



Title	3. 各種熱源による1m深の地温分布（その1）：垂直な割れ目に沿って温泉が湧出する場合の1m深の地温分布
Author(s)	須川, 明; SUGAWA, Akira
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 8, 37-49
Issue Date	1961-03-23
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.8.37
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/13830
Type	departmental bulletin paper
File Information	8_p37-49.pdf



3. 各種熱源による 1 m 深の地温分布 (その1)

垂直な割れ目に沿って温泉が湧出する
場合の 1 m 深の地温分布

須 川 明
(北海道大学理学部地球物理学教室)

— 昭和 35 年 10 月受理 —

I. ま え が き

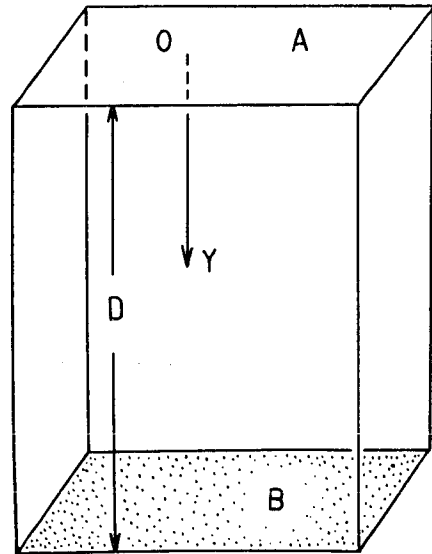
1 m 深の地温分布を調べることは、温泉探査の有力な一方法^{1),2)}であり、特別な熱源による地温分布を計算で求めた例^{3),4)}も二、三ある。筆者も種々な熱源により 1 m 深の地温がいかに分布するかを求めてみたいと思い、その第一階として、任意の深さに水平に無限に広がる熱源(この熱源は温泉を考える)があり、それに垂直な一つの割れ目に沿って温泉が湧出する場合について計算をおこなってみた。

II. 割れ目が存在しない場合の地温分布

本論に入る前に深さ D に水平に T_0 なる温度の熱源(温泉)が無限に広がっている場合の地温分布を求めてみる。今後温度に関しては気温を基準にとつて、0 と定める。

今第 1 図のように原点、 y 軸を各々とり、任意の場所の地温を T_1 とすると、 T_1 は定常状態と考えてよく、又明らかに深さ y のみの函数であるので、次の方程式で表される。

$$\frac{d^2 T_1}{dy^2} = 0 \quad (1)$$



第 1 図 熱 源 (1)

A; 地 表 面 B; 熱 源 (温 泉)

Fig. 1. Heat source (1)

A; ground surface

B; heat source (hot water)

1) 福富孝治: 1 m 深の地中温度より温泉探査の可能性について (第 1 報), 北大地球物理学研究報告 1. (昭和 26 年 12 月).

2) 初田甚一郎: 地温分布による温泉探査, 温泉科学第 6 卷 第 4 号 (昭和 30 年).

3) 岡本元治郎: 温泉上昇が附近地温に及ぼす影響について, 京大地球物理 第 5 卷 第 3 号 (昭和 16 年 12 月).

4) 湯原浩三: 地下 1 m 深の地温分布から地下熱源を理論的に推定する一方法, 物理探鉱 第 8 卷 第 1 号 (昭和 30 年 3 月).

境界条件として、地表面では Newton の冷却が行なわれ、深さ D で地温は T_0 になる。即ち、

$y=0$ で

$$k \frac{dT_1}{dy} = hT_1$$

$$\frac{dT_1}{dy} = \frac{h}{k} T_1 = \lambda T_1 \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{h}{k}$$

$y=D$ で

$$T_1 = T_0 \quad (3)$$

ここに k ; 地層の熱伝導度, h ; Newton の冷却の常数

(1), (2), (3) より

$$T_1 = \frac{T_0}{1 + \lambda D} (\lambda y + 1) \quad (4)$$

となり, T_1 は深さ y の一次式で表される。

III. 基礎方程式, 及び境界条件

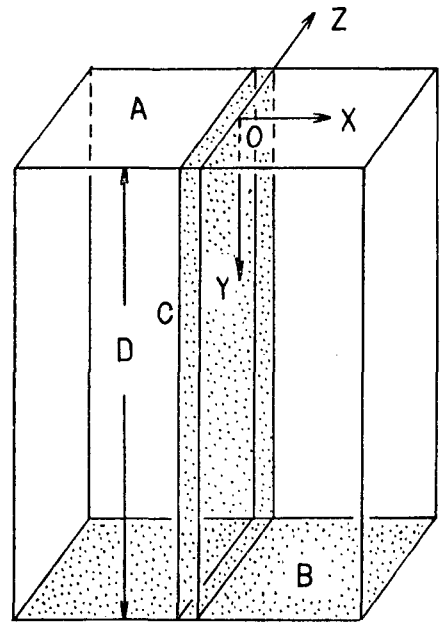
深さ D に水平に無限に拡っている温度 T_0 の熱源 (温泉) から, それに垂直な割れ目に沿って温泉が湧出する場合の 1m 深の地温分布を求めるために, 第 2 図のように原点及び x, y, z 軸をとる。ここで割れ目は z の正, 負の方向に無限にのびているものとする。又割れ目は熱源に垂直に立っていると考えるので, 地温の分布は割れ目に関して左右対称となり, x については正の部分のみを考えればよい。

今任意の場所での地温を T とすると, T は前節同様定常状態と考えて差支えなく, 又明らかに z に無関係であるので, 次の二次元の熱伝導の式で表される。

$$\frac{\partial T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (5)$$

境界条件は,

1. 割れ目より非常に遠方での地温は, 上昇



第 2 図 熱源 (2)

A, B; 第 1 図に同じ C; 割れ目

Fig. 2. Heat source (2)

A, B; equal to Fig. 1 C; fissure

する温泉の影響は受けず、前節の T_1 に等しくなる。

2. 割れ目の壁面での地温は上昇する温泉の温度 θ に等しい。
3. 深さ D で地温は熱源の温度 T_0 になる。
4. 地表面では Newton の冷却が行なわれている。

であり、次のように表される。

$$x = \infty \text{ で } T = T_1 \quad (6)$$

$$x = 0 \text{ で } T = \theta \quad (7)$$

$$y = D \text{ で } T = T_0 \quad (8)$$

$$y = 0 \text{ で } \frac{\partial T}{\partial y} = \lambda T \quad (9)$$

IV. 解 法

(5), (6), (8) より

$$\begin{aligned} T &= \sum_{s=1}^{\infty} A_s e^{-P_s x} \sin P_s(D-y) + T_1 \\ &= \sum_{s=1}^{\infty} A_s e^{-P_s x} \sin P_s(D-y) + \frac{T_0}{\lambda D + 1} (\lambda y + 1) \end{aligned} \quad (10)$$

(10) より

$$T_{y=0} = \sum_{s=1}^{\infty} A_s e^{-P_s x} \sin P_s D + \frac{T_0}{\lambda D + 1} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=0} &= \sum_{s=1}^{\infty} \left\{ -A_s P_s e^{-P_s x} \cos P_s(D-y) + \frac{\lambda T_0}{\lambda D + 1} \right\} \Big|_{y=0} \\ &= - \sum_{s=1}^{\infty} A_s P_s e^{-P_s x} \cos P_s D + \frac{\lambda T_0}{\lambda D + 1} \end{aligned} \quad (12)$$

(9), (11), (12) より

$$- \sum_{s=1}^{\infty} A_s P_s e^{-P_s x} \cos P_s D + \frac{\lambda T_0}{\lambda D + 1} = \lambda \left\{ \sum_{s=1}^{\infty} A_s e^{-P_s x} \sin P_s D + \frac{T_0}{\lambda D + 1} \right\}$$

$$- \sum_{s=1}^{\infty} A_s P_s e^{-P_s x} \cos P_s D = \sum_{s=1}^{\infty} \lambda A_s e^{-P_s x} \sin P_s D$$

$$\sum_{s=1}^{\infty} A_s e^{-P_s x} (P_s \cos P_s D + \lambda \sin P_s D) = 0$$

$$P_s \cos P_s D + \lambda \sin P_s D = 0$$

$$\tan P_s D = - \frac{P_s}{\lambda} = - \frac{P_s D}{\lambda D} \quad (13)$$

$$P_s D = \mu_s \quad (14)$$

とおくと、

$$\tan \mu_s = -\frac{\mu_s}{\lambda D} \quad (15)$$

(15) を満足する μ_s は無数にあり、その一根 μ_s をとると、(14) より

$$\begin{aligned} P_s D &= \mu_s \\ P_s &= \frac{\mu_s}{D} \end{aligned} \quad (16)$$

(16) を (10) に代入すると、

$$T = \sum_{s=1}^{\infty} A_s e^{-\frac{\mu_s}{D} x} \sin \frac{\mu_s}{D} (D-y) + \frac{T_0}{\lambda D + 1} (\lambda y + 1) \quad (17)$$

となる。

次に (7), (17) より

$$\theta = T_{x=0} = \sum_{s=1}^{\infty} A_s \sin \frac{\mu_s}{D} (D-y) + \frac{T_0}{\lambda D + 1} (\lambda y + 1) \quad (18)$$

第3図のように割れ目の方向に単位の長さを持ち、熱源に垂直に立つ角柱を考え、この中を上昇する温泉の温度は同一水平面内では相等しく、ただ深さのみにより変化し、(18) で表されるものとする。又上昇中の温泉の冷却は、側面の岩石への熱伝導のみにより行なわれ、 y 方向の熱伝導は無視すると次の方程式が得られる。

$$-q\rho c \frac{d\theta}{dy} = 2k \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=0} \quad (19)$$

ここで q は角柱内の温泉の湧出量、 ρ, c はそれぞれ温泉の密度、比熱、 k は周囲の岩石の熱伝導度である。

(19) より

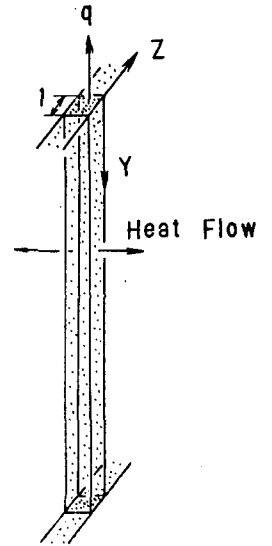
$$\begin{aligned} \frac{d\theta}{dy} &= -\frac{2k}{q\rho c} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=0} \\ &= -K \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=0} \\ K &= \frac{2k}{q\rho c} \end{aligned} \quad (20)$$

(17) より

$$\begin{aligned} \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} &= \left\{ \sum_{s=1}^{\infty} A_s \left(-\frac{\mu_s}{D} \right) e^{-\frac{\mu_s}{D} x} \sin \frac{\mu_s}{D} (D-y) \right\}_{x=0} \\ &= -\sum_{s=1}^{\infty} A_s \frac{\mu_s}{D} \sin \frac{\mu_s}{D} (D-y) \end{aligned} \quad (21)$$

(21) を (20) に代入すると、

$$\frac{d\theta}{dy} = K \sum_{s=1}^{\infty} A_s \frac{\mu_s}{D} \sin \frac{\mu_s}{D} (D-y) \quad (22)$$



第3図 割れ目内にとつた角柱

(縦=1, 横=割れ目の幅, 高さ=D)

Fig. 3. Prism in fissure (length=1, width=width of fissure, height=D)

(22) より

$$\theta = K \sum_{s=1}^{\infty} A_s \cos \frac{\mu_s}{D} (D-y) + C$$

$y=D$ で $\theta = T_0$ 故

$$T_0 = K \sum_{s=1}^{\infty} A_s + C$$

$$C = T_0 - K \sum_{s=1}^{\infty} A_s$$

故に

$$\theta = T_0 - K \sum_{s=1}^{\infty} A_s \left\{ 1 - \cos \frac{\mu_s}{D} (D-y) \right\} \quad (23)$$

(10) の A_s を決定するために次のような操作を繰り返す。(18), (23) は共に θ を求める式故両者は相等しい筈である。そこでまず (23) の $A_s=0$ とおいた θ の値を (18) に代入して、(18) の右辺に含まれる A_s を求め、これを A'_s とする。次に A'_s を (23) の A_s に代入して得る θ の値を、又 (18) に代入して再び (18) の右辺の A_s をきめ、これを A''_s とする。このような操作を無限に繰り返せば、正しい A_s の値に無限に近づく筈である。しかし T の精度がそれ程大きい必要がなければ、前記の操作はあまり繰り返さなくてもよく、それについては後で明らかにする。

以下 A_s の決定について述べる。

最初に (23) の $A_s=0$ とおくと、

$$\theta = T_0 \quad (24)$$

(24) を (18) に代入すると、

$$T_0 = \sum_{s=1}^{\infty} A_s \sin \frac{\mu_s}{D} (D-y) + \frac{T_0}{\lambda D + 1} (\lambda y + 1) \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \sum_{s=1}^{\infty} A_s \sin \frac{\mu_s}{D} (D-y) &= T_0 - \frac{T_0}{\lambda D + 1} (\lambda y + 1) \\ &= -\frac{\lambda T_0}{\lambda D + 1} (D-y) \end{aligned} \quad (26)$$

(26) より A_s を求めると、

$$\begin{aligned} A_s \frac{D}{2} \left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_s^2} \right) &= -D T_0 \frac{\cos \mu_s}{\mu_s} \\ A_s &= \frac{-2 T_0}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_s^2} \right)} \cdot \frac{\cos \mu_s}{\mu_s} \end{aligned} \quad (27)$$

(27) の A_s が A'_s に当る。

(27) を (23) に代入すると、

$$\theta = T_0 + K \sum_{s'=1}^{\infty} \frac{2 T_0}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_{s'}^2} \right)} \cdot \frac{\cos \mu_{s'}}{\mu_{s'}} \left\{ 1 - \cos \frac{\mu_{s'}}{D} (D-y) \right\} \quad (28)$$

(28) を (18) に代入すると,

$$\begin{aligned}
 T_0 + K \sum_{s'=1}^{\infty} \frac{2T_0}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_{s'}^2}\right)} \cdot \frac{\cos \mu_{s'}}{\mu_{s'}} \left\{1 - \cos \frac{\mu_{s'}}{D} (D-y)\right\} \\
 = \sum_{s=1}^{\infty} A_s \sin \frac{\mu_s}{D} (D-y) + \frac{T_0}{\lambda D + 1} (\lambda y + 1) \\
 \sum_{s=1}^{\infty} A_s \sin \frac{\mu_s}{D} (D-y) = \frac{\lambda T_0}{\lambda D + 1} (D-y) \\
 + 2T_0 K \sum_{s'=1}^{\infty} \frac{1}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_{s'}^2}\right)} \cdot \frac{\cos \mu_{s'}}{\mu_{s'}} \left\{1 - \cos \frac{\mu_{s'}}{D} (D-y)\right\} \quad (29)
 \end{aligned}$$

(29) より

$$\begin{aligned}
 A_s \frac{D}{2} \left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_s^2}\right) = -DT_0 \frac{\cos \mu_s}{\mu_s} + 2DT_0 K \sum_{s'=1}^{\infty} \frac{1}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_{s'}^2}\right)} \\
 \times \frac{\cos \mu_{s'}}{\mu_{s'}} \left\{ \frac{1 - \cos \mu_s}{\mu_s} - \frac{\mu_s}{\mu_s^2 - \mu_{s'}^2} \left(1 - \cos \mu_s \cos \mu_{s'} - \frac{\mu_{s'}}{\mu_s} \sin \mu_s \sin \mu_{s'}\right) \right\}
 \end{aligned}$$

従つて

$$\begin{aligned}
 A_s = \frac{-2T_0}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_s^2}\right)} \cdot \frac{\cos \mu_s}{\mu_s} + \frac{4T_0 K}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_s^2}\right)} \sum_{s'=1}^{\infty} \frac{1}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_{s'}^2}\right)} \\
 \times \frac{\cos \mu_{s'}}{\mu_{s'}} \left\{ \frac{1 - \cos \mu_s}{\mu_s} - \frac{\mu_s}{\mu_s^2 - \mu_{s'}^2} \left(1 - \cos \mu_s \cos \mu_{s'} - \frac{\mu_{s'}}{\mu_s} \sin \mu_s \sin \mu_{s'}\right) \right\} \quad (30)
 \end{aligned}$$

(30) の A_s が $A_{s''}$ に当る。

今

$$\sum_{s'=1}^{\infty} \frac{1}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_{s'}^2}\right)} \cdot \frac{\cos \mu_{s'}}{\mu_{s'}} \left\{ \frac{1 - \cos \mu_s}{\mu_s} - \frac{\mu_s}{\mu_s^2 - \mu_{s'}^2} \left(1 - \cos \mu_s \cos \mu_{s'} - \frac{\mu_{s'}}{\mu_s} \sin \mu_s \sin \mu_{s'}\right) \right\} \equiv B_s \quad (31)$$

とおき, (30) を (23) に代入すると,

$$\theta = T_0 - K \sum_{s=1}^{\infty} \left\{ \frac{-2T_0}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_s^2}\right)} \cdot \frac{\cos \mu_s}{\mu_s} + \frac{4T_0 K}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_s^2}\right)} B_s \right\} \cdot \left\{1 - \cos \frac{\mu_s}{D} (D-y)\right\} \quad (32)$$

(32) を再び (18) に代入すると,

$$\begin{aligned} \sum_{s=1}^{\infty} A_s \sin \frac{\mu_s}{D} (D-y) &= \frac{\lambda T_0}{\lambda D + 1} (D-y) \\ &+ K \sum_{s=1}^{\infty} \left\{ \frac{2T_0}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_s^2}\right)} \cdot \frac{\cos \mu_s}{\mu_s} - \frac{4T_0 K}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_s^2}\right)} \cdot B_s \right\} \cdot \left\{ 1 - \cos \frac{\mu_s}{D} (D-y) \right\} \end{aligned} \quad (33)$$

従つて

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{-2T_0}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_s^2}\right)} \cdot \frac{\cos \mu_s}{\mu_s} + \frac{4T_0 K}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_s^2}\right)} \cdot B_s - \frac{8T_0 K^2}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_s^2}\right)} \cdot B_s^2 \\ &= A_s' - \frac{8T_0 K^2}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_s^2}\right)} \cdot B_s^2 \end{aligned} \quad (34)$$

$$A_s - A_s' = -\frac{8T_0 K^2}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_s^2}\right)} \cdot B_s^2 \quad (35)$$

(35)において、分母 > 1 、 $B_s^2 \ll 1$ であるから $T_0 K^2$ が非常に小さい時は、 $A_s \approx A_s'$ とおいて差支えなく、(10)は次のように表される。

$$\begin{aligned} T &= \sum_{s=1}^{\infty} \left\{ \frac{-2T_0}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_s^2}\right)} \cdot \frac{\cos \mu_s}{\mu_s} + \frac{4T_0 K}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_s^2}\right)} \cdot B_s \right\} \\ &\times e^{-\frac{\mu_s}{D} x} \sin \frac{\mu_s}{D} (D-y) + \frac{T_0}{\lambda D + 1} (\lambda y + 1) \end{aligned} \quad (36)$$

ここで B_s は (31) により与えられる。尚 (31) で $s' = s$ のとき $\{ \}$ 内は次のようになる。

$$\frac{1 - \cos \mu_s}{\mu_s} - \frac{1}{4\mu_s} (1 - \cos 2\mu_s)$$

1 m 深の地温 $T_{y=1}$ は、(36) で $y=1$ とおけばよく、

$$\begin{aligned} T_{y=1} &= \sum_{s=1}^{\infty} \left\{ \frac{-2T_0}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_s^2}\right)} \cdot \frac{\cos \mu_s}{\mu_s} + \frac{4T_0 K}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_s^2}\right)} \cdot B_s \right\} \\ &\times e^{-\frac{\mu_s}{D} x} \sin \frac{\mu_s}{D} (D-1) + \frac{T_0}{\lambda D + 1} (\lambda + 1) \end{aligned} \quad (37)$$

1 m 深の地温と熱源の温度との比 $T_{y=1}/T_0$ は

$$\begin{aligned} \frac{T_{y=1}}{T_0} &= \sum_{s=1}^{\infty} \left\{ \frac{-2}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_s^2}\right)} \cdot \frac{\cos \mu_s}{\mu_s} + \frac{4K}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_s^2}\right)} \cdot B_s \right\} \\ &\times e^{-\frac{\mu_s}{D} x} \sin \frac{\mu_s}{D} (D-1) + \frac{\lambda + 1}{\lambda D + 1} = \frac{T'_{y=1}}{T_0} + \frac{\lambda + 1}{\lambda D + 1} \end{aligned} \quad (38)$$

ここで

$$\frac{T'_{y=1}}{T_0} = \sum_{s=1}^{\infty} \left\{ \frac{-2}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_s^2}\right)} \cdot \frac{\cos \mu_s}{\mu_s} + \frac{4K}{\left(1 + \frac{\lambda D}{\lambda^2 D^2 + \mu_s^2}\right)} \cdot B_s \right\} e^{-\frac{\mu_s}{D} x} \sin \frac{\mu_s}{D} (D-1) \quad (39)$$

(37)の第1項は割れ目を上昇する温泉による1 m 深の地温分布であり、第2項は深さ D にて水平に無限に広がる熱源による1 m 深の地温分布を示すもので、実際の分布は両者の和で表される。

以上 (37), (38) により $T_{y=1}$ 及び $T'_{y=1}/T_0$ の値を求めることが出来る。

V. 数 値 計 算

前節の (38), (39) を用いて $T_{y=1}/T_0$, $T'_{y=1}/T_0$ の値を求めてみる。この際の各常数は、

$$\lambda = \frac{h}{k} = 0.15 \text{ m}^{-1} \quad 5)$$

$$k = 1.7 \times 10^{-3} \text{ C. G. S. (凝灰岩)} \quad 6)$$

$$q = 10^{-2}, 10^{-1}, 1 \text{ cc/sec}$$

$$K = \frac{2k}{q\rho c} = 3.4 \times 10^{-1}, 3.4 \times 10^{-2}, 3.4 \times 10^{-3}$$

(ここで $\rho=1$, $c=1$ と考える)

$$D = 100, 300, 500, 1,000, 2,000 \text{ m}$$

につき計算を行ない、 $T_{y=1}/T_0$, $T'_{y=1}/T_0$ の x に対する値を求め、第1表及び第4図~第8図に示した。

グラフより明らかなように $T_{y=1}/T_0$ の値は湧出量が 10^{-1} cc/sec 以上では、 x と共に急激に減少し、 $x=50$ m においては熱源の深さに無関係に $0.11 \sim 0.10$ なる値をとることが注目される。

又 $T'_{y=1}/T_0$ の値は $x=200$ m においては $0 \sim 0.03$ となり、熱源の深さにかかわらず割れ目より 200 m 以上はなれた地点では、割れ目内を上昇する温泉の影響は1 m 深の地温に殆んど現われないことがわかる。

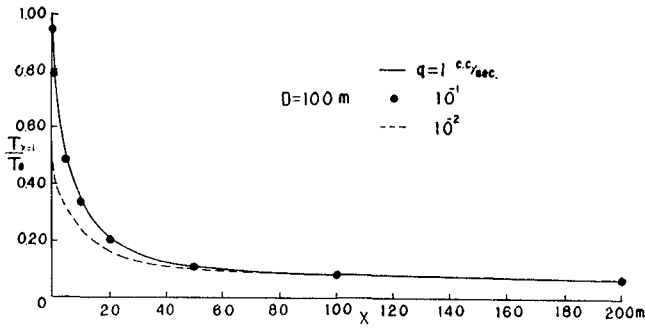
5) 4) に同じ

6) 理科年表より

第1表 $T'_{y=1}/T_0$, $T_{y=1}/T_0$ の値

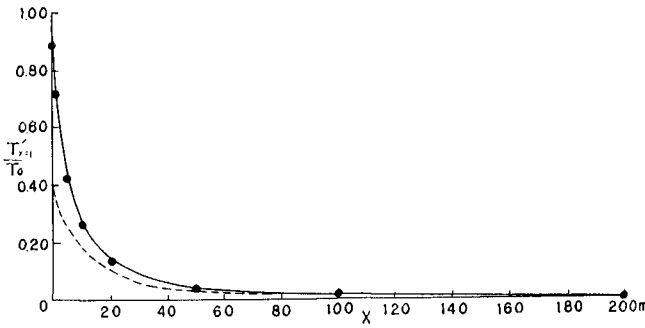
		$T'_{y=1}/T_0$					$T_{y=1}/T_0$				
		100	300	500	1,000	2,000	100	300	500	1,000	2,000
1	0	0.93	0.94	0.91	0.73	0.47	1.00	0.97	0.92	0.73	0.48
	1	0.77	0.81	0.80	0.66	0.47	0.84	0.84	0.82	0.67	0.47
	5	0.44	0.51	0.52	0.49	0.37	0.51	0.53	0.54	0.50	0.38
	10	0.28	0.35	0.36	0.36	0.30	0.35	0.37	0.37	0.36	0.31
	20	0.14	0.20	0.21	0.22	0.20	0.21	0.23	0.23	0.23	0.21
	50	0.04	0.08	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10
	100	0.01	0.03	0.05	0.05	0.05	0.08	0.06	0.06	0.06	0.06
	200	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.07	0.04	0.03	0.03	0.03
10 ⁻¹	0	0.89	0.90	0.86	0.68	0.44	0.96	0.92	0.87	0.68	0.44
	1	0.73	0.77	0.75	0.62	0.43	0.80	0.80	0.76	0.62	0.44
	5	0.42	0.48	0.49	0.46	0.34	0.49	0.51	0.50	0.47	0.34
	10	0.27	0.33	0.34	0.34	0.27	0.34	0.35	0.35	0.35	0.28
	20	0.14	0.20	0.21	0.21	0.19	0.21	0.22	0.22	0.22	0.20
	50	0.04	0.08	0.09	0.10	0.09	0.11	0.11	0.10	0.11	0.10
	100	0.01	0.03	0.04	0.05	0.05	0.08	0.06	0.06	0.06	0.05
	200	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.07	0.04	0.03	0.03	0.03
10 ⁻²	0	0.43	0.41	0.40	0.30	0.21	0.50	0.44	0.42	0.31	0.22
	1	0.37	0.35	0.34	0.29	0.21	0.44	0.38	0.35	0.30	0.22
	5	0.23	0.22	0.23	0.21	0.17	0.30	0.25	0.24	0.22	0.17
	10	0.16	0.16	0.16	0.15	0.14	0.23	0.18	0.17	0.16	0.14
	20	0.10	0.10	0.10	0.09	0.10	0.17	0.13	0.12	0.10	0.10
	50	0.03	0.05	0.05	0.04	0.05	0.10	0.08	0.07	0.05	0.06
	100	0.01	0.03	0.03	0.03	0.03	0.08	0.05	0.04	0.03	0.03
	200	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.07	0.03	0.03	0.02	0.02

単位は q ; c.c./sec, x ; m, D ; m.



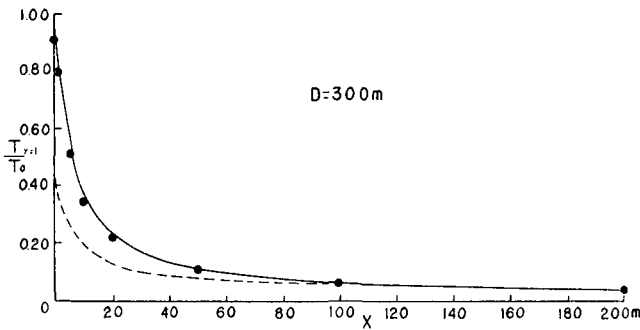
第4図(A) $\frac{T_{y=1}}{T_0}$ と x との関係

Fig. 4. (A) Relation between $\frac{T_{y=1}}{T_0}$ and x .



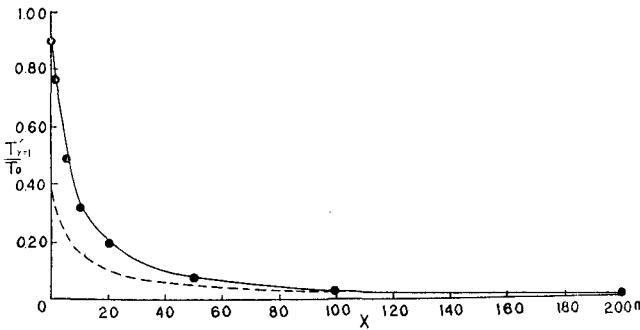
第4図(B) $\frac{T'_{y=1}}{T_0}$ と x との関係

Fig. 4. (B) Relation between $\frac{T'_{y=1}}{T_0}$ and x .



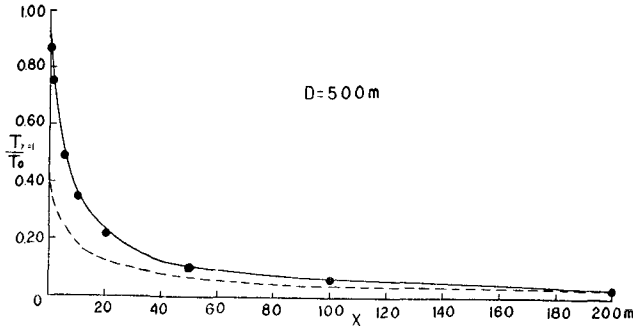
第5図(A) $\frac{T_{y=1}}{T_0}$ と x との関係

Fig. 5. (A) Relation between $\frac{T_{y=1}}{T_0}$ and x .



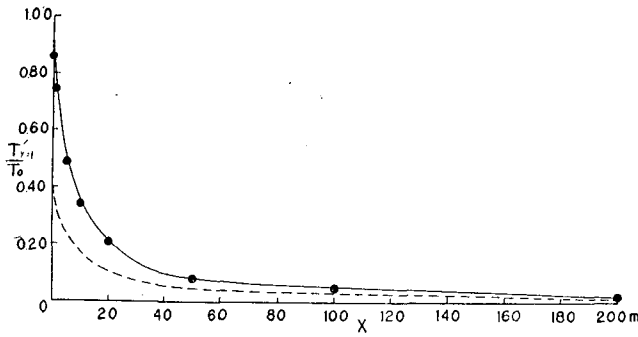
第5図(B) $\frac{T'_{y=1}}{T_0}$ と x との関係

Fig. 5. (B) Relation between $\frac{T'_{y=1}}{T_0}$ and x .



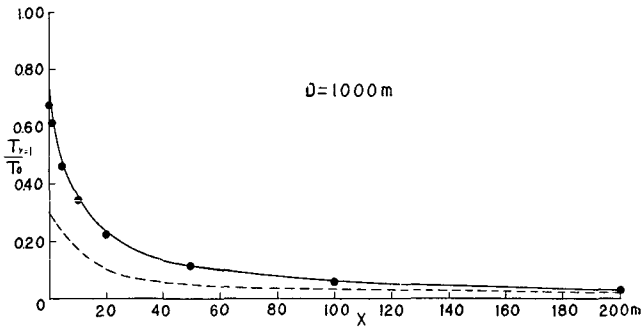
第6図 (A) $\frac{T_{y=1}}{T_0}$ と x との関係

Fig. 6. (A) Relation between $\frac{T_{y=1}}{T_0}$ and x .



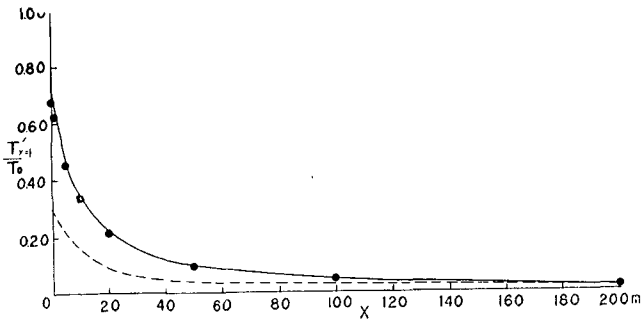
第6図 (B) $\frac{T'_{y=1}}{T_0}$ と x との関係

Fig. 6. (B) Relation between $\frac{T'_{y=1}}{T_0}$ and x .



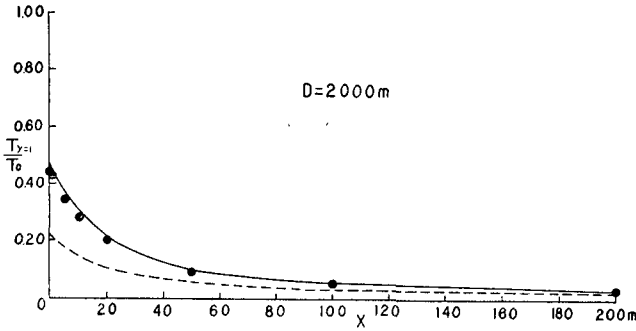
第7図 (A) $\frac{T_{y=1}}{T_0}$ と x との関係

Fig. 7. (A) Relation between $\frac{T_{y=1}}{T_0}$ and x .



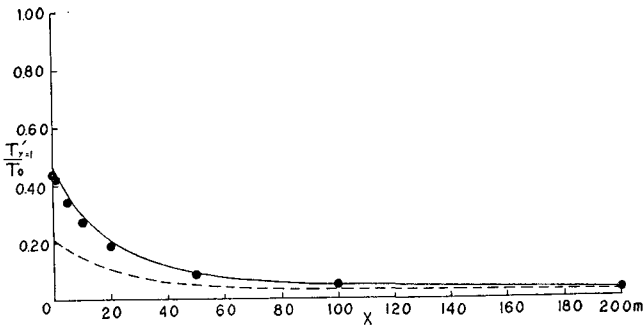
第7図 (B) $\frac{T'_{y=1}}{T_0}$ と x との関係

Fig. 7. (B) Relation between $\frac{T'_{y=1}}{T_0}$ and x .



第8図 (A) $\frac{T_{y=1}}{T_0}$ と x との関係

Fig. 8. (A) Relation between $\frac{T_{y=1}}{T_0}$ and x .

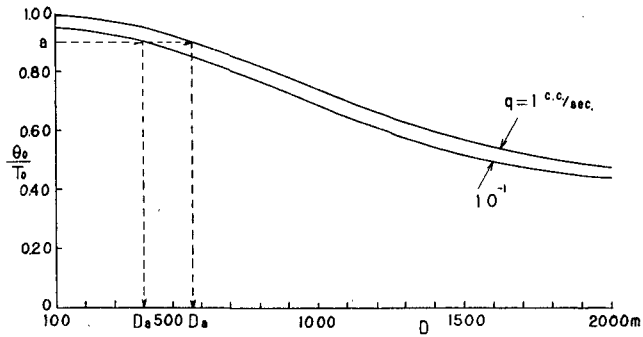


第8図 (B) $\frac{T'_{y=1}}{T_0}$ と x との関係

Fig. 8. (B) Relation between $\frac{T'_{y=1}}{T_0}$ and x .

VI. 1 m 深の地温分布より熱源の温度及び深さの決定

前節にも述べたように、湧出量が 10^{-1} c.c./sec 以上では、熱源の深さにかかわらず $x=50$ m にて $T_{y=1}/T_0$ の値はほぼ一定の値 0.11 をとることがわかつたので、 $x=50$ m での 1 m 深の地温を t とすると



第9図 $\frac{\theta_0}{T_0}$ と D との関係

Fig. 9. Relation between $\frac{\theta_0}{T_0}$ and D .

$$\frac{t}{T_0} = 0.11 \quad (40)$$

従つて

$$T_0 = \frac{t}{0.11} \approx 9.1 t \quad (41)$$

(41) より t を測れば熱源の温度が求まる。

次に湧出口での泉温 θ_0 は湧出口下 1 m の泉温と殆んど等しいものと考え、

$$\frac{\theta_0}{T_0} = \frac{(T_{z=1})_{z=0}}{T_0} \quad (42)$$

より θ_0/T_0 を計算し、第 9 図のように横軸に D 、縦軸に θ_0/T_0 の値をとつて各湧出量ごとのグラフを作つておけば、(41) より求めた T_0 と、湧出口で測定した泉温 θ_0 との比 $\theta_0/T_0 = a$ を求め、湧出量を測つてグラフ上 a に対応する熱源の深さ D_a を第 9 図のようにして求めることが出来る。

以上の決定はいつでも湧出量が 10^{-1} c.c./sec 以上の場合にのみあてはまり、湧出量の少ない時には適用出来ない。

VII. あとがき

今回試みた計算は最も簡単なモデルについてであり、実際の熱源、湧出機構はもつと複雑なもので、その場合は上記の各式が適用出来ないことは勿論である。しかし簡単なものより始めて徐々に複雑なものに近づこうとするのが筆者の意図であり、今後は少しでも実際の状態に近いモデルにつき問題を解いていきたいと思つている。

終りに終始ご指導いただいた福富教授に厚くお礼申しあげる。又費用の一部は文部省科学研究費に依つた。

3. The Distribution of 1m—depth ground-temperature by the Various Heat Sources. (Part 1.)

By Akira SUGAWA

(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

The measurement of 1 m—depth ground-temperature is an important method of exploration of hot spring, then the writer tried to calculate the distribution of 1 m—depth ground-temperature by the various heat sources in the ground.

In the first, the writer calculated the distribution of 1 m—depth ground-temperature, when the infinite heat source extended horizontally at a certain depth and the hot water flowed out the ground surface through the fissure which connected vertically with the heat source and had the constant width, infinite length.