



Title	2000年有珠山噴火時の重力測定
Author(s)	小山, 順二; KOYAMA, Junji; 蓬田, 清 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 64, 81-90
Issue Date	2001-03-27
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.64.81">https://doi.org/10.14943/gbhu.64.81</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/14291">https://hdl.handle.net/2115/14291</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	64_p81-90.pdf



## 2000 年有珠山噴火時の重力測定

小山 順二・蓬田 清・森谷 武男

北海道大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

高田 真秀・一柳 昌義

北海道大学大学院理学研究科地震火山研究観測センター

古屋 正人

東京大学地震研究所

(2001年1月9日受理)

## Gravity Measurement during the Eruption of Volcano Usu, 2000

Junji KOYAMA, Kiyoshi YOMOGIDA, Takeo MORIYA

Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science

Hokkaido University

Masamitsu TAKADA, Masayoshi ICHIYANAGI

Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science

Hokkaido University

and

Masato FURUYA

Earthquake Research Institute, Tokyo University

(Received January 9, 2001)

We have conducted the gravity measurement during the last eruption of Volcano Usu, 2000. Parallel observation using two Sintrex gravimeters, CG-3 and CG-3M was made at 9 observation points surrounding the erupting crater of Volcano Usu from just before the eruption of March 31 to the end of June, 2000. We have repeated the observation and totally 76 gravity values were obtained. Instrumental drift and solid earth tide were collected for the original data, where the former was evaluated from the repeated measurement at IGSN71(Hokkaido University). Noise level of the observation was rather large, 40~300 $\mu$ gal because of strong air shocks and its shaking buildings in addition to wind and traffic noises. Showa Shinzan (SHO) observation point was quiet in noise and about 5 km away from the crater area. The data shows a gravity decrease as much as 40-50 $\mu$ gal in the period from March 31 and April 3. The same amount of decreases has been observed at some other points,

Soubetsu (SBT) and Zenkouji (ZNK), however their time intervals for the decreases seem to be much longer than two weeks. The temporal variation of the ground deformation by the GPS observation (Geographical Survey Institute and Geological Survey of Hokkaido) has been modeled and the ground deformation started at about 3 o'clock in the morning of March 29 and lasted until the eruption on March 31. The deformation continued as a relaxation with a time constant of 1.2 to 1.5 days. Short time duration at SHO is consistent with the deformation. Precise analysis revealed that those at SBT and ZNK harmonize with the same ground deformation, representing the gradual relaxation of the deformation process.

## I. はじめに

2000年3月31日午後1時有珠山は23年ぶりに噴火活動をはじめた(大島, 2000)。我々は3月27日に始まる地震活動, 特に29日から有感地震が急増したことに際し, 有珠山周辺での臨時地震観測(松原他, 2000; 森谷他, 2000)・強震動観測(吉田他, 2000)・広帯域地震観測(山本他, 2000)を独自に実施した。あわせて地震観測点周辺での重力の繰り返し測定を行った。ここでは, 重力観測の概要と測定結果, そして噴火活動との関連について報告する。

## II. 観測の概要

重力測定には, Sintrex 重力計 CG-3 と CG-3 M 型の2台を用い計測にあった。重力計のドリフト補正をできるだけ精確に知るために, 北海道大学理学部3号館にある重力基準点 IGSN 71 で, 測定に出かける前日夜, 出発直前, 測定終了後夜, その翌日, その他の日に計測を繰り返し行った。また, 現地伊達警察署入り口にも測定点を設けたが, ここは国道に近くあまりに雑音が大きいため, 参照することはなかった。現地野外測定は3月31日有珠山噴火直前から6月末までの間に, 主に地震観測点近傍を中心に入域規制・観測活動が許される範囲で暫時拡大した。最終的には, 伊達警察署, 昭和新山, 壮瞥温泉, 善光寺, 虻田高校, 月浦, 洞爺湖温泉中学, 母と子の家, サンパレスホテルの9点で繰り返し測定を計76回行った。Fig. 1に測定点を示す。伊達警察署を除くすべての測定点が今回噴火した火口からおおよそ5 km 以内の距離にある。

Table 1に重力観測の測定状況をまとめて示す。観測を開始した3月末はまだ雪が残り, 外は寒かった。5月の連休過ぎになると, 気温も上がり, 道路からの照り返しで, 重力計のドリフトが大きくなった。また, 噴火当初は, 交通規制が厳しく, 車の騒音は少なかったが, いったん噴火活動が落ちつくと, 今度は逆に復興のための車両が増え, 重力測定にはあまり良い環境ではなかった。さらに今回は, 通常重力測定に混入する雑音のほかに, 噴火に伴う立ち入り規制のために野外での測定が主であり, 噴火に伴う空震, それによる建物の大きな振動などが付け加わった。Sintrex 重力計は1秒ごとに120回繰り返し自動計測を行い, 測定結果の平均として, 重力値を出力する。それと同時に計測時の標準偏差も表示する。今回の計測の誤差は, 40~300  $\mu\text{gal}$  であった。各測定点でそれぞれの雑音の影響が大きい順に◎○△xで示す。車庫の中(昭和新山: SHO)と旅館の玄関先(善光寺: ZNK)での測定が, 温度変化やノイズが一番小さい。

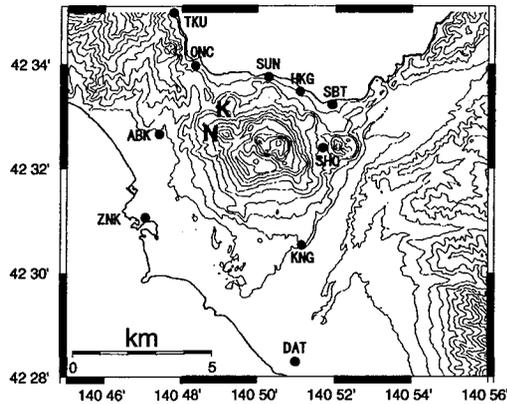


Fig. 1. Gravity observation points on the foot of Volcano Usu (solid circles). Capital K and N indicate the Konpira crater and the Nishiyama crater.

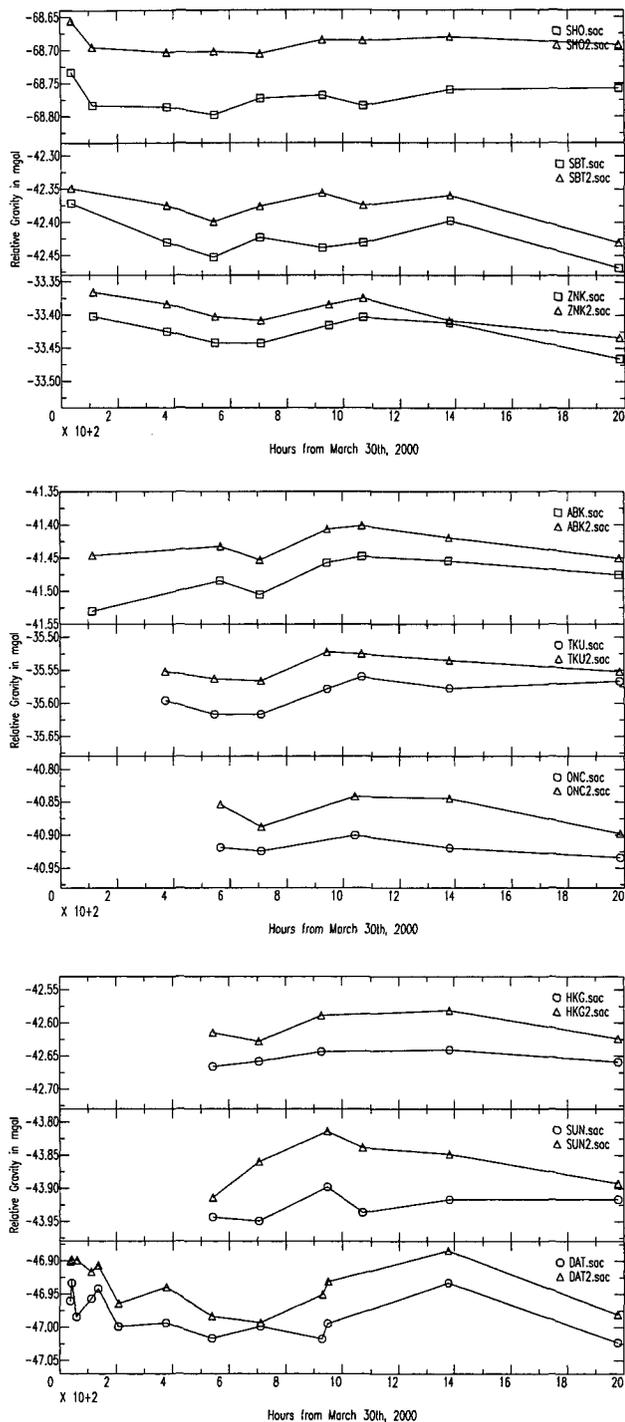
Table 1. Noise environment at each observation point.

Observation	Code	Artificial	Wind/Rain	Temperature	Air Shock
Date Police Station	DAT	◎	◎	◎	×
Showa Shinzan	SHO	×	×	×	×
Sobetsu Hot Spring	SBT	○	○	◎	×
Zenkouji	ZNK	×	×	×	×
Abuta High School	ABK	×	×	×	◎
Tsukiura	TKU	×	×	×	◎
Junior High School	ONC	×	×	△	◎
Haha to Ko	HKG	△	×	△	△
Sunpalace	SUN	×	×	×	◎

Noise level: ◎ Heavy effect, ○ Strong effect, △ Slight effect, × No effect

### III. 観測結果

ドリフトの補正は先に述べたように、固体潮汐の補正は中井 (1979) のプログラムに 2000 年問題対応の修正を行い計算した。以下、これら 2 つの補正を行った重力値を用いることにする。3 月 31 日噴火直前から測定を開始した昭和新山 (SHO) では、4 月 3 日の再測の間に 2 台の重力計共に 40-50  $\mu\text{gal}$  低下を示した。同じに測定を開始した壮瞥温泉 (SBT) では、4 月末まで減少が続き 50-60  $\mu\text{gal}$  減少した。4 月 3 日から測定をはじめた善光寺 (ZNK) でも、4 月末までに 50-60  $\mu\text{gal}$  程度減少しつづけた。噴火直後の計測がない月浦・温泉中学・虻田高校・母と子の家・サンパレス測定点でも、重力の減少傾向は 4 月末までである。5 月中の 3 回の測定ではすべての測定点で重力の増加傾向が見られた。昭和新山で 20  $\mu\text{gal}$  程度、他は約 50  $\mu\text{gal}$  程度である。すべての測定値を Fig. 2 にまとめて示す。



**Fig. 2.** Gravity variation at observation points, SHO, SBT, ZNK, ABK, TKU, ONC, HKG, SUN and DAT in Fig. 1. Different symbols at the same observation point indicate two different gravimeters which we have used. Horizontal axis indicates the time in hour from March 30, 2000.

#### IV. 有珠山噴火の時定数

今回の有珠山噴火に際しては、GPS（汎地球測位システム）による観測から有珠山周辺の地殻変動が準リアルタイムで知ることができた。噴火口に一番近い国土地理 GPS 連続観測点は、火口から 4 km ほど離れた虻田電子基準点である。この虻田基準点では、3 月 28 日まで目立った地殻変動は観測されていない (Fig. 3 a)。29 日になってから地殻変動は顕在化した。始めはわずかな伸び、そして急激な縮みに変わった。3 月 29 日朝から始まる急激な地殻変動は他機関の観測でも同じである。Fig. 3 b に虻田基準点と壮瞥基準点の基線長の一日当たり変化量を示す。変動は 2.125 日 (3 月 29.125 日) 頃から顕著になり、噴火後 4.5 日 (3 月 31.5 日) から急激に衰えている。観測値の時間分解能は 1/8 日であるから、上の時定数は  $\pm 2/8$  日の精度である。この結果は、Fig. 4 に示す虻田基準点と伊達基準点での観測結果とも一致している。したがって、この変動は今回の噴火に伴う地殻変動を示していることが言える。24 時間を 1 エポックとする GPS 観測から求まる変動も位相差があるが、同じ変動の傾向を示している。ただし、より噴火口に近い北海道立地下資源調査所の GPS 観測では、伸びの成分が卓越している。

神経回路網の理論 (甘利, 1978 ; Tuckwell, 1988) では、神経細胞の興奮・抑制を以下のようにその細胞膜電位  $V$  で表現している ;

$$\alpha \frac{\partial V(x, t)}{\partial t} = -V(x, t) + \int w(x-x') s(x', t) dx' - h(x, t) \quad (1)$$

ここで、 $\alpha$  は膜電位の緩和時定数、 $s$  は周辺からの入力刺激で、 $w$  はその結合係数、 $h$  は興奮・抑制反応を決めるしきい値である。今簡単のために、空間に固定した興奮性の刺激のみを考える。 $t=0$  から  $\tau$  まで  $s$  が一定で、 $h$  が無視できるくらい小さいとすれば、 $V(0)=0$  の初期条件で、

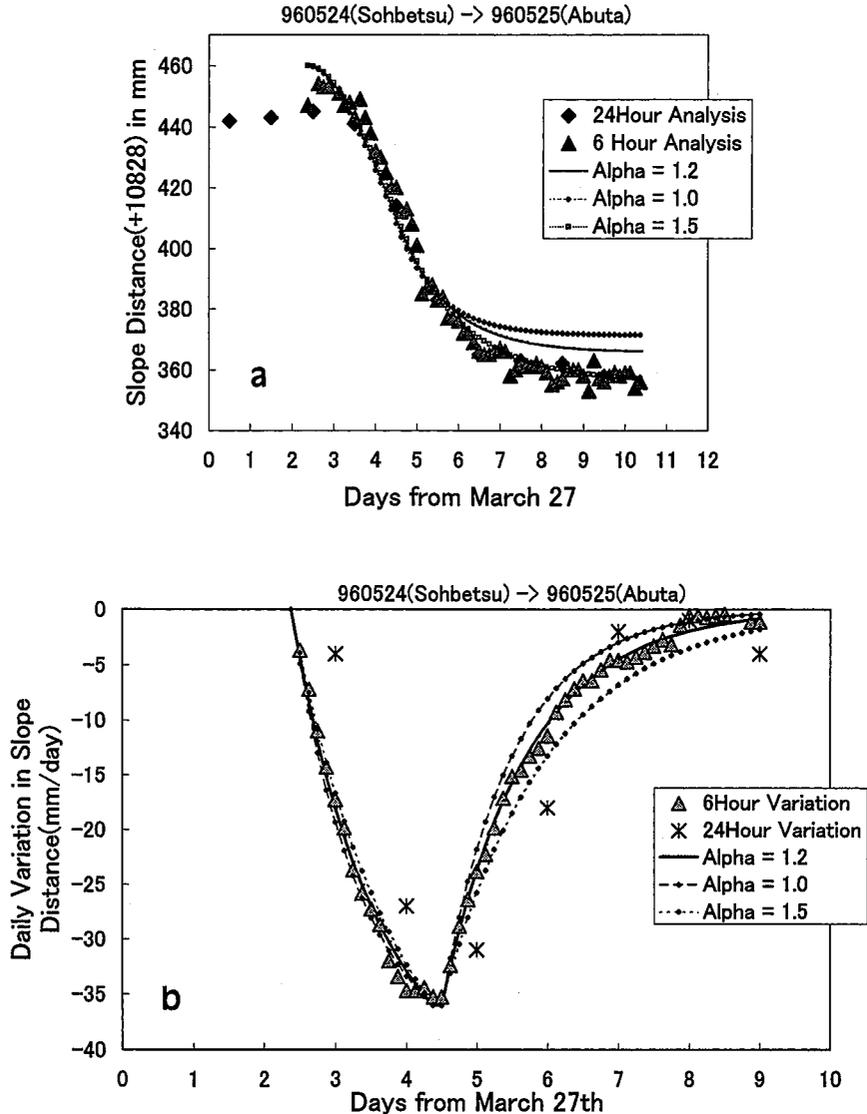
$$\begin{aligned} V(t) &= A(1 - \exp(-t/\alpha)) & 0 \leq t \leq \tau \\ &= A(1 - \exp(-\tau/\alpha)) \exp(-(t-\tau)/\alpha) & \tau \leq t \end{aligned} \quad (2)$$

となる。入力の強さに依存する  $A$ 、興奮性刺激の継続時間  $\tau$ 、減衰時定数  $\alpha$  で、このモデルは表現される。ここで考えている電位は単位電荷が場に持つエネルギーであるから、複数の電荷が存在すれば、加算である。Fig. 3 や Fig. 4 に示した地殻変動の時間変化の振る舞いをこのモデルで考えてみる。

Fig. 3 b から、噴火に伴う地殻変動が開始した時間とその継続時間が決まる。また、減衰の時定数  $\alpha$  が 1.0, 1.2, 1.5 の場合を (2) から計算して示した。(2) の積分値を同じパラメータで計算し、Fig. 3 a に描いた。虻田-壮瞥間の距離は約 11 km、虻田-伊達間は約 12 km で、少し違うが、まったく同じパラメータで (2) を計算し、Fig. 4 b に、また、積分値を Fig. 4 a に示した。いずれの場合でも、地殻変動の力源の継続時間が 3 月 29 日朝方 (1/8×24 時) から噴火する 31 日昼頃までの 2~2.5 日程度で、減衰の時定数が 1.2 ないし 1.5 日程度であったことがわかる。

Fig. 3 b や Fig. 4 b と同様の変動パターンが、西山火口から 2 km 弱の距離にある虻田泉観測

点（北海道立地下資源調査所）の観測結果にも見られる。この観測結果がもとで、ここでの解析を始めたのであるが、変動の継続時間が約 4.5 日，減衰の時定数が約 3.2 日程度に求まった。こ



**Fig. 3.** (a) Change in slope distance between 960524 (Sohbetsu) and 960525 (Abuta) GPS stations by Geographical Survey Institute. Reproduced from Geographical Survey Institute report presented at The 85th report of coordinating committee for prediction of volcanic eruption. Diamonds indicate the result obtained from one epoch data of 24 hours every day. Triangles indicate those of 6 hours at 8 times everyday. Decay constant of Alpha in eq.2 in the text is taken 1.2, 1.0 and 1.5 days.

(b) Daily variation in slope distance between 960524 and 960525.

れは、この虻田泉観測点が火口に非常に近く、山体全体の変動と火口直下の変動の違いを反映していると考えている。どの値を取っても、今回の噴火に伴う地殻変動の力源は高々数日の継続時間であったと推定される。

さて、このように短時間で終了したと思われる噴火に伴う地殻変動は、重力値にどのような変

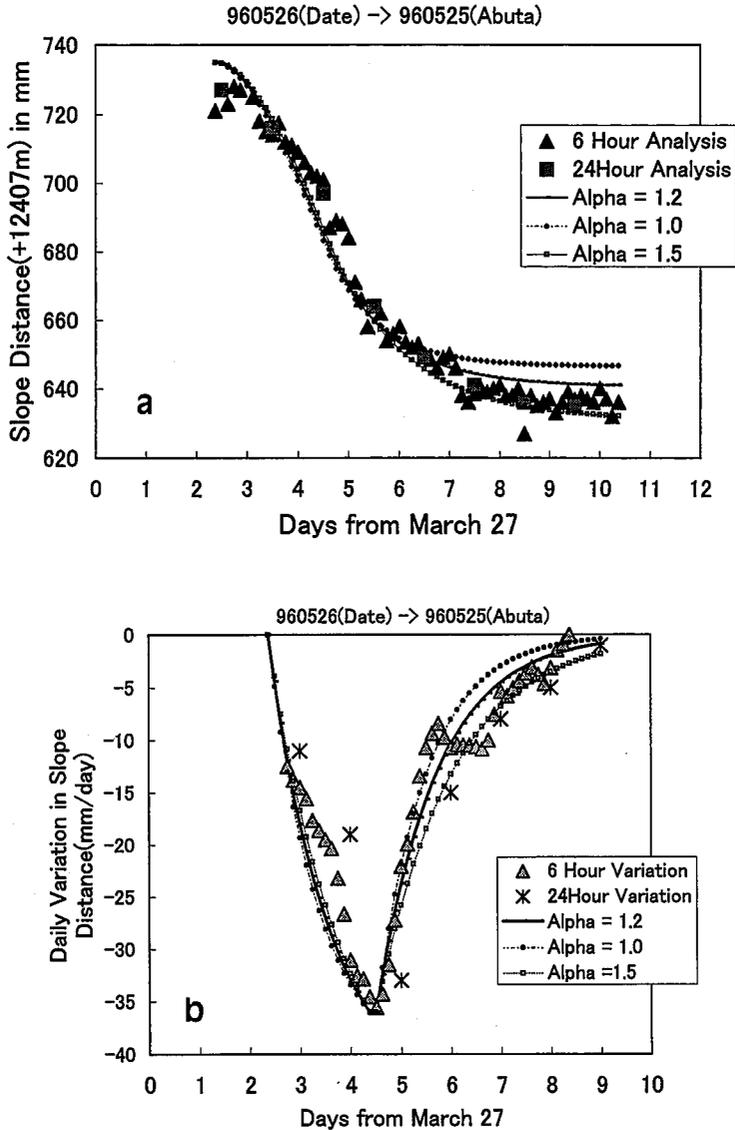


Fig. 4. (a) Change in slope distance between 960526 (Date) and 960525 (Abuta) GPS stations by Geographical Survey Institute. Reproduced from Geographical Survey Institute report presented at The 85th report of coordinating committee for prediction of volcanic eruption. Other symbols are so understood as those in Fig. 3.

(b) Daily variation in slope distance between 960526 and 960525.

化を与えるのであろうか。一番簡単に、マグマ貫入にともなう隆起を高度変化と考えると、フリーエア変化と物質移動のブーゲー変化で考えると

$$\delta g(t) = (-\beta + 2\pi G\rho) \delta h(t)$$

で表される(萩原, 1978)。ここでは重力の鉛直勾配  $3.086 \mu\text{gal}/\text{cm}$ 、 $\rho$  は貫入したマグマの密度で、有珠山で平均的な値  $2.67 \text{ g}/\text{cm}^3$  (大島, 1979) である。Fig. 5 に昭和神山 (SHO) での重力観測値と隆起から期待される重力変動の計算値を示す。ただし、ここでは北海道大学・京都大学・名古屋大学が噴火後に行った水準測量の結果 (第 85 回火山噴火予知連絡会資料) から、今回の噴火による高度変化は昭和神山周辺で 50 cm の隆起と仮定した。また、Fig. 6 には壮瞥 (SBT) での同様の結果を、Fig. 7 では善光寺 (ZNK) での結果を示す。それぞれ、水準測量から 30 cm と 10 cm の隆起量を採用した。重力変化の相対変動値が問題であるから、計算値には適当なゲタを与えているのではあるが、これらの結果から、噴火直後の重力変動の観測値と良く一致しているように見える。これは、1) 今回の噴火に伴う地殻変動が 3 月 29 日未明に顕在化し、3 月 31 日の噴火時にはだいたい終了し、その後は余効変動として活動を続けたと考えられること、2) 山体全体の隆起量によって重力変動がおおよそ説明されること、さらに、3) 水準測量の隆起量が今回の噴火によるものであることがわかる。

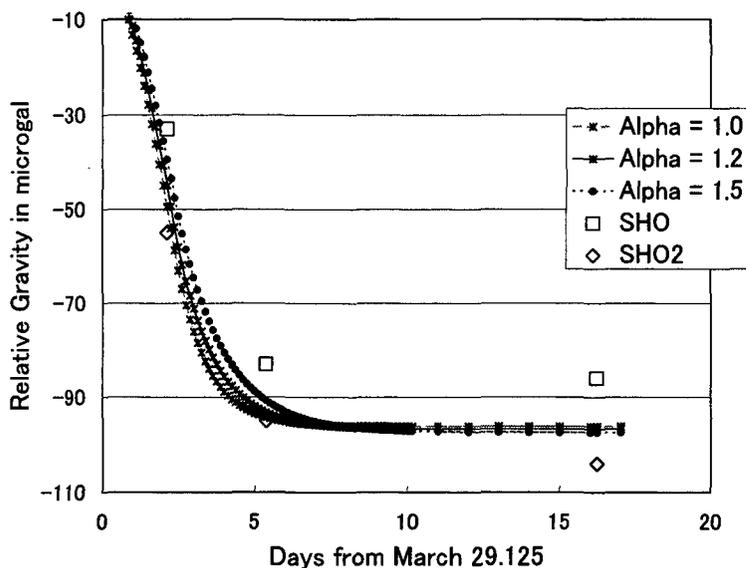


Fig. 5. Relative gravity variation at SHO (Showashinzan). Gravity changes due to uplift of mountain body are also calculated from the results in Figs. 3 and 4.

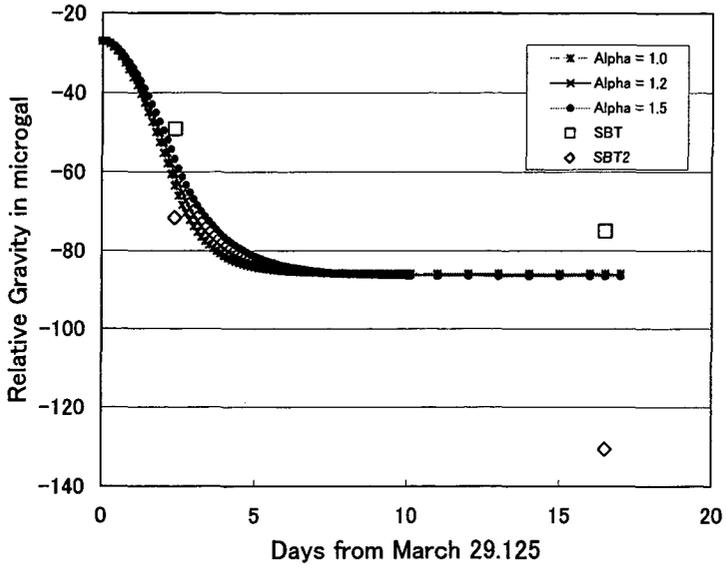


Fig. 6. Relative gravity variation at SBT (Sohbetsu). Gravity changes due to uplift of mountain body are also calculated from the results in Figs. 3 and 4.

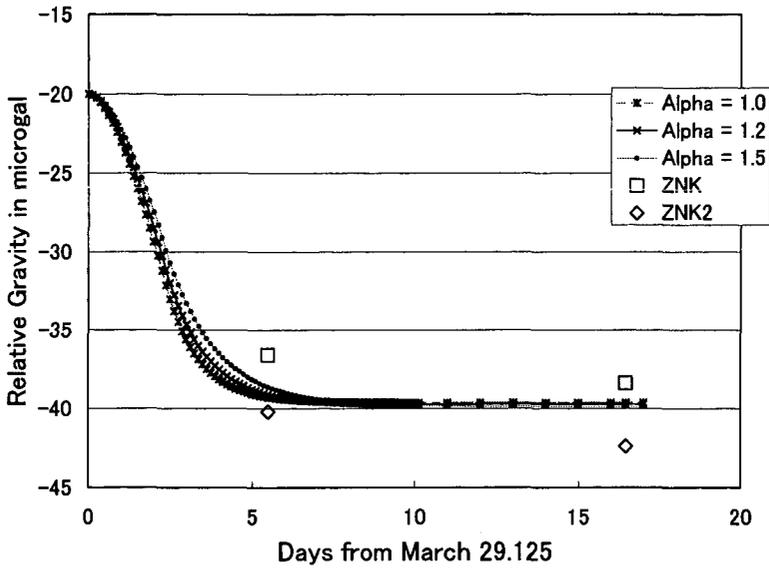


Fig. 7. Relative gravity variation at ZNK (Zenkouji). Gravity changes due to uplift of mountain body are also calculated from the results in Figs. 3 and 4.

## V. ま と め

- 1) 2000年3月有珠山噴火に際し、噴火前から相対重力の繰り返し観測を有珠山を取り巻く9測定点で計76回行った。
- 2) 空震などでノイズレベルが高かったが、噴火に伴う重力時間変化がとらえられた。
- 3) 神経回路網の簡単な理論から、噴火に伴う地殻変動のモデル(変動の継続時間、緩和の時定数)を考えた。
- 4) 国土地理院、北海道大学、北海道立地下資源調査所などが行ったGPS観測から推定される噴火による地殻変動の継続時間は3月29日に始まり、3月31日の噴火で終わる高々2.5日程度であった。
- 5) 広域の地殻変動は噴火直後から約1.2ないし1.5日程度の時定数で緩和し始め、再び活性化することはなかった。噴火後の地殻変動はこの緩和過程を反映していると考えられる。
- 6) 西山噴火口のごく近傍での地殻変動は、変動の継続時間も緩和の時定数も長い。
- 7) このモデルと水準測量の結果を用いて計算される隆起に伴う重力の時間変化は、計測された重力の変化と整合的である。
- 8) GPS連続観測や重力の連続観測、また水準測量の結果を総合的に考えることの有為性が示されたと考える。
- 9) 今回行った重力の繰り返し測定は、測定の間隔が長すぎ、噴火に伴う地殻変動の詳細な時間変化を明らかにするにはいたらなかった。

**謝辞** 本研究に使用した重力計を貸与していただいた北海道大学笠原稔教授と山本明彦助手に感謝いたします。また、本研究は、東京大学地震研究所一般共同研究の支弁を一部受けました。

## 文 献

- 甘利俊一, 1978, 神経回路網の数理, 産業図書, 東京, pp. 7-56.
- 萩原幸男, 1978, 地球重力論, 共立全書, 東京, pp. 186-205.
- 松原わかな, 蓬田清, 笠原稔, 一柳昌義, 2000, 2000年有珠山噴火活動に伴って発生した低周波地震, 日本地震学会講演予稿集2000年秋季大会, P 072.
- 森谷武男, ローマンテイセイヤー, 松原わかな, 2000, 回転成分地震計による有珠火山地震の観測, 日本地震学会講演予稿集2000年秋季大会, C 78.
- 中井新二, 1979, 実用的な起潮力計算プログラム, 緯度観測彙報, 18, 124-135.
- 大島弘光, 1979, 火山活動に伴う重力変化-有珠山と桜島の場合, 北海道大学理学研究科修士論文, 1-79.
- 大島弘光, 2000, 2000年有珠山噴火に伴う地震活動, 日本地震学会ニュースレター, 12, 23-24.
- Tuckwell, H.C., 1988, *Introduction to theoretical neurobiology: Volume 1 Linear cable theory and dendritic structure*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 85-233.
- 山本希・川勝均・蓬田清・森谷武男・小山順二, 2000, 有珠火山での広帯域地震観測, 日本地震学会ニュースレター, 12, 24-26.
- 吉田邦一, 笹谷努, 大島弘光, 一柳昌義, 田村慎, 2000, 2000年有珠山噴火活動時に観測された強震動記録, 北海道大学地球物理学研究報告, 64, 195-214.