}$  とすると次式が成立する。 $q_{s2} = K_{s2} \text{grad } v_s \cdots \textcircled{10}$  但し、 $K_{s2}$ : 温泉水を含んだ土の熱拡散係数、 $v_s$ : 土中の温泉(土)の温度、 $\textcircled{9}$ 式と $\textcircled{10}$ 式より、 $q_s$  を温泉による熱流とすると、次式が成立する。

$$q_s = q_{s1} + q_{s2} = K'_{s1} \text{grad}(\phi_s v_s + c v_s) \cdots \textcircled{11} \text{ 但し、 } c = \frac{K_{s2}}{K'_{s1}}$$

「 $q = \text{grad } \Psi$  で熱 potential  $\Psi$  を定義することにする。」

そうすると、 $\textcircled{11}$ 式より土中の温泉の熱 potential を  $\Psi_s$  とすると、 $\Psi_s = K_{s1} \phi_{s1} v_s + K_{s2} v_s$   $q_s = \text{grad } \Psi_s$ ,  $\text{div } q_s = 0$  であるから前の式と組合せて、 $\Delta \Psi_s = 0$  を得る。ここで  $K_{s1}, K_{s2}$  は一定とみる。

岩石の割れ目中の温泉に関しても同様に、熱 potential  $\Psi_F$  を考える。 $q_F$  を温泉による熱流とすると、 $q_F = \text{grad } \Psi_F \cdots \textcircled{12}'$   $\text{div } q_F = 0 \quad \therefore \Delta \Psi_F = 0 \cdots \textcircled{13}$   $\Psi_F$  に関して;  $q_F = c_F v_F \omega$  但し、 $c_F$  温泉水の比熱、 $\omega$ : 温泉水の流速、 $v_F$ : 温泉の温度  $\omega$  に関しては Darcy の法則が成立するので、 $\omega = K'_F \text{grad } \phi_F$  但し、 $K'_F$ : 透水係数  $\phi_F$ : 温泉の水圧、故に、 $q_F = c'_F v_F \text{grad } \phi_F \cdots \textcircled{12}''$  但し、 $c'_F = c_F K'_F$   $\textcircled{12}' = \textcircled{12}''$  より、 $c'_F v_F \text{grad } \phi_F = \text{grad } \Psi_F \cdots \textcircled{14}$   $v_F$  及び  $\phi_F$  は小さい割れ目程小さい。第II章に於て述べた analogy の仮定より、第  $n$  次の割れ目の  $v_F$  及び  $\phi_F$  を  $v_{Fn}$ ,  $\phi_{Fn}$  と記すと、

$$\frac{v_{Fn}}{v_{Fn-1}} = j \quad \frac{\phi_{Fn}}{\phi_{Fn-1}} = k$$

$$\therefore \frac{v_{Fn} \cdot \phi_{Fn}}{v_{Fn-1} \cdot \phi_{Fn-1}} = j \times k = p$$

$$\therefore v_{Fn} \cdot \phi_{Fn} = p^{n-1} \cdot v_{F1} \cdot \phi_{F1}$$

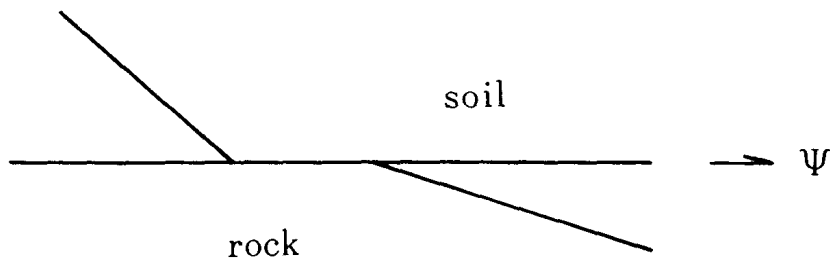
⑭式と組合せると、 $\Psi_{Fn} = p^{n-1} \cdot v_{F1} \cdot \phi_{F1} \dots$  ⑭ 第1次の割れ目とは、適当に選んだある比較的大きな割れ目であり、故に第n次の割れ目のnの値は、相対的な値である。⑭式より $\Psi_{Fn}$ は第1次の割れ目に於る特に温泉の温度及び水圧によって決定される。 $p^{n-2}$ は場所を限定し、nの値を定めれば、場所に固有な値である。

実際には、地表からnの値を適当に定め、それから、 $n-1, n-2, \dots$ 1次に於る問題を議論することになる。

$x=0$ を地表とし、 $x$ 軸の+の方向を下方にとることにする。

以上より温泉に関する次の方程式を得る。

$$\left\{ \begin{array}{l} x=0, \quad \frac{\partial V}{\partial x} = \textcircled{H}(v-v_a) \\ \text{in soil, } \Delta \Psi_s = 0, \quad q_s = \text{grad } \Psi_s, \quad v = v_s \\ \text{at boundary, } v_s = v_F, \quad \Psi_s \neq \Psi_F \\ \text{in rock, } \Delta \Psi_F = 0, \quad q_F = \text{grad } \Psi_F, \quad \Delta v_F = 0 \end{array} \right. \dots\dots\dots \textcircled{15}$$



第3図 土層及び岩層中の熱 potential の分布形式に対する推定

Fig. 3 Suggestion of type of thermal potential distributinoof Hot spring in soil and rock.

⑮式から温泉の熱 potential の分布の model を第3図の特に推定することができる。

熱 potential は、土層と岩層の境に於て、不連続である。但し温泉の深さに対して温泉の水平方向の広がりが十分、大である場合がかなり一般的であることを考慮し

1次元問題を考えた。

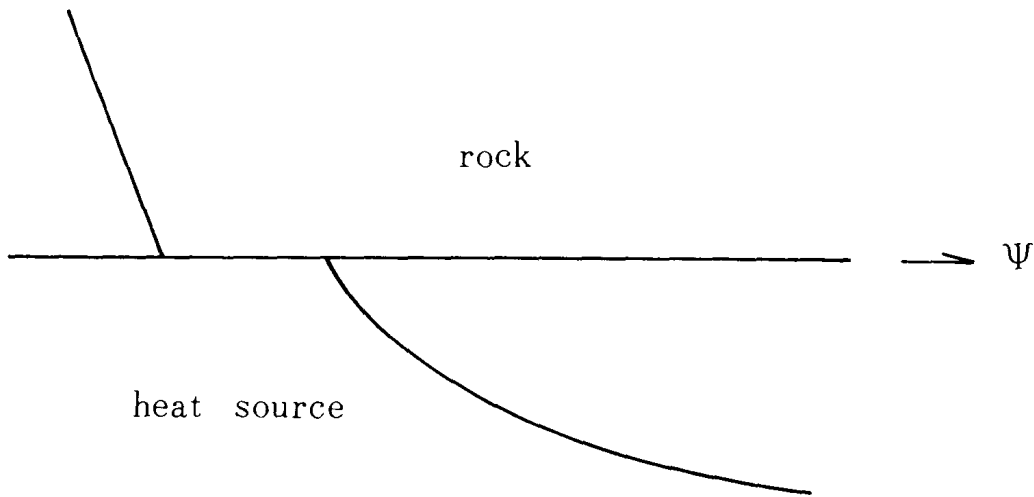
$$\Delta \Psi_F = \frac{\partial^2 \Psi_F}{\partial x^2} = 0, \quad \therefore \Psi_F = cx + d, \quad \Psi_s \text{についても同様である。}$$





$$\Delta \Psi_h = d \text{ より } \quad \frac{\partial \Psi_h}{\partial x} = c_2 x + u_2 \quad \Psi_h = \frac{1}{2} c_2 x^2 + u_2 x + d_2 \quad \dots\dots\dots \textcircled{23}$$

これ等の解より、第4図に示すような熱 potential に関する概略的な model を推定することができる。熱 potential は熱源の表面に於て不連続であり  $\Psi_R = \frac{\partial \Psi_h}{\partial x}$  即ち非熱源の側の熱 potential は熱源側の熱 potential の1次微分である。



第4図 岩層及び熱源に於ける熱 potential 分布形式に対する推定

Fig. 4 Suggestion of type of thermal potential distributoion of Hot spring in rock and heat source.

以上の議論に於ては、熱源の表面を数式的に明確に規定したか、実際は、それがどの程度の近似性を持っているか、が問題である。又  $\text{div } q_h = c$  の  $c$  は constant ではなく、又熱源の形状を類推すれば一次元問題ではない場合が考えられるが、温泉としての平面的広がり、即ち地表から見た温泉の地域的広がり、温泉迄の深さを対比すると、前者の方が後者より十分大きい場合が一般的に存在することから推定して前述の1次元問題及び  $c_h = \text{constant}$  としての議論は、model を考える上に於て、概略的には妥当と思われる。

2次元及び3次元問題は、例えば熱源を球型と仮定し、green 函数を用いて解くことが予想される。 $c_h$  が constant でない場合は、magma と関連した議論が予想される。

⑮式と⑯式を組合せると次の温泉方程式が得られる。

$$\left\{ \begin{array}{l}
 x=0, \frac{\partial V}{\partial x} = \textcircled{H}(v-v_a) \\
 \text{in soil, } \Delta \Psi_s = 0, q_s = \text{grad } \Psi_s, v = v_s \\
 \text{at boundary } v_s = v_F, \Psi_s \neq \Psi_F \\
 \text{in rock, } \Delta \Psi_F = 0, q_F = \text{grad } \Psi_F, \Delta v_F = 0 \quad \dots\dots\dots \textcircled{24} \\
 \text{at boundary } q_{Fn} = \text{div } q_h, \text{grad } \Psi_{Fn} = \Delta \Psi_h \\
 \text{in heat source } \Delta \Psi_h = d \quad \text{div } q_h = c_h
 \end{array} \right.$$

V. crust と mantle に関して

crust と mantle の境界に於て、温泉熱源の表面に対して行ったのと同様の議論を試みしてみる。

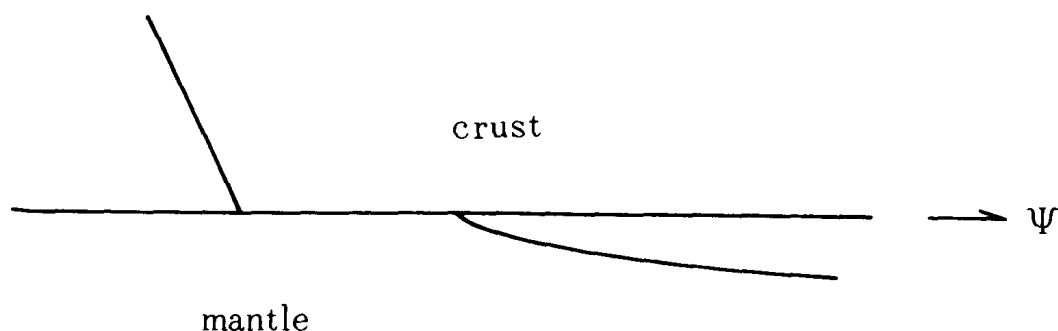
crust に於ては、岩石の含む放射性物質による発熱がある。一方熱伝達は岩石を通しての熱伝導によってなされる。crust に於る熱流を  $q_c$ 、温度を  $v_c$  とする。次式が成立する。 $q_c = K \text{grad } v_c \dots$ ここでIII章で定義した熱 potential  $\Psi_c$  については、 $K$  を一定とみなせば、 $\Psi_c = K v_c \dots$ ②5' 定常状態を考えれば  $\Delta v_c = 0 \dots$ ②5  $\Delta \Psi_c = 0 \dots$ ②6

mantle に於ては  $\text{div } q_m = c_m \dots$ ②7 が成立すると考えられ、前述した熱 potential  $\Psi_m$  を定義すれば、 $q_m = \text{grad } \Psi_m \dots$ ②8  $\therefore \Delta \Psi_m = c_m \dots$ ②9 mantle と crust の境界に於て、第IV章と同様の方法で Gauss の法則を適用すれば、mantle に於る熱流を  $q_m$ 、crust に於ける熱流の境界に垂直な成分を  $q_{cm}$  とすれば、次式が成立する。

$q_{cm} = \text{div } q_m \dots$ ③0 crust に於る熱流は境界に垂直な成分のみを考えればよい。以上より crust 及び mantle に関する次の方程式が導かれる。

$$\begin{array}{l}
 \text{in crust, } \Delta v_c = 0, \Delta \Psi_c = 0, \\
 q_c = K_c \text{grad } v_c, q_c = \text{grad } \Psi_c \\
 \text{at boundary } q_{cn} = \text{div } q_m \quad \dots\dots\dots \textcircled{31} \\
 \text{in mantle, } \text{div } q_m = c_m, q_m = \text{grad } \Psi_m \\
 \Delta \Psi_m = c_m
 \end{array}$$

crust,mantle の問題に関しては近似的に 1次元問題を考えることができる。mantle 内に於る  $c_m$  を一定と仮定すれば、第5図に示すような熱 potential の分布に



第5図 crust と mantle に於ける熱 potential の分布形式に対する推定

Fig. 5 Suggestion of thermal potential distribution pattern in crust and mantle.

関する model を推定することができる。

③⑩式より  $q_{cn} = \frac{\partial q_m}{\partial x} \dots \text{③⑩}'$  であり,  $q_{cn}$  は  $q_m$  の 1 次微分となり, 熱 potential は境界に於て不連続となる。②⑨式より,  $\Psi_m = \frac{1}{2} C_m x^2 + u_m x + z_m$ ,

crust と mantle に関する方程式③⑪は, 温泉に於て熱源 (岩石) と岩石 (非熱源) に関する方程式②⑩と同型である。

mantle に関する熱 potential  $\Psi_m$  については, ③⑪式と, ②⑩式との analogy から, 次の推定を下すことができるかもしれない。 $\Psi_m$  は mantle の流動に関する要素及び温度に関する要素, その他に関係するだろう。mantle の流動に関しては, 例えば, W. R. Jacoby & G. Ranalli によって, rheology model で扱われている<sup>7)</sup>。

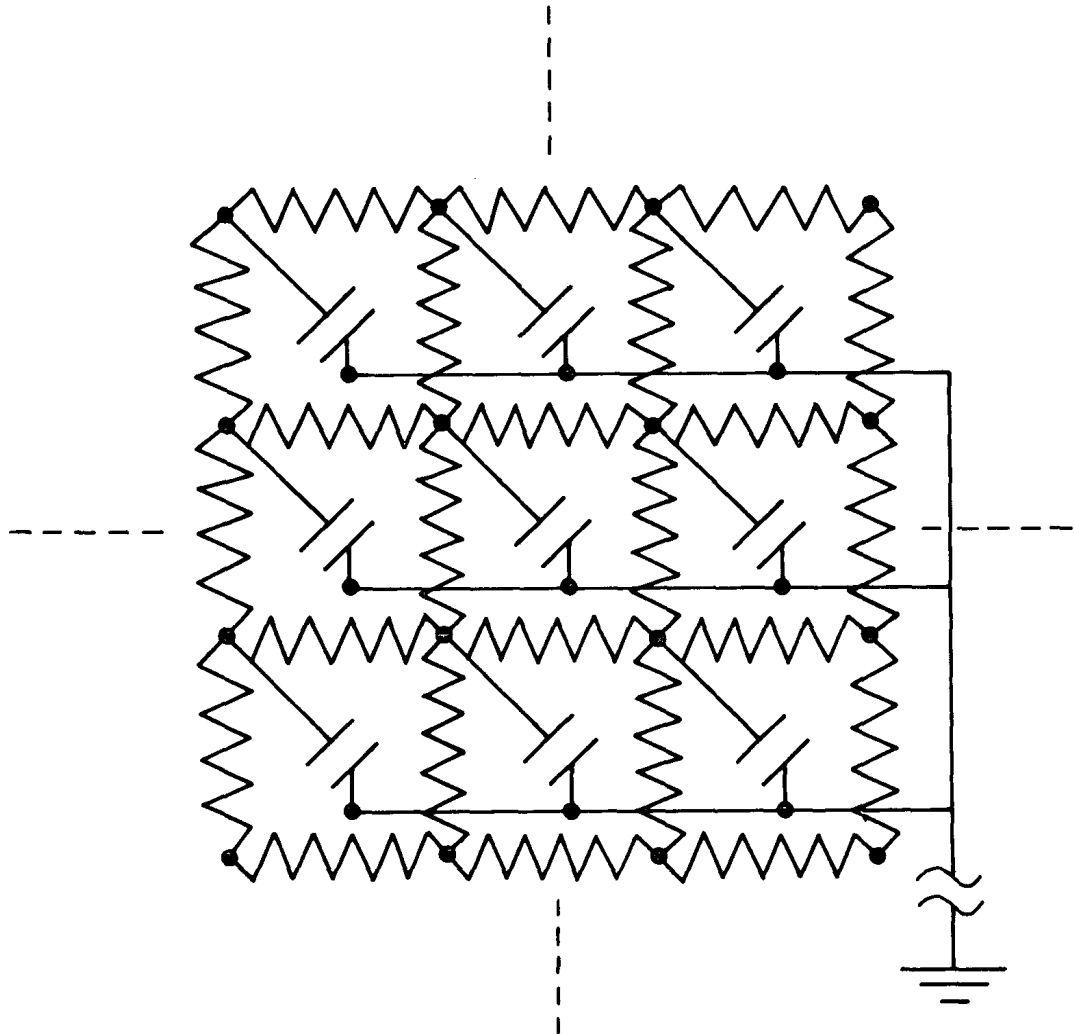
## VI. 温泉の存在形式の測定値からの推定の方法

測定値は 1 m 深地温或いは雪下の 10cm 深地温である。それによって温泉の存在形式を推定する方法の 1 つとして, analogue computer を用いて, 種々の温泉の存在形式と測定地温に関するモノグラフを作成しそれと実際の測定地温を対比させて, 温泉の存在形式を推定する方法が考えられる。

用いられる analogue computer として次のようなものが考えられる。熱源でない岩層中の温泉に対して  $\Delta \Psi_F = 0$  が成立する。抵抗網に於て,  $\Delta v = 0$  が成立する。

故にこの $v$ は $\Psi_F$ に対する, analogy 量となる。

熱源である岩石中の温泉に対しては,  $\Delta \Psi_h = c_h$ が成立し,  $c_h$ を一定と仮定すると, それに対する analogue computer として, 以下の議論より RC net work を考えることができる。これを第6図に示す。

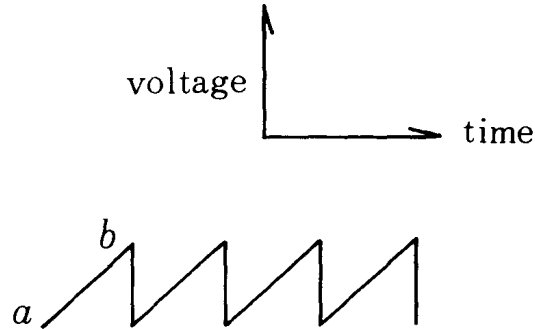


第6図 RC

Fig. 6 network

RC net work に於て,  $\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{1}{RC_c} \Delta v \dots \textcircled{2}$ が成立することは既に知られている。但し,  $c_c$ : コンデンサーの容量 (単位 $v$ 当りの) ここで,  $v = ct$ とすると,  $\textcircled{2}$ 式は $\Delta v = CRc_c = c'$ となり, この $v$ は,  $\Psi_h$ に対する analogy 量となる。この R net work と RC net work の境界に於ては, R net work 側の電圧 $v$ と RC net work 側の電圧 $v'$ は, 前者は時間によって変化せず, 後者は時間によって変化するので異なる。かつ次の関係式を満足する。

$\Delta v = 0$ より  $\text{grad } v = c''$ ,  $\Delta v' = c'$ と組合せると,  $\text{grad } v = c^{(3)}\Delta v'$ 但し,  $c^{(3)} = \frac{c''}{c'}$   
 $\therefore \text{grad } \frac{1}{c^{(3)}}v = \text{grad } c^{(4)}v = \Delta v'$ ③ 但し,  $c^{(4)} = \frac{1}{c^{(3)}}$   $c^{(4)}v$ を熱源でない岩層中の温泉の温度に対する analogy 量とすると③式は, 熱源の表面に於る境界条件を満足する但し境界に対して, ある巾を持った回路網を考える。入力は, ある周期をもったノコギリ波形の pulse 信号を考えることができる。それを第7図に示す。



第7図 analogue computer の入力の pulse 信号

Fig. 7 Pulse signal of input to analogue computer

土中の温泉と岩層中の温泉に対する analogue computer は, 各々の熱 potential  $\Psi_s$ ,  $\Psi_F$ が不連続である為土に対するのと, 岩層に対するのと抵抗値が異なるそれぞれの抵抗網を考える。境界に於て,  $V_s \neq V_t$ である。但し, 境界に対して, ある巾を持った抵抗網を考える。

以上は熱 potential に対する analogue computer であるが, 温度に関しては次の様な抵抗網が考えられる。土中に於るものに対しては, 流動による項と, 熱伝導による項に対して別の抵抗網を構成しそれ等を superpose させる。割れ目即ち岩層中に於るものに対しては, 各割れ目に対する抵抗網を構成しそれ等を連結させる。以上述べた analogue computer による解析は後報に於て論ずるつもりである。

## VII. ボーリング及びボーリング内のケーシングについて

ボーリングは岩石中にあけられた人工的穴である限り, 一種の人工的な岩石の割れ目と考えることができ, 前に述べた岩石の割れ目に対する議論を適用することができる。

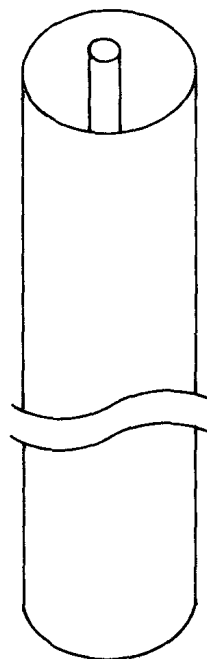
第II章の⑥式より,  $\text{grad } v = c$ , 1次元問題であるので  $v = cx + d$ となる。即ち,

ボーリング内の水温は、熱源の上面の深さ迄ほぼ直線的となる。

### ボーリング内のケーシングについて

地熱発電に於ては利用される媒体は蒸気であり、従って沸とう泉即ち、ボーリング上部に於て沸とう状態のものがその対象となる。仮に、何等かの手段で更に熱量が与えられるようならば、それは蒸気に変化し、更に利用効果が高まる筈である。その方法は熱源から熱流を導くことである。

そこで、熱源として温泉熱源を考え、熱流を導く方法として第8図に示すようなボーリング内にそう入されたケーシングを考えた。



第8図 ケーシング  
Fig. 8 casing

それは図に示す如く金属の円筒中に、その中心に鉄心が存在するものである。このケーシングは、ボーリング内に存在し、その末端はボーリング底より深い熱源に接しているか、入りこんでいるとする。

このケーシングに対して次の方程式が成立する<sup>8)</sup>

1), 水中に於る場合

a), 層流の時

発熱量を単位面積当り $q$ とすると、熱伝導で熱伝達が行なわれるから

$$q = \frac{K}{L}(v - v_a) \cdots \textcircled{1}' \quad \text{但し, } v: \text{ケーシングの温度}$$

$v_a$ : ケーシング壁から $L$ 離れた水温

$K$ : 水の熱伝導率

b), 乱流の時

ケーシング壁に隣接してわずかの層流部分があり、それをこえると、一定温

度  $v_a$  になる。この層流部分について考慮すると、 $q = K \frac{1}{L'} (v - v_a) \dots \textcircled{2}'$

但し、 $L'$ : 層流の中

c), 対流による熱伝達

次式が成立する。 $q = \alpha (v - v_a'') \dots \textcircled{3}'$

但し、 $\alpha$ : 対流伝熱係数

$v_a$ : 水平の平均温度

2), 岩石中に於る時、

$q = \frac{K_R}{L_R} (v - v_R) \dots \textcircled{4}'$

但し、 $v_R$ : 岩石の温度

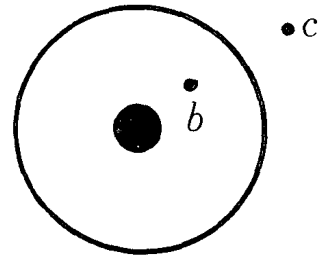
$L_R$ : ケーシング壁からの距離

$K_R$ : 岩石の熱伝導率

以上より、いずれの場合も  $q = H (v - v_j) \dots \textcircled{5}'$  の形の式が成立する。但し、 $v_a$  はケーシング壁からある距離、離れた点の温度である。

ケーシングの断面図を第9図に示す。

外側の円筒と鉄心の間の点  $b$  に於る温度  $v_b$  は、各々に伝わる熱流が総和される為円筒の外側の点  $c$  の温度  $v_c$  よりも高い。故に  $\textcircled{5}'$  式より、鉄心の温度  $v_k$  が高くなる。又逆に  $v_k$  が高くなれば、 $\textcircled{5}'$  式より  $v_b$  が高くなる。この様にして、相乗効果で  $v_k$  及び  $v_b$  が高くなり、結局このケーシングは熱の導管として働きを持つことになる。



第9図 ケーシングの断面

Fig. 9 cross figure of casing.

この導管により導かれた熱流は、利用可能の蒸気に変化する。熱流は熱源から導かれたものである。 $\textcircled{4}'$  式より、 $q = K_R \frac{v - v_R}{L_R}$  でありこれから、 $q = K_R \text{grad } v_R \dots \textcircled{4}''$  が成立する。温度に関する平衡状態を考えれば、熱源は温度が高いことと同時に  $\textcircled{4}''$  より、その温度勾配  $\text{grad } v_R$  が大きいことが必要である。

故に地熱発電に於る熱源は、高温でかつ heat gradient が大きい温泉水を含んだ岩石と考えることができる。

## VIII. 結 語

1. 熱源でない岩石中の割れ目に存在する温泉に関して、analogy 的解析によって温泉の温度を  $v_F$  とすると  $\Delta v_F = 0$  が成立する。但し、温度に関して定常状態とする岩石の温度を  $v_R$  とすると、 $\Delta v_R = 0$  が成立するので、温泉を含んだ岩層に於て、総体的に  $\Delta v = 0$  が成立する。  
 $q = \text{grad } \Psi$  で熱 potential  $\Psi$  を定義すれば、 $\Delta \Psi_F = 0$  が成立する。 $\Psi_F$  は、割れ目の大きさが関係する。
2. 土層中の温泉に対して、 $\Delta \Psi_s = 0$  が成立する。 $\Psi_s$  は温泉の温度及び水圧に関係する量である。
3. 熱源である岩石の割れ目中の温泉に対して、 $\text{div } q_h = c$ ,  $\Delta \Psi_h = d$  が成立する。 $\Psi_h$  は、個々の割れ目によって規定される。
4. 測定値から温泉の存在形式を推定する方法の1つに analogue computer による解析が考えられる。
5. ボーリングは人工的な岩石の割れ目と考えることができ、1つの場合と同様の議論が成立する。かつ1次元問題となる。

## 参考文献

- 1). 福富孝治, 藤木忠美, 須川明, 中尾欣四郎: 定山溪温泉の地球物理学的研究, 北海道衛生部環境衛生課編, 北海道温泉調査報告第15号 (昭和33年)
- 2). 和田昭夫: みかけの冷却の式について及び雪下に於る 1 m 深地温の精密測定による温泉探査の可能性について, 札幌大学教養部紀要第6号 (昭和49年)
- 3). H. S. Carslaw: Introduction to the mathematical theory of the conduction of heat in solid
- 4). 和田昭夫: 1次元RC回路網による地温の解析, 札幌大学教養部紀要第2号, (昭和



裂隙泉について(和田昭夫)

46年)

- 5). 和田昭夫：ニュートンのクーリングの式の検討及び1 m 深地温分布の図式解法と川湯地域への適用，札幌大学教養部紀要第3号，(昭和47年)
- 6). 和田昭夫：地表面からの冷却について，札幌大学教養部紀要第5号（昭和48年）
- 7). W. R. Jacoby & G. Ranalli: Non-Linear Rheology and Return Flow in the Mantle, Journal of Geophysics (zeitschrift fur geophysick), vol. 45 no. 3, (1979)
- 8). 井原敏男：熱工学概況