

松代地震時における重力変動について

瀬谷 清*

On Time Variations of Gravity in the Period of
the Matsushiro Earthquake Swarm

By

Kiyoshi SEYA

Abstract

Two observations on changes of gravity were carried out at stations in the Matsushiro earthquake area. The first observation was performed during a period from March 1 to 8 of 1966, and the second from June 11 to 26 of the same year, but discontinued from June 22 to 24. Stations in these observations were taken as follows. In the first observation the station was taken at the eastern foot of Mt. Minakami, lava dome of Quaternary. In the second the first station was taken in the pit of Matsushiro Seismological Observatory, Japan Meteorological Agency, during the period from June 11 to 18, and the second station in the work room of the Observatory during the latter half period of observation. The results of the observations are as follows.

- (1) Several times short time changes in gravity value of 0.1 mgal or less were observed just behind the shocks. These phenomena were usually recognized in the observations on the ground.
- (2) Undulating variations of gravity of apparent period of about 30 minutes were recognized.
- (3) Remarkable changes of gravity and level of gravimeter were observed, which seems as forerunning phenomena for the second activity of the earthquake swarm.
- (4) Gravity variations of long time except the tidal variation were recognized.

These phenomena observed can be explained by means of two hypotheses, i. e., one is vertical motion theory of the ground and another is density change theory in the subterranean mass. But true causes of phenomena are uncertain.

1. はじめに

昭和40年8月3日以降長野市松代町を中心とする地震活動はその3回の活動期を経て衰退しつつ現在に至っている。この松代群発地震が始まって以来多くの機関による各種の調査、観測が行なわれているが、筆者らも翌年2月末から3月中旬にかけて重力概査と重力変動観測を行なった。その後震域を含む地域一帯の重力分布は2回にわたる調査によって明らかにすることを得たが(瀬谷, 1968), 重力変動観測は41年6月中旬から下旬にかけて約2週間観測を行なっただけでふたたび好機を望みながらも行なうことができなかった。

地震発生時にその震央付近で重力値の変動を観測し得る機会に恵まれることはほとんど皆無に近く、そのために地震発生時の重力変動の様相、その有無については不明の点が多い。従来の観測例としては僅かに昭和24年の今市地震に際してその余震発生時に飯田らが行なった観測例(飯田他, 1949)と、昭和39年の新潟地震の余震の前後に筆者らが観測した重力変化の例(瀬谷他2名, 1966)の2例があるのみである。

現在松代地震はその活動が衰えており、新しい資料を得る望みがはなはだ少なくなったので、ここに今迄に得られた観測例を提示することとした^{註1)}。

なお第2回目の観測は重力調査(測定:住鉱コンサル

* 物理探査部

註1) 一部はすでに地質ニュース No. 144 (1966) に発表済みである。

タント㈱)と併行して行なわれたもので、測定に当たられた同社の技術陣の労苦を多としたい。また観測に当たって種々配慮を頂いた松代地震観測所竹花峰夫所長および所員の方々に感謝の意を表する。とくに同所の相原 奎二主任研究官には観測期間中の地震活動につき種々御教示を頂いた。なお第1次観測には須田芳朗技官が参加した。

2. 観測および観測例

2.1 観 測

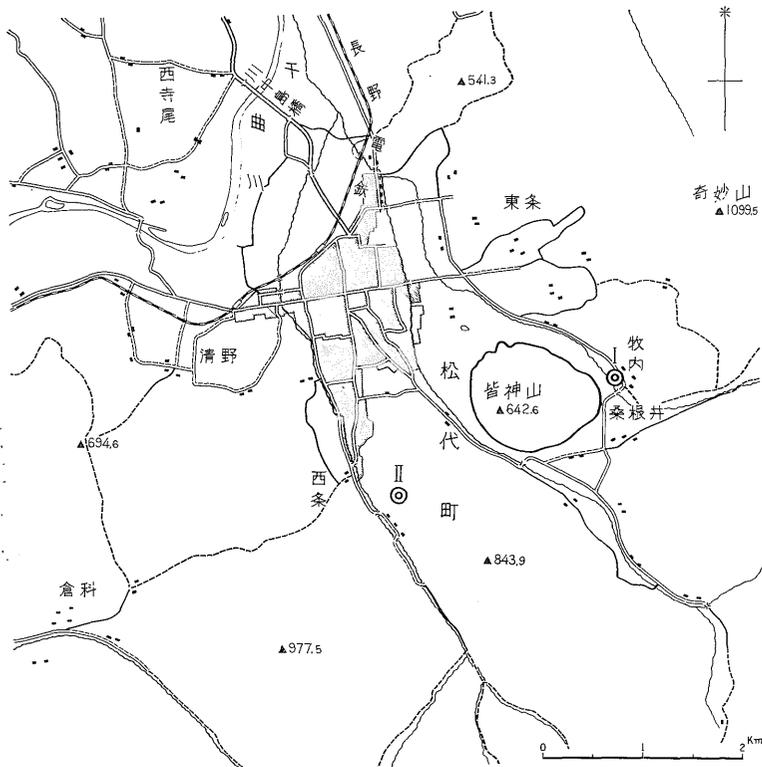
第1回観測は3月1日から8日に至る8日間ウォルドン重力計(マスター型)を使用して行なわれた。観測箇所は、はじめ宿舍のボイラー室を選んだが、ノイズが大きいため震源域中央部に位置する皆神山麓の牧内部落の民家の土間に移した(第1図)。当時は皆神山およびその周辺に地震が多発しており、また牧内区域は皆神山熔岩が地下浅部に分布しており、表土層は浅く、ノイズが微少であり観測条件としては比較的良好であると思われること、および、ほぼ同時期に地磁気、地電流の連続観測が付近でなされていたことなどの理由によってここ

に観測点が設置された。

第2回観測は9月11日より17日までの一週間は気象庁地震観測所坑内の強震計室^{註2)}で、18日より26日までのうち6日間は地表にある観測所工作室のコンクリート台で行なわれた。使用重力計はベアード重力計であり、同時に行なわれた重力探査の精度を上げるための目的を含め、筆者の指示により住鉦コンサルタント㈱の技術者が測定を行なった。この時は震源域が拡大している状況を考慮し、またより測定条件のよい場所で重力変動の実態を究明するために地震観測所が選ばれた。

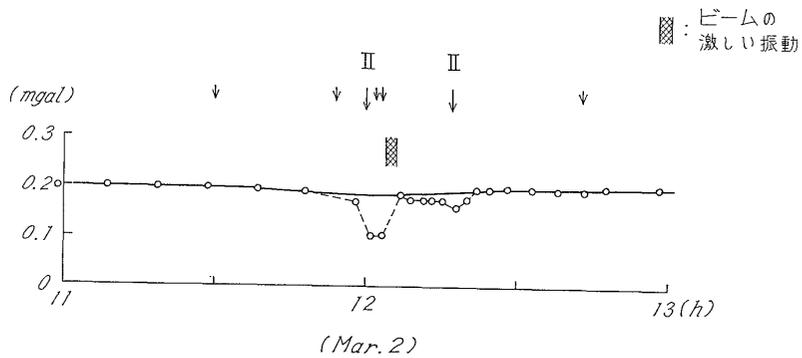
これらの観測に当たっては、10ないし15分間隔で2回以上の読取りを行なうことを原則とした。なお、異常とみられる現象、たとえば、鳴動、有感地震、重力計のビームの振動、重力計のレベルの変化、重力値の急変などが認められた場合にはできる限り短時間内に読取る(この場合は一回)こととしたが、第2回目の観測においては重力計の特性上あまり短時間々隔では精度が落ちるので10分間隔測定を行なった。また直接的な地盤変動の影響

註2) 地表而下約60mに位置している。



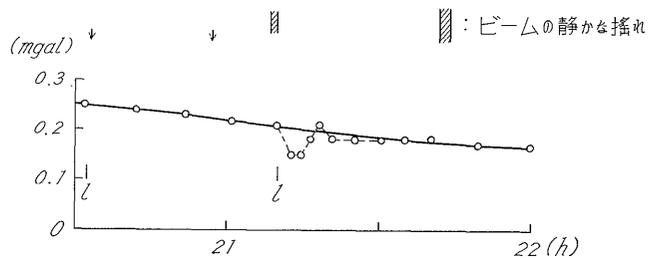
第1図 観測点位置図 (I: 牧内観測点 II: 地震観測所) Location map of stations (I: Makiuchi II: Matsushiro seis. obs.)

松代地震時における重力変動について (瀬谷 清)



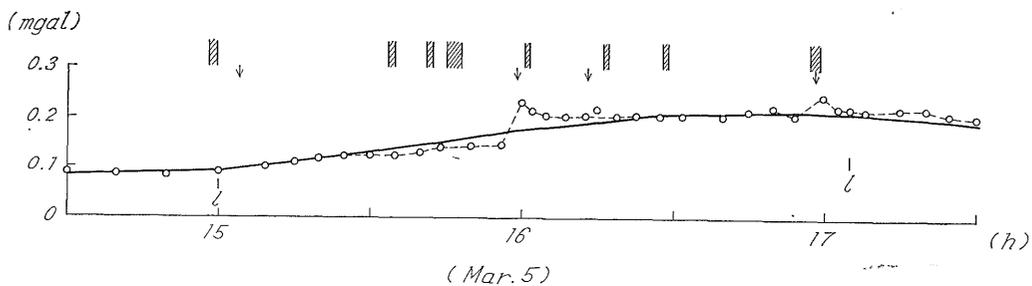
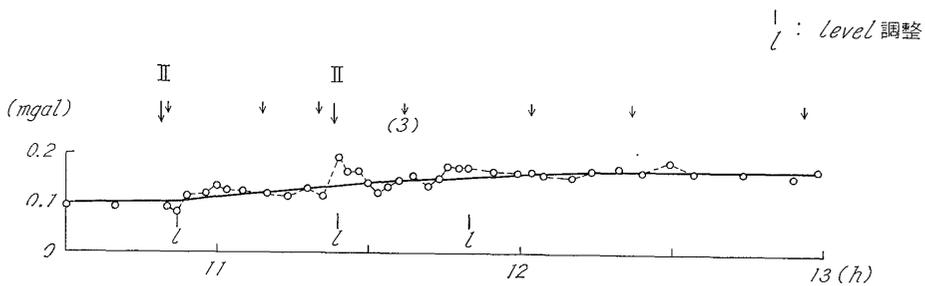
(Mar. 2)

第 2 図 a



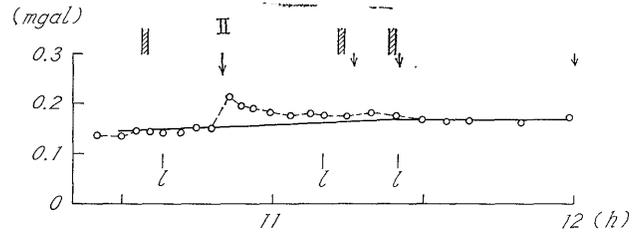
(Mar. 5)

第 2 図 b



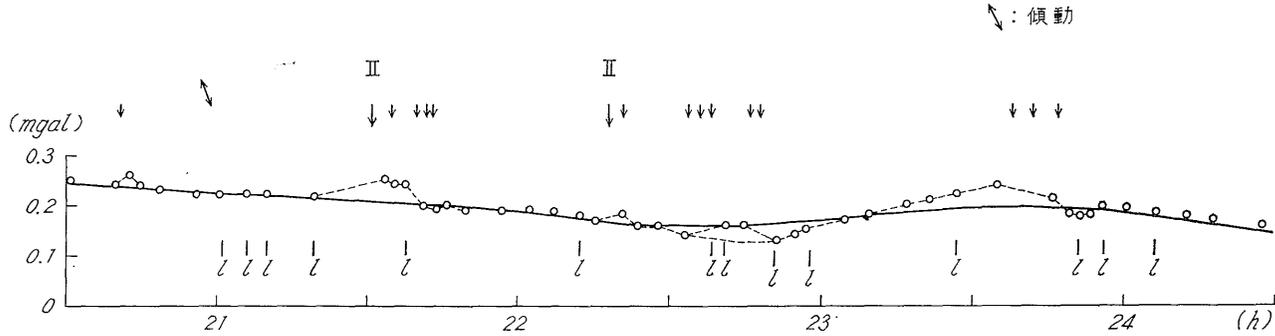
(Mar. 5)

第 2 図 c



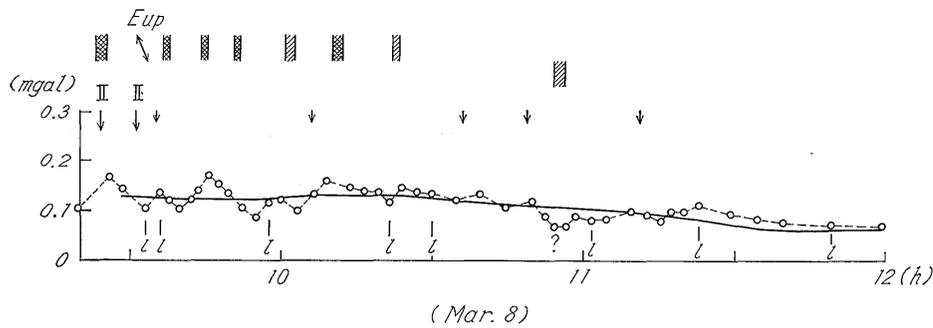
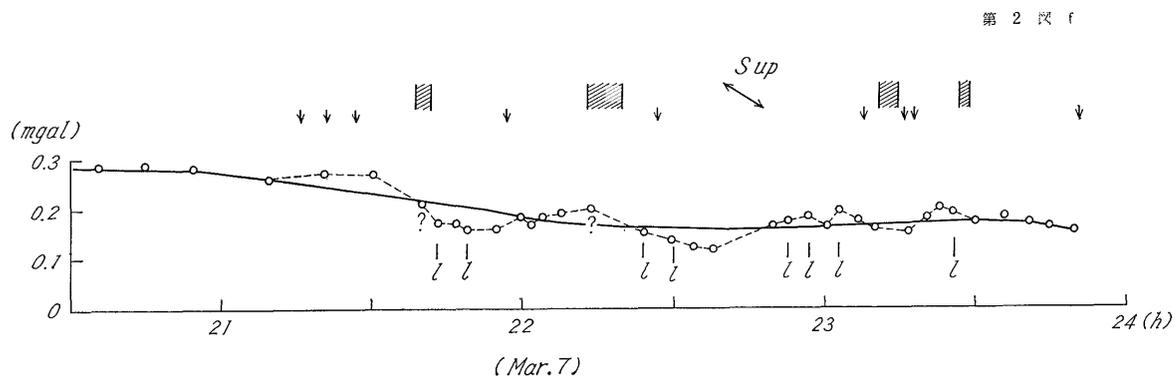
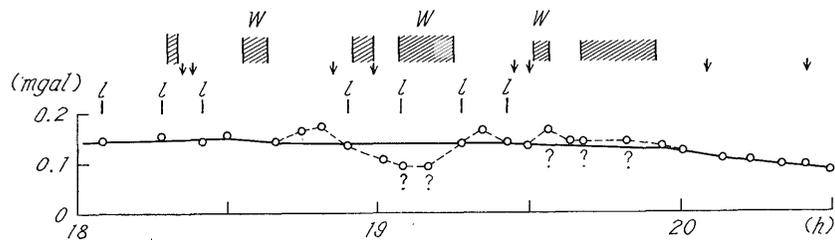
(Mar. 6)

第 2 圖 d



(Mar. 6)

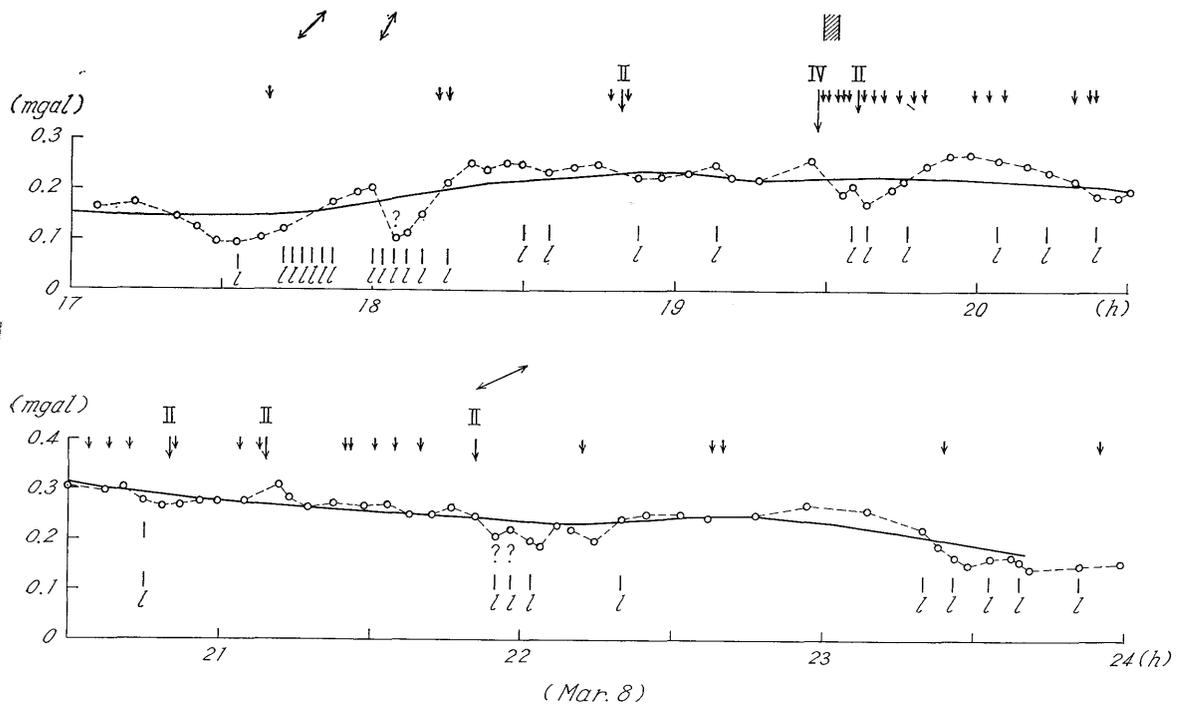
第 2 圖 e



第 2 図 f

第 2 図 g

松代地震時における重力変動について (瀬谷 清)



第 2 图 h

第2图 第1次重力変動観測例 a~h
 Changes in gravity value in 1st observation a~h
 (arrow indicates felt shock and Roman Numeral denote intensity of shock)

を避けるためにレベル調整には極力注意を集中した。したがって、無変動時ではその読取り精度は通常の測定時^{注3)}に較べてかなりよくなっているものと思われる。

2.2 観測例

第2図 a)~h)には3月2日より8日までの一週間に観測された変動例のおもなものが示されている。図中には有感地震^{注4)}のみが矢印で記入されており^{注5)}、またビームの振動やレベル調整箇所も記入されている。ビームの振動の状態の表現にはその周期と振幅により多くの種類別が考えられるが、ここでは感覚的に大別して静かな揺れと激しい揺れの2つに分けて記入してある。したがって、大体において小振幅のもの、またやや振幅が大きくても長周期の振動は前者に、振幅が大きく概して短周期のものは後者に類別される。なお、震度の大きい地震ほどビームも激しく振動するわけであるが、これは当然のこととして記入していない。気象庁の研究によると(1996)、地震動を伴わない鳴動はなく、鳴動音の音圧と地震動の振幅は比例している。このことより類推してビームの振動と地震動との間にはかなり密接な関連がありそうであるが現在のところその対比は不完全であり、詳細は不明である。

a) 図および b) 図例は類似の変動(変化の形状的特徴からV型と名付ける)を示しているが、前者ではその直前に震度Ⅱの地震があり、変化中に激しいビームの揺れが生じ、重力値の回復後約10分ほどして震度Ⅱの地震が起きているのに対し、後者では変化直前にわずかなビームの揺れ^{注6)}があるのみである。

(c) 図および d) 図例ではいずれも変化の生ずる直前に震度ⅡあるいはⅠの地震が起きている。この変化をS型と名付ける^{注7)}。

e) 図では20時57分から約2分間レベルが不安定な挙動を示しており、その後は一応測定可能な状態ではあったが引続いて4回レベル調整を行なっている。この後の震度Ⅱの地震の直後重力値は約0.05 mgalの増大をきたし、ついで徐々に回復している。なお、この例では一般的にレベルが不安定な挙動に呼応するかのように重力値も23時前後から大きく変化してくるようである。

f) 図上半分は強風時の例であり^{注8)}、変化があってもあまり信用はおけない。ビームの揺れを示す印の上に

wと記してあるのは強風によると思われる揺れを表している。測定値は疑問符を付したものを以外はいずれもビームが静止し、レベルも安定した状態での読みである。20時以降は風も治まった状態であり、観測条件は悪くはない。この時間の測定結果を示した図の下半分の例では長周期(40分前後)の波状的な変化が現われており(w型変動と呼ぶ)、一方レベルの不安定な挙動とビームの異常が認められる。とくに、22時40分以降の地表面の南上り(S up)の傾動運動を暗示するようなレベルの動き(約8分間)と、比較的長時間の長周期のビームの揺れ^{注9)}が目目される。

g) 図ではかなり頻繁な激しいビームの振動とあたかもこれに対応するかのようなジグザグの重力値の変動が目目される。なお、9時31分の震度Ⅱの地震の直後約2分間レベルは東上り的な変化を呈している。

h) 図では19時28分の震度Ⅳの地震と、あたかもその前兆的な現象のような17時30分以降のレベルの不安定な挙動およびそれに対応するような重力値の変動が目目される。なお、この震度Ⅳの地震の発生直前には重力値がやや増大しているようにみえる。これまでの例では地震直後に重力値が変化しているだけに注目される変化である。

第3図 a)~e)は第2回目の変動観測によって得られた変動例である。これらのうち a)~e)は地震観測所坑内^{注10)}の強震計室のコンクリート台上で測定された例であり、山腹地表面下約60mの深度に位置している。これは地表面付近の大きい地盤の変動の影響を避けてより内因的な変化を検証するために行なわれたもので、観測の結果は、予期したように、地震と直接的に結びつくような短時間内の急激な変化は認められなかった^{注11)}。そこで次いで観測点を地表にある地震観測所の工作室のコンクリート台上に移した。ここでは18~21日および25~26日の計6日間観測を行なった。この後者の観測で得られた例が d) および e) である。

第3図 a) をみると、9時43分に震度Ⅳが、約10分後に震度Ⅱの地震が起きているが、僅かな波状変化のみみられるだけで顕著な変化は認められていない。図にみられるように震度Ⅰの地震はかなり頻繁に起きているが、重力値はあまりばらつかない。この例では11時30分以降の波状の変化(w型)が目目される。

注3) 通常の静置観測の場合、その標準偏差は0.02mgal程度である。

注4) 地震観測所資料(地震記録)による。

注5) 震度Ⅰは短い矢印で、震度Ⅱ以上は長い矢印でともにその震度が記入されている。

注6) 微小地震によるものと思われる。

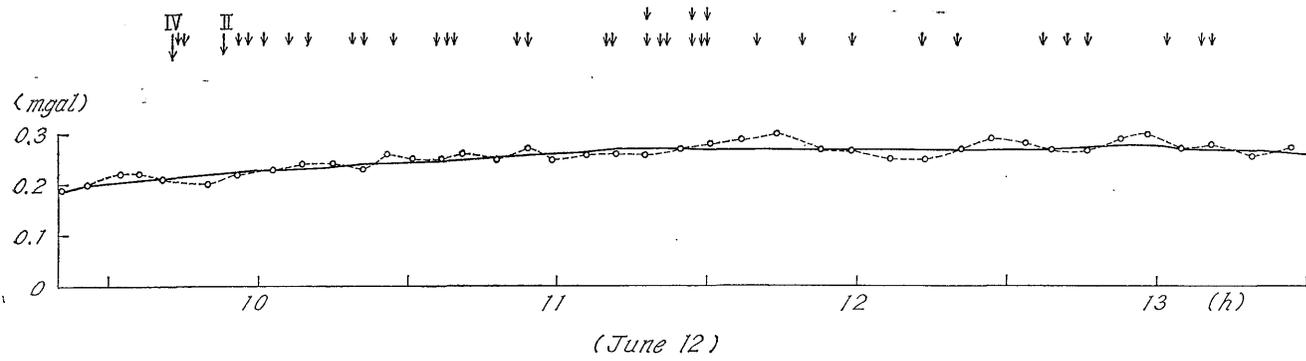
注7) 鋸歯状型変動の意。

注8) 17時30分頃より20時頃までは風が強くなります読取り困難な時があった。

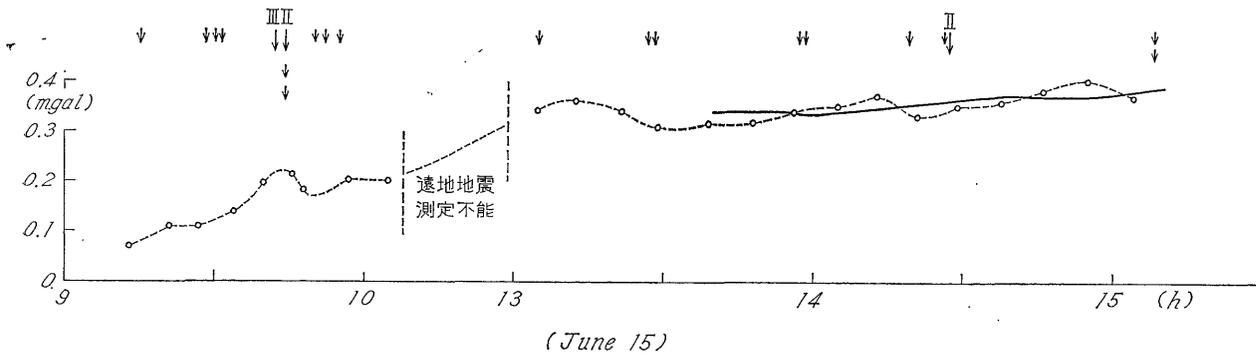
注9) 普通の場合地震動の継続時間に対応してビームの揺れは1分内外で治まることが多い。

注10) 石英閃緑岩の侵入によって変成を受けた個所の多い堅硬な第三紀層(別所層……頁岩相)の岩盤中に掘られた水平坑である。

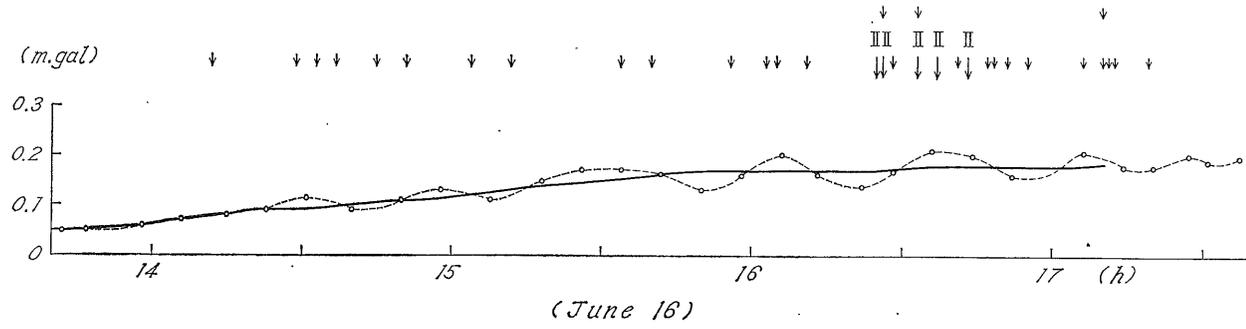
注11) 地震時には鳴動音とともに重力計のビームが小刻みに揺れる(短周期小振幅で継続時間は多くは1分内外)場合が多く地表面での振動より微弱である。



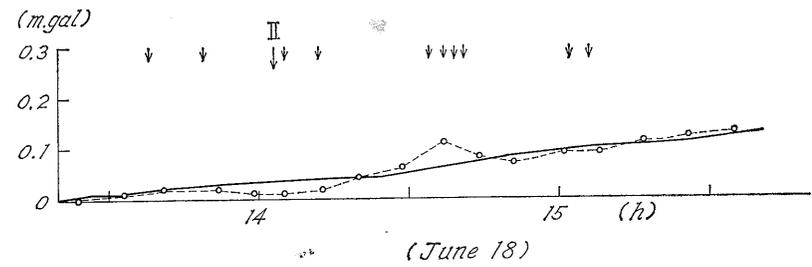
第 3 图 a



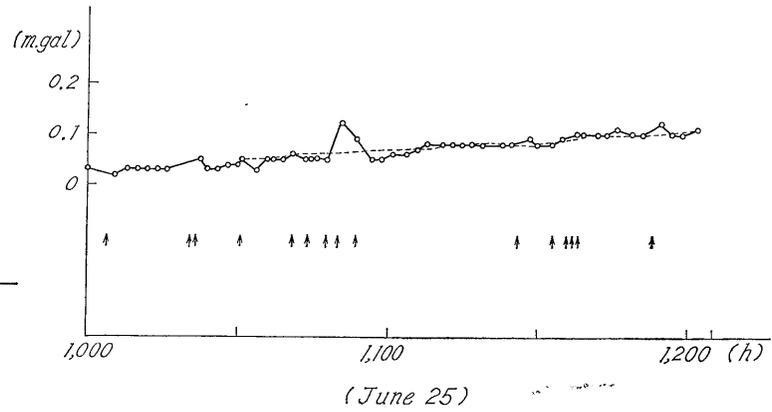
第 3 图 b



第 3 図 c



第 3 図 d



第 3 図 e

第 3 図 第 2 次重力変動観測例 a~e
 Changes in gravity value in 2nd observation a~e
 (arrow indicates felt shock and Roman Numeral denote intensity of shock)

第3図b)でも上記のような波状の変化が認められるようである。ただしこの日は10時08分46秒にかなり大きな遠地震(震央:ソロモン群島付近)があり、13時まで観測できなかった。この地震が13時以降の重力値に与えた影響は不明であるが、読取りに際してはなんら異常は認められていない。この例では他に9時42分の震度Ⅲの地震と引続いて起きた震度Ⅱの地震と重力変化の関連が注目される。

第3図c)例では地震回数が多く、とくに、16時25分から16時43分にかけて連続的に震度Ⅱの地震が発生しているのが注目される。重力値はあたかもこの地震活動を反映しているかのような顕著な波状変動を呈している。しかし、震度Ⅱの地震の頻発と直接対応しているような振幅の増大や急激な変化は認められない。なおこの日は本例以外に午前中にもやや微弱ながら同様な波状変動がみられている。地上における測定例では6月18日に第3図d)に示されているようにやや波状的な変動が認められる。

第3図e)は第2次変動観測において初めて得られたS型の変化であり、鳴動音を伴った震度Ⅰの地震の直後に生じている^{注12)}。なお、この日の重力値は、地震回数が多いにもかかわらず、10時20分~11時10分以外ではきわめてバラッキの少ない変化を示している。

2.3 重力の長時間変化

重力は常に微小な時間的変化を示しており、これは周期的変化と非周期的変化とに分かれる。このうち前者は通常の場合その大部分は地殻潮汐に基づくものであり、重力変化の大部分を占めるものである。したがって、通常の観測においては、起潮力の変化に対応した類似の重力変化が観察される。

第4図および第5図には10分ごとの重力値をもちいて7点移動平均により平滑化された重力変化が図示されている。なお、図中に釣合潮曲線が点線で記入されている。これらを見ると重力値は大体において潮汐力に対応した変化を呈していることがわかる。しかし、これらが大きな変動時の資料であること、また、24時間観測を行ってならず、不完全な資料であることなどの理由からここでは重力の潮汐常数や変化の位相などについては議論をせず、常に顕著な事実の指摘を行なうに止めることとする。

第1次および第2次観測結果は大体において重力変化が潮汐力に応じた変化を示しているが、3月2日例および6月25日、26日例では著しい相違を示している。しか

し、局部的に異常な重力変化がみられる例は珍しくなく、特に、いくつかの例では波状の変化が認められる。そのうち視覚的に著しいものは3月7日および8日例である。なお、6月12日例も特異な変化として注目される。

現在のところ、これらの比較的長時間にわたる重力変化の個々のものについて妥当な説明を行なうことができない。また、個々の地震との関連も不明である。地震あるいは短時間の顕著な重力変動と、表面的ではあるが、一応の対応がみられる変化としては、3月5日の11時以降の部分、14時前後の変化、6日22時30分以降、7日21時以降、8日17時以降、6月19日12時まで、20日10時までの変化などを指摘できる。これらのうち最後の2者はいずれも短時間内の急激な変化が認められておらないため前掲の変動図には例示されていないが、19日には9時13分、18分(2回)、20分、11時36分と12時まで5回震度Ⅱ(震度Ⅰ以下ははぶく)の地震が群発しており、また、20日の午前には震度Ⅱの地震が9時46分、59分、10時6分と3回引続いて発生している。

3. 考 察

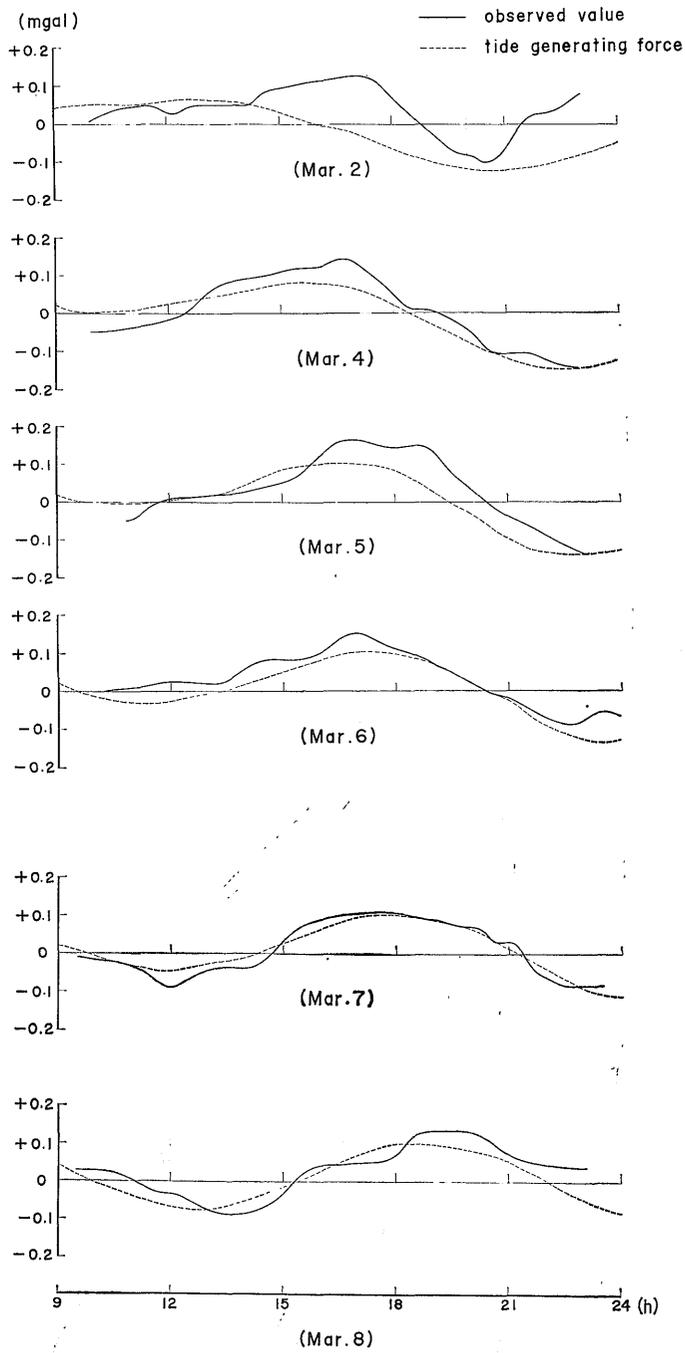
例示した変動のすべてが有意のものであるかどうかは別として、これらのうちいくつかはかなり地震と密接な関係があるようにみえる。飯田ら(飯田他2名、1949)は今市地震に際し、まだその余震が頻繁に起きている時期に重力測定を行ない、その期間に“かなり、ジグザグ波形の変化がみられる”こと、また震度Ⅱの余震の約1時間位前から重力値が徐々に変化しているようにみえる(変化量約0.1mgal)ことを述べている。もちろん今回の松代地震とは発震機構、震源の深さ、観測点と震源位置との相対的關係、地域の地質状況、観測点における地盤状況などの諸点で異なっていることが考えられるので早急な対比はできないが、今回の結果からみて、彼らのいうジグザグ波形の変化が単なる測定誤差的なものではなく、有意の変動を含んでいることが推察される。また、地震直前に重力値が変化するかどうかについては、前述したように、3月8日例を除いては指摘することができず、その3月8日例においても明確ではない。今後の課題の1つであろう。

先に指摘したV型、S型、W型その他の変化を有意なものとしてどのような解釈が可能であろうか。直接的な原因としてまず考えられることは地盤変動——地表面の緩慢な昇降運動であり^{注13)}、ついで地下における密度分

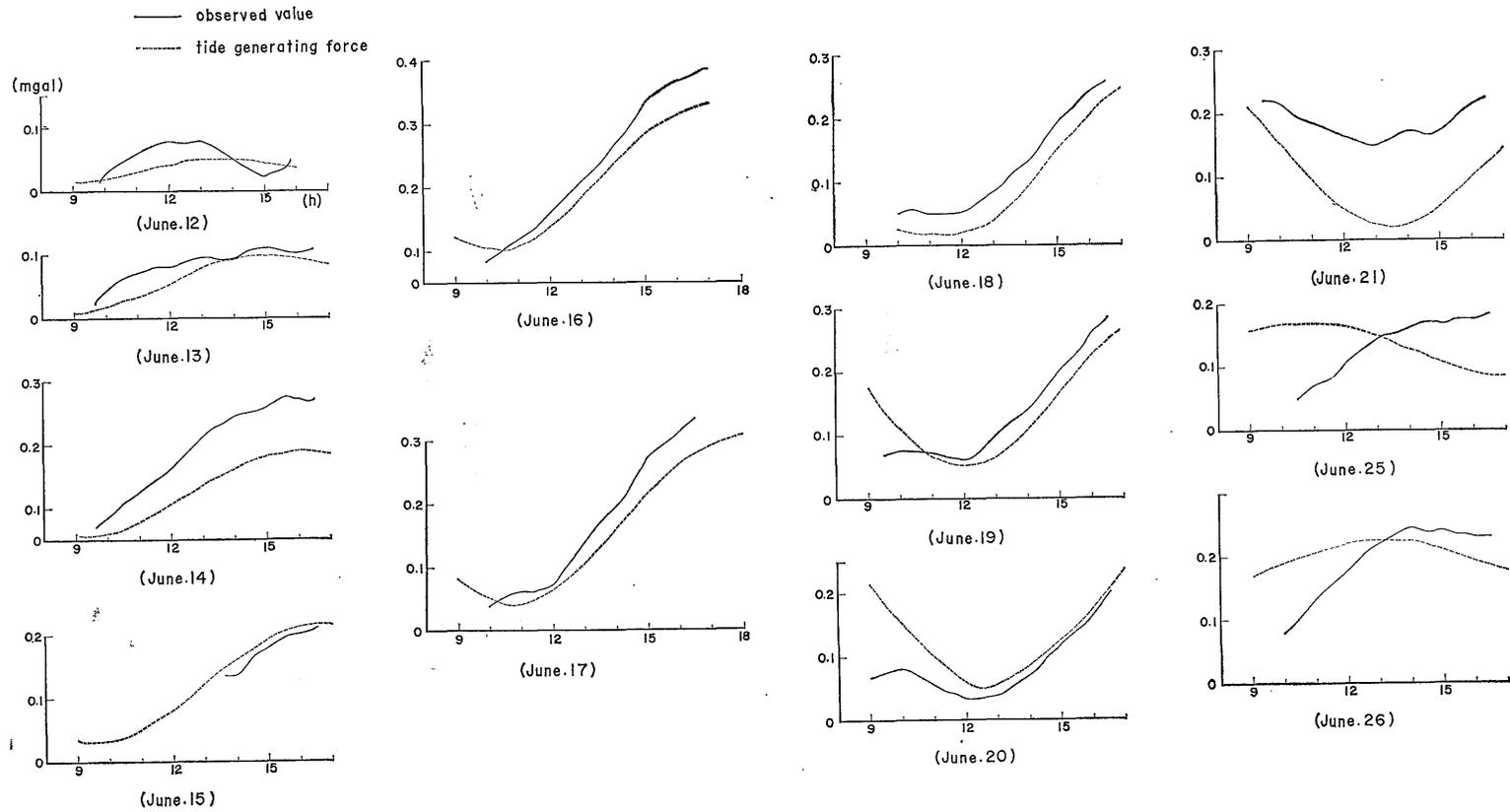
注12) この日だけはウォルドン重力計を使用した。

注13) きわめて緩慢であれば測定可能な加速度を生じて一応読取りは行なえる。

松代地震時における重力変動について (瀬谷 清)



第4図 潮汐力との比較 (第1次観測)
Comparison between observed value (smoothed by seven point running mean) and tide generating force (1st observation)



第5図 潮力との比較(第2次観測) a~d
 Comparison between observed value (smoothed by seven point running mean) and tide generating force (2nd a~d observation)

布変化であろう。

ここでしばらくこれらを検討してみよう。

1) 昇降運動仮説^{注14)}

a) 振動的運動の場合

いま地表面が次式で表わせる変位運動を行なう場合を考える。

$$y = A \sin \frac{2\pi}{T} t$$

生ずる加速度 α は

$$\alpha = -\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 A \sin \frac{2\pi}{T} t$$

であり、その最大絶対値 α_M は

$$\alpha_M = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 A$$

であることは容易にわかる。いま A を cm 単位で、 T を分単位で表わすと

$$\alpha_M = \frac{A}{3.6} \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \doteq \frac{11A}{T^2} \text{ (mgal)}$$

いま V 型で $T \sim 20$ 分^{注15)}、W 型で $T \sim 40$ 分とし、 $\alpha_M \sim 0.05 \text{ mgal}$ においてそれぞれの場合の A を求める

V 型: $A = 2 \text{ cm}$

W 型: $A = 7 \text{ cm}$

以上の取り扱いはいきわめて粗雑な考え方、計算であるが大体の目安はつけることができる。第 2 図 a) および b) の場合を説明するのに同様の計算を適用すると、地表面は

$$y = A \sin \frac{2\pi}{T} t$$

で表わせる運動を行ない、 A 、すなわち、地表面の最大変位は a) で約 3 cm、b) で約 1 cm となる。ここで a) の場合には $T = 20$ 分、 $\alpha_M = 0.08 \text{ mgal}$ とし、b) の場合には $T = 16$ 分、 $\alpha_M = 0.05 \text{ mgal}$ とした。W 型の場合でもそれぞれの事例について地表面の運動を計算できる。

b) 指数関数的運動の場合

地表面が

$$y = A e^{-\lambda t}$$

の運動を行なう場合、すなわち、地震直後きわめて短時間に $A \text{ cm}$ だけ地表面が隆起し、徐々に原位置に戻る場合を考える。

このときの加速度は

$$a = A \lambda^2 e^{-\lambda t} \times 10^3 \text{ mgal}$$

で与えられ、これは形の類似から S 型の変動に対応させることができる。いま

$$\lambda = 1/T \quad (T: \text{分単位})$$

とすると、最大加速度 α_M は

$$\alpha_M = \frac{A}{3.6 T^2} \text{ mgal}$$

で与えられる。ゆえに、いま $\alpha_M = 0.05 \text{ mgal}$ とし、 $T = 5$ 分とすると

$$A = 4.5 \text{ cm}$$

となる。

2) 密度変化仮説

地下における密度分布の変化で重力変化を説明してみよう。いま地下に半径 R の球状体積を考え^{注16)}、この内部で密度が一様に $\Delta\sigma$ 変化したとする^{注17)}。このとき直上地表における重力値は次式で与えられる値だけ変化する。

$$\Delta g = \frac{4}{3} \gamma \Delta\sigma \frac{R^3}{h^2}$$

ここで γ は万有引力常数、 h は球の中心までの深さである。ゆえに異常範囲は次式

$$R \doteq \frac{1}{28} \left(\frac{h}{R}\right)^2 \frac{\Delta g}{\Delta\sigma} \text{ (km)}$$

で見積られる。いま簡単のために $\Delta g = 0.056 \text{ mgal}$ とし、 $\Delta\sigma = 0.01 \text{ C.G.S}$ とすると

$$R = 0.2 \left(\frac{h}{R}\right)^2 \text{ (km)}$$

となる。この関係を満たす R 、 h の数値のいくつかを例示すると

$R = 0.242 \text{ (km)}$	$h = 0.2662 \text{ (km)}$	$h/R = 1.1$
0.288	0.3456	1.2
0.45	0.675	1.5
0.8	1.6	2
1.8	5.4	3
3.2	12.8	4
5.0	25.0	5

$\Delta\sigma$ の値を変えれば、これに逆比例して R が変わってくる。したがって、深度 5.4 km の処に半径 1.8 km の応力増大域があり、その体積の平均密度が 0.01 だけ増大したとき(上例の場合)と同じ重力変化を生ずるためには、 $\Delta\sigma = 0.001$ の場合には

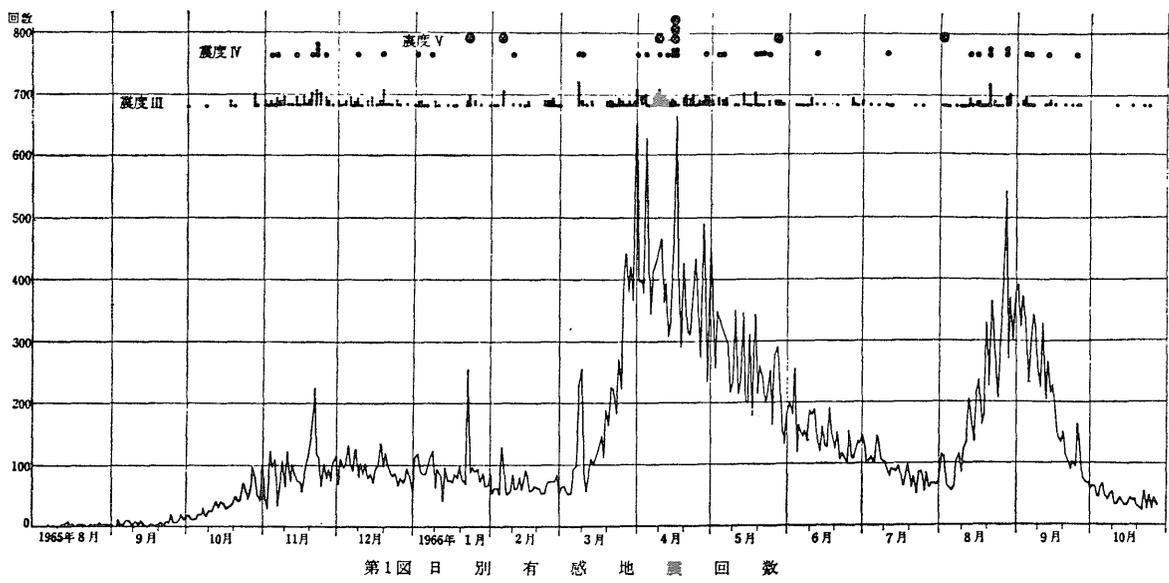
$$R = 2 \left(\frac{h}{R}\right)^2 \text{ (km)}$$

注14) 以下の議論においては高度変化に基づく重力変化は除いている。実際には考慮されなければならない。

注15) V 型の変化は周期的ではないが取扱いの便宜上変化時間内で正弦型の運動を仮定する。

注16) いまのところ模型を変えて考えても無意味である。

注17) 少なくとも同心的分布であればよい。



第 6 図 日別有感地震回数 (相原, 1967)
Daily frequency curve of felt shocks

を満足する R , h を推定すればよく、深度を同一と仮定すると、 R は約 3.88 km となる。この密度変化を生じするためには圧縮による見掛けの体積の変化の割合はほぼ 4×10^{-4} 程度であればよい^{注18)}。これは絶対に考えられない値ではないと思われる。

なお、密度変化として、地下の物質移動も考えられるが、ここではこれ以上の考察は行なわない。

以上に観察された重力変化を説明するために2つの考えを述べた^{注19)}。このうち、前者によれば高々数 cm の変位運動に起因するものとして一応すべての現象を量的には無理なく説明することができる。V型やS型の変化が地震直後の現象としてみられること、これに反してW型の変化と個々の地震との間には密接な関連がみられないこと、また坑内観測でV型やS型の顕著な変化がみられず、W型変化が観察されるのも、短時間内の変動は地震動に伴うごく表面的な地盤変動の反映であり、その変位は深さとともに急激に減少するのに対して、長周期的変動は容易にその振幅を減じないものとして一応理解することができる。このような観点から、6月12日9時43分に震度Ⅳの地震が生じているにもかかわらず、坑内観測では急激な重力変化がみられていないことは示唆的である。

密度変化仮説によって現象を説明しようとするときは果してこのような短時間内に急激に必要な量の密度変化が広範囲に生じ得るかどうかが、また現象を説明し得るような型の密度変化が生じ得るかどうかの点で疑念が生じてくる。もっとも比較的長時間の現象としてならば先に述べたように量的には考えられないことではないと思われる。

第6図は松代地震の活動状況を示しており、図に明らかのように、第1次観測は第1活動期が終り、第2活動期に転ずる時期に行なわれており、第2次観測期間は第2活動期の終息期に当たっていることがわかる。第1表に第1次観測期間を含む2週間にわたる震度別地震回数が見られている。これをみると有感回数は、3月7日、8日にやや増加し、9日、10日の両日に著しい増加を示している。この後数日は旧に復したかにみえるが以後急激な増加をみせ第2活動期に入るのである。

この第2活動期直前の7日、8日に著しい重力変動が観察されており、また、6日以降にみられるレベルの不

第1表 有感地震日別震度別回数表 (気象庁松代地震観測所資料による)

月 日	I	II	III	IV
2 27	66	6	1	
28	76	5	1	
3 1	51	1	1	
2	58	6		
3	62	2		
4	49	7		
5	49	3		
6	51	4		
7	88	5		
8	86	9		
9	184	32		8
10	225	26		2
11	69	8		
12	53	2		1

安定挙動が土地の傾動運動との関連で注目される^{注20)}。これらが地震活動とどのような関連を有しているかは速断できないが、一見前兆的現象ともみられるだけに地震予知の観点から今後考慮されるべき問題のように思われる。

なお、第6図および第1表に明らかなように震度Ⅱ以上の地震も観測期間中多数生起しているが、これらの地震後に必ずしも重力値は顕著な変化を示しておらず、一見個々の地震の規模、強さと地盤変動あるいは地下の状態変化とは直接的な関連はないようにみえる。

4. 要約および結言

群発地震発生後約7ヵ月後と10ヵ月後の前後2回にわたって重力の変動観測を行ない、不充分ながらある程度変動の様相を明らかにすることができた。その検討の結果は次のとおりである。

- 1) 地震(無感を含む)直後に最大 $\pm 0.1 \text{mgal}$ 以内の重力値の変化が数例観測された。
- 2) この変化は短時間内に生じており、10分前後でもとの値に戻るようである。
- 3) しかし、震度大なる地震の後に大きな重力変化が生ずるとは限らない。事実変動がみられない場合も多い。
- 4) 観測は地上と地下の坑内で行なわれているが、短時間内の変化はいずれも地上観測でみられている。

注18) 岩石試料の示す体積弾性率は硬岩で 10^5kg/cm^2 の order であり大小の裂かの存在を考慮すれば見掛けの弾性率はより小さくなることは考えられる。したがってこの程度の変形を示すには数 10kg/cm^2 の応力変化があればよいであろう。

注19) 実際の現象としては変位運動と密度変化の両者に起因する場合も多いと思われる。

注20) 傾斜変動と地震活動との関係について3月10日の活動期の場合明白な対応があり、傾斜の変化は大きな規模の地震が起こる数日前にみられる(萩原他, 1966)。

- 5) この短時間の変化の原因としては地表面の緩慢な昇降運動が有力なものとして考えられる。
- 6) 個々の地震とは直接の対応が認められない比較的長周期(数10分)の波状変動が観測された。
- 7) これは地上、地下ともに観測されている。
- 8) この原因に関しては現在のところ、明確ではない。
- 9) 3月8日例では震度Ⅳの地震の前兆現象ともみられるような重力値の顕著な変動および重力計レベルの不安定挙動がみられた。なお、この地震直前に僅かながら重力値は増大しているようである。
- 10) 3月9日、10日の地震活発化、あるいは、第2活動期の前兆現象とも見られる顕著な重力変動、レベルの不安定挙動が7、8日にみられるが、上に述べたように震度Ⅳの地震との関連も多少考えられる。
- 11) 上述の変動の原因としては、レベルの挙動からみて、地盤変動がかなり関与していると思われるが、地下の密度変化に起因する内因的变化である可能性もある。しかし、現在のところこの点についてはまったく不明である。
- 12) 重力の長時間変化には潮汐変化以外の特異な変化が含まれているようである。
- 13) これには部分的な変化と数時間内の波状の変化があるようである。
- 14) これらの変化と地震あるいは短時間内の顕著な重力変動との間に一応の対応がみられる場合がある。
- 15) しかし、これらの変化が地表付近の変動に基づくのか、内因的なものか、また、同時に両者によるものかは不明である。

上述のように、重力変化の様相は複雑であり、潮汐変化以外の変動に関してはその原因、機構ともに不明の点が多く、今後の検討に俟たねばならない。当然地域の地下構造との関係、内部応力状態の変化と地殻変動が重力値に及ぼす影響などについては推測の域を脱し得ない。

すでに述べたように、今回の重力変動観測はいずれも地域の重力分布を解明するための調査に付随して行なわ

れたものであり、満足し得る観測は行ない得なかった。この種の未知の現象を解明するためには慎重細心な計画が必要であることは言を俟たないが、器材・人員・経費などの点で制約もあり、好機を得て観測を行なうことは一般には困難である。理想的に言えば、高精度の重力計が少なくとも3台以上は必要であり、地域の地質、地質構造、観測点の地盤状況なども考慮して重力計を配置することが望ましい。このとき、地上と同時に地下でも観測を行なうことが望ましいが、さらに欲を言えば、最少限度に必要な観測点では2台づつ重力計を設置して比較することが望ましい。なお、土地傾斜計や伸縮計などを併用すべきことは言を俟たない。

近時地震予知のための各種研究が行なわれており、それぞれの計画が軌道に乗りつつあることは喜ばしいことである。しかし、このなかに重力変動観測計画がみられないのは遺憾である。地殻変動の反映としての重力変化を捉え得る可能性は充分あり、これは地震伝播速度の変化の観測と共に地下の状態変化(密度、弾性率)を知る有力な手掛りとなり得るものであり、地震予知に大いに寄与することが期待されるものである。

(昭和41年2月調査)

文 献

- 相原奎二(1967): 地質ニュース, no. 149
- HAGIWARA, T., YAMADA, J. & HIRAI, M. (1966): Observation of Tilting of the Earth's Surface due to Matsushiro Earthquakes (I), Bull. Earthq. Res. Inst., 44.
- 飯田波事・早川正己・片寄邦之(1949): 今市地震後の重力測定, 地調月報, vol. 1, no. 3
- 瀬谷 清・小川健三・橋本尚幸(1966): 新潟地震地域の重力および水準測量, 地調特別報告, no. 3
- 瀬谷 清(1968): 松代群発地震地域における重力異常について, 防災総合研究速報, no. 9
- 東京管区気象台・長野地方気象台(1966): 地震調査報告