

重力変化の長期観測 (第1報)

西村 英一・中川 一郎・一戸 時雄

LONG PERIOD OBSERVATION OF GRAVITY CHANGE (First Paper)

by *Dr. Sci. Eiichi NISHIMURA, Ichirō NAKAGAWA and
Dr. Sci. Tokio ICHINOHE*

Synopsis

Observations with Ichinohe gravity variometer of double bifilar suspension type have been made at 10 stations in Japan since several years ago for the purpose of detailed investigation on time change of gravity. On the other hand, a long period observation with Askania gravimeter No. 111 was commenced at the International Reference Station of Gravity of Kyoto in Japan since July 1959 and is being continued up to the present time. These observations will offer the significant information for investigating either micro-change of gravity or relation between the gravity change and other geophysical phenomena, and will serve for research of earthquake prediction in the near future.

In this paper, results obtained by the Askania gravimeter No. 111 during a period of the first one year from August 1959 to August 1960 are described somewhat in detail. After a detailed discussion, it was concluded that reliability of the value of tidal factor of gravity determined by one month's observation was within 3% of its value in the favourable observational condition and suitable correction as in the present case.

緒 言

重力の値の地理的分布は、地球内部の物質分布と密接な関係があり、その時間的変化は、地球におよぼす起潮力の potential の変化や地球内部における物質の状態変化のあらわれである。前者に関する研究は、古くから行なわれていたが、後者に関するそれは、かなりおくれしており、精度の上から満足な観測は、ようやく最近十数年間において、さかんに行なわれるようになっただけである。その理由としては、いろいろなことからあげることができるが、変化する量が極めて小さいことと、それを観測するために用いられる計器が十分な精度をもつていなかったことが、主なるものである。しかし、探鉱用の重力計の出現によつて、重力の地理的分布の研究も、また、重力の時間的変化の研究も、ともに、一大飛躍を遂げた。とくに、国際地球観測年の実施は、重力値の国際的連結と重力の時間的変化の同時精密観測という二点において、画期的な発展をもたらした。この方面の研究に、大きな貢献をなした。

よく知られているように、重力の時間的変化は、周期的なものと非周期的なものに分けて考えることができる。重力の周期的な変化は、極めて規則的なものであつて、天体の起潮力の作用によつて惹起されるものであり、通常、重力の潮汐変化とよばれている。重力の潮汐変化を測定する意義に関しては、すでに、多くの考察が試みられているので、本稿では繰返すことを差控えるが、要点だけを略述しておこう。

いま、地球上の一点における起潮力の potential を W_2 とすると、地球が完全な剛性体であり、したが

つて、起潮力の作用に対して変形しない場合は、その一点における重力変化 Δg_{rigid} は

$$\Delta g_{\text{rigid}} = (\partial W_2 / \partial r)_{r=a}$$

で表わされる。ただし、 r は地球の中心からその点までの radius vector, a は地球の平均半径である。ところが、実際の地球は有限の弾性体であり、したがって、起潮力の作用によつて多少は変形するので、地球上で、実際に観測される重力変化 Δg は

$$\Delta g = G(\partial W_2 / \partial r)_{r=a}, \text{ ただし, } G = 1 - 3k/2 + h$$

になる。ここに、 h および k は Love number とよばれる無次元の常数で、いずれも、地球内部の密度分布や弾性状態に密接な関係をもつ量である。また、係数 G は、通常、重力の tidal factor とよばれている。

ところが、一方、鉛直線方向変化を傾斜計で観測することによつて

$$D = 1 + k - h$$

なる値を求めることができる。 D は、通常、diminishing factor とよばれている。したがって、重力変化と鉛直線変化を、それぞれ重力計と傾斜計で、同時に観測することによつて、 G と D の値を求めることができ、これらを組み合わせることによつて、地球内部に関する何らの仮定もなしに、Love number h と k の値を求めることができる。このような意味から、重力計と傾斜計による同時観測が強く望まれる。

重力の非周期的変化を起す原因としては、地球内部における物質の移動や変化、土地の隆起沈降、海水面や地下水面の変化、大気の状態変化など、いろいろなものをあげることができる。なかでも、大地震の発生や火山の爆発のさいには、震源地や火口の付近においては、明らかに地殻に変化が生じており、これに伴なつて、当然、重力変化が生じているものと思われる。しかしながら、かかる場合に、重力変化が観測された例は、極めて稀である。その理由としては、変化する量が極めて小さいこと、観測値から真の重力変化だけを取り出すことがむづかしいこと、変化の起りそうな場所での重力の繰返し測定が実際には実行困難なこと…などがあげられる。

しかし、飯田・早川・片寄²⁾は、1949年12月26日の今市地震後の約3カ月間に、震源地に近い日光・今市間の重力差が 0.15 mgal 変化し、約1カ年の後に、ふたたびもとの状態にもどつたことを観測している。さらに、彼ら²⁾は、1950年から1951年にかけて、間歇的に起つた大島三原山の爆発のさいにも、火山活動に伴なつて、重力が変化したことを報告している。彼らの結果によると、そのさいの変化量は、火口に近いほど大きくて 0.3~0.4 mgal に達し、山の中腹では 0.01 mgal 程度であつた。これら二例は、極めて貴重な観測結果であり、観測場所さえ適当に選べば、繰返し観測を実施することによつて、地球内部の状態変化に伴なう重力の時間的変化を観測することの可能性を、明瞭に示唆している。

一方、筆者ら³⁾も、Askania gravimeter によつて得られた重力変化の記録上に、しばしば、30~60分の周期をもつ不規則変化があらわれることを観測している。これらのうちの大部分は、観測計器の個性にもとづく見掛け上の重力変化や人為的な擾乱であろうと思われるが、当然、真の重力変化も含まれているものと思われる。実際、約 400 km はなれた京都と千葉の二地点で、1カ月の間に、十数回のかかる変化が、同時に観測されている。この変化は、かなり広い範囲にわたつて、同時に生じた重力変化であろうと思われ、その原因を探究することは、まことに興味深く、現在、種々検討中である。

さて、筆者らは、数年前から、Station gravimeter 10台と Askania gravimeter 1台による重力の時間的変化の観測を実施している。前者は、主として近畿地方以西の10地点に設置されており、自記録によつて、観測が続けられている。これに対し、後者は、国際地球観測年の期間中は、国内11地点において、各1カ月観測を実施し(以後、これを短期観測とよぶ)、1959年7月以降は、京都に常置して観測を行なつている(以後、これを長期観測とよぶ)。

Askania gravimeter による短期観測は、主として、観測場所のちがいが、重力の潮汐変化に、いかなる影響をおよぼすかということ調べるために実施されたものであつて、それゆえ、観測地点の選定にあつては、海洋潮汐と観測地点付近の地下構造という二点が、とくに考慮されている。Askania gravimeter に

よる京都における長期観測は、主として、観測時期のちがいによつて、観測結果がどの程度ことなるかということ調べ、あわせて、重力の不規則変化に対しても、詳しい資料を得るために実施されている。これらのことから、もちろん、10地点に常置されている Station gravimeter によつても、同時に観測されている。重力の時間的変化の全貌は、これらすべての観測資料が完全に整理されたのちに、はじめて明らかにされるものであり、それまでには、なお、いくばくかの月日を必要とするので、本稿では、さしあたり、1959年8月から1960年8月までの約1カ年間に、Askania gravimeter によつて得られた観測結果をのべよう。

重力変化の観測資料には、周期的なものと非周期的なものが含まれている。したがつて、観測資料から非周期的な変化を検出するためには、まず、周期的な変化をことごとくとり除く必要がある。元来、重力の非周期的な変化は、長期間にわたる連続同時観測によつてのみ、検出することができるのであつて、本稿で取扱つていような1台の重力計によつて得られた1カ年にわたる資料だけからは、それを議論することは冒険である。しかしながら、重力の潮汐変化に対しては、1カ年にわたる資料は、十分な情報を提供してくれる。したがつて、本稿では、まず、重力の周期的変化を詳しく議論し、防災的な研究に直接つながる重力の非周期的変化を調べるための基礎を確立することを試みよう。

1. 観測および検定

観測には、Askania gravimeter No. 111 が用いられている。この重力計には、自記記録装置が備えられており、その詳細は、すでにのべられているので³⁾、本稿では省略する。

観測室は、京都大学理学部地球物理学教室の地下にある国際重力基準点である。この部屋には、恒温恒湿装置が完備されており、一年中、部屋全体が、温度 $19.5^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $55\% \pm 1\%$ に調整されている。重力計や記録器は、建物と切り離されている concrete の基準点上に設置されている。観測室の位置は、つぎの通りである。

Latitude : $35^{\circ}01'8\text{N}$
 Longitude : $135^{\circ}47'2\text{E}$
 Height : 59.9 metres above mean sea level
 Depth : 2.4 metres below ground level

すでにのべたように、この観測は、1959年7月以降、継続して実施されているが、本稿で取扱つているのは、最初の約1カ年間に得られた資料である。

観測に用いられた重力計は、さきの短期観測の場合とまったく同様に、検定されている。Askania gravimeter No. 111 の検定に関する詳細は、筆者の一人^{4),5)}によつて、短期観測の場合について、報告されている。その結果によると、この重力計は、槽内温度として 40°C を用いる限り、重力計に内蔵されている感度検定装置を用いて決定した scale constant は、重力計の製作会社によつてあたえられている値と、0.1%より良好な精度で、一致している。今回の長期観測にさいして行なわれた検定においても、これとまったく同じ結論が得られている⁶⁾。検定結果の詳細は、本稿では省略するが、資料を処理するさいの基礎となる記録感度——記録上の1mmに対応する重力の値——だけは、各解析期間について、Table 1 に示す。

Table 1 より、1年間における記録感度の変化は、約7%に達していることがわかる。この表において、1960年6月（解析番号15）以降は、それ以前に比して、記録感度の値そのものにも、それを決定するさいの精度にも、ともに明瞭な差が認められる。その間の記録が乱れがちであつたことに、原因があるものと思われる。

2. 観測結果

観測資料の処理は、さきの短期観測の場合^{5),7)}とまったく同様に行なわれている。毎時の読取値からは、Pertzev の方法⁸⁾によつて、まず、重力計の drift が消去されており、それにつづく調和解析は、Lecolazet の方法⁹⁾によつて、行なわれている。調和解析的方法的な優劣は、同一の観測資料を用いて、筆者の

Table 1 Scale constant of recording

Analysis number	Central epoch (UT)	Scale constant of recording ($\mu\text{gal}/\text{mm}$)	Error (%)
1	Aug. 24, 00 h, 1959	2.5847 \pm 0.0177	\pm 0.68
2	Sept. 14, 00 h, 1959	2.5207 \pm 0.0252	\pm 1.00
3	Oct. 5, 00 h, 1959	2.4858 \pm 0.0172	\pm 0.69
4	Oct. 26, 00 h, 1959	2.4573 \pm 0.0158	\pm 0.64
5	Nov. 16, 00 h, 1959	2.5149 \pm 0.0248	\pm 0.99
6	Dec. 7, 00 h, 1959	2.5959 \pm 0.0294	\pm 1.13
7	Dec. 28, 00 h, 1959	2.5724 \pm 0.0504	\pm 1.96
8	Jan. 18, 00 h, 1960	2.5975 \pm 0.0409	\pm 1.57
9	Feb. 8, 00 h, 1960	2.5891 \pm 0.0422	\pm 1.63
10	Feb. 29, 00 h, 1960	2.6055 \pm 0.0201	\pm 0.77
11	Mar. 21, 00 h, 1960	2.5528 \pm 0.0149	\pm 0.58
12	Apr. 11, 00 h, 1960	2.5507 \pm 0.0170	\pm 0.67
13	May 2, 00 h, 1960	2.5529 \pm 0.0189	\pm 0.74
14	May 23, 00 h, 1960	2.5489 \pm 0.0110	\pm 0.43
15	June 13, 00 h, 1960	2.6289 \pm 0.0632	\pm 2.40
16	July 4, 00 h, 1960	2.6309 \pm 0.0441	\pm 1.68
17	July 25, 00 h, 1960	2.6417 \pm 0.0146	\pm 0.55

Table 2 Results of harmonic analysis

No.	Central epoch (UT)	M_2		S_2		K_1		O_1	
		G	κ	G	κ	G	κ	G	κ
1	Aug. 24, 00 h, 1959	1.144	-1.°07	1.070	+ 5.°03	1.087	- 1.°22	1.017	+ 0.°22
2	Sept. 14, 00 h, 1959	1.132	-2. 12	1.135	+ 4. 16	1.498	+ 8. 60	1.427	+ 1. 94
3	Oct. 5, 00 h, 1959	1.123	-5. 21	1.154	+ 5. 58	1.368	- 1. 05	1.240	-15. 33
4	Oct. 26, 00 h, 1959	1.149	-3. 01	1.083	+10. 72	1.194	- 2. 21	1.119	+ 0. 91
5	Nov. 16, 00 h, 1959	1.137	-3. 37	1.047	+ 9. 75	1.188	- 3. 00	1.027	- 1. 92
6	Dec. 7, 00 h, 1959	1.164	-1. 70	1.089	+11. 15	1.214	- 2. 96	1.287	- 3. 16
7	Dec. 28, 00 h, 1959	1.147	-2. 15	0.995	+ 4. 71	1.285	- 5. 93	1.220	- 0. 13
8	Jan. 18, 00 h, 1960	1.157	-1. 99	1.028	+ 0. 86	1.317	- 5. 78	1.232	- 0. 05
9	Feb. 8, 00 h, 1960	1.145	-1. 61	1.113	+ 1. 88	1.177	- 6. 47	1.155	+ 0. 25
10	Feb. 29, 00 h, 1960	1.130	-2. 34	1.089	- 7. 36	1.257	- 5. 62	1.150	+ 0. 34
11	Mar. 21, 00 h, 1960	1.162	-1. 57	1.088	+ 0. 83	1.134	-11. 08	1.126	+ 1. 89
12	Apr. 11, 00 h, 1960	1.177	-0. 83	1.085	+ 3. 13	0.896	- 3. 24	1.231	- 8. 78
13	May 2, 00 h, 1960	1.144	-0. 79	1.062	+ 0. 39	1.011	+ 1. 78	1.203	+ 2. 41
14	May 23, 00 h, 1960	1.150	-1. 71	1.082	- 1. 13	1.023	+ 0. 18	1.263	+ 5. 62
15	June 13, 00 h, 1960	1.092	-1. 61	1.188	+ 3. 83	1.025	+ 0. 10	1.190	+ 1. 16
16	July 4, 00 h, 1960	1.130	-3. 82	1.099	+ 1. 80	1.087	+ 2. 42	1.197	- 2. 95
17	July 25, 00 h, 1960	1.147	-3. 20	0.900	+ 7. 28	1.111	+ 3. 26	1.153	+ 1. 57

一人¹⁰⁾によつて、詳しく調べられている。その結果によると、Lecolazet の方法がもつとも優れているということが確かめられているので、今回の調和解析には、Lecolazet の方法が用いられている。

Lecolazet の方法は、元来連続した1カ月の資料に対して適用されるものであるから、1カ年にわたる資料に適用するためには、適当に、資料を分割しなければならない。その方法としては、Lecolazet 自身が、彼の方法の著述¹¹⁾の中でのべているように、21日毎に紀元を選ぶことがもつとも望ましい。したがって、21日毎に紀元を採用して、17の調和解析が行なわれている。採用された紀元は、Table 1 および Table 2 に示す。

調和解析によつて、10分潮に関する結果が求められているが⁶⁾、本稿では、 M_2 （太陰半日週潮）、 S_2 （太陽半日週潮）、 K_1 （日月合成日週潮）および O_1 （太陰日週潮）の四つの主要分潮に関する結果だけを Table 2 に示す。この表において、 κ は、phase lag とよばれる量であつて、当該分潮に対応する仮想天体が、観測地点の子午線を通過してから、実際に重力が極小になるまでの時間、換言すると、起潮力の作用に対する地球潮汐現象のおくれを時角で表わしたもので、正符号は現象のすすみを、負符号はおくれを表わす。なお、drift の消去と調和解析は、ともに、Centre International des Marées Terrestres によつて、電子計算機“IBM-650”を用いて、行なわれている。

重力変化の観測中は、室温や気圧の変化も、同時に観測されている。これらの資料も、重力変化の資料と同じように、1時間毎に読取られ、同じ紀元について解析されている⁹⁾。求められた結果のうち、 M_2 分潮と同じ速度をもつ室温と気圧の調和項を、Table 3 に示す。

3. 考察および議論

Table 2 をみると、同一地点で観測が実施されたにもかかわらず、解析期間（したがって、観測時期）のちがひによつて、どの分潮においても、求められた結果にかなり大きいばらつきが認められる。短期間の資料から得られる最も信頼できる M_2 分潮においてさえ、1年間に、重力の tidal factor で約8%、phase lag で約5°の差が認められ、この差は、他の分潮においては、さらに大きい。

観測結果をばらつかせている原因としては、観測誤差、気温・気圧などの気象的擾乱、真の重力変化などを考えることができる。しかし、1年間の解析結果を平均することによつて、一応それらの影響を排除した結果が求められるものと思われる。そこで、Table 2 をもとにして、各分潮毎に1カ年にわたる17解析の結果を平均すると、Table 4 が求められる。

さらに、半日週潮および日週潮に対する tidal factor や phase lag の平均値、および全分潮に対する平均値を Table 5 に示す。ただし、Tables 2, 4 および 5 の phase lag κ には、Askania gravimeter の個性にもとづくおくれ^{4), 12)}が含まれている。

さて、今回のように、一観測地点において実施された連続観測の結果を議論する場合は、観測地点の立地条件、海洋潮汐の影響、観測地点付近の地下構造の相異などに対する考察は不必要であり、気象的な擾乱による重力の見掛け上の変化などを、詳しく追究することができる。そこで、まず観測結果から、気象変化の影響を除去すること

Table 3 Pseudoharmonic terms of room temperature and atmospheric pressure variations for M_2 -period

No.	Temperature		Pressure	
	0.01°C	degree	0.01 mmHg	degree
1	1.150	271.88	0.759	107.95
2	0.753	75.22	23.935	194.25
3	3.241	257.35	31.775	33.07
4	1.347	119.82	2.055	34.82
5	7.158	84.95	15.976	219.28
6	10.063	177.55	22.465	97.97
7	1.024	221.15	6.675	275.28
8	6.082	215.22	5.287	156.08
9	1.081	122.05	1.355	66.83
10	0.271	46.90	11.863	226.33
11	1.080	78.80	6.857	29.17
12	6.343	314.13	8.929	297.40
13	1.003	36.12	21.271	221.10
14	0.865	217.75	5.773	309.78
15	0.526	248.68	2.443	55.57
16	2.668	183.53	6.664	340.57
17	0.154	61.23	3.977	190.02

Table 4 Mean values of analytical results
 Mean epoch : Feb. 8, 00h, 1960 (UT)
 Period of analysis : Aug. 9, 1959-Aug. 8, 1960
 (366 days)

	G	κ
M ₂	1.143 ± 0.005	-2.°24 ± 0.°29
S ₂	1.077 ± 0.016	+3. 68 ± 1. 13
K ₁	1.169 ± 0.037	-1. 90 ± 1. 12
O ₁	1.190 ± 0.024	-0. 94 ± 1. 17

Table 5 Mean values of analytical results
 Mean epoch : Feb. 8, 00h, 1960 (UT)
 Period of analysis : Aug. 9, 1959-Aug. 8, 1960
 (366 days)

	Semi-diurnal	Diurnal
Mean with weights $p=R$	1.125 ± 0.023	1.184 ± 0.038
	-0.°40 ± 1.°83	-1.°78 ± 1.°43
Mean with weights $p=1/e^2$	1.137 ± 0.025	1.193 ± 0.036
	-1.°84 ± 2.°33	-1.°62 ± 1.°48
		All constituents
Mean with weights $p=R$	1.150 ± 0.029	
	-1.°00 ± 1.°19	
Mean with weights $p=1/e^2$	1.140 ± 0.030	
	-1.°82 ± 1.°22	

Table 6 Values of G, α and β

G	1.138 ± 0.005
α	-17 ± 8 $\mu\text{gal}/^\circ\text{C}$
β	-3.9 ± 1.7 $\mu\text{gal}/\text{mmHg}$

Table 6 に示されている α および β の値を用いて、観測結果を補正した求められた tidal factor と phase lag は、補正前の値とともに、Fig. 1 に示す。

Fig. 1 から容易にわかるように、気象変化に対する補正前には、tidal factor で約 8%，phase lag で約 5°のばらつきが認められたが、補正後には、それぞれ約 5% および約 4°と小さくなっている。しかし、解析番号15の tidal factor だけは極端に小さい。一方、Table 1 に示されているように、記録感度の誤差は、このときに最も大きくて ±2.4% に達している。さらに、この期間には、記録そのものの乱れも激しい。これらの諸事情から、解析番号15に關与する期間中に電圧変動が生じ、その影響がかなりの程度に達したものと思われる。したがって、この値だけを除くと、補正後の tidal factor は 3% のばらつきを示しているにすぎなくなる。重力の tidal factor に時間的な変化があるならば、観測誤差とともに、このばらつきの中に含まれているはずであるが、計算の基礎として用いた記録感度の決定に、± 1% の誤差が伴っているので、3% の観測結果のばらつきをさらに詳しく議論することは、現段階では無意味なことと思われる。ただ、

を試みよう。なお、以下の議論は、M₂ 分潮だけについてなされている。

いま、地球上の一点で求められる重力の tidal factor をばらつかせる原因は、気象変化による擾乱だけであると仮定しよう。重力変化の M₂ 分潮に関する調和項(観測値)を $R\cos(\omega t + \epsilon)$ としそれに対応する重力変化の理論値、室温および気圧の観測値を、それぞれ 1、 T および P なる添字を付してあらわすと

$$d \cdot R\cos(\omega t + \epsilon) = G \cdot R_1\cos(\omega t + \epsilon_1) + \alpha \cdot R_T\cos(\omega t + \epsilon_T) + \beta \cdot R_P\cos(\omega t + \epsilon_P)$$

とおくことができる。ここに、 d 、 α および β は、それぞれ drift の消去、室温変化および気圧変化に対する補正係数であり、 G は、室温および気圧変化の影響を除去した重力の tidal factor である。このうち、 d の値は、用いられた drift の消去方法に応じて定まっております¹³⁾、今回の場合は 0.99934 である。Tables 2 および 3 をもとにして、最小自乗法によつて、 G 、 α および β の値を求めた結果は、Table 6 に示す。筆者らの計算^{5), 14)}によると、京都は海洋潮汐の影響をほとんど受けない地点であるから、ここで求められた G の値は、そのまま海洋潮汐の影響までも除去された値とみなしても差支えない。

求められた G の値は、さきに実施された国内11地点での短期観測の結果^{5), 14)}から、海洋潮汐の影響を除去して求められた値 (1.142) と、非常によく一致している。また、 α および β の値は、経験上、それぞれ -80 ~ -20 $\mu\text{gal}/1^\circ\text{C}$ および -3 $\mu\text{gal}/1 \text{ mmHg}$ 程度と見積られていたが、上に求めた値は、これらとよく一致している。

観測誤差を考慮しても、なお、tidal factor に関しては解析番号10と15の値が、phase lag に関しては解析番号3の値が、いずれも異常であることは指摘されるべきであろうと思われる。これらの原因については、現在検討中である。

同一地点における重力の潮汐変化の長期観測は、外国においても、R. Lecolazet¹⁵⁾、P. Melchior¹²⁾、¹⁶⁾、G. Jobert¹⁷⁾、N. N. Pariisky¹⁸⁾ など、多くの人々によつて実施されている。それらは、たがいに観測計器も資料の処理方法もことなつてはいるが、共通していえることは、 M_2 分潮に関する限り、tidal factor で5%、phase lag で4°の差が、解析時期したがつて観測時期のちがひによつて、生じるということである。このことは、短期間の観測資料を用いて、地球の内部構造を論じる場合に、つねに念頭においていなければならない重要なことである。筆者らの得た結果を、外国で同じ時期に求められた観測結果と比較すると、つぎの事実を指摘することができる。

1) R. Lecolazet¹⁵⁾ が Strasbourg で求めた1959年8月から1960年2月の間における M_2 分潮に関する tidal factor や phase lag の変化の様子が、その間における筆者らの結果と、極めてよく似ている。

2) P. Melchior¹²⁾ は Bruxelles において、 M_2 分潮に関する tidal factor の大きい異常(約9%)を1960年5月から同年7月にかけて観測しているが、筆者らの観測結果における最も大きい異常もこの時期に観測されており、その量は約8%に達している。

3) 上に求めた tidal factor(M_2)の値は、東南アジアの各地で求められた値(1.14)と極めてよく一致しているが、ヨーロッパでの値(1.19)よりはるかに小さいものである。

さらに、東南アジアで求められた値は、理論的研究によつて期待されている値^{19),20),21)}とくらべても、はるかに小さいものである。

これら三つのことから、地球全体にわたるかなり広範囲の現象であつて、その原因を詳しく追究するこ

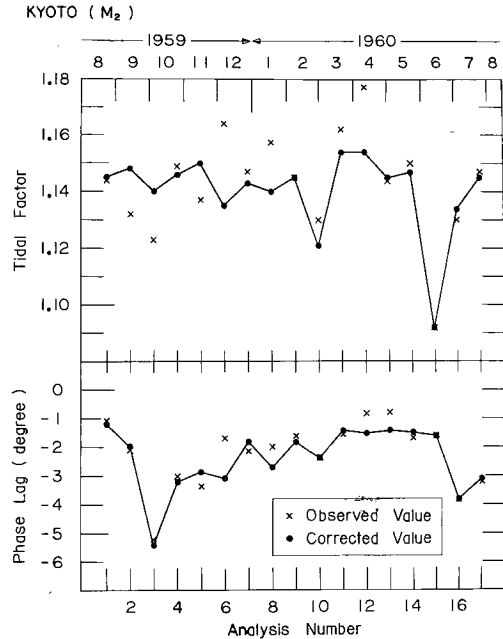


Fig. 1 Tidal factor of gravity and phase lag

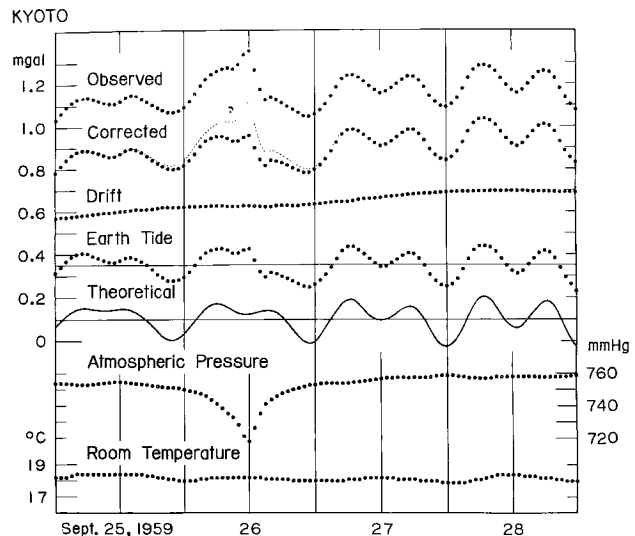


Fig. 2 Abnormal gravity change observed in case of the Isewan typhoon on Sept. 26, 1959

とは、非常に興味深い。

本稿で取扱っている観測期間中において、最も大きい、しかも急激な気圧変化は、伊勢湾台風のさいの1959年9月26日に観測された。そのさいに、観測室内で観測された最小気圧は717.9 mmHgであり、その一昼夜前後との気圧差は約40 mmHgに達した。Fig. 2の最上段には、重力変化の原記録からの毎時の読取値を示しており、最下段の二つは、同じ期間の気圧および室温の変化を示している。また、最小気圧が観測された9月26日12時(UT)よりも24時間前の気圧と室温を、それぞれ基準にして、上に求めた α および β の値を用いて、観測値に補正を加えた結果は、第2段に示されている。この図をみると、補正後も、なお、いくらかの気象変化の影響が残っているようであるが、大部分は除去されているものと思われる。

なお、1960年1月から8月までの約7カ月にわたり、国土地理院所属の *Askania gravimeter No. 105*、*Askania gravimeter No. 111* と同じ観測室内に設置して、重力変化の同時観測を実施した。この観測の目的は、二台の重力計によつて同時に得られる結果を相互に比較検討して、一台の重力計で得られた結果の信用度を調べることと、重力の微細変化の本性を調べることにあつた。*Askania gravimeter No. 105* によつて得られた資料は、現在国土地理院の手で、解析中であるので、全部の解析が終了後に、あらためて同時観測の結果を論じる予定である。

結 語

この論文においては、1959年8月から1960年8月までの約1カ年にわたり、自記録装置付きの *Askania gravimeter No. 111* を用いて、京都において実施された重力の時間的変化の精密連続観測によつて得られた資料をもとにして、主として、重力の潮汐変化に対する考察が、詳しくのべられている。

いろいろな考察が試みられたすえ、求められた結論は、つぎの通りである。

- 1) 気温や気圧の変動による影響を除去すると、 M_2 分潮に関しては、観測時期のちがいによつて、重力の tidal factor で約3%、phase lag で約4°の差がある。
- 2) 気温や気圧の変動による影響を除去して求められた京都における M_2 分潮に関する重力の tidal factor と phase lag の最確値は、つぎの通りである。

$$G(M_2) = 1.138 \pm 0.005 \quad \kappa(M_2) = -2.40 \pm 0.28$$

この値は、国際地球観測年の期間中に、日本各地の11地点において、実施された各1カ月観測によつて得られた資料をもとにして、海洋潮汐や気象変化の影響を除去して求められた結果と、観測誤差の範囲内において完全に一致している。上に求めた1.138なる tidal factor の値は、東南アジアの各地で求められた値とは極めてよく一致しているが、同じ時期に、ヨーロッパの各地で求められた値よりはるかに小さいものである。この相違に関しては、ヨーロッパと東南アジアのなりたちや地質構造のちがいとも関係をもつ重要なことからであると思われるので、さらに多くの資料が集積されてから、あらためて論じる予定である。

重力の時間的変化は、変化する量が極めて微量であるので、これを検出するための重力計の精度は、すくなくとも1 μ gal に保たなければならない。すでにのべたように、重力の時間的変化を観測するさいには、いろいろな原因にもとずく擾乱が、真の重力変化と重なつて観測されるのが普通である。重力の時間的変化におよぼす影響のうちの顕著なものとしては、海洋潮汐・地下構造・気象変化などに起因する影響があげられる。現在、われわれの観測に用いている *Station gravimeter* では、気象変化に伴なう擾乱が、ややもすると本来の重力変化そのものを凌駕する量に達し、その上、重力計の drift がかなり不規則である。また、*Askania gravimeter* では、drift はおおむね直線的であり、かつ、その量は、spring形式の重力計としては最小であるが、肝心の測定系に電気が用いられており、しかも、重力の時間的変化を自記録させる場合の測定方式は、帰零法ではないので、電源の変動による見掛け上の変化が、重力変化と重なつて観測され、両者を分離することは、はなはだ困難である。したがつて、これらの重力計も単独で用いられるだけでは、重力の不規則変化を検出することは不可能であつて、できるだけ数多くの地点において同時観測を行ない、

かつできるだけ長期間にわたって観測を続けることが必要である。種類のことなる重力計の併用は、たがいに、それらの欠点を相補ない、数多くの重力計による同時観測は、現象の把握を迅速かつ明確にし、ともに相携えて、重力の時間的変化の研究を飛躍発展せしめることは疑いない。

大地震の発生や火山の大爆発などの人畜に被害をあたえる現象を、前もつて探知し、災害を未然に防ごうとする防災的な目的に対しては、*Askania gravimeter* と同じ精度の、できれば、それ以上の精度をもつ日記記録装置つきの高感度重力変化計を多数用意し、対象としている現象の起りそうな場所をとりまいて、少なくとも数カ所に設置し、たゆまざる同時観測を続けることが絶対に必要であり、このような目的にかなう重力計を、現在製作中である。

なお、昭和35年度に新設された *GSI* 型重力振子による測定も、ようやく軌道にのり、主として近畿地方の数地点で、毎年、繰返し測定を実施する予定であり、すでに、測定ははじめられている。これら現存の三種類の重力計に、製作中のものを加えることによつて、より精密な重力変化の連続同時観測を実施し、これらの問題に対する徹底的な研究を続けてゆく積りである。

本稿を終るにのぞみ、資料の解析に対してよせられた *Centre International des Marées Terrestres* の *Melchior* 博士の厚意に謝意を表す。なお、解析費用は、国際地球観測年資料整理費によつてまかなわれたことを付記しておく。

参 考 文 献

- 1) 飯田汲事, 早川正巳, 片寄邦之: 今市地震後の重力測定, 地質調査所月報, 第1巻, 第3号, 1950, pp. 20-22.
- 2) 飯田汲事, 早川正巳, 片寄邦之: 伊豆大島三原火山における重力測定ならびにその時間的変化, 地質調査所報告, 第152号, 1952, pp. 1-28.
- 3) 西村英一, 一戸時雄, 中川一郎, 岡本容子, 船曳 満: 重力の時間的変化について (国際地球観測年重力観測第一報), 京大防災研究所年報, 第1号, 1957, pp. 112-118.
- 4) 中川一郎: *Askania Gs-11* 型重力計 No. 111 の検定について, 測地学会誌, 第6巻, 第4号, 1961, pp. 136-150.
- 5) Nakagawa, I.: Some Problems on Time Change of Gravity. Part 1. On Effect of Oceanic Tides upon the Tidal Variation of Gravity, Bulletin, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, No. 53, 1962, pp. 2-65.
- 6) Nakagawa, I.: Some Problems on Time Change of Gravity. Part 3. On Precise Observation of the Tidal Variation of Gravity at the Gravity Reference Station, Bulletin, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, No. 57, 1962, (in printing).
- 7) 中川一郎, 船曳 満, 田中寅夫: 重力の潮汐常数の精密決定, 測地学会誌, 第7巻, 第1号, 1961, (印刷中).
- 8) Pertzev, B. P.: On the Calculation of the Drift Curve in Observations of Bodily Tides, *Marées Terrestres*, Bulletin d'Informations, N° 5, 1957, pp. 71-72.
- 9) Lecolazet, R.: La Méthode Utilisée à Strasbourg pour l'Analyse Harmonique de la Marée Gravimétrique, *Marées Terrestres*, Bulletin d'Informations, N° 10, 1958, pp. 153-178.
- 10) Nakagawa, I.: Some Problems on Time Change of Gravity. Part 2. On Analytical Treatments for Data of the Tidal Variation of Gravity, Bulletin, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, No. 53, 1962, pp. 67-105.
- 11) Lecolazet, R.: Application, à l'Analyse des Observations de la Marée Gravimétrique, de la Méthode de H. et Y. Labrouste, dite par Combinaisons Linéaires d'ordonnées, *Annales de Géophysique*, Tome 12, 1956, pp. 59-71.

- 12) Melchior, P. : Comportement de Deux Gravimètres Askania (N°145 et N°160) Pendant 48 Mois d'Enregistrements Continus à l'Observatoire Royal de Belgique, Communications de l'Observatoire Royal de Belgique N° 188, Série Géophysique N° 58, 1961, pp. 311-334.
- 13) 中川一郎 : 地球潮汐の観測資料よりドリフトを消去する方法について, 測地学会誌, 第6巻, 第4号, 1961, pp. 121-135.
- 14) 西村英一, 中川一郎, 一井時雄, 船曳満, 田中寅夫 : 重力の時間的变化について (国際地球観測年重力観測第三報), 京大防災研究所年報, 第4号, 1961, pp. 61-80.
- 15) Lecolazet, R. : Résultats Provisoires des Enregistrements de la Marée Gravimétrique, Effectués à Strasbourg, d'Août 1957 à Février 1958, Communications de l'Observatoire Royal de Belgique N° 142, Série Géophysique N° 47. 1958, pp. 33-34.
Lecolazet, R. : Résultats des Observations de Marée Gravimétrique Effectuées à Strasbourg Jusqu'en 1958, Report on 'Third International Symposium on Earth Tides', Trieste, 1959, pp. 147-151.
Lecolazet, R. : Rapport sur les Observations de Marée Gravimétrique Faites à Strasbourg en 1957, 1958 et 1959. Marées Terrestres, Bulletin d'Informations, N° 21, 1960, pp. 387-395.
- 16) Melchior, P. : Résultats de Huit Mois d'Enregistrement de la Marée à l'Observatoire Royal de Belgique (Uccle) à l'Aide du Gravimètre Askania n° 145, Report on 'Third International Symposium on Earth Tides', Trieste, 1959, pp. 129-139.
Melchior, P. : Résultats de Seize Mois d'Enregistrement de la Marée à l'Observatoire Royal de Belgique (Uccle) à l'Aide du Gravimètre Askania n° 145, (1958-1959), Annales de l'Observatoire Royal de Belgique, Troisième Série, Tome VIII, Fascicule 4, Série Géophysique n° 53, 1960, pp. 289-423.
- 17) Jobert, G. : Résultats Obtenus à l'Aide du Gravimètre LaCoste Romberg N° 5, Report on 'Third International Symposium on Earth Tides', Trieste, 1959, pp. 145-146.
- 18) Pariisky, N. N. : Observation of the Earth Tides in the USSR from June 1957 to June 1960, Marées Terrestres, Bulletin d'Informations, N° 21, 1960, pp. 371-386.
- 19) Takeuchi, H. : On the Earth Tide, Journal of the Faculty of Science, University of Tokyo, Section II, Vol. VII, 1951, Part 11.
- 20) Jeffreys, H. : Note on the Theory of the Bodily Tide, Communications de l'Observatoire Royal de Belgique N° 100, Série Géophysique N° 36, 1956, p. 19.
- 21) Pekeris, C. L., Jarosch, H. and Alterman, Z. : Dynamical Theory of the Bodily Tide of the Earth, Report on 'Third International Symposium on Earth Tides', Trieste, 1959, pp. 17-18.