

13. 南海地震に伴う道後温泉の変化

地震研究所

刀 武 常 次

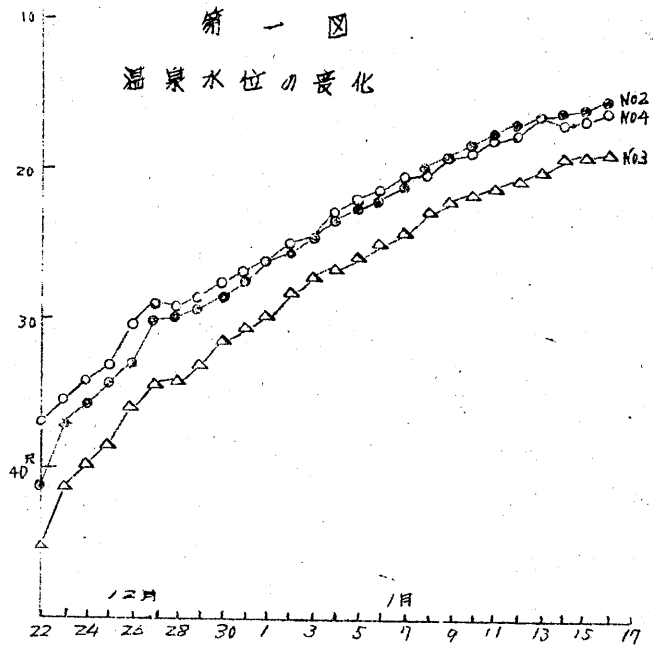
(昭和22年2月18日発表 — 昭和22年2月28日受理)

破壊的地震に伴う温泉に異常があることかしばしばあるか。今回の南海地震に際しても愛媛県の道後温泉の湧出がとまった。同温泉は花崗岩の裂目より噴出してゐる天然の湧出口及びボーリングによる三つの湧出口を有し、ボーリングの深さは200m以上に達してゐる。

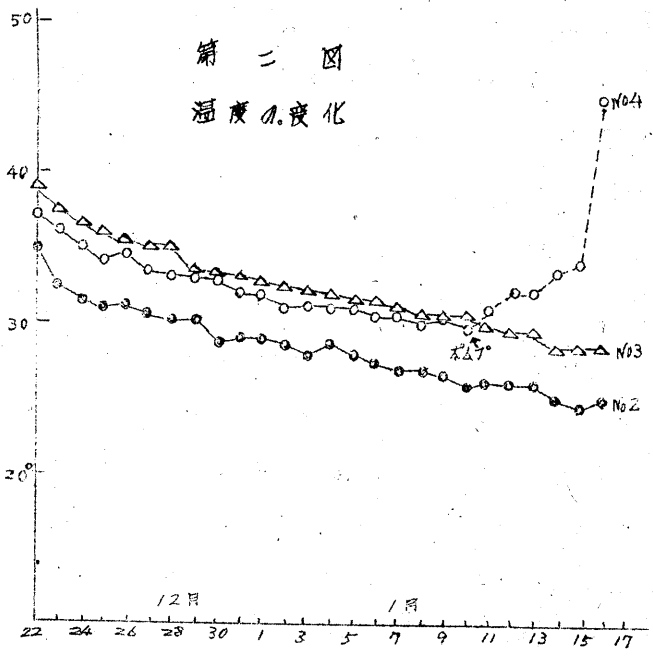
地震前はこれらの湧出口から、地表に43～49℃の温泉を湧出してゐたのか。地震動と同時に湧出が停止し、附近の井戸も涸渇したとのことである。史料によると、天武、慶長、宝永及び安政等の大地震に際しても湧出が停止したことが報じられてゐる。回復にはいづれも数ヶ月を要したらしい。

今回の地震後12月22日より温泉事務所の人々によつて孔口調査及び水位、温度の測定が爲されてゐる。孔口調査の結果は概ね異常なく、毎日午後3時に行はれてゐる測定によれば水位は徐々に上昇し、表面の温度は徐々に低下してゐる。1月16日迄の測定結果は第一図及び第二図に示してある如く、三つともほぼ平行に變化してゐる。1月11日以降ボムプに依り湧出口No.4に於て汲出しを行つた結果高温の湯がくみ出されつゝある。

第一図
温泉水位の变化



第二図
温度の变化



次は之のや
 うな水位及温
 度の变化を起
 す機構はつり
 て理論的に考
 察してみよう。
 よく知られ
 てゐるやうに
 温泉は地下
 深所から湧出
 する高温の地
 水が地表に
 出て流れる浅
 層と混合し
 てゐるものと
 考へられるが
 地震動によ
 り湧出口近く
 の浅層水の流
 入路が一時的
 に閉塞したと
 すると水位は
 ほぼ地水の水
 準に止まり急
 速に減少し、
 流路が回復す

ると再び増加するものと考えられる。この増加の様子をしらべる爲に流路として一次元のモデルをとり、流速に比例した抵抗をうけるものとするならば運動方程式は次のようになる。

$$\frac{Du}{Dt} = -\frac{1}{P} \frac{\partial p}{\partial x} - ku \quad (1)$$

非圧縮性として連続の式は

$$\frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

であるから、(1)は

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{P} \frac{\partial p}{\partial x} - ku \quad (3)$$

x で両辺を微分して

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = 0$$

故に $P = A + Bx$ (4)

P は時間には無関係とする。

従つて (3) は $\frac{du}{dt} = -\frac{B}{P} - ku$ (5)

(5) を解いて

$$u = a + be^{-kt} \quad (6)$$

なる形の解を得る

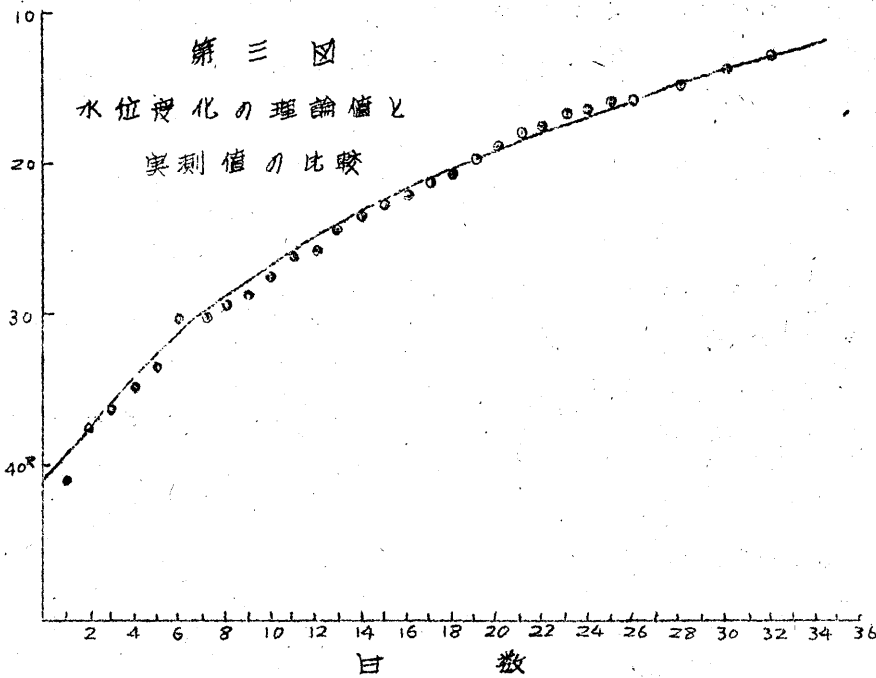
地表より水面迄の深さを h とすれば、ボーリング孔に流入する水路の有効面積を K として

$$\begin{aligned} h &= h_0 - K \int_0^t (a + be^{-kt}) dt \\ &= h_0 - at + be^{-kt} \end{aligned} \quad (7)$$

となる。ボーリング孔 No 2 の測定値より (7) の係数を定めると、尺を単位として、

$$h = 27.3 - 0.47x + 13.8e^{-0.127x} \quad (7')$$

但し x は温泉停止後の日数である、第三図に示すやうに理論式より求めた値と測定値とはかなりよく一致してゐる。



このやうな簡単なモデル的考察からわかるやうに、温泉の本質である地水水位変化なく浅い地下水の流路に一時的に異状を呈しただけとして、水位の変化状況を説明出来る。

次にこのやうな考へ方によつて水温の変化状況が説明出来るか否か調べよう。

地下の浅所に於て温度 θ_1 の温泉と気温 θ_0 と大差のない温度 $\kappa\theta_0$ ($\kappa \approx 1$) を有する地下水が容量比 R で混合し、温度が θ になつたとすれば

$$\theta = \frac{\theta_1}{1 + \frac{C_u \rho_u R}{C_A \rho_A}} + \frac{\frac{C_u \rho_u}{C_A \rho_A} \kappa \theta_0}{1 + \frac{C_u \rho_u R}{C_A \rho_A}} \quad (8)$$

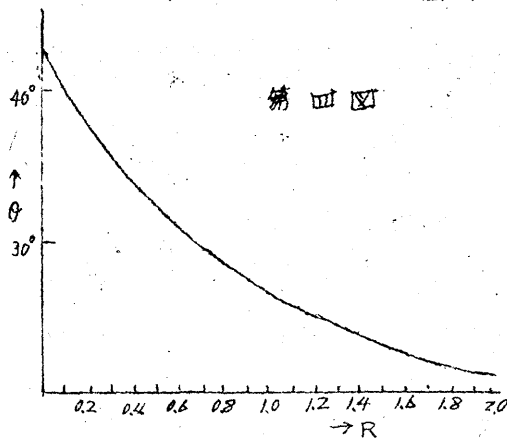
但し C_A , C_u は夫々温泉及び地下水の比熱 ρ_A , ρ_u は夫々温泉及び地下水の密度である。近似的に $C_A \approx C_u$, $\rho_A \approx \rho_u$ として、

$$\theta = \frac{\theta_1 + R \kappa \theta_0}{1 + R} \quad (9)$$

例えば水の温度を 43°C 、地下水の温度を $\kappa\theta_0 = 10^\circ\text{C}$ とすれば θ と R との間には第四図の如き関係があることとなる。例えば水の一定量に水位の増加に比例する容量の地下水が混入するものと考へて

$$R = M(\theta - \theta_0) \quad (10)$$

とし、測定値 θ から第四図の曲線より R を求め水位の

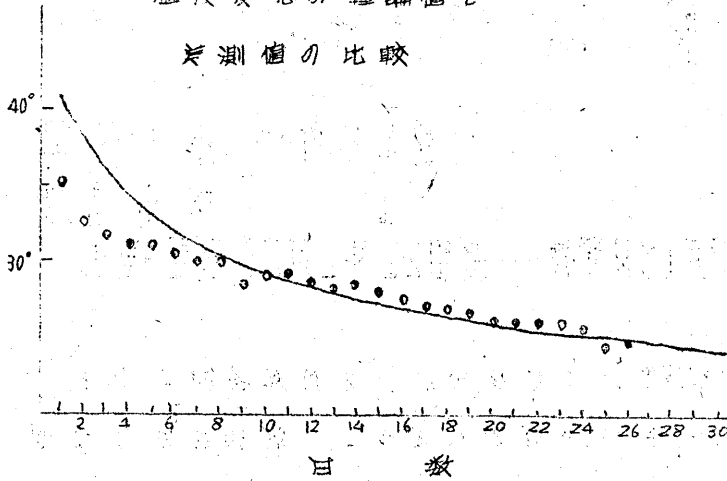


測定値と組合せて M を決定するとボーリング孔 No. 2 について

$$M = -0.0715$$

を得る。この値を用ひて理論的に出した値と実測値をくらべたのが第五図であるが、温度

第 5 図
温度変化の理論値と
実測値の比較



変化の大き
き推察
は説明出
来るやう
に思はれ
る。

従つて
今回の地
震に伴ふ
道後温泉
の異状は
温泉源に

は異状なく浅い地下水の流路が地震に際して異状を来
したといふことだけで、水位及び水温の变化状況を
一應説明することか出来る。附近の井戸が潤いたとい
ふ事案からも地下水に異状を来したことは明かである
から、この考へ方は大体妥当であらう。従つて温泉は
(7)式より推定するに二三个月後には再び湧出を開始
するものと考へられる。

終りに種々の資料をいただいた、道後温泉事務所長
藤崎権衛氏に厚く感謝する次第である。