



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	北海道駒ヶ岳1996年3月5日の小噴火前後の地殻変動
Author(s)	森, 濟; MORI, Hitoshi; 鈴木, 敦生 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 60, 121-130
Issue Date	1997-03-31
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.60.121">https://doi.org/10.14943/gbhu.60.121</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/14253">https://hdl.handle.net/2115/14253</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	60_p121-130.pdf



## 北海道駒ヶ岳 1996 年 3 月 5 日の 小噴火前後の地殻変動

森 濟・鈴木 敦生・前川 徳光・岡田 弘

北海道大学理学部有珠火山観測所

(1997 年 1 月 17 日受理)

### Ground Deformations before and after the March 5, 1996 Phreatic Eruption of Mt. Hokkaido-Komagatake

Hitosi YAMASHITA MORI, Atsuo SUZUKI, Tokumitsu MAEKAWA and Hiromu OKADA

Usu Volcano Observatory, Faculty of Science, Hokkaido University.

(Received January 17, 1997)

A small phreatic eruption took place on March 5, 1996 after 54 years dormancy, at the andesitic volcano named Mt. Hokkaido-Komagatake, located in the southwestern part of Hokkaido. Several large eruptions have taken place repeatedly at the volcano in historical time since 1640. The latest large eruption was the 1929 eruption which is the largest explosive eruption in Japan during the 20th century. At the latest eruption in 1942, the 1.6 km long large fissure crater was formed at the summit in the NNW-SSE direction.

EDM, levelling and GPS surveys are made at Mt. Hokkaido-Komagatake by Hokkaido University in recent years. EDM measurements had started and repeated at the summit triangle network between the points on the rims of the volcano in 1974. The baselines around the large fissure at the summit were settled since 1984. EDM measurements on the outside slope of the volcano were began in 1985. Levelling survey along the southwestern mountain road were first made in September, 1985. The first GPS measurements using dual frequency receivers were carried out on and around the volcano in August, 1989.

Some of those geodetic measurements show the following interesting results before and after the 1996 eruption. Baseline lengths around the summit large fissure were gradually lengthening since 1989. After the eruption those baselines showed a slight shortening and at the end of 1996 they seem to be lengthening again. The levelling result between 1985 and 1987 indicates the summit subsidence. It contradicts to the classical hypothesis for the dormant stage of active volcanoes that the volcanic edifice are continuously inflating by magma accumulation until the beginning of the eruption. The levelling result between 1987 and 1995 was affected by the 1993 southwest off Hokkaido earthquake. However, this levelling results suggest that precursory summit uplift took place at the benchmarks near to

the summit less than 4 km. After the eruption, in May and November 1996, we made levelling survey along the mountain road. In August 1996, Geographical Survey Institute(GSI) Japan made also additional levellings along the same route. Relative height changes between those three levelling surveys indicate that in the earlier period the summit subsidence was observed but in the later period the summit was uplifting again.

Relative height changes before and after the eruption are studied with the help of the theory of the spherical pressure source in semi-infinite space. On the assumption that the pressure source is located just beneath the center of the 1929 crater, the source depth before and after the eruption are estimated ranging from 1 km to 2 km beneath the ground surface. But for the period between 1985 and 1987, the pressure source depth must be more than some kilometers.

## I. はじめに

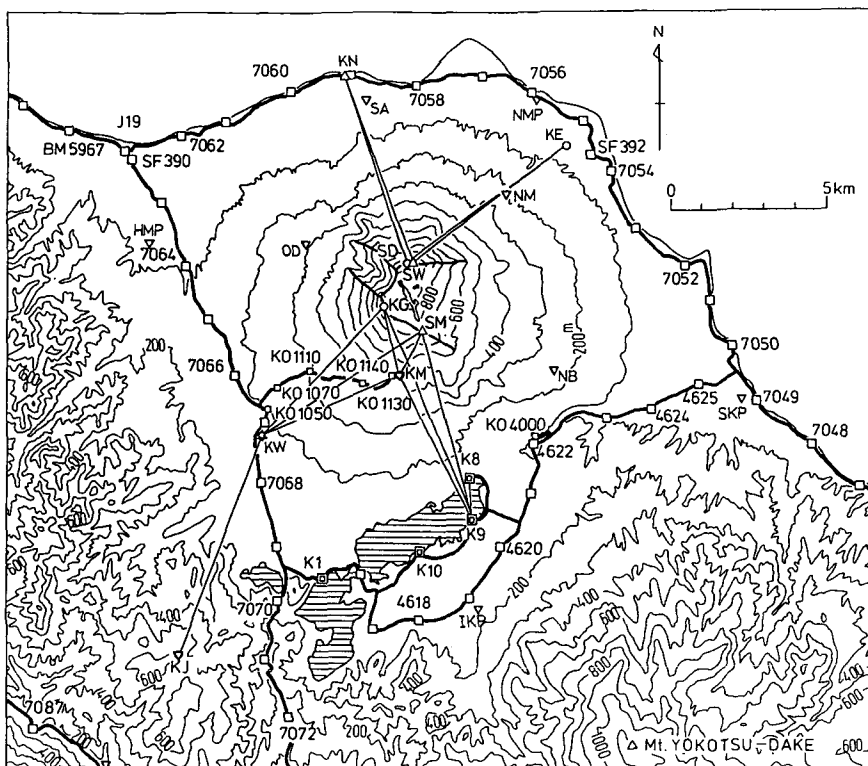
1996年3月5日に小噴火した北海道駒ヶ岳は、北海道南西部渡島半島の函館北方約40kmに位置する安山岩質の活火山である。北海道駒ヶ岳は、1640年の大噴火以降数回の大噴火を記録しており、最近の大噴火は、1929年に発生した今世紀の日本国内で最大の噴火である。今回の小噴火は、1942年に山頂に北北西-南南東に約1.6kmの長さの大亀裂を形成した噴火以来54年ぶりの噴火で、噴火及び付随現象等については北大理学部有珠火山観測所(1996)などに述べられている。ここでは、北海道大学理学部が実施している、測地測量(水準測量, 辺長測量, GPS測量)によって検知された小噴火前後の変動について述べ、若干の考察を加える。

北海道駒ヶ岳における、北海道大学理学部の地殻変動観測としては、古くは佐久間(1956)による、大沼湖畔の湖水面変動観測、横山ら(勝井他, 1975)による南麓での水準測量があるが、いずれも山麓に限られた地域のものであった。山頂部では、横山ら(勝井他, 1975)による1974年の辺長測量が初めてのものである。ここでは、今回の小噴火前後の変動が検出された辺長測量, 水準測量, GPS測量について取り扱う事とする。

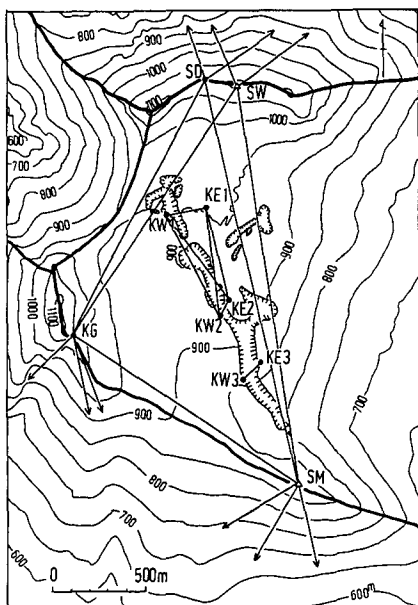
## II. 観 測

### 1. 辺長測量

辺長測量は、1974年に山頂外輪山の3カ所を結ぶ測線について光波測距儀を用いて始められ、1984年に山頂大亀裂を挟む基線網を、1985年に外輪山と山麓を結ぶ基線網を設置し、繰り返し行ってきた。また、1990年8月には、山腹・山麓部での初回のGPS測量を実施した。小噴火後の1996年8月に、GPSの一部観測点での2回目の測量を実施した。Fig. 1に、北海道駒ヶ岳の測地観測網を、Fig. 2に山頂部の辺長基線網を示す。以下では、測定回数が最も多く、前兆と考えられる変化の検出された山頂大亀裂基線網の辺長変化について詳述する。また、GPSは全測線の再測は終了していないが、結果の得られた山腹部の一部の測線における辺長変化について述べる。



**Fig. 1** Distribution of geodetic base points on and around Mt. Hokkaido-Komagatake (○; EDM, □; bench mark [G S I], ◻ · ◻; bench mark [Hokkaido University], △; triangle point [G S I], ▽; G P S).



**Fig. 2** EDM baselines on the summit of Mt. Hokkaido-Komagatake.

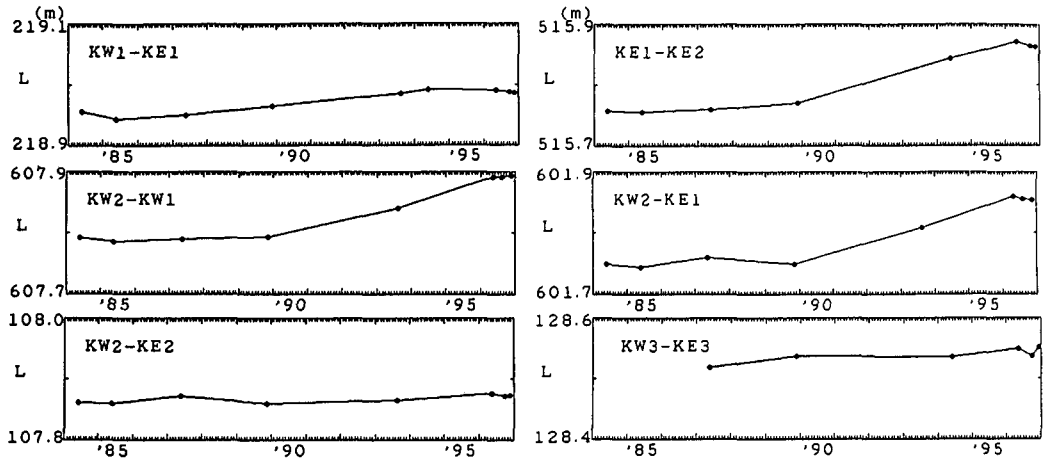


Fig. 3 Changes in the lengths of the baselines between the EDM points around the summit large fissure of Mt. Hokkaido-Komagatake in Fig. 2.

Fig. 3 に山頂大亀裂付近の 6 基線の辺長変化を示す。KW1-KE2 基線については 1929 年火口からの噴気のため噴火後 1 回しか測定できていないので省く。大亀裂を挟む基線では、1989 年ごろから基線長の伸びが表れ、噴火直後の 1996 年 5 月の結果も、ほぼその延長線上にある。しかし、1996 年 8 月、9 月の測定では全測線で、逆に収縮の傾向を示している。これは、膨張を続けていたのが、1996 年 3 月 5 日の小噴火に伴い収縮に転じたためと思われる。また、1996 年 11 月、12 月の測定では KW2-KW1, KW2-KE2 及び KW3-KE3 の 3 本の基線では再び伸びの傾向が表れており、残りの基線でも収縮率は減少している。これは、次回の測定により最終的判断をしなければならないが、収縮傾向から膨張傾向へ再び反転しつつある事を示している可能性もある。

Fig. 4 に GPS 観測による、辺長変化の結果を示す。山体の半径方向に近い KM-KW 基線では約 5 cm の収縮が、それにほぼ直交する KM-OD 基線では約 2 cm の伸びが検出され、6 年間のトータルとして山体の膨張を示す結果となっている。山頂部の噴火後反転している測量結果から考えて、実際の噴火前までの変動はこれよりも多少大きいと考えられる。

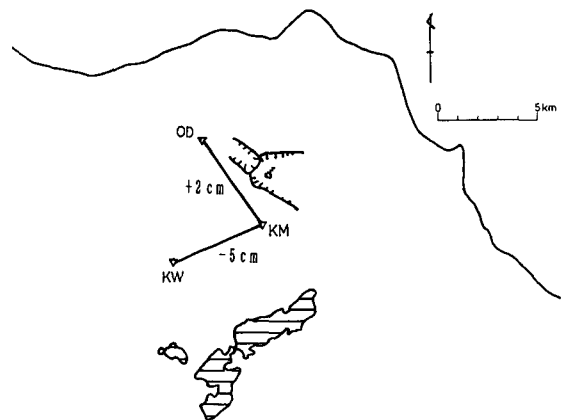


Fig. 4 Baseline length changes detected by GPS between August 1990 and August 1996.

## 2. 水準測量

山麓部における水準測量は、国土地理院による、北麓の森町から北海道駒ヶ岳の西麓を南下する一等水準路線と、海岸沿いに東麓を南下する一等水準路線で、明治以降行われている。1929年の大噴火の前後の結果では、同心円状の山体沈降が観測され、いわゆる茂木モデルのものとなった(Mogi, 1958)。山体にとりついでの水準測量は、北海道大学理学部により、南西麓の国土地理院の一等水準点 7068 から、南西登山道沿いに標高 500 m 付近までの路線で、1985年9月に始められた。以下では、この路線の水準測量結果について詳述する。

Fig. 5 に北海道駒ヶ岳南西登山道路線の水準点を示す。この路線の水準測量は、1985年9月、1987年9月、1995年11月、1996年5月及び1996年11月に、北海道大学理学部有珠火山観測所が、1996年8月に国土地理院が実施している。なお、1987年9月の測量は、噴火予知計画に基づき、大学の火山総合集中観測の一環として実施した。初回を除いて、標尺の温度補正を行っている。これら、6回の結果から得られる5期間の比高変化を Fig. 6 に示す。いずれも、南西山麓の北海道大学の水準点 KO1050 を不動点とし、山体中心に位置する 1929年火口中央からの水平距離を横軸にしてある。初回と2回目の間の比高変化は、両方の温度未補正のデータで行っている

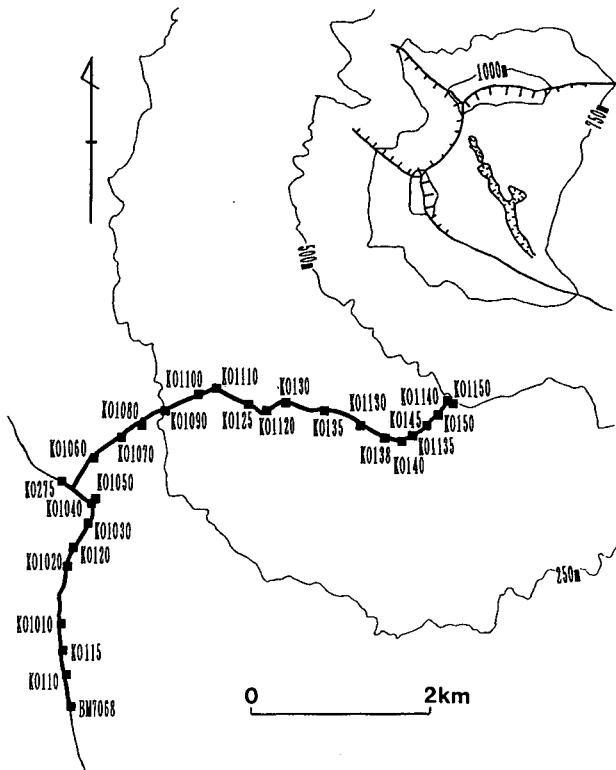


Fig. 5 Bench marks and the levelling route along the southwestern mountain road at Mt. Hokkaido-Komagatake.

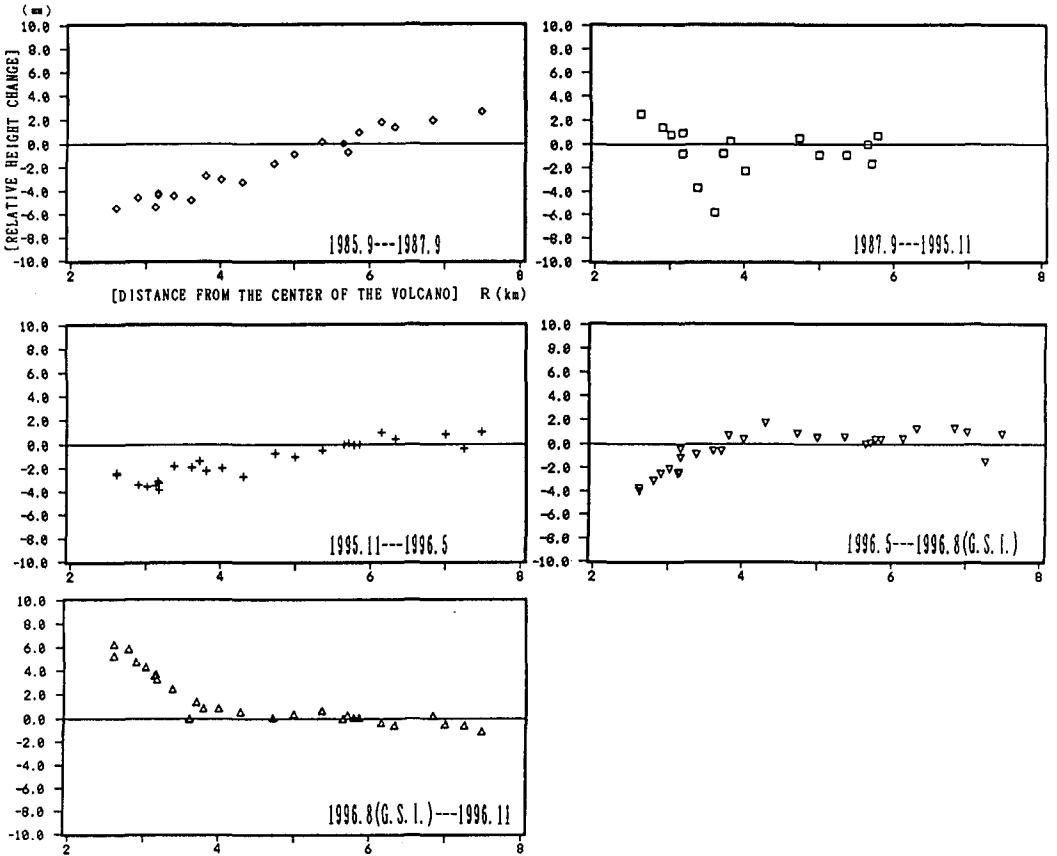


Fig. 6 Relative height changes, at bench marks along the mountain road referred to KO1050 in five time periods, are plotted versus distance from the center of the 1929 crater. The levelling survey on August 1996 was supplemented by Geographical Survey Institute (G.S.I.).

が、時期がほぼ同じなので、議論には差し支えないと考えられる。

1985年9月～1987年9月の最初の2年間は山体中心寄りほど沈降の大きい、山体収縮の傾向を示している。2番目の1987年9月～1995年11月の約8年2ヶ月の期間には、1993年7月の北海道南西沖地震が発生し、路線の基点BM7068から約500mの地点で液状化現象が認められる等、山体中心から6km以遠の山麓部の点は液状化等の地震の影響による変動が大きく、図からはみ出してしまっている。山体中心から6km以内の点でも、北海道南西沖地震の影響と見られる変動を示す点も認められる。それらの点を除いて見ると、山体中心から約3.2km以内では、山体が隆起膨張する傾向を示し、それ以遠では、殆ど変化していないように見える。3番目の1995年11月～1996年5月は、今回の小噴火を含む期間である。部分的に、山体中心から約3.2km以内でわずかに山体隆起の傾向が見られるが、全般的には、最初の期間と同様の山体の沈降収縮傾向が認められる。しかし、沈降率は、比高変化曲線を一次の最小自乗近似をして、路線両端点間の比高変化率で見ると、1985年9月～1987年9月が約4 mm/yearなのに対し、1995年11月～1996年5月は約12 mm/yearとほぼ3倍に達している。小噴火まで隆起が続き、噴火後沈降に転じた

とも考えられ、その場合には、1995 年 11 月以降の隆起量がゼロだったとしても沈降率は約 30 mm/year と更に大きくなる。4 番目の 1996 年 5 月～8 月には、山体中心から約 4 km 以内で、山体の収縮傾向を示す最大約 4 mm の沈降が認められ、それ以遠では殆ど変化が無い様に見える、沈降率は、不動点に対して最大約 18 mm/year となる。5 番目の 1996 年 8 月～11 月には、山体中心から約 4 km 付近で折れ曲がり、それ以内では急で、それ以遠では緩やかな隆起の傾向が認められ、山体の膨張を暗示している。路線両端点間の比高変化量の差約 7 mm から、その隆起率は約 26 mm/year と見積もられる。

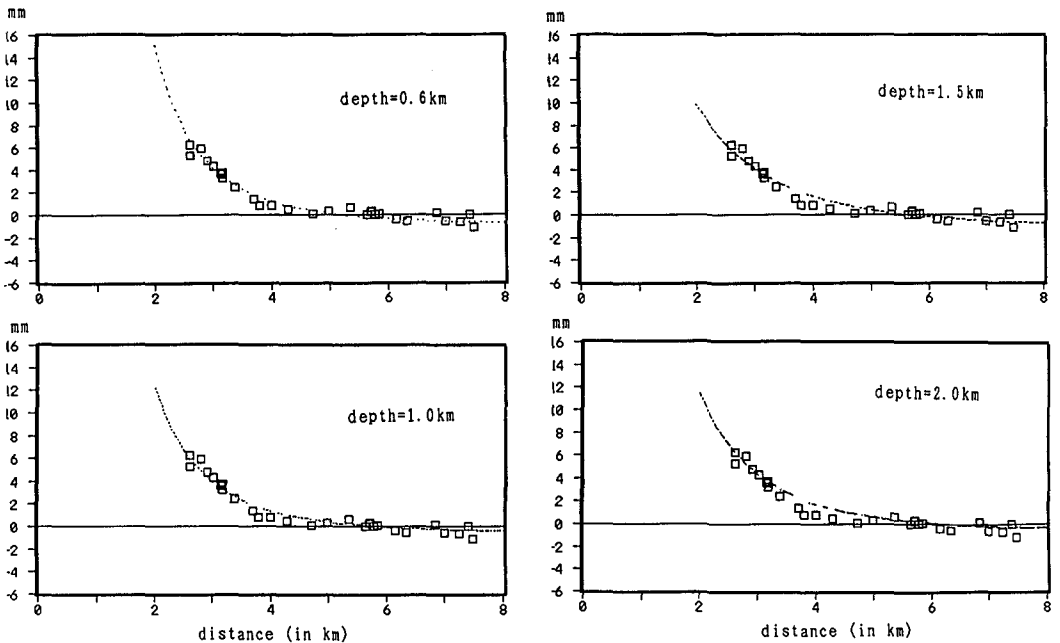
以上の結果を、今回の小噴火との関連で見ると、少なくとも 1987 年 9 月までは前兆と考えられる変化は無かったが、1987 年 9 月と 1995 年 11 月の間のある時期から、前兆と思われる山体隆起の傾向が始まり、1995 年 11 月の水準測量の結果に表れたと思われる。1996 年 3 月 5 日の小噴火にともなって、山体隆起の傾向は反転し、1996 年 5 月、8 月の結果に沈降傾向が表れたと考えられる。しかしこの傾向も持続せず、再び山体隆起の傾向に変わり、1996 年 11 月の測量結果に表れたと思われる。

小噴火前の隆起がいつから始まったかは、不明であるが、山頂部の辺長変化が 1989 年頃であるので、噴火後の変化の相似性から考えて、ほぼ同じ頃と考える事も出来る。そのように考えた場合、沈降率が一定であったとすれば、総沈降量は約 16 mm となり、反転後の隆起量は約 11 mm となる。仮に、隆起率も一定であったとするならば、隆起率は約 2 mm/year と考えられ、小噴火までの総隆起量は約 12 mm、噴火後 2 ヶ月余の総沈降量は約 7 mm、沈降率約 35 mm/year と推定される。噴火後の沈降から隆起への反転がいつだったかについての議論は、隆起率を推定する事が必要なので、次回の測定を待たなければならない。

### III. 考 察

II. で述べたように、山頂部の辺長測量、南西登山道の水準測量の両観測において、噴火前の山体膨張、小噴火後の収縮及びその後の再び膨張への反転傾向が認められた。この現象を、地下のガス溜まり等の圧力源の圧力変化で考えると、1989 年頃から、何らかのきっかけで、地下の圧力源の圧力の増大が始まり、山体膨張傾向として表れた。小噴火とその後の噴気活動によるガス抜きで、圧力源の圧力低下が起き、一時的に山体収縮が数ヶ月続いたが、徐々に地表の噴気口が閉塞していったため、ガス抜きがによる圧力低下量が、下部からの供給による圧力増加量を下回って、圧力源の圧力増加が再開し、山体膨張傾向が表れるようになったものと考えられる。山頂部の大亀裂を挟む辺長基線網は狭く、これだけでは定量的な議論は困難なので、外輪山基線及び山腹・山麓の基線網と合わせて考えなければならないが、山腹・山麓の基線は変動量が小さく測定精度以下であり、外輪山基線は測定回数が少ないなので、辺長変化についての定量的議論は、今後のデータの蓄積を待って行う。水準測量は 1 測線しかないもので、いくつかの仮定のもとでの議論となるが、測定精度を越える有意な変動が得られているので、第 1 次近似として、半無限媒質中の球状圧力源モデル（いわゆる茂木モデル (Mogi, 1958)）を用いて以下に論ずる。

水準路線が、1本なので、圧力源の位置を決める事はできないので、水平位置を、山体中心に位置し今回活動した昭和4年火口直下と仮定して考える。中心での変動量、圧力源の深さ、不動点の変動量の3個のパラメータを同時に変化させて、測定結果に最も良く合う値を求める。小噴火を挟む1995年11月～1996年5月は、圧力源の圧力増加・減少の両方の効果が含まれているので、今回は除外する。初めに、変動が曲線で表されており、より良く値が決められる1996年8月～11月について考える。Fig.7にFig.6の1996年8月～11月の比高変化に合うように決めた、圧力源の深さ0.6 km, 1.0 km, 1.5 km及び2.0 kmの結果を示す。いずれの場合も不動点の変動量は1 mm程度に決まった。圧力源が深くなるにつれて、山体中心から4 km付近において、計算値と実測値の差が次第に大きくなっていく事が分かる。従って、圧力源が2 kmより深い所に位置することは考えにくいと言える。Fig.8にFig.7の4枚の図を一つにまとめ、縦軸を変えて計算値の最大隆起量が分かるように示す。0.6 km 深の圧力源の場合は中心部の隆起量が700 mm程度にもなり、実際の火口原の状況からも、辺長測量の変化量からも考えにくく、圧力源は1 km程度より深いと思われる。1987年9月～1995年11月はばらつきが大きく北海道南西沖地震の影響が大きく、また1996年5月～8月は山麓部の変動が波を打っていて合わせるのが困難である。



**Fig. 7** Calculated height change curves, based on a spherical pressure source model in semi-infinite elastic space for four different source depths (0.6, 1.0, 1.5 and 2.0 km). Horizontal axis denotes distance from the center of the 1929 crater. Observed relative height changes between August and November in 1996 are also shown with square marks. The discrepancy between calculated values and observed data around 4 km distance are more significant for the case of deeper sources. This figure indicates that the depth of the pressure source is favorable for less than 2 km.

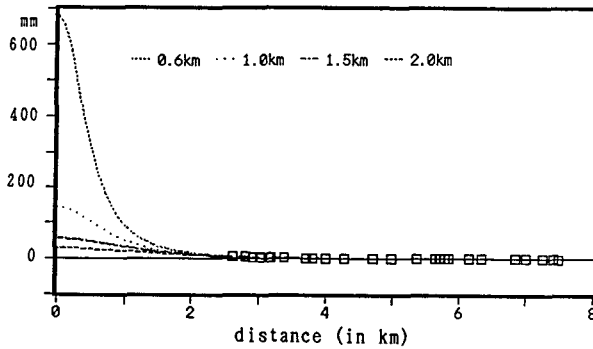


Fig. 8 The same data and model curves in Fig. 7 shown for entire deformation field. The maximum uplift for 0.6 km source depth model seems too large and unrealistic, excluding also very shallow source model.

しかし、この2期間の変動はいずれも、3～4 km付近で折れ曲がっているパターンが1996年8月～11月と同様なので圧力源の深さはほぼ同じものと思われる。小噴火に直接関係ないと思われる1985年9月～1987年9月の期間の変動は全体として直線に近い。従って、圧力源はより深く、不動点の変動量も自由度が大きい。しかし、不動点基準の中心での変動量は、大きくは変わらない。同じ方法で計算したところ、この期間の圧力源は数～十数 km と深く決まった。すなわち、噴火の10年前頃の圧力源の位置は、小噴火前後の圧力源の位置とは明らかに異なると考えられる。

#### IV. ま と め

1996年3月5日の小噴火前後の火山性地殻変動を、辺長測量及び水準測量の結果から見ると、噴火の前兆と見られる山体膨張を示す変動が1989年ごろから、山頂部大亀裂を挟む基線網の辺長変化に表れていた。また、1990年8月と噴火後の1996年8月に実施したGPSの結果も山体膨張を示している。更に、南西登山道水準測量においても1995年11月の測量結果により山体膨張の傾向が認められた。噴火後の測量では、山頂部大亀裂を挟む基線網及び南西登山道水準路線のいずれにおいても、一時的にわずかな山体収縮沈降の傾向が認められたが、1996年秋頃からは、再び山体隆起膨張傾向が表れている。従って、北海道駒ヶ岳は、今回の小噴火以降もエネルギーの蓄積が続いており、再噴火の可能性を残していると思われる。

水準測量の結果に、半無限媒質中の球状圧力源モデルを適用して考えると、圧力源の水平位置が山体中心直下と仮定すれば、今回の噴火前後の変動の圧力源は地表面下1～2 kmの浅いところにあると考えられる。一方、1985～1987年の水準測量結果については、数～十数 km とより深い所にあったと考えられる。この違いの原因として、2つ以上の圧力源の活動、複数の圧力源間での物の移動、圧力源自身の上昇等、いくつかの解釈が考えられるが、現有の観測データでは、広域の変動が精度良く分からないので、特定できない。変動を精度良く捉えるには、水準測量は

最も精度良く測れる手段で最適あるが、多大な時間と労力を要するため、測定頻度を上げたり、路線の複数化及び延長を図ることは難しく、より詳しい議論を行うためには、他の観測手段と併用する必要がある。しかし、現在の変動量は小さく、広域の辺長測量の精度を越えるまでには至っていない。辺長測量よりも精度の良いGPS測量を活用することにより、この問題に対処出来るものと考えられる。1996年には、その目的で新たに広域基点網として7点、山頂観測点を1点、それぞれ新設観測した。1997年には火山集中総合観測として、これらの新設点及び1990年の観測点を含めた20~30点において、GPS観測を他大学と共同で実施する予定であり結果が期待される。

**謝辞** 過去長期間の何回もの観測の実施に際し、お手伝い頂いた北海道大学理学部地球物理学教室の多くの院生、学生の皆様に深く感謝します。1995年11月の水準測量では、有珠火山観測所の西村裕一助手に、1996年9月の辺長測量では、有珠火山観測所に学術振興会研究員として留学中のP. Jousset博士にお手伝い頂いた、記してお礼いたします。1996年8月の水準データをご提供頂いた国土地理院に、心からお礼いたします。又、小噴火後の各種観測では、地元の駒ヶ岳防災協議会等関係諸機関にいろいろとお世話になりました、厚くお礼申し上げます。

#### 文 献

- 北海道大学理学部有珠火山観測所, 1997. 北海道駒ヶ岳の1996年3月の噴火, 火山噴火予知連絡会報(投稿中). 勝井義雄, 横山 泉, 藤田隆男, 江原幸雄, 1975. 駒ヶ岳—火山地質・噴火史・活動の現況および防災対策. 北海道防災会議, pp 194.
- Mogi, K., 1958. Relations between the eruptions of various volcanoes and the deformations of the ground surfaces around them. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **36**, 99-134.