

有珠火山2000年噴火に伴う山体変動観測結果(速報)

斎藤英二¹ 西村裕一² 渡辺和明¹ 宝田晋治³
宇都浩三⁴ 風早康平⁵ 高橋裕平³ 羽坂俊一⁶

Eiji SAITO, Yuichi NISHIMURA, Kazuaki WATANABE, Shinji TAKARADA, Kozo UTO, Kohei KAZAHAYA, Yuhei TAKAHASHI and Toshikazu HASAKA(2001) Results of ground deformation monitoring for the Usu 2000 eruption (preliminary report). Bull. Geol. Surv. Japan, vol. 52 (4/5), p. 207 - 214, 8 figs. 1 table.

Abstract : Usu Volcano at the southwestern part of Hokkaido, Japan, started phreatomagmatic and phreatic eruptions at the northwestern and western flanks of the volcano from March 31, 2000. Significant crustal deformations with intensive earthquake swarms were observed from two days before the first eruption. Deformation rates were dramatically decreased after the first eruption. The continuous EDM measurements were started from April 12 to monitor the crustal deformations at the volcano. Two EDM instruments were installed at 3.4 km SSW and 3.3 km W from uplifting center. Nine mirror targets were installed along the western foot of the volcano. Measured data until the end of September are given in this report. All measured distances were shortened about 6 cm/day in maximum in the middle of April. The shorting rates were exponentially decreased before the movements were almost stopped until the end of July. Although, moving vectors of some mirror targets near the uplifting center were changed to opposite directions from the end of July.

要 旨

2000年3月31日に噴火を開始した有珠火山の火山活動推移予測のため、地殻変動の著しい西側山麓において、4月12日から自動光波測距システムを用いた斜距離変化に基づく地殻変動観測を開始した。測定開始初期の斜距離短縮速度は最大で約6cm/日であったが、周辺部から活動中心域に向かって狭まりつつ顕著に減衰し、7月末までにはほぼ停止した。その後、多くの測線で微小な伸張傾向に転じている。7月末までの変化は、概ね指数関数的である。今後の詳細な解析等に資するため、9月末までの日平均データを公表する。

1. はじめに

有珠火山は、北海道の南西部、洞爺湖畔の南側に位置する洞爺カルデラの後カルデラ火山であり、歴史時代の噴火は、すべて流紋岩～デイサイト質マグマで、明治以降の

噴火では、噴火活動時に顕著な地形変形が起こった(曾屋ほか, 1981)。2000年噴火においても、噴火前日の3月30日に有珠山の北山麓一帯で、側方への押し出しによる多数の割れ目が発見され、噴火後は、西山西麓火口周辺および北西～南西山麓において、隆起にともなう断層やプレッシャーリッジ、グラベンなどの顕著な地形変動が観察された(宝田ほか, 2000)。これらの現象は、地下浅所の膨張圧力源による作用であり、潜在ドームが形成された可能性が大きいと判断された(廣瀬・田近, 2000)。

有珠火山西麓の急激な地形変化を測定するため、4月3日に大学合同観測班によって、道央自動車道付近の複数地点に反射鏡が設置され、虻田町内の2ヶ所から、手動による繰り返し光波距離観測が始められた(西村ほか, 2000)。その後、安全上の観点から、活動域中心部から比較的広範囲の立ち入りが規制された。そのため、継続的観測の重要さならびに観測者の安全の確保、作業負担の軽減等のため、斜距離測定の前自動化が発案された。筆者らは、4月12日に虻田町内の2ヶ所に自動光波距離観測シス

¹ 地質調査情報部 (Geoinformation Division, GSJ)

² 北海道大学大学院理学研究科付属地震火山研究観測センター (Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University)

³ 北海道地質調査連携研究体 (Hokkaido Branch, GSJ)

⁴ 地球科学情報研究部門 (Institute of Geoscience, GSJ)

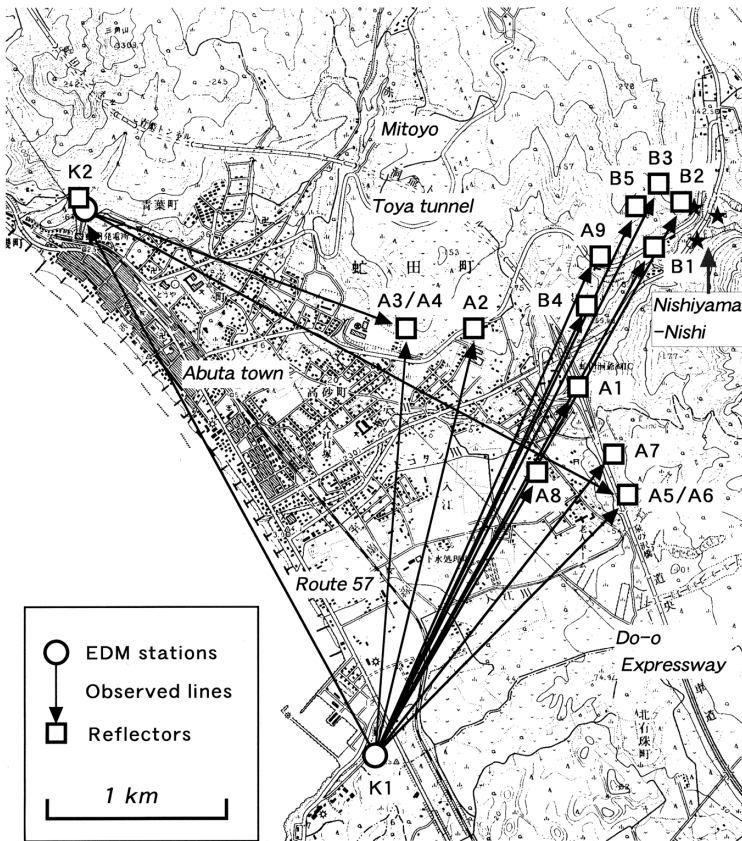
⁵ 深部地質環境研究センター

(Research Center for Deep Geological Environments, GSJ)

⁶ 北海道センター研究環境管理室

(AIST Hokkaido Research Environmental Management Office)

Keywords : Usu Volcano, Usu 2000 eruption, Ground deformation, EDM



第1図 光波測距網図. K1, K2は観測地点, A1 - A9, B1 - B5は反射鏡を設置した場所を示す.
Fig. 1 The EDM network. K1 and K2 are observation stations. A1 - A9 and B1 - B5 show reflection target sites.

テムを設置し、テレメトリー連続観測を開始した。

本報告では、観測開始から9月末までの観測データを公表し、地形の時間変化および特徴の概要を述べる。

2. 観測網と装置概要

第1図に有珠火山西麓の自動光波測距観測網を示す。K1およびK2は光波測距システムの設置位置、A1～A9およびB1～B5は反射鏡の設置位置をそれぞれあらわす。図中のA3/A4は、K1に向けた反射鏡がA3、K2用がA4という意味である。A5/A6についても同様である。A3とA4やA5とA6は、それぞれ数m～十数mしか離れていないので、以下では1箇所の反射点と解釈する。反射鏡はそれぞれA1～A8が4月上旬に、A9が6月初旬、およびB1～B5が6月下旬～7月上旬に相次いで設置された(西村ほか、2000)。

第2図は、K2点の外観とA7点の反射鏡の様子である。自動光波測距システムは、観測スケジュール、観測方向などの情報をあらかじめ設定したパソコン(PC)により、自動的に観測とデータ収集を行うようになっている。観測時刻や斜距離などのデータはPC内のハードディスクに記録され、公衆回線経由でつくばの地質調査総合センターに転送される。初期に設置したシステムは、通信機能が不安定であったため、6月13日から16日の間にライカ社のAPSシ

ステムに移した。これに伴って、光波測距儀も交換した。前半は、K1ではライカ社のTCA1100、K2ではSOKKIA社のRED2Lを使用した。RED2Lは、モーターが内蔵されていないため、自動測定はA3/A4の1方向とした。後半は、K1、K2ともにライカ社のDI3000SとTM1100を組み合わせで使用した。機種交換時の斜距離のずれは、変化のカーブが滑らかになるように調整した。K2からは、A3/A4とA5/A6の他に、A7、A8およびK1も測定するように設定したが、光路途中の樹木や葉の成長により視通が遮られたため、連続的な測定値は得られなかった。

データ収集は、前半のシステムでは、前述したように通信に問題があったため、定期的にフロッピーディスクにコピーして回収した。後半は、ダイヤルアップ接続のWeb方式を採用した。これにより公衆回線とそれに接続できるWWW閲覧環境があれば、何時、何処からでも変動の監視ができた。データはCSV形式のASCIIファイルとなっており、ダウンロードおよびその後の処理が容易であった。

3. 結果と変動の特徴

各測線の最初の測定値に対する斜距離変化を第3図に、また、9月末までの日平均値を第1表に示す。

初期に観測を開始したK1 - A1～K1 - A8の測線群の中では、4月12日から9月末までにK1 - A1の約720mmが最大の斜距離短縮であった。これらの測線群の顕著な変

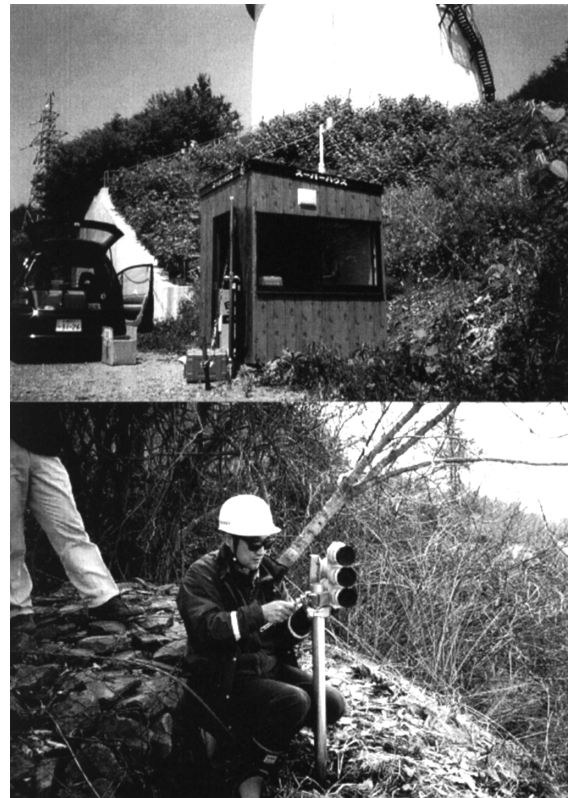
動は、6～7月頃にはほぼ停止した。観測途中で追加した、より活動中心に近いA9やB1～B3とK1との間の斜距離は、その時点でも最大30mm/日程度で短縮しており、K1-A9の斜距離は6月4日から9月末までに約740mm短縮した。

北海道大学と気象研究所が実施したGPS観測の結果によれば、K1,K2点のある国道57号線沿いでは、殆ど位置変動は起こっていない(北川ほか, 2000)。また、K1-K2間の斜距離測定結果も、顕著な変化は認められない(第3図)。したがって、K1,K2点は、観測期間中ほぼ不動であり、観測した斜距離変化は反射鏡点の位置変動によるものと考えて良い。

第4図は、各測線毎に、全データが正となるようにオフセットを与えた斜距離変化である。ただし、初期の斜距離変化が伸張を示したK1-B2とK1-B3は正負を反転して表現している。縦軸は対数目盛りであり、横軸の原点は4月1日午前0時である。この図から、1. 初期の変化は大局的には指数関数的に減衰していること、2. 変化の傾向が短縮(伸張)から伸長(短縮)へ反転する測線とそのような変化が現れない測線があること、3. 反転時期が測線毎に異なる場合があること、などが読み取れる。

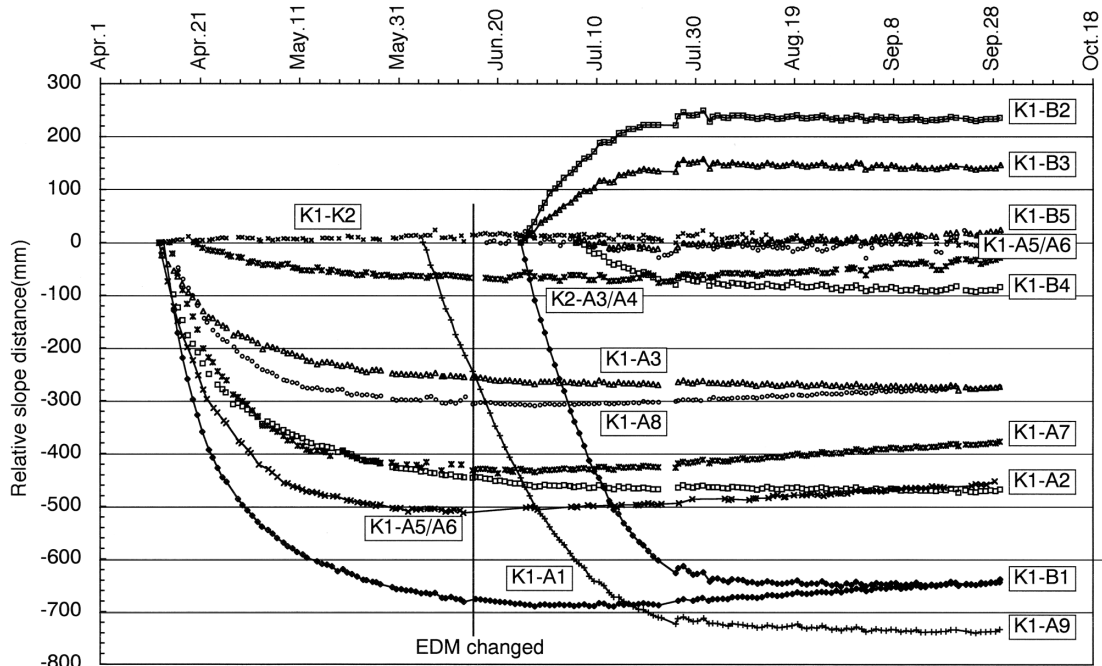
3.1 指数関数的減衰

詳細な検討は後の研究に譲るとして、ここでは一例のみを示すとどめる。第5図は、K1-A1の7月5日までの短縮速度の変化である。この間の短縮速度は累乗で近似される。



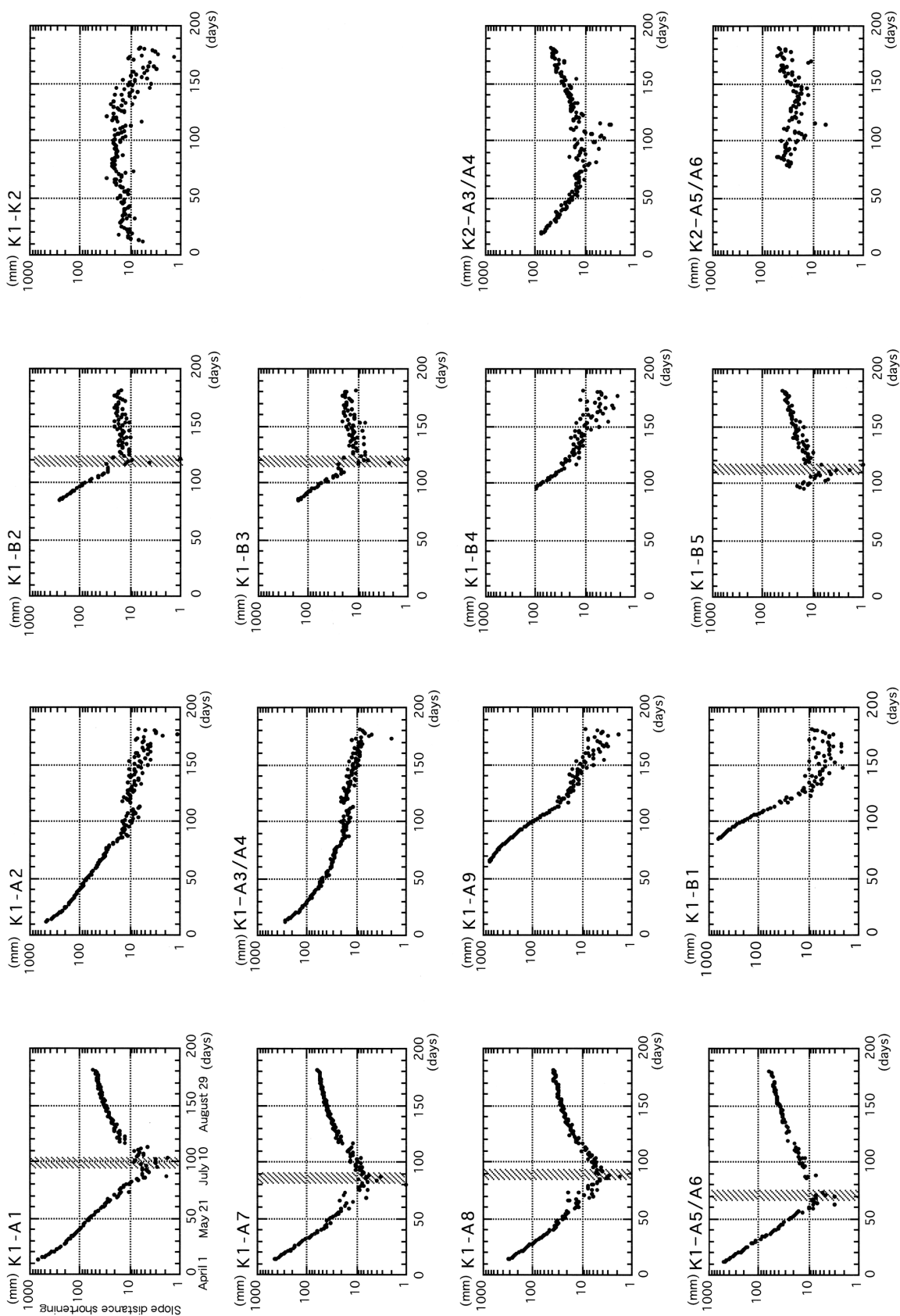
第2図 観測施設と反射鏡点。(上)K2観測点の外観と(下)A7反射鏡点。

Fig. 2 An EDM Station and a reflector point. Above: The EDM observation station at K2. Lower: A reflection target site at A7.



第3図 EDMの観測結果。観測地点(K1, K2)と反射鏡点(A1 - A9, B1 - B5)の相対距離変化。

Fig. 3 Results of the EDM measurements. Relative slope distance changes between observation stations (K1 and K2) and reflection targets (A1 - A9, B1 - B5).



第4図 各測線ごとの相対距離変化。縦軸はlogでプロットした相対距離、横軸は4月1日からの日数を示す。

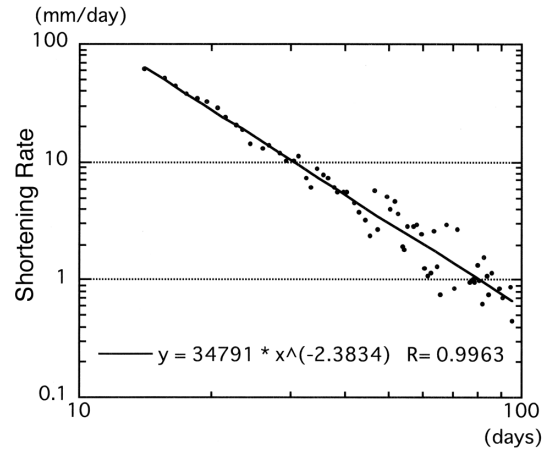
Fig. 4 Relative slope distance changes of all observation lines. The vertical axis in the graph is plotted by log scale. The horizontal axis shows days from April 1.

3.2 反転の有無と時期

反転の有無を基準にA,B,Cの3つに分類した. 明瞭な反転を示すAグループは, K1 - A1, K1 - A7, K1 - A8, K1 - A5/A6およびK2 - A3/A4である. これらほど明瞭ではないが反転,あるいは顕著な傾向の変化が現れたBグループは, K1 - B2, K1 - B3, K1 - B5およびK1 - K2である. 反転が見られないCグループは, K1 - A2, K1 - A3/A4, K1 - A9, K1 - B1およびK1 - B4である. K1からの測線に限って反射鏡点を囲むと第6図の網点のようになる. 反転が現れないCグループは, AとBの間に分布する.

K2 - A3/A4を除くAグループについて, 反転時期を求めた(第4図のハッチ). 反転はA5/A6, A7, A8, A1の順で, それぞれ6月7日, 6月23日, 7月1日, 7月7日頃と推定された. すなわち, K1 - A5の反転後, A5点より数百m活動中心に近いK1 - A1が反転するまでに1ヶ月の遅れがあったことになる. このことは, 活動中心に向かって変動の範囲が狭まる, 力学的な伝搬現象を示すものと考えられ, 興味深い. 反転後の伸張速度は, K1 - A8で0.4mm/日, それ以外は約0.6mm/日と, ほぼ一定である.

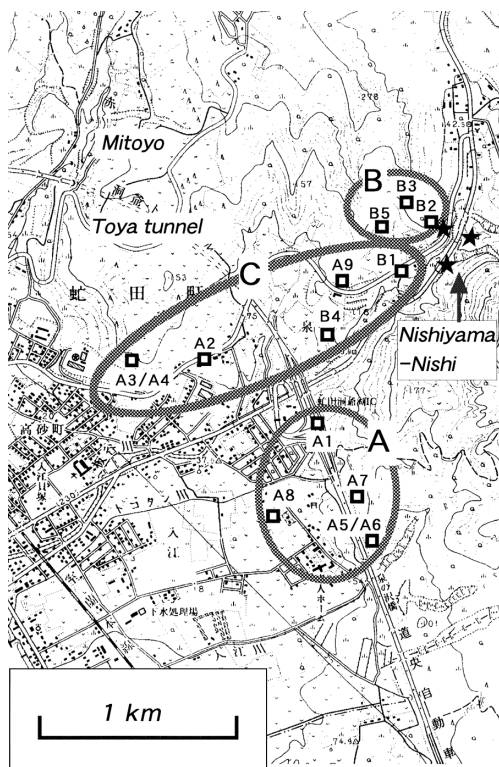
一方, 反転のないCグループについて, 一例を示す. A3/A4については, K1とK2の2方向からの変化量が得られており, 第7図のようなベクトルが求められた. 距離計算にあたっては, 測線の仰角は3°以下であったので, 斜距離変化が水平距離変化と等しいものと仮定した. 測定初期の変位はS43°W方向で変位速度も大きい, 7月20日頃までに急速に減速した. その後, S20°E方向に明瞭に向きを変えている. A3/A4から見て西山西麓の隆起活動中心域



第5図 K1 - A1測線の短縮速度.

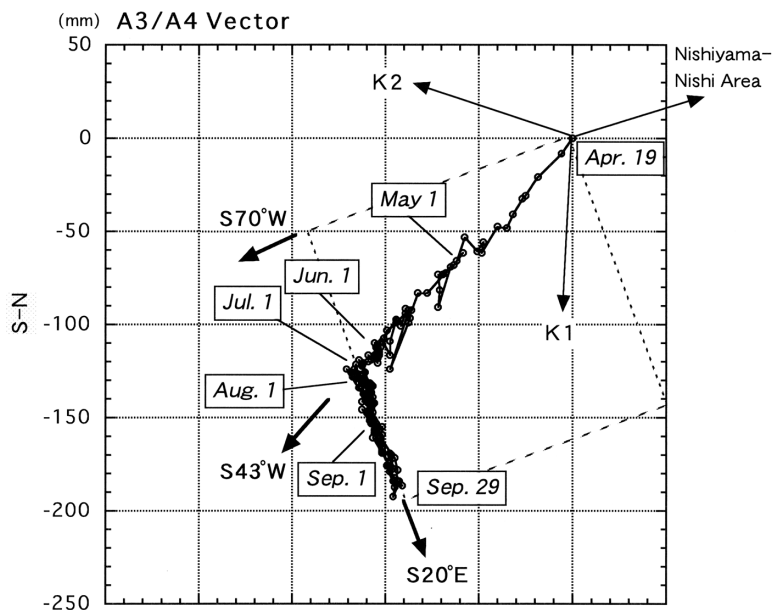
Fig. 5 Changes of shortening rates between K1 and A1.

の方位は, おおよそN70°Eであり, 7月中旬までこの地点が隆起域から遠ざかる方向に動いたことがわかる. 一方, 7月20日以降の変位の方向は, この方位とほぼ直交関係にある. そこで, 西山西麓からA3/A4方向のS70°Wと, それに直交するS20°E方向の2軸にベクトルを投影して, 時系列の変位を表した(第8図). 西山西麓からの放射状の圧力による距離短縮は, 7月20日頃にはほぼ停止する. それ以降に起こった直交方向の変位は, マグマ貫入による隆起運動とは別の応力に基づく可能性がある. K1 - A2についても, K1 - A3/A4と類似の変動パターンを示し, K1か



第6図 短縮パターン別分類. K1からの斜距離変化を反転の有無に基づいて3分類した. Aは明瞭な反転が認められる領域, Cは反転が認められない領域, Bはその中間の領域である.

Fig. 6 Aerial distributions of shortening-pattern classification. These distributions are based on the reversing pattern of the measured value from K1. Targets in A region show obvious reversing pattern. Targets in C region show no reversing pattern. Targets in B region show slight reversing pattern.



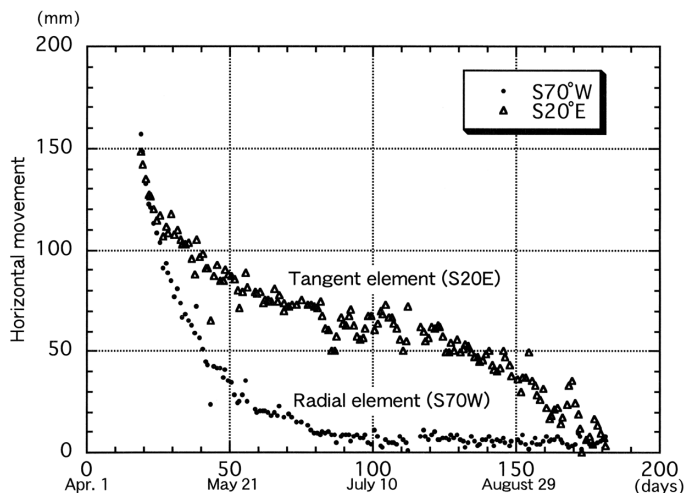
第7図 A3/A4点の変位ベクトル. K1とK2の2方向からの変化量を元に,ベクトルを求めた. 西山西の活動中心域から遠ざかる成分とそれとほぼ直交する変位成分が合成された結果,このようなベクトルになった可能性がある. 破線で示した, S70°WとS20°Eの2軸に分離投影したものを第7図に示す.

Fig. 7 Changes of displacement vector at the A3/A4 reflection site. The vector was calculated based on distance changes from K1 and K2. These vector changes may produced due to combination of a vector element away from the uplifting center at the Nishiyama-Nishi area and a vector element perpendicular to it. These two vector elements (S70°W, S20°E) are shown in the graph.

らの相対的位置関係および地形の類似性から,同様の変動があった可能性が考えられる. 他のCグループの, K1からの測定値が,明瞭な反転を示さないのは,これらと同様に南変位成分があった可能性がある.

今回の噴火に関連して,三豊付近にいくつかの亀裂が確認されている. とりわけ,道央自動車道の洞爺トンネル

内に生じた亀裂は,南東傾斜の開口亀裂であり,右横ずれ成分を伴うこと,また,直上の地表には,北北東 - 南南西の杉型雁行の右横ずれ断層が確認されており(廣瀬ほか, 2000),噴火初期に,三豊トンネルの南東半部を含む地塊が南成分の変位を生じたことを示唆する. 前述のA3/A4の南南東の変位は,この地塊の動きとも調和的である.



第8図 A3/A4点の変位の分離. 活動中心域からの放射成分とその直交成分に投影した.

Fig. 8 Distance changes of two element vectors at the A3/A4 site. The vector at the A3/A4 target was separated into two element vectors: the radial element vector (S70°W) from the uplifting center and the perpendicular element vector (S20°E).

4. まとめ

有珠火山2000年噴火に伴う有珠火山山西麓の地殻変動を、自動光波測距システムによる距離変化を捉える手法でモニタした。4月12日から9月末までの日平均データを公表するとともに、以下のような距離変化の特徴を明らかにした。

- (1) 山麓に設置した多数の反射鏡と2つの光波測距機器設置点との間の距離は、観測開始時にはすべての点間において短縮していた。GPS観測などの結果から、機器設置点はほぼ不動であったと判断され、観測された距離変化は、反射鏡設置点の位置変動を表すと判断される。
- (2) この斜距離短縮は、時間経過とともに概ね指数関数的に減衰し、活動中心域から遠方の観測点ほど早く変動が停止した。マグマ貫入による顕著な水平変動は、すべての反射鏡点において7月下旬にはほぼ停止した。
- (3) 7月までの変動速度を累乗で近似できる測線がある。
- (4) 7月下旬以降、三豊地区を除く測線の多くで、斜距離短縮が反転し微増が認められた。
- (5) 三豊地区の少なくとも一箇所は、7月20日以降、南南東方向に微量ながら変位が発生した。この変位は、噴火初期に三豊地区に生じた亀裂から推定される変位方向と概ね調和的である。

謝辞 噴火直後、北海道大学の笠原 稔教授、東京工業大学の平林順一教授、九州大学の清水 洋教授、松島

建助教授等の機敏な行動により反射鏡が設置されたことで、貴重なデータを得ることができた。このことは、火山噴火の際の迅速な行動の重要性とともに、平時からの準備の重要性を示す好例であり、記して感謝と敬意を表する。また、自動光波測距システム設置とその後のデータ収集に関わり、虻田町、北海道電力、NTT北海道の方々に多くの便宜を計って頂いた。ここに謝意を表する。

文 献

- 北川貞之・藤原建治・中禮正明・笠原 稔(2000)1周波型GPSによって観測された有珠山周辺の地殻変動。日本火山学会講演予稿集2000年秋季大会, 166.
- 宝田晋治・羽坂俊一・有珠山総合観測班(2000)有珠火山2000年噴火(速報)。地質ニュース, 551, 11-19.
- 廣瀬 巨・田近 淳(2000)2000年有珠火山の噴火とその被害。応用地質, 41, 150-154.
- 北海道立地質研究所(2000)2000年有珠山火山噴火観測(速報)。(http://www.gsh.pref.hokkaido.jp/usu/kansoku/henkei.html)
- 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年噴火に伴う山西麓の地殻変動。日本火山学会講演予稿集2000年秋季大会, 45.
- 曾屋龍典・勝井義雄・新井田清信・堺幾久子(1981)有珠火山地質図。火山地質図2, 地質調査所。

(受付:2001年1月10日; 受理:2001年1月10日)