

重力の経年変化について

一戸時雄・中川一郎・住友則彦

ON SECULAR CHANGE OF GRAVITY

by Dr. Sci. Tokio ICHINOHE, Dr. Sci. Ichiro NAKAGAWA
and Norihiko SUMITOMO

Synopsis

For the purpose of examining whether there is secular change in gravity acceleration or not, gravity surveys were made at intervals of about ten years at fifty nine stations in the Kinki District. In these surveys, rather prominent secular changes in gravity acceleration were observed in the eastern shore region of Lake Biwa, though with some uncertainties. In this article, the observational results obtained by these surveys and some considerations on the reliability of the results are briefly described.

1. 緒 論

地球上の一点における重力加速度の値は三つの要素，すなわち地球の質量による引力，地球の自転による遠心力，ある天体による潮汐力，に依存している。これら三つの要素はまた多数の物理量，すなわち万有引力常数，地球の質量，地球の半径，地球の自転速度，天体の質量，地球から天体までの距離，天体の天頂距離等の函数であつて，これらはすべて長年月の間には変化するはずのものである。これらの中でも最後の二つの量，すなわちある天体の距離と天頂距離は比較的急速にそして週期的に変化して潮汐力の週期的変化を起し，その潮汐力の変化は海洋潮汐または地球潮汐の問題と関連して Newton の時代以来多くの研究者によつて探究されてきたものである。これに反して，その他の量に起因する重力変化——それを本稿では重力の経年変化と呼ぶのであるが——は，きつと，特に地下の物質分布がある程度変動するような場合には，存在するに違いないのだが，その変化はあまりにも緩慢且つ微小であるために，今までそれが観測された例は殆どないのである。かような次第で，筆者らは重力の経年変化に関する何らかの手がかりを得ることを期待し，そして最近急速に進歩を遂げた高感度の重力計を使用すればその発見も必ずしも不可能ではないと考え，1950年から1953年までの4年間に毎年1回ずつ，近畿地方の160カ所において重力の繰返し測定を行なつた。この4年間にわたる4回の繰返し測定を便宜上 1st series の重力測定と呼ぶことにする。

1st series の重力測定の結果は既に地震学会誌その他に発表済みであり，その中で，琵琶湖西岸地域でやや顕著な重力の増大が見られることを指摘しておいた。1st series の重力測定から約10年後の昨年，1962年7月24日から8月1日までの間に，2nd series の第1回目として，全く同様の重力測定を近畿地方の59カ所で行なつたので，その測定値を 1st series の測定値と比較してみた。つぎに今回の測定から得られた二三の興味ある結果をかかげ，それに対して若干の考察を加えてみたい。

2. 測定結果

今回測定を行なつたのは59点で，その位置は Fig. 1 に示したとおりである。大部分の測定点では前回の写真と照合して前回と全く同じ位置に重力計をセットして測定を行なつたが，種々の理由で同じ位置にセット

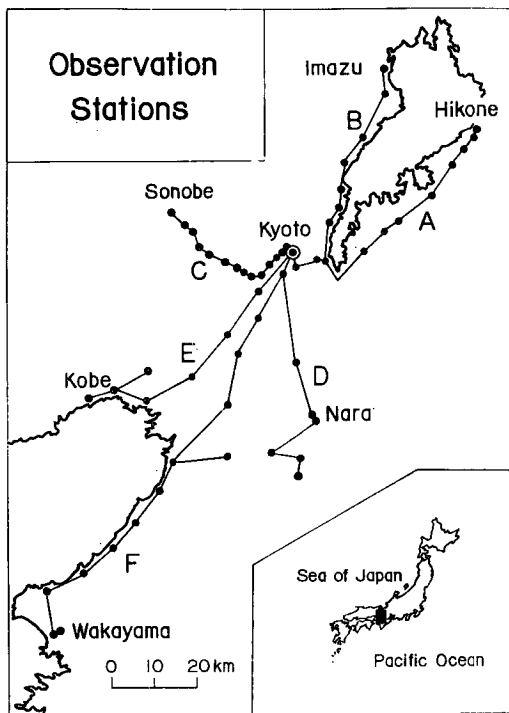


Fig. 1 Location of the observation stations. A, B, C, D, E and F represent the survey routes

できなかつた測点に対しては、測定値に適当な高度補正を加えることによって位置の変動から生ずる誤差を取除いた。今回主に使用した重力計は京都大学地質鉱物学教室所有の Worden gravimeter No. 127 であるが、京都から彦根および今津までの間 (Route AおよびB) では防災研究所々有の Askania Gs-11 gravimeter No. 111 を併用した。重力の基準には地球物理学教室の重力基準点の値を採り、基準点の重力は1950年から1962年までの間に変動しなかつたものと仮定した。各測点における重力の測定値を解析するために先ず潮汐変化と drift の補正を行なつた。Drift の補正をどのような方法で行なうかということについては種々の問題があるが、今回は一応一つの route の測定時間中 (6~10時間) drift 速度は一定であるという仮定のもとに行なつた。この仮定の正否については次節で若干の考察を加えることにする。使用した重力計の scale constant も製作会社の検定した値を信用してそのまま採用した。重力の経年変化の研究には重力計の scale constant の正確さが非常に重要な意味をもっており、それは筆者らのように、1st series の測定には North American gra-

vimeter を用いながら、2nd series では Worden gravimeter と Askania gravimeter を使用した場合にはなおさらである。North American gravimeter と Worden gravimeter の二つの scale constant の間に少しでも違いがあれば、見掛け上の重力変化が現われる筈である。このような見掛け上の重力変化が生ずる恐れをなくするために次のような方法を講じた。先ず基準点 (地球物理学教室) の重力値を座標原点に採り、基準点と各測点間の重力差を横軸に、そして各測点における前回の測定値と今回の測定値の差を縦軸に採つてプロットすると Fig. 2 のようになる。前回の測定値としては種々の理由により 1st series の3回目すなわち1952年の値を採用した。Fig. 2 から、それぞれの点は相当ばらついているが、全体としてはわずかに右上りの帯状に分布していることが読み取られるであらう。このことは基準点との重力差の大き

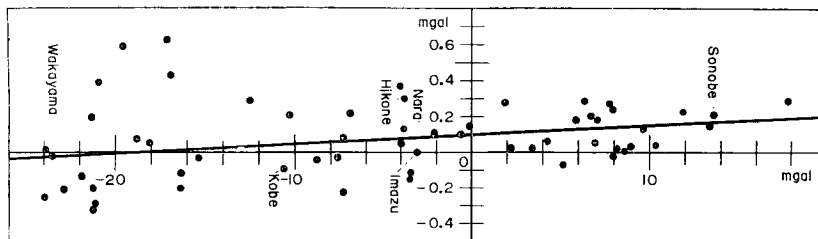


Fig. 2 Abscissa represents the gravity difference between each station and the base station, ordinate the difference between the gravity values of the present survey and former one at each station

い測点ほど重力変化が大きく現われているということであつて、これは真の重力変化ではなく、2台の重力計の scale constant の相違から生じたものと考えるのが妥当であろう。図の1本の太い斜線はその中心線を最小自乗法で求めたものである。この直線の勾配から2台の重力計の scale constant の差は約0.5%であることが知られる。Fig. 2 から、この直線はまた、ちょうど原点を通らず $+0.096 \text{ mgal}$ の点で縦軸と交わっていることが解るが、このことは基準点において、相対的に -0.096 mgal の重力変化があつたことを示している。筆者らはさきに基準点では重力変化がないものと仮定したのに測定結果がこのようになったのは、さきの仮定が過つていたために必然的に生じたものではなくて、つぎのようなことから見掛け上現われてきたものと考えられる。実は、前回の重力測定の基準点は本部構内の旧地球物理学教室(現在教育学部図書館)の地下室で、その後教室の移転に伴つて重力の基準点も移転したが、この新旧両基準点の重力値を連結する測定作業の途中に上述の量の誤差が入り込んできたものと考えられる。あるいはまた、重力計の drift 速度は一定であるというもう一つの基本的な仮定の過ちから生じたものかとも思われる。Drift 速度が一定ではなく、若し、基準点出発直後の短時間だけ drift が急激で、その後は一様に緩慢であつた場合も上述のような見掛け上の重力変化が現われるはずである。いずれにせよ、これらのことを考え合わせると、重力変化についてこれから議論を進めるためには、Fig. 2 の最小自乗法で求めた中心線からそれぞれの点までの偏差をその地点における重力の変化量と見做すのが今のところ最も妥当と思われる。このようにして得られた各地点の重力変化量は、North American と Worden の両重力計の scale constant の相違および基準点の移転から生ずる系統誤差は一応取除かれたものであつて、それを測定 route 別に表示したのが Fig. 3 である。Fig. 3 の縦軸は上述の方法で得られた各地点の重力変化量を示し、横軸は route に沿つて測つた基準点から各測点までの距離を示している。このようにして得られた重力変化量の中にはまだ個々の測点における読取り誤差あるいは上述のもの以外の何らかの系統誤差が潜入している恐れが多分があるので、次節においてさらにこれを検討することにする。

3. 測定結果の吟味

Fig. 3 で先ず目に着くのは route A, B および E に沿つてある規則だつた重力変化が見られることであろう。特に route A, および B, では Worden と Askania の2台の重力計の測定結果が全く同様の傾向を示している。これらの規則だつた重力変化が単に器械的誤差または測定誤差に由来するものとすれば、その原因を先ず drift 速度の不規則性に帰すべきであらう。Drift 速度が一樣でないと当然このような結果を生ずるはずである。Drift 速度の不規則性に最も影響を及ぼすと考えられるのは温度変化であるが、測候所の観測資料によれば、route A, B, および E を測定した日だけが特に気温が異常であつたとは認められない。また、強力な太陽輻射が drift 速度に影響を及ぼすことも考えられるが、この場合は、全く構造の異なる2種の重力計が結果的には殆ど同じような影響を受けたということは、ありえないことではないが、偶然にしてはあまりにも奇妙である。土地の隆起または沈降に伴う観測地点の垂直移動が見

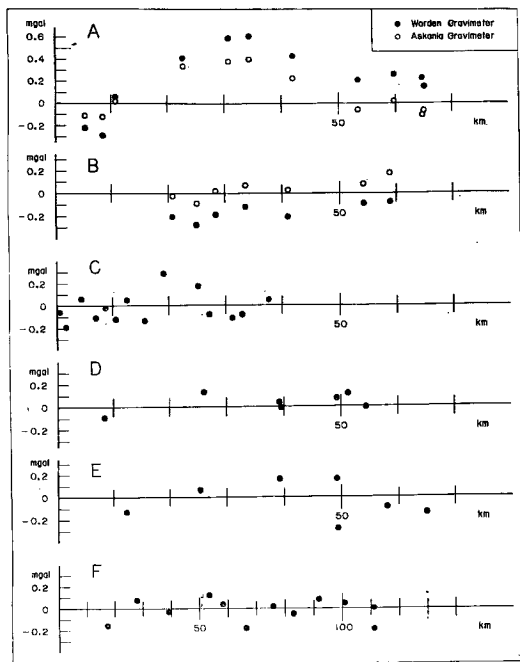


Fig. 3 Gravity change in each survey route.
Abscissa represents the distance of each observation station from the base station

掛け上の重力変化を生ずる場合も考えられるが、この10年間に Fig. 3 に示された重力変化を生ずるほど大きな土地の沈下があつたとは到底考えられない。地下水面の変動が重力値に影響を及ぼすことも考えられるが、これだけの重力変化を生ずるためには地下水面が 25m も変動しなければならないので、この原因によるものとも思われない。また、たとえ今回の測定が正確であつても、比較に用いた前回 (1952年) の測定値に誤差があれば、見掛け上の重力変化が現われる筈だが、1st series の 4 回の測定中1952年の測定値だけが特に異常であつたという事実はなく、従つて前回の測定値に誤差の原因を求めることもできない。

これまで測定誤差の原因となりうる要素については種々吟味してきたのであるが、上述のごとく、確定的な誤差の原因を見出すことができないとすれば、Fig. 3 の route A, B, および E に見られる重力変化は単なる見掛け上のものではなくて、あるいは地下物質の分布状態の変化による 真の重力変化なのかも知れない。もしそうだとすれば、地下物質の移動を証拠づけるような現象が重力変化の他に何か起つていそうなものだが、今のところ余り確実な証拠は見当らないようである。しかし重力の Bouguer 異常からはこのことに関していくらかの手掛りを得ることができる。地下構造の面から見ると、route A, B, および E は Bouguer 異常の負領域、特に A は琵琶湖東岸のかなり顕著な負領域にあつて、しかもその地域一帯は地殻均衡論上不安定の状態にあるものと考えられている。このような地域では、その不安定な状態を回復するために地下物質の分布状態に変化を生ずると考えるのは全く自然であろう。国土地理院の非公式報告によれば、琵琶湖の湖底は今なおその侵蝕が続いているということであるが、この現象もあるいは上述の物質移動と何らかの関連があるのかも知れない。また、近畿地方建設局の未発表観測資料を調査したところによると、過去10年間に琵琶湖の水位はかなり上昇を示している。琵琶湖の水位は人工的に支配される面が大きいので、このことから自然現象の変化について明確な結論を導き出すことはできないが、この現象の中にも上述の物質移動に関する何ごとかが秘められているのではないかと想像される。詳細に調べれば、この他にもなお琵琶湖の侵蝕を裏付ける現象があるようである。

これまで route A, B, および E に沿つて見出された重力変化に関して、測定誤差より生ずる見掛け上のものである場合と真の重力変化である場合との二つにわけて、その可能性を論じてきたのであるが、上述のことを総合すると、どちらかと言えば、琵琶湖一帯の地下深所においてある種の地殻変動が進行しており、そのために重力変化が起つたのだと考える方がむしろ自然であろう。試みに、厚さ 40 km の地殻の密度が一様に変つたと仮定すれば、上述の重力変化を生ずるために必要な密度の変化は 0.04~0.15 % と推算され、また半径 20 km の球状領域の密度が一様に変つたとすれば、密度の変化は 0.12~0.45 % となる。

4. 結 論

前述のことを要約すれば、1952年から1962年までの約10年間に近畿地方の Bouguer 異常の負領域において重力の経年変化、殊に琵琶湖東岸ではかなり顕著な重力の増大が観測された。しかし、その観測結果が地殻の変動に基づく真の重力変化か、それとも測定誤差から生ずる単なる見掛け上のものかを断定するためにはまだ多くの疑問が残されていると言わねばならない。この疑問は、というより一般に重力の経年変化の問題は、長年月に亘る繰返し測定が必要なことはもち論であるが、一方では重力計と他の型の重力測定装置、例えば gravity variometer, gravity pendulum, torsion balance 等との併用、さらに進んでは異種の観測、例えば鉛直線偏倚との同時観測等によつて始めて解決されるものと考えられる。