

論文審査の結果の要旨

氏名 鈴木 雄治郎

火山噴煙は、爆発的な火山噴火現象を特徴付ける最も本質的な物理過程であり、そのダイナミクスを理解することは、地球惑星物理学上の重要な課題であるばかりでなく、噴火予知や防災などの実用上の見地からも強く望まれる。本論文は、その「火山噴煙のダイナミクス」という物理過程について、数値モデルの観点から考察したものである。

本論文は、以下の全5章からなる。

第1章では火山噴煙のダイナミクスに関する先行研究についてレビューを行い、本論文で解決すべき問題点を明解に示した。即ち、火山噴煙のダイナミクスが、噴煙と大気が混合したときの密度変化の非線形性によって決定されていることを示し、そのことから、噴煙の数値モデルが、(1) 乱流混合による噴煙内部の均質化過程、(2) 乱流の渦による大気を取り込み量、の2点を正確に再現するものでなければならないという結論を得た。さらに、この結論の上にたって、先行研究の「1次元定常モデル」と「軸対称モデル」の問題点を以下のように整理した。1次元定常モデルは、乱流による大気を取り込み量を比較的容易に見積もることができるという利点をもつが、その見積もり量が「取り込み係数」という経験的なパラメータに依存するという欠点をもつ。また、1次元定常モデルは、現実の噴火現象のような多次元かつ非定常な運動に対する拡張性に乏しい。一方、従来の軸対称モデルは、非定常な噴火現象に対応できるという利点をもつが、乱流混合に関する室内実験結果を再現しないという決定的欠陥をもつ。

第2章では、上に挙げた問題点を解決にするために、新しい数値モデルを提案した。軸対称2次元モデルと3次元モデルの結果を室内実験結果と比較することによって、噴煙のような乱流ジェット(乱

流プルーム)における混合については、流れの3次元の揺らぎおよび大規模な渦から小規模な渦へのエネルギー輸送を再現することが本質的であることを示し、噴煙のダイナミクスに関わる大局的な乱流混合の構造は、3次元の座標系を用い計算スキームの空間積分を3次精度まで上げることによって再現できることを示した。また、噴煙と大気が混合した場合の密度変化に関しては、混合比に合わせて比熱比を変えるという手法によって解決した。以上2つの特徴を再現することによって、乱流混合という物理過程の本質を失わずに非定常性や3次元性まで扱える拡張性の高い火山噴煙数値モデルを世界で初めて構築している。

第3章、第4章では、それぞれ軸対称2次元モデルおよび3次元モデルでの計算結果に基づいて、火山噴煙を支配する物理現象を解析し、火山噴煙のダイナミクスを流体力学的に異なる6つの運動様式(レジーム)に分類した。特に、これまで知られていた「噴煙柱」、「火砕流」に加え「部分崩壊」と呼ばれる中間状態が存在することを明らかにした。また、中心軸付近に噴煙の高濃度領域が残った状態で噴水のような運動をする現象を新たに認識し、それに対して「Fountain」レジームと定義した。パラメータ空間上で、これらのレジームが出現する条件を決定し、火砕流発生とFountain形成の条件が独立に決まっていることを明らかにした。

第5章では、第3章、第4章の計算結果に基づいた考察を展開している。第5章前半では、火砕流発生条件とFountain形成条件の物理的意味を考察し、その条件を解析的に決定した。その結果に基づいて、前章で示した6つのレジームを分類する境界をパラメータ空間上で明確に示した。また、第5章後半では、マグマの温度や水蒸気量によってレジームを分類する境界の相対的位置関係が変わることを明らかにした。その結果、マグマ噴火(高温・低水蒸気量)とマグマ水蒸気噴火(低温・高水蒸気量)では、「噴煙柱」から「火砕流」へ移り変わる条件付近での噴煙の濃度や不均質性に大きな差が生じることを予測した。さらに、この予測を、ピナツボ火山や三宅島の噴火などの実際の観察事実と比較検証し、数値モデルの正当

性を実証した。

以上のように、本論文では、火山噴煙について、そのダイナミクスを支配する乱流混合という物理要因の本質を捉えたオリジナルな数値モデルを構築し、また、数値計算結果に基づいて、火砕流の発生条件などの野外観察事実に対して新しい知見を得ることができた。これらの成果は、いずれも複雑理工学、特に火山学の進歩に大きく貢献するものである。なお、本論文第2章は、小屋口剛博、小河正基、蜂巢泉との共同研究であるが、論文提出者が主体となって数値モデルの構築を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。また、本論文第3、4、5章は、小屋口剛博との共同研究であるが、論文提出者が主体となって結果の解析を行ったもので、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（科学）の学位を授与できると認める。