

口永良部島火山におけるGPS連続観測

—2004年4月～2005年3月—

斎藤英二*・井口正人・篠原宏志*

* (独) 産業技術総合研究所 地質調査総合センター

要 旨

口永良部島火山において2004年4月からGPS連続観測を行っている。また、上下成分の季節変化除去のための簡易気象補正法を開発した。山頂部の観測点では、2004年12月末から北西向きの変位が観測され始め、約1cm/2ヶ月で進行中である。この変位の上下成分には、顕著な累積変位がないことが、気象補正効果によって示された。水平成分が卓越し、火口に対して外向きに変位していること、山麓の観測点に変動が及んでいないことから、この変位は山頂火口直下浅部の膨張によって引き起こされたものと考えられる。また、この変動と同期して、火口直下で火山性地震が顕著に増加しており、熱水系の活動の活発化が示唆される。

キーワード: 口永良部島火山, 地盤変動, GPS, 気象補正

1. はじめに

口永良部島火山は、屋久島の西約14kmに位置する安山岩質の活火山である。有史以降の噴火は、島南東側山体中央の新岳付近で繰り返しており、爆発的な水蒸気噴火を特徴とする。最新の噴火は1980年で、その後約25年間噴火記録はないが、1999年7月～2000年2月と2004年2月に火山体浅部において群発地震活動があり、その後2005年1月以降も地震活動は高いレベルにある。また、1995年と2000年の繰り返しGPS測量により山体膨張も捉えられており、新岳の火口直下の深さ1km付近に力源の位置が求められている(井口・他, 2003)。この2回の測定の間には1999年の群発的な地震活動があるが、繰り返し観測であるために、地盤変動と地震活動の関係は明らかではない。

そこで、筆者らは、繰り返し発生する群発地震活動と地盤変動との関係を明らかにし、水蒸気噴火を引き起こす山体構造や噴火メカニズムの研究の基礎情報を得る目的で、2004年4月にGPS連続観測システムを設置した。本研究では、口永良部島は本土から

離れた離島であること、火山における観測では特に標高差が大きくなり、高さ方向の精度がよくないことを考慮して、気象観測も併せて行い、高さ方向の測定値を補正した。以下にその概要を報告する。

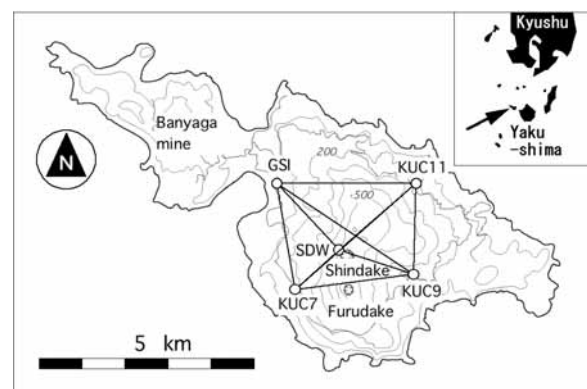


Fig. 1 GPS network at Kuchierabujima volcano. Stations KUC7, 9, 11 and SDW were installed in this study. GSI is #960725, one of the GEONET stations of Geographical Survey Institute.

2. GPS連続観測

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部の1点からなる (Fig. 1)。

山頂の SDW は、携帯電話によりテレメータ化している。山麓観測点のうち、北西側の GSI と称した観測点は国土地理院の電子基準点の#960725 であり、データはインターネット経由で入手可能である。その他の山麓観測点はメモリカードに蓄積するロガー方式とし、適宜人力でデータ回収している。観測データは、つくばの産業技術総合研究所 (以下産総研) の PC に集約後、解析される。

SDW, KUC7, KUC9およびKUC11のGPS受信機は、古野電気 (株) 製1周波受信機MG2110型を使用した。基線解析には、同社製CapWinAuto (Ver. 2.9.3.0) を使用した。観測は30秒エポックで1時間毎にファイル化されるため、通常、1基線について1日に24個の解析結果が得られる。

3. 上下変位成分の気象補正

GPS連続観測を長期に行うと、しばしば上下変位成分に季節変化が認められる。季節変化は見かけ上、夏に観測点間の比高が縮まるように現れ、比高が大きいほど顕著である。この原因は、対流圏におけるマイクロ波遅延量の季節変化に由来する。マイクロ波遅延量を決める大気状態は、特に地表近傍においては時空間的に非常に複雑に変化していて、その影響を正確かつ実用的な方法で除去するのは困難である。一般には、解析時に適当な大気モデルを仮定して補正するか、周期関数フィッティングや移動平均などによって目立たなくするよう処理される。しかしながらこれらの方法は、短時間で変動する現象を把握する用途には向かない。この目的のためには遅延量をリアルタイムで補正することが必要である。リアルタイム補正を前提とした場合、

1. 気象観測の負担が重くならない
2. 気象要素と上下変位成分を簡潔な関係式で表現

することが実用面で重要になる。このような前提に基づき、気象補正の実験を行ったので、以下にその結果を述べる。

3.1 気象要素の影響

GPS電波であるマイクロ波が対流圏を通過する際の伝播遅延は、 P を気圧(Pa), T を気温(K), e を水蒸気圧(Pa)とすると屈折率表現で、

$$n - 1 = (0.776 P / T + 3.73 \cdot 10^{-3} e / T^2) \cdot 10^{-6}$$

と表される (日本測地学会, 1989)。

マイクロ波の1ppmの速度変化に対する T , P および e の増分は、海面近くの場合で、 P で-374Pa, T で0.8°C, e で-23Paである。それぞれの年間の変化幅は、 P で7000Pa, T で40°C, e で3000Paほどである。変化幅と増分との比は、年間の速度変化の幅であり、各要素が伝播遅延に与える影響度とみなせる。気圧を1とすると、気温は2.7倍、水蒸気圧は7.0倍となり、水蒸気圧の影響が最も大きいことがわかる。すなわち、補正のための気象要素として水蒸気圧を用いるのが最も効率的といえる。

3.2 気象補正の方法

気象観測は、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使用し、KUC11において行った。センサーは自然通風筒に収め、地表から約1.5mの地点に設置した。データの収録は、毎時30分前後に1時間間隔で行った。なお、オンライン取得しているGSI-SDW基線への補正については、ロガーで測定された気象データが回収されるまでの間、Web公開されている屋久島測候所の気象情報を暫定的に使用している。

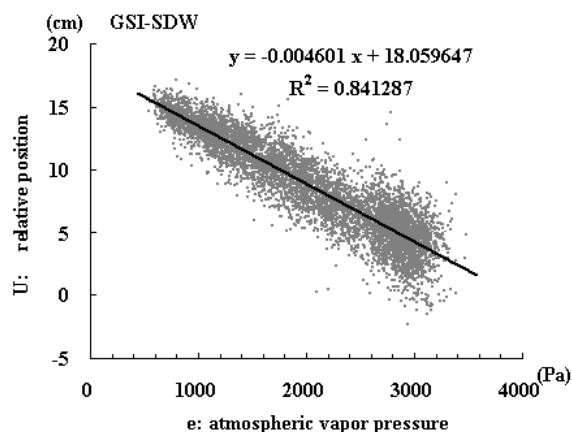


Fig. 2 Variation of atmospheric vapor pressure and relative change of U component.

Fig. 2は、上下変位成分の相対値と水蒸気圧の関係である (以下 U/e の関係と呼ぶ)。データは、2004年4月20日から2005年2月5日までに得られた約7000個を使用した。両者には良い相関が認められる。

様々な比高の基線について、比高と U/e の関係を調べたところ、Fig. 3ようになった。図のデータは、同様の手法で観測を行っている産総研の観測網のうち、より大きな比高を持つ富士山と岩手山の結果を含めてプロットしたものであり、 U/e と比高は比例関係にあることがわかる。

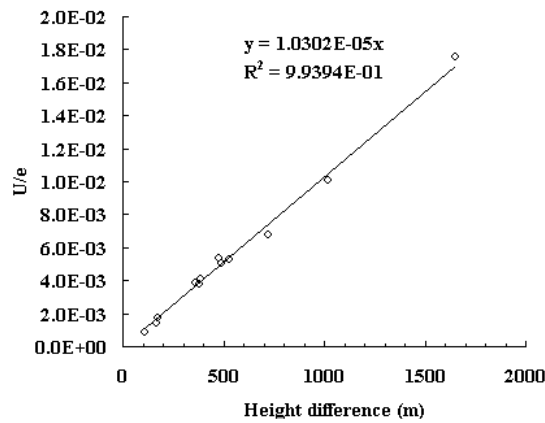


Fig. 3 Relation between height difference of various baselines and U/e .

したがって、上下変位成分の気象補正量 Δe (cm) は比高をパラメータ化して、

$$\Delta e = A \Delta h U + C$$

と表せる。ここで、 A は -9.39×10^{-6} 、 Δh は、求点標高から与点標高を引いた値 (m) で、符号はそのまま用いる。 U は上下変位成分の相対値 (cm)、 C は定数である。なお、 A の値は、気象観測地点の標高や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変わり得るので、観測地ごとに決定することが望ましい。

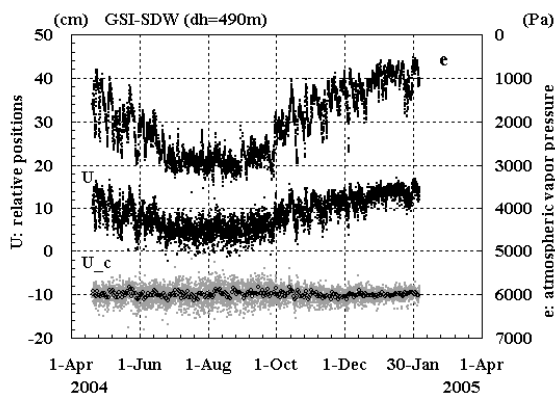


Fig. 4 Effect of atmospheric correction. e: variation of atmospheric vapor pressure, U: vertical component of relative position before correction, U_c : after correction. Black circles show daily mean values of U_c .

3.3 気象補正結果

GSI-SDWの上下変位成分の気象補正結果をFig. 4に示す。水蒸気圧と相対上下変位成分には互によく同期した数日から数ヶ月の揺らぎが多く現れているが、これらの部分に対して顕著な補正効果が認められた。

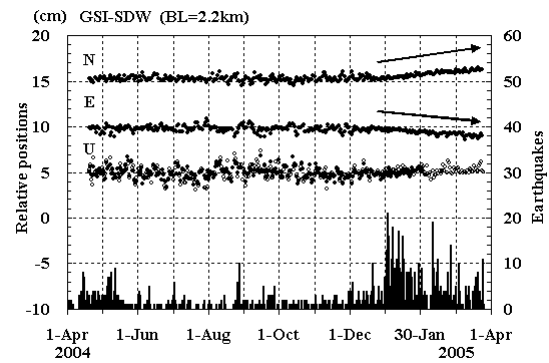


Fig. 5 Changes in relative positions of SDW based on GSI and daily frequency of volcanic earthquakes. N represents northward displacements and E eastward, respectively. U is upheaval displacement corrected by atmospheric vapor's factor.

4. 結果

Fig. 5 は、SDW の相対変位と火山性地震数の推移である。相対変位は GSI を基準にした日平均であり、南北 (N)、東西 (E) および上下 (U) の 3 成分で示してある。地震数は京大防災研が設置した山頂近傍の地震計による。上下変位成分は気象補正済みの結果である。

図から明らかなように、2004 年 12 月末から北および西方向への変位が始まった。2005 年 2 月までの約 2 ヶ月間の総変位量は約 1cm と小さいが、2004 年 12 月以前の変動からみてこの変化は明らかに有意であり、しかも変位方向は $N30^\circ \sim 35^\circ W$ であり、これまで考えられているように (井口・ほか, 2003) 新岳火口付近に膨張源を想定して矛盾がない。また、気象補正済みの上下変位にはほとんど変化がなく、変動をもたらした力源は火口直下浅部にあるものと考えられる。このことは、2 月 5 日までのデータではあるが、この間には山麓点間 (GSI-KUC7-KUC9-KUC11) を結ぶ基線に変化が認められなかったことから確かめられる。

この北西方向の変位に同期して火山性地震が急増したことが、Fig.5 からみてとれる。この火山性地震は、波形の特徴から、新岳の火口直下の極浅部において発生する高周波地震である (井口・ほか, 2001)。2005 年 2 月 6 日には、新岳火口底および周辺において明らかに噴気量が増大したことを確認した。2004 年 12 月末から発生した、SDW 点の北西方向への変位と火山性地震活動の活発化は、新岳の火口浅部への熱水の上昇により生じた山体膨張によって引き起

こされた可能性が高い。

5. おわりに

爆発的な噴火を繰り返してきた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GPS連続観測を行った。また、比高の大きな基線の上下変動検出を目的として気象補正を試行した。その結果、以下の成果を得た。

1. 上下変位成分の高精度化に関して気象測定データを用いて線形補正する簡易補正法を開発し、その有効性を確認した。
2. 火山性地震の急増と同期した新岳火口の膨張に起因する地盤変動の進行を捉えた。

謝 辞

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>

を使用しました。

また、本研究は、防災研究所一般共同研究費(16G-11)を使用しました。記して感謝します。

参考文献

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(2002): 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, 第44号B-1, pp.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(2003)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, 第45号B, pp.601-608.

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, p.272.

Continuous GPS Observation at Kuchierabujima Volcano —April 2004 to March 2005—

Eiji SAITO*, Masato IGUCHI and Hiroshi SHINOHARA*

* Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Synopsis

Ground deformation at Kuchierabujima volcano has been monitored by continuous GPS observation since April 2004. In order to reduce seasonal changes which often appear on the upheaval component for GPS station pairs with large height differences, a simple model was developed for correction of the vertical component. The atmospheric effect is linearly reduced, based on the measured pressure, temperature and humidity. The data at a station NW beside the summit crater showed 1 cm northwestward movement without remarkable vertical one for two months from the end of December 2004. No remarkable baseline changes were detected at the flank. The deformation may be caused by a pressure source at a quite shallow depth beneath the summit crater. The change accompanied with an increase in seismicity suggests inflation of hydrothermal system beneath the crater.

Keywords: Kuchierabujima volcano, ground deformation, GPS, atmospheric correction

