

桜島火山における高密度重力測定

著者	宮町 宏樹, 東浦 勝良, 平野 舟一郎, 山本 明彦
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要=Reports of the Faculty of Science, Kagoshima University
巻	33
ページ	101-116
別言語のタイトル	High Dense Gravity Measurement in Sakurajima Volcano, Southern Kyushu, Japan
URL	http://hdl.handle.net/10232/00006983

桜島火山における高密度重力測定

宮町 宏樹¹⁾・東浦 勝良¹⁾・平野舟一郎²⁾・山本 明彦³⁾
(2000年9月8日受理)

High Dense Gravity Measurement in Sakurajima Volcano, Southern Kyushu, Japan

Hiroki MIYAMACHI¹⁾, Katsuyoshi HIGASHIURA¹⁾, Shu-ichirou HIRANO²⁾, and Akihiko YAMAMOTO³⁾

Keywords : gravity, Bouguer anomaly, Free-air anomaly, Sakurajima

Abstract

A high dense gravity measurement composed of 357 sites was carried out in Sakurajima in order to reveal the detailed gravity anomaly distribution. The obtained ditribution shows the positive anomaly areas in southeastern part of Sakurajima. On the other hand, the northeastern area is characterized by the negative anomalies. These results are consistent with previous studies. We also found anomalous local areas located in the lave flow regions in the western and northwestern parts in Sakurajima.

1 はじめに

桜島は鹿児島湾北部に位置する活火山であり、始良カルデラ内の南西部に位置している。始良カルデラの北には加久藤カルデラおよび霧島火山群が隣接し、また、南には阿多カルデラがあり、南九州の火山帯の主軸となっている。桜島火山は、約13,000年前から火山活動を開始し、現在でも活発な火山活動を続けている。もともとは、火山島であったが、1914-1915年の大正噴火の際、多量の溶岩流出により、鹿児島湾東部の大隅半島と陸続きとなった(小林, 1982)。

中条・村上(1976)は始良カルデラから阿多カルデラにおよぶ鹿児島湾の海域において海域調査を行った。その調査項目の一つとして重力測定が行われ、当地域の広域的な重力異常分布を明らかにしている。それによると、

鹿児島湾北部一帯は負のブーゲー異常域で、最大-25 mgalを有する中心部は湾北部の中央に位置している。一方、鹿児島湾南部においては、最大-10mgal程度の負の重力異常域が南北に帯状に分布し、その分布は鹿児島湾の海底地形に見られる地溝の軸とよく対応している。この帯状の低重力異常帯の北部は、桜島を境として北東方向に折れ曲がり、南では、鹿児島湾口部において南西方向に折れ曲がっている。また、この帯状の負の重力異常域は鹿児島湾沿岸部に近づくにつれて急激に変化し、沿岸においては+40mgalの正の重力異常となって現われている。Yokoyama and Ohkawa (1986)は、桜島、薩摩半島および大隅半島の陸域において広域重力測定を行い、その地域の重力異常分布を明らかにした。しかしながら、これまでになされた重力の測定点密度は十分とはいえず、特に、桜島島内の詳細な重力異常分布は明らかにされて

¹⁾ 鹿児島大学理学部地球環境科学科 〒890-0065 鹿児島市郡元1丁目21-35
Department of Earth and Environmental Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University, Kourimoto 1-21-35, Kagoshima, 890-0065, Japan.

²⁾ 鹿児島大学理学部南西島弧地震火山観測所 〒892-0871 鹿児島市吉野町10861
Nansei-Toko Observatory for Earthquakes and Volcanoes, Faculty of Science, Kagoshima University, Yoshino 10861, Kagoshima, 892-0871, Japan.

³⁾ 北海道大学大学院理学研究科地震火山研究観測センター 〒060-0810 札幌市北区北10西8
Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Hokkaido University, Sapporo, 060-0810, Japan.

いない。

本研究では、桜島の詳細な重力異常分布を明らかにすることを目的として、桜島において高密度な重力測定を実施したので報告する。

2 重力測定

桜島島内の重力測定実施前に、測定に用いる相対重力計 (Scintrex 社製相対重力計 AutogravCG-3M: シリアル番号9310230) の検定を、鹿児島地方気象台と沖縄地方気象台に国土地理院によって設置されている1等重力点 (重力差375.275mgal) を用いて行なった。これらの重力点の座標および重力値は、日本重力基準網1996 (JGSN96) (国土地理院測地部, 1997) によった。2回の検定測定によって得られた重力補正係数の平均値は1.001290であった。

桜島での重力測定用の仮基準点を鹿児島大学理学部敷地内に設け、鹿児島地方気象台1等重力点 (KGS-GS: 北緯 $31^{\circ} 33.10'$, 東経 $130^{\circ} 33.03'$, 標高5m, 重力値979,471.20mgal) と3回の往復測定を行うことにより、この仮基準点 (KGU-GS: 北緯 $31^{\circ} 34.01'$, 東経 $130^{\circ} 32.75'$) の重力値を979,474.76mgalとした (Fig.1参照)。また、桜島島内の桜島ビジターセンターにも定点 (SKR-VC) を設けた。これら2ヶ所の点では、一日の

測定の開始前後に必ず測定を行った。

桜島島内の重力測定点は、おおよそ標高300m以下の地域において、空間的に均一に分布するように選んだ。桜島火口を中心に半径2km以内 (ほぼ標高300m以上に対応する) の地域は立ち入り禁止区域になっているため、桜島の中央地域での測定は行わなかった。また、標高300m以下であっても、道路が全くない地域や徒歩による移動が困難な地域 (例えば、溶岩地帯内) での測定も行わなかった。桜島西部地域においては、測定点間隔を250mに、それ以外の地域では500mに設定し、合計357箇所において重力測定を実施した。測定点分布を Fig.1 に示す。また、各測定点の座標 (緯度・経度・標高) および重力値を Table1 に示す。座標値は、国土地理院発行の1/5,000の火山基本図, 1/25,000の地形図, 1/2,500の砂防工事用地形図および携帯型 GPS (マゼラン社製 NAV DLX-10) による単独測位によって決定した。携帯型 GPS (単独測位) を用いた測定地点26ヶ所の緯度・経度を決定する際には、重力測定地点における測定後15~30分以内に火山基本図上で座標を確定可能な地点において、同様に携帯型 GPS によってその地点の座標を単独測位し、その地点における地図上での座標値との差を補正量とし、重力測定地点の GPS 座標値を修正した。これらの水平補正量は最大で±2秒であった。また、単独測位

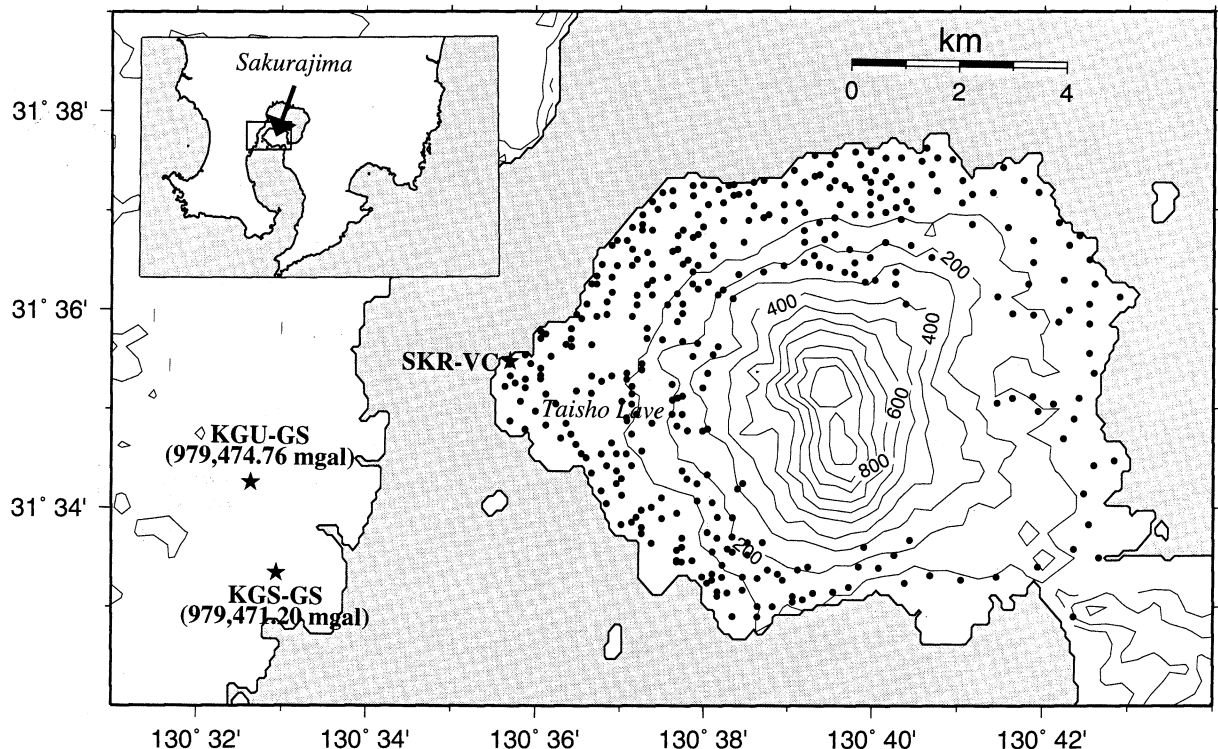


Fig. 1 Map showing the study area, Sakurajima Volcano. Solid circle and stars are gravity points and the reference points. Contour interval is 100m.

を行った測定点の標高は、修正された緯度・経度の座標値を用いて、火山基本図あるいは地形図から読み取った。測定期間は、1994年～1995年（測定点コードG002～G247・測定点数242）と1998年～1999年（測定点コードG300～G450・測定点数115）である。各測定点では、1回の測定時間を90秒あるいは120秒間とし、連続して2回の測定値が ± 0.01 mgalの範囲で一致するまで測定を行った。測定路線では、ループ法を採用した。

3 重力補正と補正密度

得られた各測定値に対して、器高補正・潮汐補正をおこなない、ループ法でドリフトを除去した。器高補正およびフリーエア補正には、重力の鉛直勾配 -0.3086 mgal/mの値を用いた。潮汐補正には、中井（1979）による方法を採用し、潮汐力の1.2倍を補正值とした。正規重力には、IGSN71系の正規重力式を用いた（河野・古瀬，1989）。ブーゲー補正は有限の球帽による補正（萩原，1975）を用い、補正密度を 2.2 g/cm^3 とした。また、その補正範囲は測定地点より半径80kmの範囲である。地形補正は、Yamamoto et al.（1982）による球面地形補正に従った。この際に用いられた地形の標高データは、国土地理院の“KS-110-1”（250mメッシュ標高データ）である。地形補正の密度は、ブーゲー補正と同様に、 2.2 g/cm^3 であり、補正範囲は半径80kmとした。ただし、桜島周辺の海底地形の補正はおこなっていない。得られた重力異常値をTable1に示す。

次に、ブーゲー補正や地形補正に用いた補正密度について述べる。Murata（1993）は、Akaike（1980）のABIC最小化法に基づいた新しい補正密度の推定方法を提案し、九州地域を適当な区域に分け、各区域毎に最適な補正密度分布を求めている。その研究によると、桜島を含む南九州周辺においては、補正密度は $2.2 \sim 2.4 \text{ g/cm}^3$ であると推定されている。また、Fig.2は、平均密度を求める一般的な方法の一つであるF-H法（Parasnis, 1979）を本研究で得られた重力データに適用した結果のグラフである。この分布から推定される平均密度は 2.17 g/cm^3 である。しかしながら、その分布のばらつきが大きく、さらに、図中に示されている平均密度 2.17 g/cm^3 の点線を境に2つのグループに分離できるような分布を示していることがわかる。すなわち、負の重力異常の地点は平均密度の直線の下側に分布し、正の重力異常地点は直線の上側に分布している。このことは、桜島が平均密度の異なる二つの領域から構成されていることを示唆している。本研究では、Murata（1993）の結果を考慮し、 2.2 g/cm^3 を補正密度とした。Fig.3は測定地点の標高とブーゲー

異常の関係を示したものである。標高と重力異常値の分布に明瞭な相関は見られないので、補正密度（ 2.2 g/cm^3 ）は適切であると考えられる。

測定された重力値の精度を推定するため、Fig.4に測定地点であるSKR-VCでの重力値のClosure誤差（期間は1994年8月～10月）を示す。この地点では、桜島島内における測定の開始前後において必ず測定を行っている。Fig.3より、測定精度は ± 0.1 mgal以内であると言えるであろう。また、前述した補正密度の不確定さや地形補正等の種々の数値処理による誤差がどの程度の絶対誤差を引き起こすのかは不明であるが、最終的には測定点間の相対誤差は、 ± 0.2 mgal以下であると推測できる。

4 重力異常分布

Fig.5にフリーエア異常分布を、Fig.6にブーゲー異常分布をそれぞれ示す。以下にブーゲー異常分布の特徴を述べる：(1)桜島北東地沿岸域においては、負の重力異常が卓越し、最大で -18 mgalに達する。(2)東部地域においては、大隅半島の正の重力異常域から桜島北東部の負の重力異常域へと急激な勾配で変化している。(3)南東地域は正の重力異常であり、大隅半島と桜島の接合部においては、 $+20$ mgal以上に達する。(4)南部および南西部地域においては、重力異常の勾配は小さく、正の重力異常地帯となっている。(5)西部地域（大正溶岩）の山体側において、局所的な正の異常域（ $+12$ mgal以上）が存在する。(6)桜島の北西部においては、正から負の重力異常に変化しているが、負の重力地域では、その勾配が急激になっている。(7)桜島の西部～北部地域において、局所的な重力異常域が散在している。

以上のように、大局的には、桜島島内においては、南東部域から北部域に向かって正の重力異常（最大 $+23$ mgal）から負の重力異常（最大 -18 mgal）に大きく変化しているのが特徴であり、中条・上村（1976）やYokoyama and Ohkawa（1986）の広域の重力異常分布と調和的である。また、北部域の沿岸沿いにみられる負の異常域は、広域分布に見られる鹿児島湾北部海域の -25 mgalを持つ負の異常領域に続いていると考えられる。一方、(5)と(7)で指摘したように、これまでの研究による広域重力異常分布では検出されなかった局所的異常域が明らかになった。

5 考察とまとめ

はじめに、桜島の地質分布（小林，1988）と得られたブーゲー異常分布との対比について述べる。桜島はこれまでの多くの噴火に関連した溶岩（764年の鍋山噴火、

Station Code	Latitude N31° (minute)	Longitude E130° (minute)	Height (meter)	Method of Position	Observed Gravity 979, (mgal)	Normal Gravity 979, (mgal)	Free-air Anomaly (mgal)	Terrian Correction (mgal)	Bouguer Anomaly (mgal)
SKR-VC	35.23	35.80	7	2	457.97	450.09	10.66	0.47	10.30
G002	35.08	35.78	10	2	457.32	449.89	10.52	0.45	10.04
G003	34.40	36.58	18	2	453.99	448.97	10.57	0.83	9.73
G004	34.30	36.88	15	2	453.17	448.84	8.96	1.13	8.70
G005	34.26	36.68	3	2	457.04	448.79	9.18	0.94	9.84
G006	34.30	36.66	3	2	457.16	448.84	9.25	0.95	9.92
G007	34.11	36.73	3	2	456.47	448.58	8.82	0.89	9.42
G008	33.93	36.86	3	2	455.69	448.34	8.28	0.90	8.90
G009	34.18	36.93	20	2	451.91	448.68	9.40	1.10	8.64
G010	34.00	37.03	20	2	451.44	448.44	9.18	1.07	8.39
G011	33.80	36.96	3	2	455.62	448.17	8.38	0.92	9.02
G012	33.88	37.13	20	2	451.55	448.27	9.45	1.08	8.67
G013	33.66	37.30	16	1	452.87	447.98	9.83	1.13	9.47
G014	33.61	37.21	7	2	455.02	447.91	9.26	1.00	9.61
G015	33.50	37.33	2	2	454.71	447.76	7.57	1.18	8.56
G016	33.56	37.38	15	1	453.41	447.85	10.19	1.18	9.98
G017	33.76	37.46	30	1	448.54	448.11	9.69	1.36	8.26
G018	33.73	37.38	24	1	449.92	448.07	9.25	1.24	8.26
G019	34.05	37.13	33	2	447.41	448.50	9.09	1.19	7.22
G020	34.13	37.06	35	2	447.81	448.61	10.00	1.16	7.91
G021	34.18	37.25	58	2	443.47	448.68	12.69	1.53	8.83
G022	34.30	37.05	32	2	449.30	448.84	10.33	1.35	8.71
G023	34.41	36.98	26	2	451.12	448.99	10.16	1.37	9.12
G024	33.21	37.80	3	1	452.77	447.38	6.33	1.44	7.48
G025	33.23	37.75	3	1	453.15	447.40	6.68	1.40	7.80
G026	33.33	37.76	24	1	449.44	447.54	9.31	1.30	8.38
G027	33.21	37.84	22	1	448.57	447.38	7.99	1.28	7.23
G028	33.00	38.13	10	1	451.26	447.09	7.26	1.45	7.77
G029	33.03	38.18	18	1	448.33	447.13	6.75	1.48	6.56
G030	33.06	38.08	16	1	448.60	447.17	6.37	1.40	6.28
G031	32.86	38.23	43	1	442.81	446.91	9.17	1.45	6.63
G032	32.91	38.28	42	1	443.40	446.97	9.39	1.38	6.87
G033	32.90	38.40	43	1	443.23	446.96	9.54	1.46	7.01
G034	33.06	38.33	39	1	443.62	447.17	8.48	1.60	6.46
G035	33.18	38.30	60	1	440.15	447.33	11.34	1.78	7.55
G036	33.09	38.18	33	1	445.60	447.21	8.57	1.53	7.04
G037	33.23	37.96	37	1	446.55	447.40	10.57	1.45	8.59
G038	33.36	37.83	39	1	446.35	447.58	10.81	1.38	8.57
G039	33.45	37.86	58	1	442.51	447.70	12.71	1.54	8.87
G040	33.45	38.25	115	1	430.63	447.70	18.43	2.17	9.93

Table 1. Results of gravity survey. The density is assumed to be 2.2 g/cm³. The number in the Method of Position means as follows: 1=1/5000 map, 2=1/25000 map, 3=Handy GPS. See the text in detail.

Station Code	Latitude N31° (minute)	Longitude E130° (minute)	Height (meter)	Method of Position	Observed Gravity 979, (mgal)	Normal Gravity 979, (mgal)	Free-air Anomaly (mgal)	Terrian Correction (mgal)	Bouguer Anomaly (mgal)
G041	33.51	38.11	107	1	432.49	447.78	17.73	2.10	9.91
G042	33.34	38.40	108	1	431.40	447.55	17.18	2.11	9.27
G043	33.46	38.43	136	1	425.68	447.71	19.93	2.76	10.08
G044	33.31	38.46	106	1	430.78	447.51	15.98	2.18	8.34
G045	33.41	38.63	167	1	418.43	447.64	22.32	2.73	9.57
G046	33.41	38.78	186	1	414.86	447.64	24.61	2.83	10.21
G047	32.86	39.15	41	1	442.11	446.91	7.86	2.47	6.53
G048	33.03	39.05	112	1	428.77	447.13	16.20	2.38	8.19
G049	33.13	39.20	139	1	423.30	447.27	18.93	2.37	8.41
G050	33.16	39.34	138	1	422.93	447.31	18.21	2.62	8.03
G051	33.09	39.00	131	1	424.65	447.21	17.86	2.21	7.92
G052	33.31	38.20	86	1	436.19	447.51	15.22	1.80	9.04
G053	33.28	38.59	117	1	427.43	447.47	16.07	2.25	7.47
G054	33.13	38.84	120	1	427.62	447.27	17.39	2.05	8.31
G055	33.05	38.71	115	1	428.75	447.16	17.08	1.79	8.21
G056	33.06	38.56	113	1	428.82	447.17	16.52	2.34	8.38
G057	32.76	38.76	111	1	425.53	446.77	13.02	2.75	5.47
G058	32.93	38.56	97	1	431.81	447.00	14.75	1.87	7.62
G059	32.66	38.46	68	1	436.92	446.64	11.27	1.88	6.84
G060	32.76	38.93	12	1	446.39	446.77	3.32	2.28	4.49
G061	32.65	38.73	29	1	442.75	446.62	5.07	1.59	3.98
G062	32.81	39.18	2	1	448.66	446.84	2.44	2.30	4.56
G063	32.83	39.26	23	1	442.76	446.86	2.99	2.16	3.02
G064	32.91	39.63	25	1	445.28	446.97	6.02	2.27	5.97
G065	32.90	39.40	37	1	442.43	446.96	6.89	2.56	6.01
G066	34.00	38.55	299	2	389.95	448.44	33.79	4.61	10.70
G067	33.95	38.48	276	2	395.28	448.37	32.08	4.12	10.63
G069	33.66	38.25	164	2	418.83	447.98	21.46	3.05	9.30
G070	33.40	37.50	31	1	448.35	447.63	10.29	1.09	8.50
G071	33.83	38.00	99	1	434.63	448.21	16.97	2.30	10.09
G072	34.13	37.83	100	1	434.94	448.61	17.19	2.77	10.68
G073	34.05	37.91	103	1	433.97	448.50	17.25	2.60	10.30
G074	34.00	38.03	117	1	430.81	448.44	18.48	2.88	10.51
G075	34.09	38.16	151	1	421.77	448.56	19.82	3.80	9.61
G076	33.65	37.59	62	1	442.95	447.97	14.11	1.41	9.77
G077	33.70	37.76	77	1	438.71	448.03	14.44	1.59	8.89
G078	34.46	36.41	28	2	452.46	449.05	12.05	0.67	10.12
G079	34.73	36.11	14	2	453.24	449.42	8.14	0.57	7.41
G080	34.83	35.91	11	2	456.08	449.55	9.92	0.48	9.38
G081	34.98	35.75	10	2	456.67	449.75	10.00	0.44	9.52
G082	35.20	35.78	6	2	457.97	450.05	9.78	0.46	9.68
G083	35.30	36.00	5	2	458.33	450.18	9.69	0.57	9.80
G084	35.05	36.16	22	2	454.17	449.85	11.11	0.57	9.64
G085	34.80	36.33	32	2	449.80	449.51	10.17	0.63	7.83
G086	34.50	36.53	29	2	451.58	449.11	11.43	0.74	9.47

Table 1. Continued.

Station Code	Latitude N31° (minute)	Longitude E130° (minute)	Height (meter)	Method of Position	Observed Gravity 979, (mgal)	Normal Gravity 979, (mgal)	Free-air Anomaly (mgal)	Terrian Correction (mgal)	Bouguer Anomaly (mgal)
G087	33.59	37.13	2	2	454.59	447.89	7.32	0.93	8.06
G088	33.86	37.61	50	1	445.93	448.25	13.11	1.65	10.12
G089	35.21	36.01	7	2	457.73	450.06	9.83	0.57	9.75
G090	35.09	36.16	16	2	455.56	449.90	10.60	0.60	9.71
G091	35.16	36.15	14	2	455.42	449.99	9.74	0.61	9.05
G092	35.28	36.28	25	2	452.04	450.16	9.60	0.65	7.93
G093	35.40	36.45	8	2	455.61	450.32	7.76	0.89	7.91
G094	35.38	36.50	8	2	455.53	450.29	7.71	0.96	7.93
G095	35.40	36.73	35	2	452.12	450.32	12.60	1.14	10.50
G096	35.46	36.53	8	2	455.49	450.40	7.57	0.94	7.77
G097	35.56	36.53	4	2	456.75	450.53	7.45	0.95	8.03
G098	35.66	36.66	6	2	454.79	450.67	5.98	1.12	6.55
G099	35.70	36.58	4	2	456.70	450.72	7.21	0.96	7.80
G100	35.53	36.13	4	2	458.08	450.49	8.82	0.73	9.18
G101	35.51	36.20	55	2	443.17	450.46	9.68	1.42	6.00
G102	35.46	36.16	6	2	457.23	450.40	8.69	0.72	8.85
G103	35.68	36.80	15	2	452.37	450.69	6.31	1.38	6.29
G104	35.68	37.23	58	2	442.17	450.69	9.38	1.90	5.90
G105	35.80	37.31	76	1	438.69	450.85	11.29	1.82	6.06
G106	35.80	37.66	139	1	425.06	450.85	17.10	2.28	6.50
G107	35.90	37.48	106	1	432.26	450.99	13.98	1.86	6.01
G108	35.90	37.31	80	1	437.76	450.99	11.46	1.57	5.62
G109	35.81	36.68	7	2	455.71	450.87	7.01	0.96	7.32
G110	36.01	36.73	3	2	456.00	451.14	5.79	0.94	6.45
G111	36.01	36.84	16	2	452.26	451.14	6.06	0.99	5.57
G112	35.93	37.00	33	2	447.70	451.03	6.85	1.20	4.99
G113	35.83	36.96	28	2	449.01	450.89	6.75	1.26	5.41
G114	35.70	36.93	24	2	449.42	450.72	6.11	1.49	5.37
G115	36.21	36.88	7	2	454.31	451.40	5.07	0.96	5.37
G116	36.20	37.05	20	2	450.40	451.39	5.18	1.13	4.45
G117	36.00	37.41	92	1	434.94	451.12	12.21	1.58	5.25
G118	36.09	36.83	6	2	454.68	451.24	5.29	0.99	5.72
G119	36.08	36.98	21	2	450.14	451.23	5.39	1.14	4.58
G120	36.45	37.06	8	2	454.44	451.73	5.18	0.97	5.41
G121	36.40	36.98	9	2	454.80	451.66	5.92	0.93	6.01
G122	36.20	37.21	44	2	444.52	451.39	6.71	1.20	3.82
G123	36.45	37.16	12	2	452.90	451.73	4.87	1.08	4.84
G124	36.36	37.23	31	1	448.87	451.61	6.83	1.16	5.12
G125	36.58	37.25	4	1	454.95	451.90	4.28	1.10	5.01
G126	36.55	37.33	22	1	450.47	451.86	5.40	1.12	4.48
G127	37.00	37.93	21	1	448.48	452.47	2.50	1.12	1.67
G128	37.00	38.06	20	1	448.27	452.47	1.97	1.21	1.33
G129	37.00	38.38	5	1	448.44	452.47	-2.48	1.58	-1.36
G130	36.96	38.26	22	1	446.45	452.41	0.82	1.43	0.21
G131	37.03	38.70	6	1	444.49	452.51	-6.16	1.86	-4.86

Table 1. Continued.

Station Code	Latitude N31° (minute)	Longitude E130° (minute)	Height (meter)	Method of Position	Observed Gravity 979, (mgal)	Normal Gravity 979, (mgal)	Free-air Anomaly (mgal)	Terrian Correction (mgal)	Bouguer Anomaly (mgal)
G132	37.01	38.45	4	1	447.52	452.48	-3.73	1.63	-2.47
G133	36.93	38.59	19	1	444.80	452.37	-1.71	1.91	-1.56
G134	36.91	38.50	22	1	444.79	452.35	-0.77	1.86	-0.95
G135	36.83	38.34	33	1	445.78	452.24	3.72	1.80	2.47
G136	36.65	38.30	67	1	438.68	452.00	7.36	2.13	3.28
G137	36.90	38.41	23	1	444.68	452.33	-0.55	1.77	-0.91
G138	36.43	38.53	141	1	425.14	451.70	16.95	4.20	8.07
G139	36.80	38.66	51	1	437.51	452.20	1.05	2.30	-1.38
G140	36.68	38.81	96	1	427.58	452.04	5.17	3.06	-0.67
G141	36.65	38.59	70	1	433.85	452.00	3.46	2.90	-0.14
G142	36.90	37.95	34	1	446.42	452.33	4.58	1.21	2.64
G143	36.71	38.03	58	1	442.16	452.08	7.98	1.52	4.12
G144	36.59	38.05	76	1	438.15	451.92	9.69	1.75	4.39
G145	36.51	38.00	86	1	435.65	451.81	10.38	1.80	4.20
G146	36.20	38.03	146	1	421.80	451.39	15.47	2.63	4.56
G147	36.30	38.20	145	1	421.56	451.53	14.78	3.17	4.51
G148	36.40	38.21	130	1	424.98	451.66	13.44	2.80	4.19
G149	36.03	38.11	193	1	410.85	451.16	19.25	3.75	5.11
G150	35.90	38.26	246	1	398.34	450.99	23.26	4.74	5.21
G151	35.96	38.00	188	1	412.96	451.07	19.91	2.82	5.30
G152	35.71	37.86	181	1	416.19	450.73	21.31	2.88	7.41
G153	35.81	37.86	187	1	414.35	450.87	21.19	2.66	6.51
G154	35.91	37.76	160	1	420.04	451.00	18.42	2.26	5.84
G155	36.05	37.48	90	1	435.15	451.19	11.73	1.65	5.04
G156	36.95	37.73	15	1	451.16	452.40	3.39	1.05	3.05
G157	36.81	38.15	49	1	443.08	452.21	5.99	1.51	2.96
G158	36.71	37.34	5	1	454.95	452.08	4.42	1.05	5.01
G159	36.93	37.61	3	1	454.29	452.37	2.85	1.04	3.61
G160	36.80	37.71	28	1	449.26	452.20	5.71	1.20	4.31
G161	36.55	37.86	74	1	439.42	451.86	10.39	1.54	5.07
G162	36.48	37.93	89	1	435.56	451.77	11.26	1.74	4.74
G163	36.50	37.80	76	1	438.90	451.79	10.56	1.55	5.06
G164	36.01	37.98	177	1	415.22	451.14	18.70	2.71	5.01
G165	36.61	37.36	18	1	451.59	451.94	5.21	1.11	4.64
G166	36.55	37.45	33	1	448.44	451.86	6.76	1.19	4.89
G167	36.34	37.73	89	1	435.73	451.58	11.62	1.67	5.03
G168	36.36	37.76	93	1	434.79	451.61	11.89	1.69	4.95
G169	36.25	37.90	127	1	426.80	451.46	14.53	2.14	4.89
G170	36.21	37.86	125	1	427.58	451.40	14.75	2.09	5.25
G171	36.13	37.95	149	1	422.01	451.30	16.69	2.43	5.31
G172	34.63	35.80	3	2	458.18	449.28	9.83	0.45	9.99
G173	34.55	35.96	3	2	457.79	449.17	9.54	0.51	9.77
G174	34.96	36.00	12	2	456.13	449.73	10.11	0.52	9.52
G175	35.05	35.96	12	2	456.35	449.85	10.20	0.50	9.59
G176	35.01	35.83	12	2	455.93	449.79	9.84	0.46	9.19

Table 1. Continued.

Station Code	Latitude N31° (minute)	Longitude E130° (minute)	Height (meter)	Method of Position	Observed Gravity 979, (mgal)	Normal Gravity 979, (mgal)	Free-air Anomaly (mgal)	Terrian Correction (mgal)	Bouguer Anomaly (mgal)
G177	36.33	37.41	52	1	443.59	451.57	8.07	1.29	4.54
G178	36.21	37.48	75	1	438.87	451.40	10.61	1.49	5.14
G179	36.08	37.65	116	1	429.57	451.23	14.14	1.87	5.24
G180	36.26	37.31	50	1	444.25	451.47	8.21	1.28	4.85
G181	36.84	37.45	3	1	454.30	452.25	2.97	1.01	3.70
G182	36.76	37.51	20	1	451.37	452.14	5.40	1.10	4.64
G183	37.15	39.18	4	1	440.87	452.67	-10.57	1.93	-9.01
G184	37.31	39.66	4	1	438.43	452.88	-13.22	1.49	-12.10
G185	37.30	39.41	7	1	438.50	452.87	-12.21	1.43	-11.43
G186	37.05	38.80	8	1	442.90	452.53	-7.17	1.88	-6.03
G187	37.21	39.59	27	1	434.69	452.75	-9.73	1.58	-10.66
G188	36.98	39.55	74	1	426.10	452.44	-3.50	2.34	-8.03
G189	37.11	39.45	39	1	433.16	452.61	-7.42	1.87	-9.17
G190	37.05	39.66	59	1	428.58	452.53	-5.75	1.93	-9.29
G191	37.00	39.75	68	1	426.56	452.47	-4.92	2.09	-9.14
G192	36.81	39.68	132	1	414.71	452.21	3.23	2.64	-6.37
G193	36.68	39.66	177	1	405.43	452.04	8.01	2.89	-5.51
G194	36.51	39.66	222	1	396.38	451.81	13.08	3.56	-3.93
G195	36.23	39.90	319	1	375.46	451.43	22.47	4.86	-2.21
G196	36.36	39.83	270	1	386.83	451.61	18.55	4.02	-2.45
G197	37.09	39.40	36	1	433.85	452.59	-7.63	2.00	-8.97
G198	37.01	39.06	24	1	437.56	452.48	-7.51	2.44	-7.30
G199	36.81	39.01	87	1	427.19	452.21	1.82	2.68	-3.57
G200	36.71	38.86	98	1	426.42	452.08	4.59	2.95	-1.56
G201	36.65	39.01	144	1	416.14	452.00	8.58	3.24	-1.53
G202	36.73	39.26	173	1	407.31	452.10	8.60	3.18	-4.26
G203	36.55	39.25	223	1	397.93	451.86	14.89	3.48	-2.30
G204	36.43	39.25	256	1	389.84	451.70	17.15	4.00	-2.57
G205	36.30	39.41	289	1	382.11	451.53	19.77	4.78	-2.22
G206	36.63	39.46	196	1	402.11	451.97	10.63	3.12	-4.42
G207	36.46	39.50	240	1	393.56	451.74	15.88	3.78	-2.58
G208	36.83	39.20	114	1	420.02	452.24	2.97	2.78	-4.83
G209	37.03	39.30	50	1	431.74	452.51	-5.34	2.33	-7.65
G210	34.30	37.20	51	2	445.79	448.84	12.69	1.80	9.75
G211	34.33	37.33	95	2	436.33	448.88	16.77	2.00	9.96
G212	34.50	37.26	130	2	429.62	449.11	20.63	2.61	11.18
G213	34.66	37.18	166	2	422.17	449.32	24.08	3.07	11.76
G214	34.61	37.48	189	2	418.30	449.26	27.37	2.25	12.10
G215	34.58	37.78	210	1	412.69	449.22	28.28	2.53	11.34
G216	34.84	37.70	248	1	408.84	449.56	35.81	3.09	15.92
G217	34.88	37.81	255	1	404.64	449.62	33.71	2.95	13.04
G218	35.11	38.13	336	1	381.78	449.93	35.55	4.26	8.69
G219	35.30	38.20	380	1	371.60	450.18	38.69	4.80	8.30
G220	35.38	38.25	385	1	369.23	450.29	37.75	5.43	7.53
G221	35.41	38.03	337	1	381.40	450.33	35.07	4.63	8.49

Table 1. Continued.

Station Code	Latitude N31° (minute)	Longitude E130° (minute)	Height (meter)	Method of Position	Observed Gravity 979, (mgal)	Normal Gravity 979, (mgal)	Free-air Anomaly (mgal)	Terrian Correction (mgal)	Bouguer Anomaly (mgal)
G222	35.28	37.95	374	1	374.95	450.16	40.21	5.95	11.54
G223	35.43	37.83	253	1	401.33	450.36	29.05	3.30	8.91
G224	35.45	37.59	217	1	410.13	450.38	26.72	2.82	9.43
G225	35.46	37.41	210	2	413.17	450.40	27.58	4.09	12.21
G226	35.56	37.43	195	2	410.86	450.53	20.50	3.71	6.14
G227	35.63	37.76	175	1	417.32	450.63	20.70	3.14	7.62
G232	34.55	38.13	270	1	395.81	449.17	29.96	3.80	8.74
G233	34.53	38.05	247	1	402.57	449.15	29.65	3.52	10.28
G234	34.53	37.90	230	2	406.86	449.15	28.69	3.04	10.41
G235	35.95	38.30	282	1	390.01	451.06	25.98	4.54	4.39
G236	35.86	38.45	357	1	376.43	450.93	35.67	5.54	8.15
G237	36.11	38.50	365	2	372.60	451.27	33.97	6.18	6.35
G238	36.13	38.80	350	2	371.54	451.30	28.25	5.55	1.39
G239	36.20	39.01	345	2	375.49	451.39	30.57	5.78	4.40
G240	36.23	39.30	335	2	373.16	451.43	25.11	6.11	0.19
G241	36.20	39.46	318	1	375.90	451.39	22.64	6.05	-0.76
G242	34.70	37.28	155	1	424.88	449.38	23.33	2.00	10.96
G243	34.96	38.05	287	1	394.10	449.73	32.95	4.25	10.61
G244	34.70	37.73	225	1	406.02	449.38	26.08	2.62	7.85
G245	34.90	36.23	25	2	452.12	449.64	10.19	0.59	8.46
G246	34.61	36.43	33	2	450.78	449.26	11.71	0.66	9.31
G247	34.59	36.23	28	2	452.41	449.23	11.82	0.59	9.81
G300	37.03	40.06	76	1	423.69	452.51	-5.36	1.85	-10.56
G301	37.34	40.06	3	1	436.91	452.92	-15.09	1.55	-13.82
G302	37.34	39.90	6	1	436.75	452.92	-14.33	1.39	-13.49
G303	37.21	39.93	30	1	432.29	452.75	-11.20	1.59	-12.40
G304	37.08	39.98	54	1	428.10	452.57	-7.81	1.79	-11.03
G305	36.93	40.06	90	1	421.09	452.37	-3.50	2.08	-9.78
G306	36.81	40.05	114	1	416.72	452.21	-0.31	2.59	-8.30
G307	36.71	40.08	140	1	411.17	452.08	2.30	3.69	-6.99
G308	36.73	40.23	149	1	409.87	452.10	3.75	3.32	-6.75
G309	36.88	40.20	117	1	415.96	452.31	-0.24	2.19	-8.90
G310	37.03	40.21	81	1	422.18	452.51	-5.33	1.82	-11.03
G311	37.15	40.13	56	1	426.67	452.67	-8.72	1.61	-12.30
G312	37.09	40.31	54	1	426.93	452.59	-9.00	1.74	-12.27
G313	36.96	40.34	94	1	419.68	452.41	-3.73	1.91	-10.54
G314	36.78	40.36	119	1	415.54	452.17	0.09	2.67	-8.27
G315	36.66	40.43	138	1	410.59	452.01	1.17	3.58	-8.05
G316	36.84	40.45	96	1	419.98	452.25	-2.64	2.24	-9.31
G317	36.76	40.56	112	1	416.07	452.14	-1.51	2.56	-9.34
G318	37.01	40.55	67	1	425.60	452.48	-6.20	1.70	-10.72
G319	36.95	40.81	89	1	419.48	452.40	-5.45	1.61	-12.09
G320	37.11	40.78	72	1	422.71	452.61	-7.68	1.32	-13.04
G321	37.28	40.84	38	1	428.21	452.84	-12.91	1.20	-15.23
G322	37.38	40.70	35	1	427.38	452.98	-14.79	1.18	-16.87

Table 1. Continued.

Station Code	Latitude N31° (minute)	Longitude E130° (minute)	Height (meter)	Method of Position	Observed Gravity 979, (mgal)	Normal Gravity 979, (mgal)	Free-air Anomaly (mgal)	Terrian Correction (mgal)	Bouguer Anomaly (mgal)
G323	37.25	40.65	6	1	433.68	452.80	-17.27	2.03	-15.80
G324	37.28	40.41	26	1	431.79	452.84	-13.03	1.33	-14.11
G325	37.28	40.25	14	1	434.89	452.84	-13.64	1.57	-13.37
G326	37.05	41.15	48	1	424.98	452.53	-12.74	1.73	-15.47
G327	36.91	41.26	101	1	415.21	452.35	-5.97	1.50	-13.83
G328	36.93	41.51	75	1	421.25	452.37	-7.98	1.15	-13.79
G329	37.05	41.86	39	1	426.95	452.53	-13.55	0.91	-16.25
G330	36.93	42.03	21	1	430.80	452.37	-15.10	0.95	-16.10
G331	36.63	42.25	13	1	433.23	451.97	-14.73	1.15	-14.78
G332	36.50	42.53	30	1	428.38	451.79	-14.16	0.84	-16.10
G333	36.26	42.65	3	1	435.57	451.47	-14.97	1.04	-14.21
G334	36.05	42.35	29	1	431.05	451.19	-11.20	1.17	-12.71
G335	36.01	42.70	15	1	432.22	451.14	-14.29	1.07	-14.61
G336	35.81	42.66	49	1	425.78	450.87	-9.97	1.00	-13.52
G337	35.75	42.38	66	1	423.67	450.79	-6.75	0.93	-11.94
G338	35.70	41.98	95	2	420.14	450.72	-1.26	1.11	-8.96
G339	36.01	41.91	110	2	418.49	451.14	1.30	1.23	-7.67
G340	36.23	42.00	85	2	423.61	451.43	-1.59	1.01	-8.46
G341	36.58	41.68	85	2	422.61	451.90	-3.06	1.05	-9.89
G342	36.45	42.00	75	2	424.67	451.73	-3.91	0.96	-9.91
G343	35.71	41.76	100	1	417.81	450.73	-2.06	1.34	-9.99
G344	35.88	41.55	116	3	412.66	450.96	-2.51	1.60	-11.66
G345	35.61	42.66	44	1	428.08	450.60	-8.94	1.00	-12.03
G346	35.31	42.65	31	1	432.86	450.20	-7.77	1.04	-9.60
G347	35.11	42.68	47	1	430.97	449.93	-4.45	0.87	-7.94
G348	34.86	42.51	37	1	436.71	449.59	-1.46	1.13	-3.77
G349	36.61	41.28	137	1	410.69	451.94	1.03	1.54	-10.14
G350	36.83	41.15	132	1	410.40	452.24	-1.10	1.53	-11.81
G351	33.81	38.18	135	1	426.29	448.18	19.77	2.84	10.09
G352	33.66	38.41	212	1	406.82	447.98	24.27	3.44	8.06
G353	32.96	39.81	23	1	445.01	447.04	5.07	2.56	5.50
G354	33.36	40.00	117	1	429.33	447.58	17.86	4.16	11.17
G355	33.16	39.95	88	1	435.41	447.31	15.26	3.02	10.12
G356	33.15	40.16	28	1	447.73	447.29	9.08	3.17	9.64
G357	33.28	40.33	78	1	438.17	447.47	14.77	2.89	10.43
G358	33.43	40.55	90	3	436.39	447.67	16.50	3.30	11.45
G359	33.00	40.46	45	2	445.60	447.09	12.39	1.91	10.13
G360	33.08	40.80	80	2	442.81	447.20	20.29	1.90	14.77
G361	33.03	41.13	45	2	449.95	447.13	16.71	1.66	14.19
G362	33.06	41.55	40	2	456.75	447.17	21.92	1.38	19.59
G363	33.16	42.06	24	2	461.01	447.31	21.11	2.77	21.65
G364	32.66	42.46	15	2	467.51	446.64	25.50	2.79	26.90
G365	33.25	42.75	4	2	467.76	447.43	21.57	5.63	26.83
G366	33.34	42.46	55	2	456.88	447.55	26.30	1.83	23.03
G367	33.59	42.65	49	2	454.40	447.89	21.64	1.15	18.24

Table 1. Continued.

Station Code	Latitude N31° (minute)	Longitude E130° (minute)	Height (meter)	Method of Position	Observed Gravity 979, (mgal)	Normal Gravity 979, (mgal)	Free-air Anomaly (mgal)	Terrian Correction (mgal)	Bouguer Anomaly (mgal)
G368	33.90	42.56	43	2	449.90	448.30	14.87	1.39	12.27
G369	34.18	42.68	48	2	443.77	448.68	9.91	1.04	6.49
G370	34.23	42.96	3	2	454.16	448.74	6.34	1.18	7.24
G371	34.45	42.33	75	1	435.07	449.04	9.18	1.13	3.35
G372	34.65	42.45	53	1	435.16	449.31	2.21	1.17	-1.54
G373	34.73	42.01	73	1	431.06	449.42	4.17	1.72	-0.88
G374	34.88	41.96	94	3	422.95	449.62	2.34	1.39	-4.99
G375	34.81	41.53	133	3	415.70	449.52	7.22	2.66	-2.45
G376	34.86	41.75	111	3	420.86	449.59	5.52	1.79	-2.98
G377	34.80	42.23	62	1	432.98	449.51	2.60	1.27	-1.88
G378	35.63	42.30	76	1	421.81	450.63	-5.37	0.95	-11.47
G379	35.88	43.01	21	1	429.29	450.96	-15.19	0.78	-16.36
G380	36.40	42.41	40	1	428.37	451.66	-10.95	0.81	-13.85
G381	37.18	41.63	22	1	428.80	452.71	-17.12	0.94	-18.22
G382	37.26	41.03	28	1	427.74	452.82	-16.43	1.23	-17.80
G383	36.96	39.84	73	1	425.29	452.41	-4.60	2.15	-9.23
G384	36.71	39.86	152	1	410.05	452.08	4.88	3.03	-6.19
G385	36.23	39.90	318	1	375.50	451.43	22.21	4.86	-2.39
G387	36.43	40.26	314	1	375.51	451.70	20.71	4.04	-4.34
G388	36.40	40.51	298	1	371.13	451.66	11.43	4.23	-11.94
G389	36.28	40.75	334	3	366.94	451.50	18.52	4.19	-8.22
G390	36.11	39.90	366	1	364.83	451.27	26.51	6.25	-1.13
G391	36.05	40.13	397	1	359.70	451.19	31.02	5.56	-0.17
G392	36.13	40.36	404	1	355.39	451.30	28.76	5.07	-3.57
G393	36.01	40.33	439	1	348.15	451.14	32.48	5.75	-2.40
G394	35.81	40.48	456	3	342.94	450.87	32.80	5.94	-3.46
G395	36.03	39.98	415	1	347.94	451.16	24.84	6.54	-7.03
G396	36.13	39.73	372	3	359.99	451.30	23.50	6.63	-4.32
G397	36.18	39.55	342	3	368.63	451.36	22.81	5.91	-2.95
G398	36.21	39.46	320	2	376.05	451.40	23.39	5.90	-0.34
G400	34.63	37.20	162	3	422.49	449.28	23.20	3.03	11.21
G401	34.70	37.84	154	3	426.25	449.38	24.40	5.33	15.45
G402	34.80	37.21	149	3	426.69	449.51	23.17	2.05	11.40
G403	34.83	37.13	128	3	430.15	449.55	20.10	1.98	10.21
G404	34.90	37.21	109	3	433.67	449.64	17.66	1.84	9.39
G405	34.98	37.26	110	3	434.18	449.75	18.37	1.88	10.05
G406	35.05	37.15	99	3	436.44	449.85	17.15	1.57	9.53
G407	35.11	37.20	110	3	433.48	449.93	17.50	1.60	8.90
G408	35.21	37.34	134	3	429.13	450.06	20.42	1.92	9.91
G410	35.15	37.33	118	3	432.42	449.98	18.85	1.91	9.82
G411	35.08	37.01	77	3	441.06	449.89	14.94	1.31	9.10
G412	35.03	36.90	66	3	442.63	449.82	13.18	1.19	8.24
G413	34.93	36.55	34	3	448.72	449.69	9.53	0.78	7.15
G414	35.08	36.73	48	3	446.84	449.89	11.77	0.99	8.30
G415	34.91	36.75	45	3	447.00	449.66	11.23	1.01	8.07

Table 1. Continued.

Station Code	Latitude N31° (minute)	Longitude E130° (minute)	Height (meter)	Method of Position	Observed Gravity 979, (mgal)	Normal Gravity 979, (mgal)	Free-air Anomaly (mgal)	Terrian Correction (mgal)	Bouguer Anomaly (mgal)
G416	34.86	37.75	252	3	404.31	449.59	32.49	2.91	12.05
G417	35.00	37.73	225	3	407.23	449.78	26.89	2.84	8.87

Table 1. Continued.

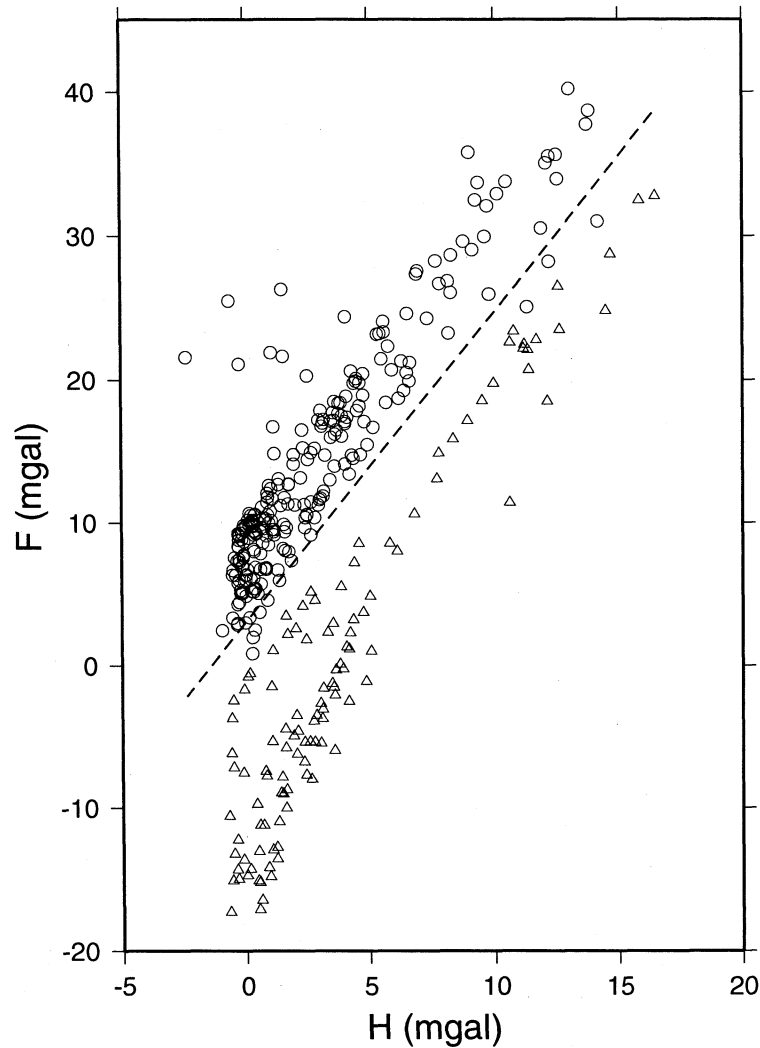


Fig. 2 F-H relation of the gravity data. Circles and triangles are gravity points with positive and negative gravity anomalies, respectively. A dashed line indicates the least squares fit which corresponds to a density of 2.17 g/cm³.

同年の長崎鼻溶岩, 1471~1476年の文明溶岩, 1779年安永溶岩, 1914~1915年の大正溶岩, 1946年の昭和溶岩)が分布し, 非常に複雑な表層地質分布となっている. そのため, 本研究で得られた重力異常分布をその地表地質分布の地層毎に個々に対応させることは困難であった. しかし, 一般に, 重力異常の勾配が小さな領域は非溶岩地帯に対応し, 一方, 溶岩地帯は重力異常が相対的に複雑な分布を示している. 次に, 重力測定地域内の主要な

火口との対比を試みた. 西部域中央部の大正溶岩を流出した大正火口列周辺は, 歴史時代に溶結した軽石層 (Welded pumice deposits) が地表に露出し, 正の重力異常域とほぼ対応している. したがって, この地域の正の重力異常は, この溶結した軽石層や大正火口の火道中の高密度の物質に起因するのかもしれない. また, 桜島北東部には1779年の安永噴火の際に流出した安永溶岩 (Pyroxene dacite) が分布している. この溶岩の上流側

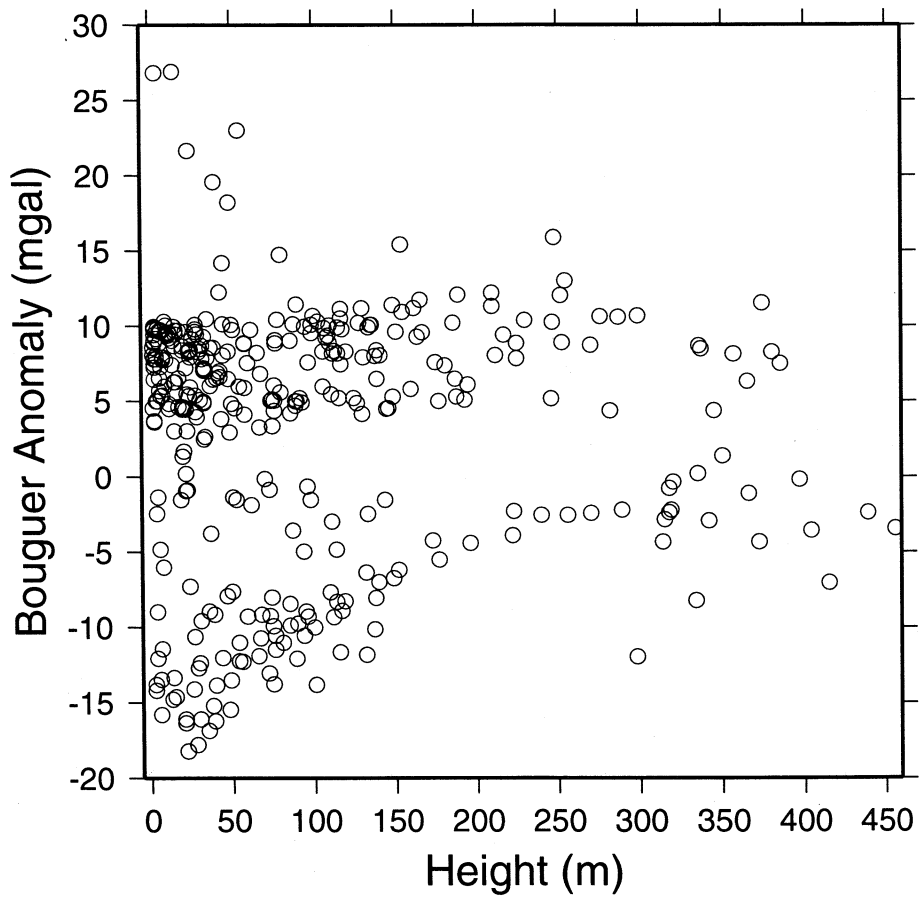


Fig. 3 Relation between the station height and Bouguer anomalies.

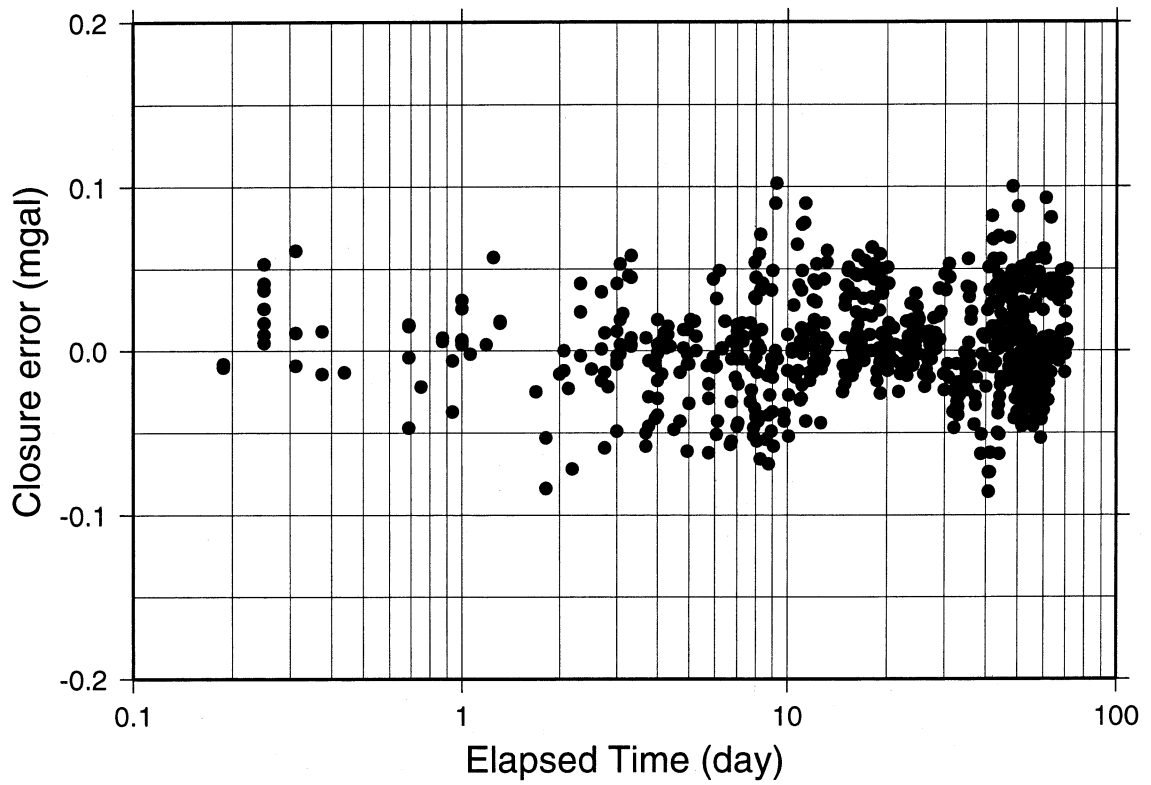


Fig. 4 A closure error of gravity values at the SKR-VC gravity points.

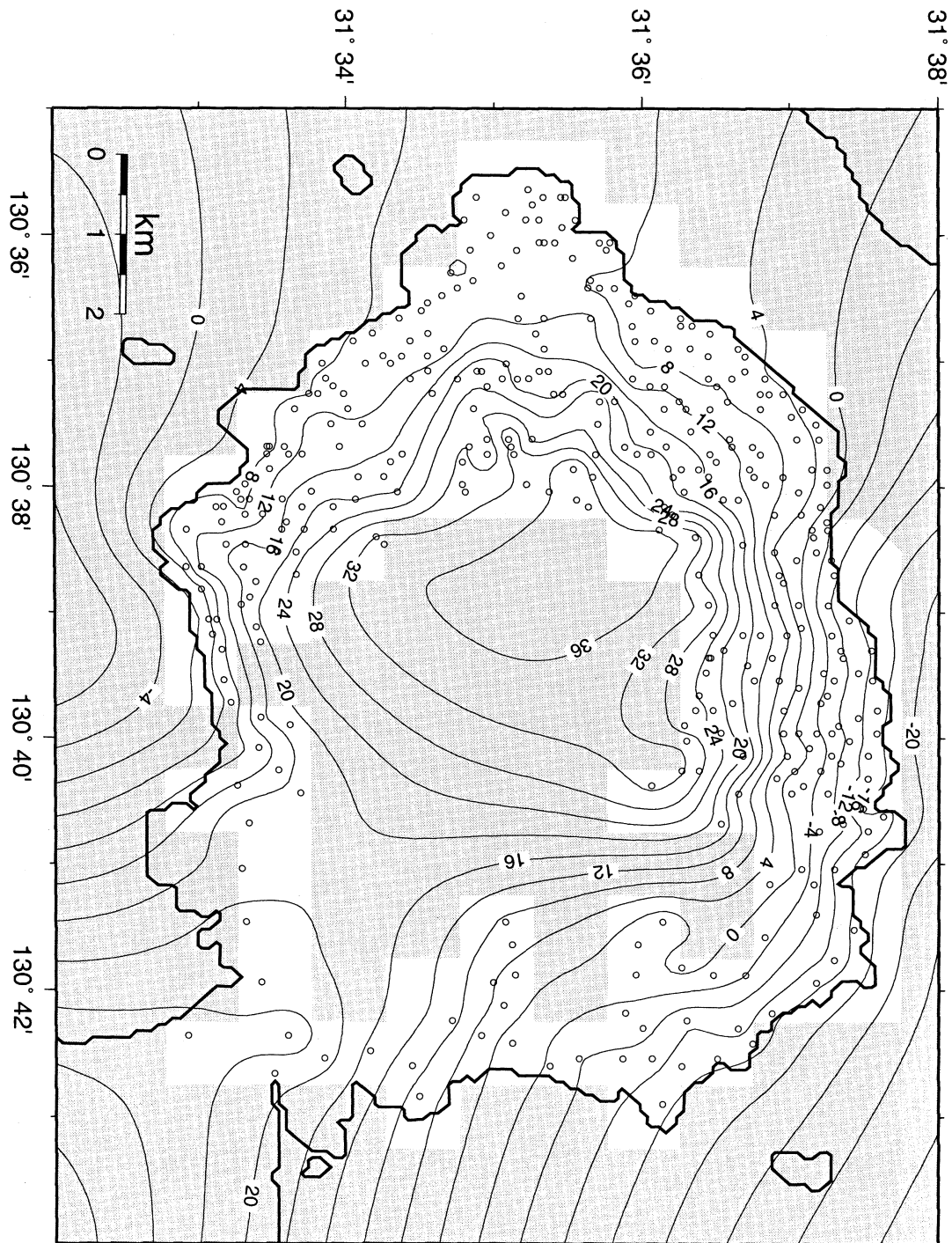


Fig. 5 Free-air gravity anomaly distribution in Sakurajima Volcano. Circles are the gravity points. Contour interval is 4 mgal. A density is assumed to be 2.2 g/cm³. There is no resolution in shaded areas.

の分布は重力異常分布と良い相関が見られ、地質学的に推定されている火口位置の近傍で、重力異常は若干複雑な分布を示している。

小林 (1982) によると、『薩摩』と呼ばれている降下軽石層は南九州に広く分布し、これまでの桜島の噴火活動史においても、11,000年前に発生した最大級の噴火活動であったことが指摘され、さらに、最近、溜池・小林

(1997) は、地質調査等により、この火口位置は桜島の西部域の袴腰の山側周辺であることを指摘した。本研究の重力異常分布から、その火口に対応する重力異常域を特定することは困難であるが、より精密で高密度な重力測定を行うことによって、その火口位置を特定できる可能性があると考えられる。

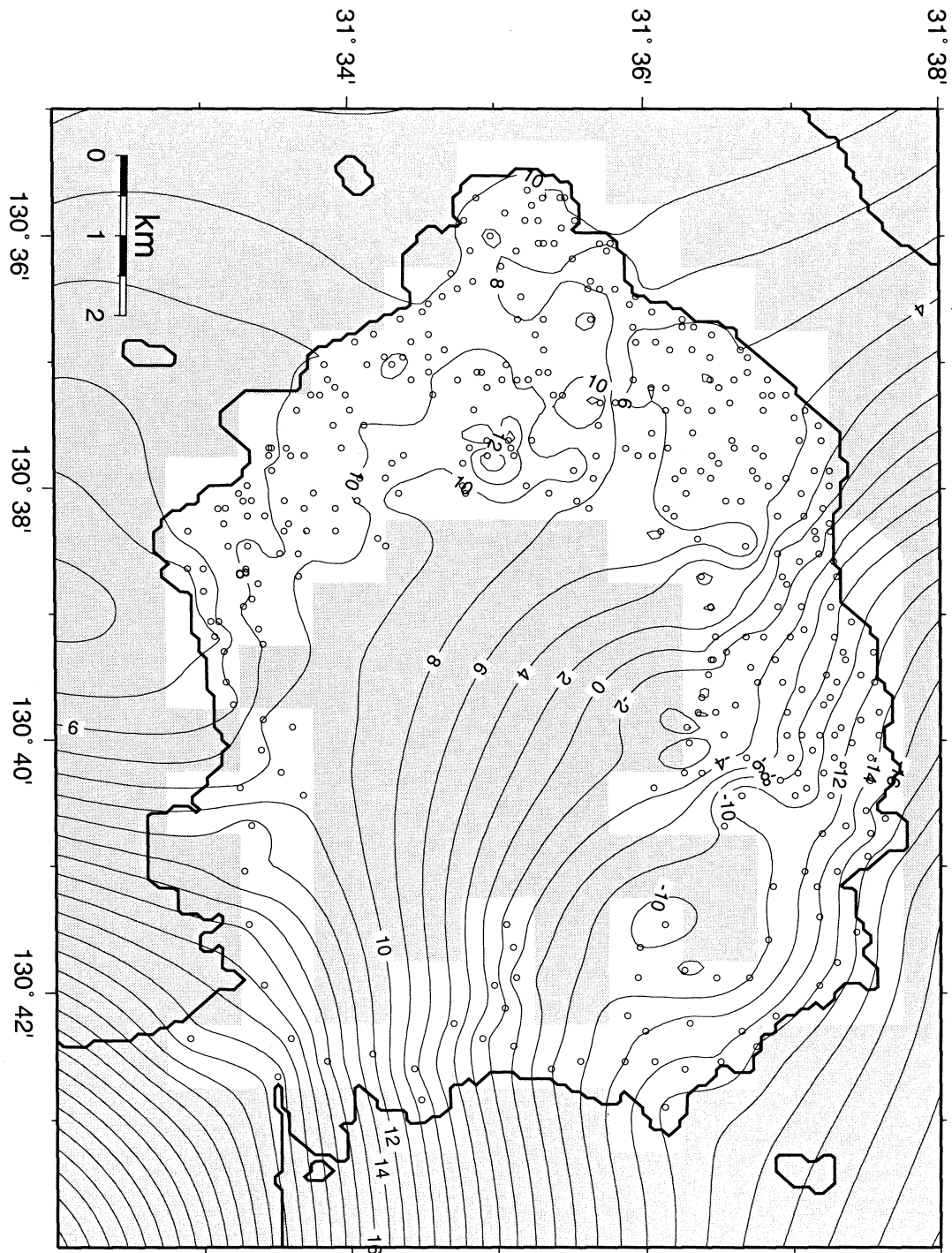


Fig. 6 Bouguer gravity anomaly distribution in Sakurajima Volcano. Circles are the gravity points. Contour interval is 2 mgal. A density is assumed to be 2.2 g/cm³. There is no resolution in shaded areas.

謝 辞

本研究で使用した相対重力計 (Scintrex 社製 Autograv CG-3M: シリアル番号9310230) は鹿児島大学理学部南西島弧地震火山観測所から快く貸していただいた。本研究経費の一部は、文部省科学研究費補助金 (課題番号 09640509) による。

参考文献

- Akaike, H., (1980) Likelihood and Bayesian Procedure. *Bayesian Statistics* (J.M. Bernardo, M.H. Degroot, D.V. Lindery and A.F.M. Smith, eds), University Press, Valencia, Spain, 143-166.
- 中条純輔・村上文敏 (1976) 鹿児島湾の物理探査の予察。

- 地質調査所月報, 第27巻, 第12号, 807-824.
- 萩原幸男 (1975) 通常のブーゲー補正と球面ブーゲー補正. 測地学会誌, **21**, 16-18.
- 小林哲夫 (1982) 桜島火山の地質—これまでの研究成果と今後の課題—. 火山, 第2集, 第27巻, 第4号, 277-292.
- 小林哲夫 (1988) 桜島火山地質図 (5万分の1). 桜島火山ガイドブック付図, 鹿児島国際火山会議.
- 河野芳輝・古瀬慶博 (1989) 100万分の1日本列島重力異常図解説. 東京大学出版会, pp76.
- Murata, Y. (1993) Estimation of Optimum Average Surficial Density from Gravity Data—An Objective Bayesian Approach. *Jour. Geophys. Res.*, **98**, 12097-12109.
- 中井新二 (1979) A Subroutine Program for Computing the Tidal Forces for the Practical Use. 水沢観測センター技報, 第18号, 124-135.
- Parasnis, D. S. (1979) Principles of Applied Geophysics, Third edition. Chapman and Hall, London, 275pp.
- 国土地理院測地部 (1997) 新しい日本重力基準網の構築. 国土地理院時報, **87**, 13-20.
- 溜池俊彦・小林哲夫 (1997) 桜島火山・薩摩テフラの分布と噴火様式について. 日本火山学会講演予稿集, 1997-2, 108.
- Yamamoto, A., K. Nozaki, Y. Fukao, M. Furumoto, R. Shichi, and T. Ezaka (1982) Gravity Survey in the Central Ranges, Honshu, Japan. *Jour. Phys. Earth*, **30**, 201-243.
- Yokoyama, I, and S. Ohkawa (1986) The Subsurface Structure of the Aira Caldera and Its Vicinity in Southern Kyushu, Japan. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **30**, 253-282.