

地かくの潮汐ひずみの観測

小 沢 泉 夫

ON THE OBSERVATION OF THE TIDAL STRAINS BY MEANS OF EXTENSOMETERS

by Dr. Sci. Izuo OZAWA

Synopsis

In this paper, the precise observations of earth tidal strains in the meridional and the prime vertical direction are performed with newly devised extensometers of which the sensitivities are $3.7 \times 10^{-3}/\text{mm}$ and $5.7 \times 10^{-9}/\text{mm}$ at Osakayama.

According to the present observation, the ratios O_1/M_2 of the tidal component of the strains are 0.48 in the meridional component and 0.87 in the prime vertical component. And according to the observations at Osakayama, Kishu, Suhara and Matsu-shiro, the cos-terms of M_2 -tide of horizontal linear strains are positive in all the azimuths. Therefore, it is probable that the effect due to oceanic tide is far smaller than the direct effect due to the tide generating potential at Osakayama and ratio l/h is not negligible. And so a factor $(h-3l)$, relating to horizontal areal strain and ratio h/l are calculated as follows,

$$h-3l=0.448 \pm 0.003,$$

$$\frac{h}{l}=11.1 \quad \text{in the prime vertical component.}$$

1. 地球は天体の引力や地球の自転などによつて周期的な変形をしている。天体の引力や自転の周期などはよくわかっているので地球の変形の状態を観測すれば地球の構造がわかり、地かくの空間的及び時間的異常も推定することができる。地球の潮汐変形を鉛直線の変化、緯度の変化、重力の変化などの観測から研究することはかなり古くから行われており、これに関する精力的な理論的研究も数多く行われている⁸⁾。しかし土地の直線ひずみの潮汐変化を観測することは佐々教授¹⁾によつてはじめて考えられ、また実現され、京都大学防災研究所の研究施設によつて長足な進歩をした^{2), 3)}。このような微小なひずみを観測しようという着想や、潮汐ひずみが観測できるであろうという判断は本当に敬服に値するものと言わなければならない。近年重力、緯度、傾斜変化などの観測技術が科学技術の進展にともなつて著しく進歩し、直線ひずみの観測も高い精度の観測が望まれるようになった。ここには逢坂山で新たに考案した高感度の伸縮計を用いて、高い精度の直線ひずみの潮汐変化の観測を行なつた結果を主に述べようと思う。

2. 潮汐変化には半日潮と一日潮とこれより更に長い周期的な変化とがあり、地かくの弾性的変形では半日潮と一日潮が他の地かくの変動にかくされず顕著に観測される。

今地球の1点の中心からの距離を r 、余緯度を θ 、経度を ϕ とすると、その観測点における半日潮及び一日潮の潮汐力ポテンシャル $W_2(\frac{1}{2})$ 及び $W_1(1)$ は次の式で与えられる。

$$W_2(\frac{1}{2}) = \sum_i r^2 A_{2i} \sin^2 \theta \cos 2(t+\phi),$$

$$W_1(1) = \sum_j r^2 A_{1j} \sin 2\theta \cos (t+\phi),$$

(1)

ここに、 t は潮汐力を及ぼす天体のグリニッチ標準時で、 $t+\phi$ は地方時、 A_{2i} 、 A_{1j} は天体の天球上の赤

緯に関する関数で M_2, S_2, K_1 などの分潮固有の値で極く長い周期でわずかだけ変化する。

観測点 (r, θ, ϕ) における潮汐変位の r, θ, ϕ 成分 u_r, u_θ, u_ϕ は次の形で与えられている。

$$\left. \begin{aligned} u_r &= \frac{H(r)}{g} W_2, \\ u_\theta &= \frac{L(r)}{g} \frac{\partial W_2}{\partial \theta}, \\ u_\phi &= \frac{L(r)}{g \sin \theta} \frac{\partial W_2}{\partial \phi}, \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

$$H(a) = h, \quad L(a) = l,$$

ここに、 g はその点の重力加速度の平均値、 a は地球の半径、 h は Love 常数⁴⁾、 l は志田常数⁵⁾ と呼ばれる。

地球表面観測点 (a, θ, ϕ) における一日潮と半日潮の潮汐ひずみの成分を求めると^{2), 3)},

半 日 潮	一 日 潮
$e_{\theta\theta} = \frac{h \sin^2 \theta + 2l \cos 2\theta}{\sin^2 \theta} \frac{W_2}{ag},$	$e_{\theta\theta} = (h - 4l) \frac{W_2}{ag},$
$e_{\phi\phi} = \frac{h \sin^2 \theta - 2l(1 + \sin^2 \theta)}{\sin^2 \theta} \frac{W_2}{ag},$	$e_{\phi\phi} = (h - 2l) \frac{W_2}{ag},$
$e_{\theta\phi} = -4l \frac{W_2}{ag} (\cos \theta) \tan 2(t + \phi),$	$e_{\theta\phi} = 4l \frac{W_2}{ag} (\sin \theta) \tan(t + \phi),$
$e_{r\theta} = e_{r\phi} = 0,$	$e_{r\theta} = e_{r\phi} = 0,$
$e_{rr} = \left\{ a \frac{dH(a)}{dr} + 2h \right\} \frac{W_2}{ag},$	$e_{rr} = \left\{ a \frac{dH(a)}{dr} + 2h \right\} \frac{W_2}{ag},$
面積変化 $= e_{\theta\theta} + e_{\phi\phi} = 2(h - 3l) \frac{W_2}{ag},$	面積変化 $= e_{\theta\theta} + e_{\phi\phi} = 2(h - 3l) \frac{W_2}{ag},$
体積変化 $\Delta = \left\{ a \frac{dH(a)}{dr} + 4h - 6l \right\} \frac{W_2}{ag},$	体積変化 $\Delta = \left\{ a \frac{dH(a)}{dr} + 4h - 6l \right\} \frac{W_2}{ag},$
$e_{\theta\theta} - e_{\phi\phi} = \frac{2l(1 + \cos^2 \theta)}{\sin^2 \theta} \frac{W_2}{ag},$	$e_{\theta\theta} - e_{\phi\phi} = 2l \frac{W_2}{ag},$

..... (3)

となる。

また自由表面の条件から

$$a \frac{dL(a)}{dr} + h + 3l = 0$$

がえられる。

海洋潮汐の影響を考慮に入れなければ、 $e_{\theta\phi}, e_{\phi\phi} - e_{\theta\theta}$ は l だけしか含まない。

また特定の余緯度の地表面のひずみの水平成分を求めると

	半 日 潮	一 日 潮
	$\times \sum_i ag A_{2i}$	$\times \sum_i ag A_{1i}$
極 : $\theta = 0$	$\begin{cases} e_{\theta\theta} & 2l \cos 2(t + \phi) \\ e_{\phi\phi} & -2l \cos 2(t + \phi) \\ e_{\theta\phi} & 0 \end{cases}$	$\begin{cases} 0 \\ 0 \\ 0 \end{cases}$
$\theta = \frac{\pi}{4}$	$\begin{cases} e_{\theta\theta} & 0.5h \cos 2(t + \phi) \\ e_{\phi\phi} & (0.5h - 3l) \cos 2(t + \phi) \\ e_{\theta\phi} & -1.414l \sin 2(t + \phi) \end{cases}$	$\begin{cases} (h - 4l) \cos(t + \phi) \\ (h - 2l) \cos(t + \phi) \\ 2.828l \sin(t + \phi) \end{cases}$

..... (4)

$$\begin{aligned}
 \text{逢坂山: } \theta = 55^\circ 0.04' & \begin{cases} e_{\theta\theta} & (0.671h - 0.684l) \cos 2(t+\phi) & 0.940(h-4l) \cos(t+\phi) \\ e_{\phi\phi} & (0.671h - 3.342l) \cos 2(t+\phi) & 0.940(h-2l) \cos(t+\phi) \\ e_{\theta\phi} & -1.538l \sin 2(t+\phi) & 3.078l \sin(t+\phi) \end{cases} \\
 \text{赤道: } \theta = \frac{\pi}{2} & \begin{cases} e_{\theta\theta} & (h-2l) \cos 2(t+\phi) & 0 \\ e_{\phi\phi} & (h-4l) \cos 2(t+\phi) & 0 \\ e_{\theta\phi} & 0 & 0 \end{cases}
 \end{aligned}$$

であつて、極では一日潮の成分は0で半日潮も l だけで与えられる。また赤道でも一日潮は0である。 $\theta = \frac{\pi}{4}$ の緯度では $e_{\theta\theta}$ は h だけしか含まない。

次に逢坂山と同緯度 ($\theta = 55^\circ 0.04'$) の所で h と l の比を与えたとき方位角によつてその方向の直線ひずみの半日潮の \cos -項、 \sin -項及び振巾と位相がどのように変わるかを Fig. 1 および Fig. 2 に示した。

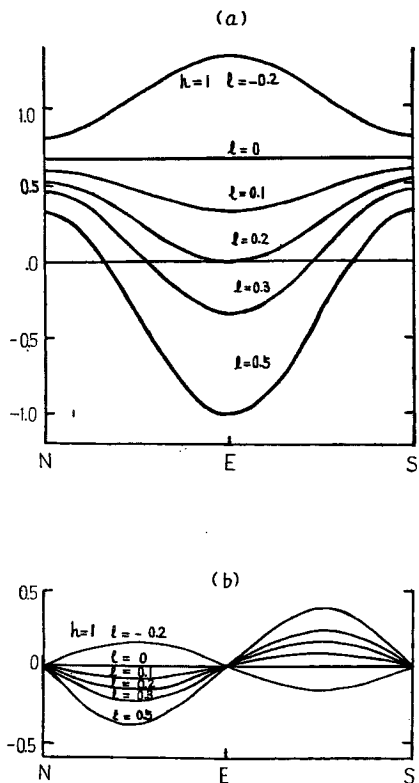


Fig. 1 Relative variations of semi-diurnal component of the tidal strain *versus* azimuth for various of l ; (a) is relative variations of the \cos -term, (b) is relative variations of the \sin -term

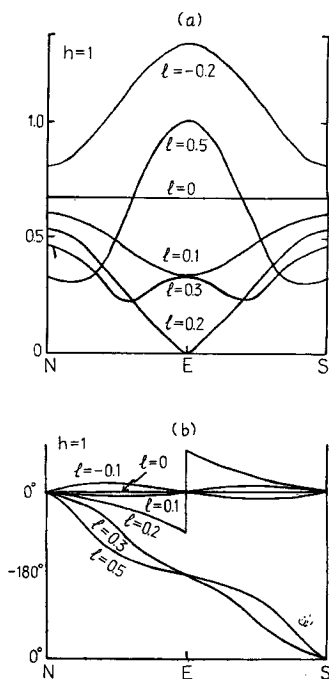


Fig. 2 Relative variations of amplitude and phase lag of the tidal strain *versus* azimuth for various values of l ; (a) is relative variation of the amplitude, (b) is relative variation of the phase lag

この場合 $\sum_t aA_{2t}$ と h の値は1として計算した。半日潮の場合この緯度では h/l が4.98より大きいか l が負のときは \cos -項は常に正で位相の遅れは $\pm 90^\circ$ の間にある。一日潮では h/l が4より大きいか l が負のとき \cos -項は常に正で位相の遅れが $\pm 90^\circ$ の間にある。他の場合は方位角によつて位相の変わり方がはげしく位相の遅れが -180° になつたりする。

実際に潮汐ひずみを観測する場合はわが国では起潮力の直接の影響のほかには海洋潮汐の影響も考えなければならぬ。海洋潮汐の影響は普通海水は非圧縮性であつて、海水の潮位の変化が海底に圧力の変化となつて作用すると考えられ、また海底の勾配は極く小さいので半無限弾性体の表面に働く部分荷重の問題として取り扱われる。今観測点からの距離が r_1, r_2 の同心円と方位角 ψ_1, ψ_2 の動径とで囲まれる面積密度 P なる荷重による原点のひずみの成分は J. Boussinesq の解に従えば、

$$\left. \begin{aligned} e_{xx}' &= -e_{yy}' = \frac{P}{8\pi(\lambda + \mu)} \log \frac{r_2}{r_1} (\sin 2\psi_2 - \sin 2\psi_1), \\ e_{xy}' &= -\frac{P}{4\pi(\lambda + \mu)} \log \frac{r_2}{r_1} (\sin 2\psi_2 - \sin 2\psi_1), \\ e_{zz}' &= e_{xx}' = e_{yy}' = e_{xx}' + e_{yy}' = \Delta' = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

である³⁾。

このように表面荷重によつては、地表面では垂直ひずみ、面積ひずみ、体積ひずみは荷重点を除けば 0 である。海洋潮汐の影響は起潮力による直接の影響を知るのにもまた海洋潮汐の影響そのものを知るのにも大きな障害であるが、海洋潮汐の影響を知ることができればそれは地殻の異常構造などを知る上に有力な手懸となり、またその時間的な変化は地変の一つの現われでもある⁶⁾。

3. Earth Tide における地表面の直線ひずみは、われわれの観測によつて $10^{-9} \sim 10^{-8}$ の桁であることがわかつた。これらのひずみの観測には佐々式二本吊型伸縮計などが用いられてきた。今までの観測では直線ひずみの桁を決定し有効数字 1 桁が求められるのが限度であつた。しかし有効数字 1 桁の決定は傾斜計観測の 2 桁の有効数字、重力、緯度観測の 2 桁か 3 桁の有効数字の決定と同等の意義をもつものであつた。この有効数字の決定的なものを求め、更にこの方面の観測を一步前進させるためには更に高い感度（倍率と精度）をもつた器械が必要である。著者はそのために次のような装置を作つた。この装置は観測線の両端の相対変位を拡大するために水平振子を用いる方法で、この相対変位をその周期の長短にかかわらず、数万倍に拡大することは容易で、しかも水平振子の周期を変えることによつて、倍率を手軽に希望する値に調整することができ、かつ一度絶対的な倍率を求めておけば、後は周期を測かるだけでその倍率を求めることができる。観測線の長さは数 m 以上 50 m 程度で、Fig. 3 に示すように観測線の一端 A に温度係数の小さい直径

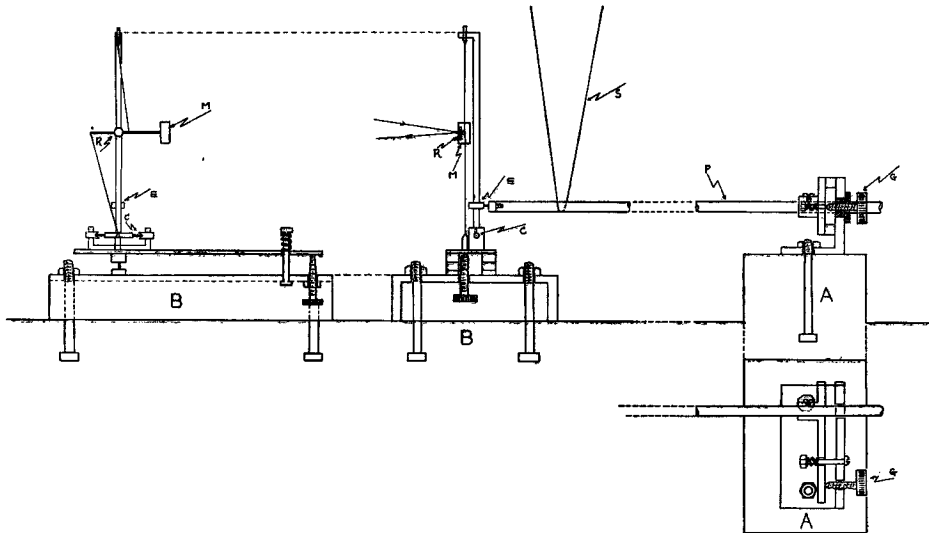


Fig. 3 Vertical and ground-plan of H-59-A type extensometer with high sensitivity

約1cmのスーパーインヴァーナル製の棒の一端を固定し棒の他端を、拡大装置である水平振子の支柱 E に連絡する。その水平振子の支柱は観測線の他端 B 点に固定された台の上にピボット C 或は板ばねで倒立して取り付けられており \overline{AB} 測線の長さが変わるとその支柱は傾き水平振子は大きく回転する。水平振子の支柱を取り付けてある台は B 点に固定させた台に倒立振子のように板ばねで取り付けられており、測線方向には動かないが測線と直角な方向に傾けられる装置がしてあり、測線に直角にある水平振子の回転軸の傾斜角を変えることによつて水平振子の周期を希望する値に調整する。

いま水平振子の支柱の回転軸(例えばピボット)からスーパーインヴァーナル棒を連結してある点までの高さを a とすると、測線 \overline{AB} の長さが x だけ変化したときの支柱の傾き ϕ は

$$\phi = \frac{x}{a} \dots\dots\dots(6)$$

$\overline{AB}=D$ が一様にひずんでいるとしたときそのひずみを e とすると

$$x = eD \dots\dots\dots(7)$$

支柱の傾き ϕ による水平振子の回転角 θ は

$$\theta = \frac{T^2 g}{4\pi^2 l} \phi, \dots\dots\dots(8)$$

ここに、 l は振子の相当振子長、 T は振子の周期、 g は重力加速度である。いま長さ L の光学挺子を使つて写真記録するとすれば、記録紙上での光点の動き y は

$$y = 2L\theta = \frac{2LT^2 g}{4\pi^2 l} \phi \dots\dots\dots(9)$$

で、ひずみ変化の倍率 M は

$$M = \frac{y}{x} = \frac{LT^2 g}{2\pi^2 al} \dots\dots\dots(10)$$

ひずみに対する感度 S は

$$S = \frac{e}{y} = \frac{1}{MD} = \frac{2\pi^2 al}{LT^2 g D} \dots\dots\dots(11)$$

となる。

この拡大装置は水平振子を使つているから土地の傾斜変化の影響もある。いま土地の傾斜変化を ϕ_t とすると記録紙上の動き y は

$$y = \frac{LT^2 g}{2\pi^2 l} \left(\frac{eD}{a} + \phi_t \right) \dots\dots\dots(12)$$

で、ひずみの変化によるものと傾斜変化によるものとの比は D/a で普通 $D \approx 10^8$ cm, $a_{max} \approx 3$ cm であるので、ひずみの倍率は傾斜の倍率の数百倍であるから、特別の場合の外は土地の傾斜変化の影響は無視して差支えない。潮汐変化の観測などの場合には傾斜観測も同時に行われるのでその変化を補正することもできる。また2つの伸縮計を平行にあるいは同一線上に並べて振子の錘の位置を反対側にあるように吊つて、二つの伸縮計の変化を組み合せると傾斜変化の影響を相殺することができる。またこの装置の0点調整および感度測定は微動ねじ G を廻転して行なわれる。

実際に使用される場合のスケールの1例を示すと、

$$D = 1\,000 \text{ cm}, \quad l = 5 \text{ cm}, \quad a = 3 \text{ cm}, \quad T = 10 \text{ sec} \quad L = 200 \text{ cm}$$

の場合

$$M = 66\,200, \quad S = 1.51 \times 10^{-9} / \text{mm}$$

となる。振子の支柱の高さを 20 cm, 吊線の太さを 50ミクロン程度にすると取扱いも簡単でその周期も 20

秒までは容易に延ばすことができる。しかし問題はむしろその場所の雑変動の大小にかかつており、 10^{-9} ~ 10^{-10} のひずみを続けて観測できる場所は数多くはない。

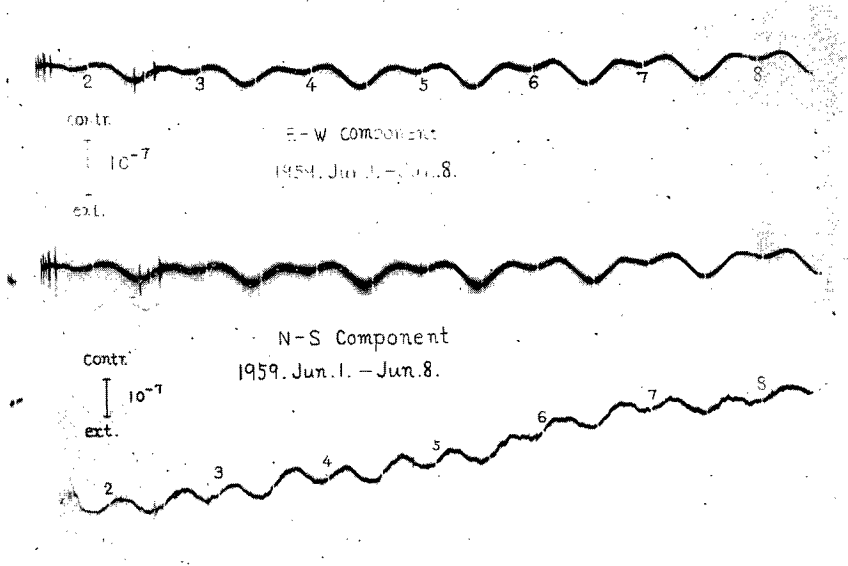


Photo. 1 Photographic records (of the change of the linear strain) which are recorded with H-59-A type extensometer in the period of a week

Photo. 1 にこの H-59-A 型伸縮計で逢坂山で観測した E-W 方向と N-S 方向の直線ひずみの変化の記象を示す。

4. 逢坂山観測所は東経 $135^{\circ} 51.5'E$, 北緯 $34^{\circ} 59.6'$, 海拔標高約 160 m, 地表面からの深さは約 100 m, 最も近い海までの距離は約 60 km, 観測室の温度の一年の高低差は $0.8^{\circ}C$, 一日の温度の高低差は通常 $0.01^{\circ}C$ 以下で観測には絶好の状態にある。

分潮の解析には先づ記象の 1 時間ごとの読取值 (前後の平均値) の 25 時間区間の平滑曲線に更に異常変化などの場合の修正を加えたものを求めて潮汐変化を抽出し, その値を調和解析し補正 Darwin 法によつて分潮を求めた。1959 年以後に観測, 解析した値を Table 1 に示す。

Table 1

Direction of observation	Period of analysis	Sensitivity	M_2 -component		O_1 -component	
			Amplitude	Phase	Amplitude	Phase
E-W	From 1959, Jan. 27 to 1959, Feb. 25	$1.81 \times 10^{-8}/\text{mm}$	0.63×10^{-8}	4.6°	0.67×10^{-8}	22.0°
E-W	From 1959, Mar. 28 to 1959, Apr. 26	$0.53 \times 10^{-8}/\text{mm}$	0.76×10^{-8}	359.7°	0.74×10^{-8}	16.3°
E-W	From 1959, May 24 to 1959, Aug. 23	$0.37 \times 10^{-8}/\text{mm}$	0.88×10^{-8}	357.8°	0.76×10^{-8}	3.5°
N-S	From 1959, Apr. 23 to 1959, Jul. 22	$0.57 \times 10^{-8}/\text{mm}$	1.36×10^{-8}	10.9°	0.64×10^{-8}	20.8°

此等の観測は従来よりも充分高い感度で観測が行なわれ, とくに時間の精度を高めることに注意が払われた。Table 1 の観測値に解析期間の長さによる重みをかけて面積ひずみの M_2 および O_1 成分を求めると,

$$M_2 : e_{00} + e_{\phi\phi} = 2.15 \times 10^{-8} \cos (2t - 6.6^{\circ}),$$

$$O_1 : e_{\theta\theta} + e_{\phi\phi} = 1.38 \times 10^{-8} \cos(t - 18.3^\circ)$$

で、(3) の関係式から $h-3l$ の値を求めると、

$$M_2 : h-3l = 0.451,$$

$$O_1 : h-3l = 0.442,$$

また M_2 から求めた値に 3、 O_1 から求めた値に 1 の重みをつけた重み平均値として

$$h-3l = 0.448 \pm 0.003 \dots\dots\dots(13)$$

を得る。1957 年に逢坂山、紀州、柘原の観測から求めた平均値 $h-3l = 0.434 \pm 0.026^9)$ とほとんど等しい値が得られた。

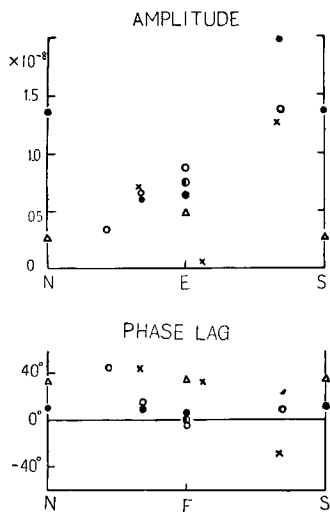


Fig. 4 Relation of observed amplitudes and phase lags of M_2 -tide to azimuth. \circ , \bullet , \bullet are the values at Osakayama, \times is at Kishu, and \triangle is at Matsushiro.

Fig. 4 に今まで逢坂山、紀州釜山、松代で観測された M_2 分潮の振巾及び位相の遅れと方位角との関係を示す。振巾は概して南北の方向で大きく、東西方向で小さい傾向がある。位相の遅れは最も遅れの大きい場合で 43° 、逆の場合で -30° で東西或は南北方向では 0° に近い値である。このように \cos -項がどの方向でも正であることは逢坂山の場合についていえば h/l の値は少なくとも 4.98 (松代では更に大きい) より大きくなければならないことになる。さもなければ l は 0 より小さいかであるが $l < 0$ ということは考え難い。しかし東西成分と南北成分の一日潮と半日潮の重畳の割合は記象を一目見てもわかるように波の形が非常に違っている。最も大きい半日潮 M_2 と一日潮の中で最も解析の精度の高い O_1 との比は南北成分で $O_1/M_2 = 0.47$ 、東西成分で $O_1/M_2 = 0.85$ でその割合が非常に違う。もしも海洋潮汐の影響が大きければその比は南北と東西とで 1 に近い値でなければならず、また l が h に対して無視される程小さいならばまたその比も 1 に近い値であるはずであり、方向によってその振巾も変らないはずである。換言すると恐らく海洋潮汐の影響は逢坂山では極く小さく、 l の値は h に比べ 1/5 以下であるが無視される程小さくはないことがわかる。半日潮より小さいけれども一日潮が大きいのでその精度が期待される東西方向の半日潮と一日潮との比から h と l との比を求めると、

$$h = 11.1l \dots\dots\dots(14)$$

を得る。

また M_2 と O_1 との比 (14) と (13) とから

$$l = 0.055, \quad h = 0.614 \dots\dots\dots(15)$$

(15) の結果と自由表面の条件

$$a \frac{dL(a)}{dr} + h + 3l = 0$$

とから

$$a \frac{dL(a)}{dr} = -0.780 \dots\dots\dots(16)$$

また前に垂直ひずみの観測から求めた結果⁹⁾

$$\alpha \frac{dH(a)}{dr} + 2h = -0.280 \dots\dots\dots(17)$$

と (15) とから

$$\frac{dH(a)}{a \frac{dr}{dr}} = -1.509 \dots\dots\dots(18)$$

が求められる。

なお、 $e_{\theta\theta} - e_{\phi\phi}$ から l の値を求めることもできる。この方法で求めた値は

$$l = 0.042, \quad h = 0.577 \dots\dots\dots(15)'$$

である。しかし O_1/M_2 の値及び h/l の値は海洋潮の影響の方が大きくないかぎり近似の度合が大きく、また $e_{\theta\theta} + e_{\phi\phi}$ は海洋潮汐の影響は差引されて含まれていないのに比べて、 $e_{\theta\theta} - e_{\phi\phi}$ の場合には海洋潮の影響は和の型 ($2e_{\theta\theta}$) で入つているので差から求めた l の値には高い精度は望めない。

また海洋潮汐などの影響のない場合でも地球の潮汐変形は起潮力に対してある程度の遅れをもっているだろうと考えられているが、直接項のみから成ると考えられる面積ひずみ、体積ひずみ、垂直ひずみの M_2 分潮の場合、

面積ひずみ	$2.22 \times 10^{-8} \cos(2t - 12.3^\circ)$	Osakayama, 1954
〃	$2.15 \times 10^{-8} \cos(2t - 6.6^\circ)$	Osakayama, 1959
垂直ひずみ	$0.64 \times 10^{-8} \cos(2t - 180^\circ - 13.6^\circ)$	Osakayama, 1954
体積ひずみ	$1.58 \times 10^{-8} \cos(2t - 16.5^\circ)$	Osakayama, 1954

で $6.6^\circ \sim 16.5^\circ$ の遅れが認められる。しかし現在の観測ではここまでの値の精度は期待できないので、今後時間に関する観測の精度を向上させたいと思う。

地殻潮汐の異常については西村教授⁷⁾によつて前から研究が行なわれている。地かくの一部が海洋のように広い拡がりを持ち、かつ広い自由表面をもっている部分から成立しているならば、その部分は大きい異常な潮汐変化を起すであろうし、また周囲に2次的な影響を及ぼすことが考えられる。もしもこのような異常があるとするならば、ひずみに関する観測結果から h あるいは l のように変位に関する常数を求めるまえに面積ひずみ、垂直ひずみなどに関する Factor の異常の度合で表現する方が適当と思われる。

4. 逢坂山で従来よりも高い感度の伸縮計を使つて Earth Tide における面積ひずみを観測し $h - 3l = 0.448 \pm 0.003$ を得た。この値は 1954年⁸⁾に求めた逢坂山、紀州、栖原の値の平均値とほとんど等しい値であつた。また半日潮と一日潮との比から h と l との関係 $h = 11.1l$ を求め、また l, h などの値を計算した。逢坂山、紀州、栖原、松代で観測した結果から M_2 -潮の \cos -項はすべての方位角で正であつた。また逢坂山では東西方向と南北方向とでは半日潮と一日潮との比が著しく違つている。このことから逢坂山では海洋潮汐の影響は小さく、 h/l の比は5よりも大きい l の値は無視されるほど小さくはないことがわかつた。

この研究には京都大学教授佐々憲三博士、西村英一教授より絶大な御指導を賜つた。また観測器械の製作には森本喜一郎および工作室の方々の御助力を得た。紀州鉾山、栖原観測所、松代観測所における観測はそれぞれの観測所の方々の御助力をお願いした。この研究は防災研究所の付属施設において特別事業として行なわれたことはいうまでもない。このほかに文部省科学助成研究費、服部奉公会学術研究援助金がこの研究に用いられた。ここにこれらの方々に心から御礼の言葉を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Sassa, K., Ozawa, I. and Yoshikawa, S.: Observation of Tidal Strain of the Earth, Disaster Prevention Research Institute, Bulletin, No. 3. (1952), pp. 1-3.
- 2) 小沢泉夫：伸縮計による地殻潮汐の観測，測地学会誌，第2巻，第2号，(1955)，pp. 54-58.
- 3) Ozawa, I. : Study on Elastic Strain of the Ground in Earth Tides. Disaster Prevention Research Institute Bulletin, No. 15, (1957), pp. 1-36.
- 4) Love, A.E.H. : The Yielding of the Earth to Disturbing Forces, Proceeding of the Royal

- Society of London, Vol. 82. (1909), pp. 73-88.
- 5) Shida, T. and Matsuyama, M. : Change of Plumb Line Referred to the Axis of the Earth as Founded from the Result of the International Latitude Observation, Memoir of College of Science and Engineering, Kyoto Imperial University, Vol. 4, (1912), pp. 277-284.
 - 6) 西村英一 : 地殻物性の状態変化と地震活動, 京都大学防災研究所創立5周年記念論文集, (1956), pp. 8-13.
 - 7) Nishimura, E. : On the Earth Tide, Transactions of American Geophysical Union, Vol. 31, (1950), pp. 357-376.
 - 8) Takeuchi, H. : Theoretical Study of the Earth Tide, Transactions of the American Geophysical Union, Vol. 31. (1950), pp. 651-689.
 - 9) Ozawa, I. : Observations of Tidal Strains of the Earth, Journal of Physics of the Earth, Vol. 5. No. 1. (1957), pp. 9-13.