GPS 連続観測により明らかとなった浅間山の火山活動に伴う地殻変動
Crustal Deformation Associated with Asama Volcano Activity Detected by the Continuous Measurements of GPS

地理地殻活動研究センター　村上　亮
Geography and Crustal Dynamics Research Center　Makoto MURAKAMI

要　　旨

GPS 連続観測により浅間山の山体が膨張と収縮を繰り返しており，その推移と火山活動の消長の間に関連性があることが明らかとなった．膨張時には噴煙活動や地震活動などの火山活動が活発になり，2002 年および 2004 年の最近の 2 回の噴火の数ヶ月前から膨張が始まっていたことが確かめられた．地殻変動データの解析から山頂西側の地下のマグマ溜まりへマグマが不定期に注入されている可能性が高い．マグマの上昇力が強い場合には地表に達し噴火に至ると考えられる．同様のメカニズムが繰り返すとすると，浅間山では噴火の前に数ヶ月続く膨張が先行し，これを監視することによって，中長期的な噴火予知が可能となる期待がある．

１．はじめに

浅間山(2568m)は，東北日本弧と伊豆マリアナ弧に伴う両火山フロントの会合点付近に立地する極めて活動的な火山で，有史以来多くの噴火が記録されている(宮崎，2003)．2004 年９月から始まった噴火は，2005 年７月現在も継続中であり，活発な火山活動が続いている．

国土地理院は，GPS 連続観測網の全国への展開を 1990 年代の前半から行っているが，その一環として，浅間山周辺でも 1996 年から GPS の連続観測が開始された．

その観測から，浅間山の山体が収縮と膨張を繰り返しており，膨張時には地下のマグマ溜りにマグマが上昇している可能性が高いことが明らかになった．また，2002 年および 2004 年の最近の２回のいずれの噴火の前にも，数ヶ月続く膨張が先行していたことも明らかとなった．

本稿では，GPS 連続観測によって明らかになりつつある浅間山火山の噴火メカニズムについて紹介する．

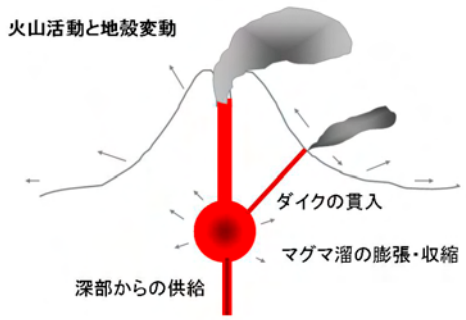
２．地殻変動と噴火予知

地下のマグマなどの物質の動きに伴い，さまざまな変化が地表面に生じる．これらの変化は，地下の物質の移動や応力の変化に対応しており，火山周辺の地殻変動の観測から，地下の物質の作用の様子を知ることができる．このような観測技術として，従来は伝統的な測量技術である三角測量や水準測量が一般的であったが，最近では人工衛星を利用した GPS 連続観測や，衛星や航空機に搭載した合成開口レーダーによる面的な地殻変動観測手法などが登場し，空間的にも時間的にも高い分解能で，高精度な地殻変動観測を行えるようになった．さらに，観測をしてから直ちに結果を知ることができるかどうかについての実時間性も格段に向上している．

これらの観測によって計測された地殻変動から火山活動に関連するマグマの動きなどを知ることができる．地下のマグマの移動の形態は，図－１のように，①板状の割れ目（垂直の場合はダイク；水平の場合はシルと呼ばれる）にマグマが注入されたり，②球状の地下の穴にマグマが蓄積されたり（マグマ溜まり）するものであり，それらが組み合わされる場合も多い．各要因は，それぞれ特徴的な地殻変動を発生させるので，地表で地殻変動のパターンを特定し，その大きさを計測することによって，地下で発生している出来事を理解することができる．

我々は，火山の地下の次のような情報を得ようとして，多くの活火山の周辺で地殻変動を観測している．

１）マグマ溜りの深さやより深部からの供給率
２）マグマの移動の有無とその量
３）ダイクやシルの形成とその位置，深さ，厚さ



図－１　火山活動と地殻変動

地殻変動で検知できるのは，マグマの動きであって大きなマグマ溜まりの中で大量のマグマが静かに存在していても，動かなければ地殻変動観測では捉えることができない．しかし，噴火時など活動時には，マグマや熱水，さらにガスなどの火山性流体の大規模な移動が発生するので，ほぼ全ての噴火で，地殻変動が発生すると考えられている．

火山活動に先行して地殻変動が発生することも多く，そのような場合には，火山噴火予知連絡会などでデータが詳しく検討される．現在，地殻変動は火山噴火予知に有効な重要な観測項目として大きな役割を担っているが，その解析は次のような目的をもっている．

1）対象とする火山でマグマの蓄積が進んでいる場合，火山のマグマ供給システムの実体や蓄積のスピードを理解する．また，過去の噴火における噴出量などがわかっている場合には，長期的な展望として現在がおおよそどのステージにあるのかを知る．

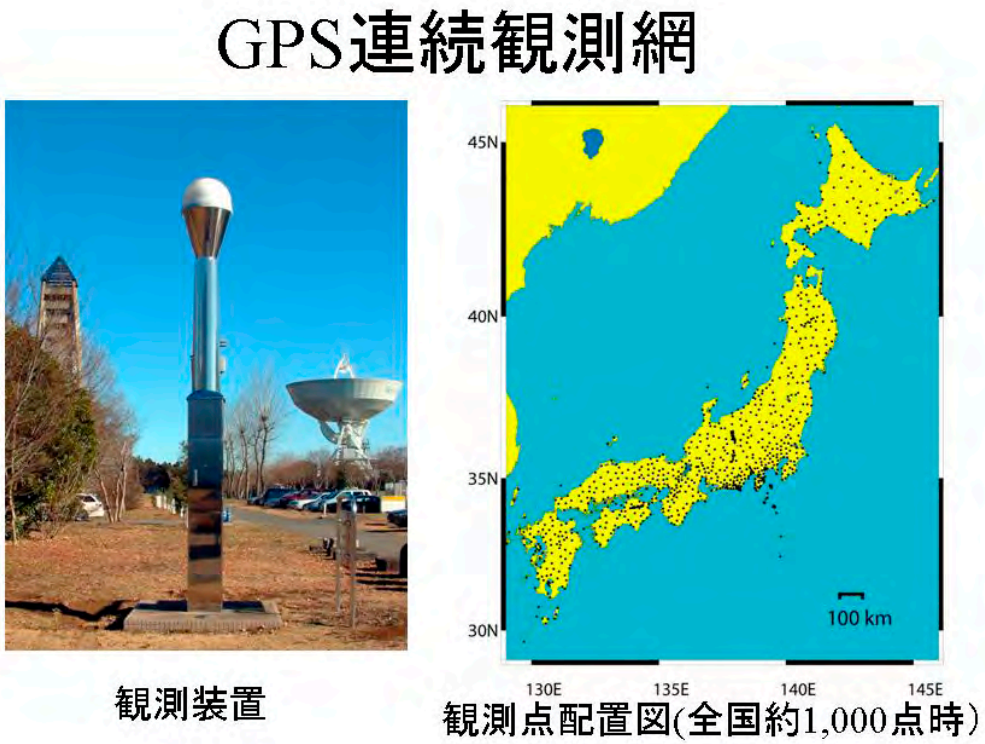
2）対象とする火山で活動が始まり，ダイクや流体が移動を始めたる場合，その位置や深さを推定する．それらの情報から可能な場合には噴火の発生地点を予測する．

いずれの場合も，地震観測，地球電磁気観測等，他の観測事実を統合させ総合的なモデルとして予測の信頼性を向上させることが重要である．

３．ＧＰＳを用いた連続地殻変動観測

GPS は，地上に設置した受信機で NAVSTAR/GPS とよばれる米国の衛星からの電波を受信し，受信アンテナの位置を正確に求める技術である．GPS はカーナビなどに広く利用されている身近な宇宙技術であるが，その電波を高度に利用することによって，mm 単位の精密な地殻変動計測を行う技術が開発されている．現在我が国では，国土全体にほぼ均一に設置された 1200 の観測点で,連続的に観測されデータを電話線などを通じて中央局に送信し，速やかに測位解析計算を行って，ほぼリアルタイムで観測局の位置の変化を連続的に観測することができるようになった．図―２に GPS 観測点の写真と全国の配置の様子（1000 点時）を示す．

GPS 連続観測の特徴は，連続的にしかも水平および上下方向の地殻変動を同時に計測することが可能であることである．火山活動の伴う地殻変動のように，変動が急速に進展する場合でも，活動するマグマの動きに対応した時々刻々の地殻変動情報を計測し，活動をリアルタイムに捉えることも可能となりつつある．また，長期間データを解析することにより，伊豆大島，三宅島（2000 噴火以前），桜島などの代表的な火山において，マグマの蓄積過程と考えられる膨張性の地殻変動も観測されている．これらは，対象とする火山のマグマシステムを理解するための極めて重要なデータを提供する．



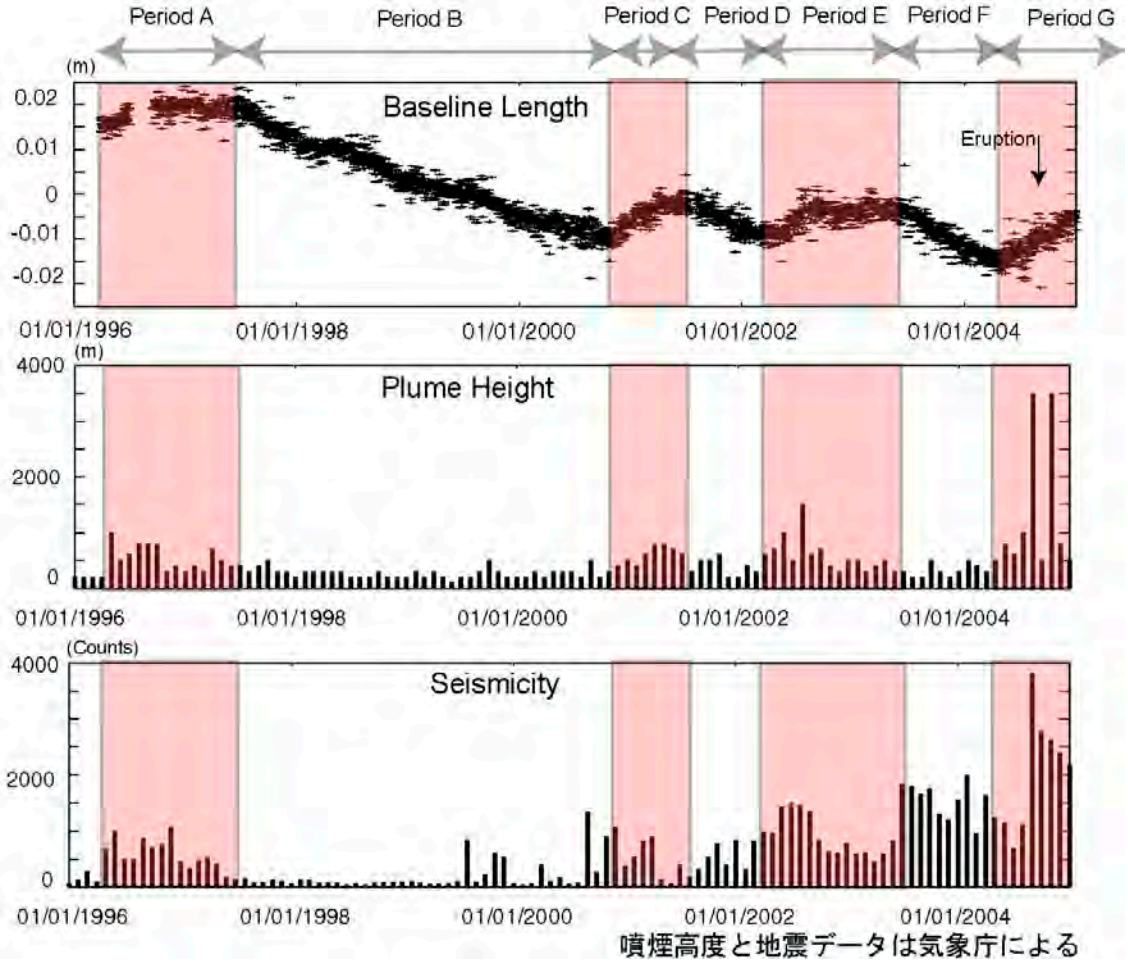
図－２　国土地理院の GPS 連続観測点と観測点配置

データの観測精度は，水平成分１cm 程度，上下成分２～３cm 程度であるが，条件が整っている場合には数 mm 程度の変動（水平成分）の検出もできるようになった．現在は，最速でも３時間に一回程度の計算頻度であるが，時間分解能には向上の余地がある．GPS の観測自体は最高毎秒１回行うことは難しくないので，リアルタイムで連続的に観測・解析することにより，急激に変化する現象を追跡することも可能となり，活動の詳細に対する理解がさらに深まることも期待される．

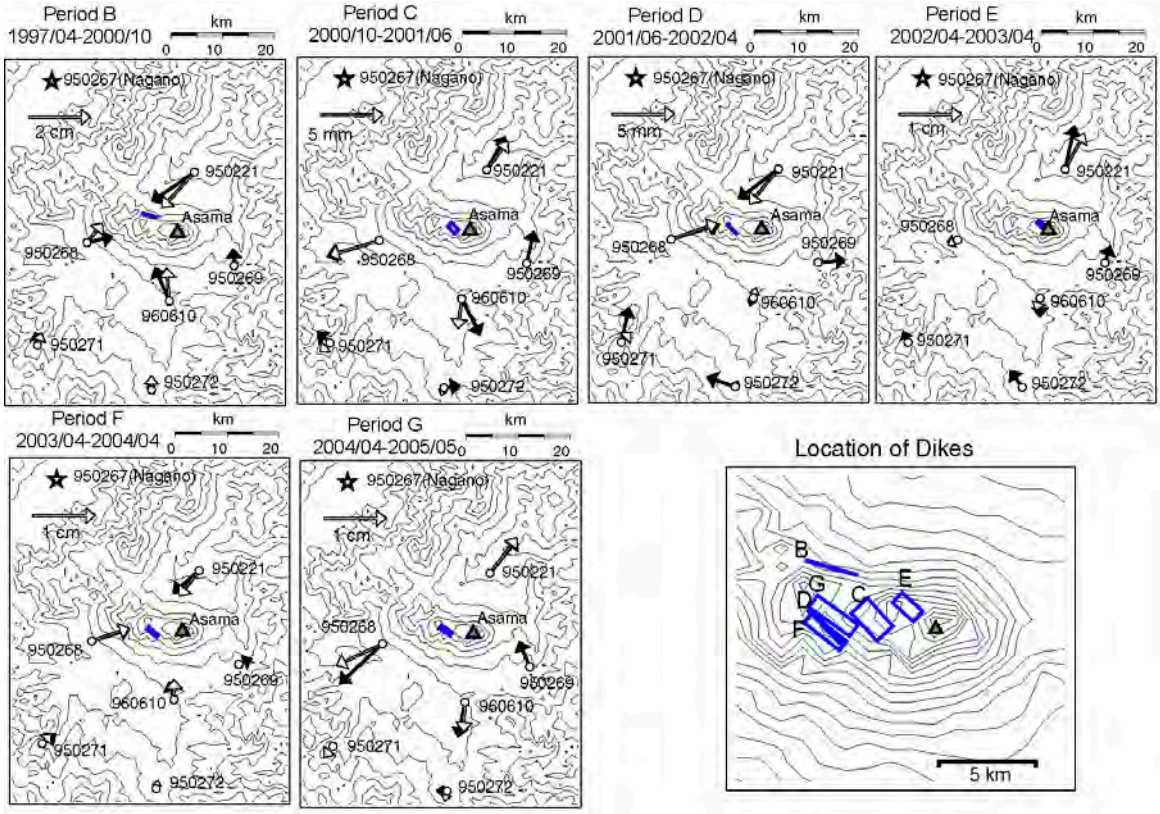
４．GPS がとらえた浅間山の膨張と収縮

浅間山周辺には，嬬恋（950221），東部（950268）軽井沢（950269）などの GPS 観測点が設置されている．これまでも浅間山周辺で発生する地震活動に呼応した変動が観測されていた．地震活動が低調であった 1997 年末から 1999 年夏までの比較的静かな時期と，地震数が増え小規模な噴火も発生した 2002 年春以降との浅間山周辺の地殻変動を調べると，静穏期には山体が収縮し，地震活動が高まる時期には山体が僅かに膨張することがわかった（村上，2005）．図―３に浅間山を挟んで北東-南西に向かい合う嬬恋と東部の間の距離の変化を示す．噴煙高度が低く地震活動が静かなときには浅間山の収縮を意味する距離の短縮が見られるが，地震活動が活発になると距離が伸びており，マグマの注入が示唆される．

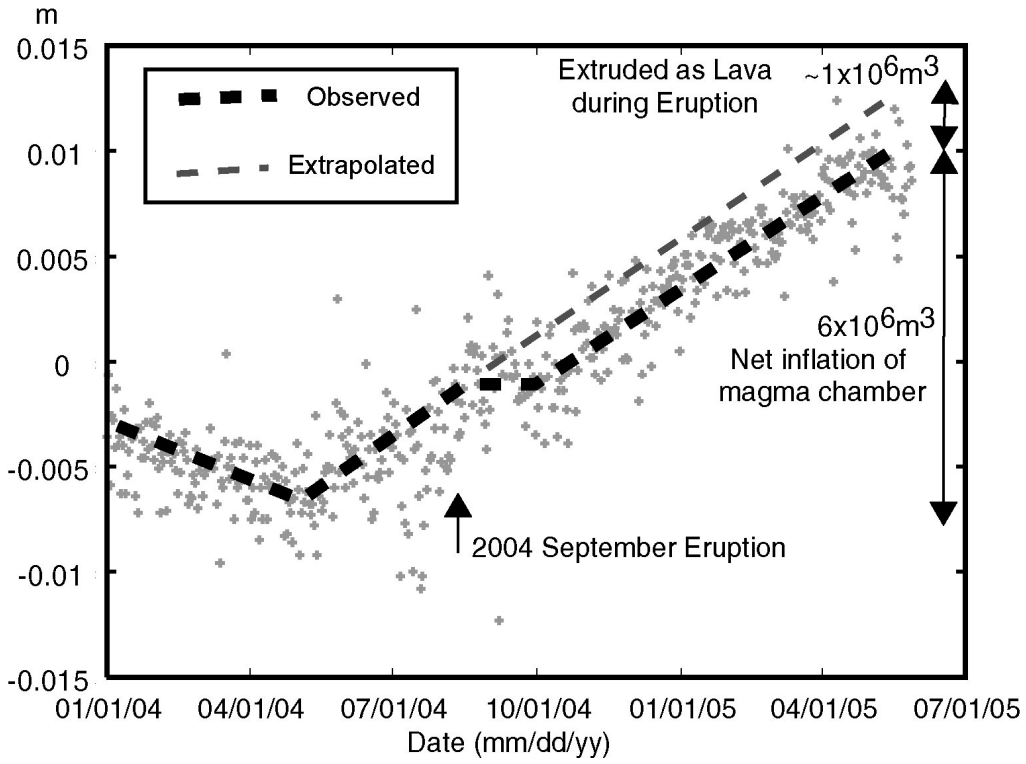
観測点の数が十分とはいえないので，変動のパターンの詳細を確定するにはいたらないが，その水平変動分布は垂直の板状の割れ目（ダイク）の開閉を示唆するパターンにみえる．浅間山の地下の海抜下約１km の深さに，板のような形をしたマグマ溜りがあり，そこに時折ガス成分に富んだマグマが注入され，その時には山体が膨張するが，そこから時間をかけてガスが抜けるにしたがい収縮してゆくといったメカニズムが推定される．



図－３　浅間山を挟む観測点間の距離変化（上段），噴煙高度（中段）および火山性地震数（下段）の関係



図－４　地殻変動から推定されたマグマ溜まりの位置（各図の時期は図－３を参照）



図－５　2004 年９月１日噴火後の浅間山の地殻変動

百万立方メートルである．観測される変動は１cm 程度と小さいが，このような僅かな変動を捉えることができるようになったため地下のマグマの静かな動きまで理解できるようになった意義が大きい．

2004 年９月１日の噴火の前にも，５月頃から山体の膨張が目立ち始めマグマの上昇が始まったことが明らかとなった．国土地理院が実施した航空機合成開口レーダー観測によれば，火口内への熔岩が噴出した時期は９月から 10 月にかけての活動の初期に集中していたことが確認されているが（大木・他，2005），GPS 連続観測結果もそれに整合的な変化を見せている．図－５は図－３と同じ観測点間の距離であるが，2004 年５月からほぼ同じ速度で進行している距離の伸びが９月から 10 月にかけては停滞していることがわかる．これは，ほぼ一定の供給率で続いているマグマ溜まりへのマグマの上昇のうち特に上昇力が高かった９月から 10 月にかけては，マグマが地表に達したためマグマ溜まりの膨張に寄与せず，膨張が一時的に止まったと考えることによって解釈が可能である．

いずれにせよ，浅間山では，地殻変動とマグマの活動が密接な関係を持っていることが明らかとなっており，GPS 連続観測による地殻変動は浅間山の将来の火山噴火予知においても大きな役割を果たすことが期待されている．

５．まとめ

GPS 連続観測により明らかになってきた，浅間火山の活動メカニズムについて紹介した．浅間山の山体が膨張と収縮を繰り返しており，その推移と火山活動の消長の間には関連性がある．膨張時には噴煙活動や地震活動などの火山活動が活発になり，2002 年および 2004 年の最近の２回の噴火の数ヶ月前から膨張が始まっていた．同様のメカニズムが繰り返すとすると，浅間山では噴火の前に数ヶ月続く膨張が先行し，これを監視することによって，中長期的な噴火予知が可能となる期待がある．

参 考 文 献

宮崎　務（2003）：浅間火山活動記録の再調査，東京大学地震研究所彙報，78，4，283-463.

村上　亮（2005）：GPS 連続観測結果が示唆する浅間火山のマグマ供給系，火山，50,5,347-361.

大木章一，村上　亮，渡辺信之，浦部ぼくろう（2005）：航空機搭載型合成開口レーダー（SAR）により計測された浅間火山 2004 年噴火による火口クレーター内の地形変化，火山，50,5,401-410.