



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	北海道の火山およびその周辺地域における精密重力測定
Author(s)	前川, 徳光; MAEKAWA, Tokumitsu; 宮町, 宏樹 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 59, 119-135
Issue Date	1996-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.59.119
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14235
Type	departmental bulletin paper
File Information	59_p119-135.pdf



北海道の火山およびその周辺地域における精密重力測定

前川 徳光・宮町 宏樹*

北海道大学理学部有珠火山観測所

大島 弘光

北海道大学理学部地球物理教室

石原 和弘

京都大学防災研究所附属桜島火山観測所

(1996年1月4日受理)

Microgravity survey around active volcanoes in Hokkaido, Japan

Tokumitsu MAEKAWA, Hiroki MIYAMACHI

Usu Volcano Observatory, Faculty of Science, Hokkaido University.

Hiromitsu OSHIMA

Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University.

Kazuhiro ISHIHARA

Sakurajima Volcanological Observatory, Disaster Prevention Research Institute,

Kyoto University.

(Received January 4, 1996)

We have repeated the microgravity survey around Komaga-take, Tarumae, Tokachi and Me-Akan volcano for studying volcanic processes and prediction of an eruption, and also in Kuttcharo caldera for revealing the relation between volcanic activities and the tectonics.

The data obtained by these surveys were compiled and gravity changes were discussed. The results are summarized as follows :

(1) Gravity changes originating from volcanic activities in four volcanoes are not found out.

(2) The spatial distribution of gravity changes observed in Me-Akan volcano and Kuttcharo caldera suggested that those gravity changes are originated from height changes accompanied by the 1993 Kushiro-Oki earthquake or 1994 Hokkaido-Toho-Oki earthquake.

(3) Gravity changes, which are caused by local ground upheaval and subsidence associated with 1993 Hokkaido-Nansei-Oki earthquake, are found around Komaga-take volcano.

Based on the Mogi model, the performance of the gravity network around Komaga-take volcano was evaluated. This reveals that our gravity network is insufficient to study the gravity changes associated with volcanic activities, and an enhancement of gravity network is required by means of the method linked the microgravity survey to the GPS survey or the leveling.

* 現在, 鹿児島大学理学部

I. はじめに

火山活動に伴う重力変化を検出し、マグマの挙動を解明するために国内外の活動的な火山において精密重力測定が実施されている。国内では火山噴火予知計画に基づく火山集中観測の一項目として精密重力測定が実施され、1977年-1982年の有珠山の噴火活動、1983年の三宅島の噴火、伊豆大島の1986年噴火および1955年から山頂噴火を続けている桜島では顕著な重力変化が検出されている（例えば、Yokoyama, 1989）。最近では1991年11月に噴火活動を開始した雲仙火山において、多数の重力計を用いて頻繁に重力測定が実施され、興味深い重力変化がとらえられている（植木ほか、1995）。一方、国外でも火山ハワイのKilauea火山を始めとして多くの火山やカルデラ地域において火山活動に関連した重力変化が観測されている。これらについては（Rymer, 1993）に詳しい。

北海道内には有珠山のほかにも駒ヶ岳、樽前山、十勝岳や雌阿寒岳などの噴火記録を持つ火山があり（Fig. 1）、これらの火山においても噴火予知や火山活動に伴う重力変化の研究を目的に精密重力測定を行ってきた。また、M5クラスの浅い局所的な地震活動の知られている（勝井ほか、1976）北海道東部の屈斜路カルデラでも精密重力測定を実施している。

有珠山を除いて、精密重力測定が開始されてから現在まで火山活動の活発化や顕著な局発地震は発生していない。しかし、1993年1月15日に釧路沖地震($M_{JMA}7.8$)、1993年7月12日には北海道南西沖地震、さらに1994年10月4日にも根室半島東方沖地震($M_{JMA}8.1$)が発生した。このような大規模な地震に誘発されたように火山活動が活発化した例（横山、1971）や、地震に伴う地殻変動や地盤変動により測定点の重力値の変化が危惧されたことから、これらの地震の震源に近い駒ヶ岳周辺および雌阿寒岳・屈斜路カルデラについては再測定を実施した。

本論文では、これらの測定結果を含め、これまでに駒ヶ岳、樽前山、十勝岳および阿寒・屈斜路カ

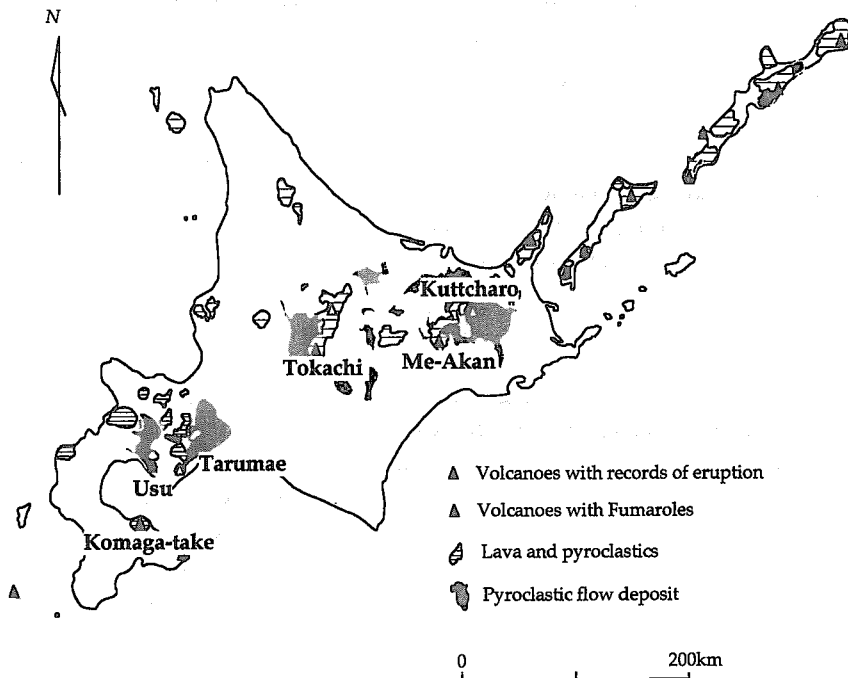


Fig. 1 Distribution of active volcanoes in Hokkaido.

ルデラ地域で実施した精密重力測定結果の整理を行い、重力変化について検討した。

II. 測 定

測定に使用した重力計は LaCoste & Romberg G型重力計である。測定はすべて往復測定とし、測定値には地球潮汐補正、器高補正、ドリフト補正を行った。しかし、補正係数が未知であることもあり、スケール定数補正とペリオディックエラー補正 (Valliant, 1991) は施さなかった。

各測定点の重力値については、重力計ごとに求められた測定基準点からの重力差の単純平均を各点の重力値とした。また、測定精度については、各測定実施期間における平均値からの最大隔差を目安として用いた。

III. 測定点および重力変化

1. 駒ヶ岳

最初の精密重力測定は、G 31, G 458 および G 791 を用いて 1987 年 9 月 13~17 日に実施された。測定点は国土地理院の水準点、佐久間 (1956) 等により大沼湖岸に沿って埋設された水準点、北大有珠火山観測所が設置した水準点 (Fig. 2) に函館一等重力点を加えた 28 点である。

再測定は 1993 年 11 月 23~27 日に G 31, G 375 を用いて実施した。駒ヶ岳周辺では 1993 年 7 月 12



Fig. 2 Location of gravity stations around Komaga-take volcano.

Table 1. Results of the precise gravity survey around Komaga-take volcano. Gravity values are referred to Hakodate FGS.

Site	Latitude	Longitude	Height	1987	1993	Remarks
				Sept.13 -Sept.17	Nov.23 -Nov.26	
			m	mgal	mgal	
BMJ19	42° 06.22'	140° 34.89'	6.82	0.000	0.000	
BM5967	42 06.56	140 33.54	15.02	1.237		
SF390	42 06.03	140 35.01	18.56	-2.108	-2.131	
BM7063	42 05.35	140 35.72	47.25	-6.696	-6.693	
KO2050	42 04.70	140 36.06	70.78	-9.963		
KO2070	42 03.63	140 36.52	133.68	-20.990	-21.027	
SF410	42 03.20	140 37.01	166.80	-28.398	-28.449	
BM7066	42 02.43	140 37.42	179.31	-30.849	-30.880	
KO1050	42 01.86	140 38.24	192.90	-36.527	-36.576	
BM7068	42 00.59	140 38.04	159.27	-26.454	-26.466	
KO2100	42 00.06	140 38.24	159.78	-25.280	-25.303	
SF409	41 59.53	140 38.38	161.62	-23.009	-23.035	
KO2120	41 58.71	140 38.38	163.44	-18.817	-18.851	
K1	41 58.95	140 39.42	130.36	-11.066	-11.102	
BM4616	41 59.03	140 40.29	130.64	-12.345	-12.376	
K5	41 59.26	140 41.49	130.15	-9.440	-9.340	
K9	41 59.93	140 42.91	130.39	-2.731	-2.781	
K10	41 59.41	140 41.76	130.52	-8.778		
KO3080	42 00.55	140 43.33	130.54	-3.627	-3.685	
KO3090	41 59.88	140 44.00	137.25	0.090	0.061	
KO4000	42 01.33	140 44.43	83.34	6.581		
KO1060	42 02.11	140 38.20	198.95	-38.193		
KO1110	42 02.51	140 39.20	289.82	-54.681		
KO1120	42 02.37	140 39.61	329.80	-62.032	-62.069	
KO1130	42 02.29	140 40.36	392.05	-70.884	-70.910	
KO1135	42 02.24	140 40.51	430.03	-76.600		
KO1140	42 02.42	140 41.05	486.60	-87.364	-87.374	
Hakodate FGS	41 48.83	140 45.43	35	9.834	9.366	Relocate in 1993
Maximum Deviation				0.023	0.027	
Gravimeter				G31	G31	
				G458	G375	
				G791		

日の北海道南西沖地震に伴って道路陥没など顕著な地盤変動が認められていた。

1987年および1993年の測定結果をTable 1に示す。各測定点の重力値は函館一等重力点を仮不動点として求められているが、重力変化の検討にあたっては函館一等重力点が移設されていることから、BMJ 19を仮不動点として採用した。

1987年9月～1993年11月の間の重力変化をBMJ 19からKO 1050を経て5合目のKO 1140に至

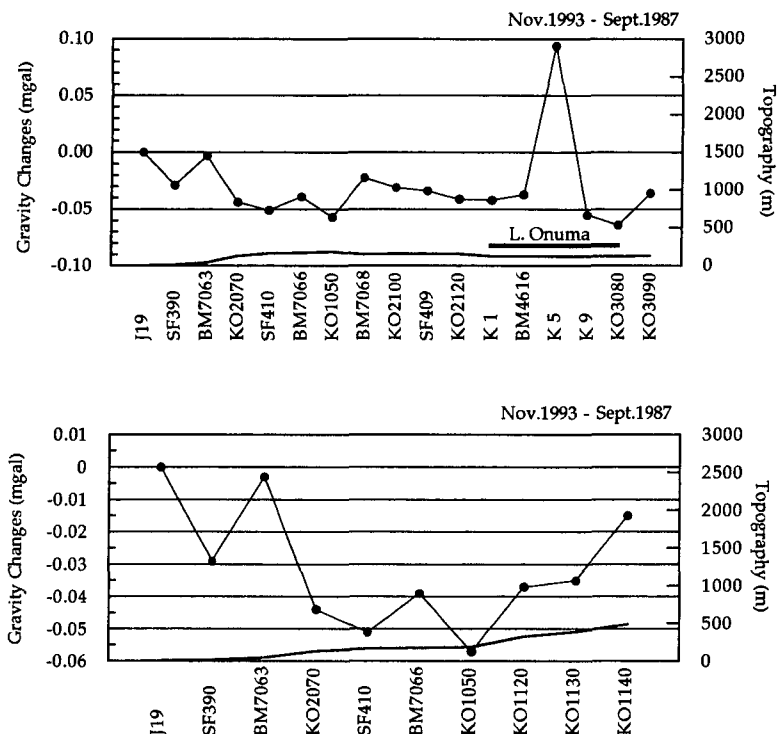


Fig. 3 Gravity changes along routes from BMJ19 to KO3090(upper), and from BMJ19 to KO 1140 (lower).

る登山道路と、BMJ 19 から KO 1050 を経て大沼の南側湖畔を回る大沼路線とにわけて Fig. 3 に示した。

重力変化は、大沼湖畔の K 5 を除いて、いずれも重力減少となった。湖岸に位置する K 5 では 0.100 mgal にも達する重力増加となった。この周辺では北海道南西沖地震に伴う路面変状が認められ、重力点である水準標石は下部 1/4 が水中に没し、湖水面の年周変化を考慮しても、沈降は明らかであった。

重力減少となった測定点のうち BMJ 19~KO 1050 の間では、やや振幅の大きい短波長な重力変化とともに、BMJ 19 から KO 1050 に向かって減少量が大きくなる傾向が認められた。これらの測定点は駒ヶ岳岩屑なだれ堆積物あるいは沖積層の分布域(勝井ほか, 1989)にあり、北海道南西沖地震の際には建造物被害や路盤被害が数ヶ所で発生したこと(土岐ほか, 1994)から、短波長の重力変化は北海道南西沖地震に伴う局所的な地表付近の地盤変動を反映している可能性がある。全体的な重力減少傾向についても北海道南西沖地震に伴う地殻変動の影響が考えられる。しかし、震源域までの距離や重力点分布の空間スケールを考慮するとこれらの測定点での大きさは同程度と考えられ、全体的な重力減少傾向はこの地域の経年的・広域的な地殻変動に関係しているのかもしれない。

この BMJ 19~KO 1050 の間の重力変化や 1 点を除いて重力減少となったことは、仮不動点とした BMJ 19 の変動を示唆している。しかし、函館 FGS が移設されたことから、その有無を確認することは出来ない。

Fig. 4 には、1929 年火口を中心にして測定点までの水平距離に対する重力変化を示した。全体として見ると、重力変化は火口から 6 km 付近を底とした盆状の変化パターンを示す。6 km 付近を基準にすると、この外側では火口から離れるにしたがって重力が増加し、この内側の登山道に没う測定点

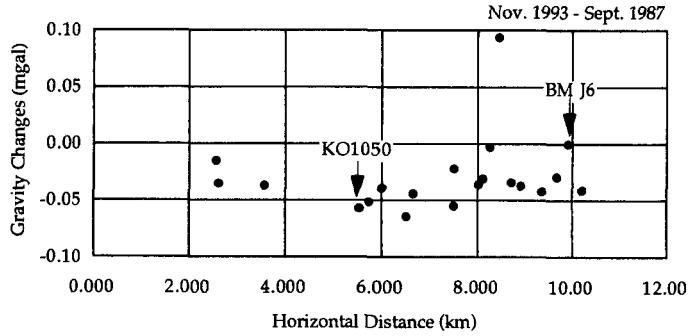


Fig. 4 Gravity changes versus horizontal distance from the 1929 crater.

では火口に向かって重力が増加する傾向にある。森(1994, 未発表)によると1985年~1994年の期間における南西山麓と火口原外周の間の辺長変化は山体膨張を示唆する縮みが観測されており、6 km以内の測定点で観測された重力変化は、この山体膨張の傾向と調和しない。この原因については、測定回数が少ないこともあり今後の課題としたい。

2. 樽前山

最初の測定は渡辺ほか(1984)により1983年9月6~8日にG 31, G 375, G 458を用いてFig. 5に示す12点で行われた。これらの測定点のうち道々苦小牧一支笏湖線沿いの6点は国土地理院の2等水準点であり、登山道入口から樽前山7合目までの5点はこの時に埋設された標石である。

再測定は1989年および1992年に実施された。しかし、移設や破損した測定点があり、さらに測定環境の劣悪な測定点もあったことから再測定が行えたのは6点到過ぎなかった。1989年の測定ではG 375とG 851を使用して10月23~26日に行った。1992年は11月24~26日にG 31とG 375を用いて測定を行い、札幌一等重力点との接続も実施した。

Table 2にTG 01を仮不動点としてこれまでの測定結果をまとめて示す。Fig. 6には1983年9月と比較して1989年10月および1992年11月の重力変化を示した。

道々に沿う測定基準点TG 01からBM 4560までの路線については、BM 4555およびBM 4560での重力減少が顕著である。この路線では道路の拡幅とサイクリングロードの建設工事が順次進められてきており、BM 4555およびBM 4560の重力変化はこれに伴う土砂の搬出や再配置の影響と考えられる。

TG 20からTG 50に至る登山道に沿う路線の1983年~1989年間の重力変化は、 ± 0.020 mgal以内におさまり、全体として系統的な変化は認められない。一方、1983年~1992年の重力変化は最大隔差を上回る変化量ではないが、山頂方向に向かって重力減少量が增大しているように見え、山頂方向上がりの傾動が示唆される。1983年~1989年の間ではこのような減少傾向が見られないことから、これは1989年以降に顕著になったと推察される。森(1996)によりまとめられた火口原内での傾斜水準測量結果によると、重力路線の延長上にあたる北西火口原内では1986年以来ドーム方向の隆起が観測されていたが、1990年から変化率が增大しているように見え、重力変化はこの結果と調和している。

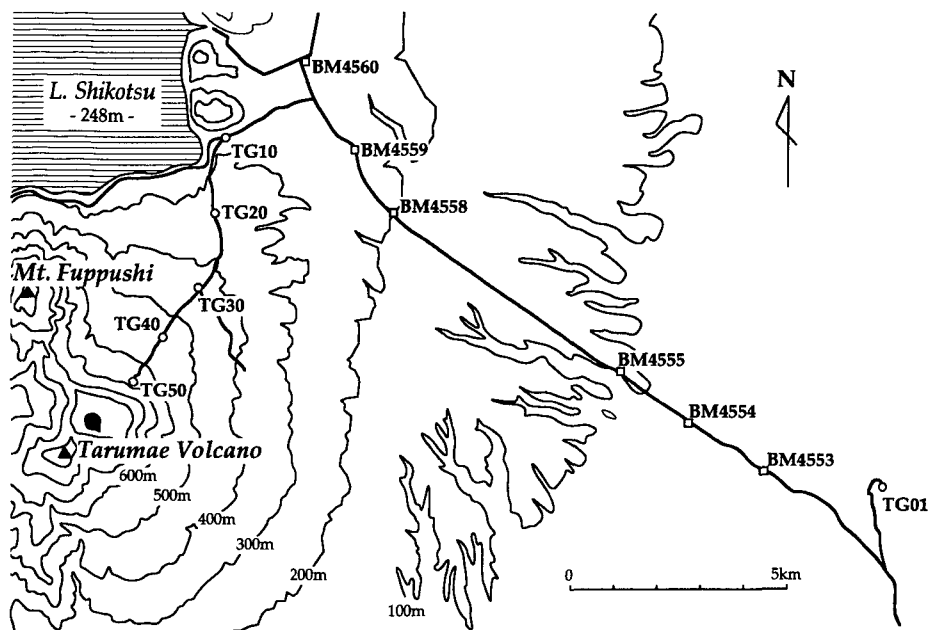


Fig. 5 Distribution of gravity stations around Tarumae volcano.

Table 2. Results of the precise gravity survey around Tarumae volcano. Gravity values are referred to TG01.

Site	Latitude	Longitude	Height m	1983	1989	1992	Remarks
				Sept. 6 -Sept. 8	Oct.23 -Oct.26	Nov.24 -Nov.26	
				mgal	mgal	mgal	
TG50	42° 41.81'	141° 23.59'	660.	-99.241	-99.239	-99.268	
TG40	42 42.39	141 24.08	540.	-72.073	-72.058	-72.104	
TG30	42 42.90	141 24.67	436.	-49.272	-49.288	-49.318	
TG20	42 43.83	141 24.89	390.	-30.687	-30.672	-30.693	
TG10	42 44.76	141 25.06	290.	-12.221			Lost
BM4560	42 45.68	141 26.36	246.38	-9.770	-9.779	-9.814	
BM4559	42 44.58	141 27.32	222.52	-15.776			Relocate
BM4558	42 43.82	141 27.99	200.78	-15.605			Relocate
BM4555	42 41.85	141 31.80	106.37	-14.926	-14.955	-14.953	
BM4554	42 41.18	141 33.04	86.82	-12.958			Relocate
BM4553	42 40.61	141 34.32	71.02	-10.962			
TG01	42 40.40	141 36.13	48.00	0.000	0.000	0.000	
Sapporo FGS	43 04.30	141 20.70	15.	61.792		61.784	
Maximum Deviation				0.030	0.031	0.029	
Gravimeter				G31	G31	G31	
				G375	G851	G375	
				G458			

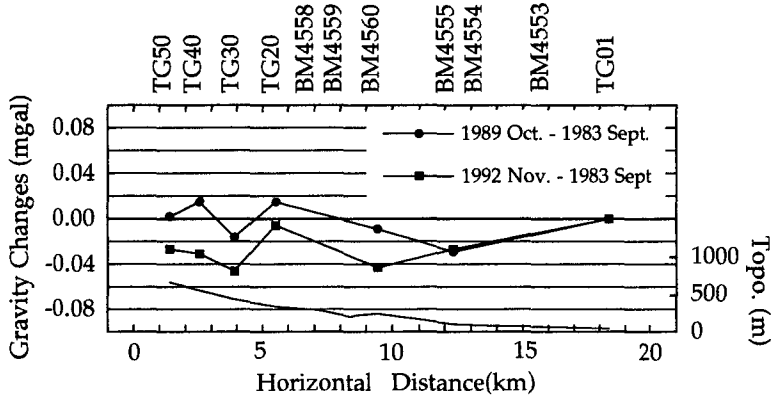


Fig. 6 Gravity changes plotted against the horizontal distance from the summit dome.

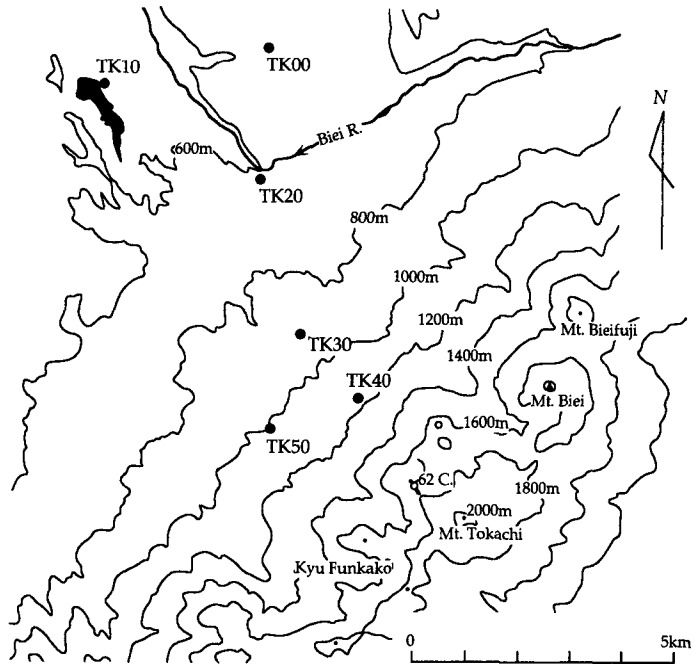


Fig. 7 Distribution of gravity stations around Tokachi volcano.

3. 十勝岳

十勝岳は1988年12月～1989年3月にかけて62-II火口から23回の爆発的噴火を繰り返した。最初の精密重力測定はこの噴火活動が終息した1989年8月1～2日にG375とG458を用いて実施し、翌年の1990年7月24～25日に、G31とG375を使用して再測定を行った。測定点はGPS測定点であるTK40を含めFig.7に示す5点である。

TK00を仮不動点として求められた各測定点の重力値をTable3にまとめて示す。Fig.8には、1989年8月～1990年7月の間の重力変化を火口からの距離に対して図示した。

この間の重力変化は、TK10で重力増加が観測されたほか、他は重力減少となった。TK10はダムサイトに設置されており、ダムの水位変動の影響を受ける可能性があった。ダムの水位は、営農のために放水され、春から夏にかけて低下し、ダム近傍の重力値は春から夏にかけて減少すると考えられる。ダムの貯水量などは年によって異なることから明らかではないが、1989年に較べて1週間ほど前

Table 3. Results of the precise gravity survey around Tokachi volcano. Gravity values are referred to TK00.

Site	Latitude	Longitude	Height	1989	1990	Remarks
				Aug. 1 -Aug. 2	Jul.24 -Jul.25	
			m	mgal	mgal	
TK00	43° 29.61'	142° 38.67'	703	0.000	0.000	
TK10	43 29.25	142 36.32	505	49.179	49.212	
TK20	43 28.27	142 38.50	632	20.083	20.071	
TK30	43 26.70	142 39.12	930	-50.945	-50.952	
TK40	43 26.18	142 39.85	1110	-98.431		GPS site
TK50	43 25.70	142 38.85	1017	-69.237	-69.266	
Maximum Deviation				0.021	0.016	
Gravimeter				G375	G31	
				G458	G375	

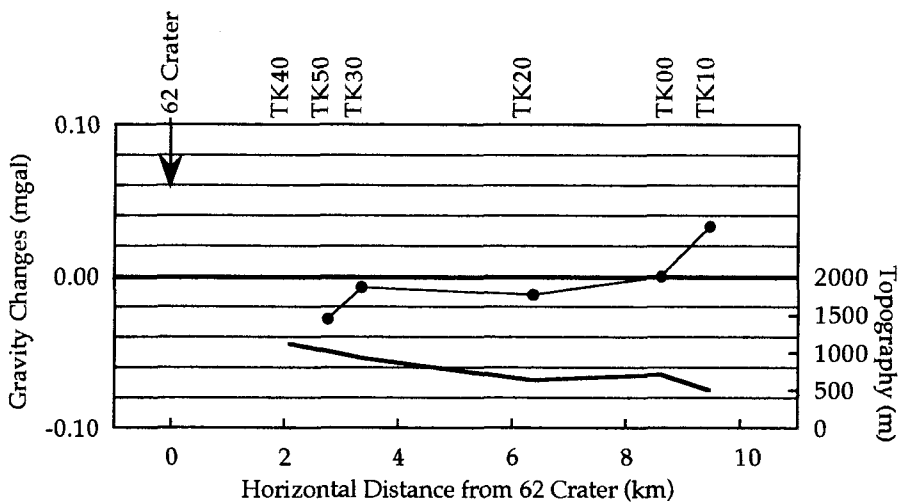


Fig. 8 Gravity changes plotted against the horizontal distance from 62-II crater.

に測定を実施した1990年の測定時のダムの水位が1989年の測定時に較べて高かったと考えると、ダム水位の変化傾向とともにTK 10の重力増加を定性的に説明することが可能である。

このTK 10を除いても全体的な重力変化は火口方向に向かって減少量が増大する傾向を示す。これはGPS測量により1989年9月～1991年8・9月の期間に観測された山体収縮の傾向(森, 1995)に反している。TK 10に加えてTK 50を除くと重力減少の傾向は認められなくなるが、TK 50での重力減少の原因となる外的環境の変化は見いだせない。測定点も少ないうえに1990年7月にはTK 40を測定していないことから、この重力減少傾向については測定結果の蓄積を待って検討したい。

4. 雌阿寒岳および屈斜路カルデラ地域

弟子屈地域および雌阿寒岳周辺の重力測定点をFig. 9に示す。1983年に設置された屈斜路カルデラ内の精密重力測定点は弟子屈町のBM 8300から屈斜路湖北岸(BM 4929)に至り南東湖岸を南下し、BM 8300にもどる約40 kmの道路にそって設置されている北大理学部および国土地理院の水準点である。一方、雌阿寒岳周辺には4点の測定点が1989年に設けられた。このうちの1点は国土地理院の水準点であるが、他はGPS測定点あるいはその近傍に設けた重力測定点である。これらの測定点は屈斜路カルデラ内にあるBM 8300あるいは帯広1等重力点とも結合されている。

屈斜路カルデラ内におけるこれまでの測定結果をTable 4にまとめて示した。各測定点の重力値はBM 8300を基準点として算出されている。使用された重力計は1989年のみG 31とG 458が用いられ、他はG 31とG 375である。

各測定点における重力の時間変化をFig. 10に図示した。測定精度を考慮すると1983年から1994年の期間において有意な重力変化があったとは言えないが、系統性のある重力変化パターンが認められる。

北海道東方沖地震の前後では、重力変化の求められた測定点は少ないが、いずれの測定点とも重力減少を示す。全体としての変化量は東側のSF 207, SF 206に較べて、西側の1140, 1170, 1220が小さく、重力変化は地震に伴う北西上がりの傾動変動があったことをうかがわせる。

一方、1993年1月15日の釧路沖地震に関しては、0.010 mgalを越える重力変化はSF 207および

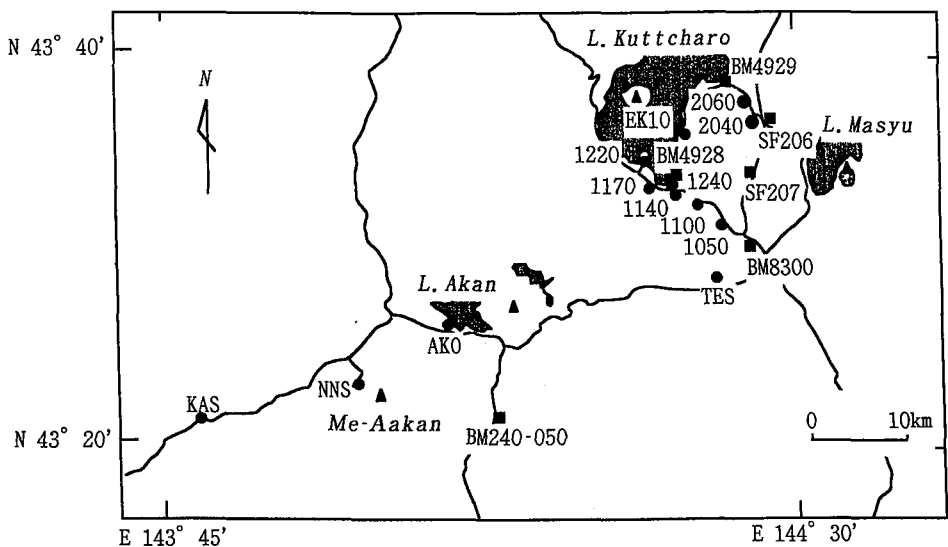


Fig. 9 Location of gravity stations in the Kuttcharo caldera and Me-Aakan volcano region.

Table 4. Results of the precise gravity survey in Kuttcharo caldera. Gravity values are referred to BM8300.

Site	Latitude	Longitude	Height	1983	1989	1990	1991	1993	1994
				Sept.19	Jul.24 -Jul.29	Jul.23 -Aug.24	Aug.28 -Aug.30	Jul.19 -Jul.20	Nov.19
			m	mgal	mgal	mgal	mgal	mgal	mgal
BM8300	43° 30.34'	144° 26.54'	126.9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1050	43 31.64	144 24.59	122	2.313	2.351	2.299	2.314	2.326	
1110	43 32.75	144 32.35	131.4	-0.729	-0.688	-0.730	-0.722	-0.722	
1140	43 33.08	144 20.80	128.8	-8.528	-8.500	-8.542	-8.535	-8.527	-8.532
1240	43 33.42	144 20.63	123.1	-11.259	-	-11.266	-11.247	-11.248	
BM4928	43 33.86	144 20.85	128.8	-21.928	-21.954	-21.957	-21.945	-21.940	
1170	43 33.32	144 19.51	132	-2.802	-2.789	-2.812	-2.785	-2.797	-2.808
1220	43 34.62	144 18.91	129		-11.024	-11.054		-11.035	-11.038
EK10	43 35.93	144 21.27	125	-37.932	-37.920		-37.919	-37.921	
SF207	43 33.42	144 26.44	149.7	(-11.286)	-11.088		-11.078	-11.087	-11.118
SF206	43 36.93	144 27.63	158	-18.423	-18.422	-18.413	-18.402	-18.429	-18.445
2040	43 36.92	144 26.85	185		-23.647		-23.614	-	
2060	43 37.96	144 26.50	139	-14.648	-14.648	-14.663	-14.657	-14.647	
BM4929	43 38.68	144 24.98	123.2	-7.167	-7.166		-7.163	-7.167	
TES	43 29.00	144 24.15	230		-16.910				
Maximum Deviation				0.034	0.047	0.029	0.014	0.015	0.011
Gravimeter				G31	G31	G31	G31	G31	G31
				G375	G458	G375	G375	G375	G375

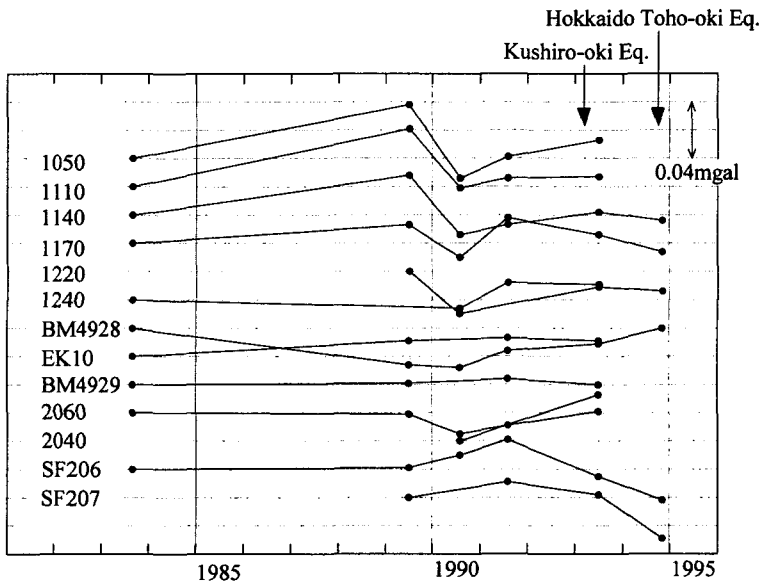


Fig. 10 Gravity changes in the Kuttcharo caldera. Solid arrows indicate the 1993 Kushiro-Oki earthquake and the 1994 Hokkaido-Toho-Oki earthquake.

1050 で観測されたのみである。全体的には重力測量網スケールの傾動変化はなかったと言える。

1993 年以前については、BM 8300 から 1050 を経て屈斜路湖南端の 1170 至る測定点での類似した重力変化パターンが特徴的である。これらの測定点では 1983~1989 年の期間で重力値が増加し、1989 年~1991 年に減少し、再び増加する。1983~1989 年の重力増加に対し、1170 から先の EK 10 では 0.010 mgal 程度の増加となっているものの、他の測定点ではほとんど変化がなく、重力増加域は測量網の南西半分の地域に分布しているように見える。

1989 年~1991 年にかけての減少・増加という変化は、屈斜路湖南岸の BM 4928, 1220, 1240 や 2060 でも認められる。一方、東側路線の SF 206 や SF 207, 湖岸沿いの EK 10 や BM 4929 では単調な増加傾向を示し、この減少・増加という変化は、BM 8300 から屈斜路湖南岸に分布する測定点に限られているようである。

Table 5 には BM 240-050 を基準点とした雌阿寒地域の測定結果を示した。使用された重力計は屈斜路カルデラでの測定と同様に 1989 年のみ G 31 と G 458 が用いられている。

Fig. 11 には、BM 240-050 (上図) および BM 8300 (下図) を基準点とした雌阿寒岳周辺の各測定点での重力の経時変化を示した。1990 年 7 月~1993 年 7 月の期間に雌阿寒岳山頂の北西約 2 km にある NNS での重力増加以外に最大隔差を上回る重力変化はない。BM 240-050 を基準とした重力変化は、NNS および KAS で重力増加、BM 8300 で重力減少を示し、BM 8300 を基準にすると、KAS, BM 240-050 および NNS とも重力増加となる。釧路沖地震の断層モデルから計算される地殻変動は、雌阿寒岳周辺を中心に沈降域が分布するパターンを示し(宇津木, 私信)、重力変化はこのような地殻変動パターンと定性的に調和する。

北海道東方沖地震の前後では、BM 240-050 を基準にした場合には、BM 8300, AKO, NNS とも重

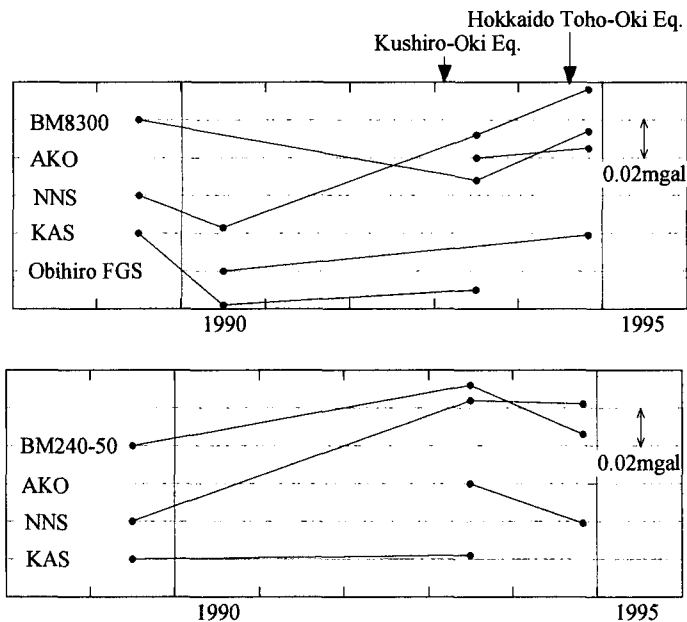


Fig. 11 Gravity changes around Me-Akan volcano. The Upper figure shows gravity changes referred to BM240-50, and the lower one shows gravity changes referred to BM8300. Solid arrows indicate the 1993 Kushiro-Oki and the 1994 Hokkaido-Toho-Oki earthquakes.

Table 5. Results of the precise gravity survey around Me-Akan volcano. Gravity values are referred to BM240-50.

Site	Latitude	Longitude	Height	1989	1990	1993	1994
				Jul.28 -Jul.30	Jul.15 -Jul.21	Jul.16 -Jul.23	Nov.18
				mgal	mgal	mgal	mgal
BM8300	43° 30.34'	144° 26.54'	126.9m	42.695		42.663	42.689
BM240-050	43 21.99	144 08.27	318.1	0.000	0.000	0.000	0.000
AKO	43 26.17	144 05.01	430	(-47.519)		-47.401	-47.395
NNS	43 23.57	143 59.22	710	-102.069	-102.087	-102.038	-102.013
KAS	43 21.41	143 47.69	220	-1.053	-1.091	-1.083	
Obihiro FGS	42 55.19	143 13.00	39.8		-74.944		-74.924
Maximum Deviation				0.047	0.023	0.023	0.016
Gravimeter				G31	G31	G31	G31
				G458	G375	G375	G375

力増加, BM 8300 を基準とすると BM 240-50, NNS, AKO とも重力減少となる. その変加量からは, BM 240-050~AKO を尾根あるいは谷とするような変動が想定される.

IV. 議 論

重力変化に及ぼす比高変動の影響は大きく, 重力変化のみから地下での物質移動や密度変化を知ることができない. このために精密重力測定点の多くは水準点に選ばれてきた. しかし, 重力測量の精度は水準測量に較べて低く, 水準路線が常に重力変化を検出するうえで有効であるとはかぎらない. そこで, 駒ヶ岳の重力測量網について 1929 年の大噴火を例に重力変化の検出能力を検討した. モデル計算には萩原 (1977) により重力変化が導かれている茂木モデルを用いた. ここでは噴火で放出された噴出物はすべて噴火前に地下のマグマ溜りに蓄積され, 噴火によりマグマ溜りから放出されたと考えて, マグマ溜りの体積変化 (ΔV) と圧力変化 (ΔP) の間に成り立つ $\Delta V/V = 3 \Delta P/4\mu$ を用いて次式のような書き換えを行った.

$$\delta g = \left\{ -\beta + \frac{2\pi G \rho (\lambda + \mu)}{\lambda + 2\mu} \right\} \delta h$$

$$\delta h = \frac{(\lambda + \mu)}{2\pi(\lambda + \mu)} \Delta V \frac{D}{(r^2 + D^2)^{3/2}}$$

δg , δh は重力変化および比高変化, λ , μ はラメ定数, β は重力鉛直勾配, G は万有引力定数, ρ は貫入あるいは噴出したマグマの密度である.

1929 年噴火は勝井ほか (1986) により詳しく調べられている. それによると放出された降下軽石と軽石流の噴出量は 0.38 km^3 および 0.14 km^3 である. また, 噴出物のみかけ密度はそれぞれ $700 \sim 1100 \text{ kg/m}^3$ および $760 \sim 1100 \text{ kg/m}^3$ と求められている. これから平均的な噴出物の密度を 900 kg/m^3 と仮定し, 噴出物の堆積が最密充填であり, マグマの密度を 2500 kg/m^3 とすると, この噴火に伴うマグマ溜りの体積変化は 0.138 km^3 と推定される.

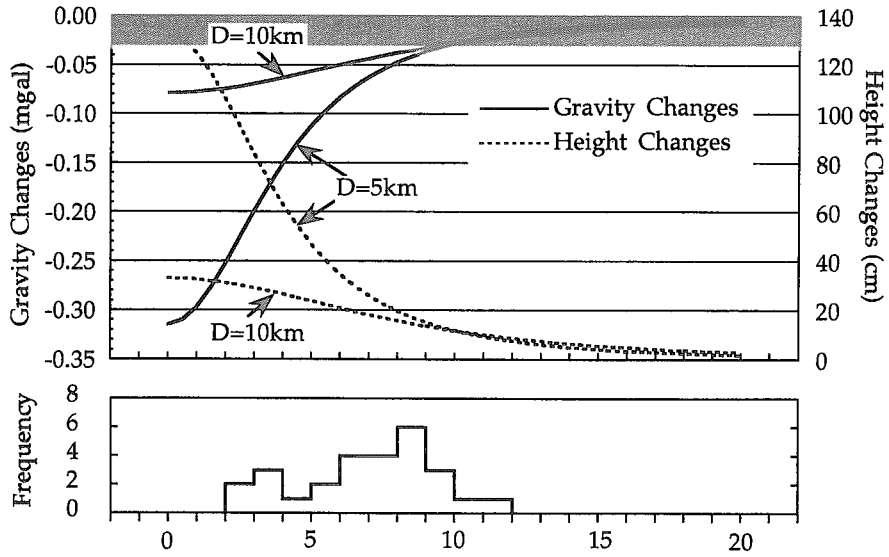


Fig. 12 Gravity changes and height changes plotted against horizontal distance from 1929 crater due to the Mogi model (Upper), and the frequency distribution of the horizontal distance between gravity station and 1992 crater (lower).

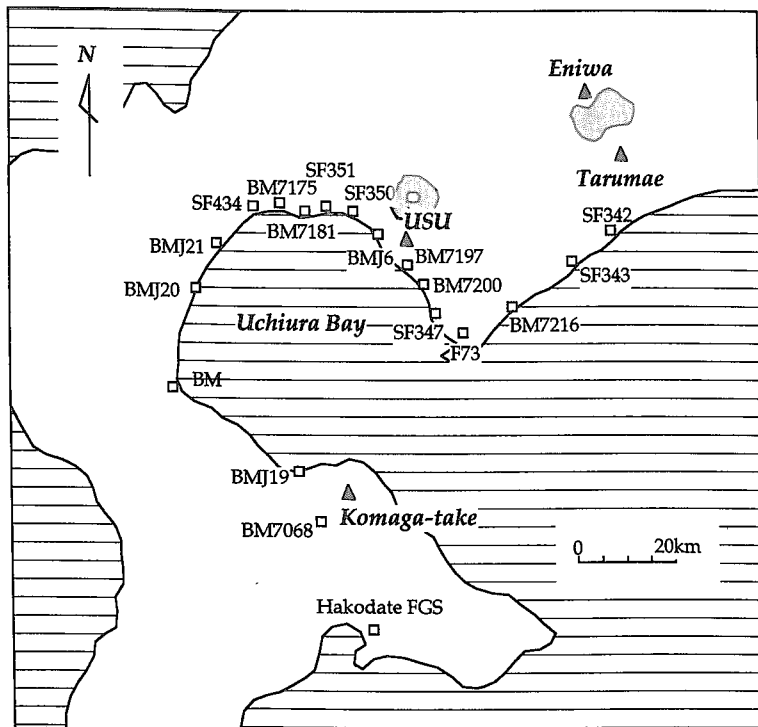


Fig. 13 Location of gravity stations in the regional gravity network established in Tarumae, Usu and Komagatake volcano region.

Fig. 12 には、 $\lambda = \mu$ を仮定し、この体積変化が噴火前に深さ 5 km ないし 10 km にあるマグマ溜りで生じたときに期待される重力変化の計算結果を示した。また、図には火口から測定点までの距離の頻度分布も示した。

この地域での重力測定の最大隔差は、0.023 mgal (1987 年) および 0.027 mgal (1983 年) であった。そこで、重力測定の精度を Fig. 12 にハッチで示したように ± 0.030 mgal とすると、山頂火口から 10 km 以上離れた地点では期待される重力変化が測定精度を越えないことがわかる。複数台の重力計による重力測量の精度として言われている ± 0.020 mgal (Yokoyama, 1989) で見ても、測定精度を越える重力変化が期待されるのは 11 km 以内と大きな変化はない。函館 FGS を基準点とする現在の重力網において、ほとんどの測定点は 10 km 以内に分布し、一部の測定点を除いて期待される重力変化は測定精度を上回る。しかし、測定精度に較べて大きな重力変化が期待されるのは 6 km 以内にある 1/3 の測定点である。検出限界にあたる 10 km 地点に位置する BMJ 19 を基準点とすると、マグマ溜まりの深さが 5 km の場合でも測定精度を上回る重力変化が期待できるのは 8 km 以内に分布する過半数強の測定点である。さらに、これらの測定点は Fig. 2 から分かるように駒ヶ岳の南西側に限られており、重力変化の空間的な分布を把握することは難しい。

重力点を面的に展開し重力変化の空間分布を明らかにするためには、Jentzsch (1995) がフィリッピ

Table 6. Results of the precise gravity measurement from SF342 to Hakodate FGS.

Site	Latitude	Longitude	Height	1993	1993	1993
				Jul. 9 -Jul.10	Aug. 6	Nov.26 -Nov.27
			m	mgal	mgal	mgal
Hakodate FGS	41° 48.83'	140° 45.43'	35.			-24.591
BM7068	42 00.59	140 38.04	159.27			-60.423
BMJ19	42 06.22	140 34.89	6.82			-33.945
BM5981	42 15.26	140 16.39	6.5			3.018
BMJ20	42 25.95	140 19.49	2.7			-5.522
BMJ21	42 31.04	140 22.80	4.2	-20.288	-20.290	0.000
SF354	42 35.05	140 28.14	6.0	11.109	11.101	
BM7175	42 35.52	140 32.06	250.0	-40.961	-40.949	
BM7181	42 34.42	140 36.30	10.0	18.355		
SF351	42 35.24	140 38.80	10.0	15.208	15.223	
SF350	42 34.71	140 43.00	15.0	12.191	12.197	
BMJ6	42 32.21	140 46.56	3.9	0.000	0.000	
BM7197	42 28.93	140 30.88	4.1	-8.183		
BM7200	42 26.28	140 52.41	11.7	-5.888		
SF347	42 23.64	140 54.70	5.5	-4.433		
F73	42 21.83	140 59.26	44.3	-5.644		
BM7216	42 24.54	141 06.88	5.1	-23.646		
SF343	42 29.32	141 15.52	4.0	-15.938		
SF342	42 32.92	141 21.60	6.1	-22.020		
Maximum Deviation				0.017	0.024	0.026
				G31	G31	G31
Gravimeter (LaCoste & Romberg)				G375	G375	G375
					G527	

ンのマヨン火山で行ったように、重力測定と GPS 測量を組み合わせることが有効と考えられる。GPS 測量により有珠山では数 cm 程度の上下変動が検出されており(森, 1991), その精度は重力測定と同程度かそれをやや上回っている。量的な議論に対して、重力測定と GPS 測量の組み合わせは水準測量との組み合わせに及ばないが、大きな変化量が期待される地点に測定点を配置できることや重力変化の空間分布を把握できるメリットは大きい。

駒ヶ岳周辺では、最大隔差を上回ってはいないが、山体と周辺部では傾向の異なる重力変化が認められた。周辺部の重力変化については直接的に火山活動と関係しない地殻の広域的な経年変動がその原因の一つとして想定された。このような地殻の広域的経年変動や、それに伴う基準点変動を監視するために国道に沿って設置されている水準点を利用して、樽前山、有珠山および駒ヶ岳を結ぶ広域精密重力網の設置を試みている。これまでに設置された測定点分布を Fig. 13 に、測定結果を Table 6 に示す。SF 342 から BMJ 21 までの測定は北海道南西沖地震直前の 1993 年 7 月 9～10 日に実施した。8 月 6 日には、この地震に伴う重力変化の有無を調べるために一部の区間について再測定を行い、最大隔差を上回る重力変化が生じていないことを確かめた。また、BMJ 21 から函館一等重力点までは駒ヶ岳の重力測定の一部として 11 月 26 から 27 日に実施した。

V. ま と め

駒ヶ岳、樽前山、十勝岳、雌阿寒岳・屈斜路カルデラで実施された精密重力測定結果を整理し、重力変化について検討した。

駒ヶ岳、樽前山、十勝岳、雌阿寒岳とも火山活動との関連が認められる測定精度を上回る顕著な重力変化は検出されなかった。一方、阿寒・屈斜路カルデラ地域では、1993 年の釧路沖地震や 1994 年の北海道東方沖地震に伴う比高変動に起因していると思われる重力変化が認められた。また、駒ヶ岳周辺では、1994 年の北海道南西沖地震で生じた地盤変動に伴う重力変化が検出された。

また、駒ヶ岳の 1929 年噴火を例に現在の重力測量網の検出能力を評価したところ、測定精度に比較して大きな重力変化が期待されるのは 1/3 から過半数の測定点に限られることが分かった。重力変化の空間分布を把握するためにも、GPS 測量と重力測量を併用した重力測量網の必要性が認識された。

謝辞 重力測定の実施にあたっては、国土地理院北海道地方測量部、函館海洋气象台、帯広測候所、釧路地方气象台、北海道大学農学部苫小牧演習林の協力を賜った。また、北海道大学地震予知観測地域センターの山本明彦博士および北海道立地下資源調査所には重力計の便宜を計っていただいた。記して厚くお礼申しあげます。なお、重力測定の一部は火山集中総合観測の一貫として実施された。

引用文献

- 萩原幸男, 1977. 伊豆大島の異常隆起を説明する茂木モデルとそれに伴う重力変化. 地震研究所彙報, **52**, 301-309.
- 土岐祥介, 三浦均也, 山下 聡, 西村右敏, 1994. 1993 年北海道南西沖地震における地盤災害の概要. 石山祐二編, 平成 5 年度北海道南西沖地震・津波とその被害に関する調査研究, 129-134.
- Jentzsch G., 1995. Height and mass changes at Mayon Volcano from repeated gravity and GPS Measurements. *Abstract of Taal Decade volcano international workshop*. 41.
- 勝井義雄, 篠沢達也, 知本康夫, 山田祐丈, 1986. 北海道駒ヶ岳の歴史時代の火砕流, 荒巻重雄編, 文部省科学研究費自然災害特別研究「火山噴火に伴う乾燥粉体流(火砕流等)の特質と災害」報告書. 91-113.
- 勝井義雄, 鈴木健夫, 曾屋龍典, 吉久康樹, 1989. 北海道駒ヶ岳火山地質図, 地質調査所.

- 森 濟, 1991. GPSによる北海道の活動的な5火山の地殻変動観測, 昭和新参生成50周年記念国際ワークショップ1995小論文・要旨集, 104-106.
- 森 濟, 1991. GPSによる北海道の火山性地殻変動観測(その2). —WM 102による有珠山周辺の繰り返し観測—, GPS研究会(GPSシンポジウム1991)収録, 129-134.
- 森 濟, 鈴木敦生, 1996. 樽前火山山頂部における傾斜観測, 北海道大学地球物理学研究報告, **59**, 249-254.
- Rymer H., 1993. Micro gravity change as a precursor to volcanic activity, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **61**, 311-328.
- 佐久間修三, 村瀬 勉, 1956. 北海道火山の地球物理学的研究(その3)駒ヶ岳, 有珠山山麓の最近の地殻変動. 北大地球物理学研究報告, **4**, 21-37.
- 植木貞人, 清水 洋, 前川徳光, 宮町宏樹, 須藤靖明, 吉川 慎, 渡辺秀文, 石原和弘, 浜口博之, 1995. 雲仙火山の噴火に伴う重力変化. 昭和新参生成50周年記念国際ワークショップ1995小論文・要旨集, 198.
- Valliant, D., 1991. Gravity meter calibration at LaCoste and Romberg. *Geophysics*, **56**, 705-711.
- 渡辺秀文, 前川徳光, 石原和弘, 1984. 樽前山における精密重力測定(1983), 主要活火山集中総合観測報告書, 有珠山第2回(1982), 樽前山第1回(1983), 171-175.
- 横山 泉, 1971. 大地震によって誘発された噴火, 北海道大学地球物理学研究報告, **25**, 129-250
- 横山 泉, 勝井義雄, 江原幸雄, 小出 潔, 1976. 雌阿寒岳, 北海道における火山に関する研究報告, 第5編, 北海道防災会議, p. 139.
- Yokoyama I., 1989. Microgravity and height changes caused by volcanic activity : four Japanese examples. *Bull. Volcanol.*, **51**, 333-345.