

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)

西村英一・中川一郎・一戸時雄・船曳 満・田中寅夫

ON CHANGE OF GRAVITY WITH TIME

(Observation of Gravity during the International Geophysical Year, Third Paper)

by Dr. Sci. Eiichi NISHIMURA, Ichirō NAKAGAWA, Dr. Sci.
Tokio ICHINOHE, Mitsuru FUNABIKI and Torao TANAKA

Synopsis

The observations of earth tidal change of gravity in Japan are being continued up to the present time after IGY and IGC-1959. The data observed with the Askania Gs-11 Gravimeter No. 111 during IGY were in detail treated and the definitive results of harmonic analysis were obtained.

In this paper, the sensitivity of the Askania Gravimeter No. 111, the effect upon the results of harmonic analysis caused by the difference of method of drift-elimination, and the final results of harmonic analysis after the full correction are reported. Concerning the tidal factor of gravity, the effect of oceanic tide are in some detail described, and it was found that the most reliable value of $G(\equiv 1-3k/2+h)$ free from the influence of oceanic tides in Japan is 1.14. Moreover, the records of the great Chilean earthquake of May 22, 1960 simultaneously observed with two Askania Gravimeters at Kyoto are shown.

緒 言

1957年7月に始められた IGY (International Geophysical Year, 国際地球観測年) は、1958年末に一応の幕切れとなつたが、その間になされた各種の観測は、その後も IGC-1959 (International Geophysical Cooperation, 国際地球観測協力) の事業として続けられ、さらに 1960 年以降も、殆んどの観測は、そのまま継続されて今日にいたつている。

筆者らの重力観測は、第一報¹⁾でものべている通り、IGY の目的だけのために実施されたものではなく、地殻変動の研究資料を得て、防災的な研究を進めることにもかなうように計画され、そして実施されたものであるから、IGY 期間中の重力観測は、そのままの規模で、今日まで継続して実行されているのは当然で、ばう大量の資料が蓄積されつつある。

これらの資料から得られた結果の一部は、暫定的に、すでに報告しているが^{2)~4)}、1957年7月から1959年5月までの間に、Askania Gs-11 Gravimeter No. 111 によつて得られた観測資料が、このたび改めて整理されたので、それを最終的な解析結果として報告し、あわせて、これらの資料をもとにして、若干の議論を試みようと思う。1959年6月以降の Askania Gravimeter No. 111 によつて得られた資料ならびに

10地点に設置されている Double Bifilar Gravimeter によつて得られた資料は、現在整理を急いでいるので、つぎの機会にでものべる予定である。

観測の目的、観測器械および観測地点などの詳細については、すでに第一報においてのべているので、本稿では、それらの一切を省略するが、本稿を草するのに必要な Askania Gravimeter の観測地点を Fig. 1 および Table 1 に示す。

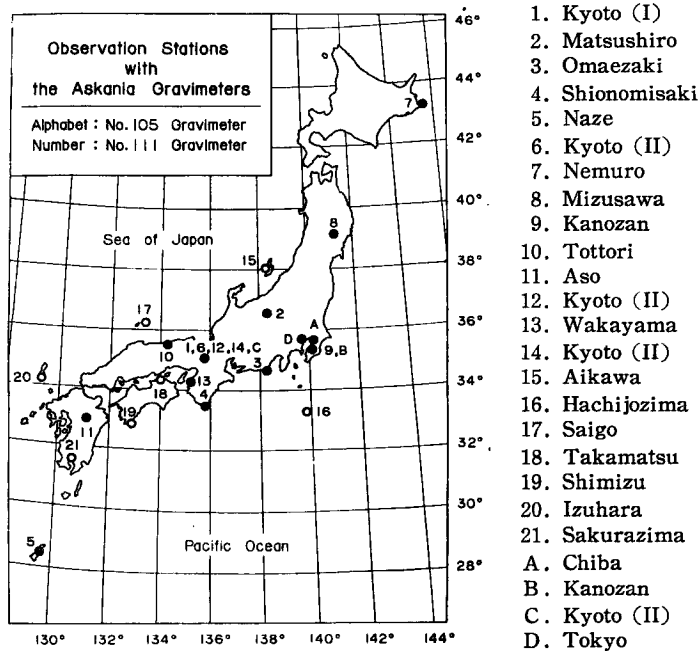


Fig. 1 Positions of earth tidal observation station with the Askania Gs-11 Gravimeter in Japan

- Completed station
○ Programming station

Table 1

Station number	Observation station	Remark
1	Kyoto (I)	Kyoto University, Geophysical Institute, Old building
2	Matsushiro	Seismological Observatory
3	Omaezaki	Omaezaki Weather Station
4	Shionomisaki	Shionomisaki Weather Station
5	Naze	Naze Weather Station
6	Kyoto (II)	Kyoto University, Geophysical Institute, New building
7	Nemuro	Nemuro Weather Station
8	Mizusawa	Mizusawa International Latitude Observatory
9	Kanozan	Kanozan Geodetic Observatory (Geographical Survey Institute)
10	Tottori	Tottori Scientific Museum
11	Aso	Aso Volcanological Laboratory (Kyoto University)

Station number	Location			g (gal)	Gravity anomaly (mgal)	Distance from the effective nearest sea (km)
	Latitude (N)	Longitude (E)	Height (m)			
1	35° 02'	135° 47'	57.8	979.722	— 14	50
2	36 32	138 13	434.0	979.784	— 10	170
3	34 36	138 13	45.5	979.755	+ 52	0.5
4	33 27	135 46	74.2	979.740	+139	0.4
5	28 23	129 30	3.3	979.312*	+100*	0.08
6	35 02	135 47	59.9	979.721	— 14	50
7	43 20	145 35	25.1	980.692	+222	0.7
8	39 08	141 08	60.7	980.160	+ 69	50
9	35 15	139 58	350.5	979.704	+ 6	9
10	35 30	134 14	20	979.801*	+ 17*	5
11	32 53	131 01	567	979.425*	— 16*	40

Notes : The distance between Kyoto (I) and Kyoto (II) is about 300 meters

The values with asterisk are tentatively assumed

1. Askania Gs-11 Gravimeter No. 111 の感度検定

Spring 形式の重力計を用いて、重力観測を行なう場合に、議論の基礎になるのは、重力計の scale constant である。Askania Gravimeter の scale constant は、製作会社によって、厳密に決定されている。ところが、これとは別に、Askania Gravimeter には、scale constant の検定装置が内蔵されている。その構造は、mass lever arm にそつて移動可能な直径 2.5 mm の bronze ball と、arm にとりつけられた二つの穴（距離 5 mm）からなりたっている。Ball の定数は、重力計の製作会社によって与えられており、Gravimeter No. 111 では 41.62 mgal である。この検定装置に変化がなければ、ball を所定の位置に何度か移動させることによって、重力計の scale constant は、極めて容易に、高い精度で、かつ迅速に、検定することができる。

重力の潮汐変化観測を実施するに際しては、いろいろな検定を行なつて、重力計の最良の状態が見出されているが、とりわけ、重力計の scale constant の検定は、綿密になされている。Askania Gravimeter No. 111 の検定に関しては、筆者の一人によって詳しく報告されているが⁵⁾、ここでは、以下の考察に必要な検定結果だけを引用しておこう。

各観測地点において、重力の潮汐変化観測の前後に行なわれた calibration ball の移動によって求められた spindle scale constant——spindle scale の 1 目盛に相当する重力の値——を、Table 2 に示す。Table 2 には、重力計の製作会社によって与えられている感度表をもとにして、同じ spindle scale の位置に対して求められた scale constant の値も示されている。

また、Table 2 の spindle scale constant の値をその位置に対して図示すると、Fig. 2 となる。図において、実線は潮岬と鳥取を除く 9 観測地点にかなる直線を、最小自乗法によって求めたものであり、点線は製作会社によって与えられているものである。

Table 2 よりわかるように、Askania Gravimeter No. 111 は、槽内温度として 40°C を使用する限り、感度検定装置を用いて求めた spindle scale constant と、製作会社によって与えられているそれとは、0.1% 以内の精度で、極めて良好な一致を示している。なお、Askania Gravimeter の検定に関する報告は、Moscow の学者たちによってなされているが^{6)~9)}、それによると、0.2% という結論が得られている。

Askania Gravimeter は、一般の探鉱用重力計と同じく、野外測定用として用いられるほか、特に

Table 2 Spindle scale constant of the Askania Gravimeter No. 111
determined by the method of bead displacement

Station number	Thermostat setting (°C)	Position of scale (scale div.)	Spindle scale constant (mgal/div.)	Askania's value* (mgal/div.)	Difference (%)
1	40	36.980	7.5313 ± 0.0024	7.5328	0.020
2	40	47.345	7.5420 ± 0.0004	7.5366	0.072
3	40	43.725	7.5337 ± 0.0005	7.5354	0.023
4	35	43.495	7.5460 ± 0.0049	7.5352	0.143
5	40	32.745	7.5344 ± 0.0012	7.5313	0.041
6	40	40.600	7.5394 ± 0.0030	7.5342	0.069
7	40	51.250	7.5459 ± 0.0009	7.5381	0.103
8	40	46.730	7.5420 ± 0.0030	7.5365	0.073
9	40	38.970	7.5330 ± 0.0025	7.5336	0.008
10	35	53.120	7.5252 ± 0.0005	7.5388	0.180
11	40	43.440	7.5369 ± 0.0053	7.5352	0.023

* The value given by the maker for the same position of spindle

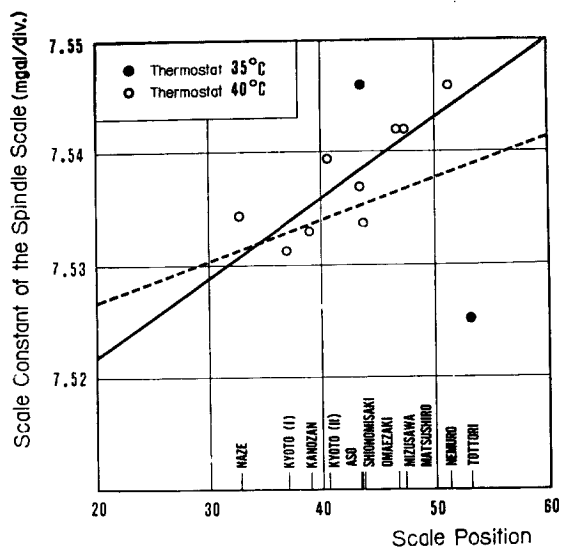


Fig. 2 The spindle scale constant of the Askania Gravimeter No. 111
(after Nakagawa⁵⁾)

station gravimeter として、重力変化を連続的に自記記録することができるよう、光電走査ペン書き記録装置が備えられている。

記録感度の検定は、さきの spindle scale constant の検定と同様、重力の潮汐変化観測の前後において、1時間ないし2時間毎に、それぞれ数回、spindle を適当量だけ回転させて measuring spring に

tension の変化をあたえ、それに対応する記録上の変位から、外挿法によつて、求められている。各観測地点において求められた記録の scale coefficient——重力計の spindle scale の 0.01 目盛に対応する記録上の変位——を、Table 3 に示す。

Table 3 Scale coefficient of recording

Station number	Number of shift	Scale coefficient of recording (mm/0.01 div.)	Error (%)
1	28	28.946 $\pm$ 0.240	$\pm$ 0.83
2	18	29.258 $\pm$ 0.195	$\pm$ 0.67
3	31	30.399 $\pm$ 0.188	$\pm$ 0.62
4	17	30.007 $\pm$ 0.320	$\pm$ 1.07
5	30	30.025 $\pm$ 0.237	$\pm$ 0.79
6	12	29.853 $\pm$ 0.216	$\pm$ 0.72
7	19	27.130 $\pm$ 0.227	$\pm$ 0.84
8	23	27.888 $\pm$ 0.251	$\pm$ 0.90
9	28	27.503 $\pm$ 0.353	$\pm$ 1.28
10	28	23.879 $\pm$ 0.307	$\pm$ 1.29
11	29	29.498 $\pm$ 0.199	$\pm$ 0.67

記録用検流計の回路は大きい inertia をもっているので、measuring spring にあたえられる小さく、かつ、極めて迅速な tension の変化に対しても、検流計の光標が新しい位置に落着くまでには、かなりの時間を要し、このことが、記録の scale coefficient を決定する精度を、著しく低下せしめている。

Table 2 と Table 3 より求められる各観測地点に対する記録の scale constant——記録上の 1 mm に対応する重力の値——を、Table 4 に示す。

Table 4 Scale constant of recording

Station number	Position of scale* (scale div.)	Scale constant of recording** (μ gal/mm)
1	34.197	2.6012 $\pm$ 0.0217
2	44.543	2.5771 $\pm$ 0.0173
3	40.964	2.4776 $\pm$ 0.0154
4	40.798	2.5141 $\pm$ 0.0269
5	29.951	2.5087 $\pm$ 0.0199
6	37.850	2.5248 $\pm$ 0.0184
7	48.528	2.7806 $\pm$ 0.0234
8	43.954	2.7037 $\pm$ 0.0244
9	36.203	2.7383 $\pm$ 0.0353
10	50.331	3.1506 $\pm$ 0.0406
11	40.701	2.5544 $\pm$ 0.0174

* Mean position of spindle scale in observation

** Scale constant of recording deduced from the spindle scale constant obtained by the calibration

Table 5 The results obtained from the harmonic analysis after the elimination of drift by the various methods

Observation station : Kyoto (II)

Harmonic analysis : Lecolazet's method

Central epoch : June 27, 18h, 1958 (UT)

Method	M ₂		S ₂		K ₁		O ₁	
	G	κ	G	κ	G	κ	G	κ
(O)	1.114±0.004	-1.°24±0.°19	1.205±0.010	-1.°29±0.°51	1.038±0.005	-1.°30±0.°24	1.017±0.008	-1.°09±0.°44
(d)	1.207±0.004	-1.42±0.18	1.213±0.010	-1.30±0.49	1.041±0.005	-1.46±0.23	0.923±0.008	-0.83±0.48
(e)	1.107±0.004	-1.44±0.18	1.134±0.011	-2.19±0.56	1.083±0.005	-1.03±0.23	0.974±0.008	-1.46±0.48
(bd)	1.123±0.005	-1.20±0.21	1.206±0.012	-2.17±0.59	1.037±0.005	-1.60±0.28	0.953±0.009	-1.78±0.56
(be)	1.116±0.004	-1.17±0.18	1.216±0.010	-0.90±0.49	1.072±0.004	-1.58±0.21	0.993±0.008	-0.81±0.43
(bcd)	1.108±0.004	-1.34±0.21	1.200±0.011	-1.20±0.58	1.036±0.005	-1.23±0.24	1.010±0.009	-1.34±0.49
(de)	1.115±0.004	-1.24±0.19	1.204±0.010	-1.32±0.51	1.037±0.005	-1.41±0.23	1.011±0.008	-1.28±0.44
(ade)	1.115±0.004	-1.19±0.18	1.206±0.009	-1.24±0.46	1.037±0.004	-1.35±0.21	1.012±0.007	-1.41±0.39
(bde)	1.114±0.004	-1.19±0.18	1.203±0.009	-1.55±0.48	1.039±0.004	-1.28±0.23	1.008±0.008	-1.41±0.41
(cde)	1.115±0.004	-1.22±0.16	1.206±0.009	-1.29±0.43	1.038±0.004	-1.38±0.19	1.016±0.007	-1.36±0.38
(24)	1.155±0.004	-1.72±0.18	1.209±0.010	-1.39±0.49	1.040±0.004	-1.33±0.23	0.940±0.008	-0.71±0.46
(25)	1.109±0.004	-1.32±0.18	1.164±0.010	-1.47±0.53	1.083±0.005	-1.31±0.23	0.984±0.008	-1.34±0.46

Observation station : Shionomisaki
 Harmonic analysis : Lecolazet's method
 Central epoch : Feb. 3, 18h, 1958 (UT)

Method	M ₂		S ₂		K ₁		O ₁	
	G	κ	G	κ	G	κ	G	κ
(O)	1.143±0.003	-0.13±0.13	1.081±0.005	-4.87±0.28	1.096±0.004	-8.75±0.21	1.098±0.006	+1.30±0.33
(d)	1.230±0.003	0.00±0.13	1.073±0.006	-5.24±0.29	1.126±0.004	-7.98±0.23	0.955±0.007	+0.81±0.39
(e)	1.132±0.003	-0.10±0.14	1.014±0.006	-5.35±0.31	1.179±0.005	-8.30±0.21	1.023±0.007	+1.16±0.38
(bd)	1.149±0.004	-0.15±0.16	1.076±0.007	-5.05±0.33	1.128±0.005	-8.47±0.24	0.984±0.008	+0.85±0.44
(be)	1.142±0.003	-0.10±0.14	1.082±0.006	-5.10±0.28	1.156±0.004	-8.32±0.19	1.029±0.007	+0.45±0.36
(bcd)	1.135±0.004	-0.20±0.16	1.079±0.006	-4.82±0.33	1.123±0.005	-8.65±0.23	1.070±0.008	+0.60±0.39
(de)	1.141±0.003	-0.23±0.14	1.079±0.005	-4.99±0.28	1.121±0.005	-8.66±0.19	1.074±0.007	+0.46±0.34
(ade)	1.141±0.003	-0.15±0.13	1.081±0.005	-5.12±0.26	1.121±0.004	-8.58±0.21	1.070±0.006	+0.53±0.33
(bde)	1.142±0.003	-0.15±0.14	1.080±0.006	-5.00±0.28	1.122±0.004	-8.77±0.21	1.067±0.006	+0.21±0.33
(cde)	1.142±0.003	-0.08±0.14	1.080±0.005	-5.04±0.26	1.120±0.004	-8.60±0.19	1.074±0.006	+0.76±0.31
(24)	1.181±0.003	-0.45±0.13	1.078±0.005	-5.32±0.28	1.128±0.004	-8.07±0.19	0.976±0.007	+1.18±0.36
(25)	1.133±0.003	+0.25±0.14	1.036±0.005	-5.94±0.28	1.172±0.004	-8.25±0.19	1.019±0.007	+0.81±0.34

Notes : The method (O) is the result obtained from the data containing the drift. The others are the results obtained from the data after the elimination of drift by the respective method.

The positive sign of phase lag " κ " shows that the observed tide advances the theoretical tide, while the negative sign shows the former lags behind the latter.

観測によつて得られた資料を処理するに際しては、Table 4 の値が用いられている。このほかにも、重力計を最良の状態において動作させるためには、綿密な、そして慎重な、各種の検定が必要であることはいうまでもない。重力計の検定結果は、一つの極めて重要な結論であると同時に、それ自体、以後の議論によつて、最も大切な基礎的要素でもある。

2. 重力計の drift の決定方法

重力計によつて観測された重力の潮汐変化の資料には、drift が含まれているので、資料を処理するに際しては、まず、何らかの方法によつて、重力計の drift を消去しなければならない。この問題に対しては、筆者の一人によつて、精度と労力という二つの観点にたつて、総括的に論じられ、従来から用いられているどの方法よりも巧妙な方法が、いくつか案出されている。その方法の詳細は、すでに報告されているので¹⁰⁾、ここでは、その報告から、実例だけを引用しておこう。

用いられた資料は、Askania Gs-11 Gravimeter No. 111 によつて、京都(Ⅱ)および潮岬で得られた資料である。前者では、drift 曲線が直線的であり、後者では、その変化が不規則で、かつ、変化量が大きかつたので、実例として用いられている。これらの資料に対して、種々の方法を適用して、それぞれ drift を消去し、しかるのちに、Lecolazet の方法によつて調和解析された結果を Table 5 に示す。

Table 5 に示されている方法のうち、(de) は Pertzев¹¹⁾ により、(ade) は Doodson & Warburg¹²⁾ によつて、それぞれ提唱された方法であり、(24) および (25) は、従来から習慣的に用いられている方法である。

Table 5 は、drift を消去する方法が、重力の tidal factor や phase lag に、どの程度の影響をあたえるかということを、如実に物語っている。一カ月の観測資料から得られる分潮のうちで、最も信頼できる M_2 分潮においてさえ、drift の消去方法によつて、tidal factor で約 10%，phase lag で約 0.7° の差異が認められる。さらに、京都(Ⅱ)と潮岬の結果を比較すると、解析結果の傾向は、非常によく似ている。このことは、drift の形は、解析結果に、予想されるほど重要な影響をおよぼさないで、むしろ、それを消去する方法が大切であることを、はつきりと示している。

Drift の消去方法の相異によつて、解析結果に差が生じるということは、drift を消去する計算の過程で、drift だけが完全に消去されないで、分潮のいくらかが drift と一緒に消去されたり、あるいは、附加されたりするためであつて、しかも、その量が、各方法によつて異なっているからである。そこで、これらを補正するために、筆者の一人によつて導入された補正常数を乗じて、drift の消去方法の相異によらない真の tidal factor を求めると、Table 6 となる。

Table 6 をみると、どの方法で drift を消去した場合でも、補正常数を考慮しさえすれば、ともに満足すべき一致した結果を得られることが、容易に理解される。

なお、京都(Ⅱ)と潮岬について、それぞれの方法によつて得られた drift 曲線を、室温および気圧の変化の模様とともに、Fig. 3 に示す。

3. Tidal factor

(1) 解析結果

1959年7月、Trieste で行なわれた第3回国際地球潮汐会議で、「調和解析にとりかかる前に、まず drift を消去する」ことが決議され、その方法としては、「Pertzевの方法を採用する」ことが勧告されている¹³⁾。この勧告に従がい、Pertzевの方法¹¹⁾を用いて、すべての観測値から、まず drift が消去されている。

Drift を消去された観測値は、直ちに、調和解析に付されている。調和解析の方法としては、Darwin¹⁴⁾、

Table 6 Corrected tidal factor

Method	Kyoto (II)				Shionomisaki			
	M ₂	S ₂	K ₁	O ₁	M ₂	S ₂	K ₁	O ₁
(d)	1.119	1.213	1.038	1.013	1.141	1.073	1.122	1.048
(e)	1.116	1.198	1.036	1.009	1.142	1.071	1.127	1.060
(bd)	1.118	1.206	1.035	1.020	1.144	1.076	1.125	1.053
(be)	1.117	1.216	1.039	1.019	1.143	1.082	1.120	1.056
(bcd)	1.113	1.200	1.036	1.017	1.140	1.079	1.123	1.078
(de)	1.114	1.204	1.037	1.014	1.140	1.079	1.121	1.077
(ade)	1.114	1.206	1.037	1.015	1.140	1.081	1.121	1.073
(bde)	1.114	1.203	1.039	1.010	1.142	1.080	1.122	1.069
(cde)	1.116	1.206	1.038	1.016	1.143	1.080	1.120	1.074
(24)	1.116	1.209	1.037	1.017	1.141	1.078	1.125	1.056
(25)	1.116	1.213	1.039	1.017	1.140	1.079	1.124	1.054

Effect upon the tidal factor caused by the error in the computation process
of eliminating the drift which are limited by the observational accuracy

Kyoto (II)				Shionomisaki			
M ₂	S ₂	K ₁	O ₁	M ₂	S ₂	K ₁	O ₁
±0.003	±0.007	±0.003	±0.006	±0.003	±0.005	±0.004	±0.006

Doodson¹⁵⁾, Lecolazet¹⁶⁾, Lennor¹⁷⁾, Pertzev¹⁸⁾ など、幾多の方法が発表されているが、「Doodson-Lennon, Lecolazet, Pertzev および最小自乗法のうちの一つによつて解析をする」ことが勧告されている¹⁹⁾。これら各種の方法の優劣については、二、三の研究報告がなされているがたとえば¹⁹⁾、どの方法が最も優れているという結論は、いまのところ、得られていない。さきの勧告にしたがひ、その上、調和解析方法の優劣についても考察するために、Lecolazet と Doodson-Lennon (第2近似) の二方法によつて、それぞれ調和解析が行なわれている。Drift の消去と調和解析は、ともに、Bruxelles の 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。

調和解析の結果、求められているものは、Lecolazet の方法については10分潮、Doodson-Lennon の方法については12分潮であるが、ここでは、M₂ (太陰半日週潮)、S₂ (太陽半日週潮)、K₁ (日月合成日週潮) および O₁ (太陰日週潮) の四つの主要分潮に関する結果だけを Table 7 に示す²⁰⁾。他の分潮は振幅が小さく、一カ月の観測資料からは、意味のある結果を期待することができないので、取扱われていない。

Table 7 において、 G は重力の tidal factor ($G \equiv 1 - 3k/2 + h$; h, k : Love numbers) を、 κ は phase lag をあらわしている。 G や κ のもつ地球物理学的な意義については、第一報¹⁾ で詳しく説明してあるので、本稿では繰返すことを差控える。しかし、 κ については、第一報・第二報においては、正符号は遅れを、負符号は進みをあらわしていたが、本稿では、Lecolazet の原論文¹⁶⁾ にしたがつて、正符号は進みを、負符号は遅れをあらわしている。

Table 7 の結果は、第一報・第二報において報告している結果とかなり異なっているが、これは、drift の消去方法、調和解析の方法、および解析期間のちがひに原因がある。すでにのべたように、本稿に示されている結果は、全部の資料を綿密に整理し直して得られた最終的な解析結果である。

Table 7 The results of harmonic analysis
 Elimination of drift : Pertzev's method
 Harmonic analysis : Lecolazet's method

Station number	Central epoch (UT)	M ₂		S ₂		K ₁		O ₁	
		G	κ	G	κ	G	κ	G	κ
1	July 14, 18h, 1957	1.143±0.003	-1.°12±0.°11	1.096±0.006	-3.°91±0.°28	1.065±0.003	+0.°68±0.°14	1.163±0.005	+0.°21±0.°23
2	Sept. 10, 18h, 1957	1.128±0.003	-0.89±0.14	1.103±0.005	+1.97±0.26	0.900±0.006	+19.40±0.34	1.005±0.006	+2.62±0.34
3	Oct. 24, 18h, 1957	1.239±0.004	-2.15±0.18	1.259±0.007	-1.73±0.33	1.600±0.006	-16.99±0.21	1.289±0.009	+6.35±0.38
4	Feb. 3, 18h, 1958	1.141±0.003	-0.23±0.14	1.079±0.005	-4.99±0.28	1.121±0.005	-8.66±0.19	1.074±0.007	+0.46±0.34
5	Apr. 16, 18h, 1958	1.197±0.004	-3.24±0.18	1.150±0.007	-4.57±0.34	1.007±0.008	+22.89±0.46	1.272±0.011	-7.41±0.48
6	June 27, 18h, 1958	1.115±0.004	-1.24±0.19	1.204±0.010	-1.32±0.51	1.037±0.005	-1.41±0.23	1.011±0.008	-1.28±0.44
7	Aug. 17, 18h, 1958	1.191±0.003	+0.36±0.14	1.132±0.007	+2.23±0.31	1.264±0.004	+0.30±0.18	1.343±0.005	-2.31±0.23
8	Oct. 1, 18h, 1958	1.110±0.004	+1.73±0.18	1.076±0.006	-3.58±0.33	1.130±0.007	+2.26±0.33	1.146±0.007	-0.88±0.34
9	Nov. 15, 18h, 1958	1.180±0.004	+0.55±0.18	1.313±0.008	-3.16±0.34	1.497±0.005	-20.58±0.18	1.124±0.008	-5.13±0.39
10	Feb. 23, 18h, 1959	1.161±0.003	-6.44±0.14	1.093±0.006	+8.45±0.31	1.642±0.006	-24.70±0.19	1.170±0.008	-5.95±0.34
11	May 4, 18h, 1959	1.128±0.003	-2.70±0.14	1.198±0.006	-3.58±0.29	1.090±0.005	+3.29±0.23	1.064±0.007	-3.92±0.36

Elimination of drift : Pertzev's method
 Harmonic analysis : Doodson-Lennon's method (second approximation)

Station number	Central epoch (UT)	M ₂		S ₂		K ₁		O ₁	
		G	κ	G	κ	G	κ	G	κ
1	July 14, 00h, 1957	1.146±0.003	-1.55±0.11	1.079±0.005	-3.20±0.34	1.071±0.004	+1.83±0.34	1.160±0.006	0.00±0.58
2	Sept. 10, 00h, 1957	1.128±0.004	-1.33±0.16	1.103±0.006	+1.55±0.26	0.921±0.006	+19.12±0.99	0.969±0.007	+1.66±0.84
3	Oct. 24, 00h, 1957	1.238±0.004	-2.22±0.19	1.251±0.008	-0.72±0.33	1.534±0.008	-15.16±0.58	1.315±0.010	+4.65±0.93
4	Feb. 3, 00h, 1958	1.132±0.003	-0.42±0.14	1.091±0.006	-4.58±0.46	1.127±0.006	-5.32±0.54	1.126±0.007	-0.70±0.83
5	Apr. 16, 00h, 1958	1.197±0.004	-2.94±0.18	1.166±0.008	-4.59±0.34	0.981±0.009	+24.36±1.53	1.279±0.012	-3.37±1.19
6	June 27, 00h, 1958	1.114±0.004	-1.08±0.19	1.173±0.008	-1.05±0.49	1.035±0.008	-0.22±0.59	0.995±0.009	+0.40±1.23
7	Aug. 17, 00h, 1958	1.194±0.004	+0.45±0.16	1.147±0.007	+3.52±0.29	1.246±0.005	-0.31±0.49	1.323±0.006	-1.85±0.59
8	Oct. 1, 00h, 1958	1.114±0.004	+0.72±0.19	1.070±0.007	-2.44±0.33	1.099±0.006	+3.10±0.93	1.098±0.007	-2.40±1.14
9	Nov. 15, 00h, 1958	1.175±0.004	-1.68±0.18	1.373±0.008	+0.03±0.33	1.511±0.007	-19.70±0.48	1.198±0.009	+0.95±1.03
10	Feb. 23, 00h, 1959	1.147±0.004	-5.38±0.16	1.115±0.006	+4.50±0.29	1.592±0.006	-22.45±0.53	1.195±0.008	-7.10±0.81
11	May 4, 00h, 1959	1.138±0.003	-2.92±0.14	1.185±0.006	-4.32±0.28	1.089±0.006	+3.15±0.64	1.041±0.007	-5.70±0.96

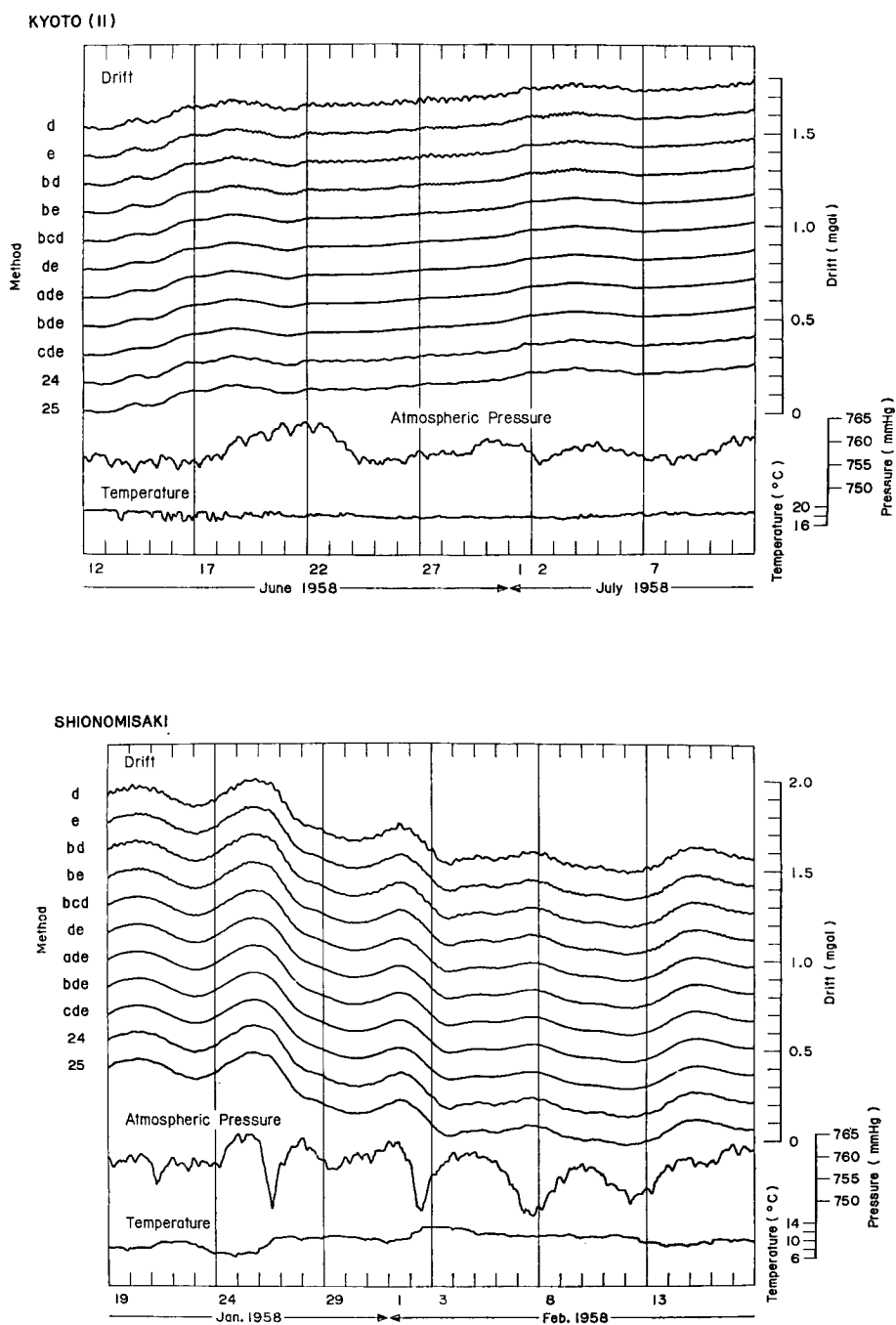


Fig. 3 Drift curves obtained by the various methods from the data observed at two stations—Kyoto (II) (upper figure) and Shionomisaki (lower figure)—and the changes of atmospheric pressure and room temperature (after Nakagawa¹⁰⁾)

(2) 考 察

調和解析の結果は、四つの主要分潮について求められているが、一カ月の観測資料から得られる分潮のうちで、最も信頼できる M_2 分潮についてのみ、以下に議論をすすめよう。

Table 7 にあたえられている結果は、Pertzev の方法によつて drift を消去したのち、調和解析して得られたものであるから、真の tidal factor をあらわしていない。そこで、correction factor を乗じて、真の tidal factor を求めると、Table 8 に示す通りとなる。

Table 8 Corrected tidal factor for M_2 -constituent

Station number	Lecolazet's method	Doodson-Lennon's method
1	1.142	1.145
2	1.127	1.127
3	1.238	1.237
4	1.140	1.131
5	1.196	1.196
6	1.114	1.113
7	1.190	1.193
8	1.109	1.113
9	1.179	1.174
10	1.160	1.146
11	1.127	1.137

さて、重力の潮汐変化に影響を及ぼすであろうと考えられる主なる因子は、海洋潮汐、観測地点附近の地質構造、気温・気圧などの気象的擾乱などである。観測地点間の高度差も、影響を及ぼす一つの因子であるが、本稿で取扱っているそれは、最も大きい場合でも 600 m に満たないので、tidal factor として 4 桁の値を採用する限り、考慮する必要はない。さらに、観測に使用する計器、資料の処理方法、観測時期などの相異が、当然、結果に影響を及ぼすものと推定されるが、前二者については、同一の観測計器を用いて、同一方法によつて観測を遂行し、まったく同一の方法によつて資料を解析しているので、問題はない。ただ、観測時期が異なっているのも、これが結果に、どの程度の影響を及ぼしているかということを確認しておく必要がある。この問題は、tidal factor の時間的変化ともつながる重要な問題であつて、これを解決するために、筆者らは、すでに、同一計器による同一場所での連続一カ年観測も終了しており、その資料は、現在、整理中である。したがつて、この問題は、後日、詳細に検討を試みる予定である。

そこで、まず、海洋潮汐の影響について、かなり詳しく調べてみよう。

海洋潮汐が重力計に及ぼす作用は、三つの部分に分けて考えることができる。第一は、天体の起潮力の作用によつて増減する海水の重力計に及ぼす引力であり、第二は、海水の荷重によつて生じる地殻の弾性的変形によつて、観測地点が移動する影響であり、第三は、地殻の変形に伴つて生じる重力の potential 場の変化である。

海洋潮汐が重力計に及ぼす第一の作用は、同時潮図²¹⁾を用いて、計算することができる。実際に計算するにあつては、どれだけの範囲の海水を考えるかということが問題になるが、観測地点を中心にして、半径 1° の範囲内を考えるだけで充分である。各観測地点について、半径 1° の範囲内にある海水の、潮汐によつて増減する部分の引力の垂直分力を求めると、Table 9 となる。

第二の影響に関しては、平面荷重による等質弾性体の変形に関する長岡の解²²⁾ や Boussinesq の解²³⁾ を

Table 9 The vertical component of attraction by the M_2 -constituent of oceanic tides

Station number	Vertical attraction (μgal)
1	$0.001 \cos (2t-192^\circ.4)$
2	$0.002 \cos (2t- 81^\circ.0)$
3	$0.791 \cos (2t-163^\circ.0)$
4	$1.690 \cos (2t-174^\circ.6)$
5	$0.116 \cos (2t-199^\circ.7)$
6	$0.001 \cos (2t-192^\circ.4)$
7	$0.189 \cos (2t-105^\circ.5)$
8	$0.002 \cos (2t-115^\circ.4)$
9	$0.243 \cos (2t-149^\circ.6)$
10	$0.005 \cos (2t- 60^\circ.8)$
11	$0.104 \cos (2t-249^\circ.3)$

用いて、理論的に計算することができるが、その計算は、非常に繁雑である。また、第三の影響については、いまのところ、この量を計算するための満足な理論は存在しない。

幸い、筆者らの場合は、観測地点の数が多く、しかも、これらの観測地点は、海洋潮汐の影響を調べるために、海岸からの距離を考慮にいれて選ばれているので、観測によつて得られた結果に最もふさわしい実験式を求めることができるはずである。実際、調和解析によつて求められた tidal factor は、二つの部分に分けて考えることができる。一つは、海洋潮汐によつて擾乱される前の直接項であり、他は、海洋潮汐の作用によるいわゆる海洋項である。Lecolazet の方法によつて調和解析して得られた tidal factor と、Table 9 にあたえられている海水の引力の垂直分力との関係を図示すると、Fig. 4 を得る。Doodson-Lennon の方法によつて得られた結果についても、これと、まったく同じ傾向が認められる。

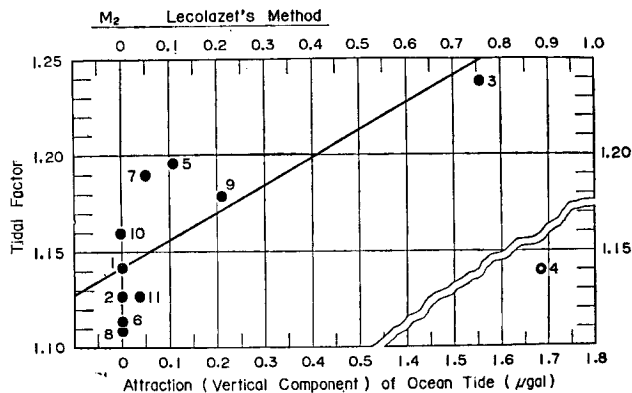


Fig. 4 Relation between the tidal factor and the vertical component of attraction by the tidal water

Fig. 4 をみると、潮岬 (4) を除いては、大体、一つの直線上に並んでいるとみても差支えない。そこで、

$$\text{Tidal factor} = G_0 + a \times \frac{\text{Vertical attraction}}{\text{Theoretical value}}$$

と仮定して、潮岬を除く 10 地点の資料を用いて、最小自乗法によつて、 G_0 と a を求めると、Table 10 を得る。

Table 10 The values of G_0 and a

	Lecolazet's method	Doodson-Lennon's method
G_0	1.142 ± 0.011	1.142 ± 0.010
a	7.5 ± 2.2	6.9 ± 2.0

ここに、 G_0 は、海洋潮汐の影響を除去した日本における重力の tidal factor である。

Phase lag については、 M_2 分潮に関する限り、非常に小さい値を示している。鳥取の phase lag が、特に、他の地点で求められたものに比して大きいのは、鳥取が擾乱の多い地点であつたので、感度を低下させるために、検流計と並列に、抵抗を挿入したことに原因がある。

IGY の期間中に、世界の各地で得られた重力の tidal factor と phase lag の値は、1960 年 7 月に行なわれた IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics, 国際測地学および地球物理学連合) Helsinki 総会で報告されている^{24)~26)}。そのうちの主なる地点についての M_2 分潮に関する結果を、Table 11 に示す。

Table 11 の千葉の値は、筆者らの用いた重力計と同じ型の Askania Gs-11 Gravimeter No. 105 によつて求められた値である。筆者らの計算によると、千葉は海洋潮汐の影響を殆んど受けない地点であり、かりに、tidal factor に時間的な変化があるとしても、九カ月の結果を平均することによつて、一応 tidal factor の最確値が得られているものと思われる。千葉の結果は、筆者らのそれと、drift の消去方法と調和解析の方法において、差が認められるが、このことを度外視すると、結果はみごとな一致を示している。また、Alma-Ata, Tachkent および Lantschou は、いずれも海岸から 1000 km 以上離れた地点であり、Askania Gs-11 Gravimeter によつて、観測が行なわれている。特に前二者は、恐らく地球上で、海から最も遠い地点であり、これらの値が 1.14 に近い値であることも、筆者らの結果と、極めてよく一致している。

Table 11 をみると、phase lag については、顕著な特性をみつけることは困難であるけれども、Melchior も指摘しているように²⁷⁾、東南アジアの tidal factor と、その他の地域のそれとの間には、顕著な差異が認められる。東南アジアの tidal factor の値が一樣に小さいということは、東南アジアの地下構造が、他の地域のそれに比して、全体的に異なっているものなのか、それとも、太平洋という大海に面している東南アジアが、全体にわたつて、何らかの影響を受けているものなのか……など、まことに興味深い問題を提供している。筆者らは、現在、この問題を検討している。

さらに、重力の tidal factor と地質構造の関係を調べるために、Fig. 4 における直線からの偏倚を、Bouguer anomaly に対して図示すると、Fig. 5 となる。Fig. 5 は、Lecolazet の方法によつて求められた結果に対するものであるが、Doodson-Lennon の方法による結果に対しても、まったく同じ傾向が認められる。

Fig. 5 に示されている観測値の実験式からの偏倚は比較的小さいが、それでも、Table 7 にあたえられている誤差の範囲からは、はるかにはずれている量である。この図において、水沢 (8) だけを除いて考えると、両者の間には、関係がありそうに思われる。しかし、この問題に関しては、さらに奥深く掘りさげて議

Table 11 The values of G and κ for M_2 -constituent

Observation station	Latitude (N)	Longitude (E)	Instrument	Number of day	M ₂		Method
					G	κ	
EUROPE							
Genova	44° 25'	8° 42'	A	150	1.200	− 6.°5	L
Tihany	46 54	17 52	H	200	1.154	− 1.8	L
Berchtesgaden	47 38	12 59	A	60	1.157	+ 0.5	
Strasbourg	48 35	7 46	N	860	1.193	+ 1.6	L
Paris	48 50	2 20	R	180	1.196	+ 0.4	L
Frankfurt	50 05	8 31	N	90	1.163	+ 0.7	
Vedrin	50 30	4 52	A	150	1.191	− 0.6	L, D
Bruxelles	50 48	4 21	A	623	1.188	− 0.1	L, D
Poznan	52 16	17 04	A	180	1.227	− 1.4	
Bidston	53 24	3 04	R	60	1.152	−18.7	
Krasnaya P.	55 28	37 19	A	174	1.191	− 4.6	P
Poulkovo	59 46	30 19	A	232	1.238	− 2.1	P
AFRICA							
Bangui	4 24	18 39	N	32	1.172	− 1.1	L
Bamako	12 40	352 00	N	32	1.186	− 1.7	L
Tamanrasset	22 47	5 52	N	32	1.193	− 0.5	L
AMERICA							
Caracas	10 30	293 05	A	387	1.181	+ 0.7	L
Meanook	54 37	113 20	N	120	1.126	− 0.2	L
ASIA & others							
Saigon	10 47	106 42	R	30	1.163	+ 0.5	
Manila	16 25	120 35	R	42	1.209	+ 2.2	L
Chiba	35 38	140 06	A	270	1.145	− 0.1	W
New Delhi	28 36	77 14	R	60	1.155	+ 1.6	
Téhéran	35 41	51 25	A	60	1.141	− 3.5	L
Lantschou			A	116	1.148	− 3.5	P
Tachkent			A	232	1.137	− 4.4	P
Alma-Ata	43 11	76 57	A	232	1.139	− 3.7	P
Wake Island	19 18	166 39	R	30	1.024	+ 2.5	L, D
Honolulu	21 18	202 11	R	30	1.191	− 2.0	

Notes : A : Askania Gs-11 Gravimeter L : Lecolazet's method
 N : North American Gravimeter D : Doodson-Lennon's method
 R : La-Coste Romberg Gravimeter P : Pertzev's method
 H : Heiland Gravimeter W : Darwin's method

(after Melchior²⁴⁾, Pariisky²⁵⁾ and Lecolazet²⁶⁾)

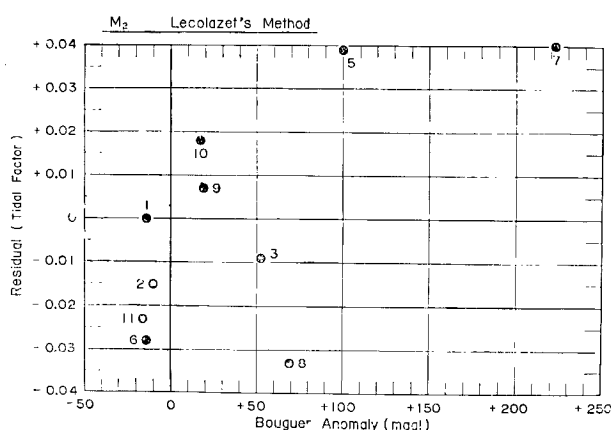


Fig. 5 Relation between the deviation of each observation from the experimental formula and Bouguer anomaly

論をする必要があり、現在、検討中である。

このようにして、海洋潮汐の影響という点からは潮岬が、地質構造からは水沢が、それぞれ特異地点として取扱われているが、その原因については、現在、詳しく検討を加えている最中である。

すでにのべたように、重力の潮汐変化に影響を及ぼす主なものは、海洋潮汐と地質構造と気象的擾乱であると考えられる。気象的な影響がかなり重要なものであるということは、幾多の人々によつて指摘されているけれども、それを定性的あるいは定量的に詳しく論じている論文は、殆んど見当たらない。この問題は極めて重要なものであつて、早急に解決することをせまられている問題点の一つである。筆者らの観測は、気象的な擾乱をさけるように、できる限りの努力を払いつつ実施されているが、それでも、ある程度の影響をうけているということは、認めざるを得ない。京都大学構内の国際重力基準点において、1959年8月以来、Askania Gravimeter No. 111によつて、すでに行なわれた一カ年の連続観測は、観測室が恒温恒湿に保たれており、重力計を最良の状態において実施されたものであるから、この問題に対して、決定的な解決をあたえるものと期待されている。その観測結果を報告する際に、気象的な擾乱については、詳しく論じる予定である。

4. Askania Gravimeter によるチリー大地震の観測

重力の tidal factor や phase lag は、一地点に関しては、元来、観測時期によらないで一定の値であるはずであるが、実際には、観測時期の相異によつても、また、解析期間の長短によつても、求められる値が異なってくる。この問題を調べ、また、より信頼のおける結果を求めるためには、より長期間の観測が必要である。筆者らは、IGY 期間中は一カ月観測を続けてきたが、この要求に応じるために、1959年8月からは、京都大学構内（重力基準点）において、Askania Gravimeter No. 111による長期観測を実施し、すでに、一年以上の良好な資料を得ている。

さらに、観測結果を詳しく議論するためには、同一場所に、二台以上の重力計を併置して同時観測を実施し、果して同じ結果が得られるかどうかを調べるのが大切である。このために、1960年1月からは、国土地理院所属の Askania Cs-11 Gravimeter No. 105 も Askania Gravimeter No. 111 と同じ観測室内に設置して、同時観測を実施した。これは、また、すでに第一報において報告している重力の微細変化に対しても、極めて有力な資料を提供するはずである。

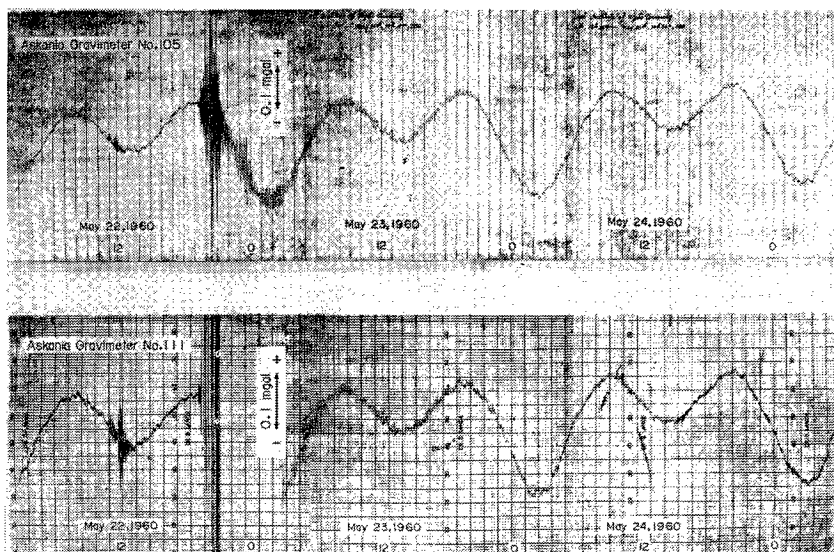


Fig. 6 Records of the great Chilean earthquake of May 22, 1960 simultaneously observed with two Askania Gravimeters at Kyoto

これらの観測によって得られた資料は、現在、整理を急いでいるが、1960年5月22日のチリー大地震が、両重力計によって、同時に観測された。その記録は、Fig. 6 に示す。

チリー大地震の際のこの種の観測は、外国でも、Penioff や Ness などによって観測されたむね、上述の Helsinki 総会にて、報告されている²⁸⁾。Fig. 6 の記録は、現在、解析に付されており、その結果は、別の機会に発表する予定である²⁹⁾。

結 語

本報告において論じられているのは、Askania Cravimeter No. 111 によって、1959年5月以前に得られた資料をもとにしての議論である。これらの考察によって、現在までに得られた結論は、つぎの通りである。

- (1) Askania Gravimeter No. 111 は、槽内温度として 40°C を使用する限り、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って与えられている値と、0.1%の精度で、よく一致している。
- (2) 重力計の drift を消去する方法の相異によって、tidal factor や phase lag に、かなりの違いが生じる。しかし、correction factor を導入すると、同じ tidal factor を得ることができる。
- (3) 海洋潮汐の影響を除去した日本における M_2 分潮に関する重力の tidal factor は、1.14 である。さらに、記録の紹介だけではあるが、
- (4) 京都大学構内に設置されていた二台の Askania Gravimeter によって、チリー大地震が、同時に観測された。

Askania Gravimeter No. 111 によって観測された1959年7月以降の資料、Double Bifilar Gravimeter による資料、重力の微細変化、日蝕時の重力変化、重力の潮汐変化に及ぼす気象的擾乱の影響などの諸問題については、現在、資料の整理を急いでいたり、検討を加えたりしつつある段階で、近く、これらすべての問題を包含する報告書³⁰⁾を、発表する予定である。

なお、重力の微細変化は、大規模な地殻変動、大地震の発生、地球の自由振動などに極めて密接な関係をもつものであり、防災的な立場からは、非常に重要な研究題目である。これを検証するためには、Askania Gravimeter と同じ程度の感度をもつ、自記録装置つきの高感度重力計を、数カ所に設置して、同時観測を行なう必要がある。筆者らは、いま、この目的に適うような新しい重力計の製作にとり組んでいる。

終りにのぞみ、観測に協力をいただき、また、この報告を草するにあたり、貴重な記録の使用を快諾された国土地理院に、御礼を申しあげる。現地における観測に際しては、観測場所を提供された京都大学阿蘇火山研究施設、水沢緯度観測所、国土地理院鹿野山測地観測所、松代地震観測所、根室・御前崎・潮岬・名瀬の各測候所および鳥取県立科学博物館の各位から絶大な協力をうけた。ここに銘記して謝意を表する次第である。また、ぼう大な量にのぼる観測資料の解析に際して、Centre International des Marées Terrestres の Melchior 博士からうけた多大の援助に対して感謝している。この観測の遂行に援助を惜しまれなかつた各位に、謝意を表する次第である。なお、この研究は、国際地球観測年特別事業費および資料整理費によつてなされたことを附記しておく。

参 考 文 献

- 1) 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），京都大学防災研究所年報，第1号，（1957），112—118.
- 2) 西村英一・一戸時雄・中川一郎・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二報），京都大学防災研究所年報，第2号，（1958），145—147.
- 3) Nishimura, E. : Observation of Earth Tidal Change of Gravity during I.G.Y. in Japan (Provisional Report), Communications de l'Observatoire Royal de Belgique N° 142, Série Géophysique N° 47, (1958), 64-67.
- 4) Nishimura, E., Ichinohe, T., Nakagawa, I. and Funabiki, M. : Observational Results of Earth Tidal Change of Gravity during I.G.Y. in Japan, Report on 'Third International Symposium on Earth Tides', Trieste, (1959), 184-185.
- 5) 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），136-150.
- 6) Pariisky, N. N., Pertzev, B. P. and Kramer, M. V. : First Observations of tidal gravity variations at Krasnaya Pakhra near Moscow, Communications de l'Observatoire Royal de Belgique N° 142, Série Géophysique N° 47, (1958), 58-63.
- 7) Pariisky, N. N., Dobrokhotoy, Y. S., Pertzev, B. P., Kramer, M. V., Belikov, B. D. and Barsenkov, S. N. : Observations of Tidal Variations of Gravity in Krasnaya Pakhra (near Moscow), Report on 'Third International Symposium on Earth Tides', Trieste, (1959), 164-169.
- 8) Dobrokhotoy, J. S., Belikov, B. D., Kramer, M. V. and Barsenkov, S. N. : Tidal Variations of Gravity in Pulkovo, Report on 'Third International Symposium on Earth Tides', Trieste, (1959), 170-176.
- 9) Pariisky, N. N., Pertzev, B. P., Gridnev, D. G., Kramer, M. V. and Barsenkov, S. N. : Tidal Variations of Gravity in Alma - Ata, Report on 'Third International Symposium on Earth Tides', Trieste, (1959), 177-183.
- 10) 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），121-135.
- 11) Pertzev, B. P. : On the Calculation of the Drift Curve in Observations of Bodily Tides,

- Marées Terrestres, Bulletin d'Informations, N° 5, (1957), 71-72.
- 12) Doodson, A. T. and Warburg, H. D. : Admiralty Manual of Tides, Admiralty, (1941).
 - 13) 'Recommandations de la sous-commission d'analyse harmonique', Marées Terrestres, Bulletin d'Informations, N° 16, (1959), 260-261.
 - 14) Darwin, G. H. : The Harmonic Analysis of Tidal Observations, 'Report of a Committee for the Harmonic Analysis of Tidal Observations', British Association Report, (1883), 49-118 ; Scientific Papers, 1, (1907), 1-69.
 - 15) Doodson, A. T. : The Analysis of Tidal Observations for 29 Days, International Hydrographic Review, 31, (1954) 63-92.
 - 16) Lecolazet, R. : La Méthode Utilisée à Strasbourg pour l'Analyse Harmonique de la Marée Gravimétrique (Huit Mois d'Observation), Marées Terrestres, Bulletin d'Informations, N° 10, (1958), 153-178.
 - 17) Lennon, G. W. : Die Methode der Harmonischen Analyse für 29 Beobachtungstage der Erdgezeiten des Gezeiteninstituts. Liverpool, Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München 17, 15S, (1958).
 - 18) Pertzev, B. P. : Harmonic Analysis of Bodily Tides, Communications de l'Observatoire Royal de Belgique N° 114, Série Géophysique N° 39, (1957), 57-66.
 - 19) Pertzev, B. P., Pariisky, N. N. and Kramer, M. V. : Comparison of Different Methods of Harmonic Analysis of Bodily Tides, Marées Terrestres, Bulletin d'Informations, N° 7, (1957), 101-103.
 - 20) 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).
 - 21) Ogura, S. : The Tides in the Seas Adjacent to Japan, Bulletin of the Hydrographic Department, 7, (1933).
 - 22) Nagaoka, H. : Strains produced by Surface Loading over a Circular Area with Applications to Seismology, Publications of the Earthquake Investigation Committee, N° 22, Section B, (1906), 1-15.
 - 23) Boussinesq, J. : Applications des Potentiels à l'Étude de l'Équilibre et du Mouvement des Solides Élastiques, Paris, (1885).
 - 24) Melchior, P. J. : Rapport sur les Marées Terrestres 1957-1960, Marées Terrestres, Bulletin d'Informations, N° 20, (1960), 328-366.
 - 25) 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), 371-386.
 - 26) 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), 387-395.
 - 27) Melchior, P. : Compte Rendu des Réunions de la Commission Permanente des Marées Terrestres à l'Assemblée Générale d'Helsinki, Marées Terrestres, Bulletin d'Informations, N° 21, (1960), 368-370.
 - 28) 安芸敬一 : Helsinki 報告, 地震学会昭和35年度秋季大会シンポジウム, (1960).
 - 29) 西村英一・中川一郎・細山謙之輔・斉藤正徳・竹内 均 : 重力計に記録された地球振動, 地震, 第14巻, 第2号, (1961), 102-112.
 - 30) Nakagawa, I. : Some Problems on Time Change of Gravity, (in preparation).