

火山噴煙における水の相変化の影響：数値実験

The interaction between volcanic eruption clouds and the phase change of water: a numerical study

水谷 文彦[1], 中島 健介[2], 坪木 和久[1], 篠田 太郎[1]

Fumihiko Mizutani[1], Kensuke Nakajima[2], Kazuhisa Tsuboki[1], Taro Shinoda[1]

[1] 名大・水循環, [2] 九大・理院・地惑

[1] HyARC, Nagoya Univ., [2] Dept. of Earth & Planetary Sci., Faculty of Sci., Kyushu Univ.

<http://rain.ihas.nagoya-u.ac.jp/~mizutani/>

[はじめに]

湿潤な大気場では、噴煙柱に環境場の水蒸気を取り込まれ、上層へ輸送された後に凝結し潜熱を放出することで、噴煙が浮力を獲得し乾燥大気場より噴煙高度が増加することが言われている。例えば、Woods(1993)は、湿潤大気場での噴煙の1次元数値実験を行ない、比較的小規模な噴火では、噴煙高度が乾燥大気場での実験と比べて数km程度増加することを示した。しかし、三宅島2000年噴火では7月噴火では噴煙高度が1500mであったものが、8月になると高度8000m以上(数倍程度)上昇する噴煙が観測された。Woods(1993)の実験は水蒸気量の少ない標準大気を使用しており、水蒸気量の非常に多い夏季の日本域を考慮した実験ではないので、大気下層に多量の水蒸気が存在する場合を検討する必要があると考えられる。また8/29噴火では、湿った低温で勢いのない火砕流が発生し、火口から4km先の海岸まで達した。流速は山麓で約10m/sであった。低温火砕流について湿潤過程を考慮した研究はこれまでほとんど例がなく、雨滴の蒸発冷却に伴う負の浮力の励起による低温火砕流の発達に対する効果を調べる必要がある。本研究では、2次元雲モデルに火山灰の影響を採り入れ、噴煙のダイナミクスに対する水の相変化の影響を詳細に検討するための数値実験を実行した。

[数値モデルと実験概要]

基本方程式は、運動方程式、連続の式、熱力学の式、水物質保存式、火山物質保存式を用いた。水物質は、水蒸気、雲水、雨水を考え暖かい雨のパラメタリゼーションを用いて相変化を考えた。火山物質は大気放出時は細粒火山灰のみを考えた。また、火山灰が水分の関与により凝集成長する火山豆石形成過程を考慮して、火山灰から火山豆石への変換を0以上の雲水が存在する領域で時定数を用いてパラメタライズした。環境場の温度湿度に関しては、三宅島2000年噴火の各日9時の八丈島高層気象データ、各月の統計値を用いた。マグマからの顕熱による大気加熱の結果を表現するために、実験領域の水平0km、高さ700mに半径1000mの大きさを持つ温位擾乱を置き実験を開始した。また、与えた温位擾乱に相当する熱量を持つ分だけ火山灰混合比を与えた。

[噴煙高度]

噴煙が大気下層の水蒸気を取り込む効果を調べる実験を行った結果、噴煙が大気下層の水蒸気量を取り込むことで水蒸気凝結による潜熱放出が噴煙上昇の浮力となり、取り込まない場合と比べ噴煙高度が2倍以上高くなる。各月の統計値を基本場として実験した結果から、噴煙高度は水蒸気量の多い夏季は高く水蒸気量の少ない冬季は低くなる傾向がみられた。これは三宅島2000~2001年の観測事例と調和的であり、つまり噴火の規模が同程度であっても水蒸気量が多いほど噴煙高度は増加することが考えられる。さらに、大気中に雲水が存在し火山豆石が形成される場合の生成速度を変化させる実験を行った。豆石生成速度が速ければそれに伴って大気に与える負の浮力を持つ火山灰が噴煙の系から抜け落ちることで、噴煙が浮力を獲得し上昇しやすいことが分かった。以上の結果を組み合わせると、水蒸気量の多い夏季に噴火が発生すると、マグマ熱量が小さくとも水蒸気凝結による潜熱解放で噴煙が上昇する効果と火山豆石生成による浮力の獲得で噴煙が上昇する効果が重なって、噴煙がかなり上層まで上昇することが考えられる。

[低温火砕流]

大気の湿潤過程を考慮した実験を行った結果、一度上昇した火山灰が下降して火口から水平に5km程度まで達した。この様子に着目すると、水平速度は約10m/sで温度は大気とほぼ等温であったことから、8/29の噴火で観測された低温火砕流の性質とよく一致する。雨滴の蒸発項を取り除いた感度実験の結果より雨滴の蒸発冷却による下降流が地表で発散することが、低温火砕流を強化する一因であることを示唆している。本研究で新たに示されたこの火砕流は火山灰の負の浮力の効果に、積乱雲下で発生する冷氣外出流の物理過程が合わさったものであり、'moist ash flow'(MAF)と名付けるべきである。

[まとめ]

噴煙のダイナミクスに対する湿潤過程の影響、特に水の相変化の効果を調べるため、暖かい雨や火山灰のパラメタリゼーションを含む2次元非弾性方程式系の数値モデルを用いて実験を行なった。夏季は大気中の水蒸気量が多いことで、凝結潜熱の効果と火山豆石形成の効果により、噴煙高度が増加することが分かった。一度上昇した噴煙内では火山灰の持つ負の浮力に加えて雨滴の蒸発冷却による負の浮力が励起されることで低温火砕流が

発生、発達することが分かった。この低温火砕流を MAF と名付けた。