

氏名	あみ た かず ひろ 網 田 和 宏
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2607 号
学位授与の日付	平成 15 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	理学研究科地球惑星科学専攻
学位論文題目	火山地域から放出される噴気ガスの形勢機構に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 由佐悠紀 教授 町田 忍 助教授 大沢信二

### 論 文 内 容 の 要 旨

火山から放出されるガスの起源は地下深所にあるマグマから分離した揮発性物質(マグマ性ガス)にあり、それが浅所へ上昇してくる途中で様々な表層起源物質と混合し、最終的に地表に到達したものが噴気ガスである。実際の噴気ガスがどのような起源物質を含んでいるかは、その化学組成や成分の同位体比から知ることができるが、起源や相の異なる流体(マグマ性ガス、天水、空気)が火山体内の何処で、どのように混合して、噴気ガスが形成されているのかについては、これまでそれを知る具体的な方法がなく、ほとんど言及されることがなかった。申請者は、大分県と熊本県の県境に位置する九重火山の九重硫黄山噴気地域で、噴気ガスを地球化学・地球物理学の両側面から観測し、化学組成、水蒸気の安定同位体比、噴出量、密度、温度のデータを21ヶ所に及ぶ噴気孔で取得し、それらの総合的な解析から噴気ガスを構成する起源流体であるマグマ性ガス、天水、空気の混合過程と混合機構の解明を行った。申請者は、まず本格的な観測に先立って、噴気ガス試料採取時の大気混染(air contamination)について検討を加え、観測で用いるガス採取法によって得られる噴気ガス試料中の空気成分が、人為的ミスに由来するものではなく、地下における混合過程の中で付加されたものであることを明示した。

申請者が、観測研究によって明らかにした主要な内容は、以下の通りである。

混合過程：これまで個別に解析されることが多かった噴気ガスの化学組成と噴気水蒸気同位体比( $\delta D \cdot \delta^{18}O$ )を同時に取り扱った定量的な解析の結果、地表直下に形成される通気帯(vadose zone)において、深部から上昇してくるマグマ性ガスに天水と空気が同時に混入し、その後に噴気孔より噴気ガスとして放出されていることが示された。これによって、マグマ性ガスと混合する天水は、従来考えられていたような地層空隙を完全に満たす地下水(groundwater)ではなく、通気帯に存在する不飽和水、即ち通気帯水(vadose water)であり、また、噴気ガスに含まれる空気成分は通気帯空気(vadose air)であるということを確認した。さらに、通気帯内の水(通気帯水)と空気(通気帯空気)の存在度が、噴気ガスの化学組成(He/Ar比)や噴気水蒸気同位体比( $\delta D \cdot \delta^{18}O$ )に反映されうことを示唆し、薩摩硫黄山火山や1960年代~1980年代の九重硫黄山の噴気ガスが示す「噴気水蒸気同位体比  $\delta D \cdot \delta^{18}O$  は典型的なマグマ性の値を取るが、He/Ar比はマグマ性の値を取らない」という一見不可解な観測結果を無理なく説明できることも示した。

混合機構：噴気ガスの孔口噴出速度と、マグマ性ガス—通気帯水—通気帯空気の混合比率と噴気ガス噴出量から導き出されるマグマ性ガスへの通気帯空気の単位時間当たりの混入量との間に、高い正の相関関係があることを示し、流速の大きい噴気ガスほど多量の通気帯空気が流入していることを認めた。そこで、通気帯内に円筒管状の噴気ガス流路を想定し、流体力学的な思考実験を行い、マグマ性ガスの流れによって通気帯内の流体が噴気ガス流路内に流入する(吸い込まれる)ためには、流路内の流体が高レイノルズ数流れとなり、それに伴って流路壁面近傍に形成される粘性低層の厚さが壁面の粗さ要素より薄くなって、壁面からの流体の剥離が生じることが重要であることを示した。そして、そのような条件を満たした噴気ガス流路が実際に通気帯内に存在すれば、流速の大きい噴気ガスほど多量の通気帯内流体を吸い込むという観測結果を十分に説明できることを示した。

## 論文審査の結果の要旨

本学位申請論文で取り上げられている「混合」という現象は、地球科学の諸現象の中で最も普通にみられる現象の一つであり、地球物理学、地質学、地球化学のどの分野においても取り扱われているが、観測や分析によって得られる混合に関する情報はそのほとんどが混合後の結果を示すものであり、混合の過程や機構に関する情報が直接得られることは少ない。本研究で取り扱われた火山の噴気ガスも例外ではなく、これまでに行われてきた数多くの噴気ガスに関する地球化学的研究では、噴気ガスを構成する起源物質の特定のためのデータ解析とそれらの混合関係の考察に留まっている。「起源物質が火山体内の何処で、どのようにして混ざって、噴気ガスが形成されているか」という混合の過程と機構にまで立ち入って議論するためには、新たな解析手法を導入する必要があると考えられていた。

申請者は、これまで個別に解析されることが多かった噴気ガスの化学組成と噴気水蒸気の同位体比 ( $\delta D \cdot \delta^{18}O$ ) を同時に取り扱う定量的な解析手法を提示し、九重火山の九重硫黄山噴気地域の噴気ガスに応用した結果、地表直下に形成される通気帯 (vadose zone) において、深部から上昇してくるマグマ性ガスに天水と空気が同時に混入し、その後に噴気孔より噴気ガスとして放出されていることを示した。ここで明らかにされた混合過程は、マグマ性ガスと混合する天水が従来考えられていたような地層空隙を完全に満たす地下水 (groundwater) ではなく、通気帯に存在する不飽和水、即ち通気帯水 (vadose water) であり、また、噴気ガスに含まれる空気成分は通気帯空気 (vadose air) であるということを確認し示すという点でも意義深い。さらに申請者は、通気帯内の水 (通気帯水) と空気 (通気帯空気) の存在度が、噴気ガスの化学組成 (He/Ar 比) や噴気水蒸気同位体比 ( $\delta D \cdot \delta^{18}O$ ) に反映されうること示唆し、薩摩硫黄島火山や1960年代~1980年代の九重硫黄山の噴気ガスが示す「噴気水蒸気の  $\delta D \cdot \delta^{18}O$  は典型的なマグマ性の値を取るが、He/Ar 比はマグマ性の値を取らない」という一見不可解な観測結果を無理なく説明できることも示した。

申請論文の最も意義深い点は、混合機構に言及するために地球化学データのみならず地球物理学データの取得を行い、両者を有機的にリンクさせて解析と考察を進めたところにある。このような取り組みによって、噴気ガスの孔口噴出速度と、マグマ性ガス—通気帯水—通気帯空気の混合比率と噴気ガス噴出量から導き出されるマグマ性ガスへの通気帯空気の単位時間当たりの混入量との間に、高い正の相関関係があることを発見し、流速の大きい噴気ガスほど多量の通気帯空気が流入しているということを明確に示したのは特筆に値する。さらに申請者は、通気帯内に円筒管状の噴気ガス流路を想定した流体力学的な思考実験を行い、マグマ性ガスの流れによって通気帯内の流体が噴気ガス流路内に流入する (吸い込まれる) ための物理条件を明示し、そのような条件を満たした噴気ガス流路が実際に通気帯内に存在すれば、流速の大きい噴気ガスほど多量の通気帯内流体を吸い込むという観測結果を十分に説明できることを示した。

以上のように、申請者は、火山の噴気ガスを構成する起源流体の混合過程と混合機構の解明を目指し、地球化学的手法と地球物理学的手法を融合させた新たなアプローチにより、これまでの地球化学的研究からは明らかにできなかった「起源流体が火山体内の何処で、どのようにして混ざって、噴気ガスが形成されているか」という命題に対して明快な説明を与えた。以上の理由により、本申請論文は博士 (理学) の学位論文として十分に価値あるものと認められる。また、論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。