



Title	2000年有珠山活動終息後の西麓活動域における地殻変動
Author(s)	森, 濟; MORI, Y Hitoshi; 鈴木, 敦生 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 67, 149-155
Issue Date	2004-03-15
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.67.149
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14340
Type	departmental bulletin paper
File Information	67_p149-155.pdf



2000 年有珠山活動終息後の西麓活動域における地殻変動

森 濟・鈴木 敦生

北海道大学大学院理学研究科附属地震火山研究観測センター

(2004 年 1 月 8 日受理)

Postdoming Continuous Subsidence after the 2000 Activity of Mt. Usu

Hitoshi Y. MORI and Atsuo SUZUKI

Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Hokkaido University

(Received January 8, 2004)

Since June, 2000, continuous GPS measurements have been carried out on the center of the uplifted region during the 2000 activity of Mt. Usu. According to those observations since the middle of August 2000, subsidence has been continuously observed, though it becomes weaker gradually. Before the beginning of subsidence, stable stage was detected in about two weeks.

The subsidence rate is quite large compared with that observed on the summit of Mt. Usu after the 1977–1982 activity. In the first one year, the total observed subsidence at the center of the uplifted region of the last activity amounted about 41 cm. After the 1977–1982 activity, the maximum subsidence in the first year, which observed on the summit of Mt. Usu, was less than 10 cm.

The decrease of subsiding rate after the last activity is also larger than that after the 1972–1982 activity. The rate of subsidence at the center of the uplifted region shows c.a. 15 cm/year in Spring 2003. Post-activity subsiding rate after the 1977–1982 activity was still kept about 8 cm/year in 1999.

Using Mogi's model and assuming the intruded magma to be centered at the 1 km depth, volume loss was $4 \times 10^6 \text{ m}^3$ in the first year and it was $1.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ in the second year. These values indicate that annual mean energy releases are 12 MW and 6 MW for each year. On Dec. 7, 2002, estimated energy release by the method of "Plume rise", which was observed at intervals of 1~3 seconds, is 2~60 MW. Both estimations of energy release show a good agreement each other.

I. は じ め に

2000 年に 20 世紀 4 回目の噴火活動(森・宇井, 2000)を行った有珠山(過去 3 回の活動は, 1910 年の北麓の四十三山(明治新山)生成活動, 1943~1945 年の東麓の昭和山生成活動および

1977~1982年の山頂部の有珠新山生成活動 (Fig. 1 参照) は、火山国日本でも数少ないデイスイトマグマの活火山であり、その活動は多数の有感地震を含む顕著な地震活動と数十mを超える大きな地殻変動を特徴としている。2000年の活動も同様の活動であり、最大 M 5.1 に達する活発な地震活動と、有珠山西麓の最大約 70 m に達する隆起域の形成であった。活動期の地殻変動については、多くの観測が実施 (森・宇井, 2000, 岡崎・他, 2002, 木俣・他, 2002, 小荒井・他, 2002, 須藤・他, 2002, 高橋・他, 2002, 広瀬・田近, 2002, 高木・他, 2002, 藤原・他, 2002) されている。

活動収束直後の地殻変動についても、いくつかの観測がなされているが (高木・他, 2002, 藤原・他, 2002), 本論文では、2000年活動の隆起域中心部での、活動収束後変動の GPS による連続観測の結果を示し、変動原因について考えてみる。

II. 観 測

2000年活動において、地殻変動量のもっとも大きかったのは、有珠山西麓の活動火口域中心部で、約 70 m に達する隆起を示した (森・宇井, 2000)。しかし、活動期終盤まで、現地への立ち入りが禁止されたため、活動期の変動の主要部分について、最新手法の GPS による高精度観測を行うことはできなかった。活動期終盤の 6 月下旬になって、ようやく規制が緩和され、GPS を使った高精度連続観測が行えるようになった。観測点配置を、Fig. 1 に示す。GPS 観測点は黒丸で示してある。

北海道大学有珠火山観測所では、6 月下旬から、NC 火口南の NIS 点でトリンプル社製の GPS 受信機 MS 750 を使って RTKGPS 連続観測を開始した (Fig. 1)。RTKGPS では、基準点に対する毎秒の 3 次元的位置が観測されるが、スタティック GPS 測量に比べて精度は低く、水平位置で ± 2 cm 程度、高さについては ± 5 cm 程度である。RTKGPS 装置については、木俣・他 (2002) に詳述してある。その後 2002

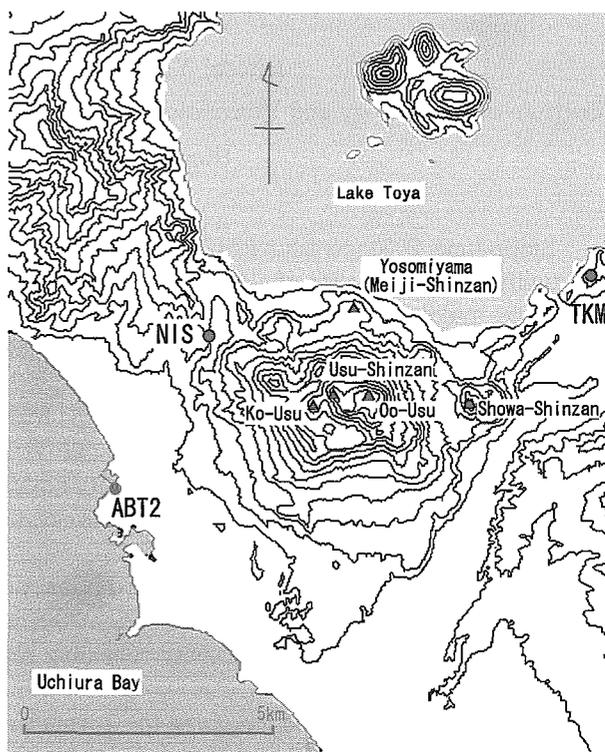


Fig. 1. Location map of observation points and some peaks of Mt. Usu. Closed circles indicate GPS points. NIS and ABT2 are RTKGPS points. Static GPS observations are carried out at NIS and TKM. ABT2 and TKM are reference sites for each GPS observation. Solid triangles are some peaks of Mt. Usu. Three new mountains (Yosomiya was born in the 1910 activity, Showa-Shinzan upheaved in the 1943–1945 activity and Usu-Shinzan uplifted in the 1977–1982 activity) have come out during the former three activities in the twentieth century.

年3月からは、Leica製R500受信機を用いたスタティックGPS観測に切り替えて、観測を続けている。スタティックGPS観測は6時間毎のセッションに切り分けて計算しているが、精度は水平方向で $\pm 7 \sim 8$ mm、上下方向で ± 1 cm程度である。RTKGPS観測の基準点は、Fig. 1に示したABT2点で、スタティックGPS観測の基準点はTKM点である。ABT点は、TKM点に対して、2000年5月から2002年6月までの間に約2 cm沈降しているが、NIS点の沈降は同期間それに比べて20倍以上大きいので、特に補正は行っていない。

2003年春までの観測結果を日平均値でFig. 2に示す。この図からわかるように、2000年活動の隆起域中心部では、2000年7月末まで、隆起活動が続いたが、2000年8月前半の停止期をはさんで、8月後半からは、一貫して沈降を続けている。沈降率は、初期の年率約50 cmから徐々に減少し、2003年春には年率15 cm程度にまで低下している。また、2001年の8月に明瞭な折れ曲がりが見られる。折れ曲がりの時期は、金毘羅山西麓のKB火口で続いていた、ごく小規模の爆発の停止した時期とよく対応している。すなわち、KB火口からの噴気活動が不連続的に大きく減少した時期と符合している。

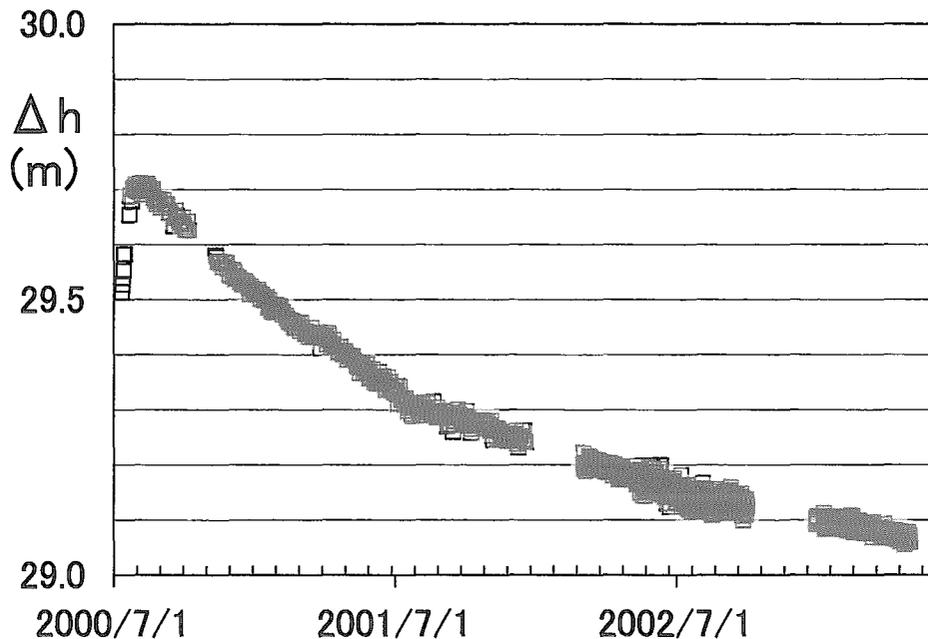


Fig. 2. Elevation changes detected by GPS observations at NIS which is located at the southern edge of NC crater opened in the central part of local uplift area at the western foot of Mt. Usu. Uplift at NIS was continuing until the end of July 2000. After the two weeks stable state, the subsidence is continuing. The amount of the subsidence in the first year after the 2000 activity is about 41cm and that in the second year is about 15cm. There is a remarkable change of subsiding rate in August, 2001. Around that time small ash explosion stopped at KB crater located at the northwestern foot of Mt. Usu.

上述したような、活動終息後の活動域における沈降は、以前の活動でも、沈降率の違いはあるが、認められていた現象である。実際に、活動終息直後からの沈降率が比較できるのは、1977～1982年活動に限られるが、それ以前の活動域においても、今回の2000年活動以前の静穏期においては、20世紀の活動のそれぞれの活動中心に沈降中心を有するような沈降パターンが認められており（森・鈴木、1998）、活動終息後の沈降は有珠山の特性と考えられる。

III. 議 論

2000年活動終息直後のP点（隆起域中心部）の沈降率約50 cm/年は、1977～1982年活動終息直後の沈降率約10 cm/年と比べて著しく大きい。2003年春の段階でも前回の活動終息後の同時期の約2倍の沈降率を示しており、1977～1982年活動終息直後の沈降とは、異なるメカニズムによるものと思われる。また、1977～1982年活動終息後の沈降率が、2000年噴火直前でも約8 cm/年とあまり変化していないのに対し、2000年活動終息後の沈降は3年経たない間に、沈降率が1/3程度にまで低下していることも、この2回の活動終息後の沈降が、異なったメカニズムによるものと考えらるべきであることを示唆している。

それでは、沈降の原因としてどのようなものが考えられるであろうか。活動終息後の火山で、沈降を説明するのに一般的に考えられるのは、貫入したマグマのドレインバックであるが、今回の現象は数ヶ月以上の長期に渡って定常的に持続しており採用し難い。有珠山の岩質がデイサイトで、貫入マグマが塊に近い形状であることが予想されることからドレインバックで説明することは困難である。また、貫入マグマが下からの押し上げる力を失って重力的不安定で沈降するとしたら、現時点で、過去の活動域に認められている長期継続的な年率8 cm以下の沈降を説明するには適当かもしれないが、2000年活動域の沈降の年率15～50 cmは、沈降率およびその変化が大きすぎ、説明できない。

本論文では、地下浅部に貫入したマグマ本体の体積変化で説明を試みる。近似として、NC火口南のNIS点の沈降を最大値と考え観測点直下に球状圧力源をおいて、その体積変化量を弾性変形で考えると、圧力源の中心が地下1 kmの場合、最初の1年間で $4 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、次の1年間で、 $1.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ の体積減少が必要となる。同様の仮定で、圧力源の中心の深さを500 mと1.5 kmについても計算した。体積減少量はそれぞれ、最初の1年間で $5 \times 10^5 \text{ m}^3$ 、 $1.4 \times 10^7 \text{ m}^3$ 、次の1年間で、 $2.3 \times 10^5 \text{ m}^3$ 、 $6.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ となった。

この体積減少を岩体の熱収縮で説明するには、隆起域への貫入マグマの量を隆起体積（ $3 \times 10^7 \text{ m}^3$ ）とほぼ同じあるいはその数倍程度までと考えると、岩石の線膨張率がおよそ $10^{-5}/\text{C}$ 以下であるから、地表に露出していないマグマの温度を、最も体積減少量の少ない場合でも年率で 100°C 以上も低下させ続けなければならず、露出している昭和火山が噴火後50年以上たっても約 450°C 余の最高温度を保持していることから、ありえることではないと考えられ、熱収縮を沈降メカニズムとは考え難い。

一方、NC火口南のNIS点の沈降が、KB火口の微小水蒸気爆発停止と対応して、折れ曲がっ

ているように見えることは、2000年活動の火口からのエネルギー放出量の変化と、2000年活動終息後の沈降が何らかのつながりを持つことを示唆している。

これを、考慮して、2000年活動終息後の沈降を説明する前述の体積減少量を、Fig. 3に示すようにマグマ中の気泡の消失、すなわち水蒸気の放出で考える。NIS点か2000年活動域の中心部に位置しているため、圧力源がNIS点の直下にあるとして、沈降量に見合う体積減少量を半無限媒質中の球状圧力源による弾性変形モデル（いわゆる茂木モデル）で、深さ500m、1km及び1.5kmの場合について見積もった。その結果をTable 1にまとめて示す。また、体積減少に見合う1000℃の過熱水蒸気の気泡がマグマから抜けて噴気の放出エネルギーがまかなわれているとして、地盤の密度を2000kg/m³として圧力を見積もり、放出エネルギー量を計算して同じくTable

Table 1. Results of model calculations. Assuming the pressure source is located just beneath NIS and using Mogi's model method.

Volume decrease after the activity in the main activity region calculated with pressure source model in the elastic half space	depth of the center of the pressure source	Total energy release calculated with degassing volume (assuming $T_{\text{gas}} = 1000^{\circ}\text{C}$)*	Estimated energy release rate
~ $7.3 \times 10^5 \text{m}^3/2\text{years}$ ($5 \times 10^5 \text{m}^3/\text{the 1st year}$) ($2.3 \times 10^5 \text{m}^3/\text{the 2nd year}$)	0.5km	$7.3 \times 10^{13} \text{W}$ ($5 \times 10^{13} \text{W}$) ($2.3 \times 10^{13} \text{W}$)	1.2MW/sec (1.6MW/sec) (0.7MW/sec)
~ $5.8 \times 10^6 \text{m}^3/2\text{years}$ ($4 \times 10^6 \text{m}^3/\text{the 1st year}$) ($1.8 \times 10^6 \text{m}^3/\text{the 2nd year}$)	1.0km	$5.8 \times 10^{14} \text{W}$ ($4 \times 10^{14} \text{W}$) ($1.8 \times 10^{14} \text{W}$)	9MW/sec (12MW/sec) (6MW/sec)
~ $2 \times 10^7 \text{m}^3/2\text{years}$ ($1.4 \times 10^7 \text{m}^3/\text{the 1st year}$) ($6.2 \times 10^6 \text{m}^3/\text{the 2nd year}$)	1.5km	$2 \times 10^{15} \text{W}$ ($1.4 \times 10^{15} \text{W}$) ($6.2 \times 10^{14} \text{W}$)	33MW/sec (43MW/sec) (19MW/sec)

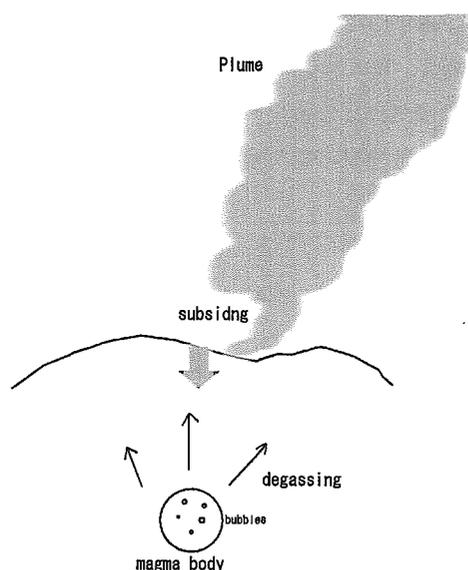


Fig. 3. A Schematic model for a subsiding mechanism at the most uplifted region after the 2000 activity. The subsidence is supposed to be due to the volume decrease of the intruded magma, that is caused by degassing from the magma body. Energy release estimated from this model show good agreement with that estimated by "Plume rise" method.

1に示した、深さ1 kmの圧力源の場合、最初の1年間には平均して12 MWの放熱が、次の1年間には平均して6 MWの放熱がなされたことになる。深さ500 m及び1.5 kmの場合については、それぞれ、最初の1年間は平均して1.6 MWと43 MWの放熱が、次の1年間では平均して0.7 MWと19 MWの放熱がなされたことになる。2000年活動域からのplumeによる放熱量の観測結果(森(私信))は、2002年12月の測定で、2~60 MWであり、観測方法の精度とplumeが1~3秒の間隔で気塊として追跡されることを考えると、深さ1~1.5 kmの結果とよく対応しているといえる。

IV. お わ り に

2000年活動域中心部の地殻変動のGPSによる連続観測の結果、活動終息後は、約2週間の停滞期間を挟んで、隆起から沈降へと変動方向が反転し、以降沈降を続けていることがあきらかになった。

活動終息後の沈降は、有珠山の特性であるが、2000年活動後の沈降量は、はじめの1年間で約41 cmと1977~1982年活動直後の1年間の沈降量約10 cmに比べてきわめて大きい。また、変動が局所的で、一貫して沈降を続けていることから、地下浅部に長期間持続する原因を考えなければならない。従って、マグマのドレインバックあるいは重力的沈降では説明できない。

2000年活動時に有珠山西麓浅部に貫入したマグマの体積変化によるものと考えるのが適当と思われる。体積変化をマグマの熱収縮で説明するには、年率100°C以上の急激な温度低下を必要とする。昭和新山のような露出をした岩体でも活動終息後50年以上たっても最高温度が450°Cを越えていることから、必要とされる100°C/年もの温度低下は考えられず、熱収縮では説明できない。

体積変化の原因として、貫入したマグマ中の気泡(過熱水蒸気)が抜けていくことを考えると、活動終息後の噴気活動の変遷ともよく対応しており、前回1977~1982年活動後と比べてきわめて大きな沈降率をも説明できることがわかった。この場合、貫入マグマは深さ1~1.5 km付近にあるとした場合に、マグマから抜けた過熱水蒸気により噴気による放出エネルギーがまかなわれると考えると、1~3秒の間隔で観測されるplumeによる放熱量の観測値と良く対応することがわかった。

謝辞 GPS連続観測では、北海道大学地震火山研究観測センター有珠火山観測所の大島弘光助教授、前川徳光技官にお世話になった、記してお礼申し上げます。また、スティック観測のデータは、有珠火山観測所のGPS連続観測点のデータを使用させていただいた、重ねて有珠火山観測所在勤のスタッフに感謝します。

文 献

岡崎紀俊・高橋浩晃・笠原稔・石丸総・森濟・北川貞之・藤原健治・中禮正明, 2002. 高密度GPS観測による2000

- 年有珠山噴火の地殻変動, 火山, **47**, 547-557.
- 木俣文昭・森濟・山本圭吾, 2002. RTKGPSによる有珠山地殻変動リアルタイムモニター(2000年4月15-30日), 火山, **47**, 167-170.
- 小荒井衛・長谷川裕之・飯田洋・松尾馨・渡辺信之・鈴木弘, 2002. 写真測量技術で面的に捉えた有珠山火山活動に伴う地表変動, 火山, **47**, 139-150.
- 須藤茂・渡辺和明・池田国昭・斉藤英二, 2002. 空中写真を用いた有珠火山西麓2000年火口周辺の山体変動解析, 火山, **47**, 131-137.
- 高木朗充・西村裕一・宮村淳一, 2002. セオドライト観測による2000年有珠山噴火後の地殻変動, 火山, **47**, 559-569.
- 高橋浩晃・岡崎紀俊・石丸総・森濟・松島健・渡辺篤志・三浦哲・中尾茂・加藤照之・木俣文昭・笠原稔, 2002. 2周波GPS受信機による2000年有珠山噴火前後の地殻変動観測, 火山, **47**, 161-166.
- 広瀬亘・田近淳, 2002. 有珠山2000年噴火における西麓の地表変形, 火山, **47**, 571-586.
- 藤原健治・田中圭介・北川貞之・瀧山弘明・松島功・内田直邦・中禮正明・徳永規一・増成友宏, 2002. 有珠山周辺に展開した準リアルタイムGPS観測システムについて, 火山, **47**, 695-698.
- 森濟・宇井忠英, 2000. 2000年有珠山噴火の地殻変動と噴火活動について, 自然災害科学, **19**, 383-390.
- 森濟・鈴木敦生, 1998. 有珠山の火山性地殻変動-最近20年間の活動の概要-, 北大地球物理研究報告, **61**, 275-285.