

三宅島傾斜ステップ圧力降下振動モデル

藤田英輔 (防災科研)

Pressure drop oscillation model for tilt-steps at Miyakejima volcano

Eisuke FUJITA (NIED)

1. はじめに

2000年三宅島噴火では様々な現象が観測され、2000年6月26日に始まった三宅島の活動は、第1ステージ:岩脈貫入期(2000/6/26 18:00 - 6/27 12:00)、第2ステージ:山体沈降期(6/27 12:00-7/7)、第3ステージ:山頂火口陥没・傾斜ステップ期(7/8-8/18)および第4ステージ:山体沈降・山頂噴火期(8/18-)とその様相を変えながら、2001年9月現在も火山ガスの放出を中心に活動が継続している。この間、防災科研の地震計・傾斜計等では様々な現象が観測されているが、本発表では第3ステージで観測された傾斜ステップおよびこれと同期する50-sパルス波の発生メカニズムについて考察する。

2. 傾斜ステップの特徴

傾斜ステップおよびそれと同期した50-sパルス波には以下の様な特徴がある。

傾斜ステップ: (1) 7/8 18:41 - 8/18 17:02 に計46回観測されている、(2) 1日に1回から3回、12~48時間間隔で発生するといった周期性を持つ。発生間隔は8月に入り次第に長くなった、(3) 傾斜ステップ発生時の傾斜変動は、山頂周辺ではなく山頂やや南東側を中心とした膨張を示す。ただしポイントソースからの放射状ではなく、面的な広がりをもつ発生源である、(4) 傾斜ステップ量は北側(MKE,MKS,MKK)で大きく、MKAで小さい、(4) 7/8, 9の2回の傾斜ステップは7/11以降の44回の傾斜ステップと異なる特徴をもつ。No.1: 7/8は山頂方向を中心とした放射状で発生前に山頂方向が加速的に沈降する傾斜変動と約8時間程継続する火山性微動が観測された。No.2: 7/9は傾斜ステップ発生後に地震が多発、No.3: 7/11以降は発生前に地震が多発する、(5) 間欠的に発生した山頂噴火と同期しない、(噴火中に発生したのはNo.1: 7/8 18:41とNo.46: 8/18 17:02のみ)、(6) 傾斜ステップ発生1時間程前から山体膨張を示す傾斜変動と地震の多発(7) 46回の傾斜ステップはおおよそGroup 1(7/11 - 7/19)、Group 2(7/20 - 28)、Group 3(7/29 - 8/18)に分けられ、時期的な変化がみられる。

50-sパルス波: (1) 50-sといった超長周期、(2) 1パルスで減衰し振動しない、(3) 広域で観測される(エネルギー効率がよい)、(4) 50-sパルス波終了時に0.7Hz後続波が発生する。

3. 傾斜ステップを発生するバックグラウンド

傾斜ステップに関連した現象として以下の点について考慮する必要がある。(1) 6/26 - 6/27に発生したダイク貫入プロセスとこれにより形成されたマグマシステムを元に発生している、(2) 7/8 18:41の噴火で形成され、8/18の噴火で破壊されたシステムにより発生している、(3) 7/2 - 7/5に小規模な傾斜ステップが発生、同期して低周波地震が発生、(4) 重力観測より7/2ごろには山頂直下に空洞が形成されていた(古屋・他,2001)。

4. 傾斜ステップ発生源

傾斜ステップと50-sパルス波は同時に発生していることから、双方の発生源は同じものであると仮定する。モデルとして tensile crack opening を仮定し、防災科研の島内5観測点における傾斜ステップ量と4観測点の広帯域地震計で観測された50-sパルス波の波形を最も説明する最適な crack 面を求めた。地震波形の計算には Saikia(1994)の方法を用いており、ポイントソースを crack 面に適当に分布させ、簡単な重みをつけて解を求めている。これにより求められた発生源は、三宅島南東から北西沖にのびるシル状の領域で、長さ: 8 - 20 km, 幅: 1 - 4km, 深さ: 7 - 8km, 傾斜角 20° (山頂方向上り), strike N60°W, 傾斜

ステップ時の開口量: 10 - 50cm となる. また 1 回あたりの体積変化量は $0.1-1.1 \times 10^7 \text{ m}^3$ である (図 1).

5. 圧力降下振動モデル

傾斜ステップおよび 50-s 波を説明する物理モデルは, 2,3 で示した観測事実を満足するものでなければならぬことはいうまでもない. これまで提唱されているモデルとして, ピストン降下モデル (大湊・他, 2001), 地下での間欠的な水蒸気爆発モデル (菊地・他, 2001; 藤田・他, 2001 など) などがあるが, いずれも上記の特徴全てを説明可能ではなく, ごく一部の特徴を説明するにすぎない. また特に地震波をもとにした力学的視点ばかりが重要視されているものの, 火山本来の熱や物質の物理特性を考慮した解釈を行うことが本質的であると思われる. 今回提唱するのは, 特にマグマを気液二相流の熱流体としてとらえ, そのシステムとして上記現象を説明するモデルである. 力学的には水蒸気爆発モデルに近い.

ここで考える圧力降下振動モデルを模式的に示す (図 2). 傾斜・地震データの解析より, 三宅島のマグマシステムは山頂方向へむかう火道と南東部のマグマ溜り, およびここから北西へと伸びるシル状のマグマ溜りからなっていると考えられる. 火道の上部にはガス溜まりが存在し, ここが圧縮性の空間となっている. マグマ溜りおよびシル状マグマ溜りではマグマの自らのガス成分の離脱が継続的に進み, ガス溜まりに蓄積する. このガス溜りの圧力を P_g , シル状マグマ溜りの出口のマグマの圧力を P_e とし, $\Delta P = P_g - P_e$ とする. シル内を流れる flux を f とすると, ΔP と f の状態は図 2b の様になり, A → B → C → D → A といった周期的な軌跡をたどる. A → B では, flux が小さく, マグマヘッドは次第に上昇し ΔP は上昇する. B でシステムの圧力は臨界値に達するため, C への遷移がおり, f は急速に増大する. C → D にかけては flux がゆっくりと減少していき, ΔP は次第に解消される. D → A においてもとの状態へ遷移する. 観測された傾斜ステップ準備期間 (約 1 時間), 傾斜ステップ・50-s パルス波 (50 s), 傾斜緩和はそれぞれ A → B, B → C, C → D に対応しているものと考えられる.

本モデルの利点は傾斜ステップの周期性, 熱, マグマと火山ガスの効果, また直接噴火とは関係していないとする現象を矛盾なく説明できるところにある. 今後, 観測データから推定された形状・空間分布・大きさとマグマの物性などを含めて, このような現象を発生しうる条件について数値シミュレーションから再現する予定である.

6. 傾斜ステップとカルデラ形成の因果関係

傾斜ステップの発生と山頂カルデラの形成はともに同じ時期で起った現象であり, 因果関係がある. ただし, 空中からの観測による山頂陥没の進行と傾斜のステップの発生の時期は同期していないという報告もある (大島, 2000). また, 電磁気学的観測からは山頂火道部での物質崩落は傾斜ステップには先立たないとする水蒸気爆発モデルが好ましいという解釈が示されている (笹井・他, 2001). また, 50-s 波の 0.7Hz 後続波が陥没現象を示唆しているという地震波解析の結果も示されている (菊地・他, 2001). 傾斜データ・広帯域地震計データの解釈, 圧力降下振動モデルや水蒸気爆発モデルの考察から傾斜ステップを引き起こしたメカニズムの結果としてカルデラ形成が進行していたと推測される.

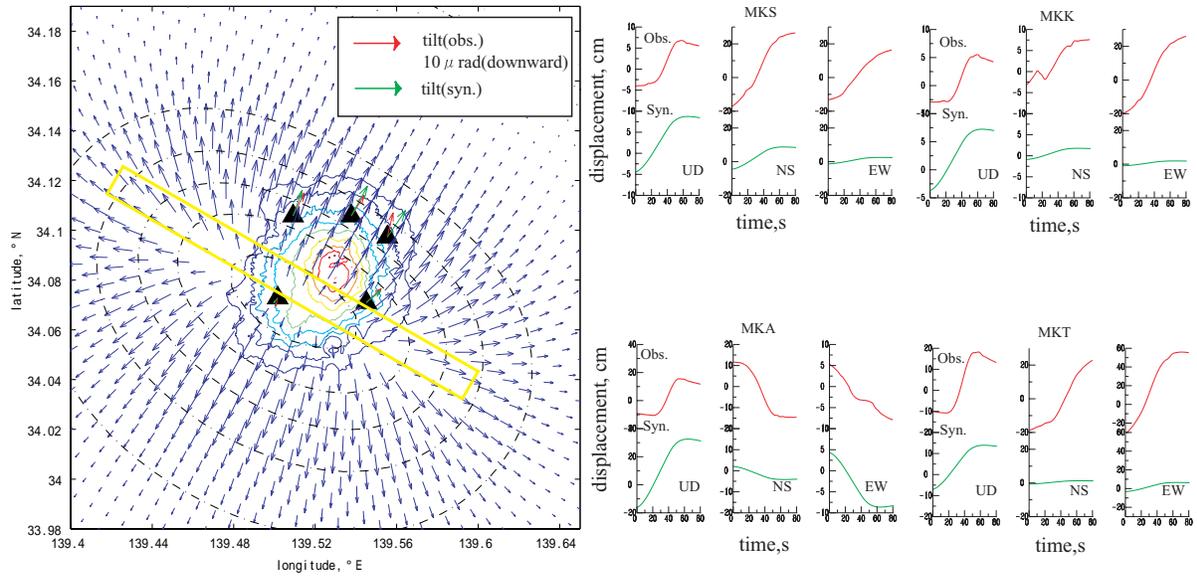


図 1: 傾斜ステップの発生源として推定されたシル状マグマ溜り

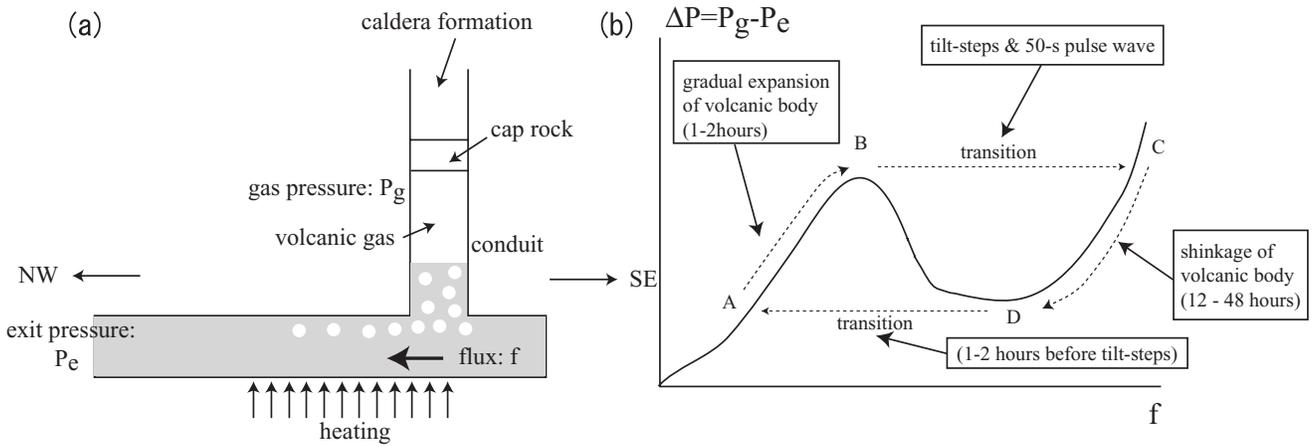


図 2: 傾斜ステップ圧力降下振動モデル概念図 (a) 火道～シル状マグマ溜りの模式図, (b) システムの状態図. A B C D A といったサイクルをなす.