

火山噴煙のダイナミクスに関する数値研究

Numerical Study of Volcanic Eruption Columns

石峯 康浩[1], 小屋口 剛博[2]

Yasuhiro Ishimine[1], Takehiro Koyaguchi[2]

[1] 東大・理・地球惑星物理, [2] 東大・地震研

[1] Earth & Planetary Phys., Univ. of Tokyo, [2] ERI Univ Tokyo

火山噴煙の運動を軸対称 2 次元の数値モデルを用いて解析した。特に、噴煙柱の部分崩壊や、定常一次元モデルで利用されているエントレイン仮説の妥当性について考察した。また、噴煙の平均密度が温度と粒子濃度に依存する点について、海洋学で利用される T-S 図と同様の図を導入した結果、異なる三パターンを示す噴火のメカニズムを明解にすることに成功した。

火山噴煙の運動を軸対称 2 次元の数値モデルを用いて解析した。特に、噴煙柱の部分崩壊や、定常一次元モデルで利用されているエントレイン仮説の妥当性について考察した。また、噴煙の平均密度が温度と粒子濃度に依存する点について、海洋学で利用される T-S 図と同様の図を導入した結果、異なる三パターンを示す噴火のメカニズムを明解にすることに成功した。

はじめに

プリニー式噴火と呼ばれる大規模な火山噴火で発生する火山噴煙は、火口から噴出した火山ガスと火砕物粒子の混合物が大気と混合しながら、主に浮力によって大気中を高度 10 - 50km にまで上昇する。すなわち、局所加熱による対流である。数時間から数日間続く大規模な噴火では、コラム状の噴煙がほぼ定常的に存在するとみなせるため、乱流プリュームに関する定常一次元モデル（例えば Morton et al. 1956）に基づいて、これまで数多くの議論がなされてきた。その結果、噴煙の最高到達高度が火口からの熱供給率と良い相関があるなど、重要な関係が導かれている（例えば Woods 1988）。

しかし、定常一次元モデルで扱う物理変数は、平均的な上昇速度、密度、半径の鉛直分布などに限られているため、定常一次元モデルは、噴煙柱の部分崩壊など実際の火山噴火で観測される重要な現象の議論に利用できない。また、定常一次元モデルを用いて定量的な議論をするためには、モデルが含む仮定の妥当性を詳細に検討する必要がある。そこで、軸対称 2 次元の数値モデルを構築してより現実的な運動を再現し、噴煙のダイナミクスを考察することを試みた。

計算手法

圧縮性流体についてのナビエ-ストークス方程式を差分法で、現実的な初期条件・境界条件の下、時間積分を行った。計算領域は、火山の火口を原点、鉛直上向きに対称軸を取った円柱座標系において、高さ 30km、半径 10km を設定した。噴煙内の火砕物サイズが非常に小さい噴火を想定し、その速度と温度は気相と等しいと仮定した。すなわち、火砕物と気相の混合物を、それらの平均密度を持つ単相流体とみなした。乱流運動の効果については、スマゴリンスキータイプの粘性係数によってパラメータ化した。これは、乱流統計に関するコルゴモロフ理論に基づく手法である。そのため、火山噴煙のダイナミクスにおいて重要な役割を担うと考えられている噴煙と大気との混合過程について、エントレイン仮説を用いた従来の定常一次元モデルよりも現実的な振る舞いを再現できると予想される。また、移流項の計算には数値拡散が小さく計算効率が高い CIP 法 (Takewaki et al., 1985) を利用した。

結果と考察

火口からの噴出条件を変えることによって、定性的な振る舞いが異なる 3 パターンの結果を得た。すなわち、コラム状の噴煙が定在し、10-15km の高さで噴煙が水平拡大する噴火（噴煙柱の定在）、コラム状の噴煙を形成した後に、噴煙の一部が崩壊して火砕流を発生させる噴火（噴煙柱の部分崩壊）、コラム状の噴煙が形成されずに、噴煙が火砕流となって地面に沿って流れる噴火（噴煙柱崩壊）である。

これらのパターンの違いは、噴煙の平均密度の温度と火砕物粒子濃度に対する依存性によって生じていることが示された。そして、海水密度の温度・塩分濃度依存性の議論に利用される T-S 図と同様の図を用いることで、三つのパターンの生じるメカニズムを明解にすることができた。すなわち、の定在噴煙柱では、噴煙に取り込まれた大気が十分に加熱・膨張され、上向きの浮力を獲得して上昇を続ける。そして、密度成層をしている大気中で、噴煙内の平均密度と大気密度が釣り合う高さで水平拡大する。の噴煙柱の部分崩壊では、噴煙と大気の混合が激しく起きる噴煙の周縁部分では、噴煙が大気よりも軽くなって浮力によって上昇運動をするが、噴煙中心部では大気よりも重い状態のままである。この結果、上昇運動をする噴煙周縁部が、中心部の重い噴煙を閉じ込める器のよ

うな作用をして、噴煙の崩壊を生じにくくする。そして、中心部の重い噴煙が器の縁からあふれ出すようにして部分崩壊を起こす。 の噴煙柱崩壊では、噴煙に取り込まれた大気の膨張が十分に起きないため、浮力を得ることができずに地面に向かって落下して火砕流となる、という解釈が得られた。特に は本研究によって初めて示された物理プロセスである。スフリエル火山の1979年噴火について Carey et al. (1988) が記述した観測事実は の時間発展と整合的であり、計算結果の状況が実際に生じうることを示している。

また、火山噴煙では、噴煙と大気の混合が活発な噴煙周縁部で大きな浮力が生じるため、運動の自己相似性がくずれ、定常一次元モデルで用いられているエントレイン仮説が成り立たないことも示された。