

別府市 龜川温泉 に 於 ける Cl', SO₄'', HCO₃' 分布 に 就 いて

理 學 士 後 藤 巳 與 治

1. 緒 言

所謂別府温泉地帯中、南東部の舊別府市内の温泉群に關しては京大別府研究所の創立以來、種々なる方面より研究され相當の成果を收められてゐる。同地帯北部にも同様な温泉群が龜川町としてある。この地域に就いて最近、その温度、湧出量の一齊調査が行はれ、その結果を輕部理學士⁽¹⁾が報告されてゐる。筆者はこの基礎研究に次いで、同地域の温泉の化學成分の Cl', SO₄'', HCO₃' に就いて定量分析を行ひ、その結果より龜川町温泉の湧出系統まで考察しやうと思ふ。

第 1 表 別府市 龜川温泉 化學分析表

別府市龜川温泉-化學成分表 (1)						別府市龜川温泉-化學成分表 (2)					
涌出口 番號	採水 月日	Cl' 概	SO ₄ ' 概	HCO ₃ ' 概	湧出 温度 °C	涌出口 番號	採水 月日	Cl' 概	SO ₄ ' 概	HCO ₃ ' 概	湧出 温度 °C
2	5 22	0.274	0.1259	0.304	—	209	5 21	1.374	0.2667	0.053	99.5
7	5 19	0.198	0.0642	0.308	61.2	212	5 25	0.615	0.1599	0.276	55.6
10	5 19	0.201	0.2405	0.316	48.0	213	5 29	0.947	0.1728	0.334	49.7
15	5 19	0.656	0.4288	0.188	47.0	214	5 28	1.136	0.1860	0.360	67.6
20	5 19	0.207	0.1662	0.352	41.0	216	5 28	1.082	0.1975	0.353	66.5
29	5 19	0.372	0.1350	0.308	56.0	218	5 29	0.849	0.1868	0.246	59.7
38	10 2	0.845	0.2428	0.250	71.0	220	5 28	1.176	0.2304	0.292	70.4
50	5 19	0.469	0.2000	0.178	57.8	222	5 29	0.567	0.1547	0.211	65.7
60	10 2	0.535	0.1502	0.199	54.7	224	5 29	0.669	0.1638	0.241	69.7
69	5 20	0.595	0.1893	0.264	66.0	231	5 29	0.201	0.1383	0.230	52.5
70	7 15	0.510	0.1780	0.247	64.3	234	5 21	0.542	0.2518	0.192	58.8
76	5 21	0.317	0.1704	0.105	45.6	236	5 21	0.279	0.2181	0.172	58.4
87	8 19	0.459	0.1132	0.225	57.1	242	8 9	0.099	0.0638	0.204	47.6
93	7 15	0.411	0.1636	0.180	51.5	244	8 9	2.406	0.3272	0.058	92.0
99	5 20	0.445	0.2156	0.142	54.0	246	8 9	0.387	0.1049	0.169	52.5
102	10 2	0.429	0.0874	0.183	52.1	247	8 9	0.200	0.1121	0.211	56.5
109	10 2	0.357	0.1173	0.180	61.8	248	5 21	0.312	0.2255	0.225	62.2
120	10 2	0.336	0.1049	0.204	60.1	248	8 9	0.649	0.1409	0.179	78.0
132	5 20	0.210	0.1111	0.308	48.6	248	5 29	0.251	0.1185	0.213	65.4
135	5 29	0.537	0.1547	0.202	57.2	248	5 29	0.244	0.1383	0.185	50.5
139	5 20	0.404	0.1959	0.160	55.6	249	8 9	0.738	0.1409	0.202	75.5
154	5 20	0.358	0.1827	0.180	55.4	250	5 21	0.996	0.2518	0.105	99.4
166	5 20	0.359	0.1864	0.195	57.5	250	8 9	0.714	0.1656	0.179	90.9
171	10 2	0.363	0.1420	0.187	60.8	251	5 21	1.784	0.3588	0.032	99.7
175	5 20	0.342	0.2189	0.178	56.1	254	8 9	1.500	0.2078	0.120	100.0
179	8 19	0.407	0.1461	0.206	50.9	268	5 25	0.702	0.2650	0.158	—
181	8 19	0.304	0.1512	0.195	55.0	270	5 25	0.687	0.2798	0.160	34.5
183	5 20	0.399	0.1934	0.169	56.5	272	5 25	0.099	0.0403	0.336	—
186	8 19	0.360	0.1327	0.243	59.5	275	5 25	0.611	0.3234	0.169	48.9
189	8 19	0.193	0.1235	0.221	42.5	281	5 25	0.403	0.1506	0.163	55.5
191	8 19	1.877	0.2942	0.158	76.5	283	5 25	0.624	0.2740	0.172	—

(1) 輕部末藏：別府市龜川温泉に就て。本誌本號149頁。

2. 化學成分の分布状態

別府市龜川温泉：化學成分表(1)

湧出口 番號	採水 年月日	Cl' 概	SO_4'' 概	HCO_3' 概	湧出 温度 °C
309	5.22	0.064	0.1317	0.139	46.4
310-1	5.22	0.212	0.0321	0.327	—
352	5.25	0.146	0.0412	0.434	40.4
358	5.22	0.296	0.2247	0.202	54.2
359	10.2	0.287	0.1111	0.194	45.0
368	7.15	0.372	0.1235	0.151	44.0
369	5.22	0.330	0.2979	0.194	52.5
372	5.22	0.300	0.2642	0.320	55.8
376	11.11	0.730	0.4115	0.214	79.0
378	5.28	0.695	0.3292	0.197	78.5
388	5.26	0.655	0.3736	0.018	87.0
389	5.26	0.666	0.3932	0.019	88.5
390	7.15	0.714	0.4054	0.049	84.5
394	5.28	0.749	0.2481	0.221	93.7
395	11.11	0.717	0.3243	0.186	—
398	5.28	0.280	0.1852	0.105	48.7
399	11.11	0.921	0.3004	0.211	83.0
400	5.28	0.673	0.293	0.205	82.5
402	11.11	0.663	0.2757	0.229	61.5
403	5.28	0.683	0.2815	0.172	63.2
407	11.6	0.718	0.2675	0.211	81.2
410	5.26	1.403	0.6535	0.000	79.5
414	5.26	1.166	0.5560	0.000	99.7
417	5.26	0.540	0.3597	0.011	69.3
419-1	5.26	1.184	0.5056	0.000	99.5
海A1	10.2	0.279	0.1193	0.257	52.0
海A2	10.2	0.240	0.0309	0.371	45.5
海A3	10.2	0.251	0.0864	0.206	47.0
海A4	10.2	0.238	0.0309	0.387	50.8

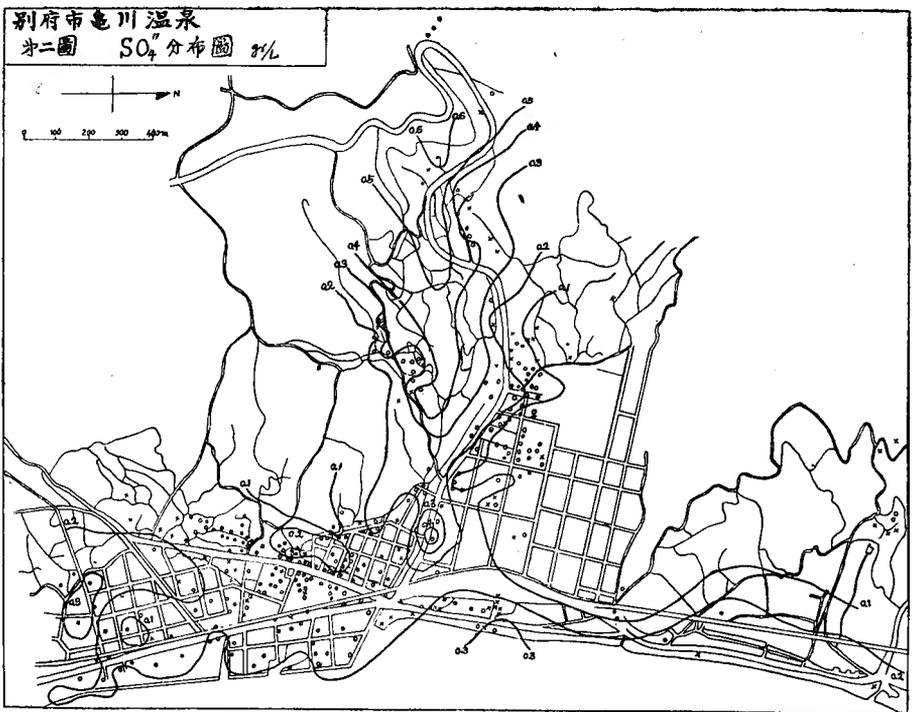
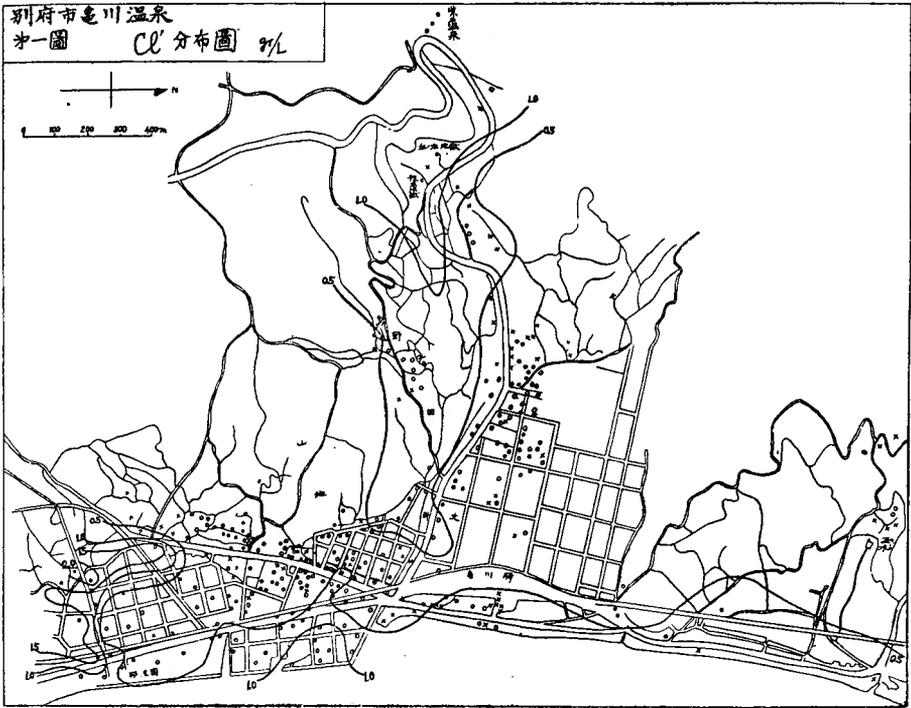
別府市龜川町一帯に湧出せる温泉湧出口總活動數 240 口の中、適當に選んだ 91 口より採水し Cl' , SO_4'' , HCO_3' につき定量分析を行った。第一表の別府市龜川温泉化學分析表は其の結果を示したもので、之によつて作つた分布圖が第 1, 2, 3 圖である。又 Cl' , SO_4'' , HCO_3' の含量と湧出口數との關係については第 2 表に示した。之を第 1~3 圖の分布圖と對照するに、 Cl' 量は 0.0~0.5 %/L, SO_4'' は 0.1~0.2 %/L, HCO_3' は 0.1~0.2 %/L の含有量を持つ温泉が最も多數あるといふ事はこれ等の温泉が湧出口密集して龜川町の一部を占めてゐるのによる。

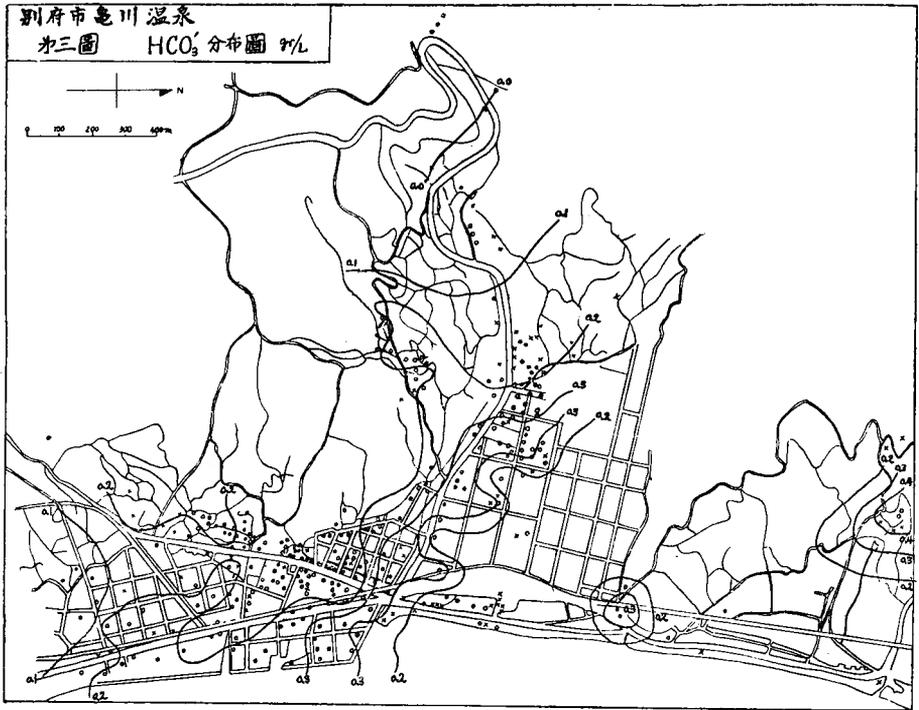
第 2 表

Cl'			SO_4''			HCO_3'		
mg/L	湧出口數	百分率	mg/L	湧出口數	百分率	mg/L	湧出口數	百分率
0.0—0.5	47	51.6	0.0—0.1	9	9.9	0.0—0.1	10	11.0
0.5—1.0	33	36.3	0.1—0.2	43	47.2	0.1—0.2	37	40.6
1.0—1.5	8	8.8	0.2—0.3	24	26.4	0.2—0.3	29	31.9
1.5—2.0	2	2.2	0.3—0.4	9	9.9	0.3—0.4	14	15.4
2.0—2.5	1	1.1	0.4—0.5	3	3.3	0.4—0.5	1	1.1
			0.5—0.6	2	2.2			
			0.6—0.7	1	1.1			

次に之等分布圖につき述べて見やう。第一圖 Cl' 分布圖に於て含量 0.5 %/L 以上の地域は血の池龍卷地獄附近、桐ヶ迫、野田を包括し、その東邊は國民學校の南方まで及び地獄附近に於ては 1.0 %/L を越えてゐる。他の一つは龜川町南部天満社より Cl' の最高含量 2.0 %/L を越える地域の昭波園を通り別府灣海岸線に沿つて北上し龜川町北端に至る地域がある。

別府市龜川温泉に於ける Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- 分布に就いて





海岸埋立地には小地域的ながら Cl^- 1.0 ㊦/L 臺の湧出口も二・三存在してゐる。上記以外の地域は含量が皆 0.5 ㊦/L 以下といふ低鹹なものである。

第2圖の SO_4^{2-} 分布圖につき SO_4^{2-} 含量 0.2 ㊦/L の分布線の傾向をみるに、 Cl^- 含量 0.5 ㊦/L の分布線とよく類似して居る事に氣付く。地獄附近、桐ヶ迫、野田、新川沿岸、國民學校南方を包括する地域に於ては殊に SO_4^{2-} 含量大なる湧出口を含み、其の中でも地獄附近は 0.5 ㊦/L 臺といふ分布線に圍まれ、血の池地獄などは龜川温泉中の最高 SO_4^{2-} 含量 0.6 ㊦/L 臺を示してゐる。天満社、昭波園、海岸沿岸部を包括する地域に於ては昭波園附近に 0.3 ㊦/L 臺といふのが小地域的に存在する位のものである。上記以外の龜川町の大部分は 0.1 ㊦/L 臺或はそれ以下の含量を示してゐる。

第3圖の HCO_3^- 分布圖については、0.3 ㊦/L 臺といふ龜川温泉中 HCO_3^- 含量最高の地域が、幅100m 平均の帶狀をなして居る事が特に著しい。この帶は病院、國民學校、町役場を通り海岸にまで達してゐて、幅5m 程の新川といふ川に沿つて龜川町を北西から南東に向つて走つてゐる。この帶をはさんで両側には0.2 ㊦/L の分布線が大體並行してゐるが、野田及び海岸線附近にては並行状態も大分亂れてゐる。特に著しい事は地獄附近に於て含

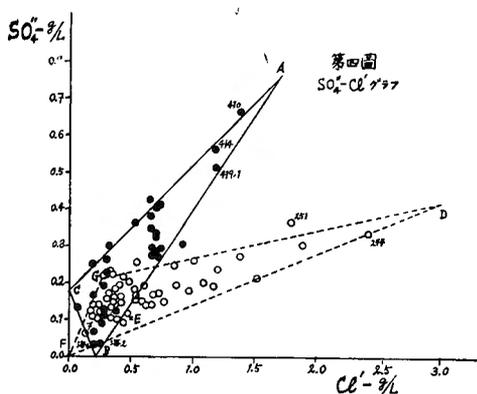
量が zero なる事で、之は地獄が強い酸性泉である事から HCO_3' を溶解させぬ事にあらう。他は昭波園附近にての 0.1 g/L 以下なる事である。 0.3 g/L 含量の地域は前述の帯の外に、龜川町北部の古市附近及び温水附近に存在してゐて、温水に於ては 0.4 g/L といふ龜川温泉中最高の HCO_3' 含量を示してゐる。

3. 化學成分分布の相互關係

次に上述の Cl' , SO_4'' , HCO_3' の相互關係及び湧出温度との間に夫々如何なる關係があるかにつき調べてみよう。

龜川温泉湧出温度分布に關しては輕部理學士の調査になるものを借用して参考にする。その湧出温度分布圖につきて見ると、地獄附近、桐ヶ迫、野田一帯は $70^\circ C$ 以上の高温度地帯であつて、昭波園附近も同様に熱泉が多く $70^\circ C$ 臺以上に及ぶものが多い。然し一般に龜川町内に密集して存在して居る湧出口の温度は殆んど $50^\circ C$ 臺のものも多く、殊に龜川町北部に於ては $40^\circ C$ 臺或はそれ以下といふ低温になる有様である。扱、上述の三成分及び湧出温度を比較しつゝ考へて見やう。

a). 先づ Cl' 分布圖と SO_4'' 分布圖を對照して(第 1, 2 圖)明らかな事は、兩者の傾向の類似してゐる事である。いづれの分布圖に於ても地獄、桐ヶ迫、野田、國民學校南方を包括し、海岸線には \times 直角に走る第一地域と天満社、昭波園、海岸部を包括して海岸に沿うて走る第二地域と計二つの地域の存在が明瞭に指摘出來、之等の地域は兩者とも Cl' , SO_4'' , HCO_3' の含量は大であり、之等兩地域には含まれた地域は Cl' に於ても SO_4'' に於ても含量は小さい。 Cl' 含量と SO_4'' 含量との關係を一層簡明ならしむるために第 4 圖の關係グラフを作つて見ると、兩者は前記二地域毎に明かに別個な二系統の正の相關々係を示すのである。圖中黒丸は北西部第一地域内の湧出口に屬し、白丸は南東部第二地域内の湧出口に屬するものである。

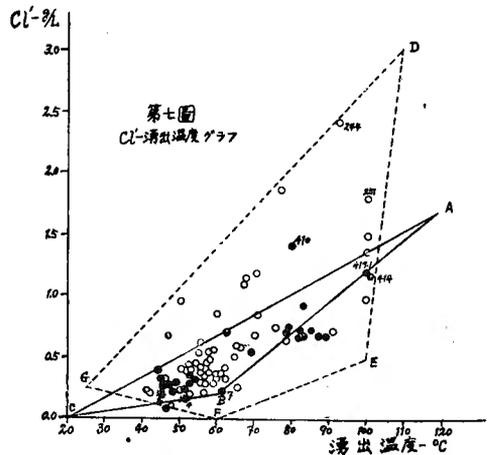
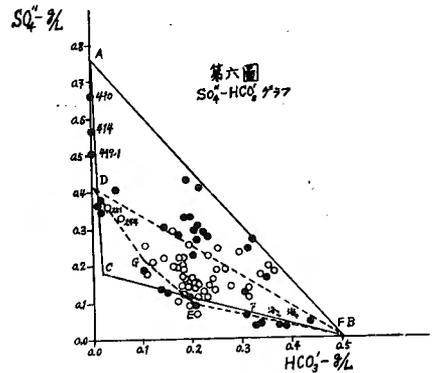
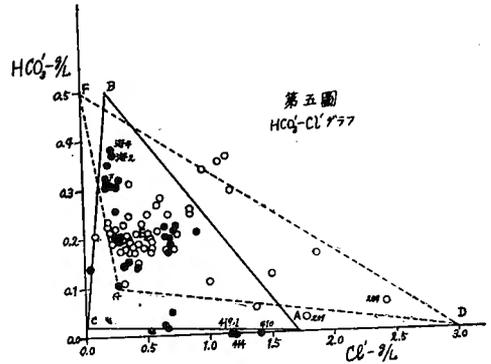


次に第 1 圖 Cl' 分布圖、第 2 圖 SO_4'' 分布圖を比較して見て兩者共類似せる事は前述の如くであるが、血の池地獄、龍巻地獄附近と昭波園附近とにつき詳しく比較してみるに、 Cl' 含量については昭波園の 2.0 g/L 臺に對し

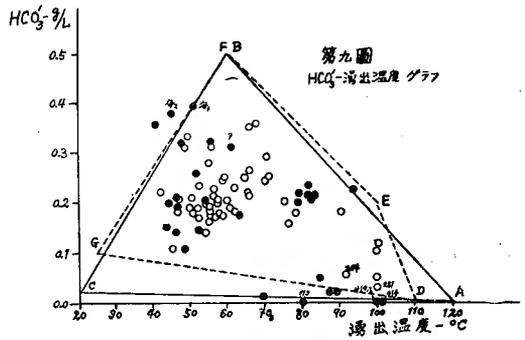
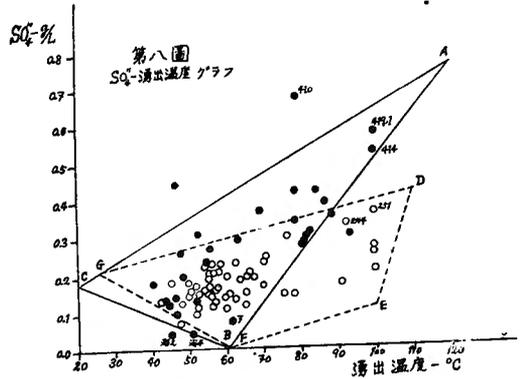
血の池地獄は 1.0% で地獄附近が昭波園の約半分であるのに、 SO_4'' 含量につきては昭波園の 0.3% 臺に對し地獄附近は 0.6% で地獄附近は昭波園に比し約 2 倍の含量を有し、 Cl' と SO_4'' とで全く逆の關係にある事になる。この事實は(1) Cl' も SO_4'' も共に同一起源を有する水系に屬してゐるものであらう事、(2) 而も二地域は異つた起源を有する二水系であらうといふ事を想像させる。尙、第一地域に於ては西部上流(温泉の分布、分析結果のある範圍内では血の池地獄及其附近にあたる)より地下伏流する温泉流は東方海岸に向つて流下しつゝ成分は薄められて行く如くに見える。他方第二地域は海岸線に沿つて等 Cl' 分布線等 SO_4'' 分布線は海の方に濃度が増してゐる。この事は Cl' や SO_4'' 成分が海水にあるのではないかとさへ想像させる。 $SO_4'' : Cl' = 0.16$ で海水中の兩成分比 0.14 にも近い。この事は更に研究を要する。

更に Cl' 及び SO_4'' の各分布圖と湧出溫度分布圖とを對比するに、 Cl' , SO_4'' 共に含量大なる地域は湧出溫度分布に於ても高溫地帯であつて、 Cl' —湧出溫度關係グラフ(第7圖)、 SO_4'' —湧出溫度關係グラフ(第8圖)を作れば共に正の相關々係にある。即ち高温泉の湧出してゐる地域は Cl' 含量も SO_4'' 含量も大きく、同様に湧出溫度の低い地域にては Cl' 含量も SO_4'' 含量も共に小さい。又二地域がこゝでも自然に二系にわかれて居る。

b). HCO_3' 分布圖と湧出溫度分布圖と



を比較すると、高温湧出地帯にては HCO_3' 含量が極めて小さいといふ事である。 HCO_3' と他の成分との關係に就いても、第5圖の HCO_3' — Cl' 關係グラフ、第6圖の SO_4'' — HCO_3' 關係グラフ、第9圖の HCO_3' —湧出溫度關係グラフ、等が示す如く、大體どの圖も相反的になつて居る事が知れる。第3圖 HCO_3' 分布圖に於て含量 0.3 % 臺の含有量大なる地帯が帶狀になつて龜川町を北東から南西に向け横切つて居るのは一つの水系の存在を暗示してゐる。 HCO_3' 含量は 0.3 % 臺以上であるが、湧出溫度分布圖上に於ては、それは特に温泉脈の存在を暗示する様な溫度分布をしてゐない。然し HCO_3' を多量に含有する水系として龜川町を走つてゐる 0.3 % の帶狀地域の下に左程高温でない温泉脈の存在が考へられる譯である。



4. 地下温泉水系に関する考察

以上の結果から龜川地區の温泉水系と其の聯關混入狀態を檢討したい。元來高熱泉の根元は岩盤の裂罅、斷層等を傳つて地下深所より湧出し來るものに相違ないから、其の上に碎屑被覆物がなければ湧泉は狭い線上に局限せらるゝ譯であるのに、本地區の如き相當廣範圍に互り、どこを掘つても温泉が得られるといふのは、基岩盤の上に火山灰砂や粘土等が堆積互層をなし、其の内の透水性地層中に温泉水が蔓延して帶水層を形成して居る爲に外ならぬ。従つて斯様な場合には普通の冷地下水も混入する事が多く、泉源より下流に至るに従ひ泉温も化學成分の濃度も相當の範圍に變化すべきことが豫期せられる。

かゝる考への下に前節までに述べた諸測定結果を通覽するに、化學成分及び湧出溫度の分布圖からしても將又其等諸要素間の相關圖からしても、龜川地區は既述の如き北西部第

別府市龜川温泉に於ける Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- 分布に就いて

一地域と南東部第二地域と分れ、両者は夫れ夫れ別系統の温泉地帯たることが明瞭である。

例へば第1圖より第3圖に至る各成分の地理的分布圖では、兩地域毎に別々の舌狀乃至帶狀の等値線が發達し、異なる源泉水が流下しつゝある形勢顯著である。更に之を第4圖の $Cl^-SO_4^{2-}$ 關係グラフに就いて見れば兩地域の分離獨立は愈々明白である。圖に於て龜川町北西部第一地域の温泉を示す黒丸と南東部第二地域の温泉を示す白丸とは判然たる二群に分離して居る。其の他、第5圖より第9圖までの各グラフも北西部第一地域の黒丸と南東部第二地域の白丸とは別々の系統と見做して考へて行つて無理はない。更に此の兩地域を別々に熟視檢討すれば、何れも單一温泉水系ではなく、泉源を異にする若干の温泉水が組合されたものであることに氣付くであらう。

、先づ北西部につき論ずるに、この地帯の温泉湧出の機構は二種の源温泉と一種の地下水とによつて組立てられ居ると考へる事が出来る様である。即ち此の地帯の各湧出口は之等二源温泉と一地下水の三者によつて養はれ

第 3 表

て居ると見る事が出来る。第3表に示す如く北西部の温泉源 A, B, C の三者が夫々之等に對應するものである。之等の内、A は Cl^- 含量も SO_4^{2-} 含量も共に大きく、且つ温度 $120^{\circ}C$ と言ふ熱泉であつて、北西部に於て最も泉温高き地獄附近にその根源を有して居るものである。各グラフに於て A 點の近傍に存在する 410, 414, 419, 1, なる湧出口番號の温泉はいづれも皆、この地獄地帯に存在してゐるものであつて、夫等は血の池地獄、龍卷地獄、三菱療養所温泉

北 西 部				
温泉源	Cl^-g/L	$SO_4^{2-}g/L$	HCO_3^-g/L	温度 $^{\circ}C$
A	1.7	0.75	0.0	120
B	0.2	0.0	0.5	60
C	0.0	0.17	0.02	20
南 東 部				
温泉源	Cl^-g/L	$SO_4^{2-}g/L$	HCO_3^-g/L	温度 $^{\circ}C$
D	3.0	0.4	0.0	110
E	0.5	0.1	0.2	100
F	0.0	0.0	0.5	60
G	0.25	0.2	0.1	25

に該當して居るものである。即ち A 温泉源はこの地帯の地下に根源を持てるものなる事が頷かれる譯である。第7圖から第9圖までの湧出温度の關係したグラフに於て 410 番血の池地獄の泉温が低くなつてゐるのは血の池地獄に於て泉温測定せる個所が湧出口より相當離れた池の端である故相當空氣により冷却されたものと見られる譯である。次に B 源温泉は HCO_3^- 含量が多い。湧出口番號 7, 海病 2, 海病 4 はグラフ上の B 點近くに位置を占む

る諸點であつて、之等湧出口の地圖上の位置は HCO_3^- 分布圖に於て 0.3 g/L 臺の HCO_3^- 含量の高い帶狀地域上に存在する事から考へて、 B 溫泉源として、この帶狀地帯下に存在する溫泉脈が考へられる譯である。 C は西部一帯に存在する冷地下水であつて、含有物は少なく、且つ低温である。第 4 圖より第 9 圖に於て實線にて畫かれたる三角形は之等 A , B 源溫泉及び C 冷地下水を三頂點とする三角形であつて、北西部の諸湧出口を表はす黒丸は大略この實線三角形 ABC 内に存在して居るものと見る事が出来る。

次に南東部地域についても同様に取扱ひ、圖にはこの地域に屬する諸湧出口を白丸で表はしてあるが、總て之等は夫々 $DEFG$ なる破線四角形内に含まれてゐると見て差支へない。而して之等に對する源溫泉は第 3 表に示せる如き成分、溫度のものである。即ち南東部地域は D , E , F , G なる溫泉源及び地下水により構成されてゐると考へられる。この中で D 源溫泉は Cl^- 含量, SO_4^{2-} 含量共に大で泉溫も高い。各關係グラフの D 點近傍に存在する湧出口番號 251, 244 の溫泉はいつでも昭波園附近に位置するものであつて、この事よりして D 源溫泉は高温湧出地帯たる昭波園附近にその根源を持つものと見られる譯である。

E 源溫泉は海岸部にその根源を持つてゐるものと考へられる。 F 源溫泉は Cl^- 含量, SO_4^{2-} 含量共に皆無に近い状態であつて、 HCO_3^- 含量のみが 0.5 g/L といふ濃度の高いもので、しかも溫度が 60°C なる事より判斷するに之は龜川町北西部に於て見出された B 溫泉源 (Cl^- 含量 0.2 g/L , SO_4^{2-} 含量 0.0 g/L , HCO_3^- 含量 0.5 g/L , 溫度 60°C) と略同一のものなる事が推察される譯である。この F 溫泉源は新川沿岸にその根源を有してゐるものと考へられる。 G は南東部一帯に存在してゐる地下水と考へられるものである。

結局上記に述べ來りし所をまとめると、龜川町一帯に湧出する溫泉の湧出機構は、之を北西部及び南東部に二區分して考察すると、前地域に於ては第 3 表に示す如き A , B , C の三源泉により組成され、後地域に於ては D , E , F , G の四源泉より組立てられて居ると説明される事になるのである。

最後に此報告を終るにあつて指導を忝うせる野滿、瀬野兩博士と、採水分析に勞を與へられた兒玉晋、河野恒生の兩氏に感謝するものである。

尙本研究は別府市溫泉綜合研究費の援助によりなされたものである事を附記して謝意を表する。