

浅間山で観測された特異な長周期微動の非線形ダイナミクス

Non-linear dynamic of singular long-period volcanic tremors observed at Mt. Asama

武尾 実 [1]

Minoru Takeo[1]

[1] 東大・地震研

[1] ERI, Univ. Tokyo

2004年浅間山噴火に先行して特異な波形を持つ長周期地震・微動が山頂火口壁に設置された広帯域地震計で観測された。これらの波形うち、2004年6月24日の4時25分、11時30分及び20時30分に発生した微動は、数秒から10秒の波が卓越する長周期微動で、且つその波形は非線形なダイナミクスを予想させる極めて特異な様相を呈していた。一方、非線形な振動特性を示す微動に対しは、観測データに基づく有効なモデルは未だ出されていない。その要因としては、観測された微動に対する震源過程と波動伝播の効果を分離することのむずかしさ、非線形ダイナミクスを解析する手法や観測データからの情報抽出手法が未成熟であったこと、観測データから求められる力学系システムに関する情報を物理プロセスの解明に結びつける方法が確立されていないことなどが挙げられる。しかし、火山噴火に先行して非線形な波動特性を示す微動がしばしば観測されており、この現象を解明することは、噴火に至るプロセスを解明し噴火予測の精度を向上させる上で極めて重要な課題である。

ここでは、非線形な波動特性を示す微動発生源の数理モデル構築を目指して、2004年6月24日に発生した3つの長周期微動を対象に行った解析を報告する。これらの微動の震源は、山本他(2005)で波動の振動方向から火口直下の極めて浅いところで発生していると推定されている。データは微動源から一波長以内の極近傍で観測されたものであることが判明しており、波動伝播の影響はほとんどなく、微動源における圧力変動等が火口壁に及ぼした変化をそのまま忠実に記録しているデータである。また、これら3つの長周期微動はわずかに数時間間隔で発生し、その震源位置も火道浅部と推測されるので、これらの微動は同様の物理プロセスで励起されていると仮定して、その非線形性の検証と共通するダイナミクスの絞り込みを検討する。

まず最初に、最近の非線形ダイナミクス研究分野の成果に立脚して適切な時間遅れ値や再構成次元を求め、最適な再構成状態空間内にアトラクタを再構成してやる。この段階の成否がフラクタル次元解析やリアプノフスペクトラム解析など種々の定量解析における成否を握ることになる。さらに、サロゲートデータ解析法を適用して微動データの非線形性の検証も行う。具体的には、武尾(2006)で6月24日の4時25分に発生した微動の非線形性を検証する際に用いた手法と同様の、高次自己相関関数の極値を用いる時間遅れ値の推定法(Albano et al., 1991)と、Cao(1997)に依る再構成次元の推定法を用いる。この手法で最適な再構成状態空間を求め、その中に再現されたアトラクタから相関次元、Lyapunov指数、Waylandのtranslation errorという非線形統計量を求める。

ここでは、長周期成分の励起に着目するため、オリジナルの波形にカットオフ周波数1HzのFIRフィルターをかけたデータで解析を進めた。4時25分の微動については、適切な時間遅れステップが7に求まったので、それを用いて再構成次元の最小値を推定すると7となった。これらの結果を用いて再構成したアトラクタを用いて、その相関次元を推定する。その結果、相関積分の分布の傾きはほぼ1オーダーの領域で収束して、相関次元は 2.35 ± 0.16 と求まる。また、11時30分の微動では継続時間が約500秒と長いため、その内の160秒間を取り出して解析をした結果、適切な時間遅れステップは20となり、それを用いて再構成次元の最小値を推定すると6~7となった。しかし、相関積分の分布の傾きがある程度広い範囲で一定となる領域はなく、相関次元の推定はできなかった。さらに、20時30分の微動については、適切な時間遅れステップが9に求まったので、それを用いて再構成次元の最小値を推定すると7となった。この微動では、再構成されたアトラクタから求めた相関積分の分布の傾き(相関次元)は、ややばらつきはあるものの約1オーダーの領域で 1.43 ± 0.17 と求まる。また、4時25分の微動については、Lyapunov指数やWaylandのtranslation errorを指標としたサロゲートデータ解析から、微動励起のメカニズムに非線形ダイナミクスが関与していることを強く示唆されている。以上の解析から、これら3つの微動が同じ物理プロセスで励起されたと考えた場合、その数理モデルは次元数が3から7の間にある非線形の力学系であることを示している。さらに、ある条件下では、カオス的な挙動を示す可能性が高いことも示唆される。