

別府温泉の感潮度分布*

理 學 士 瀨 野 錦 藏

1. 緒 言

前論文「別府温泉と潮汐」⁽¹⁾に於て、吾人は別府温泉中で観測に便利なもの21口を選び其の湧出量と泉温並びに電気傳導度を晝夜打通しに二日乃至一ヶ月連續観測して驗潮記録と對比し、別府温泉も潮汐の影響を受くること顯著なるを示し、且つ其の相關の狀況及び機構に就いても相當詳密に論述した。其際、温泉湧出量の潮汐影響を受くる度合即ち感潮度が所によつて異なり、大體に於ては海岸に近きほど著しく海岸を遠かるにつれ小さくなることを知つたが、然し全市に亙る感潮度の分布を精細に論ずるには未だ材料が頗る不十分であつた。さればとて市内全體に亙り數百の湧出口につき晝夜間斷なく前同様の観測を施行することは、非常なる勞力と人数とを要し且つは温泉所有者の承諾を得ることすら困難で、先づ先づ實行不可能である。

然るに幸にも我別府地球物理學研究所では、故志田博士の發案によつて大正十四年以來市内數百口の温泉につき每週一回観測を行ひ既に連續十餘年に及んで居る。そして其の結果は「別府温泉の泉温及湧出量繼續観測表」⁽²⁾と題して本誌前號以來連載中であるが、筆者は之こそ別府市内の感潮度分布研究に利用すべき豊富な材料であることに氣付いたのである。

2. 週観測が潮汐影響を示す理由

別府温泉湧出量の週一回連續観測表をグラフに描いて見ると、第1圖に例示した如く、湧出量が隔週毎に一上一下し而も其の變動が四ヶ月ほどの週期を以て増減し、宛も唸りの現象に似て居る。加之この變動の度合は海岸に近き湧出口ほど著しく、海岸をさるに従つて小となるのである。

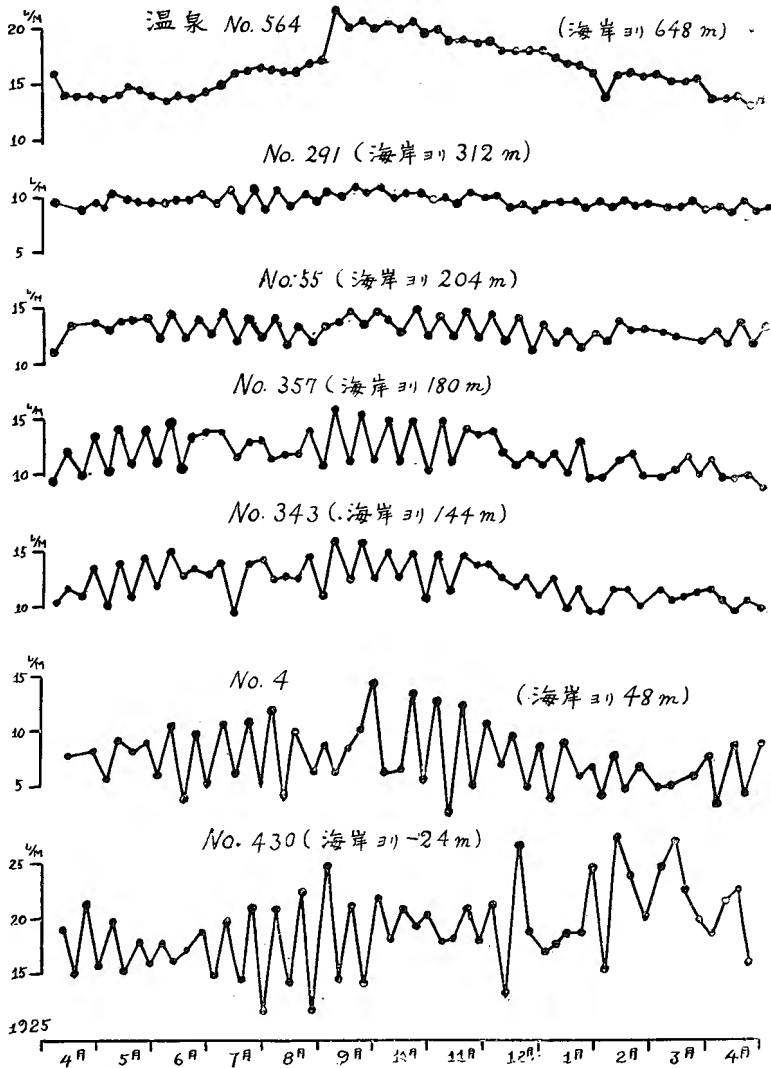
* 本論文は昭和10年4月大阪で日本數學物理學會總會に發表した。

(1) 野滿・瀨野・中目・別府温泉と潮汐附氣壓效果；本誌第2卷第1號1頁。

(2) 本誌第1卷第4號331頁；尙ほ逐次續掲の筈。

別府温泉の感潮度分布

第 1 圖 別府温泉湧出量週観測の數例



斯の如き變動状態は、次の理由によつて潮汐影響の現はれであると断定することが出来る。

(i) 理想的の状態として毎週同一曜日の同一時刻に観測が行はれるものとすれば、前週の観測時が恰度満潮時に當つて居た場合には次週にはほぼ干潮時に観測されることとなる。なぜならば、 M_2 潮は平均太陽日と一日につき 50.4 分の差があるから、一週間後には

$$50.4 \text{分} \times 7 = 5 \text{時} 52.8 \text{分}$$

だけ満潮時より遅れるので、略ぼ干潮時に近い時刻になる。かくて次々の週観測は交互に満干潮時になるわけである。然るに別府温泉の潮汐による影響を實測研究したところによ⁽³⁾ると、湧出量は約そ潮汐水位に比例して増減する。之によつてみれば、週観測湧出量の上一下は潮汐の影響に違ひない。

(ii) 更に詳細に考ふるに、M₂ 潮の週期は 12時 25.2分であるから、上の場合満潮観測の次週の眞の干潮時は観測時刻よりも尙

$$6時12.6分 - 5時52.8分 = 19.8分$$

後になる筈である。一週間毎に之だけづゝが重なつて、

$$3時6.3分 \div 19.8分 = 9.4週, \text{ 即ち } 2.2月$$

後には観測時刻は満干中間水位の時刻になり潮汐水位差殆んどなく、週ごとの湧出量變動は微少となるわけになる。更に 2.2ヶ月たてば再び観測時刻が満干潮時に當る様になり、従つて 4.4ヶ月の週期を以て週観測の湧出量は上下變動が大となり恰も喰ひの如き現象を呈する理である（以上の理により或週に缺測した場合は其の前後の大と大、又は小と小の平均値を以て中間挿入を行ひ補填することが出来る）。

實際上の観測は種々の事情により毎週完全に同一時刻とは行かないので、上述の如き理想的な場合と多少の違ひは免れないけれども、別府温泉の週観測が略ぼ之に近いことは第 1 圖を見ただけでも窺はれるが、更に多数の例につき湧出量の上下變動著大となる週期を調べた結果は第 1 表の如くで筆者の豫想を裏書する。

第 1 表
週観測湧出量の變動週期

週 期	回 数
3.5~3.9 ^月	5
4.0~4.3	27
4.6~5.0	3
5.1~5.5	5
5.6~6.0	2

(iii) 尙ほ此の上下變動が、第 1 圖で例示した様に、海岸に近き湧出口に於て著しく海岸を距るに従ひ小となる傾向あることも潮汐影響たることを示すもので、前論文の潮汐作用研究とも調和する事實である。

3. 週観測値による潮汐影響處理法と其の結果

上述の如く週観測の湧出量變動が潮汐の影響を示すことは確實である。然し尙この變動には氣壓や降雨などによる他の影響も加はつて居るであらう。そこでそれ等の他の影響を

(3) 野満・瀨野・中日・別府温泉と潮汐：本誌第2巻第1號1頁。

別府温泉の感潮度分布

除去し純粹に潮汐のみの影響を抽出するため、各観測値の月平均を基準として之より各個観測値の偏差を求め月平均に對する比で表はす。かくすれば氣壓及び雨量などの季節變化による影響は當然消去される。たゞ氣壓や雨の急激な短期變化の影響はまだ上の處理法だけでは残ることになるが、更にかゝる變動率を多年に亙る多數の觀測につき平均すれば、規則正しき潮汐の週期に合はない氣壓や雨の影響は消えてしまふはずで、潮汐の調和分析に於て特定の分潮のみを抜き出すのと同じ理法である。

かゝる考へのもとに、筆者は觀測が4.4ヶ月の整数倍(倍数値が大となれば必ずしも整数の要はない)に涉つて居る湧出口につき、其の潮汐による湧出量變動の振幅 Ampl. として

$$\text{Ampl.} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{n} \sum \left| 1 - \frac{\text{湧出量觀測値}}{\text{月平均湧出量}} \right| \dots\dots\dots(1)$$

を取り、感潮度を表はすことにした。第2表は此の方法によつて資料欄掲載の週一回連續觀測表から算出した別府温泉140口の湧出量變動振幅で、海岸よりの距離と共に併記してある。又第2圖はその結果を四階級に分類して地圖上に記入した感潮度分布圖である。只こゝに一言注意して置きたいことは、此等の振幅は變動の絶對値ではなく、平均湧出量に對する變動振幅の比率である。

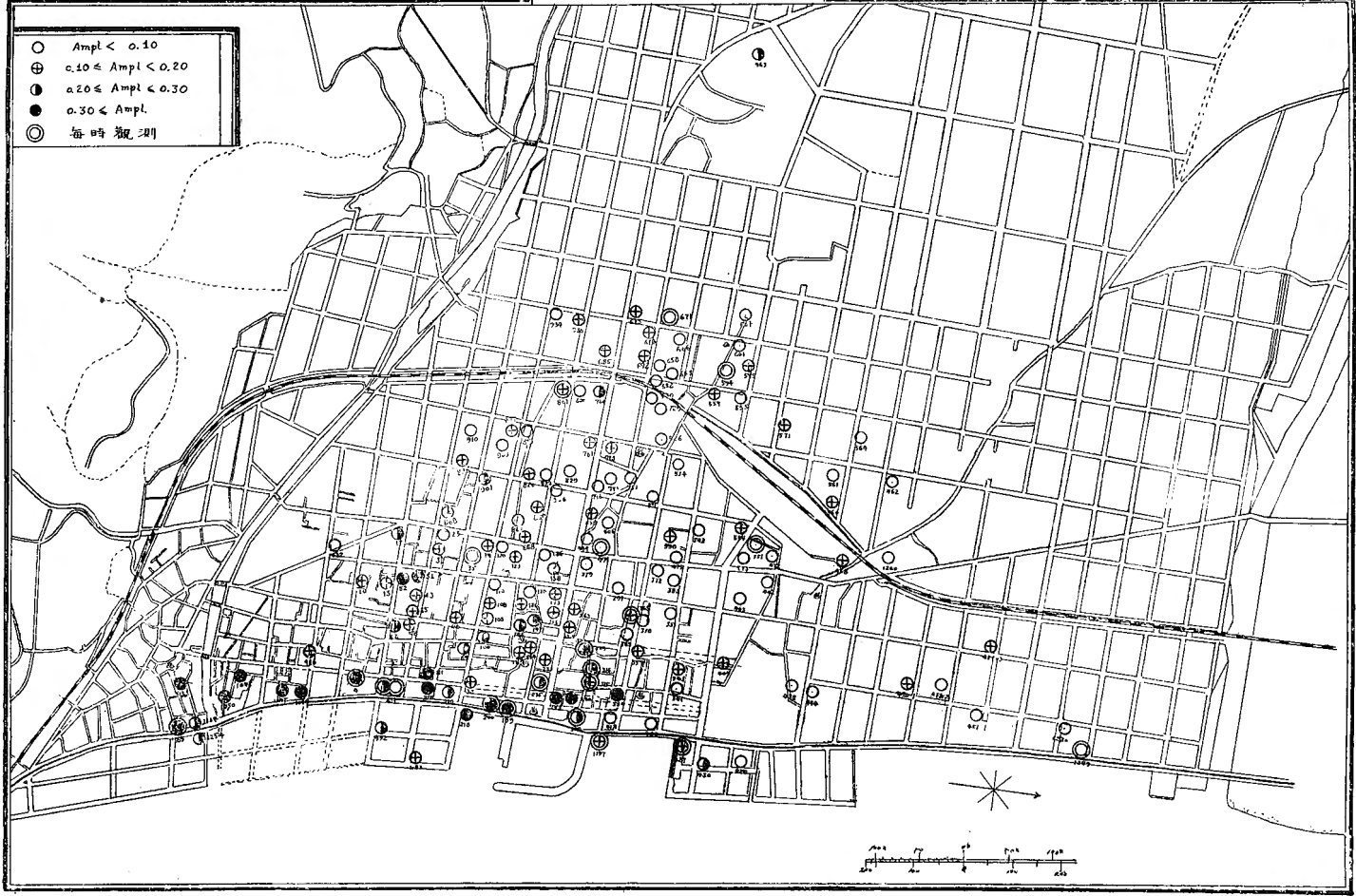
第2表 別府温泉湧出量の潮汐による變動振幅

湧出口番 號	平 均 湧出量	海岸ヨリノ距離	Ampl.	湧出口番 號	平 均 湧出量	海岸ヨリノ距離	Ampl.	湧出口番 號	平 均 湧出量	海岸ヨリノ距離	Ampl.
4	L/M 6.33	m 48	0.52	62	L/M 5.34	m 156	0.29	147	L/M 10.21	m 198	0.21
10	11.27	252	0.15	69	10.30	114	0.25	158	6.07	348	0.08
13	6.55	246	0.17	81	6.54	66	0.32	173	6.75	282	0.17
17	3.65	354	0.26	92	23.46	54	0.14	176	3.38	240	0.10
23	8.45	354	0.09	100	10.12	156	0.27	189	15.98	132	0.12
31	3.08	324	0.16	106	8.87	186	0.14	194	17.00	144	0.11
35	26.11	318	0.06	108	4.08	222	0.19	210	4.80	24	0.29
39	15.00	348	0.14	110	12.31	270	0.10	212	4.05	30	0.62
46	17.11	160	0.15	120	13.40	348	0.07	213	4.05	-12	0.72
48	6.27	234	0.15	123	17.72	330	0.12	233	9.57	136	0.19
51	1.78	264	0.51	126	21.92	348	0.04	240	12.02	132	0.31
52	8.38	258	0.40	130	14.00	270	0.06	243	5.19	54	0.36
55	12.74	204	0.11	136	8.70	240	0.11	253	6.38	204	0.10
58	13.97	162	0.13	145	4.52	192	0.25	263	14.31	252	0.13

別府温泉の感潮度分布

湧出口 番 號	平 均 湧出量	海岸ヨリ ノ距離	Ampl.	湧出口 番 號	平 均 湧出量	海岸ヨリ ノ距離	Ampl.	湧出口 番 號	平 均 湧出量	海岸ヨリ ノ距離	Ampl.
279	13.40	348	0.06	526	4.50	618	0.10	801	9.84	684	0.14
291	8.97	312	0.05	530	12.34	702	0.05	816	11.88	594	0.06
309	3.97	348	0.25	534	11.74	546	0.08	817	3.50	588	0.12
324	14.98	90	0.34	539	4.53	420	0.11	820	10.33	504	0.12
341	20.19	108	0.30	542	23.05	432	0.04	823	7.69	504	0.09
343	11.23	144	0.14	544	4.70	450	0.11	826	5.37	474	0.07
351	20.23	264	0.03	555	11.53	714	0.07	829	7.04	528	0.10
363	14.27	210	0.03	557	9.73	714	0.11	833	13.84	426	0.19
357	10.68	180	0.15	560	8.12	504	0.11	834	6.28	444	0.11
370	12.20	234	0.03	561	12.60	570	0.06	835	5.61	378	0.12
373	16.50	240	0.01	564	19.41	648	0.05	861	9.29	408	0.10
383	12.41	174	0.07	571	4.50	678	0.10	863	4.92	408	0.20
402	15.23	343	0.05	575	14.15	804	0.11	886	5.34	510	0.15
403	8.00	303	0.03	580	11.24	768	0.13	901	4.66	474	0.22
409	9.53	168	0.12	601	9.54	822	0.03	903	2.72	648	0.07
413	18.64	36	0.13	624	72.72	894	0.06	910	8.90	588	0.09
423	20.35	30	0.16	652	4.95	732	0.09	934	3.97	840	0.08
429	19.51	-24	0.07	653	2.64	774	0.07	935	0.80	654	0.13
430	16.89	-24	0.23	663	5.76	767	0.09	963	2.51	1440	0.23
433	29.32	150	0.04	663	8.19	834	0.09	992	14.75	-48	0.26
444	11.66	120	0.03	671	17.50	876	0.03	966	6.24	108	0.12
450-1	20.23	120	0.16	675	9.98	888	0.13	1022	15.03	330	0.05
451-1	47.64	72	0.10	679	11.51	840	0.13	1045	11.24	24	0.37
451-2	18.79	144	0.09	685	3.92	792	0.12	1047	23.32	18	0.36
451-3	8.63	222	0.13	692	12.19	804	0.11	1048	9.62	78	0.32
462	22.41	553	0.07	700	11.92	708	0.25	1050	5.36	66	0.19
463	6.16	402	0.11	713	4.39	594	0.15	1153	10.02	102	0.30
472	16.78	408	0.03	729	15.27	684	0.06	1164	7.76	24	0.26
473	21.27	390	0.06	751	16.36	546	0.07	1183	13.78	108	0.20
475	23.65	378	0.04	771	12.73	522	0.03	1254-1	11.36	-12	0.20
494	21.39	402	0.03	776	16.91	504	0.05	1260	23.12	390	0.06
506	10.91	432	0.05	781	3.03	594	0.12	1280	34.23	60	0.04
511	8.00	498	0.10	800	7.57	696	0.03				

別府温泉感潮度分布



第2圖 別府温泉感潮度分布

別府温泉の感潮度分布

別府温泉の感潮度分布

是等を見れば、潮汐の影響は大體に於て海岸距離に伴ひ小さくなるとはいへるが、然し必ずしも海岸に併行するものではなく、南部の濱脇方面は陸地深くまで潮汐の影響を受くることが比較的大きい。

更に前論文「別府温泉と潮汐」中に掲げられた 20 口ほどの温泉毎時観測結果をも利用して、上記の潮汐影響振幅を求めると第 3 表の様になる。第 2 圖中には二重圏を以て記入して置いた。第 2 表の値と對照するに兩者互に調和し、大した矛盾の點はない。

第 3 表 毎時観測より求めた Ampl.

温泉番	平均湧出量	Ampl.	温泉番	平均湧出量	Ampl.	温泉番	平均湧出量	Ampl.
315	L/M 11.00	0.148	309	I/M 28.89	0.091	551	L/M 11.80	0.050
316	8.07	0.260	1197	35.32	0.160	365	5.27	0.178
319	7.48	0.220	801	1.24	0.136	199	9.27	0.690
211 (N)	15.68	0.136	671	11.25	0.024	594	5.14	0.034
211 (S)	10.16	0.298	491	7.70	0.031	4	17.24	0.118
235	14.75	0.218	427	14.51	0.136	1165	15.22	0.510
35	8.80	0.057	1299	57.92	0.064			

尙ほ昭和 8 年夏期の別府温泉再總調査の際、各温泉所有者乃至使用者の湧出量に及ぼす潮汐影響に關する智識⁽⁴⁾をも問合はせたが、それ等を上記第 2 及び 3 表の結果と比較するに Ampl. > 0.10 即ち潮汐影響の振幅が平均湧出量の 1 割以上に及べば初めて、素人目にもそれが認められるといふ面白い結果を得た。

4. 湧出量と感潮度との關係

第 2 表乃至第 2 圖より知らるる今一つの重要な事項は、潮汐影響の Ampl. の大小が海岸距離のほか平均湧出量の大小にも關係あることで、平均湧出量の小なるものは海岸から遠くとも平均湧出量の大きなる海岸に近いものよりは其の Ampl. が比較的大きい。例へば No. 17, No. 31, No. 365, No. 901, No. 341 などは其の好例である。同一湧出口に就いても、長年月に亙る観測を比較して見ると第 4 表及び第 3 圖の如く上述と同様のことが成立する。そこで再び第 2 表につき湧出量によつて變動振幅を分類するに此の事は一層明瞭となる。特に平均湧出量 5 L/M 以下のものに就いて著しい。これ等が濱脇方面(南部)に多く分布されて居ることは該方面の地下温泉伏流の弱勢なることを物語るものであらう。

(4) 別府市内温泉臺帳抄並に泉温及び湧出量一齊調査成績、本誌第 1 卷第 1 號 28 頁。

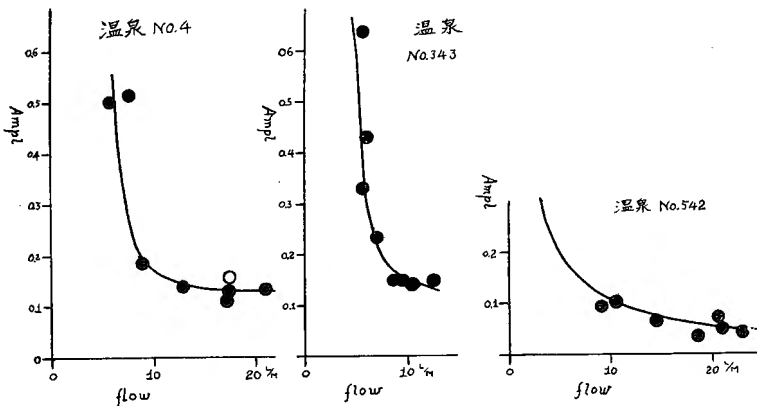
別府温泉の感潮度分布

第4表 湧出量と Ampl. の経年変化

年次	No. 4		No. 53		No. 130		No. 343		No. 418		No. 472	
	平均湧出量	Ampl.	平均湧出量	Ampl.	平均湧出量	Ampl.	平均湧出量	Ampl.	平均湧出量	Ampl.	平均湧出量	Ampl.
1925	7.47	0.51	—	—	12.83	0.10	12.44	0.14	—	—	19.30	0.06
1926	5.63	0.50	13.97	0.13	14.04	0.08	10.23	0.14	18.64	0.19	13.20	0.11
1927	—	—	12.98	0.12	12.72	0.09	9.28	0.15	17.93	0.18	14.29	0.04
1928	17.21	0.12	12.72	0.11	11.38	0.08	8.35	0.15	16.51	0.16	14.43	0.04
1929	21.05	0.13	11.93	0.14	10.26	0.08	7.18	0.22	14.56	0.28	13.65	0.05
1930	17.07	0.11	10.66	0.18	8.44	0.09	5.61	0.33	13.06	0.31	13.70	0.05
1932	12.63	0.14	9.52	0.10	—	—	6.12	0.48	11.63	0.17	13.25	0.11
1933	8.73	0.18	8.51	0.23	7.73	0.11	4.37	0.64	8.86	0.24	12.17	0.06
時観測	17.24	0.15										

年次	No. 530		No. 542		No. 671		No. 801		No. 1153	
	平均湧出量	Ampl.	平均湧出量	Ampl.	平均湧出量	Ampl.	平均湧出量	Ampl.	平均湧出量	Ampl.
1925	13.44	0.04	—	—	25.90	0.05	—	—	10.92	0.30
1926	11.40	0.05	23.05	0.04	9.38	0.07	5.62	0.14	9.24	0.22
1927	10.74	0.05	21.40	0.05	18.38	0.11	—	—	6.64	0.29
1928	12.01	0.05	20.62	0.07	20.52	0.07	7.00	0.07	5.84	0.23
1929	11.85	0.05	18.37	0.03	19.32	0.04	5.00	0.11	6.33	0.32
1930	10.28	0.06	14.39	0.06	15.36	0.06	2.91	0.12	6.90	0.44
1932	9.37	0.09	10.64	0.10	18.46	0.07	4.51	0.09	6.02	0.36
1933	—	—	9.23	0.08	12.11	0.16	1.91	0.19	4.49	0.38
時観測					11.25	0.03	1.24	0.19		

第3圖 湧出量と Ampl. の関係



終りに、始終御指導を賜つた恩師野満博士に深く感謝の意を表する次第である。