

別府温泉に及ぼす海セイシの影響並びに 隣接温泉の相關

理 學 士 土 生 片 樟

1. 緒 言

海岸に在る温泉の湧出量や泉温が潮汐の干満によつて變化することは、昔から其の地方の人々によつて知られて居たようである。別府温泉も亦潮汐の影響を受けることは早くから知られて居たが、これに關しては當研究所開所以來永年に互り詳細な研究がなされ既に本誌上⁽¹⁾に發表され、其の際海セイシの効果にも言及し其の例と思はれる和田彦別荘の湧出量觀測結果を圖示してあるが、未だ明確な實證は擧つて居なかつた。

其の後著者は的確に湧出量に及ぼす海セイシの影響を捉へ得たので、曩に其の實例の二三に就て簡單に報告した⁽²⁾が、今回更に温泉湧出量の微小變化の一因となる別府灣の海セイシに就て今少し詳細に調査し、セイシを起す主要原因と思はれる氣象要素との關係をも明にし、且つセイシの影響を受けた温泉湧出量の其の後の觀測例を附加し述べて見たいと思ふ。尙此の觀測中隣接温泉の相互關係が明瞭に現はれたので合せ記載する。

2. 別府灣に於ける海セイシ

別府温泉に及ぼす海セイシの影響を述べるに先立つて別府灣に發現する海セイシの種類原因等を明にしよう。別府灣に於ける潮汐觀測は大分港に於ては以前より行はれて居たが、當研究所に於ても昭和十二年三月より別府海岸鶴水園に水壓式驗潮儀⁽³⁾(縮小 $1/20$)を設置して以來引き続き觀測して居る。此の記録に基き昭和十三年六月迄の一年三ヶ月間に就てセイシの種類、週期を決定したのであるが、同時に大分測候所長山川軍治氏の御好意により拜借し得た大分港驗潮記録をも參考とした。此處に同氏の御好意に對し深甚なる謝辭を呈する次第である。

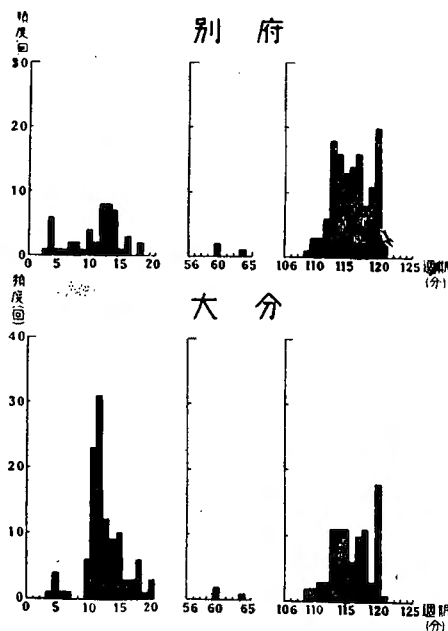
(1) 野滿, 瀬野, 中目: 別府温泉と潮汐附氣壓效果; 本誌第2卷, 第1號, 1頁。

(2) 土生: 別府温泉に及ぼす海セイシの影響; 日本學術協會報告第14卷, 第2號, 228頁。

(3) 本誌第2卷, 第1號, 口繪。

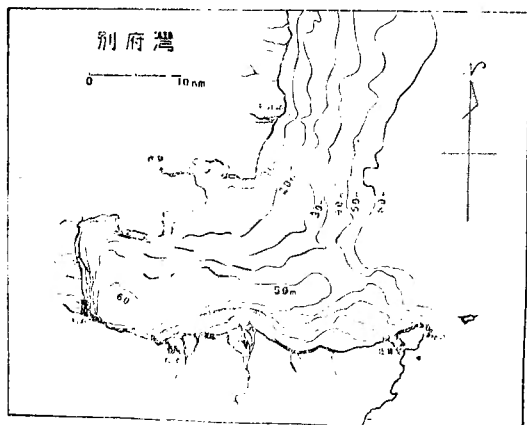
セイシ週期の分類:— 潮候曲線上に略一定週期の規則的小変動が相當長時間に互り繼續して現はれて居る時之を或種のセイシと看做し、其の内顯著なもののみを採り、其の全繼續期間に就て平均週期を求め各週期の頻度を第1圖に示してある。圖中、上は別府海岸鶴水園に於ける當研究所の記録より求めた頻度圖であり、下は大分港驗潮記録より得た結果である。何れの記録に於ても別府灣のセイシは大體に於て週期110~120分の長週期のものと20分以下の週期のものとに分類される。此の20分以下の週期のものは更に10~20分週期中週期のものと、3~5分週期の短週期のものとに分ち考へられる。此の他に60分前後の週期を有する變動が兩記録共に數回現はれて居るが、他の週期のものに比して發生回数甚だ少く振動數も僅少であり又振幅もあまり顯著でないから、これが果してセイシであるか或は他より傳播し來つたものであるか判別し難い。従つて今回はこれに觸れないことにする。

第1圖 セイシ週期別頻度



110~120分週期のセイシに就て:— 110~120分週期を有するセイシは第2圖の別府灣深度圖に於て關崎より安岐崎に至る線を灣口とする灣振動であることは、其の週期を計算すれば

第2圖 別府灣深度



れば 113.0~120.0 分となることより明である。此の種のセイシは別府灣に於ける最も長週期のセイシで且つ最も頻繁に發生する主振動である。今回調査した期間中故障のため缺測した日を除き調査し得た全日數は408日であるが、此の期間中に各種セイシの相當顯著に現はれた延べ時間數の全期間に對する割合は第1表

の如く、110～120分週期のセイシは39.5%で延べ日数161日となり最も多い。如何なるセイシも全く現はれて居ないと思はれる日数は4.3日であつて全期間の僅か1.1%であり、他の日は強弱の差こそあれ何れかのセイシが現はれて居り、特に此の110～120分週期のセイシは他のセイシが現はれて居る時でも之と

第 1 表

種 類	%	延べ日数
110～120分	39.5	161.0
10～20分	19.0	77.6
3～5分	3.2	13.1
セイシ現はれるも顯著ならざる場合	37.2	152.0
全くセイシ現はれぬ場合	1.1	4.3

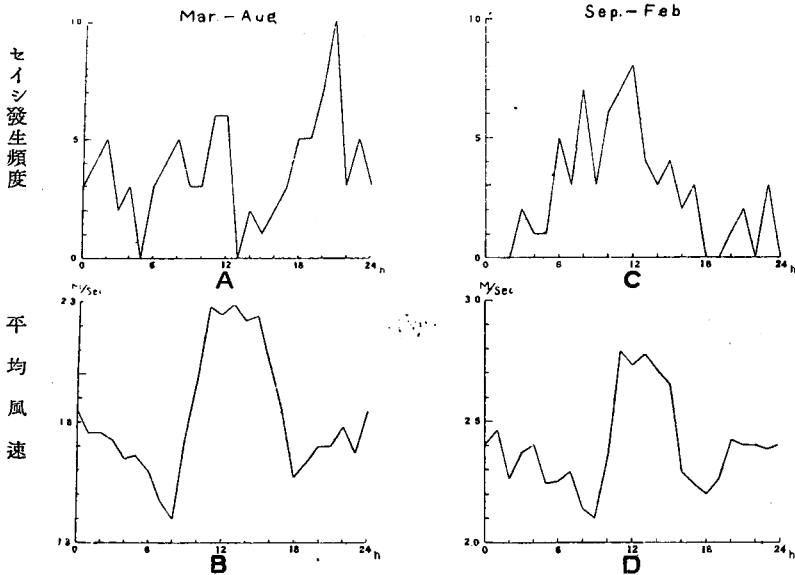
重つて現はれ軽微なものに至つては殆んど全期間に亙つて現はれ、實に頻繁に發生して居り、多少とも此の種のセイシを誘發する原因となるものが存在する時は直ちに發達するようである。セイシを誘發する原因となるものは一般に地震或は氣象上の變化であるが、今回調査期間中に於ては地震の爲めに發生したと思はれるものは見出されなかつた。此の事は後述の他の種類のセイシに就ても同様である。従つて氣象上の變化の中、颱風其の他一般低氣壓等の通過の如き特種な原因により發生した例も無かつたから、此の様な場合は別として、一般には主として風向、風速、氣壓等の變化の中何れか一つの急變によるか、是等の中二つ或は三つが同時に相重つて急變した爲めに、是が原因となつて誘發されるものと考へられる。

當研究所の氣象統計⁽⁴⁾によれば、別府に於ては四季を通じて西風が卓越して居るが、春より夏にかけては東風西風殆んど相等しく、他の風向の風は非常に少く海陸風がよく發生する。是に對し秋より冬にかけては大部分が西風乃至北西風で他の風向の風に見るべきものが無い。此の卓越風向は恰も110～120分週期のセイシの振動方向と一致する爲め、是等の風向、風速の急變は此のセイシを誘發するに大いに役立つものようである。第3圖は相當セイシが顯著に發達し始めたと思はれる時刻と其の回数により頻度圖を作り、是と假りに時間別平均風速とを對比したのである。圖中(A)及び(B)は3月より8月迄の期間に於ける時間別セイシ發生頻度及び平均風速を示し、(C)及び(D)は9月より2月までの期間に於ける夫等であるが、明に春より夏に至る期間と秋より冬に至る期間の兩者の間に發生頻度の差異が認められる。即ち前者に於ては18時頃より翌日の2時頃までの間に最もよく發生し、特に20～21時頃には最も頻發し發生回数最大に達して居り、次いで8時より12時

(4) 別府の氣象；本誌第1卷，第2號，81頁。

別府温泉に及ぼす海セイシの影響並びに隣接温泉の相関

第3圖 時刻別セイシ発生頻度と時間別平均風速との関係



頃までの間に再び頻発する。後者に於ては6時より15時頃までの間に頻発し11時前後に最大に達してゐるのみである。之に對し風速の變化を見ると夏季は冬季に比し平均風速は稍小ではあるが、兩者とも大體に於て相似の變化をして居るにも拘らずセイシ発生頻度に差異を生じ、後者に於ては唯一つの確率曲線を現はしてゐるに對し前者に於ては2回の最大を生じ且つ發生頻度も大で後者の約1.5倍に達して居る。又前者に於ては最小風速より最大風速となる時刻即ち、海風が發達し始める9時前後と頻度曲線の第二の最大の山が一致し、18時以後の陸風が發達し始める21時前後と第一の最大の山の時刻とが良く一致して居る。後者に於ては風速最小より最大に變化する時刻10時前後と發生頻度最大となる時刻とは一致して居るが、18時以後の風速の小増加に對しては僅かにセイシの發生が窺はれるに過ぎない。之は要するに此の種のセイシの發生は風速、風向の變化と密接な關係を有する一證左であつて、前者の3月より8月に至る夏季は海陸風の特によく發達する季節であり、従つて海陸風の性質上風の消長は毎日略一定の時刻に起り風向の變化する際には必ず風速の變化に伴ひ風向も毎日一定して居る。且つ此の海陸風の風向が常に110~120分週期のセイシの振動方向と良く一致し、互に正反對の風向の風が交互に消長する、従つて海陸風の發生時刻とセイシの發現時刻とは良く一致し頻度に2回の最大を生ずるのである。是に反し後者の9月より2月に至る冬期は冬の季節風の發達する季節であり、従つて風速の

變化には必ずしも風向の變化は伴はず又方向も夏季の海陸風の如く毎日整然と逆變することは無い。然し季節風の風向は西乃至北西で一定して居り、その風向はセイシ振動方向と大體に於て一致して居る。従つて此の期間に於てはセイシは此の季節風によつて惹起される爲め、その發生回数は風速の最も増大する時刻を中心として一つの最大を生ずるのみである。即ち此の種セイシの發生には風速の變化のみならず是に伴ふ風向も亦重要な一因子となつて居ることを知ることが出来る。

以上の結果を更らに明に示す爲めに、特に顯著に發生したものに就き發生原因別に統計して見たのが第2表であつて、此の種のセイシが主として風速、風向の變化により發生することが一層明瞭となる。此の表は又氣壓の急變によつて、此の種のセイシが誘發されることの少いことを示して居る。氣壓の急變のみによつて誘發されたと思はれ

第 2 表

風速風向共に變化した場合	風速増大した場合	26%
	風速減少した場合	14%
風速のみ變化した場合	風速増大した場合	24%
	風速減少した場合	17%
風向のみ變化した場合		11%
風變化し氣壓の急變をも伴ふ場合		6%
氣壓のみ變化した場合		2%
氣壓の微變動による場合		0%

る例は、僅かに數例に過ぎず、之とても風に全く變化が無かつたのではなく、變化があつてもセイシの發生時と一致しなかつたか、變化が他の例に比して非常に少かつたかであつて、必ずしも氣壓の變化によつて誘發されたものと斷言出来ないかも知れない。唯別府に於ける當時の氣壓の急變が、他の原因に比して特に良くセイシ發生時と一致して居たので、氣壓のみ急變した場合の例として採用したに過ぎない。但し風速、風向の變化に氣壓の急變が伴ふ場合には、此の種のセイシも亦良く發達し得ることは第4圖に示した例によつても明である。氣壓の微變動が原因となつたと思はれるものは全く見出されなかつた。以上述べた事により既に明な如く、此の110~120分週期のセイシを誘發する主原因は風速、風向の變化であるが、是等の變化を生じた時何れの場合が最も多いかと云ふと、第2表に示す如く風速、風向共に變化した場合と風速のみ變化した場合とは略同數で最も多く、風向のみ變化した場合は至つて少い。又風速に變化を生じた場合に、風速の増大した場合と減少した場合は、前者の方が多いが後者の場合も必ずしも少くない。之は要するに此の種のセイシは必ずしも風速の増大する時にのみ發生するものでなく、風速の減少する場合に

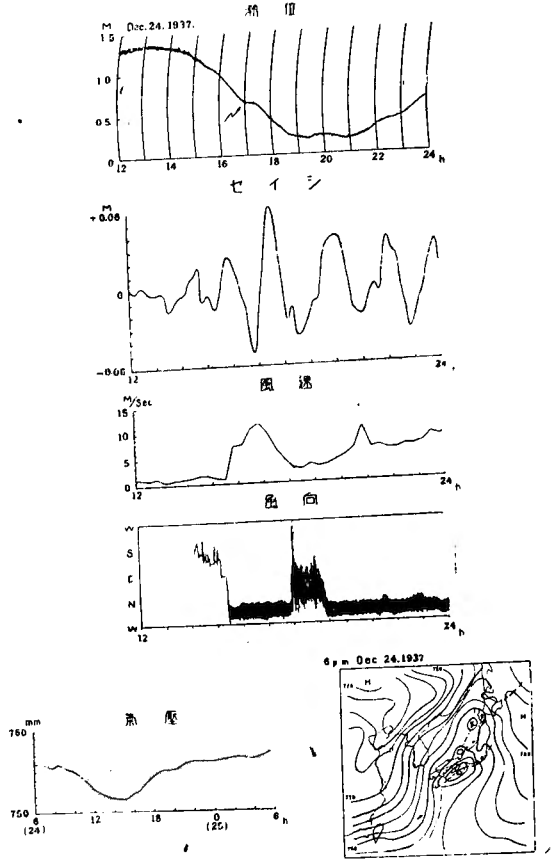
も亦誘發されるものであることを示して居る。

ここに注意すべきは颱風の如き低氣壓が附近を通過する特別な場合は別として、一般には強風以上の場合に此の様な長週期のセイシは却つて發生し難いことは、琵琶湖に於ける長週期のセイシにも視はれることである。(5) 今回の調査した期間中にも、風速 $10^m/sec.$ 内外を境としてそれ以上の風速の場合には却つて顯著に發生せず、皆同風速以下の時である。然し $10^m/sec.$ 前後の場合に顯著に發達した例もあることから見ると、此の程度の強さの風では稀に非常に良く發達し得る場合も有るが、同程度の風速が極限で是より強くなつた場合には却つて發達し難いようである。

以下數例は此の種のセイシが顯著に發生した場合に、其の原因と思はれる氣象要素と對比したものである。

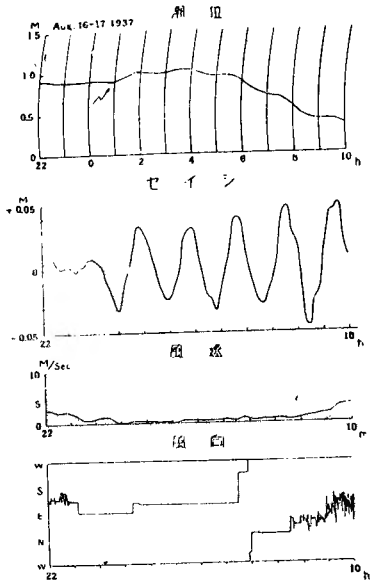
第4圖は1937年12月24日15時半頃寒冷前線通過により氣壓の急變動を伴ひ、 $1^m/sec.$ 内外の南東の風が北西に變り風速 $8^m/sec.$ となつて居るが、特に最大風速である $11.5^m/sec.$ に達した17時頃に別府に於てはセイシの谷、即ち灣奥の水位低下より始るセイシが顯著となつた。セイシの發達する數時間前に風向は變つて居たが、直接誘發した主原因は寧ろ風速の増大に因るものである。尙此の時の風速は今回調査したものの中で、セイシの顯著に發達した場合の最大風速であつて、 $10^m/sec.$ を越えた例は本例のみである。第5圖は1937年8月17日午前零時頃、今まで $2\sim 3^m/sec.$ の東風が吹いて居たのが止むと同時に、灣奥の水

第4圖 北西風の風速増大せる場合

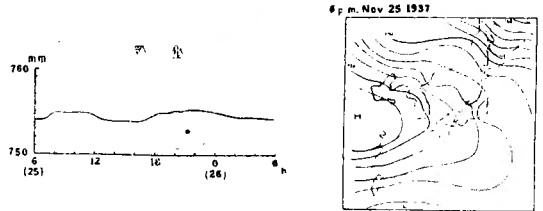
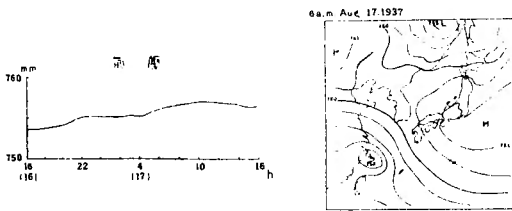
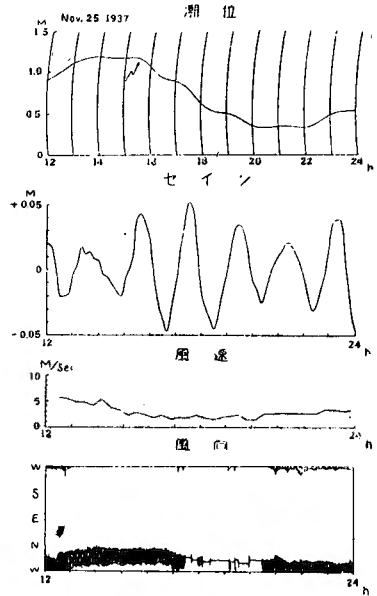


(5) 滑川忠夫：琵琶湖のセイシの研究，“海と空”第18巻，第11號。

第5圖 東風の風速減少せる場合



第6圖 北西風の風速減少せる場合



位低下より始まるセイシが顯著に發達した例で、風向に變化なく、唯風速のみが減少した爲にセイシが誘發された例である。第6圖は1937年11月25日15時頃に $5^m/sec.$ 内外の北西風が $2^m/sec.$ 内外に弱つた爲め、灣奥の水位上昇より始るセイシが發達した。第5圖の例と同様風向變らず唯風速のみ減少した場合の例であるが、前者の場合は東風が止み、丁度セイシの振動が灣奥に於て水位が低下する方向にあつた爲其の作用が助長されたものと考へられ、後者に於ては灣奥の水位が上昇しようとして居る時、西風が弱りセイシが誘發されたものと考へられる。第7圖は1937年8月30日7時頃迄約 $2^m/sec.$ の西風が吹いて居たのが、7時以後急に東風に變り風速も $1^m/sec.$ 以下に落ち、灣奥の水位上昇より始まるセイシが顯著になつて居る。海陸風によりセイシが誘發された適例で、此の場合風速は少し落ちて居るが、寧ろ風向の變化がセイシを誘發する作用をしたものと考へられる。

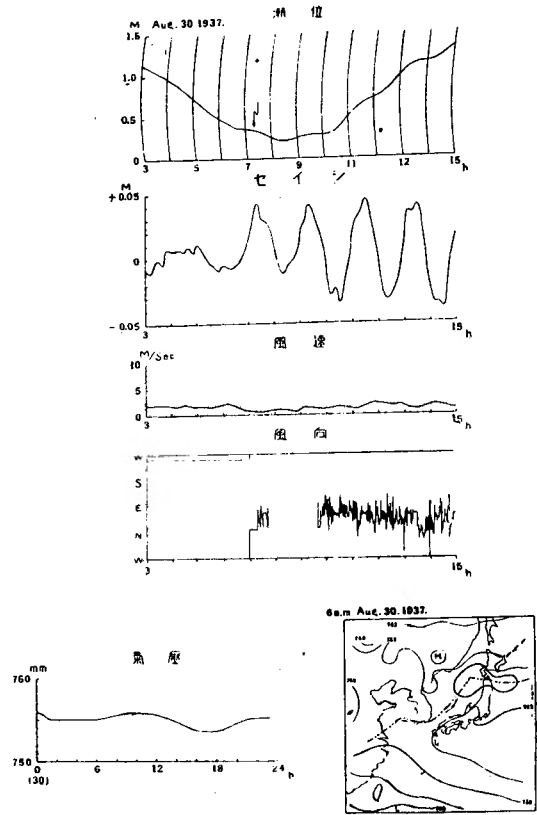
10~20分週期のセイシに就て：— 10~20分週期のセイシは別府灣に於ける横振動である

ことは、別府灣の中部以西の計算週期が18.2~17.5分となり、特に大分以西の最深部に於ては14.0~13.3分であることより推定される。此の種のセイシが第1圖のセイシ發生頻度圖に見られる如く、別府に比し大分に屢々且つ顯著に現れ、特に11~12分週期のもが大分に卓越することは、第2圖に示す如く大分以東に小規模ながら海棚が良く發達して居り、從來吾々の提唱して來た海棚の固有振動⁽⁶⁾が此の地方に發達する爲めである。試みに大分以東の海棚の固有振動を計算すれば10.4~15.1分となり、大分に特に顯著に頻發することが分る。此の種のセイシを誘發する原因に就ては、既に滑川博士⁽⁷⁾が氣壓の微變動がセイシ發生原因の一つであ

り、特に氣壓波の週期がセイシの週期に近い時には最も有力な原因になり得ることを詳細に述べて居られる。別府灣の場合に於ても亦氣壓の微變動が主原因であつて、特に氣壓波に10分内外の週期が顯著に現はれる時は、此の種のセイシは非常に良く發達する。第8圖は其の一例で寒冷前線通過による氣壓の微變動により誘發されたことを示し居る。この例に於ても別府に比し大分には非常に顯著に現はれて居る。尙此の種のセイシは颱風に伴ふウネリによつても屢々誘發される。

3~5分週期のセイシに就て：— 3~5分週期のセイシは現在使用して居る驗潮儀の記録か

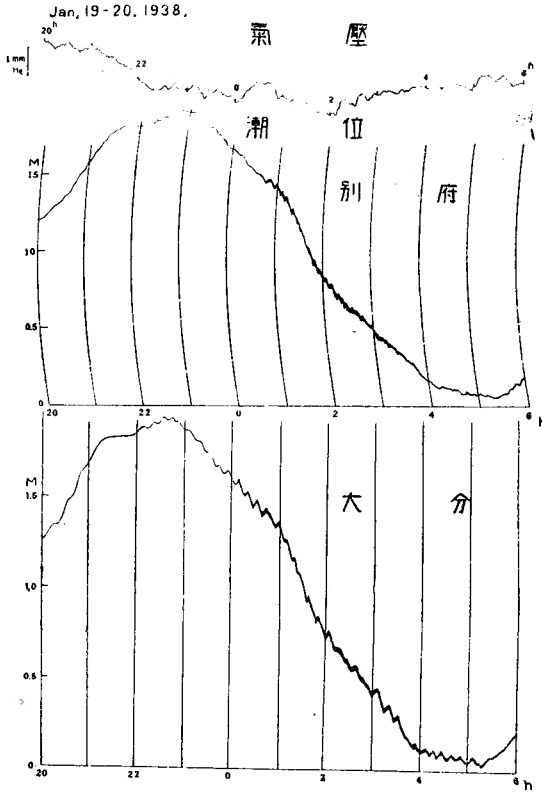
第7圖 西風より東風に風向變化せる場合



(6) T. Nomitsu and K. Habu: Proper Oscillations of the Sea of Continental Shelf. Mem. Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ., A, 18, 247 (1935).

(7) T. Namekawa: A Study of the Minor Fluctuation of Atmospheric Pressure. Mem. Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ., A, 18, 321 (1935).

第8圖 10~20分週期のセイシの例



ら見出し得るものの中で最も短週期のもので、此の地方固有の小規模の灣入によつて生ずるか或は柵振動であらう。此の様な短週期を有する振動區域は至る所に考へ得るもので、簡単に其の振動區域を決定することは甚だ困難である。此の種のセイシは強風の吹き募る時には例外なく發生し、特に微壓計に現はれる風の息の週期が、此の週期に近い時は第9圖に示す如く甚だ顯著になる。颱風が本邦に接近した場合に、各地の港灣に此の程度の短週期の振動が頻發することは既知の事實であるが、別府灣に於ても亦3~5分週期のセイシが發生する。之は別府の例を見ても明な如く、強風の場合に其の地に發

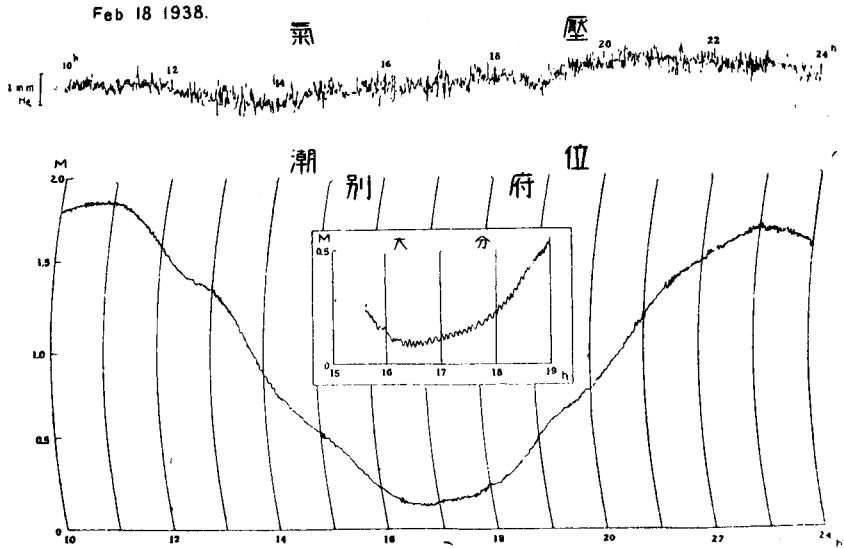
生ずるセイシと全く同様のセイシが、颱風域より傳播して來たウネリの刺戟によつて誘發されたもので、此の程度の小振動區域は水平垂直何れの方向の不連続にしろ至る所に存在し得る爲であらう。第9圖は冬季の季節風による強風によつて誘發された例を示したものである。即ち此の種のセイシは強風によつても、亦ウネリによつても誘發されるものである。

(8) T. Terada: Secondary Undulations of Tides caused by Cyclonic Storms. Proc. Tokyo. Math.-Phys. Soc. 2nd Ser. Vol. 6. 196 (1912).

Y. Toyohara: On the Tides and Seiches of Osaki-Bay. Mem. Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ., A, 15, 157 (1932).

中野猿人: 低氣壓に隨伴する潮汐副振動並びにウネリに就て, 氣象集誌, 第2輯, 第17卷, 第4號。

第9圖 3~5分週期のセイシの例

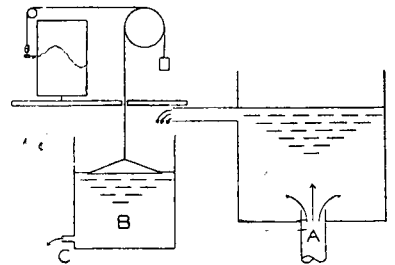


3. 温泉湧出量の測定

當研究所では開所以來十數年に亙り別府全市の多數の温泉に就て湧出量を測定し、又特定の温泉に對しては數十日にも亙つて綿密に觀測したのものもあるが、當地方の温泉の構造上、或は所有者の理解其の他の事情によつて、未だ湧出量を連續的に自記測定したものは無かつた。従つて湧出量の長期間に亙る變化及び大體の傾向に就ては、本誌上に於て充分に研究し盡されて居たが、短時間の微細變化を正確に論ずるまでに至らなかつた。海セイシの湧出量に及ぼす影響の様な、比較的短時間の小變化を的確に研究する爲めには、どうしても連續的に自記裝置によつて觀測する必要がある。

幸ひ適當な温泉を見出し得たので、此の點を留意し湧出量を簡単に自記させる一法として第10圖の様な裝置を用ひた。(A)は湧出口であつて、之より湧出する温泉水を一定の水位の下に流出させ水槽(B)に受けた。此の場合流出口を適當の大きさにすれば、湧出量變化があまり大で

第10圖 湧出量自記裝置



(9) 前出(1)。

ない時には殆んど一定の水位に保ち得る。勿論厳密に云へば湧出量の變化に従つて幾分元箱水位の變化することは免れ得ないが、今回測定中に於ては其の變化を數耗程度に止め得たから、一定水位と看做しても差支へないものと思ふ。水槽(B)の下部には小流出口(c)を開け、水槽量の變化即ち湧出量の變化によつて變化する水槽内の水位を、水位計で自記させることにした。従つて今湧出量を Q 、小流出口(C)の中心より水面の高さを h 、小流出口の斷面積を a 、重力による加速度を g 、流量係数を C とすれば小流出口よりの流出量は Torricelli の定理により

$$Q = C a \sqrt{2gh} = K' \sqrt{h}$$

となる。水槽内の水位變化は極めて徐々であるから、水槽への流入量と流出量とは常に平衡して居ると考へられ、上式は又水槽への流入量即ち温泉湧出量と水槽内の水位との關係を表はす式である。従つて本装置の常數 K' を決定して置けば、水位 h を測定することにより間接に湧出量を測定し得ることになる。

4. 海セイシの湧出量に及ぼす影響

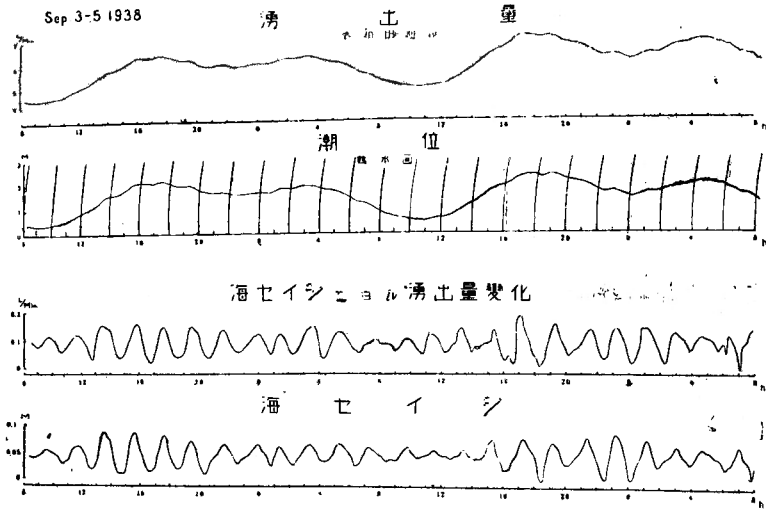
潮汐は別府温泉の湧出量に大なる影響を及ぼすものであるが、特に海岸附近にあつては影響著しく其の差の大なるものは 19.74 L/Min にも及び、甚だしいのになると平均湧出量の94%に達するものすらあることは既に本誌に於て述べられて居る。⁽¹⁰⁾ 斯くの如く感潮度の大きな温泉では、單に潮汐による海面の變化の如く徐々なる海水位の大變化(別府灣の大潮差は 1.8 m)が湧出量に影響を及ぼすばかりでなく、海セイシによる海水位の變化の如く水位變化小にして大なるもので 10 cm 内外に過ぎない比較的急激な海水位の小變化も、亦實に鋭敏に湧出量に影響を及ぼす事は想像以上である。

第11圖は大和田別荘(No. 434/7)に於て前述の方法によつて湧出量を測定した結果で、最上圖は水槽内の水位變化の記録であるが、縦軸の單位は水位を湧出量に換算し記入したものである。此の湧出量變化と別府に於ける驗潮記録とを比較する時は、細部に至るまで良く一致して居り海セイシの影響が湧出量に現はれて居ることは一見しても明であるが、更に海セイシの影響のみを明瞭に示すため、驗潮記録上に前後兩日の驗潮記録を參考として、潮汐のみの變化と思はれる平均曲線を畫き圖上で引き去り、此の推定潮位からの偏差

(10) 前出(1)。

別府温泉に及ぼす海セイシの影響並びに隣接温泉の相関

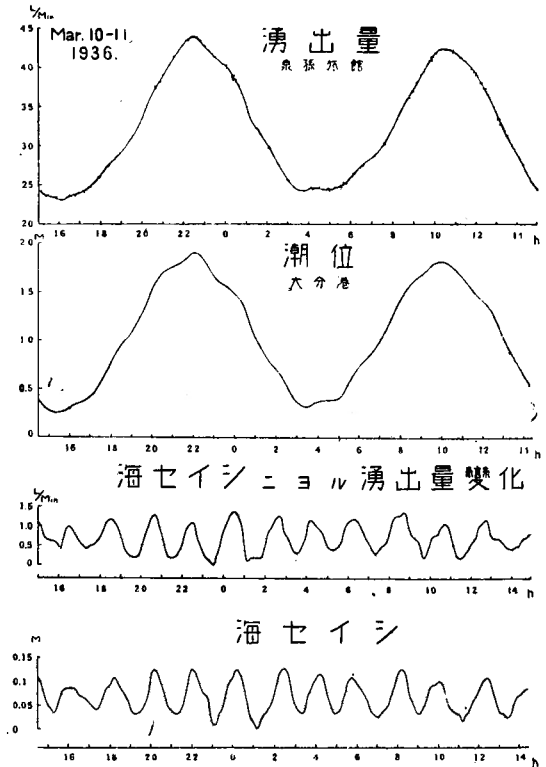
第11圖 自記装置による湧出量と海セイシとの相関



即ち海セイシによる水位變化を求めたのが最下圖で、其の上は同様の操作により湧出量曲線から求めた海セイシによる湧出量變化を示したものである。兩者の相関は尙一層明瞭に現はれて来る。又此の兩者の間の位相差は勿論、湧出量曲線との間にも位相差は全く認められなかつた。尙此の海セイシの分析法に就ては種々問題も有ることと思はれるが、此の程度の定性的研究に於ては之で充分であると信ずる。

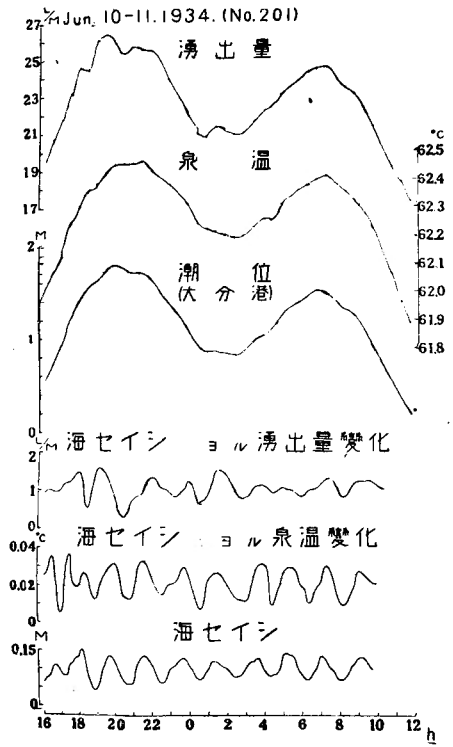
第12圖は泉孫旅館の温泉 (No. 12 54ノ1) に就て以前に湧出量を直接3分毎に測定した結果であつて、當時尙別府海岸に驗潮儀がなかつた爲め大分港の驗潮記録と對比したもので

第12圖 湧出量と海セイシとの相関

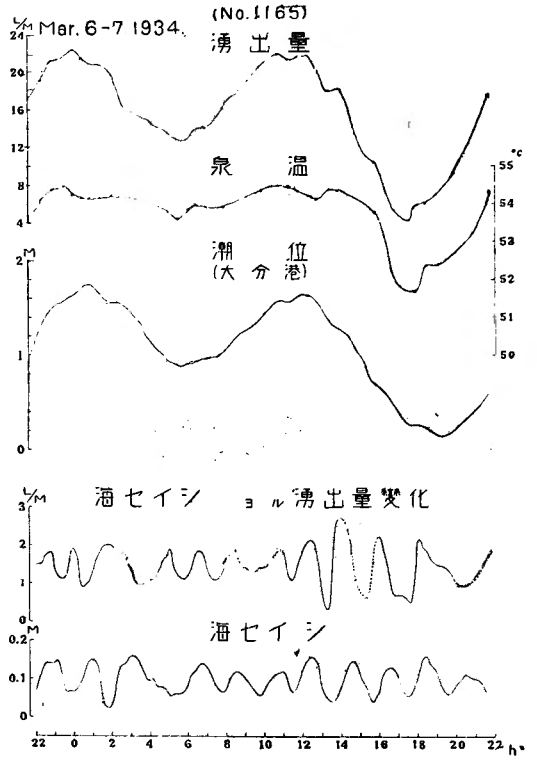


別府温泉に及ぼす海セイシの影響並びに隣接温泉の相關

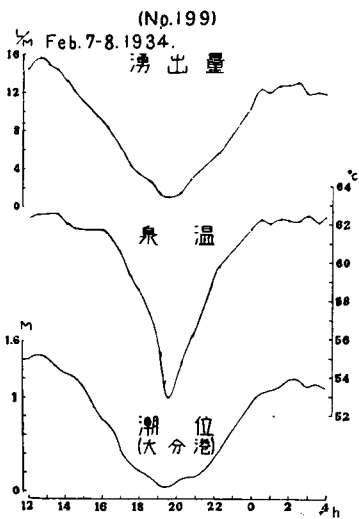
第13圖 湧出量及泉温と海セイシとの相關



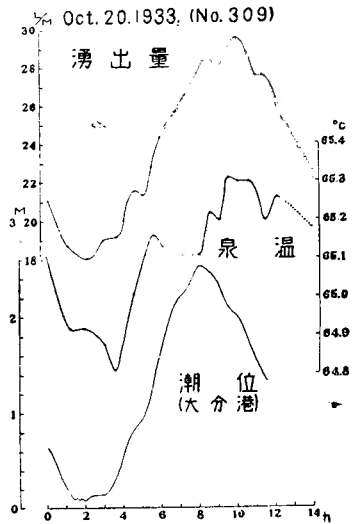
第14圖 湧出量及泉温と海セイシとの相關



第15圖 湧出量及泉温と海セイシとの相關



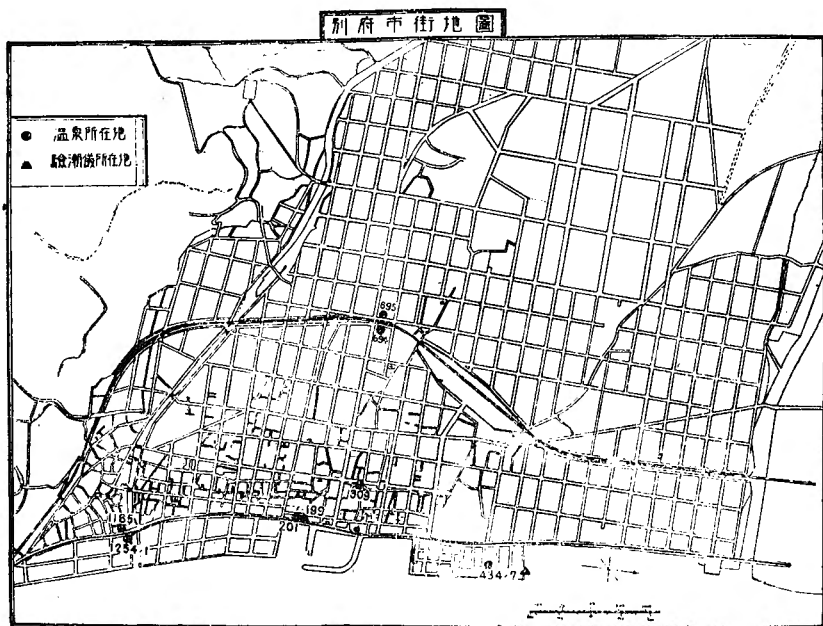
第16圖 湧出量及泉温と海セイシとの相關



別府温泉に及ぼす海セイシの影響並びに隣接温泉の相関

ある。ここに於ても判然と海セイシの湧出量に及ぼす影響が認められる。此の場合の位相差は湧出量曲線も、海セイシによる湧出量変化も共に潮汐及び海セイシの位相よりも30分程遅れて居る。別府温泉の湧出量変化と潮汐との間の位相差は、無い場合が多く時には相前後する場合もあることは既に本誌に於て述べられて居るが、海セイシによる湧出量変化と海セイシとの間の位相差は、潮汐とその影響による湧出量変化との位相差と一致し、是も亦種々の場合が生ずるようである。第13, 14, 15, 16圖には和田彦別荘(No. 201), 金新旅館(No. 1165), 住三旅館(No. 199), 永井旅館(No. 309)等の温泉を、一定時間毎に直接湧出量を測つたものである。是と對比したのは何れも皆大分港の記録であり、尙圖中點線で示してある所は観測間隔が比較的長時間隔つた爲、正確な事は分らぬが驗潮記録より推定して附加したものである。

第 17 圖



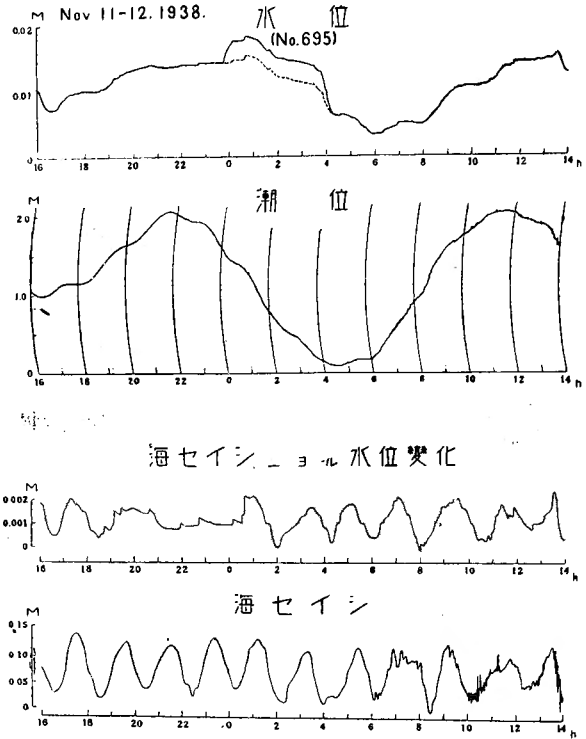
以上の例は大和田別荘及び泉孫旅館が海岸の埋立地である他は、何れも海岸附近の温泉であつて最も遠い所で180米程度であつたが、平山氏宅の温泉(No. 695)は海岸より約750米も離れた所に在るに拘らず、明に海セイシの影響が現はれて居る(第17圖参照)。此

(11) 前出(1)。

(12) 別府温泉の潮汐影響調査観測表；本誌第2巻，第1號，41頁。

の温泉の静止水頭が地表以下である爲め、湧出口上に溜つて居る温泉水位を水位計で自記測定した。第18圖は其の一例で、最上圖は湧出口上の静止水頭變化である。之と對比した潮候曲線は別府海岸で観測したものである。最下圖は前述の方法によつて出した海セイシのみの變化であり、其の上は海セイシによる水頭變化である。此の様に10裡内外の海セイシによる僅少な海水位變化が、單に海岸附近の温泉の湧出量に影響を及ぼすばかりでなく、海岸より遙かに隔つた温泉にさへも其の影響が現はれることは、如何に別府温泉の

第18圖 海岸より遠距離にある温泉水位と海セイシとの相關
(水位曲線中點線の部分は後述の隣接温泉の影響を除去した水位を示す)



温泉水脈が海底とよく連絡して居るかを示すものである。尙何れの場合の例に於ても、氣壓の急變が之に影響したと思はれる變化は全く認められなかつた。

第 13, 14, 15, 16 圖の中央に示した曲線は泉温の變化である。湧出量の變化程海セイシとの相關は明でないが、然し海セイシの影響は明に認められる。泉温の變化は湧出量の變化による二次的の影響であることは既に本誌に發表されて居る事であるが、海セイシによる湧出量の微小變化によつても泉温に變化を及ぼす事が分る。従つて其の他の二次的變化である電氣傳導度乃至クロール量の變化等も、亦或は變化するものと思はれるが今回は其の爲めに特別の測定を行はなかつたから判然と斷言する迄には至らなかつた。

5. 隣接温泉の相關

隣接して温泉を掘鑿する時は互に温泉湧出量に影響を及ぼすことは、温泉水の流出によ

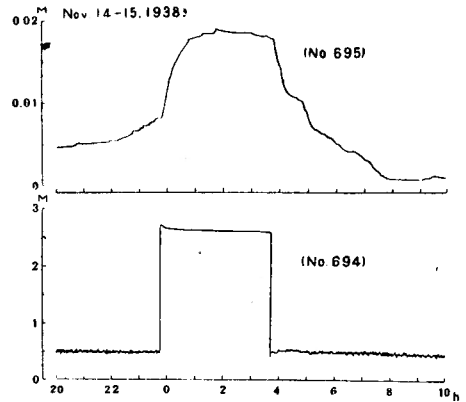
(13) 前出 (1)。

別府温泉に及ぼす海セイシの影響並びに隣接温泉の相關

る周囲の地下水頭變化より考へても明なことである。従つて新に温泉を掘鑿する場合には相互位置を充分考慮し近接し過ぎる事を避けねばならぬ。事實近接して新に温泉を掘鑿した爲、從來其の附近に在つた温泉の湧出量に變化を來した例は別府市に於ても亦屢々見受けられる。従つて隣接温泉の湧出量の相互關係を明にする事は、温泉法規上より見ても重要問題であり詳細に研究すべき問題であるが、其の後機會を得なかつた爲め今回は單に從來述べられて居た隣接温泉の影響の實例の一つを示すに止める。

上記温泉 No. 695 の温泉井戸水位自記記録を見ると毎日定期的に眞夜中より朝の4時頃にかけて水位の上昇が現はれて居る。第19圖上圖は其の一例で、14日23時50分頃より翌15日5時10分迄の間 0.76 cm 水位が上昇して居る。此の水位上昇の原因は同温泉より約36 m 隔てた温泉 No. 694 に於て、夜間同時刻中ポンプによる温泉水汲揚げを停止する爲めであつて、下圖の如く同温泉水頭が同時刻に

第19圖 湧出量に及ぼす隣接温泉の相關



218 cm 急昇して居る事より明である。即ち温泉 No. 694 に於て温泉使用中は約 $57^L/Min$ に及ぶ温泉水汲揚げを行ふ結果、水頭は約 2 m 低下し其の影響として前記温泉 No. 695 に於て約 1 cm の水頭降下を來したのである。従つて夜間ポンプによる汲揚げを停止した場合前記温泉に於て水頭の急昇を見るのである。

尙上記温泉 No. 695 の水位變化を見ると多數の階段的微小變動が現はれて居る。此の水位の急昇は 0.5 mm 内外で其の變化の大小により差はあるが、何れも急昇後 5~20分にして元の状態に復して居る。注意して此の變動を見る時は各變動は各々毎日一定時刻に現はれ、然も汽車の同所を通過する時に現はれる（同温泉の位置は鐵道線路より約 15 m 隔つて居る）。従つて此の水位の微小急昇は氣壓の變化、海セイシ或は隣接温泉等の影響でなく、汽車の同所を通過することに歸因することは明である。果して然らば汽車の振動であらうか。汽車の通過による地盤の振動でないことは、水位變化曲線の状態から見て明であり、又機械の摩擦による誤差が振動によつて現はれたのでもないことは、潮汐の影響の現はれて居る水位曲線に於て水位上昇時も下降時も何れも變動は同方向に向つて居る。即

常に水位の上昇を來して居る、若し機械の摩擦によるものならば水位上昇時と下降時で逆になるべきであることより判別される。従つて此の水位の微小急昇は汽車の通過による荷重の爲めに地盤の壓縮されることに歸因する。

今試みに此の水位上昇を單に汽車の荷重のため水柱と相對的に地盤が壓縮されたものと考へ、地盤の剛性率を計算して見ると傾斜計により同地附近で測定した結果に比しかなり小となる。従つて此の水位の上昇は單に地盤の壓縮のみならず、其の爲めに水壓が加り此の兩者が相重つて現はれたものであらう。斯くの如く温泉水頭に變化を生ずる以上湧出量にも當然變化を生ずべきであるが、斯かる微小變化は直接湧出量を普通の測定法にて測定しては到底認め得ないであらう。汽車の通過による被壓水頭の變化は Jacob 氏によつても報告されて居る。

6. 結 論

以上要約すれば

- 1) 別府灣に於ける海セイシの種類は110~120分、10~20分、3~5分週期の三種に分られる。
- 2) 是等海セイシの振動區域は、夫々110~120分のは別府灣全體の灣振動であり、10~20分のは別府灣の横振動であり、3~5分のは此の地方固有の小規模の振動である。特に大分に於ては10~20分週期の固有振動を有する海棚發達する爲め別府に比し同週期のものは顯著に且つ屢々現はれる。
- 3) 發生原因は110~120分のは風向、風速の變化に歸因するが強風以上の時は却つて發生を見ない。尙此の種のセイシは最も頻繁に現はれ殆んど常時發生して居る。10~20分のは氣壓の微變動及び颱風のウネリによつて誘發されるが、特に氣壓波に10分内外の週期が現はれる時は甚だ顯著に發達する。3~5分のは強風以上の時には例外なく發生し特に微壓計に同週期に等しい風の息が現はれる時は顯著となる。此のものも亦颱風のウネリによつても誘發される。
- 4) 別府温泉の湧出量に影響を及ぼす海セイシは上記三種の内110~120分のもので、潮

(14) 西村英一：地殻潮汐に就いて(其二)；本誌第5卷，第1號，33頁。

(15) C. E. Jacob: Fluctuations in Artesian Pressure produced by Passing Railroad-trains etc., Trans. Am. Geophys. Union (1939), 666.

別府温泉に及ぼす海セイシの影響並びに隣接温泉の相關

汐の影響と同じく別府全市の温泉に影響を及ぼして居り位相差も潮汐の夫れと一致する。
尚湧出量に伴ふ二次的影響である泉温にも明に影響を認められる。

- 5) 別府温泉に於ても亦隣接温泉の相關は顯著に認め得る。
- 6) 鐵道線路附近の温泉に於ては汽車の通過による荷重の爲め一時的に湧出の急激なる微小増加が現はれる。

終りに當り本研究に對し種々御懇切なる御指導御鞭撻を賜つた野滿博士、並びに種々御援助を賜つた瀬野博士に對し深甚なる謝意を表する次第である。