

A. e. I.

地質調査所報告第152號

伊豆大島三原火山における重力測定
ならびにその時間的變化

飯田 波事・早川 正巳・片寄 邦之

昭和廿七年十二月拾九日

物理探査技術協會

地質調査所

昭和27年3月

地質調査所報告

所長 三 土 知 芳

伊豆大島三原火山における重力測定 ならびにその時間的变化

通商産業技官 飯 田 波 事
通商産業技官 早 川 正 巳
通商産業技官 片 寄 邦 之

目 次

I 緒 言	1
II 伊豆大島三原火山における重力測定	2
III 伊豆大島三原火山におけるブーゲー異常	5
IV 噴火に伴う伊豆大島三原火山における重力の時間的变化	9
V 結 論	15
(附) ノースアメリカン重力計について	16
1. ノースアメリカン重力計の特性	16
2. ノースアメリカン重力計による観測	20
3. 地殻潮汐について	22
Résumé (in English)	1
附図 第1図 川崎における重力の定時観測結果	

伊豆大島三原火山における重力測定ならびに その時間的变化

通商産業技官 飯田 汲事, 早川正巳, 片寄邦之

I 緒 言

昭和 25 年 (1950) 7 月 16 日伊豆大島中央火口丘三原火山は 10 年振りに突如活動を開始した。この活動はかなり大規模に行われ、その湧出熔岩は旧火口を満した後、内輪山を埋めつくし、さらにその一部は 9 月 13 日内輪山壁の低い部分より溢れ出し、遂に内輪、外輪山壁の間を占める砂漠地帯に向つて流れ、活動開始より 70 日後の 9 月 23 日一応活動を休止した。

その間内輪山内にシンダーコーンを生じ、その高さは内輪山東側の剣ヶ峯の最高点 755m より僅か低い程度にまで隆起した。この活動はその規模からみても 170 年前の安永時代の活動以来のものと考えられ、湧出熔岩の総量は約 4,000 万トンと推算されている。

以上の如く一応この大活動はおさまつたかにみえたのであるが、昭和 26 年 (1951) 2 月 4 日前年生じたシンダーコーンの附近より再び活動を開始した。同月末より 3 月中旬にかけては熔岩の湧出物凄く、遂に砂漠地帯の大半を蔽いつくし、4 月中旬におよんで漸く活動が下火となつた。なお 4 月末およびその後も小噴火があつた。

この 2 度目の大活動により旧シンダーコーン附近にさらにいくつかの小シンダーコーンを生じた。この活動は前回に比べて熔岩の溢流速度の大きい点が特に注目された。もとよりこれで今期の活動が全部休止したとは思われないが、以上の活動のみをもつてしても今回の活動の規模がうかがわれるであろう。以上が今期活動の現在までの概観である。

この詳細に関しては既に地質調査所沢村孝之助,¹⁾ 科学博物館村内必典²⁾ 等によつて報告されている。さて筆者等は昭和 24 年 (1949) 12 月 26 日栃木県今市附近に発生した地震後の同地方における重力測定の結果から地震後、微量ではあるが同地方の重力の変化を確め得た。³⁾ 地震によつて重力が変化するならば、火山の噴火のように明らかに地下の質量分布の変化が起つている際には重力の変化が期待されよう。そして条件がそろえばその重力変化の分布の状態から火山の活動機構をも明らかにしうる場合もあるであろう。一般に火山活動に関連しては微動、火山地震、傾斜、地磁気、重力偏差等の研究は行われているが、重力そのものの変化については、まだあまり研究がなされていない。

筆者等はこの機会を利用して火山活動に伴つて、果して重力が変化するものかどうかを確かめ、また、もし変化するとすればその量はどの程度のものかということを確認するために、重

力のくりかえし測定を行つた。

今回の噴火に伴う重力の測定は25年9月中旬より26年4月中旬にわたる7カ月間において合計4回実施した。なお、これらに附隨して外輪山、内輪山において合計3回のくりかえし水準測量をも行つた。

第II章にはこれら重力測定の方法の詳細について述べ、第III章においては重力測定結果を整理して伊豆大島における質量分布を計算した。さて、これら4回の重力測定結果を比較してみたところ、この期間に重力分布の時間的变化が認められたのでこれを第IV章に説明した。ところで、この変化が噴火に伴う地下の影響のために起つた変化であるか否かを確かめるため、外輪山、内輪山において水準測量を実施し、その結果をも述べた。

以上吟味の末、明らかに噴火に伴つたと思われる重力変化を確かめ得たので、それらについて解釈を行つた。

なお、このたびの重力測定の際使用したノースアメリカン重力計の特性、地殻潮汐等については(附)章に記した。

本研究を行うに当り東京都大島支庁の各位、大島測候所、水路部推潮係等の諸氏の御援助に対し感謝の意を表わしたい。

なお今回の測定および測定結果の整理に関しては特に小川健三君の協力を得た。併せてここに感謝の意を表する次第である。

II 伊豆大島三原火山における重力測定

大島において今回の活動のずっと以前に重力の測定が行われたことがあり、その結果は理科年表等⁴⁾に掲載されているが、その後地震研究所においては永田武等⁵⁾により同島において振り子による重力測定を行つたことがある。

筆者等の用いた器械は昭和24年8月米国から輸入されたノースアメリカン型重力計で、0.01 mgal までの精度をもつものである。

今回の最初の火山活動は昭和25年7月16日に開始されたが、その当初は種々の都合から器

Table 1. Schema of gravity measurement

	Method of survey	Date of survey	Remark
I	Gravity	Sept. 13~17, 1950	Last stage of the first volcano-active period
II	Gravity	Nov. 21~26, 1950	Dormant stage of volcano
II'	Levelling	Dec. 22~24, 1950	Ditto
III	Gravity and levelling	Feb. 20~Mar. 3, 1951	Early stage of the second volcano-active period
IV	Gravity and levelling	Apr. 8~13, 1951	Last stage of the second volcano-active period

械を現地にもつて行くことができず、結局第1回の測定は同年9月14日から16日までの3日間に行われることになった。その後昭和25年11月、昭和26年2月、4月と合計4回の測定を実施した。また水準測量は昭和25年11月、昭和26年2月、4月の合計3回行われた。用いた器械はウィルド型水準儀である。

これらの要点を第1表に示した。一方これらの測定と火山活動との関係を図示すると第1図

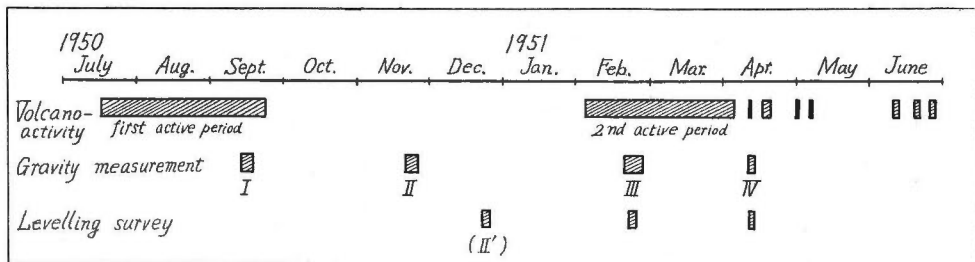


Fig. 1

のようになる。これら測定の詳細に関して以下に述べる。

I. …第1回目の火山活動が既に終りに近づきつつある頃である。熔岩は内輪山より砂漠に溢れ出していたが、シンダーコーンよりの活動はまだ行われていた。

この際の重力測定を第2図 ●印に示した。なお主要な各測定点の詳細を第2表に示した。測定の基点をNo.0(元村), No.11(御神火茶屋)においた。そしてこれら基点において夜間測定をも行つた。

II'. …第1回の活動が終つて2カ月後である。前回の測定点の他、新たに岡田(No.34), おどりの茶屋(No.12)および安永溶岩中に測定点を追加した。この追加点を第2図に ⊙印で示した。これら追加各測点の詳細も第2表に示した。

II''. …IIより1カ月後に水準測量を行つた。水準測量の径路を第3図に示した。この際には三角点604.0mを基点とした。

III. …第2回の火山活動が始まつて間

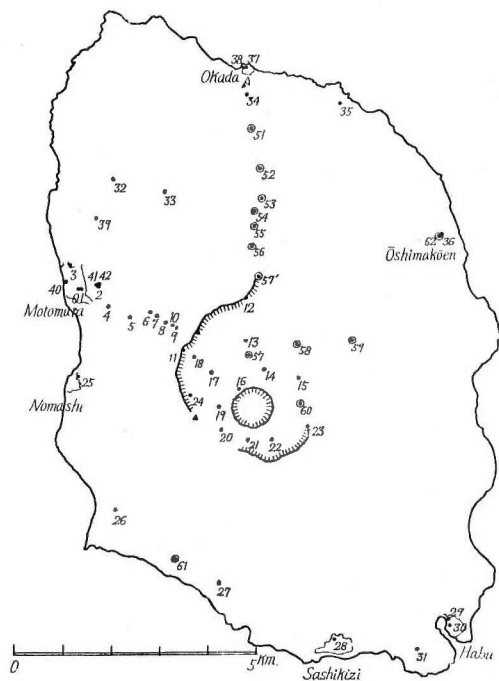


Fig. 2. Distribution of observation stations (●...added stations (after the II'nd survey) Figures are the number of observation.

Table 2. Observation stations

No. 1	Motomura-kan (元村館玄関)
2	Motomura primary school (元村小学校運動場檜の木)
3	Motomura branch of Okada hospital (岡田医院元村分診所玄関)
4	Camp-village, Motomura (元村キャンプ村ゴンドラ前)
5	
6	Miharashi-jaya (3-gōme) (三合目見晴茶屋)
7	Landmark, 200 m in height (200m標識横の台の上)
8	Uta-no-chaya (5-gōme) (五合目歌の茶屋)
9	Anko-chaya (7-gōme) (七合目あんこ茶屋)
10	
11	Gozinka-jaya (御神火茶屋)
12	Odori-no-chaya (おどりの茶屋)
13	
14	
16	Kakō-jaya (火口茶屋)
17	
18	Bench mark (小水準点)
19	Mihara-shrine (三原神社)
20	
21	} Atrio (砂漠)
22	
23	
24	
25	Nomashi primary school (野増村小学校玄関)
26	
27	Cross road, Mabushi (増伏村十字路)
28	Sashikizi primary school (差木地小学校玄関)
29	Habu-harbour (波浮港消防器具置場前)
31	(クダツテの三叉路)
32	
33	Ōshima meteorological observatory (大島測候所玄関)
34	Stop of bus, near Okada town office (岡田役場バス停留所)
35	Senzu water-works (泉津水道前)
36, 62	Office of Ōshima-Kōen (大島公園事務所倉庫)
37, 38	Okada-harbour (岡田港待合所)
39	Sato's mansion (佐藤邸前)
40	Motomura-harbour (元村港待合所)
41, 42	Motomura primary school (元村小学校手工室)
51	(3 gōme) (三合目)
53	Miharashi-chaya (6 gōme) (六合目みはらし茶屋)
56	Yuba (湯場茶屋)
57'	Cherry blossom (外輪山上の櫻の木)
58	
59	Landmark, Futatsune (二ツ根大きな岩の標識)
61	Awai (アワイ安永熔岩電柱附近)

もなくの頃である。この際は重力については I, II, 両方の観測点を全部再測した。水準測量については II' と同じ径路を再測した。

IV. …第 2 回目の活動の末期頃である。熔岩が砂漠地帯に多量に流出したため重力測定においては III までに測定したうち、外輪山内が 5 点再測不可能となった。水準測量においても砂漠地帯にあった点 C, D は再測不可能となった。この際、重力は III までに測定した結果からみて島の周辺は再測の必要はないものと考えられたため省略した。

測定した結果については次の 2 つの章に述べる。

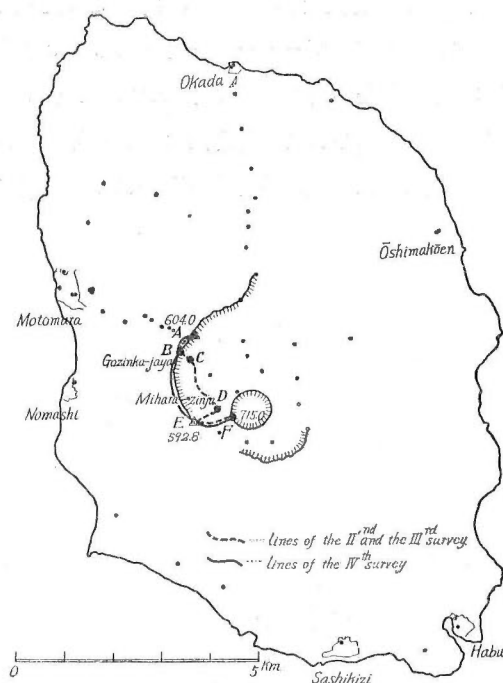


Fig. 3. Route of the levelling survey.

III 伊豆大島三原火山におけるブーゲー異常

以前から伊豆大島においては他の地域に比べて重力が過大であることはいわれていたが、地理調査所の武藤勝彦⁹⁾は伊豆大島における重力および鉛直線偏倚の研究を行い、この大島における重力過大の原因は単に三原火山の質量異常の影響によるものではなく、大島附近一帯の過剰質量によるものであるという結論に達している。しかしその際は重力の材料として利用された点はわずかに島周辺の数地点のみであり、島全体の内部の重力分布は不明であつた。このような意味から大島三原山火山全体の重力ブーゲー異常を調べておくことは三原火山の機構を調べる点から極めて大切なことであろう。

一方噴火に伴う重力の時間的変化の結果を検討、解釈する際にもブーゲー異常を知っておくことが必須の事柄である。

以上のような見地から重力の時間的変化を調べる前に本章においてブーゲー異常を計算してみた。それについて以下に述べる。

まず材料として、重力測定 4 回の結果のうち、いづれを選ぶかが問題となる。さて、高さの測定の精度、その他の関係から考えてみればブーゲー異常の精度はミリガル単位で求めるのが至当である。ところが、4 回の重力測定の結果をみると同一測点においては 0.5 mgal 以上の変化は認められない。従つて 4 回の測定中いづれの値を利用してもし大した変化は考えられない

ので、第1回または第2回の測定結果の値を利用することにした。補正としては、まず、緯度、高さ、地形、ブーゲー補正を加えるのであるが、そのためには大島の密度を知っておく必要がある。また各測点の高さを知っておかなければならない。

大島の各所において熔岩または火山灰を採集し、密度を測定してみた。採集した場所および室内実験で得た密度の値を第4図および第3表に示した。

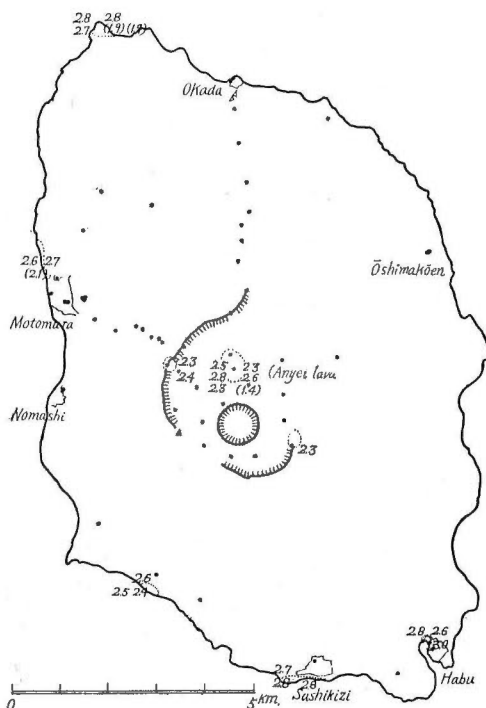


Fig. 4. Density distribution of lava and volcanic ash. Round brackets show the case of volcanic ash.

これら資料の中には多孔質のものもあるので資料をそのまま、および蠟をぬつて測つた場合、の二つの方法にわけて測定した。この結果は火山灰は平均 1.6、熔岩は平均 2.6 となつている。実際の地層はこの両者が組合わさつてできているので多少の変化はあるであろう。次に重力測定の結果からもこの山の見掛けの密度が推定できる。すなわち水準面か

らの高さで重力の測定値との関係から山全体の平均密度を出すことができる。第5図に高さで重力の値との関係を図示した。この図をみるとまず大体において高さで重力の値との間には一次的な比例関係が成立つているようである。この際、高さを定めるには地理調査所の 5 万分の

Table 3. Density of lava and ash.

		Collecting place of samples.	ρ_1	ρ_2
1	Anyei lava	Atrio	2.48	
2	"	"	2.39	2.32
3	"	"	2.87	2.81
4	"	"	2.63	2.58
5	"	"	2.34	
6	Anyei ash	"	1.49	1.28
7				2.31
8				
9	Anyei lava	Gozinka-jaya	2.45	2.20
10	"	"	2.41	
11	Lava	Chojanohama, Nagane	2.66	2.46
12	"	"	2.71	
13				
14				
15			2.09	
16	Lava (quaternary)	Chigasaki	2.84	2.77
17	"	"	2.75	2.69
18	Lava (tertiary)	"	2.84	
19	ash (")	"	1.97	1.73
20	"	"	2.12	1.59
21	Lava (red)	Sashikizi	2.76	2.67
22	"	"	2.84	2.78
23	"	"	2.86	2.76
24	Lava	Habu	2.83	2.74
25	"	"	2.67	2.58
26	"	"	3.16	2.84
27	(Anyei) lava	Awai	2.54	2.07
28	"		2.62	2.50
29	"		2.52	2.48
30	"		2.50	2.25

ρ_2Measuring value of density when samples were covered with wax.

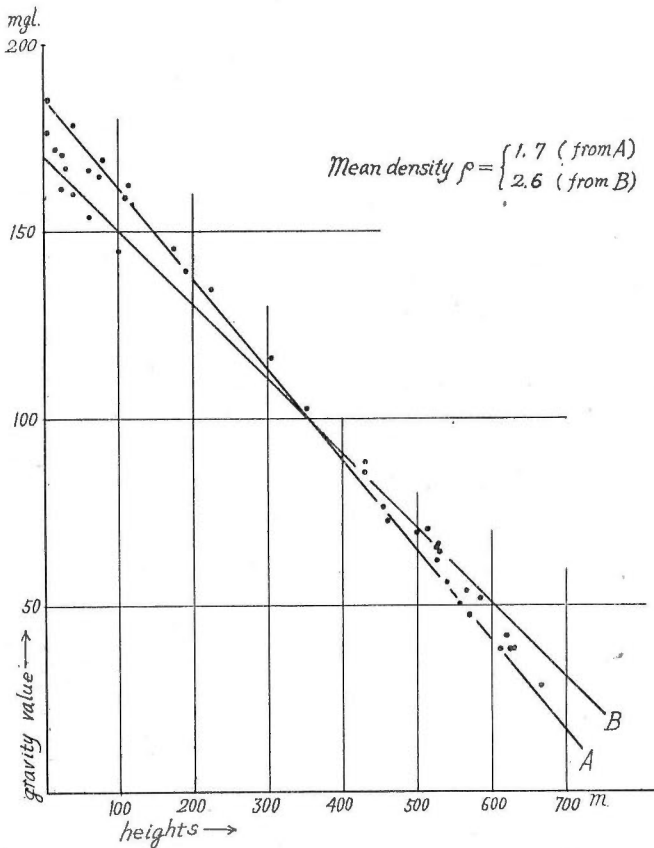


Fig. 5. Relation between gravity values and heights.

$$0.309 \text{ mgal/m} - 2\pi k^2 \rho = \begin{cases} 0.24 \text{ mgal/m} & (\text{A に対して}) \\ 0.20 \text{ mgal/m} & (\text{B に対して}) \end{cases}$$

なる関係式が成立する。この式から ρ を算出すると大体 A に対して 1.7, B に対して 2.6 となる。すなわち各測定点毎の地下の質量分布の影響等は勿論あるが、島全体の平均としては密度は 2.0~2.2 程度のもと考えられる。玄武岩の密度は 3 程度のものであるから少し値が小さすぎるようにも思われるが、資料の実験結果からも推定できるように平均においては結局この程度の値になるのであろう。

今ここには平均密度 2 および 2.2 の 2 種類について補正を行つた。すなわち高さ、緯度、地形、ブーゲーの各補正結果を第 4 表に示した。この際海底の深さについては水路部発行の 5 万分の 1 の海図を利用した。

今回の結果と前に得られた値⁵⁾を比較するために元村の値を同じにした。この結果をみると前の測定と今回の結果とは差木地、大島公園等において 2 ~ 3mgal 程度の差はあることになつたが、今回の場合はこの値をもつて直ちに重力の時間的な変化を考えることは早計であらう。

さて、この異常分布を見やすくするために、これらの結果を第 6 図および第 7 図に図示した。

1 の地図とバロメーターを用いた。高さの精度は $\pm 3\text{m}$ である。第 5 図において高さ⁵⁾と重力との一次関係はよくみればある幅を持つてゐることがわかる。それでここにはこの関係の両極端を示す 2 本の線 A, B を引いた。

第 5 図から大島においては高さに対して A は約 0.24 mgal/m , B は約 0.20 mgal/m の割合で、重力の値が減じてゐることがわかる。さて一般に地球の中心から遠ざかるに従つて重力の減ずる割合は 0.309 mgal/m であるから、大島の平均密度を ρ とすれば

Table 4. Bouguer anomalies

No.	Height (m)	Observed value (mgal)	Free-air correction (mgal)	Bouguer correction (mgal)		Latitude correction (mgal)	Topographical correction (mgal)		Results (mgal)		Results (mgal) (When we assume the value of No.21 is 151 mgal)	
				$\rho=2$	$\rho=2.2$		$\rho=2$	$\rho=2.2$	$\rho=2$	$\rho=2.2$	$\rho=2$	$\rho=2.2$
				1	25		170.8	+ 7.1	- 2.1	- 2.3	+ 0.5	1.1
2	53	164.9	+ 16.3	- 4.4	- 4.9	+ 0.3	1.4	1.6	179	178	151	151(151)
3	30	171.0	+ 11.6	- 2.5	- 2.8	- 0.1	1.1	1.1	181	181	153	154
4	114	162.6	+ 35.2	- 9.5	- 10.5	+ 0.6	1.4	1.6	190	190	162	163
5	127	144.8	+ 38.6	- 10.7	- 11.8	+ 0.7	3.8	4.1	177	176	149	149
6	224	134.7	+ 69.2	- 18.7	- 20.6	+ 0.7	3.4	3.6	189	188	161	161
7		121.4				+ 0.7	3.4	3.6				
8	352	102.8	+ 108.7	- 29.4	- 32.4	+ 0.8	6.7	7.3	190	187	162	160
9	460	72.9	+ 142.1	- 38.4	- 42.3	+ 0.9	7.5	8.5	185	182	157	155
10	454	76.4	+ 140.1	- 37.6	- 41.7	+ 0.9	6.7	7.3	187	183	159	156
11	556	50.9	+ 171.7	- 46.4	- 51.0	+ 1.2	4.4	4.8	182	177	154	150
12	526	62.1	+ 162.2	- 43.6	- 48.3	+ 0.5	4.3	4.7	186	181	158	154
13	514	70.7	+ 158.8	- 43.0	- 47.3	+ 1.0	2.4	2.6	190	186	162	159
14	584	51.7	+ 180.2	- 48.6	- 53.6	+ 1.6	2.6	2.8	188	183	160	156
15	575	56.9	+ 177.3	- 47.7	- 52.8	+ 1.7	2.4	2.6	191	186	163	159
16	666	28.4	+ 205.8	- 55.4	- 61.3	+ 1.8	2.9	3.1	184	178	156	151
17	526	65.8	+ 162.2	- 43.6	- 48.3	+ 1.6	2.6	2.8	189	184	161	157
18	529	64.7	+ 163.2	- 43.1	- 48.6	+ 1.4	2.9	3.1	189	184	161	157
19	565	54.0	+ 174.3	- 47.0	- 51.8	+ 2.1	2.6	2.8	186	181	158	154
20	570	47.6	+ 176.0	- 47.4	- 52.4	+ 2.5	2.9	3.1	182	177	154	150
21	611	38.7	+ 188.6	- 51.0	- 56.2	+ 2.6	2.9	3.1	182	177	154	150
22	630	38.7	+ 194.2	- 52.0	- 57.8	+ 2.6	2.4	2.6	186	180	158	153
23	624	38.7	+ 192.8	- 52.2	- 57.3	+ 2.5	3.4	3.6	185	180	157	153
24	539	56.2	+ 166.2	- 55.2	- 59.5	+ 2.0	3.4	3.6	173	168	145	141
25	15	172.0	+ 4.6	- 1.2	- 1.4	+ 1.7	1.1	1.1	178	178	150	151
26	102	144.6	+ 31.5	- 8.5	- 9.4	+ 3.7	2.2	2.4	174	173	146	146
27	22	161.7	+ 6.8	- 1.8	- 2.0	+ 4.8	1.7	1.9	173	173	145	146
28	39	160.0	+ 12.1	- 3.3	- 3.6	+ 5.6	1.1	1.1	176	175	148	148(146)
29	5	176.6	+ 1.5	- 0.5	- 0.5	+ 5.4	2.1	2.3	185	185	157	158
31	29	167.0	+ 8.9	- 2.4	- 2.7	+ 5.8	1.6	1.8	181	181	153	154
32	75	164.7	+ 23.2	- 6.2	- 6.9	- 1.4	1.4	1.6	182	181	154	154
33	190	139.7	+ 58.6	- 15.9	- 17.5	- 1.0	1.6	1.9	183	182	155	155
34	80	169.2	+ 24.7	- 6.8	- 7.3	- 2.6	1.2	1.4	186	185	158	158
35	37	178.3	+ 11.4	- 3.1	- 3.4	- 2.5	3.2	3.6	188	187	160	160
36	107	159.0	+ 33.0	- 8.9	- 9.8	- 0.4	4.4	4.6	187	186	159	159(156)
37	5	185.4	+ 1.5	- 0.5	- 0.5	- 3.1	1.0	1.0	184	184	156	157
38		185.4				- 3.1	1.0	1.0				
39	63	166.4	+ 19.4	- 5.3	- 5.8	- 0.5	1.4	1.6	182	181	154	154
40	11	174.0	+ 3.4	- 0.9	- 1.0	+ 0.2	1.1	1.1	178	178	150	151
41	53	164.7	+ 16.3	- 4.4	- 4.9	+ 0.4	1.4	1.6	179	178	151	151
50		164.5										
51	175	145.5	+ 54.0	- 14.6	- 16.1	- 2.1	1.7	1.9	185	184	157	157
52	234		+ 72.3	- 19.5	- 21.5	- 1.6	2.9	3.1				
53	305	116.2	94.2	- 25.5	- 28.0	- 0.9	3.8	4.2	188	186	160	159
56	430	85.9	132.8	- 35.8	- 39.7	- 0.3	5.3	5.7	188	184	160	157
57	528	66.5	163.0	- 44.1	- 48.6	+ 1.4	2.4	2.6	189	185	161	158
58	499	69.7	154.0	- 41.6	- 45.9	+ 1.1	2.4	2.6	186	181	158	154
59	432	88.5	133.2	- 36.0	- 39.7	+ 1.0	2.9	3.1	190	186	162	159
60	618	42.0	191.2	- 51.5	- 56.8	+ 2.1	2.9	3.1	187	182	159	155
61	64	153.8	19.8	- 5.3	- 5.9	+ 4.3	1.9	2.1	175	174	147	147
62	107	159.3	33.7	- 8.9	- 9.9	- 0.4	4.3	4.7	188	187	160	160
54	307		94.8	- 25.6	- 28.2	- 0.7						
55	340		105.0	- 28.5	- 31.3	- 0.5						

().....Values formerly obtained.

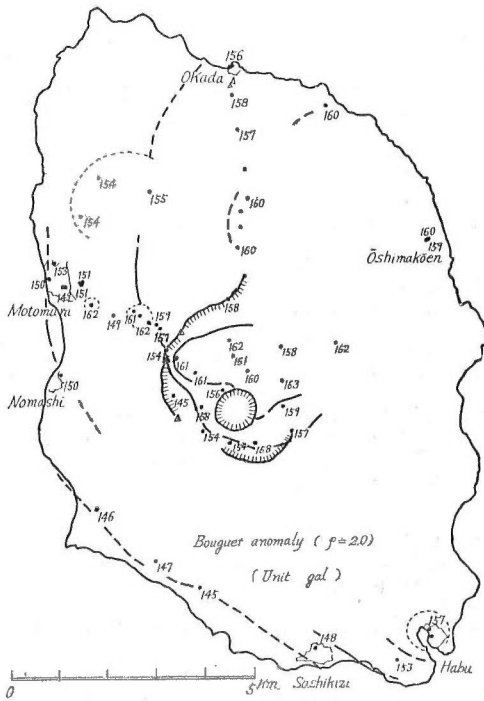


Fig. 6.

に質量の大きな所があり、山を下るに従い重力の値が減つて行くような結果になつている。なお内輪山のところが必ずしも質量が最大になつていないことは注目すべきである。

以上のようなことから直ちに大島全体の重力の過大に対する説明は下し得ないが、特色のある質量分布を知り得たことは今後この火山の機構を考えて行く上に参考となることと思われる。

IV 噴火に伴う伊豆大島三原火山における重力の時間的变化

重力の時間的变化を調べるために各回の測定結果から器械のドリフトおよび天

これらの結果をみると、まず、重力の値が島の北乃至北東方では大きく、南西では小さくなつている。このことは島の北方乳ヶ崎に鮮新世の岡田玄武岩（ち密なもの）の露頭があり、その層の続きは南に向つて深くなつているとの地質学的な解釈とも矛盾するものではない。また、この島が北北西、南南東方向の軸を境とし種々の地理的地質的条件が異つていることとも考え合わせて興味のあることである。

次に処々に（外輪山内は除く）重力の値の大きいところ（波浮港その他）があるが、これらは寄生火山または旧火山の爆烈火口等に相当している所である。

最後に外輪山内に注目すれば、全体としてみる場合、内輪山をとりまく北東方

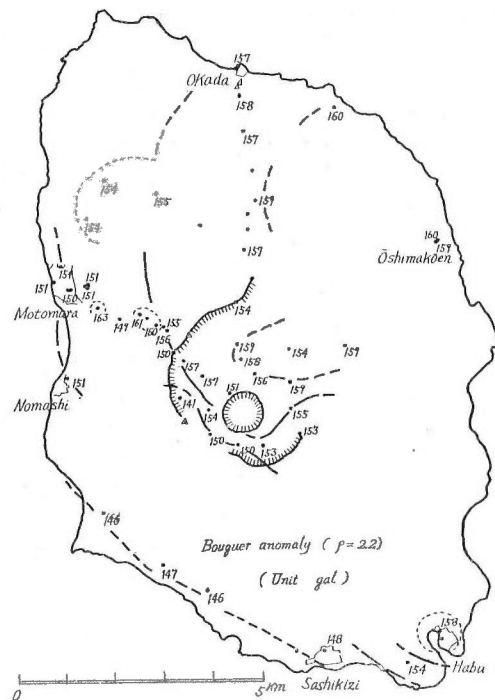


Fig. 7.

Table 5. Gravity values and their differences at four different times. (Unit; mgal)

	I	II	III	IV	II-I	III-II	IV-III	IV-I	IV-II
No. 1	170.80	170.80	170.80	170.80	0	0	0	0	0
2	164.95	164.94			- 0.01				
3	171.04	171.11			+ 0.07				
4	162.55	162.60	162.55	162.52	+ 0.05	- 0.05	- 0.03	- 0.03	- 0.08
5	144.75	144.80	144.78	144.80	+ 0.05	- 0.02	+ 0.02	+ 0.05	0
6	134.71	134.77	134.70	134.78	+ 0.06	- 0.07	+ 0.08	+ 0.07	+ 0.01
7'	121.43	121.52	121.53	121.56	+ 0.09	+ 0.01	+ 0.03	+ 0.13	+ 0.04
8	102.77	102.86	102.88	102.88	+ 0.09	+ 0.02	0	+ 0.11	+ 0.02
9	72.90	73.06	72.98	72.99	+ 0.16	+ 0.08	+ 0.01	+ 0.09	- 0.07
10	76.40	76.56	76.53		+ 0.16	- 0.03			
11	50.89	51.04	51.00	50.96	+ 0.15	- 0.04	- 0.04	+ 0.07	- 0.08
12	62.12	62.21	62.15	61.99	+ 0.09	- 0.06	- 0.16	+ 0.13	- 0.22
13	70.68	70.93	70.83	70.63	+ 0.25	- 0.10	- 0.20	- 0.05	- 0.30
14	51.73	51.99	51.93		+ 0.26	- 0.06			
15									
16	28.42	28.76	28.63		+ 0.34	- 0.13			
17	65.82	65.92	65.77		+ 0.10	- 0.15			
18	64.66	64.83	64.87		+ 0.17	+ 0.04			
19	53.96	53.70	53.59		- 0.26	- 0.11			
20	47.58	47.17	47.10	47.07	- 0.41	- 0.07	- 0.03	- 0.51	- 0.10
21	38.71	39.29	39.12	38.98	+ 0.58	- 0.17	- 0.14	+ 0.27	- 0.31
22	38.72	38.90	38.83	38.66	+ 0.18	- 0.07	- 0.17	- 0.06	- 0.24
23	38.68	38.97	38.95	38.77	+ 0.29	- 0.02	- 0.18	+ 0.09	- 0.20
24	56.16	56.47	56.38		+ 0.31	- 0.09			
25	172.02	171.91	171.98		- 0.11	+ 0.07			
26	144.60	144.63	144.67		+ 0.03	+ 0.04			
27	161.71	161.66			- 0.05				
28	160.04	160.08	160.12		+ 0.04	+ 0.04			
29		176.57	176.57			0			
31		167.02	167.03			+ 0.01			
32	164.69	164.65	164.66		- 0.04	+ 0.01			
33	139.65	139.71	139.72		+ 0.06	+ 0.01			
34		169.18	169.15			- 0.03			
35	178.27	178.30	178.27		+ 0.03	- 0.03			
36	159.03	158.90	158.96		- 0.13	+ 0.06			
38	185.39	185.33			- 0.06				
39	166.41	166.42			+ 0.01				
40	174.00	173.98			- 0.02				
41									
50			164.49	164.42			- 0.07		
51		145.53	145.54	145.49		+ 0.01	- 0.05		- 0.04
53			116.22	116.15			- 0.07		
56		85.88	85.80	85.70		- 0.08	- 0.10		- 0.18
57		66.54	66.46			- 0.08			
58			69.65	69.42			- 0.23		
59		88.45	88.28	88.01		- 0.17	- 0.27		- 0.44
60		41.96	41.79	41.77		- 0.17	- 0.02		- 0.19
61		153.78	153.79			- 0.01			
62		159.26	159.30			+ 0.04			

体潮汐力の影響を差引いた値ならびにそれら相互の測定値の差を第5表に示した。この際元村における値を不変とした。もし測定の期間中に重力に時間的变化がなければ第5表におけるI, II, III, IVはお互いに等しい筈である。ところがこれらの値は一見して相互に異つてゐることがわかる。すなわち、これらの噴火に伴つて重力が測定する範囲の量で時間的に変化したことを示している。これらの関係をしらべるために、重力値の差すなわちII-I, III-II, IV-III, およびIV-II, 等の値をそれぞれ第8, 9, 10, および11図に示した。

この結果について議論する前に水準測量についてしるす。すなわち、第8~11図にあらわれたような重力変化が、果し

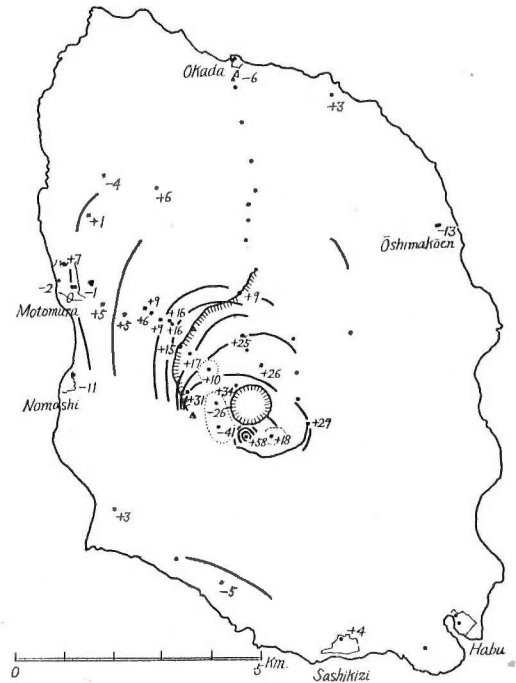


Fig. 8. Change in gravity between September and November, 1951. (Unit 0.01 mgal)

て地下の質量分布の変化に起因するものか、あるいは高さの変化の影響によるものかを確かめるために、水準測量を行った。ただし元村から内輪山までの測定ではなく第3図に示したように外輪山、内輪山の間を測定したのである。その結果を第6表にしるした。

この表について説明する。三角点604.0 m (A点)を不変と考え、他の点の値を測定算出した。御神火茶屋(B)は御神火茶屋標識の眞上の点、また小水準点(C)は御神火茶屋から砂漠にありて火口茶屋に向う途中、安永礫岩にはじめて出あうあたりにあつた水準点であるが、この水準点は4月の時には新しい礫岩におおわれており、この時の測量はできなかつた。三原神社(D)は神社前の石の階

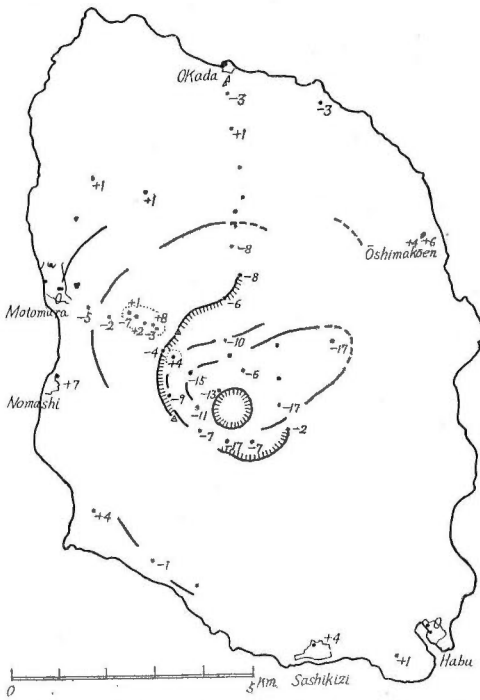


Fig. 9. Change in gravity between November 1950 and February 1951. (Unit 0.01 mgal)

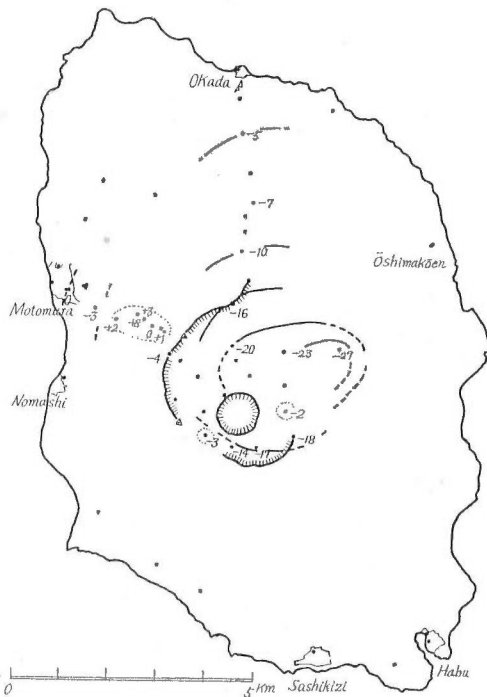


Fig. 10. Change in gravity between February and April, 1951. (Unit 0.01 mgal)

Table 6. Results of levelling

時期	II' (Dec, 1950)	III (Feb, 1951)	IV (Apr. 1951)
	m	m	m
A	604.0	604.0	604.0
B	557.84	557.80	557.81.
C	527.24	527.19	
D	563.80	564.00	
E	593.69	593.91	593.72
F	714.81	715.04	714.80

の変化は重力の変化になおしてみると大島の場合は 0.05 mgal 程度となる。

一方科学博物館の村内必典等²⁾は御神火茶屋Bから内輪山715mおよび同じく内輪山Fを基点としてトランシット測量を行つており、昭和25年7月から同年11月の間においてはトランシットの測定限界(1分)では、変化していないことがわかつた。この角を高さに直してみると約1分は50cm

段の2段目であるが、この点も小水準点同様新しい熔岩のため3回目の測量は不可能であつた。三角点592.8m(E)は元の三角点は見当らなかつたので、筆者等が元の三角点附近とおぼしいところに仮設した点である。内輪山715mの地点は地震研究所⁷⁾で昭和15年の噴火の際以来基点の一つとしていた点である。

さて、この表をみると誤差内の範囲では三角点Aに対して不動とみなせる。ところがD、EおよびFの3点は上記3点より静かな11月と比べて2月の活動初期には平均20cm上昇している傾向があり、また、第3回目に測定できたE、F2点はいづれも第2回の活動末期(4月)には前の12月頃の静かなときの値に戻っていることである。この20cmの高さ

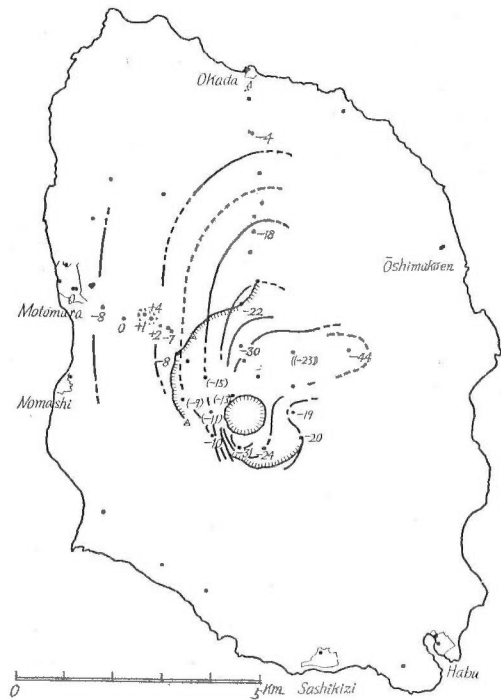


Fig. 11. Change in gravity between November 1950 and April 1951. (Unit 0.01 mgal)

になるから、仮りに変化があるとしてもこれ以下であるから筆者等の測定と大差がない。

また、外輪山から元村までの値は筆者等は測定し得なかつたが、地震研究所高橋龍太郎⁹⁾によればトランシット測量 1951 年 5 月より A (604.0m) は元村に比べて約 20cm 下つたと報告されている。すなわち地理調査所発行の 5 万分の 1 の地図の値と比べて A は 20cm 下つたということになる。勿論これは噴火後ただ 1 回だけの測定の結果であるから、この結果のみをもつて元村 A 点間が今回の噴火中ほとんど動かなかつたという訳にはいかない。しかし仮りに動いたとしてもその量は 1 m などのような大した量でなかつたことは推察できる。以上のようにして、ともかくこれら水準測量等により噴火に伴う高さの変化の程度がわかつたので、ここで第 8 図～第 11 図について考えてみることにする。

まず極端な場合を考えて重力測定によつて得られた値の誤差を 0.05mgal 程度としておこう。そうすればこの 4 回の重力測定の期間には海岸附近では重力の変化はまずなかつたとみてよからう。次に、この 4 回の測定の間で重力の最大の変化量は 0.5mgal というような大きな値になつている。そこで、上に得た高さの方の変化を重力の変化に直してみると一番大きなところで高々 0.05～0.10mgal という程度で、従つてこれ以上大きな値は高さの変化の影響とみなすわけにはいかないことがわかる。

重力の変化が以上のように高さだけによる変化でないとすれば、地下の原因によることが期待されるわけであるが、一体どのようにして重力が変化してきたのか、その様子をしらべてみよう。まず第 8 図 (II—I) をみると、この期間には全体として重力が増加していることがわかる。しかも五合目あたりから外輪山、砂漠と進むにつれて、その量が増大していることが知られる。また内輪山西南側の特殊な変化はこの全般的な傾向とは別のごとく噴火附近の局部的なものであろう。そこでこれらの量が求め得られる可能な計算を試みるに、一つの場合として地下に球状のものがあるとするれば、それは地下 2 km の深さのところ半径 150m～200m の球状の物質 ($\rho=2.0\sim 2.2$) が増加してくればよいことになる。

次に、第 9 図 (III—II) をみると、この期間は前の (II—I) 期間とは逆に全体として重力が減少している傾向のあることがわかる。この際も外輪山内の減少の度合いがやや大きい。またこのときは、内輪山北東側も測定の差を比較することができたが、その附近も同様に減少を示し、しかも比較的その度合いが大きくなつている。なお、No. 15, 22 等においては測定の際、地面の振動がかなり大きかつた所であるから活動の程度が想像されるのである。内輪山南西側にも特殊な変化がみられる。また、これらの量から前の場合と同様地下に球状の変化量を仮定して計算してみると、地下 2 km のところに半径 70m～100m の球状の物質が減少したことになる。ただし内輪山頂上または南西部分には湧出熔岩の補正は加えてないが大勢を知るには差支えないであろう。

最後に第 10 図 (IV—III) の場合をみるに、外輪山、内輪山間の砂漠地帯においては、前回の測定点が熔岩におおわれて 5 点失われたため少なくなつている。さて、この際も (III—II) の

場合と同様、全体としては重力はまた減少の過程にある。その量は同じ期間に直してみると前の(III—II)の場合より大である(第11図参照)。地下の球状変化に直してみれば深さ2km、半径150mの程度の球状物質の減少となる。なお第5表(IV—I)の数値を詳細にみると必ずしも9月の値に戻っていない点が注目される。

以上述べたように、重力の変化は高さの変化の影響というよりはむしろ地下の原因による影響と考えられ、かなりの量におよぶ重力の時間的変化が期待されることがわかつたのであるが、この変化と火山の噴火活動との関係はどのようなものであるかを考察してみる。この関係を調べるために第8図—第11図の結果について考えてみよう。

まず第一期の火山活動(昭和25年7月—9月)終了後、平静期にかけては島の中腹以上は一般に重力が増加してきている。次にこの平静期から第二期の火山活動(昭和26年2月)の初期にかけては逆に重力が減少している。さらに第二期活動中ははずつと重力が減少しつづけている。しかもその量は第二期火山活動開始頃の減少高よりもその割合は大きくなっている。このような現象は火山活動の機構を考える上に大いに参考になるものと思われる。なお内輪山西側の大きな重力の時間的変化量をも考えて総合的に次のような推定を行うことができる。すなわち火山の活動の本質的な源は火口から地下約2km附近の深さにあつて、活動期間中の平穏な時期において活動開始期の前にはこの辺の質量が次第にち密になる。そして、いよいよ活動が始まる前には次第にこの物質(Magma)が火口に向つて上昇をはじめ、活動中ははずつと上昇しつづけていると考えられる。活動開始の時期に内輪山附近が20cm程度上昇しているという事実もこの解釈に矛盾するものではない。なお内輪山西側のかかなり大きな重力の変化量は火口附近でいよいよ噴火爆発するときの直接の現象に関係しているとみることができよう。

次に重力変化図とブーゲー異常図(第6図および第7図)とを比較してみると、大体においてブーゲー異常の大きなところが重力変化の時間的変化量の大きいところと一致している。また比較の時期は異なるが、この結果は磁気の時間的変化の様子⁹⁾とも関係がありそおである。このようにして、他の現象との関連性からも噴火の現象を究明できるであろう。内輪山東側におけるブーゲー異常の大きなところは前述のように時間的変化量ならびに地面の振動が大きい所で、火山活動源の範囲と密接な関係があると考えられるので、活動源の範囲はかなりの広さを有するであろうことが想像される。

次に後で詳しくのべるが、定時夜間観測の際に重力の潮汐項 $G = 1 + h - \frac{3}{2}k$ をしらべたが、この量は他の地方に比べて元村では大きな値(1.63)が出ている。このことが何を意味するかは現在まだ充分判明しないが、あるいはこの附近特有な質量分布に帰因するものかとも考えられ非常に興味あることと思われるので特記することとした。

次に地震後の重力変化との比較を行つてみる。昭和24年12月26日栃木県今市、日光附近におこつた地震直後、重力測定を行つたが、その際余震観測と重力の時間的変化との間におもしろい関係が認められたことは既に報告³⁾した。その後3カ月ばかり経過して昭和25年(1950)

3月に重力測定を行つたところ日光今市間の重力差が 0.2mgal 程度変化していることがわかつた。これは高さの変化でないことは地震研究所の測定結果¹⁰⁾でわかつたが、その後昭和26年3月に再び同じ場所で重力測定を行つた結果、日光今市両地点間の重力差の値は第1回目の値にもどつていたことがわかつた。このことは高さの変化によるのか、または地下の原因によるのか判明しないが、例えば高さの変化だけとすると約 40cm の変化になる。精密な測量がないので断言はできないが、第1回～第2回目の期間の震源附近における地震研究所の測量の値からみれば、地震活動以後の値においては少しく大きすぎて無理があるように思われる。そおすると地下の質量変化ということになるのであるが、いづれにしても、前後3回の測定期間に重力が 0.2mgal 程度変つたことは、今回の火山活動の際における 0.3 mgal～0.4 mgal 程度の変化と考え合わせるときは極めて興味ある現象であらう。

V 結 論

伊豆大島三原山において昭和25年7月以来現在までの間歇的な火山活動に伴い、噴火の前後をはさんで、総計4回の重力の測定を行つた。

また水準測量を合計3回行つて重力の時間的的变化量を充分検討した結果、次のようなことがわかつた。

- (1) 三原火山の活動に伴い重力が時間的に変化する。
- (2) その変化量は三原火口に近いほど大きく、0.3～0.4 mgal 程度であるが、山の中腹に至れば 0.01 mgal 程度となる。
- (3) これらの大きな変化量は火山活動の際の高さの変化のみでは取り去ることができない。
- (4) 噴火前の静かな時は重力が増加する傾向、すなわち質量分布の増大する傾向にあるが、噴火の前および盛んに噴火が行われている間はずつと重力が減少する傾向、すなわち質量分布が減少する傾向がある。
- (5) 火口附近はごく局部的な特殊な大きな量の変化を示す。
- (6) 重力の変化量を地下に求めて計算すると約 2 km 程度の深度となる。

今回の重力測定により、上述の如き重力変化の現象と火山活動との関係を明らかにし得たが、これは他の地球物理的研究と相俟つて今後の火山活動の究明に幾分なりとも寄与し得れば幸である。今後さらに機会を得てこの種の研究を進めたいと思う。

(附) ノースアメリカン重力計について

重力の測定に使用したノースアメリカン重力計の原理および特性について、さらにこの重力計による長期観測の結果について述べようと思う。なお観測結果から地殻潮汐の問題についても若干考察することにした。

1. ノースアメリカン型重力計の特性

この型の重力計は 1942 年頃米国テキサス州ヒューストンのノースアメリカン会社で考案製作されて以来、米国各地で使用されているが、わが国には 1949 年 8 月輸入された。本重力計¹⁾は径 28cm、高さ約 49cm の大きさで、質量約 12kg であり、その主要部の構造は第 12 図に

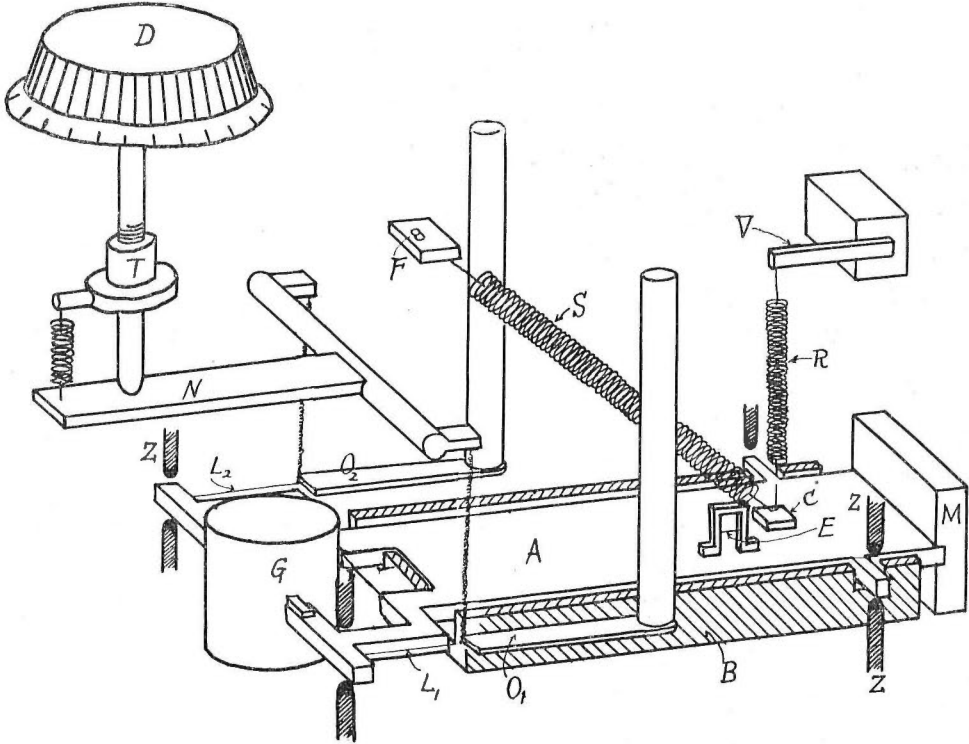


Fig. 12.

示すようなもので、軽いアルミニウム板 A を横杆とし、その一端に附加した質量約 67g の重錘 M をらせんバネ S によつて吊したものである。主要バネ S は約 5cm の長さでエリソール線とほとんど同じ性質を有するアイソエラスチック (iso-elastic) 線できており、温度係数は極めて小さい。この S の一端は A と M との重心である C にて横杆に連結し、他端は F 点で鉤に連結している。

主要バネ S が連結している点 C に接して M 寄りに主要バネよりずつと半径の小さい再調整バネ R がついている。この R は横杆 V によつて調節されるが、測微計 T が調整の限度に近づいたとき重錘杆に力を加えまたは減ずる役目で、地下の状態の要求に応じて適当な位置に廻転目盛盤 (dial) D を調整するのに用いられている。再調整されたときは再調整以前に重力を測つたと同じ基点で 1 回以上繰返して測定を読みとり、新しい測定の読みと結びつけることが必要である。横杆 A の一端裏側に、密閉してある極めて薄い軽い中空円筒 G がある。これは気圧による浮力に対する補正器である。これにより浮力を補正して誤差を少なくしているので、重力の読みに対して気圧の補正を必要としない。この質量横杆の振動周期は 18 秒であるが、速かに振動を減衰させるために横杆 A とその外側との間の間隙を極めて小として、これが空気の制振器となつている。

なお重錘横杆系の運動は横杆 A から出ている 4 つの側腕をクランプ Z にて上方よりおさえて固定するようになつている。

A の他端には長さ 5 cm の細い連結線 L_1, L_2 があり、これらの連結線の端は板バネ O_1, O_2 に連結している。この板バネの端にくつついた連結線の所が重錘横杆系が廻転するときの支点となつている。この支点が廻転目盛盤 D を廻すことによつて測微計 (Micrometer) T を通して垂直方向に上下して動くようになつている。この上下の運動は測微計と小さならせんバネで連結している横杆 N の先から、半径の小さな軽い調整用らせんバネを通して行われるが、これらは板バネ O_1, O_2 の端附近で連結線 L_1, L_2 に連結している。このような方法によつて、

重力の変化によつて変位した横杆をもとの位置に容易に持ち來ることができ、結局帰零法が行われることになる。このようにして重力の変化がダイヤル D の読みに比例しているので、ダイヤルの目盛を読めば重力の変化が知られる。ダイヤルは 1 廻転 50 目盛になつており、この器械の全範囲が 1000 目盛であり、1 目盛が 0.09104 mgal であるから約 100 mgal の測定ができる。なお再調整によりさらにこの範囲を拡大している。

次に重力の変化に伴う横杆の動きを知るために、横杆についている小枠に張つた一つの細い標識線 (Cross-hair) E がある。クロスヘアは各測定に対して正確に同じ長さに主要バネを調整するのに役立つ。この調整を行うために第 13 図のような光学系が用い

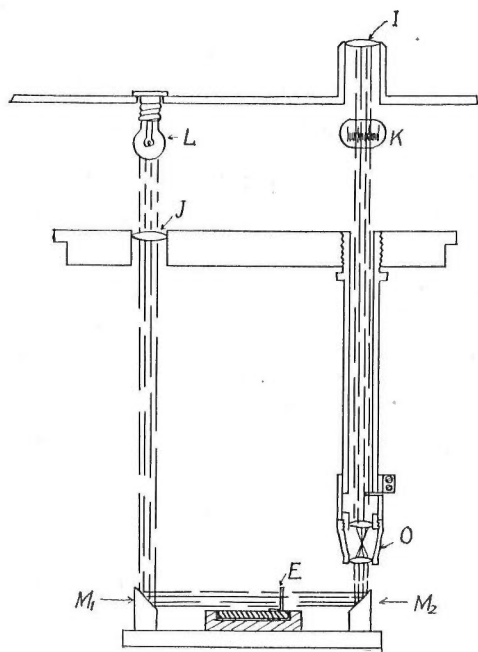


Fig. 13

られ、光源 L の光を通して見るようになってい。L からの光が収光レンズ J を通り平面鏡 M_1 で反射され E を照らす。クロスヘアの像が鏡 M_2 によつて反射され、さらに対物レンズ O によつて目盛のついた平面ガラス K 上に像を結ぶが、この像は接眼鏡 I によつて拡大される。全光学系の倍率は約 150 倍であり、従つて顕微鏡視野の 1 目盛は 0.15mgal に相当する。クロスヘアの像が目盛ガラス上を左右に動いてある位置で静止するが、このときダイヤル D を廻転して像を目盛ガラスの中心（この重力計では目盛 20 の線）にくるようにし、ダイヤルの廻転目盛の変化を読んで重力の変化を計算で求める。ダイヤルはバーニアがついているから、1 目盛の 10 分の 1 すなわち 0.009 mgal までよめるようになってい。

重力の測定は公算誤差 0.01 mgal を越えない範囲で行うようになってい。このため器械の寸法を一定に保たなければならない。従つて物質はできるだけ熱膨張に対して補償されたものが選んであり、多くのものは目的に合致するような特別の熱処理が施されている。このような考慮のもとにおいても、一定温度の高い精度の調整が作業上必要であるので器械が 4 重の箱に入れてあり、中から 2 番目と 3 番目には電熱水銀寒暖計がついて 2 重の恒温槽となつており、そして内側のは 49°C 、外側のは 47°C にそれぞれ 0.01°C の精度で一定に保つようになっている。これは 6 ボルトの蓄電池によつて操作されリレー式により調整されるが、その状態は電球の点滅により外部から見られるようになってい。重力計は外部の温度変化の影響を受けない。重力計の感度は 0.01 mgal であり、精度も 0.01 mgal である。感度は水準の如何によつて影響するが、水準感度 (level sensitivity) は 60 秒であり、 $1/60$ 度の傾きに対して -0.0166 mgal である。

本重力計のドリフトは極めて小さく平均 1 日に 0.1 mgal 以下で、しかもそれが一様であり、むしろ潮汐や天体による影響で変る方が顕著で平均のドリフトは實際上零に近い値である。

次に本重力計の原理について簡単に述べよう。この重力計には初めの長さが零のバネ¹²⁾ (zero length spring) と槓杆の先に重錘がある Mass lever arm の原理とが用いてあり、また帰零法 (Null method) により測定を行うようになってい。

第 14 図の如く槓杆 OC の先に附加された質量 M の重錘を W とし、これを F 点で固定したバネ S にて C 点より吊したもので、支点 O を OF 線上を上下に動かす方法が用いられている。槓杆の端の重錘は支点 O の廻りに時計廻りと同じ方向に廻転しようとするが、バネ S の力は支点 O の廻りに反対の向きに槓杆を廻転しようとするので、この両方の廻転能率は大きさが等しく方向反対であれば釣合を保っている。重錘 W による力 T_W は

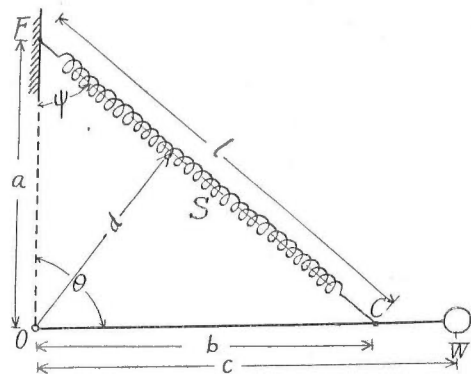


Fig. 14

$$T_w = -MgC \sin \theta$$

である。バネの張力による力率 T_s は k をバネの常数とすれば

$$T_s = kld$$

となる。幾何学的の条件から $l = b \sin \theta / \sin \psi$ $d = a \sin \psi$ であるから

$$T_s = kab \sin \theta$$

従つて力率の総和は

$$T_0 = T_w + T_s = (kab - MgC) \sin \theta$$

となる。故に、(i) $kab = MgC$ であるようにすれば、あらゆる θ の値に対して $T_0 = 0$ となり釣り合うことになる。(ii) もし重さが僅かに増して $kab < MgC$ の条件を充すならば $T_0 < 0$ であり、槓杆が垂直の位置をとるまで ($\theta = \pi$) 下方に動き、また $kab > MgC$ となれば $T_0 > 0$ となり、槓杆は垂直の位置になるまで ($\theta = 0$) 上方に動く¹³⁾。勿論このような運動の仕方には何等の制限が置かれてないと仮定している。しかしながら、この重力計にはバネと重錘の組み合わせが次のように調整されている。すなわちバネと重錘との組み合わせが実際に遭遇する重力の

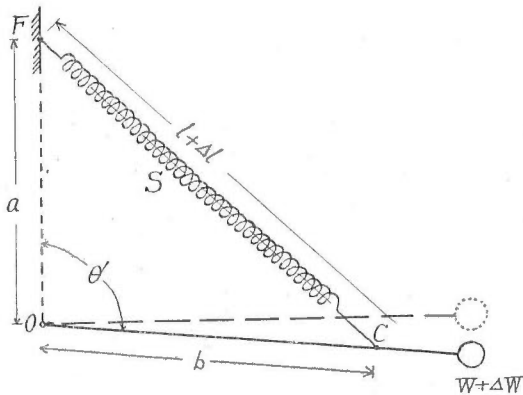


Fig. 15

変化をはかるのに用いられる。

(i) の条件 $T_0 = 0$ から

$$kab \sin \theta = MgC \sin \theta$$

重力の小さな増加の変化 Δg があれば、その増加した力により槓杆が下方に向つて引張られ、第15図の如くバネが引延ばされるので長さ l のバネが $l + \Delta l$ となる。支点 O を下方にさげることによつてバネはもとの位置に戻る(第16図)が、そのために a が $a + \Delta a$ となる。このため

すべての変化に対して、槓杆が下方に動くようになつて器械が調節されている。前述のように、小さな補助バネによつて正確に重力の変化が測られるように工夫しており、重錘を有する槓杆が約 $1/1,000$ cm 以上には決して動かないようになっている。これは主要バネにおける過度の機械的履歴を防ぐためであり、この方法は上下のとの中間に槓杆を常にとめようとする力の小さな

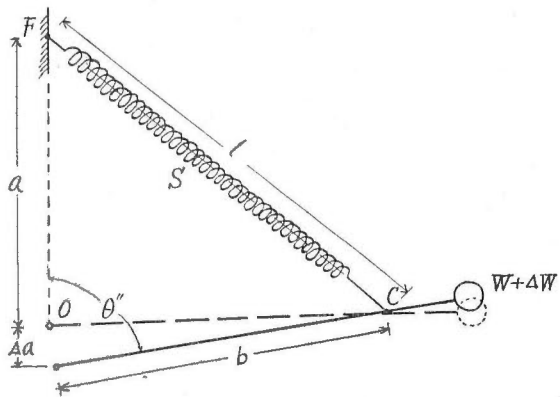


Fig. 16

に生じた角 FOC を θ'' とすれば、バネの力率は $(a+\Delta a) kb \sin \theta''$ であるから、 $T_0=0$ は

$$(a+\Delta a) kb \sin \theta'' = (g+\Delta g) MC \sin \theta''$$

となる。 θ の如何に関係しないので上式より Δg を求めれば

$$\Delta g = \left(\frac{abk}{MC} - g \right) + \frac{k b}{MC} \Delta a$$

となる。この式において $(abk/MC) - g$ は一定であり、 kb/MC も常数であるから $\Delta g \propto \Delta a$ なる関係が成立し、器械の幾何学的常数 a の変化は重力の変化の一次函数として表わされている。實際上この a の変化は約 1cm の 10^{-3} の桁であり、これは前述のような板バネの先にくつついた連結線、らせんバネおよびこれにつながる測微計などの転換機構を通して、ダイヤルの廻転から求められるようになっている。

2. ノースアメリカン重力計による観測

この重力計により既に日本各地の油田地帯において測定が行われているが、今回の如き重力の時間的变化等を調べるためには特にドリフトや潮汐の問題をしらべておかなければならない。それについて調べるためにまずこの重力計によつて如何なる値が得られるか、その観測結果を調べてみた。現在では輸入当時から日本各地で多くの定時観測の結果が得られているが、ここには川崎市久本町所在の地質調査所庁舎内において、昭和 26 年 1 月末より 2 月はじめにかけて約 2 週間にわたり 15 分間隔毎の定時観測を行つた例を附図第 1 図に示した。この測定は当所物理探鉱部の諸氏十余名の協力のもとに行われたものである。ここに感謝の意を表する次第である。

さてこの記録をみるとまず器械のドリフトに重なつて周期的な変化のあることがわかる。しかもこの周期には半日とか 1 日とかの値が卓越していることから考えて、当然潮汐現象を対象に考えるべきであろう。このことは前述のように器械の感度からも充分考えられることである。ところで、重力計は傾斜計と異なり海洋の潮汐の影響は海洋から少し離れれば利かなくなるのであるから、天体の起潮力のみを対象とすればよい。

海洋潮汐の場合には動力学的に論じなければならないが、今の場合は海水の運動のことは考える必要がないから静力学的に研究すればよい。

静力学的潮汐論においては 1 天体による地球表面のある地点における潮汐力のポテンシャル $\Omega^{(4)}$ は

$$\Omega = Hg = \frac{3}{2} \frac{M}{E} \left(\frac{a}{r} \right)^3 ag \left\{ \frac{1}{2} \cos^2 \lambda \cos^2 \delta \cos 2h + \sin \lambda \cos \lambda \sin 2\delta \cosh \right. \\ \left. + \frac{3}{2} \left(\frac{1}{3} - \sin^2 \delta \right) \left(\frac{1}{3} - \sin^2 \lambda \right) \right\}$$

であらわされる。ここに H は平均潮位、 g は重力の加速度、 M は天体の質量、 E は地球の質量、 a は地球の半径、 r は地球と天体との距離、 λ は測点の緯度、 δ は天体の赤緯、 h は

天体の時角である。この式の中 { } 内の第 1 項は約半日週期の潮汐、第 2 項は約 1 日週期の潮汐、最後の項は比較的長い週期の潮汐をあらわしている。また f を起潮力の鉛直成分 (vertical tide generating force) とすれば

$$f = -\frac{\partial \Omega}{\partial a} = \frac{2g}{a} \cdot H$$

となるから、この式から f を計算することができる。

さてこの f の算出には直接計算による方法、器械を使う方法、図表を使う方法等がある。筆者等ははじめにこの三つの方法を試みた。それらについてここに簡単に述べる。

直接計算の場合は M_2 , S_2 , N_2 , O 等 13 個の主だつた項について水路部の計算表¹³⁾を用いて計算を行った。また、器械を使う場合の方法は通常海洋予報潮汐等をこの潮汐推算器で書かせる場合は $A_0 + \sum f H \cos(V_0 + nt - k)$ ¹⁴⁾ なる形の式であるが、筆者等の場合はこの k (潮のおくれの角) = 0 としたのである。

また、引数 $V_0 + nt$, f は単に時間の函数であつて、毎年 of 天体暦にかかてある各必要項の値から計算できるので、海洋潮汐の場合は既知の A_0 , H および k を使つて將來の潮高をきめるために潮候推算器を使用しているが、今の筆者等の目的の場合には、この H も天体のその時々必要量をつかつて計算したものを導入している点が異なつていのである。

最後に図表を使う方法について述べる。従來からこの方法に関する記述は多いが、その中で Elkins¹⁴⁾ の方法が割合便利なのでそれを用いた。先程ものべたように地球上の 1 点 P におよぼす 1 天体の引力の垂直分力は近似的に

$$-C = 3k^2 M \frac{a}{r^3} \left(\cos^2 Z - \frac{1}{3} \right) \quad (1)$$

ここに k^2 は重力の恒数、 M は天体の質量、 a は地球の半径、 r は地球の中心と天体との距離、 Z は観測点と天体との中心角、 C は補正量である。

さて

$$\cos Z = \cos \delta \cos \phi \cos \theta + \sin \delta \sin \phi \quad (2)$$

であり、ここに δ は天体の赤緯、 ϕ は観測点の緯度、 θ は天体の地方時角であるから (2) を (1) 式に代入して

$$-C = 3k^2 M \frac{a}{r^3} \left\{ (\cos \delta \cos \phi \cos \theta + \sin \delta \sin \phi)^2 - \frac{1}{3} \right\} \quad (3)$$

をうる。

Elkins の方法は (3) 式による補正法である。すなわちこの式からノモグラムを作成し、毎日の天文暦により必要な各項を求めて補正するのである。

さて、これら 3 つの方法を比較してみたところ、ノモグラムから読取つた ΔG の精度は直接計算と比較して平均 0.003 mgal 以下であることがわかつた。最大誤差は 0.006 mgal で

ある。また推潮器で出した値と計算値とは最大の差が 0.01 mgal 以下であることがわかつた。このような結論を得たので、以後の潮汐力の計算には図表による方法を用いた。

一方ドリフトの除き方については種々考えられるが、筆者等は次にのべるような方法を案出した。

すなわち、まず一応目安として理論的な曲線が零線を切る点を実測線上に求め、これらの点を結ぶ線を零線とみなし補正を行つた。この様子は附図第 1 図に明らかである。附図第 1 図の観測値は地質調査所の守衛室内における値であるが、参考までにこれまで調査の際測定を行つた各地の定点における夜間連続測定の結果およびそれらに対応する潮汐力の値を計算して比較してみると、次のようなことがわかつた。すなわち、まず重力計のドリフトについてであるが、器械を輸入した当時は 1 日に 0.1 mgal 程度であつたものが、約 2 年を経た現在においては 1 日に 0.02 mgal 以下に減少して極めて小さいことが判明し、しかもこのドリフトの変化は直線的に一定の割合で徐々に減少していることがわかつた。

次に潮汐力の値について計算値と測定値とを比較して全般的にみると、その形はほとんど相似で潮汐変化の極大、極小の位置も両者においてほとんど一致していることで、すなわち両者の位相がずれていないことがわかる。勿論部分的に位相の一致しない場合もあるが、これは器械的な影響かまたはその他いづれの原因かは現在のところ不明である。これらに関しては今後の研究に待つことにしたい。

しかし、要するに全般的にみる際には理論的の潮汐力の補正をいれれば残りは一応各点の重力そのものを示すと解釈してもよいであろう。

3. 地 殻 潮 汐 に つ い て

重力測定の時観測結果と潮汐力との比、すなわち $G = 1 + h - \frac{3}{2}k$ は従来 Schweydar, Tomaschek 等により報告されている。わが国においては傾斜計による $\gamma = 1 + k - h$ の値は京都の志田順、佐々憲三、西村英一等¹⁷⁾により測定され報告されているが、 G の方はまだ報告されていない。筆者等は最近わが国の東半分において行つた重力測定の結果からこの値を算出した。これらは第 7 表のようになる。

この値が地球および地殻の物質の性質を明らかにする上に必要な量であることはよく知られているところであるが、現在ここに出した値がどのような意味をもつかについては後の機会にのべたい。

ただここに特記しておきたいのは、大島元村においては特に G の値が大きいことである。これは如何なる理由によるのか、たとえば海洋の潮汐の影響によるものか、あるいは大島の地下の物質の特殊性によるものか、かつはまた、この値が時間的变化を示すものであるかはまだ不明である。いづれにしても今次数回の測定結果がいづれもこのような大きな値を示しているのは注目に値する。参考までに第 17 図に大島元村における定時測定の結果の一例を図示した。

Table 7. Values of $1+h-\frac{3}{2}k$

Place	Longitude Latitude	Date	Observer	$1+h-\frac{3}{2}k$	
Kyōto			W. Schweydar ¹⁸⁾	1.20	
			R. Tomaschek ¹⁹⁾	0.5~0.6	
			K. Hartley ²⁰⁾	} ≥ 1.0	
			R. D. Wyckoff ²¹⁾		
			T. Ichinoe ²²⁾	{ 1.05 1.25	
Kawasaki	139° 37' 35° 35'	Jan. 29—Feb. 14, 1951	} K. Iida, M. Hayakawa, K. Katayose	1.34	
Nikkō	139° 36' 36° 44'	Dec. 30, 1949 Mar. 28, 1950		1.34	
Ōshima (Motomura)	139° 21' 34° 45'	Sept. 14, 15, 16, 1950		}	1.63
		Nov. 25, 26, 1950 Feb. 22, 25, 1951 Apr. 12, 1951			

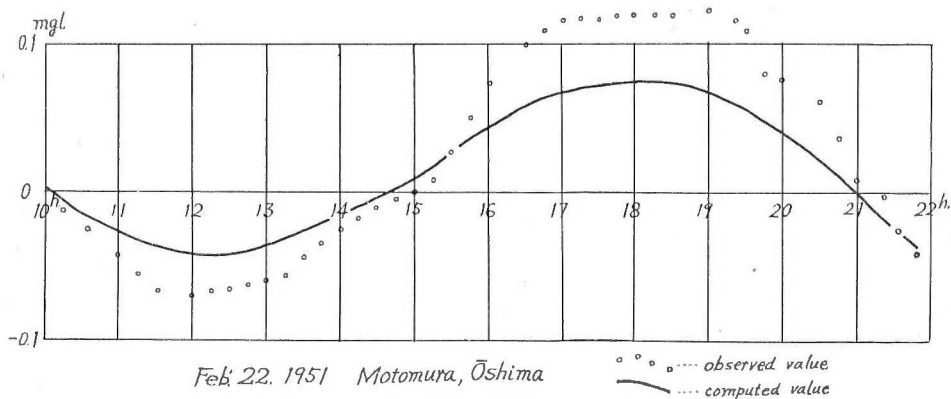


Fig. 17 Gravity-time curve at Motomura, Ooshima

参 考 文 献

- 1) 沢村孝之助：地質調査所月報 1 (1950), 第 3 号
- 2) 村内必典：自然科学と博物館 17 (1950), No. 3; No. 4.
- 3) 飯田波事, 早川正巳, 片寄邦之：地質調査所月報 1 (1950), 第 3 号
- 4) 例えば重力 (岩波書店発行, 坪井忠二著)
- 5) 永田武, 武井柳吉, 実川颯, 猪俣眞三郎：地震 10 (1938), 367.
- 6) 武藤勝彦：地震研究所彙報 16 (1938), 39.
- 7) 高橋龍太郎, 永田武：地震 9 (1937), No. 10; 地震研究所彙報 15 (1937), 441.
- 8) 高橋龍太郎：地震研究所談話会において発表
- 9) 力武常次：科学 21 (1950), No. 5.
- 10) 地震研究所談話会において発表
- 11) North American Geophysical Company, Service Manual Gravimeter AG-1.
- 12) L. J. B. La Coste : Physics, 5 (1934).

- 13) Louis Cagniard : La Prospection Géophysique (1950).
- 14) 例えば小倉伸吉著 潮汐学
- 15) 水路部 : 潮汐計算用諸表
- 16) T. Elkins : Geophysics, 8 (1943).
- 17) E. Nishimura : Trans. Am. Geophys. Union, 31 (1950).
- 18) W. Schweydar : Sitz. d. Preuss, Akad. und Wiss., 14 (1914)
- 19) R. Tomaschek : Zeitschrift f. Geophysik, 9 (1933).
- 20) K. Hartley : Physics, 4 (1933).
- 21) R. D. Wyckoff : Geophysics, 6 (1941).
- 22) 一戸時雄 : 昭和26年春 地震学会講演会において発表

Résumé

**Gravity Survey of Mihara Volcano, Ooshima Island,
and Changes in Gravity caused by Eruption**

by

Kumizi Iida, Masami Hayakawa, Kuniyuki Katayose.

Index

- I. Introduction.
- II. Gravity Surveys on Ooshima Island.
- III. Bouguer Anomalies of Gravity on Ooshima Island.
- IV. Changes in Gravity caused by the Eruption of Mihara Volcano.
- V. Summary and Conclusions.
- Appendix . North American Gravimeter.

I. Introduction

The Mihara volcano, on Ooshima Island, is one of the most active volcanoes in Japan. Prior to 1950 its most recent activity was during August 1940. On 16 July 1950 a sudden eruption initiated a period of activity lasting for about 70 days until 23 September 1950; after remaining dormant for five months, another active period of about seventy days occurred from 4 February 1951 to mid-April.

During these two periods of activity many explosions occurred, and lava and other ejectamenta were continually thrown out. The greater part of the atrio was covered with lava; the main topographic change was the formation of cinder cones in the crater.

This recent activity provided an opportunity to investigate whether any significant local changes in gravity take place during periods of volcanic activity, and whether any conclusions can be drawn as to the relation between such gravity changes and the subsurface physical conditions. In order to obtain data that might clarify this problem, gravity surveys were conducted on Ooshima Island at four different times between September 1950 and April 1951 and gravity measurements were taken at more than 50 widely distributed stations.

II. Gravity Surveys on Ooshima Island

In 1938, T. Nagata and others took gravity readings by pendulum at four stations on Ooshima Island. For the present surveys the writers used a North American gravimeter imported in August 1949 from the United States; this instrument has the high degree of accuracy of 0.01 milligals. The survey stations are listed in Table 1, and the relation between the volcanic activity and the times the observations were made is shown schematically in Fig. 1.

Gravity readings were taken at more than 50 stations, 20 of which are within the somma and the remainder around the volcano. The distribution of these stations is shown in Fig. 2 and Table 2. 15 stations are located almost at equal intervals around

the coast of Ooshima, except for the rugged southeastern coastline.

Table 5 shows the gravity values derived by subtracting the drift and tide effect from the measured gravity values; these are based on the assumption that the value at the Motomura station (No. 1) was constant.

III. Bouguer Anomalies of Gravity on Ooshima Island

The Bouguer anomalies, shown in Figs. 6 and 7, were derived from the gravity values shown in Table 5. For the determination of the Bouguer anomalies it was necessary to establish a value for the mean density of the island. The relation between elevation and gravity was obtained and the decrease in gravity values according to elevation is shown in Fig. 5. From this relation a mean density of 2.0 or 2.2 was computed for Ooshima Island using formula (page 7), and the Bouguer anomalies were then established on the basis of this mean density.

According to these results the gravity anomaly in the northern part of the island is larger than in the southeastern part, and the values near the parasitic cone are greater than elsewhere on the island; the anomaly in the somma is also large.

The abnormally large anomalies on Ooshima Island have been explained by K. Muto as being due not only to the excess mass of the Mihara volcano, but also to the effect of another still greater mass and the present results tend to confirm this.

IV. Change in Gravity caused by the Eruption of Mihara Volcano

Table 5 (Chapter IV) shows the results of the four gravity surveys conducted during the periods of activity in 1950 and 1951. The first survey (I) was made at the end of the first active periods; during this period the largest cinder cone increased its activity greatly. The second survey (II) was made during the dormant phase between the two active periods. The third survey (III) was executed in the early stage of the second active period and the fourth survey (IV) at the most violent stage during the second period of activity.

Table 5 shows the readings for each of these surveys and the differences in gravity between II-I, III-II, IV-III, IV-I, and IV-II; these changes in gravity values are shown graphically in Figs. 8-11, and from these it is clear that significant changes took place in the gravity values in the intervals between each successive survey.

Consideration was given to vertical displacement effected by the eruptions, and levelling surveys using a Wild universal theodolite were conducted three times; the first was made soon after the second gravity survey, the second at the time of the third gravity survey, and the third during the fourth gravity survey. The bench marks are indicated in Fig. 3.

When the third levelling survey was made bench marks C and D were found to be buried by lava, so that it was not possible to measure the difference in elevation. Table 6 shows the results of the three levelling surveys, assuming the elevation of station A to be constant. From this table it is clear that at the time of the second survey (1951) the three stations D, E, and F only increased 20 cm. in elevation in

relation to stations A, B, and C. These elevation changes, corresponding to 0.07 milligals in gravity effect, are negligible in relation to the observed changes in gravity.

With regard to elevation changes prior to December 1950, transit survey by S. Murauchi showed that the vertical change between stations B and F from July to December 1950 was less than 50 cm., i.e. less than the limit of accuracy of the transit. A transit survey made by R. Takahashi in May 1951 between Motomura and station A showed that the elevation at station A was depressed 20 cm. in relation to Motomura, but this result was not checked.

As seen in Figs. 8-11 there are remarkable changes in the gravity distribution. The gravity values increased during the dormant phase and this was particularly noticeable within the somma.

To explain this phenomenon the writers assumed the presence of a sphere beneath the crater gradually filling with magma in preparation for the next eruption, and being drained, or partially drained by the eruption. The sphere was calculated to be 150-200 meters in diameter at a depth of about 2 km. below the crater; this calculation assumes a density of 2.0 for the magma.

A significant change in gravity is also noticeable in the southwestern part of the crater for which another explanation, not discussed here, seems probable.

The interpretation from the gravity changes seems to be in accord with the results of magnetic changes observed by T. Rikitake.

An interesting phenomenon observed during the course of the gravity surveys was that tremors were particularly violent at the southeastern and southwestern part of the crater.

All-night observation revealed that the tide factor $G (=1+h-\frac{3k}{2})$ at Motomura attained a value of 1.63, which is unusually large compared with other parts of Japan.

V. Summary and Conclusions

1. Changes in gravity values were observed during the recent activity of Mihara volcano on Ooshima Island, and these were correlated with changes in the subterranean mass distribution.

2. In the dormant phase between the recent active periods the gravity values increased, particularly in the region of the somma.

3. After the active phase began, the gravity values decreased.

4. During periods of violent eruption the decline of gravity values was unusually great.

5. The results of this investigation will provide a basis for future studies on volcanoes of the Mihara type.

Appendix. The "North American" Gravimeter

The characteristics of this gravimeter are described. The changes in the value of gravity at Kawasaki with respect to time have been observed with this gravimeter.

Readings were taken every quarter of an hour over a period of 18 days by normal visual methods. The results obtained are shown in Plate 1, from which a drift curve for the instrument has been calculated. Comparison was made of the values in relation to the tide generating force, and the variation in the gravity value in relation to the tide effect was ascertained. The tide factor $G = 1 + h - \frac{3k}{2}$ was calculated for some districts in Japan; these results are shown as values of G in Table 7.

The Geological Survey of Japan has published in the past several kinds of reports such as the Memoirs, the Bulletin, and the Reports of the Geological Survey.

Hereafter all reports will be published exclusively in the Reports of the Geological Survey of Japan. The currently published Report will be consecutive with the numbers of the Report of the Imperial Geological Survey of Japan hitherto published. As a general rule each issue of the Report will have one number, and for convenience's sake, the following classification according to the field of interest will be indicated on each Report.

- | | | |
|------------------------------|---|--|
| A. Geology & allied sciences | } | a. Geology.
b. Petrology and Mineralogy.
c. Palaeontology.
d. Volcanology and Hotspring.
e. Geophysics.
f. Geochemistry. |
| B. Applied geology | } | a. Ore deposits.
b. Coal.
c. Petroleum and Natural Gas.
d. Underground water.
e. Agricultural geology.
Engineering geology.
f. Physical prospecting.
Chemical prospecting & Boring. |
| C. Miscellaneous | | |
| D. Annual Report of Progress | | |

Note: Besides the regularly printed Reports, the Geological Survey is newly going to circulate "Bulletin of the Geological Survey of Japan." which will be published monthly commencing in July 1950

本所刊行の報文類の種目には従来地質要報 地質調査所報告等があつたが今後はすべて刊行する報文は地質調査所報告に改めることとし、その番號は従来地質調査所報告を追つて附けることにする、そして報告は一報文につき報告1冊を原則とし、その分類の便宜の爲に次の如くアルファベットによる略號を附けることにする。

- A 地質及びその基礎科學に關するもの
 - a. 地質
 - b. 岩石、鈹物
 - c. 古生物
 - d. 火山、溫泉
 - e. 地球物理
 - f. 地球化學
- B 應用地質に關するもの
 - a. 鈹床
 - b. 石炭
 - c. 石油、天然瓦斯
 - d. 地下水
 - e. 農林地質、土木地質
 - f. 物理探鈹、化學探鈹及び試錐
- C その他
- D 事業報告

なお刊行する報文以外に當分の間報文を謄寫して配布したものに地下資源調査所速報があつたが今後は地質調査所月報として第1号より刊行する。

昭和 27 年 2 月 20 日印刷

昭和 27 年 2 月 25 日発行

著作権所有 工業技術廳
地質調査所

印刷者 田 中 春 美

印刷所 田中幸和堂印刷所

東京都台東区東黒門町 3 番地

REPORT No. 152

GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Tomofusa Mitsuchi, Director

**GRAVITY SURVEY OF MIHARA
VOICANO, OOSHIMA ISLAND,
AND CHANGES IN GRAVITY
CAUSED BY ERUPTION**

BY

KUMIZI IIDA, MASAMI HAYAKAWA & KUNIYUKI KATAYOSE

GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Hisamoto-cho, Kawasaki-shi, Japan

1952