

地球物理

第 2 卷 第 3 號

昭和 13 年 11 月

論

說

別府舊市内の地中溫度分布と溫泉脈

理學博士 野 滿 隆 治

理學士 山 下 馨

緒 論

溫泉研究の目的を以て廣區域の地溫測定を行つたのは大正11年依田理學士の由布院地溫調
(1) 査が最も古いものの一つである。只残念ながら地下 1 米以内の謂はゞ地表溫度に限られ地
中深部の模様は分らないが、然し僅か一ヶ月の仕事であるから止むを得ないし、又地表溫
度分布調査としては實に1265點の多數を測定し殆んど申分がない。又故鈴木理學士は大正
13年以來昭和元年まで 35ヶのボーリング⁽²⁾を利用して、研究所員を派し別府舊市内の地下深
部の溫度を測らせて居る。只遺憾ながら氏の専門が地質學であつた關係上、主目的を土質調
査に置き溫度は殆んど大抵竣工間際の数點に限られ中途の溫度まで測つてあるのは一二口
にすぎない。ために泉底溫度の分布には役立つが地中全體の溫度分布を云々するには餘り
用をなさぬ。そこで吾々は昭和九年以來新に全市に亙る各深度の地溫實測を行ひたい希望
を以て、先づ市中には湯が地表までは出て來ない様になつた廢孔が多數あることに着目し
之を利用せんと企てたのであるが、實測に着手して見ると案外にも廢孔は殆んど何れも其
管が地下數米で閉塞して居り寒暖計を下すことの出來ないことを知つた。依つて止むを得
ず新規なボーリングを利用し別府舊市内全部の立體的な地中溫度分布を詳細に研究するこ

(1) 依田和四郎：由布院溫泉地帶の地溫分布；本誌第 1 卷第 4 號，285 頁。

(2) 別府市街地ボーリング土質調査表；本誌第 1 卷第 4 號，305 頁。

とにした。然し勿論ボーリング一本には数千圓乃至数万圓をも要するのであるから、研究所自身で掘鑿を行ふのではなく、市内に温泉の新掘乃至改掘ある毎に之を逸せず出来るだけ各深度の詳細綿密な測温をするの外ない。従つて廣範圍に亙り豊富な資料が揃ふまでには勢ひ多くの年月を費すの止むない次第で今日に至つたわけであるが、今や百有餘口のボーリングで各個少きも數點多きは數十點の深度に於て測温し、測得値千數百の豊富な材料を得たから、之を整理研究して本報告となす次第である。其の間、他の地方では吉村信吉博士⁽³⁾の上諏訪温泉地域の地表59點の温度調査があり、特に三澤勝衛氏⁽⁴⁾の22個のボーリング利用による同地域地中温度分布調査が發表になつて居る。夫れ等をも我々の本研究と併せ参考すれば一般に温泉地帯に於ける地下温度の立體的分布狀況を了解することが出来ると思ふ。

1. 豫備調査—採湯温度の分布

吾々は別府地温の充分な實測材料が蓄積するのを待ち切れず、現温泉の地表湧出温度から多少なりとも地温分布の豫察法はないものかと考へて見た。其の一つは湧出温度から湧出管底の温度を推定し、之を以て管底附近の地温と見てせめて採湯層だけの地温分布でも知りたいと思つた。現在使用の湧出口内に寒暖計を垂下し底温を測ることは、所有者が不安を感じて許して呉れない。さればとて地表での湧出温度は其の底温とは違ふのは普通で而も其の違ひは各口同一でなく個々の湧出口毎に異なり、甚だしいのは $7\sim 8^{\circ}$ にも及ぶのがあるかと思ふと 1° も違はぬものもある。従つて湧出温度其の儘で泉底温度分布を論じても餘り信を措けない。況んや別府の様に含湯層が幾段にもある處では、すぐ隣りでも掘鑿深度によつて湧出温度に著しい差があり、之を何の考へもなく一所に圖示しては高低温度入り亂れ交錯複雑にて真相を示さない。それで吾々は現湧出口の湧出量 Q と湧出温度 T との曲線を引き、掘鑿深度をも考慮に入れて或系統毎の底温を推定する方法を取つた。

先づ試みに、我別府温泉臺帳によつて全市に亙る湧出口全體の (Q, T) 圖を作つて見ると第1圖を得る。其配布は固より甚だ簡單ではないが、平均的には Q が小なれば T 低く、 Q

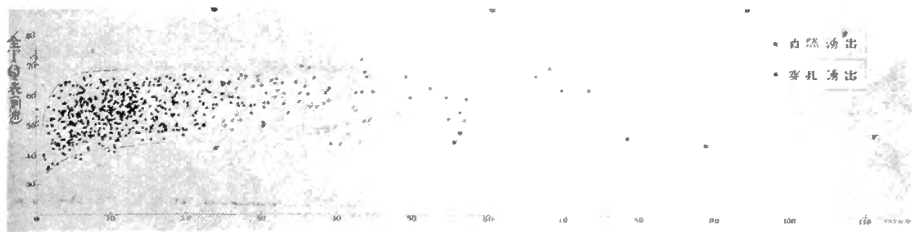
(3), (4) 吉村、三澤、藤森：上諏訪温泉地域の地下温度の分布；地理學評論第7卷第5號，406頁。

(5) 其の例は多數，本誌第1卷第4號305頁「別府市街地ボーリング土質調査表」中に見られる。即ち温泉新掘鑿竣工直前の底温と竣工後の湧出温度との差がそれである。途中冷却だけなら其の差は微小であるが、著しい差を示すのは異水の混入による。

(6) 本誌第1卷第1號，28頁。

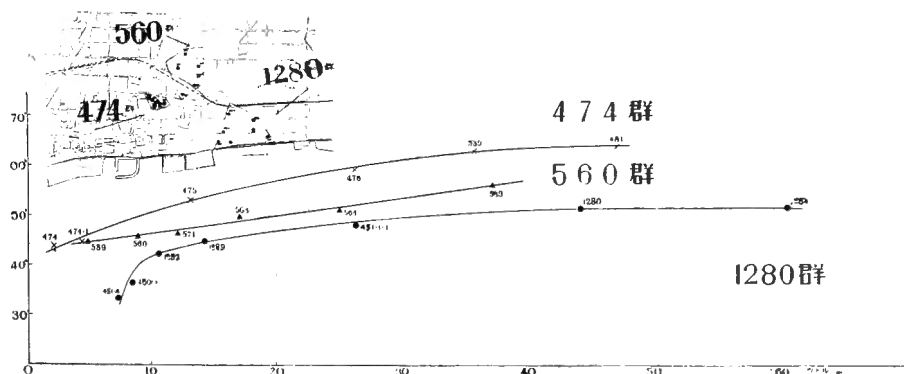
別府市内の地中温度分布と温泉脈

第1圖 別府市内全温泉の (Q, T) 圖



の増加と共にTも亦上昇して或極限值に漸近する。只一つの湧出口のQとTとならば勿論一本の連続曲線になるべきであるが、この様に一千にも近い多数の異なる湧出口のQとTとでも大體の趨勢はかく或漸近曲線の上に配列することを思へば、全市を適當な小區に分ち更に掘鑿深度及び泉脈等をも考慮に入れて連絡ありと思はれる湧出口若干づゝを取つて(Q,T)圖を作るとき、圓滑連続な一曲線上に配列する様なものを一群とし、其の漸近的極限值を以て其の群の泉底眞温度と認定することは不當であるまい。例へば第2圖は474群(温泉番號 474, 474ノ1, 451, 476, 539, 481の六口), 560群(温泉番號 552, 560, 563, 564, 571,

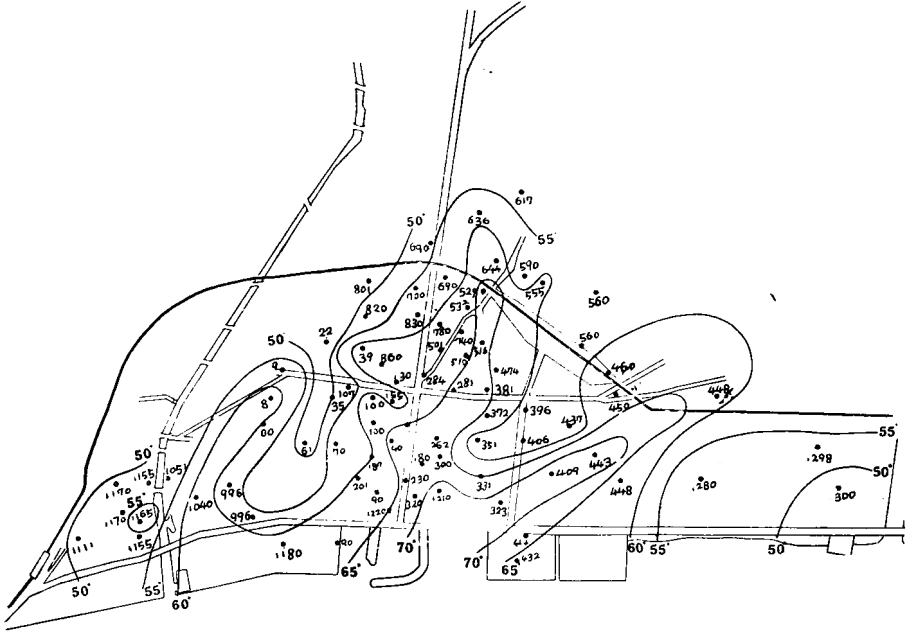
第2圖 組分けによる (Q, T) 曲線三例



589の六口), 1280群(温泉番號 1280, 1283, 1284, 1289, 450ノ1, 451ノ4, 451ノ1ノ1の七口)の三組の温泉群の(Q,T)曲線で、極限值を夫れ夫れ 63.5 , 55.5 , 51.0°C と推定する。斯様にして別府全市に亙り80個の泉底温度を得之を各群の中心位置に記入し等温線を描きて第3圖の泉底温度分布圖を作製した。是等の結果は既に昭和11年の數學物理學會年會に報告して置いた處である。第3圖によると高温部が三筋見られ、其内でも流川筋が一番高い。

(7) 別府温泉の泉底温度分布； 日本數學物理學會誌第10卷第2號, 190頁, 昭和十一年。

第3圖 泉底温度分布圖



第二の豫備調査として、吾々は同じく別府温泉臺帳から全市の湧出口深度と其の湧出温度との関係を統計して見た。第1表は其の結果で、第4圖はそれを圖示したものである。之を見ると、(i) 20 乃至 30 間までは深度と共に湧出温度が上昇する。(ii) 30 乃至 40 間の附近に却つて温度の下降する範圍がある。(iii) 40 乃至 60 間内外で再び深度につれて温度上る。(iv) 60 間附近に一の極大を見る。夫れ以上は却つて湧出温度が低い。

以上の様な地上で測つた湧出温度と掘鑿深度だけから統計した二つの豫備調査は厭くまで豫察程度以上に出づるものではない。只大握みな趨勢を窺ひ知るだけで、局所的地下温度の精細な状況は到底分るものではない。否時には充分の注意をせぬと却つて真相を誤ることすらあるのである。例へば上記の第4圖の結果を以て別府地下温は一般に60間附近が極大で其下は却つて低温になつて居ると想像するなら、それは大間違である。之は温泉脈から離れた温泉の出にくい地域に掘れば、掘鑿深度が著しく大になつても高温の湯が出ないことに照應するのである。

斯様なわけで、吾々は以上に述べた豫備調査は單に参考に止むることとし、地中温度分布はボーリングによる各深度の實測地温のみを以て研究する。只地中温度分布圖を描くとき

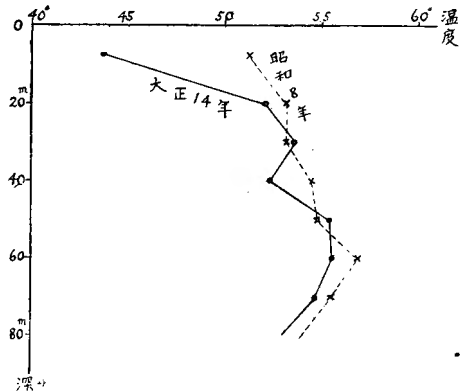
別府舊市内の地中温度分布と温泉脈

第1表 別府舊市内全温泉の深度と湧出温度

(上段は昭和8年、下段は大正14年總調査による。*印は数が餘り多くないので重要度が少ない。)

深 度	口 数	平均深度	湧出温度
0—15間	{ 31 82	9.2間 8.9	51.28 * 43.78
< 25	{ 93 265	21.8 21.0	53.80 52.15
< 35	{ 145 209	30.5 29.8	53.26 53.62
< 45	{ 87 56	40.5 39.6	54.56 52.37
< 55	{ 55 19	50.1 50.8	54.88 55.53 *
< 65	{ 50 17	60.6 60.9	56.93 55.61 *
< 75	{ 15 14	69.8 70.1	55.57 * 54.73 *
76以上	{ 28 20	104.6 98.8	51.52 * 49.44 *

第4圖 別府舊市内湧出口の深度と湧出温度との對照



に、ボーリングの数が不足して居る處では上記の豫備調査結果をも参考にしたことがあるにすぎない。

2. 地中温度測定法其の他

測温は、湧出口新掘又は浚渫の都度、當業者の晝憩時にその時々⁽⁸⁾の底に於て行つた。少々熱容量のある密閉金屬圓筒狀容器に留點寒暖計を入れたものを綱をつけて掘鑿孔の最下底まで下ろし、約30分間放置したのち引上げて示度を読んだ。かくして得た寒暖計示度を其の深さに於ける地温と見るのであるが、測定誤差の原因となるべき種々の事故、例へば計器の不良や取扱の粗略は勿論慎重に之をさけたし寒暖計を放置する時間の不足や途中高温層がある場合の影響等も我々の測定では計器容器の適當な熱的慣性のため起らないことは研究所内に於ける準備試験で確めてある。只上總掘では上部から粘土土を注加するので多少とも冷水が管内に流入するわけである。その流入が極微量の間は我々の測得温度が地温と見て差支ないのであるが、稀には冷水の流入量が著しく従つて其の前後の測定値に較べ突如として異常の低温を得ることもあつた。かゝる異常低温は其の處の地温ではなく特殊の物理的意義をもつことは後に説明する。尙留點寒暖計を用ゐた爲に、氣温より低い地

(8) 第4節對應事項参照。

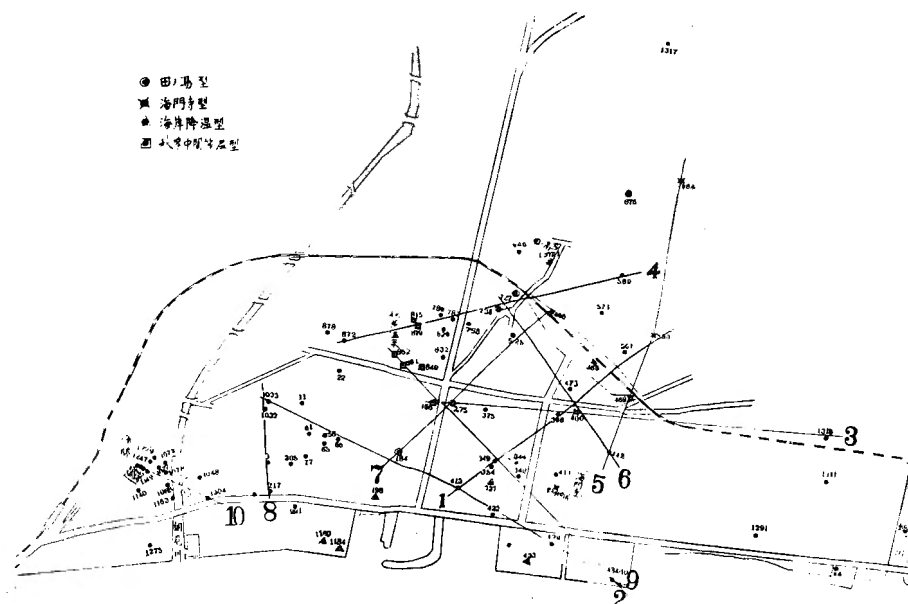
温は計れなかつたのは残念だが、かゝる低温な浅層の地温は他日然るべき方法で測定する筈である。

測定の深度は計器の垂下に要した紐の長さを其の都度測つて之を定め、尙時々上總掘のへゴ(捲竹)の長さと比較して間違を避けた。

測定の位置は三千分の一舊別府市街圖上に目測によつて記入した。第5圖は其の寫しである。

測温地域は今回發表する分は舊別府市内に限られて居る。昭和九年九月より開始し昭和十三年初頭迄に約百口の測定が出来た。唯其の配布に粗密があつて均一でないことは遺憾とする所であるが、温泉の新掘や浚渫を追つて行つたのであるから止むを得ないし、他面より考ふればこの不均一な配布は決して單なる偶然的配置ではなく、地下の温泉水流の狀態のある性質を暗示するもので寧ろ重要な意義をもつ事柄である。例へば改掘の多い所は湧出口の閉止が多いからであるが、湧出口の閉止は沈澱物が多くて孔道を閉塞する場合もあるし、或は其の反對に管壁が腐蝕して薄くなり管内外の壓力差による把握力によつて潰れ塞がる場合も多い。即ち改掘の多少はそう云ふ性質と關聯して攻究する資料にもなるのである。

第5圖 ホーリングによる地温測定地點(数字の小なるは温泉番號, 大なるは後に考へた斷面の番號)



3. 地中温度の垂直分布

かくて得られた材料は「別府舊市街地の地中温度測定表」として巻末の資料欄に一括表示してある。單に夫れを通覽しただけでは種々雜多の様相を呈し、一言にして表はし得る如き簡單な法則は見當らぬ。蓋し別府の如き廣汎な温泉地帯にあつてはその地下流界も千差萬別の局所性を有すべく、當然の事であらう。従つて最初調査を開始してから一二年の間、ボーリング數三四十口しかない頃は殆んど何等統一も付きかね單なる資料蒐集に終つた。併しながら今や殆んど全市に亙る百口ほどの資料を得之を仔細に檢すれば、往々極めて近似した垂直温度分布を有する數口の組を認めることが出来る。そして夫等の地域的配置を見、相互の位置を檢し、更にそれ等の中間的性質を有するものにつき位置と垂直分布を吟味することに依つて漸く一貫した通性を見出す事が出来、進んで温泉脈、冷水脈の状態即ち地下流界考察の一資料となす事が出来た。

第6圖は性質と地域に應じてまとめて書いた地温垂直分布圖である。其特性的なものは次の6種である。

- | | |
|--------------------|---------------------|
| (a) 田の湯型(第6圖の1) | (b) 海門寺型(第6圖の3) |
| (c) 北部分散型(第6圖の5) | (d) 海岸降温型(第6圖の6) |
| (e) 秋葉中間等温型(第6圖の7) | (f) 濱脇型(第6圖の10, 11) |

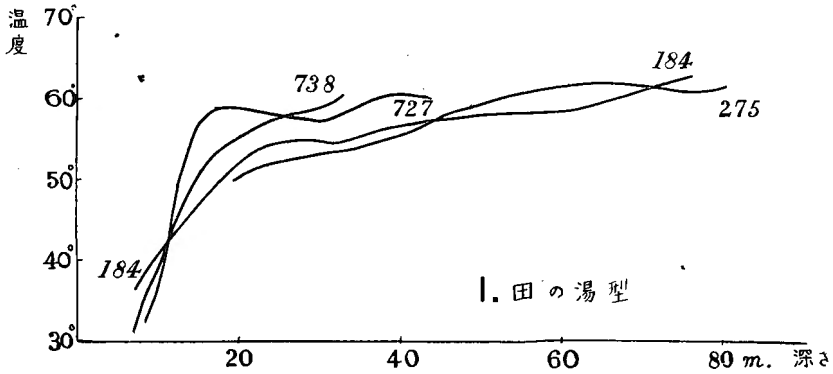
是等を順次近接の中間型と共に、圖を以て説明しやう(總て第6圖の分圖参照)。

(1) **田の湯型**：一 いはゆる自然湧出口たる田の湯、廣島館の湯、楠湯など常識的にその存在を認め得る田の湯泉脈に沿つて、此の田の湯型が現れる。こゝにあけた四口の内、温泉番號727(紅葉館)と184(楠湯裏)など相當の距離あるにも關らず同じ特性を示し、泉脈の概念に具體的な證據を與へてゐる。これら田の湯型と總稱されるものの特性は次の通りである。

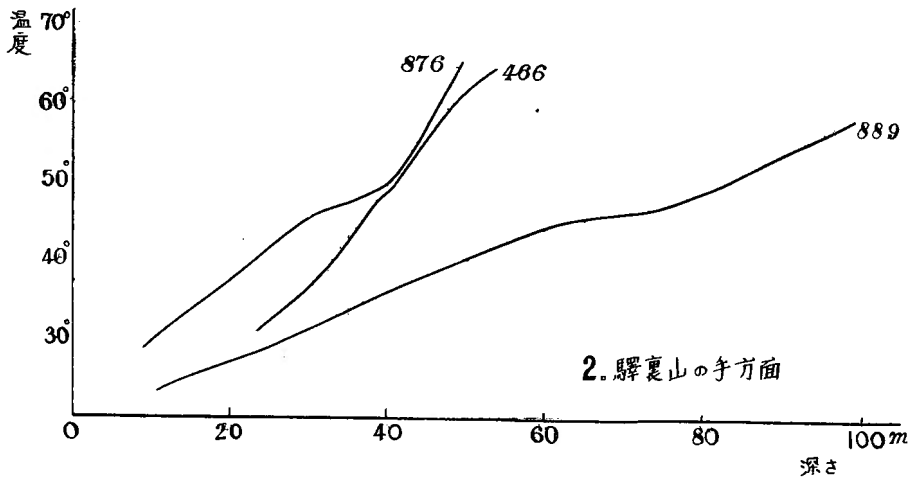
- (i) 極淺層に於て飛躍的に昇温し、以後比較的に等温的である。そして採湯終温は60°を少々越える程度である。
- (ii) 山の手に近い程飛躍層が明瞭で、淺くて採湯する。又各口共、其の泉脈の方向にない他の何れの湧出口よりも淺い深度を有する。

別府舊市内の地中温度分布と温泉脈

第 6 圖 の 1 (曲線の横の数字は温泉番號)



第 6 圖 の 2 (曲線の端の数字は温泉番號)



(2) 驛裏の山の手方面:— いづれも田の湯型と、次にのべる海門寺型の線との間にある。其の特性は

- (i) 飛躍層がなく、ほぼ直線状昇温を示す。その勾配は山の手程、又田の湯脈に近い程急である。
- (ii) 採湯深度も(i)と同様の傾向に於て浅くなる。

今後、垂直分布に於ては飛躍層無く温度勾配の緩かな者を分散的であると言ひ、その勾配の緩かな程、より分散的であると言はう。断面圖上では等温線の間隔の擴ることによる言葉を引用することにする。

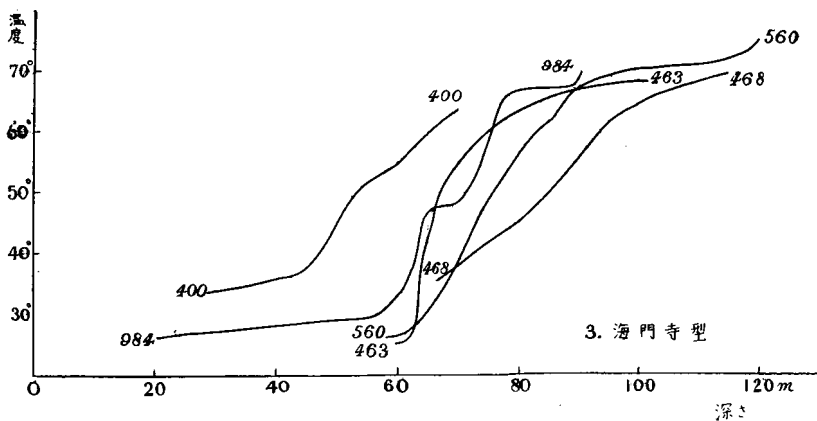
別府舊市内の地中温度分布と温泉脈

(3) 海門寺型:— この型は宮地嶽神社 (No. 970) の稍北方から現れて、野口を下り別府驛出口の稍北方を通り、海門寺公園を通り別府郵便局裏を通り二條館 (No.427) 附近で海に入る一線に沿って現れる。特徴は

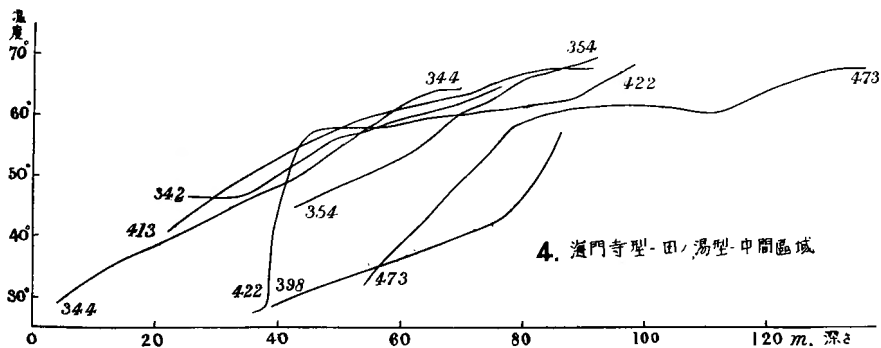
- (i) その上半に於て特に著しい深い (60m 内外から) 飛躍層を有する。上方定低温層 (60m 附近まで) がよく發達してゐる
- (ii) その採湯終温が高く、往々 70°C を越す。(i) の性質は海近くでは現れないが (ii) は全體を通じ特性的となつてゐる

この線に沿つて、化學成分、湧出量等他部と判然と異なるものがあり、之が一つの泉脈であることがわかる。

第 6 圖 の 3

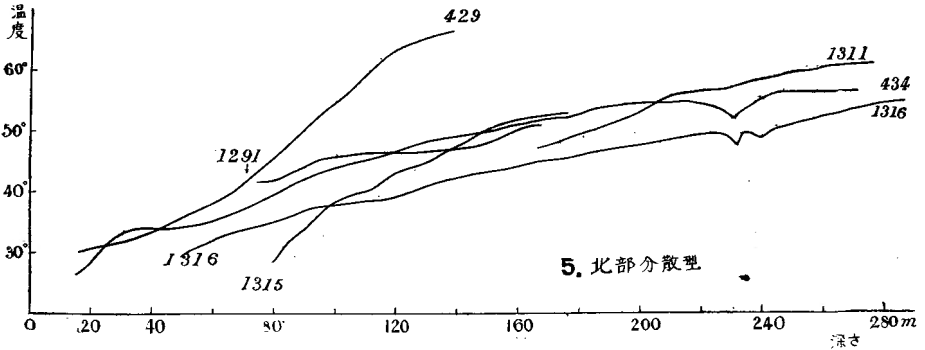


第 6 圖 の 4



別府舊市内の地中温度分布と温泉脈

第 6 圖 の 5



(4) 海門寺—田の湯中間區域:— 海門寺脈を遠かるに従ひ採湯温度低くなり分散的となる。

(5) 北部分散型:— 海門寺型の線を北に越えると急速に分散状態に移行する。而して

(i) 舊市内の何れの部分よりも甚だしい分散をしてゐる。圖は横尺を縮めてあるにも關らず尙他のものより緩勾配である。

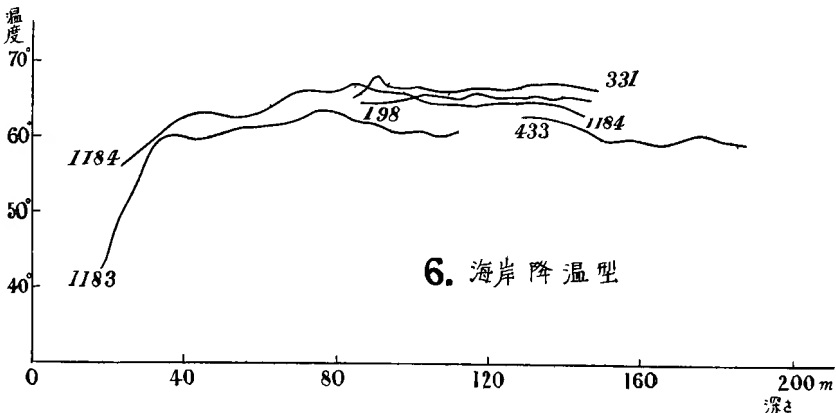
(ii) 採湯深度も甚だ深い。現在最深のものは此中にある。なほ

(iii) 海門寺脈に近寄るにつれて、又海から遠ざかるにつれて温度高くなり、温度勾配を増す。

(6) 海岸降温型:— 深部に於て却つて温度が低下する傾向のものである。その降温は微々たるものではあるが、分布、最高温度、深度等可なり系統的である。

(i) 降温は略: 3°C 内外である。最高温度の深度は 80—100 米、位置が北遷するにつれて深くなる如く見える。

第 6 圖 の 6



(ii) 現れる範囲は中埋立北端附近(高砂館)から北埋立中部(清風荘)附近の埋立地乃至海岸の近くに限られる。

(iii) 最高温度層の前後相当廣範圍に等温的である。

(7) 秋葉中間等温層:— 秋葉通と流川通の間, 略々舊國道(中町筋)以西に現れる。

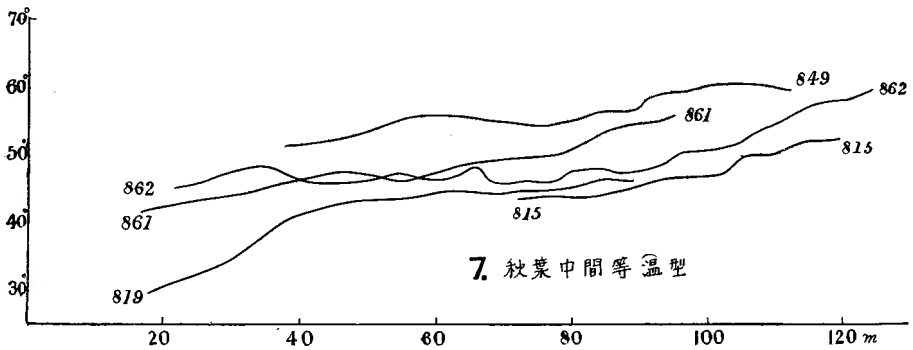
(i) 約40—90米の間は等温で, それ以深で昇温が確認される。

(ii) 等温層の温度は海へ近い程, 又田の湯脈に近い程高い。

(iii) 等温層内での採湯は行はれて居ない。蓋しそこでは湯量が少いことを暗示する。

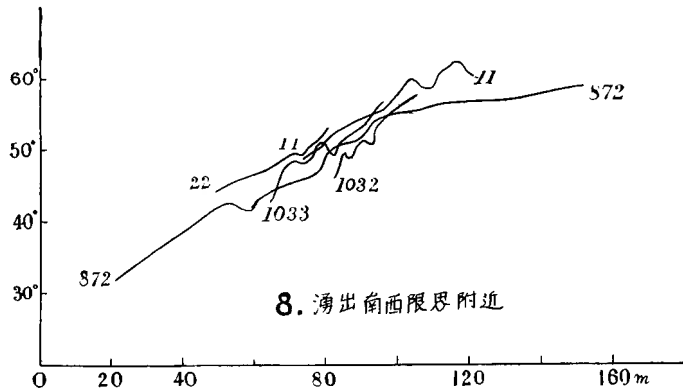
流川通を南に入ると直ちに100米を越える採湯深度となる(この附近でなくもつと海寄りの方と同じく流川を南に入つても採湯深度の移行は滑かである)。

第 6 圖 の 7



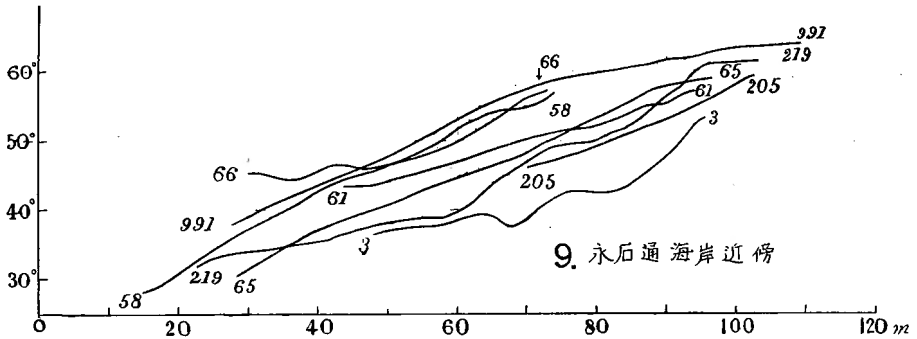
(8) 南西湧出限界附近:— ^{なげし}永石温泉から松原公園西端へかけての謂ひである。分散が甚だしい。採湯終温も高くない。大體北に寄る程温度は高い。

第 6 圖 の 8



(9) 永石通海岸近傍:— (8) の附近を海岸に寄つたところである。海岸に近い程採湯が深く、其温度も相當高い。(8) と同じく一體に分散的である。又、浚渫が最も頻繁に行はれるところで、温度分布も錯雑してゐる。蓋し田の湯系の南端に近く、濱脇系その他の水系との交錯が甚だしい地域なのであらう。

第 6 圖 の 9

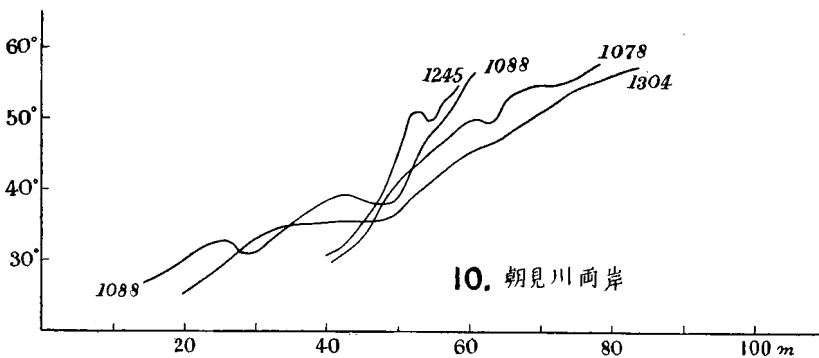


(10) 朝見川兩岸:— 之は次の(11)と共に濱脇型と稱するもので、次の諸性質がある:

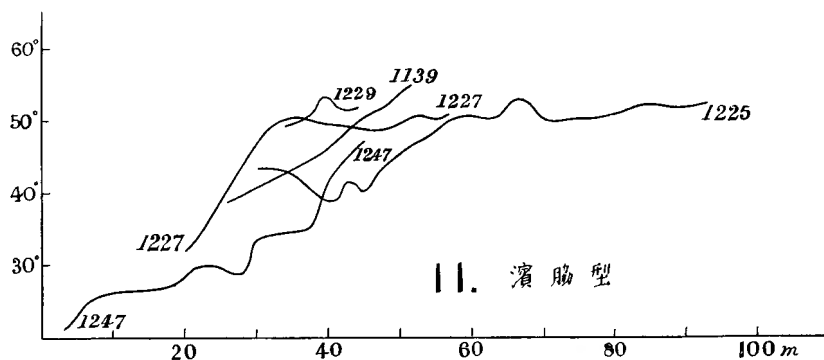
- (i) 一體に浅い。
- (ii) 採湯終温が低い。

前の(9)の領域を更に南に大字濱脇に入ると採湯深度が漸減し、湧出量を増し明に別の系になつたことが判る。往昔は事實自然湧出すら存在した。常識的にも明かな一つの泉脈である。ここに示した内 No. 1245 と No. 1078 が50米以浅で急勾配に温度減じ最上層部の温度が他のものよりも著しく低いのは朝見川の伏流の影響であらう。

第 6 圖 の 10



第 6 圖 の 11



(11) 濱脇型:—上に記した特質を有する。(10)よりも尙泉脈に近い部分を含む。断面圖其他より考察するに、大體濱脇泉脈は共同温泉東角から砂湯の稍北方に向つてゐるものとみられる。濱脇の地温分布の今一つの特徴は位置(地面での)による状態變化が極めて大きく色んな型のものがあり、恰も地中温度分布種々相の雛型を並べて居る様な感じがあ⁽⁹⁾る。此事は畢竟濱脇泉脈の小規模を示すものに外ならぬ。

4. 層の對應、數段の含湯層

圖の上では混亂を避けるため大方省略したが、時々地温の測定示度が異状に低く出ることがある。これは實際にその點の常態地温(undisturbed temp.)が低いといふよりも、上總掘りの^{おしみず}壓水の流入が甚だしい爲と解される。通常この流入水は極めて微少で管中の水は對流なしに準成層状態にあるので、底水の温度を以てその底に於る常態地温とみなしたのであるが、上述の如き場合は明瞭に加壓水の流入が認められるのである。

かうした現象は底部が透水層の時でなければ起らないのであつて、從て又往々近接數口に共通して同深度に現れる(例;前節第6圖の5のNo. 1316とNo. 434の230米近傍)。又單に地温示度異状降下のみならず、種々の事項が數口のボーリングの略ほ同深度に對應して起ることがある。對應事項としては、(1°)地温示度の異状降下、(2°)透水層構成物(砂礫等)の存在、(3°)孔底の崩解、(4°)鑿井業者の所謂「通り」の確認、(5°)附近に同深度採湯のものの存在等である。此等は何れも一聯のものと見なし得、結局透水層の横の連絡を知る一助となる。我々の資料欄に掲げた「別府市街地ボーリングによる地中温度測定表」と

(9) たとへば温泉 No. 1225, 1227, 1229 は夫々十米に足らぬ距離を有するにすぎないが、その性質は大いに異なる。

別府舊市内の地中温度分布と温泉脈

「地球物理」1巻4號(305—330頁)の「ボーリング土質調査表」とを比較すれば、かゝる
 對應が枚舉に違なきを見るであらう。今其の若干を摘記すれば第2表の如くである。

第2表 各種の對應

湧出口 番 號	對應深度	對應事項	湧出口 番 號	對應深度	對應事項	湧出口 番 號	對應深度	對應事項
A層：田の湯脈山手に於て			344	70 ^m	採 湯	434ノ13	98 ^m	採 湯
(A1) 層			342	76	〃	434ノ9	99—102	〃
1207ノ1	24—32 ^m	砂 層	275	79	〃	434ノ2	77—98	透水層存在
523ノ1	28 ^m	通 ア リ	184	76	〃	1291	95	崩 解
738	30	採 湯	66	71	〃	1283	86—98	透水層存在
832	31	異狀降溫	ε8	70	異狀降溫	413	91	採 湯
(A2) 層				78	採 湯	422	98	〃
1207ノ1	44 ^m	採 湯	22	71	異狀降溫	331	92	最高示度
523ノ1	43	通 ア リ	1033	76	〃	E 層		
727	42	採 湯	560	76	昇溫層上端	(E1)層：D ₀ , D ₁ 層の南側 に平行に		
758	45	採 湯	375	74	採 湯	11	120 ^m	採 湯
184	46	異狀降溫	D層：田の湯脈上の海寄り 及(C)層の外側			862	124	〃
B層：田の湯脈をはさみ南 北兩側に平行に			(D ₀)層：田の湯脈南側(C) 層の南方に平行に			815	116	〃
1281	49—55 ^m	透 水 層	819	85 ^m	採 湯	786	124	〃
19	52 ^m	舊 採 湯	815	84	異狀降溫	(E2)層：中埋立附近		
864ノ1	55附近迄	透 水 層	3	84	〃	205	103 ^m	採 湯
571	56	採 湯	(D ₁)層：同 上			217	101	〃
466	54	〃	19	86—94 ^m	透水層存在	991	107	〃
525	58	〃	11	93 ^m	採 湯	1048	100	〃
166	53	〃	829	95	〃	1184	98	減溫層上端
832	55	〃	861	95	〃	11	106	異狀降溫
787	57	〃	3	93	〃	(SE) 層		
646	54	〃	1033	95	〃	(SE1)層：D ₀ , D ₁ 層の南 側夫等に平行に		
787	53	異狀降溫	61	91	〃	11	120 ^m	採 水
184	59	舊 採 湯	849	89	異狀降溫	862	124	〃
872	58	異狀降溫	11	94	〃	849	111	〃
61	54	〃	991	93	〃	815	116	〃
C層：田の湯脈の南北(B) の外側に夫れと平行に			(D2)層：田の湯脈上の海寄 り及田の湯脈北側 の北方に平行に			786	124	〃
1288	74 ^m	崩 解	1281	81—99 ^m	透水層存在	(SE2)層：中埋立附近に		
19	73	吹き上ぐ	1285	96附近	〃	205	103 ^m	採 水
864ノ1	72	採 湯	北濱17號	85—104 ^m	〃			

別府舊市内の地中温度分布と温泉脈

湧出口 番 號	對應深度	對應事項	湧出口 番 號	對應深度	對應事項	湧出口 番 號	對應深度	對應事項
217	101 ^m	採 水	1184	142 ^m	採 水	(SH') 層		
991	107	〃	434ノ9	131—141	透水層存在	434ノ12	240—257 ^m	透水層存在
80	100	〃	434ノ7	112	透水層存在	434ノ11	237	崩 解
1184	98	降温層入口		138	通 ア リ	1316	231	地温異狀降下
11	106	地温異狀降下		145	採 水	〃	239	〃
(SE ₃) 層: 海門寺脈附近			1291	139	崩 解	434	232	〃
560	120 ^m	採 水	1283	136	通 ア リ	(SH) 層		
468	112	〃	1278	133	採 水	434ノ11	274 ^m	通 ア リ
442	116	〃	1256	136	透水層存在	434ノ12	253	採 水
349	112	〃	(SF') 層: 同 上			1316	287	〃
北濱17號	108—117	透水層存在	1291	155—168 ^m	透水層存在	434	269	〃
434ノ14	120	採 水	1288	169	採 水	濱 脇 方 面		
434ノ7	103—110	透水層存在	1289	160—173	透水層存在	濱脇(A)層		
434ノ11	108—115	〃	1256	172	採 水	1247	47 ^m	採 湯
434ノ3	112	採 水	434	166	地温異狀降下	1229	43	〃
1256	112—131	透水層存在	SG, SH 層: 海門寺脈以北 及鶴水園埋立			1149	43	〃
1315	111	透水層存在, 地温異狀降下	(SG) 層			1227	47	異狀降温
1316	111	透水層存在	433	132 ^m	採 水	1225	44	〃
SF 層			434ノ9	195—200	透水層存在	濱脇(B)層		
(SF ₁)層: 永石通附近			1289	176—180	透水層存在	1245	54 ^m	異狀降温
872	150 ^m	採 水	1315	178	採 水	1038	49	〃
878	142	〃	434ノ8	190	採 水	1139	51	採 湯
(SF ₂) 層: 中央海岸寄			(SG') 層			1227	55	〃
473	137 ^m	採 水	434ノ12	201 ^m	崩 解	濱脇(C)層		
429	137	〃	434ノ10	212	通 ア リ	1245	59 ^m	採 湯
331	148	〃	〃	206	崩 解	1078	64	異狀降温
198	144	〃				1038	61	採 湯

之から概論すると田の湯脈に沿ひ地下30m 及 44mの層(A₁及A₂)に始り、漸次東(海寄)南北に向ひ 55m(B), 73m(C), 95m(D), 120m(南部, E)及び 110m(SE₃)内外を中心として夫れ夫れ採湯透水層がある。この内73m内外の分は秋葉中間等温層附近では用ゐられない。そして北部は、夫れより以深の分散域に向つて雑多の透水層を順次用ゐて、海門寺脈以北急激に深度を増す。南部は150mを限度として淺くなり濱脇の 50m 採湯層に到る。此等の

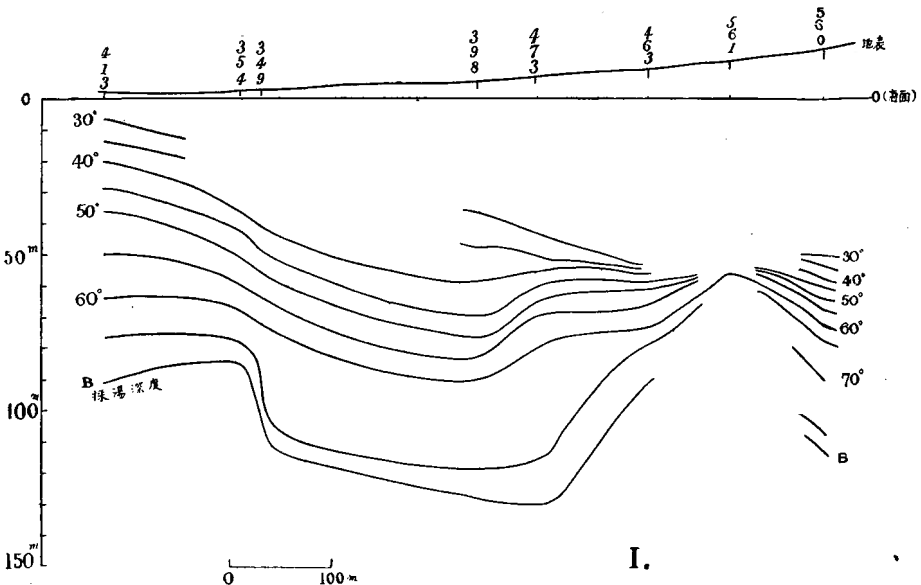
地質的特質は又前掲の「地球物理」1巻4號の282—284頁にある。

5. 垂直断面上の地温分布

次に種々の断面を作り其上の等温線配置を考へやう。但紙面の都合上其中若干を示すに止める(第7圖)。

I. 野口から別府港へむけて引いた断面である。温泉 No. 561 の邊と、413 の左方とに泉源が考へられる。No. 463 近くで 45° 迄の等温線は降下する。しかし 50° 以上のものはさうでない。No. 561 の附近では野口舊道に沿ふ浅い冷水伏流(冷水掘井あり)及び 28m 深度附近の有力な低温水流(水頭地下 1.50m 内外、採湯壓は地下 3.25m)の實在、踏切附近のボーリングの浅層に於ける崩解、近傍に於ける低温水採水の爲のボーリングの存在等から、前述の上部等温線降下は低温地下水の作用と考へられる。No. 561 附近高温の影響は No. 473 以遠には最早及んでゐないものとみなされる。依て 561 は別の泉脈と考へられ、さきに述べた海門寺型に沿つて「海門寺脈」を考へた所以である。

第 7 圖. 断面内の地温分布: 其の 1

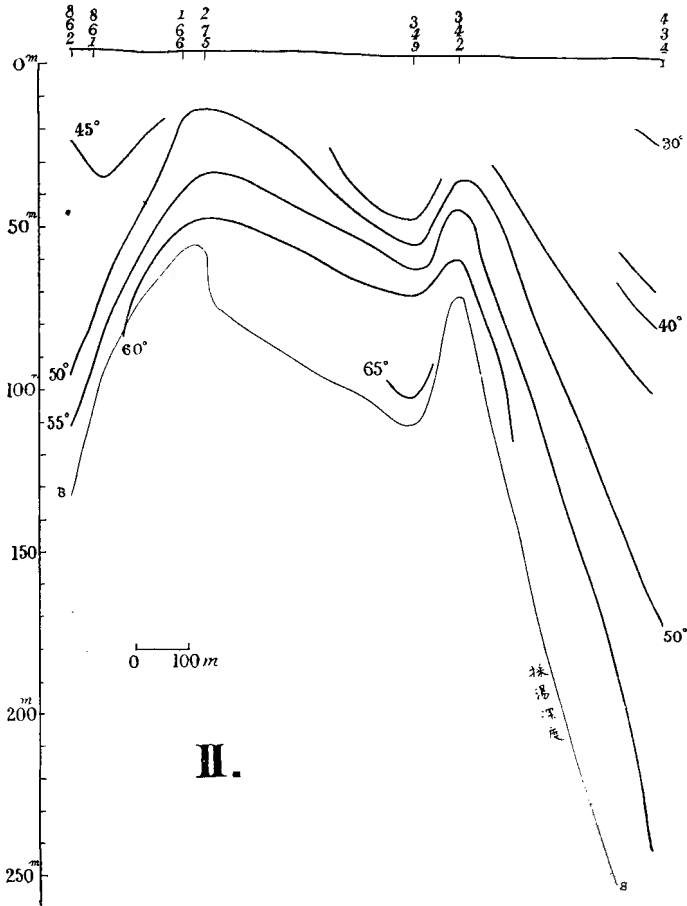


II. 北埋立北端から第1断面に略ほ直角に引いた断面で、採湯面(B)が等温線に平行する。温泉 No. 342 近傍で海門寺脈を、No. 275 近傍で田の湯脈を切る。No. 862 の近くは秋葉通中間等温層を示して 45° の線は上向するが 50° 以上は依然下向する。862 近傍上層

別府舊市内の地中温度分布と温泉脈

に 45 内外の地下水供給が考へられる。No. 434 のボーリングには大きい上壓(約 3m)が用ゐられた。有力な上層低温流の存在を物語る。

第 7 圖. 其 の 2

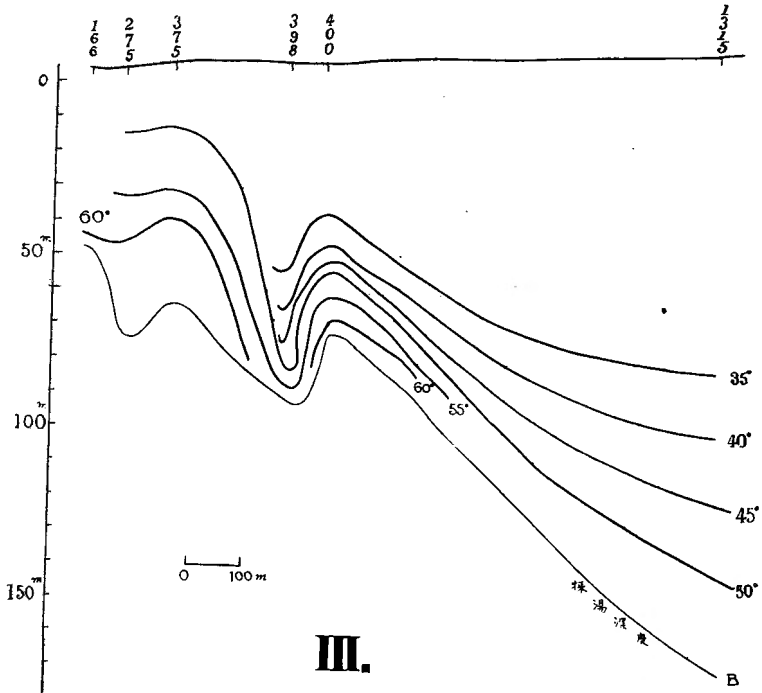


III. 鐵道線路北部に近く略海岸線に平行に引いた斷面で、No. 400 近傍で海門寺脈を No. 375 附近で田の湯脈をきる。No. 400 より No. 1315 に向つて等溫線の分散があるが、II 程甚だしくはない。

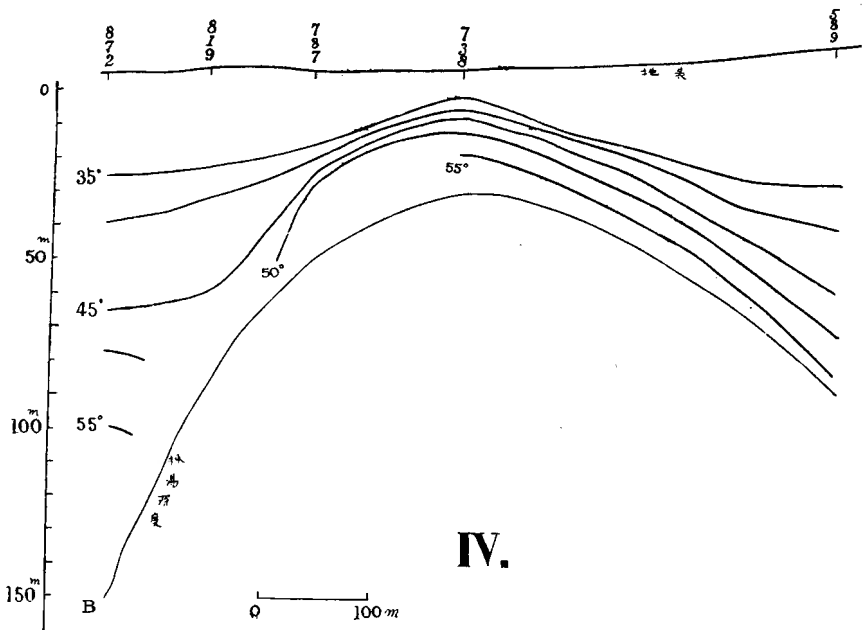
IV. 今回の調査區域中最も海岸から離れ北北西—南南東の方向に引いた斷面で、No. 738 の近くでたゞ一度田の湯脈をきる。No. 787—819 で 40—50 の間隔がひらいて、再び No. 872 に向つて集り等溫線全體も上つてくる。依てこの斷面に沿うては No. 819 から No. 872 の方へ向ふ流れは無い。しかし No. 872 の方向に泉脈のないことは他の斷面から判る。

別府舊市内の地中温度分布と温泉脈

第 7 圖. 其 の 3



第 7 圖. 其 の 4

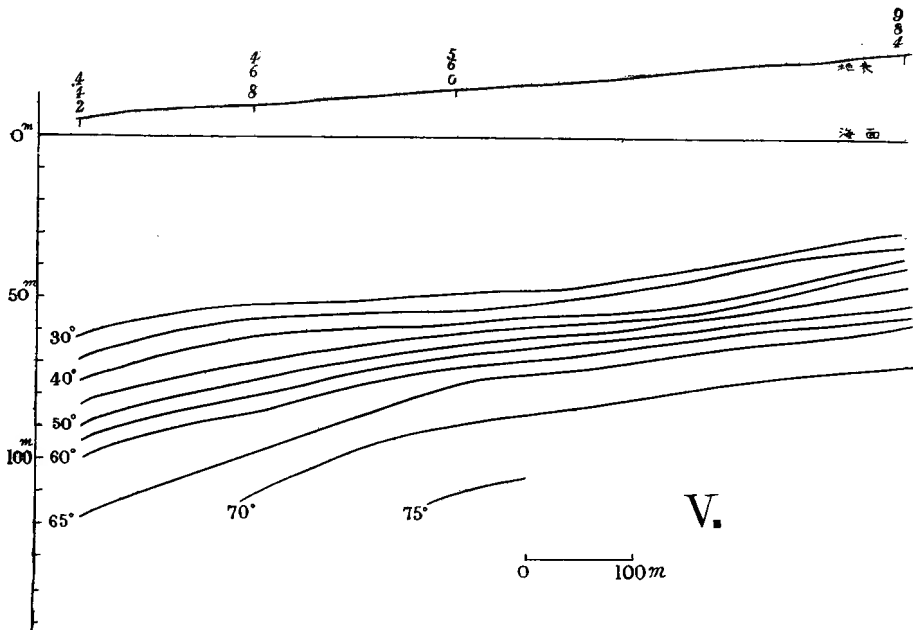


V. 温泉 No. 442 を除いて、海門寺脈と思はれるものに沿ふ断面である。此の場合の著しい特徴は、

(a) 等温線がいつでも地面に平行して居ることである。従てこれに沿ふ流れを想定することも妥當であらう。然し温泉水が全部上流から流れ來たものばかりで下流までこの様な温度を維持すると見ると可成大きい速さたることを要するので、それよりも寧ろ三次元的に考へて、水平に流れる温泉水がある上に更に此の泉脈に沿うては到る處下部から絶えず熱水乃至熱蒸氣が供給されて居ると考へる方が尤もらしい。次に注意すべきことは

(b) 等温線が深さ 50 乃至 100m 邊に密集し著しい飛躍層を呈して居ることである。かかる飛躍層が定常にあるといふことは、その上層に絶えず熱を持ち去る低温水の流を考へねばならぬ。若し單に土砂による傳導のみならば、終には等温線は分散し等間隔に地表と温水面の間を充たさねばならぬからである。

第 7 圖. 其 の 5

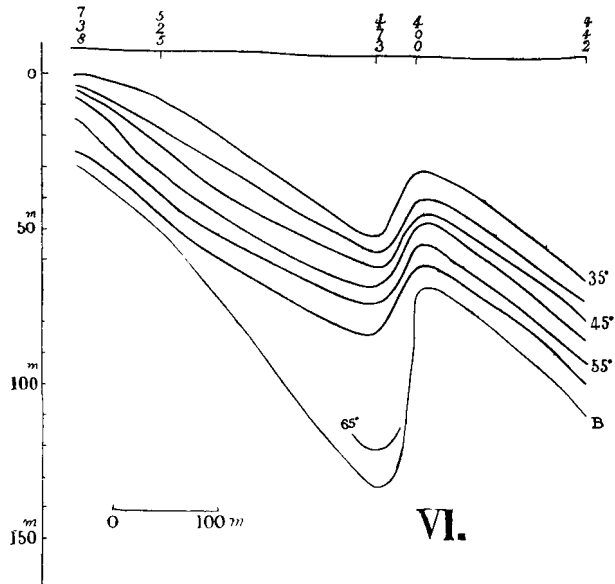


VI. 別府驛前に近く略ほ鐵路に平行な断面で、田の湯脈(No.738 附近)と海門寺脈(No. 400 附近)がもつともよく現れてゐる。

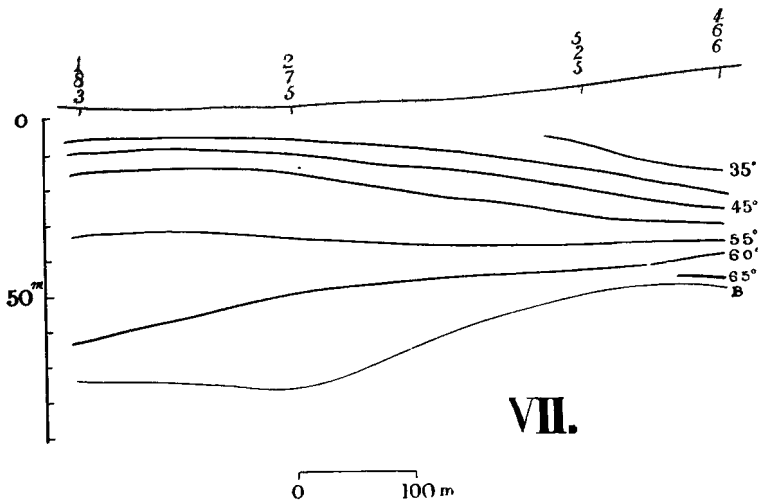
VII. 別府驛の南部から楠湯に向つて、一部田の湯脈に沿ふ断面である。No. 275 - 183 の間等温線が殆ど水平で地面と平行な事が、V と同様の意味をもつてゐる。

別府舊市内の地中温度分布と温泉脈

第 7 圖. 其 の 6

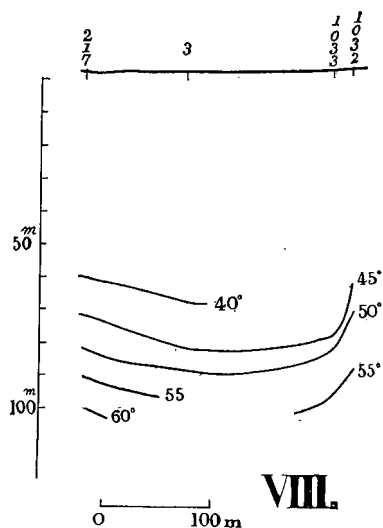


第 7 圖. 其 の 7



VIII. 田の湯系と思はれるものの南限界附近に東西に引いてみた。No. 3 と No. 1033 の間の温度が低い。このことはこれと平行に稍北方の永石通附近に引いてみても同じで、やはり中央が低い。これはこの中央を通り上層を北流する低温伏流を考へるか、或は兩端

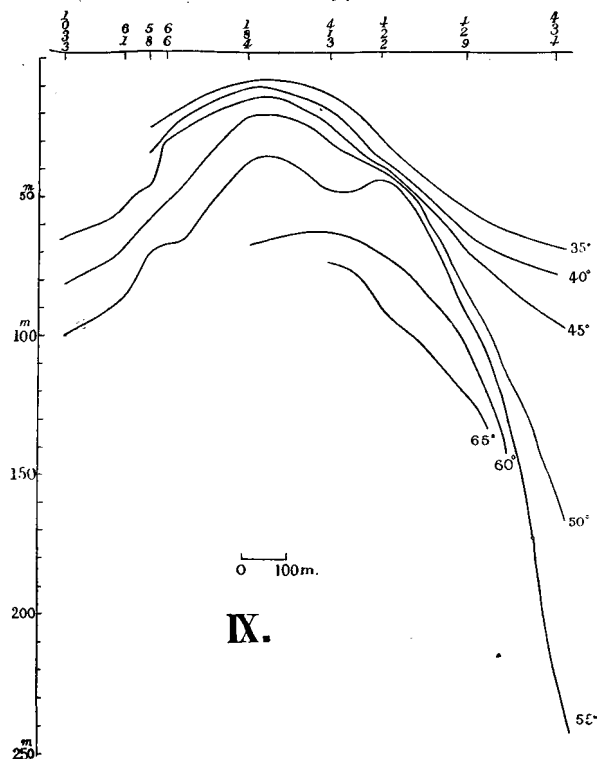
第 7 圖. 其 の 8



が田の湯脈からの温泉流になつてゐるかを意味するものと思はれる。事實、化學成分濃度分布に現れてゐるものもあるから、上に言つたのは二つ共存在してゐるのであらう。

IX. 北埋立から南々西に引いた断面で、50°迄の等温線は No. 184 の邊で最淺であるが、それより高い等温線は No. 413—422 の方に最淺部がある。二つの泉脈があるしるしである。但海門寺脈にあたる方が、少し南に寄つてゐる。この邊の事情は更に後日の闡明に俟つ。又 60°以上の線は No. 434 には及んでゐないのであつて、No. 429—434 の間には何か特別な轉移點の存在が考へられる。

第 7 圖. 其 の 9



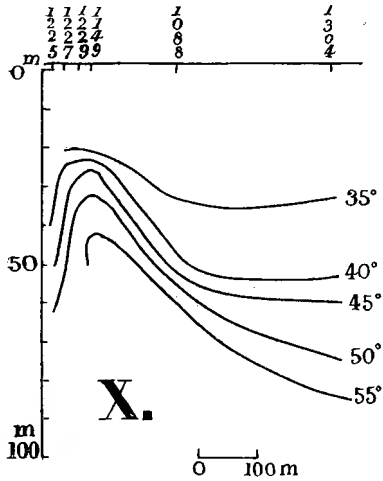
X. 朝見川を横切り濱脇

泉脈の横断面を畫いたものである。No. 1149 附近の泉脈中心から、No. 1088—1304 の方へ、朝見川を渡つて分散してゐる様子が標式的に示されてゐる。No. 1229—1227—1225 の方への等温線降下は急でこの先方には殆ど温水流出のないことを示す。事實 No. 1225 は活動湧出口の限界にある。

濱脇泉脈は、他の断面其他より按するに、市有濱脇温泉の一角（東隅）から濱

別府舊市内の地中温度分布と温泉脈

第 7 圖. 其 の 10



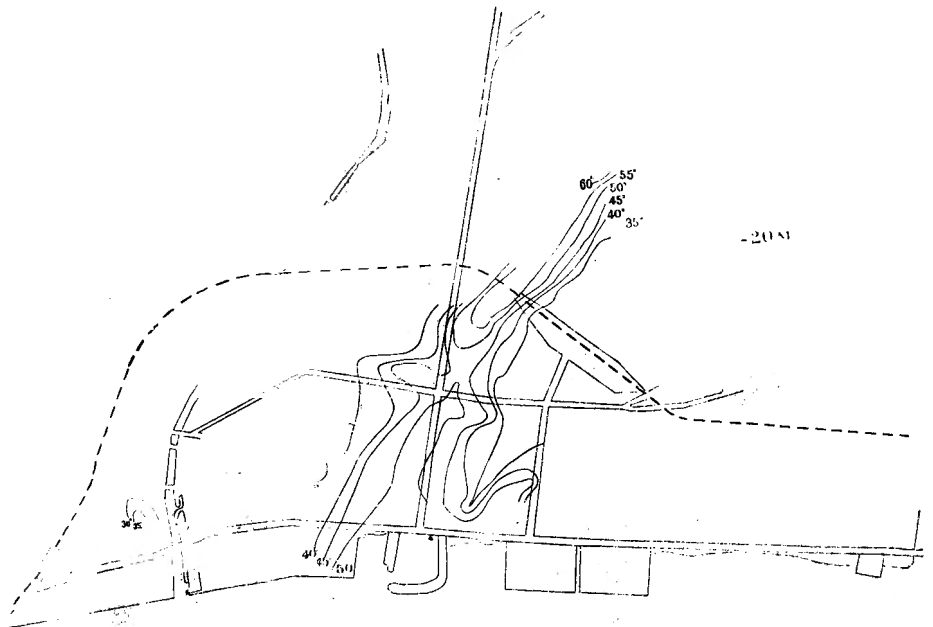
脇砂湯の稍北方に向つて存在するものの如く、その支ふる範圍、温度、水頭等からみて、他の二泉脈と比べて可成弱勢である。

尙、朝見川の北、松原公園の稍東迄の間に相當高温の湧出口があるが、之が獨立した泉脈か、或は濱脇系か田の湯系かは今日迄地中温度の資料が無いので明にされないのは遺憾である。

6. 水平断面圖上の地温分布

海面下種々の深さに水平断面を作り、其の上の温度分布を調べて見たが、第 8 圖には其の内深さ 20m, 55m 及び 90m の三つの場合だけを掲げる。

第 8 圖の 1. 海面下 20m の地温分布



海面下 20m 位だと田の湯脈に沿つて 50° 55° の峰が走つてゐて、其兩側に向ひ温度は急下する。又海門寺脈も海岸部に僅か現れる。

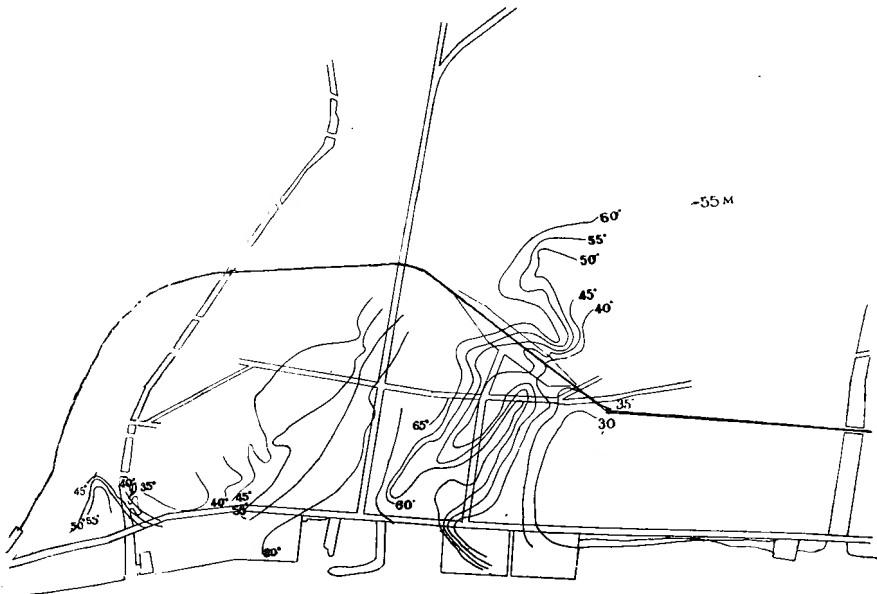
深度を増すにつれて田の湯脈を中心に一對づつの等温線が左右にひらき、又海門寺脈は漸く其の形跡を現はし深度を増すに従ひ奥へ奥へときれこむのみならず其の等温線の圍む帶狀面積も次第に幅を増す。一方濱脇泉脈に就きても同様のことが起る。

海面下 55m の圖に就て見ると、

- (1) 田の湯脈から左方に等温線が散開し、同脈からの流出を暗示する。
- (2) 驛前から斜下に低温域があつて、低温水が流れこんだやうな有様を示す。外の事項からも矢張このことがみとめられるので、事實一水系がこゝにあるものとみられる。
- (3) その北方に 55° の等温線が入こんで海門寺脈を示す。
- (4) 更に北の方は低温水によつて占められてゐる。之は境川方面からの影響と思はれる。
- (5) 市街南端に濱脇脈が現れてゐる。

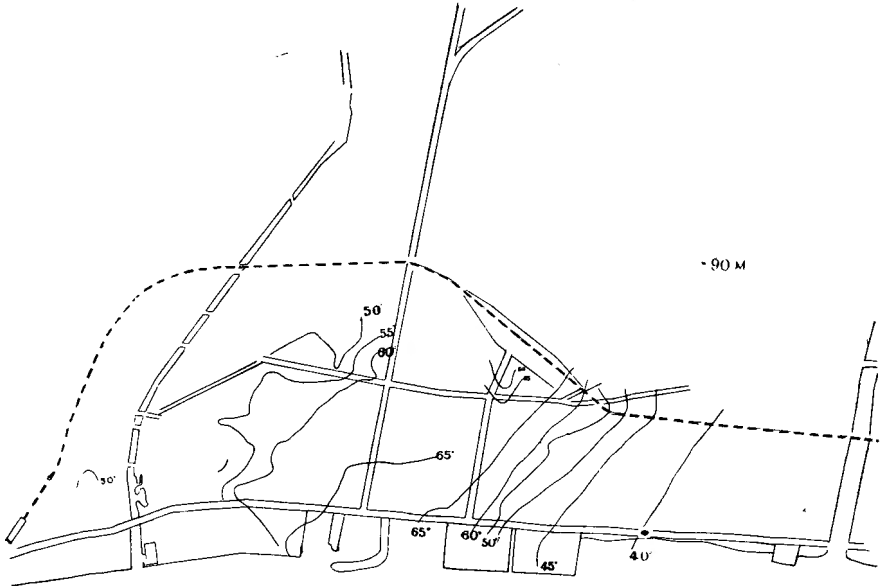
此から更に深度を増すと、今迄と同じやうに更に等温泉が泉脈を中心に開き、上の(2)の低温域は狭められ、海門寺脈以北にも漸く 30° 以上の等温線が進み、深くなるにつれて北

第 8 圖の 2. 海面下 55m の地温分布



別府舊市内の地中温度分布と温泉脈

第8圖の3. 海面下90mの地中温度分布



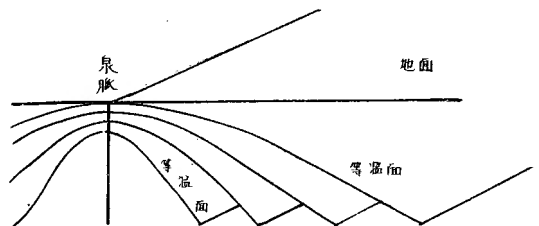
へ進行する。又、田の湯脈の南へは遠く松原公園附近へも田の湯脈から出た等温線がすゝむ。しかし海岸に近くでは、永石通を境に南は急に冷い(70m深)、更に深くなると等温線相互の間が次第に離れ、深さ90m位で驛前の低温域は消える(消え方は海岸から次第に奥へ引こんで消える)。そして田の湯、海門寺兩脈の間は一帯に高温域が擴がる。

7. 泉脈及其構成、一般的温度分布

以上の事から泉脈の兩側に於る温度配置として第9圖の如き標式を得る。従て、

(1) 泉脈は裂目に沿つて下方からの熱水乃至熱蒸氣供給のあるところで、各層毎に兩側へ流出しつつ餘分のものが順次上昇する。最後のものが地表に自然湧出となつて出る。依て自然湧出を持たぬ泉脈もありうるわけで、海門寺泉脈は其の例である。

第9圖. 泉脈兩側の温度配置標式



(2) 一般に低温地下水流のあるところに、丁度 slit source 狀に温泉水が重合される。

又一般的にみて、泉脈を遠かるにつれて、又低温地下水層との接觸點から遠かるにつれて、熱傳導のみに支配さるゝかの如き狀況を示す。従て、飛躍層は泉脈に近いが、低温水の接觸位置に近いを示す。又ある地點の熱は、水平方向の流れと垂直方向の傳導の平衡の結果とみられるから、中間等温層の如きは可成り速い流れを暗示する。此等を別府に就いて考へるに、山の手と朝見、境兩川からの低温伏流に、三つの泉脈——濱脇、田の湯、海門寺脈——からの高温水流が加つてゐる（山の手からの低温伏流は更に數流を數へるが、これらは別論文⁽¹⁰⁾に示す如く、化學成分濃度分布等に依り闡明される）。そして田の湯脈が最も優勢で海門寺脈の稍南から松原通附近迄を支へ、それより南は濱脇脈により支へられる。海門寺脈は高温のものを湧出させるが、田の湯脈よりも其力は弱い。而して田の湯、海門寺脈の間は、兩脈に兩端を支へられ、最も豊富な湧出域となつてゐる。海門寺脈以北は急に温水は深部へひそみ、その温度も高くない。しかし境川以北までも低温ではあるがつかいてゐるものと思はれる。現在この系とみられる最北のものは餅ヶ濱にあり、龜川照波園脈系の南端春木川南岸とあまり遠くはない。

泉脈の方向は三つともほぼ平行で、堀田—濱脇の地質構造線の方角をとる。最後に、この泉脈に於る下方よりの温泉水供給が如何にして行はれるかとの大問題が残るが、これは更に廣般な大別府温泉地帯全般の調査が行はれて後論ぜらるべき問題である。種々の興味深い新問題を暗示しつつ、既に新市域部の地温調査も進行しつつある。後日より廣般な地温分布の材料を以て再び本誌上に讀者に見えらるゝことを約して置く。

結 論

以上吾々は、過去五年に亘る別府舊市内ボーリング百余口に就き各深度毎に行つた測温資料を基にして、別府の地中温度分布を審にし延いて温泉脈及び冷水系の實狀を明かにすることを得たが、其の結果の重なるものを列記すれば次の通りである。

- 1) 別府舊市内には温泉脈が三つある。其の内田の湯及び濱脇の二泉脈は古來自然湧出口をもつ「開放泉脈」であつたので疾に其の存在は知られて居たが、新に吾々が海門寺温泉脈と名づけるものは自然湧出のない「隱蔽泉脈」で今回の調査研究により始めて確認されたものである。

(10) 山下啓：別府に於ける地中温度と其他測定との比較；本誌次號

- 2) **別府市内温泉の大部分は** ドロネー (de Launay) 氏の所謂層狀被壓泉である。別府地下には多くの透水性地層と不透水性層とが重さなつて居るが、其の内幾段もの透水性層内に温泉水が含まつて居ることは、實際の採湯深度の具合や採取土質からばかりでなく、ボーリング作業中の諸現象例へば孔底の崩解、通あり、測温示度の異狀降下等によつて認知される。
- 3) **ボーリング中の地中温度上昇の模様に 6 箇の代表型がある** 田の湯型、海門寺型、北部分散型、秋葉中間等温型、海岸微減温型、濱脇型の六つが夫れである。開放温泉脈に當る地點の内、田の湯型と濱脇型とは何れも浅層で飛躍的に昇温し其の上部に低定温層が始んどなく、採湯深度は共に浅いが採湯終温は強力な田の湯型では高く弱勢な濱脇型では低い。隱蔽温泉脈なる海門寺型では採湯深度も飛躍層も前二者より遙に深く潜在し其の上部に低定温層が著しく發達する。一般にかくの如く一の飛躍層を夾み上下に温度の變化の殆んどない定温層のあることは其上下ともに伏流水の存在を物語るものである。北部分散型でも上部 60m 附近まで定低温層のあることは同じく低温伏流を暗示するもので、それから下は著しく緩勾配で昇温する。秋葉中間等温型では中等深度で中等温度の定温域が發達し、其の間は採湯はしてないが矢張り中温度の伏流が弱いながら存在することに照應する。又海岸の若干區域で採湯が最高温度層よりも相當深くで行はれ温度が若干低くなつて居るのも、最高温水よりも遙に優勢な若干低温の伏流が其の下層にあるものと思はれる。
- 4) **垂直斷面上的地温分布圖を作れば泉脈の特性を如實に現出する。**元別府に於て斷面Ⅲは大體南北の方向を取つて泉脈を横ぎる垂直斷面の標本といふべく、等温線が二つの山狀にもり上がつて田の湯脈と海門寺脈の存在を暗示し、斷面Ⅴは泉脈に沿うて引いた斷面の標本を與へるもので等温線は皆地表に平行に近く、山も谷も作らぬ。又斷面Ⅹは濱脇の獨立泉脈を示して居る。
- 5) **水平斷面上的地温分布圖は更に一層確實に別府三温泉脈の所在と其の影響範圍とを明示するばかりでなく、低温水系の所在と其の性質を示して呉れる。**例へば田の湯脈と海門寺脈との中間に山の手から流下する野口水系や、田の湯脈の南西部にある秋葉中間低温水流や、境川及び朝日川流域の伏流冷水の影響等がよく分る。
- 6) **別府温泉の地下構造** を以上の諸事實より想像すれば、幾重にも重なつた透水性に

別府舊市内の地中温度分布と温泉脈

山手や朝見・境二川からの伏流によつて涵養される普通の地下水が豊富に存在する處に、海門寺・田の湯・濱脇の三つの裂目が此の地域の基準地質構造線に平行に入つて居て、其の裂目の下部から熱湯或は熱蒸氣が上昇し各透水層毎に兩側に分流し、特に餘力の多い田の湯脈だけは地表まで自然湧出を作つて開放泉脈をなし、餘力の少ない海門寺脈は途中の透水層中に流出し盡くして地上に自然湧出を持たない隠蔽泉脈となつて居るものと思はれる。濱脇泉脈は明治初年までは開放泉脈であつたが、現在は衰微して隠蔽泉脈に化してしまつた。

終りに本測定に熱心な援助を與へられた瀬野錦藏、山下幸三郎、森永榮の三氏に深く其の好意を謝する。