

渦輪モデルによる火山噴煙の噴出速度推定

Estimation of exit velocity of a volcanic eruption column by a vortex ring model

諏訪 博之^{1*}, 鈴木 雄治郎², 横尾 亮彦¹SUWA, Hiroyuki^{1*}, SUZUKI, Yujiro², YOKOO, Akihiko¹¹ 京都大学大学院理学研究科, ² 東京大学地震研究所¹ Graduate School of Science, Kyoto Univ., ² ERI University of Tokyo

火山噴煙の噴出速度は、火道でのマグマの破碎や上昇、火口での爆発現象や噴煙の挙動など、火山現象一般のダイナミクスにおいて基本的かつ重要なパラメータである。しかし実際の噴煙の噴出速度を画像・映像観測によって直接求めることは難しく、これまでの研究では、噴煙の上昇速度や表面速度を求めるものが中心である。一方で、噴出開始時の火山噴煙頭頂部に見られる大きな渦構造(例えば, Patrick, 2007, JGR)は、室内実験における噴流の渦輪とよく似た性質を示すと考えられ、後述する噴流噴出速度と渦輪の関係式が火山噴煙に対しても適用できる可能性がある。そこで本研究では、火山噴煙頭頂部の渦構造の画像・映像解析から噴煙噴出速度を推定することを試みた。

一般に、円形ノズルから排出される噴流は、噴出開始時にノズルのエッジ部分で境界層が分離して巻き上がることで、噴流頭頂部に円環状の構造、すなわち渦輪を形成する。形成された渦輪は後続噴流を取り込むことで成長を続け、下流へと進んでいく。ピストンを用いた渦輪生成実験によって、渦輪の特性を表す主なパラメータ(渦輪半径、並進速度、循環、そして渦輪の断面半径、すなわち渦核半径)は、ノズルの直径とピストンストローク tU (t :時間, U :ピストンによる噴出速度)によって決まることが分かっている。Gao and Yu (2010, JFM)は、噴出速度 U を一定、後続噴流の速度は噴出速度と等しいと仮定して、渦輪の循環 C の時間変化を、噴出速度 U と渦輪の並進速度 u によって、 $dC/dt=1/2U^2-Uu$ (式1)と近似的に求めた。この(式1)から、渦輪の並進速度と循環の時間変化により、噴流の噴出速度を推定することができる。

(式1)で表される噴流噴出速度と渦輪の関係式が、火山噴煙に対して適用可能であるかを検証するため、火山噴煙の3次元数値計算結果に対して解析を行った。Suzuki et al. (2005, JGR)に基づいて、3通りの噴出速度(67m/s, 134m/s, 201m/s)で3次元数値計算を行ったところ、いずれの数値計算結果でも、高度500-1000mまでは安定した渦構造が噴煙頭頂部に確認された。そこで、噴煙噴出開始後の各時刻における渦輪の高度を読み取り、それらから渦輪の上昇速度を求め、これを渦輪並進速度 u とした。また各時刻における渦核半径と渦輪表面速度から渦輪の循環 C を推定し、その時間変化 dC/dt を求めた。一般に u , dC/dt は一定ではないが、噴出開始時から各時刻までのデータを用いて線形近似することで u , dC/dt を求め、(式1)により噴出速度を推定した。その結果、渦輪の高度の増加とともに、推定される噴出速度は減少する傾向があったものの、本来の値の80-125%の範囲で噴出速度を推定することができた。

2011年2月15日の桜島昭和火口の噴煙に対して、同様の方法により噴煙噴出速度を推定した。この噴火における噴煙は、最高高度が火口縁上2-2.5kmであり、2011年の昭和火口での比較的大きな噴煙の一つである。噴煙頭頂部の渦構造は火口縁上1-1.5kmまでは確認されたが、その後、渦構造部分は噴煙本体から分離して上昇を停止し、徐々に崩壊した。渦輪の高度増加による噴出速度の過小評価(0.8倍程度に減少)を補正した結果、2月15日の噴火での噴煙噴出速度は40-60m/sと推定された。(式1)による噴煙噴出速度の過小評価の原因の一つとして、火山噴煙の場合、たとえ噴出速度が一定であっても、エントレインメントや重力などによって噴煙速度が高度とともに減衰し、(式1)の仮定(後続噴煙速度=噴出速度=一定)が成り立たないことが考えられる。そのため、噴煙速度の減衰を適切に補正できるような改良を行うことが、今後の課題として挙げられる。また、2011年の桜島昭和火口の噴煙噴出速度は40-60m/sと推定されたが、この値は、一般に想定されるブルカノ式噴火の噴出速度(数十-400m/s)の中でも小さい噴出速度であると考えられる。低い噴出速度は、マグマ破碎時の初期圧力が低いことに起因すると考えられ、噴火メカニズムを議論する上での一つの重要な要素となると考えられる。