

北海道支所における 有珠火山2000年噴火への対応(速報)

宝田 晋治¹⁾・羽坂 俊一¹⁾

1. はじめに

北海道の有珠火山は2000年3月31日13時7分(以下時刻を13:07の様に記す)に、前回の1977年8月7日～1978年10月の噴火から22年ぶりに噴火しました(写真1)。地質調査所では、噴火した31日夕方に、所長を総本部長とする「有珠火山噴火対応本部」を発足させ、その中に、本所および北海道支所の研究者・技術専門職総計40名からなる「有珠火山噴火対応チーム」を編成しました。北海道支所からは、太田英順支所長のもと、羽坂俊一、宝田晋治、高橋裕平、中川 充が調査観測に参加しています。現地観測では、火山噴火予知連絡会(有珠山部会)の有珠火山総合観測班の構成員として、大学や研究機関とともに協力しながら、調査観測を行っています。観測結果等は、噴火予知連(有珠山部会)に迅速に報告するとともに、インターネットを通じて公表につとめています。ここでは「有珠火山噴火対応チーム」の多岐にわたる調査観測の

内、北海道支所職員が携わったものを中心にまとめました。降灰調査、クラック調査、セオドライト(精密経緯儀)による地殻変動の観測、噴煙観測の速報などについて紹介します。

なお、調査観測にあたっては、北海道大学の宇井忠英氏、新井田清信氏、中川光弘氏、院生の吉本充宏氏、有珠火山観測所の西村裕一氏、北海道立地質研究所の広瀬 亘氏らの多くの関係機関の方々との協力の下に実施されたものであることを、感謝の意とともに、明記したいと思います。

2. 噴火初期の概要と地質調査所の対応

2000年3月27日に有珠火山周辺の火山性地震が急増しました。28日には、地震の数も増加し、有感地震や低周波地震も起こりました(火山噴火予知連絡会有珠山部会の資料)。伊達市・虻田町・壮瞥町の1市2町は対策本部を設置しました。北大有珠火山観測所の岡田 弘教授は、壮瞥町役場で会見を行

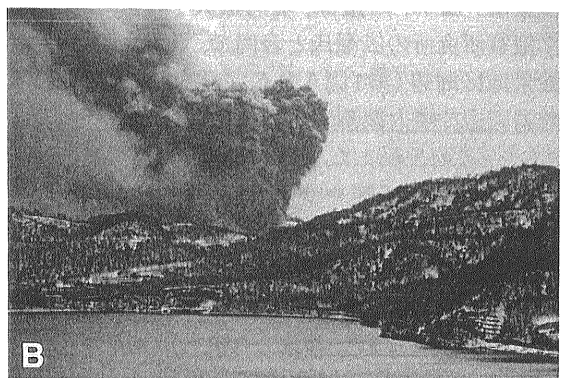
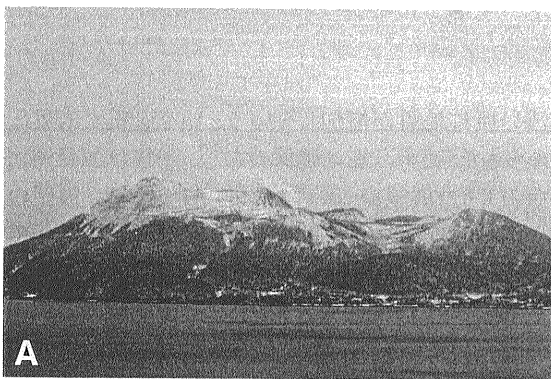


写真1 A: 洞爺湖北西のサイロ展望台からみた噴火直前の有珠火山の状況。 B: 2000年3月31日13:07に開始した噴火。噴煙の高さは最大3,200mまで上昇した。

1) 地質調査所 北海道支所

キーワード: 有珠火山, 噴火, 降灰, 地殻変動, セオドライト, 噴石, 噴煙

い、「噴火の前兆が始まっている」と述べました。北海道庁も有珠火山活動北海道災害対策本部を設立しました。こうした状況を踏まえて、地質調査所でも北海道支所の宝田と本所火山地質研究室の風早康平、川邊禎久が29日に現地入りしました。

3月29日

有珠火山周辺では、マグニチュード(M)3.4の地震が発生し、1市2町の住民に避難勧告が出されました。夕方には、壮瞥町商工会議所で北海道防災会議地震火山対策部会の臨時対策会が開かれました。宝田、風早、川邊の3名もこの対策会議に出席し、本所の東宮昭彦による過去の有珠火山の噴火のシナリオなどをもとに、今後起こりうる噴火のタイプや噴火の可能性などについて、情報提供を行いました。北海道大学の岡田 弘教授、宇井忠英教授、噴火予知連会長の井田喜明教授による会見では、「一兩日中の噴火の可能性が高く、間違いなく遅くとも1週間以内に噴火する。噴火の個所は有珠山北西部の可能性が高い」と発表されました。これを受けて、避難勧告地区が、強制力のある「避難指示」へ変更になりました。この時点で1万人以上の方が避難しました。道知事が災害救助法を1市2町に適用し、関係機関による「有珠山現地連絡調整会議」が設置されました。この日の火山性地震は合計1,629回、有感地震は628回でした。

3月30日

宝田、風早、川邊は、北海道大学の吉本氏や道立地質研究所の広瀬氏と合同で、北東山麓の壮瞥温泉地区周辺(第1図A,B,C)の地割れ調査や、洞爺湖周辺で噴火観測地点の選定(計6地点)を行いました。このころには、有珠山北西の北屏風山西尾根内側斜面で断層や地割れが多数見つかっており、山体崩壊・津波の危険性も議論されていました。また、このころ我々は伊達市内のビジネスホテルに宿泊していましたが、震度4以下の地震が頻繁に起こっていたので、夜は余り眠れませんでした。

3月31日

午前中は、宝田、風早、川邊、吉本、広瀬のメンバーで、再び北東山麓の壮瞥温泉地区の地割れの調査を行いました(写真2)。小有珠周辺の地下



第1図 有珠火山周辺の位置図。N2: 北麓の観測点(洞爺湖発電所), K1: 南西麓の観測点(虻田歴史公園), K2: 虻田発電所の観測点, A,B,C: 壮瞥温泉周辺の右横ずれ雁行状割れ目群の位置, W: 西山西火山口群の正断層群内部付近にある工場, K: 正断層群の内部にある傾いた建物, Y: とうやこ幼稚園, MI: 三豊, AH: 虻田高校, H: 直径65cmの噴石を発見した地点。地形図は国土地理院の5万分の1地形図(平成12年3月調製)を使用した。

浅い所に地震が増加しているという情報が気象庁からもたらされ、安全確保のため、午後は洞爺湖北西のサイロ展望台(第1図)に向かいました。展望台には多数の報道関係者や自衛隊の人々が集まっていました。多くのカメラ機材の間の一部をなんとか空けてもらい、望遠カメラやビデオを展望台の前面に設置しました。写真1Aは、噴火直前の有珠火山の状況です。カメラ設置のあと、我々は昼食を取ろうとしていました。

すると13:07に、我々が監視していた北屏風山付近ではなく、少し西側にある西山の西の国道230号線が通る峠付近で噴煙らしいものが上がり始めた



写真2 有珠火山北麓の壮瞥温泉地区にある壮瞥研修センター北の道路上(第1図C地点)でみられた右横ずれ雁行割れ目群の一つ。3月31日11:05撮影。7cm以下の水平変位がみられた。

のを一部の報道の人が見つけました。我々もカメラ・ビデオに駆け寄り、噴煙の方向にカメラ・ビデオを向けて13:08から撮影をしました。噴煙は初め全く静かで音もなく、ゆっくりと上昇しました。このときの風早、川邊撮影によるビデオの動画が、地質調査所のホームページ(HP)で公開されています。噴火は次第に激しくなり、2,000m-3,000mの高さまで上昇するようになりました。南西の風によって、北東の方向に噴煙が流され、降灰が遠望されました。マグマと地下水が激しく反応して、マグマ水蒸気爆発が起こったために、にわたりのとさかのような外側に飛び出すジェット状の噴煙(コックスタールジェット)が何度も観察されました。コックスタールの部分から、直径50cm-1m大の噴石が火口の周辺に降り注いでいるのが、双眼鏡でよく見えました。噴煙柱は消長を繰り返しながら、何度も立ち昇りました(写真1B)。サイロ展望台では、関係機関と連絡を取ろうとしてもなかなか携帯電話がつかない状況になりました。虻田町への火砕流の発生を警戒して、陸上自衛隊や警察、消防が住民の避難に活躍しました。また、JRが政府の要請で臨時列車を洞爺駅に向かわせました。この噴火を受けて、政府は有珠火山噴火非常災害本部の設置を決定しました。

夕方の16:30すぎには、噴煙活動がやや収まってきたため、宝田、吉本、広瀬の3名で降灰のあった洞爺湖北東の仲洞爺付近の調査に向かいました。仲洞爺の民家前にあるゴミステーションの蓋の上

や、仲洞爺キャンプ場近くのブロックの上に積もった火山灰を、面積を測ったうえでサンプリングしました。この付近での降灰量は、 1m^2 あたりに換算すると約400gでした。

この日の夜は、伊達市役所内の対策本部で、第1回目の火山噴火予知連絡会の有珠山部会が開かれました。我々は仲洞爺で採取した降灰のサンプルをもって部会に出席しました。部会では、ヘリコプターからの観測結果、地割れの状況、地震の状況など各機関からの報告があり、今後の対応などについて協議しました。この日の夜遅く、本所から新たに宇都浩三、山元孝広の2名が合流しました。伊達市内の我々の泊まっていたホテルは避難してきた人々や、報道、関係機関の人々で満室となり、シングル2部屋に5名宿泊しました。この夜中は3:12にM4.8の地震があり、あまり眠れませんでした。

3. 降灰調査

翌4月1日には、洞爺湖温泉街に近い金毘羅山西側山腹からも噴火が始まりました。北大、道立地質研究所の人々と共に、朝、壮瞥町役場に集合し、総合観測班地質グループとして活動を始めました。まず、31日の降灰状況を把握するために、北大グループが支笏湖周辺、地質研究所のグループがオロフレ峠、大滝村、喜茂別周辺、地質調査所の山元、川辺、宝田と北大の吉本氏が、洞爺湖～北湯沢周辺と分担して現地調査を行いました。ほとんどの降灰は、凝集して数mm以下のかたまりとして堆積していました。まだ残雪がかなりあったため、雪の上に堆積した降灰については、約30cm×30cmの範囲を雪ごと定面積試料としてビニール袋に採取しました。

採取した火山灰はその日のうちに北大や地質調査所の本所に送りました。北大では実体顕微鏡や薄片による鑑定を行いました。また、地質調査所では星住英夫、東宮昭彦、宮城磯治、金子克哉らが中心となってSEM画像解析、EPMAによる組成分析などを行いました。その結果、3月31日の降灰中には約50%の本質軽石が含まれていたことが明らかになりました(HP参照)。

夕方には、その日の降灰調査結果を壮瞥町役場

に集合してとりまとめ、31日の降灰分布図を完成させました。降灰の主軸はN30°Eの方向で、分布域は有珠山付近では狭く、オロフレ峠周辺で数10kmの幅に広がり、支笏湖周辺で高層の南風によって札幌市方向へ向きを変えて広がっていることがわかりました。

雪ごと採取した降灰の定面積試料は、北大で乾燥した上で、重量を計測し、1m²あたりのg数に換算して、各地点の降灰重量を地図上にプロットしました。これを基に2g/m²～2,048g/m²の等重量曲線が引かれ、これらに囲まれた面積を算出した上で積分して総降灰量を計算しました。その結果、3月31日の総降灰量は約75,000トンであったことが明らかになりました。1998年の北海道駒ヶ岳の水蒸気爆発では火山体周辺の細粒な火山灰から求めた総降灰量は約3,000トンでしたが、火口近傍の噴石など弾道堆積物やサージ状の堆積物を加えた噴出物の総量は約15倍の47,000トンとなりました。したがって、今回の3月31日の噴火の総噴出物量は、火口周辺の厚い弾道堆積物などを加えると20万トン～100万トンになると考えられます。

3月31日の降灰量については、5月上旬に地質調査所地質部の山元、中野 俊によって、新たにより近傍の洞爺湖温泉街の東にあるサンパレスホテル付近のデータが得られました。降灰量はホテルの西側で15.4kg/m²、東側で6.5kg/m²となりました。これらのデータを使って総降灰量の再計算を行った結果、約94,000トンとなりました。

4月1日12:00～4月2日12:00、4月2日14:00～14:10、4月4日16:00～18:00の比較的規模の大きな降灰についても、道立地質研究所、北海道大学と合同で調査を行いました。詳細は北海道支所の有珠火山2000年噴火情報のHPをご覧ください。

4. クラック調査

3月30日ごろから、有珠火山北東麓の壮瞥温泉周辺では右横ずれの雁行状割れ目群がみられるようになりました(写真2)。3月31日午前中の調査では、有珠火山観測所の上り口(第1図A地点)で、水平変位4.5cm以下の右横ずれ雁行割れ目群が約300mに渡ってできていました。壮瞥温泉のポート

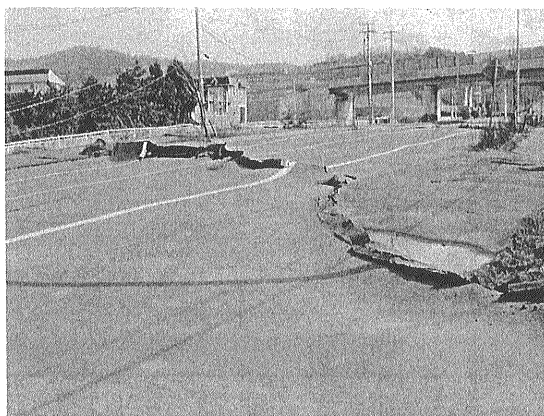


写真3 有珠火山南西山麓の虻田洞爺湖インターチェンジ付近の国道230号線で見られたアスファルトの圧縮変形と電柱間の電線のたるみ(4月14日)。

乗り場前付近(第1図B地点)では水平変位7cm以下の右横ずれ雁行割れ目群が約200mに渡ってできていました。壮瞥研修センター北の道路付近(第1図C地点)では、水平変位7cm以下の右横ずれ雁行割れ目群ができていました。写真2はその雁行割れ目群のうちの1つの割れ目です。センターラインがずれています。写真のようにいくつかの場所では印をつけて、変位の計測を行いました。

4月1日10:47の地点Cの調査では、3月31日の11:05の時に比べて、さらに3cm水平変位が増加していました。4月2日午前中の調査では、地点Aの累積水平変位が7.7cm以下、地点Bが14.5cm以下、地点Cが10.8cm以下になっていました。基本的には、北麓が北側へ押し出すような変位が見られました。地点Cよりも東側では、歩道などでプレッシャーリッジなどの圧縮変形がみられました。

有珠火山の南西山麓でも数多くの地殻変動がみられました。写真3は、4月14日に高速道路周辺に光波測距用の反射ミラーを設置した際に撮影した、虻田洞爺湖インターチェンジ付近の国道230号線の写真です。盛り上がったアスファルトと後ろの電柱の間の送電線が大きいたわんでいることに注目してください。虻田町の泉、入江地区周辺やJR室蘭本線の線路でも、西山西火口群付近に貫入した潜在溶岩ドームの隆起によってこのような圧縮変形がいたる所で見られました。

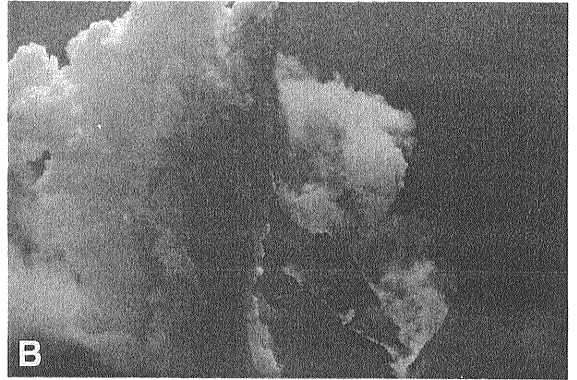
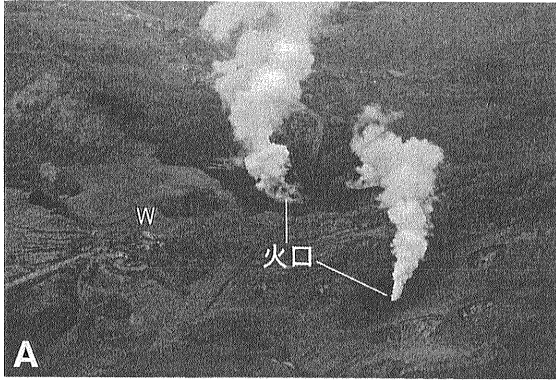


写真4 A. ヘリコプターから撮影した西山西火口群周辺の状況(4月10日; W= 正断層群内部の工場), B. 金毘羅山の火口から噴出したジェット状の水蒸気爆発(4月10日).

5. ヘリコプターからの観測

自衛隊, 消防庁による監視ヘリが6月中旬現在でも毎日有珠火山西山西火口周辺を飛んでいます。研究者も交代でヘリに乗って観測を続けています。写真4Aは, 4月10日にヘリから撮影した西山西火口群周辺の状況です。この周辺には, 地溝状の正断層群が数多く発達しています。5月上旬までに, この西山西付近に35以上の新噴火口が形成されました。

いくつかの噴火口からは主に水蒸気からなる白っぽい噴煙が常時観測されています。ときおり, 花火のように土砂を放射状に周辺にまき散らす炸裂型の水蒸気爆発や, 真上に勢いよく吹き上げるジェット状の水蒸気爆発～マグマ水蒸気爆発が観測されました。特に金毘羅山の火口では6月中旬の

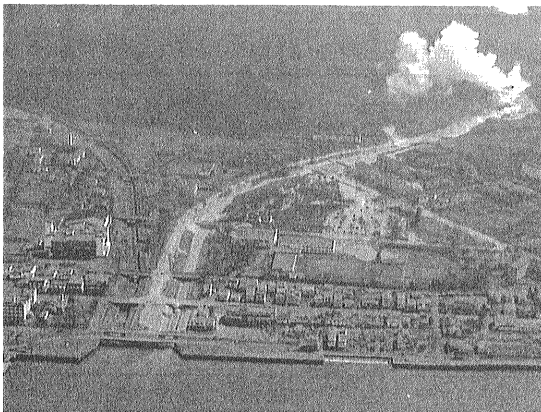


写真5 洞爺湖温泉街に流れ込んだ熱泥流の状況(4月10日).

段階でも1日に数回以上水蒸気爆発が起こっています。写真4Bは4月10日にヘリから撮影したもので, ジェット状に噴煙を高さ約300～500mまで吹き上げている水蒸気爆発の様子です。南西麓から撮影したジェット状～炸裂型の水蒸気爆発の動画を北海道支所のHP上で公開しています。

また, 4月10日のフライトでは, 洞爺湖温泉街に熱泥流が流れ込む様子を上空から捕らえることができました(写真5)。泥流は湯気を上げながらかなりゆっくりと流れており, 数m/秒以下の速度で市街地に広がっていました。

6. セオドライト観測

地質調査所北海道支所の羽坂, 高橋, 中川, 宝田の4名は, 北海道大学有珠火山観測所の西村氏と合同で, セオドライト(精密経緯儀)を使った地殻変動観測を行っています。

有珠火山北麓では, 洞爺湖東の洞爺水力発電所のある高台(第1図のN2, 写真6A)から, 壮瞥温泉, 洞爺湖温泉街周辺の建物の角など(例えば, 洞爺湖温泉中学校校舎の左肩など)12から14ヶ所の目標物を決めて観測を行っています。セオドライトを使うと水平・垂直方向の角度を1度の360分の1(1秒)の精度で精密に計測することができます。不動点として洞爺湖北西岸にある建物の角を基準点1としました。N2から基準点1の水平角と鉛直角を測定します。同様に地点1～12の地点についてもN2からの水平角と鉛直角を測定します。基準点の水平角と各地点ごとの水平角の差, 基準点の鉛

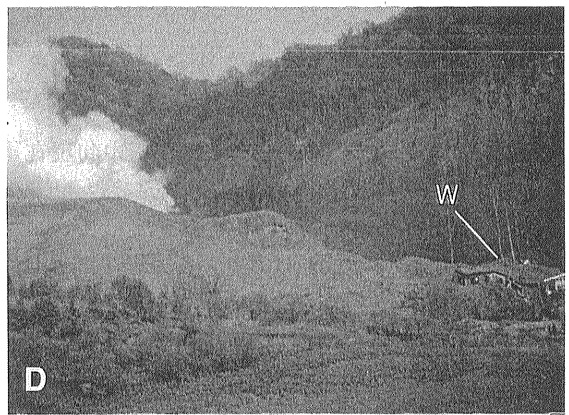
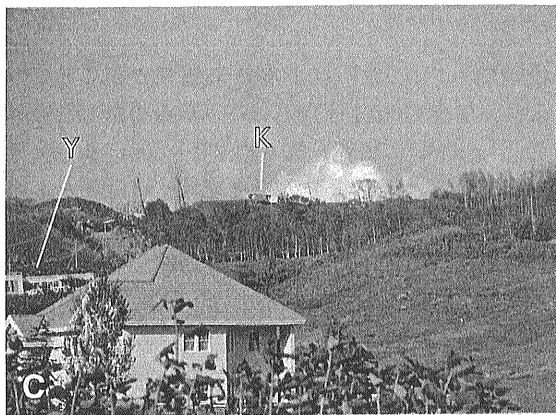
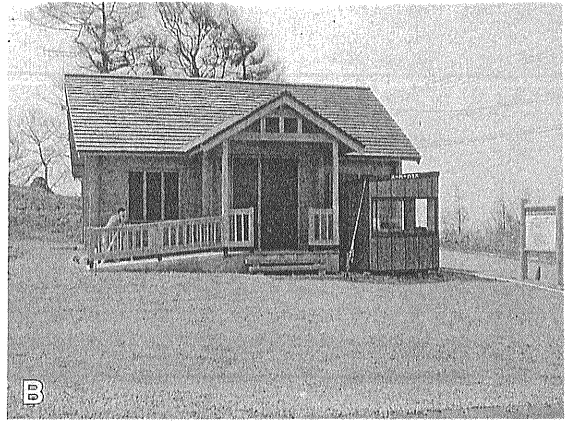


写真6 A. 洞爺湖東岸の洞爺湖発電所(第1図N2)から行っているセオドライト観測。観測者は羽坂。B. 有珠火山南西の虻田漁港近くの歴史公園管理棟前に設置した自動多点連続観測光波測距装置用の小屋(右側)と、セオドライトの観測地点(左側)。C. 虻田町の虻田高校付近(第1図のAH)からみた西山西火口群方向の状況(5月29日; K=傾いた建物; Y=とうやこ幼稚園)。D. 虻田町三豊(第1図のMI)からみた西山西火口群付近の状況(5月25日; W=正断層群内部の工場)。

直角と各地点ごとの鉛直角の差をそれぞれ計算します。次の測定日に同様の方法で各地点ごとの基準点との水平角の差、鉛直角の差を計測したときに、その値に変化があった場合、その目標物は移動したことになります。その変化した角度にN2からそれぞれの目標物までの距離をかけると目標物が移動した変位を数cm～数mmの精度で求めることができます。

北麓の観測は、4月5日から主に羽坂が午前と午後の1日2回行いました。4月中旬以降は、羽坂、高橋、中川、宝田の4名で交代で計測を行いました。洞爺湖温泉中学校では4月5日から25日までの間に約1.6m北側へせり出したことがわかりました。また洞爺湖温泉街中央でも約1m北側へせり出しました。一方、鉛直方向の変位はあまりみられません

でした。観測結果の詳細については、北海道支所のHPで公開しています。4月下旬からは変動があまりみられなくなってきました。そのため、5月と6月は平均1週間～2週間に1回のペースで計測を行っています。

一方、有珠火山南西麓の虻田漁港の近くにある歴史公園(第1図K1、写真6B)からも、最も隆起速度の大きい西山西火口群周辺のセオドライト観測を行っています。目標物の選定は、4月13日に本所地地形情報課の渡辺和明と斎藤英二が行いました。その後、有珠火山観測所の西村氏と北海道支所の羽坂、高橋、中川、宝田が交代しながら、平均2日に1回のペース(6月中旬現在)で観測を行っています。地溝状の正断層群が発達した領域の内部にある目標物(写真6CのK)は、4月中旬には1日約

50cm～1mの速度で隆起していました。しかし、その後徐々に隆起速度が減少し、6月中旬では1日約10cmの速度で隆起しています。また4月13日から6月9日までのあいだに、この目標物は約10m隆起したことがわかりました。一方、地溝状の正断層群の外側にあるとうやこ幼稚園(第1図のY)は、4月13日から6月9日の間に約4m隆起し、K1からみて西方に約3m移動したこともわかりました。最近の観測結果は、北海道支所のHPで公開しています。

5月中旬からは避難区域の部分的解除にともなっており、より火口に近い虻田高校(第1図のAH)や三豊(第1図のMI)からも、セオドライト観測を西村氏や気象庁の高木朗充氏が中心となって行っています。写真6Dは三豊(第1図のMI)から遠望した隆起中心付近の5月25日の状況で、右側の建物が第1図のWです。このあたりは灰色の噴出物によって覆われています。

こうして得られる各地点からのセオドライト観測データは、毎回噴火予知連絡会の有珠山部会に提出され、今後の有珠火山の噴火活動予測を行う上で重要な資料となっています。

7. 光波測距儀観測ととうやこ幼稚園周辺の状況

セオドライト観測を行っている歴史公園(K1)からは、自動多点連続観測型の光波測距儀(EDM)による観測も、斎藤、渡辺、西村氏が中心となって行っています。この観測は光波測距儀からレーザーを発射し、目標点においた反射ミラーから戻ってくるまでの時間を高精度で計測して、ミラーまでの距離を計算します。そのため目標点にミラーを設置する必要があります。写真7は、4月14日に高速道路の山側斜面に反射ミラーをとりつけているところです。ミラーはK1の方向の他に、虻田町の発電所があるK2の方向も向いています。縦に3つのプリズムを並べて、やや遠い地点からの測定でも確実にレーザーが戻るようにしています。このレーザー測距の目標物として使用する反射プリズムはやや斜めの方向からレーザーが入ってきても必ず入射方向にレーザーが戻るようになった特殊仕様のものです。

6月4日には、とうやこ幼稚園(第1図、写真6のY)の山側斜面に、宇都、宝田、西村の3名で光波



写真7 高速道路の山側斜面に光波測距用の反射ミラーを設置しているところ(斎藤)。

測距用の反射ミラーを設置するため、自衛隊の装甲車でこの地域に入りました。写真8Aは、装甲車に乗り込んだ地点の道路わき(第1図のH)で発見した直径65cmの噴石(弾道飛行を描いて飛んできたと考えられる火山岩塊)です。火口群からの距離は約1kmで、3月31日もしくは4月上旬の西山西火口からの噴火で放出されたものと考えられます。とうやこ幼稚園の屋根や壁にもこうした噴石によると思われる多くの穴があいていました(写真8B)。写真8C、Dは、幼稚園付近の状況です。直径数10cm～1mの火山岩塊が多量に散らばっていました。また、付近の道路は圧縮変形によって写真8C、Dのように大きく変形していました。

8. 噴煙観測

地質調査所では高田 亮、西 祐司、松島喜雄、宝田の4名が中心となって、噴煙観測を行っています。各噴火口からの噴煙の高さや色の変化、水蒸気爆発の状況を精密に観測することによって、今後の活動予測に役立てることができそうです。

観測者が現地に常駐することはできないため、6月4日に洞爺湖北西のサイロ展望台の3階に噴煙観測カメラ装置を設置しました(写真9A)。この装置は遠隔制御と噴火映像記録の大きく2つのシステムでできています。それらは、(1)北海道支所からリモート操作可能な首振り、12倍ズーム機能つきカメラ、画像サーバーシステム、ノートパソコンによって5分おきに静止画像を記録し、2時間おきにWebサ

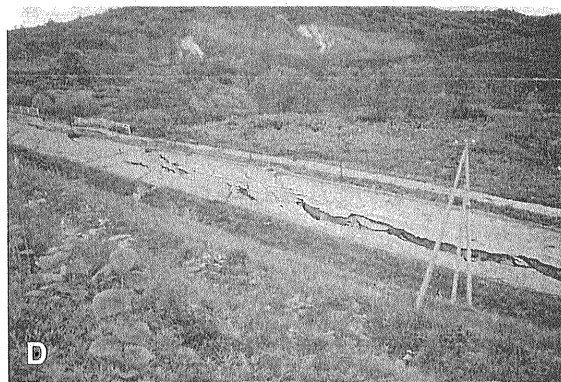
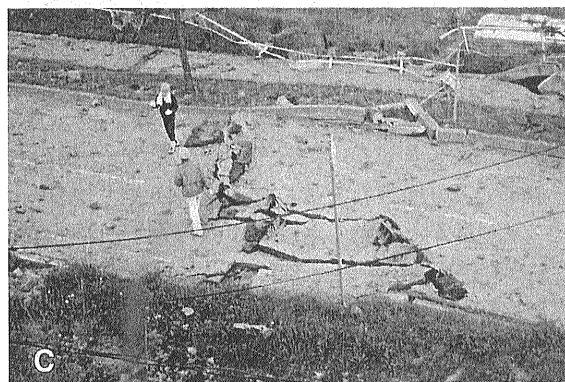
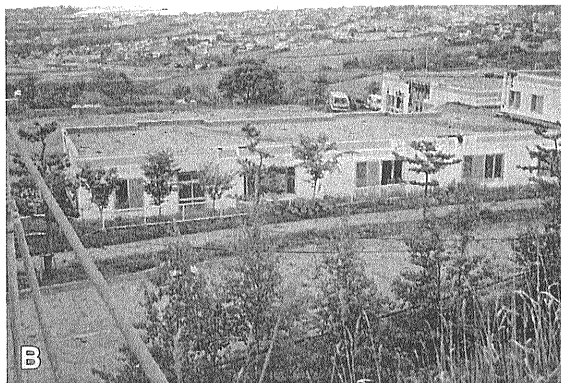
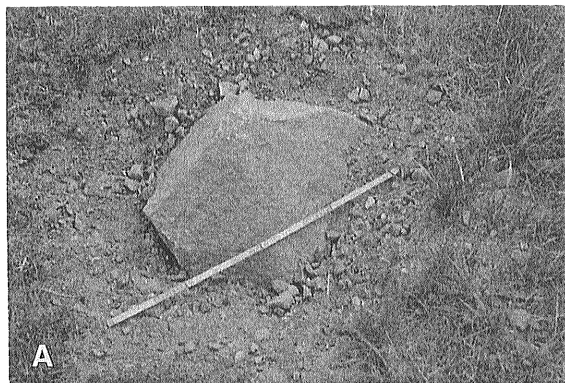


写真8 A. 西山西火口群の西南西1kmの地点で発見した直径65cmの噴石(弾道飛行を描いて飛んできたと考えられる火山岩塊), B. 6月4日のとうやこ幼稚園の状況, C. とうやこ幼稚園付近の道路の状況, D. とうやこ幼稚園東側の道路の状況.

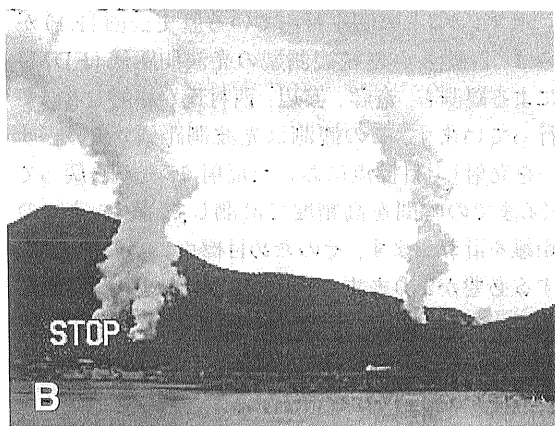
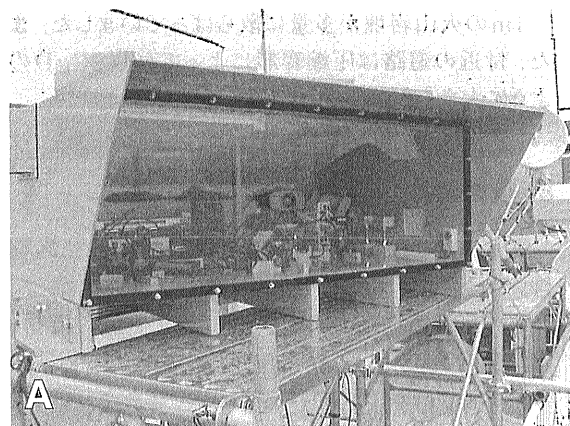


写真9 A: 洞爺湖北西のサイロ展望台に設置した噴煙観測システム, B: 5分おきにWebサーバーに転送している噴煙の静止画像の1つ(6月4日16:10).

サーバーに静止画像を転送するシステム、(2) 高解像度画像撮影システム(DVテープを1週間に1回交換する、4チャンネルまで静止画を記録できる)、望遠レンズつき赤外線カメラを使ったシステムです。写真9Bは、ノートパソコンによってWebサーバーに転

送した5分おきの静止画像の1つです。金毘羅山火口からの噴煙(左側)と西山西火口からの噴煙(右側)の状況がわかります。5分おきの噴煙の画像は、北海道支所のHPで公開しています。

9. まとめ

こうして地質調査所では、噴火前から現地での体制を整え、他機関と協力しながら調査・観測を継続しています。特に北海道支所では地の利を生かして、きめ細やかに対応しています。現地で得られた有珠火山の具体的な調査結果や、継続的に行われている精密な観測データは、火山噴火予知連絡会の有珠山部会でも毎回報告されており、今後の火山活動の動向を予測する上で貴重な貢献をしています。

地質調査所による有珠火山観測の最新情報は、北海道支所や本所のHP(下記)で公開しています。
<http://www.gsj.go.jp/bHOK/usu-HP/>
<http://www.gsj.go.jp/~imiyagi/Works/Event/Usu2000/>

謝辞：この報告をまとめるにあたっては、北海道支所の中川 充氏、高橋裕平氏、火山地質研究室の伊藤順一氏に貴重なご意見をいただきました。

参考文献

- 北海道新聞社(2000)：有珠山噴火。北海道新聞社出版局，64p。
門村 浩・岡田 弘・新谷 融(1988)：有珠山 その変動と災害。北海道大学図書刊行会，258p。
川邊禎久(2000)：速報：2000年3月31日有珠山噴火。地質雑，106，VII-VIII。
川邊禎久・風早康平・宝田晋治・総合観測班地質グループ(2000)：2000年3月31日有珠山噴火。地質ニュース，no. 548，p.1-2。
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。地質調査所，10p。

TAKARADA Shinji and HASAKA Toshikazu (2000) : Preliminary report of the Mt. Usu 2000 eruption contributed by Hokkaido Branch, Geological Survey of Japan.

< 受付：2000年6月19日 >