

# 松代群発地震および

## 松代区域の重力調査の結果について

瀬谷 清

### I. はじめに

長野県埴科郡松代町は 小さなこじんまりした町のわりには多くの人々に知られている町である。 戦中から戦後にかけては「松代地下大本営」の所在地として また最近では「松代群発地震」の中心地として著名である。

この町の市街から程遠くない所に 皆神山というこもり盛り上った小さなまんじゅう型の山があるが この山を中心とした区域に小さな地震が発生し始めたのは昨年8月初旬である。 これらの地震はかつての大本営跡の地下壕の一部を利用して地殻変動を常時観測するために設置された 気象庁松代地震観測所の国際標準地震計（最高倍率 10万倍）によってとらえられた。 この地震計に記録される地震の回数は日を追って増加し 11月頃には最盛期に達し 以後は横ばいか またはむしろ漸減する傾向を示すように見えた。 しかし この減衰傾向は長くは続かず 今年3月中旬には再び地震活動は活発となり4月に入るや遂に最初の重傷者（1名）を出すと同時に 家屋その他に多くの被害を見るにいたった。 そのために地震に慣れたかの感じさえあった松代町住民の間に恐怖感を生じ 大きな社会問題ともなり 政府は出来るだけの対策を講ずることを発表した。 そして4月27日付新聞は文部省測地審議会地震予知部会の発表として 松代地震の従来の経過を検討した結果 局所的な名称である「松代地震」を今後はより広域の地震活動を意味する「北信地震」と改称すること この地震活動の重大性に鑑み気象庁に「北信地域地震連絡協議会」を置き26日発足させた事 またM（マグニチュード）7程度の大地震の発生の可能性も考えねばならなくなったことなどを報じている。 もっとも その後政府の反対もあり 気象庁は地震名称改称の件および協議会設置を取消し地震の名称を「松代群発地震」として統一し またさきに発足した協議会を「北信地域地殻活動情報連絡会」と改称した。

以上に松代地震の経過の概観を述べたが このような状況の下に各大学 国立研究機関は適時種々の調査研究を行なってきたおり 地質調査所においても独自の調査研究を行なっている。 本文の後半で紹介される重力調査もその一環として行なわれたものである。 この重力調査がどのような目的で行なわれたか その意義は何か

を理解して頂くために また従来行なわれたあるいは今後計画されているいろいろな調査研究のもつ意味を知って頂くためには 松代地震に関するより詳細な情報を皆さんにお知らせしなければならない。 そこで以下しばらくの間 松代地震の経過および地震に関連するいくつかの事項について紙面をさき そのあとで重力調査の結果について述べることにする。

### II. 松代群発地震について

#### II. 1. 地震に関する予備知識

ここでは地震に関する一般的な予備知識として 2 3の用語および最小限度の必要事項について説明する。 これらの事がらに熟知されている読者は この項を飛ばして読んで頂きたい。

#### 地震の強さと震度

ある土地に与える地震の影響 すなわち その土地における地震の強さを示すために便宜的に「震度」ということばを用いている。 これは通常地震による被害程度や建築物 器物などの揺れかた 体感程度などによって表現され 分類されることが多い。 というのは 震度には世界共通の震度階というものではなく その国の特殊性によっていろいろな震度階が採用されていることを意味している（たとえばソ連では12階級を採用）。 わが国では昭和24年(1949年)に気象庁で制定された震度階を用いることが多い。 これは第1表に示されているように8階級に分けられている。 表から明らかなようにこのような分類は主観性が強く また局地性も強いが実用的には便利である。 もっとも震度を定量的に表現しようとする試みも古くからなされている（最大加速度と対応させ

第1表 気象庁震度階

震度	名称	説明(揺れの程度 被害程度)
0	無感覺	人体に感じない
I	微震	静止している人または注意深い人のみに感じる
II	軽震	多くの人が感じる 戸障子が僅かに振動する
III	弱震	家屋動揺し 戸障子が鳴り 液体動揺し 吊したものが揺れる
IV	中震	家屋激しく動揺し 座りの悪いものは倒れ 器内の水が溢れ出る
V	強震	壁亀裂し 墓石など倒れ 煙突 石垣などが破損する
VI	烈震	家屋倒壊(30%以下)し 山崩れ 地割れを生じ 多くの人は立っている事が出来ない
VII	激震	家屋の倒壊数が30%以上および 山崩れ 地割れ 断層などを生じる

第2表 マグニチュード(M)と地震波動エネルギー(E)の関係

M	E	M	E
1.0	$2.0 \times 10^{13}$	5.0	$2.0 \times 10^{19}$
1.5	$1.1 \times 10^{14}$	5.5	$1.1 \times 10^{20}$
2.0	$6.3 \times 10^{14}$	6.0	$6.3 \times 10^{20}$
2.5	$3.5 \times 10^{15}$	6.5	$3.5 \times 10^{21}$
3.0	$2.0 \times 10^{16}$	7.0	$2.0 \times 10^{22}$
3.5	$1.1 \times 10^{17}$	7.5	$1.1 \times 10^{23}$
4.0	$6.3 \times 10^{17}$	8.0	$6.3 \times 10^{23}$
4.5	$3.5 \times 10^{18}$	8.5	$3.5 \times 10^{24}$

たもの：絶対震度階)がここではふれない。ちなみに今回の群発地震による松代における最大震度はVである。

地震の大きさと地震のエネルギー

地震の大きさ すなわち 規模を表わすのにマグニチュード (Magnitude の頭文字をとってMで示される) ということが用いられる。これは「震央距離100kmの所におかれた標準地震計(ウッド・アンダーソン地震計で倍率2,800倍)に記録された振動の最大振幅をマイクロン単位で測定した値の実用対数で表わしたもの」と定義されている。実際に発表されているMの値は すべて上記の定義にあうように 使用地震計の特性と震央距離の違いを考慮して換算して求められたものである。このようにマグニチュードは 震度とは違い量的客観性があり また波動の振幅に直接関係した量であるので 学問的には重要な量である。ところで 波動のもつエネルギーは振幅の自乗に比例するから M値はその地震のエネルギーと密接な関係があることがわかる。この関係は第2表に示されている。今回の地震において最大規模の地震のMは5.0であるから この地震によって四方に送り出された地震動の総エネルギーは約  $2.0 \times 10^{19}$  エルグであり これはMが4 (松代ではだいたい震度4の地震のMが4前後となっている) の地震のエネルギーのほぼ32回分に当るわけである。またこのエネルギーの大きさを何となく分かるように述べると 100m 立方の岩石の塊り(約300万トン)が80mの高さ(密度の小さい岩石なら100m)から落下してきて 地面に与える地響のエネルギーとでもいえば おわかりいただけるだろうか。このときのこの膨大な岩石塊は 東海道新幹線の特急位の速度で地面に激突することになる。

地震の大きさと発生回数との関係

大きな地震は滅多に起こらないが 小さな地震なら時々起こることは 地震国日本の人々ならだれでも知っていることである。 とすれば 地震の大きさとその発生

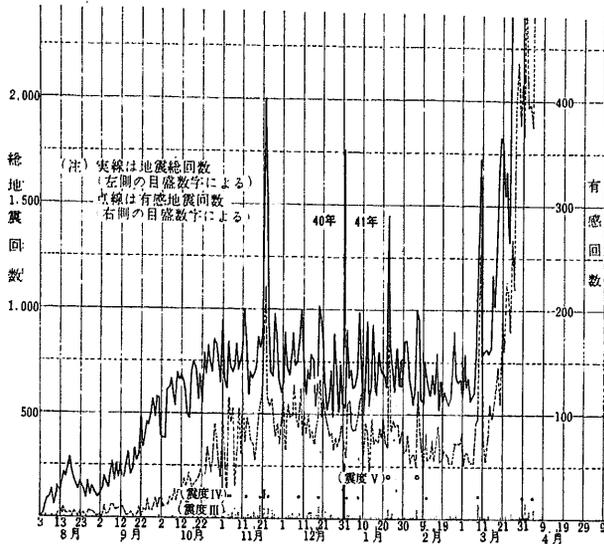
第3表 北信地域における地震年代表(理科年表より抜粋)

日本歴	西 歴	地 名	M	被 害
仁和3.7.30	890.8.26	信濃北部	7.4	信濃大地震(弘化4年と同一場所か) 山崩 出水
享保3.9.12	1718.10.5	信 濃	6.2	飯山城破損
弘化4.3.24	1845.5.8	信濃越後	7.4	善光寺大地震 運川筋山崩 火災 洪水 潰家 34,000 焼死3,500 死12,000
嘉永5.12.17	1853.1.26	信 濃	5.9	埴科郡上五明村 3戸倒潰
安政5.3.10	1858.4.23	松 代	5.9	松代潰家(松代付近)
明治19.7.23	1886	信濃川筋 信越国境	6.1	
昭和16.7.15	1941	長野市東北 千曲川流域	6.4	全潰29 非住家47 死6
昭和18.10.13	1943	野尻湖付近	6.0	家屋倒潰34 半潰116 死1

回数との間に 何等かの統計的な関係が存在するのではないだろうかという疑問が当然生じてくる。実際にこの関係を調べた結果 予想に違わず実に簡単な関係式が成り立っていることが分った(石本 飲田の統計式 グーテンベルグ・リヒターの関係式)。この関係を大雑把にいうと「Mが1階級下がると発生回数は約8倍になる」すなわち M3の地震の起こる回数はM4のその8倍であり M5のその64倍であるということになる。この関係は松代地震でもだいたいなり立っているようである(後出)。

II. 2. 北信地域における過去の地震記録

松代地震の発生状況 経過を述べる前にこの地域の地震に関する歴史を調べてみよう。過去の歴史は現在と全く無関係ではあり得ない。場合によれば思いがけぬ有益な示唆を与えられることも多々あるし 現状を認識するためにも必要であるからである。第3表は現在問題となっている千曲川流域およびその近辺に発生した地震を年代順に示したものである。広い長野県全体について調べても この表にのせられた以外の大きな地震はごくわずかであり 2 3 を数えるに過ぎない。いわゆる信濃川地震帯と称せられているのは この間の事情を指しているのであり 新潟県 長野県を通じて信濃川沿いは古来大きな地震が発生していることに起因している。この表をみて直ぐ気の付くことは 大きな破壊地震のほとんどが千曲川西部で起きていること また松代およびその近辺で比較的規模が小さい(M5.9)が歴史的な地震が起きていることである。このことは今回の地震を考えると きわめて重要な示唆的な事実であるといえよう。歴史は繰り返すということばがある。もしその通りであるとすれば われわれは十分注意しなければならない。北信地域では過去にM7前後の大地震が何回か発生しているからである。



第1図 松代群発地震日別回数(気象庁資料)

II. 3. 北信地域の地質概要

地下の構造の詳細についてはわれわれは知るよしもないが 地表で観察される地質状況からある程度の推察を行なうことが出来る場合も多い。そこでこの地域の地質の概略を見てみよう。長野盆地を含む千曲川流域の低地は もちろんごく新しい地層—沖積層—でおおわれその周辺部の小範囲に洪積層が処々に分布しているが地域の大部分は第三紀に出来た地層(凝灰岩 碎屑岩など)やその時代に噴出して来た安山岩類でおおわれており また同時代に貫入してきた玢岩や閃緑岩類が分布している。これらの地層や火成岩の分布を見ると面白いことに 千曲川の東側と西側とはかなり異なっており 東部では火成岩類が広く分布している 玢岩や閃緑岩類がかなりの範囲にわたって分布している。また東部に存在する堆積岩は中新世のそれも下部の方の地層(中信層群)である。なお褶曲や断層などの地質構造は余り明瞭には観察されて

いないようである。西側では第三系上部の北信層群(中新世—鮮新世)がかなり発達しており 火成岩は長野市北部と更埴市西部の盆地周辺部に 安山岩類が小範囲に分布しているだけで 玢岩や閃緑岩類はほとんどみられないようである。この西側区域では

凡例(新生界)

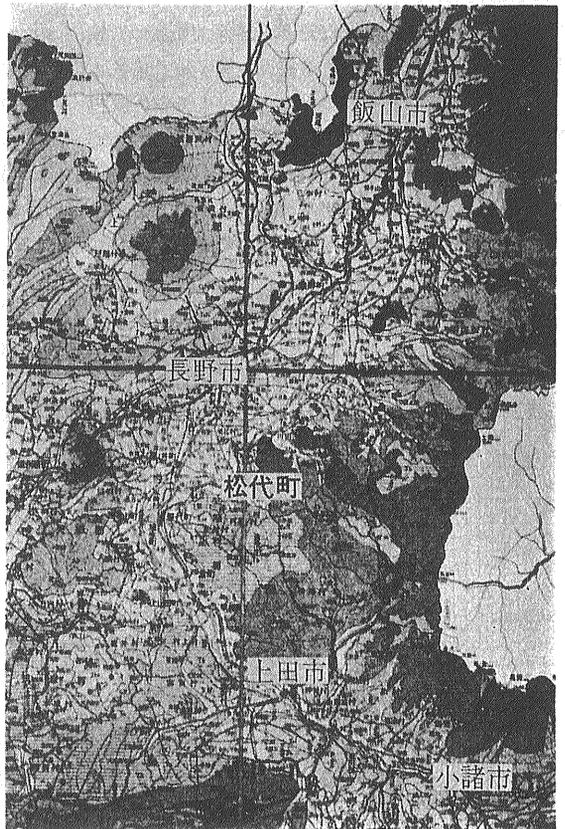
堆積層	火成岩
Al <sub>1</sub> 沖積層(最新期)	KV <sub>1</sub> 火山灰および火山砕屑物
Al <sub>2</sub> 沖積層(最新期)	KV <sub>2</sub> 凝灰岩および玢岩
P 泥岩層	D 凝灰岩・石英安山岩
Du <sub>1</sub> 上部洪積層	Am 黒雲母安山岩
Du <sub>2</sub> 中部洪積層(砂質中層)	Am <sub>1</sub> 角閃安山岩
Du <sub>3</sub> 下部洪積層(砂質中層)	Ahy 凝灰岩安山岩
Du <sub>4</sub> 下部洪積層(砂質中層)	Abp 角閃石両輝石安山岩
Tsu 剛果層下部	As 角閃石安山岩
Tsl 剛果層上部	As <sub>1</sub> 角閃石安山岩
Tsv 剛果・中性岩・集塊岩(角閃石・石英および玢岩)	玄武岩
Tsu 小川層群上部	Ab 黒炭安山岩
Tom 小川層群中部	Ta 流紋岩・フェロサイト
Tol 小川層群下部	Pt 輝岩(角閃石)
Tov 流紋岩(角閃石)	Da 石英閃緑岩—花崗閃緑岩
Tk 小流紋岩	DS 輝緑岩
Ta 岩床(角閃石)	
Tb 輝緑岩(角閃石)	
Ton 安山岩	
Tub 玄武岩	
Tus 玢岩類(角閃石)	
Tug <sub>1</sub> 緑色凝灰岩(角閃石)	
Tms 守屋層群変成岩	
Tuy 守屋層群	
Tw 田中層(角閃石)	

千曲川にほぼ平行した方向(N-E—S-W)の構造が発達しており この方向に近い走向の軸をもった多数の背斜向斜が雁行状に存在している。上にのべたような地質状況は なかなか示唆に富むものであるが このような地質学的特徴と地震現象を直ちに結びつけることはむずかしく また大きな危険を伴うものである。

なお念のため述べておくと 注目の的である皆神山は第四紀に出来た比較的新しい熔岩円頂丘であるといわれている。

II. 4. 松代群発地震の経過

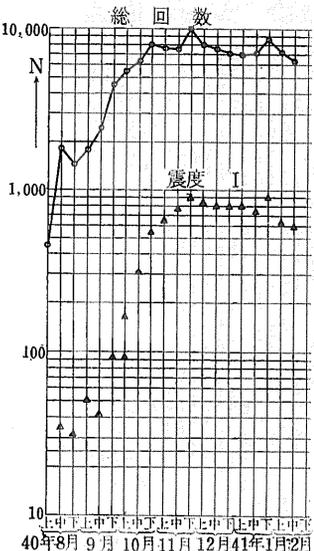
松代においてごく近くに発生した小さな地震が記録され出したのは昨年(昭和40年)8月3日である。もっともはじめのうちは人体にほとんど感じないものであったが 日を追って地震計に記録される地震の数が増すとともに 人体に感じる地震(有感地震)の数も増加し漸く一般の人々にも注目され出した。そして第1図に示されているように 10月に入るや急激に発生回数が増加し11月には有感地震だけでも1日に500回以上を数えるようになった。その後年が明けてからは やや活動が衰えてきたようにも見えたが 3月中旬頃より著しく急増し 4月に入って益々活発になった。図では3月までの発生状況しからぬが 4月1日には実に1日



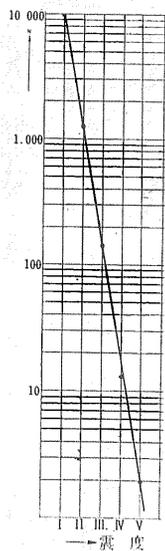
長野県地質図

に約6600回（朝9時から翌朝9時まで 以下同じ）を記録するに至った。このうち有感地震（最大震度は松代で）は640回であった。また4月11日にはMが5.0という今までの最大規模の地震が発生し 家屋その他に多大の被害を与えている。さらに4月17日には震度V（松代）が3回 震度IV（松代）が3回も発生し 家屋などに被害を与えるとともに初めての重傷者（1名）をも出した。その後も地震活動は依然として衰えず 1日に2000回から5000回（有感回数は200回から500回）程度の地震が発生している。

ここで無感地震の回数や有感地震の回数 また同じ有感でも震度（松代での）によって発生回数がどう変わるかを調べてみよう。第2図は地震回数を旬別に集計した回数を示しており 有感地震と無感地震を合せた総回数と震度I（松代において）の地震の発生回数が対比されている。これを見ると 地震の初期は別として 有感無感を合せた地震の約10%が震度Iの地震であることが分る。すなわち 発生する地震の9割近くが無感である。それでは有感地震のうち震度の大きい地震はどのような発生状況を示しているのであろうか。第3図には震度別（松代での）に分けられた地震回数が示されている。図で明らかのように 震度と発生回数の対数との間には奇妙にもきれいな直線関係が成り立っている。この関係ははなはだ面白いまた重要な関係である。震度の大きな地震はめったに起こる筈はなく またもちろんいつ起こるかは全く見当がつかない。しかし 長期間の間にはこの図に示されているような法則性（統計的）によって何回位起きそうであるかが ある程度推測出来ることもある。図の関係は約7カ月間の資料から求められたものであり 現在ではその後多数の地震が発生し



第2図 松代群発地震旬別回数  
（松代町地震対策本部資料）



第3図 松代群発地震  
震度別回数  
（40.8.3～41.2.20  
松代町地震対策本  
部資料）

ているので同じ様な関係を求めてみると少し直線の位置が右の方へ平行に移る筈であるが 大した違いはないと見てよい。今までの最高震度はVであるが それではVIの地震は起こるだろうか。図の関係だけから推測すれば先づ起こる可能性は 現在の処ないよう思えるが地震がこの先も永く続くようだとちよつと心配である。ここでどうして このようなきれいな関係がなり立つのかを考えてみることにする。

前に(II I)地震の大きさと発生回数との関係を述べたが 震度との関係には全然触れておらない。これは当然のことで 一般には震度と地震の回数との間には何等の関係もないのが普通である。松代で密接な震度—頻度関係がなり立っているのは 次に述べる様に松代群発地震の発生範囲が狭い面積に限定されている事実と深い関係がある。すなわち 松代地震のように起きる範囲も深さも限られている場合には 地震の大きさとその地震が地表面に与える影響との間には だいたいにおいて比例に近い関係がなり立つものと考えてよい。震度はすでに述べたようにある土地における地震の影響を示すために便宜的に決められた定性的なものであるが 量的な指示を全く欠いたものではない。身体に感ずる程度 器物や建造物の揺れかたなどは地震の加速度 いかえれば 地震動によって与えられる力と密接に関係している。そこで震度階が適当に定められている場合には 震源から一定距離の地点での震度と地震の大きさとの間に ある対応がつけられるはずである。今の場合にはちようどうまい具合にこのような対応がついている場合であると考えられる。図の関係を調べてみると この直線の勾配は約0.93であり これはグーテンベルグ・リヒターの関係式（回数NとマグニチュードMとの関係式 前出）の表わす直線のそれとほぼ一致している。グーテンベルグ・リヒターの関係式は 世界中の浅い地震について調べて得られた統計式であるが この関係が松代地震のような極浅発の限られた範囲で起きている群発地震にも当てはまっており Mと震度を入れかえてもそのままなり立つのは面白いことである。このようにして松代での震度は ほぼその地震のM値に近いことが分る。

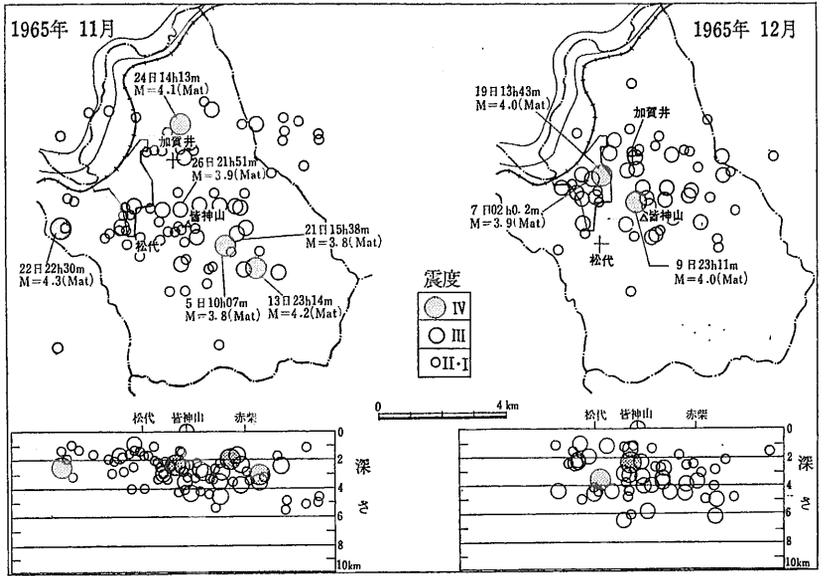
このような関係を理解した上でもう一度図をみて 松代で起こり得る最大規模の地震を推測してみよう。すでに述べたように このまま地震活動が続けばMが6位の地震は起こる可能性はないとは断言出来ない。しかし松代付近に限っていうならば Mが7以上の地震はまず起きるおそれはない（北信地域全体では別）。このこ

とは現在の地震が発生しつつある地下の地震に関係する体積の大きさを考えてもいえることである。松代付近でM6の地震が限度として考えられるということは過去の歴史と照し合せてみると面白い。すでに述べたように松代付近での最大の地震は安政5年のものであるがこれがM5.9である。このことは決して偶然の一致ではなく松代付近の地下の構造と密接な関係があるように考えられる。

前に述べたように松代付近では現在なお1日に数千回の地震が起きており昨年8月3日以降現

在までに無慮30万回以上の地震を記録している。それではこれらの地震の震源の分布状況はどのようになっているであろうか。第4図は昨年11月と12月に発生した地震のうちおもな地震の震源分布を月別にして示したものである。この両者を対比してみると多少の相違を除けばだいたいにおいて千曲川以東の皆神山をほぼ中心とするきわめて限定された狭い区域に多く発生しており深さ1km~6kmのごく浅い範囲で起きていることが分る。この状況は現在でもあまり変わらずに続いているようである。もっとも現在までに起きた地震をすべて記入してみると松代町全域(図中の鎖線が町界を示している)に分布しさらに町界を越えて北隣の若穂町でもかなり発生しているようであるが震央分布の密度の最も大きい区域は前記したように皆神山をほぼ中心として北西-南東を長軸とする楕円状の範囲である。なおここでちょっと注意しておきたいことは今述べたように長い間にはかなりばらついて広い範囲に地震が起きているが西南側の町界および千曲川の線を越えて発生しているものがあまりない事実である。このことはすこぶる暗示的であり重力調査の結果を述べる際に再びとり上げられるはずである。上に述べたように震源分布がきわめて限定されているということは非常に重大な意味をもっている。この群発地震の「巣」の大きさは水平方向の広がり精々100~150km<sup>2</sup>程度深さ4km前後の厚さがほぼ6kmのものでありその体積は大きく見積っても精々1000km<sup>3</sup>以内である。

この程度の体積内に貯えられる地震のエネルギーはそんなに大きなものではない。前に松代付近に限っていえばM7の地震が起こる気づかいはないと述べたが

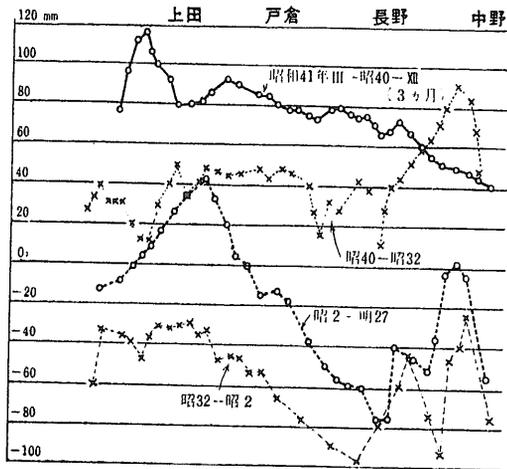


第4図 おもな有感地震の震源分布図(松代町地震対策本部資料)

このことは地震の巣の大きさからいえることなのである。北信地域全体での地震を考える場合には地震として放出されるエネルギーの集まる体積は少なくとも松代地震のその数100倍となるからもしこのエネルギーの一部あるいは大部分が一度に放出されるとすると松代で生じている地震の数10倍または数100倍の規模の地震が容易に起きうることとなる。MでゆうとM6かM7程度の地震が起こり得ることとなる(松代ですでにM5の地震が起きている!)。歴史的に見てもこの地域で信濃大地震(仁和3年)や善光寺大地震(弘化4年)が起きているがこれらのMの値はもちろん推定であるがいずれも7.4である。

### III. 各大学・国立研究機関の研究活動状況

松代で最も活発に調査研究を行なっているのはやはり東京大学地震研究所(以下単に震研と略称する)であり種々の方法を用いて総合的な調査研究を行なっている。その調査項目には次のものがある。地震観測(4点観測) 水準測量 光波測量(ジオジメータ) 地磁気測定 地電流測定 土地傾斜観測 および地質調査などである。地元地震観測所を有する気象庁はもちろん常時地震観測を行なっておりその情報は適宜発表されている。また東北大学では昨年12月に航空磁気測量(プロトン磁力計)を行なった。地質調査所では今までに地磁気・地電流変動観測 温泉調査(水位および成分変化)および重力調査を行なってきた。これらの諸調査の成果の一部はすでに発表されているが未発表のものもありここでは既発表の成果についてのみ述べることにする。



第5図 中野～上田間水準変動図(国土地理院資料)

地殻変動が単的にはっきりと表面に現われるのは 土地の昇降および伸縮である。 そのために国土地理院では全国の水準点の水準変化を繰り返し調べており 大きな地震の後では 再測してその変動状況を明らかにするのを常としている。 最近8年間における北信地域での地盤変動はたしかにかなり異常であり 国土地理院の水準測量の結果 この地域では30mmから100mmの土地の隆起が各処で生じていることが明らかとなった(第5図)。 また今回の地震が起きてから松代区域ではかなり土地が隆起しており 昨年10月から本年4月までの半年間に70mmにも達している。 また北信全体としても大きな変動を示しており この事実が北信地域に大地震が起きるかも知れないという予想の大きな根拠となっているのである。 土地の伸縮の測定は東大震研の光波測量によって行なわれ その結果 皆神山とその北部約3km離れた可候峠の間でここ半年間に約10万分の8も伸びていることが判明した。 この歪みの量は岩石の歪みとしては極限に近いものであり きわめて注目される。

地盤変動は単に水平方向の伸縮 垂直方向の昇降運動だけではなく 土地がある大きさの塊り(ブロック)に分れてその各々が振れるような運動(回転運動)やある方向に傾く運動(傾斜運動)をするのが普通である。

この傾斜運動を調べるために傾斜計が用いられる。 傾斜計としては 普通水平振り傾斜計または水管傾斜計が用いられている。 これらの傾斜計による観測は松代観測所の抗内において東大震研によってなされているが その結果 地震発生後異常な傾斜運動が観測されておりとくに4月以降はきわめて顕著で1日に約0.1秒の傾斜量を示している。 これは3月までの過去5ヵ月間の傾斜量(約1.5秒)の10倍の早さであり 地盤の隆起速度が異常に早くなっていることを示している。

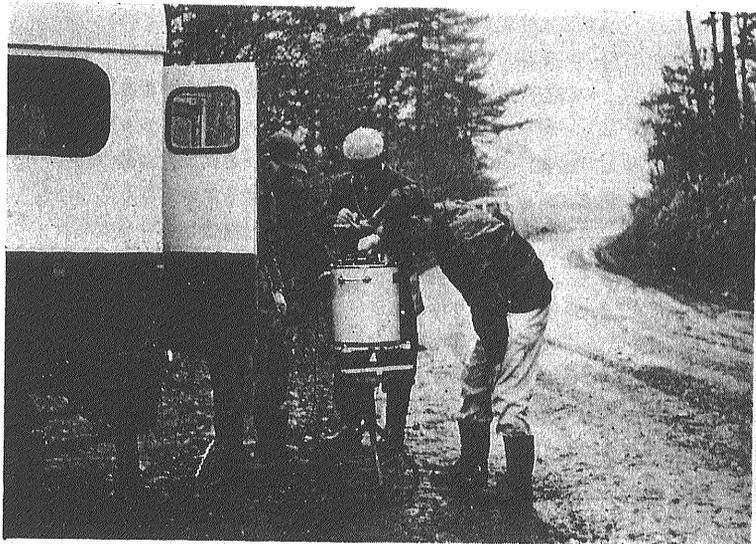
東大震研による地磁気測定 および東北大による航空磁気測量の結果は 興味ある事実を示しており 皆神山による磁気異常がよく現われている。

これら各種の調査の結果 一部で「熔岩説」がいわれているが これは地磁気変化 地盤変動の様相 震源分布 初動分布の特徴などに根拠をおいているのである。 この発震機構の問題はきわめて重要であるが 現在の段階ではこの問題を論じるには 資料不足の感があり 今後十分きめの細い精細な各種調査研究を行なう必要がある。

地質調査所で行なった温泉調査の結果は 水位および成分変化と地震との間に密接な関連があることを示している。 地磁気・地電流観測結果は目下資料の整理検討を行なっている段階であるので その詳細は不明である。 重力調査の結果を次に述べる。

#### IV. 重力調査の成果の概要

重力調査は41年2月26日から3月9日までの12日間にわたって行なった。 この調査の目的は 第1に 地震



ノースアメリカン重力計



ウォルドン重力計

域内の重力異常の概要を把握し 地震と地下の構造との関連を調べ また41年度に予定されている重力精査(精度の高い詳細な調査)の計画立案のための基礎資料を得ることであり 第2に地震頻発時における重力値の変化とくに 地震の直前 直後の短時間における重力値の変動を観測することであった。このために 重力計としてはノースアメリカン重力計(写真1)およびウオルドン重力計(アスター型)(写真2)の2台を使用し 前者を重力概査用 後者を変動観測用とし 平行して作業を行なった。つぎにこれらの成果の概要を別々に述べることにしよう。

IV. 1. 重力概査の結果

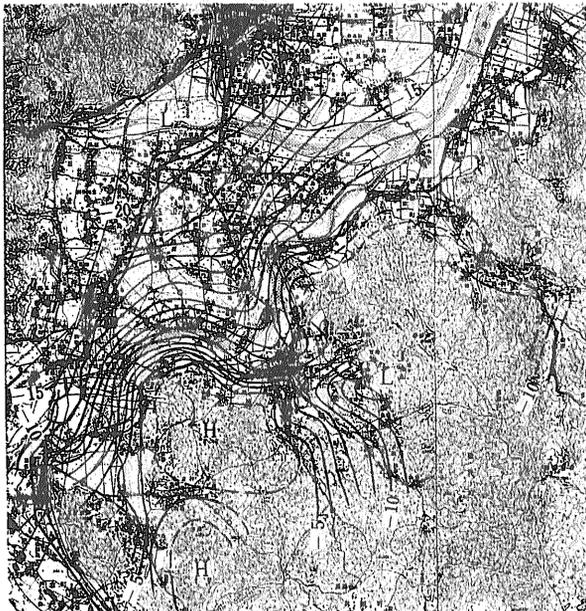
概査範囲は松代を中心とする面積約 150km<sup>2</sup> の範囲で 測点の総数は75点である。測点の標高は経費の都合上 気圧高度計を使用して求めた。一般には 気圧測高の精度はかなり悪いのであるが 今回の調査では この点に留意し出来る限り精度を高めるよう努力した。これらの測定は須田芳朗技官が担当して行なった。

結果は第6図および第7図に示す。第6図の方は重力異常を計算する際に仮定される平均の岩石密度として 2.5 C.G.S. を用いた場合であり 後者は 2.0 C.G.S. を用いた場合である。両者を見比べて分るように多少の不同はあるが だいたいにおいて類似の異常を表わしている。密度のとりかた その違いによる異常の変化は重要な考察対象になるが この調査が概査であること またどちらが妥当な仮定であるかの決め手が現在の所 欠如していることを考えて ここでは第7図の結果によって話しを進めることとする。

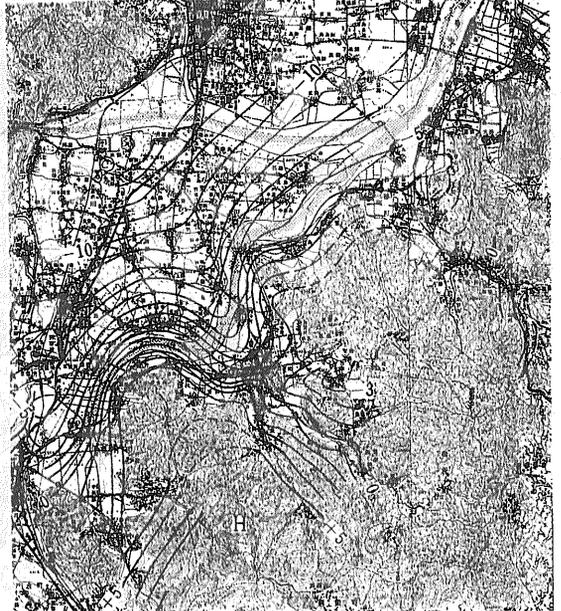
図を見て分るように 千曲川の北西側平野部と南東側山地部では等重力線の形やその配列がかなり違っている。

すなわち 千曲川の北西側では等重力線は多少屈曲しているが ほぼ平行しており 北西方向にほぼ一様に重力値が減少している。これに反して千曲川南東側では等重力線の形は大きく乱れ 屈曲しているが だいたいにおいて南東方向に重力値が増している。このような重力値の傾向や等重力線の形 その配列を地域の地質状況と対比してみると面白いことが分る。すでに述べたように 長野盆地部には厚く沖積層がおおっているため 地下の状況(基盤の形 構造など)は全く分らない。

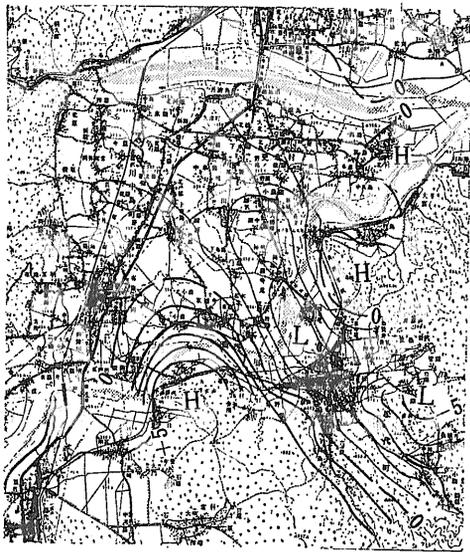
しかし 重力の方から見るとこの平野部の地質構造はあまり複雑ではなく だいたい単調に水平成層が発達しているようである。千曲川南東側ではすでに述べたように(II. 3)松代南部山地には中信層群が分布し それを貫いて珩岩類が分布しており また松代北東部の尼殿山 奇妙山 堀切山などを含む山地では安山岩質の溶岩や珩岩 閃緑岩類が分布しており これらの火成岩分布によって地下の構造はあまりよく分らない。重力の結果を見ると 松代南部に高重力異常が存在しており その形強さからみてここに火成岩体の貫入が推定される。ここで地質調査を行なえば恐らくはここに半ドーム状構造が観察されるのではなからうか。ここに分布している中信層群の地層の傾斜 走向の傾向が重力の傾向と定性的によい一致を見ることが期待される。これに反して松代一皆神山の線の北東部は重力の結果もほとんど空白でありあまりよく分らない。皆神山の位置する所かなり強い低重力異常が見られるが これは注目されるべ



第6図 松代地区ブーゲ異常図( $\sigma=2.5$ )



第7図 松代地区ブーゲ異常図( $\sigma=2.0$ )



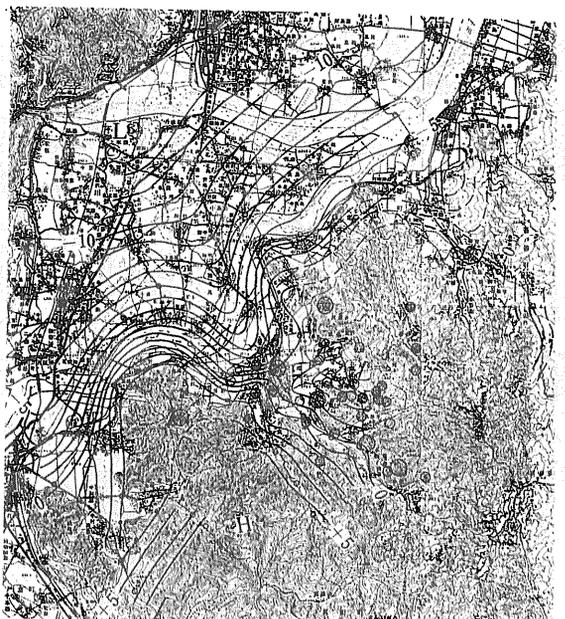
第8図 松代地区余剰重力図

きものである。すでに述べたように 今回の地震活動は主として皆神山を中心とする範囲内で行なわれておりこの地震活動は 皆神山およびその周辺の地下の構造と密接な関係をもっている事が推察されるからである。この重力異常と関連して 平野部から松代方向に等重力線が回入している事が注目される。

第8図は異常の形 大きさ 強さをはっきりさせるために計算して得られた余剰重力図である。これを見ると皆神山の所に現われる低重力異常(以下皆神山低重力異常と呼ぶこととする)に連続するように狭長なほぼ北西-南東方向の低重力異常(松代低重力異常と名付ける)の存在が明らかである。この両異常の関係をはっきりさせることは重要であるが ここでは遺憾ながらこれ以上論ずることは出来ない。ただ図示されているような異常が今後行なわれる精査においても 再び得られる事は間違いないと思われるが 皆神山低重力異常の形 強さ範囲などはかなり変わってくる可能性があることに留意しておかねばならない。現在の予想としては皆神山低重力異常は奇妙山の方にまで範囲が広がることが考えられる。案外ここにカルデラ状異常が出て来るかも知れない。もしそうならそれはきわめて重大で面白いことである。現在得られている情報のみで判断すると 松代低重力異常に示される地下の構造として 千曲川にほぼ直交して横切のような地溝状の構造(溝状に基盤が陥没している構造)の存在が推察される。そしてそれは皆神山低重力異常に示される陥没状構造に接続しているわけである。

第9図は昨年12月中に発生したおもな地震の震央分布を示したものであるが その分布がだいたいこれらの低重力異常域に存在することはすぶる暗示的である。図中に破線で示されている千曲川に平行な断層は地質調査によってその一部が認められている推定断層であるが地震の発生がこの推定断層の外側でほとんどないことを考え合わせると 松代地震はかなり地域の構造特性に支配されているのではないかということが想像される。前に今回の地震の震央分布について述べ そこで松代西南側の町界および千曲川の線を越えて発生しているものがあまりない事を指摘したが これは千曲川に平行な断層および松代低重力域の南部を限る断層(重力異常からの推定)を越えてはあまり地震が起きていないといった方がよいようである。このような考えは当然地震の発震機構の問題ともつながってくることであり 震源における運動は断層面に平行な断層の走向に起こるズリの運動ではないかと推測することが出来る。(もっとも現在いわゆる「熔岩説」を唱えている人々もいる) これを確かめるには構造調査をするとともにP波の初動分布および地震に伴って生ずる地形変動の特徴を調べればよい。

上の話しはかなり推測的なものであるが もしこのような考えが妥当であれば 松代から離れた場所 たえば若穂町で起きた地震のP波の初動分布は そこの構造の方向に規制されてくることが期待される。今のところ若穂町の重力異常についてはよく分っていないが 第7図の一部に見られるように ここに低重力異常が存在することが予想される。今後の重力精査の結果が期待される一つの理由である。



第9図 重力異常と震央分布関係図(丸の大きさは震度を表わす 第4図参照)

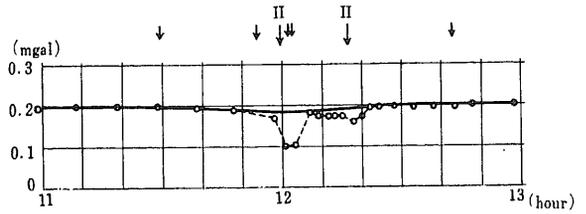
以上に述べた事からはかなり推測的な またいくつかの仮定をした場合の話であり したがって 今後の詳細な調査研究が進むにつれて当然改めなければならない点も出てくるものと思われる。このことは逆にいえば地域の構造を解明し 地震の発生にメスを入れるためにはより詳細な調査が必要であることを示している。

IV. 2. 重力変動観測

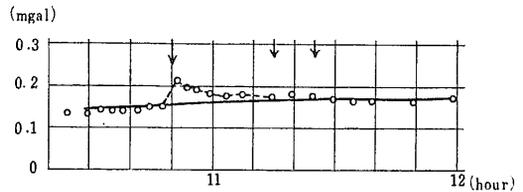
現今の重力計の読取り精度はいずれの機種でも普通 0.01 mgal 程度であり これは地表における重力の加速度 (980gal 前後) の約1億分の1というきわめて高精度のものである。わかりやすく例を挙げていうと 測定している点の標高に5cmの誤差があると重力値への影響はほぼ0.01mgalとなり また1m位の深さの溝(幅数m)のそばで測定する場合にこの溝の影響がやはり0.01mgal程度となる。この位精度がよいので地下の状態の変化あるいは 地表面の変化が少しでもあれば十分観測にかかる可能性がある。したがって 地震現象に伴って地下の状態が変化したり 地塊運動が生じたり 土地が隆起 沈降したりすればそれを検出することが出来る場合もあるわけである。ただし検出された重力の変化がどのような原因に基づくのかを逆に推定することは仲々むずかしい問題である。従来地震に伴う重力の変化を観測した例はごく少ないが これは高精度の重力計が出来たのは最近(20年位前)であること また地震は突発現象であるため 観測する機会が少ないことなどによるものである。今回とくにほぼ連続的に変動観測が出来たのは震域がはっきり分っており また地震の発生は毎日必ずあり 数日に少なくとも1回は比較的大きな地震に再会することが分っていたからである。このような条件がなければ計画を立てることもむずかしいし またかりに計画しても実際問題として多大の労力を費して実行することはすこぶる困難であり 永続きするものではない。

第10図は観測の一例を示したものである。地震がない場合にはだいたいにおいて測定値のバラツキはきわめて小さいものであって 第11図に示したように一つの滑らかな曲線の

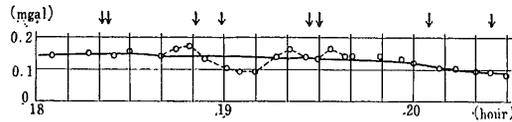
上にほとんど乗るようにして変化していくのが普通である。もしバラツキが大きいならばそれは観測場所が不適當であるか観測が粗雑であるか または 重力計の調子が悪いかのどちらかである。第10図の図中に長短の矢印が書込まれているが これはその時刻に起きた地震を示しており (気象庁松代地震観測所のご好意により資料を頂いた) IIとかIIIとかはその地震の震度を表わしている (Iは省略)。これらの記録を見るとだいたい強い (震度II以上) 地震の起きた後で 0.1mgal 程度のわずかな量ではあるが重力値が変化しているのが分る。



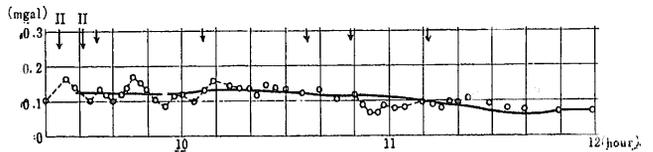
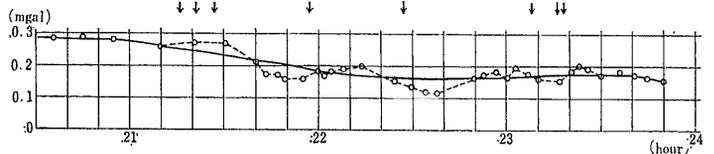
第10図A 3月2日



第10図B 3月6日

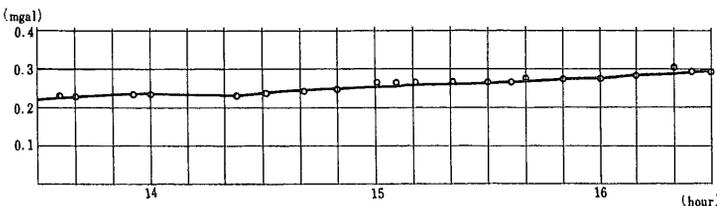


第10図C 3月7日



↑ 第10図 3月8日  
松代地震観測の例

← 3月4日の  
第11図 重力変動観測例(変動の少ない場合)



しかし強い地震が起きていなくても重力変化が見られる場合もあり必ずしも重力変化と地震の震度とは対応しているとは限らない。特に波をうったような重力変化は個々の地震とは直接的な関係はないようである。それではこれらの数分または10数分あるいは数10分にわたる0.1mgal程度の重力変化はなにに起因しているのだろうか。いろいろ調べてみると地表面がごくゆっくりと動いた(昇降運動)とすると一番無理なく説明出来るようである。すなわち地震が起きた後 または地震が起きなくても内部の状態の変化のために地表面がわずかに隆起し(急に隆起する場合も徐々に隆起する場合もある。急に隆起する場合は大きな地震の場合)それが徐々に元に戻ると考えれば説明がつく。またゆっくり波をうつような変化の場合は地表面が同様な昇降運動を行なったと考えればよい。このように考えれば地下に大きな変化(たとえば熔岩溜りの変化など)を考える必要はない。地表面の昇降運動(ごく局部的なものか全体的なものかは今の所わからない)とするときは地表面の変位の振幅は高々数cmから数mm(変化の様相によって異なる)程度となりこれは容易に肯ける変動である。これに反して地下深部だけに原因を考えようとするとかなり大きな質量の変化(たとえば熔岩説をかりるとして熔岩の昇降)を考えなくてはならずこの質量の移動変化として少なくとも数100万トン以上のものを考える必要がありこれはちょっとありそうもない変化である。

このようにして観測された数10分以下の変動の原因として地表面の昇降運動が考えられたが重力の変化を詳細に検討すると他にも重要な現象があることに気がつく。しかしここでは話があまり専門的にむずかしくなることと観測が一点でしか行なわれなかったことを考えてこれ以上述べないことにする。理想的に言えばここで述べたような変動観測は少なくとも2点以上の場所で同時に行なわれなければならないがいろいろな事情で実現出来ないのは残念である。なんとかして3点(せめて2点)観測をしたいものである。

## V. 41年度調査研究計画

松代群発地震は現在ややその活動が衰えているように見えるが依然として続いておりその究明は学問的にも重要でありまた社会的にも強く要請されている。このために地質調査所においては「松代群発地震に関する特別研究」グループを設け積極的に調査研究を行なうこととした。その内容は次の通りである。

### (1) 物理探査

まず重力探査を40年度に引き続いて行なう。調査範囲は前年の概査範囲とほぼ同様であるが前回の成果に基づき精細な計画がたてられた。この調査が震域全般にわたる地下構造の概要の把握 局所的な異常構造の存在の指摘 また地震と地域の構造特性との関連究明などに関して重大な寄与をなすことが期待される。

この重力精査と平行して電気探査(垂直法)を行なう。皆神山 松代市街を結ぶ方向に測線長9.5kmの測線を設けこの測線下の構造を調べる。この結果はまた重力探査の結果解釈にも用いられる。

これら両調査は科学技術庁の特別研究促進調整費によって行なわれる。

### (2) 地質調査

すでに述べたように震域の地質状況はその概要はある程度分っているがその詳細は不明の点が多い。そこで地域の地質構造を詳しく調べ また火山学的調査研究を行なおうというわけである。

### (3) 物理化学調査

この項目では地震に伴う随伴現象 関連現象を物理化学的に(地電流変化 岩石力学的研究 地球化学的研究)調べることを意図している。

以上がグループの計画であるがこの計画に関連して科学技術庁防災科学センターのボーリング計画に触れておくことは必要であるので簡単に説明することにする。このボーリング計画は同センターと地質調査所が協同して立案実施するもので皆神山のふもとに深さ200mの穴を掘り岩芯の地質を調べるとともに坑内に種々の測定計器類を置いておき地震に関係した物理計測を行なおうとするものである。挿入計器は歪計 サーミスタ 地震計 傾斜計および電極である。すなわち土地の歪 傾斜変動を測定しまた坑井内の温度変化 地電流変化を調べ 地震波動を観測する計画である。

これらの観測は長期間(3ヵ年)なされる予定である。なお傾斜計は東大震研で開発されたものでその観測も震研によって行なわれることになっている。

これらの調査研究が震域の構造解明にまた地震発生の機構の究明に寄与することが出来 また現地の人々の不安をいくぶんなりとすずめるために役立てば幸である。

(筆者は物理探査部)