

# 有珠火山2000年噴火のセオドライト観測による山体変動解析\*

Ground deformation analysis by theodolite monitoring during the Usu 2000 eruption

産業技術総合研究所地質調査総合センター\*\*

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\*\*\*

Geological Survey of Japan, AIST

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

## 1. はじめに

西南北海道の有珠火山は2000年3月31日13時7分に西側山麓で噴火を開始した。産業技術総合研究所地質調査総合センター（当時の地質調査所）は、4月5日から洞爺湖東岸の洞爺水力発電所前の高台から有珠火山北麓の12点の目標点を定めて観測を開始した。また、4月13日から有珠火山南西の虻田歴史公園の定点からも北海道大学と共同でセオドライトを使って西麓、南西麓の山体変動の観測を開始した<sup>1)2)</sup>。

## 2. 北麓の観測

4月3日以降は、北麓への立ち入りが禁止された。このため、遠方からでも反射ミラーなどの設置なしに変位量を計測できるセオドライトによる観測を4月5日から実施した。北方へのせり出しをみかけ上の水平変位として精度よく測定するため、観測地点は北麓全体を見渡すことができる洞爺湖東岸の洞爺水力発電所のある高台（第1図N1）とした。目標点は、杜警温泉地区、洞爺湖温泉地区、中島にある各建物の1部分の合計12ヶ所とした（第1図）。目標点までの距離は、6050m～9480mであった。基準点は、今回の噴火による変動の影響が少ないと考えられる洞爺湖北西壁の中央付近の高台にある建物の1部分とした。

使用したセオドライトは、カールツァイス社THEO 010Aである。機器の最小読み取り角度は、水平角・鉛直角とも1秒である。読み取り誤差は、かげろうや湖面と大気との温度差などの条件が良い場合で±3秒。条件が悪い場合で±5秒であった。したがって、今回の計測の場合、目標点までの距離をかけると、誤差は±3cm～±23cmとなる。

4月上旬と中旬は悪天候や霧などの条件の悪い日を除いて1日1回～2回、4月下旬からは1週間～2週間に1回、7月中旬以降は1ヶ月に1回～2回のペースで計測を行った。

## 3. 北麓の山体変動

代表的な目標点2（有珠火山観測所）、目標点6（洞爺湖温泉街のホテル）、目標点7（洞爺湖温泉中学校）の測定結果を第2図に示す。最も変動量の大きかった目標点7では、4月5日～6日の観測で1日約50cmの北側への水平変動が観測された。その後は、4月24日までは1日5cm～20cmの北側への水平変動が見られた。4月25日以降は水平変動がセオドライトでは観測されなくなった。結果的に、4月5日から4月24日までの間に目標点7は約1.6m北側へ水平移動したことが明らかになった。一方、鉛直方向の移動は、誤差範囲内の測定値の変動のみが観測された。

目標点6では、4月5日～6日の観測で1日約40cmの北側への変動が観測された。その後は1日5～15cmの水平変動となり、4月10日以降は1日2cm以下の水平変動となった。4月25日以降は水平変動がセオドライトでは観測されなくなった。結果的に、4月5日から4月24日までの間に目標点6は約1m北側へ水平移動したことが明らかになった。一方、鉛直方向の移動は、誤差の範囲内の変動のみであった。

比較的変動の小さかった目標点2は、4月5日～6日の間に1日約30cm北側に移動した。しかし、その後は、ほ

\* Received 4 Sep., 2001

宝田晋治\*\*・西村裕一\*\*\*・羽坂俊一\*\*・高橋裕平\*\*・中川 充\*\*・斎藤英二\*\*・渡辺和明\*\*

Shinji Takarada, Yuichi Nishimura, Toshikazu Hasaka, Yuhei Takahashi, Mitsuru Nakagawa, Eiji Saito and Kazuaki Watanabe

は水平方向の変動はセオドライトでは観測されなくなった。結果的に目標点2は北側へ30cm～40cm移動したことが明らかになった。鉛直方向の変動はほとんど観測されなかった。

目標点2、6、7以外の観測点での変動は、目標点2や目標点6とほぼ同じ傾向を示した。

以上の観測結果をまとめる。有珠火山北麓の山体変動は、4月6日までの間は、北麓のほぼ全域で北側へせり出すような変動がみられた。その後4月10日ごろから水平変動は洞爺湖温泉街周辺に限られるようになった。4月25日以降は、洞爺湖温泉街の観測地域周辺の水平変動がセオドライトでは観測されなくなった。この観測結果は、空中写真の図化による解析で明らかになった、山体の変動の中心がK-A、K-B火口（第1図）の南西の場所から次第に有珠山西麓のN-B、N-C火口南の正断層群の領域（第3図）に移動したという事実<sup>3)</sup>とも調和的である。

#### 4. 西麓の観測

有珠山の西麓では、4月上旬から中旬の間に、N-A火口の北西400mの国道230号線付近に、北西-南東方向にのびた顕著な地溝状の正断層群が見られるようになった（第3図の隆起中心の領域）。この領域は7月末の段階で約70～80m隆起し、最終的にこの領域にドーム状の地形を形成した。

4月・5月の段階では、火口群周辺の正断層群一帯は水蒸気爆発で非常に危険であったため、立ち入りが不可能な状況であった。このため、セオドライトよりも1桁精度が高い光波測距（EDM）用の反射用ミラーやGPSを火口周辺に設置できなかった。このため、4月・5月の段階では、反射用ミラーなどの設置なしに変動観測が可能なセオドライトによる観測が、隆起中心付近の変動を観測する重要な手段の一つであった。

4月13日から隆起中心域およびその周辺の変動を観測するため、虻田町の虻田漁港近くにある虻田歴史公園管理棟の前（K1）からセオドライト観測を開始した（第3図）。目標点①②は、地溝状正断層群の内部にある傾いた家の基礎の部分（①）と屋根の部分（②）である。目標点③④は、正断層群中央から西南西520mの地点にある「とうやこ幼稚園」西側二階の屋根の角（③）と東端の屋根の角（④）の部分である。目標点⑤は、虻田洞爺インターチェンジの南東450mにある高速道路の橋の角である。目標点⑥⑦は、目標点①②の建物が断層上にあるため、断層の変位によって次第に見えなくなった場合に備えての代替目標点であり、4月16日に追加した。目標点⑥は目標点①②の東にあるポール、目標点⑦は目標点①②の東にあるあずま屋の屋根の一部である。目標点⑧は高速道路周辺の動きを詳しく見るために4月20日に追加した。目標点⑧は虻田洞爺インターチェンジのループ内にある建物の一角である。基準点は虻田洞爺インターチェンジの西北西2.8kmの地点にある北海道電力虻田電力所の貯水タンクの一部とした。目標点までの距離は2150m～3300mであった（第3図）。セオドライトの機器は、4月～5月中旬までは、北麓と同じカールツァイスTHEO 010Aを使用した。5月下旬以降は、Nikon GF-202を使用した。Nikon GF-202の最小読み取り角度は、水平角、鉛直角とも2秒である。読み取り誤差は、かげろうや地面と大気の温度差などの大気の場合で±3秒、大気の場合が悪い場合で±5秒であった。したがって、西麓の計測の場合、目標点までの距離をかける、読み取り誤差は±3cm～±8cmとなる。

観測は、4月中は1日1回、5月中は平均2日に1回、6月中は平均3日に1回、7月・8月は平均1週間に1回、9月以降は平均1ヶ月に2回のペースで計測を行った。

#### 5. 西麓の山体変動

観測結果のグラフを第4図に示す。正断層群の内部にある目標点①②は、4月13日～14日の1日の間に鉛直方向に約95cm隆起した。その後、隆起速度は徐々に減少した。4月15日～17日の期間は平均50cm/日、4月18日～20日の期間は平均33cm/日、4月21日～25日は平均21cm/日、4月26日～6月10日は平均11cm/日、6月11日～24日は平均7cm/日、6月25日～7月19日は平均3cm/日の速度で隆起した。7月20日以降は変動量がセオドライトによる測定限界を越えたため、K1からみて目標点①②の隆起はほぼ停止したように見えた。最終的に4月13日から7月20日までの間に目標点①は約12m隆起し、目標点②は約10m隆起した。目標点①と目標点②の隆起量の差は、傾いている家全体が断層崖をまたいでいるため、次第に家全体の傾きが急になり、目標点②の屋根の部分が目標点①の基礎の部分に対して相対的に沈降したことが原因である。

水平変動については、目標点①②は4月13日～14日の1日の間にK1から見て約30cm西方に移動した。その後水平方向の変動速度は徐々に減少した。4月15日～20日の期間は平均5cm/日～20cm/日の速度で西方に移動した。4月21日～7月19日の期間は2cm/日～7cm/日の速度で西方に移動した。7月20日以降は水平変動量がセオドライトの観測限界を越えたため、K1から見てほぼ停止しているように見えた。最終的に目標点①②は、4月13日から7月19日の期間にK1から見て約3.3m西方に移動した。

隆起中心の正断層群から西南西520mにある目標点③④は、4月13日～20日の間に平均20cm/日の速度で隆起した。その後徐々に隆起速度は減少した。4月21日～28日の期間は平均7cm/日、4月29日～6月4日は平均3cm/日、6月5日～6月29日は平均5mm/日の速度で隆起した。6月30日以降は、隆起速度がセオドライトの観測限界を越えたため、K1から見てほぼ停止しているように見えた。目標点③は、4月13日～6月29日の間にK1から見て約3.2m隆起し、目標点④は3.9m隆起した。

水平変動については、目標点③④は4月13日～14日の1日で約30cm西方に移動した。その後西方への移動速度は徐々に減少した。4月15日～20日の間に平均15cm/日の速度で、4月21日～6月2日の期間には平均3～4cm/日の速度で、6月30日～7月27日の間は平均2～3mm/日の速度で西方移動した。7月28日以降は水平変動量がセオドライトの観測限界を越えたため、K1からみてほとんど西方移動がなくなったように見えた。最終的に目標点③④はK1から見て約3.4m西方に移動した。

4月16日から観測を開始した隆起中心に近い目標点⑥⑦は4月16日～19日の間に平均40cm/日～50cm/日の速度で隆起した。その後は徐々に隆起速度は減少した。4月20日～28日の期間には平均17cm/日、4月29日～6月29日には平均8cm/日、6月30日～7月27日には平均2cm/日の速度で隆起した。7月28日以降は隆起量が観測限界を越えたため、K1から見て目標点⑥⑦はほぼ停止したように見えた。最終的に6月16日～7月27日の間に目標点⑥はK1から見て約8.7m隆起し、目標点⑦はK1から見て約8.5m隆起した。

水平変動については、目標点⑥⑦は4月16日～19日の間に平均20cm/日および13cm/日の速度で西方に移動した。その後は徐々に移動速度は減少した。4月20日～28日の間には平均5cm/日および3cm/日の速度で西方に移動した。4月29日～6月29日の間は平均1.6cm/日および2.7cmの速度で西方に移動した。6月30日～7月27日の期間は平均4mm/日および6mm/日の速度で西方に移動した。7月28日以降は、観測限界を越えたため、K1から見て目標点⑥⑦はほぼ停止したように見えた。最終的には6月16日～7月27日の間に目標点⑥はK1から見て約1.2m西方移動し、目標点⑦はK1から見て約2.2m西方移動した。

道央道とインターチェンジにある目標点⑤と目標点⑧は、隆起中心からそれぞれ南西に1.1km、南南西に1.25km離れている。このため、測定期間内の鉛直方向および水平方向の変動はセオドライトではほとんど観測できなかった。

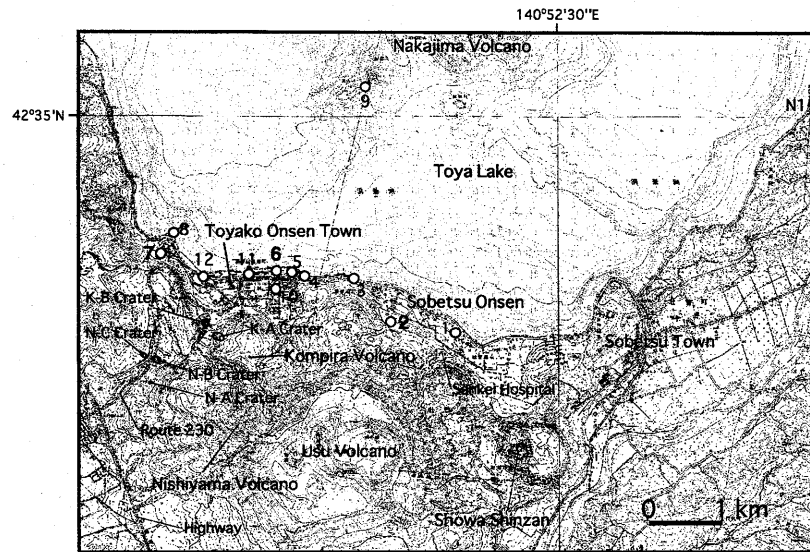
以上の観測結果をまとめる。隆起中心に近い目標点①②⑥⑦は、4月13日(16日)～7月下旬までの期間に約10m隆起し、K1からみて西方に約1m～3.5m移動した。一方、隆起中心から500m離れた目標点③④は4月13日から6月下旬までの期間に約3～4m隆起し、K1から見て西方に約3.5m移動した。変動速度は次第に減少した。変動は、目標点③④では6月下旬ではほぼ見られなくなったが、目標点①②⑥⑦では7月下旬まで継続した。このことは、地下浅所へのマグマの貫入深度が次第に浅くなり、隆起域が次第に局在化したことが原因の1つであると考えられる。

セオドライト観測で得られた観測データは、K1以外の観測点からのデータを加えて、各目標点の真の移動方向のベクトルを求めた結果、第3図で示した隆起中心の部分からほぼ放射方向に変動が見られることが明らかになった<sup>4)</sup>。この変動データは、正断層群の中心部の直下約250mに圧力源をおいた場合の茂木モデルでほぼ説明できる<sup>4)</sup>。

#### 参 考 文 献

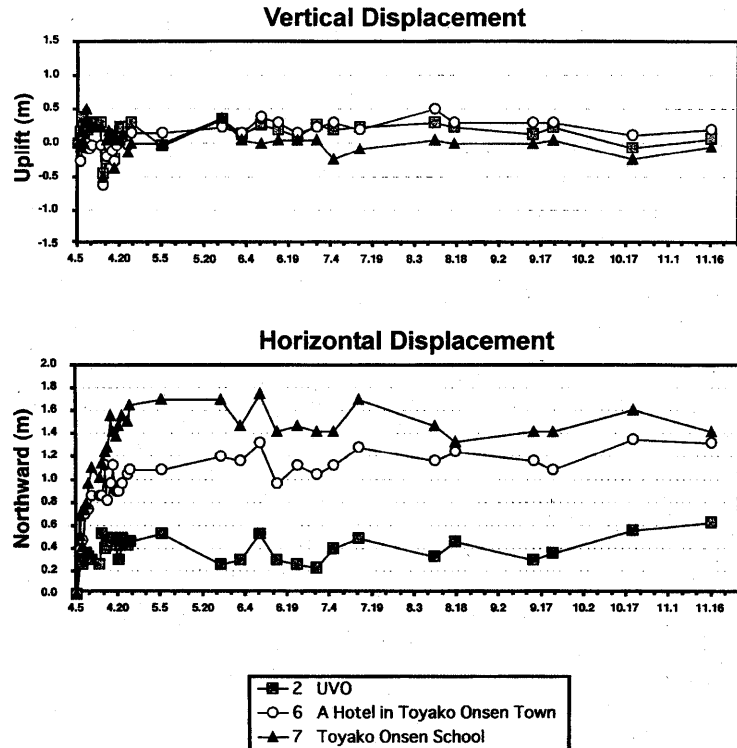
- 1) 羽坂俊一・西村裕一・宝田晋治・高橋裕平・中川 充・斎藤英二・渡辺和明・風早康平・川辺禎久・山本孝広・廣瀬 亘・吉本充宏(2001):有珠火山2000年噴火の山体変動ー北東山麓割れ目群の変位およびセオドライトによる北麓、西麓の観測結果ー,地調研報,52,155-166.
- 2) 宝田晋治・西村裕一・羽坂俊一・高橋裕平・中川 充・渡辺和明・斎藤英二・風早康平(2000):有珠火山2000年噴火の山体変動ーセオドライトによる北麓、西麓の変動観測ー,日本火山学会秋季大会講演予稿集,161.

- 3) 須藤 茂・渡邊和明・斎藤英二・池田国昭 (2000) : 空中写真による有珠火山西麓2000年火口周辺の山体変動解析, 日本火山学会秋季大会講演予稿集, 49.
- 4) 西村裕一・宝田晋治・斎藤英二・宇都浩三・風早康平・松島 健・高木朗充 (2000) : 有珠山2000年噴火に伴う西山麓の地殻変動, 日本火山学会秋季大会講演予稿集, 45.



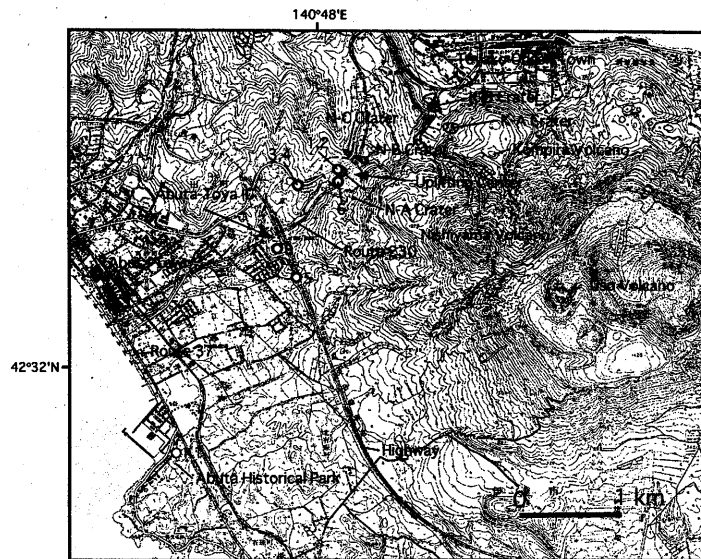
第1図 有珠火山北麓のセオドライト観測地点 (N1) と目標点 (1~12)。N-A、N-B、N-C火口は、4月上旬に西山西麓に形成された活発な噴火口である。K-A火口、K-B火口は4月上旬に金毘羅山北西斜面に形成された活発な噴火口である。地形図は、国土地理院発行の25,000分の1地形図「有珠火山とその周辺」(平成12年3月調整)を使用した。

Fig. 1 Observation site (N1) and targets (1-12) for theodolite monitoring at the northern foot of Usu Volcano. N-A, N-B and N-C craters are active craters formed at the western foot of Nishiyama Volcano in early April 2000. K-A and K-B craters are active eruption craters formed at the north-western foot of Kompirayama Volcano. A 1 : 25,000-scale Mt. Usu topographic map published by GSI on March 2000 was used.



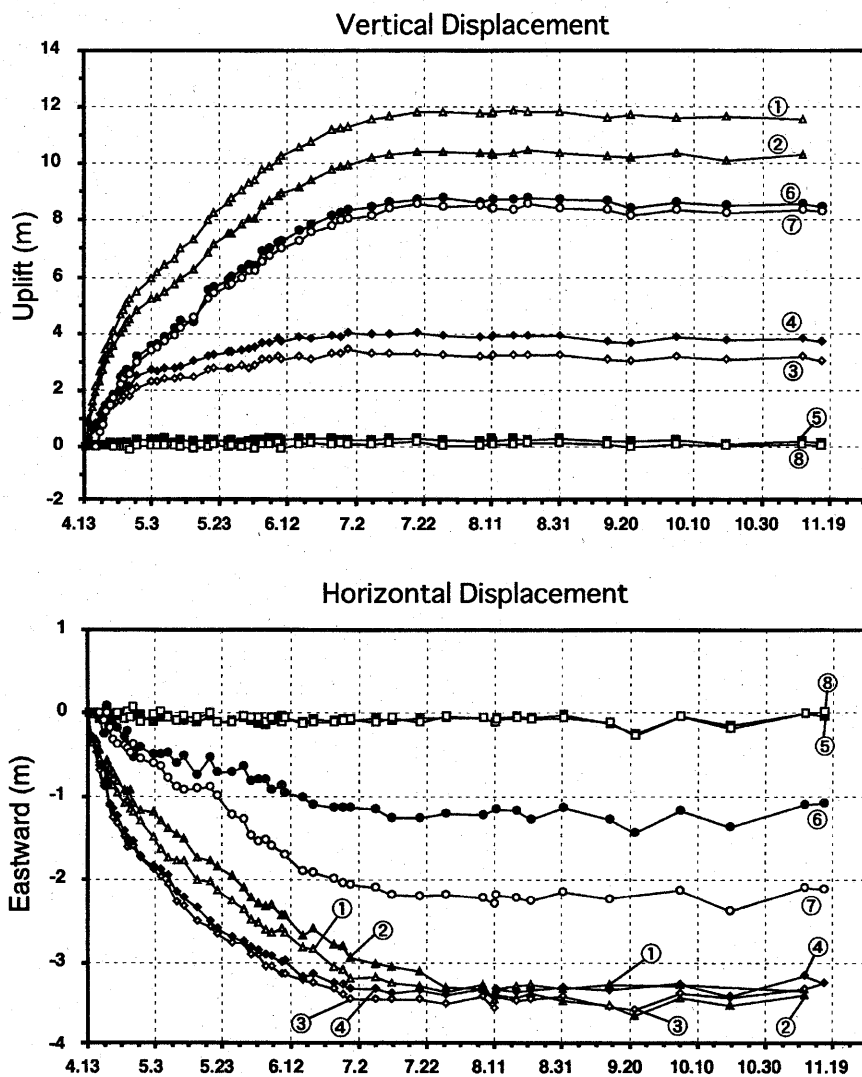
第2図 北麓のセオドライト観測結果(鉛直成分、水平成分)。鉛直成分は隆起方向を正、水平成分は東方向を正とした。横軸は日付を示す。2：有珠火山観測所、6：洞爺湖温泉街のホテル、7：洞爺湖温泉中学校。

Fig. 2 Results of theodolite monitoring at the northern foot of Usu Volcano (vertical displacement: uplift movement +, horizontal displacement: northward movement +, horizontal axis: date).



第3図 有珠火山西麓、南西麓のセオドライトの観測地点(K1)と目標点(1~8)。隆起中心では、地溝状の正断層群が発達した。N-A、N-B、N-C、K-A、K-B火口は4月上旬に形成された多数の火口群のうちの活発な噴火口を示す。地形図は、国土地理院発行の25,000分の1地形図「有珠火山とその周辺」(平成12年3月調整)を使用した。

Fig. 3 Observation site (K1) and targets (1-8) for theodolite monitoring at the western and southwestern foot of the Usu Volcano. Numerous graben-type normal faults were developed in the uplifting center. N-A, N-B, N-C, K-A, and K-B craters are active craters formed in early April 2000. A 1:25,000-scale Mt. Usu topographic map published by GSI on March 2000 was used.



第4図 西麓のセオドライト観測結果（鉛直成分および水平成分）。鉛直成分は隆起方向を正、水平成分は東方向を正とした。横軸は日付を示す。図中の番号は目標点の番号を示す。

Fig. 4 Results of theodolite monitoring at the western foot of Usu Volcano (vertical displacement : uplift movement +, horizontal displacement : eastward movement +, horizontal axis : date). Numbers in the graph indicate target points.