

箱根火山地域における補足的重力測定(1999年)

横山 泉*、棚田俊收*²、萬年一剛*²

A supplementary gravity survey in Hakone volcano district in 1999
by
Izumi YOKOYAMA*, Toshikazu TANADA*² and Kazutaka MANNEN*²

Abstract

Hakone volcano has attracted geologists' interest since the 19th century because of its geological complexity and abundant hot springs in the caldera. A fundamental geological research of this volcano had been achieved in 1950s.

After 1970, drillings for hot springs have increased in number and depth though their sites were limited, and revealed the new findings in geology of the volcano. Additionally, modern ideas and techniques in geology have been applied to this volcano, and new aspects on its geology are surfacing.

The central part of Hakone caldera, occupied by the central cones, i.e. Kami-yama cone (1438 m high) and Komaga-take cone (1356 m high) have been left unsurveyed gravimetrically because of their difficult accessibility. There are no drilling wells in this region because of regulation of hot spring utility. It is necessary to combine the results of the drillings with the Bouguer anomalies to infer the geology of the whole caldera area. A supplementary gravity survey and necessary height measurements by a GPS were carried out in 1999. This report describes technical aspects of the supplementary gravity survey and related work, and preliminarily discusses the basement structure of the central part of the caldera. The authors expect that another paper should discuss volcanological significance of the structure of Hakone caldera on the whole.

1. はじめに

箱根火山はわが国の火山のなかで地質学的に最もよく調べられた火山の一つである。そのカルデラ内では温泉が豊富で、そのための多数のボーリングもなされてきた。その中には基盤に達する深さのものもあり、地下構造について貴重な情報を提供した。これらのボーリングは、その目的から、その場所は限定されていて、中央火口丘上には存在しない。箱根火山の地下構造を論じるには、中央部の知識が不可欠であるので、今回、重力異常から基盤構造を推定することを試みた。

2. 従来の調査、研究

箱根火山地域の基盤構造に関連する従来の調査、研究の概略を次に挙げる。

地質学 Kuno(1950)は地質図を作成すると同時に、岩石学的研究をした。その地質図を図1に示す。町田(1971)はテフラ(降下火山灰)を追跡して、25 ~ 15万

年前に大量の火砕流の噴出を伴って、古期カルデラが形成されたとした。Hirata(1996)は多数の岩石の年代測定をして、箱根火山の形成史を再編成し、5つのス

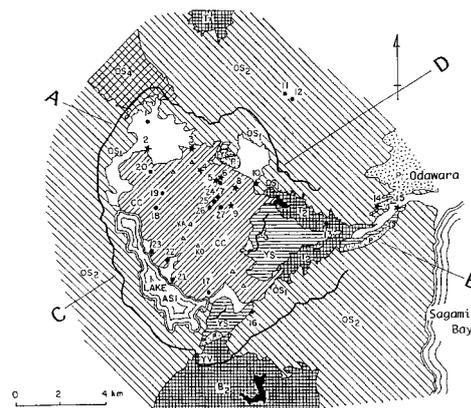


図1 箱根火山の地質図(Kuno, 1950)にボーリング位置を示す。星印は基盤の第三紀層に達するもの。OS: 古期外輪山、YS: 新期外輪山、CC: 中央火口丘、KA: 神山、KO: 駒ヶ岳。

Fig.1 Geological map (after Kuno, 1950) and drilling sites. The star symbols denote the drillings which reach the basement.

* 北海道大学名誉教授 〒186-0002 東京都国立市東1-17-7-1304

*² 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田586
論文, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第33巻, 1 - 10, 2002.

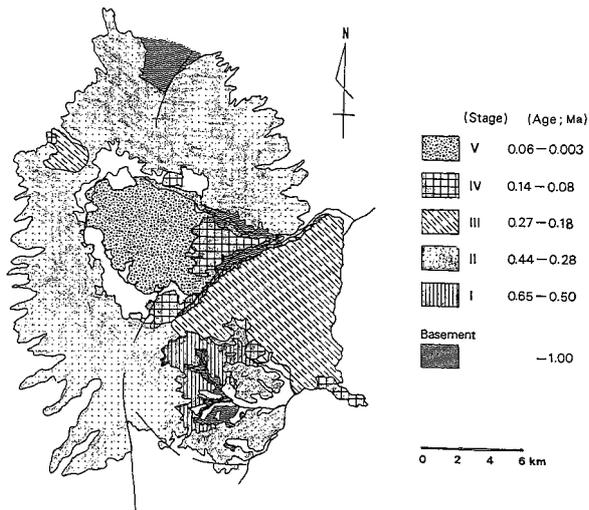


図2 岩石層序と K-Ar 法年代に基づく箱根火山の地質階 (Hirata, 1996).

Fig.2 Geologic stages of Hakone volcano based on lithostratigraphy and K-Ar age (Hirata, 1996).

テージからなることを示した(図2)。地層の密度はその年代により異なるので、重力異常との関係が注目される。高橋ほか(1999)は「新しい箱根火山像」を提唱した。その中で、新期外輪山の下位には、古期外輪山溶岩が広く分布する、と指摘している。平田ほか(2001)はボーリング・コアにより、箱根火山の基盤岩の岩石学的研究を行っている。

重力測定 Yokoyama and Saito(1965)は1962～1963年に、LaCoste & Romberg G型重力計を用いて、この地域内120点において重力測定を行った。国土地理院の水準点、独立標高点を含んだ。高度測定は携帯微気圧計により、その精度は3m以内とみられる。重力値の基準は宮の下の富士屋ホテル内の振子重力点(ポツダム系 $g = 979,723.1 \text{ mgal}$)であった。データのまとめに際しては、暫定的に、当時の国土地理院の処理法に準じ、地殻密度を 2.67 g/cm^3 、重力勾配を 0.3086 mgal/m として、地形補正を無視した。そのブーゲー異常を図3に示す。この分布は後述の地域異常(図8)に対応している。

これに続いて、平賀ほか(1970)は重力点を312点に増やして、ポツダム系に準拠してブーゲー異常値を求めた。補正密度を 2.3 g/cm^3 とし、地形補正を施した。この結果を図4に示す。この分布は、中央部の測定を欠いているが、今回の測定がこれを補完する。地質調査所(1981)はそれまでの資料を編集して、ポツダム系で補正密度を 2.3 g/cm^3 として、地形補正を加えて、50,000分の1の地図にまとめた。

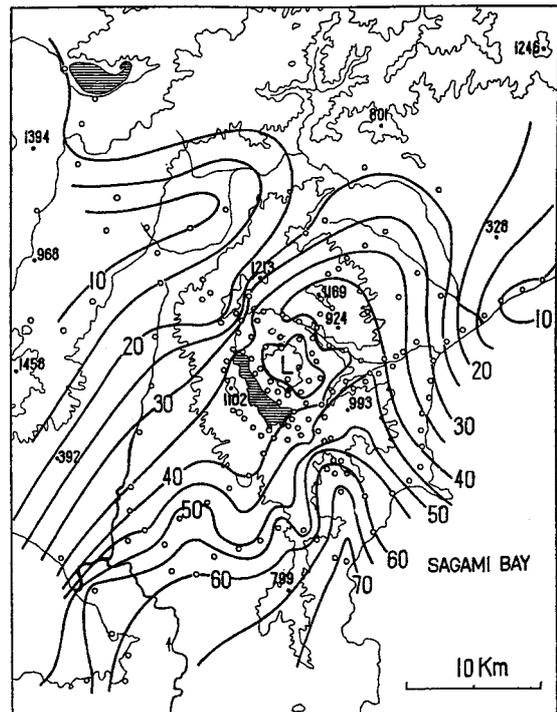


図3 ブーゲー異常分布 (Yokoyama and Saito, 1965). 補正密度 2.67 g/cm^3 , 地形補正なし.

Fig.3 Bouguer gravity anomaly after Yokoyama and Saito (1965).

地震活動 箱根火山の群発地震は1786年以来よく調べられており、1980(昭和55)年までに26回が報告されている(平賀, 1987)。平賀(1987)によれば、1959～1972年の箱根群発地震の震源は神山から大涌谷、早雲山硫気地帯にかけて、山体から海面下約3kmの間

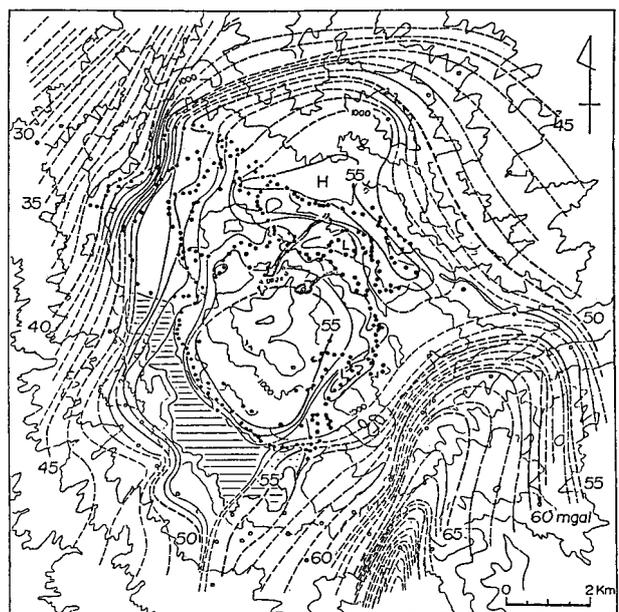


図4 ブーゲー異常分布 (平賀ほか, 1970). 補正密度 2.3 g/cm^3 , 地形補正加算.

Fig. 4 Bouguer gravity anomaly after Hiraga *et al.* (1970).

に分布する。この地帯では又、地中温度が高い。早川、飯塚(1972)は箱根火山の地震波速度構造モデルを提出した。

地磁気 1959(昭和34)年の有感地震を含む群発地震(Nos. 18 & 19; 平賀, 1987)が中央火口丘周辺に発生した際、Yukutake and Tanaoka(1960)は、この地震活動に伴うであろう地磁気変化を検出する目的で、プロトン磁力計による磁気測量をこの地域で実施した。その結果の一つとして、神山の帯磁の強さが異常に大きいことを指摘した。このことは、今回の調査対象である基盤の深さにも関係がある。

ボーリング 本地域には温泉ボーリングが多数存在するが、ここでは基盤構造を論ずるために、主として基盤に達するような深いものを図1に示す。この中で基盤の第三紀層に達する深さのものには*印を付してある。神山、駒ヶ岳を含む中央火口丘地域にはボーリングはない。上記の大部分のボーリング結果については、既にKuno *et al.* (1970)、平田ほか(2001)が研究している。

3. 補足的重力測定：1999(平成11)年

3.1. 重力および高度の測定

現在までの全ての重力点の分布を図5に示す。今回の補足的測定は、今まで重力点のない神山、駒ヶ岳を中心として、1999(平成11)年9月4～10日に、実施した。今回の補充点は二重丸で示してある。重力計はLaCoste & Romberg G型を用いた。

重力値の決定はIGSN 71により、基準値は東大地震研究所の地震計室の重力基準点における $g = 979,788.28 \text{ mgal}$ である。副基準点として、温泉地学研究所の地震計室の重力点を上記基準点と結んで、 $g = 979,777.22 \text{ mgal}$ とした。今回、確認のために、富士屋ホテル内の国際重力点で測定して、 $g = 979,709.17 \text{ mgal}$ (IGSN 71)を得た。奥田ほか(1962)による測定値(979,707.29mgal)に非常に近い値である。

重力測定値には重力計のドリフト補正、朝夕補正を施した。ドリフトに対しては、毎日の測定行脚の前、後に、副基準点で測定して、そこにおける重力変化の連続観測の結果を参照して補正した。測定期間(6日間)中のドリフト量は約1.3 mgalであった。

重力測定点の位置決定はGPSを用いた。使用した機器は高速静止測量が可能な2周波受信機であるTOPCON社製GP-RIDYである。1台は大涌谷自然科

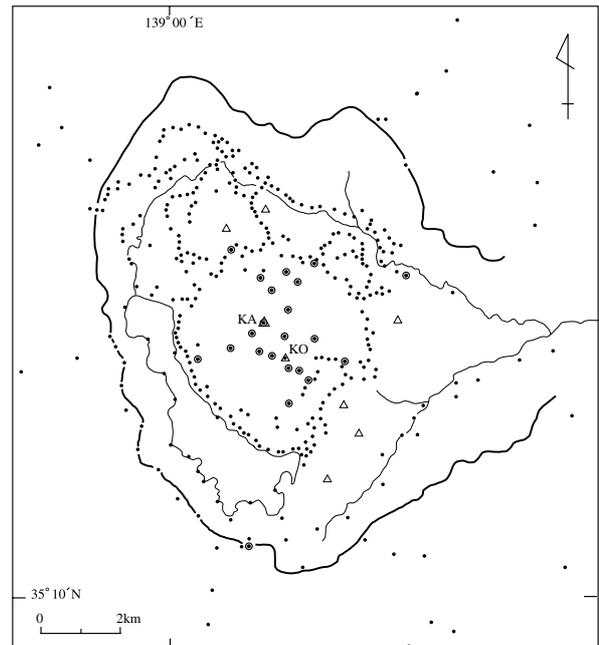


図5 箱根地域の重力点の分布。二重丸は1999年の測定点を示す(KA, 神山; KO, 駒ヶ岳)。

Fig.5 Gravity points in the Hakone district. Double circles denote the points surveyed in 1999 (KA, Kami-yama; KO, Komagatake).

学館屋上に設置し、GPS測量の基準点とした。もう1台の受信機は移動用として使用した。アンテナは、高さ2 mに固定して用いた。

基準点の高度($H = 1028.15 \text{ m}$)は、水準点宮ノ下(II12182: $H = 420.319 \text{ m}$)と箱根峠(001-102: $H = 830.763 \text{ m}$)から決定した。現地の測量では、4個以上のGPS衛星を確認した上で、10分以上データを取得するように心がけたが、いくつかの観測点では、衛星の受信状況が悪く、十分な精度が得られなかった。そのため、本報告では空欄とした。

なお、解析には東京大学地震研究所所有のソフトウェアを用いた。

3.2. 地形補正

各重力点における地形補正は、国土地理院の1/25,000、1/50,000、1/200,000の地形図を用いた。特に必要な場合は、箱根町作成の1/5,000の地形図を参考にした。神山を中心として半径48 km以内の地形に対して補正した。補正密度は、次節で述べる手続きで決めた 2.3 g/cm^3 を用いた。地形補正値の精度は数mgal程度と考えられるが、すべての点で同じ精度になるように努めた。今回の重力測定地域内の最大の地形

補正值は神山三角点(H= 1437.9 m)で 27.8 mgal である。

3.3. 高度に対する補正值(ブーゲー補正值)の決定
 一般に、ブーゲー異常 g は次の式で表わされる:

$$g = g_H + \delta t + (g / z - 2 G)H \quad (1)$$

ここで、 g_H は高度 H (m) の測点における重力値 (mgal)、 g は標準重力 (mgal)、 δt は地形補正值 (mgal)、 g は補正密度 (g/cm^3)、 G は万有引力定数を示す。対象にしている地域では、後述するように、 g は 55 mgal の周りに分布しているの、これは H によらないと仮定して、 H 500 m 以上に対して ($g_H + \delta t$) をプロットすると図 6 のようになる。これを直線で近似して、その勾配を最小自乗法で求めれば、 $(g / z - 2 G) = 0.211 \text{ mgal/m}$ を得る。ここで、 δt の誤差、最小二乗法の誤差を考慮すれば、この値の 3 桁以上は意味がない。いま、 g / z の値を、例えば、標準値 (0.3067 mgal/m) と仮定すれば、 $g = 2.29 \text{ g/cm}^3$ を得るが、ここでは、上記の高度に対する補正值 (0.211 mgal/m) を一括して適用して、ブーゲー異常値を計算する。すなわち、この補正密度は必ずしも火山を構成する物質の密度に対応するものではなく、 g / z の影響をも含んでいる。前記の地形補正の算出には、 $g = 2.3 \text{ g/cm}^3$ を用いた。

3.4. g / z に対する補正

地域的な重力異常に原因する g / z の異常を考慮する。その値は、一般に、地形の影響を受けて、山の頂上では大きい。神山、駒ヶ岳の山頂地域の重力値は、この地域の地下の異常質量によって生ずる鉛直重力勾配の異常 (g / z) の影響を受ける。ここでは 2 次元を仮定して、坪井 (1964) の方法によって、ジオイド上のブーゲー異常 (Real Bouguer anomaly) を Fourier 級数で表わして、周辺の高さの異なる観測点の重力異常値 (Station Bouguer anomaly) から補正值を求めた。神山周辺について計算すると、その値は 1.7 mgal となる。駒ヶ岳山頂地域についても、条件は殆ど同じであるので、Station anomaly に比例した補正值を加えた。その他の地点では、この補正值は 1 mgal より相当小さい。

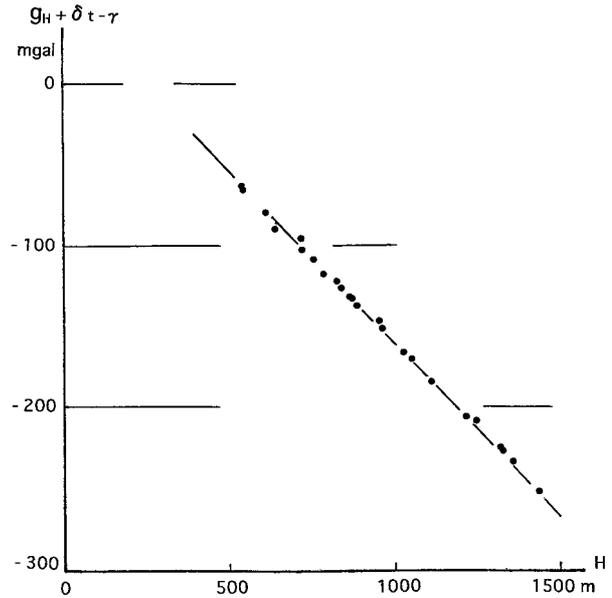


図 6 補正密度の決定。
 Fig.6 Determination of mean density for corrections.

3.5. ブーゲー異常

重力測定値に対して、ブーゲー補正、地形補正を加え、標準重力との差をとれば、ブーゲー異常が得られる。1999(平成 11)年の補充測定 26 点について、諸種の補正值およびブーゲー異常値を表 1 に示す。前記の重力鉛直勾配異常に対する補正值は、5 測点にたいして加えた。なお、解析に必要な過去の重力測定値を今回と同様に補正した参考点 22 点をも表 1 に加えた。GPS 測定が未完成の測点には * 印を付した。上記の補正密度の決定、地形補正の計算に伴う誤差を考慮すると、ブーゲー異常の相対的精度は $2 \sim 3 \text{ mgal}$ とみなされる。箱根カルデラおよびその周辺のブーゲー異常の分布を図 7 に示す。等異常線の間隔は 5 mgal である。この分布は、次に示す地域異常に箱根火山に起因する局地異常が重畳した結果である。地質図(図 1 と図 2) は必ずしも基盤の構造を反映しないので、ブーゲー異常分布との対応ははっきりしない。両地質図で南部の基盤の露頭は高重力異常に対応する。地域ブーゲー異常 伊豆半島北部から丹沢山地に至る地域の重力異常の分布を図 8 に示す(田島、1970 私信)。伊豆半島から延びる高異常は箱根の北で鞍部状に極小になる。この高異常の相当部分は第三紀の湯ヶ島層群(高密度)の存在によるものである。この種の高異常の例は、北海道の支笏カルデラで見られる。Yokoyama and Aota(1965)によれば、支笏カル

表1 箱根カルデラ地域における重力測定。ブーゲー異常値の右の数値は、重力の鉛直勾配に対する補正值。

Table 1 Gravity measurements on and around Hakone caldera.

No.	測点	標高 H	λ	ϕ	標準重力		地形補正 (mgal)	ブーゲー異常 (mgal)
		(m)	139°E	35°N	979, (mgal)	979, (mgal)		
1	大涌谷自然科学博物館	1028.15	1.3	14.5	753.42	580.22	7.0	52.0
2	駒ヶ岳三角点	1327.0	1.9	13.2	751.63	502.48	23.8	56.2+1.0
3	ケーブル3/4	(1260)	2.0	13.2	751.61	524.31	18	—
4	ケーブル中間	1174	2.0	13.1	751.55	541.05	16	54.6
5	ケーブル1/4	(1104)	2.0	13.1	751.47	557.52	12.8	—
6	ケーブル下駅	1050	2.2	13.0	751.36	573.22	9.0	53.7
7	富士屋ホテル BM	(423)	3.8	14.5	753.42	709.17	6.5	52.0
8	BM II 12182ホテル前	420.319	3.8	14.5	753.42	710.72	6.5	53.0
9	台ヶ岳バス停	933	0.9	14.8	753.83	603.54	5.5	53.2
10	SH 駒ヶ岳	1356	1.7	13.3	751.76	499.63	20.8	56.4+1.4
11	駒ヶ岳北西道	1242	1.4	13.4	751.91	531.89	12.4	55.9+1.0
12	神山南西道	1321.0	1.3	13.6	752.23	511.38	16.5	56.0+1.0
13	神山三角点	1437.9	1.4	13.8	752.43	474.98	27.8	55.5+1.7
14	冠ヶ岳北分岐点	1213.54	1.6	14.2	753.01	534.10	14.5	53.1
15	BM002-102箱根峠	830.763	1.1	10.8	748.16	622.88	4.1	55.1
16	神山東道	*	(1.9)			548.02		—
17	早雲山工事現場	*	(1.8)			539.59		—
18	早雲山下山道	*	(2.1)	14.4	753.24	571.20		—
19	早雲山美術館前	756.9	2.4	14.6	753.53	638.19	8.2	53.5
20	早雲地獄ボーリング	865.58	2.1	14.4	753.30	613.74	12.0	56.1
21	神山登山道	*				536.49		—
22	神山登山道中腹	1112.12	1.0	13.4	751.83	559.06	9	52.2
23	神山南西登山口	844.51	0.4	13.3	751.76	621.80	4.4	53.6
24	SH 駒ヶ岳南	962	1.9	12.8	751.08	595.47	4.9	53.4
25	SH 湯ノ花沢	952	2.4	13.6	752.12	598.75	7.8	56.4
26	SH 湯ノ花別荘	891	2.8	13.3	751.56	609.08	6.3	52.9
旧測定								
	鉄橋下 BM II 12180	184.672	5.4	13.9	752.56	756.73	7.0	50.3
	大平台 BM II 12181	327.651	4.6	14.2	752.98	727.00	7.3	51.1
	小涌園 BM II 12183	614.063	3.0	14.2	752.98	669.20	5.0	51.5
旧3	畑宿	380	04.1	12.6	750.80	719.28	9.8	58.9
旧7	芦之湯入口	844	2.7	13.0	751.36	614.83	7.0	49.6
旧8	六地藏	858	2.4	12.6	750.80	612.85	6.5	50.6
10	SH 726	726	2.0	11.8	749.65	646.82	3.5	54.7
50	孵化場	646	0.7	15.9	755.53	665.08	3.0	49.6
51	俵石	645	1.4	15.8	755.33	667.47	3.0	52.0
52	裏街道	545	2.2	15.4	754.66	686.10	4.4	51.5
53	SH 471	471.1	3.0	15.2	754.43	701.10	5.3	51.9
54	強羅ホテル	540	3.1	14.8	753.85	686.84	4.5	52.1
55	早雲山駅	751	2.3	14.6	753.56	636.93	9	51.7
56	上の湯	878	1.4	14.7	753.75	616.69	6	55.2
58	仙石原	790	0.0	14.5	753.42	630.92	6	51.1
80	駒ヶ岳南麓	861	1.7	12.5	750.66	617.37	4	53.4
83	SH ゴルフ場	661	59.5	15.4	755.33	658.91	3	46.8
A1	芦ノ湖岸	725	1.2	11.3	748.89	646.32	3.5	54.8
11	芦ノ湖鳥居	725	0.2	13.2	751.63	648.16	2.3	52.7
12	芦ノ湖	725	0.7	12.5	750.66	644.74	2.3	50.2
14	高原ホテル	752	59.7	14.3	753.13	637.56	4.4	48.4
15	ゴルフ場	693	59.1	14.9	753.99	650.12	3.5	46.7

デラの東方約20kmで3～4kmの深さにある第三紀層が支笏湖の東縁では地表に出ている、これに伴ってブーゲー異常は約40 mgal 増大している。このことは、基盤の隆起とマグマの凝集との関係を示すものとも考えられる。

カルデラの重力異常 箱根カルデラ地域のブーゲー異常図(図7)と図2の地質図(Hirata, 1996)を比較すると、45 mgal から60 mgal にいたる等異常線はほぼStage II 及び III (OS に対応)の地域を囲むようである。Stage IV (YS に対応)は等異常線とは無関係のようである。

カルデラに起因するブーゲー異常を見るために、図7のXY線に沿って、ブーゲー異常と地形のプロファイルを図9に示す。重力異常は北から、40、50、60 mgal と増加するが、箱根カルデラ域では、その傾向が消えて、ほぼ古期外輪山(OS)に挟まれた範囲で相対的に低異常となる(破線との差)。このことは、一般には、カルデラ形成によって基盤が削られて、そこに密度の小さいカルデラ噴出物が堆積していることを示す。しかし、後で議論するように、箱根カルデラでは、基盤が浅く、カルデラ構造の効果は顕著ではない。そして、新时期(YS)外輪山に起因するブーゲー異常は認め難い。図9において、Y端には藤木川上流の

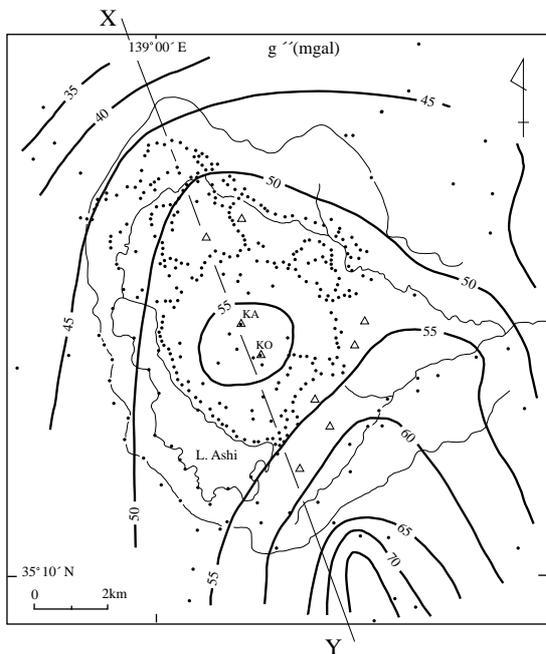


図7 箱根カルデラ地域のブーゲー異常分布。補正密度は 2.3 g/cm^3 、地形補正加算、等異常線の間隔は5mgal。
Fig.7 Bouguer gravity anomalies on and around Hakone caldera. Thick line indicates the caldera boundary. Correction density is assumed to be 2.3 g/cm^3 . Contour intervals are 5 mgal.

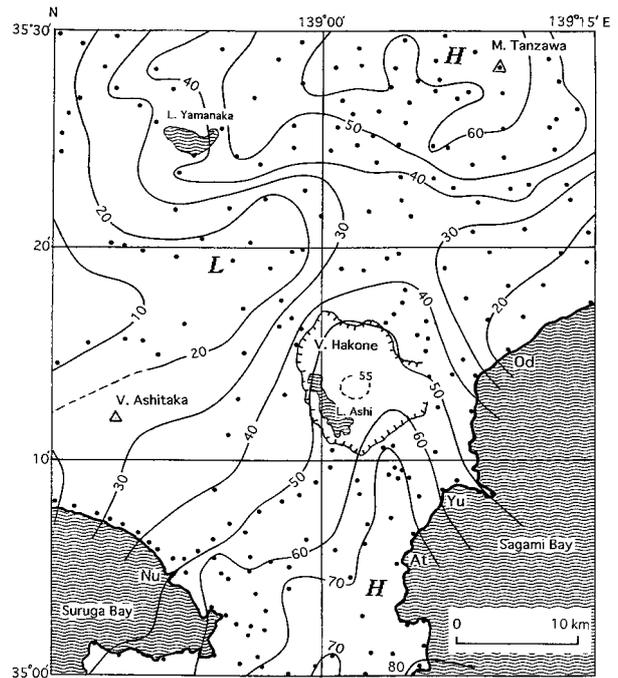


図8 伊豆半島北部から箱根カルデラにいたる地域のブーゲー異常の分(田島, 1970 私信)
Fig.8 Bouguer gravity anomalies from the Izu peninsula to Hakone caldera after Tajima, H. (1965, private com.).

湯ヶ島層群が露出している、これに対応してブーゲー異常が大きい。この地域のより詳細な解析は今後の課題であろう。なお、神山直下の湯ヶ島層群は次節の議論によって決められたもので、金時山に近い湯ヶ島層群はボーリングの結果である。

4. 箱根火山のブーゲー異常について

4.1. ボーリングにより決められた基盤とブーゲー異常

今回の重力の補充調査の目的は、箱根カルデラ内のボーリングにより決められた基盤とブーゲー異常との関係を求め、ボーリングの結果を利用できない地点(中央火口丘地域)の基盤の深さをブーゲー異常から推定することである。問題の地域は中央火口丘を含む地域であるが、いま、図1で深いボーリングの多いAB線(丸岳～石橋山)に沿って、ボーリングから決まった基盤とブーゲー異常のプロファイルを示すと、図10のようになる。図中の湯ヶ島層群露頭は宮の下の早川流域に見られるものである。基盤が浅いとブーゲー異常値が大きい傾向があるようである。ここで、各ボーリングの基盤上面の海拔高度とその地点近傍の重力異常をグラフにすると、図11のようになる。各地点の局地性を避けるために、これらのプロットの平均を

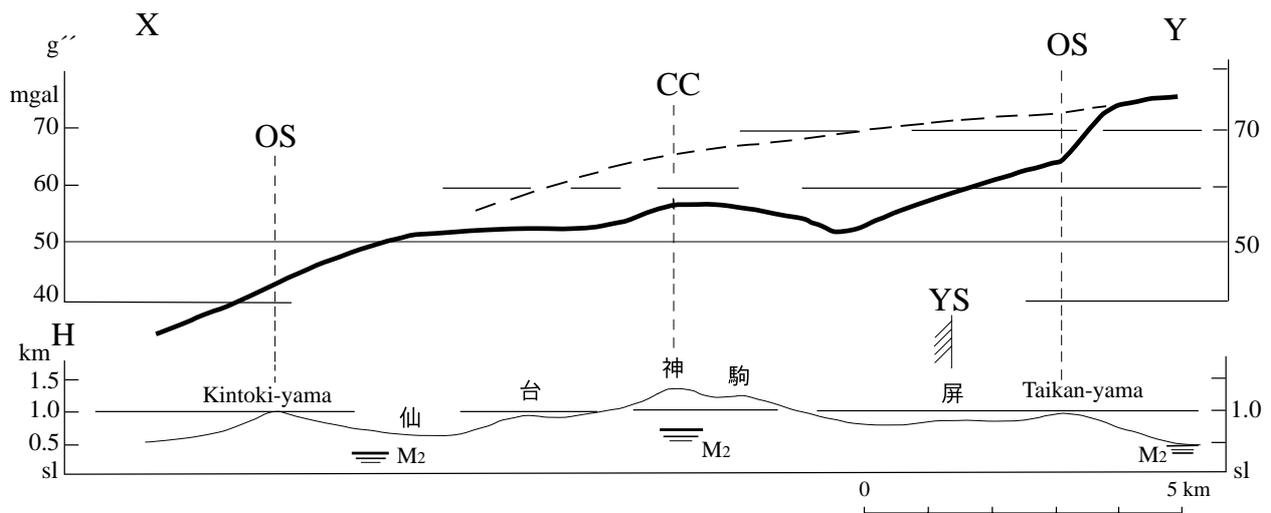


図9 図7のXY線(N 340°)に沿う重力異常と地形のプロファイル。M₂は基盤の第三紀湯ヶ島層群の上面を示す。
 Fig. 9 Profiles of gravity anomaly and topographies along line XY (N 340°) in Fig. 7. M₂ indicates top of the basement of this region, Yugashima group.

とると、星印、すなわち基盤高度約 300 m で、ブーゲー異常 52 mgal となる。ただし、このとき、ボーリング No. 13 は神山から大きく離れるので除外した。

4.2. 中央火口丘神山直下の基盤高度の決定

上記の基盤高度とブーゲー異常との関係が 図 1 の CD 線(三国山～明星岳)に沿っても成り立つとして、中央火口丘の神山直下の基盤の深さを論ずる。CD 線のブーゲー異常およびボーリングから得られた情報をプロファイルとして示すのが 図 12 である。基盤に達したボーリングは Nos. 6、8、10 の 3 本である。

神山三角点におけるブーゲー異常は前述のように 57.2 mgal である。

ここで、箱根火山地域の岩石の密度(g/cm^3)は諸種の文献から次のようである；

- 湖成および崖錐堆積物； 2.0、
- 中央火口丘溶岩
(含 火砕岩および泥堆積物)； 2.2 ~ 2.3、
- 新期外輪山溶岩； 2.5 ~ 2.6、
- 古期外輪山溶岩； 2.5 ~ 2.6、
- 早川凝灰角れき岩(Late Tertiary)； 2.5 ~ 2.6
- 湯ヶ島層群(Older Miocene)； 2.5 ~ 2.65。

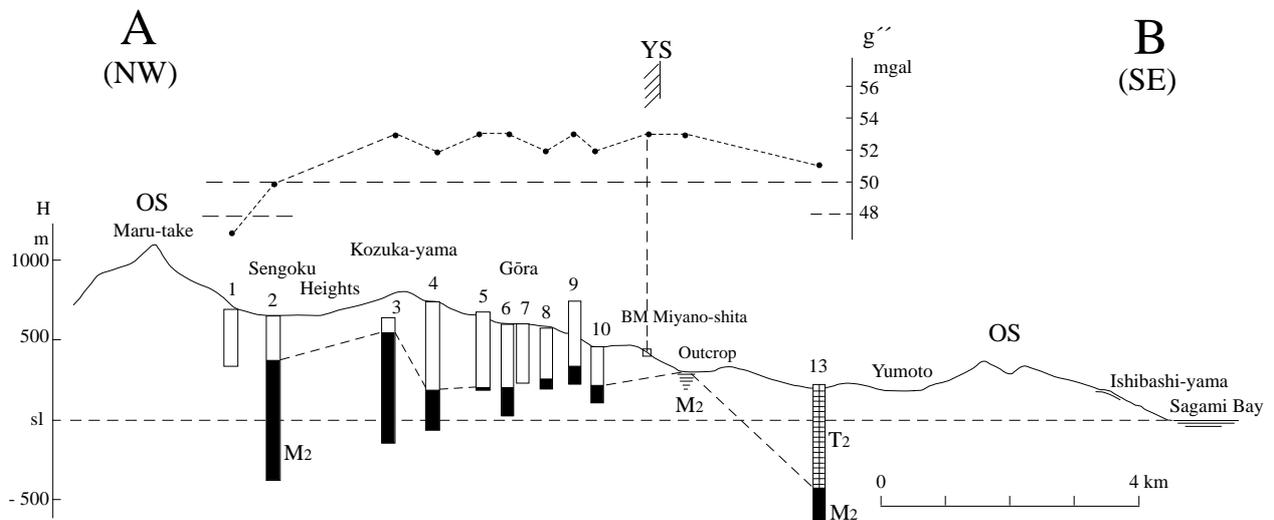


図10 図1のAB線に沿うブーゲー異常とボーリングの柱状図。
 Fig.10 Gravity anomalies and columnar sections at the drilling sites along line AB (from Maru-take to Ishibashi-yama) in Fig. 1.

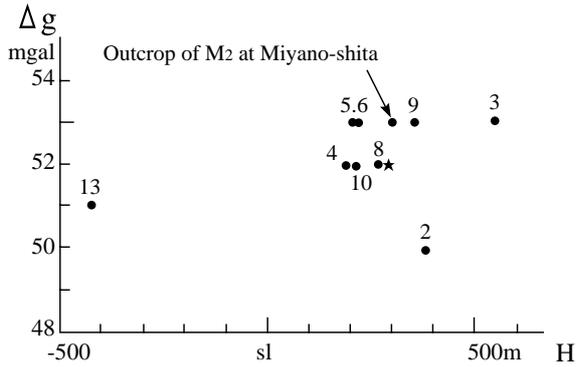


図11 プーゲー異常と基盤の湯ヶ島層群 (M₂) の高度との関係。星印は平均値を示す。

Fig.11 Gravity anomalies versus depths of the Tertiary basements Yugashima group (M₂) found at drilling sites. Star symbol indicates the mean value.

早川、飯塚(1972)は伊豆、房総半島付近から採取した7ヶの湯ヶ島層岩石の密度を測定して、平均値2.65 g/cm³を得ている。厳密には、これらの岩石試料の密度が地層の平均密度に必ずしも等しいものではないが、地層間の密度差を考えるには妥当なものである。

いま、強羅地域と神山地域のプーゲー異常値の差の原因を基盤層の高度の差と考えると、次の関係を得る；

$$(57.2 \sim 52) \text{ mgal} = 2 \cdot G(x \sim 300) \text{ m} \quad (2)$$

ここで、 ρ は基盤 (湯ヶ島層群 : 2.6 g/cm³) と火山噴出物(中央火口丘溶岩 : 2.3 g/cm³)との差、G は重力定数、x は神山地域の基盤の海拔高である。この関係から x = 690 m を得る。すなわち、神山(海拔 1438 m)のほぼ半分の高度に基盤が存在する。Yukutake and Tanaoka(1960)の指摘した全磁力の異常が、これより上位の神山噴出物によってもたらされるのであろう。

以上の結果とボーリングの結果と考慮して、CD線の地下構造を推定すると、図12のようになる。この線上には、現在、基盤の上面高度に二つのピークがある。それらの間にある凹みをカルデラ形成噴火の中心と考えることはもっともらしく(図中の大きい○；早雲山付近)、カルデラ形成以前の基盤は一つのなだらかな曲線を描いたであろう。

箱根カルデラの基盤はカルデラ中央部においてもっとも浅く、現在の重力測定の空間的精度では明瞭な陥没構造やカルデラフィル堆積物の存在などを指摘し得なかった。このことは、箱根カルデラが大噴火

に伴って現在の地形的なカルデラ構造を形成したのではないことを示唆している。これまで湖尻、下湯場、早雲山、笛塚などで中央火口丘溶岩の下位で見つかった厚い凝灰角礫岩が発見されている(萬年、1998；1999；萬年、杉山、2000；萬年ほか、2001)。これらはカルデラ形成期の火口充填堆積物である可能性が高いが、これらは中央火口丘周辺部に散在するのみで、中央火口丘の地下全体に広がるような構造でないことが、今回の重力測定から示唆される。

中央火口丘は、数万年前にSW側の湯ヶ島層群(M₂)の頂部(図中の小さい○印)から噴出してカルデラ低地を埋めたものであろう。

5. 結語

本地域の地域的プーゲー異常の分布は基盤(湯ヶ島層群)の分布に対応するものである。箱根火山はその北端近くに噴出した火山である。箱根火山においては、その基盤の凹凸とカルデラ構造が重畳しているので、その構造は一見複雑である。

従来の測定結果も参照して箱根火山のプーゲー異常分布をまとめた。今まで測定できなかった箱根中央火口丘上のプーゲー異常を求め、これを隣接地区のボーリング結果と結びつけて解析して、神山では海拔 690 m の位置に基盤(湯ヶ島層群)がドーム状に潜在すると推論した。神山はその頂部から噴出したと考えられる。この数値は、補正密度のとりかたなど、解析の精度によって多少変わるが、ドーム状の隆起は変わらない。駒ヶ岳についてもほぼ同様な推論が可能であろう。

本報告においては、主としてカルデラ内の3本のプロファイルについて議論した。今後、より多くのプロファイルについて議論するために、諸種のデータを得るよう努力したい。

冒頭でも述べたように、箱根火山地域には多数のボーリングがあり、貴重な地質学上の知見がえられている。今後、これらを解析して、重力異常から求められた基盤構造とも合わせて解釈を進めることが望まれる。

謝辞

GPS測量の機器の取り扱いおよび解析には、東京大学地震研究所渡辺秀文教授および及川純博士の多大なる協力を得た。箱根町大涌谷自然科学館袴田和夫館長にはGPS測量の基準点として同館屋上の使用を快

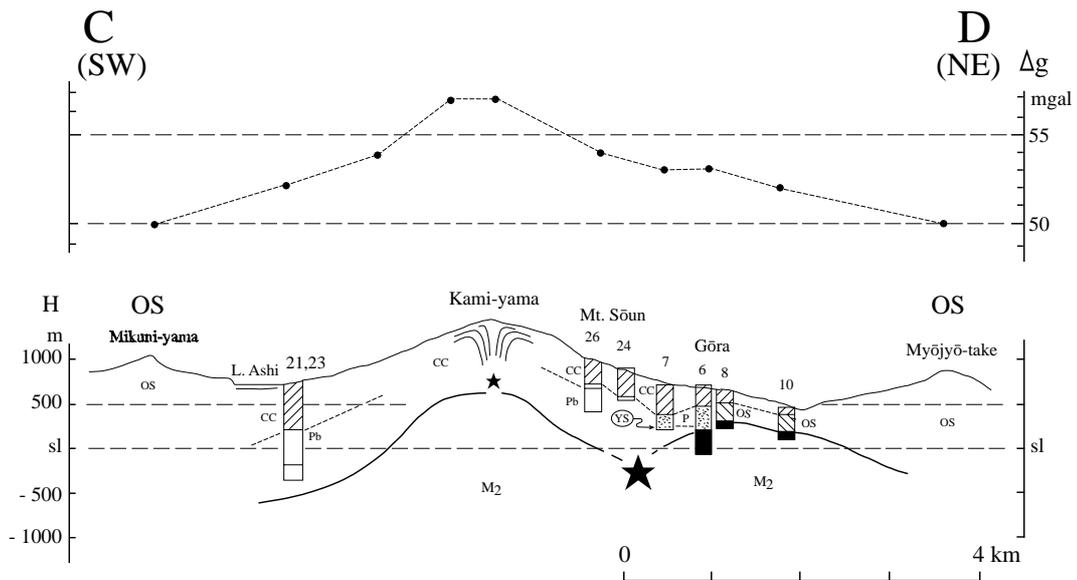


図 12 図1のCD線に沿うブーゲー異常と基盤構造。大きい方の星印はカルデラ噴火の中心、小さい方は神山噴出の中心と考えられる。
 Fig.12 Gravity anomalies and basement structure along line CD (from Mikuni-yama to Myōjyō-take) in Fig. 1.
 The two star symbols show probable explosion centers of the caldera (large) and Kamiyama (small).

く許可していただいた。また、今回の野外測定は、温泉地学研究所研究員小沢 清氏、伊東 博氏、松沢親悟氏、八巻和幸氏、板寺一洋氏、宮下雄次氏、小田義也氏の労力提供なくしては完成しなかった。伊豆箱根鉄道株式会社には調査の便宜を図っていただいた。以上の方々に深く感謝の意をあらわします。今回の調査に関連して、故平賀士郎博士の業績に接して、改めて敬意を捧げる次第である。

参考文献

地質調査所 (1981) 伊豆 - 箱根地域ブーゲー異常図。
 早川正己、飯塚進 (1972) 伊豆半島周辺の地球物理学的研究, 伊豆半島, 東海大学出版会, 217- 243.
 平賀士郎 (1987) 箱根火山と箱根周辺海域の地震活動, 温地研報告, 18, 149-272.
 平賀士郎、田島広一、広田茂、河西正男 (1970) 箱根火山の重力調査(第一報), 温研報告, 1, 33-38.
 平田大二、山下浩之、萬年一剛、谷口英嗣 (2001) 箱根火山の基盤岩に関する岩石学的研究, 地学雑誌, 119, 420-426.
 Hirata, Y. (1996) Geology and volcanic activity of Hakone volcano, Japan. IBM (Izu-Bonin-Mariana) Arc System Workshop Program with Abstracts, 103-106.
 Kuno, H. (1950) Geology of Hakone volcano and adjacent

areas. Part I. J Fac. Sci., Univ. Tokyo, sec. II, 7, 351-402.
 Kuno, H., Oki, Y., Ogino, K. and Hirota, S. (1970) Structure of Hakone caldera as revealed by drilling. Bull. Volcanol., 34, 713-725.
 町田 洋 (1971) 火山灰から見た箱根火山の一生 - テフクロクノロジー, 日本火山学会編, 「箱根火山」, 77-102.
 萬年一剛 (1998) 箱根火山の地下構造 - 温泉ボーリングからのアプローチ - ,平成10年度東京大学地震研究所研究集会報告書「富士・箱根および周辺火山における噴火長期予測のための研究集会(課題番号: 1998-W-08) , 5-6.
 萬年一剛 (1999) 箱根下湯場地域で掘削された2本の温泉ボーリング地質と温泉, 温地研報告, 31, 1-15.
 萬年一剛、杉山茂夫 (2000) 元箱根36号温泉井のボーリング地質と温泉, 温地研報告, 31, 77-90.
 萬年一剛、高橋正樹、内藤昌平 (2001) 箱根火山中央火口丘直下の凝灰角礫岩, 日本火山学会講演予稿集 2001年度秋季大会, 136.
 高橋正樹、長井雅史、内藤昌平、中村直子 (1999) 箱根火山の形成史と広域テクトニクス場, 月刊地球, 21, 437-445.
 奥田豊三、鈴木弘道、実川 顯、田島広一、熊谷直一、阿部悦夫 (1962) ウォルドン重力計による京都箱根間重力比較測定, 日本測地学会誌, 8, 47-58.

坪井忠二 (1964) 相異なる高さにおいて観測された重力値からジオイド上における Bouguer 異常を求めること, 測地学会誌, 10, 94-100.

Yokoyama, I. and Aota, M. (1965) Geophysical studies on Sikotu caldera, Hokkaido, Japan. J. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. VII, 2, 103-122.

Yokoyama, I. and Saito, T. (1965) Preliminary report on a gravimetric survey on Volcano Hakone, Japan. J. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. VII, 2, 239-245.

Yukutake, T. and Tanaoka, I. (1960) Magnetic survey on Hakone Volcano by use of a Proton Magnetometer. Bull. Earthq. Res. Inst., 38, 41-54.