

地殻潮汐に就いて

其二 活斷層附近の土地の特異なる運動

理 學 士 西 村 英 一

1. 緒言 太陰、太陽の直接の作用に依る地殻潮汐と共に、海洋潮汐を通じての間接の作用の存在し、特に海岸地方に於ては後者の影響は前者を凌駕する事は既に前論説⁽¹⁾に於て述べた處であつて就中海水荷重による土地の撓曲は非常に著しいのである。一方地震學、地質學の教ふる處に依れば地表より下、數十呎に至る範圍は其構造複雑を極め、特に數軒の地皮のモザイク的な性狀に到つては吾人の目にも屢々觸るゝ處である。斯る構造を有する海岸地域に於ては、前論説⁽¹⁾に於て述べた如く近距離の海水による土地の撓曲に對しては地表面近くの弾性が主なる役割を演ずる事を考ふれば、其撓曲の狀態も常と異なるべきは豫想し得る處である。

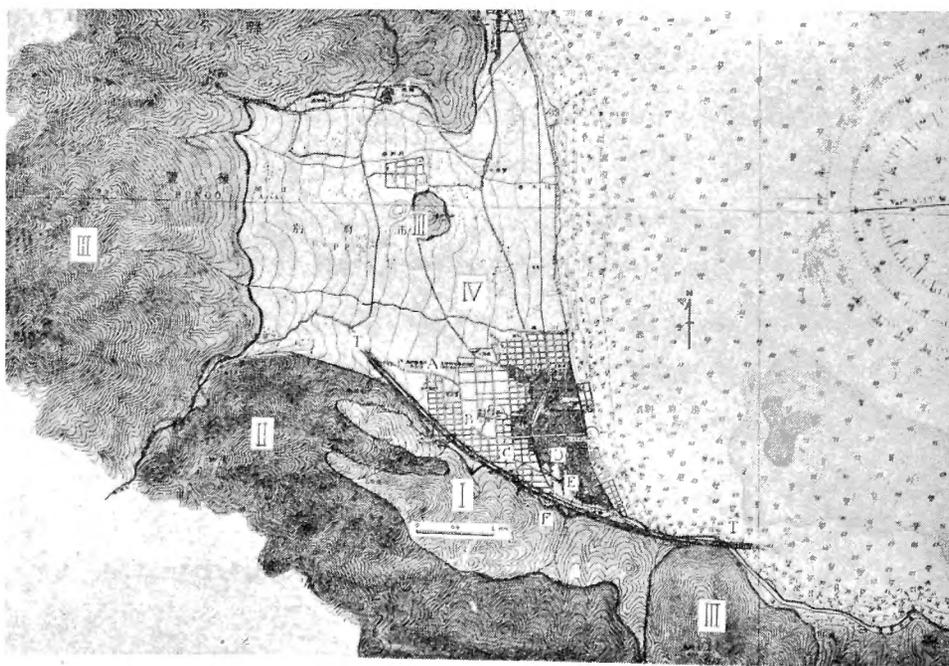
高橋博士は嘗て三浦半島油壺灣に面せる三崎の臨海實驗所構内の海岸より20米距りたる岩窟に於て石本式「シリカ」傾斜計に依る觀測⁽²⁾を行ひ、此處に於ては海水による地面の撓曲が主であつて、且器械より150米の距離以内の海水の作用のみ考ふれば充分である。即其以上の距離の海水の影響は事實上、無視し得るといふ結果を得た。斯る距離（此處にては150米）を有效距離と稱した。又博士は伊豆半島の東岸川奈に於て海岸より780米の距離の地點の傾斜觀測⁽³⁾よりして次の如き興味深き結果を發表してゐる。即川奈灣の満潮時には土地の傾斜は灣の方向に向はずに殆んど其正反對の向きに傾くといふ事實よりして、砂層上の荷重に依る砂粒の特別の運動との類似性を説明し、且此際に於ける有效距離として1呎なる値を得た。又博士は旅順に於ける海岸より1.2呎の地點の傾斜觀測⁽⁴⁾よりして有效距離50呎、有效剛性、 6.9×10^{10} c. g. s. なる値を得た事は既に前論説⁽¹⁾に於て述べた處である。斯の如く近接せる海水の荷重を利用して其距離と同程度の深さの地質構造の特性を研究し得るのであるが、此の際數多き傾斜計を海岸より種々の距離に於て又特別な構造線

本論文の要旨は昭和12年5月東京、14年4月京都、16年4月廣島に於ける數學物理學會年會に於て夫々發表せり。

に關して、種々の位置に設置し其等の同時觀測を行ひ其結果を比較するならば、更に精密に地下の特種構造の本性を明にし得、土地の微細構造の研究に大いに役立つものと考へられる。斯る見地よりして、大分縣別府市に於て同型の「シリカ」傾斜計數組に依る同時觀測を行つたのである。

2. 別府市は東經 $131^{\circ} 3' 0''$ 北緯 $33^{\circ} 16'$ 大分縣の東岸、別府灣に臨める溫泉地である。此附近の地質に就いては鈴木政達氏の研究によれば、緩傾斜の沖積平野の市街の南には古き火山の碎屑岩より成る基底地質の上を被ひて主として輝石安山岩より成る前期噴出岩が在し、その北側即別府平野と境する側は地勢急峻にして、南側には傾斜緩漫である。平野の西には鶴見、由布の兩火山北には御越、高平の兩火山何れも後期の火山にして角閃石安山岩より成る。其等の情況並構造線（斷層）更に傾斜計配置箇所等を次の第一圖に示す。

第一圖 別府附近地質圖並傾斜計配置圖



地質構造：I（基底火山碎屑岩）II（前期噴出岩）III（後期噴出岩）IV（沖積層）T（斷層）
觀測所：A（別府研究所）B（公園）C（高女跡）D（市役所）E（南小學校）F（寶滿寺）

上圖に於ても明かなる如く市の南を西北西に走れる構造線は地形的にも數十米の段落を示し顯著なる不連続性を表はして居るが、前述の鈴木氏の研究に本斷層の最初の生成は前期、後期の兩火山活動の中間即休止時に於て起れるものであつて更に注目すべきは最後の

噴出である鶴見嶽の生成後に於ても、その南方地塊の上昇、北方地帯の沈降の運動様式の更新ありと推考さるべき證據があり、斯る運動の大規模の様式が比較的近代に到るまで繼續されたるものと推斷せらるゝと述べられてある。斯る顯著なる斷層運動は地質學的年代に於てのみならず今より 345 年前慶長元年閏七月十二日に起りし別府灣内の瓜生島、翌二年七月二十九日の同灣内の久光島の陥没は共に、上記の別府灣南岸に沿ひて西北西より東南東に走れる顯著なる地質構造線に沿ひて起れる斷層運動の一例と推想せらるゝものである。又上圖に於て見る如く別府灣海低の地形は、以前に瓜生島の存在せし附近に於て其深度最大にして地溝狀をなし、其主軸は構造線たる南海岸線に平行し、此深所を境として南に急峻北には緩漫なる非對稱地形をなせるは皆此の斷層と關聯ある處である。以上は鈴木氏の研究に依つて明らかにされた所であるが最近の精密水準測量の結果よりも同様な事が實證されてゐる。即宮部博士の研究によれば⁽⁶⁾1892~1936の44年間に別府市が近接の土地に對しては15耗餘沈下した事が水準測量の再測に依り明らかにされた。

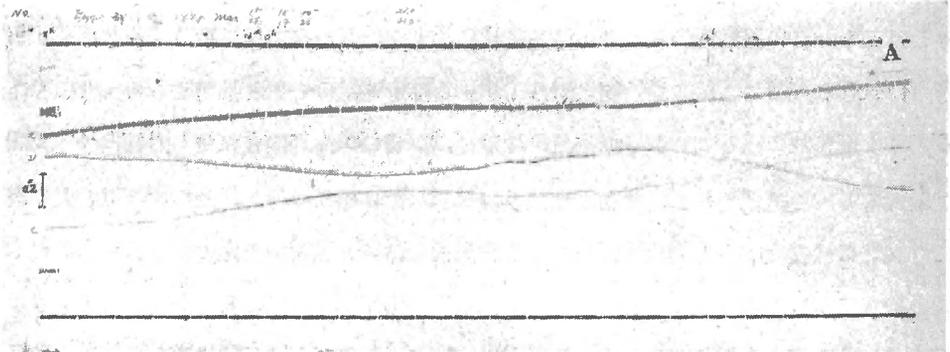
斯の如く此の斷層は現代に於ても尙北方地帯（別府市を含める）の沈降、南方地塊の上昇運動を持続せる顯著なる活斷層である事を知る。此斷層に關して、且又海岸よりの距離に關して適當なる6地點に於て「シリカ」傾斜計による觀測を行つたのであつて、その配置は第一圖に示す通りである。

3. 觀測所に就いては前論說⁽⁷⁾に於て述べた處であるが、今其等を略述すれば第一圖に於て見るが如く研究所構内、公園、高女、市役所、南小學校、寶滿寺を夫々 A, B, C, D, E, F. 一地點と略記すれば、それらは海岸より夫々1800米、1300米、900米、400米、400米、1000米の距離にあり、寶滿寺は斷層に關しては南小學校と對稱の位置にあり、高女跡は市役所と公園との中間位置にて、兩所の繋ぎの役目を果す。市役所と南小學校とは海岸よりの距離を等しくする事により、斷層よりの距離の影響を見出す事に役立ち、公園研究所構内は夫々の海岸よりの距離に關聯して、海水荷重の影響を詳しく調ぶる事が出来る。觀測室としては南小學校、市役所、高女跡は地表下2米のコンクリート丸型井戸、公園は地表下2米、2×2×2米のコンクリート地下室、研究所構内は地表下6米のL型坑、寶滿寺は地表下5米の横坑であつて、各所共水平又は垂直式の光學的寫眞記録法により一日或は一週間毎の記録紙取換を行つて居る。感度は南小學校、市役所、高女跡の三所は0.06~0.08秒/耗、公園研究所構内、寶滿寺は0.02~0.03秒/耗、の程度にて研究所、高女跡は半年間、他は一年

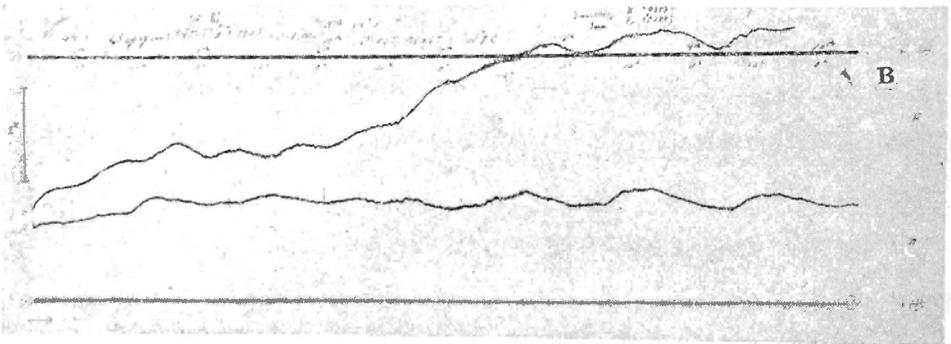
地殻潮汐に就いて

或は其以上の期間の観測材料より地殻潮汐を求めた。其等の記録の一例を次の第二圖に示す。

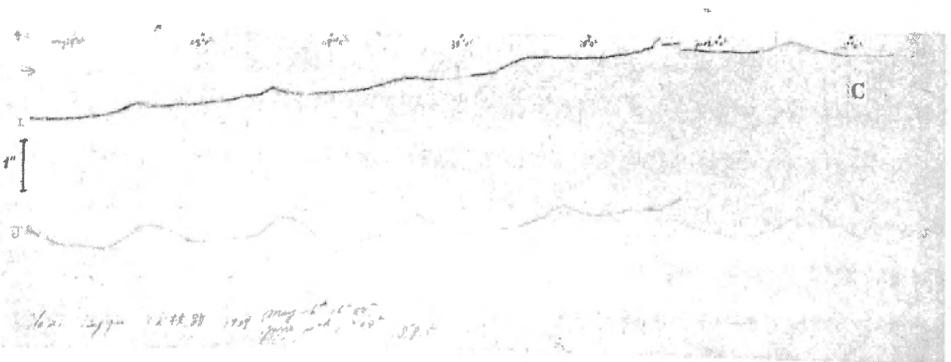
第二圖 傾斜變化観測記録諸例 別府



A. 別府研究所(昭和12年3月15日—16日)

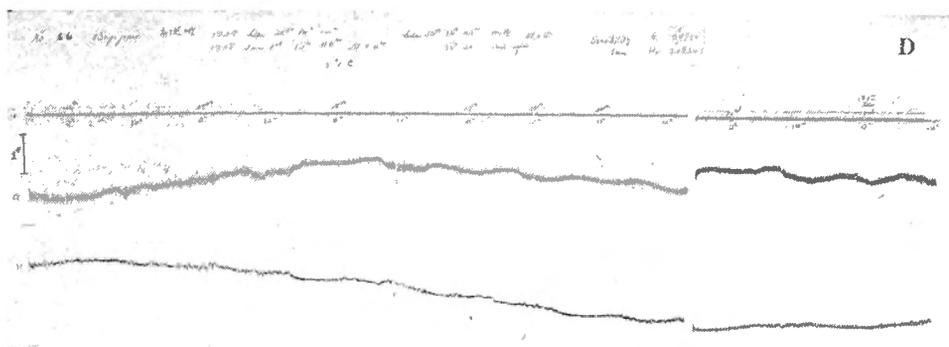


B. 公園(昭和14年3月3日—10日)

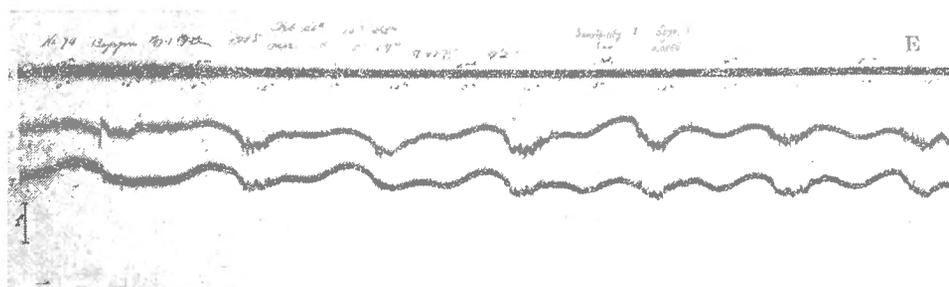


C. 高女跡(昭和14年5月26日—6月2日)

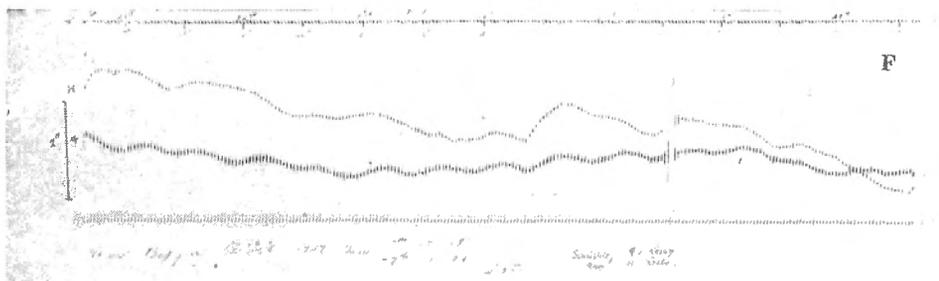
地殻潮汐に就いて



D. 市役所(昭和12年12月25日—13年1月1日)



E. 南小學校(昭和13年2月26日—3月5日)



F. 寶満寺(昭和14年1月20日—27日)

4. 調和解析に依り求めたる各分潮を太陰軌道面の赤道面に對する平均傾斜 (J_m) の時の値に直し, 且つ東經 $135^{\circ}00'$ の子午線に準據せるものは次の形となる。但各振子の正傾斜は次の如き方向を採る。

研 究 所	$\left\{ \begin{array}{l} C+ N 63^{\circ}W \\ D+ N 27^{\circ}E \end{array} \right.$	市 役 所	$\left\{ \begin{array}{l} G+ N 45^{\circ}W \\ H+ N 45^{\circ}E \end{array} \right.$

$$\begin{array}{cc} \text{高女跡} & \left\{ \begin{array}{l} \text{I} + \text{N } 52^{\circ} \text{W} \\ \text{J} + \text{N } 38^{\circ} \text{E} \end{array} \right. & \text{寶満寺} & \left\{ \begin{array}{l} \text{G} + \text{S } 15^{\circ} \text{W} \\ \text{H} + \text{N } 75^{\circ} \text{W} \end{array} \right. \end{array}$$

M_2

$$\text{研究所} \left\{ \begin{array}{l} \text{C} = 0.''0134 \cos(2t - 9^{\circ}) \pm 0.''0012 \\ \text{D} = 0.''0126 \cos(2t - 261^{\circ}) \pm 0.''0015 \end{array} \right.$$

$$\text{公園} \left\{ \begin{array}{l} \text{E} = 0.''0157 \cos(2t - 249^{\circ}) \pm 0.''0011 \\ \text{F} = 0.''0081 \cos(2t - 192^{\circ}) \pm 0.''0003 \end{array} \right.$$

$$\text{高女跡} \left\{ \begin{array}{l} \text{I} = 0.''0099 \cos(2t - 39^{\circ}) \pm 0.''0005 \\ \text{J} = 0.''0288 \cos(2t - 264^{\circ}) \pm 0.''0011 \end{array} \right.$$

$$\text{市役所} \left\{ \begin{array}{l} \text{G} = 0.''0438 \cos(2t - 291^{\circ}) \pm 0.''0005 \\ \text{H} = 0.''0198 \cos(2t - 153^{\circ}) \pm 0.''0006 \end{array} \right.$$

$$\text{南小學校} \left\{ \begin{array}{l} \text{I} = 0.''0836 \cos(2t - 120^{\circ}) \pm 0.''0007 \\ \text{J} = 0.''1150 \cos(2t - 114^{\circ}) \pm 0.''0011 \end{array} \right.$$

$$\text{寶満寺} \left\{ \begin{array}{l} \text{G} = 0.''0208 \cos(2t - 75^{\circ}) \pm 0.''0002 \\ \text{H} = 0.''0106 \cos(2t - 39^{\circ}) \pm 0.''0001 \end{array} \right.$$

S_2

$$\text{寶満寺} \left\{ \begin{array}{l} \text{G} = 0.''0112 \cos(2t - 81^{\circ}) \pm 0.''0002 \\ \text{H} = 0.''0035 \cos 2t \pm 0.''0001 \end{array} \right.$$

O_1

$$\text{南小學校} \left\{ \begin{array}{l} \text{I} = 0.''0314 \cos(t - 35^{\circ}) \pm 0.''0003 \\ \text{J} = 0.''0422 \cos(t - 3^{\circ}) \pm 0.''0007 \end{array} \right.$$

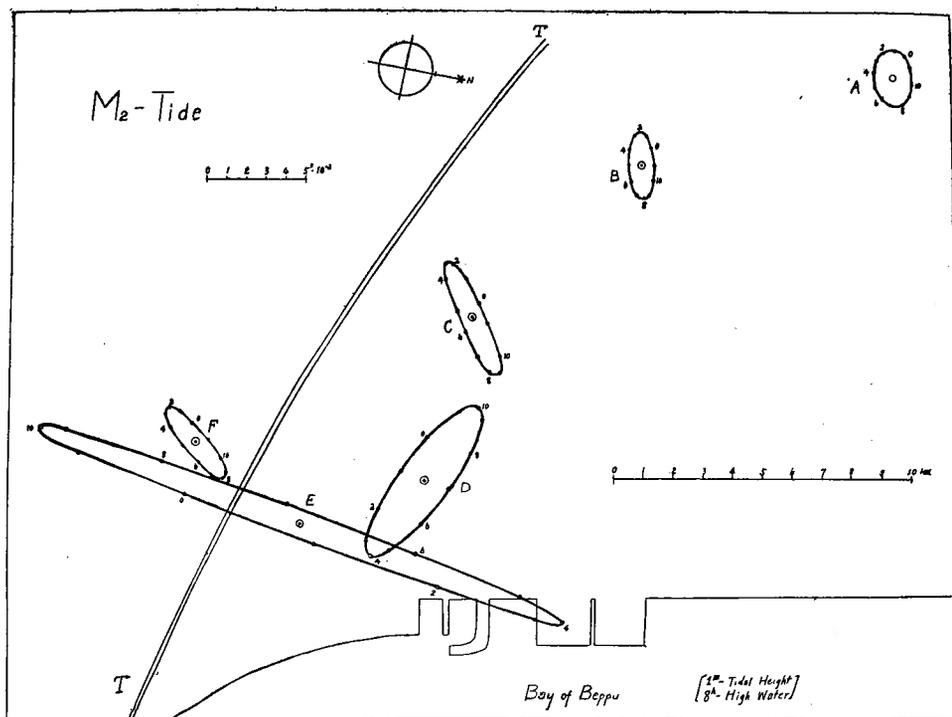
$$\text{寶満寺} \left\{ \begin{array}{l} \text{G} = 0.''0093 \cos(t - 193^{\circ}) \pm 0.''0010 \\ \text{H} = 0.''0101 \cos(t - 62^{\circ}) \pm 0.''0004 \end{array} \right.$$

此を M_2 に就き圖示すれば次の第三圖の如き形勢を示す。

圖に見る如く、A. B. は稍似たる形を示すが、D, E は異常なる運動を示し即別府灣の満潮時は 8.0^h (太陰時) であるがその時に E に於ては正反對の方向に傾斜する事になる。又 E の對稱點 F は古き地層の上であり、振幅軌跡共に E に比し非常に違つた形勢を示し、寧ろ A, B に類似せる事が看取される。尙一言すべきは前述の斷層に沿ひ北側に朝見川なる河川が存在するが、此の川に對する別府灣の海洋潮汐の影響は河口より 200 米迄に止り其以上は全然潮汐變化を認めず、されば此れの南小學校其他に對する作用は今の場合考ふる必要がない。斯る異狀性が實際の地面の傾斜にあるのか、或は又何か器械に依る

第三圖 別府に於ける地殻潮汐観測値

M₂

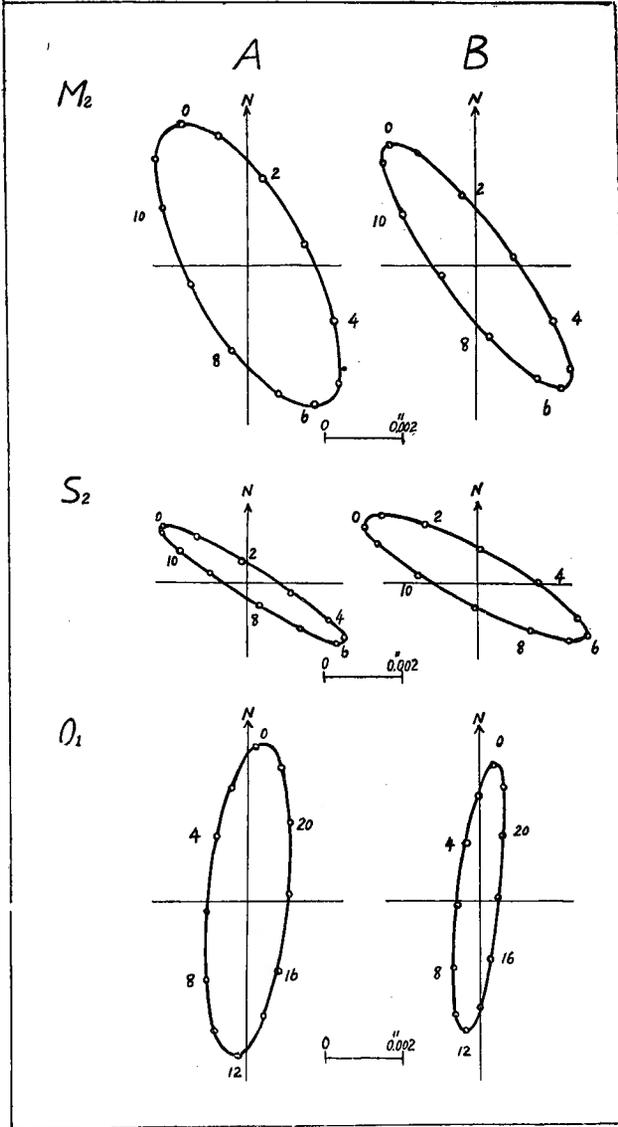


誤差より生ずる差違では無いかとは一應疑ふ必要があるが、其等が器械的誤差でなく、實際地皮の構造に係るものである事は前に述べたる「シリカ」傾斜計性能比較試験⁽⁷⁾の結果よりしても又、次の實例によりても證明される。即前論説⁽⁷⁾に於ても述べた如く、阿蘇地方に於て互に數軒離れ且、夫々噴火口を圍める四地點に於て同型の「シリカ」傾斜計により觀測を行ひ、火山活動の消長を研究中であるが、此の四地點の内、研究所構内、千里ヶ濱の二點は夫々地表下22米、10米の深所に於て火山岩床中に穿入せる觀測室を有し器械感度も夫々0.004秒/耗、0.007秒/耗、程度の高率により、共に地殻潮汐の觀測に役立つて居る事は既に述べた處である。尙他の二地點、宮地並本堂は地表面近くの觀測であつて感度も低く、地殻潮汐の觀測には適せず、専ら、火山傾動並氣象影響の研究に適して居るのである。扱此の研究所構内、千里ヶ濱の二點に對する海水荷重の影響は最近距離にて50杆主として100杆以上の距離にある海水が利いて來る事は前述の如くであるが、此等の作用を伴ふ地殻潮汐は夫々次の如き値に示し、其等を圖示すれば第四圖となる。但し兩地點の傾斜計振子の正傾斜は次の方向を探る。

地殻潮汐に就いて

$$\text{研究所構内} \begin{cases} A+N 45^\circ E \\ B+S 45^\circ E \end{cases} \quad \text{千里ヶ濱} \begin{cases} I+N 40^\circ E \\ J+S 50^\circ E \end{cases}$$

第四圖 阿蘇に於ける地殻潮汐，研究所(A)並千里ヶ濱(B) M_2, S_2, O_1



研究所構内

千里ヶ濱

$$M_2 \begin{cases} A = 0.00213 \cos(2t - 47.4) \pm 0.00002 \\ B = 0.00383 \cos(2t - 168.1) \pm 0.00005 \end{cases} \quad \begin{cases} I = 0.00104 \cos(2t - 34.6) \pm 0.00002 \\ J = 0.00372 \cos(2t - 175.6) \pm 0.00006 \end{cases}$$

地殻潮汐に就いて

$$\begin{aligned}
 S_2 \quad & \left\{ \begin{array}{l} \Lambda = 0.''00082 \cos(2t - 135.^\circ 5) \pm 0.''00004 \\ B = 0.''00275 \cos(2t - 159.^\circ 7) \pm 0.''00006 \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} I = 0.''00101 \cos(2t - 164.^\circ 9) \pm 0.''00004 \\ J = 0.''00307 \cos(2t - 216.^\circ 1) \pm 0.''00010 \end{array} \right. \\
 O_2 \quad & \left\{ \begin{array}{l} \Lambda = 0.''00307 \cos(t - 350.^\circ 0) \pm 0.''00003 \\ B = 0.''00300 \cos(t - 193.^\circ 3) \pm 0.''00003 \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} I = 0.''00306 \cos(t - 349.^\circ 5) \pm 0.''00003 \\ J = 0.''00208 \cos(t - 185.^\circ 5) \pm 0.''00003 \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

斯く四籽離れたる兩所に於ても其地殻潮汐は上圖に見るが如く良く一致し僅か乍らの
 差違までも近海の潮汐影響の兩所に對する差違に依つて完全に説明されるものであつて即
 當然の事乍ら全然同一の値を採る事斯の如きである。即別府に比し、距離に於て一桁上
 にて、變化に於て一桁下の阿蘇の兩所の相似性の實例を見るならば、別府に於ける各所の差
 違は器械的誤差で無い事は確かな事であつ此等の異常性はすべて近接せる海水の荷重によ
 つて顯はされたる地皮構造の複雑性を意味するものなる事を知る。尙一言すべきは上の阿
 蘇に於ける兩所の地殻潮汐値の均等性並前論説⁽¹⁾に於て導いたる阿蘇、上賀茂兩所の地殻潮
 汐の比較の過程に於ても明らかなる如く、阿蘇地方に於て少くとも地下100籽より以上の
 深處に於ては著しい局部的なる異常性を認め得ないといふ結論を導き得るのである。

5. 上述の如く考へ來ると、別府に於ける地殻潮汐には、太陰、太陽に依る直接の作用
 によるもの(第一次項)と海洋潮汐を通じての間接の作用(第二次項)との外に、別府附近の
 地皮構造の複雑性に依る局部異常(L-項と記號す)が加はつて居る事を知る。扱現在問題
 とすべきは最後の L-項であつて、其爲に各所の觀測結果より第一次項、第二次項を適當に
 除去し、L-項のみに就きその分布状態を知るを要するのである。其爲めに次の如き手続き
 を施すのである。今第三圖を見れば A, B は共に相似た形を示し且異常性も極めて小なる
 事が看取されるから先づ此の A, B の内、B は昭和12年以來現在まで觀測を續行し常に各所
 の準據點として最も信用さるべき材料を提供せるものであるから此の B に就いて稍詳しく
 調べて見る。扱前論説⁽¹⁾に於ても詳しく述べた如く第一次項の値を用ふる事なく、且又海洋
 潮汐影響の議論を觀測點に極めて近接せる海水の影響のみに局限したき場合には二地點の
 觀測値の差を取れば其目的が達せらるゝのである。今回も斯る見地より、先づ別府公園の
 B なる地點と其れより角距離 0.6 距りたる前述の阿蘇研究所構内との差に就いて議論を進
 める。尙以後の議論はすべて太陰半日項(M₂項)に就いてのものとする。此二點の觀測値を
 再記すれば次の如し。但し兩所の傾斜計振子の正傾斜は次の方向とする。

$$\begin{array}{l}
 \text{別府公園(B-點)} \left\{ \begin{array}{l} E_+ \text{ N } 55^\circ \text{ E} \\ F_+ \text{ S } 35^\circ \text{ E} \end{array} \right. \quad \text{阿蘇研究所構内} \left\{ \begin{array}{l} A_+ \text{ N } 45^\circ \text{ E} \\ B_+ \text{ S } 45^\circ \text{ E} \end{array} \right.
 \end{array}$$

地殻潮汐に就いて

M_2

$$\text{公園} \begin{cases} E=0.''0157 \cos(2t-249^\circ) \\ F=0.''0081 \cos(2t-192^\circ) \end{cases} \quad \text{阿蘇研究所} \begin{cases} A=0.''00213 \cos(2t-47.4^\circ) \\ B=0.''00383 \cos(2t-168.1^\circ) \end{cases}$$

両者のベクトル差を $\Delta_{\text{別-阿}}$ 、南方向を S、西方向を W と記號すれば

$\Delta_{\text{別-阿}}$

$$\begin{cases} S. 0.''00734 \cos(2t-88.0^\circ) \\ W. 0.01653 \cos(2t-63.2^\circ) \end{cases}$$

此を圖示すれば後の第五圖となる。

一方海水の引力項に就いて兩所の値を各々角距離にして 8.8° まで求め夫々の差 (Δ_A) を取入れば次の第一表となる。

表中 Z は細分せる海帶である。(前論說参照)

第一表 海洋潮汐に依る引力項 別府公園並阿蘇研究所 M_2

Z	cos2t S			sin2t			cos2t W			sin2t		
	別	阿	Δ_A	別	阿	Δ_A	別	阿	Δ_A	別	阿	Δ_A
0.°014—0.°03	+0.''000087	+ 87		+215	+ 215		+300	+ 300		+740	+ 740	
0.03—0.06	+ 156	+ 156		+385	+ 385		+313	+ 313		+772	+ 772	
0.06—0.10	+ 116	+ 116		+285	+ 285		+200	+ 200		+492	+ 492	
0.1 —0.2	+ 35	+ 35		+ 60	+ 60		+225	+ 225		+382	+ 382	
0.2 —0.3	+ 32	+ 32		+ 56	+ 56		+136	+ 136		+235	+ 235	
0.3 —0.5	+ 164	— 9+173		+722	—105 +827		+342	— 25 +367		+475	— 394+869	
0.5 —1.0	— 213	— 92—121		+820	+118 +702		+533	+283 +250		+368	— 545+913	
1.0 —2.4	—1074	—1025— 49		+ 65	+276 —211		+298	+308 — 10		—992	—1133+141	
2.4 —4.4	— 731	— 679— 52		—412	—319 — 93		+282	+368 — 86		—902	— 825— 77	
4.4 —8.8	— 595	— 572— 23		—659	—660 + 1		+425	+452 — 27		—245	— 263+ 18	
Σ	—2023	—2377+354		+1537	—690 +2227		+3054	+1386+1668		+1325	—3160+4485	

Δ_A を cos-函數にて示せば次の値となり、その形は第五圖に掲ぐ。比較の爲め $\Delta_{\text{別-阿}}$ を再記すれば、

Δ_A

$$\begin{cases} S. 0.''00225 \cos(2t-80.9^\circ) \\ W. 0.''00479 \cos(2t-69.7^\circ) \end{cases}$$

$$\Delta_{別-阿} \begin{cases} S. 0.''00734 \cos(2t-88.^{\circ}0) \\ W. 0.''01653 \cos(2t-63.^{\circ}2) \end{cases}$$

扱上の $\Delta_{別-阿}$ は兩所の經緯度の差は僅少であるから、第一次項は完全に消去され、海洋潮汐の影響も Δ_A に於て見る如く、角距離 1° 即兩所より各々 100 軒餘の範圍の海水に就いて議論をすれば充分である事が判る。しかも阿蘇の方は 100 軒以内の海水の影響は僅少であるから結局は別府を中心として 100 軒以内の海水の影響のみに局限して議論を進めれば良い事となる。今 $\Delta_{別-阿}$ と Δ_A とを比較するに、上の \cos - 函數より、又第五圖よりも明らかなる如く位相は良く一致し、振幅比にも或る簡單なる關係の存在する事が直ちに頷けるのである。今前論説⁽¹⁾の考へ方より、

$$\begin{aligned} \Delta_{別-阿} &= \Delta_A + \Delta_B + \Delta_C \\ &= (m+0.5)\Delta_A \end{aligned}$$

なる關係式より有效の m を求むれば S: 2.76, W: 2.95 即平均 $m_0=2.86$ 即有效剛性率として 5.87×10^{11} c. g. s. 然るに前論説⁽¹⁾の結果より見るも地下の或る範圍の有效剛性率は其の範圍の内、ずつと淺所 (1/5~1/3) の剛性率にて代表さるゝ事實よりして現在の場合、地下 1~100 軒の範圍に於て 20~30 軒の剛性が約 6×10^{11} c. g. s. となる事は地震波の研究方面より考へても、首肯出来ぬ事であり、しかも前述の 80~1200 軒間の平均剛性率 6.17×10^{11} c. g. s. に對して現在の 1~100 軒の平均剛性率 5.9×10^{11} c. g. s. は其儘では受取れぬ値なる事が判る。即之の原因は他に比して僅ではあるが矢張り、其點に局部異常の殘存せるに基くものであつて此を決める事に依り初めて眞の剛性率を議論し得るのである。然るに別府の場合には、此の局部異常(L-項)が未知であるから反對に地表の剛性率を適當に定める事に依つて各所の(L-項)を求め、其等を議論すべき立場にある。そこで現在の地震波の解析研究に依れば地表より約 1 軒邊までは極めて局所的なる地質構造を示し、更にそれ以下 15 軒邊、45 軒邊に二つの不連続境界面を見出し更に深所に於ては、順次地震波速度の連続的增加を示す事が確認されて居る。而して 1~15 軒、15~45 軒の二層の P-波の速度は夫々 $5.0^{軒/秒}$ 、 $6.5^{軒/秒}$ 見當とされそれ以下は 7 軒以上と考へられて居る。上の數的關係を考慮に入れて剛性率従つて $m(r)$ の値を次の如く假定した。即

	$< 0.^{\circ}014$	$0.^{\circ}014 \sim 0.2$	$0.^{\circ}2 \sim 0.5$	$0.5^{\circ} \sim 1.^{\circ}0$	$1.^{\circ}0 \sim 2.^{\circ}4$	$2.^{\circ}4 \sim 4.^{\circ}4$	$4.^{\circ}4 \sim 8.^{\circ}8$
$m(r)$	25.0	4.60	3.50	3.36	2.68	1.97	1.31

地殻潮汐に就いて

$\mu(10^{11} \text{ c. g. s.})$ 0.67 3.65 4.79 | 5.00 6.25 8.51 12.81

即 1 杆以内には別府沖積砂層を考へ次には15杆邊まで、45杆邊までは各々に一定の剛性率を與へ m の値として夫々4.60,3.50を採用し以下の深さに對しては前論説⁽¹⁾に於て求めたる

$$m(r) = \frac{12.6}{r+3.0}$$

なる關係式を適用する事とする。斯る $m(r)$ の値を用ひて撓曲項 Δ_R を求むれば次の第二表の如くなる。

第二表 海洋潮汐に依る撓曲項 (Δ_B) 別府—阿蘇 M_2

Z	$m(r)$	S				W			
		$\cos 2t$		$\sin 2t$		$\cos 2t$		$\sin 2t$	
		Δ_A	Δ_B	Δ_A	Δ_B	Δ_A	Δ_B	Δ_A	Δ_B
0.°014—0.°03	4.60	+0.°000087		+215	+4347	+300		+740	
0.03—0.06		+156		+385		+313		+772	
0.06—0.10		+116		+285		+200		+492	
0.1—0.2		+35		+60		+225		+382	
		+1812				+4775		+10976	
0.2—0.3	3.50	+32		+56	+3090	+136		+235	
0.3—0.5		+173		+827		+367		+869	
		+718				+1260		+3864	
0.5—1.0	3.36	-121	-406	+702	+2355	+250	+840	+913	+3060
1.0—2.4	2.68	-49	-131	-211	-567	-10	-27	+141	+378
2.4—4.4	1.97	-52	-102	-93	-184	-86	-169	-77	-152
4.4—8.8	1.31	-23	-30	+1	+1	-27	-35	+18	+24
Σ		+354	+1861	+2227	+9042	+1668	+6644	+4485	+18150

上の Δ_B, Δ_A より Δ_S を求むれば

$$\begin{aligned} \Delta_S &= \Delta_A + \Delta_B + \Delta_C \\ &= \Delta_B + 0.5\Delta_A \end{aligned}$$

なる關係式よりして Δ_S は次の \cos -函數となり其形は第五圖に掲ぐ。尙比較の爲め $\Delta_{別-阿}$ を再記すれば

$$\Delta_S \begin{cases} \text{S. } 0.°01036 \cos(2t - 78.°7) \\ \text{W. } 0.°02172 \cos(2t - 69.°9) \end{cases}$$

地殻潮汐に就いて

$\Delta_{\text{別-阿}}$

$$\begin{cases} \text{S. } 0.''00734 \cos(2t - 88.^{\circ}0) \\ \text{W. } 0.''01653 \cos(2t - 63.^{\circ}2) \end{cases}$$

此の兩者のベクトル差が公園に於ける局部異常(L_B -項)に外ならぬのである。

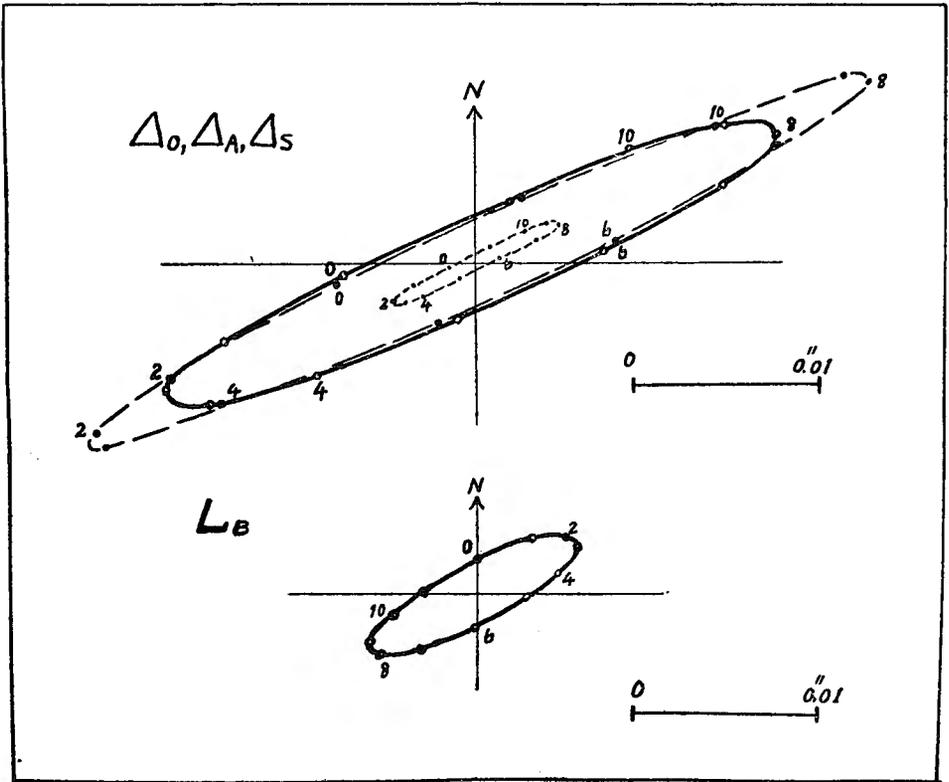
即, $L_B = \Delta_{\text{別-阿}} - \Delta_S$

L_B -項の \cos -函數は次の如くなり, その形を次の第五圖に掲ぐ。

L_B

$$\begin{cases} \text{S. } 0.''00318 \cos(2t - 237.^{\circ}7) \\ \text{W. } 0.''00564 \cos(2t - 269.^{\circ}7) \end{cases}$$

第五圖 (別府-阿蘇)潮汐圖 ($\Delta_A, \Delta_S, \Delta_{\text{別-阿}}, L_B$)



上圖, 實線 ($\Delta_{\text{別-阿}}$), 點線 (Δ_A), 破線 (Δ_S),

上の如く公園(B)に對する Δ_A, Δ_B, L が決定されたから他の箇所の L は簡単に求められる。即今N點の觀測値を V_N 第一次項を P_N , 第二次項を S_N , 局部異常を L_N とせば

$$V_N = P_N + S_N + L_N$$

地殻潮汐に就いて

公園の其等を V_B, P_B, S_B, L_B とせば N 點と B 點とのベクトル差を取れば

$$V_N - V_B = (P_N - P_B) + (S_N - S_B) + (L_N - L_B)$$

然るに A_N, A_B を夫々 N 點, B 點に對する海水の引力項とすれば

$$S_N = (m(r) + 0.5)A_N, S_B = (m(r) + 0.5)A_B$$

故に上の A_N, A_B を實際の海洋潮汐圖より求め、そのベクトル差を取り、それに $m(r)$ を乗じて撓曲項の差を求め其等より結局

$$S_N - S_B = \Delta S_{N-B} = (m(r) + 0.5)\Delta A_{(N-B)}$$

なる海洋潮汐項(第二次項)の差を求め得、しかも $P_N = P_B$ 、又一方 L_B は既知であるから $V_N - V_B = \Delta_{N-B}$ と記號すれば

$$L_N = \Delta_{N-B} + L_B - \Delta S_{N-B}$$

以上の手續を各所に施せば各所の局部異常 L_N -項を求め得るのである。其爲に今各所に對する海水の引力項を求め第三表とする。尙比較すれば明らかなる如く、海水の引力項の差に就いてはその影響は各所よりの距離が大體10杆までの海水で充分であるから、海帶(z)は11.0杆まで採る。

第三表 海洋潮汐に依る引力項 別府 M_2 ($1'' \times 10^{-6}$ 單位)

Z	研究所構内 A		公 園 B		高 女 跡 C	
	S	W	S	W	S	W
	cos2t sin2t	cos2t sin2t	cos2t sin2t	cos2t sin2t	cos2t sin2t	cos2t sin2t
0.44—1.54 ^{FF}					50 124	193 476
1.54— 3.3	45 111	227 560	87 215	300 740	137 337	253 621
3.3 — 6.6	127 313	334 822	156 385	313 772	180 444	313 769
6.6 —11.0	97 240	218 537	116 285	200 492	138 340	205 505

Z	市 役 所 D		南小學校 E		寶 滿 寺 F	
	S	W	S	W	S	W
	cos2t sin2t	cos2t sin2t	cos2t sin2t	cos2t sin2t	cos2t sin2t	cos2t sin2t
0.44— 1.54 ^{FF}	176 432	494 1212	243 640	527 1298	74 182	128 316
1.54— 3.3	185 455	355 875	227 557	331 815	175 430	275 677
3.3 — 6.6	204 501	321 790	220 512	308 758	202 498	285 702
6.6 —11.0	145 357	202 497	155 382	201 494	151 381	192 474

地殻潮汐に就いて

上の引力項について公園と他の各所との差を求めそれに $m(r)$ を乗じ Δ_B なる撓曲項を求め更にそれに引力項の差 Δ_A の $\frac{1}{2}$ を加へて Δ_S を求めるのである。

扱上の海帯 Z に對する $m(r)$ の値として前にも述べたる如く 25.0 ($\angle 0.014$), 4.60 ($0.014 \sim 0.2$) 即今の場合には

$m(r)$	0.44~1.54 籽 25.0	1.54~11.0 籽 4.60
--------	---------------------	---------------------

此の二つの値を用ふれば良い事となる。次に各所の Δ_A, Δ_B を第四表に示す。但表中に於ては前第三表中の海帯 1.5—3.3 籽, 3.3—6.6 籽, 6.6—11.0 籽を一括して 1.5—11.0 籽の海帯とした。

第四表 海洋潮汐に依る撓曲差 (Δ_B) 別府 M_2 (1" $\times 10^{-6}$ 單位)

A—B

Z	$m(r)$	S				W			
		cos2t		sin2t		cos2t		sin2t	
		Δ_A	Δ_B	Δ_A	Δ_B	Δ_A	Δ_B	Δ_A	Δ_B
0.44—1.54 籽	25.0								
1.54—11.0	4.60	-90	-414	-221	-1017	-34	-156	-85	-391
Σ		-90	-414	-221	-1017	-34	-156	-85	-391

C—B

0.44—1.54 籽	25.0	+50	+1250	+124	+3100	+193	+4825	+476	+11900
1.54—11.0	4.60	+96	+442	+236	+1086	-42	-193	-109	-501
Σ		+146	+1692	+360	+4186	+151	+4632	+367	+11399

D—B

0.44—1.54 籽	25.0	+176	+4400	+432	+10800	+494	+12350	+1212	+30300
1.54—11.0	4.60	+175	+805	+428	+1969	+65	+299	+162	+745
Σ		+351	+5205	+860	+12769	+559	+12649	+1374	+31045

E—B

0.44—1.54 籽	25.0	+243	+6075	+640	+16000	+527	+13175	+1298	+32450
1.54—11.0	4.60	+243	+1118	+596	+2742	+27	+124	+63	+290
Σ		+486	+7193	+1236	+18742	+554	+13299	+1361	+32740

地殻潮汐に就いて

F-B

0.44—1.54 ^年	25.0								
1.54—11.0	4.60	+246	+1132	+606	+2788	+67	+308	+165	+759
Σ		+246	+1132	+606	+2788	+67	+308	+165	+759

上の Δ_A , Δ_B より

$$\Delta_S = \Delta_B + 0.5\Delta_A$$

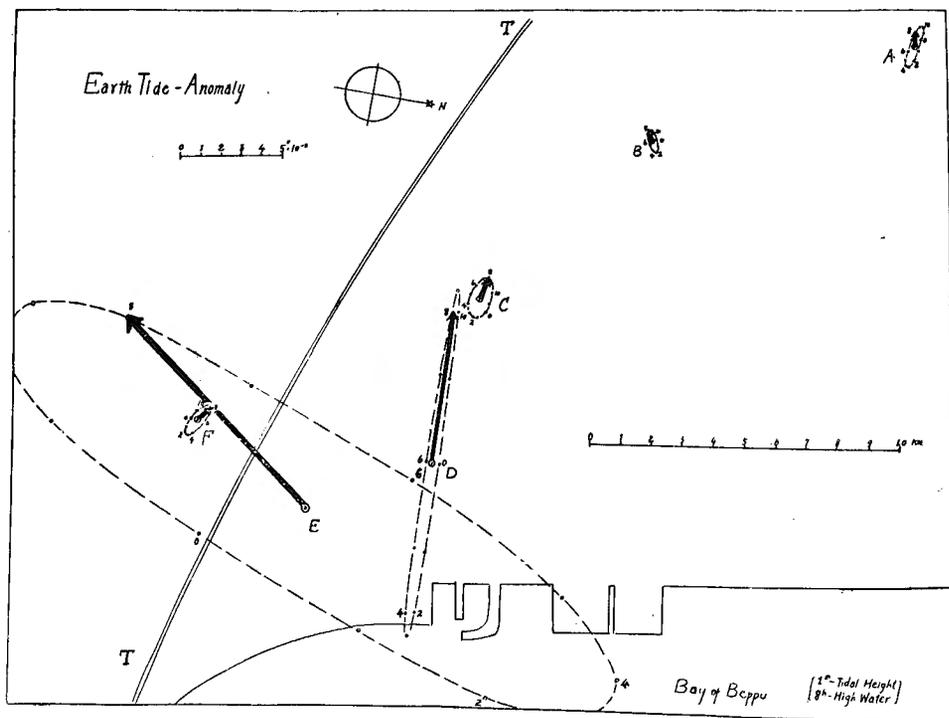
Δ_S を求め更に各々の観測値と公算のそれとの差 Δ_{N-B} を求めそれより次の関係式によつて局部異常 (L -項) を求むればよい。

$$N.(A.C.D.E.F) \quad L_N = \Delta_{N-B} + L_B - \Delta_{S(N-B)}$$

斯くして求められたる各點の局部異常 (L -項) は次の \cos -函數となり、此を圖示すれば第六圖の如くなる。

第六圖 別府に於ける土地の特異なる運動

M_2

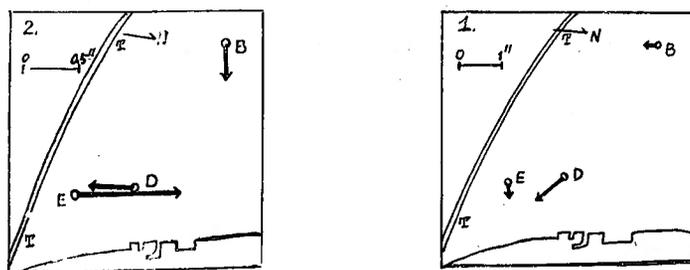


L_N

<p>A</p> $\begin{cases} S. 0.''0025 \cos(2t-153^\circ) \\ W. 0.''0112 \cos(2t-290^\circ) \end{cases}$	<p>B</p> $\begin{cases} 0.''0032 \cos(2t-238^\circ) \\ 0.''0056 \cos(2t-270^\circ) \end{cases}$	<p>C</p> $\begin{cases} 0.''0053 \cos(2t-121^\circ) \\ 0.''0096 \cos(2t-231^\circ) \end{cases}$
<p>D</p> $\begin{cases} S. 0.''0033 \cos(2t-187^\circ) \\ W. 0.''0855 \cos(2t-271^\circ) \end{cases}$	<p>E</p> $\begin{cases} 0.''1641 \cos(2t-290^\circ) \\ 0.''0786 \cos(2t-256^\circ) \end{cases}$	<p>F</p> $\begin{cases} 0.''0057 \cos(2t-54^\circ) \\ 0.''0077 \cos(2t-269^\circ) \end{cases}$

斯の如く前述の顯著なる活斷層の影響に依り別府灣の満潮時 (M_2 潮に就いては 8.0^h 太陰時、潮差 1 米) に於ける海水荷重による土地の撓曲は上圖矢印にて示せる如き異常性を表はして居るのであつて、その分布状況は海岸に近く又斷層に近き程著しく、特に南小學校、市役所の如きは海水荷重に對して斷層線が宛かも自由端の如く働くと現象的に解釋さるべき特異なる運動様式を示して居る。又此の斷層線の南側即古き地層に於ける寶滿寺はその反對側の諸點と振幅、位相共著しく相違せる運動を示し、此地方のモザイク構造を如實に示せるものである。扱上の如き海水荷重により明らかにされた當地の特異性は一方低氣壓の如き負の荷重に依つても矢張りその運動の異様性を示す事は次の例に依つても明らかである。即昭和13年1月27日9—10時1耗の變化乍ら極めて局部的且急激なる氣壓變化に對して又例へば昭和12年5月22日より25日にかけての別府の低氣壓時には氣壓變化13耗に對して夫々第七圖 2, 1 の如き特異なる土地の傾動を示せるものにして此處に於ても土地のモザイク構造の實證を見るのである。

第七圖 低氣壓に依る土地の傾動 別府



1. 氣壓變化, 昭和12年5月22日--25日

2. 氣壓變化, 昭和13年1月27日9—10時

6. 結 語

以上を要約すれば海岸近くの地點に於ける地殻潮汐の觀測に依つて近接せる海水の荷重に依る土地の撓曲状態を通じて、其土地の表層の地質構造を明らかにする事が出来るのである。而して従來は唯一點の觀測に依つて議論を進めてゐたのであるが本研究に於ては

地 殻 潮 汐 に 就 いて

同一地域の近接せる數點に於ける觀測によつて、更に詳しく其土地の微細構造を明らかにし得たのである。即別府灣に臨める別府市を貫く顯著なる活斷層に注目し、其の前後左右に又海岸より種々の距離に於て「シリカ」傾斜計による地殻潮汐の同時觀測を行つたのであつて其結果別府灣の滿潮時に於ける海水荷重の爲め斷層を境として南方古き地塊は僅か乍ら斷層と平行に、北方沖積地帯は灣と正反對の方向に著しく撓み宛も斷層線を自由端とせる平板上の荷重を思はせるものがあり、此の附近の土地のモザイク構造を如實に現はせる撓曲度の分布狀況を明らかにし得たのである。

終に臨み終始御指導を賜つた佐々博士に對し深謝の意を表すると共に此の別府に於ける傾斜觀測に對して御援助を賜つた東照宮三百年祭記念會に對して謝意を述べる。又數多き地點に對する困難なる觀測を支障なく遂行するの任に當られたる兼田嘉一、森永榮の兩君には、こゝに改めて感謝の意を表する次第である。

文 獻

1. 西村英一：地殻潮汐に就いて(其一)、「地球物理」第5卷第1號，昭16，
2. Takahasi, R., Tilting motion of the earthcrust caused by tidal loading. Bull. E. R. I. 6, 1929.
3. Takahasi, R., Tilting motion of the earth's crust observed at Kawana, Bull. E. R. I. 10, 1932.
4. Takahasi, R., Tilting motion of the earth's crust observed at Ryozyun (Port Arthur) Bull. E. R. I. 10, 1932.
5. 鈴木政達：別府附近の地史と温泉脈，「地球物理」第1卷第1號，昭12，
6. Miyabe, N., Results of relevelling in Kyūsyū, Japan. Proc. Imp. Acad. XIII, 1937.
7. 佐々憲三，西村英一：土地傾斜變化の觀測序論，「地球物理」第5卷第1號，昭16，