

地磁気・重力異常からみた南九州の地球物理的特徴

渡辺 史郎*

Geophysical Study of South Kyushu Based on Analyses of Geomagnetic and Gravitational Anomalies

Shiro WATANABE

Abstract

In south Kyushu two arcs, namely South-west Japan arc and Ryukyu arc meet together, and a complicated crustal structure has been suggested geologically and geophysically.

Prominent NE-SW trend in Miyazaki prefecture and N-S trend in Kagoshima prefecture have already been reported, and in this paper detailed analyses were made using recent geomagnetic and gravitational data.

Some important features are revealed as follows: Firstly, the subsurface structure in and around Miyazaki prefecture runs in NE-SW direction, which fits the trend known from surface geology. It can be extended to the Hyuga-nada area. Secondly, as far as geophysical interpretation is concerned, it is most likely that the bodies of high magnetic and high gravitational anomalies consist of mafic rocks. Their elongated axes are in parallel with NE-SW trend of South-west Japan arc.

1. はじめに

九州地方においては2つの島弧, すなわち西南日本弧と琉球弧が会合している。南部においては東方四国から四万十層群が延びて宮崎県を中心として広く分布し, 鹿児島付近にいたって第四紀の火山列と交差しながら屈曲し, 種子島, 屋久島へと続いているかのように見える。

このように2つの島弧が会合する場所付近において, 地殻構造がどのような特徴を示すかは興味ある問題である。この点に関しては地表地質の面で幾多の先賢により論じられている。

ここでは九州南部地域の地磁気異常・重力異常の資料をもとに, 地球物理の観点から地殻の表層よりやや深い場所における構造について考察を行ってみた。

南九州東部地方における磁気資料には, 渡辺ほか(1976)による空中磁気探査のデータがあり, その原図を用いて解析・解釈を行うことができた。また重力の資料としては, 佐々木悟ほか(1961)のデータがあり, これについて再解釈を施したものを加えて本稿の基礎とした。

* 物理探査部

2. 本地域におけるこれまでの磁気・重力 調査研究の概要

2.1 磁気調査の概要

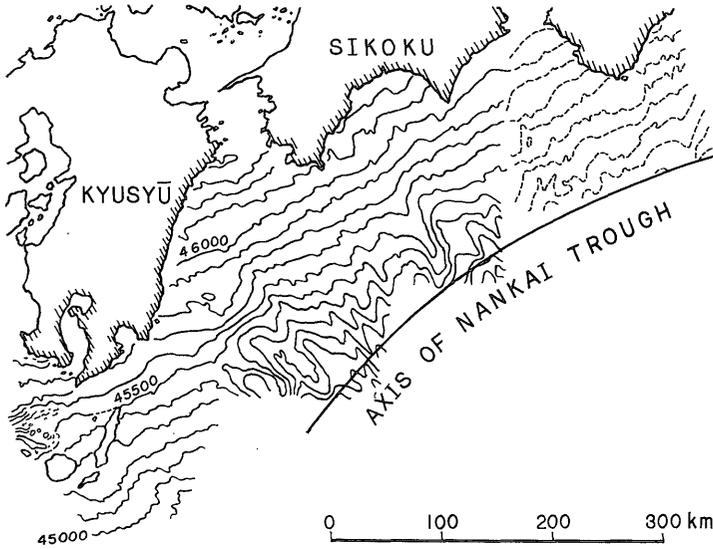
西南日本外帯から南海舟状海盆にかけての区域に関する磁気異常の性質として, これまでに実施された調査から, 次に述べるような事柄が明らかにされている。

井内ほか(1970)の西南日本の航空磁気測量結果のなかで高度10 kmに化成した磁気異常図(第1図)によると, 九州中南部では南北性の磁気異常が明らかであり, 巨視的に阿蘇, 霧島, 桜島を結ぶ火山列にその磁気異常の原因が求められる。また日向難から四国室戸岬沖合にかけての陸棚および陸棚斜面にはゆるやかな正の異常が分布しており, これは西南日本弧の方向と一致している。

大島ほか(1975)は九州, 四国沖海域の船上磁気調査の報告で(第2図), 日向難から四国沖の大陸棚および大陸斜面はきわめて磁氣的にスムーズであるが, 四国海盆北部にNW-SE方向の縞状磁気異常分布の存在を指摘している。茂木(1975)はこの縞状磁気異常が南海舟状海盆を越えて大陸棚縁辺部の内部にまで侵入しており,



第1図 西南日本空中磁気図 (10 km 化成値) (井内ほか, 1970)
Aeromagnetic map of south-western part of Japan (INOUE, et al., 1970).



第2図 西南日本南岸沖の地磁気全磁力図
大島・近藤 (1975) の原図に南海舟状海盆の位置を記入したもの
Shipborne magnetic map off the coast of south-western Japan
(OSHIMA and KONDO, 1975).

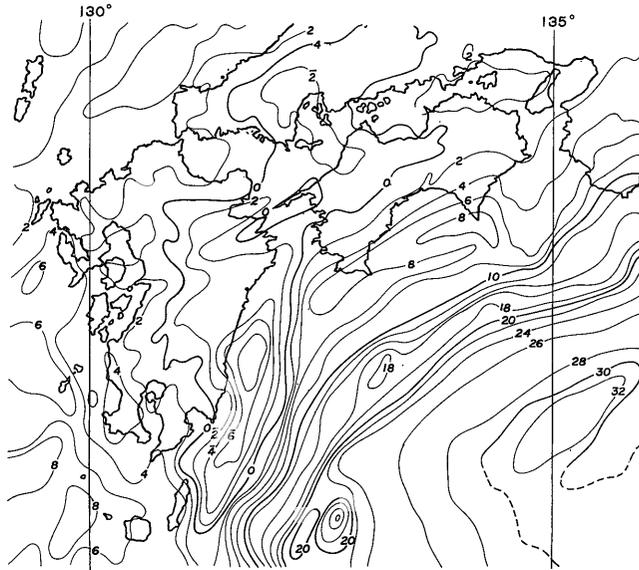
南海舟状海盆の部分でもぐりこんだフィリピン海プレートを表わしているとした。

ここで扱うのは宮崎・鹿児島両県の陸域と、日向灘の大陸棚および大陸斜面であり、上記2つの報告で磁氣的

にスムーズな一帯とされている区域が主である。

2.2 重力調査の概要

四国から九州南部にかけての重力異常は、友田(1973, 第3図)、坪井ほか (1956) の重力図をみると種子島から



第3図 日本および日本付近のブーゲー異常 (友田, 1973)
Bouguer Anomalies in and around Japan (Tomoda, 1973).

佐多海峡・大隅半島を経て都城盆地へと北上している正の異常帯と、これに平行して種子島東方沖合から日向灘一豊後水道を経て伊予灘方面へと北上する大規模な負異常帯が顕著である。これらは琉球弧の構造方向を反映しており、負異常帯の一部は宮崎平野へと侵入している。四国の足摺岬沖より東方の海域では土佐海段付近の重力異常帯は、東北東-西南西の走向をもち西南日本弧の構造方向を反映している。

2.3 本研究の主旨

これまでのべたように、四国南西部から日向灘、宮崎県下にかけての地域について地表地質の面からは、西南日本弧の構造方向をもっていると考えられている。

これに対して、地球物理の情報面では、磁気異常はこの地域はフラットであるが、重力異常は宮崎県沖合の日向灘には大きな負異常帯が琉球弧の方向を反映している。

このように地表地質から推定される卓越構造方向と、地球物理からのそれとの間には相違がある。

この理由としては、これまでにこの地域において磁気・重力の面から調査報告されているものは、地球物理学あるいは磁気測定の観点からなされており、大まかな構造について定性的に議論される精度にとどまっていた。それゆえ磁気・重力異常を生じている個々の岩体について、「地表地質と対応しうる情報」すなわち岩体の走向方向、形状、深度等についての情報を欠いており、細部

の構造に関しては不鮮明なものとしていたためと思われる。

ここでは日向灘から佐多海峡にかけての空中磁気調査結果 (渡辺ほか, 1976) に定量・定性解析を施したものと、宮崎平野における重力探鉱調査 (佐々木ほか, 1961) に再解析を施したものを基礎として、より一層詳しい考察を行った。

3. 南九州宮崎沖海域空中磁気探査の資料について

3.1 空中磁気図にみられる特徴

磁気探査のデータ (渡辺ほか, 1976) からは明らかに次の2つの構造成分が想定される。

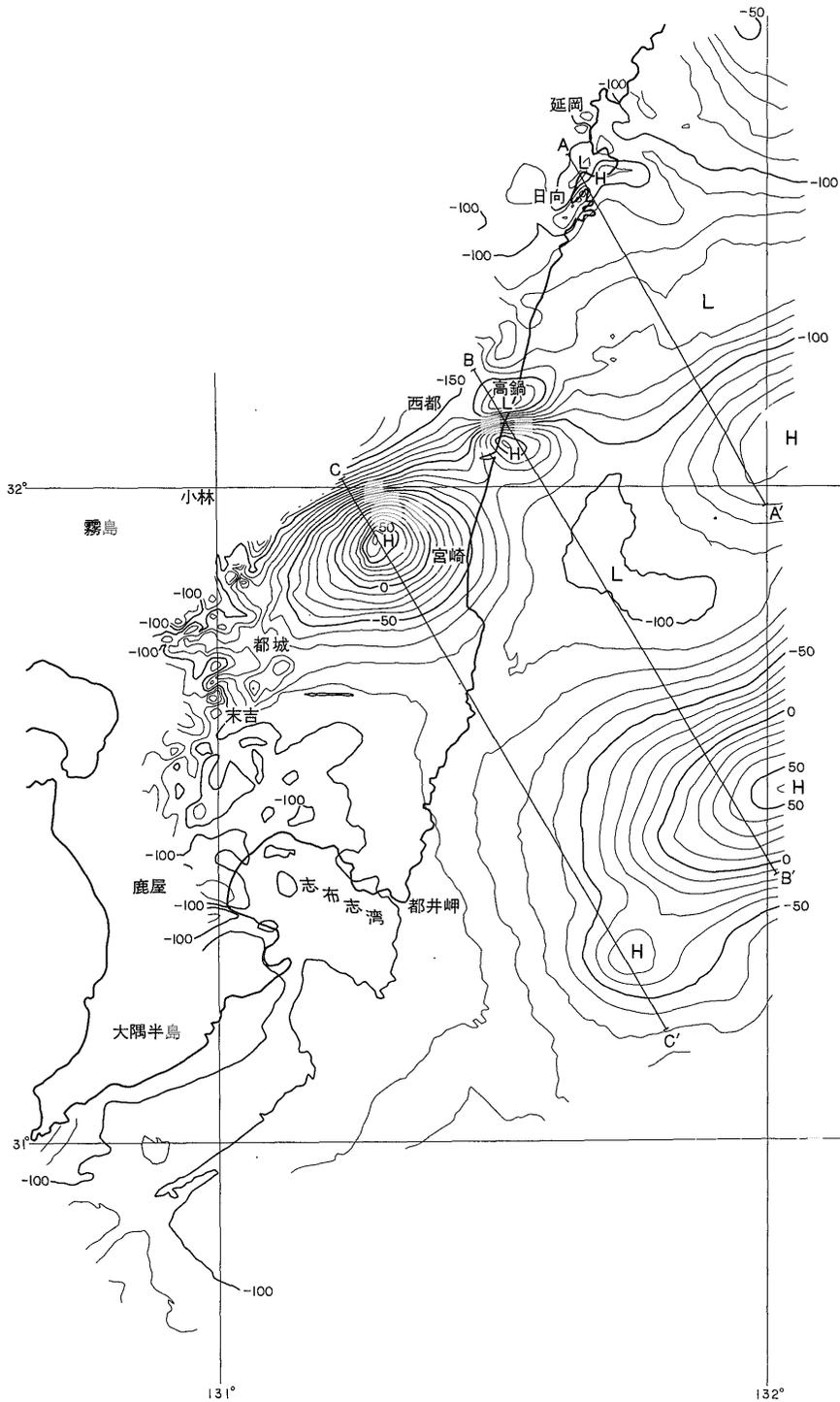
1. 地表付近に原因をもち、地形による影響を含むもの。
 2. 深部の磁気源によるもの。
- マクロにみて磁気異常は北東-南西の方向性が卓越している。

3.2 磁気図のデータ処理

渡辺ほか (1976) の原磁気図を処理するにあたり、次のフィルターを施して図化し、第4図-第6図を作成した。

1. I.G.R.F. 残差 第4図

The International Geomagnetic Reference Field
1965.0 に日本付近の経年変化を加えた。

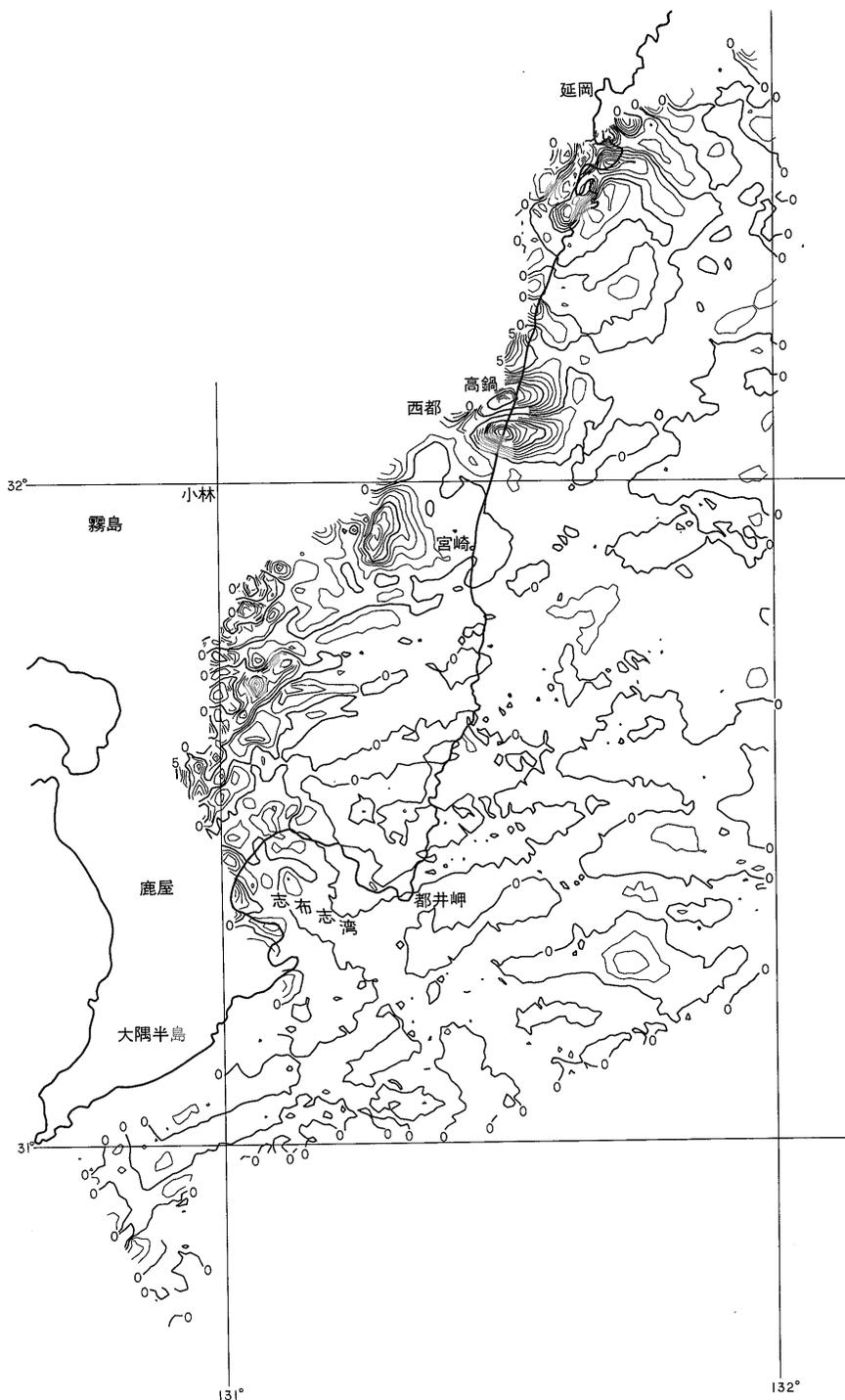


第 4 图 I.G.R.F. (1965.0) 残差図 (全磁力) 等磁力線間隔 10 γ

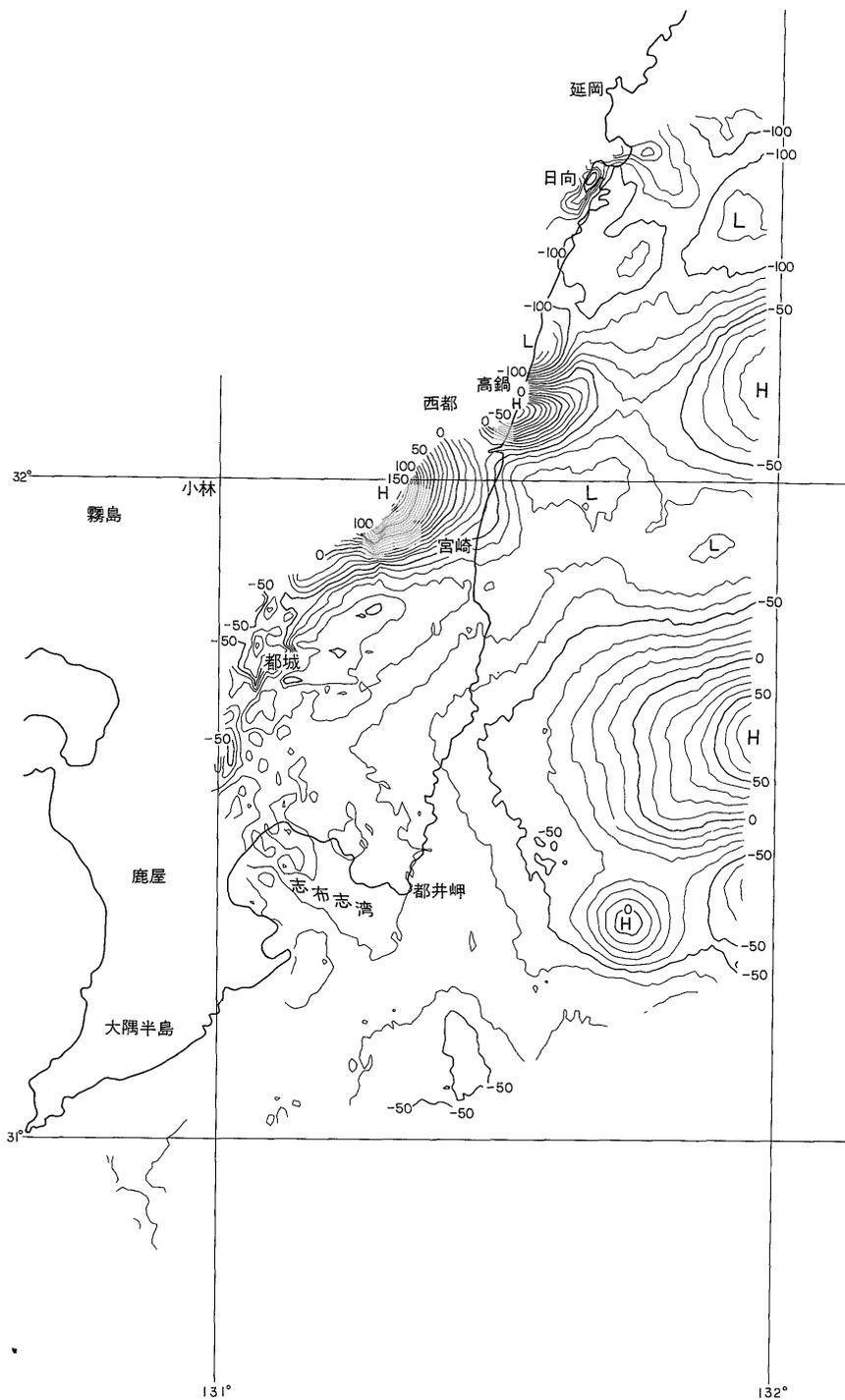
A-A' · B-B' · C-C' : 解析断面

I.G.R.F. (1965.0) Residual map (Total Intensity).

A-A' · B-B' · C-C' : Analyzed Profiles. Contour interval 10 γ .



第5図 鉛直2次微分図 (全磁力) 等磁力線間隔 $1 \gamma/\text{km}^2$, $s = 4 \text{ km}$
Second Vertical Derivative Map (Total Intensity). Contour interval $1 \gamma/\text{km}^2$.



第 6 図 擬似重力図 (全磁力) 等磁力線間隔 10 γ
 物理的には北極への変換であるが、原著者である長谷川 (1967) では擬似重力と称しているのをそのまま採用した
 Reduction to the Pole map (Total Intensity). Contour interval 10 γ .

2. 鉛直二次微分 第5図

Rosenbach (1953) の式

$$\frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} = \frac{1}{24S^2} (96T(0) - 72\bar{T}(S) - 32\bar{T}(\sqrt{2}S) + 8\bar{T}(\sqrt{5}S))$$

S は格子間隔, S = 4 km を使用.

3. Reduction to the Pole 第6図

長谷川 (1967) の式

$$g = \sum_{\nu=0}^7 \sum_{i=0}^6 \alpha_{\nu} \beta_i T_i(\nu)$$

α_{ν}, β_i は地磁気の偏角と伏角により定まる係数

以上, 3種の図をもとに解析を行った.

3.3 定量解析の手法

I.G.R.F. 残差図 (第4図), 鉛直二次微分図 (第5図) より異常岩体の概略の広がりや形状を求め, 岩体の伸びの方向に直交する磁気異常断面について二次断面解析を行った.

解析の前提条件として, 磁気異常を生じている岩体の帯磁の方向は現在の地球磁界の方向と一致していると仮定した.

岩体の形状のモデル化に当たっては計算を簡略化するため, 最も単純な形, すなわち鉛直プリズム, 傾斜岩脈, および断層の3つの型を想定し, 磁気異常の形状, 地表地質などの条件を考え合わせて妥当とおもわれるモデルを採用した.

ここでいう鉛直プリズムとは, 第7図に示すように平面形が矩形であって, 下方に無限長の角柱形となる三次元モデルである.

また, 傾斜岩脈とは, 第8図に示すように有限厚のシート状の岩脈が傾斜した状態で, その走向方向に無限に長いという二次元モデルである.

断層とは, 第9図に示すように, 垂直の断層面によって一方のブロックが残り, 他方が欠落した岩体で, 走向方向には無限長であると仮定した二次元モデルである.

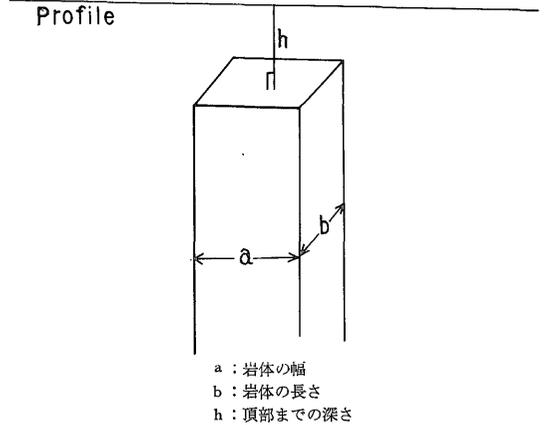
いずれの場合においても深度 (h) とは, これら仮定したモデルの頂部までの地表面からの距離をいう.

深度・形状解析の手法として, 1. VACQUIER ほか (1961) の Straight Slope 法 (鉛直プリズム) 2. MOOR (1965) の特性点法 (傾斜岩脈) を主として用い, さらに 3. 津・小川 (1973) の三次元角柱による磁気異常の自動解析 (鉛直プリズム), 4. 中塚 (1975) の水平一次微分の曲線照合法による磁気異常の自動解析 (傾斜岩脈, 鉛直プリズム) を併用した.

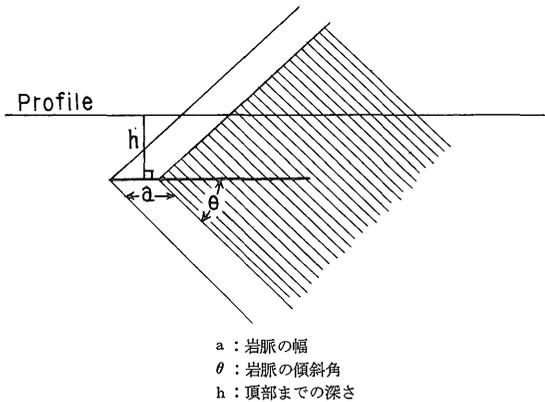
断層モデルの場合はモデル計算を行った.

3.4 定量解析の結果

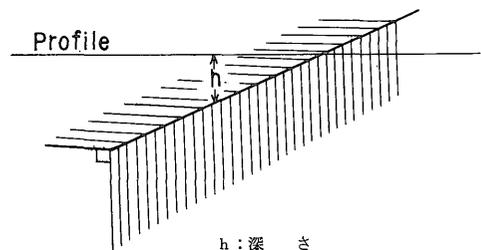
深度・形状解析を施した第10図にみられる磁気異常岩



第7図 Vertical Prism Model.



第8図 傾斜岩脈モデル
Inclined Dike Model.

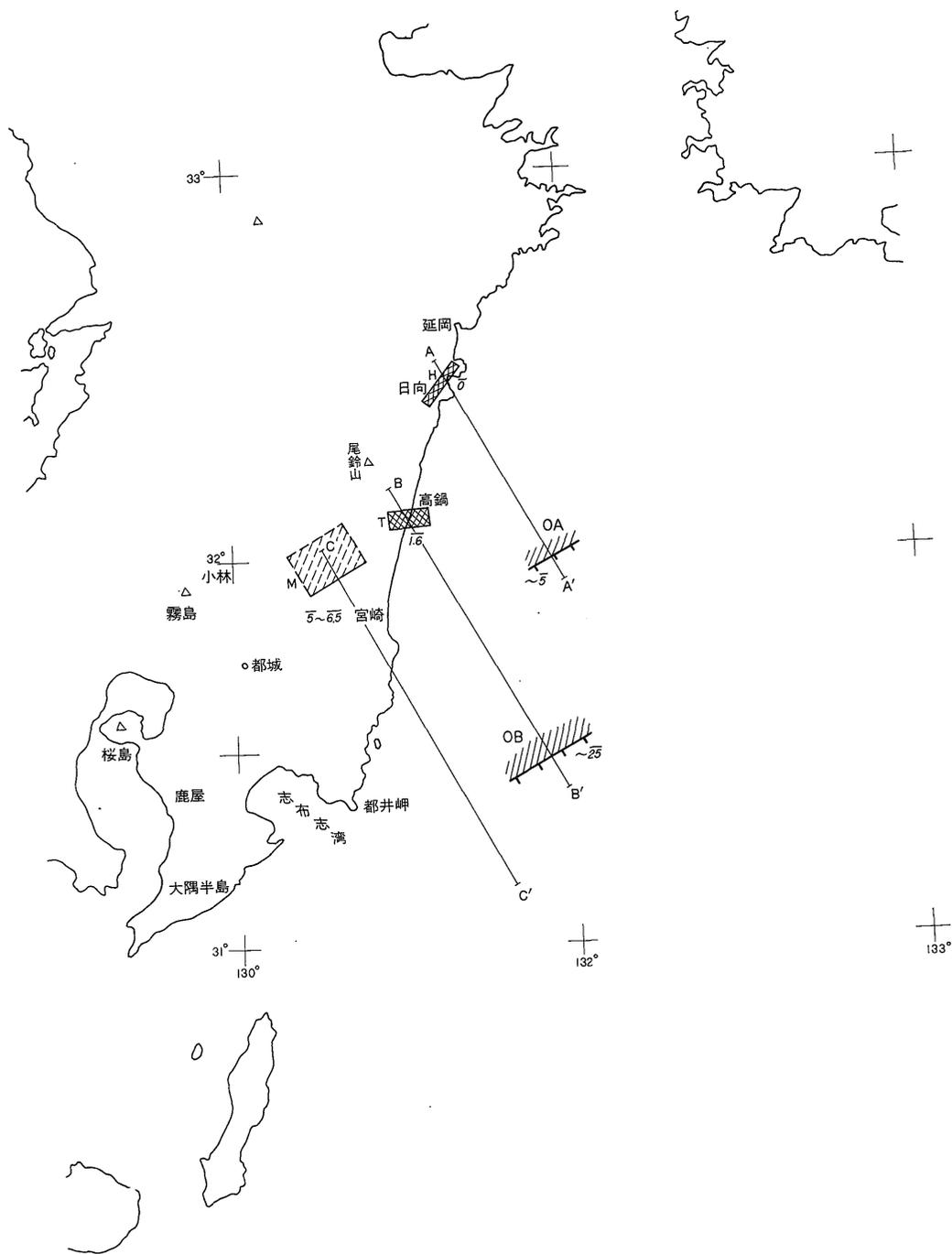


第9図 断層モデル
Step Model.

体は, 1. 日向市一遠見山, 2. 宮崎市北西方, 3. 高鍋付近, 4. 高鍋東方沖 32°N-132°E 付近, 5. 都井岬東方沖 31°30'N-132°E 付近の以上5カ所である.

次に, それぞれの磁気異常について, やや詳しく述べてみよう.

1. 日向市一遠見山 (第10図中H)



第10図 定量解析を施した磁気異常岩体

A-A'・B-B'・C-C': 解析断面

Magnetic anomalous bodies used for quantitative analysis.

A-A'・B-B'・C-C' : are profiles used for depth estimation.

遠見山の地形効果をも含めた浅所に起因する磁気異常であり、岩脈モデルが適当である。

長辺の方向 N40°E
 長さ (b) 約 15 km
 幅 (a) 1.4 km
 深度 (h) 0 km (地表面付近)
 帯磁率 (κ) 6×10^{-8} e.m.u./cc

2. 宮崎市北西方 (国富付近) (第10図中M)

深所に起因する長波長の磁気異常であるが、地表付近に存在するとみなせる短波長の磁気異常の干渉、擾乱をうけている。

さらにこの異常は調査区域の端に位置しており、異常全体の形態を充分につかみきれないため、深度・形状等について不正確さは免がれないが、鉛直プリズムモデルを適用すると次のようになる。

長辺の方向 N70°E
 長辺の長さ(b) 20-25 km
 幅 (a) 10-15 km
 深度 (h) 4.5-6 km
 帯磁率 (κ) 1×10^{-8} e.m.u./cc

3. 高鍋付近 (第10図中T)

典型的な鉛直プリズム形の磁気異常とみてよく、周辺の磁気異常からの干渉をほとんど受けていない。

長辺の方向 N80°E
 長辺の長さ(b) 10-13 km
 幅 (a) 5-6 km
 深度 (h) 1.6 km
 帯磁率 (κ) 4×10^{-4} e.m.u./cc

4. 高鍋東方沖 (第10図中O A)

磁性の強い基盤岩の盛り上がりの形状による磁気異常とみなし得る。ここで採用した3コのモデルのうちでは、傾斜岩脈モデルと断層モデルの中間の性質を保持している。

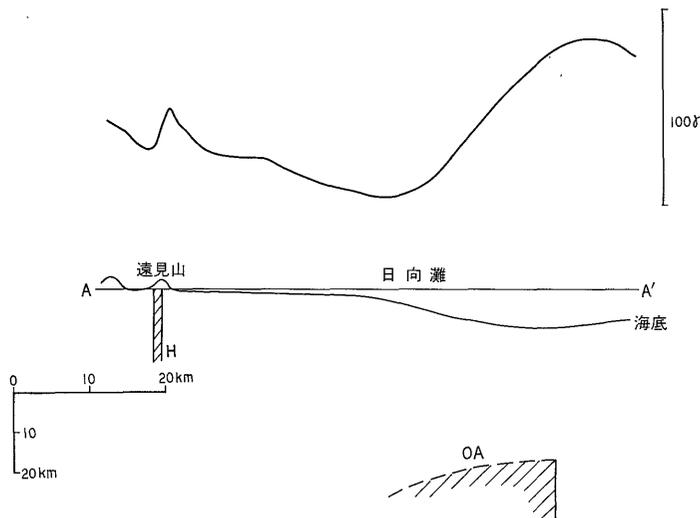
この磁気異常は海上にあり、海底地質の調査資料に乏しいので岩体の形状の類推もできない。このため、種々の解析法、モデル計算を試みたが、深度・形状については不確定な要素が多い。深度については異常波長の大きさから概略を求めた。

岩体の伸びの方向 N70°E
 深度 (h) 5 km 以上 (海面下)

5. 都井岬東方沖 (第10図中O B)

この磁気異常は4つの高鍋東方沖の異常と似た性質も保持しているが、南東側の落ちた断層のモデルが適当である。

断層の落差は無限大、いわゆる Contact Model として頂部までの深度を求めた。



第11図 解析断面 A-A'

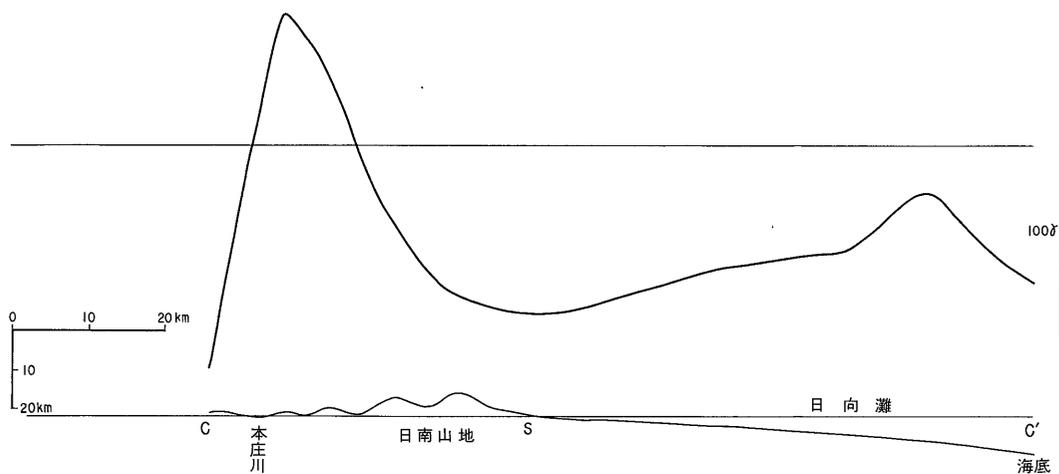
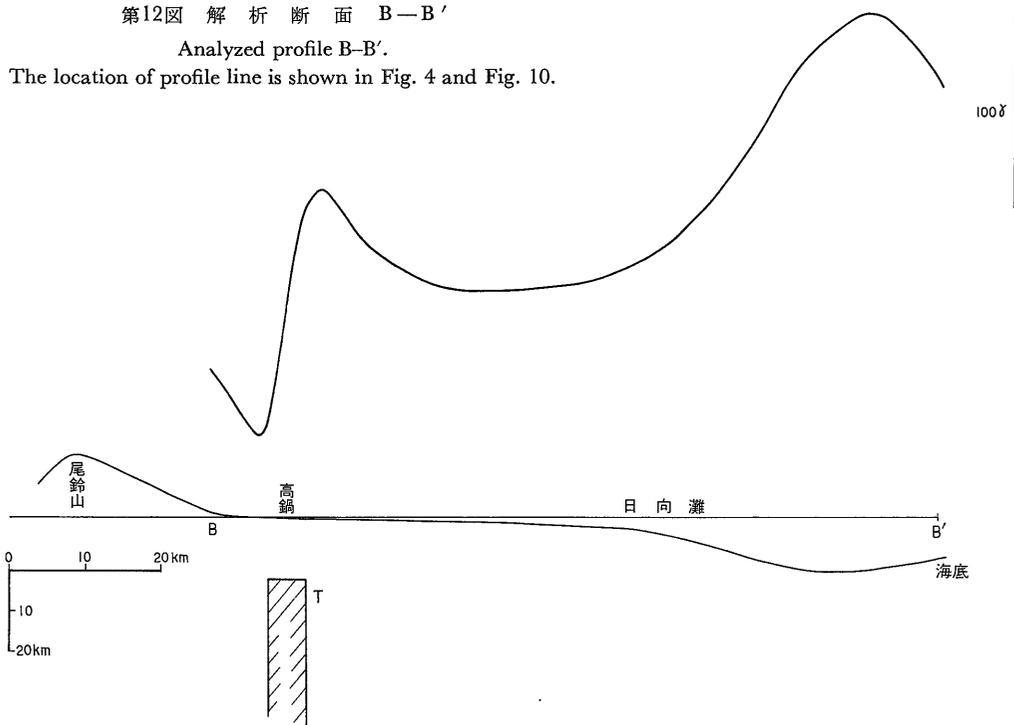
Analyzed profile A-A'.

The location of profile line is shown in Fig. 4 and Fig. 10.

第12図 解析断面 B-B'

Analyzed profile B-B'

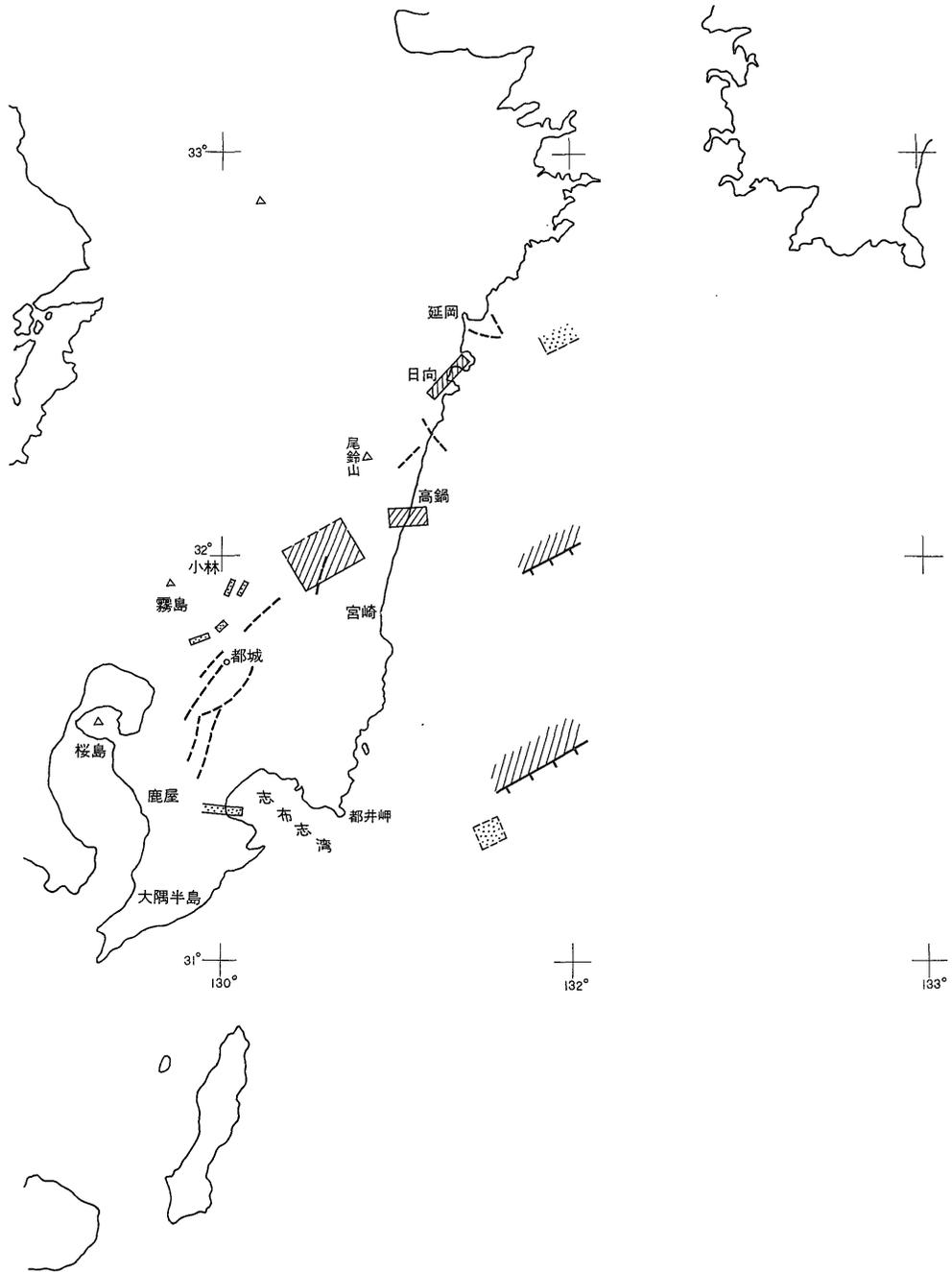
The location of profile line is shown in Fig. 4 and Fig. 10.



第13図 解析断面 C-C'

Analyzed profile C-C'

The location of profile line is shown in Fig. 4 and Fig. 10.



第14図 定量解析・定性(傾向)解析の結果明らかにされた磁気異常岩体
Results of quantitative and qualitative (trend) analyses of magnetic anomalies.

断層の方向 N70°E

深度 (h) 5 km 以上 (海面下)

1 から 5 の磁気異常の断面図を第11図から第13図に示す。

定量解析の結果、磁気異常を生じている岩体の伸びの方向は陸域・海域ともに北東-南西または東北東-西南西であり、それぞれの間に明瞭な差は認められない。

他方、適用し得るモデルの型についてみると、陸域と海域とは異なっている。すなわち陸域では鉛直プリズム、岩脈モデル (鉛直) が、海域では断層モデルが適当である。

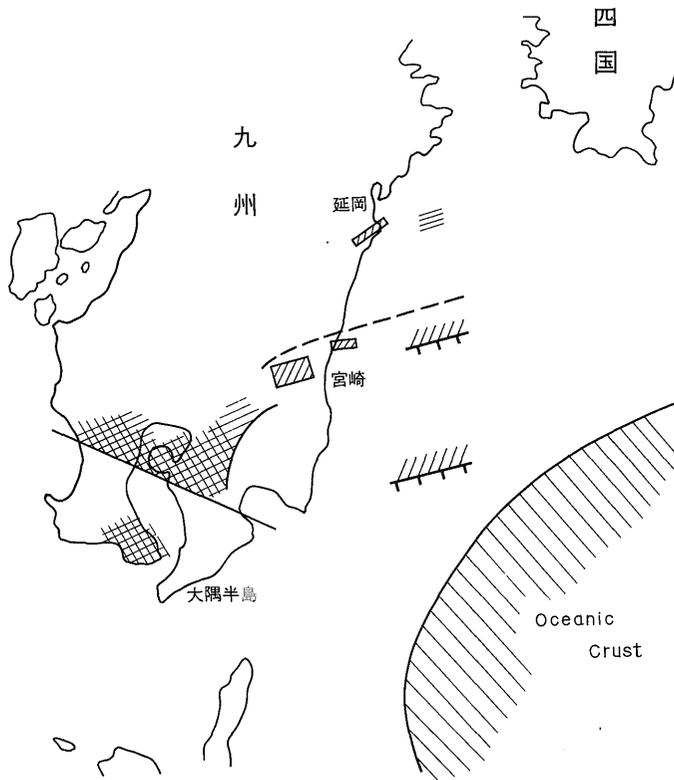
水平面内で表現した二次元の形状では、磁気異常を生じている岩体の伸びの方向は陸域と海域ではほぼ類似するものの、垂直成分を考慮に入れると形状が異なる。おそらく岩体の貫入形態や周辺の地質構造の相違によるものであろう。

3.5 磁気図の定性解析

異常同志が相互に干渉しているか、あるいは振幅がきわめて小さい、等の理由で定量解析を施さなかった領域に対し、局地的な岩体の走向や系列等を知るため、磁気原因図 (縮尺, 1/50,000, 等磁力線間隔 5 γ, I.G.R.F. 残差図, 鉛直二次微分図をもとに定性的に傾向解析を行った。その結果を定量解析した岩体の平面図 (第10図) に重ねて第14図に示す。

宮崎県高城—都城—鹿児島県岩川—鹿屋付近にかけて、南北性の短波長の異常が多数見出される。その卓越構造方向は都城・末吉付近において屈曲しているようにみえる。鹿児島県地質図 (1967) や宮崎県地質図 (1971) を参照してみると、これらの異常は地表付近にある火山岩によるものと推定される。

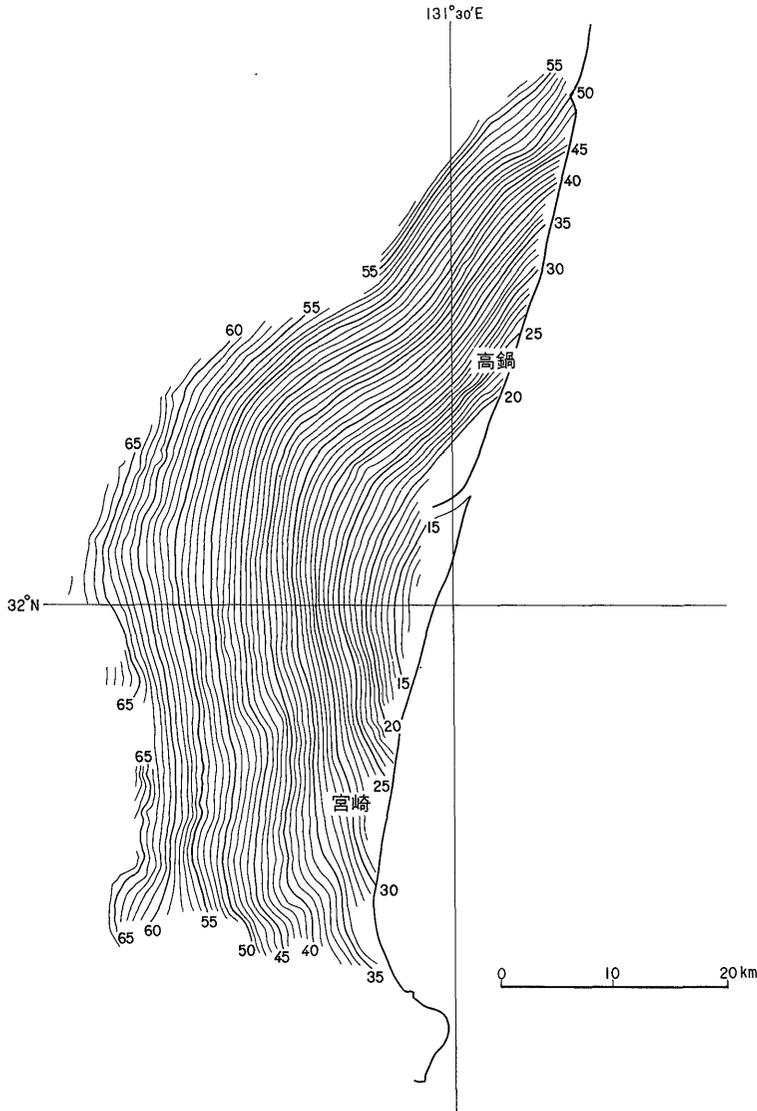
I.G.R.F. 残差図 (第4図) でみると、小林市南東10 km 付近から高鍋付近を通って沖合にのびている、N70°E の



第16図 磁気資料からみた南九州の構造区分
影の部分は磁気異常の存在する領域 K-S: 串木野—志布志線

Structural Classification Map of South Kyushu Area by Aeromagnetic data. Shadowed Zone indicates the existence of high magnetic rocks on and beneath the ground.

K-S line; Kushikino-Shibushi line



第17図 宮崎平野におけるブーゲー異常 (佐々木ほか, 1961)
等重力線間隔 1 mgal

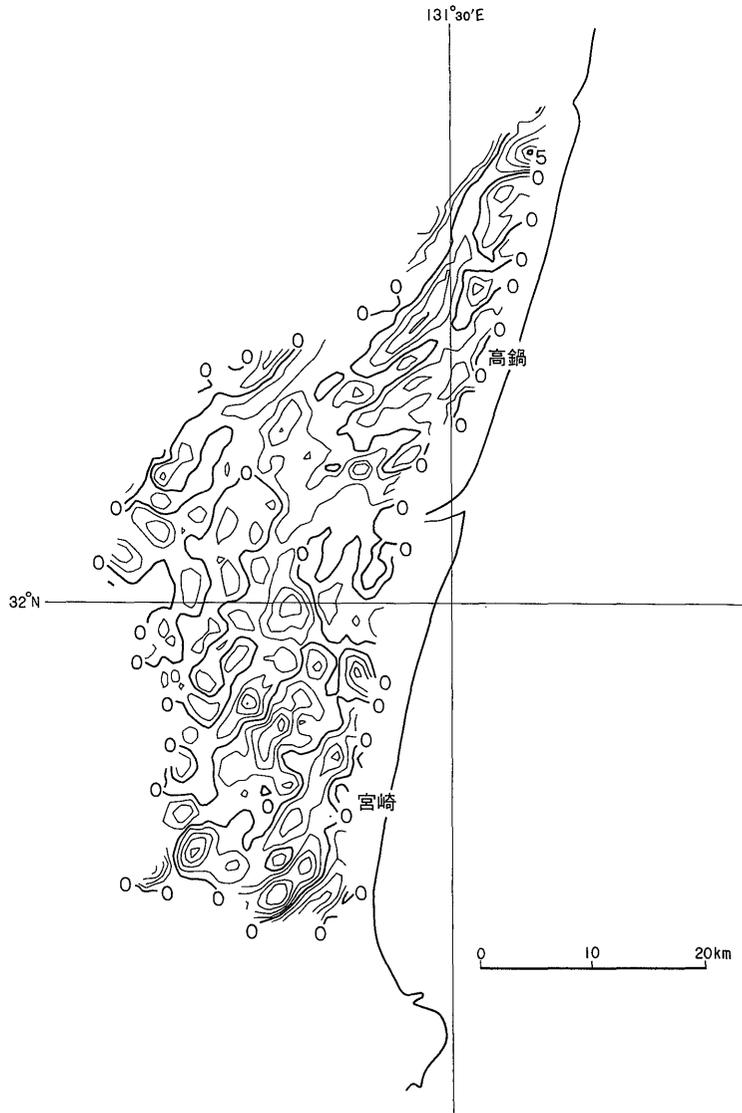
Bouguer Anomalies in Miyazaki Plain (SASAKI, et al., 1961).
contour interval 1 mgal

方向をもった負の異常帯が注目に値する。この負の磁気異常は地表地質の上では直接関係づけられる地質構造も見出せないが、磁気異常の伸びの傾向としては重要であり、地表下における何らかの帯状ないし線状構造を示していると思われる。

3.6 磁気異常からみた南九州の地球物理的特徴

南九州宮崎沖海域空中磁気探査の結果を解析すること

により、日向灘においては3コの磁気異常が認められた。これらの磁気異常は大島ほか (1975) が磁気的にきわめてスムーズであると指摘している南海舟状海盆に至る大陸棚および大陸斜面に存在しており、大島ほか (1975) の結果 (第2図) では等磁力線の乱れとして現れている。また井内ほか (1970, 第1図) では都井岬東方沖合に認められる正の異常と対応している。



第18図 正規余剰重力図 ($s = 500$ m)
等重力線間隔 0.1 mgal

Distribution of the normal residual anomalies based on
Fig. 17 ($s = 500$ m). contour interval 0.1 mgal

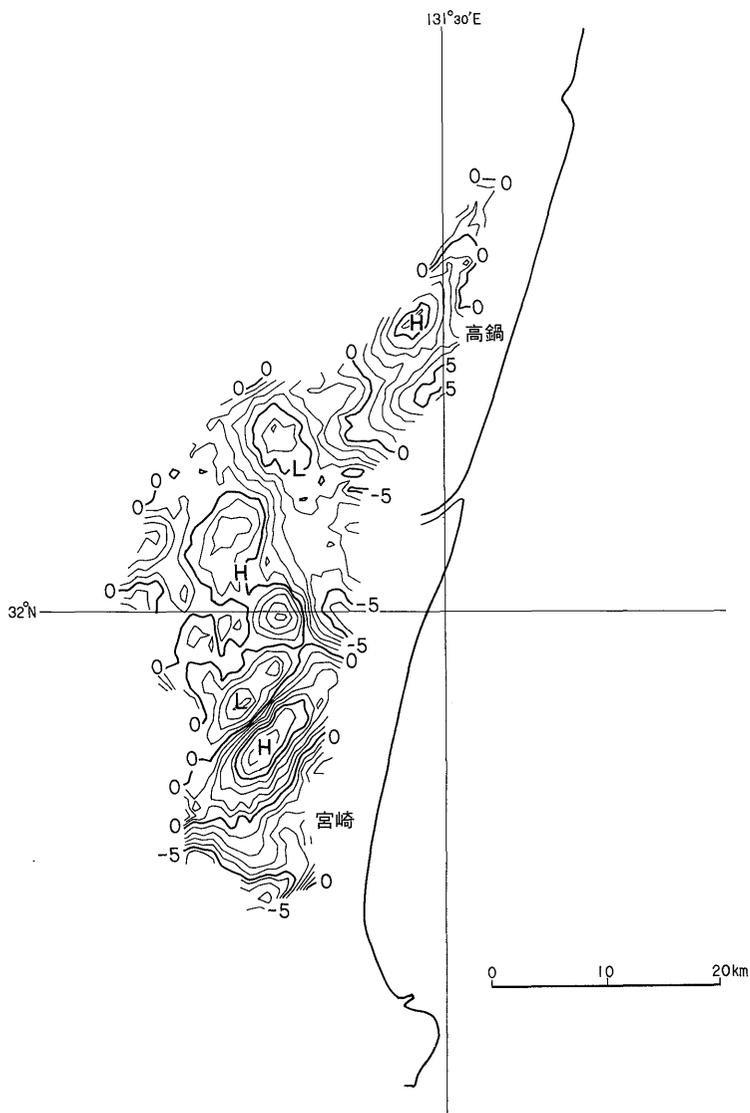
鹿児島湾周辺の磁気異常については、「鹿児島湾周辺の地磁気異常」(松崎卓一ほか, 1961)の地磁気図(第15図)をみると、串木野-鹿児島-垂水を通る線より北部においては桜島・霧島等の火山による磁気異常が著しく、それより南側は平穏である。この区分線は3.2で述べた空中磁気図(第4図)に照合すると、鹿屋市付近を通り志布志湾南岸にぬけていと推定される。

枕崎-吉見山-雄川河口の線より南にかけては、再び開聞岳付近の火山岩による異常が表われている。

以上、磁性からみた特徴を簡略に示すため、筆者は第16図にみられるような磁気構造区分を行った。

4. 宮崎平野における重力異常

宮崎県宮崎市周辺重力探査報告(佐々木悟ほか, 1961)



第19図 正規余剰重力図 ($\sigma = 1 \text{ km}$)
等重力線間隔 0.1 mgal

Distribution of the normal residual anomalies based on
Fig. 17 ($\sigma = 1 \text{ km}$). contour interval 0.1 mgal

の原図からデータを取り、解析した。

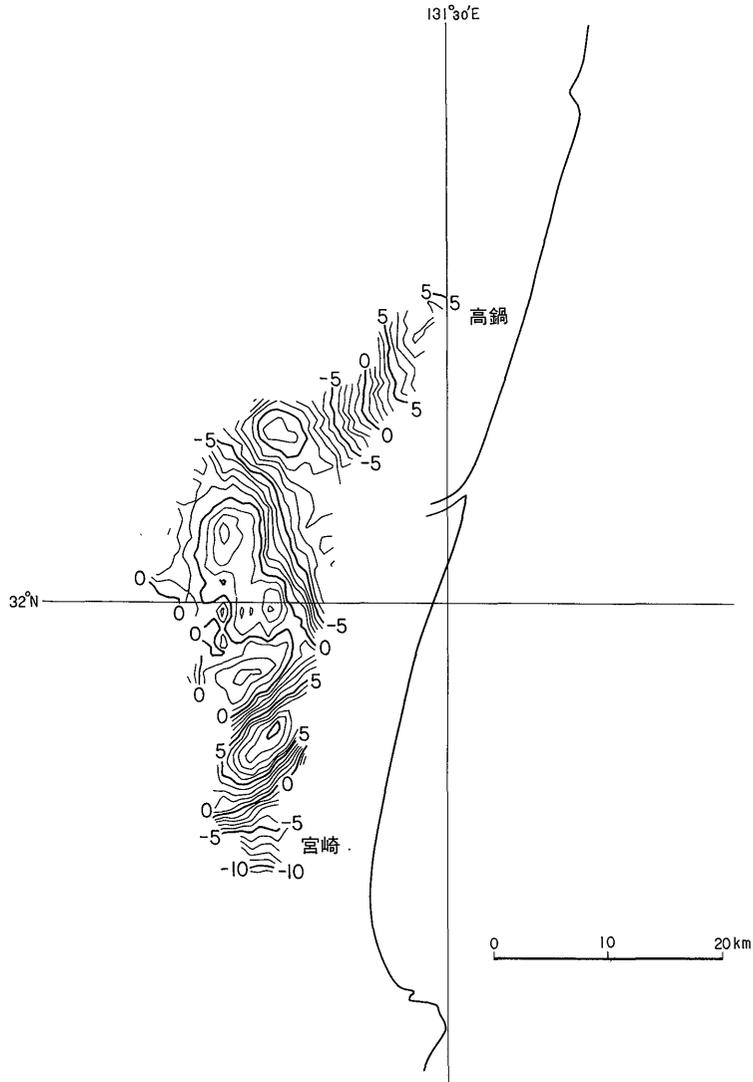
4.1 重力図の概要

宮崎平野においては第17図に示すように、Bouguer 異常の分布形態は宮崎郡佐土原町広瀬を中心として東西 $30 \text{ km} \times$ 南北 80 km の広がりを持ち、かつ二次曲面で近似され得る大きな負異常帯である。この負異常帯は友田 (1973) が明らかにしたように、琉球海溝の負異常帯の延長上に位置している。

また、この負異常帯をリージョナルな特徴としてとらえるとき、部分的に小さな等重力線の乱れ、ないし高異常の張り出しの形でのローカルな重力異常が認められる。おそらく、これらの異常は地下において高密度の岩体の存在に起因するものであろう。

4.2 重力図のデータ処理

重力異常のローカルな形態、特徴をもう少し詳しく見するため、一歩進んだ解析を行うことにする。すなわち原



第20図 正規余剰重力図 ($s = 1.5$ km)
等重力線間隔 0.1 mgal

Distribution of the normal residual anomalies based on
Fig. 17 ($s = 1.5$ km). contour interval 0.1 mgal

図上に 500m 正方格子を組み、次に示すフィルター計算を行った。

1. 瀬谷 (1959) の式 正規構造

$$\Delta_{1,s} g_0 = \frac{1}{21} [4g_0 + 8g_0(S) - 6g_0(2S) - 6g_0(3S)]$$

S は格子間隔

$$S = a \quad a = 500 \text{ m} \quad \text{第18図}$$

2. 瀬谷 (1959) の式 正規構造

$$S = 2a \quad \text{第19図}$$

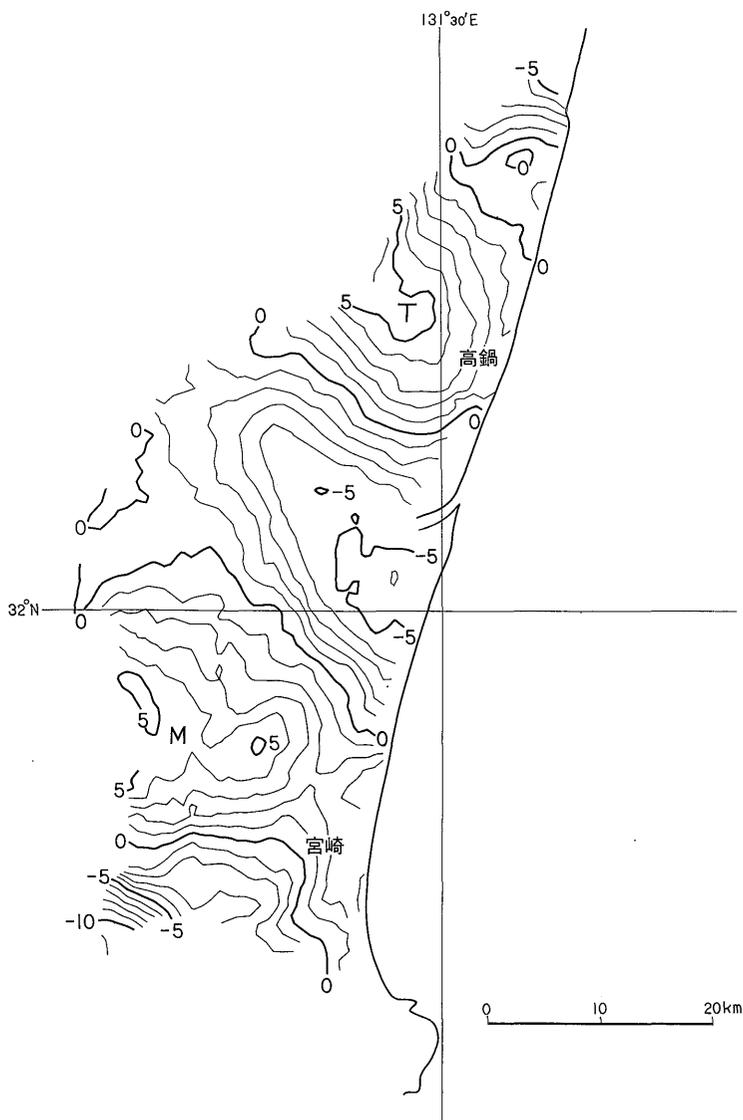
3. 瀬谷 (1959) の式 正規構造

$$S = 3a \quad \text{第20図}$$

4. 二次傾向面残差図 第21図

この結果、瀬谷 (1959) の式 $S=2a$ 、および $S=3a$ 、二次傾向面残差のいずれにおいても宮崎市北西方国富を中心とする一帯と、高鍋付近の2カ所の地域において、北東-南西へ方向性を持つ高重力異常帯が見出された。

瀬谷 (1959) の式の透過係数 $Kn^*(\alpha, \beta)$ は正規構造 $\alpha=1, \beta=3$ の場合、第22図に示すように $\lambda n/S=5$ (S は



第21図 二次傾向面残差図
等重力線間隔 1 mgal

Residuals of trend surface (2nd degree) of Bouguer
Anomalies. contour interval 1 mgal

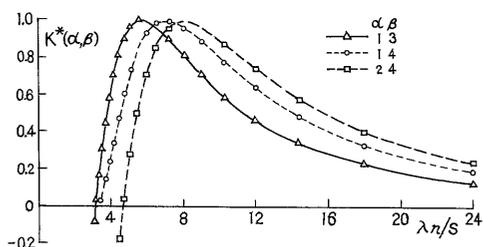
上記の格子間隔, λn は波長) 付近で最大となる. $S=a$, $S=2a$, $S=3a$ の各図を比較してみると, $S=2a$ および $S=3a$ の計算結果がすぐれている. 従って, この2つの重力異常の基本波長は 5 km より大きいことがわかる.

4.3 宮崎平野の高重力異常岩体の密度

宮崎市北西方国富付近の重力異常 (第22図M) については, 磁気異常から推定される岩体の分布 (第10図M)

とほぼ一致している. そこで磁気異常から解析された深度・形状の結果を用いて概略の岩石密度を Bouguer 補正の公式 $\Delta g = 2\pi G \Delta \rho h$ により求めた. まわりの岩石密度をこの付近の四万十層群の砂岩の密度の平均値として知られている 2.6-2.7 とすると, $\rho = 3.0-3.1$ の値を得る.

高鍋付近の重力異常 (第21図T) については磁気異常



第22図

(第10図T) とほぼ対応する位置関係にあるものの、データソースである重力図原図作成に用いた測点の間隔がこの付近においては粗であるため、密度は求めなかったが、高帯磁率かつ高密度であることが推定できる。

5. 考 察

これまでに述べた磁気探査で得られた磁気異常に対応する岩体としては、尾鈴酸性岩の基底部分に相当し、遠見山一日向に分布するものおよび高城一都城一鹿屋の火山岩が考えられる。

その他の磁気異常に対しては、地表地質の上では対応する岩体は見当たらない。大隅半島に広く分布する花崗岩も、金谷・石原 (1973) によれば帯磁率 (χ)¹⁾ は $10\text{--}30 \times 10^{-6}$ e.m.u./cc と低く、磁気図の上でも異常は認められない。

磁気異常と重力異常の対応がつけられる宮崎平野では次のように推論できる。

宮崎市北西方国富の異常は帯磁率 (κ) 10^{-3} e.m.u./cc、密度 3.0 程度と高帯磁率であり、また高密度でもある。もう一つの高鍋付近の異常も同様に高帯磁率・高密度である。

この物理量の値は異常の原因となる岩石として閃緑岩、あるいは蛇紋岩質岩石などの塩基性岩類の値に相当する。またその岩体の伸びの方向は $N70^\circ E\text{--}90^\circ E$ である。

本論で扱っている九州南部地方には、時代未詳とされる四万十層群ないし日南層群の堆積岩が厚く分布している。これらの堆積岩に大隅半島の花崗岩・尾鈴山付近のリングダイク状の花崗岩侵入、また尾鈴酸性火山岩類の噴出が行われている。その後、宮崎層群が堆積し、第四紀には阿蘇一霧島一桜島の火山活動が起こったとされている。

これまでに述べた地球物理の資料である磁気・重力異常から推定された岩体の形状と分布範囲等からみた本地

1) χ : 重量当たりの帯磁率、岩石密度との積をとれば κ となる。

域の特徴は、地質の資料から知られた地表の地質構造とは特に矛盾するわけではない。むしろ橋本 (1962)、今井ほか (1975) による、堆積岩の分類からなされた構造にほぼ一致し、それらを支持しているように思われる。

宮崎市北西、および高鍋付近の磁気異常・重力異常は物理量から閃緑岩ないし塩基性の岩体によると想定されるが、地表地質からは対応するものが確認されない。

6. 結 論

磁気・重力異常の資料からみた南九州における卓越構造方向は、北半部では西南日本弧のそれと並行しており、東方海域の日向灘にも延長し得る。

宮崎市北西から高鍋付近にかけては地表面に現れていない塩基性と推定される岩体列が存在する。

都城盆地付近を境にして、南西は琉球弧の構造方向、北東は西南日本弧の構造方向を反映していると結論される。

この区域では主要な地質構造がこの付近で屈曲 (今井ほか, 1975) し、陸域のみでなく海域においても西南日本弧と並行する南海舟状海盆の構造と、琉球弧と並行する琉球海溝の構造が会合している。これらの点からみて、会合付近のさらに詳しい推論を行うためには今後、異常岩体についてのより詳しい物性の資料とこれに対応する岩相および地質についての研究が望まれる。

7. おわりに

本研究を行うにあたり、地質部服部 仁技官から助言を頂いた。また磁気図のフィルター処理と自動解析・図化のプログラムは物理探査部中塚 正技官の作成したものを使用させて頂いた。厚くお礼を申し上げる。

帝国石油株式会社には宮崎平野重力探査の原図の写しを頂いたお礼を申し上げる。

なお、計算および図化には TOSBAC-3400 を使用した。

文 献

GRANT, F. S., WEST, G. F. (1965) *Interpretation Theory in Applied Geophysics*. McGraw-Hill, p. 319-324.

長谷川 博 (1967) 擬似重力異常の新計算法. 物理探査, vol. 20, no. 5, p. 22-31.

橋本 勇 (1962) 九州南部における時代未詳層群研究の総括. 九州大学教養部地学研究報告, no. 9, p. 13-69.

IGA, Commission 2 Working Group No. 4. Analysis

- of the Geomagnetic Field. (1969) The International Geomagnetic Reference Field 1965.0. *J.G.G.* 21, p. 569.
- 今井 功・寺岡易司・奥村公男 (1975) 九州四万十帯の構造区分. 地函研専報, no. 19, p. 179-189.
- 井内 登・関口昌雄・前田尚美 (1970) 西南日本における航空磁気測量結果について. 測地学会誌, vol. 16, no. 1, 2, p. 23-33.
- 海上保安庁水路部測量課 (1975) 日向灘の海底地形, 地質構造, 地磁気全磁力. 地震予知連絡会会報, vol. 14, 建設省国土地理院, p. 131-136.
- 鹿児島県地学調査研究会 (1967) 20万分の1鹿児島県地質図.
- 金谷 弘・石原舜三 (1973) 日本の花崗岩質岩石にみられる帯磁率の広域的变化. 岩石鉱物鉱床学会誌, vol. 68, no. 7, p. 211-224.
- 松崎卓一・歌代慎吉 (1961) 鹿児島湾周辺の地磁気異常について. 水路部研究報告, 第1号, p. 23-25.
- 宮崎県 (1971) 20万分の1宮崎県地質図.
—— (1971) 宮崎県の地質と資源.
- 茂木昭夫 (1975) フィリピン海北縁部の海底地形—Outer Ridge について. 海洋科学, vol. 7, p. 27-32.
- Moor, J. K. C. (1965) Analytical aeromagnetic interpretation and its practical application. *Geophysics*, vol. 14, no. 2, p. 208.
- 中塚 正 (1975) 水平一次微分の曲線照合法による磁気異常の自動解析. 物理探鉱 (投稿中).
- 大島章一・近藤 忠 (1975) フィリピン海の航空磁気測量の成果. 「フィリピン海域の地質学的諸問題」, p. 11-12.
- 小川克郎 (1973) 空中磁気図解析解釈法の研究. 地質調査所報告, no. 247.
- ROSENBACH, O. (1953) A contribution to the computation of second derivative from gravity data. *Geophysics*, vol. 18, p. 894-912.
- 佐々木 悟・梅戸左明・恒川純吉・山崎 喬・小松直幹 (1961) 宮崎県宮崎市周辺重力探査報告. 天然ガス協会, 九州地方の天然ガス開発調査報告, p. 249-255.
- 瀬谷 清 (1959) 重力探査における新解析法. 物理探鉱, vol. 12, no. 2, p. 65-73.
—— (1959) 重力探査における新解析法 第2報. 物理探鉱, vol. 12, no. 4, p. 166-177.
- 陶山淳治 (1970) 空中磁気図の作成について. 物理探鉱, vol. 23, no. 3, p. 38.
- TOMODA, Y. (1973) Maps of Free Air and Bouguer Gravity Anomalies in and Around Japan. O.R.I., University of Tokyo.
- 津 宏治・小川克郎 (1973) 三次元角柱による磁気異常の自動解析. 物理探鉱, vol. 26, no. 2, p. 5-21.
- 坪井忠二・実川 顕・田島広一 (1956) ウォルドン重力計による日本全国の重力測定, 第9報(九州地方). 東京大学地震研究所彙報別冊, 第4号, 第8冊.
- VACQUIER, V., STEENLAND, N. C., HENDERSON, R. G. and ZIETZ, I. (1961) Interpretation of aeromagnetic maps. *Geol. Soc. America, Memoir*, vol. 47.
- 渡辺史郎・斎藤友三郎・中塚 正 (1976) 南九州宮崎沖海域空中磁気調査報告. 地質調査所月報 (投稿中).

(受付: 1975年9月20日; 受理: 1975年11月17日)