

# 別府附近温泉若干の電導度年變化に就いて\*

理 學 士 瀨 野 錦 藏

## 1. 緒 言

温泉の泉質が變動するかすれば如何様にするか、といふ問題は、その利用方面に就いては暫くおいても、その研究によつて地下温泉流動の状況を推定するには重要な役割をなす。されば本誌本號資料欄にある如く、助手木戸隆氏<sup>(1)</sup>は故志田博士の命により別府温泉三口の化學成分に就いて數年に涉つて毎週一回分析を實行した。既に屢々紹介された如く別府温泉は多く單純泉に屬するを以てその結果より結論を得るには尙後日を期せなければならぬ。次で恩師野滿博士は化學成分に對應する電導度自記計によつて微細に之を研究することにして居られるが、その準備として、どの泉源がかゝる研究に適して居るか否か大凡の性質を見當付ける必要を感じたので、筆者は現在一週一回の湧出量・泉溫の週一回觀測と並行してそれらの電導度の變動を見んとしたものであつて、30口の温泉に就いて20ヶ月間更に温泉井5口、自然湧出1口につき約1年間の研究によつてその概觀を得たから、それを茲に報告する。その内面白さうな數口に就いては順次電導度自記計を据付け更に微細變動の研究をすることになつて居り、其の結果は將來の報告に残さんとするものである。

扱、電導度の測定は湧出量・泉溫の測定と同時に採水せるものを研究所に持歸り、恒溫槽に35°に於て15分間浸し、更にCellの中にて15分保ちて後直ちにその測定を行ふ。その度毎にCell constantを測定して比電導度を求めた。測定値は紙數の都合により湧出量・泉溫と共に次號に掲げることゝした。

## 2. 電 導 度 年 變 化

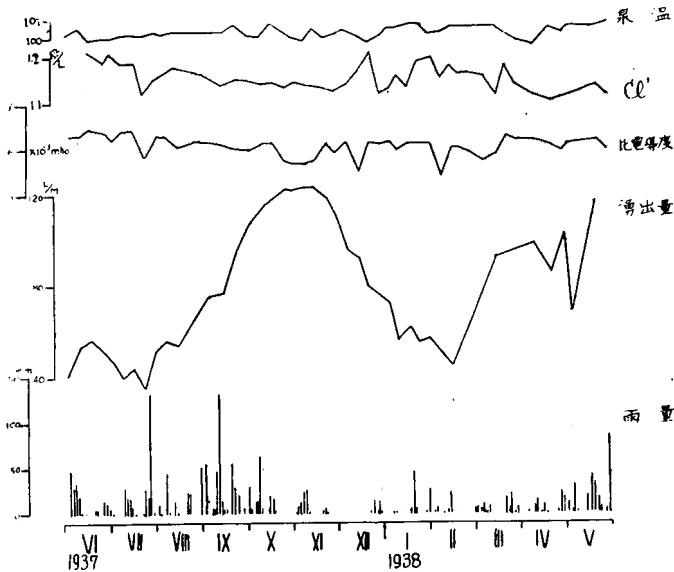
(I) 地獄 別府温泉地帯の北部には所謂「地獄」と稱する大規模の自然湧出が多く散在するが湧出量測定に好都合のものは少い。試みにその内の一口(元かまど地獄と稱せしもの)について三者の觀測を行つた。第1圖にそのグラフを示す。明かに降雨によつて湧出

\* 本論文の要旨は昭和十三年四月東京に於て日本數學物理學會年會に於て發表した。

(1) 別府温泉の化學成分繼續分析表、本誌本號889頁。

量は位相が少しく遅れて激増してゐる。これは湧出量の増大部分が實質的に降雨によつて補給されてゐると見るべきであらう。その増加量より降雨が少くともその $\frac{1}{10}$ 以上であることも推察できる。又泉温は湧出口直上の洞穴内にて測定したものであるが、その變化は $1^{\circ}\text{C}$ 以内に降雨混入の爲の冷却も全然示されない。電導度と共に $\text{Cl}'$ の定量も行つたが兩者共漸減する内に多少の變化を示すが、これがたとひ降雨による影響であるとしても、いづれも $\frac{1}{10}$ 以下であつて、湧出量の3倍に達する増加に對應しないのは、降雨が地下浸透して流動する途中にて温泉としての成分を溶解したと見なければならぬ。即ちこの温泉に就いては處女水として出て來たものもその泉質の成生は可なり淺いところ、即ち降雨が浸透し再び地表に現れる間の3ヶ月ほどでなし得るところと見るべきであらう。

第1圖 元かまど地獄



尚、電導度乃至 $\text{Cl}'$ の漸減はこの温泉々質の經年漸減の一部ではないことは第1表によつて知られる。即ち10年以前より反つて $\text{Cl}'$ が増加してゐる。察するに長年月の内にかなりの泉質變動があつても、その平均値を中心に變動するので一方的に増減はないものらしい。

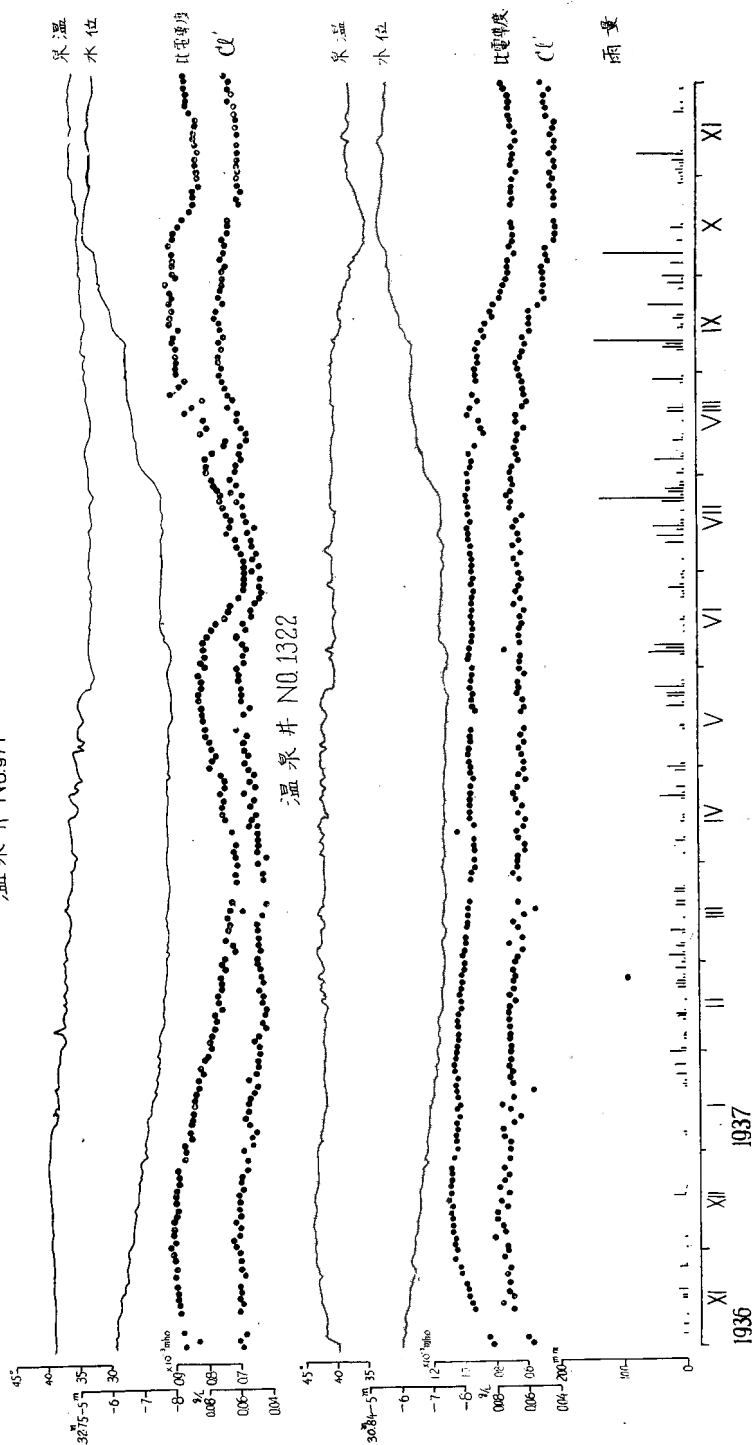
(Ⅱ) 温泉井 No. 971 (宮地獄神社内温泉井)附近に

第1表 クロール量變化

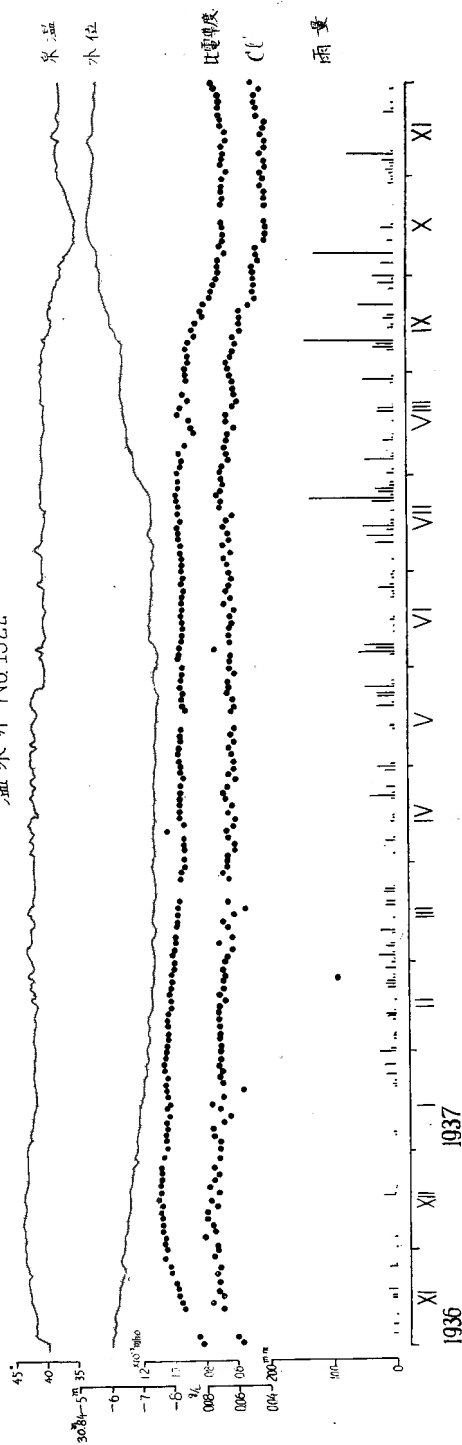
| 温 泉     | $\text{Cl}'$                       | 調査年月 |   |    |
|---------|------------------------------------|------|---|----|
| 元かまど地獄  | $1.097 \frac{\text{gr}}{\text{L}}$ | 1927 | Ⅺ | 1  |
|         | 1.145                              | 1937 | Ⅺ | 1  |
| No. 971 | 0.1066                             | 1927 | Ⅸ | 12 |
|         | 0.0986                             | 1929 | Ⅴ | 7  |
|         | 0.047                              | 1937 | Ⅳ | 1  |
|         | 0.081                              | 1938 | Ⅱ | 1  |

(2) 別府市内温泉分析表：本誌第1巻第1號73頁。

第2圖 温泉井の例  
温泉井 NO.971



温泉井 NO.1322



は温泉井多く地下10m 邊に溫水が一面に流動してゐると推定される。降雨の浸透に際しては水位の上昇と同時に泉溫と電導度の低下が豫想されるが實際は之に反するものもある。下流の No. 981 と No. 1322 は豫想通りであるが、上流の No. 1320 と No. 1321 とは降雨によつて水位の上昇に並行して泉溫・電導度は上昇し、中流の No. 971 は降雨後暫時電導度は低下するが 2~3 ヶ月後は降雨前よりも増加する。泉溫も同様である。泉溫の分布は上流ほど高く電導度も上流ほど大きい。その二口のグラフを第2圖にて示す。

この現象はこれら温泉井が所謂「山ノ湯溫泉脈」延長上であることから説明される。即ち降雨によつて新しく深所より湧出した溫泉水が下流につれて漸次降雨の混入割合の多になると考へればよい。且、その水位増加は降雨量に比して遙かに大きいところより見れば降雨が何れから作用するにせよ相集まつて壓力として(上流部)乃至實質的に(下流部)作用してゐる事も考へられる。No. 971 についてのクロール量に就いて10年前後比較して低減を示してゐる(第1表)。これは木戸氏の化學分析に於ても見られる如く(第3表)全量については經年低減であるとも云へぬ。恐らく各成分の變動即ち泉質の變動を示すものであらう。

### (Ⅲ) 穿掘温泉 電導度變化狀況によつて種々に分類して考へられる。

(A) 泉溫變化との相關：電導度の變化が泉溫變化と並行し又は相反し、湧出量との關係が少いことは最も興味ある結果である。その例を第3・4圖にて示す。泉溫變化が湧出量變化に左右される事は從來屢々紹介されて來たところであるが、その原因は埋沒導管中を上昇の途中に於て冷却されるにあつた<sup>(3)</sup>。しかるに湧出量の變化に全く獨立して泉溫が變化し、之に並行して電導度が變化せる最も著しい例として温泉 No. 634 (第3圖)を掲げる。即ち泉溫變化は夏季極小、冬季極大である。これは別府地下全體として夏季流動大、冬季小であるため、冷却に大小を生じその位相が半年遅れたとも考へられる。この考へでは電導度變化は途中溶解物質の溶解がその溫度によつて差異を生ずることが原因になり得る。又全然別な原因として、低溫な電導度の小さい他の溫泉水が特に雨の影響を受けることが大きく、それが夏季に混入が大、冬季に減少する事も考へられる。

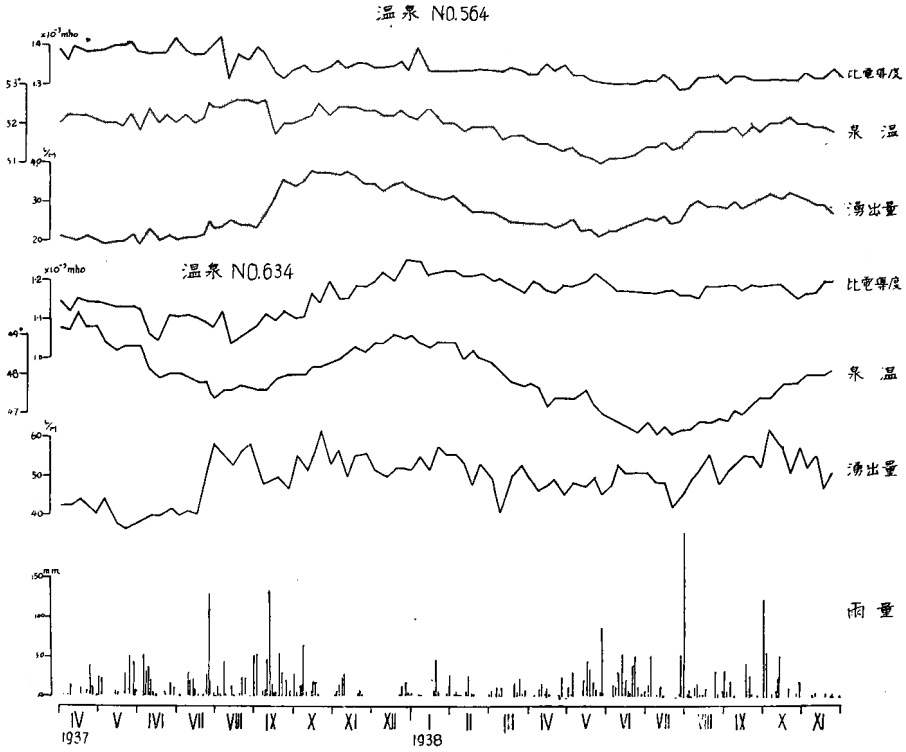
温泉 No. 564 (第3圖)に於ては 1937 年 X 月の大雨に湧出量の激増と共に泉溫・電導

(3) 野滿, 瀨野, 中目: 別府温泉と潮汐: 本誌第2卷第5號1頁。

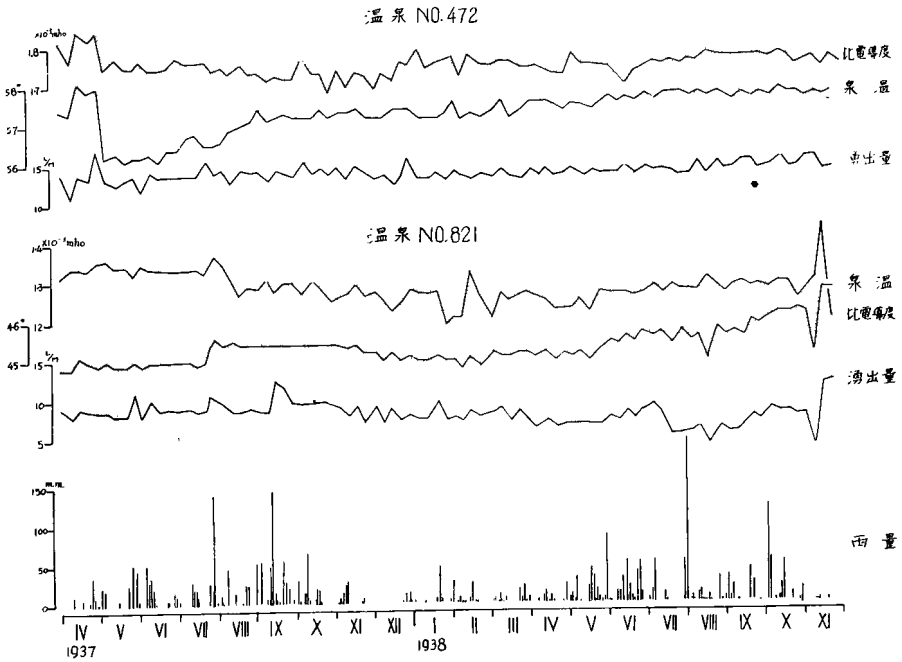
瀨野, 西田: 別府温泉二三の湧出口導管中に於ける溫度分布と途中冷却率: 本誌第2卷第5號32頁。

別府附近温泉若干の電導度年變化に就いて

第3圖 電導度が泉温と相關して變化する例(其一)



第4圖 電導度が泉温と相關して變化する例(其二)



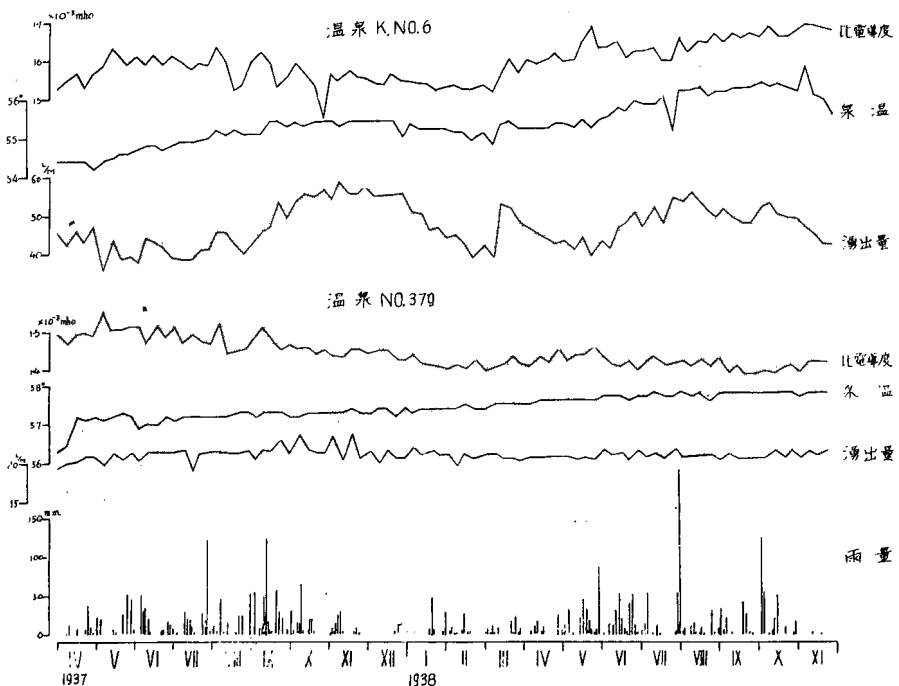
度の急低下を示してゐる。その泉温はやがて回復してゐるが電導度はそのまゝである。これは泉質の變動であつて、温泉水を供給する地層の變動を示すものと見なければならぬ。この事は温泉 No. 821(第4圖)の1937年Ⅲ月の變動に就いても同様である。

温泉 No. 472(第4圖)1937年Ⅳ月に於て泉温・電導度の著しい並行性がある。その原因は明かではないが泉質の變動が湧出量に拘らず行はれてゐる事を示す好例である。

以上の例に於て湧出量が直接與らないことは、温泉 No. 634 の如く穿掘浅く(10m)且温泉脈上にあるため冷却が甚だ僅少であると考へられる場合とも、又供給層が變動しても温泉水壓は何れも殆んど大差なき爲、湧出量に變動を與へぬ場合とも考へられる。

(B) 電導度の漸増漸減：<sup>(4)</sup> 温泉 K. No. 6(第5圖) 温泉 No. 775(圖なし)の如く電導度が次第に大きくなるもの、温泉 No. 379(第5圖)の如く湧出量は殆んど變化なく泉温の漸次増加に従つて電導度が低下するもの、温泉 No. 842 及 No. 414(共に圖なし)の如く泉温に並行して低下するものがあつて觀測中一方的變化をたどるものがある。兩者相關の原因は前述に類似して之を考へることが出來やう。従つて之を以て電導度の經年變

第5圖 電導度の一方的變化



(4) 北部龜川の部に於ける温泉についてしばらく假りに K を附しておく。

化を推定するとも考へられるが、温泉 No. 4 (第6圖) もこの部類であるが、幸ひ3年前の観測があつたので之を第2表に比較して見るに湧出量泉溫の減低にも拘らず經年變化は無いと考へるのが至當であらう。それ故二年間ほどの傾向を以てその減増を定めるは早計であらう。

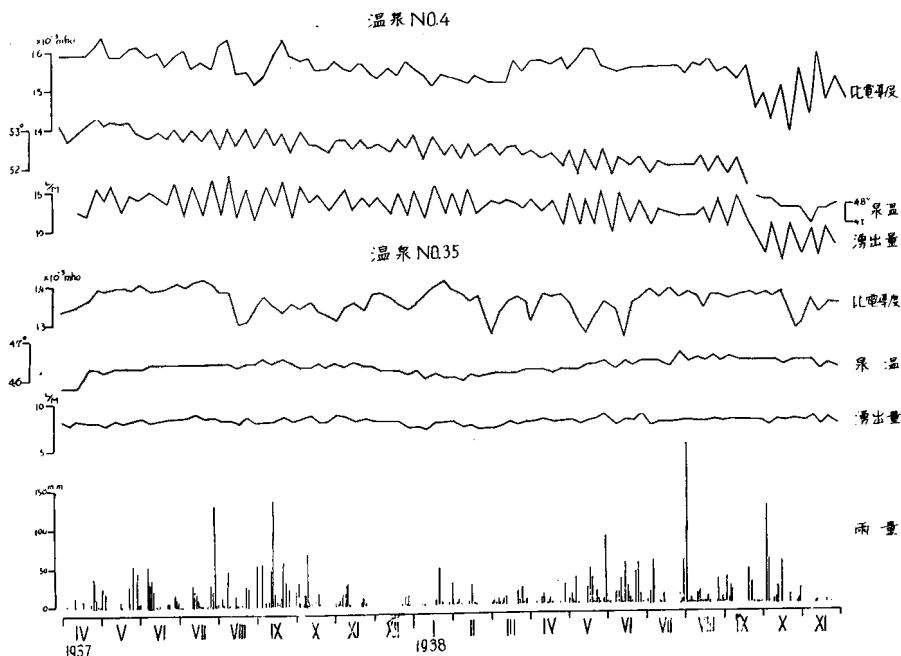
第2表 温泉 No. 4 の經年比較

| 調 査 年 月       | 湧 出 量                | 泉 溫    | 比 電 導 度                            |
|---------------|----------------------|--------|------------------------------------|
| 1934 Ⅲ 2・4 平均 | 17.00 <sup>L/M</sup> | 55.7°C | 1.590×10 <sup>-3</sup> mho 35°C にて |
| 1937 Ⅳ 平 均    | 12.80                | 54.0   | 1.590                              |

この間温泉に加工せず

(C) 雨の影響：降雨によつて電導度が増減する場合がある。温泉 No. 4 (第6圖) の1937年Ⅷ,Ⅸ月の急増、温泉 No. 35 (第6圖) の1937年Ⅷ月の急減、温泉 No. 58 (圖なし)の1937年Ⅷ,Ⅸ月の急減などは何れも湧出量泉溫に變動を伴つてゐない。急減

第6圖 雨 の 影 響



の場合の原因は雨水そのものが極く微量混入したと考へても、又それによる原因(地下水の混入)なども考へてもよいが、急増の場合には簡単に説明が出来難い。温泉 No. 130, 温泉 K. No. 2 (圖なし) の1937年Ⅹ,Ⅺ月について電導度の降下も雨の影響の遅れと

考へる事が出来る。雨によつてかく一時的に電導度の増加(温泉 No. 1153)又は減少を見るものは可なり多く、上例以外にも 11 例ほどある(温泉 No. 192, No. 279, No. 343, No. 749, No. 813, No. 935, No. 1031, No. 1323, K. No. 1, K. No. 2, K. No. 5)。雨の爲湧出量・泉温及び電導度の急増(温泉 No. 813 の 1938 年 X, XI 月)又は急減(温泉 No. 4 の 1938 年 X, XI 月(第 6 圖))の原因は泉質泉脈の變動であることは言ふまでもあるまい。

(D) 雨の影響の回復: 雨によつて電導度の減少を來たした結果、そのまゝの値を持ちつづけるものは泉質の永久的變動であるが、しばらくすると再び元の値にかへるものがある。(C)にかゝけた 11 例は殆んどさうである。温泉 K. No. 6 (第 5 圖)などは一年の週期を持つてゐるやうであるが、他の多くは尙ほ長い間の後回復してゐる様に見られる。

それは木戸隆氏<sup>(5)</sup>の化學成分變化に於けるものと對應する。即、第 3 表の如く固形物總量が四ヶ年餘にして再びその値に近づくのを見ると泉質の變動といふものは湧出量や泉温の如く一年を週期としないことが知られる。

第 3 表 温泉々質の經年變化

| 調査年月     | 固形物總量               |                     |                                    |
|----------|---------------------|---------------------|------------------------------------|
|          | No. 31              | No. 343             | No. 0.971                          |
| 1929 VI  | 0.75 <sup>g/L</sup> | 1.20 <sup>g/L</sup> | 0.71 <sup>g/L</sup> <sup>(5)</sup> |
| 1931 VII | 0.72                | 1.15                | 0.67                               |
| 1933 XII | 0.74                | 1.10                | 0.75                               |

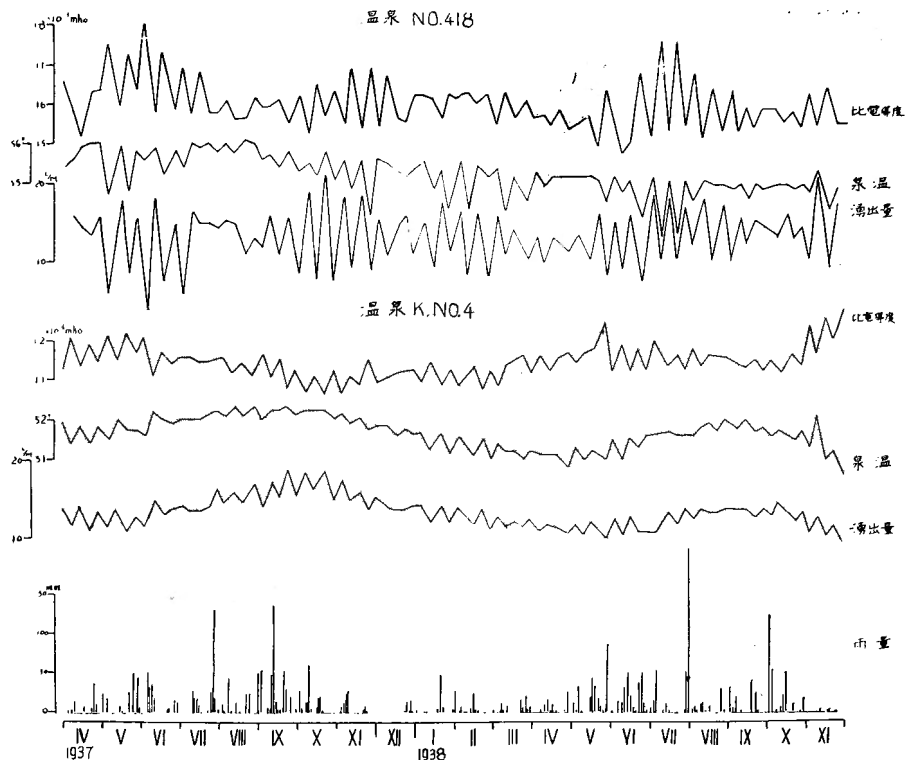
(E) 電導度の不變: 多くの内には電導度の變化が不規則で、湧出量にも關係がなく調査中殆んど不變なものがある。温泉 K. No. 3 (圖なし)などはその變動量大なるにも拘らず 20 ヶ月の調査中を通じて著しき特性のある變動を示さぬ。温泉 No. 695 (圖なし)もこれに屬する。

(F) 潮汐の影響: 潮汐の影響が電導度に及ぼす事は既に詳論したところであつて、その結論として湧出量が潮汐と一次的關係があり、泉温が湧出量によつて左右され、電導度は前三者と反對に増減することであつた。この度の電導度の長期の變化について測定した結果は上の結論を確實にする事となつた。既に圖示した内にも明かなものもあるが第 7 圖に 20 ヶ月間全體としてもこの關係の保たれてゐる著しい例を示す。上來述べ來た電導度の變動はその影響乃至回復が長期を要すに拘らず、潮汐の影響は短週期であり、その變動範圍も例へば温泉 No. 418 (第 7 圖)の如く年變化の二倍以上で、頗る安定な變動であることを知る。

(5) 既出。 (6) 既出。



第7圖 潮汐の影響



電導度の變動を湧出量の變動に伴ふ二次的結果と從來考へて來たけれども別な原因も考へられる。即ち潮汐の干満によつて各層の水壓變化は必ずしも一定でなく、最も大なるものが優勢となつて湧出すれば電導度にも變化は規則的になる。しかるときは優勢になるものが常に電導度が小さいものでなければならなくなり、且位相の遅れを來たすことゝなる。それでは極く淺いところの冷地下水が埋没導管の縫目とか破損個處から流入するとすれば、位相の遅れは略々消えても、泉温變化の説明に支障を來たすことゝなり、且温泉 No. 4 の如く埋没管壁にも破損個處を考へなければならぬ様になる。泉温變化についての説明に支障を來たさぬ程度の少量さへ流入すればよい。管の埋没外周のすき間を傳つて上層の地下水が一端下まで流下して湧出することも可能ではあるが、殆んど一般的なこの相反性を説明するには一つの原因だけに歸する事は無理であらう。要するに潮汐による電導度の影響は、泉温の變化とその相反性と位相の遅れのないことゝによつて、その原因が湧出口に極く近い處にあること、湧出量の變化に基くか乃至はそれと共に一つの原因からの二結果で

あるかであつて海水直接の混入でない事は既に述べられたところと變らない。

尙電導度と潮汐との變化の並行せる特例は以前の觀測に於ても一の例を持つたがこの度に於ては二例あり、その一は温泉 No. 1140 で濱脇温泉脈上にあり、他は K. No. 3 で泉温と並行して湧出量と相反であるから稀薄冷地下水の混入を考へさせられる。

### 3. 結 論

以上要約すれば電導度の變化に就いて

- 1) 經年に渉る一方的變化はあるが多くはその平均値の上下に變動する。變動の週期は一年以上のものが多い
- 2) 湧出量よりも寧ろ泉温の變化と密接な關係があつて、泉質の變動を示すものである。
- 3) 降雨によつて受ける影響は電導度の低下に向ふ場合が多く、又そのまゝの値になるものより再び元の値に回復する場合が多い。
- 4) 雨の影響は同一温泉についても一樣でなく、或時は影響あり或時はない場合があつて地下温泉伏流は簡單ではない
- 5) 潮汐の影響に就いては既報の結果を確め、雨の影響より安定である事を知つた。

終りに、絶えず御指導を賜る恩師野滿隆治博士と惜みなく觀測の勞をとられた山下幸三郎、森永榮の兩氏に感謝し、併せて理解ある温泉所有者の好意に深く謝意を表する次第である。