

マグマの蓄積と流出のリズム：火山噴火発生シミュレーション

Cycles of Accumulation and Effusion of Magma: Simulation of the Volcanic Eruption Occurrences

井田 喜明 [1]

Yoshiaki Ida [1]

[1] 東大・震研

[1] Earthq. Res. Inst., Univ. of Tokyo

火山噴火の間欠的な発生を記述するために、マグマが蓄積し流出する過程を3つの連立1次常微分方程式によって表現する。このモデルでは、マグマだまりでの蓄積量に比例するマグマの圧力が、通路を粘性的に開閉すると仮定する。また、冷却によってマグマの粘性率が増加する効果を考える。計算結果によると、マグマだまりへの供給率が大きい場合には、供給率と同じ割合で常時マグマを流出する解が安定である。供給率が小さくなると、蓄積から噴出に至る過程が、一定の振幅と周期で繰り返される。更に供給率を下げると、頻繁に噴出を繰り返す時期と、ほとんど噴出の起こらない時期が、交互に現れるようになる。

間欠的に起こる火山の噴火は、時間をかけて蓄積したマグマが、短時間に地表から流出する現象である。噴火前に火山体が膨張し、それが噴火とともに急激に解消することから見て、マグマだまりに蓄積したマグマの圧力は、噴火を支配する重要な要因のひとつである。マグマの蓄積が弾性的な圧力を高め、それが出口の通路を粘性的に押し広げるとするモデルを、以前著者は提案した (Geophys. Res. Lett., 23, 1457-1460, 1996)。このモデルで、通路の開閉が岩石の粘性流動に従うとしたのは、単に数学的な単純化のために、そこに現れる岩石の粘性率は、塑性流動や破壊の効果も含めた実効的な意味をもつ。通路の拡大とともに流量は非線形に増加するので、マグマの供給率を一定にした条件下でも、ゆっくりしたマグマの蓄積と、それに続く急激な放出を、モデルから計算で導き出すことができる。しかし、このモデルで予測されるのは、完全に周期的な噴火の発生である。現実の噴火は、休止期の長さも噴火時の噴出量も、広い範囲で変動することが多い。

噴火を支配するもうひとつの重要な要素に、マグマの温度がある。マグマが冷えて温度が下がると、その粘性率は高くなる。マグマ中で固化が進行すれば、流動性は更に下がる。いずれの場合も、温度変化が余り大きくなくとも、粘性率は顕著に変化する。そこで、マグマの流量が大きい場合には、マグマは余り冷却されずに通路を通り抜けられるが、流量が小さいと冷却によって粘性率が増して、通路は実質的に塞がれた状態となるだろう。このことから、高温を保って大量のマグマが流れる噴火期と、低温のマグマによって通路の流れが止まる蓄積期が、画然と区別されると予想される。ところが、マグマが熱伝導によって冷却される過程は非定常であるために、それを厳密に扱おうとすると、解析は見通しの悪い数値計算に頼らざるを得ない。噴火の発生過程がどんな要因に支配されるかを系統的に理解しようとする立場からは、精度は多少犠牲にしても、物理的な本質をつく単純なモデルを立てることが望ましい。そこで、ここでは冷却によって失われる熱流量は、モデルのパラメータとして設定することにする。

現実のマグマ供給系では、マグマの圧力と温度は通路を流れる間に連続的に変わるが、単純化のために、通路の状態は平均的な圧力と温度で代表されるものと考えられる。この仮定の下では、モデルは3つの独立変数(代表的な圧力、温度、通路の半径)だけを含み、変数の時間変化は3つの連立1次常微分方程式によって決められる。ここで、圧力の変化を計算する方程式は、供給量と流出量の差だけ蓄積量が変化し、それに比例して弾性的な圧力が変動することから導かれる。温度の変化は、マグマの流れが運ぶ熱と、熱伝導で周囲に失われる熱との差で決まる。半径の変化を記述するためには、以前のモデルと同じく、マグマの圧力による通路の粘性的な開閉を考える。これらの関係式に現れるマグマの流出量は、各時点の半径に対応するポアズイユ流で与えられるものとする。

微分方程式に含まれる主なパラメータは、深部からマグマだまりに注入されるマグマの供給率、通路から周囲に失われる熱流量、圧力変化と温度変化の係数の比である。計算結果を見ると、マグマだまりへの供給率が大きい場合には、同じ割合で常時出口からマグマが流出することが可能で、圧力などに乱れを与えても、それは減衰して、供給率に対応する一定流量の状態が最終的に達成される。ところが、供給率が小さくなると、乱れは振動しながら増大し、最終的には、蓄積から噴出に至る過程が、一定の振幅と周期で繰り返すようになる。更に供給率を下げると、この周期的なリズムが乱れ、頻繁に噴出を繰り返す時期と、ほとんど噴出の起こらない時期が交互に現れるようになる。このように、蓄積と噴出の多様なリズムがモデルから得られると、それを現実の噴火データと比較して、噴火の発生を支配する物理的要因を議論することが可能になる。