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 ： 北海道駒ヶ岳
Author(s)	大島, 弘光; 前川, 徳光; 植木, 貞人 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 66, 101-110
Issue Date	2003-03-20
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.66.101
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14328
Type	departmental bulletin paper
File Information	66_p101-110.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学地球物理学研究報告
Geophysical Bulletin of Hokkaido University, Sapporo, Japan
No. 66, March 2003, pp. 101－110

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
－北海道駒ヶ岳－

大島　弘光・前川　徳光
（北海道大学大学院理学研究科付属地震火山研究観測センター）
植木　貞人・武田　嘉人
（東北大学理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター）

（2003年1月15日受理）

Microgravity Survey in and around Active Volcanoes in Hokkaido, Japan
－ Mt. Komaga-take －

Hiromitsu OSHIMA, Tokumitsu MAEKAWA
Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Hokkaido University
Sadato UEKI and Yoshihito TAKEDA
Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions,
Graduate School of Science, Tohoku University,
(Received January 15, 2003)

We carried out microgravity survey around Mt. Komaga-take by means of four gravity meters in June 2002 for studying magmatic processes in long non-eruptive stage.

The gravity change between June 1996 and June 2002 is negative, and the amounts trend to increase toward the summit of Komaga-take. The gravity changes were reproduced by the inflation source at the depth of 3.8 km below sea level under the 1929 crater. The depth roughly corresponds to the bottom of the hypocentral region below the crater. The rate of magma intrusion is also estimated to be 3.9×10^9kg/yr. The rate accumulates the same amount of magma as the mass of pyroclastic deposits ejected by the 1929 eruption when the magma is continuously supplied to the pressure source at the estimated rate from the end of the 1929 eruption.

I. はじめに

重力変化を検出して休止期における火山のマグマの移動や蓄積過程を解明するために，北海道内の活動的な火山－駒ヶ岳，有珠山，樽前山，十勝岳－において精密重力測定を繰り返してきた．

これらの火山のうち北海道駒ヶ岳では，1987年9月に最初の精密重力測定が行われた．その後，1993年11月に再測定が行われ，1993年7月12日に発生した北海道南西沖地震に伴って生じた地盤変動による顕著な重力変化を観測した（前川ほか，1996）．

1996年3月5日には，1942年の山頂火口原に大亀裂を形成した規模のやや大きい噴火から54年ぶりに小規模な水蒸気爆発が発生し，この直後に行われた2回の測定により水蒸気爆発後の減圧を示唆する重力増加をとらえた．さらに翌年の1997年6月には火山噴火予知計画に基づく集中総合観測の一貫として精密重力測定も実施され，山体隆起を示唆する重力変化パターンが検出されるとともに，深部圧力原の存在が想定された（前川ほか，1999）．

この測定から5年が経過し，この間に1998年10月さらに2000年9月～11月にかけて水蒸気爆発が繰り返されたこともあり，噴火ポテンシャルを評価するために2002年6月に精密重力の再測定を実施した．

今回の測定では，これまでの重力点が駒ヶ岳の西側から南側に限られていたことから駒ヶ岳の北麓や東麓に重力点を新設した．また特徴的な重力変化が観測されていた南側登山道に沿う重力点が使用できなくなったため，山頂から山麓に延びる重力路線を新たに設けた．

重力点の移設や亡失，また未測定の重力点もあり，変化を追える重力点は少ないが，1996年6月以降の重力変化について検討し，マグマの蓄積について考察した．

II. 測　　定

LaCoste & Lomberg 重力計 G 31，G 375，G 682 および Scintrex CG-3 M 型自動重力計 S 235 を用いて2002年6月4日から8日に測定を実施した．測定点は既設点の中から空間的な配置と測定環境を考慮して選んだ8点と BMJ 18，および新設した11点を加えた20点である（Fig. 1）．

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，ドリフト補正を施した．しかし，補正係数が未知であることから LaCoste 重力計の測定値に対するスケール定数とペリオディックエラーの補正（Valliant, 1991）は行わなかった．

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．Table 1 には BM 7068 を仮不動点として求めた各点の重力値を，これまでの成果と合わせて示した．測定精度の目安として示した平均値からの最大隔差を見ると，今回の最大較差も 0.035 mgal とこれまでの測定と大差なく，測定精度としては，これまでと同様に ±0.030 mgal 程度と考えられる．

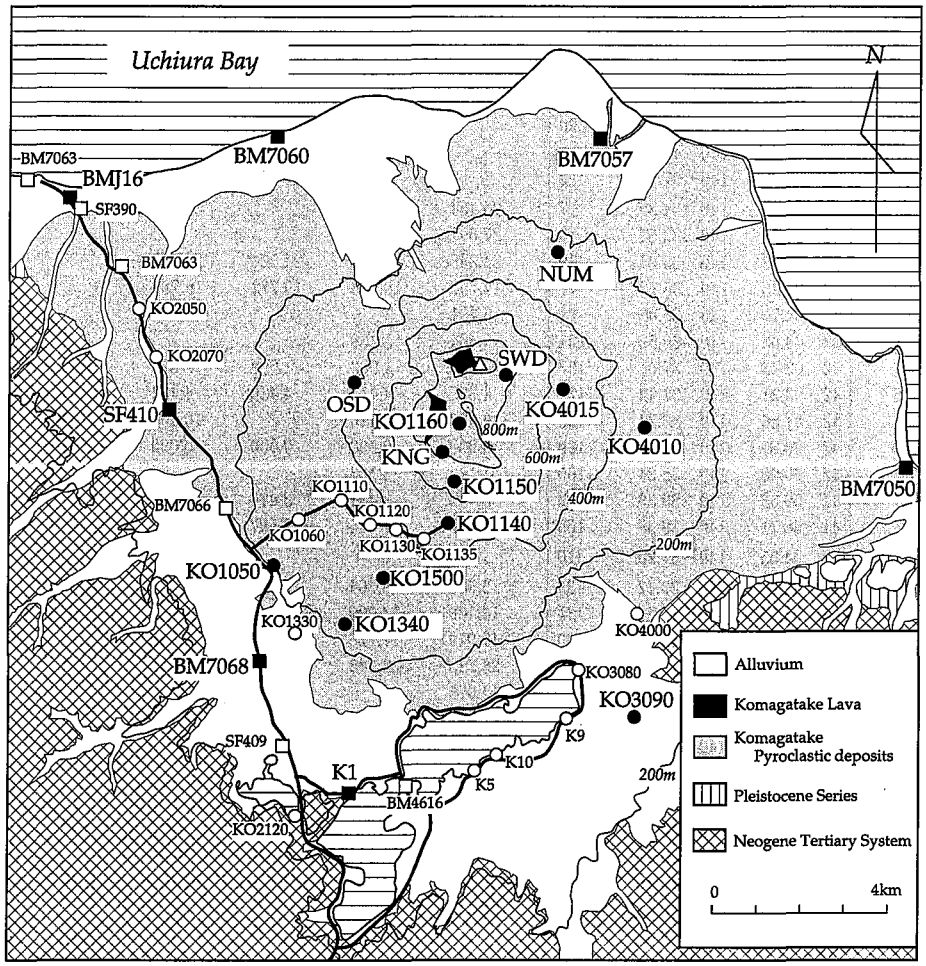

Fig. 1. Map showing Komaga-take volcano and gravity stations. Solid circles and squares denote the occupied stations in June 2002. Circles and squares indicate the gravity stations installed by UVO and the benchmarks provided by Geographical Institutes of Japan, respectively.

Table 1. Description of gravity stations and gravity differences referred to BM7068.

Site	Latitude	Longitude	Height	1987 Sep. 13 −Sep. 17	1993 Nov. 23 −Nov. 26	1996 Mar. 20 −Mar. 22	1996 Jun. 29 −Jul. 3	1997 Jun. 25 −Jun. 27	2002 Jun. 4 −Jun. 8
			m	mgal	mgal	mgal	mgal	mgal	mgal
BM7050	42° 02.87′	140° 48.86′	5						52.380
NUM	42 05.28	140 43.04	290					-17.770	-17.754
BM7057	42 07.48	140 43.18	4						30.966
BM7060	42 06.63	140 37.3	3						24.054
BMJ19	42 06.22	140 34.89	7	26.454	26.466‖		24.594	24.615	24.617
BM5967	42 06.56	140 33.54	15	27.691					
SF390	42 06.03	140 35.01	19	24.346	24.335	24.328	24.338		
BM7063	42 05.35	140 35.72	47	19.758	19.773	19.772	19.783		
KO2050	42 04.70	140 36.06	71	16.491					
KO2070	42 03.63	140 36.52	134	5.464	5.439				
SF410	42 02.43	140 37.01	167	-1.944	-1.983	-1.998	-1.975	-1.982	-1.961
BM7066	42 03.21	140 37.42	179	-4.395	-4.414	-4.426	-4.434		
KO1050	42 01.86	140 38.24	193	-10.073	-10.110		-10.108	-10.099	-10.089
BM7068	42 00.59	140 38.04	159	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
KO2100	42 00.06	140 38.24	160	1.174	1.163		1.163		
SF409	41 59.53	140 38.38	162	3.445	3.431	3.416	3.432		
KO2120	41 58.71	140 38.38	163	7.637	7.615	7.597	7.612		
OSD	42 04.55	140 31.20	310						-36.890
K1	41 58.95	140 39.42	130	15.388	15.364	15.372	15.368	15.354	15.371
BM4616	41 59.03	140 40.29	131	14.109	14.090	14.101	14.093	14.084	
K5	41 59.26	140 41.49	130	17.014	17.126	17.123	17.106		
K9	41 59.93	140 42.91	130	23.723	23.685	23.700	23.688		
K10	41 59.41	140 41.76	131	17.676					
KO3080	42 00.55	140 43.33	131	22.827	22.781	22.805	22.772		
KO3090	41 59.88	140 44.00	137	26.544					
KO4000	42 01.33	140 44.43	83	33.035					
KO1060	42 02.11	140 38.20	199	-11.739					
KO1110	42 02.51	140 39.20	290	-28.227					
KO1120	42 02.37	140 39.61	330	-35.578	-35.603	-35.638	-35.608		
KO1130	42 02.29	140 40.36	392	-44.430	-44.444	-44.490	-44.454	-44.447	
KO1135	42 02.24	140 40.51	430	-50.146					
KO1330	42 00.76	140 38.74	170					-2.424	
KO1340	42 01.30	140 39.59	262						-18.332
KO1500	42 02.08	140 40.25	380					-41.606	-41.609
KO1140	42 02.42	140 41.05	487	-60.910	-60.908	-60.948	-60.905	-60.923	-60.916
KO1150	42 02.87	140 41.40	690						-95.041
KO1160	42 03.32	140 41.27	895						-153.295
KO1170	42 03.74	140 41.23	935						-156.003
KO4010	42 03.88	140 44.13	318						-29.579
KO4015	42 04.87	140 42.75	580						-64.248
SWD	42 04.15	140 42.28	727						-120.330
BMJ18	41 53.04	140 41.08	66				28.316	28.311	28.323
Hokodate FGS	41 48.80	140 45.40	35	36.288‖	35.832	35.839	35.853	35.856‖	
Maximum Deviation					0.027	0.043	0.023	0.028	0.035
Gravimeter					G31 G375	G31 G375	G31 G375	G31 G375 G682 G891 G1009 S235	G31 G375 G682 S235

‖ : relocation

III. 重　力　変　化

重力点の移設や亡失，また未測定の重力点もあり，全期間を通して重力変化を追える重力点は少ない．さらに 1993 年以降の測定において仮不動点としていた函館 FGS も今回の測定時には移設されていた．このため BM 7068 を基準点として求めた重力の経年変化を山頂火口から重力点までの距離を縦軸にして Fig. 2 に示した．

1993 年 7 月の北海道南西沖地震に伴う局所的な地盤変動による重力変化や 1996 年 3 月 5 日の水蒸気爆発後の減圧を示唆する重力変化があり，全期間を通した重力変化の議論を駒ヶ岳の変動だけで考えるのは難しい．そこで山体隆起を示唆する重力変化が観測された 1996 年 6 月以降の重力変化を検討する．

火口から 12 km 以内にある重力点についてみると，山頂火口に近い KO 1140 と KO 1500 を除

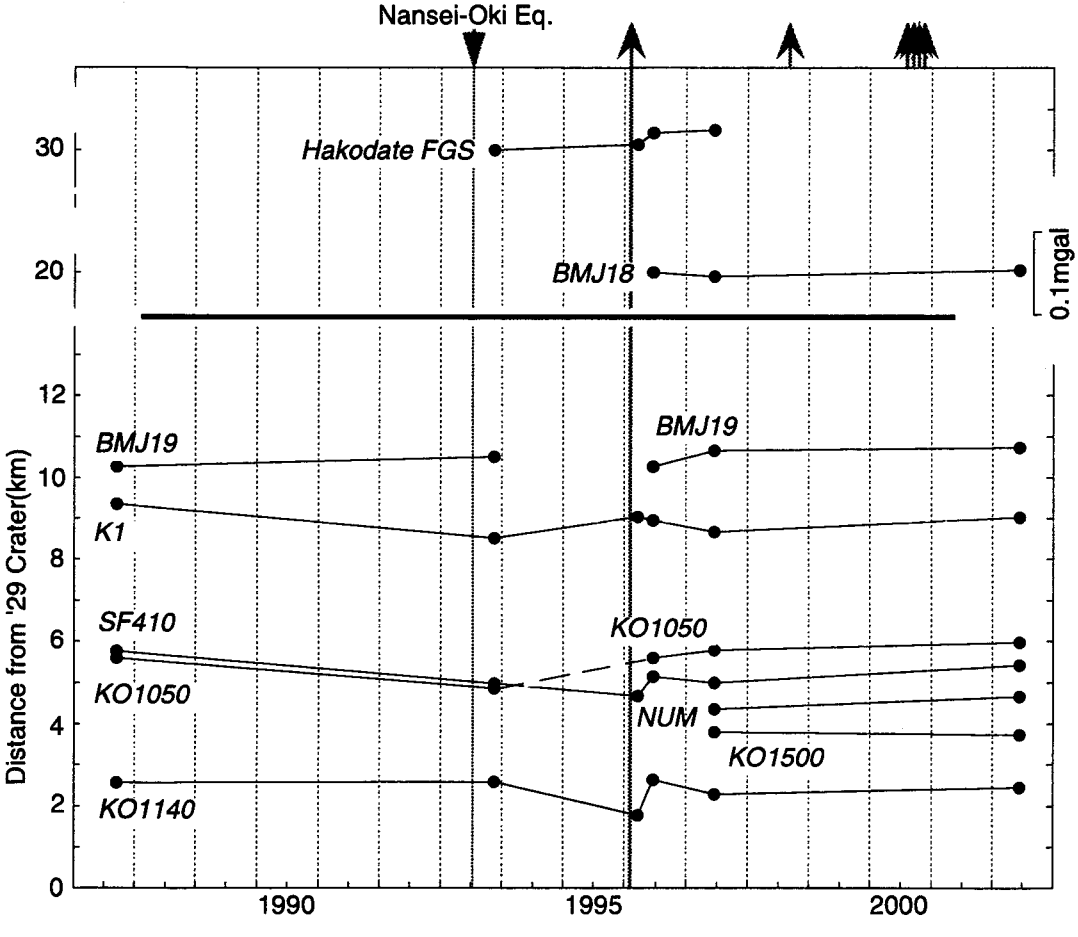

Fig. 2. Gravity changes referred to BM 7068 since 1993. The vertical axis shows the horizontal distance between each gravity station and the 1929 crater. Allows denote small prelatic eruptions since 1996.

いて，いずれも重力増加の傾向を示している．

同様に駒ヶ岳山頂から南に約 30 km 離れた函館 FGS および約 20 km 離れた BMJ 18 は，いずれも重力増加の傾向にある．これは，函館 FGS あるいは BMJ 18 で重力変化が生じていないと仮定すると，BM 7068 で重力減少が進行していることを意味する（Fig. 3）．

これら遠方の重力点を不動点として地域的な重力変化を検討するために，線形回帰により年平均変化率を求め，それらを山頂から重力点までの距離に対して図示してみた（Fig. 4）．年変化率は大きなばらつきを示すが，函館 FGS や BMJ 18 を基準にすると全体として変化率は負となり，さらに山頂に向かって変化率が増大しているように見える．この変化パターンは駒ヶ岳を中心として広い範囲で隆起が続いていたことを示唆し，これは 1996 年から 1997 年の間に認められた重力変化と調和する．

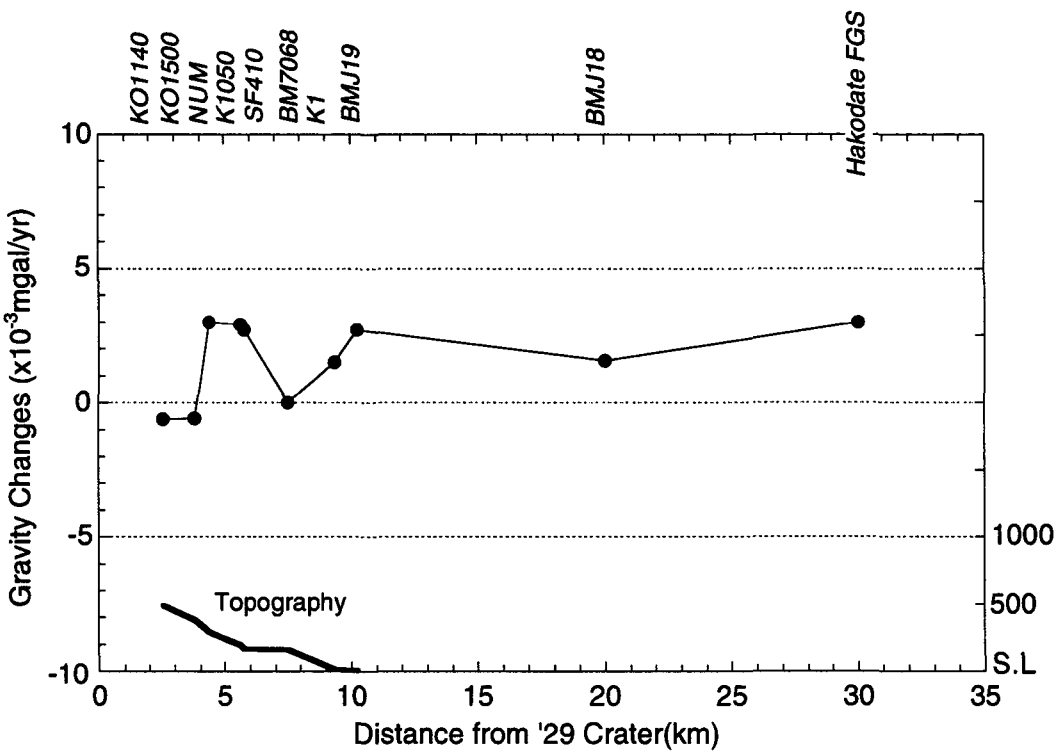

Fig. 3. Rate of gravity changes since June 1996 plotted against the horizontal distance between each gravity station and the 1929 crater.

IV. 茂木モデルによる圧力源とマグマ供給率の推定

年変化率でみると山体隆起を示唆する変化パターンが認められることから，遠方の函館 FGS の重力の年変化率を基準にした重力の年変化率に茂木モデル（萩原，1977）を適用し，圧力源の深さ（D）と，圧力源直上における重力変化率（δg_0）の値から圧力源へのマグマ供給率を推定する．

なお，圧力源は1929年火口の直下に存在すると仮定した．

推定結果をFig. 4に示す．太灰色線は深さと直上の重力変化率を求めた時の計算された重力変化率であり，細線は，1996年6月～1997年6月の重力変化から推定された約10 kmの深さに圧力源を固定した場合である．データが少ないことや重力変化率のバラツキも大きく，両者の間に計算値と観測値の一致の程度に違いがあるとは言えない．

また推定された圧力源の深さ3.7 kmおよび圧力源を10 kmに固定した場合について，圧力源に供給されたマグマの密度を2500 kg/m³と仮定し，直上の重力変化率からマグマ供給率を見積もると，それぞれ3.9×10^{9}kg/yr，1.1×10^{10}kg/yrとなる．

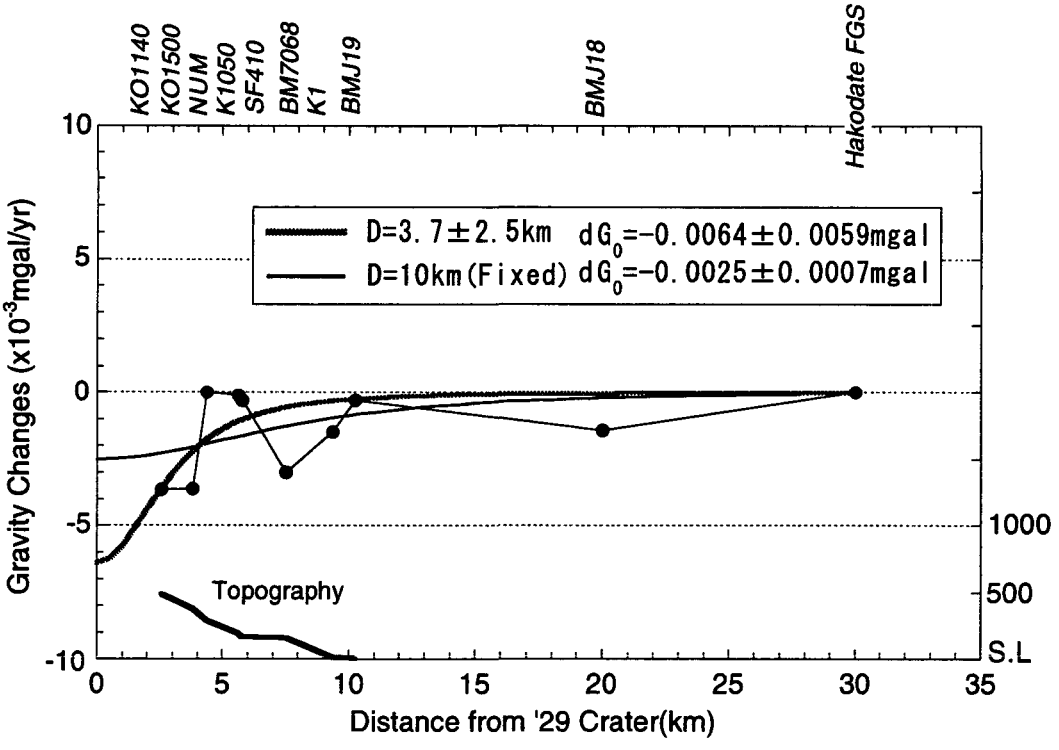

Fig. 4. Comparison between the rates of observed gravity changes and theoretical curves due to the point source model (Mogi's model). The point source is assumed under the 1929 crater.

V. 議　　論

まず重力変化率に茂木モデルを適用して推定されたマグマ供給量について検討する．勝井ほか(1989)によると，1929年噴火の噴出物は降下軽石堆積物が0.38 km³，火砕流堆積物が0.14 km³と見積もられている．また，それらの密度は790 kg/m³と850 kg/m³と実測されており(勝井ほか，1989)，これらの値から1929年の噴火で放出されたマグマの質量は約4×10^{11}kgと求められる．ここで1929年の噴火直後から推定された供給率で圧力源にマグマが供給されていると仮定すると，

現在までにマグマ溜まりに蓄積されたマグマ量は 3.0×10^{11}kg（圧力源の深さ 3.7 km）および 8.7×10^{11}kg（圧力源の深さ 10 km）と推定される．これらの値は 1929 年の噴火で放出されたマグマの質量にほぼ匹敵する．

次に圧力源の深さについて火山性地震の震源分布と比較する．Fig. 5 には 2001 年以降の震源分布に推定された圧力源の深さを重ねて示した．火山性地震の震央は 1929 年火口および北西－南東方向に延びる大亀裂に沿って分布し，震源は山頂の直下の海抜 0 m から深さ 4 km 付近に分布する．深さ 3.7 km に推定された圧力源の深さは，この震源域の下限付近にあたり，火山性地震活動との関連が注目される．一方，1996 年 6 月～1997 年 6 月の間の重力変化から推定された圧力源の深さ 10 km 付近では，ほとんど地震が発生していない．

最後に茂木モデルによる解析において仮定した圧力源の位置について，GPS 観測から求められた 2000 年から 2002 年の間の基線長変化（Fig. 6）をもとに，仮定の妥当性を検討する．山頂を囲む山腹基線をみるといずれも延びとなる基線長変化率を示している．山麓の観測点を加えても，

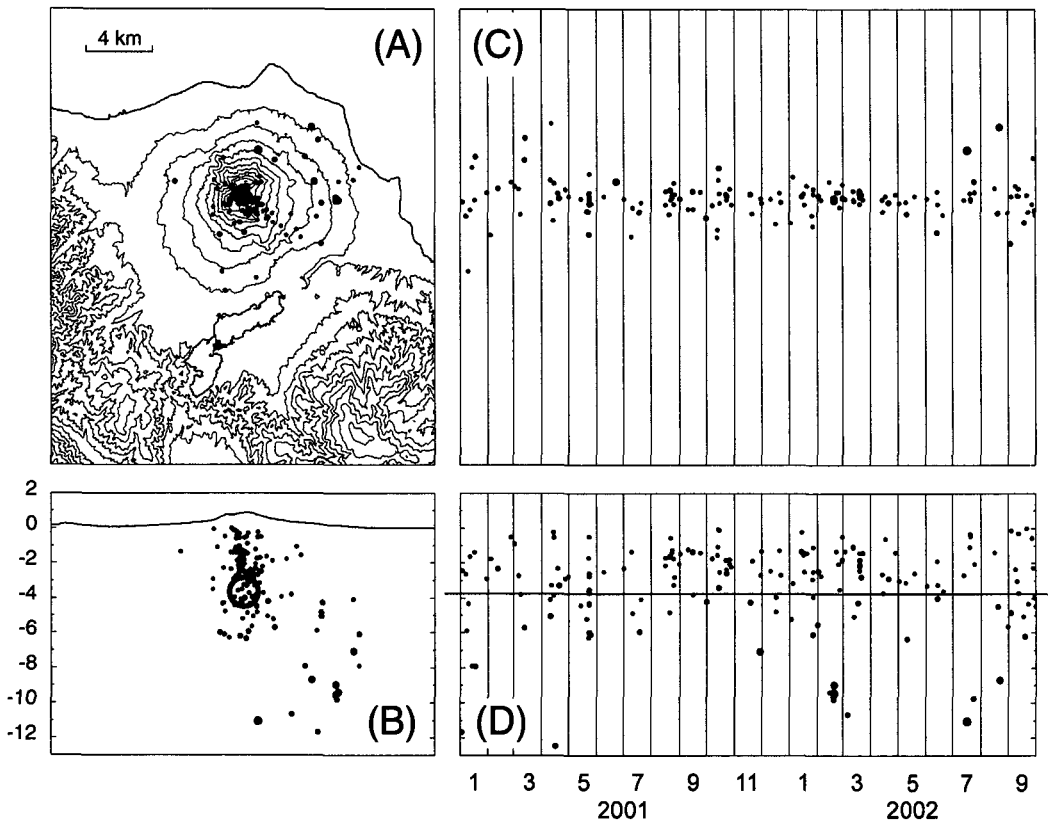

Fig. 5. Comparison of the depth of point pressure source with hypocenters. (A) Epicenters, (B) Cross section in the E-W direction, (C) Temporal variation of epicenters in the N-S direction, (D) Temporal variation of hypocentral depths. The open circle in panel (C) and the horizontal line in panel (D) show the estimated point source and the depth of the estimated point source, respectively.

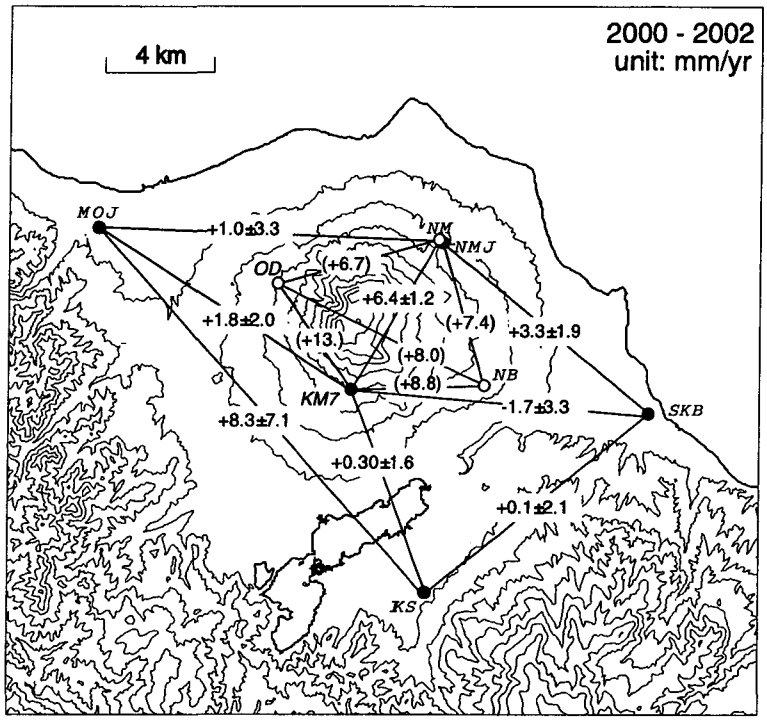

Fig. 6. The annual rate of base line changes obtained by repeated GPS campaigns and GPS telemeter system. The rate in parentheses is calculated from the results of the GPS campaigns performed in Sept. 2000 and Sept. 2002.

KM 7-SK で縮みとなっているほか，いずれも延びを示す．このような基線長変化の特徴は広い範囲に及ぶ駒ヶ岳山頂を中心とした山体膨張を示唆し，基線長変化の定量的な解析が必要だが，1929年火口直下に圧力源を想定したことに無理はなかったと言えよう．

VI. ま　と　め

LaCoste & Lomberg 重力計 3 台および Scintorex 重力計 1 台を用いて，北海道駒ヶ岳において精密重力測定を実施し，既存データと合わせて重力変化について検討した．

重力変化の長期的な傾向は広い範囲で重力減少を示し，減少率は山頂火口に向かって増大する傾向が認められた．この重力の変化パターンは山体膨張が長期間にわたって続いていることを示唆する．

重力変化率を茂木モデル（圧力源は山頂火口直下と仮定）により解析すると，圧力源の深さが 3.7 km，マグマ供給率は 3.8×10^{9}kg/yr，また圧力源の深さ 10 km に固定するとマグマ供給率は 1.1×10^{10}kg/yr と見積もられた．

深さ 3.7 km に推定された圧力源は山頂直下に延びる震源域の下限付近にあたり，火山性地震活動との関連が注目される．

また求められた供給率で1929年の噴火から現在までマグマの蓄積が続いていたと考えると，蓄積されたマグマ量は3×10^{11}kgあるは8.7×10^{11}kgと1929年噴火で放出されたマグマ量4×10^{11}kgにほぼ匹敵する．

今回は重力変化のみを用いて圧力源の深さ及びマグマ供給率を推定したが，基線長変化も得られていることから両者を併せた解析が今後の課題として残された．

また函館FGSと同様にこれまでも基準点が移設されたことから，可搬型絶対重力計による基準点観測網の構築が必要である．

謝辞 重力測定にあたり国土地理院北海道地方測量部および函館海洋気象台の協力を賜った．記して厚くお礼申しあげます．

文 献

萩原幸男，1977．伊豆半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，東京大学，**52**，301－309．

勝井義雄・鈴木健夫・曽屋龍典・吉久康樹，1989．北海道駒ヶ岳火山地質図，地質調査所．

前川徳光・宮町宏樹・大島弘光・石原和弘，1996．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，北海道大学地球物理学研究報告，**59**，119－135．

前川徳光・大島弘光・植木貞人・山脇輝夫・鬼澤真也・清水 洋・高山鉄朗，1999．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－北海道駒ヶ岳および樽前山－，北海道大学地球物理学研究報告，**62**，61－77．