

地球物理

第 2 卷 第 4 號

昭和 13 年 12 月

論 說

化學成分其他諸因子より見たる 別府地下溫水の流界

理 學 士 山 下 馨

本稿に於ては先に發表した別府市街部の地中溫度測定⁽¹⁾ と他の種々な測定⁽¹⁾の値を比較して流界 (Streamfield) 考慮に資したい。

他の測定といつたのは、化學成分濃度、湧出溫度、湧出量、感潮度、感雨度などである。此等相互の相關については、すでに種々の研究が、別府は無論、他の溫泉に就ても行はれ發表されてゐる。筆者は、特に地中溫度との比較を試みる。

地中溫度を除く他の量は皆主として地表に於て行はるゝ二次元的な測定で立體的でないから、結果は一葉の平面圖の上にはあらはされる。従て之を地中溫度と比較するにあつては、常に其深度に對する考慮を忘つてはならぬ。然るに深度は、主として一齊調査に據り所有者の報告に基づいたもので、直接測定ではないのであるから、此點に於ても比較は十分な精密さを以て行ひうるものではなくなる。其他にも理由があり、當初定量的論述を行ふ豫定の所、遂に斷念せざるを得なくなつた。かゝる意圖を遂行する爲には更に數十倍する基礎測定が行はれねばならぬ。

1. 湧出量分布との比較

湧出量は採水層の深さと湧出壓と湧出に關する抵抗の函數である。然るに前文で述べた

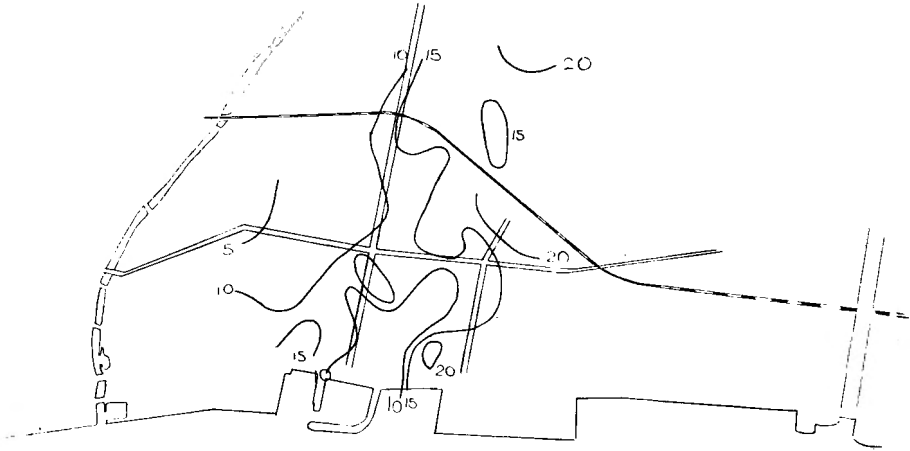
(1) 野滿, 山下: 別府舊市内の地中溫度分布と溫泉脈; 本誌第 2 卷第 3 號 233 頁

化學成分其他諸因子より見たる別府地下温水の流界

第1圖 湧出量分布(單位は毎分リットル)

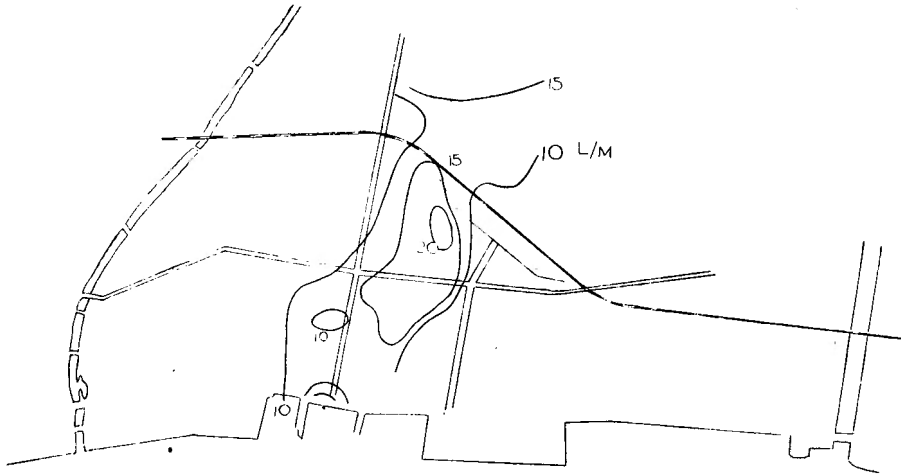
(A) 深度30~45mのもの(A層に於ける)

Q



第1圖(B) 深さ55-60mのもの(B層に於ける)

Q



如く、別府市内の透水層——採水層——は殆ど地面に平行してゐる。依て湧出量は抵抗と湧出壓に関する一計量とみなし得る。

湧出量の平均値を本誌第1巻第1號の資料⁽²⁾から求めて第1圖に示す。之は全市を直交

(2) 別府市内温泉峯帳抄並に泉温及び湧出量一齊調査；本誌第1巻第1號28頁

直線群で基盤目^{メッシュ}に分つてその平均値を作り、夫をその中心に於ける値となして、連續的に補間したものである。尙湧出量は其測定が多いから之を深度別に統計がとれる。こゝには(A)30~45 m (B)55~60 m のものについての圖のみを掲げる。特性及對應事項は下の通りである。

(A): 湧出量Qの最大帯は一つの線の上にあつて、地温による田ノ湯脈よりいくらか北に寄つてゐる。そして平面圖上に於ける採湯域の限界に於てQも亦小さい。即ち、現在の限界以外に於ては十分な量が得られない。かくて(A)に於ける採湯は正に田ノ湯脈に起原を有するもののみである。

(B)領域は(A)より更に廣い。大體に於て田ノ湯脈の南(左)方は(A)と同じである。(A)と判然異なるのは、北(右)方限界に向つてQは減少せず却つて次第に増加してゐる。即ち採湯限界に沿ひ必ずしもQは小さくない。このことはこれ以深の各層についても同様である。之を深度—55mの等温線配置とくらべると、採湯域の限界は略々海門寺脈の上にあることが判る。そしてその限界に於てQは極大である。このことは63~75m深度のもの配置をみればもつと明瞭になる。その平面圖は紙面の節約上之を略するが、北小學校の西端附近より流川に向つた、海岸に略々平行な斷面上にQと對應する地温をくらべてみると流川に於てQも地温も極大、次第に北進するにつれて兩者共漸減、ある極小を越えるとQは急激に増大、地温も昇り、海門寺脈と名づけた場所に於て兩者共極大、それより北にはこの採湯深度はなくなり、地温は急激に降下する。之を要するに、海門寺脈の實在を示すものであり、その北方當該深度に於て有力な低温地下水が存在して海門寺脈よりの温水北流を妨げてゐるものとみられる。

又、一般に全體としてみたとき、田ノ湯脈と海門寺脈に沿ひQ大きく、その中間にQの小さい部分がみとめられる。兩泉脈に關する一傍證である。

又南方に向つては、田ノ湯脈から漸次減少してゆくことは常識的であり、地中温度分布との對應も常識的である。濱脇脈についても亦同じ。

又ずつと深い、前文中に名づけた北部分散域に於ては、等Q線が海岸線に平行——等高線に平行な傾向がみとめられる。かゝる領域に於ては採湯層は必ずしも地表と平行せず、地表よりも緩勾配をなすものと考へられる。又、等高度のものについていへば、境川に近づくに従つてQが大きくなつてゐることもみとめられる。Cl⁻濃度に見られる「境川水系」の

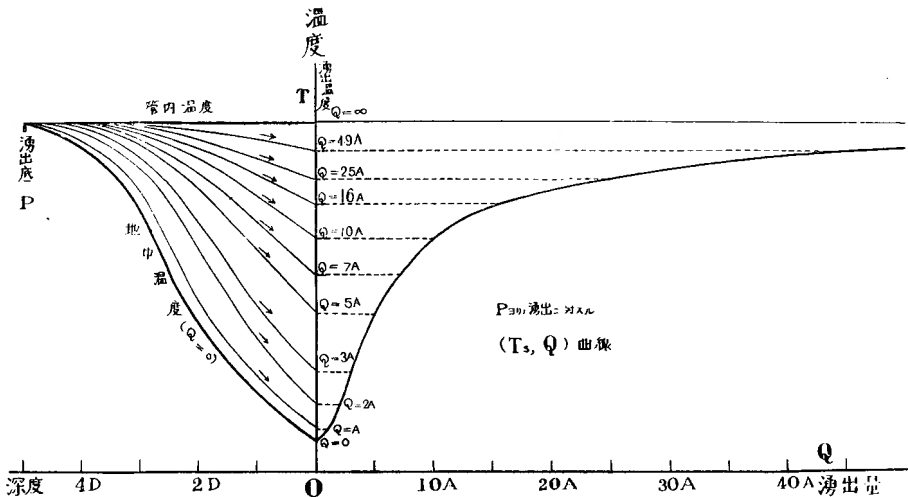
一傍證である。結局常識的な結論であるが、泉脈(地中温度極大)或は水系の入口で Q が大ききことになる。之を別府に就ていへば、確認される對應は海門寺、田ノ湯、濱脇の三泉脈と境川水系に起つてゐる。

2. 湧出温度

最も一般的に考へて、湧出温度は混合と冷却により決する。但しこゝに言ふ混合とは、管に沿つて湧出する途中のものである。十分綿密な注意を以て中途流入を防いだ場合に於ても尙 10C 以上の減温が起る場合がある。かゝる領域は、冷却による減温の甚だしいことは明で、低温層の厚い部分或は有力な上層低温水流の存在する範圍に多いことは無論である。別府に就ていへば野口方面北及南の分散域に於て多い。

混合と冷却が同時に作用する場合、湧出温度 T_s は湧出量 Q の函數と考へられる。混合のみの場合といへども Q と湧出温度の關係は、地中の微細構造に依るから決して簡單ではない。又冷却も地中に於けるものと、地表に於けるものとあり、之も簡單ではない。併しながら、非常に異つた場所に於て、異つた原因がはたらく時 Q と表面温度 T_s が異つた相關式を有すべきことは明であり、 (Q, T_s) ダイアグラムも或場合には水系の判別に資し得られるのであらう。

第2圖 途中却冷のみによる泉管内の温度標式



本圖ハ標式圖ニシテ 單位ハ未定

吾々は先づさうした處理を省き、たゞ全市の (Q, T_s) ダイアグラムを作つて見たが、前論文圖示⁽³⁾の如く決して簡單ではないけれども、おほろ氣ながら (Q, T_s) の相關帯がみとめられ、 (Q, T_s) ダイアグラムの有意性がみとめられる。又第2圖に冷却のみのあるときの地中溫度、湧出量、表面溫度、 (Q, T_s) ダイアグラムの對應を標式的に示しておいた。但し今日迄實測値が得られないので單位未定。

さて別府に於ては、湧出溫度の差異は混合よりも冷却が第一因子と考へられる。何故なら、部分部分に於ても Q の増大が T_s の増大に(殆ど全部の場所)對應してゐるからである。そして、減温の大きさの配置も、野口、南北分散域等、低温層の厚い所に大となつてゐる、かゝる場所に於ても依然 $\frac{dT_s}{dQ} > 0$ であるからである。

但し長期にわたる一つの湧出口の觀測においては $\frac{dT_s}{dQ} < 0$ のものもみとめられる。これは混合に違ひないが、地中溫度自身の變化を伴ふものも含まれてゐて、以上の推察とは撞着しないものである。地中溫度自身の變化に

ついても觀測が實行されてゐるから、此間の消息も將來本誌上に明にされるであらう。

要するに、湧出溫度により或程度迄地中溫度を想像することはできるが、往々失敗する。つまり、表面測定のみにより内部の想像をなすことは有意義なことではあるが、思はざる重大事を看過する虞れがある。之は化學成分濃度等に就ても同様である。

第1表 湧出溫度と泉底溫度との差

的ヶ濱境川方面 6°—15°	野口方面 11°—20°
田ノ湯脈 0°—3°	秋葉通山手 6°内外
北濱海水浴場附近 2°—3°	永石通山手 6°内外
永石通中間乃至海寄 4°—6°	松原通海寄 8°—10°
濱脇中央部 3°—5°	

最後に湧出溫度が泉底溫度より低下する程度を第1表に示して置く。

3. 化學成分濃度との比較

(I) Cl^- : 一別府市内温泉のクロール量分布につきては山下逸二郎氏及木戸、丸田二氏による論説⁽⁴⁾がある。又山下逸二郎氏單獨にも Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- の濃度分布に關する論文⁽⁵⁾がある。いづれにせよ次の諸項は明白である。

(3) 本誌第2卷第3號 235頁第1圖

(4) 山下逸二郎、木戸隆、丸田頼三：別府市内温泉のクロール量分布；本誌第1卷第2號 89頁

(5) 山下逸二郎：温泉及地下水の成分に關する研究；別府市街温泉に關する知見（第二報）；藥學雜誌第57卷（昭和12年）第1號 62頁

1. 田ノ湯脈に沿ひ Cl' 甚薄,
2. 北埋立から海門寺, 驛北口方向にむけて Cl' 甚濃。

この對應は明である。1°が田ノ湯脈本來の性質であることは自明であるが、2°は少しく複雑である。前記山下逸二郎氏單獨に於てなされた論に於て、2°は上層地下水によるものとされてゐる。併し同氏の取扱はれた材料には、海門寺脈からの探湯がないので、それ以外の事項を今少し附加しなければならぬ。丸田氏によるこの Cl' 極大帯は、同じ場所に起り驛前通と舊國道の交點より急に方向を變へ國道に沿はうとする方向を示す。又北埋立中邊から鞍狀に内向する濃部がある。氏はこれを海水の影響とみて居られるが、其後の調査によるとこの濃帯はずつと入りこみ鐵道線路に迄達してゐるから、別の原因の如く思はれ

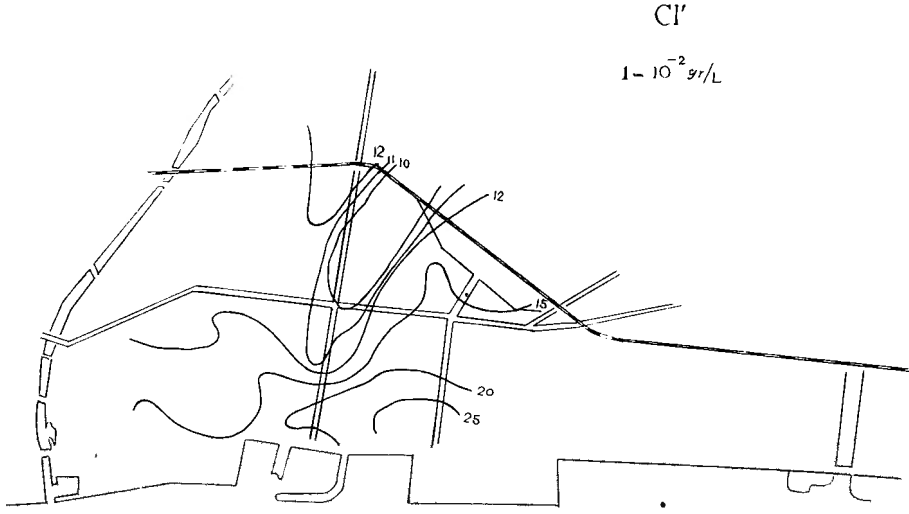
第2表 Cl, HCO₃ 増補測定 (單位 Cl 1=0.03546 gr/L
HCO₃ 1=0.0788 gr/L)

温泉番號	Cl'	HCO ₃ '	温泉番號	Cl'	H'CO ₃ '	温泉番號	Cl'	HCO ₃ '
1297	1.85	10.3	1295	10.95	13.7	427ノ1	9.39	10.0
1300	1.61	8.7	564	5.59	4.3	428	8.06	17.0
(市有境 川温泉)	4.45	16.9	460	7.19	5.6	428ノ1	7.77	13.0
1256	0.85	4.2	566	6.19	4.6	434ノ13	7.64	13.0
1296	1.51	8.7	568	5.24	4.7	340	8.05	7.3
松村	2.11	10.3	561	7.95	4.5	340ノ1	7.79	8.7
1298	3.69	13.9	552	7.80	5.2	425	7.87	8.0
金澤	2.26	12.6	560	5.41	4.6	426	5.05	5.9
1289	2.32	13.1	470	7.69	5.7	343	6.74	8.3
1308	4.46	17.6	471	6.90	4.9	341	7.53	5.4
養老	6.24	15.7	472	7.79	5.5	412	7.76	8.2
1301	1.71	9.2	551	7.40	5.4	411	3.92	5.1
1299	2.07	10.1	新河村	4.80	13.0	407	7.51	6.2
1288	1.90	18.4	ク吉見	10.04	6.8	410	6.21	5.3
451ノ4	8.11	16.4	437ノ1	6.23	5.9	408	7.39	7.6
451ノ1	1.52	8.2	1285	6.63	6.3	406	8.23	8.1
451ノ1ノ1	4.56	15.8	442ノ1	11.51	9.0	409	4.99	5.3
450ノ1	2.00	7.3	437	6.00	6.4	423	6.92	7.3
1284	5.41	16.7	1808	8.70	7.0	1295	10.95	13.7
451	1.10	5.1	401	7.11	3.6	434ノ1	1.40	8.9
1257	8.02	15.6	441	7.21	8.3	434ノ12	5.08	12.7
1257ノ1	12.92	10.7	438	9.81	9.4	434ノ8	6.87	12.4
444	11.66	10.0	414	7.36	7.9	434	12.70	11.7
443ノ1	13.53	9.3	435	6.32	7.2	434ノ5	10.24	13.8
443	13.92	8.4	432	6.15	7.6	473	6.09	5.6
443ノ3	10.20	7.0	433	12.47	12.0	473ノ1	5.24	4.6
448	10.19	9.0	430	6.65	9.4	405	7.58	5.2
濱口	6.11	13.3	427	7.89	8.4	396	7.60	5.6

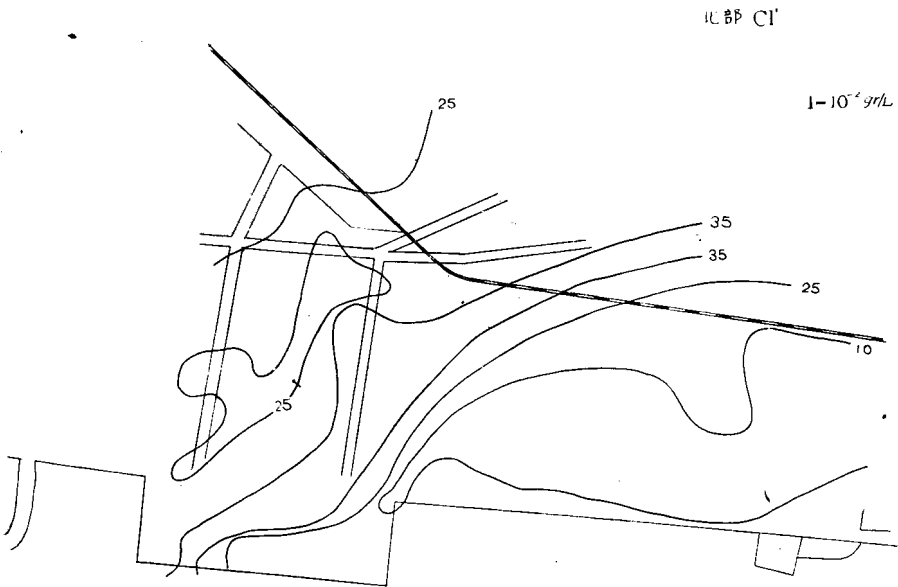
化學成分其他諸因子より見たる別府地下温水の流界

る。これらの理由から筆者は海門寺以北の全湧出口について Cl^- と HCO_3^- の滴定を行つたのであつた。その結果は第2表の如くで、それを圖示して第三圖を得た。其内のA圖は吾々の所謂(B)層に沿つたもので、B圖は増補測定によるものである

第3圖 クロール分布圖A



第3圖 B



3. 驛北口より斜下する濃帯 M_0採湯層深 68~80m
4. M_0 に平行し北濱北隅から行合町角へいたる稍稀帯 N_2採湯層深 68~110m
5. 北埋立中程より斜上する濃帯 M_1採湯深 100~110m
6. 上の支帯とみられる M_2 , 深度 180~280m
7. 境川より略海岸に平行に的ヶ濱南隅に向ふ稀帯 N_1深度 140~178m

尙同區域に於ける HCO_3' 濃度分布に於ては, N_1 に對し N_1' が同位置に, M_1 に對應し M_1' が M_1 に平行にしかも稍北へ變位して現れる。又 M_2 に對應する M'' もほゞ同位置に現れる。(第3圖B)

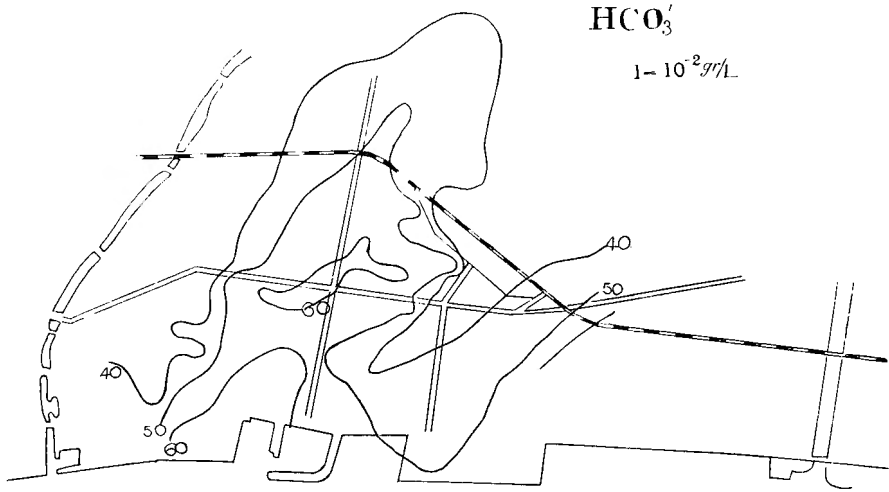
併て地温との相關を一括すると:

1. 田ノ湯脈に沿ひ Cl' 稀薄。即ち田ノ湯脈からの湧出物が Cl' に乏しいことである。
2. 秋葉中間等温層帯に向ひ Cl' 稍濃帯東下す。即ちこの部分に注入する水系が考へられる。尙他の成分にも出てゐる。
3. 濱脇脈の南方に急激に Cl' 増大。即ち同脈よりの流出少く海水の滲透を示す。朝見川の稍北方 Cl' 稀帯, 等温面が最も降下するところに Cl' の極大帯がある。
4. M_0 は, 海面下 70m の 60° の等温線の包む低温域の主軸と一致する。従てこの方向に考へられる水系たる野口水系は Cl' に富む。
5. N_2 は海門寺脈の上乃至稍北にある。海門寺脈からの湧出を示すものである。そしてそれより北とくらべて幾分浅いので上層地下水(境川系)の影響をうけてゐる。
6. M_1 は深部に於ける海門寺脈よりの流出を示すものと見られる。 Cl' の M_1 に對應する HCO_3' の M_1' が M_1 より北變位してゐるのは, 對應深度を考慮すると, 結局この流出帯に於ては, 何等かの理由により Cl' は比較的上層に, HCO_3' はより深層に多く含まれてゐる事を示すものとみられる。究極これは海門寺脈の一性質とも思はれる。今後化學成分濃度の垂直分布が研究されれば明になることである。尙この M_1 は地中温度垂直分布の海門寺型と北部分散型との境界となつてゐる。
7. N_1 は境川の伏流に起因する一つの水系を示すものである。地温の材料が十分でないので, 對應は明にされてゐない。

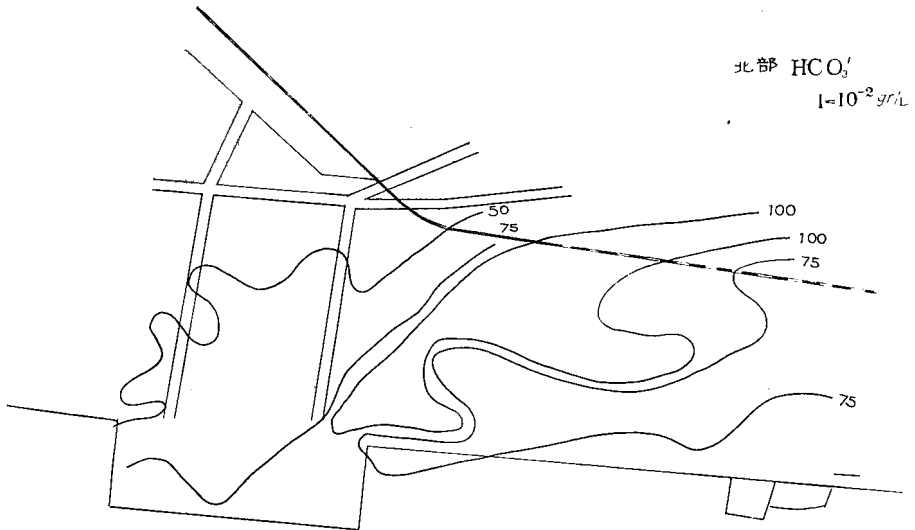
附記. 同じ場所では大體深度の大きいものの方が Cl' が多い。深度による Cl' の増加度は流川を南に入つて, 海岸に近よるにつれて大きい。

化學成分其他諸因子より見たる別府地下温水の流界

第4圖 重碳酸イオンの分布A (1卷1號の表による)



第4圖 B (増補測定による)



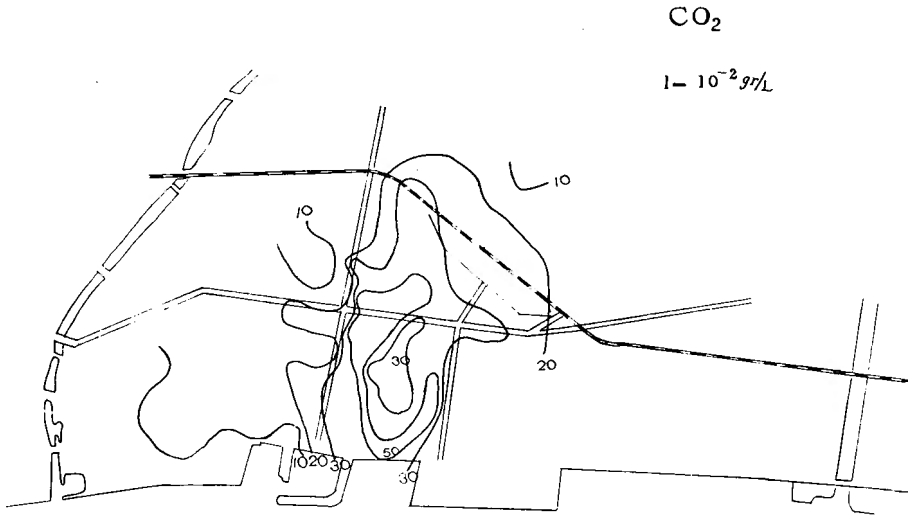
[II] HCO_3' : 海門寺脈以北については Cl' の項で述べた。それ以外には、

1. 田ノ湯脈に沿つて HCO_3' 濃
2. 野口水系に於て HCO_3' 稀
3. 海門寺脈に於て HCO_3' 濃
4. 朝見川に向ひ HCO_3' 漸減

他の化學成分と比べて著しい特徴は、 HCO_3' が最もよく地中温度に對應してゐることである。即ち地中温度の高い所程 HCO_3' が多いことである。尙ほ本誌第1卷第1號には市内

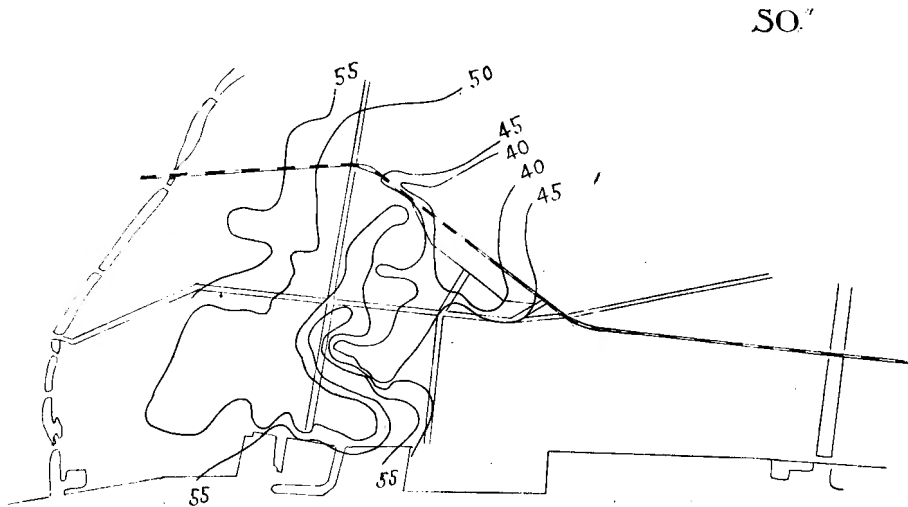
107口の温泉につき完全分析表⁽⁶⁾があるから、之によつて他の種々の化學成分の分布を研究しよう。

第5圖 遊離炭酸の分布



CO_2 - HCO_3^- と異り、田ノ湯脈と海門寺脈の間が多い。野口水系に對應する部分は少い。田ノ湯脈に關する限り HCO_3^- の極大帯から明に北變位して極大帯が現れる。この事は恐らく何か重要な意義を持つてゐるのであらうが今の材料では明かでない。

第6圖 硫酸イオンの分布



(6) 別府市内温泉分析表；本誌第1卷第1號78頁

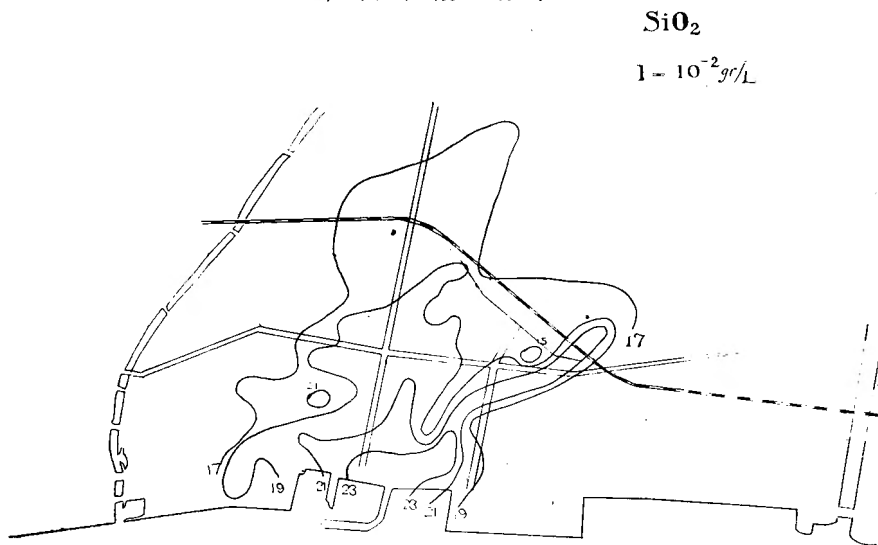
化學成分其他諸因子より見たる別府地下温水の流界

〔III〕 $\text{SO}_4^{//}$:- 田ノ湯脈、海門寺脈にて極大、野口水系で極小。この外に秋葉通の山手寄には、田ノ湯脈に平行する極大帯が存在する。之は秋葉町中間等温層に對應する。

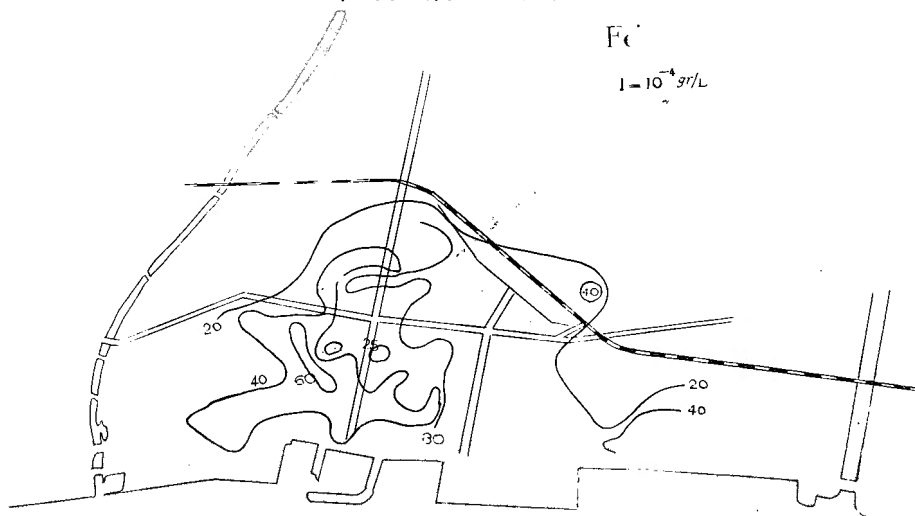
〔IV〕 SiO_2 :- 田ノ湯脈、海門寺脈に於て極大、野口水系に於て極小。

〔V〕 Fe^{+++} :- 田ノ湯脈の少しく南方に極大。海門寺脈には極大なく、野口水系も對應しない。この極大がさきの秋葉通に流入する $\text{SO}_4^{//}$ の多い水系(秋葉水系と言はう)に對應するものか否かは明でない。

第7圖 硅酸の分布



第8圖 鐵イオンの分布



化學成分其他諸因子より見たる別府地下温水の流界

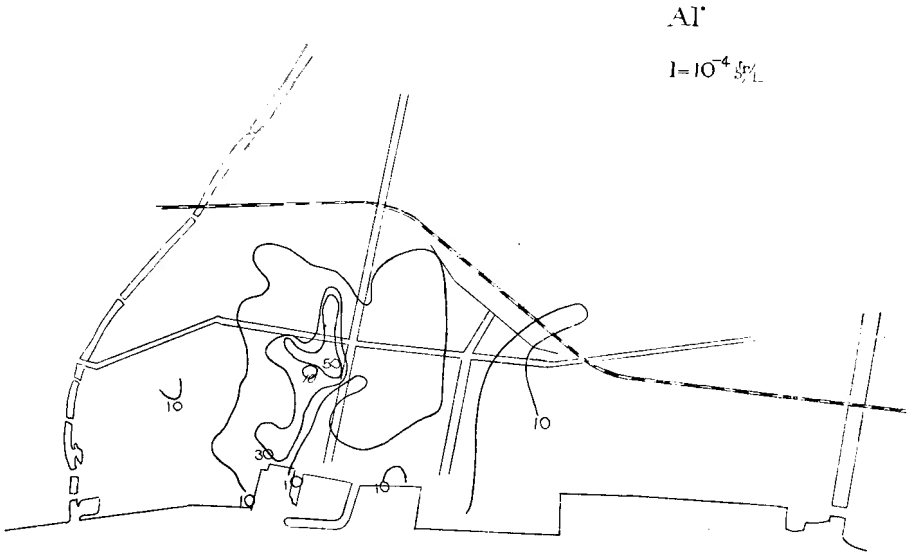
[VI] Al^{+} :-ほゞ Fe^{+++} と似た極大帯を示す。

[VII] Ca^{++} :-海門寺脈で極小帯を，野口水系で極大帯をもつ。田ノ湯脈に對應するものは全然現れない。

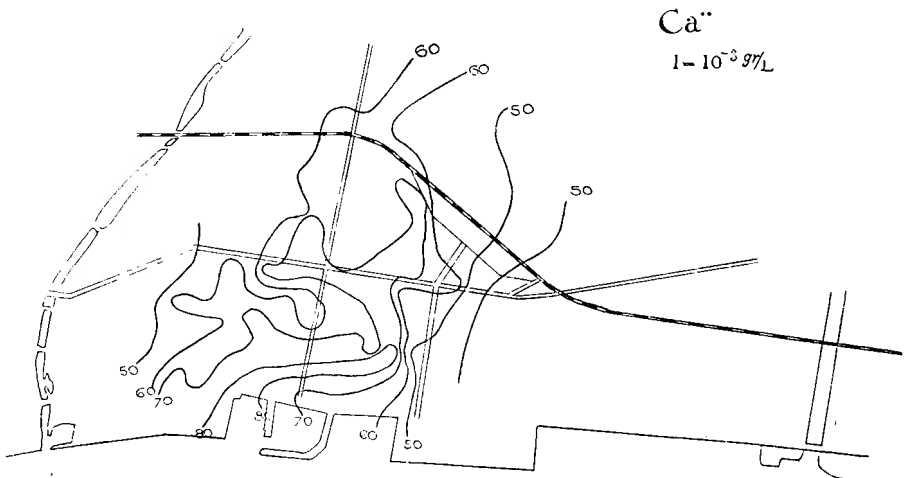
[VIII] Mg^{+++} :-田ノ湯脈を中心に極大帯がある。野口水系が稍稀帯の跡を示す。

[IX] K^{+} :-海門寺脈にて極大帯を，田ノ湯脈に平行して少しく北に極小帯が中央部迄入

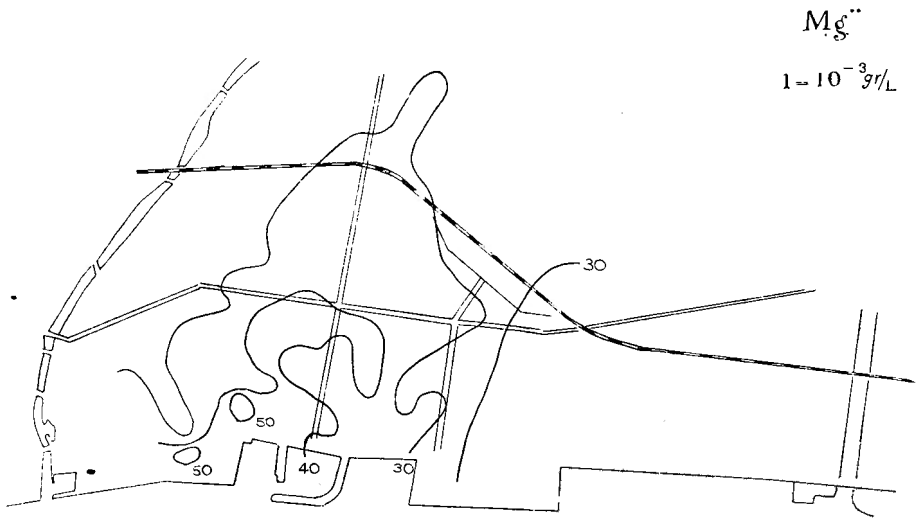
第9圖 アルミニウムイオンの分布



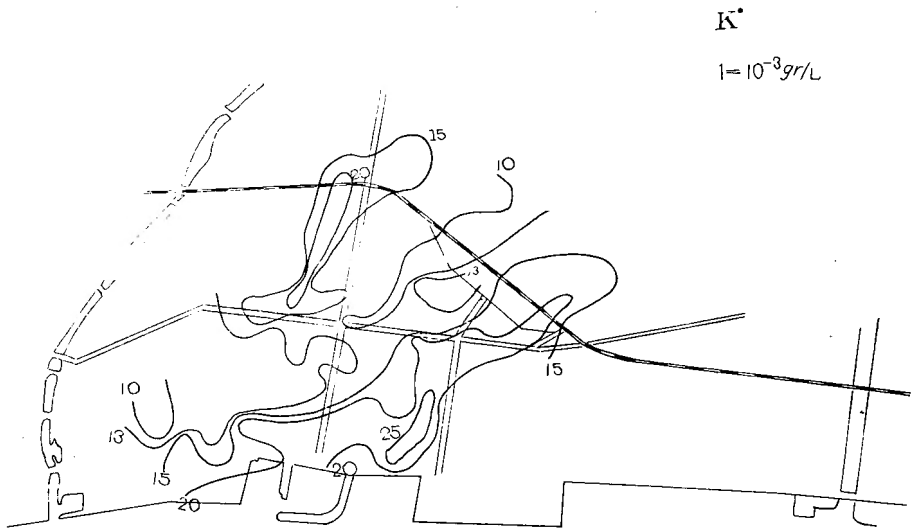
第10圖 カルシウムイオンの分布



第 11 圖 マグネシウムイオンの分布



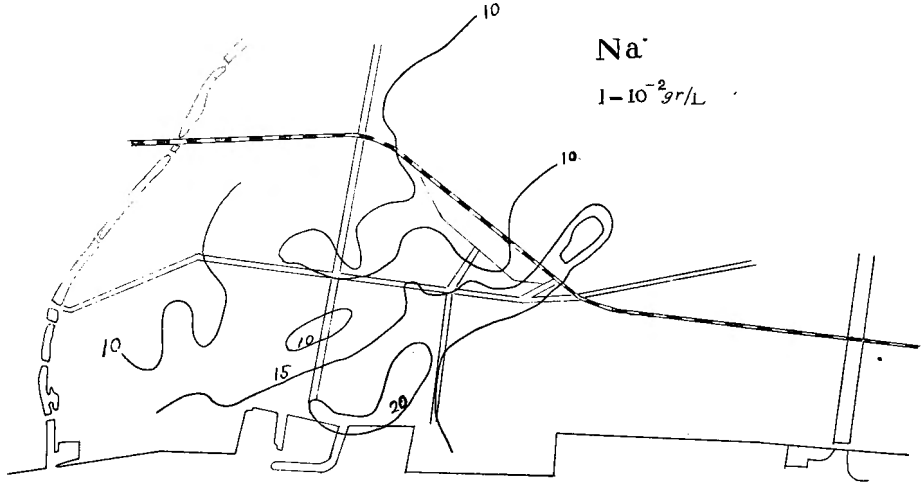
第 12 圖 カリウムイオンの分布



りこむ。特筆すべきは田ノ湯脈に平行，明にその南方，秋葉水系の位置に極大帯があることである。今一つ海岸に平行に松原方面から彌生町通に沿ひ流川通に及ぶ極小帯がある。

[X] $Na^+ - K^+$ と殆ど同じ配置を有する。永石温泉(一夜温泉)から東北に流下する一稀帯がある。 K^+ の彌生町に沿ふ極小帯に對應する。

第 18 圖 ナトリウムイオンの分布



以上を總括すると、地中溫度で特性的であつた場所には、やはり化學成分も對應してゐることをみる。確認された水系は、

- (i) 境川水系 (ii) 野口水系 (iii) 秋葉水系

の三つで、其他永石温泉附近から流入する一つの水系(朝見水系)がある如くもみえる。又、田ノ湯脈の山ノ手に於て多くの成分は稀薄であつて、一つの表層水系(山ノ手水系)が考へられる。このうち、野口、秋葉の兩水系は少し化學成分が多くて、低温ではあるがその起原は温泉系のもつとみられる。しかしこれらの機構は未だ明でない。境川、朝見の水系は夫々の名を冠する川の伏流とみられ、略淡水とみられる。何れにせよ此等のことは深度に伴ふ濃度變化が明になれば確定する。

最後に、湧出水の濃度を果してそのまゝ地中の分布とつてよいかといふ疑問が残る。種々の濃度は結局各水系の混合比によるといふことは明であるが、その比が微細構造的に何を意味するかといふことは可成曖昧である。即ち湧出以前の底の濃度 (non-disturbed state) と完成後湧出するものの關係如何といふことである。之が同じものであるか乃至殆んど同じであれば、湧出中のものの濃度分布は流界に關する定量的意味を有する。然らざる場合は、それらの極値帯以外には流界の直接資料とはなり得ない。溫度の方の事項から考へると、この湧出に伴ふ混合はあまり大きくないやうに見えるが、直接的な測定の完成迄斷定的理論は避けようと思ふ。又混合比の決定に湧出溫度を用ゐることは、如上の理由で危険である。更に、化學成分濃度から各水系の混合比を決定し、夫よりの混合溫度を決

定し、實際地温との比較から流路に沿ふ加温又は冷却の積分がわかる筈であるが、この目的のためには資料が十分といへない。

4. 感潮度との比較

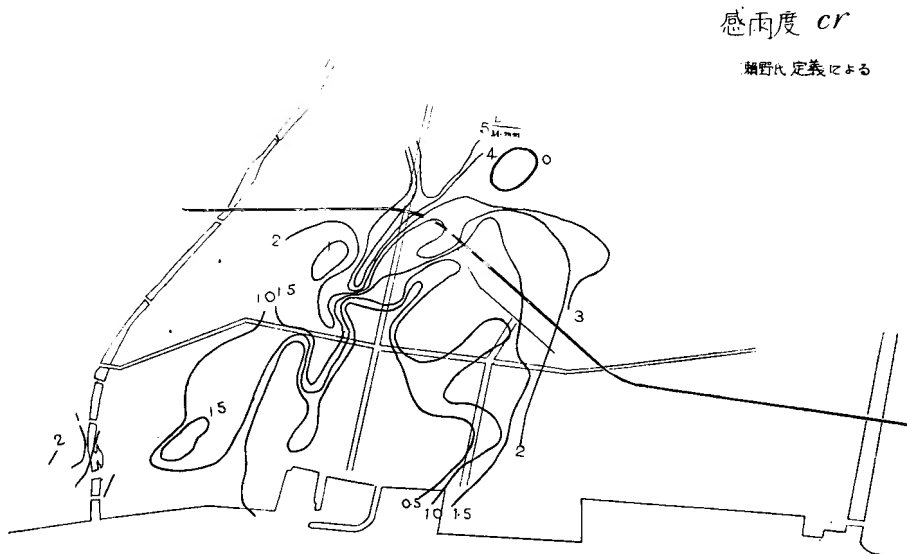
瀬野氏の別府温泉感潮度分布圖⁽⁷⁾を地下温泉水系との相關といふ見地から眺めるに、泉脈の山手寄りのところで幾分特性的ともみえる節がないでもないが、第一次的な相關は無いとみるのが妥當であらう。

5. 感雨度との比較

瀬野氏によつて定義算出された感雨度表⁽⁸⁾を以て第 14 圖を作り、地中温度から推定した水系に對照すると次の如き面白い結果が見られる。

1. 田ノ湯脈、海門寺脈(海寄りだけだが)に沿ひ極小
2. 田ノ湯脈の南方に田ノ湯脈に平行に極大帯があり、中央よりさらに東部に迄進んでゐる。正に秋葉水系の位置である。
3. 驛前から斜に東南に向つて大きい。之は野口水系の位置を示す。たゞ少し幅がひろいが、その部分に地温測點がないことを思へばおそらく地温と對應してゐるものであらう。

第 14 圖 感雨度の分布と水系



(7) 瀬野錦藏：別府温泉の感潮度分布；本誌第 2 卷第 1 號 24 頁

(8) 瀬野錦藏：別府市街温泉の湧出量に及ぼす降雨影響度分布；本誌第 2 卷第 2 號 152 頁

4. 驛背後に大きい。
 5. 永石通附近に於て大きい。この極大帯の主軸も泉脈に平行する。この部分は一帯に等温面が深いところである。
 6. 濱脇は大きい。向濱附近は小さいが、目下不分明の、幾分高地温を豫想される部分である。

これらを要するに、

- (i) 感雨度は泉脈、或は高温域にて極小、低地温域で大きい。
 (ii) 極大、極小の列はいづれも泉脈に平行する。同じ列に沿つては山の手程大きい。面白いことは、浚渫頻度が上の 2, 5° 等感雨度の大きいところに大となつてゐることである。

以上をみるに、感雨度は本来低温地下水に伴つて導入されるものであることが判る。又その極値の列が他のそれに比して一段鮮明に泉脈——地質構造線に平行して現れるといふことは、又感雨度といふものが地質構造とも直接的關係を有することをも示してゐる。その機構については今は述べない。

6. 總 括

以上諸要素の分布から確認された水系と其對應事項は次の通りである。

第 3 表 水系と對應事項

水 系	化 學 成 分 記 事	地 温 記 事	感 雨 度	湧 出 量	備 考
田ノ湯	HCO ₃ ' SO ₄ "、SiO ₂ 、Mg... 多、Cl' 少.	田ノ湯型	小	大	泉脈、自然湧出あり.
海門寺	Cl', HCO ₃ ', SO ₄ "、SiO ₂ 、 K', Na' 多、Ca... 少.	海門寺型	小	大	泉 脈
境川	淡 水	北部分散型	一	大	
野口	Cl', Ca... 多、HCO ₃ ', SO ₄ 少.	{海門寺型 {低 温 域	大	稍大	
秋葉	SO ₄ "、K', Cl' 多.	中間等温層	最大	小	
朝見	明瞭ならず	低 温 域	大	小	
濱脇	HCO ₃ ' 稍多、Cl' 多.	濱脇型	稍大	小	泉 脈

(海水の影響は濱脇南部以外は明かでない。)

要するに地中温度、化學成分濃度、湧出量、感雨度、湧出温度等は流界の實相を介して緊密に結合してゐて、流界が明になれば直ちに相關律も明となるものなのである。唯感雨度は流界と直接關係なく、物理的處理に堪えることが豫想される。いづれにせよ、以上の諸論はたゞ一つの流界を種々の角度から討究したに過ぎない。

終りに絶えず指導と激勵を與へられし野滿博士に深謝の意を表する。