

えびの・吉松地区地震地域の 重力異常について

瀬谷 清

岡山大学理学部地学教室

小川健三

地質調査所物理探査部

On the Bouguer Anomalies in the Ebino-Yoshimatsu Earthquake Area

By

Kiyoshi Seya

Department of Earth Science, Faculty of Science, Okayama University
and

Kenzo Ogawa

Geological Survey of Japan, Tokyo

Abstract

Gravity surveys were carried out in the Ebino and Yoshimatsu district, where a swarm of shallow earthquakes occurred early in February 1968. As the result of the surveys, areas of remarkably low gravity were found in both of the basins Kakuto and Kobayashi. After several considerations, depression topography of the basement was presumed under the area of low gravity, and particularly the existence of a caldera was presumed in the Kakuto Basin where the epicentral region is involved.

1. はじめに

1968年2月上旬以降霧島火山群の北西部に位置する加久藤盆地内で連続的に地震が発生し、えびの町・吉松町等に相当の被害を与えた。当地域においては過去にも1913年および1961年に地震の発生を見ており、とくに後者の震源分布は今回のもので酷似している。^(注1)またこれらの地震と霧島火山群中の新燃岳付近に発生した地震群との密接な関係、さらには同時期に発生した日向灘地震との関連が注目される。

地震発生のある場である加久藤盆地部には、カルデラ、いわゆる加久藤カルデラ(有田, 1957)、の存在が推定されているが、その規模、形状、内部構造などの詳細は未だ明確ではない。当地域の地質は新第三紀中新世～鮮新世の火山岩と思われる古期安山岩類(真幸変朽安山岩・加久藤安山岩類)・四万十層群を基盤岩類とし、その上にシラス類を主とする地層(加久藤層群)および霧島火山新期溶岩類その他が分布している。^(注2)このような地質状況からみても推定されているようなカル

デラが存在するとすれば、かなり強い負の重力異常が観測される可能性が大きく、重力測定によってカルデラの規模・形状などについて有用な知見が得られることが期待される。

震源がこの推定カルデラ内に集中して分布していることにより、このカルデラの存在を明確化することは、えびの・吉松地区地震の性格を究明する上で重要な意義を有するものと思われる。

そこでこの推定カルデラを含む広範囲の地下構造の解明・はあくを目的として重力調査を行なった。

なお、この調査は科学技術庁特別研究促進調整費によって行なったものであり、測定(標高測定を含む)および補正計算などは筆者らの指示により住友コンサルタント(株)が行なった。ここに記しての感謝の意を表したい。

2. 重力探査について

2. 1. 測定

今回のえびの地震の震央分布は図-1に示され

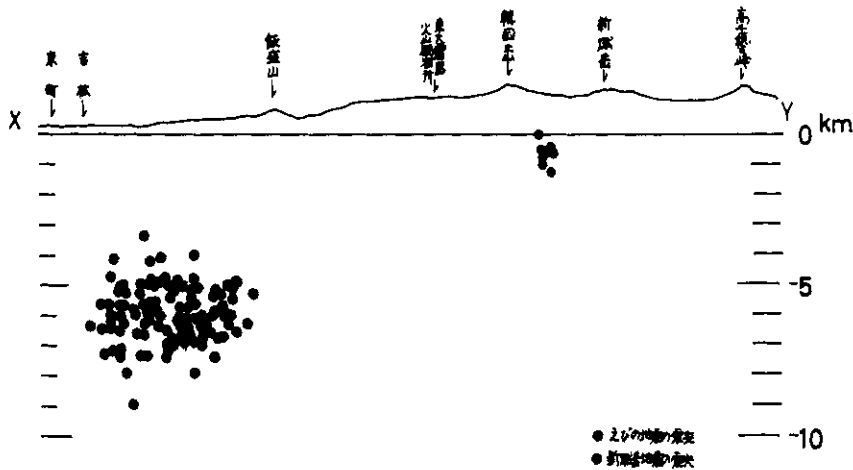
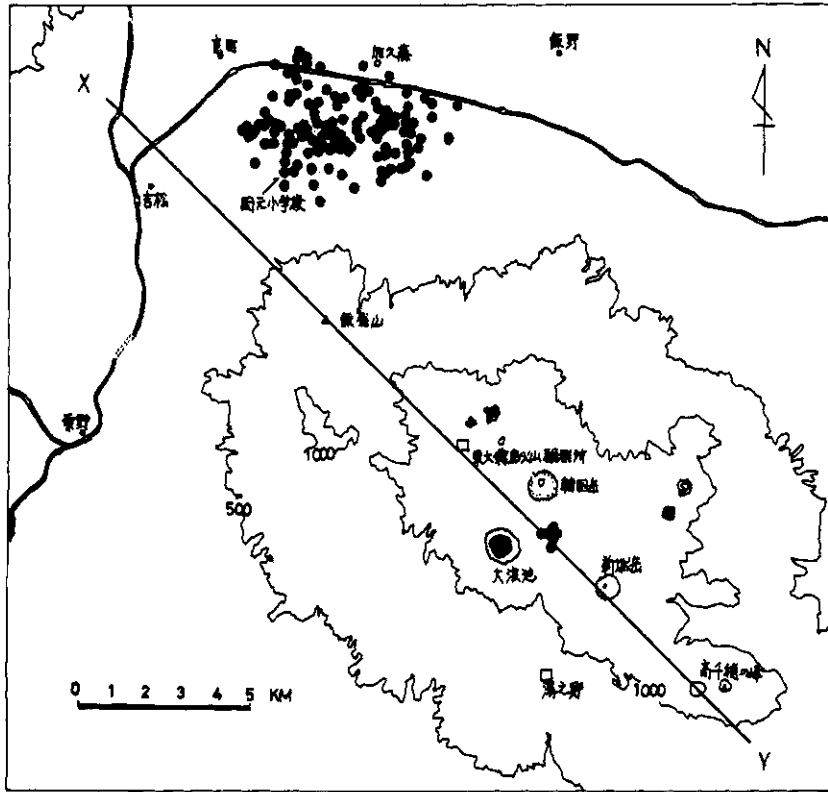


図-1 えびの・吉松地区地震震源分布(水上, 1968による)

Fig. 1. Distribution of hypocenters of the Ebino-Yoshimatsu Earthquakes (after Minakami, 1968).

ているように極めて限定された小範囲に集中している。しかしいわゆる“加久藤カルデラ”を説明

するために、調査地域は加久藤盆地周辺の山地部および小林盆地を含む面積約550km²に及ぶ範囲

であり、測点間隔は測定路線上に500~1000mになるようにとり、とくに盆地内の構造をはあくするため、平地部に多くの測点を高密度(多い所で4点/km²)に配置した。測点数は基準点(後述)20点、基点13点を含む総計587点である。また、上記精査域の東部および南部に概査路線を設け、カルデラおよび地域一帯の構造概要のはあくに資することとした。この概査測点は後述の重力図に見られるように29点である。標高はすべて水準測量により求めたが、概査点はボーリン気圧高度計を使用して求めた。

使用機器は重力測定にはウォルトン重力計(プロスペクタ型)を、水準測量にはチルテング5型(重要路線のみ)および自動レベルを用いた。

測定に際しては、調査地域の中心部が震源域に当たっていることを考慮して、地域内に図-2に示すように基準点を設け(◎印、ローマ数字の測点)地殻変動に起因する重力値の変化を監視することとした。この基準点測定は、調査開始時、終了時および概査の際と合計3回行なった。基点測定は図2に○印、漢数字で示されているように、13点の基点について行ない、2往復以上の測定によってその値を確定した。この基点測定は第2次調査に際しても再び行ない、測定精度の向上を期した。^(注4)

一般測定は上記基点および一部基準点を利用して行なった。測定値はすべて1回の測定により求めた。測定に際してはその閉そく時間は通常2時間以内になるよう配慮した。

これらの測定は前後2回にわたって行なった。すなわち、第1次調査は昭和43年9月、第2次調査は同年12月である。概査は第1次調査の結果を考慮して、第2次調査において実施した。

2.2. 補正

測定値には次の補正を行なった。

- 1) ドリフト補正および潮汐補正
- 2) 高度補正
- 3) 緯度補正
- 4) 地形補正

これらのうち、高度補正は自由大気^(注5)の補正およびブーグ補正を合せたものであり、次式によった。

$$(0.3086 - 0.0419\sigma)H \quad (\text{mgal})$$

ここで、 σ は g/cm^3 で表わしたブーグ補正のための密度であり、 H は m 単位で表わした測点の標高である。 σ の値を如何に仮定するかは、重力

探査においては常に問題となるが、ここでは次の如くしてきめられた。すなわち、図-3 a) および b) は調査域をそれぞれ南北および東西に2分する線上、あるいは、その近傍に分布する測点のブーグ異常を σ を変化させて求めて図示したもので、a) 図は東西方向に配列する測点群について作成され、b) 図は南北方向に配列する測点群を用いて作成された。これらを検討すると、測点の標高変化と重力値との間には $\sigma = 2.0$ ないし 2.4 g/cm^3 の間で最も相関性が希薄になることがわかる。また、図-4 a) および b) は測定値に高度補正を除く他のすべての補正を行なった値(これを g^* で表わす)を縦軸に、測点の標高 H を横軸にとったものである。もし、地下の密度分布が一様であれば、この関係($g^* - H$ 関係と名付ける)は直線となるはずであり、その勾配は

$$-(0.3086 - 0.0419\sigma)$$

を示してくる。a) および b) に示した例では、かくして求めた σ の値はいずれも 2.1 g/cm^3 より大となっている。しかし、図例の標高の高い点は後述の重力分布図において高重力域に属しており、この事を考慮すれば仮定すべき σ の値としては 2.1 g/cm^3 より小さな値をとるべきように考えられる。本報ではこれらProfile法および $g^* - H$ 関係法の結果を考慮して、 σ の値として 2.0 g/cm^3 および 2.4 g/cm^3 を仮定し、重力異常を計算した。そして、一応前者によるものを基準とし、後者を参考に用いた。^(注5)

緯度補正には1930年の国際重力公式を用いた。

地形補正は測点より62 kmまでの地形につき、その影響を算出した。この際算出範囲を次の如く5段階に分割し、高精度を期した。

0 ~ 20 m, ~ 1050 m, ~ 2600 m, ~ 15 km, ~ 62 km

これは、いわゆる、地質調査所方式である。

なお、測定は比較測定であるので、熊本県人吉市に存在する1等水準点BM2847およびBM2848における国土地理院の重力測定結果と結んだ。これら水準点と結んだ測点は人吉-加久藤間の道路上、人吉市柴笠に設けた基準点No. XIIIであり、2往復測定によりその値を求めた。表-1にはこれらの点の位置、標高、重力値などを示す。

3. 結果およびその解釈

図-5および図-6には、それぞれ、 $\sigma = 2.0$

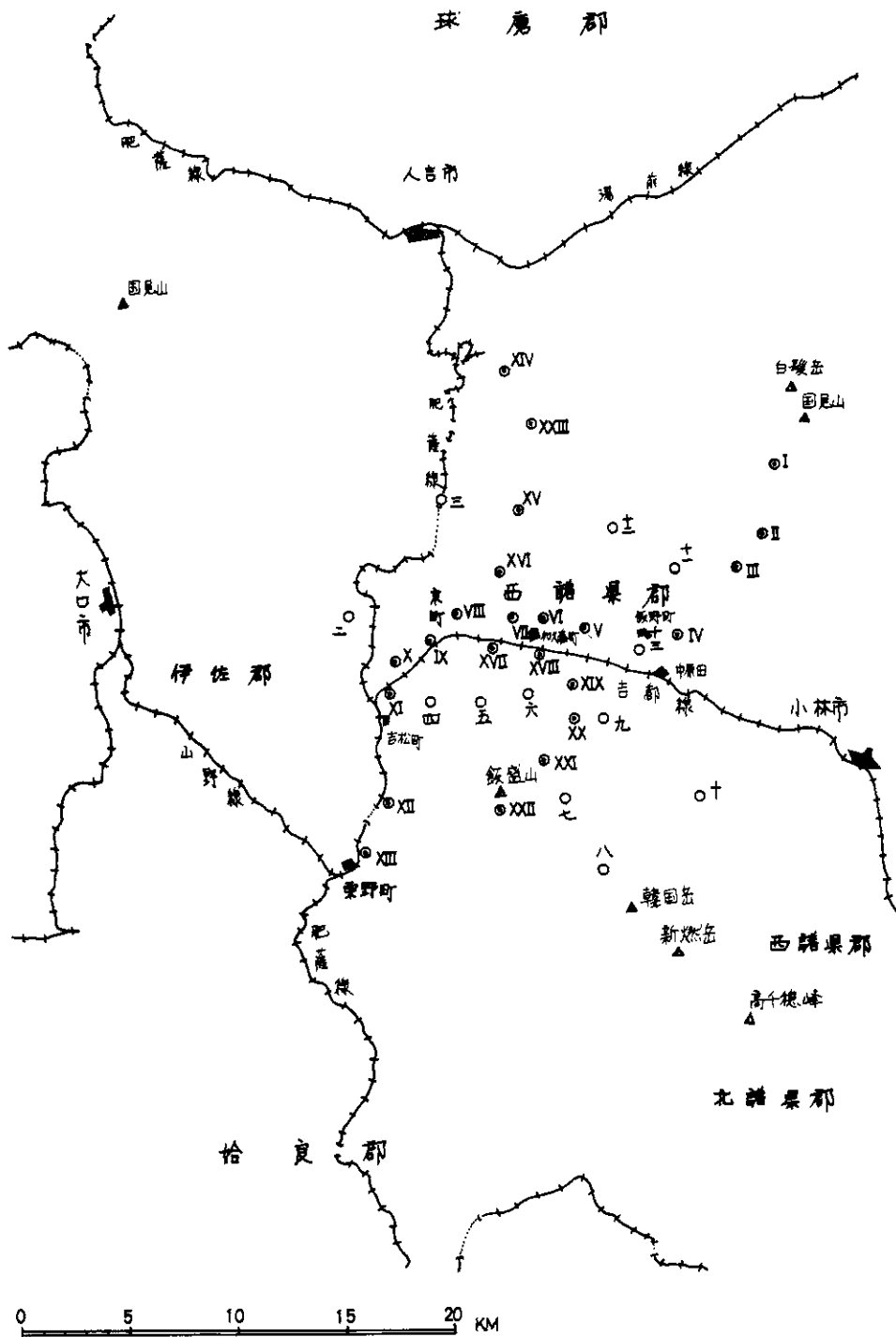


図-2. 基点・基準点分布

Fig. 2. Distribution of reference stations and junction stations.

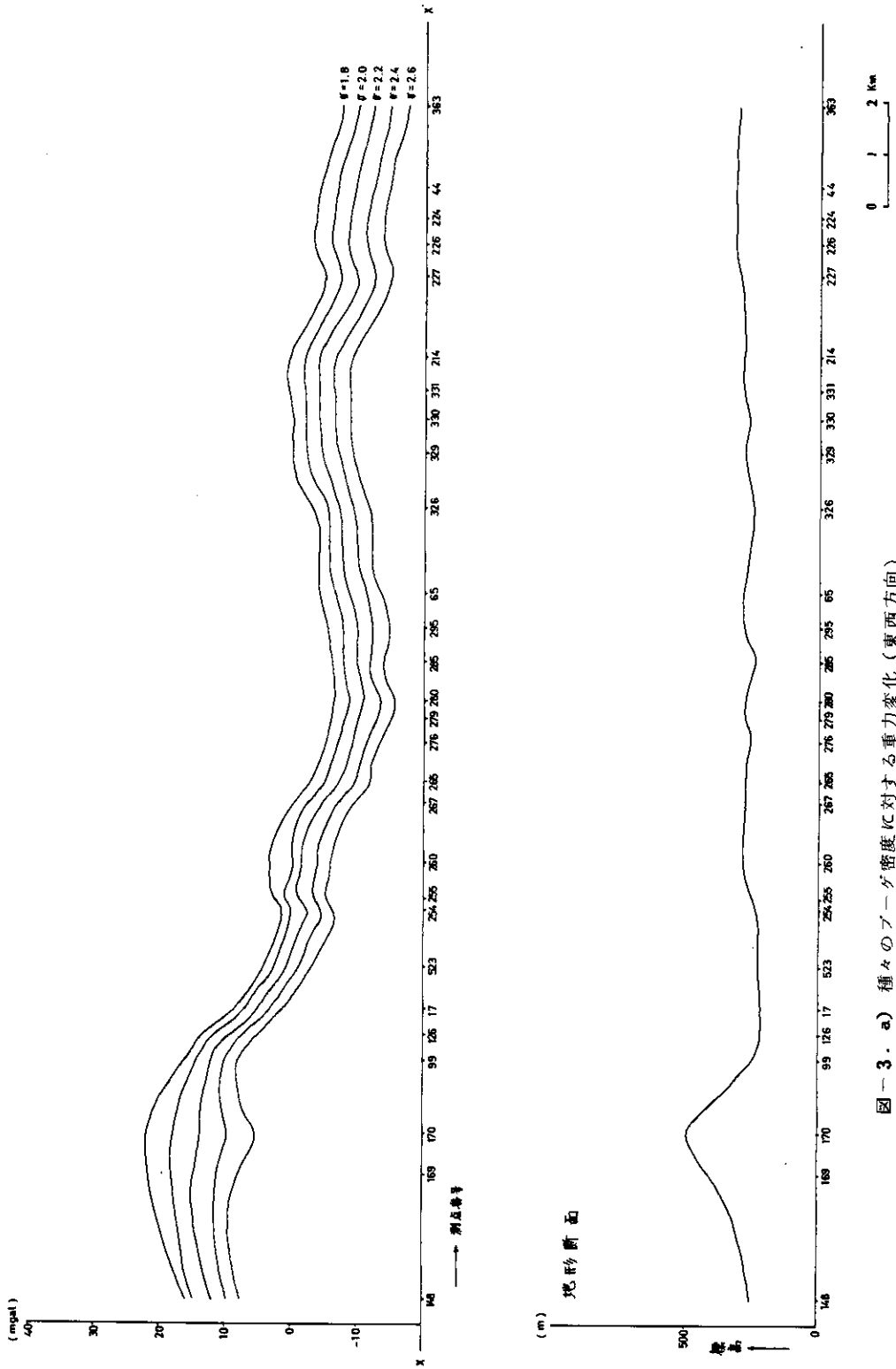


図-3. a) 種々のブーゲ密度に対する重力変化 (東西方向)
 Fig. 3. a) Gravity profiles corresponding to various densities assumed in Bouguer reduction (E-W direction)

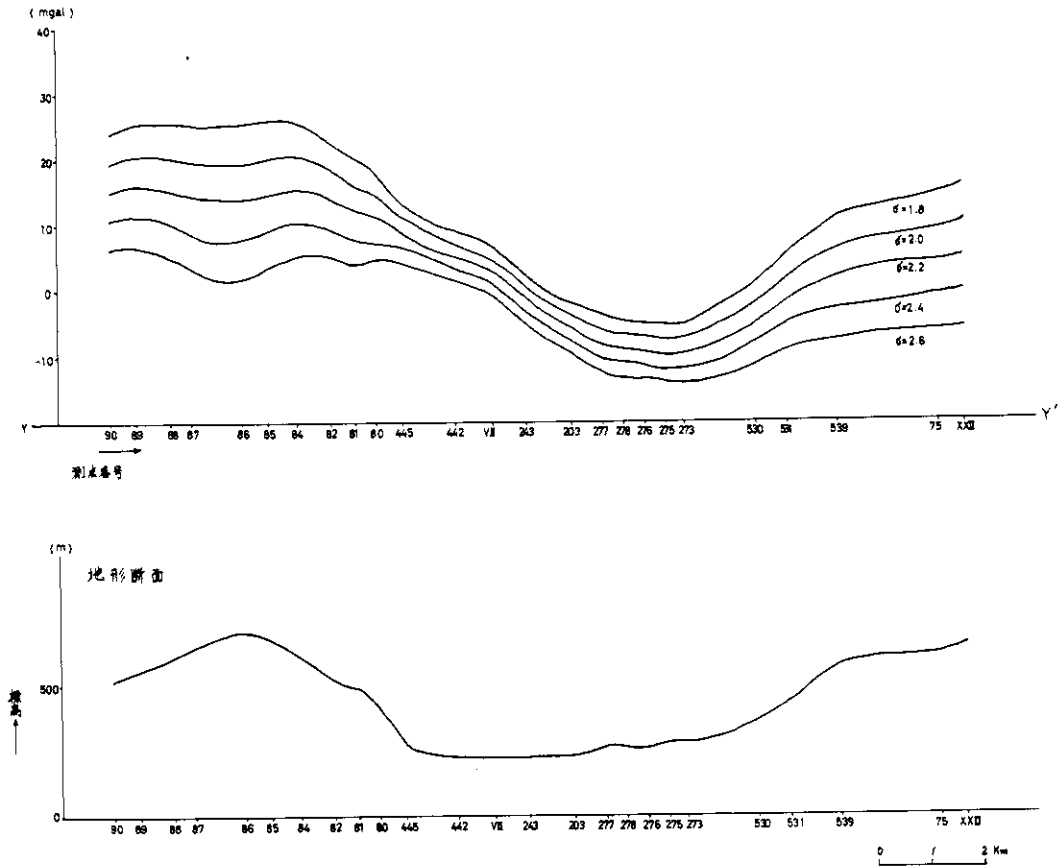


図-3. b) 種々のプーゲ密度に対する重力変化 (南北方向)

Fig. 3. b) Gravity profiles corresponding to various densities assumed in Bouguer reduction (N-S direction)

g/cm^3 および $2.4 g/cm^3$ と仮定して求められたプーゲ異常の分布が示されている^(注6)。また、プーゲ異常を基にして、瀬谷 (1959) の方式による余剰重力 (正規構造) を計算した。両者において局所的な重力異常の有無、異常の形状、その強さなどに多少の相違が見られるが、大局的な傾向においては極めて類似的である。すなわち、加久藤盆地およびそれに連続する小林盆地部に低重力域が存在しており、北部・南部の山地部では著しく重力値を増している。この事実は図-7に示されている重力断面を見れば明らかである。図-7は図-5に記されているほど南北および東西方向にとられた5本の直線上の重力値の変化を示したものであるが、これら重力断面に見られる地域の重力分布の特徴は通常考え得るプーゲ補正の密度 σ の値の如何にかかわらず同様であり、両盆地

部地下に著しい質量欠損が存在することを示唆しており、直観的にはここに東西方向に延びる地こう状構造の存在が想像されるものである。すでに述べたように、地域の基盤岩類として真幸変朽安山岩・加久藤安山岩類および四万十層群の砂岩・けつ岩類が考えられるが、これら地層の岩石試料の密度は表-2に見られるように、ほぼ $2.6 g/cm^3$ 前後である^(注7)。これらの基盤岩類は地域北部・西部の山地部に広く分布しているが、盆地部では新期たい積物により、地域南部では霧島火山の噴出物により覆われており、その分布状況は不明である。盆地部に分布する新期たい積物は第三紀末～更新世のシラス類からなる加久藤層群およびその上位層であり、これらの地層の岩石試料の密度はすべて小さく、表-2に見られるように、ほぼ $1.8 g/cm^3$ 前後である。そこで低重力域と一致する

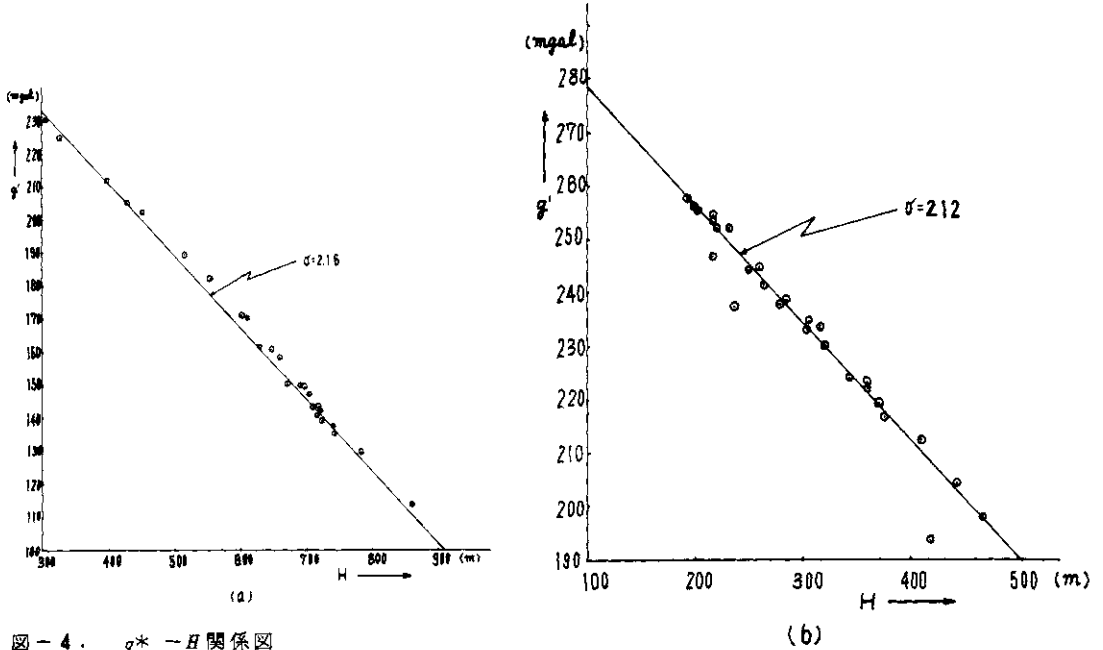


図-4. $g^* - H$ 関係図

Fig. 4. Gravity anomaly after terrain correction g^* versus height H relationship.

表 1

Table 1.

測点	緯度	経度	標高 (m)	重力値 (mgal)
BM2847	32° 11' 09"	130° 46' 02"	128.53	979,478.22
BM2848	32° 12' 06"	130° 45' 07"	104.21	979,482.54
XXIII	32° 07' 50"*	130° 49' 16"*	309.41	979,447.53

(* : 5 万分の 1 地形図を用い算出)

表 2 岩石試料密度

Table 2. Density values of rock samples.

岩石	自然乾燥密度 g/cm ³	湿潤密度 g/cm ³
四方十層群 砂岩 1	2.57	2.59
" 2	2.52	2.61
" 3	2.64	2.65
頁岩 1	2.56	2.58
" 2	2.53	2.60
(単純平均値)	2.56	2.61
真幸変朽安山岩	2.70	2.76
加久藤安山岩	2.54*	2.60
加久藤層群	1.70**	1.77

* 新鮮な試料 15 個の平均値

** 12 個の平均値

盆地地下の構造を推察するために基盤岩類と上部地層の密度差が一樣に 0.8 g/cm^3 であり、2層構造であると仮定し、図-5の B-B' および D-D' について断面計算を行なった。これらの結果は図-8 a) および b) に示されている。もっともこれらは単なる解析結果図ではなく、解釈結果図ともいふべきものである。すなわち、基盤面に急激な傾斜が存在し、それが等重力線上で連続していると考えられる場合には等重力線の特徴、余剰重力の変化などを参照してそこに断層の存在を推定している。したがってたとえ小規模で微弱的な変化でも、それに対応した構造を地下浅所に想定している箇所もある。たとえば B-B' 断面の北部、D-D' 断面の西部に想定されている断層などである。これらの結果を見ると、盆地境界付近で基盤面に階段状の落差を生じており、盆地中

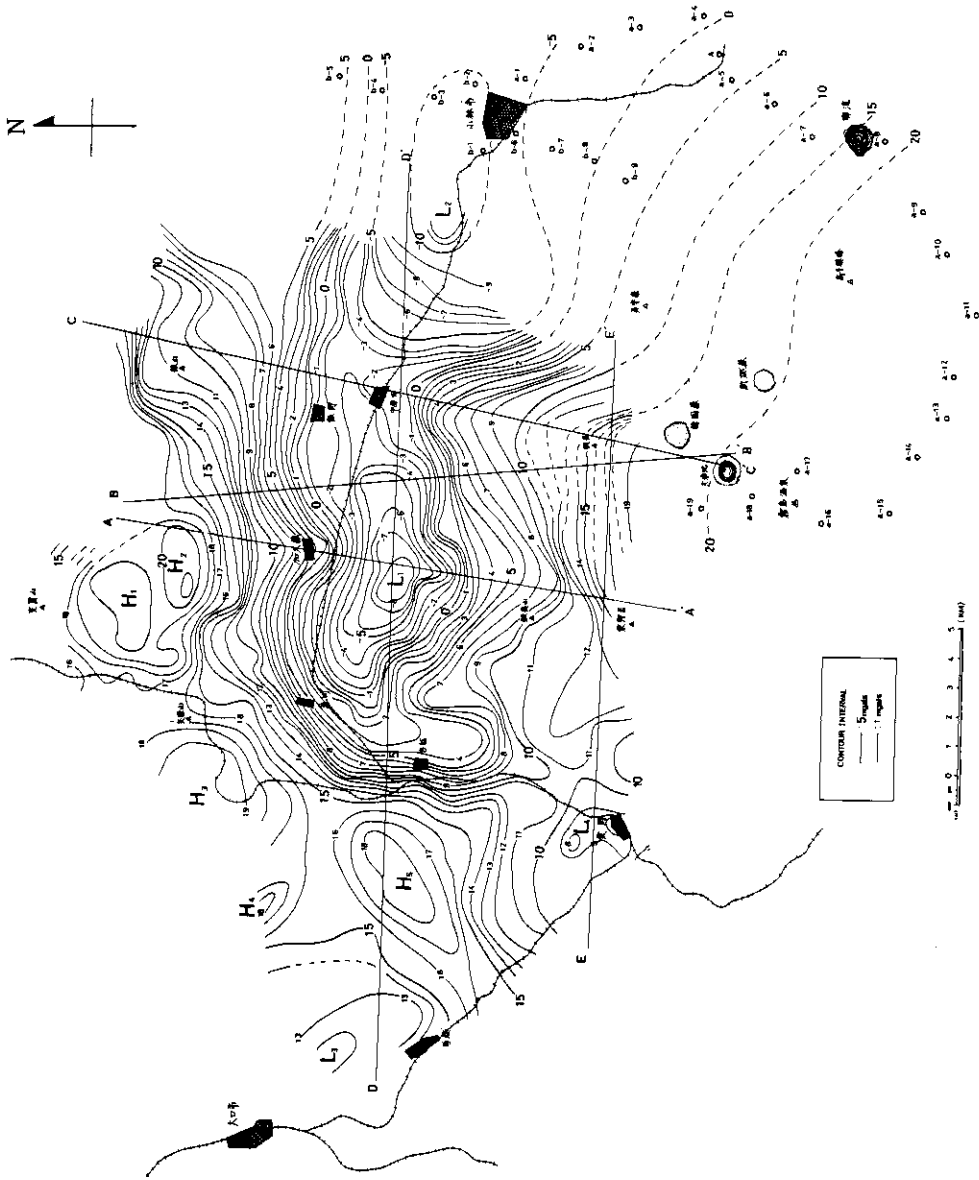


図-5 えびの地域ブーゲ異常分布 ($\sigma = 2.0 \text{ g/cm}^3$)
 Fig. 5. Distribution of the Bouguer anomalies in the Ebino district. ($\sigma = 2.0 \text{ g/cm}^3$)

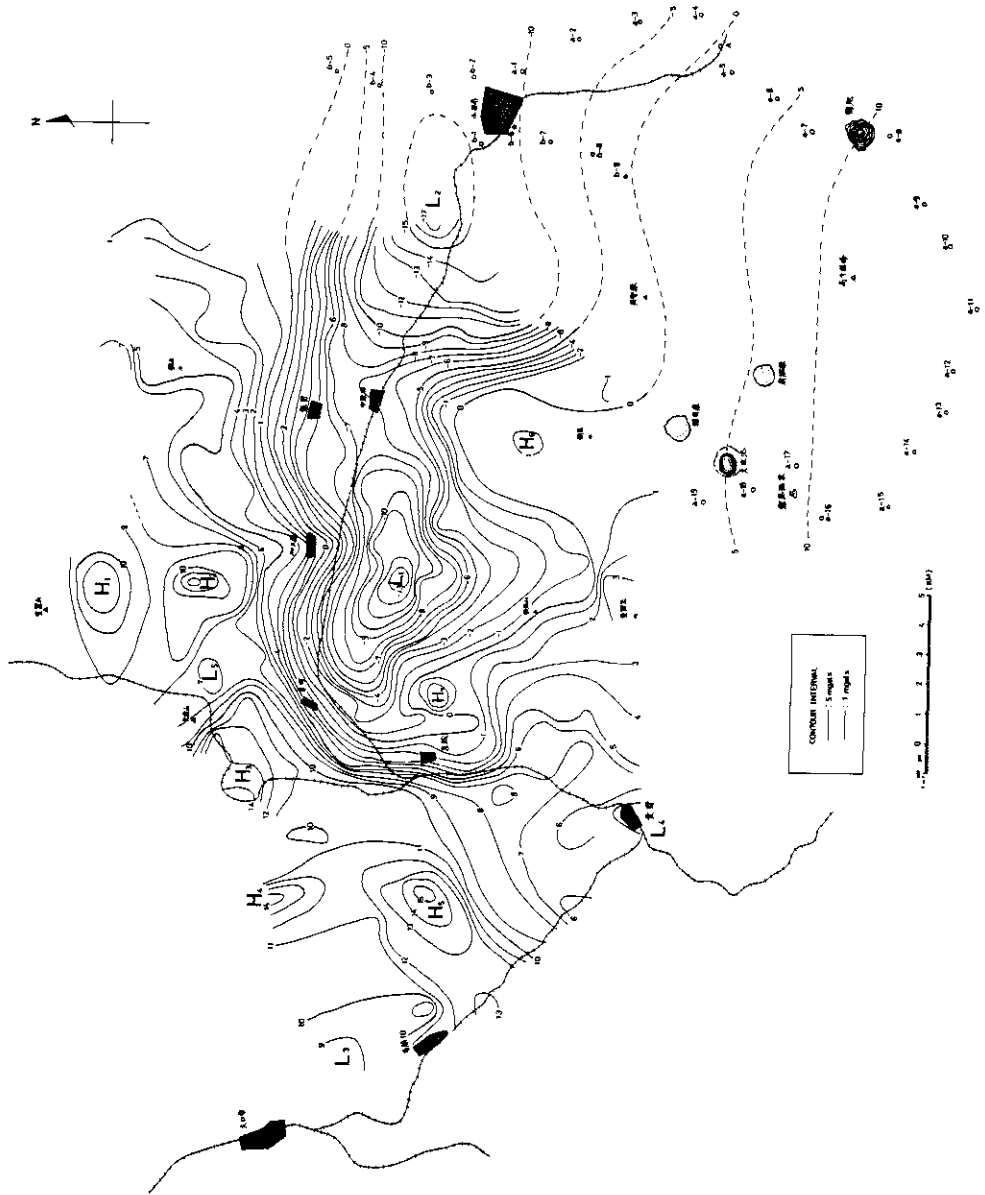


図-6 えびの地域ブーゲ異常分布 ($\sigma = 2.4 \text{ g/cm}^3$)
 Fig. 6. Distribution of the Bouguer anomalies in the Ebino district. ($\sigma = 2.4 \text{ g/cm}^3$)

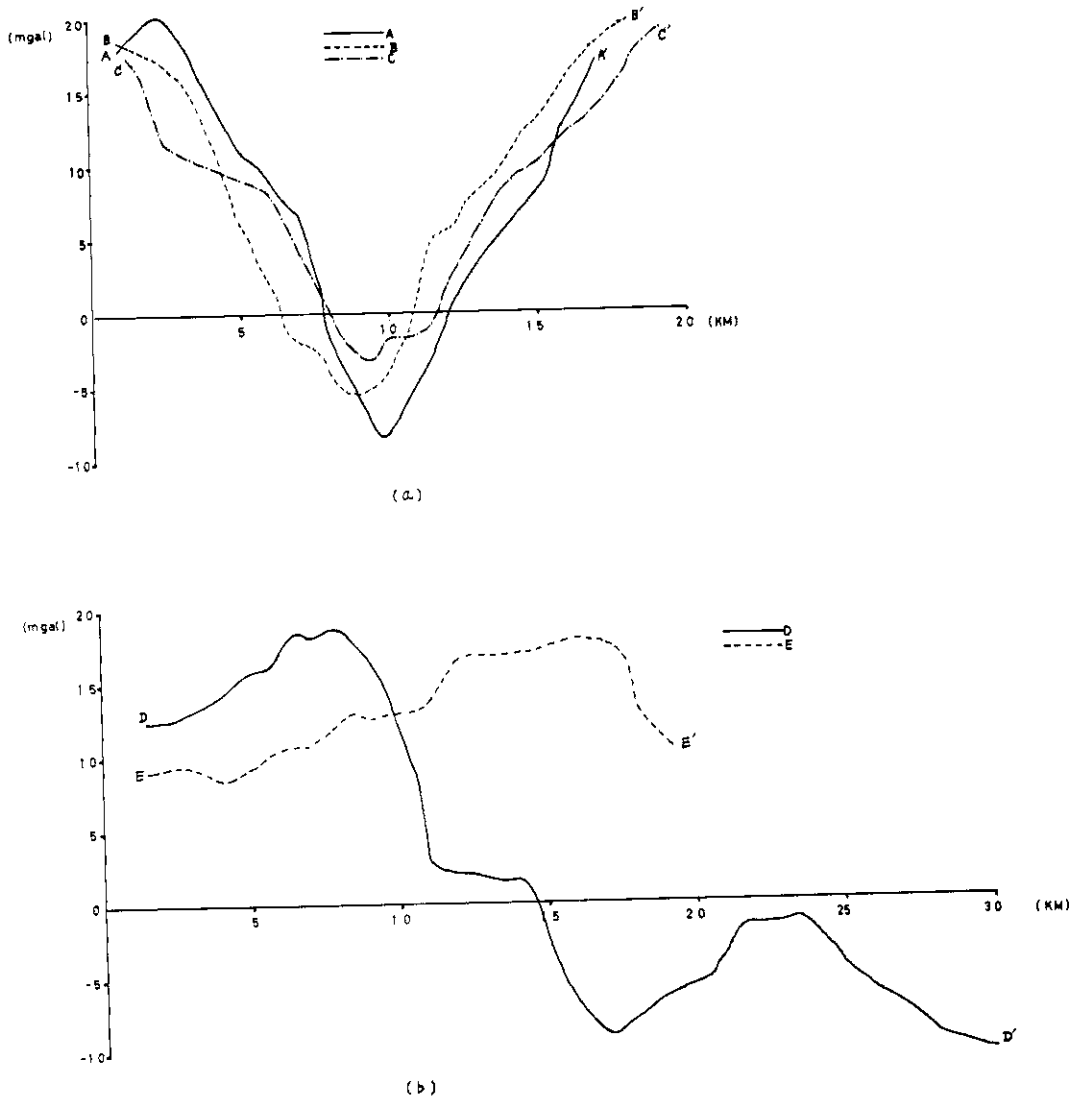


図-7 重力断面

Fig. 7. Gravity profiles along various sections in Fig. 5.

心部に急激にその深度を増し、中心部では地表面下約900mに達していることが分る。解析においては地域の地質の特殊性から密度差を極めて大きく仮定しており、この推定値は過小の値であるとも考えられる。実際の基盤深度はより大きく、最深部では1000m以上に達することも充分考えられる。なお、b)図に見られるように、加久藤・小林の両盆地は構造的に分離できるようであり、

両盆地の中間、飯野町中原田付近・O点との交点前後で基盤面が急激に隆起している。このことはこの基盤隆起部直上に位置し、ほぼ南北に連なる八幡丘陵が加久藤安山岩類より成っている事実と照合するとき極めて興味深いものと言える。^(注8)

すなわち、簡単な仮定に基づく解析結果では基盤面は地表面に達していないが、加久藤安山岩類から成る八幡丘陵が両盆地を分離するように存在

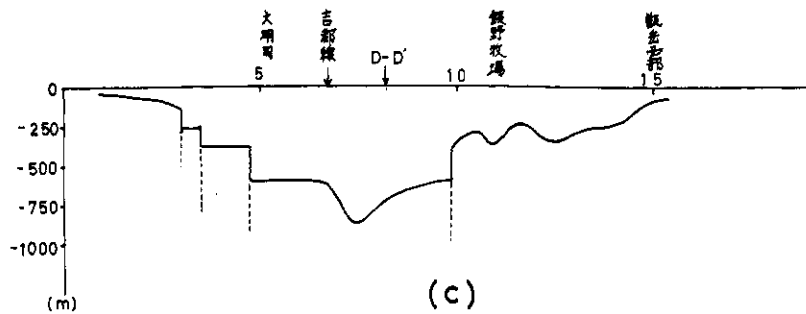
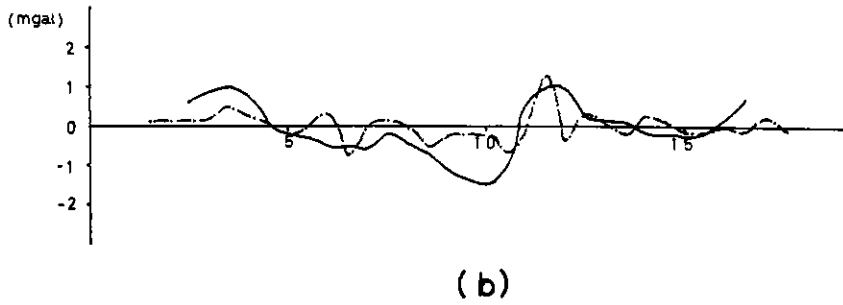
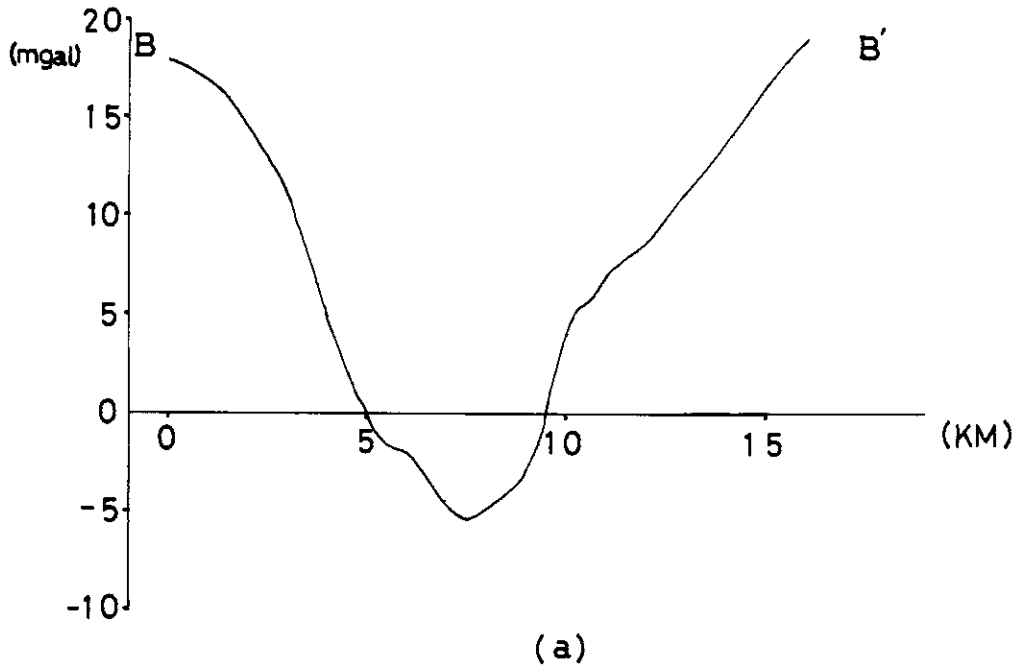


図-8 a) B-B' 断面地下構造解析図

Fig. 8. a) Estimated underground structure along the line B-B' in Fig. 5.

していることは、この部位で両盆地の構造の境界 のである。
を示し地下深部に連続していることを思わせるも 小林盆地部の重力分布はその一部がとらえられ

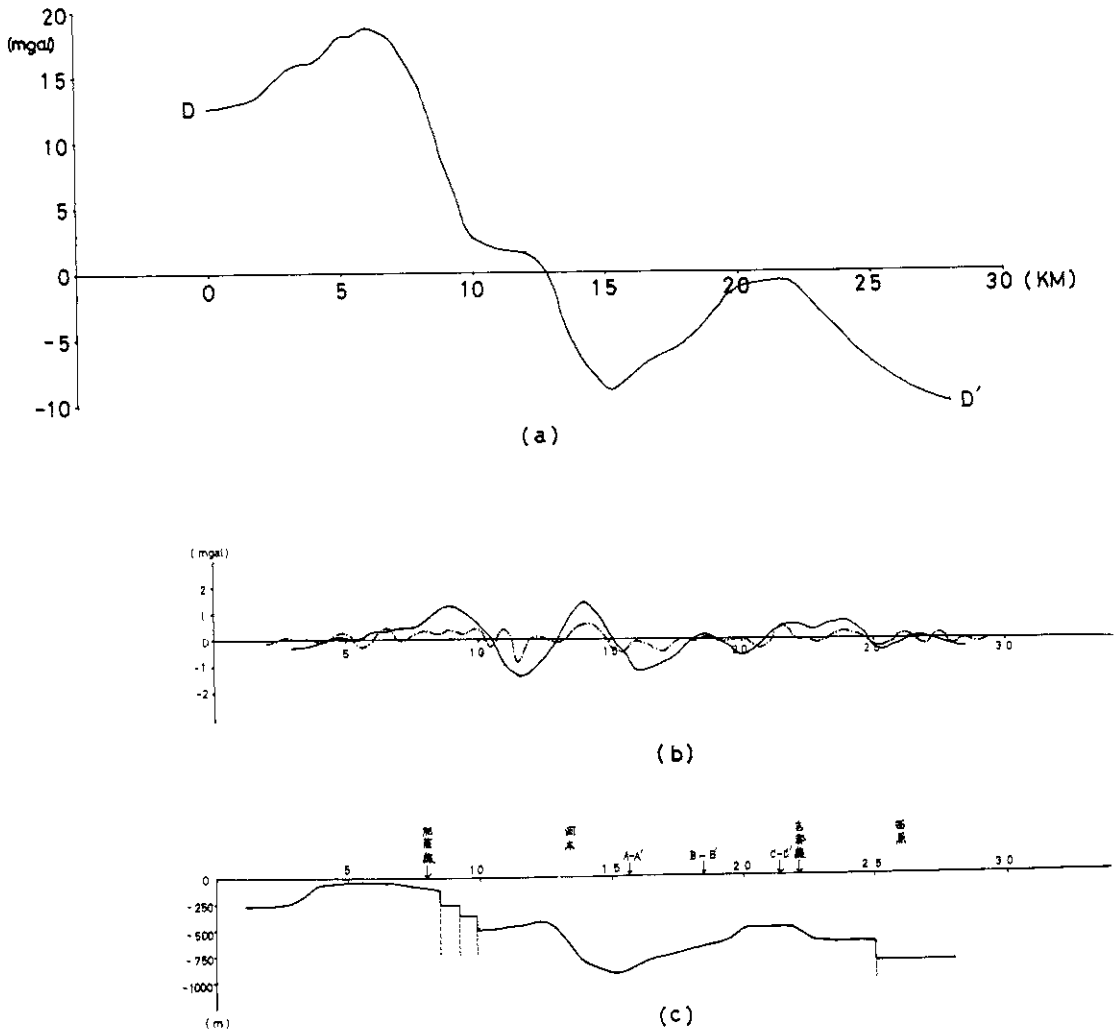


図 - 8 b) D-D' 断面地下構造解析図

Fig. 8. b) Estimated underground structure along the line D-D' in Fig. 5.

ただで全ぼうは不明であるが、概査による補助測点での結果を考慮するときは、恐らく図の破線で示したように、その低重力域は更に東に延びて存在するものと思われる。

地域南部は霧島火山溶岩類に覆われているために解析結果を北部と同等に考えることは出来ない。多くの場合、溶岩試料自体の密度は一般に大なる値を示すが、火山体としての平均密度はかなり小

さいのが通例である。今の場合基盤上部にたい積した火山噴出物の平均密度に関しては全く不明である。しかし盆地部に分布するソラス類や新期たい積物より高密度であることは疑いない。したがって基盤深度としては一応解析結果より深めに想定すべきものと考えられる。しかし概査結果をみると、南部に重力値がかなり高まる傾向が明りょうに看取され、上記の考慮を払っても、測定地域

内で充分基盤深度は浅くなるものと思われる。この意味でB-B'断面において飯野牧場北部で急激に、むしろ不連続的に基盤面が上昇していると推定されることは地域の構造を考える上で極めて示唆的である。もっともこの南部区域の高重力域が単に基盤の上昇のみを反映しているのか、または、その下部に貫入岩体の存在をも想定すべきかは今回の調査結果からだけではなんとも言えない。解析結果・重力分布の特徴・地質状況などを総合するとき、加久藤盆地部には基盤の著しい陥没構造が存在することは確かなようであり、その北部および西部境界はそれぞれ盆地の北部および西部境界付近に推定される。またその東縁は八幡丘陵付近に、また、その南縁はかなり不分明であるが一応飯野牧場—飯盛山付近、少なくとも飯岳—栗野岳を結ぶ線^(注9)、あるいはその内部に想定出来るようである。なおこの加久藤盆地に隣接して東部の小林盆地部にもより深い陥没構造の存在が推定されるが、得られた重力異常はその一部であり、この推定される陥没構造の全ぼうをはあくするに至っていない。

上述の加久藤盆地部に重力異常によって推定される陥没構造が地質学的に推定されている“加久藤カルデラ”（有田（1957）、荒牧（1968））とほぼ一致していることは極めて興味深い。しかし、小林盆地の地下構造については地質学的な知見は未だ殆んど得られておらず、ここにどのような陥没構造の存在を想定し得るかは不明である。観測された重力異常のみの考察からは、両盆地に存在する低重力域は連続しており、すでに述べたように、ここに狭長な地こう状の陥没構造を想定することも可能であり、また両者を併せ、南部山地を含む、より大型のカルデラの存在を予想することも出来る。小林盆地の成因、その地下構造の解明は今後の課題となるものである。

以上是最も簡単な2層構造、2次元仮定に基づく解析結果について述べたものである。実際には多層構造、3次元的であるため、細かい点では解析結果と実際の地下構造とは異なっているであろう。たとえば、B-B'断面における中心部および飯野牧場付近の基盤形状、また、D-D'断面の岡元付近およびC線との交点付近の基盤形状などは実際とはかなり相違していることも考えられる。しかし大局的には前述の所見はあまり変わらないものと思われる。

なお、地域には陥没構造との関連で注目される異常が大口市（L₃）および栗野市（L₄）に存在しているが、いずれも異常の一部が認められただけであり、これらの究明は今後に残された問題である。

図-9には図-5より格子間隔S=500mとして求められた余剰重力（正規構造^(注10)）の分布が示されている。これを見ると、加久藤盆地周辺に正異常が分布しているが、北部、西部に広がる正域は基盤岩類の分布に対応するものとして理解出来る。地域南部に現われる正異常はこれらの形態・強度からみて注目すべきものである。これらが何を反映しているかを適確に推定することは困難であるが、新期岩岩類の分布があまり重力値に反映していないことより、ここに基盤岩類の上昇、あるいは貫入岩体の存在を想定し得る可能性がある。この意味で飯岳北部の正異常に連結して八幡丘陵部に微弱ながら正異常が存在していることは注目される。

負域は盆地内に広がっているが飯盛山東部の負異常と矢嶽山南西の負異常の存在が注目される。

4. 震源域について

えびの・吉松地区地震の震央分布は図-1に示されているように京町・加久藤町の南部の小範囲に集中しており、この範囲はまたほぼ加久藤低重力異常L₁の中心部と一致している。したがって加久藤カルデラの範囲を前述したように考えると、カルデラ中央部に震央が集中していることになる。このことはえびの・吉松地区地震の性格を考える上で極めて示唆的である。また霧島火山群はある幅をもってほぼ北西—南東の方向に分布しているが、この配列の軸をカルデラ中央すなわち、えびの・吉松地区地震の中心部と新燃岳を結ぶ線に想定することも出来ることはすこぶる暗示的であるように思われる。

5. 要約および結言

えびの・吉松地区地震の震央分布は加久藤盆地内の小範囲に集中しており、この加久藤盆地には地質学的にはカルデラの存在が推定されている。今回の重力探査はこの加久藤盆地の地質構造を解明することを目的としてなされ、多くの所見を得ることが出来た。結果の主なものは次の通りである。

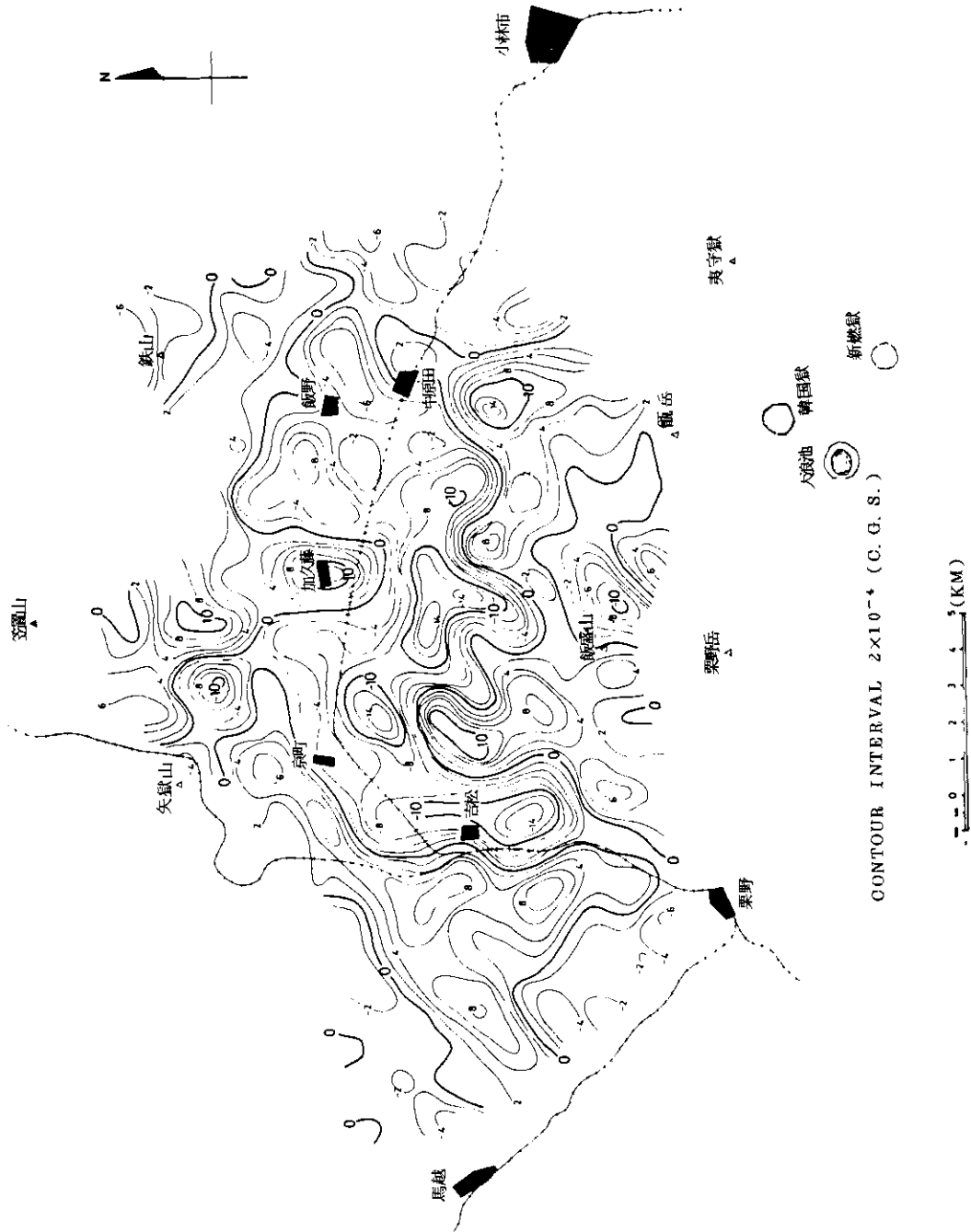


図-9 余剰重力分布 (正規構造, $S = 500\text{m}$)
 Fig. 9. Distribution of residual anomalies (normal structure, $S = 500\text{m}$).

(1) 加久藤盆地には陥没構造の存在が推定され、その範囲は盆地北部・西部境界、八幡丘陵・飯岳・栗野岳を結ぶ線あるいはその内側に考えられ、ここに陥没カルデラの存在を推定することが出来る。

(2) 加久藤盆地内では基盤の最大深度は1000 m内外と推定される。

(3) 加久藤盆地の東の小林盆地にも強い低重力域が連続して存在し、ここでは更に基盤深度を増しているものと推定される。

(4) 両陥没構造の関係は明らかではないが、両者を併せた大型の陥没カルデラの存在を想定することも可能である。

すでに述べたように、本地域に陥没構造の存在することは疑い得ない。しかし地域に隣接する小林地区・霧島地区・大口地区の重力分布の全ぼうが明らかとならない限り地域の地下の構造をもっとくわしく理解することは出来ない。今後の調査が待たれる所以である。

注1) 本文における地震に関する記述はすべて水上(1968)およびMinakami et al (1968)によった。

注2) 本稿における地質に関する記述はすべて荒牧(1968)によった。

注3) この結果については各回の測定値に有意の差が認められないので本報ではふれないこととする。

注4) この場合も前後の測定値に有意の差は認められない。

注5) これは上記理由以外に盆地部の異常を重視したことによる。一部山地部ではむしろ後者を

を基準とすべきかも知れない。

注6) 図中の南部測点群は概査測点を示す。

注7) 真幸変朽安山岩の試料は1個のみであり、その密度の平均的な値は不明である。しかし変朽安山岩の密度は一般に大きな値を示す事が多く、測定例も大きな値であるので、おそらくは 2.7 g/cm^3 前後と思われる。

注8) 加久藤カルデラは加久藤安山岩類の噴出後に形成されたものと考えられている。

注9) 高密度仮定にたてば、陥没構造の範囲は図-6によって看取されるように南にやゝ拡大して考えられるが、その場合でもこの線を越えることはないと思われる。

注10) 瀬谷(1959)の方法により求めた。図-8の余剰重力も同様である。

参考文献

- 有田忠雄(1957):加久藤カルデラの提唱(演旨),地質雑,63,443-444.
- 水上武(1968):えびの地震に関する調査研究概要.宮崎県.
- Minakami, T., Shimozuru, D., Miyazaki, T., Hiraga, S. and Yamaguti, M. (1968): The 1959 Eruption of Shinmoe-dake and the 1961 Iimori-yama Earthquake Swarm. Bull. Earthq. Res. Inst., 46, 965-992.
- 荒牧重雄(1968):加久藤盆地の地質—えびの・吉松地域の地震に関連して—震研彙報,46,1325-1343.
- 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,第4号.