

# 桜島火山山腹におけるGPS連続観測および予備的な解析結果(2010年度)

太田雄策\*・植木貞人\*・出町知嗣\*・井口正人\*\*

\* 東北大学大学院理学研究科

\*\*京都大学防災研究所

## 要 旨

2009年度に桜島火山山腹に新設したGPS連続観測点2点において、2010年度も引き続き連続観測を行った。さらに2010年9月に山体北西部に連続観測点を1点新設した。また2009年度にオフライン観測点として観測を開始した権現観測点において、携帯電話によるテレメータ化を行った。また安定した観測継続のために火山灰付着防止を目的としたフッ素撥水剤の太陽電池パネルへの塗布、およびGPSアンテナ用レドームの設計、作成、設置を行った。北岳観測点のデータを桜島北部観測点のGEONET 0719観測点との間で基線解析を行った結果、2010年7-10月頃に北岳観測点が北側に変位する傾向が見られた。また同期間中、7-10日程度かけて北西方向に変動したのち、急激に南東方向に戻る変位が認められた。

**キーワード:** 桜島火山, GPS連続観測, 地盤変動, 降灰対策

## 1. はじめに

東北大学と京都大学は、近年活動が活発化しつつある桜島火山のマグマ供給系の理解のために2009年度に連続GPS観測点を2点新設した(太田・他, 2010a)。火山における地盤変動を捉える手段は、GPS、InSAR、地殻変動連続観測(歪み、傾斜変化)、水準測量等、様々あるが、1ヶ月から数ヶ月単位の数cmの変位を高い時間分解能で捉える事を目標とする際に、GPS連続観測は利点がある。こうした観点より、2010年度に新設観測点の増設を桜島北西部において実施した。また安定した観測継続のために既存観測点においても、改善策を講じた。さらに現在得られているデータから2010年7-10月頃に間欠的な地盤変動があったことが確認されたので、本稿ではこれらに関して報告を行う。

## 2. 連続観測点の新設

より稠密な連続観測網を構築するために、2010年9月7日に桜島北西部鹿馬野(KABG)にGPS連続観測点を設置した(Fig.1)。当該観測点は、京都大学が以前よりキャンペーン観測点として用いていた箇所であり、それを連続観測点に変更した。GPS受信機としてLeica Geosystems社製のGMX902GGという2周

波GNSS受信機を採用した。本受信機は、内部に観測データ保存用メモリ等を持たず、シリアルポートからのデータストリーミングに特化したGPS受信機となっている。そのため消費電力も低く、通常運用時で2W程度である。これは受信機単体で見た場合、既存の2周波受信機でも最も省電力の部類に入る。本体には電源スイッチ等、機械的動作をする箇所も無く、全ての受信機制御はシリアルポート経由で行う。当受信機はLINUX-BOXと組み合わせることでより高性能な受信機と同等の機能を持たせることが可能である(太田・他, 2010b)。ストリーミングされたデータはIP変換装置を経由して、京都大学防災研究所桜島観測所に集約された後、IP-VPN網経由で東北大学へと転送されている。

## 3. 安定した連続観測のための対策

2009年度に設置した北岳、権現両観測点は山腹に設置され、火口からの距離が近いために降灰による太陽電池パネルの被覆による発電能力の低下およびGPSアンテナへの被覆による受信信号劣化が懸念された。2010年度はこれら降灰による影響を除去するための対策を講じた。また権現観測点は当初オフライン観測点として開始したが、2010年度に携帯電話

を使ったテレメータシステムを導入し、安定的にデータ取得が可能な状態になった。本章ではこれらの項目について、それぞれ詳細を述べる。

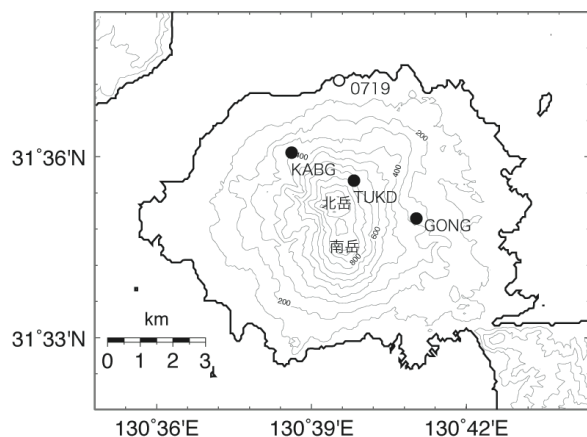


Fig. 1. Constructed continuous GPS stations (black circles) and a GEONET site used as a reference site (white circle). The contours denote the topography every 200 m interval based on the GSI digital elevation model.

### 3.1 太陽電池およびGPSアンテナへの着灰防止

2009年度に設置した北岳観測点および権現観測点では降灰によって太陽電池の発電能力が低下し、観測が停止するケースがあった。また、設置していたアンテナにはレドームが無かったため、アンテナ上部に着灰が見られるケースが多々あった。こうしたケースをできる限り回避するように、一部の太陽電池パネルにはフッ素コーティング剤（撥水撥油処理剤、フロロテクノロジー社 フロロサーフ）を塗布した。現時点ではフッ素コーティング剤の効果は定かではないため、継続的な評価が必要である。

GPSアンテナに関しては、純正品のレドームが無かったため、新たにLeica AX1203+GNSS用に、FRP樹脂製のレドームを設計、作成した (Fig. 2)。こちらにも太陽電池と同様にフッ素コーティング剤を塗布した。レドーム装着後はアンテナ上部に灰が積もることが無くなり、こちらは一定の効果があったものと考えられる。またレドーム装着前後で座標値に顕著なステップは見られず、アンテナ位相中心に大きな影響を与えるものでは無いことも確認した。

### 3.2 権現観測点の携帯電話によるテレメータ化

2009年度設置当初はオフライン観測点であった権現観測点を2010年9月9日にオンライン化した。オンライン化には携帯電話通信網 (FOMA網)を用いた。具体的には日本通信が提供するb-mobile U300 SIMカードを用いて、機械式タイマーにより定期的に通信

を確立し、GPS受信機内部のデータを遠隔から取得するという方法を取った。携帯電話経由で接続をする際には、その都度ルーター側に割振られるグローバルIPアドレスが動的に切り替わるために、ダイナミックDNSサービスを用いることによって遠隔から観測機器にアクセスが可能な様な構成になっている。これら携帯電話を用いたテレメータに関しては出町・他 (2011)で詳細にその方法等が紹介されている。参考にされたい。

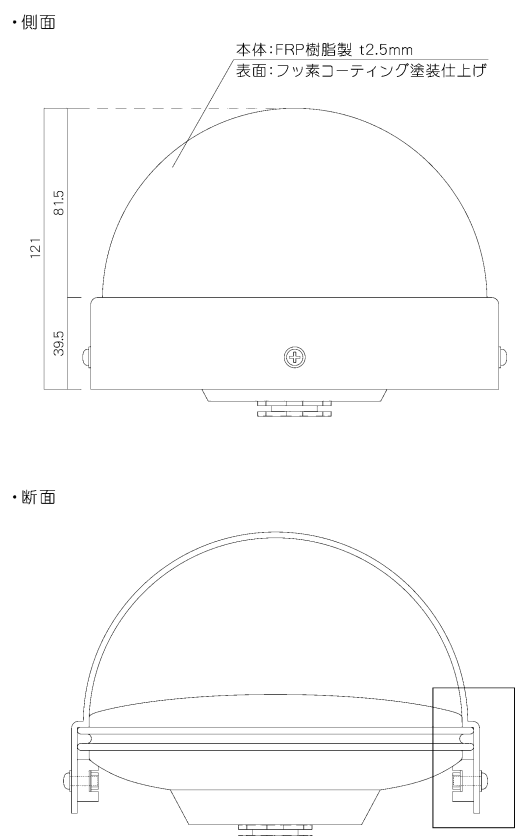


Fig. 2. Design drawing for a newly developed radome for the Leica AX1203+GNSS antenna. The unit is millimeter

## 4. GPSデータ解析

GPSデータ解析にはGIPSY-OASIS (GPS Inferred Positioning System/Orbit Analysis and Simulation Software) Ver.6.1を用い、解析にはPPP法 (Precise Point Positioning ; PPP, Zumberge et al., 1997) を適用した。PPP法は通常の基線解析と異なり、2重位相差を取ることなくGPS衛星の軌道や時計補正情報を高精度に決定された値に既知として固定し、搬送波位相を観測値として受信機の座標値を精密に求める方法である。PPPは基線解析と異なり、基準点となる参照点が必要でない。そのため参照点の問題や、長基線に伴う誤差の増大を考慮に入れずに済むという利点がある。その反面、精密な衛星軌道や時計補正情報が

必要となる。今回はJPLが再解析したflinnRプロダクトを衛星軌道・時計補正情報として用いた。flinnRプロダクトは通常時計補正情報が5分毎に与えられるため、GPSデータは5分毎データを用いている。解析時には、各観測点の日平均座標値と300秒毎の天頂大気遅延量・大気遅延勾配量を推定して保存する。天頂大気遅延量・大気遅延勾配に対してはそれぞれランダムウォークの確率過程を仮定して推定を行った。その際に与えるプロセスノイズの値はBar-Sever et al. (1998) により座標値の再現性が最も良いと判断されたパラメータ値 (tuned inhomogeneous strategy) を採用し、それぞれ3.0 mm/sqrt (hour), 0.3 mm/sqrt (hour) を与えた。PPP解析後、2観測点(0719-北岳)間で搬送波位相の波数不確定性を推定し、測位解精度の向上を図った。そのため得られる座標時系列は北岳観測点の0719観測点に対する相対変動ベクトルとなる。今回は北岳観測点における変動のみについて議論を行う。

## 5. 解析結果

### 5.1. 北岳観測点における長期時系列

Fig.3.に観測開始から2011年6月までの0719観測点に対する北岳観測点の変位時系列を示す。特徴的なことは2010年7月ごろから10月ごろにかけて1cm以下の北向き変位が卓越している点である。さらにこの期間中には1週間程度で北西-南東方向への変動を繰り返すパターンが確認される (Fig. 4)。また2010年に確認される1cm以下の南北変動は2011年の同時期にも確認できる (Fig.3)。他の成分には出ず、ほぼ南北成分のみに確認できることから、この変動が人為的な年周変化である可能性は低く、実際の地盤変動を示している可能性が高い。

また全体的な傾向として、2009年中では、0719に対して北岳観測点が沈降している傾向が顕著であったのに対し、2010年以降はその傾向が停止しているように見える(Fig.3)。PPP解析では固定点に依拠しない(地球中心に対する)変動が計算できるが、その結果では2009年中は、0719が隆起をすることで、相対的に北岳観測点が沈降している様に見えていたことになる。その後、2010年頃から0719の(地球中心に対する)隆起がほぼ停止したため、その結果、北岳観測点の上下変動成分も相対的に沈降傾向が停止したと考えられる。

この様に設置から2年が経過し、データの蓄積とともに人為的ではない地盤変動が確認されつつある。今後、データの蓄積を待ちつつ、また他の観測点のデータも見比べながら、桜島火山におけるマグマ供給系の理解を進めたいと考えている。

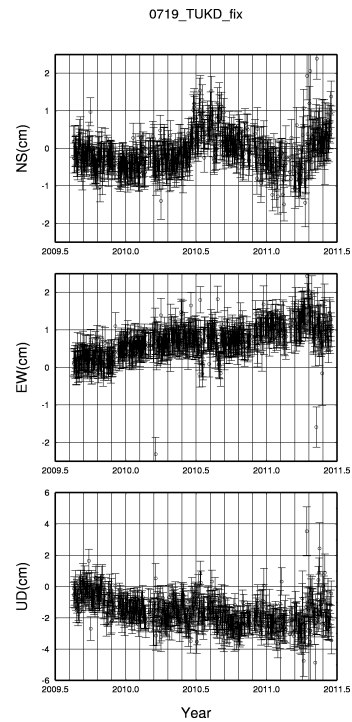


Fig. 3. TUKD site displacement time series relative to 0719 GEONET site. From the top to the bottom, each panel shows the NS, EW, UD component, respectively.

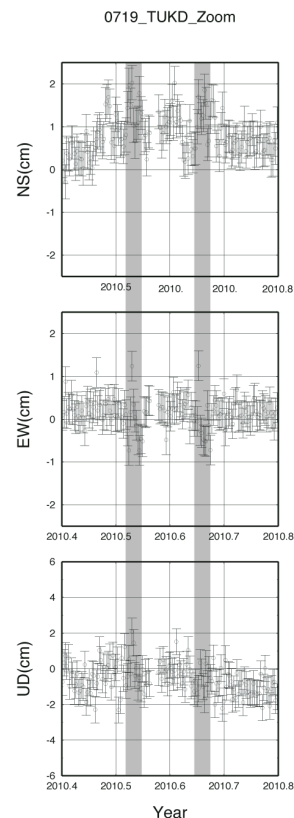


Fig. 4. Blow up of the time series during 2010.4 and 2010.8 at TUKD (w.r.t. 0719). Each panel shows the NS, EW, UD component, respectively. The gray shadowed zones represents both ends of the characteristic displacement pattern.

## 5.2. 北岳観測点における3月11日地震時変動

余録的ではあるが、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(M9.0)にともなう表面波(ラブ波, レイリー波)が、北岳GPS観測点の1秒サンプリングデータによって明瞭に捉えられたので報告する。Fig. 5に地震発生からの経過時間を横軸に取った1秒サンプリングGPS解析結果(PPP解析)を示す。本震発生から300秒程度でラブ波が到達し、その後、東西成分で0.2mに達する顕著なレイリー波が捉えられている。

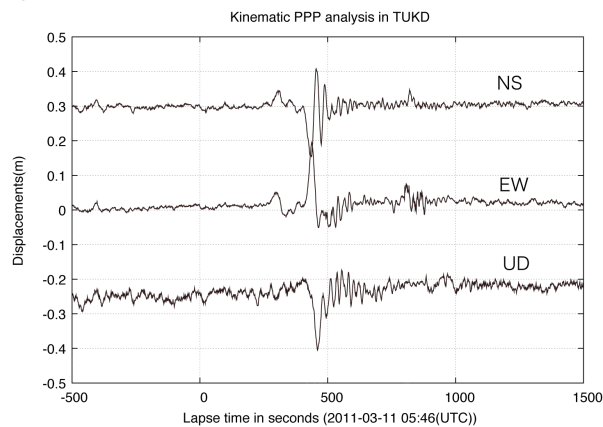


Fig. 5. Kinematic PPP analysis results at TUKD site. The horizontal axis denotes the lapse time from the origin time of the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake. The vertical one represents the displacement in meter.

## 6. 今後について

2011年度以降も全ての連続観測点において、安定した観測が継続できるよう努める。また他点も含めた統合的解析を進める。また北岳観測点においては、リアルタイムキネマティックGPS解析が可能なシステムを導入し、常時監視が可能な状態にする予定である。

## 謝 辞

GPS連続観測点の設置ならびに保守については京都大学防災研究所附属火山活動研究センターの皆様のご多大なる御協力を頂きました。また北岳観測点オンライン化の維持、管理に関しては特に京都大学防災研究所附属火山活動研究センター 為栗健博士の御協力を頂きました。また国土地理院 GEONET (電子基準点) データを利用させて頂きました。記して感謝致します。

## 参考文献

- Bar-Sever, Y. E., P. M. Kroger, and J. A. Borjesson (1998): Estimating horizontal gradients of tropospheric path delay with a single GPS receiver, *J. Geophys. Res.*, 103(B3), 5019–5036.
- Zumberge J.F., M. B. Heflin, D.C. Jefferson, M. M. Watkins and F. H. Webb (1997): Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks, *J. Geophys. Res.*, 102 (B3), 5005-5018.
- 太田雄策, 植木貞人, 井口正人(2010a): 桜島火山山腹におけるGPS連続観測点の増設(2009年度)「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成21年度報告書。
- 太田雄策, 三浦哲, 松村信介, 森俊行(2010b): 低価格2周波GPS受信機とデータロガーを用いたGPS観測システムの構築, *測地学会誌*, 56(3), 101–106.
- 出町知嗣, 立花憲司, 太田雄策, 三浦哲, 植木貞人, 長谷見晶子, 鹿目靖雄, 松島健 (2011): プリペイド携帯電話通信端末を利用したGPS連続観測, 日本地球惑星科学連合2011年大会。

**Continuous GPS observation at the flank of Sakurajima Volcano and  
its preliminary analysis results on 2010**

Yusaku OHTA\*, Sadato UEKI\*, Tomotsugu DEMACHI\*, and Masato IGUCHI\*\*

\* Graduate School of Science, Tohoku University

\*\* Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

**Synopsis**

We have continued the GPS observations at the two sites, TUKD and SK13, on the flank of Sakurajima Volcano and also newly constructed one GPS site, KBAG, on the northwestern flank in September 2010. We equipped Gongen station, SK13, with a telemetry system via cell-phone. We estimated daily coordinates of the stations relative to the GEONET site (0719) at the northern foot of Sakurajima Volcano. Continuous observations enabled us to detect an episodic deformation with long-term anomalous displacement at Kitadake station, TUKD, during the period from July to November 2010. The similar long-term anomalous displacement appeared again in June 2011 and continues to the present. It is possibly related to the change of the magma supply rate of Sakurajima Volcano.

**Keywords:** Sakurajima Volcano, GPS, ground deformation