

学位論文題名

Rapid inflation at Okmok Volcano, Alaska, detected by
GPS campaigns 2000-2003 and its source model

(アラスカ, Okmok 火山における2000-2003年
キャンペーン GPS 観測によって得られた地殻変動とその変動源)

学位論文内容の要旨

火山地域における測地学的データは、その火山の活動を理解する上で非常に有用である。近年、Global Positioning System (GPS)と Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR)という衛星を使った2つの測地観測技術が、火山性地殻変動観測の分野でめざましい発展を遂げてきた。InSAR 観測のようなリモートセンシング観測手法は、アクセスが困難であったり、活動が活発で現地での観測に危険が伴うような火山フィールドの地殻変動観測に対しては極めて強力な手法である。しかし地殻変動データの空間分解能が地表の被覆状況に大きく左右される、1成分(視線方向)のみの変動ベクトルしか得られない、等といった短所があり、GPS 観測のような現地観測による地殻変動データとの比較や、それを使った検証が必要とされる。

アラスカ、アリューシャン列島には多数の活発な火山が存在し、それらの噴火活動は上空を多数往来する航空機の深刻な事故に繋がる恐れが十分に考えられる。このアリューシャン列島東部 Umnak 島に存在する Okmok 火山は、直径 10 km のカルデラを有する楕状火山で、近年これらの火山列の中で最も活発な火山の一つである。最新の噴火は 1997 年 2 月に起こったもので、この噴火の際には、噴煙は上空 10 km にまで達し、カルデラ内約 8-9 km²に渡って大量の溶岩流を流出した。この Okmok 火山において、2000-2003 年に渡って毎年 GPS のキャンペーン観測が行なわれた。これは本火山において、最初の大規模な地球物理学的現地観測である。これらの GPS 観測から得られた地殻変動データから、Okmok 火山が 2000-2003 年期間にそのレートを変化させながら、膨張を続けているという事が分かる。この期間の変位量の合計は、水平成分で最大 15 cm の変動がカルデラ内の観測点で観測され、上下成分は、最大 35 cm 以上の隆起がカルデラのほぼ中心の観測点で観測された。また 2001 年以降の膨張パターンは非常にシンプルで、水平成分はカルデラ中心から放射状外向き、上下成分はカルデラ中心を最大とする隆起のパターン

を示す。これらの膨張の地殻変動は単一の球状圧力源モデルを用いて説明でき、この圧力源はカルデラのほぼ中心地下 3.1 km に存在するマグマ溜りであると解釈できる。また各期間のマグマ溜りの体積増加量は、2000-2001 年期間で $1.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、2001-2002 年期間で $3.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、そして 2002-2003 年期間では $11.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、と見積もられる。これらの GPS 観測の結果から、1992-2003 年の間に Okmok 火山で行なわれてきた InSAR 観測の結果を検証することができ、InSAR 観測により見積もられた 2002-2003 年期間のマグマ溜りの体積増加量が過小評価されているということが明らかになった。1997 年噴火以降の InSAR 観測の結果も考慮に入れると、1997-2003 年期間にこの浅部マグマ溜りでは約 $2.8 \times 10^7 \text{ m}^3$ の体積増加があった事が分かり、つまり 1997 年噴火の際に噴出された物質の量の 20-50 % が既に再補充されたことになる。また平均体積増加量から、1997 年噴火レベルの噴火の再帰時間はおおよそ 15-30 年であると見積もられ、これは Okmok 火山における溶岩流の流出を伴うような大規模な噴火が起こるサイクル、約 25 年と調和的である。またこれら GPS データから推定されるマグマ溜りの位置と活発な噴火口である Cone A の間が 5km 離れているという特徴がある。そこで、2001-2003 年期間の GPS データから、メインの球状ソースと矩形のソースを組み合わせたモデルを用い、カルデラ中心地下にあるマグマ溜りと噴火口の間になんらかのソースが存在する可能性を検証した。このコンビネーションモデルによって、観測値と計算値の残差は小さくなり、特にカルデラ内の観測点におけるフィッティングが有意に良くなる事を示す。

2000-2003 年期間のキャンペーン GPS 観測によって得られた地殻変動データを用い、これまで行なわれてきた InSAR 観測による結果を検証することができた。またそれら二つのデータを組み合わせる事によって、Okmok 火山の地下浅部のほぼ同じ場所にあるマグマ溜りにそのレートを変化させながら、マグマが再び溜まってきているということが明らかになった。また、GPS による地殻変動データは、マグマ溜りと噴火口の間マグマの移動に関係したなんらかのソースによる地表への影響の可能性も示唆する。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 笠 原 稔
副 査 教 授 小 山 順 二
副 査 教 授 日 置 幸 介
副 査 教 授 岡 田 弘

学 位 論 文 題 名

Rapid inflation at Okmok Volcano, Alaska, detected by GPS campaigns 2000-2003 and its source model

(アラスカ, Okmok 火山における2000-2003年
キャンペーン GPS 観測によって得られた地殻変動とその変動源)

本研究は、活発な火山活動を示しているアリューシャン列島・Okmok 火山において、地殻変動観測のリモートセンシングの1手法としての In-SAR 技術（開口合成レーダー画像の干渉法による地殻変動検知技術）による地殻変動が継続的に観測されていたが、その量的な検証は問題として残されており、遠隔地ではあるが、この火山に33点からなるGPS観測網を新たに展開し、2000年から2003年までキャンペーン観測を継続し、面的に3次元の地殻変動を追跡してきた。両者のデータの比較から、In-SARによる地殻変動の見積もりは、過小評価されることを明らかにするとともに、この期間に観測された急激な山体膨張を説明するいくつかの圧力源としてのマグマ溜りモデルを検討し、今後の火山活動予測へ貢献する結果を明らかにしている。

まず、GPS観測から得られた地殻変動データから、Okmok 火山が2000-2003年間にその変動レートを変化させながら、膨張を続けているという事が明らかになった。この期間の変位量の合計は、水平成分で最大15 cmの変動がカルデラ内の観測点で観測され、上下成分は、最大35 cm以上の隆起がカルデラのほぼ中心の観測点で観測された。また2001年以降の膨張パターンは非常にシンプルで、水平成分はカルデラ中心から放射状外向き、上下成分はカルデラ中心を最大とする隆起のパターンを示す。これらの膨張の地殻変動は単一の球状圧力源モデルを用いて説明でき、この圧力源はカルデラのほぼ中心地下3.1 kmに存在するマグマ溜りであると解釈できる。また各期間のマグマ溜りの体積増加量は、2000-2001年間で $1.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、2001-2002年間で $3.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、そして2002-2003年期間では $11.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、と見積もられる。その結果、この火山の現在のマグマ供給系として、直径10kmのカルデラ中心部の地下3.1 kmに主たるマグマ溜りがあり、深部からの供給を1時貯留し

ていることを明らかに出来た。2002-2003 年間の膨張量に関しては、In-SAR による推定は、GPS 観測によるものの4分3にとどまることが明らかになった。この原因は、このときの衛星視線仰角が小さいことから、1成分（視線方向）のみの変動ベクトルからの推定の限界を示していることも明らかに出来た。

今回のGPS観測とInSAR観測の結果も考慮に入れると、最近の大噴火である1997年以降、2003年までに、この浅部マグマ溜りに約 $2.8 \times 10^7 \text{ m}^3$ の体積増加があった事が分かり、つまり1997年噴火の際に噴出された物質の量の20-50%が既に再補充されたことになる。また平均体積増加量から、1997年噴火レベルの噴火の再帰時間はおよそ15-30年であると見積もられ、これはOkmok火山における溶岩流の流出を伴うような大規模な噴火が起こるサイクル、約25年と調和的であることも明らかに出来た。今後、この観測が継続されれば、次回の噴火予測に重要なデータを提供できる。

また、これらGPSデータから推定されるマグマ溜りの位置とこれまでの溶岩流出口である火口丘Aの間が5km離れているということと、2001年から2003年にかけてのこの火口丘の熱的な活発化現象を合わせて考慮し、2001-2003年期間のGPSデータを吟味した結果、カルデラ中心地下3.1kmにあるマグマ溜りと火口丘Aの間に、深さ1-2kmに、矩形のダイク状の圧力源が存在する可能性を強く示唆されることも明らかにした。

以上のように、In-SARとGPS観測網の結合により、Okmok火山のマグマ供給系を明らかにし、より精度の高い火山活動予測の基礎を築いたものといえる。

よって著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。