HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	5. 1m深地温より洞爺湖温泉における地下温泉分布の推定
Author(s)	成瀬, 廉二
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 16, 51-60
Issue Date	1966-08-10
DOI	10.14943/gbhu.16.51
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/13917
Type	bulletin (article)
File Information	16_p51-60.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

5. 1m深地温より洞爺湖温泉における地下泉温分布の推定

成 瀬 廉 二
(北海道大学理学部地球物理学教室)

— 昭和41年4月受理 —

I. まえがき

火山や温泉地域において地球物理学的な調査を行なう場合，しばしば1m深地温が測定されそれらの分布状況から地下熱源の状態を推定したり，あるいはその熱源から放出される総熱エネルギーの推算などがなされている。特に温泉探査の場合，ボーリングに比べて極めて容易であるため，1m深地温を測定することは現在のところ有力な手段となっている。

しかし，それらの場合も，1m深地温の測定値から地下熱源の存在を定性的に論じるだけで，熱源の温度等を定量的に扱った例はほとんどない。筆者の知るところでは唯一つの例として，湯原[1]は地下熱源の形が円筒でその軸が地表面に平行であると仮定した場合，1m深地温分布から地下熱源を定量的に推定する理論的方法を報告している。逆に，地下熱源の形をさまざまに仮定した場合，それによって1m深地温がいかに分布するかと言う研究は須川[2),3),4)]によって報告されている。

ここでは，地下構造（特に熱源の形）が単純でかつ良く知られている洞爺湖温泉において約110ケの地温測定値と11カ所の穿井により得られた泉温とから，地下泉源温度分布の推定を試みた。その方法と結果及び若干の考察をここに報告する。使用した資料は，昭和31年8月北海道衛生部の依嘱で福富・石川らによって行なわれた洞爺湖温泉総合調査[5]の結果である。

II. 洞爺湖温泉付近の地形

洞爺湖温泉は洞爺湖南西湖畔に位置し，有珠火山北麓の7/100位のゆるい斜面上にある。

---

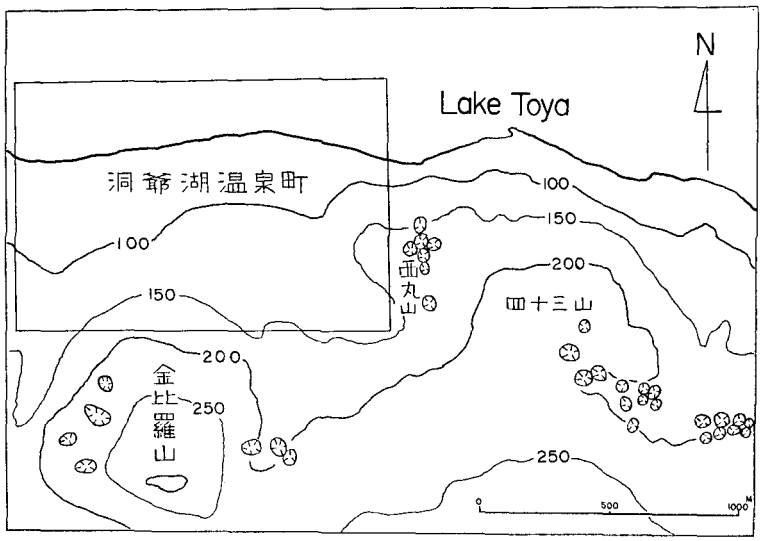
1) 湯原浩三；地下1m深地温分布から地下熱源を理論的に推定する一方法，物理探鉱，8 第1号（昭和30年），27.

2) 須川 明；各種熱源による1m深の地温分布（その1），北海道大学地球物理学研究報告，8（昭和36年），37.

3) 須川 明；各種熱源による1m深の地温分布（その2），北海道大学地球物理学研究報告，**9**（昭和37年），21.

4) A. SUGAWA; On the Distribution of Ground Temperature at 1m Depth Influenced by Various Heat Sources (Continued), Jour. of the Faculty of Science, Hokkaidô University, Ser. VII, **2**, No. 1, 1963.

5) 福富孝治・藤木忠美・須川 明；洞爺湖温泉付近の1m深地温調査，北海道衛生部編，北海道温泉調査報告，**4**（昭和32年）.



第1図 洞爺湖温泉周辺の地形と明治43年の爆発火口位置

Fig. 1. Topography around Toya-ko spa. Explosion craters formed in 1910.

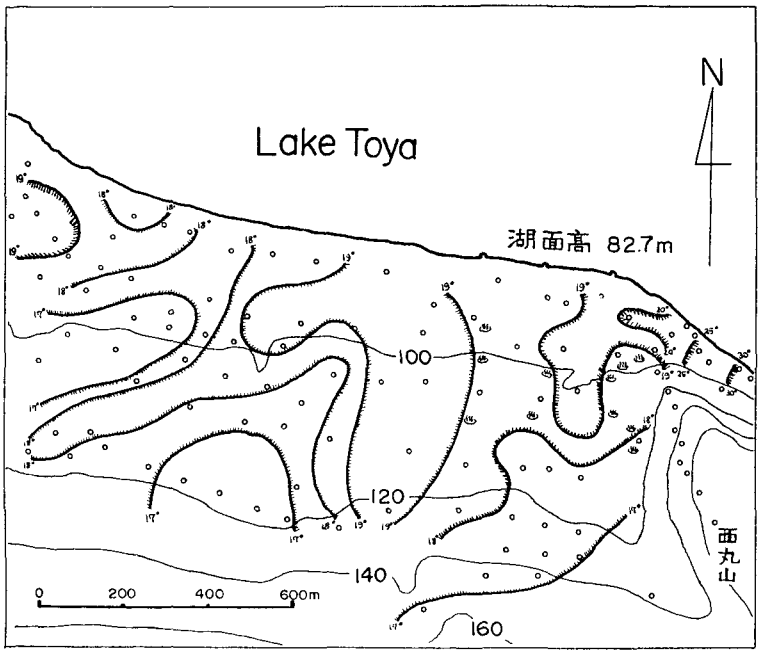
石川[6]の報告によると，明治43年に有珠火山北側から洞爺湖湖辺にかけて頻発して火山活動が起り，金比羅山から西丸山，東丸山にかけて45を数える小火口が並び，更に西丸山北側から西湖畔に亘る湖辺の地盤隆起と共に，火口列北側の隆起が激しく現在の四十三山（明治新山とも言う）ができ上った。第1図は洞爺湖温泉付近の地形と明治43年に生じた爆発火口の分布を示した図であり，四角で囲った地域が第2図で示す洞爺湖温泉市街である。温泉はこの活動直後西丸山北側湖岸で初めて発見されたが，その後数多くの堀井のため現在は泉温の低下が目立っている。地下の温泉帯水層の上面は，ほぼ湖面と同じ高さで一様に広がっていると考えられている。

III. 1 m 深地温分布

福富[7]らは昭和31年8月25～28日，洞爺湖温泉市街及びその周辺において125の測点で1 m深地温を測定したが，その内西丸山以西の地域における1 m深地温分布を示したのが第2図である。図中白丸が測点で，♨印は同時期に石川[8]らによって泉温測定が行なわれた穿井位置である。

地温分布図を見ると，市街中央部及び西の方でやや高くなっているが，西丸山山麓湖岸付近が最も高く，30°C以上を示している。

6) 石川俊夫；洞爺湖温泉の成生と変遷，物理探鉱，**16** 第1号（昭和38年），27.
7) 前出5)
8) 鈴木 醇・石川俊夫・鈴木淑夫・勝井義夫；洞爺湖温泉地質班調査報告，北海道衛生部環境衛生に関する報告，**13**（昭和32年）.



第2図　洞爺湖温泉市街における1 m 深地温分布 (昭和31年8月測定). 丸印は地温測点, 温泉印は穿井地点を示す

Fig. 2.　*Horizontal distribution of the 1 m-depth ground temperature at Toya-ko spa (measured in August, 1956).*

IV. 地温と泉温と温泉層までの深さの関係

直交軸 x, y を地表面内にとり，それに直交するよう地表面から垂直下方に z 軸をとる。地中は到る所均質であると仮定し，任意の点 (x, y, z) の地温を T とすれば，地中の熱伝導方程式は,

$$\frac{\partial T}{\partial t}=\frac{k}{\rho c}\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) \tag{1}$$

で表わされる。但し，t は時間，k, ρ, c はそれぞれ土の熱伝導率，密度，比熱である。

ここで地表面を温泉層の上面と平行な平面と仮定すると，温度は x, y 方向には関係がない。また気温の日変化，年変化を考えに入れないとすれば地温は定常状態にあるとみなしてよい。従って (1) は,

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}=0 \tag{2}$$

となる。

境界条件として次の2つを与える。

1) 大気は常に一定温度0°Cに保たれ，地表面においては Newton の冷却法則にしたがって熱が地中から空気中に流れていると仮定すると，

$$z=0 \quad で, \qquad k\frac{\partial T}{\partial z}=h\,(T_s-0) \tag{3}$$

となる。但し，h は Newton の冷却常数，T は地温，T_s は地表面における地温である。$\lambda=h/k$ (放熱係数) とおけば (3) は，

$$z=0 \quad で, \qquad \frac{\partial T}{\partial z}=\lambda T_s \tag{4}$$

となる。

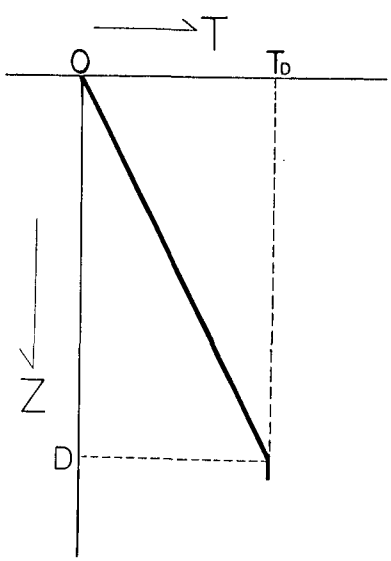
2) 深さ D の所に温度 T_D の熱源 (温泉層) があると仮定すると，

$$z=D \quad で, \qquad T=T_D \tag{5}$$

となる。

境界条件 (4), (5) を用いて (2) を解くと，

$$T=\frac{\lambda T_D}{1+\lambda D}\cdot z+\frac{T_D}{1+\lambda D} \tag{6}$$



第3図 深さと温度の関係

Fig. 3. Relation between Z and T

となり，T と z は第3図のように直線関係にある。ここで，$z=1$ m の地温を T_1 とすると (6) は，

$$T_1=\frac{\lambda T_D}{1+\lambda D}+\frac{T_D}{1+\lambda D} \tag{7}$$

となり，変形すれば，

$$\frac{T_D}{T_1}=\frac{\lambda}{1+\lambda}\cdot D+\frac{1}{1+\lambda} \tag{8}$$

を得る。λ の単位は 1/m である。

(2) の解である (8) は，λ を定数とすると T_1, T_D, D, 即ち1m深地温，泉温，温泉層までの深さの関係を表わしている。この3変数は互いに独立ではなく，T_1, T_D, D のうち2つが決まれば (8) から残りの1つが決まる。第 VI, VII 章でのべるように，洞爺湖温泉市街における11ケの穿井各々についてそこで測定された T_D と，T_1 と，D から (8) によって λ を決定し，更に次はその λ を用いて各地温測点それぞれについて，T_1, D から T_D を求めることができる。

V. 地温及び地下泉温実測値を特殊熱源のみの値に換算する方法

地表面の温度は通常気温の日変化，年変化の影響を受けて複雑に変化しているが，地中1 m 深になると年変化の影響は受けるがそれより短い周期の変化，即ち日変化の影響は受けない。計算によると地中10 m 深になれば年変化の影響もほぼ無視できる程度に小さくなり，それより深い所では年間を通じて常に一定温度に保たれている。第2図に示された地温値は8月下旬の値であり，(8) で扱う T_1 はそれらの測定値から気温の年変化の影響をとり除いたものでなければならない。一般に地中温度を決定する要素として，次の3つに分けられる。イ) 温泉脈のような特殊熱源，ロ) 大気温度，ハ) 地下非常に深い所にある定常的熱源（普通100 m につき2°～3°C の地下増温率を示す)。今，或る温泉地における1 m 深実測値から，温泉（特殊熱源）の影響がないと思われる周辺地域で同時期に実測した1 m 深地温を差し引けば，それはイ) のみの影響による1 m 深地温値を示すことになる[9]。ここでは周辺数点の地温を平均して得られた15.6°C を，温泉の影響のない通常部の地温とした。福富[10]は，本邦各地の測候所において測定された1 m 深地温値から，或る土地の緯度，高度，月別の標準地温を表にして示しているが，それによっても洞爺湖温泉付近の標準地温は概ね15.6°C となる。従って実測した1 m 深地温を $T_{1,obs}$ とした時，

$$T_1 = T_{1,obs} - 15.6°\mathrm{C} \tag{9}$$

なる T_1 を1 m 深地温として計算を行なえばよい。

泉温については，湖岸の近傍を除けば温泉層までの深さが10 m 以上なので，気温の日変化，年変化ともその影響を受けることはない。しかし，第IV章では大気温度が0°C 一定である時と仮定したので，(8) で扱う T_D は実測値そのままを使うことはできない。1 m 深地温の場合と同様に，泉温を地下特殊熱源のみの温度に換算するには次の様に考えればよい。

福富[11]は，温泉脈の様な特殊熱源が気温の年変化が及ばない地下十分深い所では，その表面温度 T は，

$$T = F(x, y, z) + T_m + \alpha\left(\frac{1}{\lambda} + z\right) \tag{10}$$

で表わせると考えている。但し，T_m はその土地の年平均気温，α は地下非常に深い所にある定常的熱源によって生じる地下増温率，λ は放熱係数，z は特殊熱源までの深さである。$F(x,$

9) 福富孝治；1 m 深地温についての2, 3の問題，北海道大学地球物理学研究報告，**9** (昭和37年), 45.
10) 福富孝治；1 m 深の地中温度より温泉探査の可能性に就いて（第1報），北海道大学地球物理学研究報告，**1** (昭和26年), 21.
11) 前出9)

$y, z)$ は右辺の他の2項を0と考えた場合の仮想温度であり，(8) で扱う T_D はこの $F(x, y, z)$ でなければならない。

洞爺湖温泉においては，$\alpha(1/\lambda+z)$ の値は大きくても2°C位であり，泉温が数十度であるのに比べれば誤差の範囲に入るのでこれを無視することにする。T_m については長期的な気温の測定がなされていないので，良く使われる次の関係式[12] を用いた。緯度を θ，経度を φ，海抜高度を H (単位は m) とすると年平均気温 T_m は，

$$T_m = 14.33-0.92(\theta-35°)+0.07(\varphi-135°)-5.5\times10^{-3}H \tag{11}$$

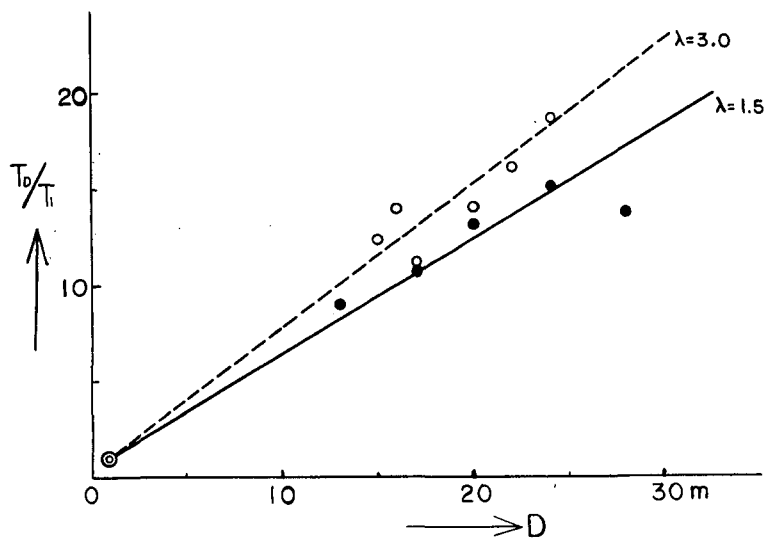
と表わすことができ，これは ±0.56°C の誤差の範囲で本邦各地において成り立つことが報告されている。洞爺湖温泉では，$\theta=42.6°$N，$\varphi=140.8°$E，$H=100$ m として (11) に代入すると，$T_m=7.2°$C となる。従って実際の泉温を T_{obs} とすれば，(10) より

$$T_D = T_{obs}-7.2 \tag{12}$$

なる T_D を泉温として (8) の計算に使用すればよい。

VI. 放熱係数の推定

泉温の測定が行なわれた11ケ所の穿井それぞれについて，その泉温とその場所の1m深地温及び温泉層までの深さとから，(8) によって放熱係数 λ を求めることができる。穿井位置



第4図 T_D/T_1 と D との関係

破線は6ケの白丸 (A地区) から，実線は5ケの黒丸 (B地区) から決定した直線。

Fig. 4. Relation between T_D/T_1 and D.
○; A region, ●; B region.

12) 中央気象台刊行の気温報告 (昭和6年).

の地温は，その場所の周囲の測定値から内挿することによって推定した。1 m 深地温，泉温はそれぞれ第 V 章で述べた様に特殊熱源のみの場合による値に換算したものを T_1，T_D とし，温泉層の上面が湖岸においては湖面とほぼ同じ高さであり湖岸から遠ざかっても概ね同じ高さであることから，湖面からの高さを D とした。

縦軸に T_D/T_1 を，横軸に D をとり 11 ケの穿井についてそれらの関係を示したものが，第 4 図である。(8) によれば λ は定数であるのでこの関係は直線となるはずである。また $D=1$ とすれば $T_D/T_1=1$ となることから座標 (1, 1) の点を通ることは必要条件である。図中 6 ケの白丸は洞爺湖温泉市街の東寄り部分，西丸山沿いの地域にある穿井で，仮りにこれらを **A** 地区とし，また 5 ケの黒丸は同市街の中央部から西寄りにかけての地域にあり，これらを **B** 地区とする。第 5 図では破線によりそれらの境界を示した。**A** 地区，**B** 地区それぞれ別々に (1, 1) を通る直線を決めると，第 4 図の様に 2 本の直線を得る。それらの勾配，即ち $\lambda/(1+\lambda)$ から λ を決定すると，**A, B** はそれぞれ 3.0, 1.5 (単位は 1/m) となる。放熱係数は地表面付近の地質，地形，日射，風などによってさまざまな値をとるが，福富[13] は 1 m 深地温と 1 m 深における地温勾配とから北海道の各温泉地で λ の値を推算しており，それによると 3〜33 の広い範囲にわたっている。また，湯原[14] はボーリング資料から別府において 0.15 を，藤木[15] らは恵山北麓水無地区において 2.5〜3 を得ている。

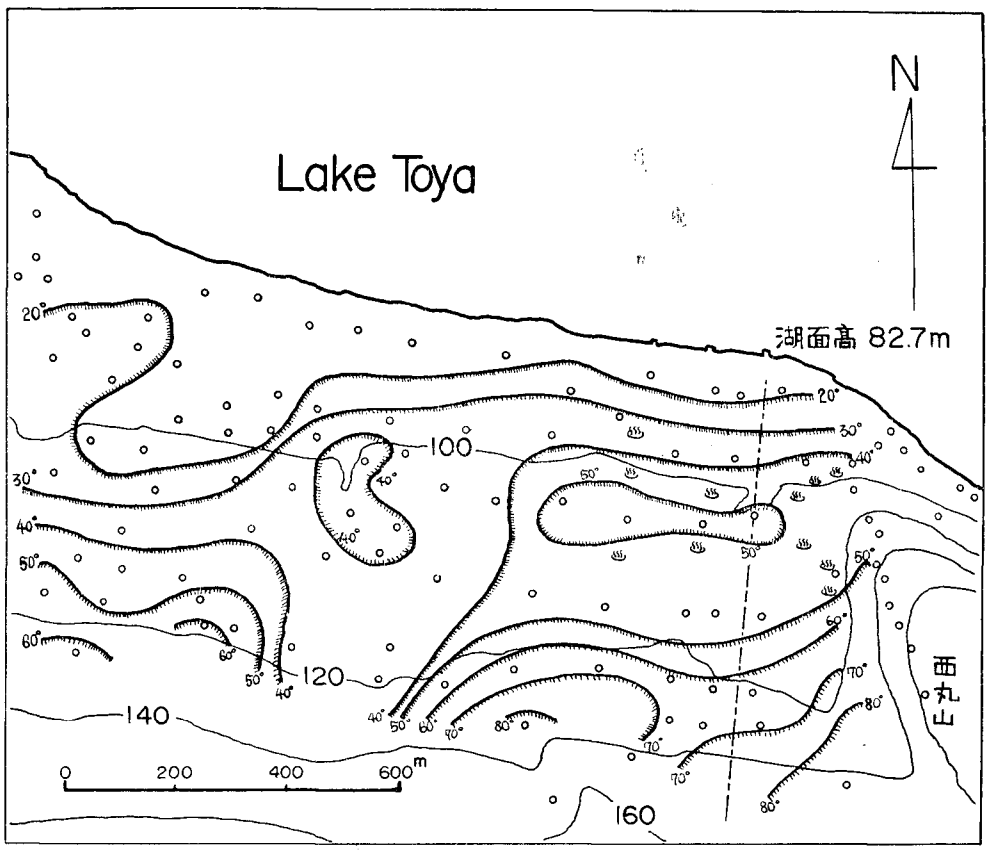
VII. 計算による地下泉温分布

第 VI 章で得られた λ の値 3.0 及び 1.5 をそれぞれ **A** 地区，**B** 地区の放熱係数として 110 ケ所の地温測点について (8) により T_D を計算した。求めた T_D に年平均気温 7.2°C を加えたものが実際の泉温であり，これらを第 2 図と同じ地図上で水平分布を示したのが第 5 図である。

これによるとまず大体の傾向としては，湖岸では低く 20°C 以下であるのに対して山の手に行く程温度が高くなっており，特に西丸山沿いではかなり高く 80°C 以上を示している。注目すべきことは，高温部が西部，中央部，東部の 3 つあり，それぞれが第 1 図の爆発火口つまり金比羅山の西側，東側，西丸山上の 3 つに対応していると考えられることである。福富[16] らは，洞爺湖温泉は金比羅山火口列および西丸山火口列に関係ある地下の割目から湧出している岩漿水系の温泉であり，そして割目から遠ざかり湖岸に近づくにつれて次第に湖の水と混合している被圧層状泉的性質を持っている，と推定している。筆者の得た泉温分布図は以上の推定をある程度定量的に裏づけているのではないかと考える。

---

13) 前出 9)
14) 前出 1)
15) 藤木忠美・和田昭夫・小林大二；恵山火山北麓の調査，北海道大学地球物理学研究報告，**14** (昭和 40 年), 7.
16) 前出 5)



第5図 計算によって得られた地下泉温分布
破線はA地区，B地区の境界を示す。

Fig. 5. The estimated horizontal distribution of temperature at the surface of the underground heat source, at Toya-ko spa. The broken line is the boundary between A region and B.

VIII. あとがき

昭和31年8月に行なわれた洞爺湖温泉調査の資料を用いて，地下泉源温度を推定しその分布図を作成した。参考のために，11の穿井について実測した泉温と計算によって得られた泉温との関係を第6図に示した。このグラフからこれらの穿井については，実測値と計算値とがどの程度一致しているかが分るが，穿井から離れた地域や山の手の方では，主に以下の3つの原因によって計算値にはかなりの誤差が考えられる。

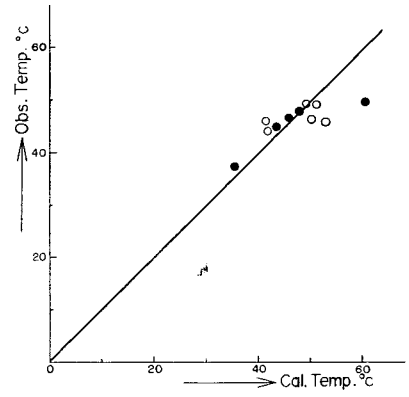
1. **A, B** 2地区に分けて λ を決定したが，泉温の測定された穿井が数少いため，果してその λ が各地区内での放熱係数を代表しているかと言うこと。

2. 1m深地温に及ぼす斜面の影響を無視したこと。

3. 温泉層上面を湖面と同高な水平面と仮定したこと。

以上が計算結果にどの程度影響するか筆者は吟味していないが，このことは将来の問題としたい。

地下構造が良く知られており，それを簡単なモデルに仮定できる地域では，この方法によって温泉地の地下熱源の温度等を推定することは近似的には可能であると考える。筆者はその一つの試みとして洞爺湖温泉において行ないここに報告したが，皆様の御批判を乞いたい次第である。



第6図 実測による地下泉温と計算によるものとの関係

Fig. 6. Relation between observed temperature of hot springs and calculated one.

おわりに，本研究を行なうにあたり終始御指導いただいた福富孝治教授，また適切なる御助言をいただいた石川俊夫教授，藤木忠美助教授，須川明助手，中尾欣四郎助手，並びに陸水学教室の先輩諸兄に厚く感謝致します。

5. Estimated Temperature Distribution of Heat Source at Toya-ko Hot Springs

By Renji NARUSE
(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

The writer tried to presume the horizontal distribution of temperature at the surface of the underground heat source from that of the 1 m-depth ground temperature at Toya-ko hot springs, where the underground structure is simple and well known.

Toya-ko spa, being in south-western part of Lake Toya, is situated on the gradually inclined slope at the north foot of Usu volcano. In 1910, the activity of Usu volcano occurred and then 45 explosion craters were formed along the north side of Usu volcano, as shown in Fig. 1. After that activity, the first hot spring was brought into existence at the lake coast, and now more than 15 wells are on the slope near the coast. The temperature of these hot springs and the 1 m-depth ground temperature were measured by Fukutomi, Ishikawa and others at Toya-ko spa, in 1956 (Fig. 2).

We get (8) from the fundamental equation of heat conduction, where T_D is the temperature of the heat source, T_1 is the 1 m-depth ground temperature, D is the depth of the heat source, and λ is constant ($\lambda=h/k$; k is the thermal conductivity, h is so called coefficient of heat transfer between a ground surface and air). At eleven wells, the writer got $\lambda=3.0$ in A region and 1.5 in B by putting the value of T_D, T_1 and D into (8), (Fig. 4). And then at every measuring point of the 1 m-depth ground temperature, the

value of T_D was calculated from (8), as the values of T_1, D and λ were known. The horizontal distribution of T_D is shown in Fig. 5. From this figure, it is noticeable that the temperature of the underground heat source indicates higher value in the area at the foot of Konpira-yama and Nishi-maruyama than that on the coast side. It may be attributed to the fact that the original hot water may rise from cracks which are considered to be under the explosion craters, and flow toward the lake mixing with percolated lake water through an aquifer which is regarded as the underground heat source in this district.