

松代群発地震地域における重力異常について

瀬谷 清

地質調査所

On the Bouguer Anomalies in the Matsushiro Earthquake Swarm Area

By

Kiyoshi Seya

Geological Survey of Japan, Tokyo

Abstract

Gravity distribution of the area has a general trend that gravity increases its value in the southeast direction and particularly varies its value uniformly with a comparatively large gradient (~ 20 F.U. or more) in the Nagano basin. In mountainous area (belonging to the Central belt of uplift) many remarkable high and low anomalies are recognized. These local anomalies show regular arrangements and have two patterns of arrangement, a little different from each other in the northern and southern parts of the area. It is also recognized that remarkable positive anomalies of the area correspond to the distribution of Tertiary sedimentary rocks and intrusive rocks.

As the result of several considerations, a "Chikumagawa tectonic line" was estimated along the River Chikuma, and further, the upheaval area of the basement was divided into five blocks, and movements of the basement in these blocks were presumed, respectively.

1. はじめに

昭和40年8月以降長野県松代町(現在長野県松代市)を中心として始まった松代群発地震は3回の活動期(同年11月末を中心とした第1活動期,翌41年4月を中心とした第2活動期,同年8月から9月を中心とした第3活動期)を経て現在に至っている。この間震源域は次第に拡大し、

ほぼ千曲川沿いに北東-南西の方向に延び、北は須坂市より南は東筑摩郡坂井村にまで達した。この群発地震発生以来多くの機関による各種の調査研究が行なわれ、それらの成果は単に学界のみならず、多数の一般の人々の関心をひいている。

重力調査は震源域下の地下構造の解明、把握のための調査研究の一環として昭和41年2月末より

1	明治24	1891	浅貝鳴動
2	26	1893	三俣鳴動
3	30	1897	高井地震
4	32	1899	有明鳴動
5	33	1900	仁礼地震
6	大正 5	1916	笠岳鳴動
7	明治40 ~ 大正 5		焼岳活動
8	昭和33	1958	安曇地震
9	33	"	聖山地震
10	38	1963	信濃坂地震
11	40	1965	松代地震

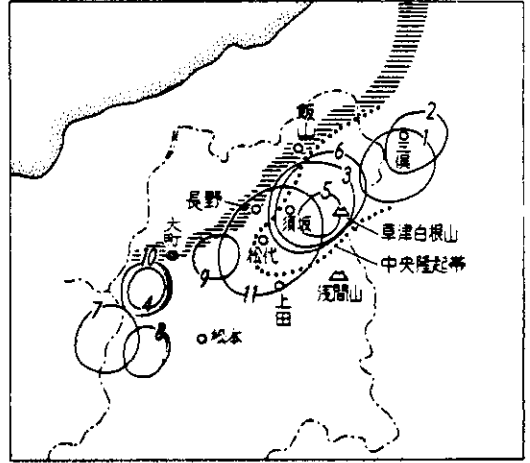


図-1 北信地方に発生した群発地震⁴⁾
Distribution of earthquake swarms in the Hokushin District from 1891 to 1965.

3月上旬の予備調査(このとき重力値の変動観測も行なわれた。)に引続いて同年6月9日より7月7日までの第1次調査および42年2月6日より3月6日に至る第2次調査が行なわれた。これらの調査結果については第2次調査結果を除きいずれも既に発表¹⁾²⁾³⁾されている。しかしこれらはいずれも調査概報の形で発表されており、記述に不十分な点も少なくないのでここに第2次調査結果とあわせて総括した。

なお第1次および第2次重力調査は科学技術庁特別研究促進調整費によって実施することを得た。ここに特記して感謝の意を表する。

2. 地質概況

北信地域における過去の地震活動はいわゆる信濃川地震帯と呼ばれる信濃川流域沿いの带状区域に行なわれている。これらはまた糸魚川-静岡線以西では起らず、すべてフォッサマグナ地帯に限られていること、千曲川以西で比較的規模の大きい地震が発生しており、千曲川以東では対照的に規模が小さいのが注目される。本地域における過去の群発地震例は図-1⁴⁾に示すようにその殆んどが後述の中央隆起帯に発生している。なお図-2に松代地震の震源域の拡大の状況を示す図を引用⁴⁾したが、これをみても震源域が中央隆起帯内に限定されその方向に広がっている様子が明らかである。これらの事実は今回の松代群発地震の性格を考える上に重要な示唆を与えており、地域の

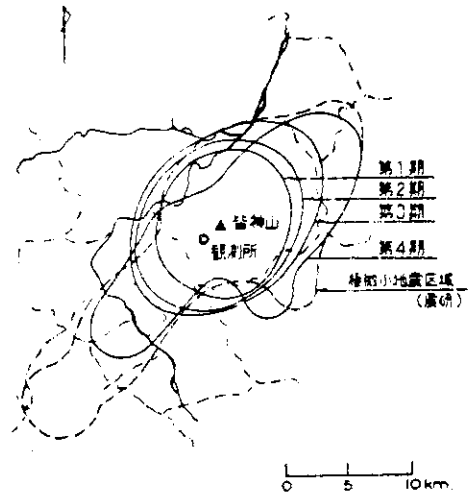


図-2 松代地震震源域の移動⁴⁾
Development of the Matsushiro earthquake area.

地質構造、地史との間に密接な関連があることが推察される。

数次に亘る重力探査は上記の背景のもとに震源域における地下構造、火成岩分布それらの特性を把握するためになされたものであり、地域の地質状況よりみて、それと調和的な重力異常が得られるものとの予想のもとに行なわれたものである。

以下に述べる地質概要は20万分の1長野県地

質図およびその説明書⁵⁾、上田小県誌³⁾、5万分の1須坂図巾および説明書⁷⁾および沢村・他の報告⁸⁾および沢村の談により要約したものである。

北信地域はフォッサマグナ北東部の一部を占めており、地域内の構造の詳細については不明の点

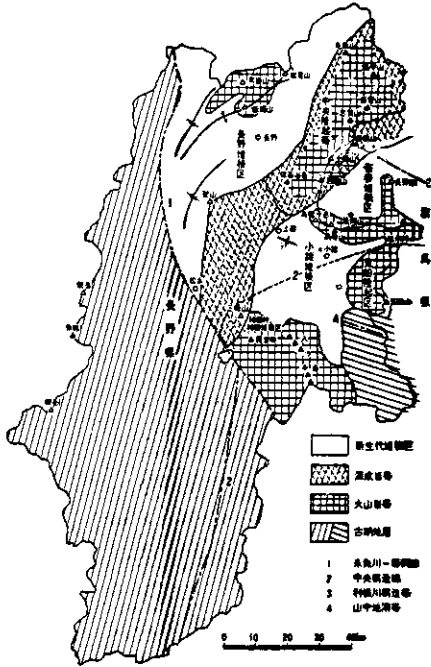


図-3 長野県地質構造図(飯島)⁶⁾
Structural map of Nagano Prefecture
(after Iijima)

が多い。しかし、図-3に示すように、大きな構造の概要はほぼ把握されており、北より長野堆積区、中央隆起帯、小諸堆積区、荒船隆起区の四つの地質区に大別されている。飯島⁶⁾によると中央隆起帯は中新世中期の別所時階に陸化したもので、内村地向斜性盆地はこのために長野堆積区に分化し、前者には海成層が、後者には陸成層が堆積したとしている。中央隆起帯は深成岩帯として特徴づけられ、上田北方にNE-SW方向に延びている。この内部ではNW-SEに延びるドーム構造が並列して発達しており、長野堆積区に見られる褶曲構造とは性格が全く異なっている。長野堆積区における曲構造は長野西方山地ではNE-SWの軸方向をとっているが、その南部では次第にN-S方

向へ向きを変えている。このことより沢村他は長野盆地下に基盤構造のぶつかり合う大きな不連続面の伏在を想定している。⁸⁾ 松代およびその周辺に分布する堆積岩類は中信層群であり、その上部層の北信層群の発達する長野堆積区とは対照的である。沢村・他⁸⁾によればこの中信層群はI累層よりIV累層に区分され、これらの地層は多くの貫入岩により貫かれているが、その多くは岩床状を呈しており、地質構造とは一般に調和的である。そしてこれらは中信層群の火山活動と密接に関連する可能性が高い。またこの地域の基盤としては中国地方の延長の変成した古生層が伏在している可能性が高い。

3. 重力探査について

調査はワオルドン(Worden)重力計を用いて行なった。測点の選定に当っては測点間隔が500m~600mになるように留意したが、急峻な山地部が多いため測点分布が不十分な個所が多い。測点標高は予備調査を除いてすべて水準測量により求めた。なお予備調査の結果は総合図からは除外されている。補正は次のものを行なった。

- (1)ドリフト補正(潮汐補正を含む)
- (2)緯度補正(1930国際重力公式による)
- (3)地形補正
- (4)高度補正(フリーエア補正+ブーゲ補正)

これらのうち、地形補正は測点より62kmまでの範囲の地形の補正を行なった。

また高度補正に際しては使用する平均密度として $\sigma = 2.3$ C.G.S.を仮定した。表-1は松代周

表-1 松代地域岩石密度(湿潤)表
Rock densities in Matushiro district

皆神山熔岩	2.30*
奇妙山熔岩	2.40*
保基谷岳熔岩	2.75
石英閃緑岩	2.60*
石英斑岩	2.54
玲岩	2.70*
別所層	
黒色頁岩	2.59*
変朽安山岩	2.78
内村層	
緑色凝灰岩	2.58*
変朽安山岩	2.75*

(*印は平均値であることを示す)

辺で採集した各種岩石の湿潤密度(一昼夜水中に放置)の測定結果を示している。火成岩はもちろん新第三系の岩石もかなりの高密度を示している。図-4は補正のうち高度補正のみを除外したもの(すなわち、逆にいえばブーゲ異常値から高度補正值を引いた値)とその測点の標高(H)との関係(以下簡単のためにg-H関係と呼ぶ)を示した図である。もしも地下の密度分布に異常がなければ、この関係は

$$(\partial g / \partial z + 0.0419\sigma) = \text{常数}$$

となり、図より勾配Kを求めれば次式

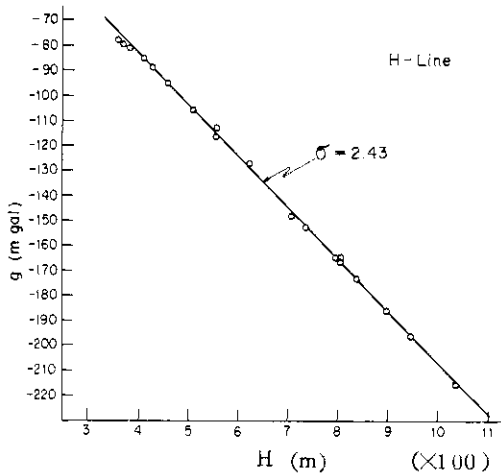


図-4(a) g-H関係図
g-H relation

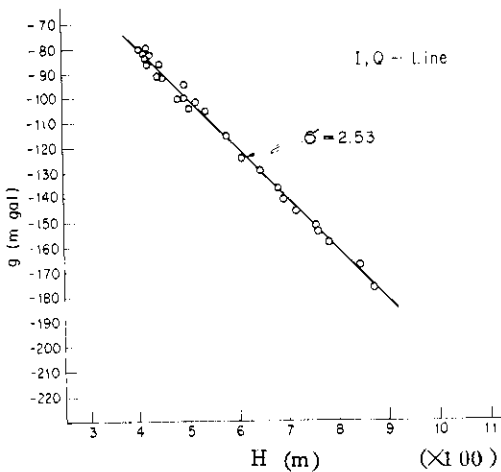


図-4(b) g-H関係図
g-H relation

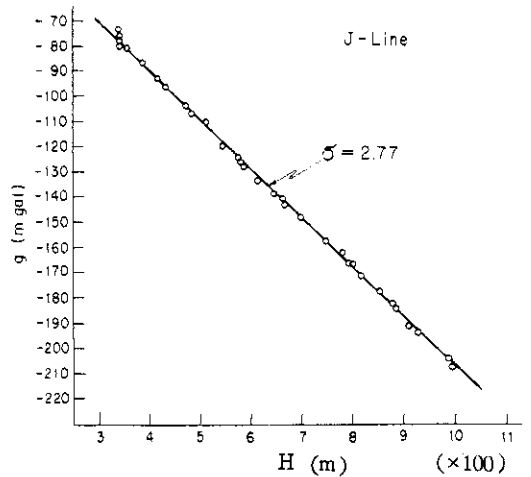


図-4(c) g-H関係図
g-H relation.

$$\sigma = \frac{1}{0.0419} \left(K - \frac{\partial g_0}{\partial z} \right)$$

により仮定すべき平均密度 σ を算出することが出来る。第4図の例では $\partial g_0 / \partial z$ の値として重力の標準垂直勾配の値 -0.3086 mgal/km を採用するとき、それぞれの図中に記入してあるように、その見掛けの密度として、2.43, 2.53および2.77(O.G.S.)を得る。然し、後出の重力図に見るように、地下の密度分布は一様ではなく、それぞれの場合に高地ほど重力値を高くするような分布をしている。そこで今この効果をそれぞれの場合に $5 \text{ mgal}/600\text{m}$, $5 \text{ mgal}/500\text{m}$, および $12 \text{ mgal}/600\text{m}$ と粗く見積って仮定すべき平均密度を求めると、2.24, 2.29, および2.29(O.G.S.)の諸値が得られ、大体2.3程度の値を仮定すべきことが分る。また、実際に3通りの密度仮定 $\sigma=2.0, 2.3$ および 2.6 によって一部の異常を求め、検討した結果2.3の場合が最もよい結果を示した。よってここでは、 $\sigma=2.3$ を採用し、ブーゲ異常図その他を作成した。

4. 重力異常の考察

4.1 重力分布の一般的傾向

図-5は地域のブーゲ異常図であり、図-6および図-7はそれぞれ正規構造図およびノイズ構造図と名付けられた⁹⁾余剰重力図である。

第2次調査によって新たに附加された部分は、再測点を含めて、地域北部の若穂より須坂市にか

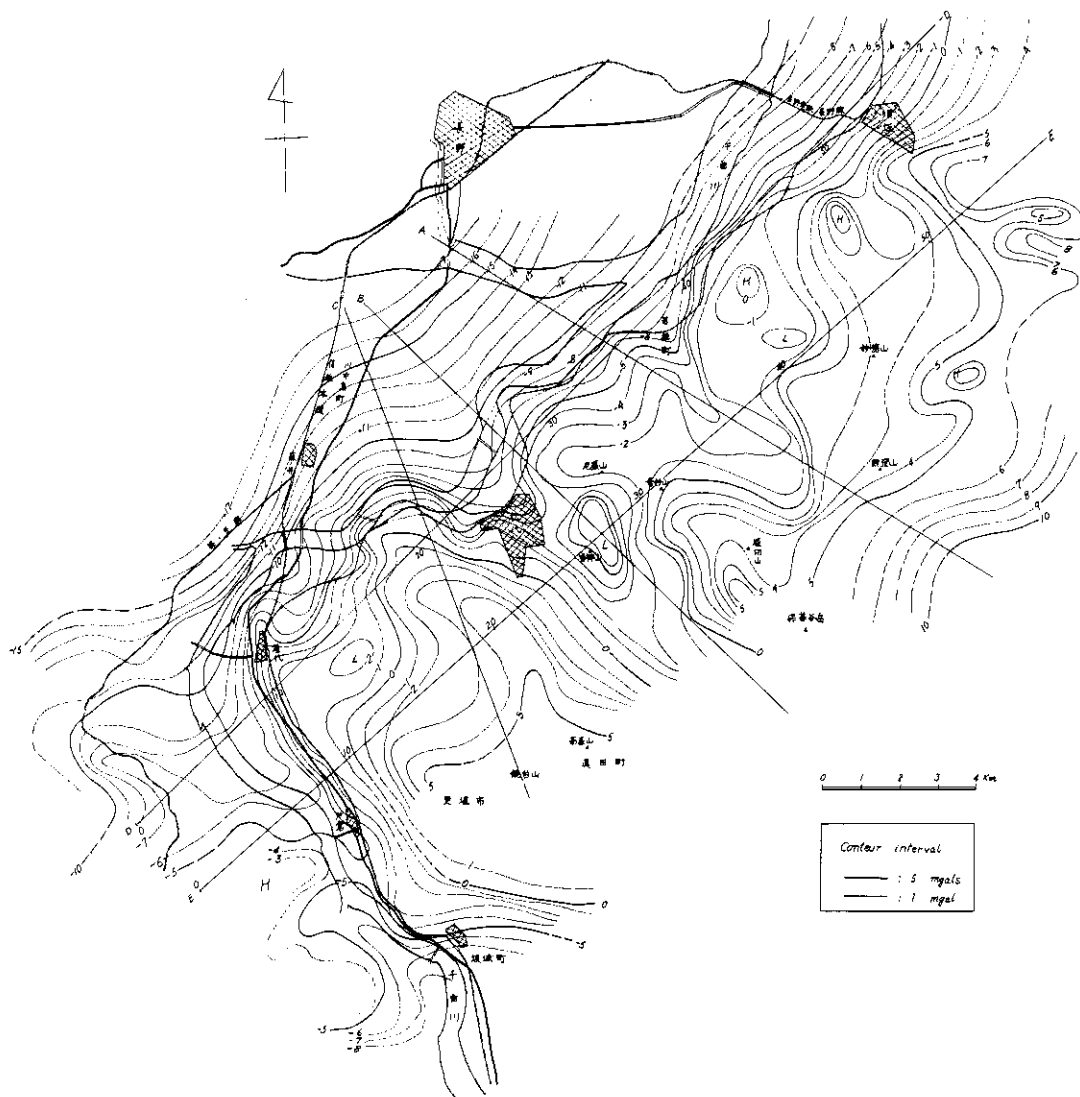


図-5 松代群発地震地域ブーゲ異常図 ($\sigma = 2.30 \text{ G.S.}$)

Bouguer anomalies in the Matsushiro earthquake area (assumed density $\sigma = 2.3 \text{ C.G.S.}$).

けての部分と戸倉町を中心とする地域西南部の区域である。^{注1)}

第2次調査結果を加えたより広域の重力分布の一般的傾向は既に発表されたそれとほとんど同じである。すなわち、図-5に明らかなように、

(1) 重力値は南東に高く、北西に低い一般の傾向が認められる。

(2) 平野部における重力値はほぼ一様に変化し、

その周辺および戸倉地区を除いて著しい局部的異常は存在しない。

(3) 山地部(中央隆起帯)では高低の重力域が交互に配列し、その方向はほぼNW-SE方向である。

(4) 更に後述するように、重力分布は地域の地質ときわめて調和的であり、地形との間にも相関的な関係が存在するように見える。

からによって行なわれているが、その結果^(注2)と図-5, 図-6および図-7とを対比するとき, 第三系および貫入岩類の分布と高重力異常あるいは顕著な正異常がかなりよい対応を示していることが分る。このことにより逆に, 地域に見られる顕著な正異常のいくつかが地下に伏在する貫入岩体に起因することが推察される。すなわち, 須坂市より若穂にかけて千曲川沿いに直線状に配列する正異常や戸倉町西方に拡がる高重力域などがその例であると推察される。なお余剰重力図で著しい

特徴は平野部には顕著な異常が全く存在していないことで, この事実は盆地部で地層が一様に成層し, この内部に背斜, 向斜, 断層などの大きな構造が存在しないであろう事, また, 火成岩類の浅部進入噴出は河東山地とは対照的にほとんど行なわれなかったであろう事を物語っており, 極めて注目すべきことである。

個々の局部異常のうち, 正異常としては, 更埴市大峰を中心とする正域(大峰高重力域)と戸倉町西方に拡がる高重力域(冠着山高重力域)の存

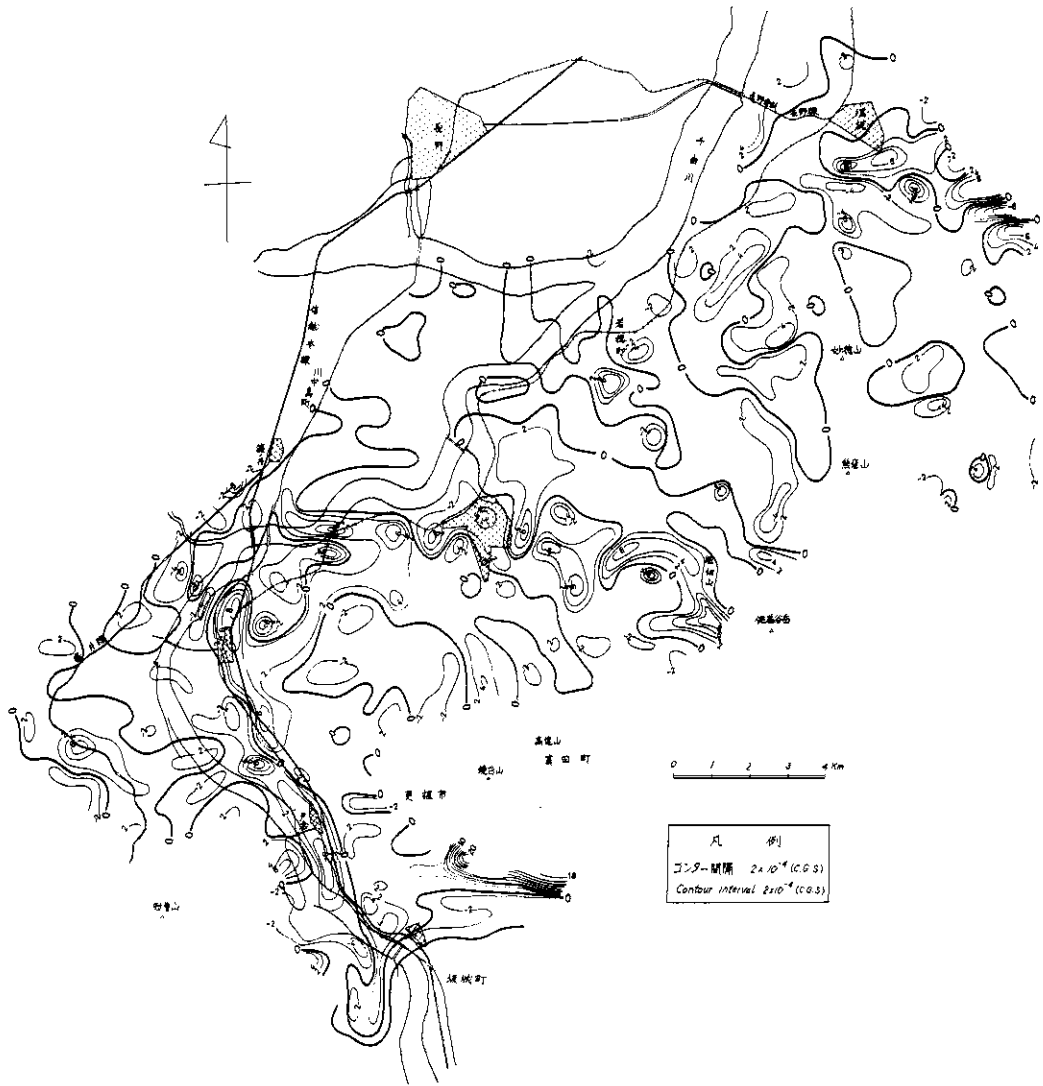


図-7 松代群発地震地域ノイズ構造図 (S=500m)
Distribution of the noise residual anomalies based on Fig.5 (S=500m).

在が注視される。前者は更に妻女山-高遠山を結ぶはゞNW-SE 方向の線を軸とする正域とこれに平行する屋代-坂城を軸とする正域の2つに分離でき、その中間に雨の宮、倉科の2つの負域が介在している。この大峰高重力域は後出の重力断面(D. E 断面)に明らかなように、その北部および南部と比べると、段階的な重力値の高まりを示しており、深成岩体の貫入を伴う基盤の隆起部であると推察される。沢村、他によると、⁹⁾ここに典型的な箱型隆起構造がみられるとの事である。この大きな半ドーム状構造の北東および南西の両境界部にはこの構造を周囲から分つ大きな構造差の存在が推察される。なおこの隆起部内の2つの負域は基盤岩類の形状を反映しているものであろう。冠着山高重力域は南北に連なり、その一分枝を戸倉町へ延ばしているようであるが、その全貌は残念ながら不明である。しかし、その異常形態の一端は一見ここに優勢な貫入岩体の存在を推察せしめるものであり、中央隆起帯における深成岩分布の一部を反映しているものと思われる。

負異常としては、皆神山低重力異常を含む負域(松代低重力域)と戸倉町を中心として千曲川沿いに南北に連なる負域(戸倉低重力域)の存在が

注目される。皆神山低重力異常は既に述べたように、²⁾ここに陥没状構造の伏在が想定されるものであり、筆者は新第三系を含む基盤の単なる凹形部とは考えていない。先に行なわれた電気探査¹⁰⁾で得られた。この部位に存在する高比抵抗基盤の比抵抗異常はこの意味ですこぶる興味深いものである。松代低重力域は、すでに述べたように、その南部で大峰高重力域に接しており、両者の間にNW-SE方向の断層状構造の存在がほぼ西条の谷沿い附近に推定し得る。

戸倉低重力域は、千曲川沿いに、北は更埴市稲荷山南方より南は坂城町に至る狭長な範囲に存在している。もっともその南限は不明である。この異常域は大峰高重力域と冠着山高重力域の間に介在しており、一見地溝状の異常形態を示している。この異常域の北東部は、すでに述べた様に、大峰高重力域とは断層状構造によって分たれており、ここに大きな構造差の存在の可能性が強い。しかし、この西南境界は不分明であり、冠着山高重力域の全貌を明らかにすることが望まれる。

4.3 地域の構造について

図-8-a に長野盆地、河東山地を横断する3本の線上の重力断面が示されている。図に明らか

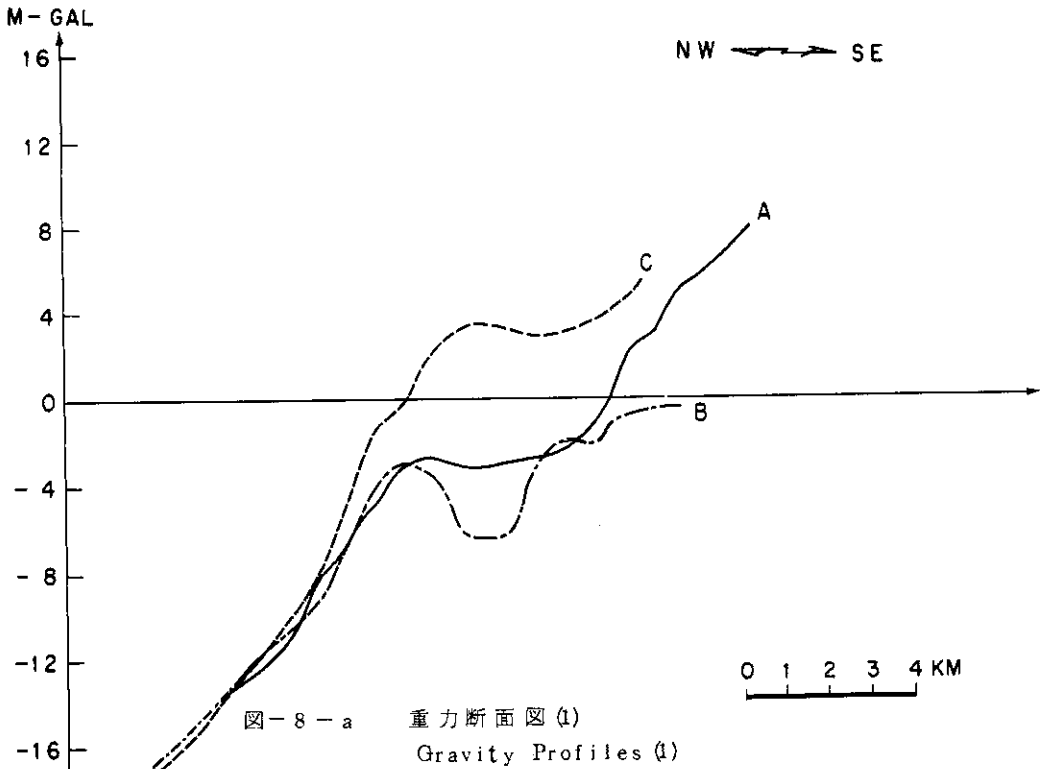


図-8-a 重力断面図(1)
Gravity Profiles (1)

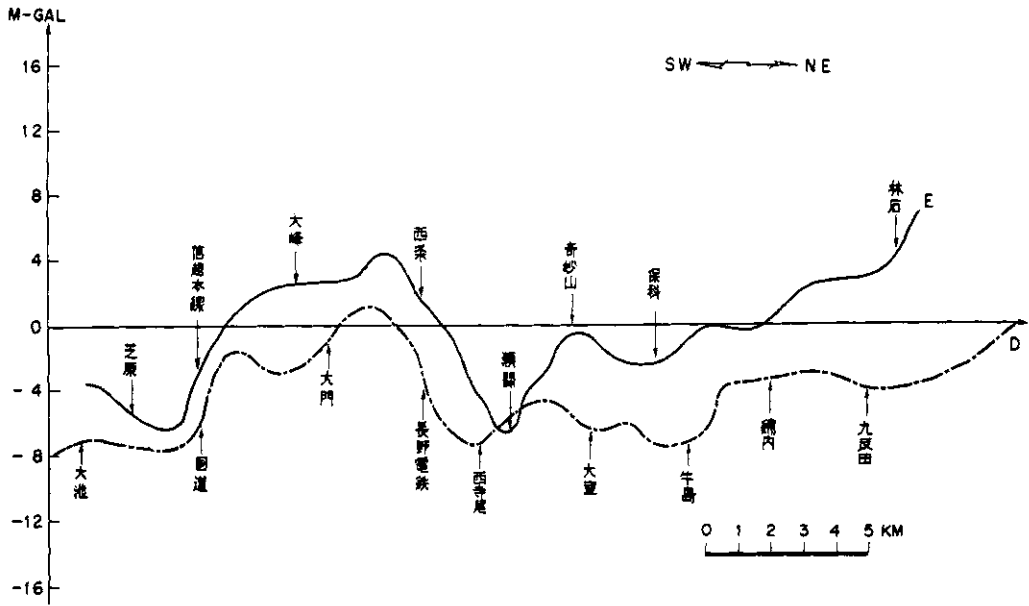


図-8-b 重力断面図 (2)
Gravity Profiles(2)

なように長野盆地における重力分布はほゞ一様な変化を示し、すでに述べたように、顕著な局部異常は存在しておらない。この事実は火成活動、造構造運動が盛んに行なわれた河東山地と対照的であり、重力分布の様相が一変する千曲川沿いに地質学的にも重要な意味をもつ構造線（千曲川構造線と仮称）の存在が推定される。^{注3)} 沢村他は川中島低地下に基盤構造のぶつかりあう不連続面の存在を想定している。これら両者が同じものを意味しているのかどうかは盆地西方山地における地下構造に関する諸情報の不十分な現在には論ずることはできないが恐らくは全く別のものと思われる。なお長野盆地と西方山地との境界線では第四紀初頭の豊野層は急傾斜して沖積層下に没している⁸⁾こと、西方山地では東北真日本の油田褶曲の一般的特長をそなえた北東—南西方向の軸をもつ褶曲構造が平行に発達していることが分っている。またこの長野油田と呼ばれる地域の一部の重力分布は明らかである^{注4)} 図-9はそれを示している。^{注5)} これをみると、盆地西方に向斜構造状の強い異常が存在し、これは長野北部の低重力異常に続いているようである。また長野西方には

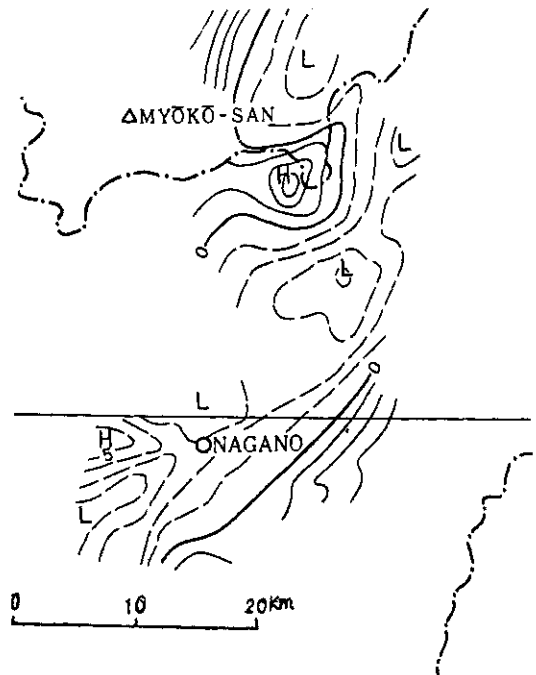


図-9 北信地域ブーゲ異常図¹¹⁾
Bouguer anomaly map of the Hokushin district.

背斜構造状の強い異常の一部が認められる。したがって、図-8-aの各重力断面は共に盆地西方山地で最低値(-30mgal前後)を示し、その北西延長部で重力値の上昇をみるはずである。上述の重力分布からみて沢村、他の予想する不連続面が盆地西縁部に伏在する可能性が考えられ、盆地部に一種の地溝状構造の存在が考えられる。この重力変化がすべて基盤形状の変化に起因するものとし、2層構造として基盤面変化を概算すると、河東山地で地表附近に存在すると仮定した基盤面は盆地下で平均傾度約6°乃至7°で(密度差を0.5と仮定)傾斜し、国道(19号)のやゝ西方で最深(大略1500m)を示してくる。実際の地質状況は盆地東部境界で第三系が、また西部境界で豊野層が共に比較的急傾斜で沖積下に没しており、この事実を考慮して少なくとも3層構造として基盤形状の変化を考えるとときは基盤構造としてかなりの落差を有する階段断層をいくつか想定することも可能である。実際の基盤(古生層基盤)は計算された深度よりかなり深部に存在するものと思われる。第三系および第四系の地層はこの先第三系基盤の上に重畳し、沖積層は東より西に次第にその厚さを増大させているものと思われる。ただし、すでに述べたように、この内部には火山岩の噴出や火成岩の貫入は行なわれなかったものと思われる。

図-8-bには地域内にはゞNE-SW方向にとられた2測線上の重力断面が示されている。これら両者はよく類似しており、それぞれの測線上で段階的な変化の特徴を示している。すなわち、E断面でこれを見ると戸倉西方で-5mgal前後であった重力値は大峰高重力域で+2mgal以上に急激にその値を増大させるが、松代、若穂地区では-2mgal前後に下^(注6)る北部では須坂へ向って徐々に値が増大している。このことは地域が地塊化し、それぞれの内部で基盤の昇降、火成活動が行なわれている事を想像させる。なおこの区分間隔がいずれもほぼ7kmであることが注目される。沢村他によれば⁸⁾中新世における松代周辺の火山活動は3回行なわれており、それぞれ特定の限定された範囲で生じている。また地域に分布する貫入岩類はこれらの火山活動と密接に関連しており、地質構造と一般には調和的である。重力断面の特徴から大きく区分された4区域内でそれぞれ特徴的な火成活動がみられるのはこの地域の

地塊構造と関連して極めて興味深い。

図-10は重力の局部異常の配列を示したものであり、ほぼ正規構造の規模の異常についてあらわした。この図より明らかなことは、その大要は、すでに報じられているように、³⁾正、負の異常は地域の地質に調和してほぼNW-SE方向の配列をとっていること、またこれにはゞ直交する副次的な配列方向も認められることである。しかし、仔細に検討するときには

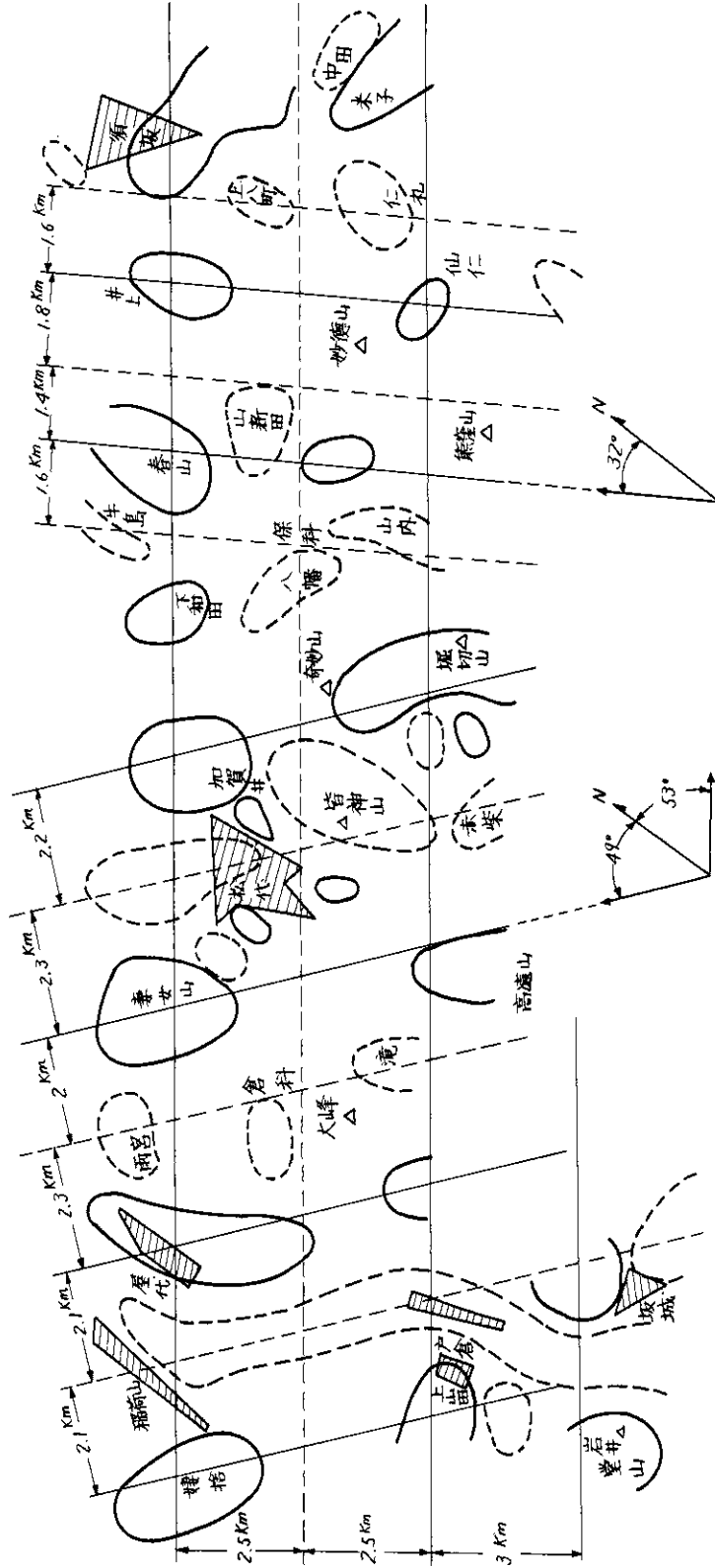
(1) 若穂以南地域ではこれら主、副の配列方向はそれぞれN49°W方向およびN53°E方向^(注7)であり、

(2) 若穂以北地域では主配列方向のみが異なってN32°W方向となる。

これらの数値自体はそれほど厳密な意味を有するものではないが、若穂の北部と南部で配列の様相が少しく異なっていることは明らかである。なお異常の主方向の配列の間隔も

(3) 若穂以南地域ではほぼ2.2km間隔で正、負交互に配列しているのに対し

(4) 若穂以北地域では、ほぼ1.6kmの間隔となり、その間隔が少しく狭くなっている。このように局部異常配列の様相が地域北部と南部とで異なっていることは極めて示唆的である。すでに述べたように、多くの正異常は第三系および貫入岩分布に対応しており、この貫入岩類は地質構造と密接な関連を有している。上述のように、地域にみられる正異常が規則的な配列を示していることは地域の支配的な構造を間接的に反映しているものと見ることができ、したがって、局部異常の配列が地域的に異なっていることは地域の北部と南部で地質構造上の差異が存在すると解することもできる。沢村・大沢によれば、若穂北部地域では堀切山、妙徳山、米子山をそれぞれ中心とする比較的広い範囲で深成岩およびその周辺相の火成岩類が分布しており、また、第三系はわずかに認められるにすぎない。地域の重力分布をみると、その比較的優勢な火成岩類分布の割には重力値は増大しておらず、また堀切山周辺を除いては局部異常も顕著ではない。若穂北部地域ではその地質状況とは逆にむしろ低重力域を形成している。地域に伏在すると考えられる古生層基盤の形状および貫入岩類の分布が重力値に支配的に影響するであろうことは当然考えられる。いまの場合地表での優勢な貫入岩類の分布があまり重力値に反映して



图一 10 局部異常配列图
Alignments of local gravity anomalies.

いないように見えることを考えると、^{註8)}この地域では基盤が相対的に沈降している可能性が強い。もっとも区域周辺部の須坂、東村、菅平方面では重力値の増大をみており、この部分では基盤面上昇が考えられる。上述のように、若穂北部地域では地質と重力分布の対応との点でも南部地域とは多少の相違が認められる。これと異常配列の様相変化とをあわせ考えるとき、若穂、松代両地区の境界附近に地域を大きく2分する構造の存在する可能性も考えられる。

4.4 地域の構造区分について

上述のような重力異常と地質との対比、その考察の結果として、調査地域をその特質によって次のように区分することができる。

まず、千曲川沿いにその存在が想定されるNE-SW方向の千曲川構造線によって地域を沈降帯と隆起帯の2つに大きく分けることができる。すなわち、盆地部は沈降帯に属し、ここでは基盤は沈降し、沖積層は東部より西部へその層厚を増大させる。また河東山地は隆起帯に属し、地質上の中央隆起帯の一部に当る。この隆起帯の内部では基盤の示差的な昇降が推察され、また全般的に南西に基盤の上昇が推察される。この隆起帯は構造的に更に次のように細分することができる。

(1) 戸倉地区：戸倉低重力域と冠着山高重力域をあわせた区域であり、その範囲、重力分布、地質状況ともに不分明であるが、基盤の沈降部であると推察される。

(2) 大峰高重力域：大峰を中心とする高重力域であり、地質学的に箱型隆起構造が認められ、貫入岩体を伴う基盤上昇部と推察される。なお第三系分布が広く認められる。

(3) 松代地区：松代低重力域と堀切山-奇妙山を結ぶ線を軸とする高重力域をあわせた区域で、基盤の沈降部と推察される。

(4) 若穂低重力域：妙徳山を中心とする低重力域、貫入岩類の分布はおう盛であるが、地表で認められる第三系の分布はわずかである。基盤の沈降部と推察されるが松代地区とは構造的に分離される。

(5) 北東周辺部：若穂低重力域周辺の重力上昇部であり、基盤面上昇が推定される。ここでは貫入岩類と共に再び第三系の分布が認められる。とくに須坂北方区域は若穂低重力域と構造差をもって接している可能性が強いが、現在のところ不

分明である。局部異常配列の特性を重視するときは、これらのうち(1)、(2)、(3)をあわせて“南部構造区”とすることができよう。

上述の重力的構造単元がいかなる地質学的意義を有するのか、地域的にみられる地塊構造がどのように重力値に反映しているか、などについては不明の点が多く今後の検討にまたねばならない。

(5) 要約および結言

地域の重力分布は極めて興味ある特徴的な様相を呈している。幸にも地質調査、電気探査などが同時に実施されたのでその成果を参考にして考察することができた。その結果得られた所見は次の通りである。

(1) 重力値は南東に高く、北西に低い一般的傾向を有している。

(2) 重力値の変化は盆地部ではほぼ一様で比較的大きな重力傾度を有しているが、河東山地部では大きく乱れてくる。

(3) 山地部では高重力域と低重力域とが交互に配列しており、その配列はほぼNW-SE方向を有している。

(4) 平野部では顕著な局部異常はほとんど認められないが、山地部では顕著な大小の局部異常が存在する。

(5) この局部異常の配列にも規則性が認められ、ほぼNW-SE方向の主配列が指摘できる。

(6) しかし、この局部異常配列の様相は若穂北部と南部では多少相違しているようである。

(7) 重力分布は地域の地質状況と概して調和的である。

(8) また局部異常は地域の第三系および貫入岩類の分布とよく対応しているようである。

(9) なお、局部異常の配列は地域の構造の特性を間接的に反映しているものと見られる。

(10) 以上の事実および推論の結果は地域の基盤構造および貫入岩類の分布がよく重力値に反映しているものと考え事ができる。

最後に推論の結果とし、千曲川構造線を想定した上に調査地域の重力的構造区分を行なったが、その詳細な検討はなお今後に残された問題である。^{註9)}

地域の重力異常と松代地震との関係はすでに簡単に指摘されているように^{1), 2), 3)}かなり密接である。基盤の隆起部であり、深成岩帯の一部である河東山地北西地域にのみ地震の発生が限定さ

れていること、地域の構造方向とP波初動分布の節線とがほぼ一致することは松代地震の性格を考える上で極めて示唆的であり、この意味で重力調査は一つの奇存をなし得たものと思われる。地震計測学的研究をはじめ、多種多様の調査研究がなされている現在、これらの成果を総合的な見地から比較検討することは極めて有意義であると思われる。その結果は松代地震の性格の解明に寄与するだけでなく、終局的には地震予知のための重要な資料の一つとなり得るものと思われる。

最後に本調査の実施に当り、種々御骨折りを頂いた住鉦コンサルタントK Kの方々、また地域の地質につき御教示を頂いた地質調査所沢村孝之助技官・垣見俊弘技官・大沢 技官の諸氏に謝意を表する。

注1. 再測は第2次調査結果を第1次結果に接続するため、および疑問を生じた異常を再確認するために、重力測定、水準測量共に行なわれた。その結果、一部の異常（たとえば若穂地区）に既報のもの、多少変化が生じている。

注2. 沢村・大沢の結果については、両氏よりその一部の御教示を得た。なお、同結果は本報告に掲載されているので、それを参照されたい。

注3. この意味で、電気探査によって、川中島附近に基盤形状および比抵抗値の不連続を指摘し得たことが注目される¹⁰⁾

注4. 石油資源(株)調査資料

注5. 上記を用いて松田が編纂した重力異常図の一部を引用した¹¹⁾

注6. 松代低重力異常部はその質量欠損を補償して考える³⁾

注7. この副次的な配列方向と先に推定された千曲川構造線の走向が近似しているのが注目される。

注8. 千曲川構造線沿いに並ぶ正異常は火成岩の進入を反映しているものと推察される。

注9. たとえば、地質調査、電気探査および現在実施されつつある地震探査の結果との詳細な対比、さらには松代地震の諸特性との対比など。

参 考 文 献

- 1) 瀬谷清(1966): 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。地質ニュース, No.144
- 2) 瀬谷清(1967): 松代群発地震を探る。物理探査の結果について。地質ニュース No.149
- 3) 瀬谷清(1967): 松代群発地震地域における重力調査概報。防災科学技術総合研究速報第5号。
- 4) 地震調査報告第三報(1967): 日本気象協会長野支部。
- 5) 長野県地学会(1957, 62): 20万分の1長野県地質図および説明書, 内外地図。
- 6) 飯島南海夫他(1963): 上田小県誌4, 自然篇地質の部。小県上田教育会。
- 7) 太田良平・片田正人(1955): 5万分の1須坂図幅および説明書, 地質調査所。
- 8) 沢村孝之助・垣見俊弘・曾我部正敏・小林勇・長谷絃和(1967): 松代震源域の地質と地質構造, 防災科学技術総合研究速報, 第5号。
- 9) 瀬谷清(1959): 重力探査における新解析法。物理探査, 第12巻, 第2号および第4号。
- 10) 小野吉彦(1967): 松代地域の電気探査(I)。防災科学技術総合研究速報, 第5号。
- 11) 松田武雄(1964): 日本における重力異常図(ブーゲ異常図)。地震調査所報告第209号。