

# 論文審査の結果の要旨

氏名 山河 和也

本論文は、口径 10-30m の可搬型極小規模アレイにより火山山頂や噴気孔付近で実際に観測された音波データに基づいて音源の方向検知のアルゴリズムを開発し、火山噴火時の音源高さ制約を可能にしている。また、小型・可搬型であることを活かして2つの火山で極小規模空振アレイによる音源方向決定の性能評価と、効率的な臨時観測への応用が報告されている。

本論文の本文は以下の5章で構成されている。

第1章は序章と位置づけられ、爆発やジェットを発生源とする低周波音波（インフラサウンド）発生機構の研究の歴史と、火山噴火や噴気への応用の概要が述べられている。さらに火山を対象とする空振アレイ観測の進展を概観し、その中で、これまでの問題点として、火口を取り囲むような従来の口径 100m 以上の大規模空振アレイ観測は適用に制限が大きいことを指摘し、極小規模空振アレイ観測の可能性と必要性や意義を述べている。最後に本論文の構成を述べている。

第2章は、イタリアのストロンボリ火山において活動的の火口が見える山頂付近に極小規模空振アレイを設置し、MUSIC アルゴリズムを用いて、アレイ解析により複数の火口から到来するそれぞれ特徴的な空振の到来方向を分離し、アレイの持つ到来方位の分解能が2度、仰角分解能も伝播速度を空気の音速に固定すれば5度以内であることを実証的に確認している。その過程で、仰角と見かけ速度が周波数依存することを見出し、火口から山頂までの地形を模した軸対称地形に対し音波伝播シミュレーションを実施し、周波数依存性の原因を探った。仰角の周波数依存性は斜面に沿った見かけ速度の周波数依存性が作り出したもので、地表付近の波数ベクトルは地面からの反射波が重合するため地面の傾斜に固定されていた。一方、火口から見てアレイ後方にある山頂からの回折効果により、見かけ速度の周波数依存性が生じていた。これらの意外な周波数依存性は周波数領域と時間領域の伝播シミュレーションで共に確認している。伝播シミュレーションでの見かけ速度の周波数依存性の特徴と比較することで、1つの火口に対応する音源の高さは 60m 以下と制約し、20-30m が観測を最も説明できるとした。このような手法により、音源の高さの制約手法を開発したことは独創的である。火山ガス噴出量やマグマ体積噴出量などの噴火の最重要パラメタを決定するため、これまで様々な音源モデルが提唱されている。今後、音源高さの制約から音源モデルの選択とこれらパラメタの推定が可能になることが期待される

第3章では霧島硫黄山で1日未満の短時間臨時観測を実施している。2つの噴気孔の間に極小規模空振アレイを設置し、大小2つの噴気孔を音源として分離検出を試みたが、より強い音源に阻まれ、もう一方の微弱な音源の検出はできなかった。微弱な音源

の近傍に単一マイクロフォンを設置し、そのデータも合わせた同時解析により、小規模空振アレイは2つの音源を分離検出できた。この実験で開発した手法は、熱水活動域のような複数の噴気を持つ火山活動監視に有効であるとしている。

第4章では、霧島新燃岳の西側の山域で低周波音源探査を実施している。極小規模空振アレイの移動と設置を繰り返し、2時間以内に4地点で各15分程度の短時間観測を実施した。その解析により、噴気地帯から低周波音波が発生していること見出した。このような逐次移動観測は極小規模空振アレイの有望な新たな応用例であるとしている。

第5章では結章として、極小規模空振アレイは低周波音波の研究やモニタリングに役立つ実用的性能を有することを確認したこと、音源高を含む音源領域を制約可能で低周波発生機構の解明に役立つこと、空間的制約が少なく様々な場所に設置することが可能であること、が結論としてまとめられた。

以上をまとめると、火山噴火の音源位置の特定の問題点はこれまでも指摘されてきたが、本論文で新たに実用化した極小規模空振アレイの有効性を示し、音源位置、特に高度に制約を与えることに成功した。このように、本論文は、極微小規模空振アレイを提唱し、その有効性を実際の観測現場で実証したもので、低周波音波研究の進展に寄与し、地球惑星科学、特に火山学の発展に大きな貢献をもたらしたものとして高く評価できる。

なお、本論文第2章第1節の一部は、市原美恵、石井杏佳、青山裕、西村太志、**Giorgio Lacanna**、**Claudia Sánchez**、**Maurizio Ripepe** との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。