

全国地熱基礎調査, 伊豆南部重力探査

小川 健三*

Gravimetric Survey at the Southern Part of Izu, Preliminary
Survey for Geothermal Exploration

Kenzo OGAWA

Abstract

Gravimetric survey was carried out at the southern Izu area where many hot springs exist. The covered area by this survey was about 410 square-kilometers and the observed points were 674.

Bouguer anomaly map was completed by using usual method. Many local anomalies were obtained in the map. It can be pointed out that the areas where altered rocks by mineralization exist or the outcrop of Yugashima formation is on and near the surface, show generally local positive anomalies. Such a correlation is reasonable because the mineralization from the deep places can be thought to have given the increase of density in the altered rocks and Yugashima formation has high density generally judging from the density measurement of rock-specimens.

There are main four hot-spring areas in the surveyed area. Two of them, Kawazu and Shimogamo, are respectively situated at local negative anomalies. On the other hand a group of hot springs near and at Rendaiji is situated at a local positive anomaly. The hot springs of west coast exist along the zone of high gravity gradient in the horizontal direction which is clearly shown in the Bouguer anomaly map. These facts are useful when we develop the detailed survey around a known hot spring area.

In order to know the approximate depth to the surface of basement rock (Lower part of Yugashima formation), three profiles were selected and the result was obtained as shown in Figures 5~7.

1. 緒 言

全国地熱基礎調査の一環として伊豆半島南部の重力探査を実施した。現地調査は、昭和48年9月下旬から同年10月下旬までと、昭和49年2月上旬から中旬にかけてである。

観測ならびに水準測量などの野外作業と、結果整理は、日鉱探開株式会社が実施した。本報告はその探査結果をのべるものである。

探査にあたり、種々の便宜ならびに協力を頂いた静岡県をはじめ地元市町村に対して、厚く感謝する。

2. 調査範囲

調査地は、静岡県下田市をはじめ賀茂郡南伊豆町、松

崎町、河津町の全域と、一部同郡西伊豆町におよぶ伊豆半島南部全地域である。本地区は大別して河津地区と南伊豆地区とに分けられる(第3図参照)。

東は相模湾、西は駿河湾、南は遠江灘に臨む海岸から、北は伊豆半島中央にそびえる天城山脈の猿山、長九郎山などの河津、仁科川の上流地区の山々までで、探査対象面積は約410km²である。

3. 地形および地質

地形は、ほとんど丘陵性の山地であり、山地の間を流れるおもな河川の流域にわずかに平地が開けている。

すなわち、山地は、伊豆半島の中央をほぼ南北に走る天城山脈の南部にあたる登尾(1,056.6m)、猿山(999.8m)、長九郎山(995.7m)などの海拔1,000m前後の山々や、婆娑羅山(608.4m)を主とする山々で、これらの山

* 地殻熱部

が脊梁となり、海岸に向かって地形は漸次低くなり、平均300-500mの丘陵性山地が、海岸にまでおよんでいる。山腹は急傾斜をなし、河谷に深く刻まれている。

河川のおもなものは、以上の山々に源を発して、山間、平地を曲折して流れ、河津・稲生沢・青野の各河川は相模湾に、仁科・那賀・岩科川などが駿河湾に注いでいる。

平地は、おもな河川の流路にわずかに開け、河口付近に、沖積地がある。

海岸は、沈降地形を示し、海食崖が発達しリアス式を示しているところが多い。

同地域の地質については、神子元島・下田の5万分の1の地質図をはじめ、静岡県地質図などの数多くの調査研究報告がある。下田図幅説明書によれば¹⁾、当地域はほとんど火山岩からなる。すなわち第三紀中新世から現世に至るまで、ひきつづいて、永い間盛んに火山活動がありそのため緻密または疎空な火山岩、あるいは、火山砕屑岩により形成されている。

火山作用の中心をなした岩類を主体とし、貫入岩、岩脈も少なくない。

火山岩は、岩相が多様であり、また岩種も流紋岩・石英安山岩をはじめとする各種安山岩や玄武岩と多岐にわたっている。

また火山活動に伴って、各地に各種鉱床が生成されている。

構造は複雑で、断層は数多いが、おもにNW-SE、NE-SWの方向が顕著である。層序は第1表に掲げたように考えられている。

基盤をなす湯ヶ島層群は、輝石安山岩類を主とし、その他凝灰角礫岩、凝灰質砂岩などからなる。そして全体として、激しい変質をうけている。湯ヶ島層群の厚さは、3,500m以上におよび、東西あるいはNW-SE方向のゆるやかな褶曲構造をなしているが、断層などによって分離して地塊化しており、構造は複雑多様である。

湯ヶ島層群を不整合に覆って、白川玄武岩類が、北部の白川付近に分布する。そして以上の地層を不整合に覆って、白浜層群が広大な地域に分布する。

白浜層群は、全体としてゆるやかな盆状構造をくりかえし、断層により地塊化して、600m前後の山地を形成している。その層厚は、最大700m前後である。白浜層の下部は、石英安山岩と玄武岩、流紋岩、凝灰岩で、上部は、輝石安山岩などがおもで、ほかに凝灰質砂岩などがある。

湯ヶ島および白浜層群は数多く、かつ多様に、岩脈に貫かれている。

岩脈は、閃緑玢岩類、石英安山岩類で、そのほか流紋岩、玄武岩などもあり、その分布もさまざまである。

また、長九郎山付近には、長九郎安山岩類が約160m位の厚さで分布している。

南伊豆町天神原付近には蛇石火山があり、低平な熔岩台地を形成し、それは輝石安山岩類からなり、その厚さは、200m前後と考えられている。

沖積層は、松崎・仁科・河津などの河川の下流、河口の平地に、わずかに堆積している。

地熱徴候としての温泉、噴気は、湯量の多い南伊豆町の下賀茂、河津町の峯をはじめ、河津川沿いの温泉群など、各地に数多く存在する。

以上のように、本地域は複雑な地形および多種多様な岩相および岩種が存在する地域であるので、重力探査の適用には困難も予想されたが以下にのべるように一応の成果がえられた。

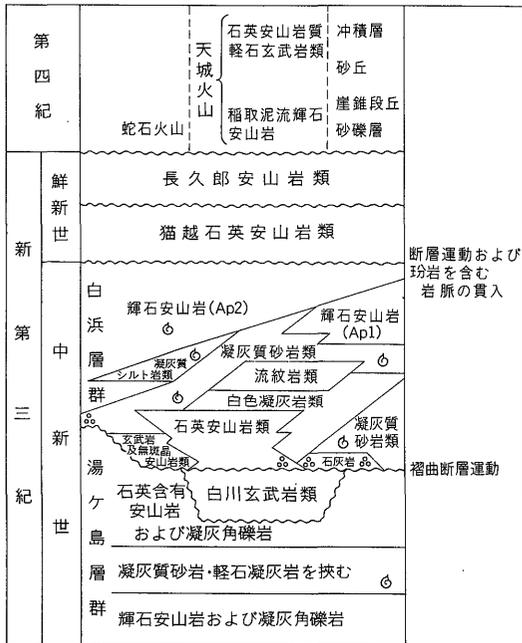
4. 探査目的

伊豆半島南部地域の重力分布を明らかにし、地下構造の概要を推定して、地熱資源探査に資するためである。

5. 探査方法

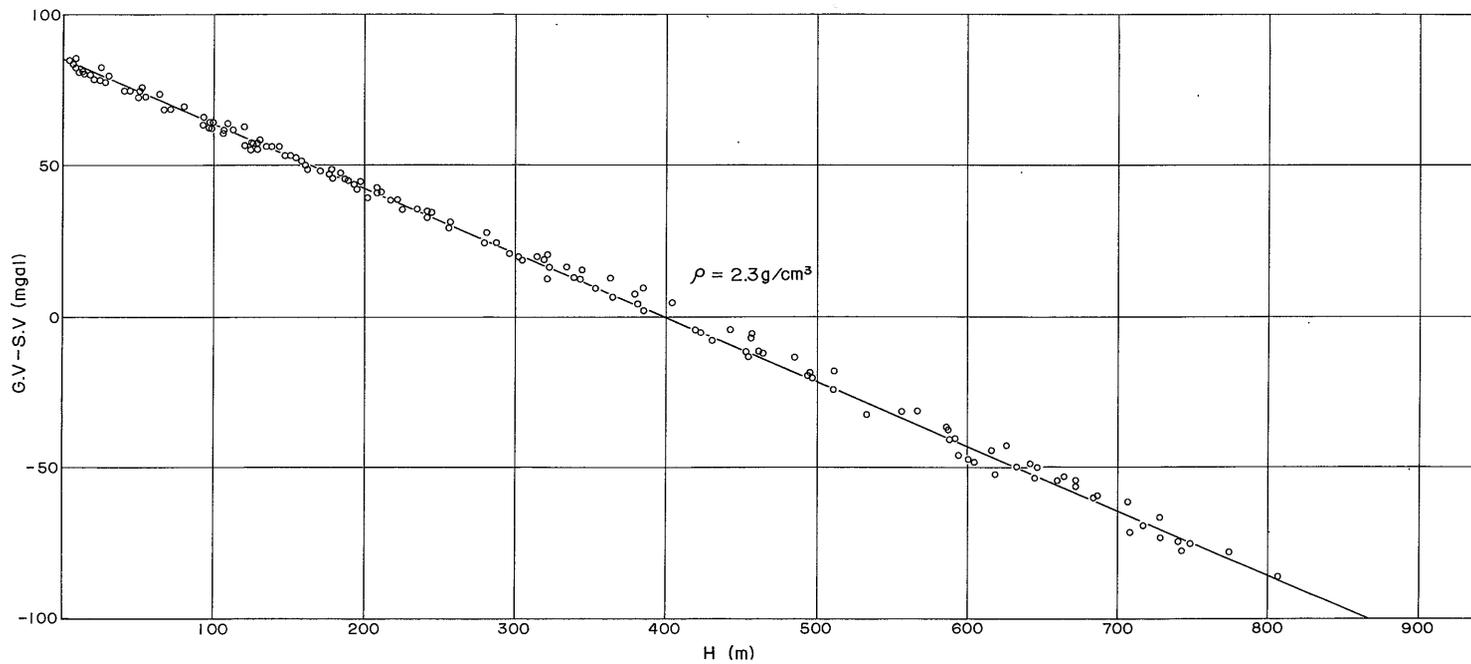
ラコステ重力計によって、重力の比較測定を行った。

第1表 下田地域層序表 (文献(1)より引用)

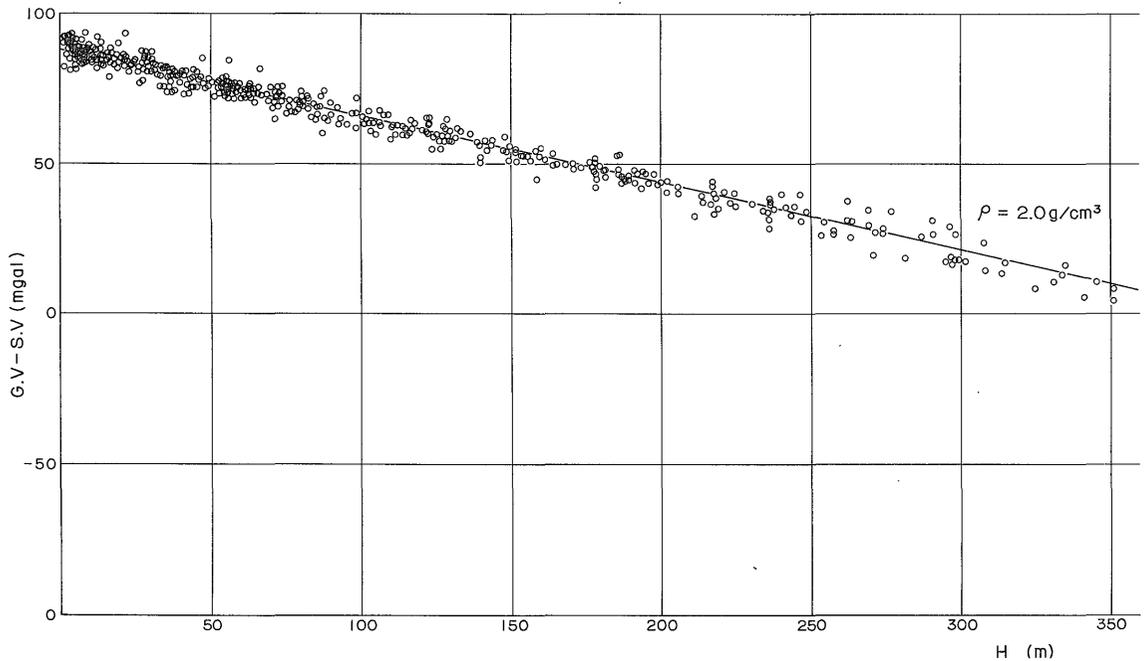


○ 貝化石
 ◎ 有孔虫 (Lepidocyclus) 化石

1) 沢村・他(1970): 下田地域の地質。地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所



第1図 伊豆南部(河津地区)重力探査 g-H 関係図



第2図 伊豆南部(南伊豆地区)

基点および基準値は、国土地理院の観測点および測定値を基準とした。

観測はおもに、道路上に選び、測点間隔は約 600m とした。観測点についてはすべて水準測量を実施し、標高を誤差範囲 10 cm 以下の精度で求めた。

使用した基準点および基準値は下記のとおりである。

- BM 9366, 979803.39 mgal
- “ 9367, 979800.31 “ (南伊豆地区)
- BM 9352, 979809.60 mgal
- “ 9353, 979809.00 “ (河津地区)

また、探査地域内では、随所で岩石試料を採取し、実験室内で密度の測定を行った。

6. 測定結果

観測した点数は、合計674点である。

観測値に、潮汐、ドリフトの補正のほか、高度、緯度、地形の各補正を行った。

各測点の経緯度を求め、国際式を採用して緯度補正を行い、地形補正は、60 km までの地形に対して行った。

各補正值としては 0.01 mgal まで求めた。

ブーゲー補正のために必要な仮定密度をきめるため、いわゆる g-H 関係図を作成した。その結果が第1, 2図に示されてある。

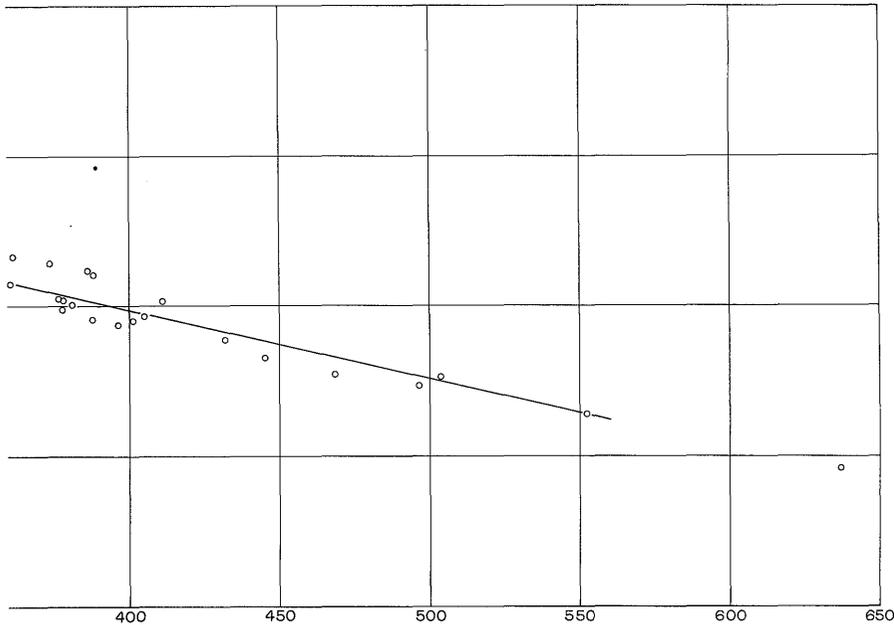
調査対象地の南部(南伊豆地区) 524点についてのもの

が第2図であり、北部(河津地区) 150点についてのものが第1図である。これらから決定される平均密度は、前者が 2.0 g/cm³、後者が 2.3 g/cm³ であった。測点数およびカバーした面積から考えて 2.0 g/cm³ がまず考えられる。次に探査地域内での露頭より採取した岩石試料の密度を実験室内で測定した結果を第2表に示す。

白浜層群および湯ヶ島層群の凝灰岩と流紋岩はそれぞれ 2.0-2.3 g/cm³ 程度の低い値を示すが、他はいずれも 2.6 g/cm³ 前後の高い値を示している。そしてこれら密

第2表 岩石試料の密度測定結果一覧

地層の種類	岩石の種類	測定個数	平均密度 g/cm ³	標準偏差 g/cm ³
第 四 紀	天城火山岩	2	2.85	0.03
	蛇石火山岩	4	2.62	0.07
第 三 紀 白 浜 層 群	凝 灰 岩	2	2.04	0.10
	流 紋 岩	10	2.29	0.17
	“	1	2.37	0.00
第 三 紀 湯 ヶ 島 層 群	安 山 岩	27	2.51	0.13
	凝 灰 岩	3	2.40	0.02
	安 山 岩	12	2.59	0.12
	“	3	2.34	0.17
第 三 紀 岩 脈	流 紋 岩	3	2.34	0.17
	珪 化 砂 岩	2	2.52	0.03
	“	2	2.52	0.03
第 三 紀 岩 脈	玄 武 岩	13	2.64	0.12
	安 山 岩	16	2.52	0.16



重力探査 g-H 関係図

度の大きい岩種が、実際多い割合で存在することが先の地質調査の結果から予想できる。

以上の結果より、 2.0 g/cm^3 と 2.6 g/cm^3 の中間的密度値 2.3 g/cm^3 を補正密度とすることとした。

等重力線は、1 mgal ごとに示しなお 5 mgal ごとに太線を用いた。その結果は第3図のとおりである。この等重力線図によれば、数多くの重力異常がみられる。最も高い重力異常は河津町地区では、北東の天城山脈観音山付近の 102 mgal であり、南伊豆地区では、探査地域中央の娑婆羅峠の南、南伊豆・松崎町境の山地、岩樟園付近で 99 mgal の大規模な異常である。これに対し岩樟園の西にあたる、南伊豆・松崎町境の大峠付近で、最も低い重力異常 83 mgal を示した。また他の顕著な低重力異常地区は次のとおりである。すなわち伊豆急下田駅付近から下田市大賀茂・南伊豆町毛倉野を経て、同町妻良に至る半島を横断する地域、また、下田市田牛から南伊豆町下賀茂、同町吉祥に至る地区に、ほぼ東西の方向に認められる。そして下田市田牛から下田市街を経て、同市白浜に至る地区と南伊豆町中本から同町下賀茂、さらに下田市蓮台寺、落合を経て、河津町峯に至る地区、南伊豆町天神原から松崎町八木山、池代を経て河津町梨本に至る地区の NE-SW 方向などに認められる。

そのほか、南伊豆町青野から下田市横川、河津町峯にかけてと、河津町湯ヶ野付近にも同方向の低重力異常が

認められる。

探査地南端の石廊崎付近から南伊豆町妻良に至る地区、下田市奥條から同市加増野に至る地区、河津川河口からほぼ河津川沿いに上流の河津町沼ノ川に至る地区、河津町縄地付近から同町梨本に至る地区は、いずれも NW-SE 方向の低重力異常が認められている。

探査地西部の南伊豆町妻良から松崎町岩地に至る地区、松崎町船田、門野付近では、ほぼ南北方向の低重力異常が認められる。

さらに河津川上流の天城山脈と娑婆羅山東部付近に、南北方向の低重力異常がみられる。

以上が本調査地における顕著な異常である。

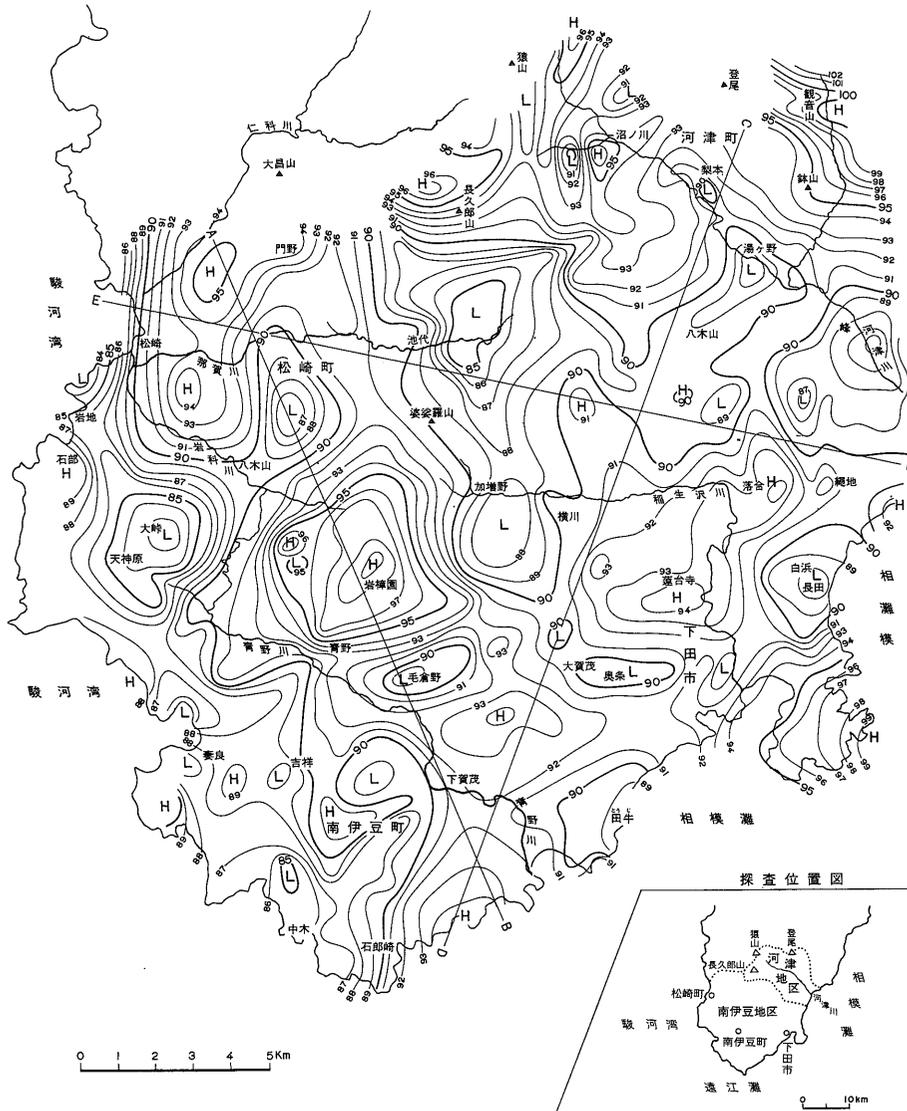
7. 探査結果

5万分の1の下田図幅²⁾および同神子元島図幅³⁾に記載されている湯ヶ島層群ならびに変質地帯の分布を、重力分布と同じ図に記入したものが第4図である。高重力異常の分布が湯ヶ島層群または変質地帯の分布と比較的よく一致しているとみてよい。

湯ヶ島層群の主体が密度の大きい安山岩類であること、および変質部が高密度化しているものが主体であることなどを示していると解釈できる。

2) 前出1)と同じ

3) 角 清愛：5万分の1地質図幅神子元島説明書



第3図 伊豆南部重力探査等重力線図 ($\rho = 2.30$)

神子元島図幅の範囲内の伊豆半島南端部の白色変質帯について角⁴⁾は白色に粘土化した部分および著しく珪化して堅硬な岩石となった部分があり、一般に原岩の組織がほとんど失われていると、観察結果を説明している。そしてこの変質作用が同地域の金属鉱床の生成に関係する鉱化作用によるものであるとしている。

第4図中の変質帯はおもに鉱床の形成に関係した変質帯であり、温泉作用によるものが主ではないと考えられる。したがってこの変質帯が示す密度は比較的大きいと

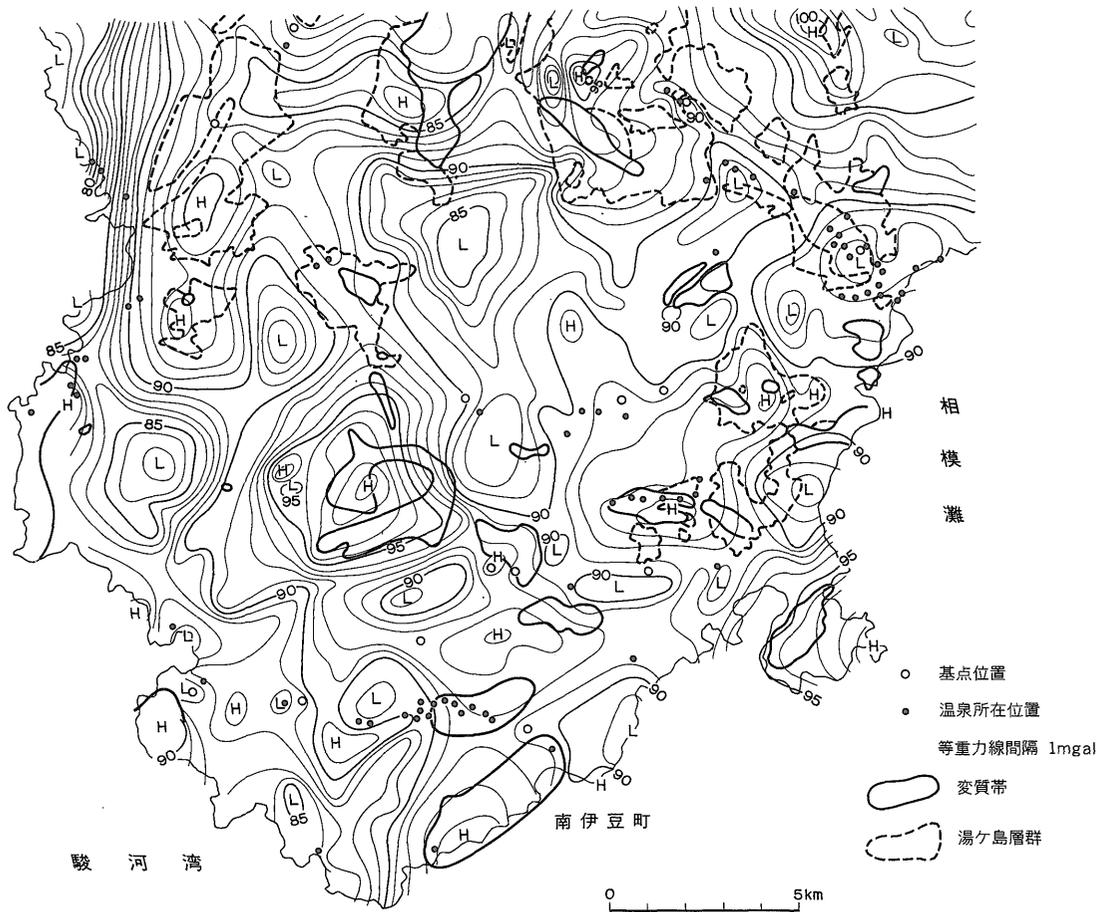
考えてよく、その分布と重力の正異常の対応がみられると解釈できよう。

またこの図には既知の温泉所在地が黒丸印にて記入されてある。この丸印の一つ一つは温泉井群または温泉井に対応する。温泉が集中しているのは、北より河津町の温泉群、中央の蓮台寺を中心とした温泉群、南端部の半島中央の下賀茂の温泉群、そして西海岸の松崎町を中心とした温泉などの4つの温泉群を指摘することができる。

第3表として、温泉の規模を知るため静岡県資料⁵⁾に

4) 前出3)に同じ

5) 静岡県衛生部温泉協会(昭49)、温泉実態調査報告書



第4図 重力(異常)と変質帯・湯ヶ島層群の分布と温泉位置図

よる温泉放熱量の表を掲げた。各町、市ごとの放熱量の統計を小計として示した。その右側のかっこ内の数字は福富の定義による温泉の熱階級である。上記の主な4つの温泉群はそれぞれ上記順に河津町、下田市、南伊豆町、松崎町(西伊豆町を含む)の温泉に対応する。したがって各温泉群は南伊豆町を最高放熱量としIV~Vの熱階級を有するものである。

河津町の温泉群は東海岸より北西方向に谷津、峰、湯ヶ野、梨本と名づけられた各温泉地からなっている。このようにすでに発見されている温泉の分布が重力の負異常とよく一致していることが第4図においてあきらかである。下田市の蓮台寺温泉を中心とした温泉群は正異常に関係づけてみる事ができる。また南伊豆町の下賀茂を中心とした温泉群は、低重力異常の鞍部状を示しているところに分布しているものとみることができる。さらに西海岸松崎町を中心としたものは重力傾度の大きいと

ころにそって分布しているものとみることができる。

既知のおもな温泉の分布がそれぞれ以上のような各重力異常と対応していると見ることができるので、各温泉群周辺に地熱探査をひろげていく場合これらの重力異常の範囲が一つの手がかりを与えると考えることができる。もちろん重力異常と地熱貯留層とを直接的に結びつけて考えるべき理由は今のところ乏しいが、既知の温泉群周辺から新しい探査をはじめようとするならば、上記の各異常地域からはずれないところがまず考えられる。この際当然のことながら他の方法による結果をも充分参考にする必要がある。

本地域全体にわたって、高、低の重力異常の規模が、わずかに数 km 以内であり、またその異常の差が 20 mgal 以下程度であることから判断すれば、これらの異常はそれほど深部でないところの地層の密度差を反映しているとみることができる。

第3表 温泉放熱量一覧表 (49年2月1日)

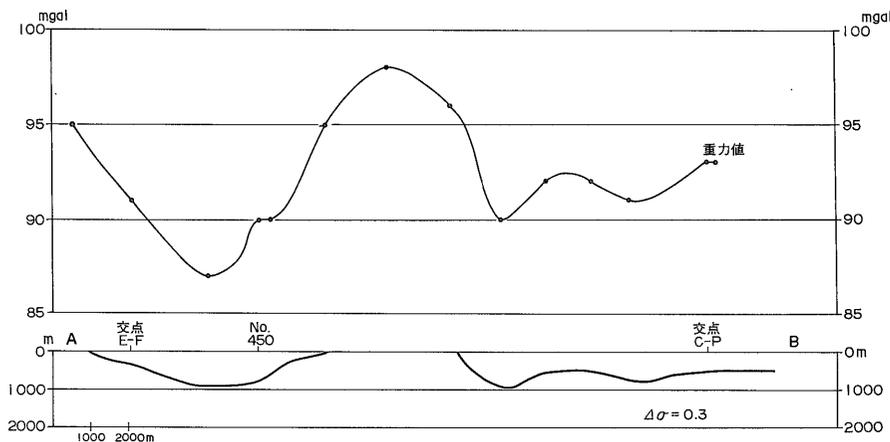
温泉名	源泉数	放熱量 (10 ⁶ cal/分)	平均 温度 (°C)
河津町谷津 (含浜, 笹原)	60	108.7	68.2
同 峰 (含田中, 沢田逆川)	43	137.9	90.3
同 湯ヶ野 (含筏場, 下佐ヶ野, 小鍋)	20	20.2	46.4
同 梨本	16	32.3	45.6
		小計 299.1(IV)	
下田市横川, 北湯ヶ野 (含相玉, 加増野)	18	6.6	49.3
同 河内, 蓮台寺 (含立野, 大沢)	55	302.5	56.4
同 吉佐見	4	1.0	30.8
		小計 310.1(IV)	
南伊豆町下賀茂 (含加納, 二条)	108	539.7	87.2
同 毛倉野	4	4.0	85.2
同 一色	2	2.5	29.0
		小計 546.2(V)	
松崎町雲見	3	12.5	41.5
同 石部, 岩地	5	110.3	53.5
同 松崎	9	47.4	60.4
同 大沢	7	27.1	45.0
西伊豆町仁科	6	4.0	39.8
同 堂ヶ島	5	42.0	40.3
同 大沢里	3	68.5	34.3
		小計 311.8(IV)	

先きのべたとおり、岩石の密度測定の結果では、密度は、2.8 g/cm³ 前後から 1.9 g/cm³ 位までさまざまな値を示すが、大きい値を示す方が圧倒的に多い。これはくずれやすい岩石や泥や砂などは密度の測定試料としなかったことによるもので、別に高度と重力値との関係から、探査地域内の平均密度を求めてみた結果では、南伊豆地区では2.0 g/cm³、河津町地区では、2.3 g/cm³ であったことも先述のとおりである。これは岩石試料の密度測定の結果より低い密度を示していることになり、くずれやすい岩石、砂、泥など軽い物質が広い範囲に混って分布している可能性を示す。

以上の密度測定の結果を考え、本探査地域で高、低い2つの密度の岩石(湯ヶ島層群中の安山岩類や岩脈など、約 2.6 g/cm³ の高密度の岩石とそのほか、約 2.3 g/cm³ 以下の岩石)との密度差を 0.3 g/cm³ と決め、地下構造の概要を知るため、2次元モデルによる2層構造の断面解析を試みた。ここで考えられる境界は白浜層群の安山岩、第三紀の岩脈の大量に存在しているところを除けば、湯ヶ島層群の最下部安山岩類までの深度を示すと考えることができる。

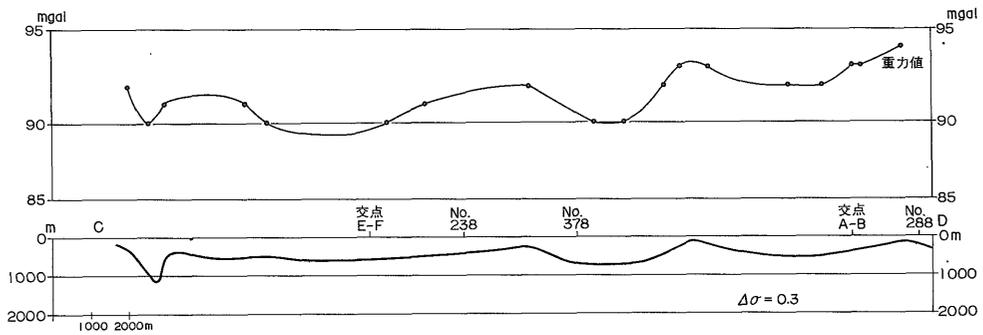
計算には、第3図の等重力線図を使用し、伊豆半島の南端から、北東、北西の方向(図には A-B, C-Dとして示す)と半島を横断する方向(図には E-Fと示す)との3方向について行った(第3図参照)。その結果は、第5, 6, 7図に示す。

計算にあたっては、概略の深度を求めるため、問題を簡単化し地表面を高低差のない水平面とした。したがってその仮想地表面が5~7図の0 m線で示されてある。この0 m線は、各断層の標高の平均値をもって水平地表面を示したと考えてよいであろう。

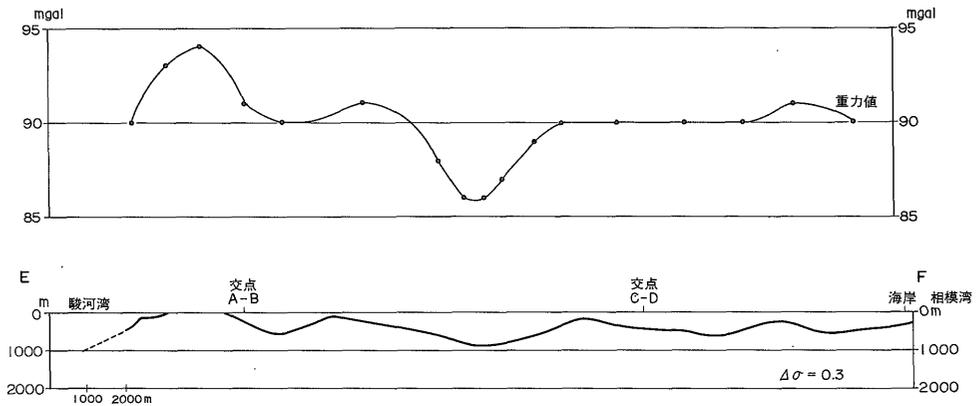


第5図 静岡県伊豆南部地下構造図 (A-B)

伊豆南部重力探査 (小川健三)



第6図 静岡県伊豆南部地下構造図 (C-D)



第7図 静岡県伊豆南部地下構造図 (E-F)

おもな地熱地域についてのべると、南伊豆町下賀茂では、低密度の上部層は500-600mの厚さとなり、低密度の地層が厚く広く分布していることを示しており、一方河津町の河津川沿いの低重力異常地帯では、500m以上の深度となり、大きな断層あるいは構造線が河津川に沿った地帯に存在していることが推定できる。この地区で最も低い重力異常を示す河津町峯付近は、その中心をなし低密度の岩石が厚く堆積しているところと考えられるから軽い岩石や割目の多い地層などが堆積しているのみでなく、断層あるいは破碎帯が存在する可能性が多いと予想できる。

松崎町松崎を通る重力傾度の著しい地帯では、駿河湾に沿って、断層または構造線が南北に走り、その落差は、3-400m以上にもなる。

同様に、ほかの重力傾度の著しいところも断層の存在が予想されるが、下部層が著しく盛り上った構造を示しているところは、断層または貫入岩体の存在を考えるべきであろう。

仮定した密度差を0.3のかわりに 0.4 g/cm^3 とすれば、

上述の上部層の深度は約30%位浅くなる。

このほか密度が高い熔岩の露頭が存在するにもかかわらず、低重力異常を示した蛇石火山付近は、おそらく、熔岩類は薄く存在して、火山体内部はむしろ軽い岩石からなっていることを予想させる。大峠・天神原付近がその中心となっているのであろう。

8. 結論

今回の探査によって、伊豆半島南部地区の重力分布をあきらかにすることができた。

その結果数多くの重力異常が認められた。そして次のような特徴を指摘することができた。

(1) 地質調査よりえられている変質帯および湯ヶ島層群の分布と、今回えられた重力の正異常の分布とよい一致がみられる。

(2) 既知の温泉群をえられた重力異常と関係づけてみると次のようになる。

河津町の温泉群は大きな負異常部の中に存在する。下田市の蓮台寺温泉を中心とした温泉は局部的正異常部に

ある。南伊豆町の下賀茂温泉を中心とした温泉は負異常中の鞍部状のところに位置している。また西海岸の松崎町を中心とした温泉は重力傾度の非常に大きいところにある。

(3) 重力異常と地熱流体の存在の可能性とを直接的に結びつけるには問題があるが、これらの特徴は今後の探査をすすめる上に大きな手がかりとなる。

(4) 探査地域の南端から北東および北西方向の断面、

および東西方向の断面の3断面について今回のデータより2層構造解析を行った。その結果は第5-7図に掲げた通りである。ここでえられた境界は高密度の白浜層群の安山岩あるいは第三紀の岩脈が多量に存在するところを除けば湯ヶ島層群の最下部安山岩類までの深度を示すと考えることができる。

(受付：1976年4月30日；受理：1976年10月1日)