

論文の内容の要旨

ミュオグラフィ像における背景ノイズ低減による
活動的火山内部におけるマグマ動態の検出
(Reduction of background noise in muographic images for
detecting magma dynamics in an active volcano)

氏 名 草茅 太郎

最近のミュオグラフィ観測技術は、複数台のミュオン検出器と放射線遮蔽体を用いて背景雑音を低減することで改善されてきた。それゆえに、ミュオグラフィ像を得るために従来必要とされてきた手動による解析過程が格段に軽減された。この最新のミュオグラフィ観測技術をより効果的に活用するために、低背景雑音ミュオグラフィの自動解析ソフトウェアが将来、特に活動的火山内部におけるマグマ動態のリアルタイム検出に役立つと考えられる。低背景雑音ミュオグラフィ観測装置に焦点を当てた本研究では、それに特化した解析ソフトウェアの開発を行うことにより、実際の火山活動の時間スケールに近い時間で透視画像出力が可能となり、将来、他の地球物理学的観測結果との対比がより容易になることが期待される。

本論文では、将来の活動的火山内部のリアルタイムでのマグマ動態の検出とその可視化データベースの作成を目指した低背景雑音ミュオグラフィの解析ソフトウェア開発に焦点を当てて論ずる。特にこの中で、「R 法」を考案することにより、解析ソフトウェアの高速化を実現した。R 法では、最上流と最下流

の 2 台のミュオン検出器でミュオン飛跡の決定を行い、残りのミュオン検出器を飛跡の直線性の判定のみに用いる。このアルゴリズムにより、すべてのミュオン検出器の検出位置を用いて最小二乗法で決定する従来方法と比べてミュオグラム（対象ボリウムを透過した後のミュオンイベントを 2 次元角度空間内にプロットしたマトリクスで、デジタル X 線レントゲン写真と等価）生成において格段の速度向上を実現した。また、ミュオグラムを、ミュオグラフィ観測装置の幾何学的構造に基づいて解析し、対象ボリウムの密度長（平均密度×ミュオン透過経路の長さ）を、ミュオグラフィ観測装置の角度空間上に表すことのできるモジュールも開発した。

さらに、活動的火山のミュオグラフィ観測に有用なモジュール群を開発し、与えられた条件下でのミュオグラムの合成を容易にした。ミュオグラムを合成することにより、ミュオグラムのリアルタイム性は失われるが、ミュオグラムの統計精度の向上につながるため、より高い精度で火山内部の密度構造を議論できるようになる。本研究では、ミュオグラム合成のために与える条件として、噴火時間間隔をパラメータとして採用した。

本論文ではケーススタディーとして、我が国で最も活動的な火山の 1 つである桜島のミュオグラフィ観測によって得られたデータを適用し、開発した解析ソフトウェアの性能評価を行った。特定の噴火条件下（この場合は噴火時間間隔が 10 時間以上）において、30 枚のミュオグラム（900 分間観測相当）を合成した結果、火山噴火直後について、昭和火口底近傍及び昭和火口底直下で、ミュオンフラックスの減少をそれぞれ最大 99% C.L.を超える統計的有意度で観測した。このミュオンフラックスの減少は、噴火に関連した大きな物質量の移動を示唆している。ミュオンフラックスの減少の時空間的推移より、物質の移動は鉛直方向であることが結論付けられ、さらにこの鉛直方向の物質移動については、物質が火道内を昇降するマグマであると仮定された。さらに、噴火前後に移動したマグマの物質量と噴火間隔は相関しており、噴火間隔が長いほどより多くの物質が上昇していたことが示唆される。

一方で、測定された桜島の絶対密度分布は想定より低めだった。R 法を用いる場合、観測装置に内蔵される放射線遮蔽体の影響により入射したミュオン

が散乱し、ミュオンの飛跡決定精度を制限して、ミュオグラフィ観測装置の見かけ上の角度分解能が悪化する。この角度分解能悪化の結果として、過大にミュオンフラックスが観測されることが測定される絶対密度の低下につながる結果となる。このことはモンテカルロシミュレーションにより確認した。シミュレーションの結果によると、このミュオグラフィ観測装置の見かけ上の角度分解能の悪化は、ミュオン検出器の位置分解能を 1 cm 程度に向上させることで、ほぼ無視できるレベルにまで軽減できることを見出した。このように本論文ではミュオグラフィ観測技術の将来の改善や高度化のために必要なことについても論じている。