デジタル写真測量による有珠山の面的な地表変動の時系列把握
Monitoring surface deformation of Usu Volcano using digital photogarammetry

測図部　小荒井衛・渡辺信之・松尾　馨・飯田　洋
Topographic Department Mamoru KOARAI, Nobuyuki WATANABE, Kaoru MATSUO and Yo IIDA
地理地殻活動研究センター　長谷川裕之
Geography and Crustal Dynamics Research Center
Hiroyuki HASEGAWA

1. はじめに

有珠山では，平成12年３月27日から火山性地震を観測するようになり，３月31日午後に有珠山西側で噴火し，４月１日には有珠山北側にある金比羅山西側山腹で新たな噴火活動を開始した。有珠山の火山活動や地表変動に関しては，国土地理院をはじめとする様々な機関で，空中写真，レーザスキャナ等を用いて様々な計測が行われている。写真測量技術を用いた有珠山の火山活動に伴う地表変動の抽出については，標高値の変化について，単モデル測定による暫定値とブロック調整による空中三角測量により求めた精密値をホームページで公開しており，その計測法の詳細とそれぞれの手法の比較結果について，鈴木（2001）が報告している。本報告では，デジタル写真測量技術（ステレオマッチング（対象点検索）によるデジタル標高モデル（DEM）作成）により把握した有珠山の面的な地表変動とその時系列的な変化の特徴について報告すると共に，ステレオマッチングにより作成したDEMの誤差要因についても考察する。

2. 方法論（ＤＥＭとオルソ画像の作成）

国土地理院では，火山噴火活動の状況を把握するため空中写真の撮影を，2000年３月31日，４月３日，４月18日，４月26日，５月19日，５月25日，６月12日，６月16日，７月10日，８月14日に行っている。その詳細については，鈴木（2001）に記載されている。

これらの空中写真をスキャナー（LHシステムズ社DSW）により20μmでスキャニング後，デジタルステレオ図化機（ＬＨシステムズ社製DPW）によりステレオマッチングの手法で５mグリッドのDEMを作成し，そのDEMを基にオルソ画像（正射投影画像）を作成した。

今回の解析では，火山活動が活発になる前のDEMは，国土地理院が1995年７月19日に周期撮影で撮影していた縮尺1／25,000の空中写真を使用し作成した。また，噴火直前のDEMは，2000年３月31日撮影の縮尺1／20,000の空中写真を，GPS観測による広域的な地殻変動が４月３日まで観測されていたことから，噴火後のDEMは，同年４月３日，４月26日撮影の縮尺1／20,000の空中写真を使用し，作成した。

DEMを作成する際の標定点は，1995年の空中写真については，北海道室蘭土木現業所が平成５年（1993年）に作成した５千分１地形図から読みとった。また，2000年に撮影された空中写真については，４月19日，20日に現地緊急測量調査で行った標定点測量の結果と，４月26日撮影の空中写真を基にGPS空中三角測量により求めた結果を使用した。その成果の詳細については，鈴木（2001）に記載してある。

有珠山の垂直変位の面的な把握については，それぞれの時期のDEMの差分を取ることにより行った。

また，水平変位については，ジオコーディングしたオルソ画像から，道路のカーブや建物の角等の位置を特定しやすい箇所を有珠山全域にわたって抽出し，その座標値を目視で読みとって比較する事により求めた。この際，２～３m程度の誤差が見込まれる。

3. 有珠山の面的地表変動の時系列的把握

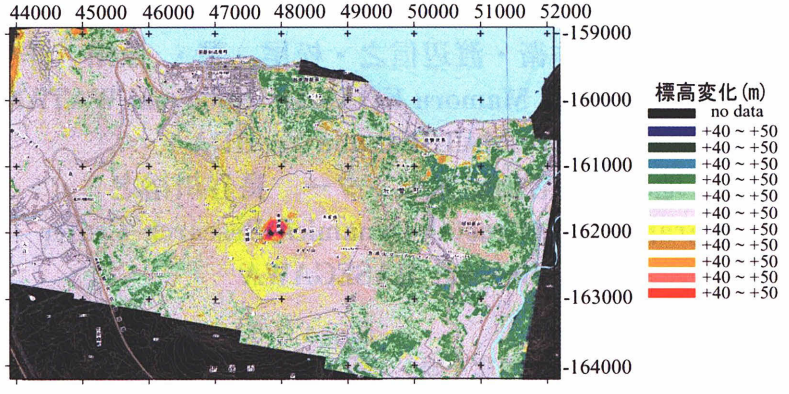
各時期のDEMの差分をとった結果を図－１に、水平変位のベクトル図を図－２aに示す。

垂直変位については、1995年７月のDEMと2000年４月26日のDEMを比較すると、特に西山周辺を中心に金比羅山から道央自動車道にかけての地域での隆起が顕著であり、最大約60mの隆起が認められる。他に、小有珠を中心とした中央火口丘でも５m以上の隆起が認められる。

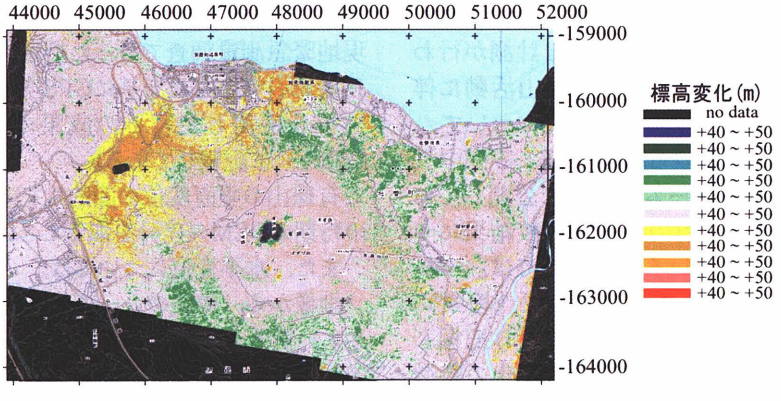
水平変位については、全体として西山を中心にドーム状に隆起していると考えるのに矛盾しない変位ベクトルである。４月３日までの水平変位と４月26日までの水平変位を比べると、おおよその変位方向は変わらず、西山周辺を除くと変位量のほとんどは４月３日までの変位量と考えられる。西山周辺では４月３日から26日にかけても大きな水平変位が認められが、これは垂直変位の特徴と調和している。なお、水平変位については、解析図化機を使用したデータ取得も行っており、これは空中写真を撮影した全ての時期について行っているため、より詳細な

時系列変化を知ることが出来る。それを図－２ｂに示すが、全体的な傾向はオルソ画像により把握した水平変位と大きな違いは認められない。

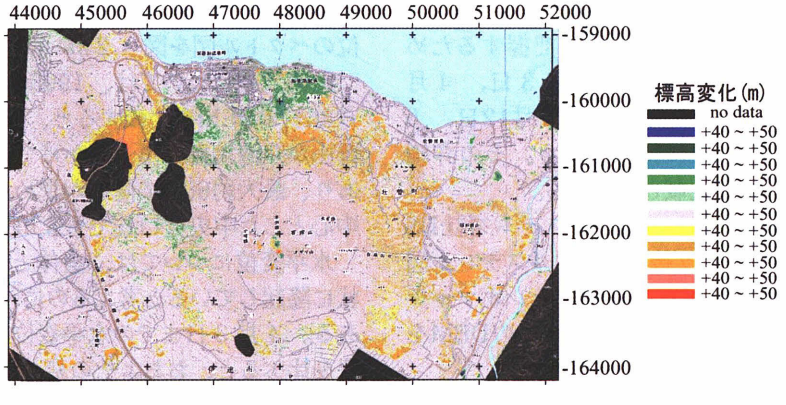
以下、解析図化機により把握した水平変位の傾向も含めて、有珠山の面的地表変動の特徴について、時系列的に見てみる。



a)　1995年７月19日～2000年３月31日までの標高変化

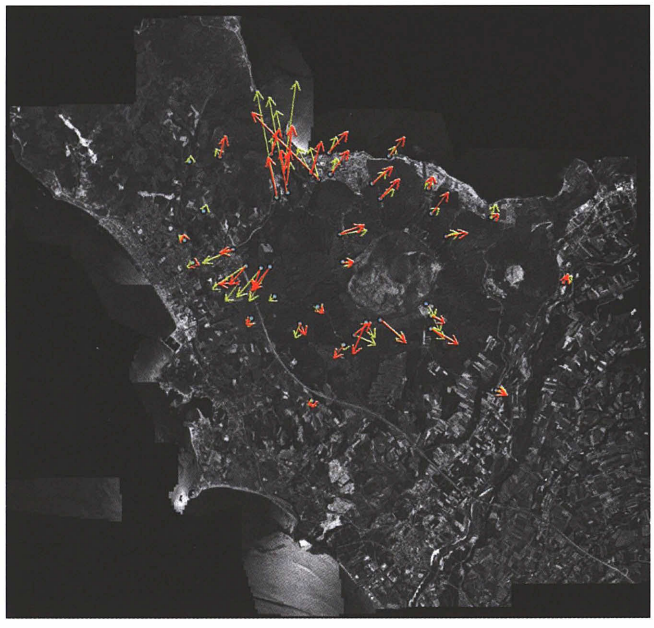


b)　2000年３月31日～2000年４月３日までの標高変化



c)　2000年４月３日～2000年４月26日までの標高変化

図－１　ＤＭＥの比較により捉えた各時期の標高変化



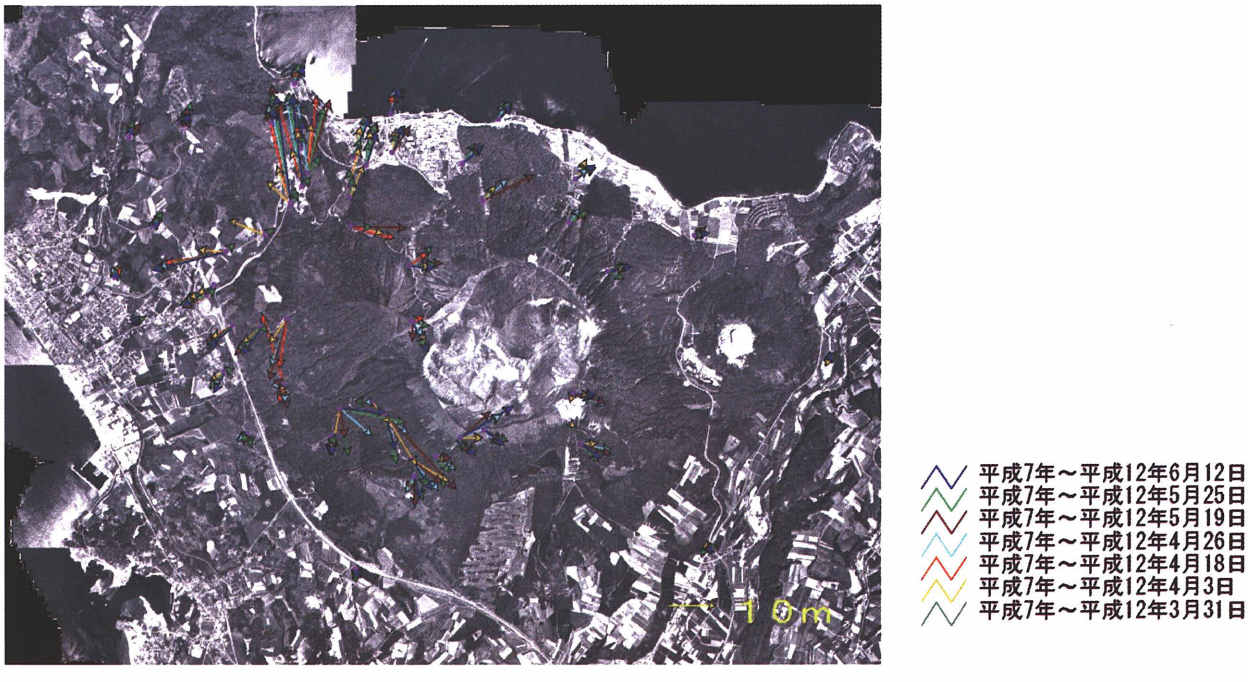
有珠山の水平変位量図

5 m　(H7/7/19～H12/4/3)

5 m　(H7/7/19～H12/4/26)

(背景画像は，平成７年撮影のもの)

a)　オルソ画像で計測したもの



b)　解析図化機で計測したもの

図－２　有珠山の水平変位量図

（1）1995年7月19日～2000年3月31日

有珠山中央火口丘内及び外輪山で，5～10m程度の隆起が認められる。一方，金比羅山及び西山周辺では，顕著な隆起は認められない。有珠外輪山を中心とした数m程度の放射状の水平変動が見られる。

（2）3月31日～4月3日

中央火口丘ではほとんど隆起傾向は認められない。一方，西山周辺を中心に金比羅山から道央自動車道にかけて，5～30mの隆起が認められる。隆起範囲の西端・北端は地割れにほぼ沿っている。西山火口を中心とした放射状の水平変動が認められるが，この水平変動は有珠山東麓までには及んでいない。金比羅山東麓では隆起が認められるが，西麓での標高低下は噴火の影響による倒木の可能性がある。

（3）4月3日～4月26日

引き続き西山周辺での顕著な隆起が認められるが，その範囲は西山周辺により限定されてきている。最大約30mの隆起が認められる。金比羅山麓及び中央火口丘では隆起傾向は認められない。西山火口を中心とした大きな放射状の水平変動が認められるが，4月18日以降は顕著でなくなる。

なお，解析図化機により求めた西山周辺の標高点の測定結果からは，顕著な隆起は4月18日までとなっている。一方，金比羅山南方の標高点数点では4月19日以降も隆起傾向が認められる。

（4）4月26日～5月19日

DEMの差分についての図はここでは示さないが，この時期には有珠火山全域でほとんど隆起傾向が認められない。水平変動も特定方向への顕著な移動は認められない。しかしながら，四十三山南方（金比羅山東方）で東方向への有意な変位が認められる。この変動はSAR振幅画像のマッチングによる3次元地殻変動マッピング（飛田ほか:2001）でも認められている。

4. ステレオマッチング法によるデジタル写真測量における誤差要因の解析

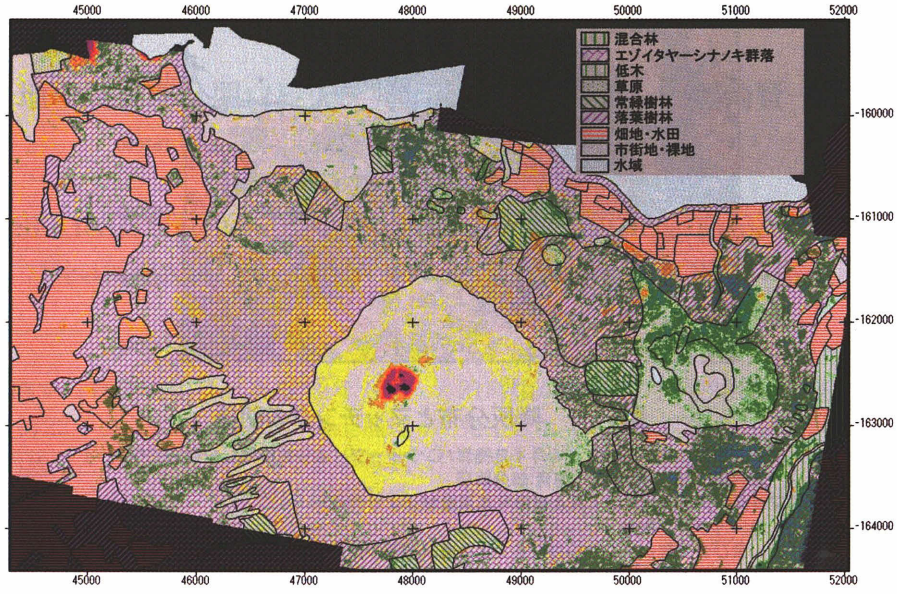
DEMの時系列変化を見ると，大規模な地表変動があったとは考えにくい有珠山山麓の森林部分で標高変化の大きな箇所が広範囲で認められる。これらの要因について分析するために，各種の解析を試みた。

（1）植生の季節変化の影響

基準となる1995年空中写真は夏に撮影されたものであるのに対して，噴火時期の写真は主に冬に撮影されたものである。ステレオマッチングの手法では，樹木の表面をマッチングして得られた高さデータであるため，季節の違いによって得られる高さが違ってくることが考えられる。このため，環境庁の自然環境保全基礎調査（緑の国勢調査）の第2回・第3回植生調査の5万分1現存植生図のGISデータとDEMの差分との重ね合わせを行ってみた。図－3aは，1995年7月19日から2000年3月31日の標高変化データと現存植生GISデータとを重ね合わせたものである。環境庁の現存植生GISデータは全国を700以上の植物群落に区分したものであるが，北海道地方にかなり広範囲に見られるエゾイタヤ－シナノキ群落の他は，常緑樹林，落葉樹林，混合林，低木，草原，畑地・水田，市街地・裸地，水域にまとめて，9分類にしてある。この2時期間で標高が低下している地域の植生は，エゾイタヤ－シナノキ群落や落葉樹林であり，一方，常緑樹林や畑地・水田では標高の低下はほとんど認められない。この事から，この2時期間の標高の低下は，落葉樹の季節変化により，冬の時期の葉の落ちた樹木の表面をマッチングして高さデータを作成したためと判断される。

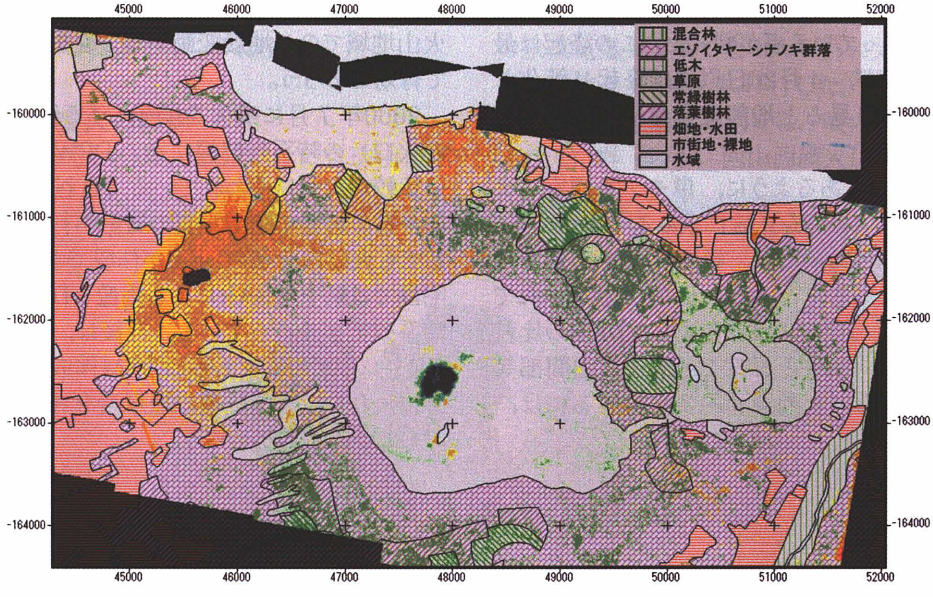
（2）降灰の影響

季節の違う写真間のDEMの差は，植生の季節変化に起因すると説明することは可能であるが，3月31日と4月3日間のDEMの差は，植生の季節変化だけでは説明することは困難である。この2時期間のDEMの差分と現存植生GISデータを重ね合わせたものを図－3bに示す。標高低下の傾向が顕著に見られるのは常緑樹林及び落葉樹林の一部であり，森林においてマッチングエラー等による計測誤差が大きいことを示している。この2時期間で地表面の状況に大きく変化を与えている要因として，3月31日が噴火直前で4月3日が噴火後の写真ということから，降灰状況の差が考えられる。そのため，降灰・非降灰地域毎にステレオマッチングの精度検証を行った。DPWでは，各格子点の標高値のデータについて，マッチング（画像対応点検索）の成功状況を成功，手動で修正，不成功と3分する事が可能である。一方，降灰分布状況のデータは，4月4日に撮影されたIKONOS画像（パンシャープン）を教師無し分類で土地被覆分類する事により作成した（小荒井・小須賀・長谷川：2000）。ただし，IKONOS画像の土地被覆分類は全部で8分類したものであるが，ここではそれを元に降灰状況を，降灰多，降灰，部分的降灰，その他（降灰無し）に4分類し直している。マッチングを失敗した対応点の分布と降灰状況を重ね合わせたものを図－4に示す。降灰分布は，西山及び金比羅山火口から延びる3本の帯が確認できるが，マッチング失敗の分布も帯状に配列しており，定性的には降灰の帯状分布域とマッチング失敗の帯状分布とが，重なり合っていることが確認できる。降灰に地表面が覆われる事によるマッチングエラーが特に森林部で顕著である可能性が大きい。



a)　1995年７月～2000年３月31日

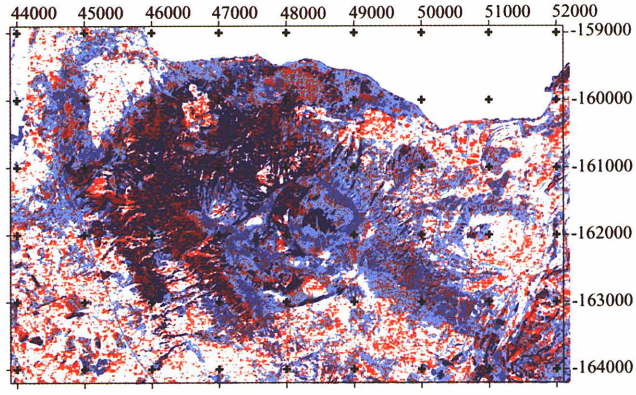
落葉樹林，草原での標高変化は植生の季節変化によると考えられる



b)　2000年３月31日～４月３日

常緑樹林および落葉樹林の一部において，標高低下の傾向が顕著に見られる。
これは特に森林に置いてマッチングエラー等による計測の誤差が大きいことを示す。

図－３　標高変化データと植生分布の重ね合わせ



図－4　降灰分布とマッチングの関係

降灰分布はIKONOS画像（4月4日撮影パンシャープ）より教師無し分類法で作成
　濃青:降灰多　青:降灰　薄青:部分降灰
マッチング成功状況は4月3日の写真測量結果より作成
　赤:マッチング失敗
西山及び金比羅山火口から伸びる3本の降灰の帯が確認できる。
降灰の帯状ではマッチング失敗の比率が高まっているように見える

5. まとめ

有珠山及びその周辺の多時期の空中写真から，デジタル写真測量により多時期のDEMとオルソ画像を作成して，有珠山の地表変動を面的かつ時系列的に把握した。その結果，噴火直前までは有珠山中央火口丘周辺の隆起が，噴火後金比羅山から道央自動車道にかけてのドーム状の隆起に移行し，4月3日以降は特に西山周辺に限定したドーム状隆起になっている事が判った。この隆起は最大約60mに達しているが，4月26日以降は隆起は鈍化しており，現在は全体的に見ると地殻変動はほぼ収束したと見なすことが出来る。

鈴木（2001）の報告にあるように，単モデル標定による標高計測では各地点の標高を正確に求めることができ，地殻変動の把握に有効であったが，標高計測を出来る地点が道路沿いや地物のあるところ等，面的に限定されてしまう点が難点である。DPWにより作成したDEMの比較では，格子点が面的に一様にとれることから，山間部等標高点の取りにくい範囲の変動を面的に把握するには，有効である。

一方で，隆起が顕著であった西山周辺での隆起量についてはほぼ正確に求められたが，有珠山山体の森林部等では，植生の季節変化，降灰の影響等によるミスマッチングが見られ，正確な地表変動量を把握している訳ではない。従って，変動量を求める際には，森林部等でのDEMの差分については，それが何を意味しているかの慎重な検討が必要である。しかしながら，全く植生のない様な火山地域での，地殻変動や地表変動の面的抽出には極めて有効であろう。

2000年7月に噴火を開始した三宅島の地形変動（陥没火口）の時系列把握にも，DPWにより作成したDEMの比較が有効に使われている（長谷川ほか:2001）が，噴煙や雲の影響で空中写真の撮影が行えない場合や，撮影しても火口内全域のDEMが作成できない場合もある。三宅島では航空機SARによる画像とDEM作成も併用して，時系列把握を行っている。今後は，DPWの他，航空機SARやレーザスキャナ等のDEM作成の新技術の導入も視野に入れて，火山災害の地形変化モニタリング技術を検討していく必要があろう。

参 考 文 献

小荒井衛・小須賀洋・長谷川裕之（2000）：有珠山2000年噴火．写真測量とリモートセンシング，Vol.39, No.3, pp.4-5.
小荒井衛・長谷川裕之・飯田洋・渡辺信之・松尾馨（2000）：有珠山の面的変動の時系列把握とその精度、日本写真測量学会平成12年次秋季学術講演会発表論文集，pp.155-160.
鈴木弘（2001）：有珠山西山周辺の火山活動に伴う標高値の変化．国土地理院時報，95, pp.49-55.
飛田幹男・村上亮・中川弘之・矢来博司・藤原智（2001）：ＳＡＲ画像のマッチングによる有珠山周辺の三次元地殻変動，変動速度と体積変化の推定．国土地理院時報，95, pp.37-48.
長谷川裕之・村上亮・政春尋志・松尾馨・小荒井衛（2001）：三宅島山頂の陥没地形の計測．国土地理院時報，95, pp.121-128.