

ステップモーターを利用したラコステ重力計による 地球潮汐の自動測定

岩橋 悟*・新妻信明**・里村幹夫***

Automatic Repeated Measurements of Gravity by Using LaCoste & Romberg Gravimeter with Stepping Motor Controlled by Computer

Satoru IWAHASHI*, Nobuaki NIITSUMA** and Mikio SATOMURA***

A stepping motor has been connected on the measuring dial of LaCoste & Romberg model G gravimeter in order to repeat automatic measurements of tidal gravity change. The stepping motor is controlled by EPSON handheld computer.

In order to reduce the effect of temperature change, the electronic circuit of readout system in the gravimeter was improved, and furthermore, a disk type thermistor and semiconductor pressure sensor were attached to the inside of the gravimeter for monitoring the atmospheric conditions. The gravimeter was set on a gimbal in order to reduce the instrumental sensitivity change due to tilt change.

The atmospheric effects and the accuracy of the results obtained by using this system are as follows:

1. When the atmospheric pressure increases by 1 mb, the measured value decreases by $0.17 - 0.30 \mu\text{gal}$.
2. The effect of air-temperature change is less than $1.4 \mu\text{gal}/^\circ\text{C}$
3. The standard deviation of the reading from the gravimeter with this system is less than $0.3 \mu\text{gal}$ on the usual observation circumstances.

I. はじめに

地球潮汐の測定は、地球の内部構造を調べるうえで、たいへん有用であり、重力計、傾斜計、伸縮計などの各種の計器によりその測定がなされている。とくに重力は LaCoste & Romberg 重力計(以下、ラコステ重力計と略す)に代表されるスプリング式重

力計の発達により、特別の観測室を設けなくても精度の高い観測ができ、その潮汐定数の地域性も論じられている(例えば Nakagawa, 1962; Endo, 1982)。しかし、地球潮汐観測用に開発された重力計はいずれも高価であり、また装置が大掛かりで機動性に欠ける。また、精度がたいへん高いといわれる超伝導重力計でも、以上の問題以外に、その定数の

1989年3月23日受理

*東芝エンジニアリング株式会社 Toshiba Engineering Co. Ltd. 1-1-15, Musashidai, Fuchu-shi, Tokyo 183.

**静岡大学理学部地球科学教室 Institute of Geosciences, School of Science, Shizuoka University, Shizuoka 422.

***静岡大学教養部地学教室 Institute of Geosciences, Faculty of Liberal Arts, Shizuoka University, Shizuoka 422.

検定にもまだ問題が残っている。

一方、通常の野外測定に使われている重力計、例えばラコステ重力計の電気出力をそのまま記録することにより潮汐変化を記録する方法もある。しかし、この種の重力計は本来零位法による測定用に製作されたものであり、零点からのずれの変化で重力変化を記録することは、とくに感度の点において問題がある。その欠点を避けるために、電気力を用いて重力計のスプリングの長さを変化させないようにし、その時かけた電圧から重力変化の記録をとる Harrison & Sato (1984) のような方法も工夫されているが、ここではラコステ重力計本来の測定方法をそのまま自動化する方法を考えた。

具体的には、ラコステ重力計にステップモーターを取り付け、これをコンピュータで制御することによって、零位法による自動測定を可能にした。さらに圧力センサーと温度センサーを重力計の内部に組み込み、測定環境をつねにモニターできるようにした。また、システム全体をできるだけコンパクトにすることによって、いろいろな場所で地球潮汐の測定ができるようにした。

重力の測定精度が $1 \mu\text{gal}$ あるいはこれ以下のオーダーになると、気圧、温度、傾斜などの変化が測定値に影響をおよぼす。このため、これらの影響をできるだけ取り除くため、さらに重力計を改良した。

II. 重力計の改造およびその測定方法

1 重力計の改造

自動測定化にあたって、まずはじめに、重力計の上蓋に3ヵ所穴をあけ、ステップモーターを取り付けた台座を固定し、ダイヤルとステップモーターの軸をジョイントで接続した。使用したステップモーターは、Step Syn 社製の 103-540-26 型で、1-2 相励磁で使用すると最小ステップ角 0.9 度で動かすことができる。1 ステップが約 $2.5 \mu\text{gal}$ に相当する。このステップモーターに図 1 に示すような自作した駆動回路とインターフェイス回路を接続し、エプソンハンドヘルドコンピュータ HC-40 で制御する。重力計の内部の温度と気圧をモニターするため、

サーミスタと圧力センサーを取付けた。使用したサーミスタは、三洋電機製のディスク型サーミスタ SDT-1000 で、動作温度範囲は $-20 \sim 70$ °C である。感度は、 0.25 mA 印加したとき 30 °C 前後のところでは、約 $300 \Omega/\text{°C}$ である。

圧力センサーは、藤倉電線製の半導体圧力センサー FPS-10AC で、動作圧力範囲は $0 \sim 1.0 \text{ kg/cm}^2$ である。感度は 3 mA 印加したときで 0.05 mV/mb と低いため差動増幅器で約 20 倍に増幅した。重力計のリードアウト、サーミスタ、圧力センサーの3つの信号は、HC-40 のコマンドで切り換えるアナログスイッチ回路を介して HC-40 の計測ユニットに取り込まれる。制作したアナログスイッチと差動増幅器の回路を図 2 に示す。

重力計は、零位法で測定する限り、重力計を設置している台が少し傾斜しても、その測定値にはほとんど影響がでないように設計されているが、わずかな重力変化を議論する場合にはその傾斜変化も問題になる。そのため、図 3 に示すようなジンバルを作製し、その上に重力計をのせ、ジンバルの台座が傾斜しても重力計本体は、水平を保つようにした。

2. 測定方法

リードアウト出力は、図 4-a に示すように数 Hz の周期で振動している。これには、重力計の固有振動やジンバルにのせたことによるジンバルの固有振動が含まれている。このため、これらの振動の影響をうち消すような平均処理を行う必要がある。

図 4-b は、1 秒間の移動平均値をプロットしたものであり、これでは約 4 秒の周期が明瞭に見られる。図 4-c は、43 秒間の移動平均値であり、これでは振動周期の影響がほとんど消え、きれいな直線になっている。またダイヤルの回転を止めた後、出力が安定するのに約 30 秒かかることが分かる。以上は G-822 の場合についてだが、G-719 についても振動周期の影響をうち消すサンプリング時間を求めた結果、43 秒間と G-822 と同じになった。またダイヤルの回転を止めた後、40 秒程で出力が安定する (図 5-a, b, c)。これから G-822, G-719 とともに、ダイヤルの回転を止めてから、40 秒程たってからサンプリ

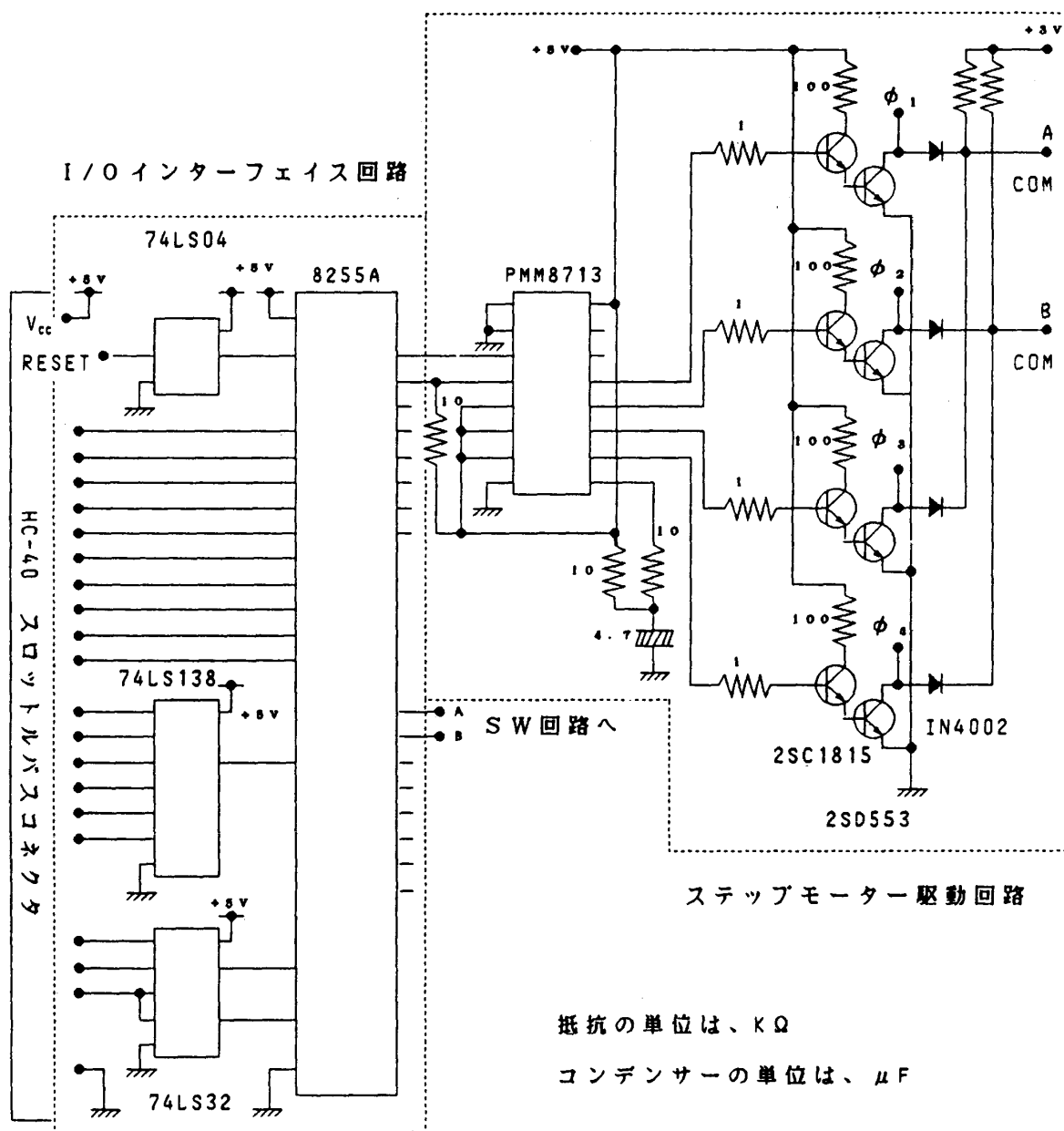


図1 インターフェイス及びステップモーター駆動回路図

ングを開始し、また、移動平均を採る時間幅を43秒にすると安定した出力が得られることがわかる。

以上のことから、次のような測定方法を採用した。

まず、リード・アウトの出力を43秒間に157回サンプリングし、その平均値を求める。もし出力のサ

ンプリング値のばらつきがある値よりも大きいと、地震であると判断し、リード・アウト出力だけを取り込む地震測定ルーチンへ入る。出力が安定していれば、出力の零(0 mVとは限らない。零と指定された値)をはさむようにステップ・モーター、つまり

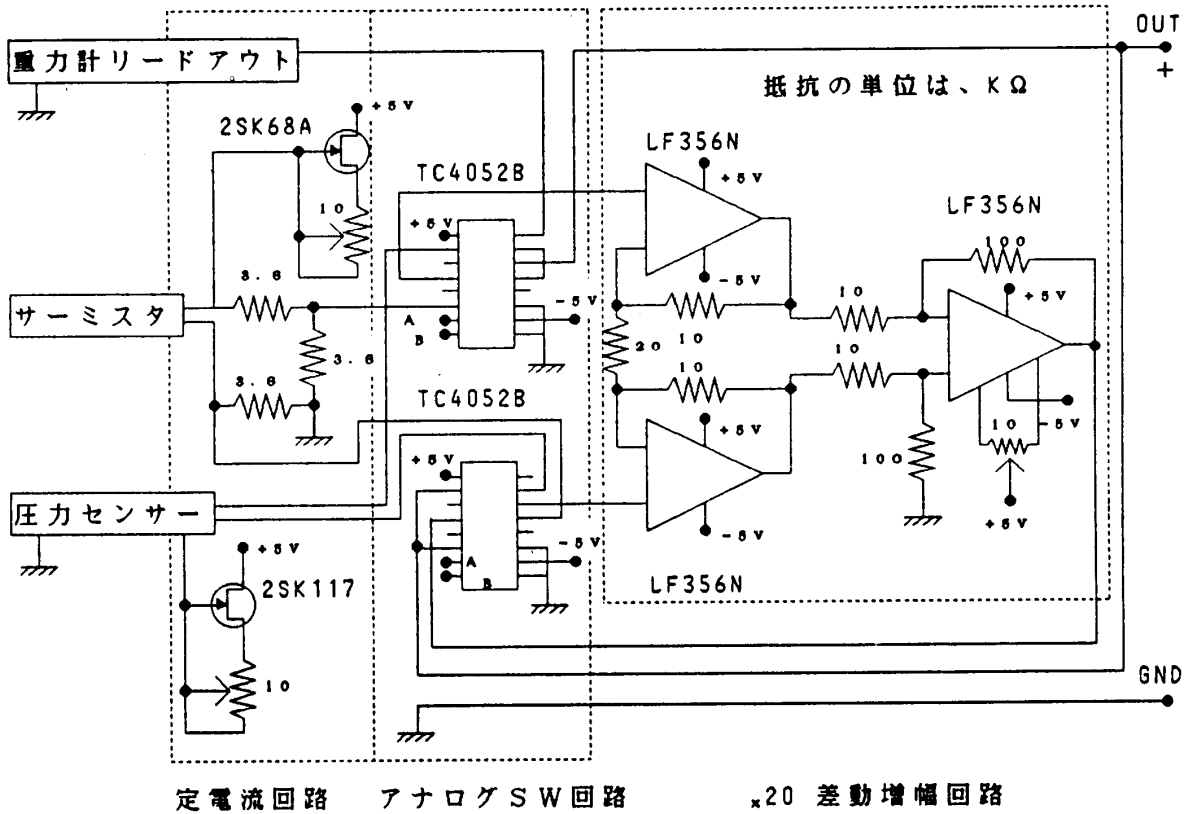


図2 アナログスイッチ及び20倍差動増幅回路図

ダイヤルを 3.6° (約 $10 \mu\text{gal}$)回転させる。ダイヤルは時計方向に合わせることにし、バックラッシュを避けるために反時計回りに回転させるときは、一度大きく(約 50°)動かしたのち、最後は時計回りにダイヤルを回転させる。40秒間待ち、次の43秒間に再度リードアウト出力を157回サンプリングする。同じことをもう一度繰り返す、合計3組のダイヤル値とリードアウト出力値から、直線近似で出力が零のときのダイヤル値を計算する。

このようにして得られたダイヤル値に計器定数を乗じて相対重力値に換算するとともに、地球潮汐の理論値を計算し、測定値との残差、重力計の感度を計算する。なお、起潮力計算のための天体の位置計算については、長沢(1981)を参考にした。また、測定開始時と終了時には気温と気圧も測定する。これらのデータは、図6に示すようにプリンターに出力

するとともに、フロッピーディスクにセーブする。このような測定を10分ごとに行うこととした。

図7に測定全体の流れ図を、図8にシステムの概要を示す。

3. 読取り精度

毎測定時、出力が零になるときのダイヤル値を3組のデータから直線近似の最小二乗法で求めているので、そのダイヤル値の標準偏差も同時に求めることができる。その標準偏差の度数分布を図9に示す。これを見ると $0.7 \mu\text{gal}$ 以上の値の度数は急激に減り、標準偏差全体の平均は $0.22 \mu\text{gal}$ である。このことから本方式の重力計の読取り精度は、 $0.3 \mu\text{gal}$ 程度といえる。

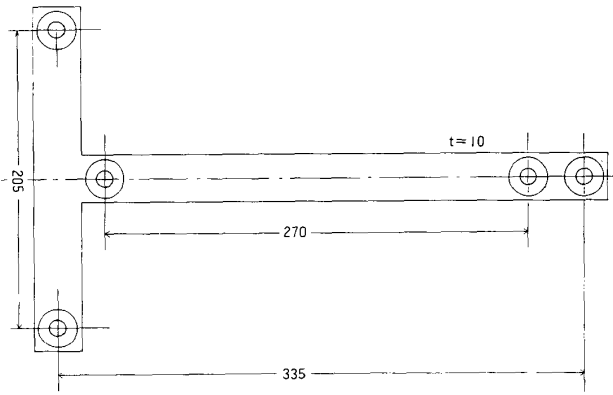


図3-a ジンバル基台設計図

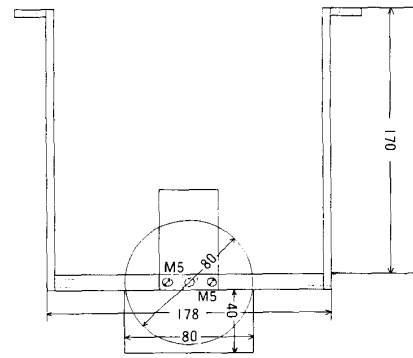
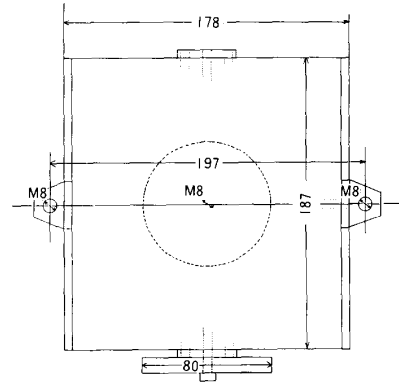


図3-d ジンバル内枠計図i

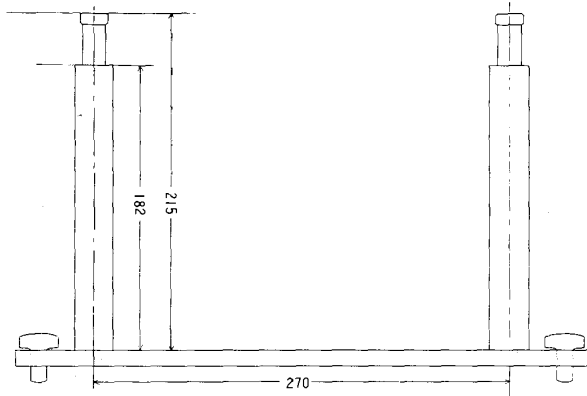


図3-b ジンバル基台側面設計図

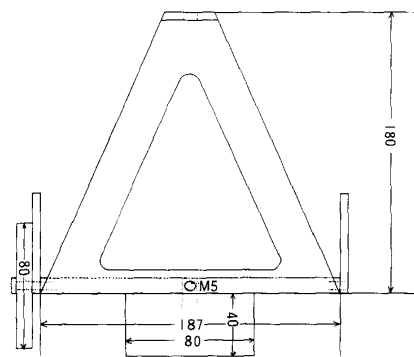


図3-e ジンバル内枠計図ii

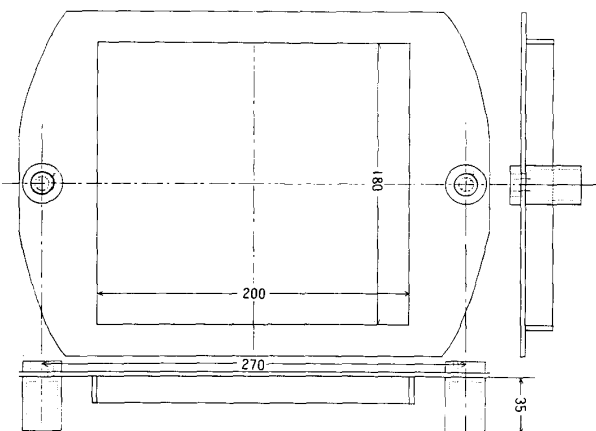


図3-c ジンバル外枠設計図

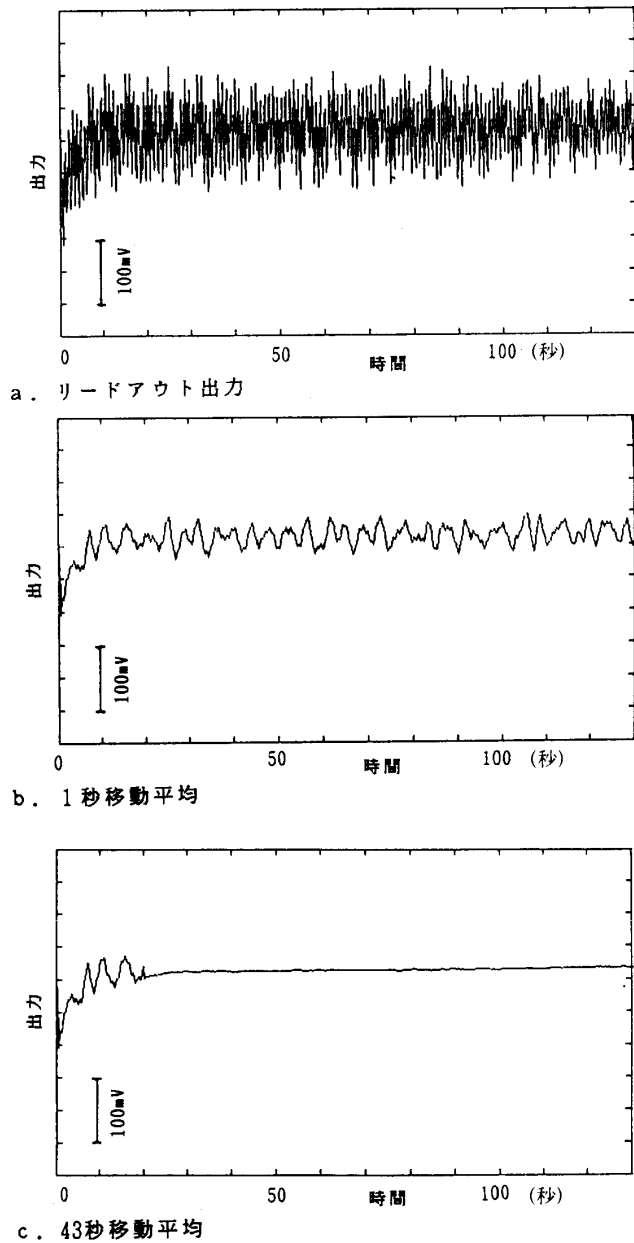


図4 G-822のリードアウト出力のサンプリング

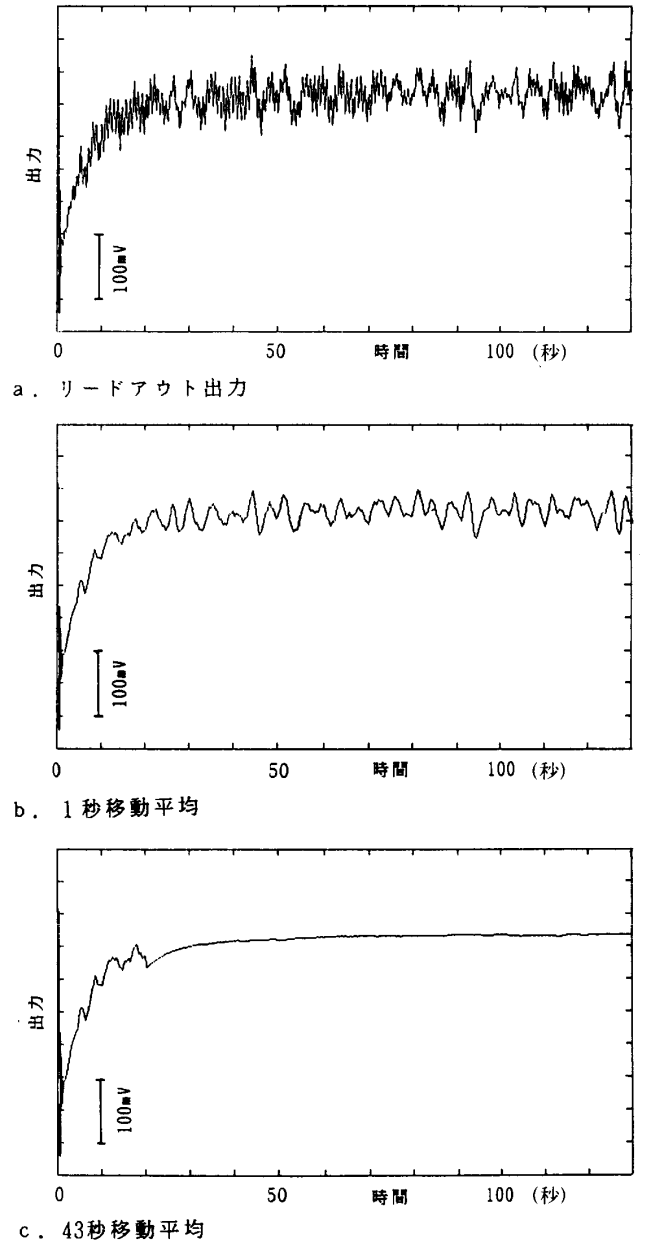


図5 G-719のリードアウト出力のサンプリング

Ⅲ. 重力測定値におよぼす種々の影響

1. 気圧変化による影響

重力測定精度が $1 \mu\text{gal}$ のオーダーに近づいてくると、空気の質量による引力を考慮しなければならない。気圧が変化したことによる引力は、理論的には、

$-0.43 \mu\text{gal} / \text{mb}$ となる (Warburton & Goodkind, 1977; Spratt, 1982; Levine *et al.*, 1986). しかし、気圧の変化は重力計のおもりに働く浮力変化としても効いてくると考えられる。これらはまとめて解析の際に考慮することとした。

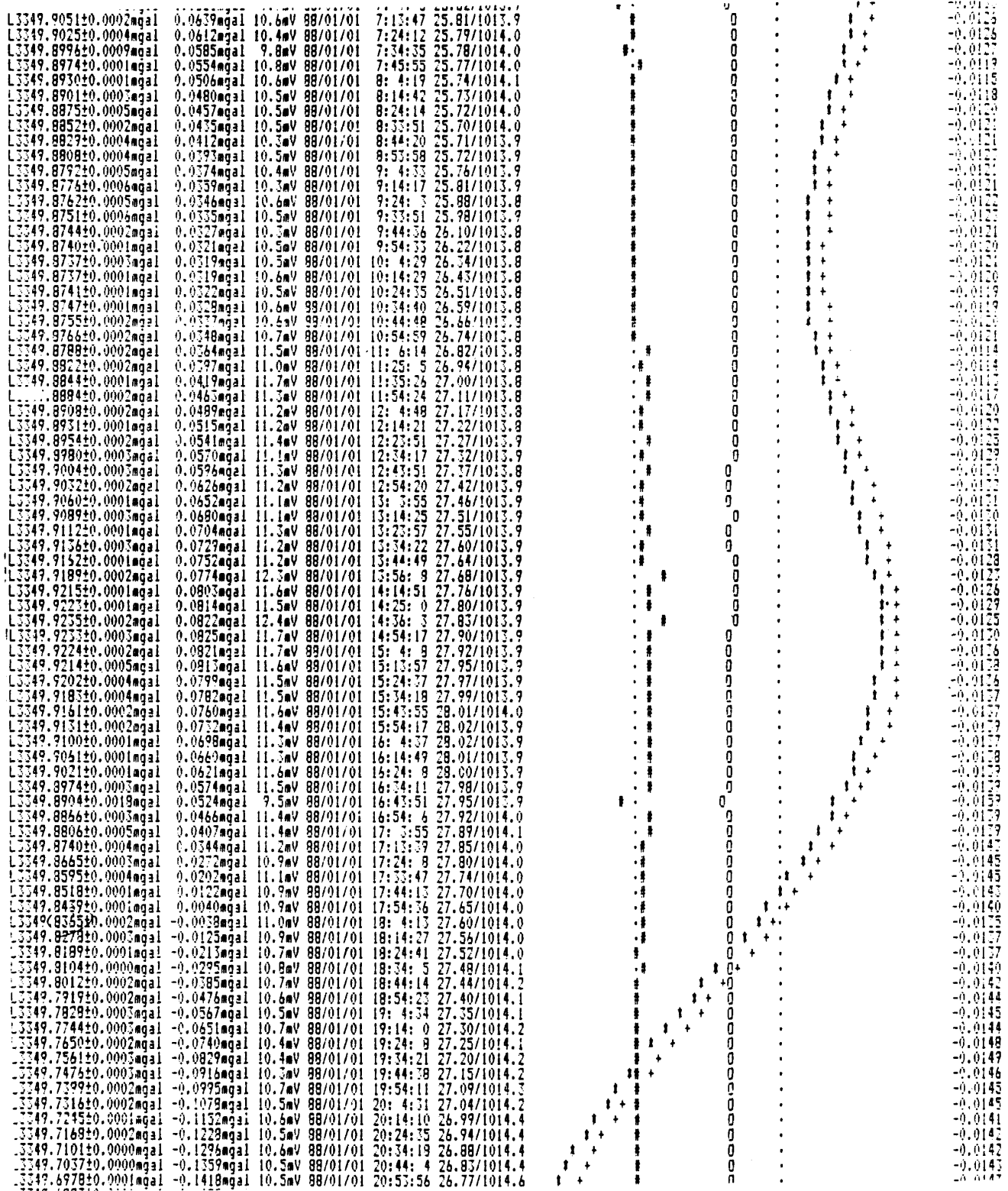


図6 実際の測定結果のプリンターへの打ち出し

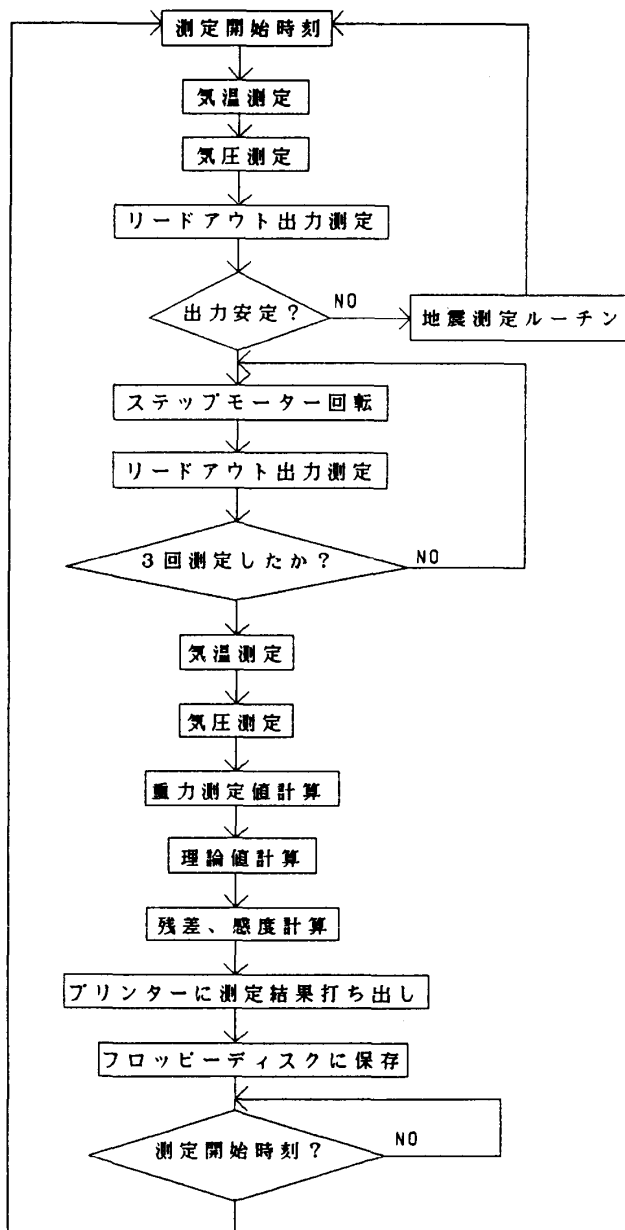


図7 測定のフローチャート

2. 温度変化による影響

温度変化が重力に与える影響もかなり大きい。季節変化などのゆるやかな温度変化はドリフトの変化として表れるが、急激な温度変化は重力値の変化として表れると考えられる。これを調べるために、重力計を外部から急激に温めたり冷やしたりした。この結果、重力計内部の温度が1℃上がると、重力はみ

かけ上約4 μgal 小さくなることがわかった。この原因としては、重力計の内部に設置されているリードアウト出力用のアンプの零点調整用の抵抗およびゲイン調整用可変抵抗の温度係数が大きく、リードアウト出力が変化することが考えられる。この影響を避けるため、これらの可変抵抗を温度係数が非常に小さい超高精度固定抵抗に付け換え、かつアンプの基板の部品がなるべく外部の温度変化を受けないように部品側を内側にして入れ換えた。この結果、温度変化と重力値との関係は約 $-1.4 \mu\text{gal}/^\circ\text{C}$ と小さくなり、かなり改善された。また発泡スチロールのおおいを作り重力計をすっぽりおおうことによって、できるだけ外部の温度変化が重力計に入り込まないようにした。

3. 重力計の感度変化による影響

ラコステ重力計の特徴として、設置角を変えることによって、任意に計器感度を変えることができる。したがって、測定中に設置角が変化するとリードアウト出力が変わり、みかけの重力変化が生じる。重力計はどちらに傾いてもリードアウト出力が大きく変化しないように零位の位置を決めているが、それでもなお傾斜変化による影響が観測されたので、ジンバルを作製し、この上に重力計を設置し測定を行うことにより、傾斜変化の影響をできるだけ受けないようにした。

4. 電源電圧の変化による影響

重力計内部の恒温槽とリードアウト出力用回路の電源は、同じ回路を用いており、リードアウト出力用回路には、常に電源が供給され、恒温槽のヒーターにはサーモスタットでスイッチが入ったときだけ供給されるようになっている。このため冬季になって外気温が下がり恒温槽のヒーターへの電源供給回数が多くなると、ヒーターへの電源が入ったときリードアウト出力回路用の電源電圧の電圧降下が起こり、図10のようにリードアウト出力が変化し、みかけの重力変化が生じる。電源電圧は通常約12Vであるが、

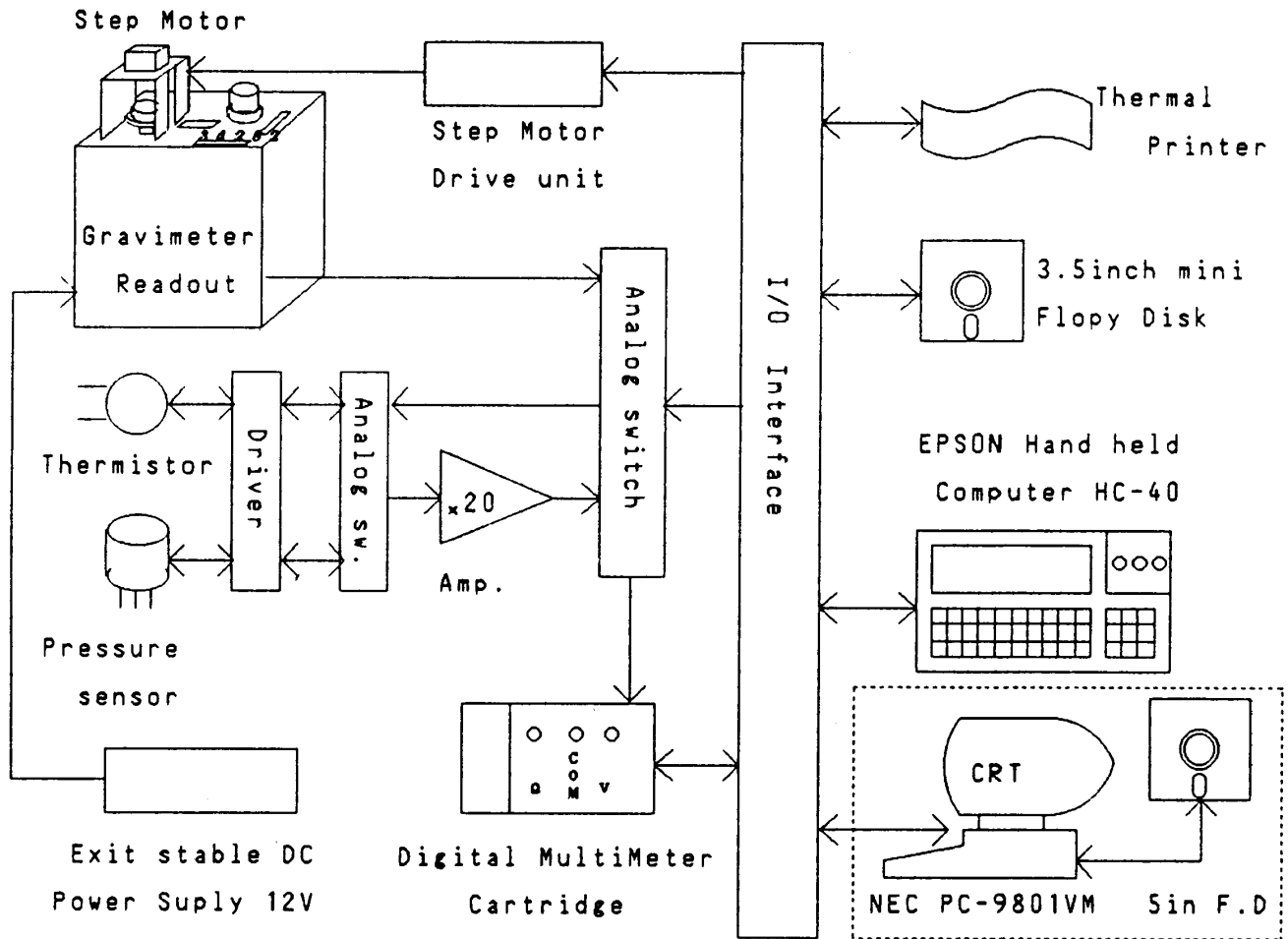


図8 自動測定システムの概要

ヒーターへのスイッチが入ると電圧降下のため 11 V 前後になってしまい、リードアウト出力は約 70mV 大きくなる。これは、重力値にして約 $7 \mu\text{gal}$ の変化に相当する。この対策として図 11 に示すような安定化電源を作製し、リードアウト出力用回路の電源を恒温槽の電源と別にする事にした。専用電源を取り付けることにより、リードアウト出力の変化を $\pm 5 \text{ mV}$ 以下に抑えることができた。

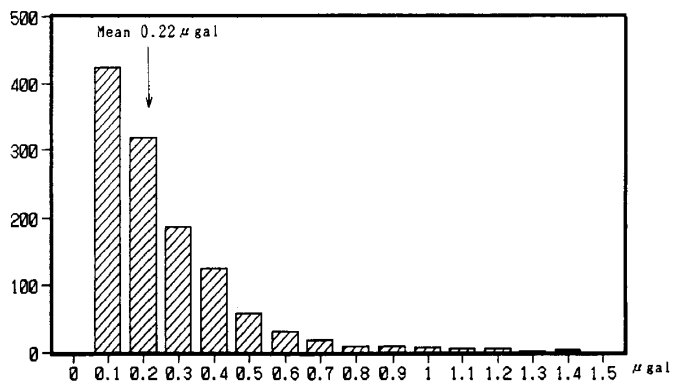


図9 読取り値の標準偏差の分布

IV. 解 析

1. 解析にあたって

測定結果の解析にあたって、まず測定されたデー

データの転送を行う。測定はエプソンのハンドヘルドコンピュータ HC-40 で行っているため、測定データは3.5インチのフロッピーディスクに保存されている。解析には、多量のデータを扱いかつ高速性が要求されるため、日本電気の16ビットコンピュータ PC-9801VM を用いる。このため HC-40 から PC-9801VM に RS-232C 回線を用いデータ転送を行い、5.25インチのフロッピーディスクに保存しなおす。

こうして転送されたデータをもちいて、PC-9801VM で解析を行う。

潮汐定数を求めるにあたっては、短期間(2日間)の測定値から定数を求めることに主眼をおき、通常のような調和解析は行わず、単純に測定値と理論値

の残差二乗和の平均の平方根が最小になるような定数を求めた。具体的には、地球を剛体と仮定したときの理論値に潮汐定数の値をいろいろ変えて掛け合

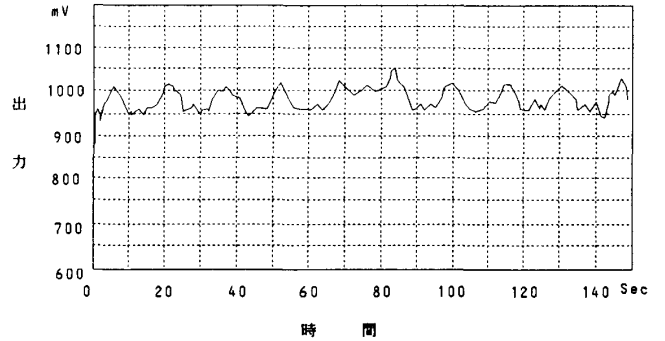
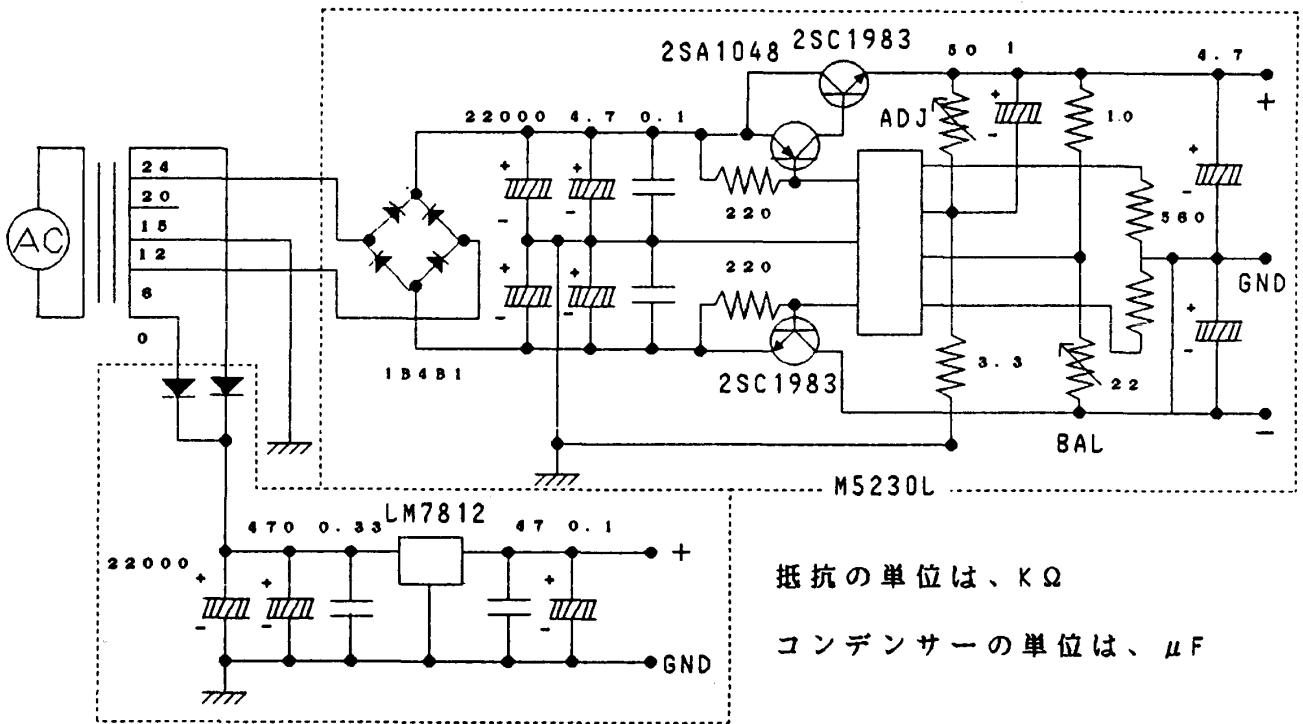


図10 ヒーター電源のON,OFFによるリードアウト出力の変化



重力計アンプ用+12V定電圧電源回路

抵抗の単位は、KΩ
コンデンサーの単位は、μF

アナログSW, 差動増幅, 定電流回路用定電圧±電源回路

図11 安定化電源回路図

おせたものと、測定値から海洋潮汐の影響を差し引いたものとの差を求め、その二乗和を計算し、この値が最小になったときの値を潮汐定数として採用した。

ただし、測定値の標準偏差がある基準値(今回は $0.6 \mu\text{gal}$) を越えた場合は、この測定値を取り除いて計算した。

2. 測定値の補正

解析は、まず初めに気圧補正を行う。方法としては、気圧補正定数をその理論値 $-0.43 \mu\text{gal}/\text{mb}$ の付近でいろいろ変え、この値を用いて気圧補正を行った測定値との残差の二乗和の平均の平方根が最小になる気圧補正定数の値を気圧がおよぼす影響とした。

次に、こうして求められた気圧補正定数の値を用いて補正した測定値を、ペルチェフのフィルター (Pertzev, 1957) に通してドリフトを求め、これを差し引く。さらに、理論値も、同じフィルターを適用して系統差を避ける方法をとった。

次に、温度と感度の補正を行う。温度と感度の補正は、ドリフトを除去した後の測定値と温度、測定値と感度の関係をそれぞれ2次曲線としてその係数を最小二乗法で求め、この曲線から影響量を計算し、これを取り除いた。

海洋潮汐の影響については、とりあえず、駿河湾の潮位変化についてのみ考慮した。具体的には、図12に示す扇形の範囲が、それぞれ近くの検潮所と同じ潮位変化をしているものと仮定し、海水の引力と、ブジネスクの解による荷重変化の影響を求めた。

今、観測点から海岸線までの距離を r_1 , 測定地から見積もる最大海水域までの距離を r_2 , またその範囲角が θ_1 から θ_2 の半円の海水域で密度 ρ_w の海水の潮位が ζ だけ変化したときの観測点におよぼす引力を考えると、標高 h の観測点での重力変化量 Δg は

$$\Delta g = G \rho_w \zeta h \int_{\theta_1}^{\theta_2} \int_{r_1}^{r_2} \frac{r}{(r^2 + h^2)^{3/2}} d\theta dr$$

となる。

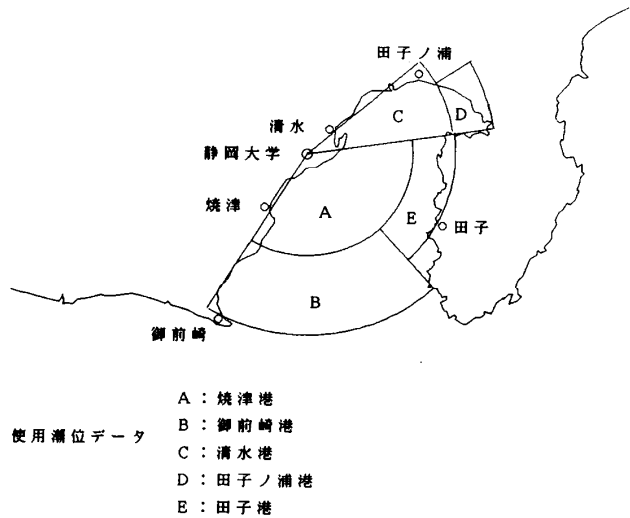


図12 海洋潮汐の見積もり範囲

また、その場合の地殻上下変化量 ΔH は、地殻のラメ定数を λ , μ , 重力加速度を g とすると、

$$\Delta H = \frac{\lambda + 2\mu}{4\pi\mu(\lambda + \mu)} \rho_w \zeta g \int_{\theta_1}^{\theta_2} \int_{r_1}^{r_2} d\theta dr$$

となる。重力変化は観測点の上下変動によるブーゲー変化であるから、フリーエア勾配を β , 地殻の密度を ρ_c とし、潮汐荷重による変形に伴う地殻物質の質量再配分から生じる重力変化も考慮に入れると、潮汐荷重による地殻の上下変動に対する重力変化率 Γ は、

$$\Gamma = -\beta + 2\pi G \rho_c \frac{\lambda + \mu}{\lambda + 2\mu}$$

となる (萩原, 1978)。よって潮汐荷重の変化による観測点の重力変化量は、

$$\Delta g = \Gamma \Delta H$$

となる。

使用した潮位データは清水港、焼津港、御前崎港、田子の浦港、田子港のもので、日本沿岸潮汐調和定数表 (海上保安庁水路部, 1983) を用いて、任意の時刻における潮位 ζ を計算し求めた。

また本計算中で用いたラメ定数 λ , μ , 地殻の密度 ρ_c , 海水の密度 ρ_w は、以下のとおりである。

$$\lambda = \mu = 2.4 \times 10^{11} \text{ dyn}/\text{cm}^2 \text{ (長谷川・里村, 1987)}$$

$$\rho_c = 2.57 \text{ g}/\text{cm}^3 \text{ (里村・安間, 1986)}$$

$$\rho_w = 1.04 \text{ g}/\text{cm}^3$$

これらの値を用いて計算された海洋潮汐が重力潮汐変化に与える影響量は、最大で $4 \mu\text{gal}$ 程度になる。また海洋潮汐の位相は、海水の粘性のため地球潮汐の位相よりも角度にして約 170 度遅れる。このためみかけ上重力潮汐変化の振幅を大きくする方向に働く。

図 13 に、今回の解析全体の流れ図を示す。

V. 測定結果と考察

1. G-822 と G-719 の補正定数

ラコステ重力計のダイヤル値を相対重力値に換算するには、製作会社から与えられている定数表を用いるが、2 台以上の重力計の測定値を比較するときは、定数検定が必要になってくる。特に μgal オーダーの測定精度で、かつ測定範囲が数百 μgal という狭い範囲になると使用した範囲での定数検定は重要になる。本研究で使用した 2 台の重力計 G-822, G-719 の測定期間中を含む最近 2 年間の使用ダイヤル範囲は、それぞれ約 $3333.5 \sim 3337.5\text{mgal}$ と約 $3341.5 \sim 3351.5\text{mgal}$ なので、この 2 台の重力計で理学部 C 棟 421 室、教養部 C 棟 603 室、理学部地殻活動観測所、大学構内の水準点、静岡地方気象台の間で、同時並行測定を行ったときの測定結果から、ほぼ同じ使用ダイヤル範囲に相当する測定値を選び出し、G-822 に対する G-719 の相対的補正定数を求めた。その結果は

$$G-719 / G-822 = 1.00158$$

となった。この定数の違いは、通常定数検定のものよりもはるかに大きい。狭い重力差の範囲なので、ペリオディック・エラー等のために生じたものであろう。いずれにせよこのダイヤル範囲においては、G-719 の重力計のほうが G-822 よりも重力潮汐変化の振幅が大きくなることを意味する。このため G-719 より求められた潮汐定数は、この補正定数を用いて G-822 を基準とした値に補正した。

気圧変化が重力潮汐変化に与える影響を求めたところ

$$G-822 : \Delta g = -0.30 \mu\text{gal} / \text{mb}$$

$$G-719 : \Delta g = -0.17 \mu\text{gal} / \text{mb}$$

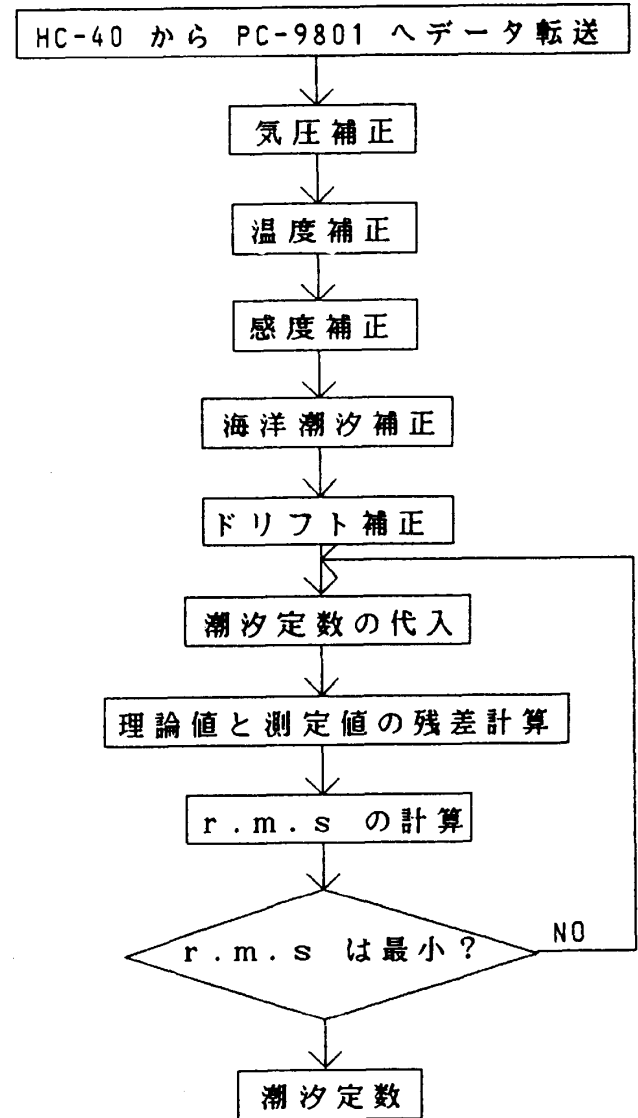


図13 解析のフローチャート

となった。大気質量変化は動力に引力と荷重の 2 つの形で効いてくる。Rabbel & Zschau(1985)によると、荷重の効果は、おおよそ $0.17 \mu\text{gal} / \text{mb}$ となる。気圧変化による測定値への影響は、引力の理論値に荷重効果 $-0.43 \mu\text{gal} / \text{mb}$ を加えると約 $-0.26 \mu\text{gal} / \text{mb}$ となり、今回の結果はほぼ妥当な値である。重力計によって影響量が違うのは、重力計内部のバネや重りにかかる浮力補正に機器の個体差があるためと考えられる。

2. 2台の重力計の同時比較測定

1987年12月30日から1988年1月5日まで、2台の重力計を静岡大学理学部工作センター内の薄片室に設置し、測定を行った。解析は、2日分のデータを1ユニットとし、これを1日ずつずらして行った。

この結果、前述の補正定数を用いて補正したG-719の潮汐定数は、G-822よりいずれも大きくなること

がわかった。同じ場所で測定を行っているので、求める潮汐定数も同じ値になるはずであるが、これが異なるということは、先に求めた補正定数の見積もりが不十分であったことが考えられる。原因としては、補正定数を見積もったときのデータの数が少なく、特に解析期間中のダイヤル範囲に相当する測定値がなかったことが大きいと考えられる。そこで逆

表1 静岡大学理学部工作センター(G882と1988年1月5日までのG719)および同理学部C421(1988年1月8日以降のG719)での観測結果

解析中央日	月齢	G822	G719	G8/G7	G719R	G8/G7R
1988/1/ 1	11.4	1.192	1.201	0.993	1.195	0.997
1988/1/ 2	12.4	1.194	1.199	0.996	1.193	1.001
1988/1/ 3	13.4	1.196	1.202	0.995	1.196	1.000
1988/1/ 4	14.4	1.198	1.202	0.997	1.196	1.002
1988/1/ 5	15.4	1.200	-----	-----	-----	-----
1988/1/ 6	16.4	1.203	-----	-----	-----	-----
1988/1/ 7	17.4	1.209	-----	-----	-----	-----
1988/1/ 8	18.4	1.215	1.216	0.999	1.210	1.004
1988/1/ 9	19.4	1.213	1.223	0.992	1.217	0.997
1988/1/10	20.4	1.202	1.224	0.982	1.218	0.987
1988/1/11	21.4	1.200	1.213	0.989	1.207	0.994
1988/1/12	22.4	1.204	1.195	1.008	1.189	1.013
1988/1/13	23.4	1.193	1.182	1.009	1.176	1.014
1988/1/14	24.4	1.185	1.184	1.001	1.178	1.006
1988/1/15	25.4	1.179	1.197	0.985	1.191	0.990
1988/1/16	26.4	1.170	1.204	0.972	1.198	0.977
1988/1/17	27.4	1.179	1.208	0.976	1.202	0.981
1988/1/18	28.4	1.190	1.211	0.983	1.205	0.988
1988/1/19	29.4	1.196	1.214	0.985	1.208	0.990
1988/1/20	0.9	1.201	1.216	0.988	1.210	0.993
1988/1/21	1.9	1.205	1.215	0.992	1.209	0.997
1988/1/22	2.9	1.207	1.215	0.993	1.209	0.998
1988/1/23	3.9	1.195	1.220	0.980	1.214	0.984
1988/1/24	4.9	1.185	1.213	0.977	1.207	0.982
1988/1/25	5.9	1.191	1.198	0.994	1.192	0.999
1988/1/26	6.9	1.195	1.190	1.004	1.184	1.009
1988/1/27	7.9	1.189	1.191	0.998	1.185	1.003
1988/1/28	8.9	1.187	1.195	0.993	1.189	0.998
1988/1/29	9.9	1.184	1.195	0.991	1.189	0.996
1988/1/30	10.9	1.184	1.200	0.987	1.194	0.992
1988/1/31	11.9	1.186	1.208	0.982	1.202	0.987
1988/2/ 1	12.9	1.187	1.210	0.981	1.204	0.986

注) G719R(G7R)は定数補正後の値

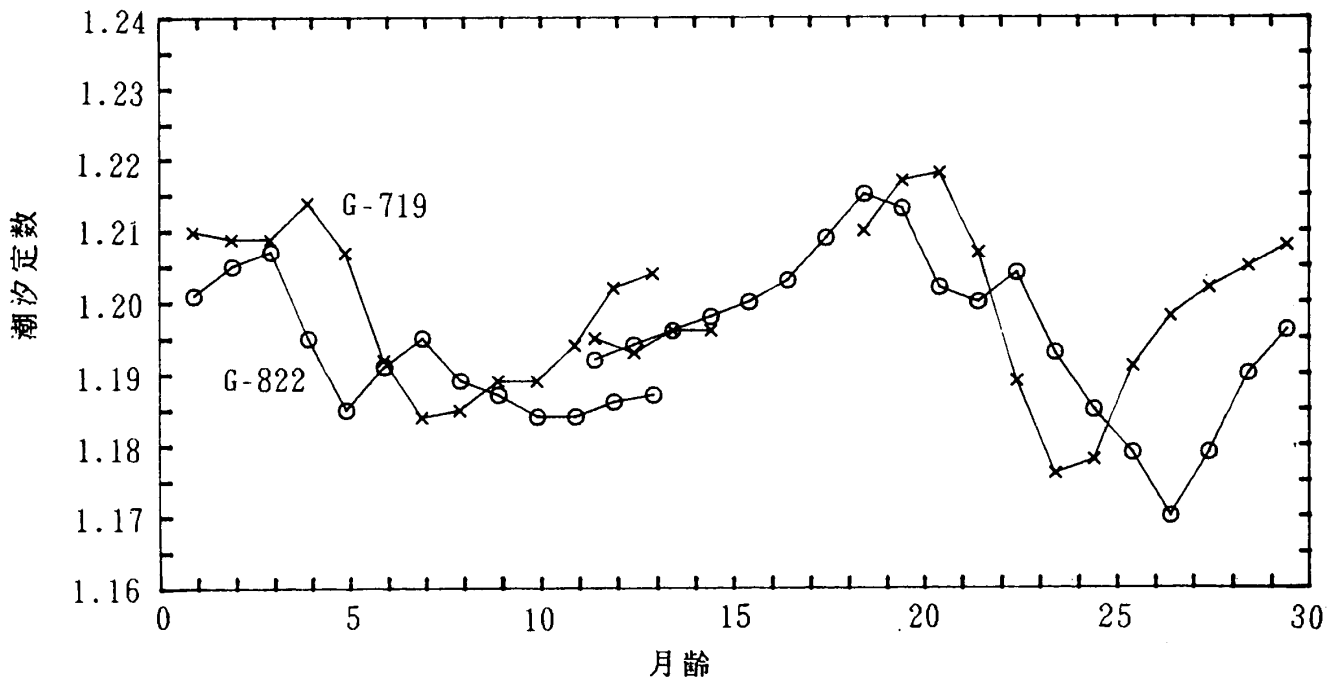


図14 潮汐定数と月齢の関係

にこの異なる2台の重力計の潮汐定数から補正定数を計算すると

$$G-719 / G-822 = 1.00502$$

となる。これ以後は、この値を用いてG-719による潮汐定数を補正した。

この結果を表1に示す。表1を見ると、2台の重力計で求められた潮汐定数のバラツキは0.003以内であり、2台の重力計で大きな差はないと言える。

3. 2カ所での同時並行測定

1988年1月6日からG-719の重力計を理学部C棟421室に移して工作センターのG-822と同時並行測定を約1ヶ月間行った。この結果をあわせて表1に示す。表1を見ると、得られた潮汐定数は1.17～1.22まで大きく変化している。また、2台の重力計の間でも最大で約0.02の差がみられる。この値を月齢との関係で示したものが図14である。この間にはかなり密接な関係があることがうかがわれる。

今回の解析は、調和解析を行わず、また位相遅れも考慮せずに、ただ全体の振巾を比較しただけである。したがって、地球潮汐の周波数依存性を考慮に

いれておらず、海洋潮汐の補正範囲も不十分であるので、見かけ上、このような変化が測定されたと考えられる。

今後、ある程度長期にわたるデータをとり、解析方法を工夫すれば、今回開発した装置でかなり精度の高い重力の潮汐データが得られるであろう。

VI. ま と め

本研究のまとめを以下に要約する

1) ラコステ重力計にステップモーターを取り付け、これをコンピューターで制御することにより、地球潮汐の自動測定を可能にした。

2) 重力計の傾斜変化による感度変化をなくすため、ジンバルを作製し、この上に重力計を設置した。

3) 重力計内部のリードアウト出力用の可変抵抗を高精度固定抵抗に付け替えることによって、重力計内部の温度変化による影響を $-1.4 \mu\text{gal}/^\circ\text{C}$ にまで下げることができた。

4) 重力計の電源を付け替えることによって、温度変化による電圧降下をなくし、リードアウト出力をより安定にした。

