

間欠泉アナログ実験における圧力変動のメカニズムと周波数支配要因 Mechanism and frequency change of pressure oscillation in the laboratory geyser system

*手嶋 法子¹、寅丸 敦志²

*Noriko Teshima¹, Atsushi Toramaru²

1. 九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2. 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門

1. Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, Kyushu University, 2. Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, Kyushu University

間欠泉とは火山地域に見られる繰り返し熱水や水蒸気を噴き上げる温泉であり、地震活動において火山と類似点を持つことが知られている。間欠泉では内部で発生する圧力パルスが微動を励起することが知られているが、圧力パルスの起源や発生メカニズムは未だ十分に理解されていない。天然の間欠泉は複雑なふるまいを見せ、また直接的に内部を観察することが困難であるため、身近な物質を用いた再現実験（アナログ実験）による現象の単純化と可視化が有効だと考えられる。本研究では、流体振動モデルおよび室内アナログ実験により得られた圧力、温度と水面変動の測定データを用いて、間欠泉内部圧力変動の発生メカニズムおよび周波数の支配要因の解明を試みた。

本研究では天然間欠泉の周期的な噴出を再現する実内実験装置を用い、実験を行った。装置は主にフラスコ、ガラス管、ホットプレート、冷水槽から構成されており、それぞれ天然間欠泉における熱水だまり、噴出管、熱源、地下水の流入を再現している。水で満たしたフラスコをホットプレートにより加熱し沸騰が発生することで、フラスコ上部に接続されたガラス管内の水面が徐々に上昇していく。水面がガラス管の上端に達し、水が湧出すると、減圧沸騰により激しい噴出が引き起こされる。噴出された水は外部に接続されたタンクへと流れ、また噴出と同量の水が冷水槽から流れ込み再びフラスコ内を満たすことで1つの噴出サイクルが終了し、次のサイクルが始まる。このような噴出を連続的に発生させ、各種測定を行った。

フラスコ内部の圧力と温度の連続測定、および噴出イベントごとの噴出量の計測を行った。高速カメラ(250fps)と常速カメラ(60fps)を用い、フラスコ内部とガラス管内水面の動画を撮影した。撮影された水面の動画より、ガラス管内の水柱の上下変動量を動画計測ソフトMove-tr/2Dを用いて数値化した。また実験条件による圧力変動の特徴変化を調べるため、実験系の形状に関する3つのパラメータ（フラスコ内容積 V_0 、ガラス管内初期水位 L_0 、ガラス管断面積 A ）を変化させ実験を行った。

実験結果の解釈のため、寅丸他（日本火山学会2010年秋季大会）により提案された、ガラス管内の流体振動を記述するモデル式を用いた。ここでガラス管内の体積流量の変化は、フラスコ内圧力 P の変化およびガラス管内の水位 L の変化と関連付けられている。このモデル式から圧力変動の周波数 f を表す式が得られ、ここで f は実験系の形状に関するパラメータ、およびフラスコ内の実効体積弾性率 K^* により表される。また実験において、動画解析やその他計測から正確な K^* の値を決定することが困難であったため、本研究では P 、 L および K^* を関連付ける関係式 $AK^*/V_0 = \Delta P / \Delta L$ を用い、 K^* を算出する手法を取った。ここで ΔP 、 ΔL はそれぞれ圧力変動および水面変動の振幅を表している。またこれらの式において、 K^* 以外のパラメータは実験の設定条件および測定結果より値を得ることが出来る。これらの関係式を用い、理論値としての共振周波数を算出し、実験において測定された圧力変動の卓越周波数との比較を行った。

実験結果より、フラスコ内で測定された圧力変動は、複数の高周波パルスおよびそれに引き続く低周波の減衰振動により構成されていることが分かった。ここで低周波の減衰振動はガラス管内の水柱の上下振動と強い逆相関の関係を持っていた。高速カメラ映像およびそれと同期する圧力波形の観察より、フラスコ内部で発生する高周波の圧力パルスは気泡の発生により引き起こされていることが分かった。ある噴出から次の噴出にか

けて、圧力変動の卓越周波数は系統的な減少を見せたが、これは加熱が進みフラスコ内の気泡量が増加したことによる実効体積弾性率 K^* の減少により説明できた。また測定された圧力変動の卓越周波数は実験条件ごとに異なる値を見せたが、それは実験系の形状に関する設定パラメータの違い、および直前の噴出量に支配される K^* の初期値の違いにより引き起こされていることが分かった。噴出量が多いほど多くの冷水がフラスコに流入するためより温度が下がり、噴出直後の気泡量が少なくなり K^* の初期値が大きくなることで、卓越周波数の初期値がより高くなることが確認された。

以上のことから、間欠泉アナログ実験における圧力変動はフラスコ内の気泡発生およびガラス管内の水柱振動により引き起こされており、その卓越周波数は実験系の形状に関するパラメータおよび直前の噴出量に支配されていることが分かった。

キーワード：室内実験、間欠泉、圧力変動、流体振動、周波数変化

Keywords: Laboratory experiment, Geyser, Pressure oscillation, Fluid oscillation, Frequency change