

口永良部島火山における GPS 連続観測による
気象要素を加味した 3次元変位検出

齋藤英二*・井口正人**

(2005年8月11日受付, 2005年12月12日受理)

Ground Deformation Detection at Kuchinoerabujima Volcano by
Continuous GPS with Simple Atmospheric Correction

Eiji SAITO* and Masato IGUCHI**

Kuchinoerabujima, located in southwestern Japan, is an andesitic volcano where explosive eruptions have repeatedly occurred. Seismicity increased in 1996 and 1999, and inflation of the volcanic body was detected by GPS surveys during the period from 1995/96 to 2000 (Iguchi *et al.*, 2002). We established a continuous GPS observation network in April, 2004 to study the relation between seismicity and ground deformation. Vertical component of a baseline with a particularly large elevation difference is influenced by water vapor in the atmosphere. In this study, a simple atmospheric correction method is proposed to detect an upheaval component of 1 cm order. After the correction, ground deformation starting at the beginning of January, 2005 is clearly recognized at an observation site near the summit crater. The ground deformation has progressed at a rate of about 1 cm per 100 days, and it may be caused by a presumed pressure source at a depth of 300 m beneath the summit. The deformation corresponded to increase in seismicity of high-frequency events at depths shallower than 500 m. It is inferred that these phenomena were caused by hydrothermal activity.

Key words: Kuchinoerabujima volcano, GPS, ground deformation, seismicity, atmospheric correction

1. はじめに

口永良部島火山は、有史以降、爆発的な噴火を繰り返してきた。噴火は、山頂火口またはその近くの割れ目から発生しており、次の噴火も同様にその付近で起きる可能性は高い。山頂直下浅部の群発地震活動は、1996年頃から活発な状態にある(井口・他, 2002)。活動状況を調べる目的で、山麓の4点と山頂部の1点からなるGPS観測網を2004年4月に設置した。

火山山頂部の観測点は、山頂地下浅部での活動変化をいち早く捉えるために有効である。GPSを利用した観測の場合、山頂部の観測点の変位は、山麓観測点を基準として求められる。この際、点間の大きな高低差は微細な変位検出の障害になる。山頂と山麓では、水蒸気量に違いがあるため、その影響が特に上下変位成分に顕著に現

れる。この問題の解決を難しくしている最大の原因は、水蒸気の時空間分布の複雑さにある。しかしながら、活動中心直上付近の地表の上下成分を連続的に検出することの重要性を鑑みると、精度悪化要因である水蒸気擾乱の影響を減じ、変位検出の可能性を上げることの意味は大きい。

本論文では、低コストの簡易気象補正法を考案したので、その概要と有効性について述べる。併せて2005年1月に検出された地盤変動と火山性地震活動との関連について議論する。

2. 観測の経緯と概要

口永良部島火山は、屋久島の北西約14kmにある安山岩質の火山島である。島は北西-南東方向に長軸を持つ

* 〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1 つくば中央第7産業技術総合研究所地質調査総合センター
Geological Survey of Japan, AIST, 7-Central, 1-1-1 Higashi, Tsukuba 305-8567, Japan.

** 〒891-1419 鹿児島市桜島横山町
京都大学防災研究所附属火山活動研究センター

Sakurajima Volcano Research Center, DPRI, Kyoto University, Sakurajima-Yokoyama, Kagoshima 891-1419, Japan.

Corresponding author: Eiji Saito
e-mail: e.saito@aist.go.jp

約 12 km×5 km の大きさで、北西側の番屋ヶ峰（標高約 291 m）および南東側の新岳・古岳・野池火山など（最高点標高 657 m）の 2 つの山塊からなる。1841 年以降に 12 回の噴火活動記録があるが、噴火はすべて南東側山塊の新岳火口内あるいはその東の割れ目において発生している。このうち、1933～1934 年の噴火活動では、新岳の南東山麓にあった七釜集落が噴石により全滅する災害が発生した。このような噴石を伴う記載は少なくとも 4 回あり（気象庁、2005）、最近の噴火様式は爆発的といえる。

1991 年 12 月に新岳の噴煙異常が目視されたのを契機に、新岳火口近傍の 1 点ではあるが京都大学防災研究所（以下京大防災研）によって常時地震観測が始められた。また、本格的な測地的観測は、1994 年から京大防災研によって進められている。主な観測項目は、山麓の 1 箇所での GPS 連続観測と、山体の複数基点における GPS 繰り返し観測および西側山麓道路の精密水準測量である。

同火山付近では、1999 年 7 月から翌年 3 月頃にかけて顕著な群発地震活動があったが、それを挟む 1995/96 年

と 2000 年の GPS 測量で新岳地下の山体膨張が捉えられ、群発地震活動と変動との関係が指摘された（井口・他、2002）。新岳では 2002 年および 2004 年 2 月にも地震の発生回数が増加した。このように新岳の地下浅部の地震活動は高いレベルにある。筆者らは、地盤変動と群発地震活動との関係を明らかにする目的で、2004 年 4 月に GPS の連続観測システムを設置した。

GPS 観測網は、新岳を挟むような山麓の 4 点と、新岳山頂火口北西側の 1 点からなる（Fig. 1）。このうち、GSI と称した観測点は国土地理院の電子基準点 #960725 である。

KUC7, KUC9, KUC11 および SDW は、古野電気（株）製の 1 周波型 GPS 受信機 MG2110 型を使用した。この受信機は消費電力が小さいため、商用電力が供給されない場所での観測に適している。観測は 30 秒エポックで行われ、データはメモリーカードに蓄積される。山頂の SDW は、携帯電話によりオンラインでデータ回収しており、インターネット経由で入手可能な GSI のデータと組み合わせて、地盤変動をモニタリングしている。その

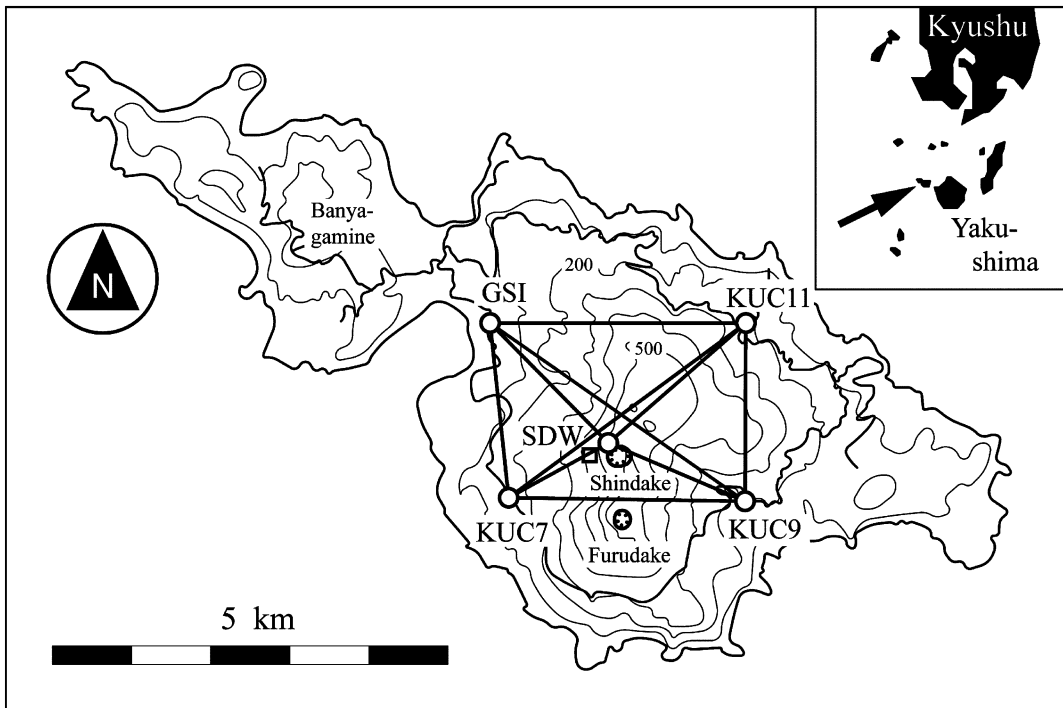


Fig. 1. Location of continuous GPS network. Single-frequency type receivers are installed at stations KUC7, KUC9, KUC11 and SDW. GSI is station #960725 of the GEONET by the Geographical Survey Institute. The data at SDW are retrieved by cellular modem communication, and data at GSI are downloaded via the Internet. The other stations' data are recorded in loggers. Atmospheric temperature and humidity were observed at KUC11. Seismicity is monitored by a station indicated by a square.

他の山麓観測点ではメモリカードに蓄積されたデータを適宜回収・処理している。

基線解析には、古野電気(株)製の1周波基線解析ソフトウェア CapWinAuto (Ver. 2.9.3.0)を使用した。CapWinAuto における大気伝播遅延に関する処理は、放送暦データを用いた修正 Hopfield モデル(ホフマン・ウェレンホフ・他, 2005)による。観測されたデータは1時間毎にファイル化され、1基線について1日に24個の解析結果が得られる。1時間毎のファイル化は、変動速度が時速単位で有意なほど顕著な場合に備えるためであるが、本報の変位検出においては24個の解析解の日平均値を使用した。

3. 観測結果

2004年4月から2005年6月までの全10基線の相対3成分の時系列を Fig. 2 に示す。水平成分は、変位を上下反転させたもの(図中に R と付記)と一対で示してある。これは基線を逆方向からみた場合の相対変位に相当するが、順方向と逆方向の一組を接近させて表示すると、その間の広がり具合が変位量を2倍に拡大したものになるため、微妙な変化傾向が読み取り易くなる。一組が期間を通じて並行であれば、相対的に変化がないことを意味し、一方的に開くか閉じるのは、累積傾向を示す。

3-1 水平変動

水平成分の短期のばらつきは、 ± 1 cm 以内に収まっている。12月下旬から3月頃までは比較的ばらつきが小さい。これはおそらく大気の状態が安定したためと考えられるが、この好条件時に、2004年12月末ないし2005年1月初め頃から SDW に関係した4つの基線に明瞭な累積変位が認められた。SDW の変位は山麓のいずれの観測点からみても北および西向きであり、それ以前の変化との比較において明らかに有意である。この変動期間内に山麓の基線に顕著な変化がないことから、この変動は山頂付近に限られた範囲で生じたことがわかる。以下ではこの変動を「Jan05 変動」と呼ぶことにする。

Jan05 変動の始まりは、4つの基線の中では、GSI-SDW が比較的明瞭である。それでも、2004年12月から2005年1月初め頃とした範囲より細かい時間分解能で開始日を特定できない。これは、変位速度が小さいためである。ここでは Jan05 変動の始まりの時期を「2005年1月初め頃」と表現するが、数日程度遡った範囲までを含むことを意味する。

GSI-SDW 以外の3点からみた Jan05 変動の開始時期は、特に南北成分において不明瞭である。また、KUC7 と KUC9 からの Jan05 変動中の変動速度は、GSI-SDW より明らかに減速傾向が顕著である。これらの原因は、

KUC7 と KUC9 に Jan05 変動とは別の南北成分の変位が含まれたためと考えられる。その一例を変化が比較的明瞭な GSI-KUC9 の南北成分で見ている。KUC9 は、GSI に対して、2004年7月頃から10月頃にかけて緩やかに南変位し、12月初め頃にかけては反転して北変位した。12月から3月頃にかけては再び緩やかに南変位し、3月以降6月時点では北変位傾向である。これと類似した変化パターンは、基線の方位がほぼ東西方向の KUC7-KUC9 と GSI-KUC11 には認められず、KUC9 および KUC7 と関係した、南北方向の基線成分の大きな山麓基線に認められる。したがって、観測期間中の KUC7 と KUC9 には、このような南北成分の緩やかな変化があったものと考えられる。KUC7 や KUC9 から見た SDW の南北成分には、この変化が加わっており、そのことが、Jan05 変動の開始時期を不明瞭にし、また、変動が減速したように見えた原因と考えられる。

KUC7 と KUC9 の南北成分の緩やかな変化の幅は、観測期間中の極値と思われる2004年の7月頃と2005年3月頃と比較しても、1 cm に満たない。したがって、これらが実際の変動であるのか、あるいは観測手法上も含めた季節変化であるのかの判別は現段階では困難であり、データの蓄積を待って確かめる必要がある。

3-2 上下変動

山麓間の基線には、少なくとも数 cm を超える累積変動は認められない。山麓に対する山頂部の変化は、数 cm 以上の季節変化の振幅に加えて短期間内のばらつきも顕著であり、この結果から直ちに1 cm 程度の微小な変動を検出することは困難である。しかしながら、山頂部の連続観測点 SDW は、新岳の山頂火口縁から百数十 m の距離にあり、新岳火口直下で膨張が起これば、全観測点の中では最も大きく上下変動することが予想される。実際、SDW では Jan05 変動のように明瞭な水平変位が検出されていることから、この変動期間内に上下変動が含まれていることは十分に期待できる。上下成分には季節変動が認められ、水蒸気の影響を受けている可能性が高いと考えられた。次にその影響を減らす試みを行った。

4. 上下変位成分検出の試み

4-1 上下成分の誤差と水蒸気の影響

GPS で使用している電波はマイクロ波帯であり、水蒸気の影響を大きく受けることはよく知られている(日本測地学会, 1989)。いわゆる大気伝播遅延の問題である。この問題に対しては、一般には GPS 基線解析ソフトウェアに組み込まれている標準大気モデルと放送暦データに含まれるパラメータに基づいて補正がなされる。本報で用いた基線解析ソフトウェアの CapWinAuto にお

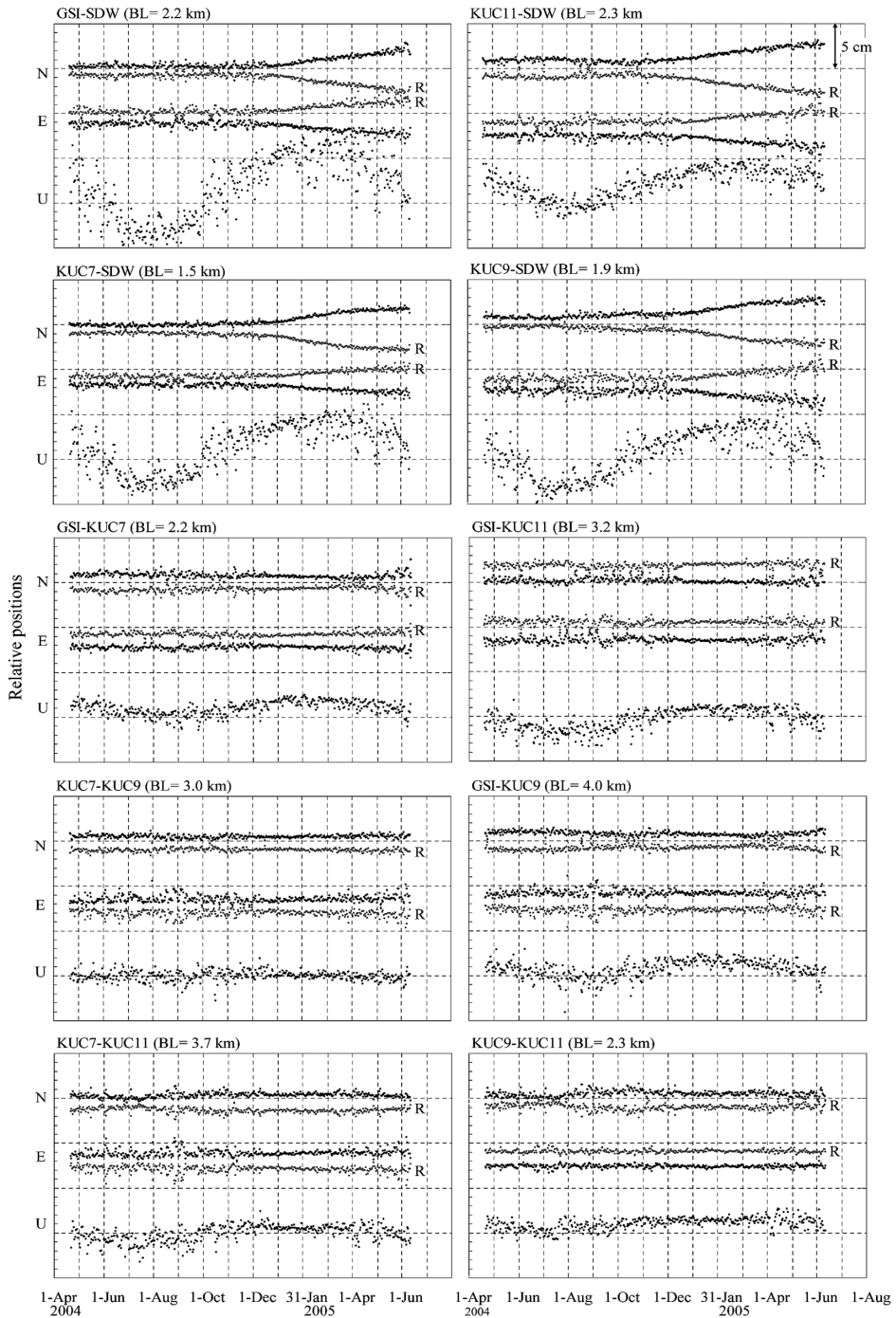


Fig. 2. Relative changes of positions in three components for all baselines. The horizontal components are shown by a couple of normal plots and inverted ones (R) to enhance small changes. The changes for the northwestward appeared in the horizontal components of SDW from January, 2005. No remarkable changes in the baselines at the foot of the mountain were recognized. It is impossible to detect the changes of the U component because a larger seasonal variation was included in the baseline with a larger vertical distance.

いても同様に処理されている。10 km より短い基線の場合、GPS 衛星から基線両端の受信機アンテナに到達するまでの電波伝播経路の大気状態に大きな差がないとして、解析時に位相差処理を施す。この処理によって共通経路の誤差要因の大部分は相殺される。本報の基線は 4 km 未満であり、相殺効果はより高い。それにもかかわらず、上下成分に顕著なばらつきや季節変化が現れていることから、その原因は鉛直方向の経路の違い、すなわち基線両端間の高低差の違いによる大気伝播遅延量の差が現れたものと考えられる。この影響の大部分は地表近傍の水蒸気量の鉛直勾配とその時間変化に依存することが予測されるため、地表の 1 箇所における水蒸気量指標を用いた簡便な補正方法を試行した。

4-2 気象測定の方法

気象観測は、KUC11 において行った。KUC11 とした理由は、5 箇所の GPS 観測点における標高の中央値に近いためである。

計器は、2005 年 2 月までは HIOKI 製の温湿度データロガー 3941 型と同社製 9680-02 型温湿度センサーを、2 月以降は onset 製の温湿度データロガー H8Pro 型を使用した。センサーの性能は Table 1 の通りである。センサーは自然通風筒に収め、地表から約 1.5 m の地点に設置した。データの収録は、GPS の解析単位に合わせて、1 時間間隔で行った。HIOKI 製ロガーにおける毎時の記録時刻は、データ回収後の記録開始操作を行った時刻によって決まるので、データ回収の都度異なる。ロガーによって観測された気温と相対湿度のデータは、約 43 km 離れた屋久島測候所の地上気象データ (<http://www.data.kishou.go.jp/index.htm>) と比較し、センサーの異常や大きな経年変化がないことを確認した。

水蒸気圧 e (Pa) は、相対湿度 Rh (%) から以下のように求められる。

$$e = Rh \times es / 100$$

ここで es は飽和水蒸気圧 (Pa) であり、Sonntag (1990) の水の飽和水蒸気圧 ew を求める式

$$\begin{aligned} \ln(ew) = & -6096.9385 \times T^{-1} + 21.2409642 \\ & - 2.711193 \times 10^{-2} \times T \\ & + 1.673952 \times 10^{-5} \times T^2 + 2.433502 \times \ln(T) \end{aligned}$$

により求めた。 ew は氷の飽和水蒸気圧 ei との対比において用いられた記号であり、今の場合、 $es = ew$ である。 T は気温 (°C)。

4-3 水蒸気の影響と気象補正の効果

2004 年 10 月の 1 ヶ月間における GSI-SDW の上下相対変位の 1 時間間隔の時系列を Fig. 3 の中段に示す。上段は上下反転させた水蒸気圧である。両要素の変化の揺らぎは明瞭に同期している。明らかな異常値を除く 2004 年 4 月から 12 月までの 1 時間ごとのデータをプロットすると Fig. 4 のようになる。両要素には負の一次相関がある。この比例係数を「 U/e 」と呼ぶことにする。 U/e は、SDW-GSI の基線では -4.6×10^{-3} になった。決定係数 R^2 は 0.84 であり相関はよい。

1 年の中で水蒸気圧が最大となるのは 8 月頃である。したがって Fig. 4 のプロットは、4 月から 8 月までの水蒸気圧の上昇期と、8 月から 12 月までの下降期が重なっている。もし、この期間に一定の割合あるいはステップ状の累積上下変動があった場合は、直線分布にならない。したがって、2004 年 4 月から 12 月までの期間には、少なくとも本観測で捕らえられるレベルの累積的な上下変動はなかったものと考えられる。

U への気象補正量は、 U/e を勾配にした一次式に、 e を与えることで得られる。気象補正結果を Fig. 3 の下段に示す。ここでは日平均値を滑らかな曲線にして加えてある。Fig. 3 の期間における補正前の標準偏差は ± 2.4

Table 1. Specifications of meteorological data loggers.

		HIOKI 3941+ 9680-02	onset HOBO H8Pro (H8-32-08)
Temperature	Range	-40~+85 °C	-30~+50 °C
	Sensor	Thermistor	Thermistor
	Accuracy	±0.5 °C (0~35 °C)	±0.5 °C
	Response time	about 100 seconds	-
Relative humidity	Sensor	Capacitance (polymer type)	Capacitance (-)
	Accuracy	±6% (0~50 °C, 5~60%rh) ±8% (0~50 °C, 60~80%rh)	±3% (0~50 °C) (up to ±4% in condensing environments)
	Response time	about 300 seconds	30 minutes
	Drift	±1% per 5 years (25 °C, 50%rh)	±1% per year (typical)

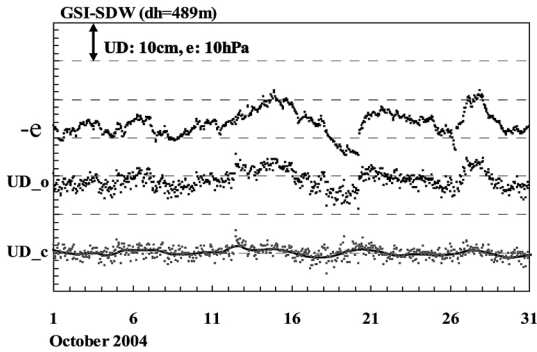


Fig. 3. Temporal changes of water vapor pressure and relative vertical component of the position. e : water vapor pressure, UD_o : observed vertical component and UD_c : vertical component corrected by U/e (See Fig. 4).

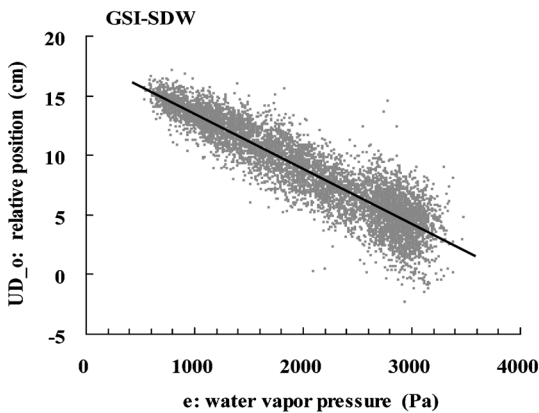


Fig. 4. Correlation of vertical component with water vapor pressure.

cmであったが、補正後は ± 1.4 cmになり、ばらつきを6割程度に縮める補正効果が認められた。

なお、この補正法を他の地域の同様の観測に適用する場合は、基線の高低差や気象観測地点の標高、GPS基線と気象観測地点との相対位置関係、地形、センサー特性などにより U/e が変わるので、地域ごとに U/e を決定する必要がある。

4-4 気象補正後の上下変動

KUC11の気象データに基づいて全基線の U/e を求め、それぞれの上下成分に補正するとFig. 5のようになる。季節変化を含む数日から数ヶ月の揺らぎの多くが補正された。図で明らかなように、気象補正の効果によってSDWに関係する4つの基線のいずれにおいてもJan 05変動に伴う隆起が検出された。基線の一端で気象観測

を行ったKUC11-SDWでは特に明瞭である。隆起の始まりが大気状態の安定した時期であったという好条件もあるが、12月下旬頃から隆起が始まったことがみとれる。

2005年2月初めに僅かな沈降があったように見える。この変化はGSI-SDWにも認められる。この間、水平方向にはほぼ一定割合で膨張していることから、膨張に伴う表層の伸張によって生じた陥没の可能性もある。変化量が小さいため可能性の指摘のみに留める。

5. 口永良部島の地盤変動と火山活動

5-1 Jan05変動の力源

GSI-SDWの2005年2月6日から5月20日までの期間の水平2成分の変位速度は、北向きに 0.95 cm/100日、西向きに 0.64 cm/100日である。これらから変位方向と平均変位速度を求めると、それぞれ $N 34^{\circ}W$, 1.15 cm/100日となった。変位方向を新岳山頂付近の地形図上にプロットするとFig. 6のようになる。図中のA-A'の破線は、SDWを通る $N34^{\circ}W$ の変位方向線であり、新岳山頂火口のはほぼ中央を通過することがわかる。山頂部の連続観測点はSDWの1点のみで、地盤変動が山麓の観測点にまで顕著に及んでいないため、複数の観測点の変位ベクトルの収斂によって膨張源の平面位置を推定することはできない。しかしながら、これまでに行われた山頂火口周辺の複数基点の繰り返しGPS観測結果(井口・他, 2002)を参考にすると、膨張源が新岳山頂火口の直下にある可能性は高い。

上下変動については、気象補正効果が最も高いと考えられるKUC11-SDWの結果を使って平均隆起速度を求めた。2月上旬に一時的な沈下のように見える変化があるため、それを避けて2月6日から5月末までの期間を使った。その結果、 1.06 cm/100日になった。先の水平成分の値と組み合わせると、A-A'を通る鉛直面上のSDW点の位置において 43° 上向きの変位ベクトルが得られた。この変位ベクトルが、新岳火口中央の鉛直線上にある球状力源(Mogi, 1958)の等方的な膨張によって生じたと仮定すると、その深度は、新岳火口底下百数十m、標高では300m台前半付近になった(Fig. 6の断面図)。山麓の観測点を加えてグリッドサーチによって膨張源の位置と体積増加率を求めたところ、新岳火口中央直下の深度300m、2005年2月から5月の期間における平均体積変化速度として約 $7,000$ m³/100日を得た。グリッドサーチは地形を無視した半無限弾性体を仮定しているので、得られた結果の信頼性については高いものとは思われないが、仮にグリッドサーチの基準面をSDW点の標高付近の550mとすれば、膨張源深度の標高は、250m

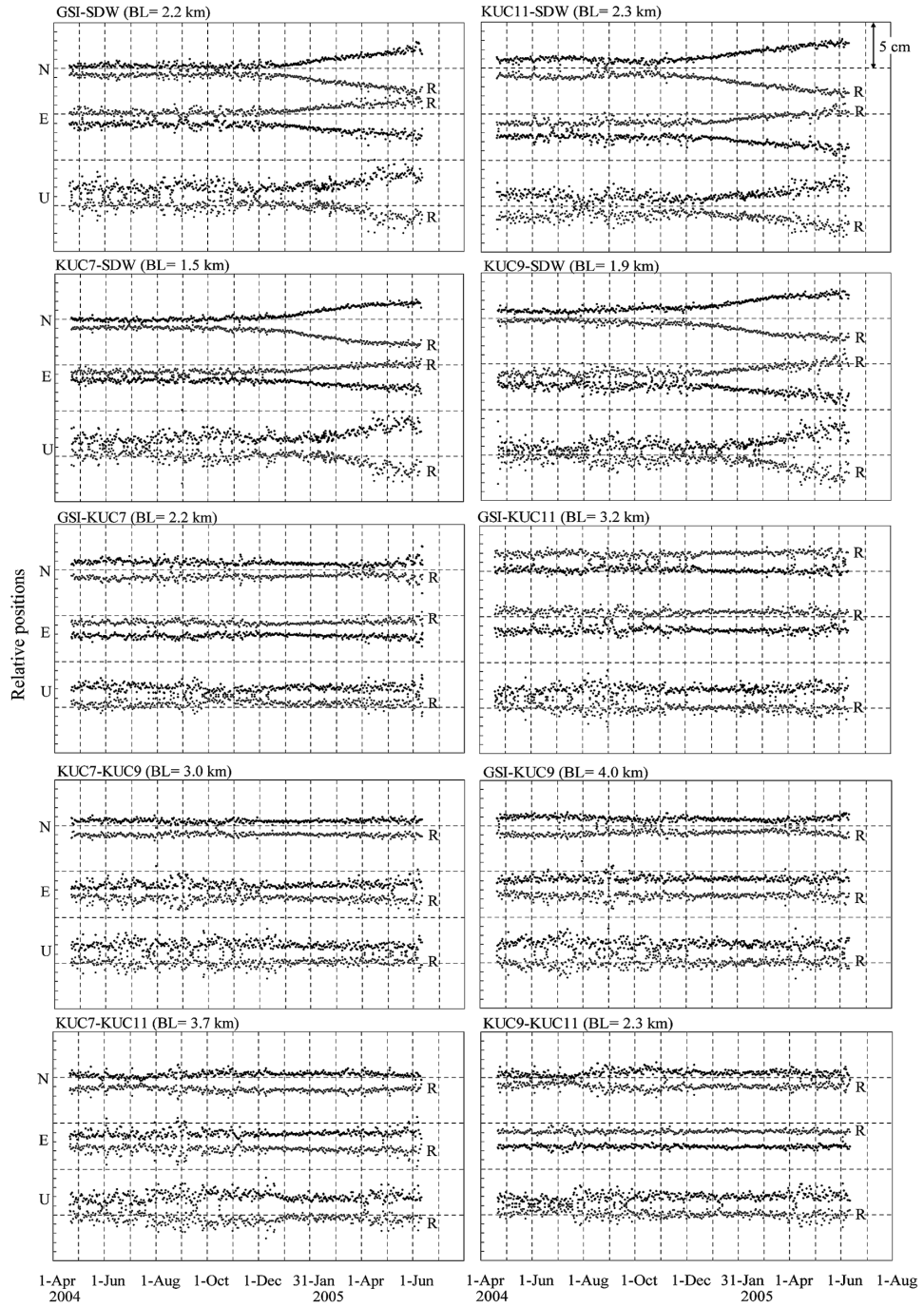


Fig. 5. Relative changes of positions in NS, EW and corrected vertical components for all the baselines during the period from April 2004 to June 2005. Perturbation due to atmospheric vapor on the vertical component is mostly removed by the atmospheric correction method, and a slight upheaval of SDW is identified in the 4 baselines related to SDW.

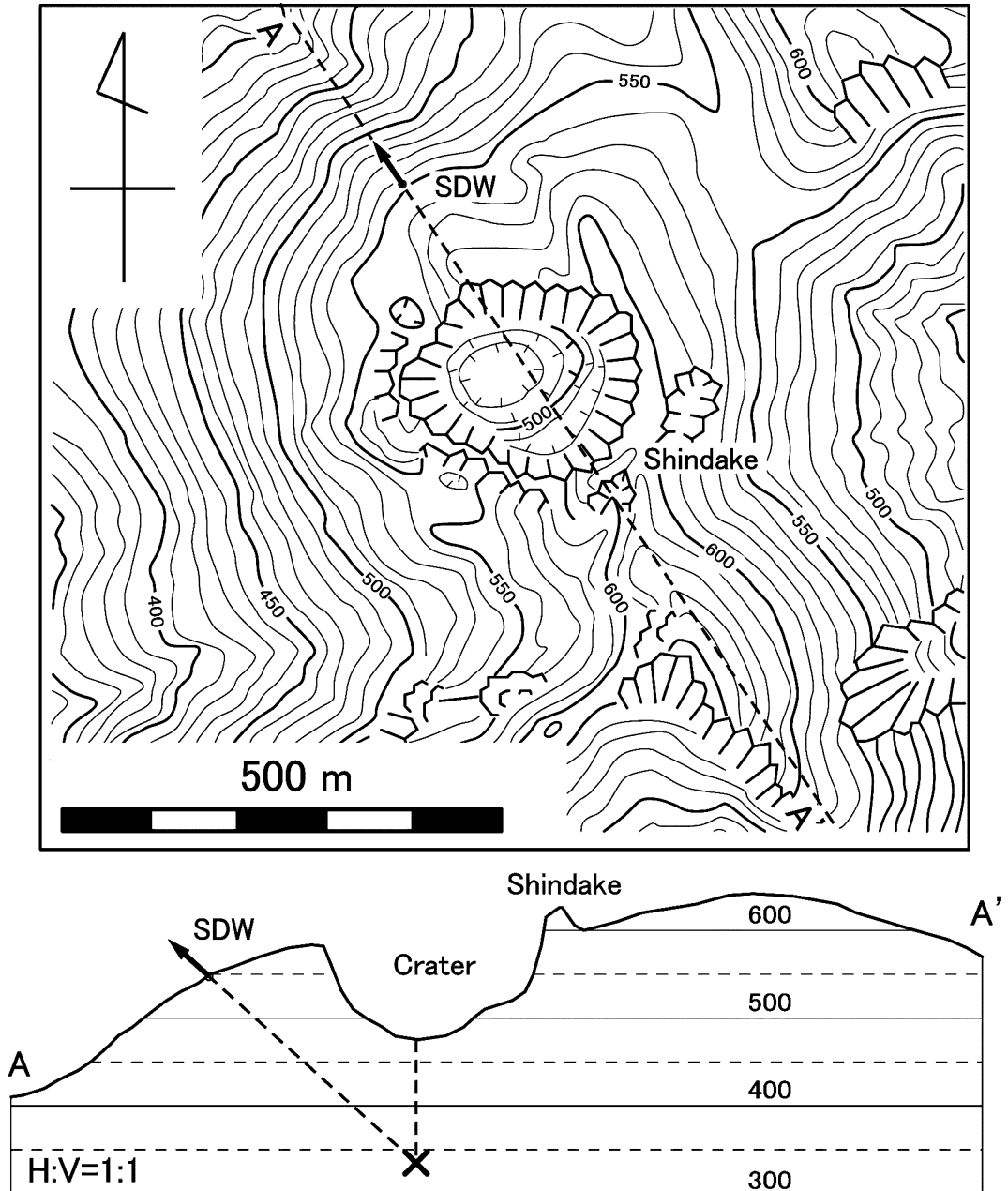


Fig. 6. Displacement vector of SDW in horizontal plane (top) and vertical cross-section A-A' (bottom). The average displacement vector is calculated from the data of GSI-SDW from January to March, 2005. Horizontal displacement vector is almost oriented outward from the center of the summit crater. The dip angle (43°) of the displacement vector is obtained from the average upheaval rate from February to May, 2005. Cross is estimated position of the pressure source, assuming isotropic inflation beneath the summit crater.

となり、先の幾何学的な推定とも矛盾しない。

5-2 地震活動との関係

GPS 連続観測により検出された SDW の北西方向への変位と隆起が火山活動とどのように関係するかについて考えてみる。GSI-SDW の時系列に火山性地震の日別の発生頻度を加えると Fig. 7 のようになる。地震数は新岳火口の西約 400 m に設置された地震計による (Fig. 1 の四角)。Fig. 7 から明らかなように、2005 年 1 月頃から始まった Jan05 変動に同期して地震回数の増加が認められる。火山性地震の震源深度は、数百 m より浅いとされている (井口・他, 2001)。Jan05 変動源は、標高 250~300 m 付近に求められており、両者はほぼ一致している。これらのことは、地震活動と地盤変動がほぼ同一の場所で、共通の原因によって発生した可能性を強く示唆する。

地震活動や地盤変動の発生源の深度は、マグマの存在を考えるには浅い。したがって、これらは熱水活動によってもたらされたと考えられる。筆者らは 2005 年 2 月 6 日に新岳火口周辺において噴気量および噴気高度の増加を確認したが、そのことは熱水活動の活発化と矛盾しない。しかしながら、山頂部の膨張にも関わらず、突発的噴気活動や噴火には至っていない。これらのことは、流体が容易に上昇することのできないバリアの存在を示唆する。Jan05 変動および地震活動は、その下に形成された流体溜りの膨張で生じたものとする。この膨張は、地下深部の高圧下で生産された流体が、より低圧な流体溜りまで上昇したことで生ずる減圧膨張と、一時的な多量の流体供給による膨張の 2 つの原因によって生じた可能性がある。減圧膨張は、凝縮と熱伝導による温度低下を促進し、熱力学的にはより安定な状態に向かわせる。このことは、流体の更なる上昇が抑制される可能

性を示唆し、熱力学的な意味でのバリアとして作用しているのかもしれない。流体溜りへの熱水の供給率が低い間は、比較的短期間に冷却・減圧し、活動が終息したようにみえると考えられる。

口永良部島火山一帯では、1996 年、1999 年、2004 年 2 月に地震活動が活発化した。これまでは GPS の連続観測が行われていなかったため、これらの地震活動の活発化がすべて地盤変動を伴っていたかどうかは確認できないが、Jan05 変動における火口周辺の地盤の膨張と地震活動の活発化が同期していることを考えると、これらの地震活動の消長は、先に述べたようなバリアの下の流体溜りへの間歇的な熱水の上昇と一時的な冷却の過程を見ているのかもしれない。

Jan05 変動のように測地学的観測によって捉えられるレベルの山体膨張を伴った活動は、おそらく熱水の供給率の一時的な高まりあるいは 1 回の供給量が多かったためであろう。

Jan05 変動の膨張地盤変動は、2005 年 6 月中旬現在でも続いており、地震の群発も続いている。したがって、バリア下の流体溜りへの流体の注入は、2005 年 6 月中旬現在も継続していると考えられる。バリアに力学的限界があることは明らかであり、慎重に推移を見守る必要がある。また、熱水上昇の繰り返しは、深部から浅部への熱の移動を意味することから、長期的な熱兆候の推移にも注目する必要がある。

6. 今後の課題

Fig. 5 でも明らかなように、気象観測地点を一端に持つ基線とそうでない基線とでは、気象補正後の上下変動のばらつきや度合いに違いがある。数 km 規模の観測網においても 1 箇所の気象観測点だけで適切かどうか、気象観測の場所の問題も含めて今後の課題である。気象測定上の問題としては、GPS が 30 秒毎の水蒸気変化の影響の 1 時間平均値を記録しているのに対して、気象センサーは取得直前のある時間幅の平均値を検出している。時間幅はセンサーの感度と強制通風かどうかに影響される。水蒸気の動態は非常に複雑であり、気象観測の負担と補正精度追求の間の最良の妥協点を探ることも重要な課題と考える。また、些細な気象要素の変化が、変動の判別に影響を与え得るので、センサーの安定度や較正の方法についても考慮する必要がある。

7. まとめ

1996 年以降地震活動の活発化が繰り返しみられる口永良部島火山において、火山性地震と地盤変動の関係等を調べる目的で、古野電気製の 1 周波型 GPS による連続

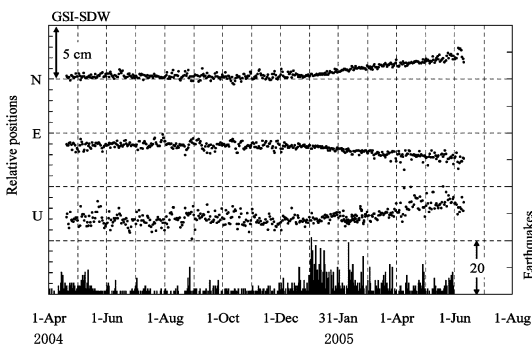


Fig. 7. Relation of ground movement at SDW with daily number of volcanic earthquakes. Ground deformation started in early January, 2005, when the seismicity increased.

観測を行った。比高の大きな基線の上下変位成分検出を目的として、簡単な気象補正法を適用した。その結果、

1. 上下変位成分の気象補正に関しては、1点の気象データを用いて線形補正する簡易気象補正のみで、水蒸気の影響を約6割に減じ、数ヶ月で1 cm程度の微小な変動検出の可能性が示された。

2. 山頂部の観測点において、2005年1月初め頃から検出された地盤変動は2005年6月中旬現在も進行している。2005年2月～5月間の平均水平変位速度は1.15 cm/100日、上下変位速度は1.06 cm/100日であり、変位方向はN34°W、仰角+43°であった。新岳火口直下に球状膨張源を仮定した場合の力源深度は標高250～300 m付近に求められ、体積変化は約7,000 m³/100日になった。

3. この地盤変動は、浅部の地震活動と連動しており、震源と膨張源の位置もほぼ一致して浅いことから、熱水活動の高まりによって生じた流体溜まりの膨張によるものと考えられる。

謝 辞

GPS装置の設置に当たっては、上屋久町の関係者の方々に多くの便宜を頂いた。固定点のGPSデータは、国土地理院の電子基準点データ (http://terras.gsi.go.jp/inet_NEW/index.html) を、気象観測データの一部は、気象庁の電子閲覧室 (<http://www.data.kishou.go.jp/index.htm>) を使用した。京都大学防災研究所火山活動研究センターの為栗 健氏にはデータ回収にご協力頂いた。古野電気株式会社の武地美明氏を始めとする関係の方々には、テレメータのトラブル対処で多くの援助を頂いた。

産業技術総合研究所マグマ活動研究グループ長の篠原宏志氏には、観測の計画段階から多くの助言と調整を、同所テクニカルセンターの吉川秀樹氏には観測台工作に協力頂いた。編集担当委員の植木貞人氏ならびに査読者の中尾 茂氏と高木朗充氏には原稿の改善に多くの有益なコメントを頂いた。本研究は、京都大学防災研究所一般共同研究費(16G-11)を使用した。以上の方々および関係機関に対して深謝の意を表す。

引用文献

- ホフマン-ウェレンホフ, B.・リヒテネガー, H.・コリンズ, J. (2005) GPS理論と応用(西修二郎訳). シュプリンガー・フェアラーク東京, 436 p.
- 井口正人・山本圭吾・高山鉄朗・前川徳光・西村太志・橋野弘憲・八木原寛・平野舟一郎(2001) 口永良部島火山における火山性地震の特性. 京都大学防災研究所年報, **44B-1**, 317-326.
- 井口正人・山本圭吾・味喜大介・高山鉄朗・寺石真弘・園田保美・藤木繁男・鬼澤真也・鈴木敦生・八木原寛・平野舟一郎(2002) 口永良部島火山における最近の地盤変動—1995年～2001年—. 京都大学防災研究所年報, **45B**, 601-608.
- 気象庁(2005) 口永良部島. 日本活火山総覧(第3版), 579-586.
- Mogi, K. (1958) Relations between the eruptions of various volcanoes and the deformations of the ground surfaces around them. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **36**, 99-134.
- 日本測地学会(1989) GPS—人工衛星による精密測位システム—. 日本測量協会, 272 p.
- Sonntag, D. (1990) Important new values of the physical constants of 1986, vapor pressure formulations based on the ITS-90, and psychrometer formulate. *Z. Meteorol.* **70-5**, 340-344.

(編集担当 植木貞人)