



Title	3. 各種熱源による1m深の地温分布（その2）：湧出管中を上昇する温泉が附近の1m深の地温に及ぼす影響
Author(s)	須川, 明; SUGAWA, Akira
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 9, 21-32
Issue Date	1962-03-06
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.9.21">https://doi.org/10.14943/gbhu.9.21</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/13834">https://hdl.handle.net/2115/13834</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	9_p21-32.pdf



### 3. 各種熱源による1m深の地温分布 (その2)

湧出管中を上昇する温泉が附近の1m深の地温に及ぼす影響

須川 明

(北海道大学理学部地球物理学教室)

— 昭和36年8月受理 —

#### I. ま え が き

温泉地において地下の熱源探査のため屢々1m深の地温の測定<sup>1)</sup>がなされる。この際湧出管中を上昇する温泉も地下にある一種の熱源と考えることが出来、従つてこの熱源に対してもある地温分布が示される筈である。湧出口附近で測定した地温から、湧出管中を上昇する温泉の影響を除くには、湧出管中の温泉のみによる地温分布を求め、その値を差し引けばよく<sup>2)</sup>、筆者はこの湧出管中を上昇する温泉が、附近の1m深の地温にいかん影響を及ぼしているかを求めてみた。尚、このような影響についてはさきに岡本<sup>3)</sup>により、或る仮定をおいて近似的に求められているが、ここでは他の方法により仮定を用いずにこれを求めた。

#### II. 基礎方程式及び境界条件

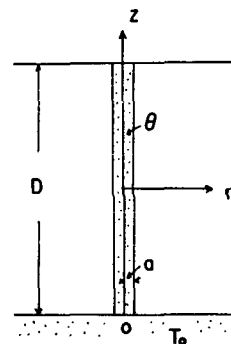
深さ  $D$  に水平に拡がる温度  $T_0$  の温泉があり、それに垂直に立つ湧出管を通して温泉が地上に湧出する場合、第1図のように原点をとり、又湧出管の中心軸を  $z$  軸に、 $z$  軸を中心として管の半径方向に  $r$  軸をきめる。この場合地温分布は定常状態と考えて差し支えなく、 $r, z$  を用いた熱伝導の微分方程式は次式で表される。

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

ここで  $T$  は任意の場所の地温とする。

境界条件は、

- 1) 湧出管より充分はなれた場所での地温は、湧出管中を上昇する温泉の影響を受けない。



第1図 温泉と湧出管  
Fig. 1. Hot spring and pipe.

- 1) 福富孝治: 1m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, 第1号(昭和26年12月).
- 2) 須川 明: 各種熱源による1m深の地温分布(その1). 北大, 地球物理学研究報告, 第8号(昭和36年3月).
- 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巻, 第3号(昭和16年12月).

- 2) 湧出管に接するところの地温は、湧出管中を上昇する温泉の温度に等しい。  
 3)  $z=0$  での地温は、地下の温泉の温度に等しい。  
 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。

$$1) \quad r = \infty; \quad T = T_0 - \frac{\lambda T_0}{1 + \lambda D} z \quad (2)$$

$$2) \quad r = a; \quad T = \theta(z) \quad (3)$$

$$3) \quad z = 0; \quad T = T_0 \quad (4)$$

$$4) \quad z = D; \quad \frac{\partial T}{\partial z} = -\lambda T \quad (5)$$

ここで

$T_0$  ; 深さ  $D$  において水平に拡がる温泉の温度

$a$  ; 湧出管の半径

$\theta(z)$ ; 湧出管中を上昇する温泉の温度

$k$  ; 地層の熱伝導度

$h$  ; Newton の冷却の常数

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

尚温度については、今後気温を基準にとって 0 と定める。

### III. 解 法

(1), (2), (4), (5) より

$$T = T_0 - \frac{\lambda T_0}{1 + \lambda D} z + \frac{2}{D} \sum_{s=1}^{\infty} C_s A_s \cdot K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} r \right) \cdot \sin \frac{\mu_s}{D} z \quad (6)$$

ここで

$$C_s = \frac{1}{1 + \frac{\cos^2 \mu_s}{\lambda D}} \quad (7)$$

$$\tan \mu_s = -\frac{\mu_s}{\lambda D} \quad (8)$$

により  $C_s$ ,  $\mu_s$  は与えられ、 $K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} r \right)$  は 0 次の第 2 種 Modified Bessel 関数で  $A_s$  は未知の常数である。

4) 2) に同じ。

5) 3) に同じ。

(6)で  $A_s$  がきまると  $T$  の解は完全になるが、その値を次のようにして求める。

湧出管中を上昇する温泉の温度は  $z$  のみの函数とし、 $r$  については変らないものとする。又管内の温泉の温度降下は管の周囲の岩石への熱伝導のみにより行なわれるものとする。第2図のように湧出管の微小部分  $\delta z$  をとって、その中での熱収支について考えれば、次の微分方程式が得られる。

$$q\rho c \frac{d\theta}{dz} \cdot \delta z = 2\pi a \cdot \delta z \cdot k \left( \frac{\partial T}{\partial r} \right)_{r=a} \quad (9)$$

ここで

- $q$ ; 温泉の湧出量
- $\rho$ ; 温泉の密度
- $c$ ; 温泉の比熱

(6)より

$$\frac{\partial T}{\partial r} = -\frac{2}{D} \sum_{s=1}^{\infty} C_s A_s \frac{\mu_s}{D} \cdot K_1 \left( \frac{\mu_s}{D} r \right) \cdot \sin \frac{\mu_s}{D} z$$

従って(9)より

$$q\rho c \frac{d\theta}{dz} = 2\pi ak \left\{ -\frac{2}{D} \sum_{s=1}^{\infty} C_s A_s \frac{\mu_s}{D} \cdot K_1 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right) \cdot \sin \frac{\mu_s}{D} z \right\}$$

$$\frac{d\theta}{dz} = -\frac{4\pi ak}{q\rho c D} \sum_{s=1}^{\infty} C_s A_s \frac{\mu_s}{D} \cdot K_1 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right) \cdot \sin \frac{\mu_s}{D} z \quad (10)$$

ここで  $K_1 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right)$  は1次の第2種 Modified Bessel 函数である。

(10)より

$$\theta = \frac{4\pi ak}{q\rho c D} \sum_{s=1}^{\infty} C_s A_s \cdot K_1 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right) \cdot \cos \frac{\mu_s}{D} z + \text{const.}$$

$$= \frac{L}{D} \sum_{s=1}^{\infty} C_s A_s \cdot K_1 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right) \cdot \cos \frac{\mu_s}{D} z + \text{const.} \quad (11)$$

$$L = \frac{4\pi ak}{q\rho c}$$

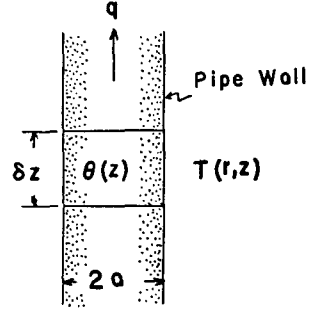
$z=0$  で  $\theta = T_0$  故

$$T_0 = \frac{L}{D} \sum_{s=1}^{\infty} C_s A_s \cdot K_1 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right) + \text{const.}$$

$$\text{const.} = T_0 - \frac{L}{D} \sum_{s=1}^{\infty} C_s A_s \cdot K_1 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right) \quad (12)$$

(12)を(11)に代入して

$$\theta = T_0 - \frac{L}{D} \sum_{s=1}^{\infty} C_s A_s \cdot K_1 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right) \cdot \left( 1 - \cos \frac{\mu_s}{D} z \right) \quad (13)$$



第2図 湧出管の微小部分  
Fig. 2. Infinitesimal part of pipe.

一方(3), (6)より $\theta$ を求めると

$$\theta = (T)_{r=a} = T_0 - \frac{\lambda T_0}{1+\lambda D} z + \frac{2}{D} \sum_{s=1}^{\infty} C_s A_s \cdot K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right) \cdot \sin \frac{\mu_s}{D} z \quad (14)$$

(13), (14)は共に $\theta$ を与える式で相等しい故, 繰返し代入する方法<sup>6)</sup>により $A_s$ を求めることが出来る。今 $n$ 回の繰返し代入して得られる $A_s$ を $A_{s,n}$ とおくと, $n$ が大きい程 $A_{s,n}$ は $A_s$ の真の値に近づくことになる。

先ず(13)で

$$\theta = T_0 \quad (15)$$

とおき, (15)を(14)に代入すると

$$T_0 = T_0 - \frac{\lambda T_0}{1+\lambda D} z + \frac{2}{D} \sum_{s=1}^{\infty} C_s A_s \cdot K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right) \cdot \sin \frac{\mu_s}{D} z \quad (16)$$

$$\frac{2}{D} \sum_{s=1}^{\infty} C_s A_s \cdot K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right) \cdot \sin \frac{\mu_s}{D} z = \frac{\lambda T_0}{1+\lambda D} z \quad (17)$$

(8)が満足されるときは

$$\int_0^D \sin \frac{\mu_s}{D} z \sin \frac{\mu_m}{D} z dz = \frac{D}{2} \cdot \frac{1}{C_s} \quad (m=s) \quad (18)$$

$$= 0 \quad (m \neq s) \quad (19)$$

但し $C_s$ は(7)にて与えられる常数

又

$$\int_0^D z \sin \frac{\mu_s}{D} z dz = \left( \frac{D}{\mu_s} \right)^2 (\sin \mu_s - \mu_s \cos \mu_s) \quad (20)$$

従って(17)の両辺に $\sin \frac{\mu_s}{D} z$ を掛け, 両辺を0より $D$ まで $z$ について積分すると, (18), (19), (20)より

$$\frac{2}{D} C_s A_s \cdot K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right) \cdot \frac{D}{2} \frac{1}{C_s} = \frac{\lambda T_0}{1+\lambda D} \left( \frac{D}{\mu_s} \right)^2 (\sin \mu_s - \mu_s \cos \mu_s) \quad (21)$$

$$A_s = A_{s,1} = \frac{\lambda T_0}{1+\lambda D} \cdot \frac{1}{K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right)} \left( \frac{D}{\mu_s} \right)^2 (\sin \mu_s - \mu_s \cos \mu_s) \quad (22)$$

(22)を(13)に代入して求まる $\theta$ を, (14)に代入すると

$$\begin{aligned} T_0 - \frac{L}{D} \sum_{m=1}^{\infty} C_m A_{m,1} \cdot K_1 \left( \frac{\mu_m}{D} a \right) \cdot \left( 1 - \cos \frac{\mu_m}{D} z \right) \\ = T_0 - \frac{\lambda T_0}{1+\lambda D} z + \frac{2}{D} \sum_{s=1}^{\infty} C_s A_s \cdot K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right) \cdot \sin \frac{\mu_s}{D} z \end{aligned} \quad (23)$$

6) 2)と同じ。

$$\begin{aligned} \frac{2}{D} \sum_{s=1}^{\infty} C_s A_s \cdot K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right) \cdot \sin \frac{\mu_s}{D} z &= \frac{\lambda T_0}{1 + \lambda D} z \\ &- \frac{L}{D} \sum_{m=1}^{\infty} C_m A_{m1} \cdot K_1 \left( \frac{\mu_m}{D} a \right) \cdot \left( 1 - \cos \frac{\mu_m}{D} z \right) \end{aligned} \quad (24)$$

(24) の右辺の第1項は(17)の右辺と等しい故、(21), (22)より

$$\int_0^D \frac{\lambda T_0}{1 + \lambda D} z \sin \frac{\mu_s}{D} z dz = A_{s1} \cdot K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right) \quad (25)$$

又

$$\begin{aligned} \int_0^D \left( 1 - \cos \frac{\mu_m}{D} z \right) \sin \frac{\mu_s}{D} z dz &= D \left[ \frac{1 - \cos \mu_s}{\mu_s} - \frac{\mu_s}{\mu_s^2 - \mu_m^2} \left\{ 1 - \left( \cos \mu_s \cos \mu_m \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. + \frac{\mu_m}{\mu_s} \sin \mu_s \sin \mu_m \right) \right\} \right] \quad (m \neq s) \end{aligned} \quad (26)$$

$$= D \left[ \frac{1 - \cos \mu_s}{\mu_s} - \frac{1 - \cos 2\mu_s}{4\mu_s} \right] \quad (m = s) \quad (27)$$

従つて(24)の両辺に  $\sin \frac{\mu_s}{D} z$  を掛け、各項を0よりDまでzについて積分すると、(18), (19), (25), (26), (27)より

$$\begin{aligned} \frac{2}{D} C_s A_s \cdot K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right) \cdot \frac{D}{2} \frac{1}{C_s} &= A_{s1} \cdot K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right) - \frac{L}{D} \sum_{m=1}^{\infty} C_m A_{m1} \cdot K_1 \left( \frac{\mu_m}{D} a \right) \cdot D \\ &\times \left[ \frac{1 - \cos \mu_s}{\mu_s} - \frac{\mu_s}{\mu_s^2 - \mu_m^2} \left\{ 1 - \left( \cos \mu_s \cos \mu_m + \frac{\mu_m}{\mu_s} \sin \mu_s \sin \mu_m \right) \right\} \right] \end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} A_s &= A_{s2} = A_{s1} - \frac{L}{K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right)} \sum_{m=1}^{\infty} C_m A_{m1} \cdot K_1 \left( \frac{\mu_m}{D} a \right) \cdot \left[ \frac{1 - \cos \mu_s}{\mu_s} - \frac{\mu_s}{\mu_s^2 - \mu_m^2} \right. \\ &\quad \left. \times \left\{ 1 - \left( \cos \mu_s \cos \mu_m + \frac{\mu_m}{\mu_s} \sin \mu_s \sin \mu_m \right) \right\} \right] \end{aligned} \quad (29)$$

但し  $s=m$  のとき上式の [ ] 内は(27)より

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

となる。

今(29)の右辺の第2項を  $-A'_{s1}$  とおくと

$$A_{s2} = A_{s1} + A'_{s1} \quad (30)$$

(30)を(13)に代入すると

$$\theta = T_0 - \frac{L}{D} \sum_{n=1}^{\infty} C_n (A_{n1} + A'_{n1}) \cdot K_1 \left( \frac{\mu_n}{D} a \right) \cdot \left( 1 - \cos \frac{\mu_n}{D} z \right) \quad (31)$$

(31)を(14)に再び代入すると

$$\begin{aligned} T_0 - \frac{L}{D} \sum_{n=1}^{\infty} C_n (A_{n1} + A'_{n1}) \cdot K_1 \left( \frac{\mu_n}{D} a \right) \cdot \left( 1 - \cos \frac{\mu_n}{D} z \right) \\ = T_0 - \frac{\lambda T_0}{1 + \lambda D} z + \frac{2}{D} \sum_{s=1}^{\infty} C_s A_s \cdot K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right) \cdot \sin \frac{\mu_s}{D} z \end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned}
\frac{2}{D} \sum_{s=1}^{\infty} C_s A_s \cdot K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right) \cdot \sin \frac{\mu_s}{D} z &= \frac{\lambda T_0}{1+\lambda D} z - \frac{L}{D} \sum_{n=1}^{\infty} C_n (A_{n1} + A'_{n1}) \cdot K_1 \left( \frac{\mu_n}{D} a \right) \cdot \left( 1 - \cos \frac{\mu_n}{D} z \right) \\
&= \frac{\lambda T_0}{1+\lambda D} z - \frac{L}{D} \sum_{n=1}^{\infty} C_n A_{n1} \cdot K_1 \left( \frac{\mu_n}{D} a \right) \cdot \left( 1 - \cos \frac{\mu_n}{D} z \right) \\
&\quad - \frac{L}{D} \sum_{n=1}^{\infty} C_n A'_{n1} \cdot K_1 \left( \frac{\mu_n}{D} a \right) \cdot \left( 1 - \cos \frac{\mu_n}{D} z \right) \quad (33)
\end{aligned}$$

(33)の右辺の第1項と第2項の和は、(24)の右辺に等しい故、(28)、(29)より

$$\begin{aligned}
\int_0^D \left\{ \frac{\lambda T_0}{1+\lambda D} z - \frac{L}{D} \sum_{n=1}^{\infty} C_n A_{n1} \cdot K_1 \left( \frac{\mu_n}{D} a \right) \cdot \left( 1 - \cos \frac{\mu_n}{D} z \right) \right\} \sin \frac{\mu_s}{D} z dz \\
= A_{s2} \cdot K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right) \quad (34)
\end{aligned}$$

従って再び(33)の両辺に  $\sin \frac{\mu_s}{D} z$  を掛け、各項を0よりDまでzについて積分すると、(18)、(19)、(26)、(27)、(34)より

$$\begin{aligned}
\frac{2}{D} C_s A_s \cdot K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right) \cdot \frac{D}{2} \frac{1}{C_s} &= A_{s2} \cdot K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right) - \frac{L}{D} \sum_{n=1}^{\infty} C_n A'_{n1} \cdot K_1 \left( \frac{\mu_n}{D} a \right) \cdot D \\
&\times \left[ \frac{1 - \cos \mu_s}{\mu_s} - \frac{\mu_s}{\mu_s^2 - \mu_n^2} \left\{ 1 - \left( \cos \mu_s \cos \mu_n + \frac{\mu_n}{\mu_s} \sin \mu_s \sin \mu_n \right) \right\} \right] \quad (35)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_s = A_{s3} = A_{s2} - \frac{L}{K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right)} \sum_{n=1}^{\infty} C_n A'_{n1} \cdot K_1 \left( \frac{\mu_n}{D} a \right) \cdot \left[ \frac{1 - \cos \mu_s}{\mu_s} \right. \\
\left. - \frac{\mu_s}{\mu_s^2 - \mu_n^2} \left\{ 1 - \left( \cos \mu_s \cos \mu_n + \frac{\mu_n}{\mu_s} \sin \mu_s \sin \mu_n \right) \right\} \right] \quad (36)
\end{aligned}$$

数値計算の結果より、(36)の右辺の第2項は第1項に較べて非常に小さい値をとる。従って

$$A_{s3} \doteq A_{s2} \quad (37)$$

故に  $A_{s2}$  の値を以て  $A_s$  の値に代えて差し支えないことになる。

(22)、(29)より

$$\begin{aligned}
A_s \doteq A_{s2} &= \frac{T_0 D}{K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right)} \cdot \frac{\lambda D}{1+\lambda D} \left[ \frac{\sin \mu_s - \mu_s \cos \mu_s}{\mu_s^2} - L \sum_{m=1}^{\infty} C_m \frac{K_1 \left( \frac{\mu_m}{D} a \right)}{K_0 \left( \frac{\mu_m}{D} a \right)} \right. \\
&\times \frac{\sin \mu_m - \mu_m \cos \mu_m}{\mu_m^2} \left\{ \frac{1 - \cos \mu_s}{\mu_s} - \frac{\mu_s}{\mu_s^2 - \mu_m^2} \left( 1 - \cos \mu_s \cos \mu_m \right. \right. \\
&\left. \left. - \frac{\mu_m}{\mu_s} \sin \mu_s \sin \mu_m \right) \right\} \right] \quad (38)
\end{aligned}$$

今

$$\begin{aligned}
B_s &= \frac{\lambda D}{1+\lambda D} \left[ \frac{\sin \mu_s - \mu_s \cos \mu_s}{\mu_s^2} - L \sum_{m=1}^{\infty} C_m \frac{K_1 \left( \frac{\mu_m}{D} a \right)}{K_0 \left( \frac{\mu_m}{D} a \right)} \frac{\sin \mu_m - \mu_m \cos \mu_m}{\mu_m^2} \right. \\
&\times \left. \left\{ \frac{1 - \cos \mu_s}{\mu_s} - \frac{\mu_s}{\mu_s^2 - \mu_m^2} \left( 1 - \cos \mu_s \cos \mu_m - \frac{\mu_m}{\mu_s} \sin \mu_s \sin \mu_m \right) \right\} \right] \quad (39)
\end{aligned}$$

とおくと

$$A_s = \frac{T_0 D}{K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right)} \cdot B_s \quad (40)$$

(40)を(6)に代入すると

$$\frac{T}{T_0} = 1 - \frac{\lambda z}{1 + \lambda D} + 2 \sum_{s=1}^{\infty} C_s B_s \frac{K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} r \right)}{K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right)} \sin \frac{\mu_s}{D} z \quad (41)$$

1 m 深の地温分布  $T_{d=1}$  は, (41) で  $z=D-1$  とおけばよく

$$\frac{T_{d=1}}{T_0} = \frac{1 + \lambda}{1 + \lambda D} + 2 \sum_{s=1}^{\infty} C_s B_s \frac{K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} r \right)}{K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right)} \sin \frac{\mu_s}{D} (D-1) \quad (42)$$

により与えられる。

ここで右辺の第1項は, 湧出管が存在しないで, 深さ  $D$  に水平に温度  $T_0$  の温泉が拡がる場合の1 m 深の地温と  $T_0$  との比である<sup>7)</sup>。従って第2項が湧出管中を上昇する温泉が, 湧出口附近の1 m 深の地温に及ぼす影響と考えられ, それを  $T'_{d=1}/T_0$  とおくと

$$\frac{T'_{d=1}}{T_0} = 2 \sum_{s=1}^{\infty} C_s B_s \frac{K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} r \right)}{K_0 \left( \frac{\mu_s}{D} a \right)} \sin \frac{\mu_s}{D} (D-1) \quad (43)$$

となる。

#### IV. 数値計算

(43)により  $T'_{d=1}/T_0$  の値を求めてみる。この際用いた各常数は,

$$k = 1.7 \times 10^{-3} \text{ C.G.S. (凝灰岩)}^8)$$

$$\lambda = 0.15 \text{ m}^{-1} \text{ }^9)$$

$$a = 5 \text{ cm}$$

$$\rho = 1 \text{ g/c.c.}$$

$$c = 1 \text{ cal/g} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$$

$$D = 50, 100, 200, 300, 500 \text{ m}$$

$$q = 0.1, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0 \text{ L/sec}$$

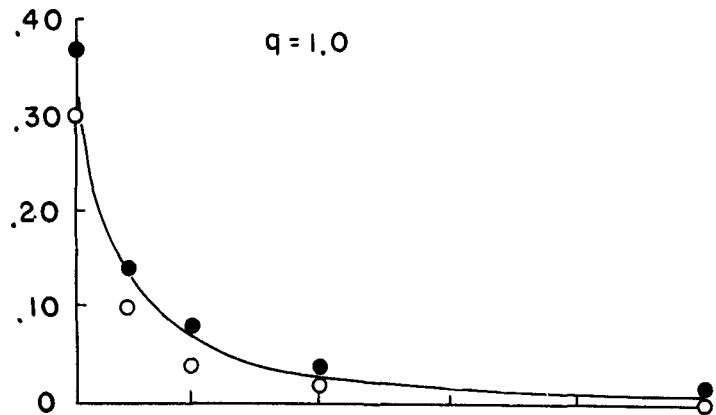
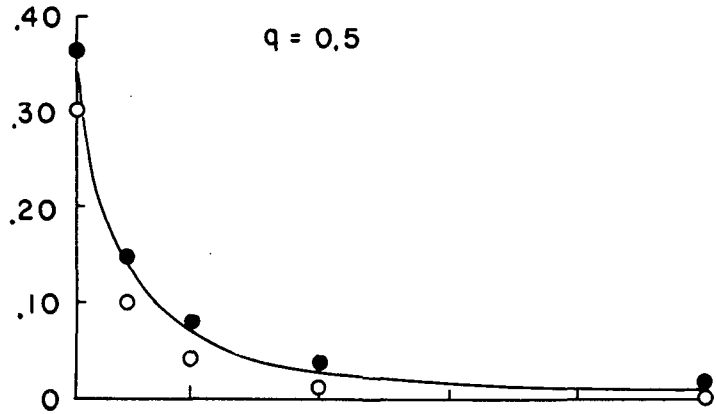
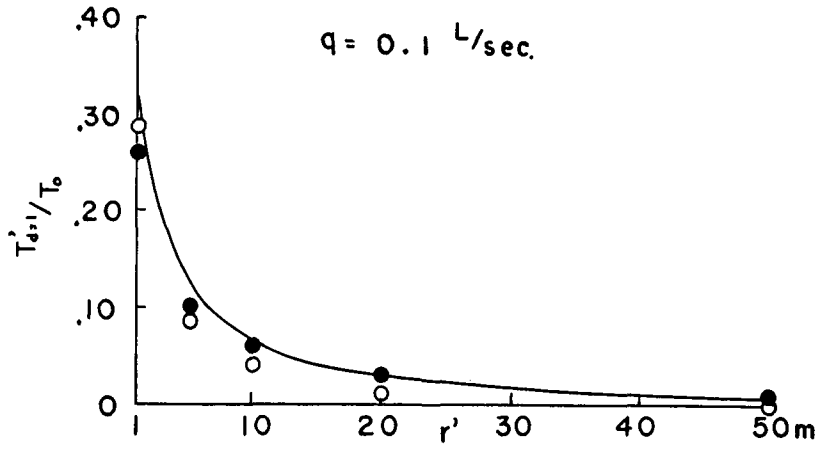
である。

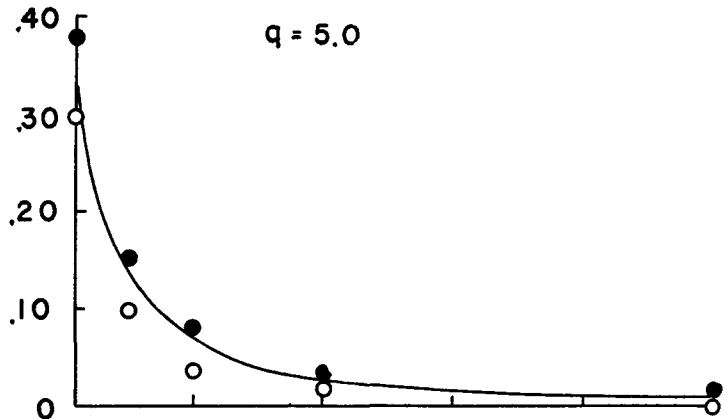
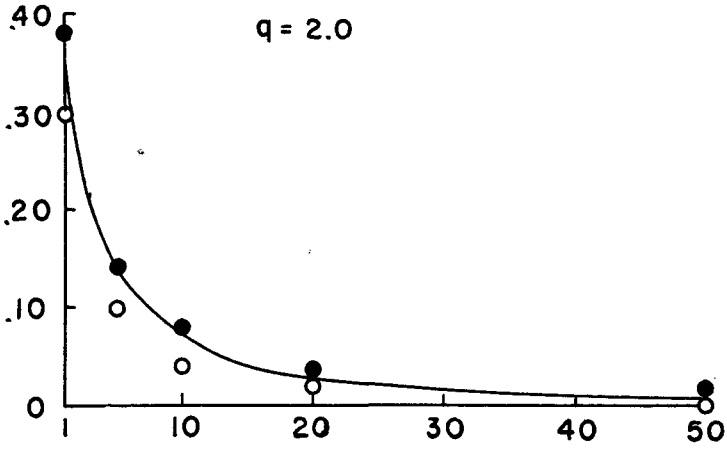
今湧出管の壁より任意の点までの距離を  $r' (=r-a)$  とし,  $T'_{d=1}/T_0$  と  $r'$  との関係を図3, 4に示す。図3は湧出量を一定とし, 図4は深さを一定とした場合の両者の関係である。

7) 2)に同じ。

8) 理科年表より。

9) 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巻, 第1号, (昭和30年3月)。

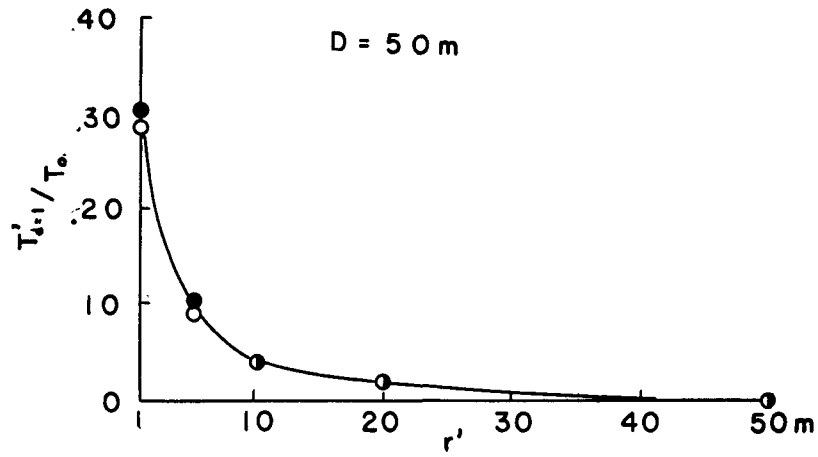


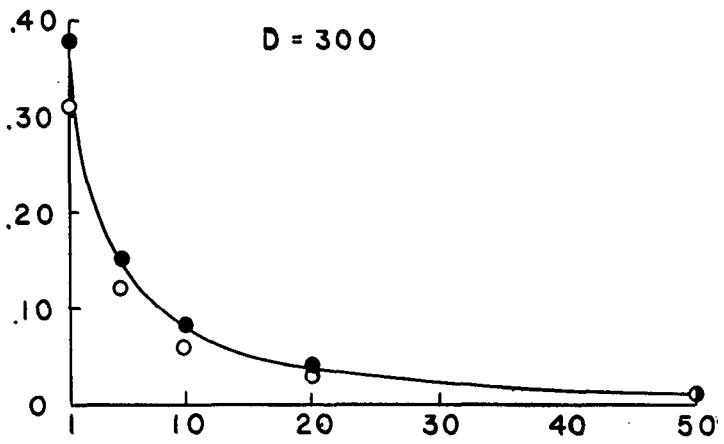
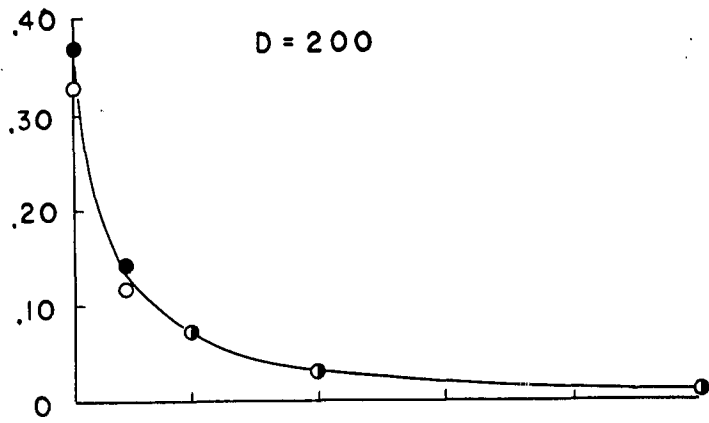
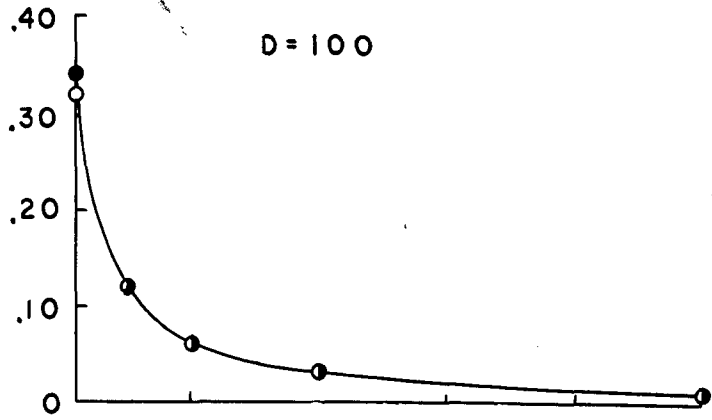


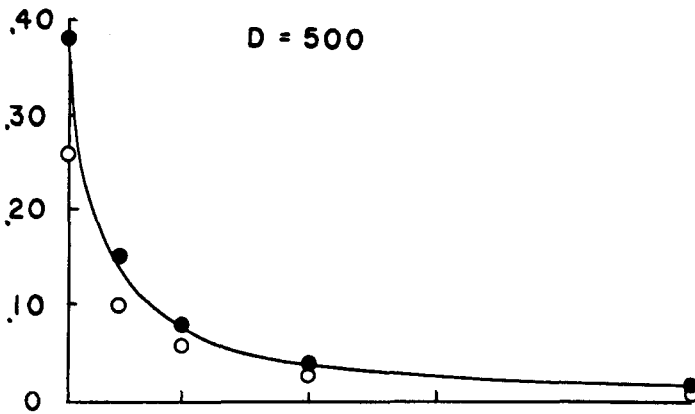
第3図 湧出量一定の場合の  $T'_{a-1}/T_0$  と  $r'$  との関係

白丸は  $D=50$  m 実線は  $D=200$  m 黒丸は  $500$  m

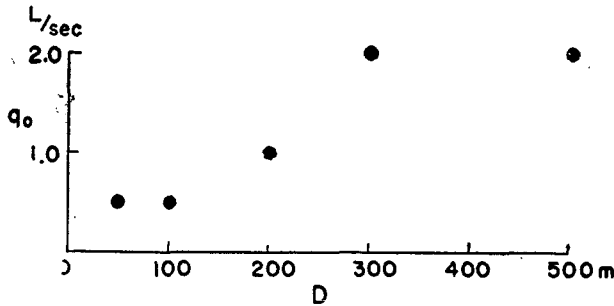
Fig. 3. Relation between  $T'_{a-1}/T_0$  and  $r'$  under constant discharge.  
 ○;  $D=50$  m —;  $D=200$  m ●;  $D=500$  m







第4図 深さが一定の場合の  $T'_{a-1}/T_0$  と  $r'$  との関係  
 白丸は  $q=0.1$  L/sec 実線は  $q=1.0$  L/sec 黒丸は  $q=5.0$  L/sec  
 Fig. 4. Relation between  $T'_{a-1}/T_0$  and  $r'$  under constant depth.  
 ○;  $q=0.1$  L/sec —;  $q=1.0$  L/sec ●;  $q=5.0$  L/sec



第5図  $q_0$  と  $D$  との関係  
 Fig. 5. Relation between  $q_0$  and  $D$ .

第3, 4図より明らかなように、いずれの場合も  $r'=1$  m で  $T'_{a-1}/T_0$  の値は0.5以下になり、 $r'=50$  m では  $0\sim 0.02$  と非常に小さい値を示す。

$q \geq 0.5$  L/sec のとき、 $r' \geq 1$  m における  $T'_{a-1}/T_0$  の値は、同一の  $q$ ,  $r'$  については  $D$  が大きい程大きな値を示す。然し或る  $r'$  以上では  $D$  に無関係に等しい値をとる。

$D$  が一定の場合の  $T'_{a-1}/T_0$  の値は、同一の  $r'$  については  $q$  が大きい程大きな値を示すが或る湧出量  $q_0$  以上では、湧出量に無関係に等しい値をとる。尚この  $q_0$  の値は第5図のように  $D$  と共に増加する。

$r'=20$  m での  $T'_{a-1}/T_0$  の値は深さ、湧出量によって  $0.01\sim 0.04$  の範囲に含まれ、殆んど0に近い値をとる。

## V. 結 語

湧出口附近での1 m 深の地温は、地下の熱源以外に湧出管中を上昇する温泉も一種の熱源となりその影響を受ける。しかしその影響は湧出管からはなれるに従って急激に減少し、管壁より50 m もはなれば  $T'_{a=1}/T_0$  の値は、深さ、湧出量の如何に拘らず殆んど0に等しく、20 m はなれた場所では深さ、湧出量により0.01~0.04の範囲内の値をとる。

従って湧出口から20 m 以上はなれた場所での1 m 深の地温に対しては、湧出管中を上昇する温泉の影響は殆んどないものと考えて差し支えない。尚20 m 以内での影響は第3, 4図のようになる。

終りに終始ご指導いただいた福富教授に、又種々ご助言いただいた松沢教授に厚くお礼申しあげる。尚本研究の費用の一部は文部省科学研究費によるものである。

### 3. The Distribution of the 1 m-depth Groud-temperature by the Various Heat Source. (Part 2)

The Influence of the Ascending Hot Water in the Vertical Pipe for the 1 m-depth Ground-temperature near the Orifice of Hot Spring.

By Akira SUGAWA

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

The 1 m-depth ground-temperature near the orifice of hot spring is affected by the underground heat source and the ascending hot water through the vertical pipe. The writer calculated the distribution on the 1 m-depth ground-temperature in a model shown in Fig. 1.

The results of the investigation are summarized as follows.

In the case where the discharge rate from the orifice of hot spring is 0.1 L/sec~0.5 L/sec and the length of the pipe is 50 m~500 m, the influence of the hot water in the pipe is nearly zero at a distance of 50 m from the orifice.

In the same case  $T'_{a=1}/T_0$  is also a negligibly small value of 0.01~0.04 at a distance of 20 m from the orifice, where  $T'_{a=1}$  is the 1 m-depth ground-temperature affected by the hot water in the pipe and  $T_0$  is the temperature of the underground heat source. Values of  $T'_{a=1}/T_0$  at places within 20 m are shown in Fig. 3 and Fig. 4.