

別府温泉の Cl 量分布の變動について

吉 川 恭 三
輕 部 末 三

§ 1 緒 言

温泉現象の變動が著しいときはよく人の目の注意を引くが、その化學成分についても、多くの研究者によつて日變化・年變化・降雨・地震の影響による變化等、屢々報告されてゐる。又、海岸附近の掘抜井戸に於ては、潮汐の影響の外に、長年間ポンプ揚水を行つた結果、海水の侵入を見た如き資料も提供されてゐる¹⁾。別府温泉はその殆どが穿堀によるものであつて、人工的加工の原因による變遷が著しく又別府の土地の人もよく觀察してゐて、巷間に「塩分が増すと温泉はつぶれる」などと傳へてゐる。濱脇温泉は塩分が濃かつたが現在では著しく衰頹して昔の姿はない。

別府温泉の化學成分については、大正¹⁵年前后に行はれた山下・木戸・丸田の三氏により、Cl 量分布が明かにされたが²⁾ 其の後の變遷については、何等調査されていない。そこで、20年後の昭和21年7月、再び Cl, HCO_3 の分析を行ひ、その分布狀況の變動を窺ひ、その原因を考察した。

一般に温泉水中の Cl は火山性源・海塩源の二種類があるが、別府市街地、殊にその Cl の多い温泉にては海塩源の Cl なることが先に推定されてゐる³⁾。然し同じく海塩源であるにしても、往古、地層に閉込められた所謂化石水なのか、現在海水が浸透しつつあるかについては、判定するに困難である。もしそれが往古海塩源ならば、長年間温泉水が地層中の流動により稀薄になつてゆく可能性も推測されもし、現海水の浸透ならば、温泉水脈の消長により海水の滲透が左右され、したがつて Cl 成分も亦變動するであらう。筆者は Cl 量の變動を知ることにより別府温泉地域の温泉水中の Cl の山來について明かになし得ると思ふ。

之に對し、 HCO_3 の大部分は海源性ではない。何故ならば海水中の炭酸根が全部重炭酸になつても Cl に對して 0.4% 以下であるが、別府温泉中の HCO_3 の Cl に對する比は小さいものでも 10%，大きいものは 6 倍にも及び、且兩者の分布には全く併行性が認められないからである。故に Cl の分布と HCO_3 の分布を比較すれば更に Cl 分布の變動の意味がよく掴

別府温泉のCl量分布の變動について

第1圖 別府温泉Cl量分布圖 1964年測定

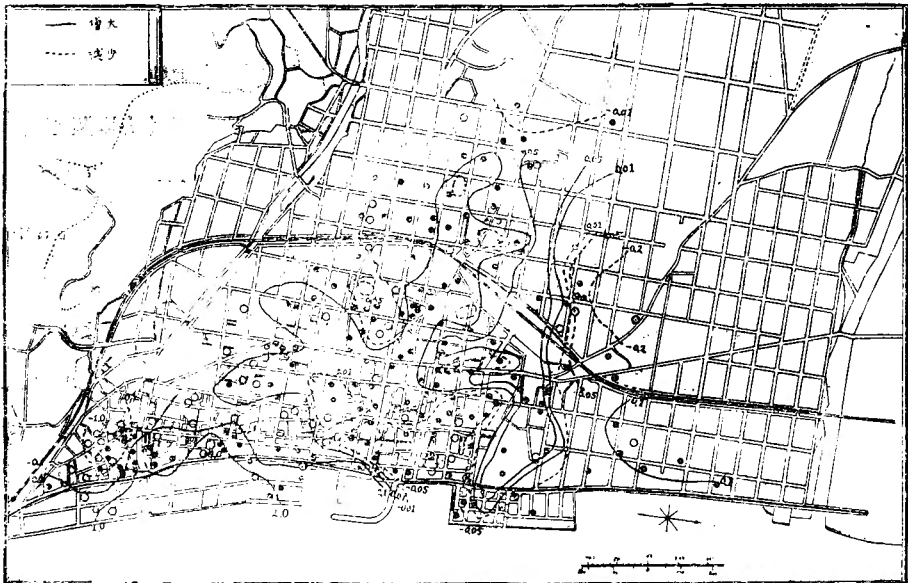
●測定せる温泉 單位g/l



第2圖 別府温泉Cl量變化分布圖 1946年測定値と1926年測定値とその差

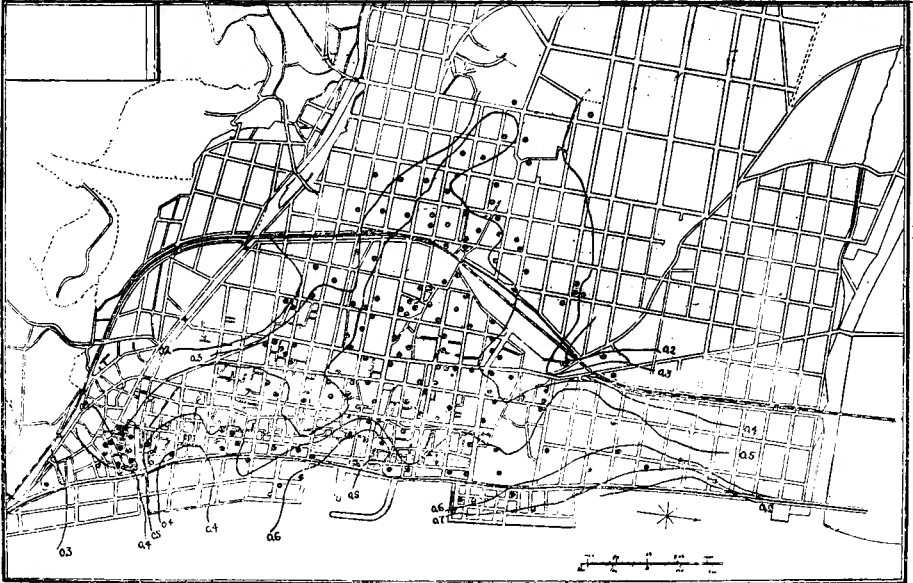
●1946年1926年、とも測定せるもの 單位g/l

○1926年のみ測定せるもの



第3圖 別府温泉 HCO_3^- 量分布圖 1946年測定

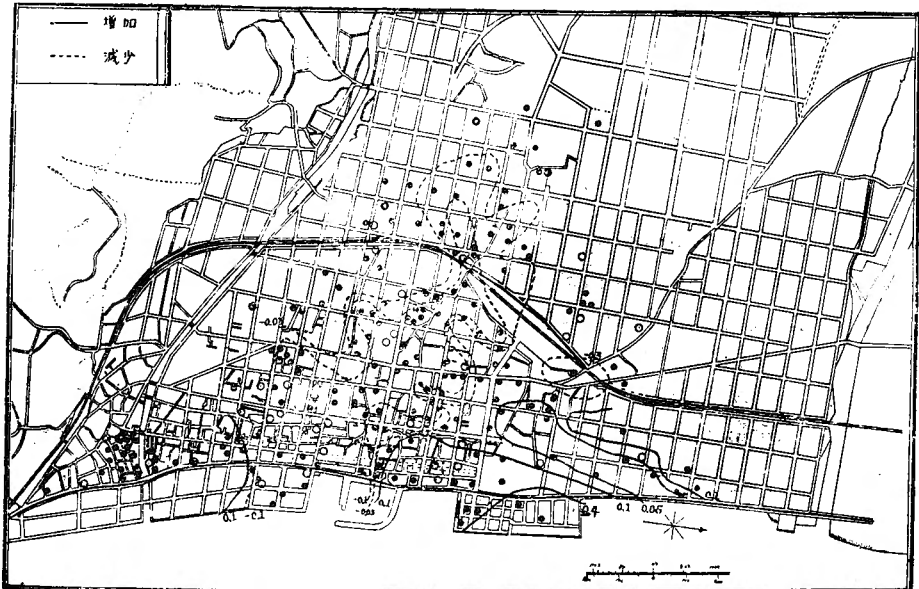
●測定せる温泉



第4圖 別府温泉 HCO_3^- 變化分布圖 1946年測定値と1927年測定値との差

●1946年に測定せるもの

○1927年に測定せるもの



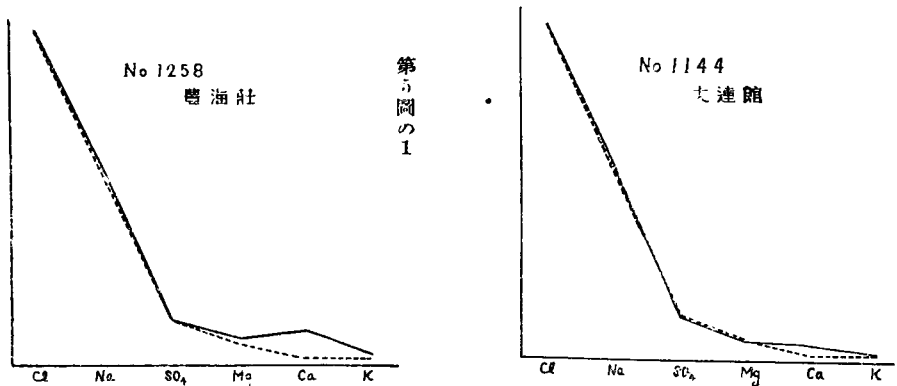
めると思ふ。

かくの如き見地から、試料の採取・分析を行つたのであるが、その分布について、かなりの變動を認め、特に注目すべき地域につき再検討を試みる爲、昭和24年8月化學分析を行ひ次に述べるが如き結果を得た。

§ 2. 昭和24年 Cl, HCO_3 量の分布

Cl 分析については1926年に行はれた温泉について繰返したその資料を後に掲げた。今回同一温泉の發見出来なかつたものについては、その附近のものをにより、又たとひ同一の番號の温泉であつても、二十年間もとのまゝのものは殆んどなく浸漬して深度を深めたものが多いから、舊分析²²⁵, 新分析¹⁷⁵, (この數は全温泉のほぼ四分の一にあたる)であつても、其がすべて對應してゐるとはいへない。

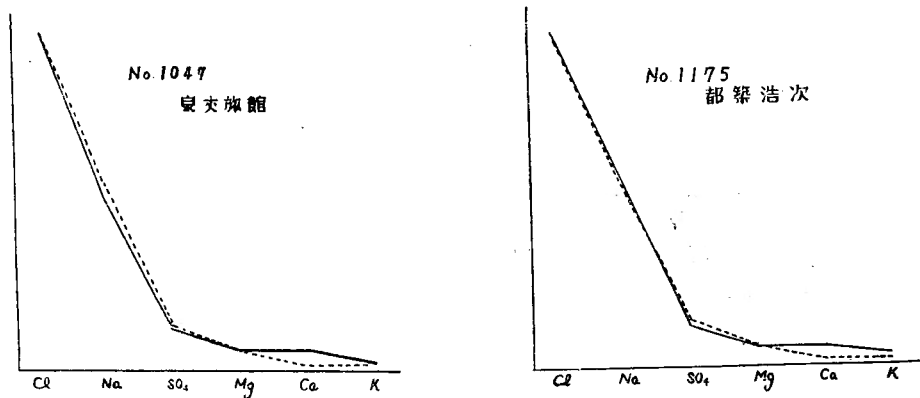
その分布を第1圖に示す。之を旧 Cl 分布圖と對照するとき、大体に於て兩回とも近い分布を示すが數區域に於て特別の變化がある。この變化は新 Cl 量から舊 Cl 量を減じた差の分布圖をつくり、第2圖で示した。それを見ると



1. 濱脇温泉地帯に於て Cl の激減せる所がある。
2. 中埋立地附近に於て Cl の激増がある。
3. 田の湯温泉脈に於てはやゝ増加。
4. 海門寺温泉脈では少しの増加。
5. 楠温泉、竹瓦温泉に於て少し減少。

HCO_3 の分布を第3圖に示し、1927年の分布との差を第4圖に示す。之は前回と對應せる温泉が僅かであるので充分な比較は出来ないが、田の湯温泉脈にてかなりの減少が見られ、其の他では余り變化がない模様である。そして Cl 分布の變動とは對應が殆んどないやうに見える。

第5圖の2



§ 3. 結果への考察

兩回の分布の變化を考へる時、先づ注意しなければならぬのは、この變化が單に温泉成分に見られる日變化・季節變化によるものではないかといふことである。この見地から、筆者は現在最も注目される中埋立地附近に於ける温泉水中のCl成分の日變化・年變化につき調査の必要を感じたが、果せなかつたのは遺憾であつた。然し、先に野滿・瀬野博士により報告された所によれば⁴、此の附近の濱脇の温泉に於けるCl量多いものでも日變化は最大なるもので、1.0g/Lより1.05g/Lに變化する程度にすぎず、又、電氣傳導度の年變化は最大2割である⁵。我々が現在注目する温泉のCl變化は、遙に之に勝り、最大は八幡温泉に於ける0.150g/Lから4.542g/Lの増加であるから、少くとも、この中部埋立地附近に於ける、Cl量の激増は單なる日變化・年變化の結果とは考へられない。又、此等の温泉にては干潮時には全く湧出を停止する關係上、常にポンプ揚水を行つて居り、又、この附近の且ての温泉で、著しく溫度・壓力低下し、遂に閉止の止むなきに至り、其の後、新掘鑿を行つてゐないことやこのCl激増の地區は海岸に近いことをあはせ考へるとき、温泉水壓と海水壓の從來の均衡が破れ地中深部に海水が浸入してきたと考へられるのである。もし之が事實とすれば、この附近の温泉水中のClは現海水より與へられたものであることになり、其他の化學成分についても、海水の化學成分と類似の傾向がなければならぬ。そこで更に昭和24年8月、この附近の特にCl量の多い温泉4口を選んで、その温泉水中に含れる海水の主要六成分につき化學分析を行つた。

§ 4. 昭和24年の分析結果

昭和24年の分析結果を第2表に示す。Cl量について見れば、第2表に明かな如く、大正

別府温泉のCl量分布の變動について

15年より昭和24年に至る變化の狀況をそのまま持續してゐることが分る。この中 No.1175 は、濱脇温泉地帯にあり、もと Cl 量極大部に屬し海鹽性なることを指摘されてゐたのであるが、その後、徐々に Cl を減じていることが他の埋立地附近の温泉に較べ對照的である。

此の四つの温泉の化學成分を Cl を 100 として百分比で表はしてみると第3表及び 第5圖で見られるやうに海水の場合と全く似て居り、之はこの温泉水の化學組成が海水（点線で示す）と近似してゐることを表はす。故に温泉水中の鹽、殊に含有量の多い Cl Na, SO_4 等は主として海水に起源を得てゐることが明かである。

こゝに於て更に注意すべきことは、海水の浸入による温泉水中の Cl の増加には二つの場合がある。第一は温泉水脈の弱化による海水の浸入で、第二は温泉を浚渫することにより、温泉孔の深度を増した爲、海水成分が増したのではないかといふことである。然るに筆者が昭和24年8月の調査の際に確めた所では、少くとも温 No. 1144, 1174, 1258, では、昭和31年より昭和24年迄は浚渫を行つたことが無いとの話であり、而も此の期間に Cl の大巾な増加を行つてゐることを考へる時、單に第二の原因のみの Cl 増加ではなく、第一の温泉水脈の衰退による海水の滲透を主原因とするものなることが推定される。

故に、この地帯に於ては、過去20年間に、地下温泉脈に異常を來したか、又は、温泉水の供給が十分でなく濫掘又は過揚水の爲に温泉水の壓力が減少し、海水の浸入が行はれたものであらう。其の詳しい機構については、更に種々の面より測定を重ねて後、明かになし得ると予想する。

尙、別府市の他の部分の Cl 量の増加・減少 HCO_3 分布の變化についても、其の原因は種々考へられるのであるが、これも今後の測定結果をまつて論ずる予定である。

第1表 別府温泉Cl量極大部に於ける温泉水の成分含有量（昭和24年8月）

温泉名	温泉番號	蒸發殘渣	Cl	Na	SO_4	Mg	Ca	K
豊海莊	1258	98.9 g/l	1.270	0.7195	0.1760	0.1654	0.1316	0.3820
大連館	1144	6.442	3.177	1.7918	0.4223	0.2078	0.1624	0.0716
泉丈旅館	1047	8.661	4.416	2.220	0.570	0.2712	0.282	0.104
都寒浩次	1175	4.212	2.085	1.184	0.2587	0.1278	0.1190	0.066

別府温泉のCl量分布の變動について

第2表 主要四温泉のCl量變化

()内の値は分布圖より内播法で求めた値

温 泉 名	豊海莊	大連館	泉丈旅館	都築浩次
測定年月	g/l			
大正15年7月	(0.280)	0.615	0.172	2.835
昭和21年7月	1.194	1.650	3.108	2.465
昭和24年8月	1.270	3.177	4.416	2.085

第3表 海水及び前記四温泉の化學成分の含有量比
(Cl量を100とする)

	Cl	Na	So ₄	Mg	Ca	K
海 水	100	55.3	14.	7.	2.16	2.0
豊海莊	100	56.6	13.9	8.27	10.3	3.1
大連館	100	56.6	13.3	6.32	5.1	2.3
泉丈旅館	100	50.4	12.9	6.14	6.4	2.4
都築浩次	100	56.8	12.4	6.13	6.0	3.3

§ 5. 結 論

1. 昭和21年8月、別府市街の温泉水について化學分析を行ひそのCl分布HCO₃分布を明かにした。
2. 其の分布を大正15年に於ける分布と對照比較し、ある地域ではかなりの變化のあることを知つた。
3. 更に、昭和24年、4箇の湧出孔にて温泉水の化學分析を行ひ、先にCl量激減せる濱脇方面は尙Cl量減少しつつあり、先にCl量激増せる中部埋立地附近は尙、Cl量増加の傾向あることを確めた。
4. そのCl量増加の原因は、現海水の混入によるものなることを推定した。
5. 故に、中部埋立地附近にては、温泉水壓力の大巾な減少が考へられる。
6. 尙、残された部分につき、今後も測定を重ね、充分な検討を行ふ予定である。

終りに當り、本研究に終始御指導を賜つた瀬野博士、及び觀測に協力を拂はれた松田理學士に厚く感謝をさしげる次第である。

尙この研究は一部は瀬野博士の文部省科學研究費により、一部は大分線温泉調査研究會の費用による。

参 考 文 献

- (1) Roger Bevelle; 「Criteria for Recognition of sea water in Ground-water」 Trans. of the Amer. Geophys. Union 1941.

別府温泉のCl量分布の變動について

- (2) 山下逸二郎, 木戸隆, 丸田頼三; 「別府市内温泉のCl量分布」地球物理 第1巻89頁
- (3) 瀬野錦藏; 「温泉水中の鹽分源としての海鹽」地球物理 第7巻131頁
- (4) T. Nomitu and K. Seno. ; 「The Beppu Hot spring and the Tide, with the Effect of the Atmospheric pressure」. Men. of the Coll. of science Kyoto Imp. Univ. vol. XXI No.6, 1939.
- (5) 瀬野錦藏「別府附近温泉若干の電気導度年變化に就いて」同上 第2巻第4號

New Distribution of Cl-ion in Beppu-Hot Spring District

Kyōzō Kikkawa and Suezō Karube

New distributions of Cl- and HCO_3 ions showed some differences from those of twenty years ago. Especially in the part of filled land near the sea, Cl-ion increased very remarkable. Cl, Na, SO_4 , Mg, Ca and K ions of hot spring water in that part resemble to those ions of sea water in the ratio. These suggest the sea water contaminated under the ground, as the pressure of hot spring water decreased.

別府温泉のcl量分布の變動について

第4表 別府市街温泉Cl⁻及HCO₃⁻分析表

Cl, HCO₃⁻ の()内の値は分布圖より内挿法にて求めた値。其の使つて求めた差も()内に記入す。

湧出口 番 號	クロール g/L		重炭酸根 g/L	
	昭和 21年7月	大正15年 より増分	昭和 21年7月	昭和2年 より増分
1	(0.190)	(0.036)		
2	(0.200)	(0.070)		
3	0.669	0.517	0.608	(0.258)
4	1.742	1.636	0.538	0.182
10	(0.170)	(-0.009)		
13	(0.170)	(0.052)	(0.450)	(-0.042)
14	(0.165)	(0.028)		
17	(0.163)	(0.034)		
19	0.137	0.027	0.320	(-0.070)
21	0.143	-0.016	0.317	(-0.083)
23	0.146	0.052	0.338	-0.219
31	0.118	-0.004	0.341	-0.186
46	0.149	0.027	0.325	-0.193
48	(0.150)	(0.030)	(0.350)	(-0.037)
55	0.142	0.017	0.289	(-0.101)
58	(0.142)	(0.024)	(0.350)	(-0.037)
62	(0.145)	(0.027)	(0.400)	(0.002)
69	(0.125)	(-0.010)	(0.300)	(-0.381)
92	(0.124)	(-0.002)	(0.390)	(-0.370)
100	(0.115)	(-0.057)	(0.390)	(-0.293)
106	0.110	-0.008	0.310	-0.243
110	0.112	-0.006	0.404	(-0.156)
126	0.108	0.002	0.449	-0.170
130	0.089	-0.018	0.388	-0.186
136	0.111	0.007	0.407	-0.117
147	0.098	-0.006	0.462	-0.138
173	0.102	0.001	0.471	-0.097
176	0.099	-0.008	0.485	-0.064
193	0.124	-0.028	0.443	(-0.317)
201	0.160	0.012	0.132	(-0.628)
210	0.129	-0.006	0.511	-0.123
212	0.133	0.026	0.420	-0.109
227	0.098	-0.024	0.463	(-0.137)
233	0.193	-0.007	0.494	-0.253
240	0.147	-0.060	0.589	0.038
243	0.138	-0.071	0.589	0.038
245	0.134	-0.075	0.615	
258	0.193	0.033	0.511	0.012
279	0.106	0.002	0.454	-0.124

湧出口 番 號	クロール L/M		重炭酸根 L/M	
	昭和 21年7月	大正15年 より増分	昭和 21年7月	昭和2年 より増分
313	0.166	-0.066	0.539	(0.034)
319	0.228	-0.019	0.578	(0.098)
333	(0.210)	(-0.070)		
340	0.285	0.015		
343	0.239	-0.069	(0.530)	(0.142)
344	(0.170)	(-0.038)	(0.520)	(0.043)
350	0.198	(-0.044)	0.524	0.086
357	0.165	-0.057	0.345	-0.026
363	0.168	-0.022	0.518	0.063
370	0.178	-0.001	0.361	-0.114
374	0.188	0.011	0.369	(-0.106)
377	0.168	0.028	0.461	(-0.039)
381	0.162	-0.021	0.361	-0.089
383	0.229	0.025	0.380	(-0.100)
394	0.216	0.055	0.456	(0.006)
398	0.243	0.040	0.341	(-0.009)
400	0.330	0.076	0.385	(0.035)
405	0.216	-0.058	0.342	(-0.008)
406	0.238	-0.010	0.443	(0.098)
409	0.167	-0.039	0.336	-0.018
412	0.212	-0.043	0.523	(0.153)
418	0.223	-0.058	0.508	0.090
423	(0.240)	(-0.050)	(0.570)	(0.119)
425	0.248	-0.113	0.592	(0.172)
426	(0.245)	(-0.014)		
428	0.215	-0.028	0.957	(0.537)
430	0.283	0.122	0.818	(0.453)
434ノ3	0.338	-0.030	0.818	0.453
434ノ7	0.138	-0.016	0.958	(0.458)
434ノ14	0.252	-0.156	0.614	(0.224)
435	0.211	0.057	0.453	(0.106)
436	(0.375)	(0.163)		
437	0.143	0.031	0.345	(-0.015)
442	0.296	0.130	0.519	(0.069)
444	0.375	0.289	0.625	0.022
451ノ1	(0.18)	(0.050)	(0.850)	(0.053)
451ノ2	(0.234)	(0.101)	(0.750)	(0.133)
460	0.015	-0.248	0.196	(-0.174)
463	0.154	0.016	0.452	(0.082)
468	0.022	-0.234	0.181	-0.242
473	0.182	-0.046	0.321	-0.043
475	(0.202)	(0.023)	(0.390)	(-0.188)

別府温泉のcl量分布の變動について

湧出口 番 号	クロールg/L		重炭酸根 g/L	
	昭和 21年7月	大正15年 より増分	昭和 21年7月	昭和2年 より増分
291	0.163	0.046	0.468	-0.049
301	0.141	0.002	0.406	(-0.064)
309	(0.150)	(-0.093)		
477	0.206	0.061	0.434	(-0.146)
494	0.059	0.002	0.457	-0.112
596	0.103	0.000	0.468	-0.122
511	0.105	0.018	0.478	-0.089
513	0.097	0.008	0.450	-0.117
523	0.102	0.015	0.479	-0.010
530	0.098	0.008	0.450	-0.125
532	0.122	-0.004	0.541	(-0.034)
531	0.142	0.032	0.548	-0.028
536	0.175	0.024	0.573	(0.043)
539	0.179	0.045	0.420	-0.190
542	0.177	0.017	0.395	-0.045
544	0.196	0.052	0.385	-0.011
554	0.188	0.056	0.422	-0.110
555	0.150	0.032	0.445	0.164
530	(0.200)	(-0.020)		
561	0.213	0.044	0.338	-0.020
563	(0.220)	(-0.024)		
564	0.194	-0.058	0.303	(-0.047)
571	0.197	0.017	0.318	(-0.052)
578	0.156	0.006	0.399	(-0.051)
580	0.183	0.047	0.402	-0.038
589	(0.185)	(0.046)	(0.310)	(0.209)
595	0.119	-0.040	0.300	(-0.150)
601	0.106	0.023	0.450	(-0.030)
616	0.086	0.000	0.361	(-0.124)
617	0.098	0.018	0.419	(-0.061)
619	0.094	0.004	0.423	-0.057
627	(0.030)	(-0.049)		
629	0.032	-0.072	0.124	(-0.356)
634	0.084	0.019	0.352	(-0.131)
641	0.100	-0.004	0.461	(0.009)
646	0.103	0.006	0.424	(-0.036)
649	0.112	-0.012	0.441	-0.044
652	0.101	0.004	0.448	-0.016
663	0.090	0.004	0.373	(-0.107)
666	0.120	0.020	0.433	(-0.037)
671	0.089	-0.004	0.349	-0.166

湧出口 番 号	クロールL/M		重炭酸根L/M	
	昭和 21年7月	大正15年 より増分	昭和 21年7月	昭和2年 より増分
675	0.120	0.020	0.347	-0.059
679	0.126	0.003	0.407	(-0.081)
685	0.120	0.029	0.396	-0.029
688	(0.130)	(0.009)		
692	0.155	0.051	0.443	
705	0.116	0.048	0.438	(-0.052)
713	0.099	0.002	0.469	(-0.111)
718	(0.102)	(-0.002)		
751	0.103	0.013	0.478	-0.132
771	0.102	0.005	0.476	-0.130
775	0.093	-0.007	0.462	-0.079
776	0.103	-0.001	0.463	-0.121
781	(0.113)	(-0.831)		
801	0.157	0.021	0.412	(-0.073)
811	0.136	0.007	0.369	
816	0.106	-0.050	0.471	
820	0.133	0.014	0.397	(-0.153)
823	0.144	0.026	0.469	(-0.056)
826	0.122	0.011	0.402	-0.124
832	(0.097)	(-0.904)		
838	0.105	0.004	0.469	-0.148
844	0.097	(-0.002)		
854	0.121	0.007	0.453	
858	0.144	0.030	0.509	-0.046
861	0.110	-0.009	0.392	
868	0.111	-0.009	0.444	0.054
884	0.099	-0.007	0.256	(-0.094)
886	0.111	-0.004	0.461	0.060
897	0.120	0.015	0.366	
901	(0.120)	(-0.005)		
910	0.164	0.049	0.315	-0.030
932	(0.130)	(0.014)		
934	(0.130)	(-0.002)	(0.120)	(-0.106)
935	0.130	0.006	0.304	(-0.121)
974	0.132	0.065	0.377	(-0.103)
975	(0.130)	(0.063)		
992	(2.500)	(2.364)	(0.520)	(-0.320)
993	0.248	0.110	0.608	(-0.092)
996	0.177	0.032	0.561	(0.131)
1006	(0.070)	(-0.004)		
1022	(0.150)	(-0.047)		

別府温泉の塩分分布の変動について

湧出口 番 号	クロール g/L		重炭酸根 g/L	
	昭和 21年7月	大正15年 より増分	昭和 21年7月	昭和2年 より増分
1026	(0.170)	(-0.012)		
1031	0.167	-0.002	0.438	0.000
1040	(0.180)	(0.039)		
1043	(0.185)	(0.025)		
1045	(3.140)	(3.004)		
1047	3.108	2.983	0.454	0.000
1055	(0.190)	(0.098)		
1061	(0.200)	(0.145)		
1066	(0.570)	(0.420)		
1082	(0.840)	(0.173)		
1084	0.831	0.089	0.475	
1089	0.676	0.395		
1111	0.814	-0.353	0.323	
1114	(0.810)	(-1.824)		
1115	(0.820)	(-1.797)		
1117	(0.530)	(-0.711)		
1126	(0.500)	(-0.191)		
1133	0.710	-1.312	0.481	(-0.019)
1135	(0.710)	(-4.859)		
1137	0.824	0.207	0.532	(0.182)
1140	(0.825)	(-1.914)		
1141	(0.850)	(0.246)		
1144	1.650	1.035	0.405	0.000
1149	0.824	-1.286	0.424	(-0.123)
1153	0.581	0.121		
1164	2.481	2.211	0.402	
1170	(0.850)	(0.655)		
1171	0.828	0.511	0.389	
1173	(1.000)	(-1.202)		
1174	2.465	-0.370	0.288	
1178	(1.000)	(-5.160)		
1183	1.810	1.607	0.709	
1188	0.102	0.011	0.477	

湧出口 番 号	クロール L/M		重炭酸根 L/M	
	昭和 21年7月	大正15年 より増分	昭和 21年7月	昭和3年 より増分
1219	0.200	0.020	0.611	(0.021)
1260	0.670	0.067	0.338	
1254	(0.160)	(-0.016)		
1223	0.020	-0.239	0.142	(-0.008)
1269	(1.500)	(-0.97)		
1270	(2.500)	(0.165)		
1272	(2.500)	(2.343)		
1280	0.133	0.112	1.018	0.755
1281	0.198	-0.046	0.384	
1283	0.068	0.025	0.755	(0.255)
1284	0.154	-0.007	0.830	(0.060)
1285	0.236	-0.108	0.466	(0.041)
1286	(0.180)	(-0.400)		
1294	0.150	-0.184	0.362	
970	0.051	-0.046	0.276	
566	0.258	(0.008)	0.357	
825	0.090		0.406	
1180	0.102		0.477	
2.8	0.190		0.526	
市原百角	0.143	(0.023)	0.348	(-0.072)
965	0.056	(-0.021)	0.317	
414	0.193	(0.043)	0.507	(0.147)
永石温泉	0.163	(0.036)	0.352	(0.002)
1180	3.643	(3.438)	0.578	
1258	1.194	(0.914)	0.513	(0.013)
1077	0.572	(-0.088)	0.477	
1088	0.831	(0.231)	0.456	
佐藤子	0.348	(0.098)		
上の温泉	0.238	(0.088)		
濱口音松	0.236	(0.156)		
1079	0.537	(-0.123)	0.649	
宮川亀雄	3.264		0.532	
1304	0.482	(0.201)	0.286	(-0.194)
1301	0.384	(-0.276)	0.362	(-0.058)
1043	4.542	(4.392)	0.552	(0.152)
垣迫杉太	0.486		0.495	
九州配電	0.129		0.511	
991ノ1	1.482	(1.352)	0.465	(0.085)