



| | |
|------------------|---|
| Title | 十勝岳火口周辺域でのGPSによる高密度地殻変動観測 |
| Author(s) | 高橋, 浩晃; TAKAHASHI, Hiroaki; 一柳, 昌義 他 |
| Citation | 北海道大学地球物理学研究報告, 63, 33-42 |
| Issue Date | 2000-03-15 |
| DOI | https://doi.org/10.14943/gbhu.63.33 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/14284 |
| Type | departmental bulletin paper |
| File Information | 63_p33-42.pdf |



十勝岳火口周辺域での GPS による高密度地殻変動観測

高橋 浩晃・一柳 昌義

北海道大学大学院理学研究科附属地震火山研究観測センター

岡崎 紀俊

北海道立地質研究所

(2000年1月12日受理)

Dense GPS Array around the Craters of the Tokachi Volcano for Determination of Crustal Deformation

Hiroaki TAKAHASHI and Masayoshi ICHIYANAGI

Institute of Seismology and Volcanology,

Graduate School of Science, Hokkaido University

Noritoshi OKAZAKI

Geological Survey of Hokkaido

(Received January 12, 2000)

To investigate the crustal deformation in and around the craters of the Tokachi volcano, Central Hokkaido, we established a new dense GPS array with 15 sites in 1996 and made temporal observations in April 1998, October 1998 and September 1999. By the data analysis using static and rapid-static methods, site coordinates were collocated from the GSI-BIEI fixed site for each campaign. Displacements of the GSI-HKGS site, about 2.5km from the craters, were small within 2mm on horizontal and 18mm on vertical component in this period. Displacements of another sites also did not exceed the precision of the GPS survey. We concluded remarkable crustal deformation did not occur in this region between April 1998 and September 1999.

I. はじめに

十勝岳は、北海道中央部十勝連峰に位置する標高 2077 m の活火山である。十勝岳では、1857 年以降、1887 年頃、1926-28 年、1962 年、1988-89 年の 5 回の噴火が記録されている (勝井ほか, 1971)。記録に残っている以前の噴火活動も地質調査によって明らかにされており (中川, 1995)、それによると約 3000 年から 2200 年前にかけてのグランド火口活動期では白金温泉に到達する火

碎流が少なくとも3回は流下し、その後もスリバチ火口、北向き火口、焼山などで噴火活動を行い、約300年前には中央火口丘溶岩流を北西方向に約3 km 流下させた。このように、十勝岳では火山活動が活発で、特に最近3000年の活動は、焼山溶岩流を流出した活動を除きすべて丸山中央火口丘を中心とした半径1 km 以内の範囲で行われてきている。

火山では、地殻浅部へのマグマの供給やマグマの蓄積などが噴火に至る準備過程として行われていると考えられている。ところで、近年のGPS測量の精度は、観測時間や基線距離にもよるものの、水平成分では1 cmを切り、鉛直成分でも数 cmに達している。火山の地下で進行しているマグマ活動の深さや容積などがある一定以上の条件を満たせば、地表面での地殻変動量がGPS測量の精度以上となり検出可能になる。特に、これらの活動が地下数 kmの深さで進行している場合には、GPS測量によって地下でのマグマ活動に起因する地殻変動を捕らえられる可能性が高い。

1990年から1995年まで噴火活動を行った雲仙普賢岳では、噴火開始後5年間にわたり複数回行われたGPS観測によってマグマ溜りの深さが約10 kmに推定され、マグマの供給率も見積もられた(西ほか, 1995; Nishi et al., 1999)。また、伊豆諸島の三宅島や神津島では、数年間にわたる繰り返しGPS観測から火山活動に起因すると考えられる島全体の膨張を示すような水平地殻変動が検出されている(木股ほか, 1999; 仮屋ほか, 1997)。

このように、複数の活動的な火山でGPS測量によって火山性の地殻変動が捕らえられるようになった。十勝岳でもGPS観測網を整備し、繰り返し観測を実施することにより、地下でのマグマの供給やマグマ溜りの容積変化などに起因する地殻変動が捕らえられる可能性がある。また、時空間的に地殻変動を追跡することによって、次の噴火での噴出位置や噴出量の規模の推定なども行える可能性がある。しかし、十勝岳では、グランド火口をはじめとする噴火口群の標高が1600 mもあり、気象条件やアクセスの困難さ、観測器材の重量などの問題から、火口周辺にGPS観測点は設置されていなかった。近年、GPSの小型軽量化や低消費電力化が進み、機材を背負って登山を行い観測を行うことが可能になってきた。そこで我々は、十勝岳の火口周辺域に高密度のGPS観測網を構築し、繰り返し観測を開始した。本論では、新しく構築した観測網と繰り返し観測の結果得られたGPSデータの解析結果について報告する。

II. GPS 観 測 網

十勝岳では、1989年に北海道大学理学部によってGPSの観測網が設置され、観測が行われてきた(例えば、森, 1995)。しかし、この観測網では、62-II火口から最も近い吹上温泉観測点でも約2.5 km離れており、火口近傍浅部に力源を持つような地殻変動の検出には適していなかった。

そこで、十勝岳火口周辺域での局地的な地殻変動を検出する目的で、新たな観測点の設置を1996年6月に行った。測量基準点として、白金温泉にある十勝岳火山観測所(以下TVO)のパンザマストを借用しボルトを接着した。その他の観測点は、露岩あるいはコンクリート基台にボルトを埋設する方式を採用したため、観測毎のアンテナ設置再現性は数 mm程度以内に収まると考えられる。これらの観測点では、AC電源が得られないためにバッテリーでの観測が条件と

なる。また、1998年4月からは、国土地理院が白銀荘にGPS連続観測点を設置し運用を開始した（以下HKGS）。Figure 1に観測点分布図を、Table 1にWGS-84座標系での観測点の座標値を示す。

火山性の地殻変動を説明するのに良く用いられる半無限弾性体内の球状力源に静水圧が加えられるモデルでは（茂木モデル）、力源の半径がその深さにくらべて十分小さいと仮定した場合、地表面での最大垂直変位量は最大水平変位量の2倍以上あり、また、力源の直上での垂直変位量が最大となるとともに、力源直上からの距離の増加に伴い変動量は急激に減衰する（山川, 1955）。本観測網では、最近の噴火活動が行われているグランド火口周辺域直下に力源を想定し、垂直変位の感度がかせげるように、この付近に観測点が密になるような配置を行った。また、火口周辺以外にも適当な間隔をおいて観測点を設けて、水平変位や力源位置の変化、マグマ貫入による開

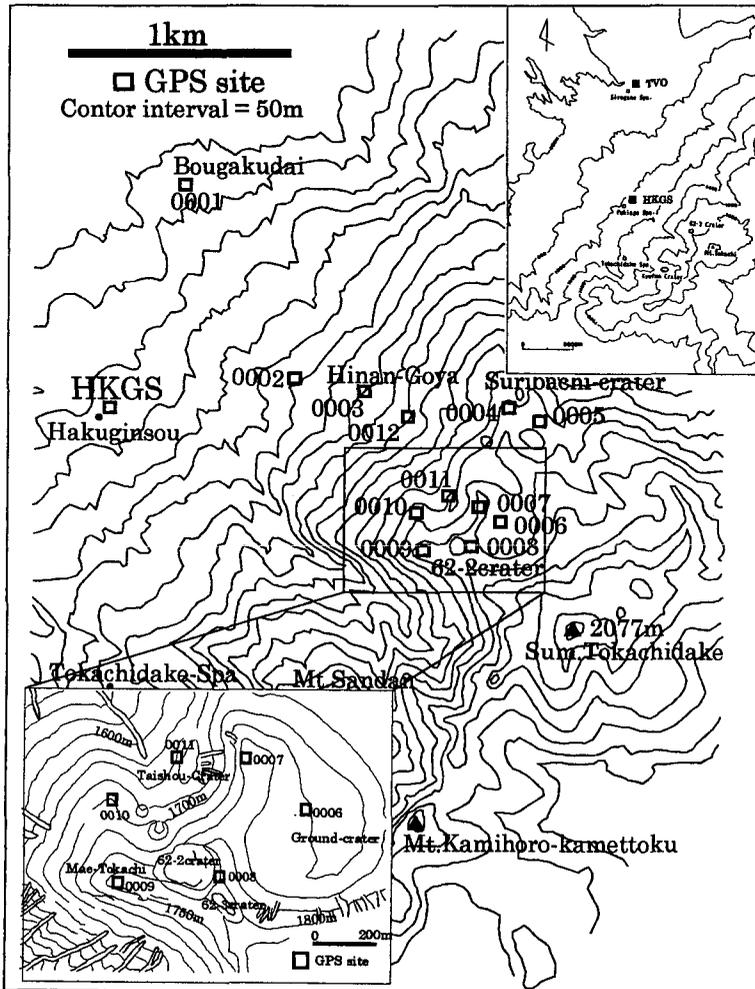


Fig. 1. Map showing the GPS network in and around the craters of the Tokachi volcano.

Table 1. WGS-84 coordinates of each GPS site.

| Site name | Site ID | Latitude (Deg : Min : Sec) | Longitude (Deg : Min : Sec) | Height (m) |
|---------------------|---------|----------------------------|-----------------------------|------------|
| *BSI-BIEI | BIEI | 43 35 22.78 | 142 28 56.91 | 283.79 |
| *GSI-Hakuginsou | HKGS | 43 25 53.89 | 142 38 35.00 | 1049.59 |
| TVO | TVO | 43 28 31.10 | 142 38 59.47 | 685.40 |
| Bougakudai | 0001 | 43 26 48.63 | 142 38 56.48 | 980.93 |
| Koudou-Iriguchi | 0002 | 43 26 10.81 | 142 39 23.24 | 1137.83 |
| Hinan-Goya | 0003 | 43 25 59.39 | 142 40 2.36 | 1352.11 |
| Kitamuki-crator | 0004 | 43 25 56.09 | 142 40 48.55 | 1720.43 |
| Suribachi-crator | 0005 | 43 25 52.66 | 142 41 0.12 | 1707.87 |
| Ground-Crator | 0006 | 43 25 29.58 | 142 40 47.71 | 1758.48 |
| Naruyama | 0007 | 43 25 34.97 | 142 40 38.63 | 1801.70 |
| Sinkyu | 0008 | 43 25 24.68 | 142 40 35.19 | 1828.44 |
| Mae-Tokachi | 0009 | 43 25 22.03 | 142 40 20.70 | 1819.51 |
| Mae-Tokachi-Kitaone | 0010 | 43 25 29.91 | 142 40 19.26 | 1737.00 |
| Taishou-crator | 0011 | 43 25 34.17 | 142 40 28.50 | 1685.18 |
| Isobe-rift | 0012 | 43 25 53.03 | 142 40 13.07 | 1434.54 |

*GSI : Geographical Survey Institute of Japan

口モデル (Okada, 1992) などに対する感度を持たせてある。また、本観測網は、1人の観測者が1回の登山によって効率的に全観測点を周れるように設計されている。

本観測網での観測を1回の登山で行うと、1観測点あたりの観測時間は15-20分程度しかとれない。このため、通常のGPS測量で行われる静止測量法は使用できない。そこで、10 km程度までの短基線測量を5分程度の観測時間で行える高速静止測量法をデータ解析法として採用することにより、短時間観測による高精度測量を可能にした。この手法は、General-Search法を用いて座標値を推定する際の不確定要素である Ambiguity を短時間の2周波観測データから推定するものである (Rothacher and Mervart, 1996)。

III. 観測とデータ解析

新設したGPS観測網を用いて繰り返し観測を行った。Figure 2に観測の様子を示す。受信機とシールドバッテリー (GSポータラック 12V17Ah) をサブザックの中に格納し、アンテナはケーブルをつけたままザックの背面に取り付けて運搬した。これらの観測キット全体の重量は約15 kgである。受信機は2周波対応 Ashtech Z-XII を使用し、サンプリング間隔は10秒あるいは30秒とした。また、観測時間は最低15分と設定した。Table 2に行ったキャンペーンのログを示す。観測点によっては、時間の制約により観測を行えなかったキャンペーンもある。

繰り返し観測はTable 2に示した以前の1996年6月から行ってきたが、当初、基準点候補にしていたTVOの座標の決定精度が周辺の視界不良などから予想以上に悪く、今回はHKGSの使用が可能になった1998年4月以降のデータのみ解析を行った。解析には、Bernese GPS Software Version 4.2とIGS (International GPS Service for Geodynamics) 精密暦を使用した。観測点座標は以下の方法で求めた。

まず、本観測網で座標を求める際の固定観測点として、国土地理院が美瑛町立美瑛中学校に設



Fig. 2. Example of the GPS observation at the 0012 site (Isobe-rift). We used the concrete block to fix the GPS antenna. (photo by H. Takahashi, Oct. 6, 1998)

置してある GPS 連続観測点（以下 BIEI）を選
 択した。この観測点は、十勝岳火口群から約 25
 km 離れており、十勝岳の浅部火山活動に起因
 する局所的な地殻変動の影響は受けないと考え
 る。始めに、1998 年 4 月 29,30 日、5 月 1 日の
 3 日間にわたる 1 日ごとの BIEI の座標を、IGS の Tsukuba 観測点（基線距離約 850 km）から
 GPS が準拠している座標系である ITRF 96 (International Terrestrial Reference Frame) で結
 合し、3 日間の平均値を BIEI の座標値として固定した。いずれのキャンペーンの解析でも BIEI
 の座標は不動であるとし、各キャンペーンごとに BIEI の座標を固定して HKGS の座標をキャン
 ペーン前後の 3 日間分求める。そして、3 日間の平均値をそのキャンペーンでの HKGS の座標値
 として固定する。ここまでの解析には、30 秒サンプリング 24 時間のデータを 1 日分として使用し
 た。また、基線距離が 20 km 以上あるために電離層擾乱による補正を行う必要があるため、L3 を
 用いて静止測量解析法を行い、対流圏水蒸気電波伝播遅延量とともに座標値を推定した。次に、
 キャンペーンごとに HKGS から、各観測点の座標を L1 と L2 を独立に用いて高速静止測量解析
 法で推定した。

以上のようにしてキャンペーンごとに各観測点の座標を求め、その座標値変化を地殻変動量と
 して導出した。

Table 2. List of temporal GPS campaigns.

| No. | Year ID | Month ID | Observation day |
|-----|---------|-----------|-----------------|
| 1 | 1998 | April | 29, 30, May 1 |
| 2 | 1998 | October | 6, 7, 8 |
| 3 | 1999 | September | 21, 22, 23 |

IV. 結果と考察

1. HKGS 観測点の座標変化

まず始めに、BIEI を固定して求められた HKGS の座標変化について議論する。Table 3 に HKGS の日毎座標値、最小自乗誤差 (rms) およびキャンペーンごとの平均値を示す。いずれの座標値も 24 時間データを使用していることもあり良い収束を示し、キャンペーンの日毎座標値の平均値からの残差は水平成分で 2 mm 以下、垂直成分でも最大 14 mm である。従って、キャンペーンごとに求められた座標の平均値は、水平成分で 1 cm 程度、垂直成分でも数 cm の地殻変動に関して議論ができる精度をもっているものと考えられる。

Table 4 に 1998 年 4 月の座標を初期値とした場合の HKGS の BIEI に対する変位を示す。約 1 年半の観測期間で最大水平変位は 1.5 mm、最大垂直変位は 17 mm であり、これらの値は GPS 測量の誤差の範囲内である。従って、HKGS においては観測期間中に GPS 測量の精度を超えるような有意な地殻変動は起こっていないことが明らかになった。

Table 3. Daily and combined average coordinates of each campaign at the HKGS site referred to the BIEI fixed site.

| Campaign (Month-Year) | Date | Latitude (Deg : Min : Sec) | rms (m) | Longitude (Deg : Min : Sec) | rms (m) | Height (m) | rms (m) |
|-----------------------|---------|----------------------------|---------|-----------------------------|---------|------------|---------|
| April/1998 | Apr. 29 | 43 25 53.891479 | 0.0004 | 142 38 35.004755 | 0.0003 | 1049.5778 | 0.0019 |
| | Apr. 29 | 43 25 53.891416 | 0.0003 | 142 38 35.004636 | 0.0002 | 1049.5784 | 0.0018 |
| | May. 1 | 43 25 53.891417 | 0.0003 | 142 38 35.005698 | 0.0002 | 1049.5869 | 0.0018 |
| | Average | 43 25 53.891438 | | 142 38 35.004697 | | 1049.5810 | |
| October/1998 | Oct. 6 | 43 25 53.891464 | 0.0004 | 142 38 35.004698 | 0.0003 | 1049.5962 | 0.0019 |
| | Oct. 7 | 43 25 53.891431 | 0.0004 | 142 38 35.004628 | 0.0003 | 1049.5931 | 0.0020 |
| | Oct. 8 | 43 25 53.891459 | 0.0005 | 142 38 35.004751 | 0.0003 | 1049.6058 | 0.0024 |
| | Average | 43 25 53.891451 | | 142 38 35.004693 | | 1049.5983 | |
| September/1998 | Sep. 21 | 43 25 53.891408 | 0.0004 | 142 38 35.004673 | 0.0003 | 1049.5722 | 0.0020 |
| | Sep. 22 | 43 25 53.891369 | 0.0005 | 142 38 35.004628 | 0.0003 | 1049.5944 | 0.0024 |
| | Sep. 23 | 43 25 53.891391 | 0.0004 | 142 38 35.004635 | 0.0003 | 1049.5925 | 0.0019 |
| | Average | 43 25 53.891389 | | 142 38 35.004645 | | 1049.58638 | |
| BIEI | | 43 35 22.779051 | | 142 28 56.914872 | | 283.5501 | |

Table 4. Residual displacement at the HKGS with respect to the April 1998 campaign in mm.

| Campaign | N-S (mm) | E-W (mm) | U-D (mm) |
|-----------|----------|----------|----------|
| Apr. 1998 | — | — | — |
| Oct. 1998 | 0.4 | -0.1 | 17.2 |
| Sep. 1999 | -1.5 | -1.1 | 5.3 |

2. 他の観測点の座標変化

次に, HKGS を基点として高速静止測量法によって求められた各観測点の座標変化について議論する. Table 5 にキャンペーンごとの各観測点の座標値, 最小自乗誤差および全キャンペーンの平均値を示す. これは, 先に述べたように, BIEI を固定して得られた HKGS の座標をキャンペーンごとに固定して得られた座標であり, BIEI を固定した座標系になっている. GPS 観測網の中で 0004 点, 0005 点は, キャンペーンにまたがるような観測はなく, また, 0008 点は 62-II 火口からの噴気を直接かぶるために腐食が激しく使用不能の状態になっており, 今回の結果には入っていない. また, 1999 年 9 月のキャンペーンでは, 0006 点と 0010 点の観測が行えなかったためデータ

Table 5. Site coordinates of each campaign and combined average solutions.

| Site | Campaign | Latitude (D : M : S) | rms (m) | Longitude (D : M : S) | rms (m) | Height (m) | rms (m) |
|------|----------|----------------------|---------|-----------------------|---------|------------|---------|
| 0001 | Apr. 98 | 43 26 48.259959 | 0.0006 | 142 38 57.025096 | 0.0004 | 970.9493 | 0.0013 |
| | Oct. 98 | 43 26 48.259910 | 0.0008 | 142 38 57.025448 | 0.0004 | 970.9737 | 0.0011 |
| | Sep. 99 | 43 26 48.260080 | 0.0007 | 142 38 57.025531 | 0.0005 | 970.9608 | 0.0013 |
| | Average | 43:26:48.259987 | | 142:38:57.025358 | | 970.9613 | |
| 0002 | Apr. 98 | 43 26 10.810935 | 0.0008 | 142 39 23.238921 | 0.0008 | 1137.8944 | 0.0018 |
| | Oct. 98 | 43 26 10.810800 | 0.0003 | 142 39 23.239059 | 0.0003 | 1137.8966 | 0.0009 |
| | Sep. 99 | 43 26 10.811107 | 0.0013 | 142 39 23.239131 | 0.0010 | 1137.8787 | 0.0023 |
| | Average | 43:26:10.810943 | | 142:39:23.239043 | | 1137.8908 | |
| 0003 | Apr. 98 | 43 25 59.397531 | 0.0010 | 142 40 2.360530 | 0.0006 | 1351.9748 | 0.0022 |
| | Oct. 98 | 43 25 59.396801 | 0.0012 | 142 40 2.361150 | 0.0009 | 1351.0086 | 0.0020 |
| | Sep. 99 | 43 25 59.397027 | 0.0013 | 142 40 2.360020 | 0.0010 | 1351.0108 | 0.0025 |
| | Average | 43:25:59.397119 | | 142:40:2.360568 | | 1351.9980 | |
| 0006 | Apr. 98 | 43 25 29.588720 | 0.0012 | 142 40 47.710640 | 0.0009 | 1758.3444 | 0.0023 |
| | Oct. 98 | 43 25 29.587726 | 0.0009 | 142 40 47.710906 | 0.0008 | 1758.3487 | 0.0021 |
| | Sep. 99 | — | — | — | — | — | — |
| | Average | 43:25:29.588225 | | 142:40:47.710769 | | 1758.3466 | |
| 0007 | Apr. 98 | 43 25 34.977370 | 0.0010 | 142 40 38.625540 | 0.0008 | 1801.6371 | 0.0017 |
| | Oct. 98 | 43 25 34.976912 | 0.0004 | 142 40 38.625780 | 0.0004 | 1801.6337 | 0.0012 |
| | Sep. 99 | 43 25 34.977274 | 0.0014 | 142 40 38.624797 | 0.0009 | 1801.6246 | 0.0020 |
| | Average | 43:25:34.977187 | | 142:40:38.625371 | | 1801.6317 | |
| 0009 | Apr. 98 | 43 25 22.039012 | 0.0011 | 142 40 20.699313 | 0.0009 | 1819.5931 | 0.0028 |
| | Oct. 98 | 43 25 22.038393 | 0.0007 | 142 40 20.698832 | 0.0005 | 1819.6068 | 0.0016 |
| | Sep. 99 | 43 25 22.038762 | 0.0005 | 142 40 20.700172 | 0.0004 | 1819.5595 | 0.0012 |
| | Average | 43:25:22.038722 | | 142:40:20.699440 | | 1819.5864 | |
| 0010 | Apr. 98 | 43 25 29.915180 | 0.0006 | 142 40 19.259584 | 0.0005 | 1736.7622 | 0.0018 |
| | Oct. 98 | 43 25 29.914985 | 0.0007 | 142 40 19.259612 | 0.0006 | 1736.8040 | 0.0015 |
| | Sep. 99 | — | — | — | — | — | — |
| | Average | 43:25:29.915083 | | 142:40:19.259596 | | 1736.7830 | |
| 0011 | Apr. 98 | 43 25 34.172783 | 0.0007 | 142 40 28.501856 | 0.0005 | 1685.0177 | 0.0012 |
| | Oct. 98 | 43 25 34.172979 | 0.0008 | 142 40 28.501328 | 0.0005 | 1685.0487 | 0.0013 |
| | Sep. 99 | 43 25 34.173013 | 0.0043 | 142 40 28.501455 | 0.0009 | 1685.9882 | 0.0064 |
| | Average | 43:25:34.172923 | | 142:40:28.501545 | | 1685.0181 | |
| 0012 | Apr. 98 | 43 25 53.033181 | 0.0013 | 142 40 13.072784 | 0.0007 | 1434.3754 | 0.0022 |
| | Oct. 98 | 43 25 53.032844 | 0.0008 | 142 40 13.072965 | 0.0006 | 1434.4097 | 0.0013 |
| | Sep. 99 | 43 25 53.033047 | 0.0010 | 142 40 13.072635 | 0.0007 | 1434.3866 | 0.0018 |
| | Average | 43:25:53.033025 | | 142:40:13.072795 | | 1434.3906 | |
| TVO | Apr. 98 | 43 28 31.106120 | 0.0002 | 142 38 59.467130 | 0.0001 | 685.2659 | 0.0003 |
| | Oct. 98 | 43 28 31.105853 | 0.0004 | 142 38 59.467193 | 0.0007 | 685.2697 | 0.0007 |
| | Sep. 99 | 43 28 31.106460 | 0.0004 | 142 38 59.465912 | 0.0009 | 685.2851 | 0.0009 |
| | Average | 43:28:31.106143 | | 142:38:59.466746 | | 685.2736 | |

が存在しない。

各キャンペーンで求められた座標値は、水平成分での rms が概ね 10 mm 以内で収まっており、HKGS の座標を求める際に得られた rms よりはやや大きいものの、求められた解から数 cm 程度の水平地殻変動の議論は十分可能であると考えられる。垂直成分に関しても、同じく HKGS の数倍程度の rms 誤差が得られている。しかし、HKGS からの基線解析では、特に垂直成分の座標推定に影響を及ぼす対流圏水蒸気による電波伝播遅延量を推定していないために、これに起因する誤差を含んだ形で解が得られている。それに加えて、HKGS から火口までは 3 km に満たない短基線ながら標高差が 600 m 以上あり、水蒸気分布の不均質性による影響を非常に受けやすい。従って、垂直成分の変動について議論する場合には、水平成分の数倍の誤差が含まれている場合があることに注意する必要がある。

以上のような点に注意しながら、座標の変化を見てみる。変位量が見やすいように、全キャン

Table 6. Comparison of site coordinates with respect to the combined average solutions and differences between campaigns in mm.

| Site | Component | Campaign | | | | |
|------|-----------|----------|------------|---------|------------|---------|
| | | Apr. 98 | Difference | Oct. 98 | Difference | Sep. 99 |
| 0001 | N-S (mm) | -0.8 | -1.3 | -2.1 | 5.0 | 2.9 |
| | E-W (mm) | -5.8 | 7.8 | 2.0 | 1.9 | 3.9 |
| | U-D (mm) | -1.2 | 24.5 | 12.5 | -13.0 | -0.5 |
| 0002 | N-S (mm) | -0.2 | -4.6 | -4.8 | 9.9 | 5.1 |
| | E-W (mm) | -2.8 | 3.7 | 0.9 | 1.0 | 1.9 |
| | U-D (mm) | 3.6 | 4.9 | 8.5 | -20.6 | -12.1 |
| 0003 | N-S (mm) | 12.7 | -22.6 | -9.9 | 7.1 | -2.8 |
| | E-W (mm) | -0.8 | 13.9 | 13.1 | -25.4 | -12.3 |
| | U-D (mm) | -23.3 | 33.9 | 10.6 | 2.1 | 12.7 |
| 0006 | N-S (mm) | 15.3 | -30.6 | -15.3 | - | - |
| | E-W (mm) | -3.0 | 6.0 | 3.0 | - | - |
| | U-D (mm) | -2.2 | 4.4 | 2.2 | - | - |
| 0007 | N-S (mm) | 5.7 | -14.2 | -8.5 | 11.3 | 2.8 |
| | E-W (mm) | 3.8 | 5.4 | 9.2 | -22.2 | -13.0 |
| | U-D (mm) | 5.4 | -3.5 | 1.9 | -9.1 | -7.2 |
| 0009 | N-S (mm) | 8.9 | -19.1 | -10.2 | 11.4 | 1.2 |
| | E-W (mm) | -2.8 | -10.9 | -13.7 | 30.2 | 16.5 |
| | U-D (mm) | 6.7 | 13.6 | 20.3 | -47.3 | -27.0 |
| 0010 | N-S (mm) | 3.0 | -6.0 | -3.0 | - | - |
| | E-W (mm) | -0.3 | 0.6 | 0.3 | - | - |
| | U-D (mm) | -20.9 | 41.8 | 20.9 | - | - |
| 0011 | N-S (mm) | -4.4 | 6.1 | 1.7 | 1.0 | 2.7 |
| | E-W (mm) | 6.9 | -11.8 | -4.9 | 2.8 | -2.1 |
| | U-D (mm) | -0.5 | 31.0 | 30.5 | -60.5 | -30.0 |
| 0012 | N-S (mm) | 4.8 | -10.3 | -5.5 | 6.2 | 0.7 |
| | E-W (mm) | -0.2 | 4.0 | 3.8 | -7.4 | -3.6 |
| | U-D (mm) | -15.1 | 34.2 | 19.1 | -23.1 | -4.0 |
| TVO | N-S (mm) | -0.7 | -8.3 | -9.0 | 18.8 | 9.8 |
| | E-W (mm) | 8.6 | 1.5 | 10.1 | -28.8 | -18.7 |
| | U-D (mm) | -7.7 | 3.9 | -3.8 | 15.3 | 11.5 |

ペーンから得られた座標の平均値からの各キャンペーンの残差と各キャンペーン間の変化量の差を Table 6 に示した。キャンペーン間の地殻変動量は極めて小さく、概ね水平成分で 2 cm 以下、垂直成分でも 3 cm 程度である。0011 点では、1998 年 10 月と 1999 年 9 月の間で 6 cm に及ぶ沈降が示されているが、1999 年 9 月の rms 誤差は 98 年 10 月の 5 倍以上あり、推定された座標にかなりの誤差が含まれていると考えられるため、有意な変動とは考えにくい。また、2つの期間を通して有意に系統的な動きをしている点もみいだせない。従って、解析を行った 1998 年 4 月から 1999 年 9 月までの間に、十勝岳の火口周辺域では GPS 測量の精度を超えるような有意な地殻変動は進行していないと結論づけられる。

V. ま と め

十勝岳火口周辺域での火山性地殻変動を検出するため、新たに高密度 GPS 観測網を構築し高速静止測量法による繰り返し観測を 1998 年 4 月から 1999 年 9 月にかけて行った。その結果、2 次基準点とした HKGS (国土地理院白銀荘観測点) では、最大の変位量が水平成分で 2 mm、垂直成分で 14 mm と小さく、有意な地殻変動は検出されなかった。また、他の観測点でも GPS 測量の精度を超えるような地殻変動は検出されず、今回の観測期間中には、十勝岳火口周辺域では火山性地殻変動が進行していないことが明らかにされた。しかし、観測期間が短かったために変動が検出できなかつたことも考えられ、また、今後地殻変動が活発化する可能性もある。このため、定期的な観測を継続し、特に火山活動に伴う地変が出現しやすいと考えられる火口周辺域でのデータの蓄積をはかり、地殻変動の有無および進行を時空間的にモニターしていく必要がある。また、特に垂直成分において問題となる大気中水蒸気の不均一性による測位誤差を軽減するために、電波伝播遅延量の推定を座標値の推定と共に行う必要がある。

謝辞 気象庁旭川地方気象台には、十勝岳火山観測所に基準点の設置を許可していただいた。国土地理院から提供して頂いた全国 GPS 連続観測網の RINEX データを使用した。現地観測にあたっては、北大地震火山センターの笠原稔教授、カムチャッカ地震観測所のゴルディエフ所長、北海道立地質研究所の石丸聡・廣瀬亘研究職員、旭川地方気象台佐藤十一主任技術専門官、札幌管区気象台宮村淳一技術専門官の協力を得た。記して感謝の意を表したい。また、本観測を行うにあたり、北海道の十勝岳災害対策諸費の一部を使用した。

文 献

- 石川俊夫・横山泉・勝井義雄・笠原稔, 1971. 十勝岳—火山地質・噴火史・活動の現況および防災対策, 136 pp, 北海道防災会議。
- 仮屋新一・木股文昭・渡辺秀文・及川純・長田昇・松島健・三ヶ田均, 1997. 三宅島での GPS 観測, 日本測地学会 第 88 回講演会要旨, 177-178。
- 木股文昭・仮屋新一・藤田雅之・松本邦雄・田部井隆雄・瀬川爾朗・山田明子, 1999. GPS 観測による神津島内に

- おける地殻変動 (1996年7月-1997年11月), 火山, **44**, 13-22.
- 森濟, 1995. GPSによる北海道の活動的な五火山の地殻変動観測, 国際火山ワークショップ1995小論文・要旨集, 104-106.
- 中川光弘, 1995. 新期十勝岳・最近3000年の活動史, 北海道火山勉強会会誌 *Vulcan*, **1**, 27-31.
- 西潔・石原和弘・加茂幸介・小野博尉・森濟, 1995. GPS測量による雲仙火山マグマ溜りの推定, 火山, **40**, 43-52.
- Nishi K., H. Ono, H. Mori, 1999. Global positioning system measurements of ground deformation caused by magma intrusion and lava discharge : the 1990-1995 eruption of Unzendake volcano, Kyushu, Japan, *Jour. Volcano. Geotherm. Res.*, **89**, 23-34.
- Okada Y., 1992. Internal deformation due to shear and tensile faults in a half space, *Bull. Seismo. Soc. Am.*, **82**, 1018-1040.
- Rothacher and Mervart, 1996. Bernese GPS Software Version 4.0, 418 pp, University of Bern, Switzerland.
- 山川宣男, 1955. 内部力源による半無限弾性体の変形について, 地震, II, **8**, 84-98.