

論文の内容の要旨

論文題目 パイプ-チャンバー系水あめ噴火実験を通した火山噴火システムの研究
(Investigations of volcanic eruption systems
by a pipe-chamber syrup eruption experiment)

氏名 菅野 洋

身近な材料を用いて、地球科学的な現象を模擬した実験は、しばしば自然科学に応用できるような新しいアイデアや示唆をもたらす。本研究では、室内実験のシステムが、火山噴火システムと同等の数理システムを持つと考え、実験における振る舞いや、物理過程を理解する。そして、観測や数理モデルからは簡単には予想できないような要素を発見的に探求し、実験の結果から、観測記録の解釈や噴火モデルへ示唆を得ることを目的とする。

本研究は、所属する機関において行なった、一般向けの水あめ噴火実験から着想を得た、パイプ-チャンバー系水あめ噴火実験の物理を探求する。本実験では、ガスチャンバーの上部に鉛直にパイプを取り付けた実験装置を用いる。チャンバー内に一定流量のガスを供給すると、パイプ内で水あめとガスの二相流が発生し、間欠的にガスが噴出する。

まずは、実験におけるチャンバー内の圧力変動に着目する。チャンバー圧力変動は、ノコギリ波状の特徴を示す。このような波形は火山活動にともなう地盤変動としてストロンボリ式、ブルカノ式、溶岩ドーム噴火といった様々な周期的噴火現象とともに観測される。周期的火山噴火システムは、マグマ溜り圧力と火道流の非線形な圧力損失がカップリングす

るといふ数理モデルが提案されているが、このようなシステムの振る舞いを室内実験を用いて検討した研究はこれまでなかった。そこで、本研究では、実験で見られる物理量を単純なパラメータとして取り扱い、実験と火山噴火システムは同等の数理構造を持っていることを示した。実験におけるチャンバー内圧力・パイプ内流れは、その流れのスケールや構造が違っても関わらず、火山噴火システムにおけるマグマ溜り内圧力・火道流と対応していることを示した。さらに、実験において、装置の構造や供給ガス流量といったパラメータが一定であっても、自発的にチャンバー圧力振動の周期が乱れていくことを見出した。この結果は、既存の火山噴火モデルからは予測できないような結果である。このような、予想外な結果を得られる事こそが、室内実験を通して、火山噴火システムを研究する意義であると考えている。流れの画像解析の結果、自発的な周期の乱れは、過去のガス噴出によって、流路の構造が乱されることによって生じると結論づけた。実際の周期的噴火においては、過去の噴火による噴出物の再堆積や、火道の崩壊、マグマヘッドの位置の違いによって、火道内流れの状態が乱されることが、周期を乱すひとつの要因になると考える。

次に、実験において、パイプ上端で計測したガス噴出時の空気振動に着目する。実験において、流動状態とチャンバー圧力振動が乱れるとき、空気振動波形もまた乱れることを示した。一方、ノコギリ波状のチャンバー圧力振動にともなって発生する空気振動には二つの特徴的な周波数ピークがあり、それぞれのピークを励起するメカニズムを特定した。また、低周波帯空気振動の振幅が、チャンバー過剰圧と良い対応関係があることを示した。空気振動発生メカニズムと、火山噴火システムにおける現象とを十分に対応させるには至らなかったが、この実験結果を踏まえれば、地下の圧力(体積)変化にともなう地盤変動と対応のある空振シグナルを見出すことができるかも知れない、ということが考えられる。

最後に、2015年の桜島火山活動について、地盤変動及び空振、火口カメラ映像の関係を調べる。地盤変動には、ノコギリ波状の振動が見られるが、その発生間隔に、実験で見られたような周期性や、個々のイベントの関係性を見出すことはできなかった。この解析の主な成果は、連続的な灰噴火にともなうような、微弱な空振、またはパルス状空振後続波のエネルギーが、地盤変動と対応している可能性を示したことにある。この結果は、空振エネルギーが、火山活動のモニタリングのパラメータとして有効である可能性を示唆していると考えている。

本研究では、実験から得られた示唆を踏まえた火山モデルの具体的な改良には至ることができなかったが、物理過程の異なる実験システムと火山噴火システムが同等の数理構造を

持っていること、噴火の周期性や、空振とチャンバー圧力の関係性についての示唆を得られたことは大きな成果であると考えている。これらの結果は、実際の流体を用いた室内実験ならではの結果である。また、観測記録に見出した空振と地盤変動の関係についても、室内実験の結果を踏まえた上で、観測記録を見直し、解析した結果、見出せた結果であると考えている。以上の結果から、本実験は、火山噴火システムを理解する上で、重要なツールの一つとなると考えている。