

別府市宮地嶽神社温泉井の水位及び 泉温の變化に就いて*

理 學 士 瀬 野 錦 藏

1. 緒 言

別府市に於ける温泉は既に屢々紹介せられた如く、多くは掘抜井であるが舊市街の西部の一部には、所謂「田ノ湯温泉脈」の最西部に於て普通の掘井戸状態である温泉井が少數散在してゐる。これは即ち該温泉脈が最上層の地下水にまで高温水を供給してゐるもので、この邊一帯に高温水が浅く流動してゐるものである。⁽¹⁾その代表として宮地嶽神社境内にある温泉井 (No. 971) が選ばれて京大別府研究所開設以來故志田博士、次いで野滿博士の指揮下に一日一回定時にその水位(地表の標準點から水面までの垂直距離)と泉温との觀測が繼續されて既に滿十五年を經過してゐる。この記録を借用して一・二の考察を試みたい。

この温泉は底より徑 71 c.m. の焼物狀の圓筒をつみ重ねて地上 40 c.m. まで至る。この上端が標準點となる。底では若干の高さまではこの圓筒なくその邊は緻密な地層(赤味を帯びた細砂)で掘る

のに困難を感じたといふ。この温泉井は家屋内にあつて、平生使ひ水に用ひ、降雨は勿論直上よりは流入しない。

水位は錘を絹紐にて下げ水面に届いた時の標準點までの長さを測るからその誤差も小さくはないが、測定前に水を汲上げたりすることが影響を及ぼす事もある。いづれにしてもこれ等は 5 c.m. 以下の變動である。泉測測定は最初は鈍感寒暖計、後には留點寒暖計を用いた。その精度は高いとは言へないが泉温變化は大きいから差支へはない。

第1表 No.971 諸要素

海岸よりの距離	1.09km
觀測標準點	(海拔) 32.75m
平均水位(15年間)	(海拔) 25.87m
平均泉温(15年間)	41°.06C
水位年變化範圍	1.90m
水位經年變化範圍	2.05m

* 本論文の要旨は昭和十四年四月京都に於て日本數學物理學會年會に於て發表した。
(1) 瀬野「別府附近温泉若干の電導度年變化に就いて」本誌第2巻第4號 359 頁。

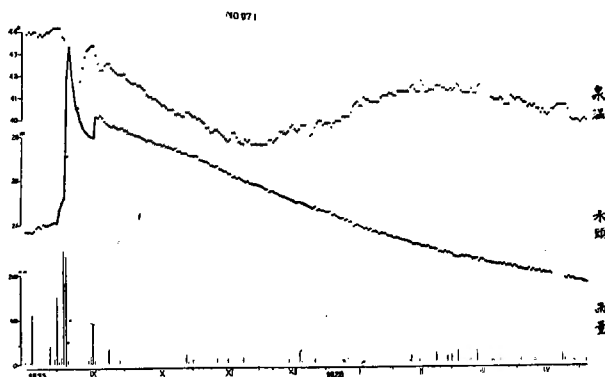
2. 水位の變化

(a) 降雨による水位變化, この温泉井の水位は潮汐の影響をも受けてゐるであらうが, その程度は極く僅かであらうと思はれる。土生片樟氏の測定によると, 温泉 No. 695⁽²⁾ (海岸より約 700m) の水位變化は潮汐によるものは 2c.m. 以下であつた。これは掘抜温泉である事から考へても No. 971 温泉井の潮汐による變化は一層少い事は疑ひを入れぬ。一日一回の實測の結果もこの影響は表はれて居らぬ。

氣壓の影響に就いても明でない, それは氣壓の變動の大きいときは多く降雨を伴つてゐるの爲にもやう。これ等微變動に就いては後の研究に期したいと思ふ。

扱, 水位變化の状況を見るとその變化は殆んど降雨によつて左右されてゐる。その變化状況は複雑であるが大別して次の型に分類出来る。

第 1 圖 No.971 温泉井水位變化(1)

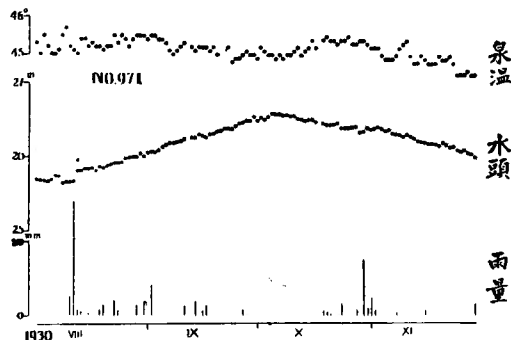


(1) 小雨の連續による水位の緩慢上昇〔例—1932 III-X, 1936 IV-V, その他例は多い〕

(2) 大雨による水位の急激上昇〔1925 IX (第 1 圖) 1936 IX (第 4 圖) 1935 VII (第 4 圖) 1973 VII (第 3

圖)〕

第 2 圖 No.971 温泉井水位變化(2)



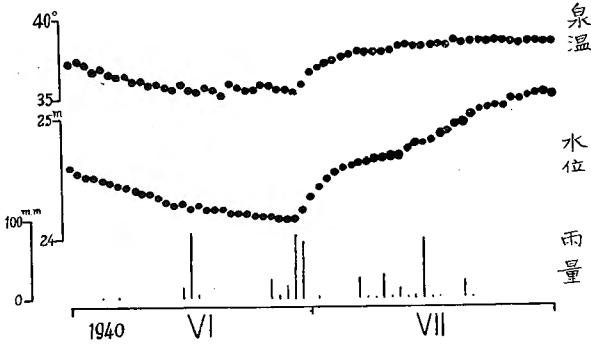
(3) 先行降雨の状況如何による水位の上昇異例〔例—1930 VIII (第 2 圖) 1940. VI (第 3 圖)〕

(4) 水位の自然低降〔例—1925 IX 以降 (第 1 圖) その他例は多い

上述の型の内(2)に屬するものに於ても前二例は不連続的に上昇後, 水位は自

(2) 未發表

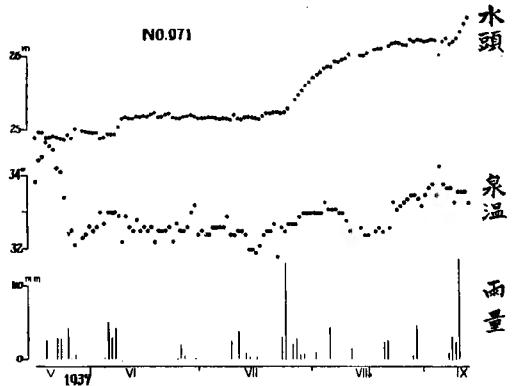
第3圖 No.971 温泉井水位變化(3)



然低下する一方の場合と、後二例の如く急激上昇とは言へ上昇に數日を要し、その後漸次と上昇する場合とがある。之は(3)の場合と同じく先行せる降雨の状況によつて差を生ずるものの様である。(3)の場合の例に於いては〔1935

IX24〕(第5圖)の場合と比較して雨量には大差がないのにも拘らず、前者は水位の緩慢上昇、後者はその急激上昇を來たしてゐる。これは前者の場合は先行降雨少く、後者の場合はそれが多し事に原因するのではないかと思ふ。第3圖に示す例は VI.16 前後約 100 m.m. の降雨は、水位に殆んど影響を與へてゐない。上述の同じ原因に

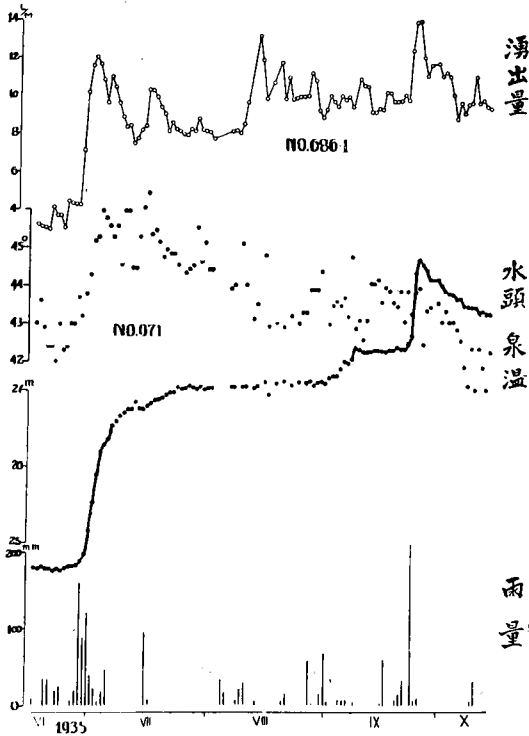
第4圖 No.971 温泉井水位變化(4)



よるものであらう。即ち同じ降雨でも先行の降雨がを地の含水量に影響してその爲に效果異にするものであらう。雨の影響がこの温泉井の水位と掘抜温泉の湧出量とに如何に異なるかを第5圖に示す。1935 IX に於ける場合は兩者の變化は略々似てゐるが VI-VII 月に於ける状況は少々その趣を異にする。温泉 No.686.1 の湧出量の變化は降雨によつて、急激に増加するものと緩慢に増加するものと二種ある事は既に詳解したところである。この温泉井の水位變化に就いては次の如く考へられる。前述の如くこの附近は「田ノ湯温泉脈」の西部にあたるが、之は地盤の龜裂などにより高温水の溢流せるものと見るならば、降雨などにより、水壓として温泉水壓が増加すれば溢流高温水量は増加するが水位を上昇せしめるには面積的に分布されるから水位上昇が遅れる。降雨それ自身が滲透によつて水位を上昇せしめるにしても遅れは生ずる。1935 VII. の水位の上昇に伴ひ水温の上昇してゐる

(3) 瀬野・山下「別府温泉2湧出口の降雨短期效果」本誌第2巻第2號132頁。

第5圖 No.971 温泉井水位變北と
No.861の湧出量變化(5)



ことは高温溢流水の増加ともあらうし、又降雨の滲透によつて未だ降雨の混入してゐない高温水が出て來たとも考へられる。1935 IX に於ける水位の急昇によつて水温は上昇せず
に降下してゐるのは前述の如く先行降雨によつて地温の冷却せられてゐるところに新降雨が來たと考へられるから、之には深處よりの溢流水に優つて降雨の混入が甚しい。と考へられる。

降雨なきときは水位は次第に低下する。これは流去する水量に對して供給が少い時であつて、低下率は水位高きほど大であり低きほど小であらう事は考へられる。實際の記録で

は降雨影響がある爲複雑であるが、第1圖などは之を暗示するに足ると思はれる。

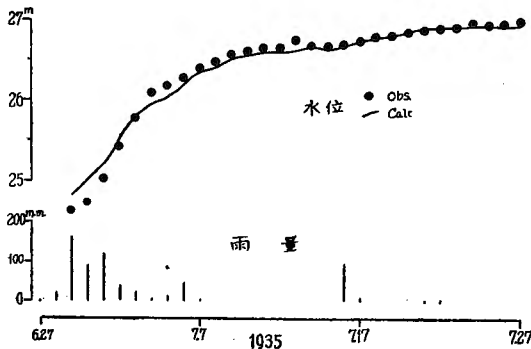
降雨が如何に水位に影響するかは種々なる型を一律に數量的に計算する事は困難である一、二例の簡單な場合を考へて見るに水位の上昇を指數函數的に増加するものとし、低下率も指數函數的であるが今簡單に一定率で低下するとして次の二例の計算式を得た。第6,7圖にて比較する。

$$(I) \quad [1935.VI.29-VII.27] \quad H = H_{VI.29} - 0.012t(H_m - 2379) + 4.453 \sum R \{1 - e^{-0.256(t-\tau-1)}\} + 5.455 \sum R' \{1 - e^{-0.164(t-\tau-1)}\} \quad (1)$$

$$(II) \quad [1939.VII.22-VIII.23] \quad H = H_{VII.22} - 0.012t(H_m - 23.79) + 4.32R_1 \{1 - e^{0.142(t-1)}\} + 4.32R_2 \{1 - e^{-0.119(t-\tau-1)}\} \quad (2)$$

式中 H は水位、 H_m は計算區間中の平均水位であつて、23.79 は次に述べる降雨なき場合の推定水位である。(1)式中の R は前半の降雨群、 R' は後半の降雨群を示す。 τ はそれぞれ日々の降雨に對應する初日からの日數を示す。 t の單位は日、水位、雨量の單位

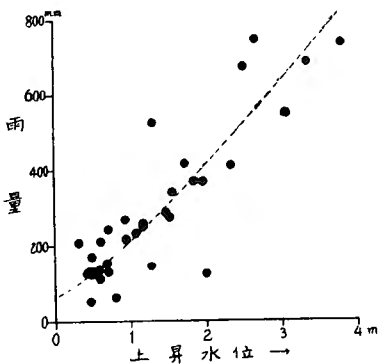
第6圖 水位上昇の推定例(1)



での降雨は無効になる場合があると見られる。之は地表近くの地層にたゞ濕り氣を與へる程度である場合なのであらう。

次に一群の降雨が水位を上昇せしめる狀況をみるとその雨の降り方によつて水位の極大の遅れを異にする。即ち大雨ほど極大は早く、小雨

第8圖 No.971 水位上昇量と雨量との關係



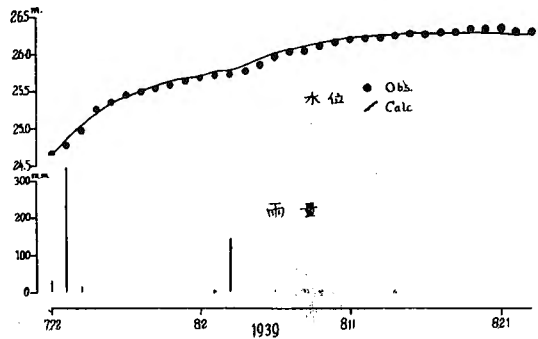
泉湧出量は降雨と同じ月に最大となるに對し、No.971 水位は一ヶ月遅れて最大となる。

温泉湧出量の年變化に對しては野滿博士は、湧出量 F 、雨量 N との間に次の如き關係が

は米である。

一般に降雨量と、水位の上昇量との關係は第8圖の如くなる。降雨は數日に渉るから之を一群として分離するにも選擇者の主觀が入つて來て困難であるが、その結果から言へば略々直線的であり、上昇水位の零は雨量の零とは對應せず、ある程度ま

第7圖 水位上昇の推定例(2)



ほど遅く來る。之を對應せしめるのに一群の降雨量をその日數で除して得た平均日雨量と、極大までの日數とを對應せしめて第9圖の如くなる。

第8圖に於ける上昇水位量は この遅れによる水位低下の補正は施してある。

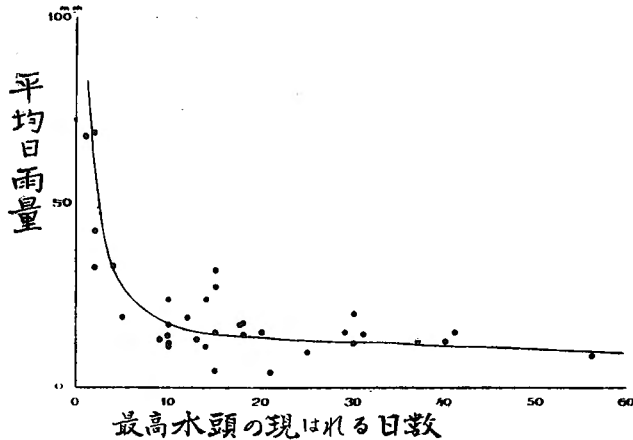
(b) 水位年變化、次に水位年變化に就いて考へてみる。第10圖によつて水位の年變化を見ると降雨の影響は明かに後れてゐる。別府温泉の湧出量年變化と比較すると一層明瞭である。即ち温

(4) 野滿、池田、瀬野「別府温泉湧養源としての雨量」本誌第2巻第2號97頁。

別府市宮地嶽神社温泉井の水位及び泉温の變化に就いて

成立するとして説明された。

第9圖 水位上昇と雨量との關係



$$F = F_0 e^{-\alpha t} + \int \alpha N e^{-\alpha(t-\tau)} d\tau \quad (2)$$

或は

$$\frac{dF}{dt} = -\alpha F + \alpha N \quad (2)$$

即ち或月の湧出量は前月の湧出量より指數函

第2表 湧出量水位比較

數的に自然低下量だけ減じ、その月の雨量に對する相當量だけ増加するといふ假定による。然るに今考へてゐる No. 971 温泉井の水位は、當月の雨量のみならず先月乃至先々月の降雨も初

	降 雨 量	別府温泉湧出量	No.971水位
最 高 月	9 月	9 月	10月
最 低 月	1 月	4 月	6 月

めて水位に影響してゐると考へなければならぬ。そこで今三ヶ月前まで考慮に入れて(2)に相當する微分形として

$$\frac{dH}{dt} = -\alpha(H - H_L) + \alpha N_0 + \beta N_1 + \gamma N_2 + \delta N_3 \quad (3)$$

或は積分して

$$H = (H - H_L) e^{-\alpha t} + \int (\alpha N_0 + \beta N_1 + \gamma N_2 + \delta N_3) e^{-\alpha(t-\tau)} d\tau \quad (4)$$

式中 H_L は降雨が全然なくて保ち得る水

第3表 降 雨 係 數

位で、 N の Suffix は當月より過去へ起算した月數を示す。(3)式を12ヶ月に適用

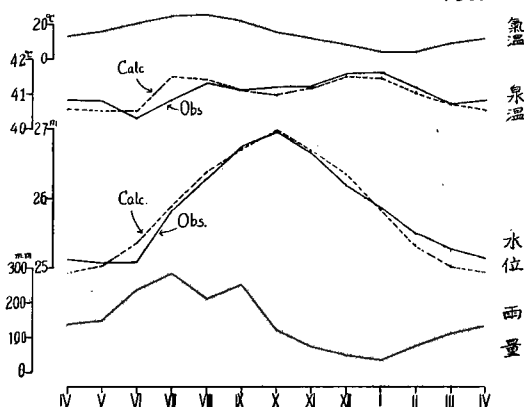
	H_L	γ	α	β	γ	δ
	M 23.79	一ヶ月 0.36	0.84	3.14	0.85	1.54
I $\alpha + \beta + \gamma + \delta$			0.13	0.50	0.13	0.24

出来るものとして最小自乗法により係數

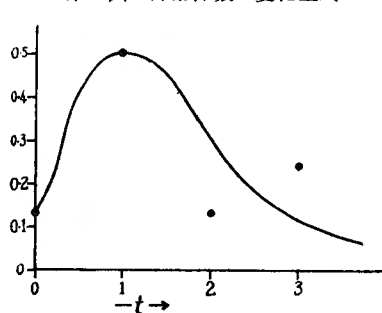
を決定すれば第3表の如くなる。結果を見ると γ, δ は逆であるべき様に思はれる。係數變化は第11圖の如くなるべきと思はれるが、地下に滲透して流下する實狀は簡單には行かないのであらう。兎も角もかくして求めた係數より計算したものと觀測したものとの比較は第10圖の如くなる。

(c) 水位經年變化、15ヶ年間に於ける水位の變化は第12圖に見らるゝ如く降雨量の變化と並行してゐる。1927, 1929, 1933, 1934 の水位を見ると、降雨は翌年へも影響してゐるやうに見られる。水位と雨量の相關に就いて年變化の場合と同じ方法によつて最小自乗法

第10圖 No.971 温泉井の水位水温及雨量の年變化



第11圖 降雨係數の變化型式



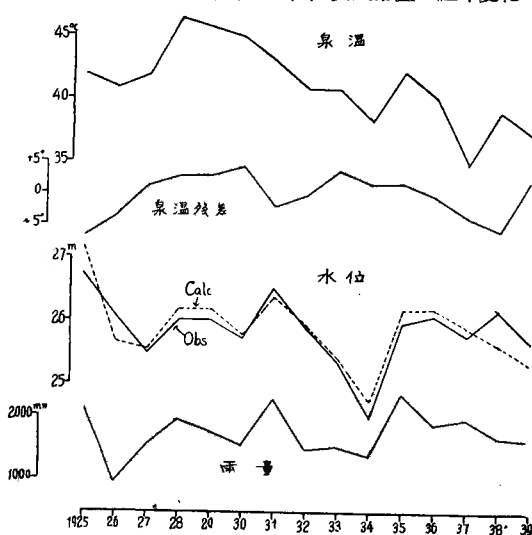
によつて求めた係數は經年變化を充分説明する事にならない。そこで年變化とは考を別に、或年の水位 H_n はその年の雨量 N_n と前年の N_{n-1} に關するものとし、之に經年水位の一方向的低下を考へに入れゝば

$$H_n = 1.10N_n + 0.65N_{n-1} - 0.06$$

$$(-1) + 23.421 \quad (5)$$

となり第12圖に點線を以て示したものでほぼ實測に對應する様に思

第12圖 No.971 温泉井の水位温度及雨量の經年變化



はれる。(1)乃至(2)式と(4)と(5)とはそれぞれ短期變化、年變化、經年變化を説明す

るものであつてそれぞれ異つてゐるのは統計によつて生ずるものか、期間の如何によつて雨の影響にも差が出来るのではあるまいか。例へば無效果な降雨もその時間的分布により有効となる場合があり、これらは年統計では同一視されてゐる如きである。

3. 處女水量比の推定の一方法

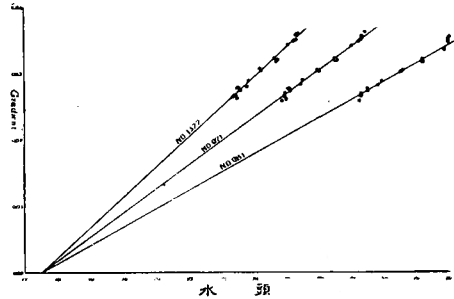
温泉井 No. 971 附近に於ける少數であるが温泉井の水位は電導度を調査する場合に測定した値があるのでこの附近の温泉水面の勾配を求むる事が出来る。この勾配と各水位とは一次的關係のあることは第13圖に示す如くである。勾配無し水位は各水位が同一水面になるときであつて之は同圖より

$$L_0 = 17.^m44 \quad (\text{海拔}) \quad (6)$$

この水位では温泉水が湧出せぬこととなるのであるからこの値と No. 971 の平均水位 $H_{10} = 25.^m87$ (第1表) と降雨なき場合に保ち得る水面 $H_L = 23.^m79$ (第3表) によつて處女水量と降雨水の混合比を次の如く推定する事が出来る。

$$\text{循環水量 : 處女水量} = 30.4 : 69.6$$

第13圖 水位と水面勾配との關係



(7)

之はさきに野滿博士⁽⁵⁾によつて求められた別府市内全温泉の湧出量中の兩者の比 44.9 : 55.1 と異なるけれども、No. 971 温泉井が別府温泉の殆んど總てより高い水位であり之より東行するに従ひ地下水の混合も認められるのであるから前者の比の小さい事は寧ろ合理的であるかも知れぬ。

4. 泉 温 の 變 化

(a) 泉温の變化狀況 : 泉温變化を見ると可なり複雑であるが之等を原因より分類すれば次の如く大別出来る。

(1) 大雨によつて滲透混入早く數日中に泉温の低下が水位の上昇と殆んど同時の場合

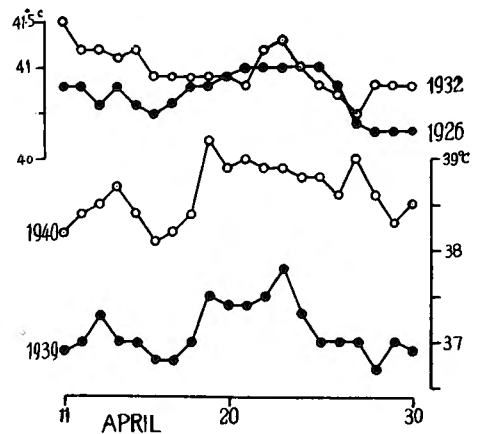
(5) 既出(4)

(第1圖 IX 月初)

- (2) 雨水の漸次滲透して混合し泉温が漸次降下する場合(第1圖, 第5圖)
- (3) 冷雨水の混入が漸次減少して泉温が回復上昇する場合(第1圖 XII 月以後)
- (4) 降雨により水位の上昇を來たし泉温は反つて上昇する場合。(1932. VII, 1935. VII, 1929 VI.) 之は高温水の溢流の増加によるか, 又は滲透雨水が高温地層通過によつて可なり温められて來て泉温を降下せしめず温泉に混入し反つて急激に水位が上昇するため, 泉温の上昇を來す場合もあらう。
- (5) 水位の低下に伴ふ泉温の低下(第1圖 III 月以降)之は高温水湧出の減少か, 又は温泉井が直径 71 cm の圓形で大氣に接してゐる爲その水面からの熱の輻射, 傳導による量の大きいことも考へられる。
- (6) 降雨, 水位の如何に關せず變化する場合, 即供給泉源の水路の變動などである。
- (7) 人工的汲上げの影響(第14圖) これは四月21.22日前後は當社祭日である爲使水が特に著しい。この爲の水位低下は目立たないが泉温には新入水の多い結果稍高温となる。

第14圖 No.971 温泉井の温度變化

- (8) 原因不明の泉温變化
上例に就いては該温泉井の電導度を併せて研究した際の變化狀況は之等とすべて調和する様に考へられる。
- 上掲(7)に於ける人工的な汲出の影響があるならば平素使用せる水量も泉温には影響がある譯である。使用者によると1日約ベケツ(約10 l 入)に10杯ほど汲出すさうであるが, この爲新陳代謝する水は水位にし



- て約 50 c.m となり, 平均水深 1.8 m に對しては可なりの影響があらうと考へられる。No.13 22 温泉井の枯渴により井を掘り増したときの泉温の上昇もこの理由によると考へられる。
- (b) 泉温の年變化: 第9圖によつて泉温の年變化を見ると氣温の影響は先づないと考

(6) 既出(1)

(7) 瀬野「別府市街地に於ける冷水頭分布」本誌本號 280 頁。

へるのが妥當であらう。そこで泉温變化を水位の上下に伴ふ變化と降雨の滲透による温度の低下を考へる。水位に伴ふ變化は水深に比例すると考へ、水深が大に過ぎれば之は降雨の爲に反つて冷却されると考へ次の如くなる。

$$T = T_0 + C_1 D + f(H) \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{但し} \quad f(H) &= -C_2(H - H_c) & H > H_c \\ &= 0 & H < H_c \end{aligned}$$

かくて常数を定めると、

$$T = 39.30^\circ + 1.232 D - 2.02(H - 26.00) \quad (9)$$

(9) 式によつて得た値を第10圖に實測値と對應せしめて略々その變化狀況を知る事が出来る。

(c) 泉温の經年變化： 前の年變化と同様に水位に比例するものとその上に經年漸降を考へて

$$T = 33.45^\circ + 5.74 D - 0.41(t - 1) \quad (10)$$

(10) 式を觀測値から引いた殘差を第12圖によつて水位と對照して見ると兩者は略々反對の變化をしてゐる。即ち之は水位が高いときは降雨の滲透によるものであつてその爲に泉温は反つて冷却されるといふ考に對應し(9)式右邊の第三項に相應する。

經年低下 0.41° は(5)式による水位經年低下 0.06^m に對應するには大き過ぎる。これらは泉源の變動、即自然的の低下或は人工的の亂掘に伴ふ現象ではあるまいかと虞れる。

5. 要 領

以上を要約すれば水位變化については

- (1) 降雨によつて水位は上昇し雨量とは略一次的關係があるが、雨量のある程度までは水位上昇に無效果である。
- (2) 一群の降雨の日平均量が小さいときは水位の極大の遅れも大きい。
- (3) 降雨の様式により又履歴により水位上昇狀況に相異がある。
- (4) 無降雨が続いて最後の水位は 23.79^m である。水位減衰は之よりの高さに比例する。
- (5) 年變化に就いては降雨の影響は一ヶ月遅れて最も著しい。
- (6) 水位とその勾配には一次的關係がある。

別府市宮地獄神社温泉井の水位及び泉温の變化に就いて

(7) 經年低下は 0.06^{m} 年である。

(8) 循環水量：處女水量＝30.4：69.6

泉温の變化に就いては

(1) 雨水の滲透によつて泉温の低下を來たす。

(2) 水位の昇降は泉温の昇降を來たす場合と反對の場合とがある。

(3) 經年低下は $0^{\circ}.44$ 年である。

終りに種々と御指導を賜る野滿隆治博士に感謝し、長期に渉る觀測員の勞に併せて謝意を表する次第である。