

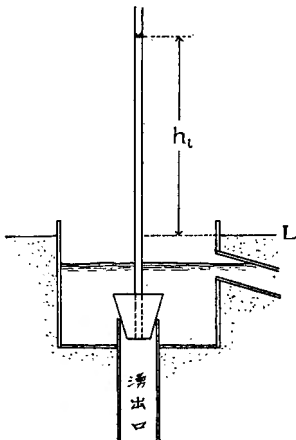
別府市街地の温泉水頭分布

理 學 士 瀨 野 錦 藏

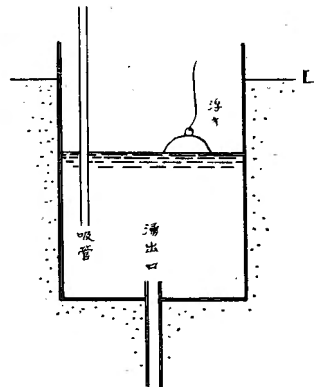
1. 温泉水頭の實測

別府舊市街地に於ける温泉はその分布が密集してゐること、深度が近似してゐること、湧出量がほぼ同一程度であること、泉温も 71.6°C を最高として多くは $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 附近であること、又濱脇方面を除けば泉質も殆んど單純泉なること、又海岸近くの温泉の潮汐の影響の大きいこと、砂湯の如く海底浸出温泉もある事などから考へると、大體に於て地下温泉伏流は海に向つて流動してゐるであらう事が想像出来る。この事を確めるには各温泉の靜止水頭を測定する必要がある。その爲には、第1圖に示すが如く温泉湧出口に密著する栓にガラス管を突き通したものを湧出口の直上に壓著すれば、温泉水の湧出停止と共に水はガラス管内に登り來て、その温泉固有の水壓に平衡するところにて停止し靜止水頭を與へる。栓は種々な太さの湧出口に合ふ様に、傾きの大きい圓錐形のゴム栓を用ひる。この方法は瞬間にして靜止水頭を知り得る利點がある。但し温泉水集中の速さによる運動量のため少しは大きく出る傾向があるであらうが、その誤差は小さい。又埋没垂直導管の途中に破損個處があつて漏出する如き虞のあるものに對してはこの方法は有效である。然し栓を

第1圖 水頭測定法(其の一)



第2圖 水頭測定法(其の二)



別府市街地の温泉水頭分布

壓著して温泉水の漏洩をふせぐやうにする爲には、埋没管が鐵管の場合は何の心配もないが、竹管ならば新しいものでなければならぬ。竹管が古くなつてゐると、この異常水壓の爲に中途の腐朽したところか継目などが破損する心配がある。又泉管の上部は多く埋隠してあつてかゝる實測を行ひ得るものは實際上極く少い。實測せるものを第1表(A)に掲げる。

一方、温泉水頭が地表より可なり低いところでは、既報¹⁾の如く第2圖の様に湧出口直上に湯溜りタンクを備へて、ポンプにて時々又は自動的に吸揚ける仕掛のものがある。かゝるところはたゞ吸揚けるのを停止すれば水頭を知る事が出来、又水位上昇速度によつても靜止水頭を推定出来る。この方法による測定は別論文²⁾に於て紹介する如くであり、その結果を借用すれば、第1表(B)の通りである。この方法では前法の如く瞬時に水頭を知る事は出来ぬし、又埋没管中途に漏洩するところがあれば水頭は過小に出て来る恐れはあるが集中温泉水の運動量による誤差はなくなる。

上述の二方法のいづれにしても、埋没管中途より他系の優勢地下水の浸入があれば終局の水頭はその中位の水頭を示すことゝなる。浸入地下水が冷温ならば湧出泉温も低下する。故に湧出泉温が高ければいづれにしても温泉水頭と見てさしつかへない。

かくて測定水頭の地表Lよりの高さを h_0 とすれば温泉水頭 H はその和である。即ち

$$H = h_0 + L \quad (1)$$

又山の手の最も高いところで温泉脈にあたるところはたゞ地を10mほど掘れば温泉伏流

第1表 實測温泉水頭及 C 表

(A) 第一測定法による

温泉番號	c	温泉水頭 (海面上)	調 年 月 日 査	温泉番號	c	温泉水頭 (海面上)	調 年 月 日 査	温泉番號	c	温泉水頭 (海面上)	調 年 月 日 査
	⁻¹ min	cm.			⁻¹ min	cm.			⁻¹ min	cm.	
128,1	44.5	322	1936 VI 11	700	59.1	1024	1936 VII 11	981		2789	1937 I 17
201	14.0	265	" VI 2	761	28.2	722	" VII 8	979		1866	" X 11
211		164	"	741	61.9	754	"	1164		143	1938 I 28
343	14.9	434	1937 X 9	823		668	1937 XII 2	1171	30.7	122	1937 X 27
398	5.9	701	"	852	12.4	532	1936 VII 11	1213		104	1936 VI 16
413,1		298	1938 II 15	855	28.7	514	"	1310		2250	1928 I 28
423		337	1937 X 9	931		1090	" VI 3	1320		2982	1937 I 17
471,1		973	1936 X 9	971		2547	1933 VIII	1322		2383	"
571		1211	1926 VI 25	971,1		2573	1938 I 28				

(1) 別府舊市街温泉概観(I)；本誌第1巻第1號第20頁。

(2) 野満、瀬野、山下：別府温泉の湧出量と水頭との相關、其の一 層狀泉；本誌本號第260頁。

別府市街地の温泉水頭分布

(B) 第二測定法による

温泉 番號	c	温泉水頭 (海面上)	調 年	査 月	日	温泉 番號	c	温泉水頭 (海面上)	調 年	査 月	日	温泉 番號	c	温泉水頭 (海面上)	調 年	査 月	日
320	$\frac{min}{-1}$ 55.2	$\frac{cm.}{-1}$ 127	1938	II	5	672,1	$\frac{min}{-1}$ 40.2	$\frac{cm.}{-1}$ 1399	1936	II	6	1077	$\frac{min}{-1}$ 12.4	$\frac{cm.}{-1}$ 222	1936	II	9
413	71.4	285	ク			666	34.3	1276	ク			1079		62	ク	VII	2
424,1	2.7	429	1936	V	14	679		1234	ク	VI	25	1140	10.9	82	ク	II	5
434,10		313	ク	V	9	675		1381	ク	VI	27	1155	34.4	211	ク	II	10
434,12	0.76	491	ク	VI	5	694	2.3	830	ク	II	4	1223	34.9	2129	ク	II	7
460	11.7	434	1937	X	11	695	13.1	1147	ク			1254	12.1	104	ク	II	9
539	4.1	1485	ク			842		231	ク	II	9	1263	9.4	165	ク	II	11
618	18.2	1675	1936	II	7	944	3.7	1358	ク	VI	29	1286	18.4	1217	ク	VI	27
626	9.3	1608	ク	II	8	1045	5.5	183	ク	II	9						
629	20.3	1425	ク	II	9	1047	9.9	240	ク	II	5						

(C) 気圧効果による

温泉 番號	c	調 年	査 月	日
35	$\frac{min}{-1}$ 4.4	1934	IV	25
201	5.0	ク	V	
491	8.6	1933	XII	14
551	19.6	1934	I	16
534	11.5	ク	II	13
671	5.3	1933	XII	1
801	10.2	ク	X	15

に突きあたる これは普通の掘抜温泉とは少々趣きを異にするけれども、かゝる準定常状態に於ては略々温泉水頭と見てよいと思はれるからこれも第1表(A)に併記した。

かくて温泉水頭實測数は54口、ほゞ市街地全部に散布してゐることは第3圖の如くである(●を以て示したもの)。大體に於て市街温泉の水頭傾向を知り得べく、略々海岸に向つて水頭勾配のある事は明瞭である。

2. 温泉水頭の推定

前述の方法にて實測した温泉水頭によつて別府市街温泉水頭の大體の傾向は知り得たけれども、全市街の水頭状況を詳細に知るには尙不充分である。観測に好都合なものは今後とも實測を行つて補充する積りではあるが、それには時日を待つより仕方がない。しかるに一方静止水頭 h_0 を直接測定しなくても、或水位 h で測つた湧出量 q から $\Delta h = h_0 - h$ 従つて h_0 を推定する方法がある。即ち既報²⁾の如く舊別府市街に於ける温泉は殆んど被壓層状態に屬するもので、温泉水の溜りタンクに上昇する水位 h と水位上昇速度 dh/dt との間にはほゞ、

$$\frac{dh}{dt} = c(h_0 - h) \quad (2)$$

が成立する。溜りタンクがなく絶えず湧出口より流去する普通の場合には湧出口切斷面積を a とすれば(2)より

別府市街地の温泉水頭分布



第3圖 別府温泉水頭分布

$$q = a \frac{dh}{dt} = ca \Delta h \quad (3)$$

と見られる。故に

$$\Delta h = \frac{q}{ac} \quad (4)$$

従つて q , a , c が測定出来れば Δh が求められ、又 Δh , a , q が測定出来れば c が求められる。かくして求めた c を第1表に併記してある。又氣壓の湧出量に及ぼす影響³⁾より求めた氣壓係数なるもの c は上述の c と全く同じ意味を持つものであつて、實測値の第1表(C)と比較して略々同じ程度の値である事が知られる。そこで今これらすべての平均値 c_0

$$c_0 = 20.0 \text{ m}^2/\text{m}^{-1} \quad (5)$$

を以て別府市街地層に適用できるものと假定すれば、(4)式より q と a の實測値のあるものに就いては Δh を求める事が出来る。

しかし、(4)式を適用する前に尙考へなければならぬ事がある。それは別府温泉掘抜式のものは、温泉掘鑿當時より年數を経過するにつれて湧出量が減衰する事である。この現象は地下温泉水路の變動による温泉水頭の變化もあらうが、管壁の腐朽による摩擦係数の増加や管壁への沈澱物による口徑の變化などがあり、最も大きい原因は管壁より温泉の流入孔の閉塞などが考へられる。(3)式に就いて云へば之は主として c の變化である。この c の變化は個々の湧出口について經年變化より推定しなければならぬが、湧出量の經年變化には雨量の影響が可なり大でこれを分離することは困難である。

そこで今昭和八年夏季總再査に於ける記録より、湧出量と掘鑿年齡(調査當時に於てその湧出口が掘鑿されてから何年經過したか)との關係を第4圖に畫いて見た。その分布は可なり分散してゐるが、掘鑿年齡の大なるものは湧出量の小なる傾向は明かである。特に密集せるところについてはその減衰は明瞭であらう。この事は次の如くに考へてよい。即ち湧出當時は各々異つた湧出量であるが近似的なものが多く、一齊觀測であつて、經年減衰を横より見たことになる。この減衰は種々見方もあらうけれど指數的と見て

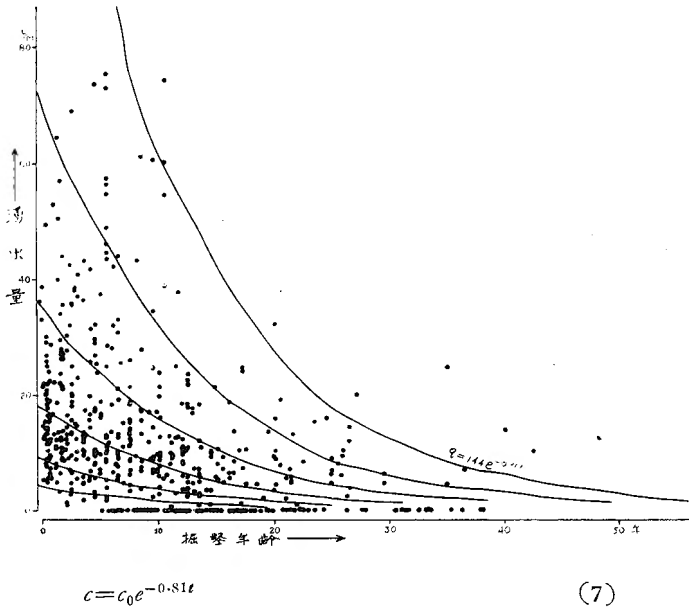
$$q = q_0 e^{-0.51t} \quad (6)$$

に従ふものと見る。但し q_0 は最初の湧出量、 t は掘鑿後の經過年數である。(6)式は c のみによる變化と見れば

(3) 野滿, 瀬野, 中目: 別府温泉と潮汐; 本誌第2巻第1號第1頁。

別府市街地の温泉水頭分布

第四圖 湧出量と掘鑿年齡(昭和8年總再査による)



更に(4)に代入すれば

$$\Delta h = \frac{q}{c_0 a} c^{0.81t} \quad (8)$$

かくて、ある湧出口の水頭は湧出量とその口径及び掘鑿年齡を知れば(8)式より推定出来ることとなる。 c_0 の値としては實測湧出口が少ないため今のところ(5)式の値をそのまま使用することとする。

上述の方法にて温泉水頭を推定するのに三つの要素を知ればよい。その要素は成るべく同時のものがよい。そこで昭和8年夏季一ヶ月に涉り再總調査したもの、内三要素のそろつたもの285口に就いて之を推定して第2表に掲げ、第3圖に於て●印にて記入した。大體に於て水頭實測せるものと矛盾はないやうである。詳細に見れば温泉水頭は整列してはゐないが、これは上述の推定法の誤差も混入して居らうが、又例へば同一水系でも深度によつて水頭が變化するのはあり得る事である。尙この再總調査は晝間のあらゆる時刻に於てなされてゐるから、海岸に近いものは潮汐の影響も混入してゐるに違ひない。而してその影響の最大のものは潮汐變化の1/3に及ぶものもあるから、最大潮汐差を3m以下と見れば之による海岸近くの推定水頭の偏差は1m以下と見てよい。

別府市街地の温泉水頭分布

第2表 推定温泉水頭 海面上表

温泉 番號	推定 水頭	温泉 番號	推定 水頭	温泉 番號	推定 水頭	温泉 番號	推定 水頭	温泉 番號	推定 水頭	温泉 番號	推定 水頭	温泉 番號	推定 水頭
1	2.0	110	2.4	262	4.2	413	2.8	507	5.8	795	9.4	1084	1.1
3	1.8	117	2.6	266	2.8	416	4.5	510	6.0	800	10.3	1087	1.1
4	2.2	120	4.3	268	2.9	420	2.3	511	8.9	801	8.6	1088	1.3
6	2.2	122	2.6	271	5.2	421	2.1	517	7.8	803	8.3	1089	1.8
14	2.6	124	5.3	274	9.7	422	2.1	520	12.1	804	9.4	1123	1.6
17,1	4.0	125	5.7	280	4.7	425	4.2	531	11.7	817	6.9	1143	1.4
23	2.4	126	4.6	283	5.4	426	2.0	534	11.3	819	6.6	1144	1.2
26	2.3	127	5.5	287	6.0	427,1	2.8	535	11.3	820	6.0	1146	0.9
28	2.2	136	2.5	288	8.4	428	5.4	537	8.2	821	5.3	1147	0.9
20	2.5	137	2.4	295	10.8	429	4.2	538	7.2	823	6.3	1149	1.0
31	2.7	140	2.9	296	4.1	430	4.7	539	6.8	829	5.8	1151	1.7
33	2.1	149	4.0	297	4.5	431	2.5	540	12.9	830	6.3	1153	1.2
37	4.2	157	6.6	298	5.1	432	2.9	542	7.1	832	5.9	1159	1.2
40	4.4	153	4.5	302	2.6	433	4.2	543	10.3	833	6.8	1163	1.2
50	2.2	161	4.3	207	2.9	434,6	2.3	545	2.9	843	4.1	1165	1.2
52	2.1	165	4.4	209	2.5	438	6.5	546	8.4	852	5.4	1171	1.0
53	2.5	172	4.8	313	2.3	442	6.3	552	10.2	853	4.8	1173	1.6
55	2.3	173	2.3	319	4.7	443	7.0	555	12.9	857	4.2	1179	1.5
57	2.9	175	2.5	224	2.5	444	4.3	560	11.7	859	5.8	1257	2.6
58	2.3	176	2.6	340,1	2.4	448	8.9	564	14.4	860	4.6	1257,1	5.7
59	4.4	178	5.7	341	2.0	450	7.3	566	12.6	861	4.9	1258	0.7
60	3.1	179	2.4	349,1	8.1	450,1	5.4	571	12.4	864	4.1	1260	9.7
62	2.3	180	4.2	254	2.3	451,1	5.0	575	16.0	863	2.4	1271	0.8
65	2.7	181	4.7	374	8.5	451,4	8.3	592	12.6	869,1	4.6	1283	4.2
67	2.3	188	2.6	376	5.1	468	10.2	601	14.8	873	4.4	1284	5.9
68	2.5	183	2.4	378	5.3	470	10.3	619	21.0	892	2.8	1286	12.3
69	2.9	192	2.8	381	6.7	471	8.5	644	12.7	894	6.4	1239	7.2
70	2.4	193	6.4	382	5.4	472	7.5	672	11.9	906	8.9	1234	6.5
71	2.2	194	4.1	384	6.0	473	7.3	678	15.8	910	6.1	1235	12.1
74	2.5	199	2.3	389	5.3	473,1	6.3	682	12.5	935	11.5	1236	8.7
75	2.4	200	2.7	390	7.7	474	6.1	696	11.7	979	21.9	1297	6.8
77	2.8	201	2.8	391	5.5	475	7.4	715	8.5	992	2.6	1298	6.4
80	1.7	203	2.4	392	4.4	476	6.2	741	7.9	1023	2.7	1300	4.3
82	4.5	211	2.9	393	7.6	477	5.7	748	9.3	1026	2.3	1305	2.1
87	2.2	212	2.2	396	5.3	478	6.4	771	7.4	1028	2.7	1206	2.4
90	2.9	214	4.1	405	4.9	473	6.4	778	6.0	1040	2.7	1207	2.3
91	2.1	220	2.5	406	5.4	481	6.2	779	6.3	1042	2.0	1308	5.3
92	2.4	220	2.9	407	2.9	483	7.4	785	9.3	1043	2.3	1309	2.0
96	2.7	225	2.0	408	4.9	485	6.7	787	6.9	1051	1.6	1311	2.2
97	3.4	226	4.9	409	4.0	494	4.9	790	7.1	1069	1.2		
101	5.4	242	2.0	411	4.7	501	7.7	794	2.7	1072	2.2		

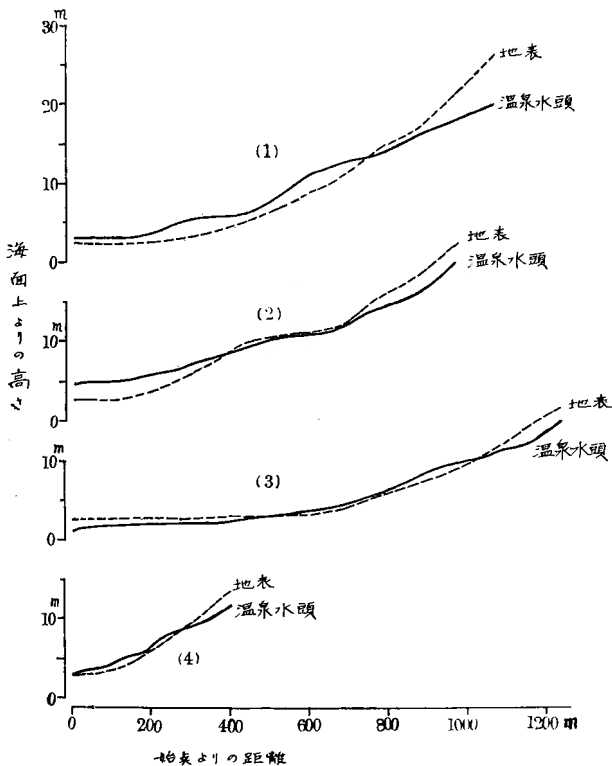
3. 舊別府市街の温泉水頭分布状況

別府市街地の温泉水頭の大體の分布状況を會得し易からしむる爲に、前記多數の實測乃至推定水頭から 100m 平方内の平均値を求めてその中心點にて代表せしめ、これによつて等水頭線を第 3 圖に於て畫く。その結果として次の事が言へる。

1) 温泉水頭は平均海面より常に高い、個々の温泉について實測及び推定水頭についても然りである。それ故もし海底にて兩者相通するとするも温泉水は絶えず海に向つて流れ實際上温泉水の一部を海中に放出してゐるかも知れぬ。

2) 等水頭線は等地高線に似てゐるが、幾分水頭勾配の方が地表勾配より緩である。今海岸を基點としてこの等水頭線に直角に交つて、ゝんて行き兩者を比較すると第 5 圖の如

第 5 圖 水頭線と地表



- (1) 第 3 圖に於て鎖線(1)に従ふ
- (2) 同圖に於て鎖線(2')に従ふ
- (3) 舊海岸線朝見川川尻を基點とする
- (4) 海岸線富士見通交點を基點とする

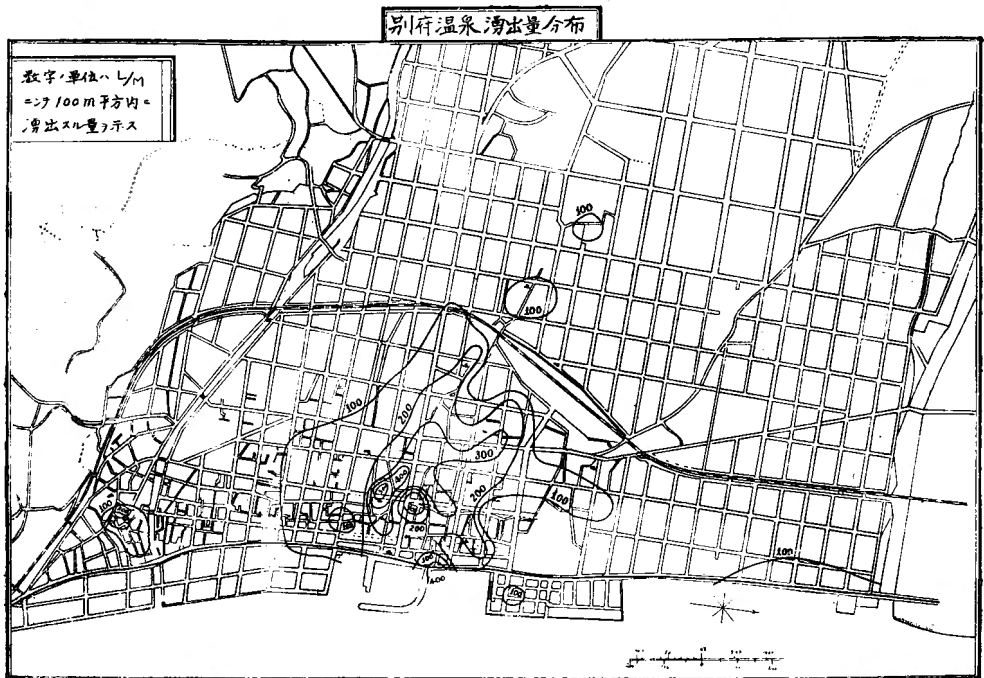
くなる。何れも地高 10m 附近以上に於て地表の方が高くなつてゐることは注意すべきである。(1)(2)曲線に於ては 10m 以下に於て地表を超えること大きく 2m 以上に及ぶ處がある。これは後述の如く温泉脈に相當すること、一致する。(3)は地表より高いところはごく少い、之が弱勢であることは温泉の分布及其の湧出量・温度からも明かである。

3) 別府市街の各温泉が地下に於て連絡を有するとすれば、明かに温泉伏流は海岸に向つて流動してゐる。北部に於ては海岸に略々直角に、南部に於ては之に斜に傾いて東

別府市街地の温泉水頭分布

南に向つて流動してゐる。後者に於ては海岸近くに於てその勾配が山手に比して非常に小になつてゐる。之を第6圖の温泉湧出量分布と比較して見ると、湧出の多いところ乃至その後流と見られるところが勾配が小さい様である。即ち温泉の溢捌による影響と見られる。南部に於ける温泉湧出の減少もその結果と見られる。

第 6 圖



4) 第3圖を熟視すると鎖線(1),(2)に沿うて等水頭線が下に向つて突出してゐるのが眼につく。これはこゝに line source がある事を示す。即ち一般に海岸に向つて流動する温泉伏流に加へて深處よりこゝに新しい温泉水の湧出が認められる。これは地温分布の研究より明かにせられた温泉脈と略々一致を見るのは面白い。

この事は別の方面からも立證出来る。別府に於ける方々の土壤を採集して其の透水能を示す所の土壤係數 (Soil constant) を測定したところによれば第3表の如くなる。その測定方法及測定器は豊原義一氏の考案⁵⁾による。この材料は少いけれど大體の見當を付けるに

(4) 野満, 山下: 別府舊市内の地温分布と温泉脈; 本誌本號第233頁。

(5) 豊原義一: 土壤係數の簡易測定裝置; 陸水學雜誌第6卷第2號第53頁。

別府市街地の温泉水頭分布

第3表 土 壤 係 数 表

採 集 地	採集月日	採 集 深 度	k	水 温	摘 要
温泉 No. 434ノ7	大. 14. —	141m (砂)	$\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ 0.008	25.4	{鈴木理學士採集 地球物理 第1巻第4號参照}
温泉 No. 434ノ9	大. 14. 8. 8	132m (グリ)	0.055	26.0	
温泉 No. 1256	大. 13. 10. 25	141m (砂)	0.022	25.3	
温泉 No. 1278	大. 14. 4. 26	131m (パン)	0.021	26.2	
温泉 No. 1319	昭. 13. 9. 1	地下10mまで	0.065	27.4	
朝見川河原	〃	地 上	0.052	27.6	
不老泉附近	〃	〃	0.013	27.9	
楠湯附近	〃	〃	0.009	25.7	

は差支へない。今表中大なるものを考へて

$$k=0.065 \text{ cm/sec}$$

又第3圖より水頭勾配 I の大きな處で

$$I=0.016$$

と見ると地下温泉伏流の速さ v は、⁽⁶⁾ Hazens などの實驗により k に温度修正を加へ、且つ空隙率を平均40%に取ると

$$v=2.3 \text{ m/day at } 27^\circ\text{C}$$

$$v=4.0 \text{ m/day at } 65^\circ\text{C}$$

の程度であるから山手から海岸まで 1km を流動するにも少くとも 25) 日程かかる。この間の熱の放散は湧出導管中の冷却とは違ふとは云へ、實に大きいものとなる筈である。しかるに地温分布の状態はその影響を及ぼしたと見られるところが極く少い。この點から考へても温泉脈の存在によつて熱が別に供給されなければならぬ事が首肯出来るであらう。

5) 既報の潮汐及降雨影響度の分布⁽⁷⁾ が等水頭線に略々並行である。これは然るべき事で潮汐は海より、雨は山手より伏流に従つて作用し來るべきが爲である。只西南部の降雨影響の大きいことは他系の温泉地下水を暗示してゐる。⁽⁸⁾

6) 濱脇地帯のクロールの異常分布⁽⁹⁾ は南部の一點を中心にて環狀に等クロール線が出

(6) 物部長穂：水理學第463頁。

(7) 瀬野錦藏：別府温泉の感潮度分布；本誌第2巻第1號第24頁。

同 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巻第2號第152頁。

(8) 山下馨：化學成分其他諸因子より見たる別府地下温水の流界；本誌次號。

(9) 山下、木戸、丸田：別府市内温泉のクロール量分布；本誌第1巻第2號第39頁。

別府市街地の温泉水頭分布

來てゐるがこれは南部の局部的の泉源と別府中心より一部供給せられてゐると考へて見られる。

終りに本調査は六年前より恩師野滿教授より命ぜられてゐたのであるが、湧出管を閉塞調査する等の作業が温泉所有者の諒解を得ること容易ならずして、種々説得を重ね萬一の場合を保證しつゝ、實施し來つた程で、多くの年數を空費した次第である。茲に絶えず指導と激勵を賜はる野滿博士及び測定を許容せられた理解ある温泉所有者に深甚の謝意を表する次第である。