



Title	有珠山の火山性地殻変動：最近20年間の活動の概要
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, 61, 275-285
Issue Date	1998-03-20
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.61.275
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14274
Type	departmental bulletin paper
File Information	61_p275-285.pdf



有珠山の火山性地殻変動
—最近 20 年間の活動の概要—

森 濟・鈴木 敦生

北海道大学理学部有珠火山観測所

(1998 年 1 月 8 日受理)

Volcanic Ground Deformation at Mt. Usu
—A Perspective of the Deformation in the Last Twenty Years—

Hitoshi Y. MORI and Atsuo SUZUKI

Usu Volcano Observatory, Faculty of Science, Hokkaido University.

(Received on January 8, 1998)

Mt. Usu is one of the most active volcano in Japan. The last activity of Mt. Usu occurred between August 1977 and March 1982. The 1977-1982 activity is characterized by huge number of felt volcanic earthquakes and large ground deformation (Yokoyama et al., 1981). 1997 is the 20 years anniversary of the beginning of the 1977-1982 activity. We retrospect the ground movements of Mt. Usu in the last twenty years and describe those summary.

During the 1977-1982 activity, new peaks named Usu-Shinzan and Ogariyama had been uplifted and thrust toward northeast. Total amount of upheavals and horizontal movements at those new peaks is more than 185m and more than 250m respectively. The new peaks are located at the bottom of the U-shaped fault open toward northeast direction in the summit crater. The thrust of the inside of the U-shaped fault introduce complex big ground deformation and many small faults at the northern flank.

After the 1977-1982 activity, the tendency of deformation is reversed at the summit of Mt. Usu. It looks like the volcano contracting entirely. But the deformation rate is quite small and the order of some centimeter per year. At the flanks of Mt. Usu, subsidence is predominant and that suggests the shrinkage of Mt. Usu too.

The reversal of deformation after the activity should be ordinal phenomena at Mt. Usu. Because the subsiding of Showa-Shinza area had been observed before the 1977-1982 activity and the subsiding rate is relatively large around the center of the recent activities in the 20th century. The older the activity is, the smaller the subsiding rate is. These facts are contradictory to the common theory that expansion of the volcano starts soon after the end of the activity and continues until the next activity. In the case of Mt. Usu, the contraction of Mt. Usu started just after the end of the activity and are continuing constantly for more than fifteen years. The reasonable mechanism of contraction is a long decaying time phenomenon like gravitational instability.

I. はじめに

有珠山は、北海道南西部、札幌市の南約 70 km に位置するデイサイト質の活火山である。洞爺カルデラの南縁に位置し、1663 年に史上初の噴火をして以来、活発な活動を行っている（横山他, 1973）。

最近の活動は、1977 年 8 月～1982 年 3 月の、山頂噴火とそれに引き続いた大規模地殻変動と 1 万個以上の有感地震を含む著しく活発な地震活動を特徴とする。この活動により、山頂部には有珠新山、おがり山の二つのピークが 185 m 以上も隆起形成され、北外輪山は洞爺湖に向かい 200 m ほど迫り出した。その影響は山麓部にもおよび、二次的断層活動による多大な建造物被害をもたらした。

有珠火山観測所では噴火直後から、種々の地殻変動観測を実施し、その概要を明らかにしてきた。本論文では、1977 年 8 月の噴火以降の 20 年間の有珠山の地殻変動を概観し、その意味するところについて一考する。

II. 観 測

有珠山の地殻変動観測は、辺長測角測量及び水準測量を主に、繰り返し測量により行われてきたが、1989 年以降は G P S 測量も繰り返し実施されている。以下に各種測量による観測結果の概要を述べる。

1. 辺長測角測量

1977 年 8 月噴火直後、山頂の地変が明らかになり、約 8 km 南の伊達市役所屋上から測角により山頂部の隆起観測が開始された。それに引き続いて、東外輪山、北外輪山と山麓を結ぶ辺長基線が設置され、順次南外輪山、西外輪山、北西外輪山と山麓を結ぶ基線が整備されていった。また、北麓の変動を見るために洞爺湖南岸と中島を結ぶ基線、北麓地域内の短距離基線も設けられた。活動期後半になって遠く離れた伊達市からの上下変動観測の精度と短期間内の変動量の差が小さくなったので、南外輪山から測角測量をして変動を観測することにした。これらの測量の中、ある物は工事等で基点が破壊されたり、見通しがつかなくなったりして、放棄せざるを得なくなったものもある。

活動期間の大規模地殻変動については、Yokoyama et al. (1981) 及び北海道大学理学部有珠火山観測所 (1982) に述べられているので、ここでは Fig. 1 にそれを代表する山頂部の隆起と北外輪山の迫り出しを示すにとどめる。Fig. 1 上図から、噴火半月後の 1977 年 8 月下旬の測定では、約 1 m/day の隆起速度が得られており、噴火前のおがり山の標高から、噴火直後はそれを上回る約 1.5 m/day 程度の速度で隆起していたと考えられる。その後徐々に隆起速度は低下したが、噴火約 5 ヶ月後の 1978 年 1 月末に一時的に増加した。この増加の約 1 ヶ月後の 2 月末頃から小規模な水蒸気爆発が繰り返されるようになり、1978 年 7～9 月の活発な銀沼火口活動へとつながった。その増加の後には、再び緩やかな隆起速度の低下を続け、1982 年 3 月の活動終息に至った。これらの変化に対応して北外輪山の迫り出しも同様に推移した。

Fig. 2 に、活動終息後の南外輪山基点から測定した山頂部の上下変動及び北外輪山基線の辺長変化を示す。図中の途切れているところは、崩落等で山頂部の基点が亡失したため、観測が繋がらないことを示している。1982 年 3 月の活動終息後、一貫して、山頂中央部は南外輪山に対して沈降を続けており、その割合は最大隆起部である有珠新山及びおがり山で最も大きく、5～6 cm/year に達している。後述するように、南外輪山も約 2 cm/year の率で南山麓に対して沈降しており、合わせると山頂中央部の沈降率は 7～8 cm/year になる。

Fig. 3 に、活動終息後の山麓から見た外輪山の上下変動を示す。方向により、多少の違いはあるが、

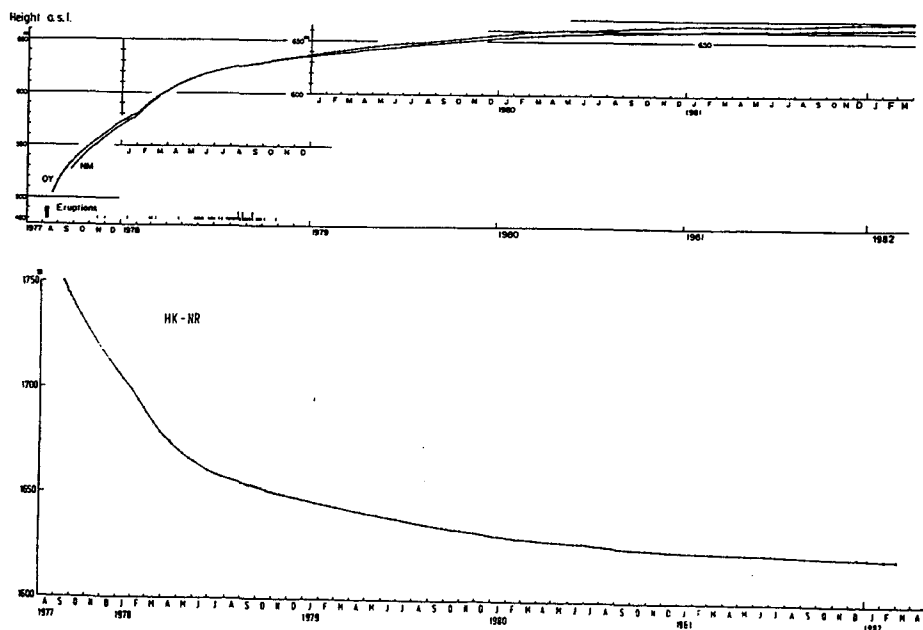


Fig. 1. The elevation changes of summit new peaks of Mt. Usu and the change of the HK-NR baseline length are observed by angle and EDM measurements, during the 1977-1982 activity. The elevation were measured from Date city office, which is located at about 8 km south of Mt. Usu. Total uplift of the new peaks amounted to more than 185 m. The HK-NR baseline locates on the northern slope of Mt. Usu.

測定されている全点において沈降が続いている。測定精度内のばらつきはあるが、各方向とも2~3 cm/yearの割合で沈降しており、山体は収縮を続けているものと思われる。

Fig. 4に、活動終息後の山麓と外輪山とを結ぶ基線の水平距離の変化を示す。各方向とも伸びを示しており、活動終息後は山体が収縮していることを示している。基線の長さが約1300~約4100 mと異なっていること、山麓基点の状況が一定でないこと等があるので一概には言えないが、方向による収縮率の違いは小さく、比較的一様に収縮していると考えられる。火口原を挟んだ外輪山基点間の線索は一年当たり 4×10^{-5} 程度と大きく、既に弾性限界を越えており、弾性変形では説明できない。

2. 水準測量

有珠山周辺には、国土地理院により、以下の三通りの水準路線が設置され、有珠山を取り囲む水準路線を形成している。一番目は洞爺湖西岸を南下し、有珠山北西麓の洞爺湖温泉街を通り、有珠山の西側を南下して噴火湾沿いに国道37号線に至る一等水準路線、二番目は37号線沿いに有珠山の西側の虻田町から、南側の伊達市へ伸びる一等水準路線、三番目は洞爺湖温泉で一番目の一等水準路線から分かれ、洞爺湖の南岸沿いに東進し有珠山東側の壮瞥町から南に折れて有珠山の東側を長流川沿いに南下し二番目の一等水準路線につながる二等水準路線である。二つの一等水準路線は、1910年の明治新山生成活動以前に設置され、二等水準路線は1943~1945年の昭和新生山生成活動後に設置されている。

北海道大学理学部でも、1968年より洞爺湖岸の二等水準点から昭和新生山ドームまでの水準路線を設けていた。

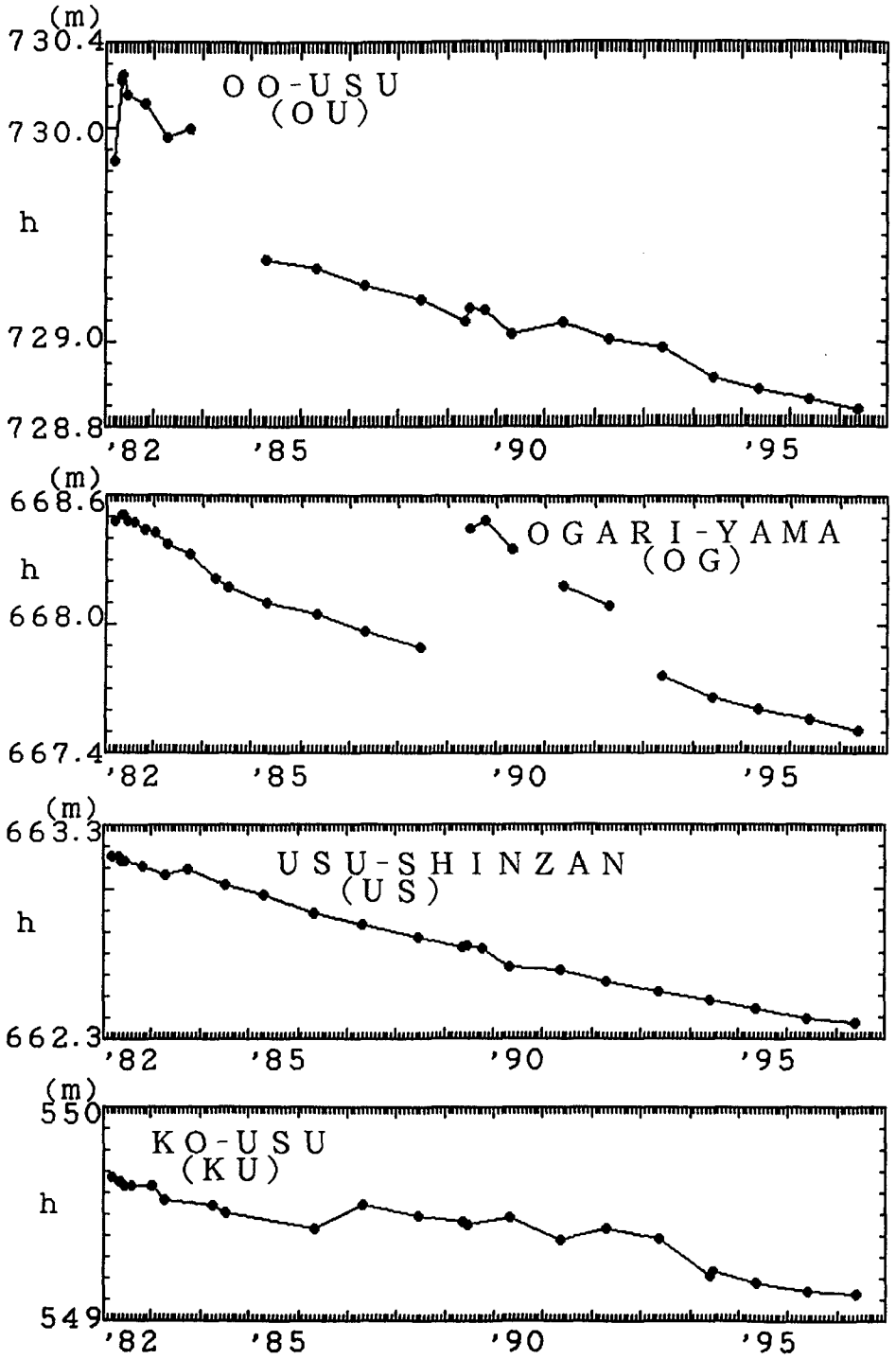


Fig. 2. It is shown that elevation changes of summit peaks of Mt. Usu measured from the southern rim benchmark (SRM) after the 1977-1982 activity. Summit new peaks (US and OG) are almost constantly subsiding at the rate of 4-6 cm/year. Discontinuity in the figure denotes loss of bench marks on the summit peaks.

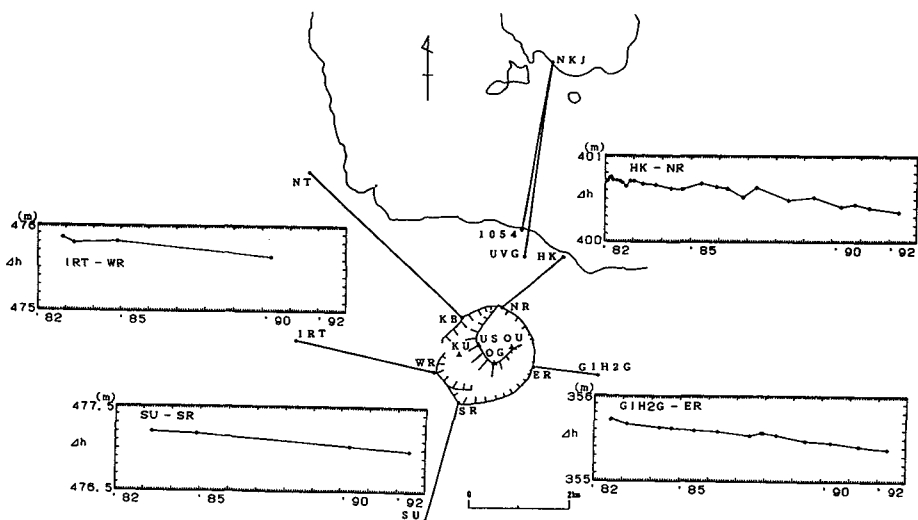


Fig. 3. It is shown the elevation changes of the benchmarks on the rim referred to the foot of Mt. Usu after the 1977-1982 activity. Subsidence of the rim took place in the whole direction. It means that the whole summit of Mt. Usu is subsiding after the activity.

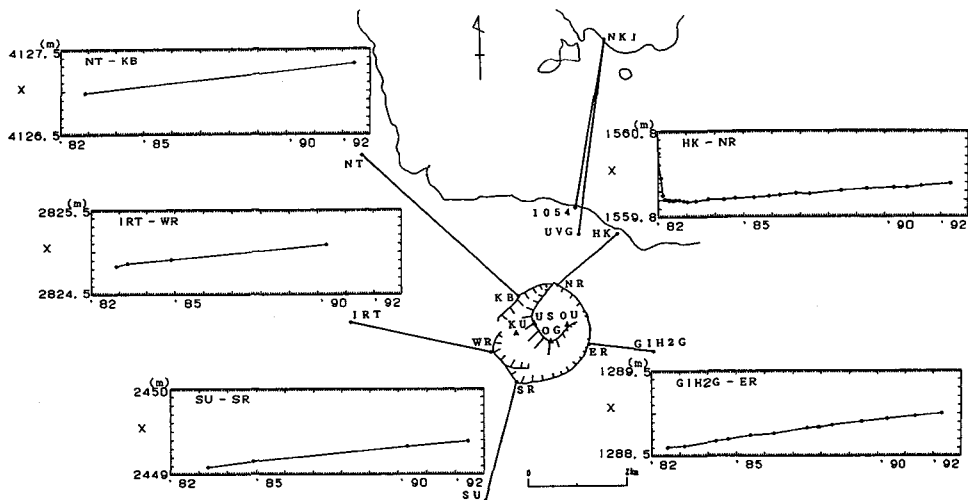


Fig. 4. It is shown the shortening of base lines on the mountainside of the volcano. It suggest that Mt. Usu is contracting continuously after the 1977-1982 activity.

有珠火山観測所では、噴火直後の昭和新山ルートの新測点の再測量及び北麓の地変から判明した北麓における大きな地殻変動を明らかにするために、北麓及び北西麓により細かい水準測量網を設置し、繰り返し測量を実施してきた。活動期間中の上下変動の詳細は渡辺他 (1984) に述べられている。ここでは活動期間を通算した山麓の水準測量の結果を示すにとどめる (Fig. 5)。図に示されるように、活動期間中の北～東麓の上下変動は非常に複雑な分布をしている。大体の傾向としては、外輪山の迫り出しによる圧縮力が遮られると思われるクリプトドーム (潜在円頂丘) の反対側では沈降が卓越し、クリ

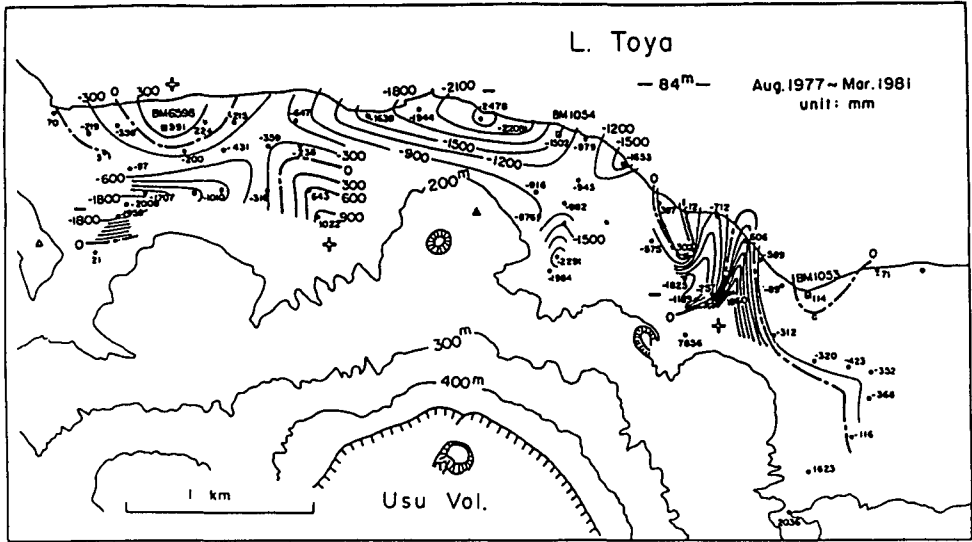


Fig. 5. It is the result of levellings that shows vertical displacement at the northwestern, at the northern and at the eastern flanks during the 1977-1982 activity.

プトドームの無い領域では隆起が卓越している。さらに二次的断層が形成された部分では、断層運動に伴う、対になった隆起沈降のパターンが認められる。またクリプトドームの無い領域では、相対的な隆起沈降の繰り返しによるしわ状の変動が認められ、水平方向の圧縮による変動であることを示唆している。

活動終息後の北麓の水準測量は3～5年間隔で行われている。Fig. 6に示されるように活動終息後は北～東麓の全域で沈降になっている。さらに細かくみると、1943～1945年活動及び1910年活動の際に隆起の著しかった領域で沈降量が多くなっていることがわかる。このことと、1977年噴火前に昭和祈山ドームが沈降を続けていたことから、有珠山では過去三回の活動の後には、全て沈降を続けており、一般的に言われる静穏時の山体の隆起・膨張現象は認められない。

また、一周路線については、1977年に国土地理院により、1982年に北海道大学理学部と京都大学防災研(渡辺他, 1984)により、1993～1994年に北海道大学理学部と国土地理院により実施されている。Fig. 7, 8に、有珠山一周水準路線の上記三回の測量間の変動を南西の一等水準点J6を不動点として示す。活動期間中の有珠山一周路線の上下変動は前述した北麓～東麓の複雑な変動を別にする、全域的な沈降を示している。一方、活動終息後の変動は北東部と南～南西部は隆起傾向を示し、その間は山体を含む沈降領域となっている。しかし、その変動量は何れの期間も北麓の明治祈山活動域及び1977～1982年活動の変動域を含む北麓を除けば50 mm未滿(1点を除けば30 mm未滿で約半数は10 mm以下)と活動域の変動量に比べて極めて小さい。従って、広域の構造的な地殻変動のばらつきの範囲内の点も多く、火山活動の効果を明瞭にすることが難しいので、火山活動と結び付けての議論は、ここでは行わない。

3. GPS 測量

北海道大学理学部では、6台の一周波GPS受信機(WILDMAGNABOX製WM101)を1988年に導入した。これを1989年8月に二周波受信機(WM102)に改造し、電離層の影響が補正される形での観測が行えるようにした。有珠山については、これらの受信機を用いて、1989年末よりGPS繰

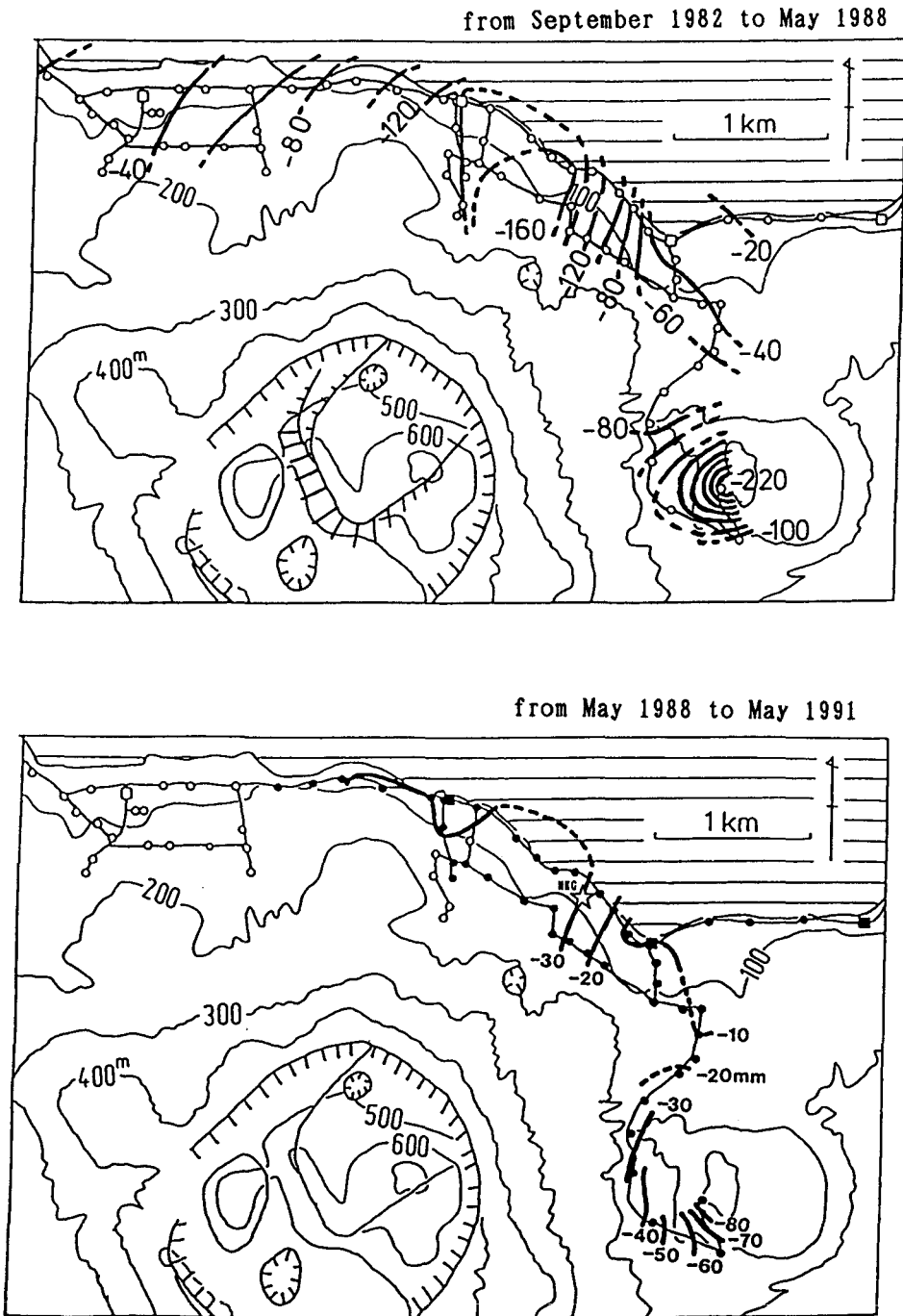


Fig. 6. It is the result of levellings that shows vertical displacement at the northwestern, at the northern and at the eastern flanks after the 1977-1982 activity.

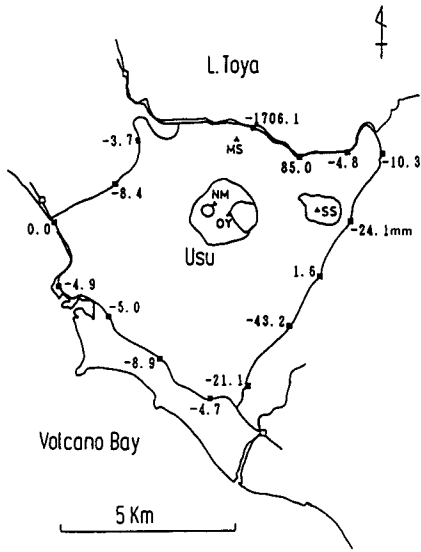


Fig. 7. It shows the elevation changes of benchmarks along the circular levelling route referred to J6, that locates at the west corner of the route, around Mt. Usu during the 1977-1982 activity. It is conspicuous that large elevation changes are restricted in the northern part of the levelling route.

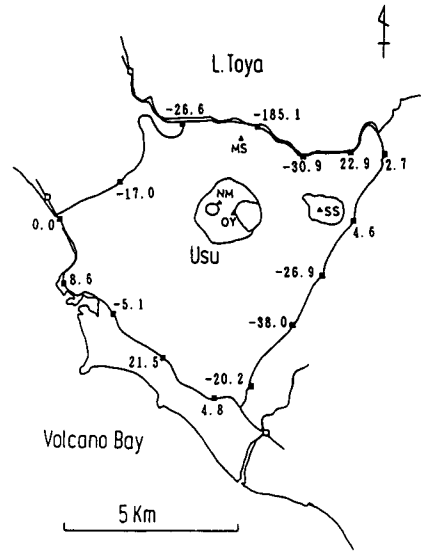


Fig. 8. It shows the elevation changes of benchmarks along the circular levelling route referred to J6, that locates at the west corner of the route, around Mt. Usu after the 1977-1982 activity.

り返し観測を実施している。Fig. 9に繰り返し観測点を示す。1994年初めまでは2～4ヶ月毎に1週間程度の期間毎日6～12時間の観測を実施した。その結果の代表的なものをFig. 10に示す。GPS観測の特徴である三次元の変動を示すために、上から順に、辺長、上下、南北、東西成分の変位を示す。HKGおよびNRMはFig. 3の辺長基点HK及びNRと同一である。KUB及びDATはそれぞれ有珠山の東北東及び南南東約10 kmに位置し、有珠山の火山活動に伴う地殻変動の影響をほとんど受けないと考えられる点である。実際にKUB-DAT間では変動はほとんど認められない。

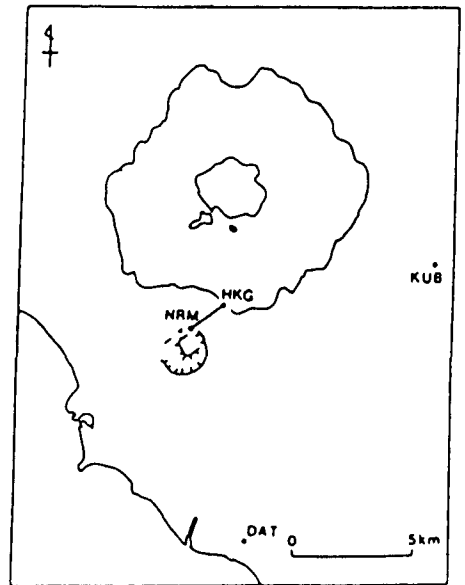


Fig. 9. Recurrent GPS observation points on and around Mt. Usu.

Fig. 10に示されるように、HKGはKUB及びDATのいずれから見ても約3 cm/yearの率で沈降し、約1 cm/yearの割合で西へ移動していると考えられる。HKG-NRMは辺長測量と同一の基線であるが、辺長変化は辺長測角測量の結果とほぼ同じである。GPSからは、この水平変動の大部分が南向きの動き、すなわち外輪山の収縮を示唆していることがわかる。また、上下方向の変動もばらつきは大きいですが、Fig. 4の結果と良く一致して

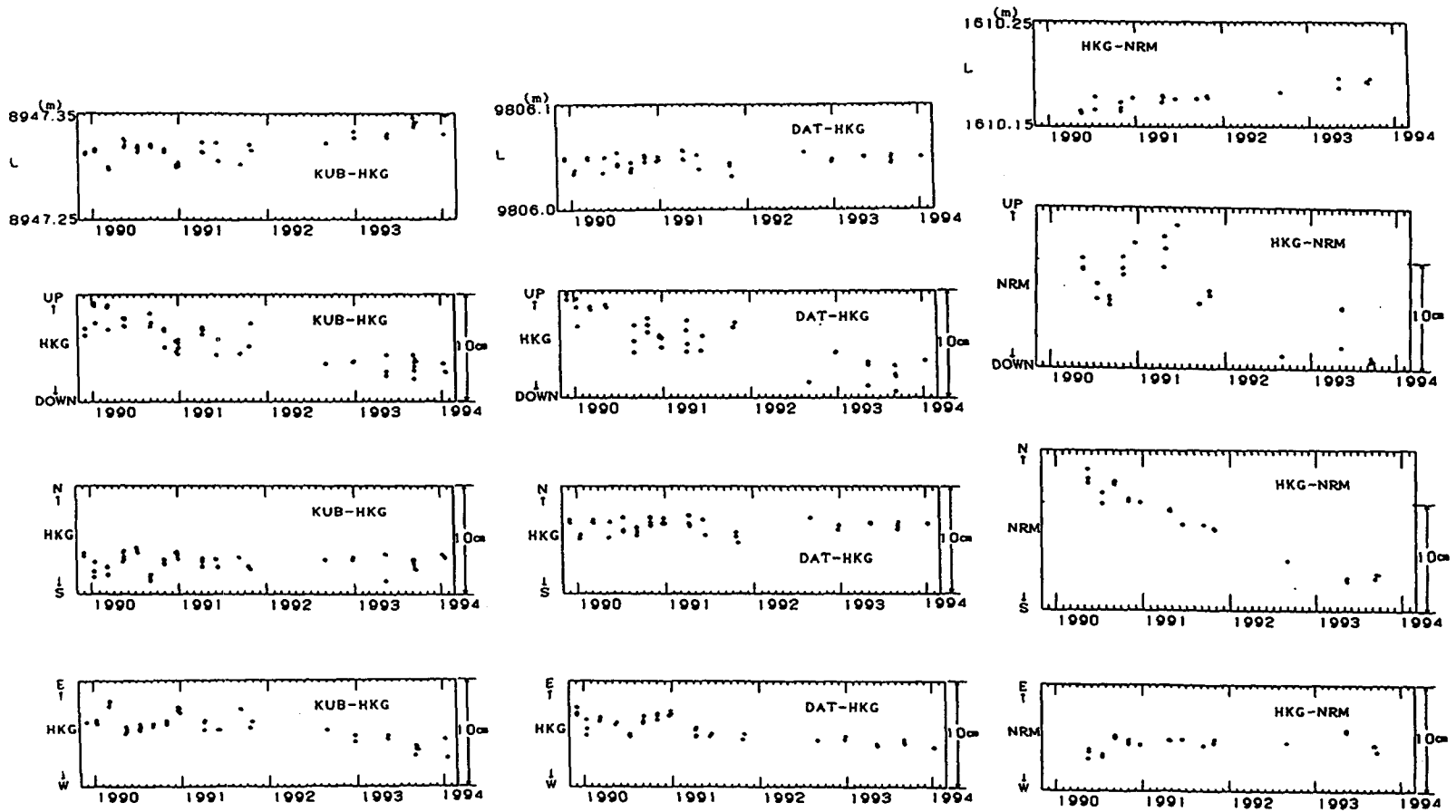


Fig. 10. Detected movements with GPS are shown. HKG located at the north flank is subsiding and NRM at the northern rim is subsiding and moving toward south. Both results are consistent with those of levellings and EDM measurements.

おり、山体の沈降を示している。

これらの結果は、II. 1 及びII. 2 の観測結果と良く対応しており、有珠山の全体的な収縮を示していると考えられる。

III. 考 察

II. で述べた観測結果からは、1977～1982年活動期の変動は、山頂部の膨張隆起が極めて著しいこと、山頂部の変動の方向が北へ向かっていたため、山麓部の変動は北側で顕著だったことを特徴としていることが言える。これに対して、活動終息後の変動は量的には1/100以下で、全く逆方向の山体の沈降収縮であり、しかも長期間にわたりほとんど一定の割合で続いており、一般的に言われてきた、静穏期の次期活動の準備としての変動とは完全に異なっていることがわかる。さらに、この特徴は、1977～1982年活動後だけでなく、1910年及び1943～1945年活動の後についても同様であると考えられる。

では、この山体の収縮沈降原因として、どのようなものが考えられるだろうか、ここでは以下の4通りについて考えてみる。

- 1) 貫入マグマによって形成されたドーム或いはクリプトドーム内の気泡の消失による体積減少。
- 2) 貫入マグマによって形成されたドーム或いはクリプトドームの熱収縮による体積減少。
- 3) 貫入マグマのドレインバックにより形成された空間を埋める形の沈降。
- 4) 貫入マグマによって形成されたドーム或いはクリプトドームを押し上げる力が消失したことによる重力的不安定による沈降。

気泡の消失原因としては、揮発性成分の逸散による場合と、温度変化によるものが考えられる。後者は、昭和新山の様に露出したドームに比べ有珠新山や明治新山の様なクリプトドームでは大幅に遅いと考えられ、実際の沈降率で過去三回の活動後の沈降がほぼ終息後の期間に反比例していることを説明できない。前者にしても、現在極めて僅かの噴気しか出していない1910年活動域と活発な噴気活動を続けている昭和新山及び有珠新山とで、沈降率がそれに対応するほど大きく違ってはおらず、矛盾している。従って、1)は有珠山の活動終息後の変動を説明するには不適當である。

熱膨張係数は高温域の方が大きいので、同じ程度の温度低下があれば、有珠新山、昭和新山及び明治新山の活動域の現在の沈降速度を説明することはできると考えられる。有珠新山のI火口と昭和新山亀甲岩の現在の温度低下率はほぼ同じであり、この考え方は一見適當の様に考えられる。しかし、昭和新山で最近約500℃の噴気孔が確認されるなど、上記2箇所の温度変化をそのまま岩体の温度変化と考える訳にはいかない。特に、I火口の場合有珠新山からの土砂により埋積が進んでおり、実際の温度はより高温であると思われ、温度低下はもっと緩慢なものとするのが適當である。更に、露出したドームに比べクリプトドームの温度低下は、当然大変小さいと考えられる。従って、2)の温度低下による熱収縮についても、有珠山の活動終息後の変動を説明するには不適當であると言える。

活動後のドレインバックは活動終息後短期間内に起こると考えられ、一時的現象である。従って、3)は有珠山のように、活動終息後長期間ほぼ一定の沈降率が続いている現象を説明するには不適當である。

重力的不安定による沈降は、緩和現象であり、長期的に持続する変動を説明するのに好都合である。II. の水準測量の結果で古い活動領域ほど沈降速度が遅くなっていることも調和的である。従って、4)が貫入マグマが高粘性によりまとまった岩体を形成する、デイサイト質マグマ活動の特性として、最も適當な原因と考えられる。しかし、力学的定数の幅が広いこと、不確定な要素が多いことから、定量的議論は後にゆずることとする。

IV. お わ り に

1977年有珠山噴火以降20年の地殻変動は、活動期においてはデイサイト質マグマの高粘性という特性により極めて大きな山体の拡大膨張を特徴とし、静穏期においてはその1/100以下と小さいが全く逆方向の縮小沈降を特徴としている。この活動終息後の変動は通説として言われている噴火直後に収縮し、以後次期噴火までは膨張という考え方とは一致しない。これもまたデイサイト質マグマの高粘性という特性によると考えられる。活動期に、上昇に伴い、周囲を押し除けて、大規模地殻変動を起こした貫入マグマにより形成されたドーム或いはクリプトドームが、活動終息により押し上げる力を失い、自重を支えられず、山体の沈降収縮を起こしていると考え、最近の3回の活動後、長期的かつ定常的に続く変動を、定性的に良く説明できる。

謝辞 1977年8月の噴火開始以来、地殻変動観測は、当時の有珠火山観測所横山泉所長はじめ、大学院生・学生・有珠火山観測所所員・壮警町役場・伊達市役所・虻田町役場・室蘭営林署・室蘭土木現業所等多くの方々・機関の協力により行われてきた、個々人のお名前は省略させていただきますが、皆様に深く感謝いたします。岡田有珠火山観測所所長には、本論文執筆を勧めて頂きました、記してお礼申し上げます。

文 献

- 北海道大学有珠火山観測所, 1982. 有珠山およびその周辺の地殻変動(1982年4月~6月). 火山噴火予知連絡会報, **25**, 23-27.
- 渡辺秀文, 前川徳光, 鈴木敦生, 山下 済, 江頭庸夫, 中村貞美, 1984. 有珠火山周辺における精密水準測量. 主要活火山の集中総合観測報告—有珠山第2回—1982年—, 樽前山第1回—1983年—, 25-31.
- 横山 泉, 勝井義雄, 大場与志男, 江原幸雄, 1973. 有珠山—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. 254.
- Yokoyama, I., H. Yamashita, H. Watanabe and Hm. Okada, 1981. Geophysical characteristics of dacite volcanism—The 1977-1978 eruption of Usu volcano. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **9**, 335-358.