

二重振子型高感度傾斜計による 地殻傾動の観測（第1報）

田中 豊・加藤 正明

OBSERVATIONS OF THE GROUND TILT WITH HIGHLY SENSITIVE TILTMETERS OF DOUBLE HORIZONTAL PENDULUM TYPE (PART 1)

By Yutaka TANAKA and Masaaki KATŌ

Synopsis

Continuous observations of the ground tilt with tiltmeters of double horizontal pendulum type have been carried out since 1961 at three observation stations, namely, Ōsakayama, Akibasan and Nagashima. From the results obtained up to the present, it has been proved that this instrument has a higher sensitivity and stability than tiltmeters of usual horizontal pendulum type. In this paper, firstly, we consider a method of measuring the sensitivity of instrument, and next, discuss the comparison of the secular ground tilt observed at the three stations with the tiltmeters of double horizontal pendulum type with that observed by means of the usual tiltmeters of horizontal pendulum type.

1. ま え が き

地球の自由振動、地球潮汐、地震前後の地殻の異常傾動などを観測するための傾斜計には、高い感度とともに高度の安定性が要求されるが、従来使用されている水平振子型傾斜計では必ずしもこれらの条件が満たされているとは言えない。その原因の1つは、錘が小さいために外部からの擾乱に対して不安定であることで、この点を解決するにはどうしても振子の質量を大きくする必要がある。また水平振子型傾斜計では、長期間の観測が可能な感度には限界があり、それ以上に感度を上げると周期の自然変化が目立ってくる。すなわち、振子の回転軸と鉛直線のなす角があまり小さくなると、振子と同方向の地面の傾斜が感度に影響して感度が不安定になると考えられるわけで、従って安定状態のままで感度を上げるためにはなんらかの拡大装置が要求される。そのためには、例えば水平振子を拡大装置とした二重振子型傾斜計が考えられ、すでに H. Lettau や気象庁地震課の人達によって試作されているが、いずれも短期間の観測報告で、長期にわたる観測はなされていない。われわれの研究室で製作した二重振子型傾斜計は光学記録方式によるもので、1961年6月に逢坂山（滋賀県）、1961年10月に長島（三重県）、1962年2月に秋葉山（和歌山県）に、それぞれ二重振子型傾斜計2成分を設置し観測を続けてきたが、1965年3月に秋葉山観測所が閉鎖されたので現在は逢坂山と長島の2カ所で観測を続けている。

従来の水平振子型傾斜計では感度を検定することが比較的容易であるが、二重振子型傾斜計では感度の検定がかなり面倒である。この論文では、まず最初に、二重振子型傾斜計の感度検定方法を確立するために防災研究所地殻変動部門で行なった室内実験について述べ、次に逢坂山、秋葉山、長島の各観測所で水平振子型傾斜計ならびに二重振子型傾斜計で観測された傾斜変化を図示し、若干の考察を加えることにする。

2. 感 度 検 定 の 方 法

2.1 二重振り子型傾斜計の構造

Photo. 1 に二重振り子型傾斜計のカバーをはずした状態を示す。第1振り子は質量 2 kg の砲金製錘を半径 140 μ の super invar 線で吊った高さ 480 mm の Zöllner 吊り振り子からなり、第2振り子は質量 4.2 g の純銅製

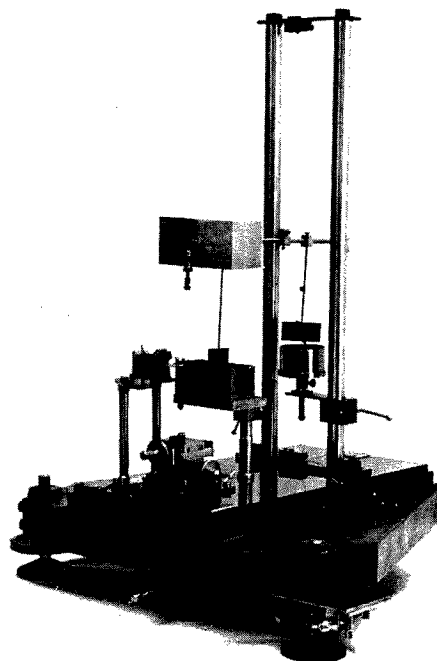


Photo. 1. Tiltmeter of double horizontal pendulum type.

錘を半径 15 μ の super invar 線で吊った高さ 144 mm の Zöllner 吊り振り子からなる。第1、第2振り子の回転軸に相当する位置にミラーが固定されており、ランプから出た光をミラーで反射させることによって、振り子の回転をレコーダー上に光学記録させるようになっている。第1振り子にはオイルダンパーをきかせ、第2振り子にはマグネティックダンパーをきかせてある。

2.2 二重振り子型傾斜計の感度

二重振り子においては、第1振り子によって拡大された傾斜を第2振り子によってさらに拡大するわけであるが第1振り子の振動が第2振り子の振動を誘起するばかりでなく、誘起された第2振り子の振動が第1振り子の振動に影響を及ぼす。これらの相互の影響によって、二重振り子の周期は長くなり、傾斜に対する感度は増大する。地面が Ψ だけ傾き、第1、第2振り子が回転して静止した時の回転角をそれぞれ φ_1 、 φ_2 とすると、傾斜計の倍率 n は次式で表わされる。

$$n = \frac{\varphi_2}{\Psi} \dots\dots\dots (1)$$

Fig. 1 に地面が Ψ だけ傾き振り子が静止したときの関係を示す。 θ_1 、 θ_2 はそれぞれ第1振り子の回転軸と鉛直線のなす角、第2振り子の回転軸と鉛直線のなす角を表わし、 τ_1 、 τ_2 は第2振り子の上下の吊り糸の張力を表わす。**Fig. 2** はその水平投影であるが、吊糸のねじれがきかないときは、第2振り子は A_2B_2 を含む鉛直面上にかたよる。しかし実際には吊り糸のねじれのためにかたよりの角は小さくなり、振り子は O_2D_2 の方向で

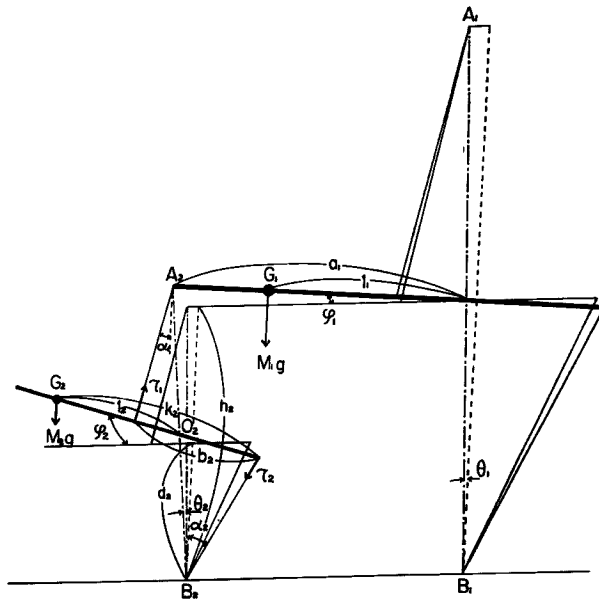


Fig. 1. Schematic diagram of pendulum.

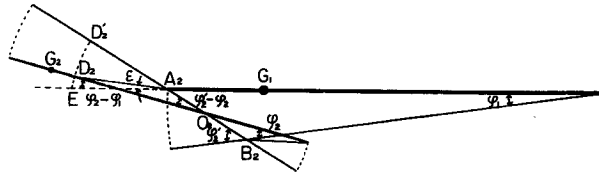


Fig. 2. Projection of pendulum on the horizontal plane.

静止する。 $\angle D_2 A_2 E = \varepsilon$ とおけば、

$$\begin{aligned} (D_2 E)_H &= (D_2' E)_H - (D_2' D_2)_H \\ &= (A_2 D_2')_H \angle D_2' A_2 E - (D_2' O_2)_H \angle D_2' O_2 D_2 \end{aligned}$$

であるから、(H は水平距離を表わす)

$$\varepsilon = \varphi_2 - \varphi_1 - \frac{(h_2 - d_2)\theta_2}{e_2 \sin \alpha_1} (\varphi_2' - \varphi_2) \dots \dots \dots (2)$$

となる。ただし e_2 は第2振子の上の吊り糸の長さである。第1振子の慣性モーメントを I_1 、吊り糸のねじれによるモーメントを μ_1 、抵抗係数を P_1 とすれば、第1振子の運動方程式は、

$$I_1 \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} + P_1 \frac{d\varphi_1}{dt} + (M_1 g l_1 \sin \theta_1 + \mu_1) \varphi_1 - a_1 \tau_1 \sin \alpha_1 \sin \varepsilon = M_1 g l_1 \sin \Psi \dots \dots \dots (3)$$

となり、 θ_1 、 ε 、 Ψ は小さい角であるから (3) 式は、

$$I_1 \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} + P_1 \frac{d\varphi_1}{dt} + (M_1 g l_1 \theta_1 + \mu_1) \varphi_1 - a_1 \tau_1 \varepsilon \sin \alpha_1 = M_1 g l_1 \Psi \dots \dots \dots (4)$$

となる。第2振子の慣性モーメントを I_2 、吊り糸のねじれによるモーメントを μ_2 、抵抗係数を P_2 とする。

第2振子の傾斜角は $(a_1\varphi_1/h_2) + \Psi$ であるが、 Ψ は $a_1\varphi_1/h_2$ に比べて無視しうほど小さいから $(a_1\varphi_1/h_2) + \Psi \doteq a_1\varphi_1/h_2$ とすれば、第2振子の運動方程式は、

$$I_2 \frac{d^2\varphi_2}{dt^2} + P_2 \frac{d\varphi_2}{dt} + (M_2 g l_2 \sin\theta_2 + \mu_2) \varphi_2 = M_2 g l_2 \sin \frac{a_1\varphi_1}{h_2} \dots\dots\dots (5)$$

となり、 θ_2 、 $a_1\varphi_1/h_2$ は小さい角であるから (5) 式は、

$$I_2 \frac{d^2\varphi_2}{dt^2} + P_2 \frac{d\varphi_2}{dt} + (M_2 g l_2 \theta_2 + \mu_2) \varphi_2 = M_2 g l_2 \frac{a_1\varphi_1}{h_2} \dots\dots\dots (6)$$

となる。また第2振子の傾斜角が $a_1\varphi_1/h_2$ であることから、

$$\varphi_2' = \frac{a_1\varphi_1/h_2}{\theta_2} = \frac{a_1\varphi_1}{h_2\theta_2} \dots\dots\dots (7)$$

(2), (4), (6), (7) 式を連立させて φ_2 を Ψ の関数として求める。(2) 式において

$$\frac{(h_2 - d_2)\theta_2}{e_2 \sin\alpha_1} = \xi \text{ とおけば、}$$

$$\varepsilon = \varphi_2 - \varphi_1 - \xi(\varphi_2' - \varphi_2) = (1 + \xi)\varphi_2 - \varphi_1 - \xi\varphi_2' \dots\dots\dots (8)$$

(7) 式を (8) 式へ代入すれば、

$$\varepsilon = (1 + \xi)\varphi_2 - (1 + \frac{a_1\xi}{h_2\theta_2}) \varphi_1 \dots\dots\dots (9)$$

となる。(6) 式の特解を求めると、第1振子の回転角 φ_1 に対する第2振子の回転角 φ_2 が求められる。

$$\varphi_2 = \frac{M_2 g l_2}{M_2 g l_2 \theta_2 + \mu_2} \cdot \frac{a_1\varphi_1}{h_2} \dots\dots\dots (10)$$

(9), (10) 式を (4) 式に代入すると、

$$I_1 \frac{d^2\varphi_1}{dt^2} + P_1 \frac{d\varphi_1}{dt} + \left\{ M_1 g l_1 \theta_1 + \mu_1 - a_1 \tau_1 \sin\alpha_1 \left[\frac{a_1(1+\xi)M_2 g l_2}{h_2(M_2 g l_2 \theta_2 + \mu_2)} - 1 - \frac{a_1\xi}{h_2\theta_2} \right] \right\} \varphi_1 = M_1 g l_1 \Psi \dots\dots\dots (11)$$

となり、この方程式の特解を求めると、傾斜 Ψ に対する第1振子の回転角 φ_1 が求められる。

$$\varphi_1 = \frac{M_1 g l_1 \Psi}{M_1 g l_1 \theta_1 + \mu_1 - a_1 \tau_1 \sin\alpha_1 \left[\frac{a_1(1+\xi)M_2 g l_2}{h_2(M_2 g l_2 \theta_2 + \mu_2)} - 1 - \frac{a_1\xi}{h_2\theta_2} \right]} \dots\dots\dots (12)$$

(12) 式を (10) 式へ代入すれば、

$$\varphi_2 = \frac{M_2 g l_2}{M_2 g l_2 \theta_2 + \mu_2} \cdot \frac{a_1}{h_2} \cdot \frac{M_1 g l_1 \Psi}{M_1 g l_1 \theta_1 + \mu_1 - a_1 \tau_1 \sin\alpha_1 \left[\frac{a_1(1+\xi)M_2 g l_2}{h_2(M_2 g l_2 \theta_2 + \mu_2)} - 1 - \frac{a_1\xi}{h_2\theta_2} \right]} \dots\dots\dots (13)$$

となる。従って倍率は次式で表わされる。

$$n = \frac{M_2 g l_2}{M_2 g l_2 \theta_2 + \mu_2} \cdot \frac{a_1}{h_2} \cdot \frac{M_1 g l_1}{M_1 g l_1 \theta_1 + \mu_1 - a_1 \tau_1 \sin\alpha_1 \left[\frac{a_1(1+\xi)M_2 g l_2}{h_2(M_2 g l_2 \theta_2 + \mu_2)} - 1 - \frac{a_1\xi}{h_2\theta_2} \right]} \dots\dots\dots (14)$$

また振子の周期は、

$$\text{第1振子: } T_1 = \sqrt{I_1 / (M_1 g l_1 \theta_1 + \mu_1)} \dots\dots\dots (15)$$

$$\text{第2振子: } T_2 = \sqrt{I_2 / (M_2 g l_2 \theta_2 + \mu_2)} \dots\dots\dots (16)$$

$$\text{複合振子: } T_0 = \sqrt{I_1 / (M_1 g l_1 \theta_1 + \mu_1 - a_1 \tau_1 \sin\alpha_1 \xi)} \dots\dots\dots (17)$$

で表わされる。ただし

$$\xi = \frac{a_1(1+\xi)M_2 g l_2}{h_2(M_2 g l_2 \theta_2 + \mu_2)} - 1 - \frac{a_1\xi}{h_2\theta_2} \dots\dots\dots (18)$$

とする。

従って傾斜計の倍率は周期 T_0 、 T_2 の関数として表わせて、

$$n = \frac{M_1 g a_1}{(2\pi)^2 I_1} \cdot \frac{M_2 g a_2}{(2\pi)^2 I_2} \cdot \frac{l_1}{h_2} (T_0 T_2)^2 \dots\dots\dots (19)$$

となる。

二重振子型傾斜計の種々の値掲げる。

$$\begin{aligned} M_1 &= 2271\text{g}, & M_2 &= 5.7\text{g}, \\ l_1 &= 14.79\text{cm}, & l_2 &= 1.69\text{cm}, \\ b_2 &= 1.90\text{cm}, & k_2 &= 3.07\text{cm}, & a_1 &= 18.95\text{cm}, & h_2 &= 14.40\text{cm}, \\ r_1 &= 1.4 \times 10^{-2}\text{cm}, & r_2 &= 1.5 \times 10^{-3}\text{cm}, & \mu_1 &= 2.35 \times 10^3 \text{dyne} \cdot \text{cm}, & \mu_2 &= 1.07 \text{dyne} \cdot \text{cm}, \\ I_1 &= 545800 \text{g} \cdot \text{cm}^2, & I_2 &= 27.59 \text{g} \cdot \text{cm}^2 \end{aligned}$$

これらの値を (19) 式に代入すれば、

$$n = 17.5(T_0 T_2)^2 \dots \dots \dots (20)$$

となる。

傾斜計が安定であるための条件は $M_1 g l_1 \theta_1 + \mu_1 - a_1 \tau_1 \sin \alpha_1 \zeta > 0$ である。 $M_2 g l_2 \theta \gg \mu_2$ を考慮すれば次式に書き直せる。

$$M_1 g l_1 \theta_1 + \mu_1 - a_1 \tau_1 \sin \alpha_1 \left\{ \frac{a_1}{h_2 \theta_2} - 1 \right\} > 0 \dots \dots \dots (21)$$

(21) 式の左辺を T_1 , T_2 の関数として表わしてみると、

$$\tau_1 \sin \alpha_1 = \tau_2 \sin \alpha_2 (=c) \dots \dots \dots (22)$$

$$M_2 g k_2 = \tau_1 b_2 \cos \alpha_1 \dots \dots \dots (23)$$

$$M_2 g (k_2 - b_2) = \tau_2 b_2 \cos \alpha_2 \dots \dots \dots (24)$$

また、

$$\left(b_2 - \frac{h_2}{2} \tan \alpha_1 - \frac{h_2}{2} \tan \alpha_2 \right) / h_2 = \theta_2 \dots \dots \dots (25)$$

以上の式より、

$$c = \left(\frac{b_2}{h_2} - \theta_2 \right) k \dots \dots \dots (26)$$

ただし、 $\frac{1}{k} = \frac{b_2}{2} \left[\frac{1}{M_2 g h_2} + \frac{1}{M_2 g (h_2 - b_2)} \right]$ とおく。

(26) 式を (21) 式に代入し、数値を入れて計算すると、

$$\frac{2.15 \times 10^7}{T_1^2} - 1.42 \times 10^5 T_2^2 - \frac{1.09 \times 10^4}{T_2^2} + 1.37 \times 10^5 > 0 \dots \dots \dots (27)$$

となる。一方 (14) 式の n を T_1 , T_2 の関数として、数値を入れて計算すれば、

$$n = \frac{2.15 \times 10^7}{T_1^2} - \frac{3.76 \times 10^8}{1.42 \times 10^5 T_2^2} - \frac{1.09 \times 10^4}{T_2^2} + 1.37 \times 10^5 \dots \dots \dots (28)$$

となる。

2.3 室内実験

感度検定の実験は、防災研究所地殻変動部門の実験室で行なった。倍率を求めるために次の3つの方法を試みた。

- 1) T_1 , T_2 を適当に与え、(28) 式によって倍率を求める。
- 2) T_1 , T_2 を適当に与え、振子を振動させて T_0 を実測し、(20) 式によって倍率を求める。
- 3) 二重振子型傾斜計の本体を試験台に固定し、試験台に適当な傾斜を与えたときのレコーダー上の光点の移動距離を測定することにより直接に倍率を求める。

試験台に与えた傾斜を Ψ 、光点の移動距離を d とすれば、感度は

$$S = \frac{\Psi}{d} \dots \dots \dots (29)$$

で表わされる。第2振子の回転角を φ_2 、ミラーからレコーダーまでの光学距離を D とすれば、

$$d=2D\varphi_2 \cdots \cdots (30)$$

また倍率は、

$$n=\varphi_2/\Psi \cdots \cdots (31)$$

となる。(29), (30), (31) 式より, Ψ , φ_2 を消去すれば, 倍率と感度の関係として,

$$n=\frac{1}{2DS} \cdots \cdots (32)$$

が得られる。ただし, D は cm, S は rad/cm で表わすものとする。従って S の単位を $^{\circ}/\text{mm}$ にとれば,

$$n=\frac{10^5}{9.69DS} \cdots \cdots (33)$$

となる。

試験台の脚は、微動ネジの1回転で0.5mm、マイクロネジの1回転で0.002mm上下し、マイクロネジ1回転で試験台に0.5 $^{\circ}$ の傾斜を与えるように設計してある。従って、マイクロネジの回転数を M , 光点の移動距離を d (mm) とすれば、

$$S=\frac{0.5M}{d}=\frac{M}{2d} (^{\circ}/\text{mm}) \cdots \cdots (34)$$

$$n=\frac{2 \times 10^5 d}{9.69DM} \cdots \cdots (35)$$

となる。すなわち、倍率は、マイクロネジの回転数、光点の移動距離、光学距離によって決定できる。

実験の結果、1)の方法は T_1 , T_2 のわずかの測定誤差が、倍率に大きく影響することがわかり、感度検定の方法として不適当であると考えられる。また、観測所で実際に感度を検定する場合には3)の方法はかなり面倒なので、2)の方法によるのが適当であると思う。2)の方法によって求めた理論倍率、ならびに3)の方法によって求めた実験倍率を Table. 1 に掲げてある。Fig. 3 は (20) 式による倍率曲線であり、

Table. 1. Experimental and theoretical magnifications of the tiltmeter of double horizontal pendulum type.

T_1 (sec)	T_2 (sec)	T_0 (sec)	d_m (cm)	n_e	n_t	n_e/n_t
7.32	1.14	7.65	1.03	1,120	1,330	0.917
	1.35	8.58	1.63	1,850	2,350	0.804
	1.54	10.04	4.76	5,390	4,180	1.290
9.80	1.05	10.56	2.14	2,420	2,150	1.130
	1.23	11.77	2.97	3,360	3,670	0.916
	1.45	16.44	7.89	8,910	9,940	0.896
	1.52	24.12	16.13	18,300	23,500	0.779
11.64	1.06	12.68	2.50	2,730	3,160	0.864
	1.20	14.82	3.42	3,870	5,530	0.700

Table. 1 の T_0 , T_2 の値をプロットしてある。また、Fig. 4 は理論倍率と実験倍率を比較した図である。2)の方法で得られた倍率と3)の方法で得られた倍率とを比較すると10%ないし20%程度の差違がみられる。その主な原因としては、第1に微動ネジのピッチの不正確さとか歯車のギャップなどの影響で、試験台に与える傾斜が一様にならないこと、第2に、振子の方向の変化による倍率の変化があげられる。第3に、実験室の傾斜日変化が4 $^{\circ}$ もあり、傾斜速度が大きいときには0.5 $^{\circ}$ /hourにも達するので、高感度になるほど

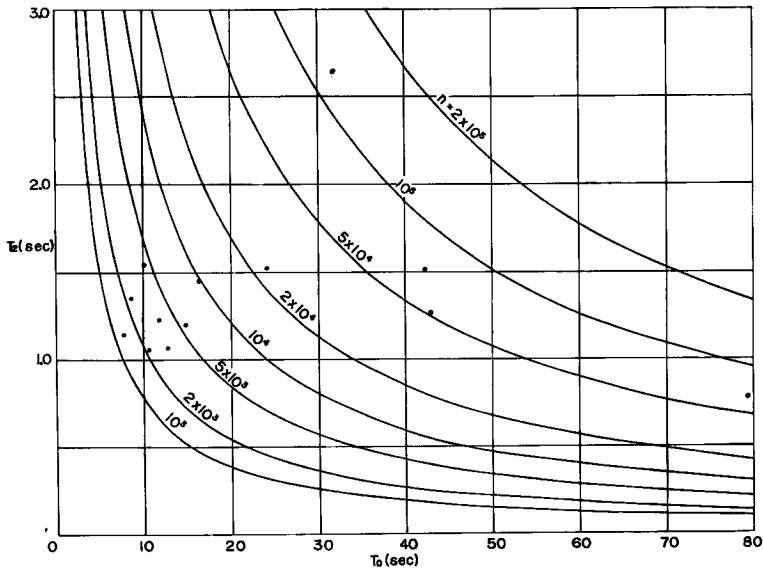


Fig. 3. Magnification curve.
 T_0 =period of compound pendulum,
 T_2 =period of 2nd pendulum, n =magnification.

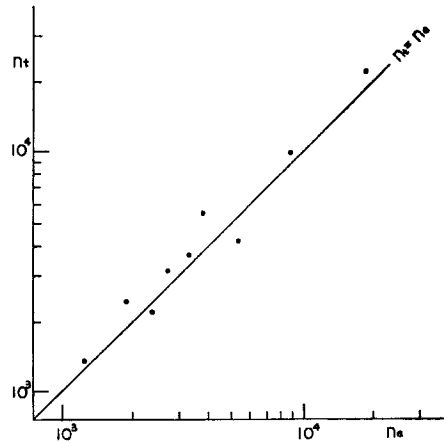


Fig. 4. Comparison between experimental and theoretical magnifications.

実験中に光点が移動する速度が大きくなることがあげられる。その他に **damping** による周期の上昇も考えられるが計算の結果ほとんど問題にならなかった。このように考えてくると、室内実験では10%ないし20%の差違はどうしても避けられず、これ以上感度を正確に求めるには傾斜変化の少ない場所で実験を行なう必要がある。実際の観測にあたっては、 T_1 と T_2 の値をどのようにとれば最も安定し、しかも高感度が得られるかということが問題になる。第1振子の回転軸と鉛直線のなす角 θ_1 と、第2振子の回転軸と鉛直線のなす

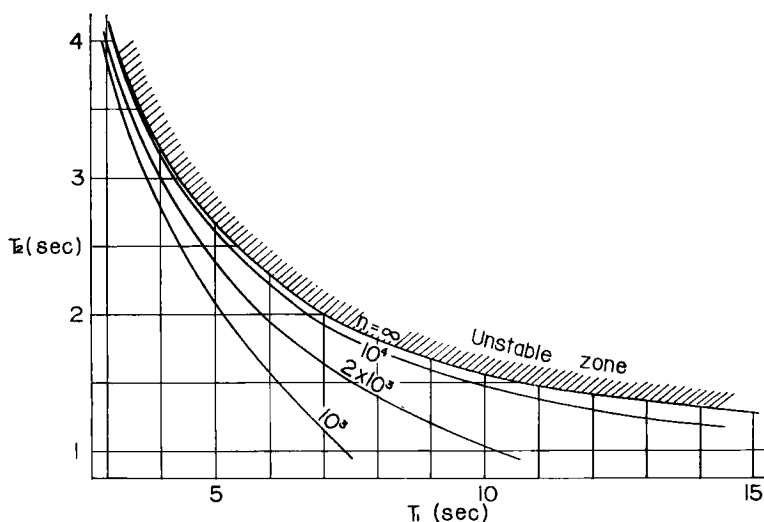


Fig. 5. Magnification curve.

 T_1 =period of 1st pendulum, T_2 =period of 2nd pendulum, n =magnification.

角 θ_2 とが同じ値になるように感度を調整すれば、 $T_1 : T_2 = 3 : 1$ となるが、実際には第2振子の方が不安定なので $\theta_2 > \theta_1$ となるように、 $T_1 = 10\text{sec}$ 前後で使用するのが最も適当であると考えられる。Fig. 5 は (28) 式による倍率曲線である。図中斜線を引いてあるのは振子の不安定領域である。

3. 観測結果

観測開始以来、感度の検定を行なった回数が少なく、しかも T_0 は測定せずに T_1 , T_2 のみを測定している場合が多いので感度を正確に求めることは困難である。しかし、二重振子型傾斜計と水平振子型傾斜計は同じ地面の傾斜を記録しているはずであるから、二重振子型傾斜計の記録を感度が正確に求まる水平振子型傾斜計の記録と比較することによって、逆に二重振子型傾斜計の感度が求められる。実際には、同じコンクリート台上にセットしてあるにもかかわらず、記録された傾斜永年変化は必ずしも一致していない。この原

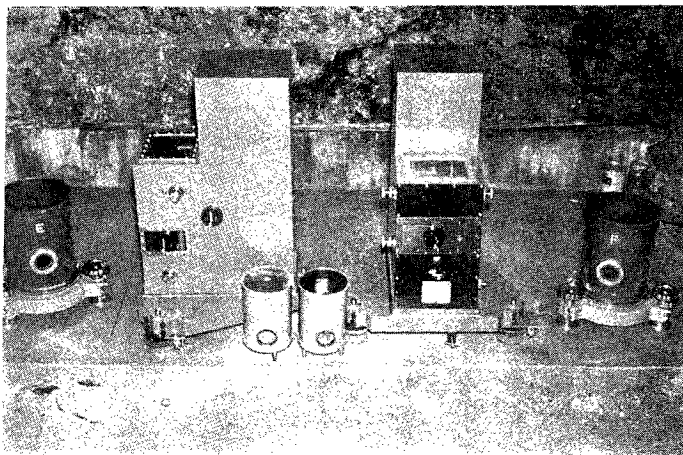


Photo. 2. Disposition of the tiltmeters at the Nagashima observatory.

因は、二重振り子型傾斜計の構造が複雑であり、振子の質量も非常に大きいので、長期間のうちには器械自身に変形するのではないかとも思われるが、今後よく検討し、改良してゆきたいと思っている。**Photo. 2**は長島地殻変動観測所の器械の配置を示したもので、岩盤に密着したコンクリート台上の、中央に二重振り子型傾斜計2成分、両端に水平振り子型傾斜計各1成分を設置してある。前方の円筒形の計器は温度計と気圧計である。逢坂山、秋葉山の器械の配置もほぼ同じである。以下、各観測所の傾斜変化について考察するが、今回は傾斜速度の変化と地震の関連については触れないことにする。

Fig. 6に逢坂山の傾斜変化を示す。 A 成分は $N 38^{\circ} E$ 方向の傾斜を表わす。 A_1 , A_2 は各々第1振り子、第2振り子の記録、 A_3 は水平振り子型傾斜計の記録であるが、極めてよい一致を示している。 A 成分と直角方向の B 成分では、二重振り子型傾斜計と水平振り子型傾斜計の対応がつけにくい、これは器械の構造が違うために、温度変化などの影響の違いによって生じたものと思われる。当然のことながら、第1振り子と第2振り子は読取りの誤差を考慮すれば全く同じ動きをしていることがわかる。このことは3観測所のすべての二重振り子型傾斜計について同様である。

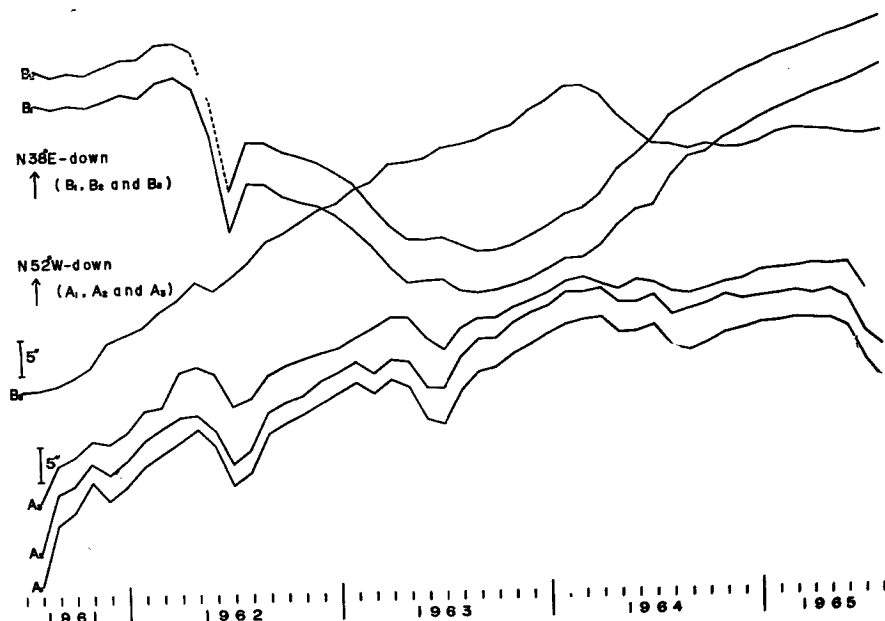


Fig. 6. Secular ground tilt observed at Ōsakayama. Suffixes 1 and 2 indicate 1st pendulum and 2nd pendulum of the tiltmeter of double horizontal pendulum type, respectively, and 3 indicates the tiltmeter of usual horizontal pendulum type.

Fig. 7に長島の傾斜変化を示す。途中点線部分は、トンネルの水圧検査のための欠測期間である。その後の傾斜変化が非常に穏やかになっているが原因ははっきりしない。 A_1 , A_2 と A_3 はかなりよい対応を示しているが、 A_3 にはときどき急激な傾斜変化が見られる。これが、器械によるものか、コンクリート台が歪んだための影響であるかはどちらも断定できないが、 A 成分に関しては、二重振り子型傾斜計の方が地面の傾斜変化をより正確に記録しているものと思われる。 B 成分に関しては、二重振り子型傾斜計が図に見られるような異常な傾斜変化を記録している。これは恐らく、第1振り子を吊っている frame の変形によるものではないかと思われる。

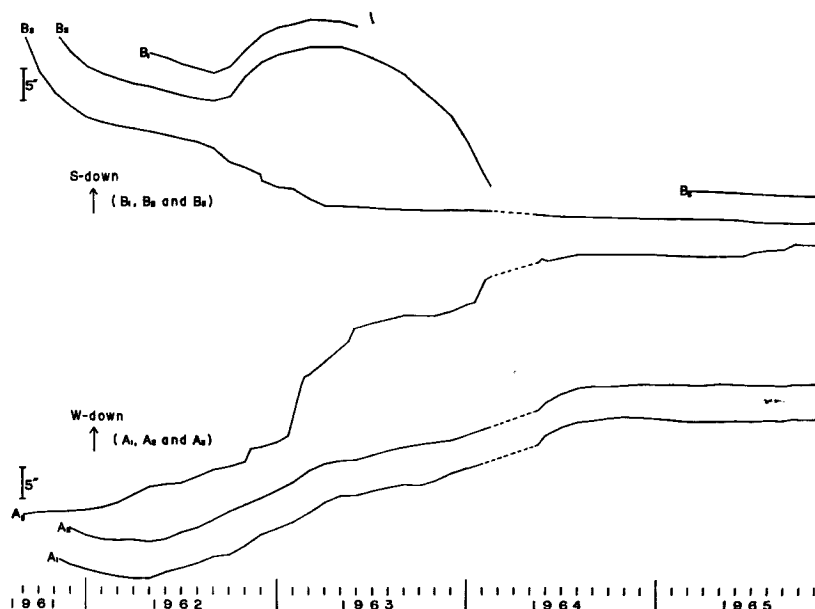


Fig. 7. Secular ground tilt observed at Nagashima.

Fig. 8 に秋葉山の傾斜変化を示す。ここでは、二重振子型傾斜計の設置方向が異なるので直接の比較はできない。傾斜成分の合成分解によって同方向の傾斜成分に直せば比較できるわけだが、欠測の期間があるのでやっていない。

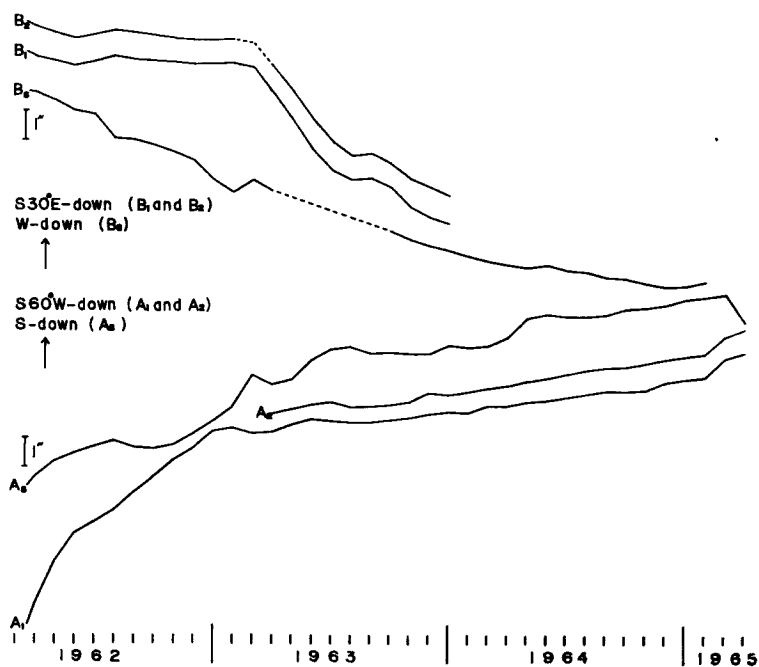


Fig. 8. Secular ground tilt observed at Akibasan.

秋葉山では、1964年3月28日のアラスカ地震による地球の自由振動らしきものを記録した。Photo. 3 がその記録であるが、約1時間周期の波が海洋潮汐による傾斜変化曲線の上に明瞭ののっている。これについては検討中である。

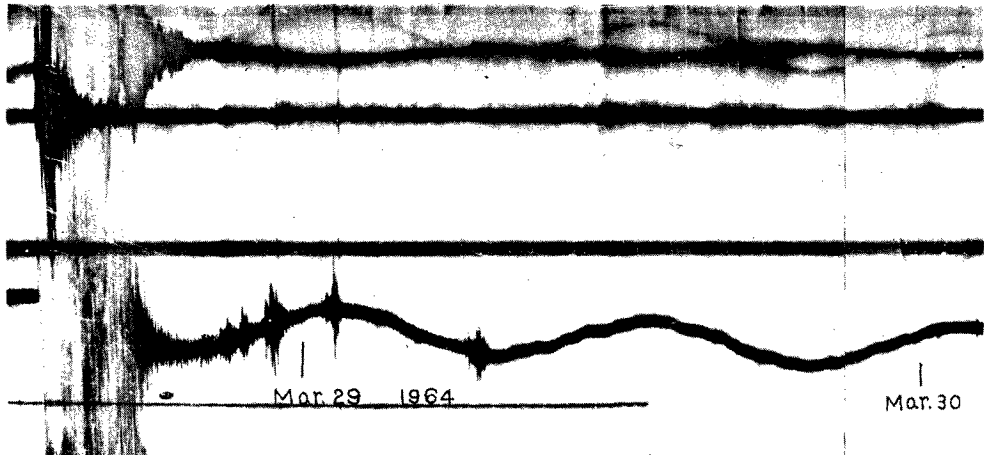


Photo. 3. Record of tiltmeter of double horizontal pendulum type observed at Akibasan at the time of the Alaskan earthquake.

4. あとがき

数年間にわたって、二重振子型傾斜計による地殻傾動の観測を続けてきたわけであるが、従来の水平振子型傾斜計の記録と比較してみると、地面の傾斜変化を必ずしも正確に記録しているとは思えない場合がある。これはすでに指摘したように、あるいは器械の構造上の欠陥によるものかもしれないので、今後改良してゆきたい。安定性については、従来の水平振子型傾斜計のように光点がスケールアウトすることもなく極めて安定であることが実証された。感度については、秋葉山の記録に見られるように、従来の傾斜計に比べて数倍の感度が出ている。

二重振子型傾斜計は、故西村英一教授の発案により田中が考案したものであるが、設計の詳細ならびに製作は津島吉男技官によって行なわれた。また、感度検定の実験は、当時地球物理学科4回生であった望月英志君と共に加藤が行なった。なお、この研究を進めるに当っては、田中寅夫助教授、山田勝君、小林誠君の並々ならぬ協力を仰いだ。ここにこれらの方々に厚くお礼申し上げる。また、口頃、記録の読取、器械の修理に当たってこられた研究室の方々、記録の取換に当っておられる観測所の方々に深く謝意を表する次第である。本論文をまとめるに当っては、一戸時雄教授から数々の貴重なご教示をいただいた。心から感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 石本巳四雄：「シリカ」傾斜計，地震第1巻，昭和4年，pp. 17—32
- 2) H. Lettau：Das Horizontal doppel Pendel，Zeitschrift für Geophysik 13，1937，pp. 25—33
- 3) 矢崎敬三，竹山一郎，田中康裕：複水平振子傾斜計の試作について，験震時報，第20巻第2号，1955年，pp. 11—20