

GNSSデータにもとづく噴煙柱検知手法の開発(序報) —2012年7月24日 桜島南岳火口における爆発的噴火への適用事例—

Development of eruption column detection method based on the GNSS data (Preliminary report) -Case study for 24th July, 2012 eruptive event in Minami-dake of Sakurajima Volcano-

太田雄策⁽¹⁾・井口正人⁽²⁾・植木貞人⁽¹⁾・出町知嗣⁽¹⁾

Yusaku OHTA⁽¹⁾, Masato IGUCHI⁽²⁾, Sadato UEKI⁽¹⁾, and Tomotsugu DEMACHI⁽¹⁾

(1) 東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

(2) 京都大学防災研究所

(1) Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions,
Graduate School of Science, Tohoku University, Japan

(2) Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Japan

Synopsis

We tried to detect the eruption column caused by large eruptive event based on the GNSS data. We estimated the time-dependence of LC (ionosphere free linear combination) post-fit phase residual by the Precise Point Positioning for the large eruptive event in Minami-dake of the Sakurajima volcano in 24th July 2012. We clearly detected the anomaly of the post-fit phase residual caused by the large eruptive event. These data will be extremely important for the monitoring of fall of ash and its prediction.

キーワード: GNSS, 搬送波位相残差, 噴煙柱, 2012年7月24日, 南岳

Keywords: GNSS, Carrier phase post-fit residual, 24th July 2012 eruptive event in Minami-dake of Sakurajima volcano

1. はじめに

現在, GPSデータをはじめとするGNSSは, 地殻変動, 地盤変動を捉える上で欠かせない観測手法である. 一方でGNSSでは上空を周回する衛星からの電波を地上局で受信し, そのデータを解析することで地殻変動を理解するために必要な座標値を推定している. そのため, 衛星と地上局の間のパス (Line of Sight: LOS) 上にある電離圏や対流圏の影響を強く受ける. こうした特性から, Houlié et al. (2005) はGPS解析における2重位相差の搬送波位相データに着目し, 噴火時の噴煙によってGPS信号に遅延が生じうることを示した. さらに搬送波位相の観測値と計算値の残差データに基づいて, 三宅島における2000年噴火イベント時の噴煙柱をトモグラフィー解析し, その時空間変化を明らかにしている. 一方, Houlié et al. (2005)では位相残差の抽出に基線解析を用いてお

り, 基準局におけるアンテナ位相特性やマルチパス等の影響が解析結果に含まれている可能性がある. そこで本論では, 先行研究では基線解析によって得られた搬送波位相の残差データを, 基準点を取らない解析手法である精密単独測位法(PPP)で推定し, それらから噴煙柱の時空間変化を検出することを目的とした予察的な解析を行った. 対象としたイベントは2012年7月24日の19時15分(UTC 10時15分)に発生した桜島南岳における爆発的噴火である. 本噴火に伴い, 桜島島内および鹿児島市街では多量の降灰が確認され, 噴出した火山灰の推定放出量は30万トンにおよぶことが報告されており (京都大学防災研 Webページ, 2012), 南岳の噴火としては規模の大きいものである.

2. 使用観測点およびGNSSデータ解析

使用した観測点は桜島島内にある国土地理院GEONET観測点3点と、東北大学・京都大学の共同研究によって設置されているSK13観測点の計4点である (Fig. 1). 2012年7月24日の噴火時には降灰はおもに桜島西岸方向に集中している. そのため南岳火口から見て東側の観測点(例えばGEONET 0720観測点)では, 西側上空を通過する衛星データに噴煙柱の影響が強く出ることが期待される.

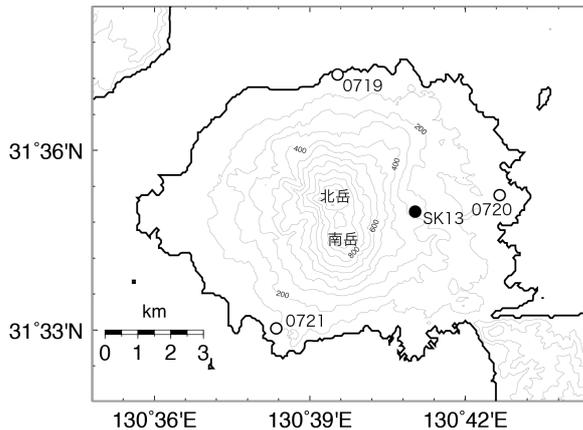


Fig. 1. GNSS (GPS) site location for this study. White and black circles denoted GEONET and Tohoku University sites, respectively.

GNSS (GPS) 解析には GIPSY-OASIS II (GPS Inferred Positioning System/Orbit Analysis and Simulation Software) Ver.6.1.2.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ある. 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プロダクトのうち, 時計補正情報としては30秒毎に与えられるハイレートプロダクトを用いた. またそれに合わせ, GPSデータも30秒毎データを使用している. 未知パラメータは各観測点の日平均座標値と30秒毎の天頂大気遅延量・大気遅延勾配量, および各衛星と観測点間の搬送波位相波数不確定性(ambiguity)であり, それらを天頂大気遅延量・大気遅延勾配に対しては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. さらに, こうした得られた日座標値をもとに各衛星-観測点間の30秒毎の事後残差をLC (Ionosphere free linear combination, 波長48.0cm) 観測量にもとづいて計算した.

3. 解析結果

Fig. 2に得られた事後位相残差を, 各観測点毎のスカイプロットで示す. 図示した期間は噴火イベントを含む2012年DOY206, UTCで9時43分-11時15分である. 比較のために, 前日(DOY205)の同じ時間帯の位相残差も示した. 例えば, GEONET 0720観測点では, SVN34番衛星がほぼ南岳火口の方向を通過する衛星である. その結果を見ると, 噴火の前日と比較してLC位相残差が噴火発生とほぼ同時に顕著に大きくなっていることが分かる. 同様の傾向はGEONET 0719観測点においても明瞭であるが, 0720観測点と比較して, 徐々に位相残差が増加しているように見える. また桜島南部に位置するGEONET 0721観測点では北西側上空を通過するSVN53番衛星に顕著な位相残差の変化が確認できる. さらにSK13観測点ではGEONET観測点と比較して山体により近接した観測点であることから, 山体による遮蔽によって, 西側を通過する衛星の補足が比較的仰角の高い時点(~25度程度)から開始されているが, こちらでもやはりDOY206の結果の方が, 位相残差が大きく変化していることが分かる.

次に位相残差の時間変化を確認するために, 各衛星-観測点間の時系列を確認した (Fig. 3). これを見ると, 特にSVN34番衛星-0720観測点間では, 爆発的噴火イベントの発生とともに位相残差が急激に増加し, その量が7cmに及んでいる. 0720観測点のDOY205の結果を見ると, 比較的安定した位相残差が得られており, それと比較して明らかに大きな変化がDOY206では得られている. SVN34番衛星-0720観測点間の位相残差増大はおおむね25分程度の間大きな値を示し, その後はノイズレベル以下に落ち着いている. これは衛星の仰角が徐々に上がり, 衛星-観測点間のパスが噴火直後と比較して高い高度を通過するために噴煙柱の密度が高い部分をサンプルできていない, もしくは噴火後に噴煙柱の形状が風で崩されたために密度が低い部分のみをサンプルした可能性がある. ここで位相残差の増大は, 衛星-観測点間のLOS伸長に等価である. すなわち噴煙柱の中をGPS衛星からの電磁波が通過する際にその伝播が遅延され, その結果, LOS伸長が検出されていると考えることができる.

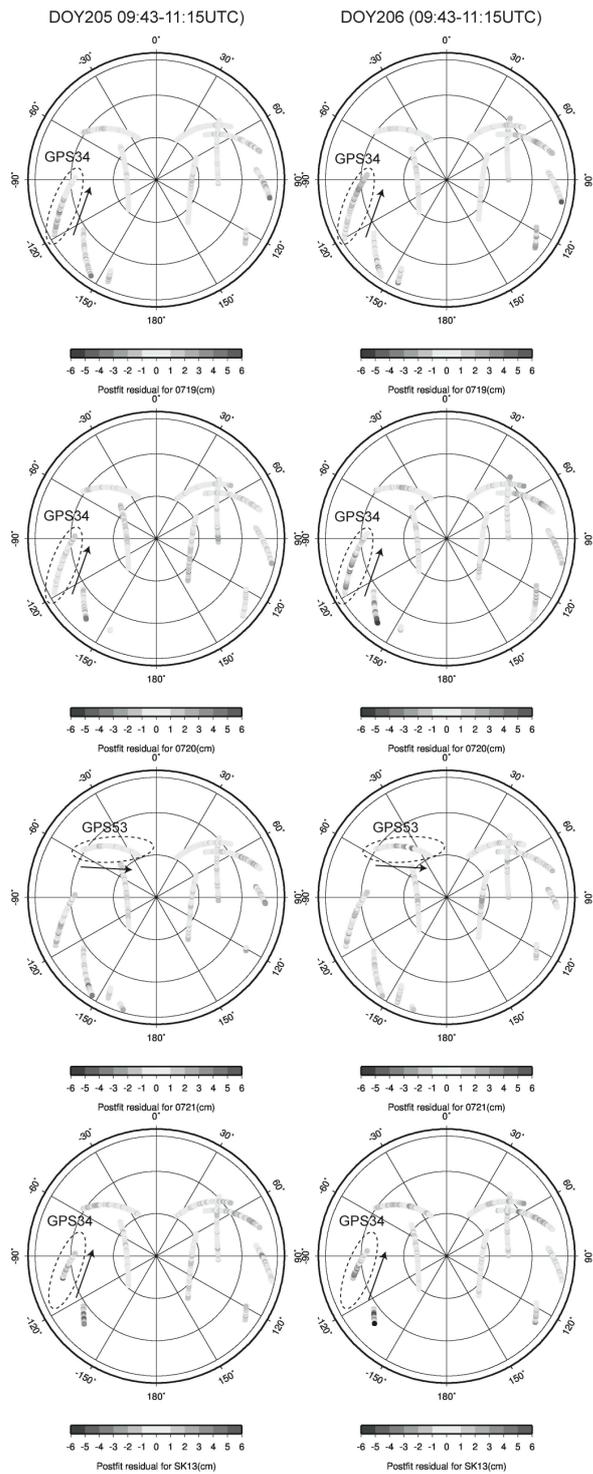


Fig.2. Sky plot of the post-fit phase residual of the LC. The left and right row denoted the DOY 205 (1 days before the eruption) and DOY 206 (day of large eruptive event in the Minami-dake), respectively. The light and shade denoted the small and large phase residual, respectively. The black vectors denoted direction of movement of each satellite.

一方SVN34番衛星-0719観測点間の位相残差時系列を見ると、噴火後にゆるやかに値が上昇していることが確認できる。SVN34番衛星-0720観測点ペアは直接、南岳の方を向かず、桜島西部上空を通過して

いる。そのため、ゆるやかに位相残差が上昇する傾向は、噴火後に桜島西部上空の広い範囲で火山灰等の粒子密度が上昇していることを示唆し、地上観測で得られた降灰中心が桜島西部にあることと矛盾しない。

さらにSVN53番衛星-0721観測点間では、噴火発生後10分後程度から位相残差が大きくなる傾向を示している。0721観測点に対して、SVN53番は北西方向から北方向に仰角を上げながら移動している(Fig.2)。そのため、噴火直後は噴煙からは外れた方向であるが、衛星の移動とともに噴煙柱の中のデータをサンプルしているものと考えられる。

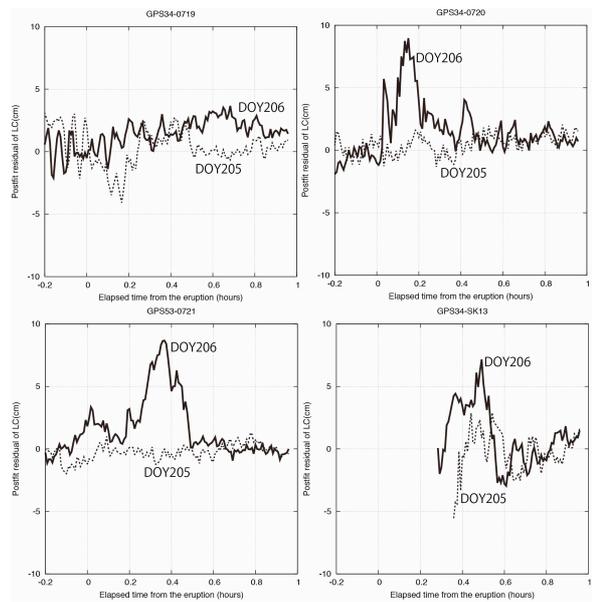


Fig. 3. Time series of the post-fit residual for each satellite and ground GNSS (GPS) station. The solid and dashed line denoted the DOY 206 and 205 time series, respectively.

4. まとめと今後の課題

2012年7月24日の桜島南岳における爆発的噴火に伴う噴煙に起因するGPS衛星の搬送波伝搬遅延を、PPP解析による位相残差から検出することに成功した。桜島島内4観測点において、噴煙による明瞭な伝搬遅延が確認され、それらの結果は地上での降灰調査と矛盾しない結果となった。

こうしたGNSSデータを用いた噴煙柱モニタリングは、桜島島内にある既存GNSS観測点のデータを用いることで、新規観測点の大幅な増強が無くとも実現可能なものであり、かつ夜間や悪天候時の可視光が使用できない状況下でも衛星からのマイクロ波を用いることで噴煙柱監視が可能という利点がある。一方、リアルタイムで高精度な位相残差を得るためには、高精度なGNSS衛星の時計補正情報が必要となる等の課題が残る。また今回はGPS衛星のみを用い

たが、天空の被覆率を向上するためには、GLONASS 等他の衛星システムを用いた複合GNSS解析が必須であると考えられる。

今後、桜島島内のより多くの観測点における位相残差データを用いることによって、爆発的噴火後に噴煙がどのように時空間変化をするのかを明らかにする予定である。

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大なる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.
- Houlié, N, P. Briole, A. Necessian, and M. Murakami (2005): Sounding the plume of the 18 August 2000 eruption of Miyakejima volcano (Japan) using GPS, *Geophys. Res. Lett.*, 32(5), 2–5, doi:10.1029/2004GL021728.
- 京都大学防災研究所 Web ページ (2012): <http://www.svo.dpri.kyoto-u.ac.jp/Expl120724.pdf>