

12. 霧島火山周辺の Bouguer 異常

地震研究所 { 田 島 広 一
 { 荒 牧 重 雄

(昭和 55 年 2 月 29 日受理)

1. はじめに

霧島火山が位置する九州南部は火山活動のさかんなところで、霧島火山をはじめ、桜島や開聞岳、指宿火山群^{いぶすき}などの新しい活火山がある一方、大規模な火砕流の噴出とカルデラの生成という様式の火山活動で特徴づけられる地域である (Fig. 1).

霧島火山は 1900 年代のはじめまでは活動的であったが、最近では 1971 年に手洗温泉付近で小規模な水蒸気爆発があった程度で、比較的静穏な状態が続いている。また、北西—南東にのびる霧島火山群の北西端にあたる加久藤^{かくだう}地域は、北側と西側を肥薩火山岩類からなる比高 600 m に達する山嶺によって囲まれていて盆地状の地形をしている。有田 (1957 a, b) は、このような地形と、加久藤盆地の周辺に広範囲に分布する溶結した火砕流堆積物の対比に基づいて、盆地を中心とした大型のカルデラを想定し、「加久藤カルデラ」という名を提唱した。

1968 年 2 月初旬から加久藤盆地の南部に群発性の地震群が起り、そのうち 2 月 21 日 10 時 45 分の $M 6.1$ の地震はえびの・真幸地区で震度 5 以上に達し、多大の被害を与えた (えびの群発地震; MINAKAMI, *et al.*, 1969)。この地震についての研究調査の一環として行なわれた重力調査の結果 (瀬谷, 小川, 1971) をみると有田の提唱した加久藤カルデラの輪部にはほぼ一致して負異常の目玉があることが明らかになった。また筆者の一人 (荒牧) の地質調査によっても、有田 (1957 a, b) の述べたように加久藤カルデラから噴出したと判断される溶結火砕流堆積物が広い地域に分布することが明らかになった (荒牧, 1968 a)。加久藤火砕流堆積物の分布範囲の予察図を Fig. 2 に示す。

このような背景のもとに、LaCoste and Romberg 重力計 G-34 を使用して 1969 年 5 月末から 6 月中旬にかけて、加久藤カルデラ及びその東方 (宮崎県小林市を中心とする地域) 約 750 km² の地域で約 190 点の重力を測定した。また地質調査所が 1968 年に加久藤地域を中心として行なった重力測定 (瀬谷, 小川, 1971) の結果のうち約 180 点についても再計算を行ない解析に使用した。なお国土地理院の測定した本地域の周囲の水準点等における重力値に HAGIWARA (1967) が地形補正を施した資料も参考とした。

2. 測定方法と重力値の決定

測定の方法は、ループを作ってドリフトを消去するという、もっとも簡単な方法を採用した。この際、地球潮汐の補正を行ない、潮汐定数 (G factor) には 1.2 を使用した。

測定点の分布は Fig. 3 に示す。この図で黒丸は今回の測定で数字は測点番号、白丸は

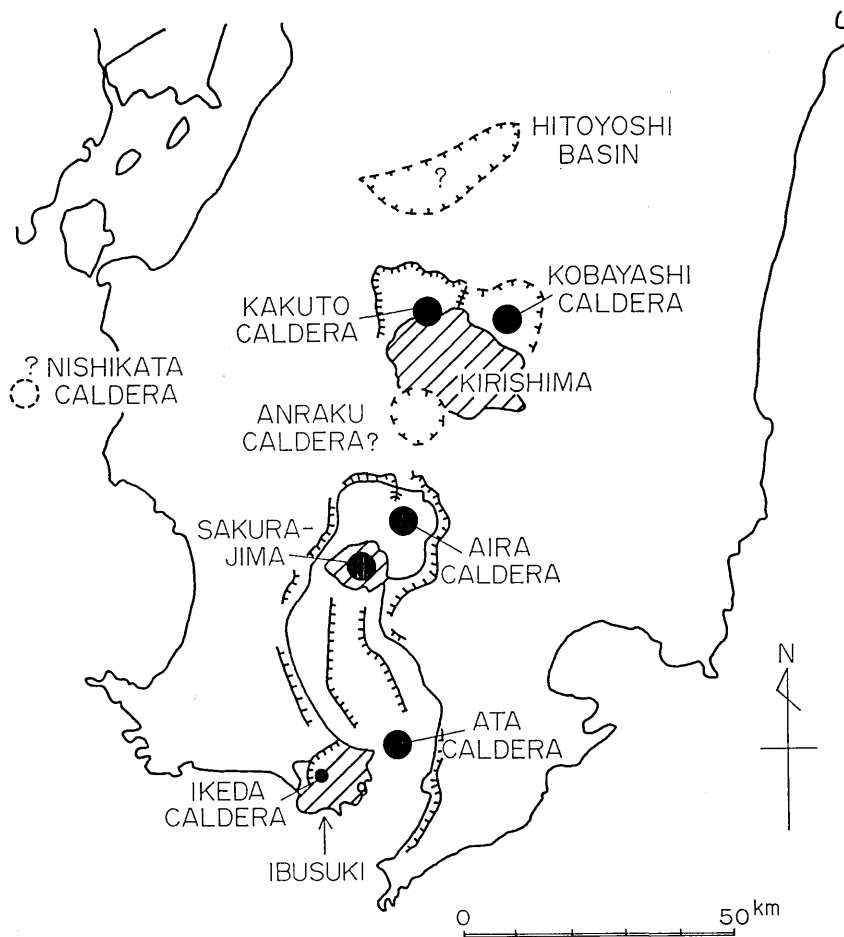


Fig. 1. Index map showing general position of major calderas and active volcanoes in southern Kyushu. Solid circles indicate inferred position of the vents of pyroclastic flows related to caldera formation. Hatched areas are active volcanoes. The Hitoyoshi basin is probably structural and not volcanic. Existence of a Nishikata caldera is suggested but not conclusive.

地質調査所の測点である。

測定点の重力値を決定するに当っては、従来使用されていたポツダム系の重力値に代えて、新しい重力ネット IGSN71 (International Gravity Standardization Net 1971) (MORELLI *et al.*, 1974) を採用した。このネットで東京大学重力基準点は 979.78872 gal と決定されている。そこで、現地に出発する前 11 日間と帰ってからの 8 日間の東大基準点の測定値と、現地で基準点とした小林市役所内の市民会館での 15 日間の測定から

$$g_{\text{TORYO}} - g_{\text{KOBAYASHI}} = 363.34 \text{ mgal}$$

を求めた。したがって

$$g_{\text{KOBAYASHI}} = 979.42538 \text{ gal}$$

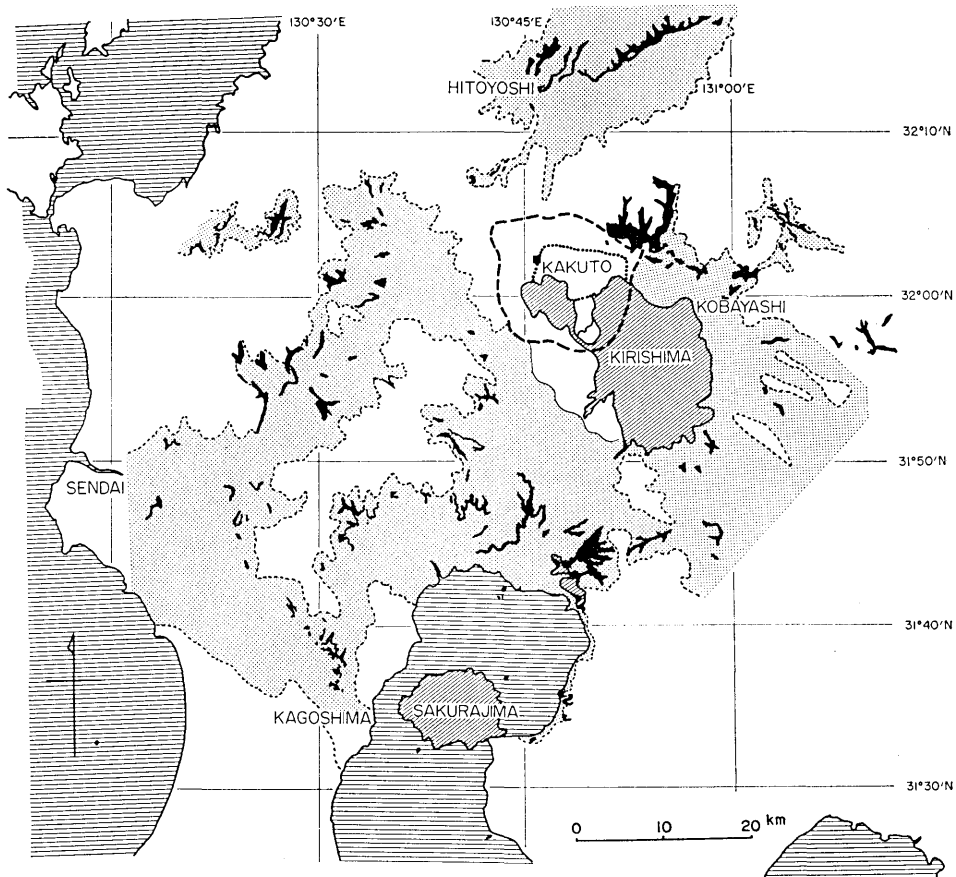


Fig. 2. Map showing the distribution of the Kakuto pyroclastic flow deposit which is related to the formation of the Kakuto caldera. Solid areas are the outcrops and dotted areas are the inferred original extent of the deposit. The heavy broken line is the present topographic rim of the Kakuto caldera. The dotted line outlines the probable extent of the collapse area. The solid square on the dotted line indicates the position of a drill hole where the basement rocks are encountered at the depth of 367 m below surface. Obliquely hatched areas are Kirishima and Sakurajima volcanoes both of which erupted after the eruption of the Kakuto pyroclastic flows.

として、各点の重力値は、小林市民会館との差から決定した。

なお、地質調査所の測点については、その基準点7点を再度測定して、7点間の地質調査所の値との差が 0.06 mgal 以内であることを確認した。他の地質調査所の点すべては、この7点を基準にして、IGSN71 の基準に引き直した。

3. Bouguer anomaly を求めるための補正

IGSN71 の採用に伴い、1930 年国際式に代えて、測地基準系 1967 (Geodetic Reference

System 1967) (IAG, 1971) に基づく正規重力式を採用した。

重力点は、その 95% ほどは水準点・三角点・独立標高点等の高さ既知の点を使用した
が、残りの 5% ほどは micro-barometer による高さ既知点との連結と、空中写真を使用
しての簡易図化機による高度決定を併用して行なった。

Bouguer 異常を求めるには、その地域の平均密度を決める必要がある。簡単に推定す
る方法として、測定点高度と重力値が直線関係にあると仮定し、その勾配から平均密度を
求めることがよく用いられている。この方法では重力値に地形の影響が考慮されていない
ために、密度を大きく見積る可能性があり、特に山岳地域では注意を要する。そこで、次
の方法 (RIKITAKE *et al.*, 1965) により密度を決定した。簡単に説明すると、ある適当
な密度で各点の地形補正を行ない、その地域を平板におき直し、各点の平板による平均的
鉛直勾配 (Bouguer だけによる勾配) から密度を求め、その密度と地形補正に使用した
密度と比較し、両者の一致した密度をその地域の平均密度とする方法である。この両密度
の関係を Fig. 4 に示す。この図で明らかなように、両者の一致した密度は 2.30 gr/cm^3
で、補正にはこの値を採用した。

地形補正は 5 万分の 1 地形図上で、1 km mesh で高さを読みとり、これによって測点の
周囲 20 km すなわち 40 km 平方について補正を行なった。

地形補正を施した場合、Bouguer 補正に問題が生ずる (田島他, 1978)。すなわち、

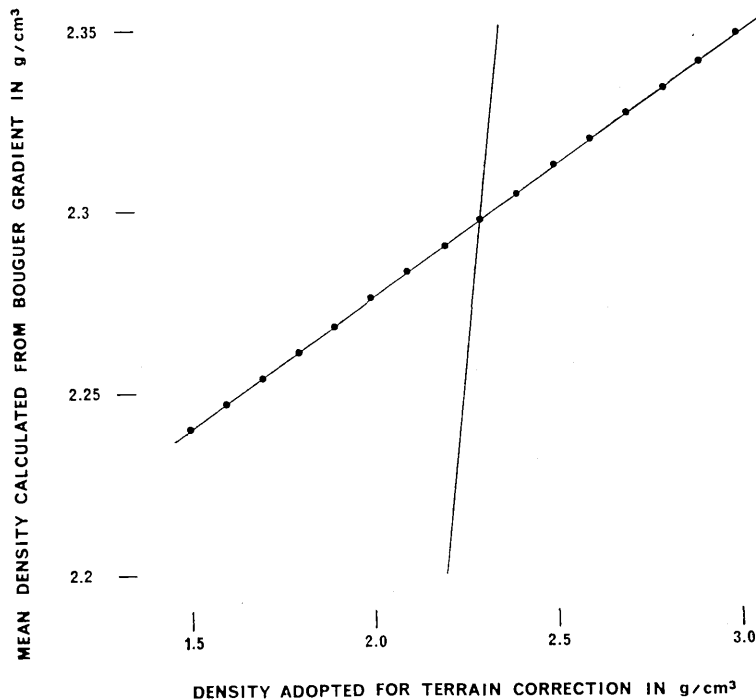


Fig. 4. Diagram showing the relationship between the density adopted for terrain correction and the mean density calculated from the Bouguer gradient.

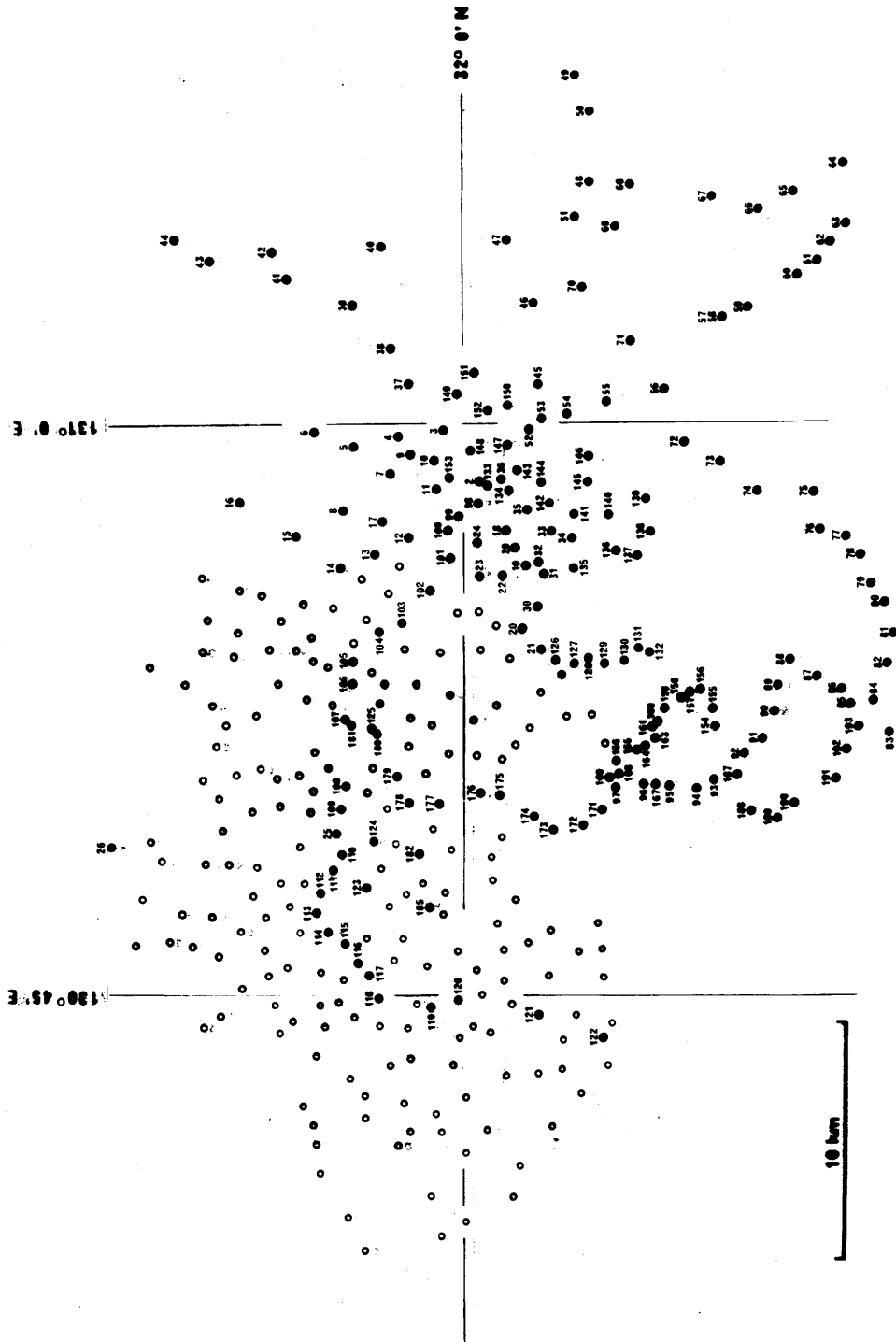


Fig. 3. Map showing the location of gravity stations with station numbers. Solid circle: gravity station of this report, open circle: gravity station occupied by the Geological Survey of Japan (SAYA and OGAWA, 1971).

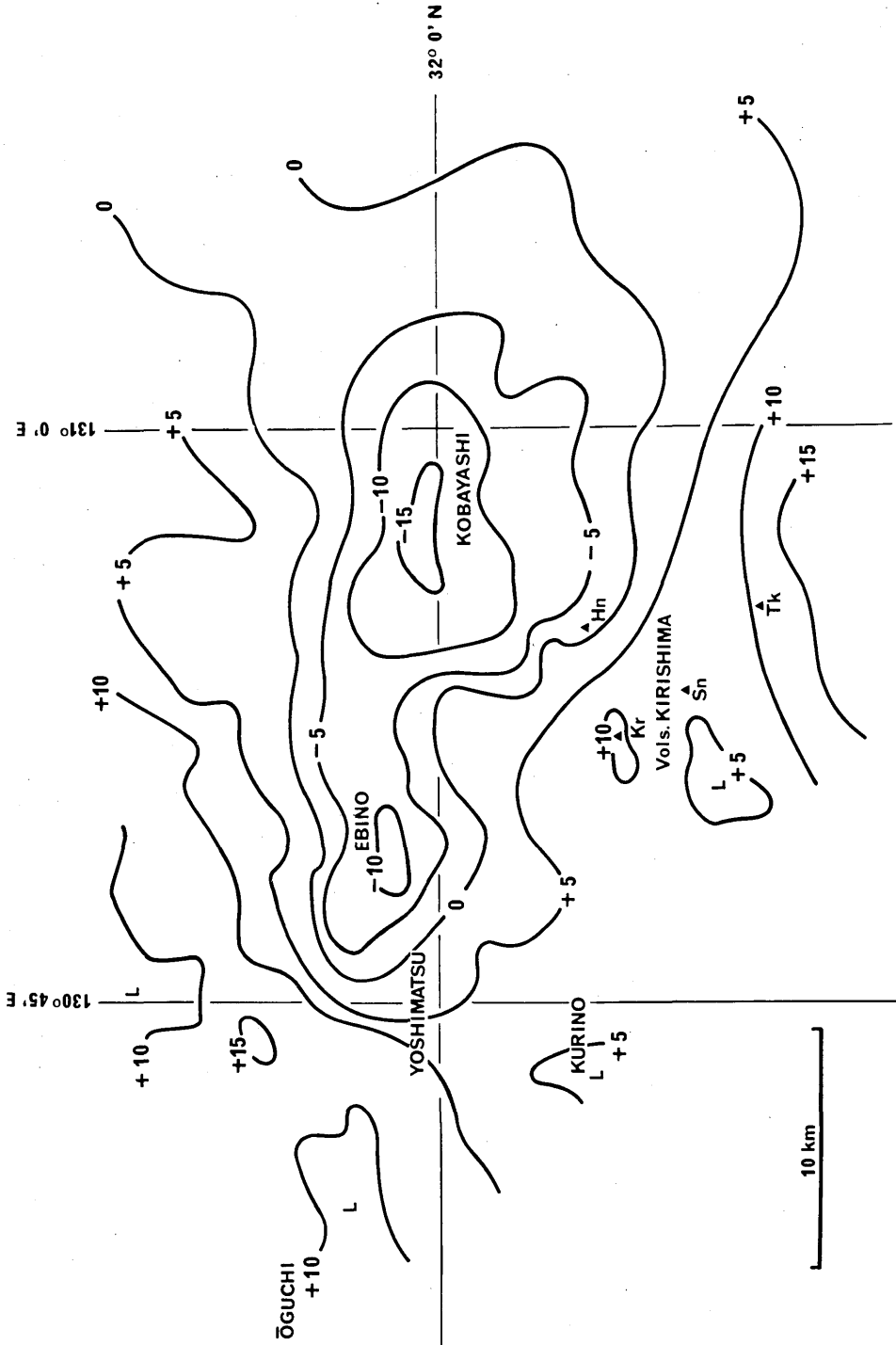


Fig. 5. Contour map of Bouguer anomaly in mgal. Kr: Mt. Karakuni-dake, Hn: Mt. Hinamori, Sn: Mt. Shimmoedake, Tk: Mt. Takachiho-dake.

open circles: Bouguer station occupied by the Geological Survey of Japan (2000 and 2001).
 Fig. 3. Map showing the location of Bouguer stations with station numbers. Solid circles: Bouguer station of this report.

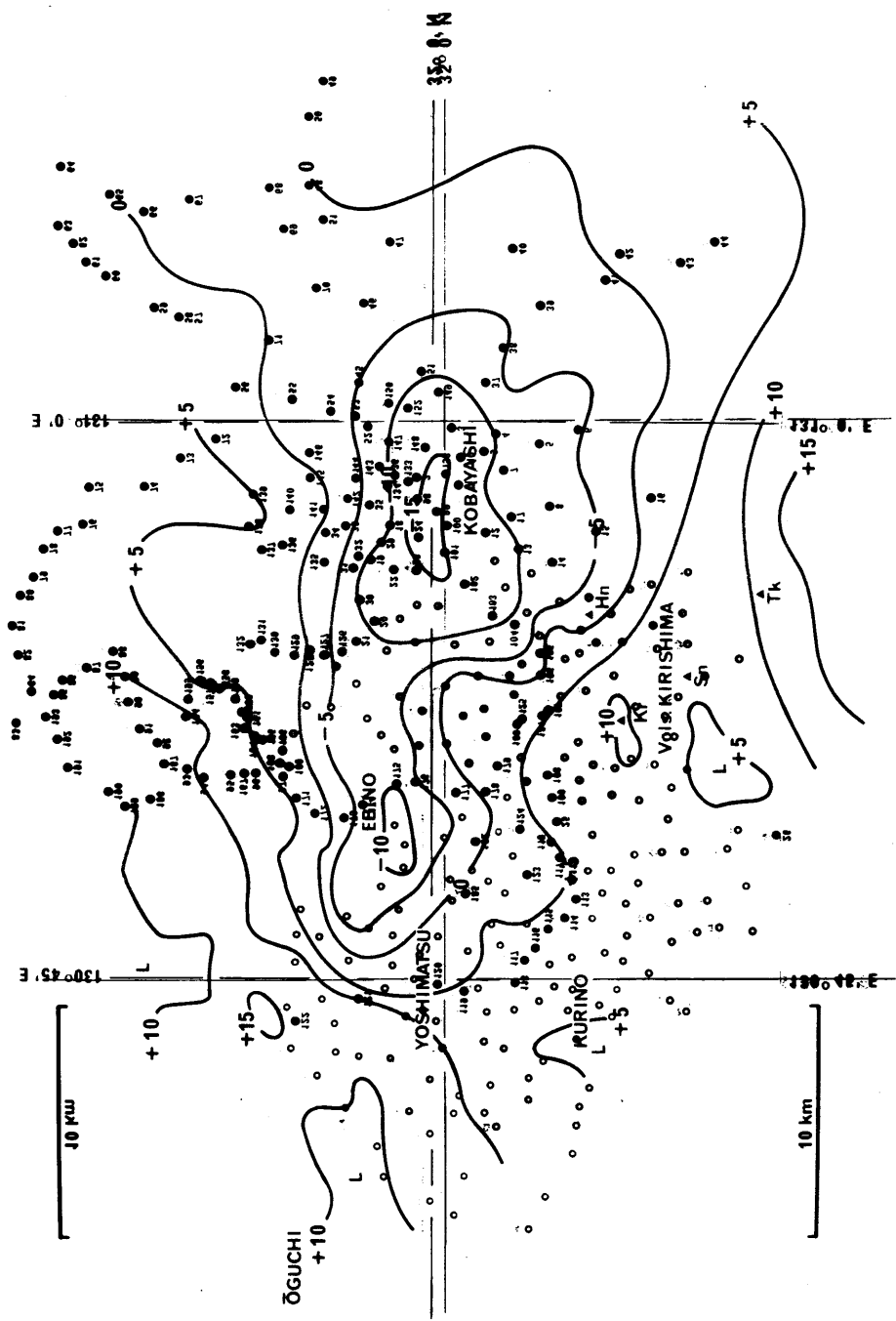


Fig. 5. Contour map of Bouguer anomaly in mgal. Kr: Mt. Karakuni-dake, Hn: Mt. Hinamori, Sn: Mt. Shimmo-dake.
 Tk: Mt. Takachiho-dake

Bouguer 補正は一般に無限平板として補正しているが、このような補正をした場合、地形補正は有限の範囲でしているため、Bouguer 補正は地形補正の範囲外の部分について補正過剰となる。この量は高度差の大きい点間では無視できない量となる。例えば、ここでの調査範囲のもっとも高い点 No. 163 韓国岳三角点 1699.8 m では、Bouguer 補正值の無限平板と有限のそれとの差は 6 mgal を超える量に達する。そこで、Bouguer 補正は地形補正と同一の範囲の矩形有限平板について行なった。重力点を中心に緯度方向 $2A_1$ 、経度方向 $2A_2$ の矩形有限平板についての Bouguer 補正は、

$$\delta g_0''_{\text{fin}} = 2\pi G\rho H \left(1 - \frac{H\sqrt{A_1^2 + A_2^2}}{\pi A_1 A_2} \right)$$

である。ここに、 G は万有引力定数、 ρ は密度、 H は重力点の標高である。

ここでは、前述のように地形補正範囲を 20 km としたが、20 km では狭くはないかとの心配もあろう。しかし、補正範囲外についていえば、地形補正值は正であり、Bouguer 補正值は負で、地形補正值は 10 mgal 近くに達することもあるが、結局互いに消去し合って異常値は補正範囲を広げても大きくて 2~3 mgal 程度である。したがって、異常分布のパターンは大きく変らない。

4. Bouguer 異常分布

前項に述べた補正上の考慮を加えて求めた Bouguer 異常分布を Fig. 5 に示す。また、各点の位置・重力値・補正值・異常値等は Table 1 に示した。

この図で最も顕著なことは、加久藤盆地および小林市北西部にそれぞれ -10 mgal および -15 mgal の大きさの低異常域が存在することである。両方の低異常域の境は南北にはしる八幡丘陵の位置と一致する。八幡丘陵は加久藤安山岩類 (荒牧, 1968 b) から成り、加久藤カルデラから噴出した火砕流堆積物より古いと判断されるものである。

加久藤盆地を中心とする -10 mgal の低異常域は、加久藤カルデラが日本の第四紀火山活動に特徴的な Crater Lake 型 (荒牧, 1969, または Krakatoa 型) カルデラであることを強く示唆している。

Bouguer 異常のコンターは、加久藤カルデラの地形的な縁に沿って急に変化することではなく、カルデラの中心に向かってほぼ一様に減少する。この特徴は、YOKOYAMA (1963) によって指摘されたように、日本の Crater Lake 型カルデラに特徴的なことであり、カルデラ直下の低密度物質から成る部分が円筒状ではなく、むしろ倒立円錐状であることを示している。一方、地形的なカルデラ縁から 3 km 以上も内側のカルデラ底で行なわれたボーリングによると基盤岩 (真幸変朽安山岩類) が 367 m 以深に存在することが知られている (荒牧, 1968 b)。この事は、カルデラ内の真の陥没部分が、地形的なカルデラの直径の 1/2 以下であることを意味し、重力異常のコンターの形状と調和的である。また MINAKAMI *et al.* (1969) によって報告された 1968 年のえびの群発地震の震央が、想定された加久藤カルデラの中心部ほぼ直径 3 km の地域に集中しているのは興味深い。

小林市北西部の低重力異常地域の存在は、今まで全く予想されていなかった、もう一つのカルデラの存在を示唆するものである。この地域には加久藤火砕流堆積物が広く分布するので (Fig. 2)、もしカルデラが存在したとしてもその生成は加久藤カルデラよりも古

いことは明らかである。加久藤火砕流堆積物の年代は FUKUOKA (1974) により約 11×10^5 YBP とされているから、これより更に古い火砕流堆積物はかなり浸食され消失した部分が多いことが予想される。著者の 1 人 (荒牧) の予察によると、小林市周辺には、極めて断片的ではあるが少なくとも 1 単位の大規模火砕流堆積物が分布している。そこで、この火砕流堆積物と低重力地域を組み合わせ、小林市北西部を中心とするカルデラを提唱し、「小林カルデラ」および「小林火砕流」と仮称したい。小林火砕流の本質岩塊は白色～淡紅色の軽石で粘土化しているが、一部黒雲母斑晶を特徴的に含む。

中村 (1979) は小林市北西部鍋倉を中心とした地域を調べ、約 30 ケ所の小林火砕流堆積物の露頭があることを報告している。斑晶鉱物として石英、斜長石、黒雲母、普通角閃石、磁鉄鉱、チタン鉄鉱が認められる (中村, 1979)。また異質岩塊を多く含む場合が多い。

小林火砕流と小林カルデラの成因的結びつきを強く主張するには未だ資料が不足であるが、 -15 mgal という重力の低異常からみて、小林カルデラは、加久藤カルデラを上まわる規模であった可能性が大きい。

加久藤・小林カルデラ以外の地域についてみると、霧島火山群の中で韓国岳には高い異常がみられ、その北への延長が前に述べた両カルデラを分割する八幡丘陵に連なる。また韓国岳の南西にある霧島温泉群の地域に低異常の存在がみられる。

測定地域の北西部では、両カルデラの北部山地から加久藤カルデラの北西部をかすめて、大口市の南に延びる $+10 \text{ mgal}$ を超える高異常帯が明瞭にみられ、その北と西には低異常帯域が顔を出している。すなわち、この高異常域に沿った基盤の上昇があり、その南東側に加久藤カルデラが存在して、Bouguer 異常が負の値に落ち込んでいると解釈できる。

そして高異常帯の北西側ではわずかな低異常が存在して、はじめに述べた regional な西への高異常に移行している。

小林カルデラの東方は、負異常域の広がりが見られるが、これは宮崎方面にある大きな低異常部の影響によるものと思われる。

5. 両カルデラの質量不足の推定

小林・加久藤両カルデラの質量不足を Gauss の定理により推定するために、次のような予備的計算処理を行なった。

まず、各重力点 (格子点上にはない任意の位置) に Bouguer 異常値を与えて、 $1.5 \text{ km} \times 1.5 \text{ km}$ の格子点上の Bouguer 異常値を Briggs の方法 (1974) で求めた。つまり contouring のための初段階の処理である。

次に、その data を使用し、この地域の regional trend を求めるために、直交多項式として Legendre 関数を採用し、 $-1 \leq x \leq 1$ 、 $-1 \leq y \leq 1$ の範囲に分布する Bouguer 異常を

$$\Delta g(x, y) = \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N C_{mn} P_m(x) P_n(y)$$

によって与える。係数 C_{mn} は Legendre 関数の直交条件によって、

$$C_{mn} = \frac{(2m+1)(2n+1)}{4} \iint_{-1}^1 \Delta g(x, y) P_m(x) P_n(y) dx dy$$

から数値計算し、 $P_n(x)$ は

$$P_n(x) = \frac{1}{n} \{ (2n-1)xP_{n-1}(x) - (n-1)P_{n-2}(x) \}$$

により3次の関数まで求め、regional trend を求めて、格子点上の観測値より差引いた(萩原, 1978).

一般に、Bouguer 異常の分布を知れば、Gauss の理論から、その原因となった異常質量の総量を何の仮定もなく求めることができる。Gauss の理論とは、異常質量による表面の Bouguer 異常の分布から、その質量によって影響される範囲の Bouguer 異常を面積分した値は、その総質量に比例するというもので、

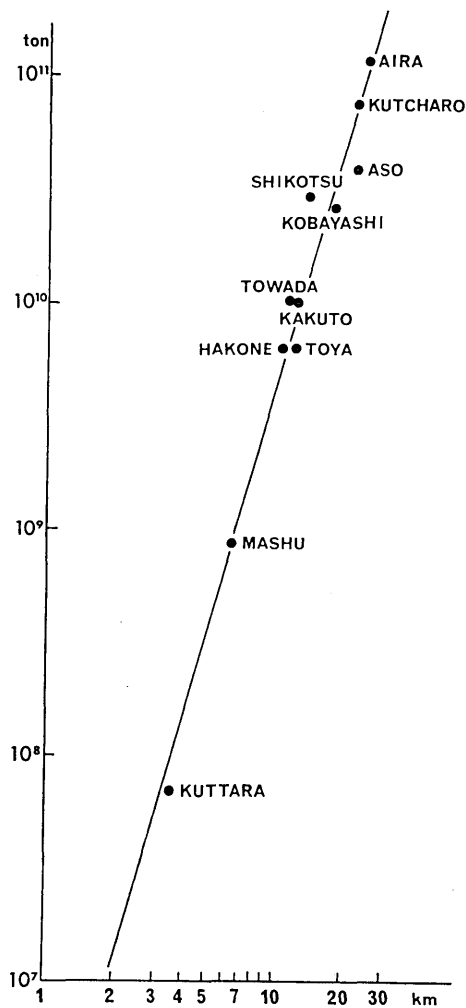


Fig. 6. Diagram showing the relationship between the calculated mass deficiency and the topographic diameter of the calderas in Japan.

$$\Delta M = \frac{1}{2\pi G} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \Delta g(x, y) dx dy$$

である。ここに G は万有引力定数である。しかし、ここで、実際計算する場合、 $\Delta g(x, y)$ の限界、すなわち、background の値の決定が問題である。この点に関して、LAFEHR (1965) は地下構造を種々の 2 次元矩形柱と仮定して、積分範囲を定める方法を提案している。しかし、この方法も地下構造を仮定するというあいまいな要素が含まれているので、やはり近似的な方法というべきであろう。ここでは質量の概算が目的であるから、積分範囲にある程度の不確かさがあるが、およそカルデラの存在による重力負の影響の範囲として、加久藤および小林両カルデラについて、先程の regional trend を差引いた上で、それぞれ直径 13 km, 18 km の円の範囲について面積分した。その結果、質量不足として、

$$\Delta M_{\text{KAKUTO}} = 1.0 \times 10^{10} \text{ ton}$$

$$\Delta M_{\text{KOBAYASHI}} = 2.7 \times 10^{10} \text{ ton}$$

を得た。この積分範囲は、Fig. 5 でおよそカルデラによる負異常の範囲とみられると同時に、カルデラのリムの直径に相当している。

・加久藤・小林両カルデラの質量不足が推算されたので、横山の提唱するカルデラの質量不足がその直径の 3.61 乗に比例するという図 (横山他, 1967) にプロットしたものを Fig. 6 に示す。カルデラリムの直径は地形図上で推定し、加久藤・小林をそれぞれ 13 km, 18 km とした。この直径は積分範囲と一致している。この図で、2つのカルデラはそれぞれおよそ妥当な値を示している。そして両カルデラは十和田および支笏両カルデラとおよそ同規模のものである。

6. おわりに

霧島火山群とその北部の二つの盆地を含む約 1,300 km² の地域に約 370 の重力点を分布し、Bouguer 異常を求めた。その結果、次のことが明らかとなった。

- 1) 霧島火山群の北部にある小林・加久藤両盆地には、Bouguer 異常がそれぞれ周囲より $-20 \cdot -15$ mgal を示しており、倒立円錐形の陥没構造の存在がみとめられる。加久藤盆地の周辺には、同盆地内の火口から噴出したと推定される溶結した火砕流堆積物が広範囲に分布する。したがって、加久藤盆地は Crater Lake 型のカルデラであると考えられる。一方、小林盆地の西縁部には、大型の火砕流堆積物が分布し、これらが小林盆地内の火口から噴出し、Crater Lake 型のカルデラを生じた可能性がある。
- 2) 小林・加久藤両カルデラ状陥没構造における質量不足の推定を行なったところ、それぞれ $2.7 \times 10^{10} \text{ ton} \cdot 1.0 \times 10^{10} \text{ ton}$ を得た。この結果は、カルデラの質量不足がその直径の 3.61 乗に比例するという横山の実験式とよい一致を示す。
- 3) 霧島火山群の中では、韓国岳に高異常、その南西の霧島温泉群に低異常がみられる。

謝 辞

この稿をまとめるに当たり、地震研究所の萩原幸男教授に多くのご教示をいただいた。また、地質調査所の小川健三氏は快く調査資料を提供して下さいました。両氏に心から御礼申し上げます。なお山口 勝氏には現地において便宜をはかっていただいた。また、渡部陣彦・

宮崎 務の両氏には原稿の査読をお願いした。工藤和子氏には原稿の作製に種々お手伝いをいただいた。あわせて御礼申し上げる。

文 献

- 有田忠雄, 1957 a, 加久藤カルデラの提唱, 地質学雑誌, **63**, 443-444.
 有田忠雄, 1957 b, 加久藤カルデラ及び森カルデラの発見と Salic front の提唱, 火山, 2集, **1**, 70.
 荒牧重雄, 1968 a, 加久藤カルデラとその周辺に分布する火砕流堆積物, 火山, 2集, **13**, 156.
 荒牧重雄, 1968 b, 加久藤盆地の地質—えびの・吉松地域の地震に関連して—, 地震研究所彙報, **46**, 1325-1343.
 荒牧重雄, 1969, カルデラ学説に関するいくつかの問題, 火山, 2集, **14**, 55-76.
 BRIGGS, I.C., 1974, Machine contouring using minimum curvature, *Geophys.*, **39**, 39-48.
 FUKUOKA, T., 1974, Ionium dating of acidic volcanic rocks, *Geoch. Jour.*, **8**, 109-116.
 HAGIWARA, Y., 1967, Analyses of gravity values in Japan, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **45**, 1091-1228.
 萩原幸男, 1978, 地球重力論, 共立全書.
 INTERNATIONAL ASSOCIATION of GEODESY, 1971, Geodetic Reference System 1976, *Publ. Spéc.*, **3**, *Bull. Géod.*, 116 p.
 LAFEHR, T.R., 1965, The estimation of the total amount of anomalous mass by Gauss's theorem, *Jour. Geophys. Res.*, **70**, 1911-1919.
 MINAKAMI, T., S. UTIBORI, M. YAMAGUCHI, N. GYODA, T. UTSUNOMIYA, M. HAGIWARA and K. HIRAI, 1969, The Ebino earthquake swarm and the seismic activity in the Kirisima volcanoes, in 1968-1969, Part 1. Hypocentral distribution of the 1968 Ebino earthquakes inside the Kakuto caldera, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **47**, 721-743.
 MORELLI, C. et al., 1974, The International Gravity Standardization Net 1971 (I.G.S.N.71), *Publ. Spéc.*, **4**, *Bull. Géod.*, 194 p.
 中村伸夫, 1979, 加久藤盆地東方の火山地質 (手記), 神戸大学理学部卒業論文.
 RIKITAKE, T., H. TAJIMA, S. IZUTUYA, Y. HAGIWARA, K. KAWADA and Y. SASAI, 1965, Gravimetric and geomagnetic studies of Onikobe area, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **43**, 241-267.
 瀬谷 清・小川健三, 1971, えびの・吉松地区地震地域の重力異常について, 防災科学技術総合研究報告, **26**, 47-61.
 田島広一・下鶴大輔・大島弘光・横山 泉, 1978, 浅間・草津白根山周辺の重力異常と重力精密測定, 地震研究所彙報, **53**, 509-522.
 YOKOYAMA, I., 1963, Structure of caldera and gravity anomaly, *Bull. Volcanol.*, **26**, 67-72.
 横山 泉・中井新二・西田泰典・広田知保, 1967, 北海道くつたら湖上の重力異常, 北海道大学地球物理学研究報告, **17**, 23-31.

12. *Bouguer Gravity Anomaly around Kirishima
Volcanoes, Kyushu.*

By Hirokazu TAJIMA and Shigeo ARAMAKI,
Earthquake Research Institute.

A gravimetric survey was carried out during May to June, 1969, over an area of 750 km² immediately north of Kirishima volcano, one of the active volcanoes in Kyushu. About 190 stations were occupied and an additional 180 stations occupied by the Geological Survey of Japan just after the destructive earthquake of February, 1968, were included to cover the total area of 1,300 km². The IGSN71 gravity net was used as reference and the 1967 Geodetic Reference System was adopted for the gravity value computation. Regional average density was obtained according to the method proposed by RIKITAKE *et al.* (1965) and the terrain and Bouguer corrections were computed to the nearest 40 km². The contour map of the Bouguer anomaly (Fig. 5) clearly shows two local negative anomalies: one occupying the center of a conspicuous topographic low, called Kakuto basin; and the other lying immediately east of Kakuto basin. The former gravity low (up to -15 mgal) strongly supports the hypothesis by Arita (1957a, b) and others that Kakuto basin is a caldera of the Crater Lake type formed by collapse following the eruption of large-scale pyroclastic flows. The welded deposits of the pyroclastic flows are found in many places outside Kakuto basin (Fig. 2). The latter gravity low (up to -20 mgal) also suggests the presence of another caldera, the Kobayashi caldera, which is apparently older than the Kakuto caldera. Although the data is still insufficient, the Kobayashi caldera is probably of the Crater Lake type.

Table 1. Location, gravity value, corrections and Bouguer anomaly in the area north of Kirishima volcanoes.

No.	Location	Lat.	N	Long.	E	Height	G.V.	F.C.	A.C.	T.C.	Nr. V.	B.A.
						m	gal	mgal	mgal	mgal	gal	mgal
2	KOBAYASIKOKO	31° 59.7	130° 58.5	212.00	979.42510	65.42	20.34	0.82	979.48301	-12.0		
3	DOYAMA N	SH 32 0.5	130 59.9	222.00	42184	68.51	21.29	0.70	48409	-14.3		
4	TAKAYAMA	SH 32 1.5	130 59.7	257.00	42096	79.31	24.63	0.78	48550	-9.1		
5	HIRASENO	32 2.5	130 59.5	327.70	41369	101.13	31.35	1.36	48680	-2.0		
6	UDOMARU S	32 3.4	130 59.9	354.00	40929	109.24	33.85	1.56	48802	-1.8		
7	NAGAKUINO	SH 32 1.7	130 58.8	245.00	42494	75.61	23.49	1.02	48572	-7.6		
8	OHIRA N	SH 32 2.7	130 57.8	312.00	41887	96.28	29.86	2.04	48719	0.1		
9	SUGIZONO	SH 32 1.3	130 59.2	240.00	42306	74.06	23.01	0.84	48526	-10.3		
10	ICHINOYA	SH 32 0.8	130 59.1	201.00	42770	62.03	19.29	0.89	48450	-13.2		
11	NAGAKUTSU	SH 32 0.8	130 58.1	253.00	41639	78.08	24.25	0.77	48454	-13.6		
12	FUKAKUSA	32 1.2	130 57.1	296.00	41096	91.35	28.34	0.79	48508	-10.3		
13	OKAKURA	32 2.1	130 56.7	347.00	40532	107.08	33.19	0.73	48629	-6.3		
14	NABEKURA	SH 32 2.7	130 56.3	398.00	39897	122.82	38.02	0.65	48717	-2.7		
15		SH 32 3.8	130 57.1	546.00	37501	168.50	51.98	1.65	48860	4.6		
16	YOSHIMUTA			663.00	35338	204.60	62.95	1.37	49024	6.2		
17	NAKANO	32 5.0	130 58.1	323.10	41123	99.71	30.92	0.81	48591	-5.1		
18	KONOKO	SH 31 59.1	130 57.3	235.00	42010	72.52	22.53	1.29	48231	-10.9		
19		SH 31 58.7	130 56.1	323.00	39868	99.68	30.91	1.65	48175	-12.7		
20	IKOMA W	SH 31 58.8	130 54.8	413.00	37907	127.45	39.44	2.16	48183	-12.6		
21	SUNOURAKAN	SH 31 58.4	130 54.2	506.00	36324	156.15	48.22	2.90	48128	-7.2		
22	HIRAKAWA	SH 31 59.1	130 56.0	329.00	39807	101.53	31.48	1.31	48225	-12.8		
23	KUBOTA	SH 31 59.7	130 56.1	299.00	40557	92.27	28.63	1.00	48311	-12.9		
24	SHINYASHIKI	SH 31 59.7	130 56.9	287.10	40856	88.60	27.49	0.96	48309	-12.5		
25	BM 221-028	32 2.9	130 49.3	228.86	44106	70.63	21.95	1.45	48741	3.8		
29	DENOYAMA N	SH 31 58.9	130 56.8	278.00	41081	85.79	26.63	1.34	48193	-10.6		
30	17KU NE	SH 31 58.4	130 55.3	396.00	38451	122.21	37.83	2.40	48137	-10.1		
31	MINAMIOKA	SH 31 58.3	130 56.0	355.00	39459	109.55	33.95	2.31	48117	-8.7		
32	KAMINOHAR	SH 31 58.5	130 56.4	323.00	40018	99.68	30.91	1.80	48139	-10.6		
33	SHUCHIKUJ	SH 31 58.1	130 57.2	257.00	41665	79.31	24.63	1.81	48091	-7.8		
34	NAEEN S	SH 31 57.5	130 57.0	293.00	40762	90.42	28.06	2.59	48013	-7.6		

Table 1. continued

No.	Location	Lat.	N	Long.	E	Height	m	G.V.	gal	F.C.	mgal	B.C.	mgal	T.C.	mgal	Nr. V.	gal	B.A.	mgal
35	SINDEN	31° 58'7	130°	57'8	218.00	979.42576	67.27	20.91	1.22	979.48170	—	8.4							
36	KOBAYASHI STN	31° 59.3	130	58.7	196.64	42708	60.68	18.87	0.84	48247	—	12.7							
37	IKENOUE	32° 1.2	131	1.1	247.90	42297	76.50	23.76	0.75	48508	—	8.6							
38	YAMAGUCHI	32° 1.6	131	2.0	315.00	41343	97.21	30.15	0.86	48562	—	4.3							
39	NEKOZAKA NE	32° 2.5	131	3.1	335.00	41075	103.38	32.05	3.15	48684	—	1.6							
40	KAMINASAKI SH	32° 1.8	131	4.6	371.00	40247	114.49	35.46	3.57	48595	—	0.9							
41	IKUSADAN SH	32° 3.9	131	3.9	404.00	39886	124.67	38.59	2.92	48870	—	0.8							
42	NAGATA SH	32° 4.3	131	4.5	371.00	40526	114.49	35.46	2.60	48931	—	2.4							
43	FUKURO SH	32° 5.6	131	4.3	399.00	40143	123.13	38.11	3.31	49108	—	1.3							
44	KOBAYASHIKI SH	32° 6.4	131	4.8	428.00	39499	132.08	40.86	5.10	49208	—	0.8							
45	SHIMONOTAI SH	31° 58.4	131	1.0	157.00	44387	48.45	15.08	0.87	48132	—	3.2							
46	NONOSAKI SH	31° 58.5	131	3.1	184.00	43689	56.78	17.66	0.82	48144	—	4.6							
47	KAKUNAI SH	31° 59.2	131	4.8	206.00	43372	63.57	19.76	3.01	48235	—	1.8							
48	NOJIRI SH	31° 57.3	131	6.3	168.00	44185	51.84	16.13	0.43	47979	—	1.8							
49	HAGINOHAYA	31° 57.5	131	8.9	187.00	44494	57.71	17.95	0.51	48016	—	5.1							
50	AMAGAYA SH	31° 57.2	131	8.1	172.00	44496	53.08	16.51	0.51	47968	—	2.4							
51	OIWAKE SH	31° 57.5	131	5.5	174.00	44064	53.70	16.71	0.51	48014	—	2.0							
52	BM 221-050	31° 58.7	130	59.9	204.97	42894	63.25	19.67	0.70	48174	—	8.5							
53	BM 221-051	31° 58.3	131	0.1	201.25	43130	62.11	19.31	0.66	48112	—	6.4							
54	BM 221-052	31° 57.8	131	0.3	200.71	42962	61.94	19.26	0.66	48048	—	7.5							
55	BM 221-054	31° 56.8	131	0.6	175.47	43461	54.15	16.85	0.65	47909	—	6.5							
56	TAKAHARU	31° 55.6	131	1.0	207.00	42979	63.88	19.86	0.54	47749	—	3.1							
57	MAEDA STN	31° 54.3	131	2.5	166.88	44079	51.50	16.03	0.45	47579	—	0.9							
58	BM 221-061	31° 54.3	131	2.7	156.12	44363	48.18	15.00	0.51	47571	—	1.6							
59	BM 221-062	31° 53.8	131	2.9	158.43	44270	48.89	15.22	0.43	47506	—	1.7							
60	BM 221-065	31° 52.6	131	3.8	146.42	44579	45.19	14.07	0.47	47351	—	3.9							
61	BM 221-066	31° 52.2	131	4.3	147.53	44541	45.53	14.17	0.32	47294	—	4.1							
62	BM 221-067	31° 51.9	131	4.7	161.53	44273	49.85	15.51	0.24	47256	—	4.7							
63	KIRIFUJI SH	31° 51.6	131	5.2	162.00	44344	49.99	15.56	0.22	47213	—	6.0							
64	KURAMOTO SH	31° 51.6	131	6.8	134.00	44863	41.35	12.88	0.19	47214	—	5.2							
65	YOSHIMURA	31° 52.7	131	6.0	135.00	44911	41.66	12.97	0.25	47363	—	4.4							

Table 1. continued

No.	Location	Lat.	N	Long.	E	Height	m	G.V.	mgal	F.C.	mgal	B.C.	mgal	T.C.	mgal	Nr. V.	gal	B.A.	mgal
66	NURUMIZU	31° 53'5	131°	5'6	158.00	979.44426	48.76	15.18	0.24	979.47470	3.4								
67	HIGASHIBARU	31 54.5	131	5.9	139.00	44731	42.90	13.36	0.54	47607	1.3								
68	ATOSE	31 56.3	131	6.3	172.00	44305	53.08	16.51	0.30	47847	1.4								
69	HIGASIMUTA	31 56.6	131	5.1	178.00	44164	54.93	17.09	0.38	47891	0.9								
70	NISARUSE	31 57.4	131	3.5	136.00	44940	41.97	13.07	1.00	47997	- 0.7								
71	NISUFUMOTO	31 56.3	131	2.1	206.00	43126	63.57	19.76	0.44	47852	- 3.0								
72	NAMIKI	31 55.2	130	59.6	221.00	42944	68.20	21.20	1.03	47701	0.5								
73	KAMAMUTA	31 54.4	130	59.0	223.00	43087	68.82	21.39	1.52	47590	3.9								
74	HARAIKAWA	31 53.6	130	58.2	265.00	42338	81.78	25.39	4.06	47483	9.0								
75	MIKE N	31 52.4	130	58.2	362.00	40578	111.71	34.61	2.51	47316	12.2								
76	KOIKE SW	31 52.2	130	57.3	452.00	38708	139.49	43.13	6.07	47298	16.5								
77	MIKE PS	31 51.6	130	57.1	509.00	37650	157.08	48.50	3.77	47218	16.7								
78		31 51.3	130	56.6	503.00	37881	155.23	47.94	2.71	47171	17.1								
79	MIKEKAITA	31 51.2	130	55.9	487.00	38136	150.29	46.43	3.06	47158	16.7								
80	TONOKUTI S	31 50.8	130	55.4	487.00	38385	150.29	46.43	2.27	47106	18.9								
81	ARASO E	31 50.6	130	54.6	457.00	38860	141.03	43.60	2.32	47082	17.5								
82	ARASO W	31 50.8	130	53.9	439.00	39307	135.48	41.90	2.53	47105	18.1								
83	HARAIDAN	31 50.7	130	52.0	334.00	41112	103.07	31.95	2.47	47094	13.8								
84	NAGAIKE W	31 50.9	130	52.9	437.00	39286	134.86	41.71	2.33	47121	17.1								
85		31 51.6	130	52.7	588.00	35567	181.46	55.93	3.60	47217	12.6								
86		31 51.7	130	53.2	662.00	33941	204.29	62.86	3.80	47228	12.4								
87		31 52.2	130	53.5	805.00	30760	248.42	76.19	4.72	47293	11.6								
88	TAKATIHOAWA	31 52.9	130	53.9	965.00	27148	297.80	91.00	5.19	47389	9.6								
89		31 53.1	130	53.3	988.00	26509	304.90	93.12	5.28	47417	8.0								
90	AMAFURI BROG	31 53.1	130	52.5	854.00	29399	260.77	79.90	4.50	47420	5.2								
91	YUNONO N	31 53.5	130	51.9	835.00	27787	257.68	78.97	4.22	47467	6.1								
92	SHINYU W	31 53.9	130	51.3	947.00	29120	292.24	89.34	5.27	47522	4.2								
93	ONAMI SW	31 54.5	130	50.8	1019.00	25540	314.46	95.97	7.20	47602	5.1								
94	ONAMIGUTI	31 54.9	130	50.5	1075.00	24614	331.74	101.11	6.58	47653	6.8								
95	EBINODAKE	31 55.7	130	50.6	1183.00	22447	365.07	110.99	6.86	47760	7.8								
96		31 56.1	130	50.7	1193.00	22307	368.16	111.91	6.17	47821	7.3								

Table 1. continued

No.	Location	Lat. N	Long. E	Height m	G.V. gal	F.C. mgal	B.C. mgal	T.C. mgal	Nr. V. gal	B.A. mgal
97	KVO BM 1	31° 56.7	130° 50.5	1195.81	979.22292	369.03	112.16	5.95	979.47895	6.8
98	BM 221-046	31 59.8	130 57.9	221.16	42145	68.25	21.21	0.92	48319	-13.8
99	BM 221-045	32 0.1	130 57.6	224.35	41799	69.23	21.52	0.98	48361	-16.9
100	BM 221-044	32 0.3	130 57.2	241.12	41448	74.41	23.12	0.94	48394	-17.2
101	BM 221-043	32 0.3	130 56.5	262.89	41096	81.13	25.19	0.90	48389	-16.1
102	BM 221-041	32 0.8	130 55.6	301.27	40541	92.97	28.84	0.76	48459	-14.3
103	BM 221-039	32 1.4	130 54.8	319.63	40516	98.64	30.59	0.71	48541	-11.5
104	BM 221-038	32 1.9	130 54.6	324.82	40566	100.24	31.08	0.72	48607	-10.5
105	BM 221-036	32 2.5	130 53.8	306.18	41390	94.49	29.31	0.85	48690	-7.0
106	BM 221-035	32 2.5	130 53.2	275.18	42099	84.92	26.36	1.07	48685	-6.2
107	BM 221-033	32 2.7	130 52.3	251.28	42714	77.55	24.08	1.51	48710	-5.0
108	BM 221-030	32 2.7	130 50.5	238.92	43027	73.73	22.91	1.27	48713	-4.8
109	BM 221-029	32 2.8	130 49.9	231.20	43505	71.35	22.17	1.37	48726	-1.7
110	BM 268-065	32 2.8	130 48.8	228.02	43785	70.37	21.87	1.28	48726	0.4
111	BM 268-064	32 3.0	130 48.3	226.58	43761	69.92	21.73	1.34	48752	-0.4
112	BM 268-063	32 3.2	130 47.7	225.91	43906	69.72	21.66	1.47	48787	0.7
113	BM 268-062	32 3.3	130 47.2	223.84	44226	69.08	21.47	1.53	48799	3.4
114	BM 268-061	32 3.1	130 46.7	221.01	44124	68.20	21.20	1.25	48771	1.8
115	BM 268-060	32 2.7	130 46.4	223.15	43794	68.86	21.40	1.04	48717	-0.7
116	BM 268-059	32 2.4	130 45.9	217.02	43985	66.97	20.82	1.13	48677	0.4
117	BM 268-058	32 2.2	130 45.6	217.21	43902	67.03	20.83	1.10	48643	-0.1
118	BM 268-057	32 1.9	130 45.0	215.89	44119	66.62	20.71	1.51	48610	2.5
119	BM 268-054	32 0.6	130 44.7	213.64	43991	65.93	20.49	1.50	48435	2.5
120	BM 268-053	32 0.2	130 44.9	213.13	43768	65.77	20.45	1.42	48371	0.7
121	BM 268-049	31 58.4	130 44.5	214.54	43964	66.21	20.58	3.16	48129	7.1
122	BM 268-046	31 57.0	130 43.8	188.44	44341	58.15	18.09	1.46	47948	5.5
123	SUMIKO R 17	32 2.2	130 47.8	244.37	42582	75.41	23.43	0.91	48646	-7.7
124	SUMIKO R 18	32 2.0	130 49.1	236.23	42943	72.90	22.65	1.05	48622	-5.5
125	SUMIKO K 13	32 2.1	130 52.1	265.85	42136	82.04	25.47	0.99	48630	-7.4
126	HINAMORI RD	31 58.1	130 53.9	560.00	35305	172.82	53.30	3.74	48091	-4.6
127	HINAMORI RD	31 57.5	130 53.8	630.00	33910	194.42	59.86	8.71	48012	2.2

Table 1. continued

No.	Location	Lat.	N	Long.	E	Height m	G.V. gal	F.C. mgal	B.C. mgal	T.C. mgal	Nr. V. gal	B.A. mgal
128	HINAMORI RD	31° 57.2		130° 54.0		735.00	979.31718	226.82	69.67	8.26	979.47964	2.9
129	HINAMORI RD	31 56.9		130 53.7		835.00	29449	257.68	78.97	7.04	47933	0.9
130	HINAMORI SH	31 56.6		130 53.6		968.00	27172	298.72	91.27	6.44	47891	6.7
131	HINAMORI RD	31 56.3		130 53.8		1060.00	24960	327.12	99.74	5.84	47845	4.4
132	HINAMORI RD	31 56.1		130 53.7		1090.00	24452	336.37	102.49	5.47	47814	5.7
133	BM 221-047	31 59.5		130 58.4		202.03	42611	62.35	19.39	0.89	48283	-12.9
134	MINAMISIM SH	31 59.1		130 58.3		203.00	42854	62.65	19.48	0.96	48228	-9.6
135	OHATA RD SH	31 57.7		130 56.2		358.00	39316	110.48	34.23	3.80	48039	-7.2
136	OHATA RD SH	31 56.8		130 56.5		483.70	36573	149.27	46.12	4.06	47916	-6.2
137	OHATA RD SH	31 56.2		130 56.6		552.00	35285	170.35	52.55	4.01	47830	-3.6
138	SETAO W SH	31 56.0		130 57.1		467.00	37367	144.12	44.54	3.70	47809	-1.1
139	SETAO E SH	31 56.0		130 58.0		403.00	38893	124.37	38.49	2.60	47811	-0.7
140	YAMANAKA SH	31 56.9		130 57.7		286.00	41027	88.26	27.39	2.41	47924	-5.7
141	TAKEYAMA E SH	31 57.6		130 57.7		246.00	41855	75.92	23.58	1.77	48026	-7.6
142	HOSONO E SH	31 58.1		130 58.0		229.00	42431	70.67	21.96	1.27	48094	-6.7
143	KOBAYASI TP	31 58.9		130 58.8		228.10	42275	70.39	21.87	0.85	48194	-9.8
144	WANTSU	31 58.4		130 58.5		193.90	43089	59.84	18.61	1.08	48132	-8.1
145	IMAFUSA SH	31 57.2		130 58.5		214.00	42643	66.04	20.53	1.57	47966	-6.1
146	HIROWARA STN	31 57.3		130 59.2		186.56	43303	57.57	17.91	1.08	47978	-6.0
147	BM 221-049	31 59.1		130 59.5		202.73	42720	62.56	19.45	0.70	48227	-11.3
148	KOBAYAJOSI SH	31 59.9		130 59.3		226.00	41976	69.74	21.67	0.76	48335	-14.8
149	TANINOKI SH	32 0.1		131 0.8		205.00	42617	63.26	19.67	0.73	48367	-13.2
150	TSURUZAKO SH	31 59.1		131 0.5		162.00	44063	49.99	15.56	0.96	48221	-6.2
151	OKUTSU SH	31 59.8		131 1.3		265.00	41952	81.78	25.39	0.83	48321	-6.5
152	JIDOFUTI SH	31 59.4		131 0.4		209.00	42628	64.50	20.05	0.63	48271	-11.4
153	NISINOMURA S	32 0.4		130 58.5		241.20	41674	74.43	23.12	0.83	48400	-15.1
154	SINMOE RDEND	31 54.5		130 52.2		1062.90	25100	328.01	100.00	6.30	47599	9.3
155	SINMOE W SH	31 54.6		130 52.6		1218.00	19267	375.87	114.18	6.65	47611	5.5
156	SADDLE SH	31 54.9		130 53.1		1315.00	19570	405.81	123.00	7.80	47655	9.8
157	SISIDO TOP	31 55.1		130 53.1		1429.90	16553	441.27	133.39	12.71	47679	9.3
158	SISIDO NW SH	31 55.3		130 52.9		1346.00	18764	415.38	125.81	8.68	47714	8.7

Table 1. continued

No.	Location	Lat.	Long.	Height	G.V.	F.C.	B.C.	T.C.	Nr. V.	B.A.	
		N	E	m	gal	mgal	mgal	mgal	gal	mgal	
159	KARAKUNI	SH	31° 55'6	130° 52'7	1396.00	979.17495	430.81	130.33	10.81	979.47757	8.7
160	KARAKUNI	SE	31 55.8	130 52.2	1565.70	13047	483.18	145.60	19.89	47778	10.2
161	KARAKUNI	SE	31 55.9	130 52.1	1623.00	11499	500.86	150.73	24.78	47789	12.0
163	KARAKUNI	TP	31 55.9	130 51.8	1699.80	08970	524.56	157.58	31.44	47787	10.3
164	KARAKUNI		31 56.0	130 51.7	1643.40	10793	507.15	152.55	26.56	47806	11.0
165	KARAKUNI W		31 56.3	130 51.5	1524.20	14120	470.37	141.88	12.70	47843	4.0
166	KVO BM E15		31 56.6	130 51.1	1230.21	21387	379.64	115.30	7.59	47886	6.9
167	KVO BM E13		31 55.9	130 50.7	1197.03	22343	369.40	112.27	6.37	47795	9.0
168	KVO BM E10		31 56.5	130 50.8	1195.75	22285	369.01	112.16	7.10	47879	8.0
169	KVO BM E11		31 56.6	130 50.8	1193.08	22336	368.18	111.91	6.66	47893	7.4
171	KVO BM 1-1		31 57.0	130 49.8	1118.74	23934	345.24	105.12	6.76	47943	6.8
172	KVO BM 1-2		31 57.6	130 49.3	987.17	26676	304.64	93.04	7.74	48020	5.9
173	KVO BM 2		31 58.1	130 49.5	874.98	28991	270.02	82.68	8.94	48095	5.2
174	KVO BM 3		31 58.5	130 49.9	683.44	33194	210.91	64.86	5.21	48150	1.7
175	KVO BM 4		31 59.3	130 50.3	513.14	37020	158.36	48.89	3.66	48248	0.8
176	KVO BM 5		31 59.7	130 50.4	389.33	39664	120.15	37.20	3.22	48312	- 0.3
177	KVO BM 6		32 0.5	130 50.0	305.92	41279	94.41	29.28	1.68	48420	- 4.6
178	KVO BM 7		32 1.2	130 50.1	287.62	41208	88.76	27.54	1.09	48516	- 10.8
179	KVO BM 8		32 1.5	130 50.9	260.28	41967	80.32	24.94	1.16	48555	- 9.3
180	KVO BM 9		32 2.0	130 52.0	266.73	42122	82.31	25.56	1.01	48623	- 7.2
181	KVO BM10		32 2.6	130 52.2	250.42	42673	77.28	24.00	1.32	48700	- 5.7
182	MIZUDAME		32 1.0	130 48.7	282.24	41051	87.10	27.03	1.18	48489	- 13.1
185	OKAMOTO		32 0.9	130 47.4	274.73	41848	84.78	26.32	1.56	48467	- 6.2
187	MYOBAN	SH	31 54.1	130 50.9	838.00	29375	258.61	79.25	5.62	47545	3.3
188	SORINKAKU	SH	31 53.7	130 50.0	713.00	32293	220.03	67.62	4.21	47497	4.6
189	DAITIHOT	(TP)	31 53.2	130 49.8	585.00	35151	180.53	55.65	2.87	47422	5.0
190	OSETO	SH	31 52.7	130 50.1	528.00	36157	162.94	50.29	3.50	47364	4.5
191	KUROIWA	SH	31 51.9	130 50.8	541.00	36140	166.95	51.51	3.87	47247	8.2
192	YOKODAKE	SH	31 51.7	130 51.6	490.00	37484	151.21	46.71	3.93	47220	11.1
193	ZINGU NW	SH	31 51.3	130 52.1	421.00	38896	129.92	40.20	3.76	47175	10.7

Remarks

Lat. : latitude
 G.V. : gravity value
 B.C. : Bouguer correction
 Nr. V. : normal gravity value
 BM : bench mark
 KVO : Kirishima volcano observatory

Long. : longitude
 F.C. : free air correction
 T.C. : terrain correction
 BLP. : Bouguer anomaly
 SH : spot height