

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	マグマ熱水系の構造とその挙動に関する研究
Title(English)	Study on subsurface structure and dynamic behavior of the magmatic-hydrothermal system
著者(和文)	松永康生
Author(English)	Yasuo Matsunaga
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11704号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:神田 径,小川 康雄,中島 淳一,石川 晃,太田 健二
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11704号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	地球惑星科学 地球惑星科学	系 コース	申請学位(専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(理学)
学生氏名： Student's Name	松永 康生		指導教員(主)： Academic Supervisor(main)	神田 径	
			指導教員(副)： Academic Supervisor(sub)		

要旨(和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters )

休止期をはさみながら長期に渡り活動する火山では、マグマの継続的な加熱により山体内部に熱水対流が発達する。このマグマ熱水系が発達した火山では、活発な地熱活動が見られるとともに、水蒸気噴火をはじめとする多様な活動様式を取ることが知られており、多くの火山では地球物理学・地球化学的手法による継続的なモニタリングが行われている。しかし、マグマからの熱供給に対する熱水系の振る舞いは非常に複雑であるため、火山活動の予測は非常に難しいものとなっている。

マグマ熱水系内での物理・化学プロセスの解明において最も基本的かつ重要な情報となるのは、その空間的な構造である。熱水や岩石メルトは一般的に低比抵抗であるため、電磁気学的手法を利用してその分布を明らかにすることができる。とりわけmagnetotelluric (MT) 法は、地下数十メートルから数十キロメートルまでの幅広い深さの構造を推定することができるため、様々な火山における地下構造探査に利用されてきた。しかしながら、深度が大きくなるほど小スケールの構造(たとえばダイク状のマグマ貫入など)をイメージすることが困難になるほか、得られる比抵抗構造モデルは、探査が行われた時のスナップショットに過ぎない、という問題がある。対照的に、火山活動のモニタリングにより捉えられるのは、時間変化するマグマ熱水系内の物理・化学プロセスの結果として生じる現象であるため、両者の結果を定量的に比較することは困難である。

このギャップを埋める一つの手段は、地下構造探査の結果とモニタリングで得られる時系列データの両者を同時に再現する数値シミュレーションの実施である。計算機の能力向上や、より正確な多成分多相系の状態方程式の開発に伴い、近年ではより複雑な熱水系内部プロセスの再現が可能になってきた。しかしながら、熱水の流動パターンを制約する最も重要なパラメータである浸透率については、その観測の難しさから、極めて単純な構造を仮定して行われたものがほとんどであり、火山体の現実的な不均質性を考慮したものとは言い難い。

電気比抵抗と浸透率はそれぞれ電流と流体という全く異なる物理量の輸送特性に係るパラメータであるが、どちらも間隙流体の連結度と密接な関わりを持つという点で似たパラメータとも言える。したがって、比抵抗構造から直接変換された浸透率構造を用いた熱水流動シミュレーションの実施が期待されるが、そのような研究はこれまでに実施されていない。本研究では、両者の統合解析によるマグマ熱水系プロセスの再現手法確立の第一段階として、草津白根火山を対象にMT法による比抵抗構造探査と、その結果に基づく数値シミュレーションを実施することにより熱水系の挙動の再現を試みた。

草津白根火山は、近年水蒸気噴火を繰り返すなど、マグマ熱水系が発達した火山として知られ、重点的にモニタリング観測が行われてきた。これまでの地球化学的研究により、いくつかの熱水系のモデルが提案されてきたが、そのプロセスの起こっている場所・深さは未だにわかっていない。加えて、あらゆる火山活動の駆動源となるべきマグマの分布についても不明である。そこで本研究では、まずマグマ熱水系の全体像を制約することを目的としたMT観測を草津白根山周辺の計73点で実施し、深さ12 km程度までの3次元比抵抗構造モデルを推定した。このモデルの大きな特徴は、山頂域の標高0.5 km（地表からの深さ1.5 km）付近からやや北西の、少なくとも標高-10 km（深さ12 km）付近まで伸びる鉛直状の低比抵抗領域が存在することである。この領域の上部（標高-4 km以浅）は、極端な低比抵抗（ $<1 \Omega\text{m}$ ）を示すことから火山性の高濃度塩水の存在領域、下部（標高-4 km以深）は、中程度の低比抵抗（ $10\text{--}20 \Omega\text{m}$ ）を示すことから部分的に溶融した岩石を含む高温領域と解釈した。この部分溶融領域の上部、塩水領域の直下（標高-4.8 km付近）には、測地学的研究により火山活動が活発化した際の膨張源が推定されていることから、部分溶融領域の内部には活動的な脱ガスマグマが含まれていると解釈した。また、先行研究の熱水系モデルと比較することで、塩水領域の上部にはシーリングゾーンが存在し、山頂部への流体上昇をコントロールしていると予想した。

続いて、前述の解釈の妥当性を検証するため、比抵抗構造をもとに浸透率構造を作成し、数値モデリングを行った。モデリングでは、地球化学的観測に基づき設定された組成の塩水を、膨張源から山頂に向かって作成された火道の底部に注入することで、草津白根山の全山的な熱水流動の再現を試みた。塩水領域の周囲にシーリングゾーンを設定した場合には、地下構造モデルの鉛直状の低比抵抗領域をよく再現する結果が得られた一方で、設定しない場合には、この領域が形成されなかった。この結果は、現在、火山学分野で広く受け入れられているFournier (1999)のシーリングモデルの妥当性を、比抵抗構造および火山全体に生じる広域的な熱水流動現象の側面から実証した初めての例である。山頂付近まで上昇した流体は、その後地形効果により生じる山麓方向への下降流によって東西に流下し、主に谷筋に沿って湧出した。これは、東西山麓に温泉が集中するという草津白根火山周辺の広域的な温泉湧出のパターンを良く再現している。同時に、東西山麓それぞれのCIの放出比もよく再現した。この結果は、熱水流動のモデリングにおいて正確な地形を考慮することの重要性を示唆するものである。

これらの結果は、比抵抗構造を利用することで浸透率構造作成の不確定性を大きく減少させることができることを示唆する。今後さらに研究が進展し、比抵抗－浸透率構造の変換手法が確立されれば、比抵抗構造探査の結果が火山活動の評価に大きく貢献することになると考えられる。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

## 論文要旨

### THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	地球惑星科学 地球惑星科学	系 コース	申請学位(専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(理学)
学生氏名： Student's Name	松永 康生		指導教員(主)： Academic Supervisor(main)	神田 径	
			指導教員(副)： Academic Supervisor(sub)		

#### 要旨(英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

In volcanoes with long periods of dormancy, hydrothermal circulation develops due to long-term heating by magma. This system is called the magmatic-hydrothermal system. The responses of hydrothermal systems to the heat supply from the deep-seated magma are so complicated that it is often difficult to forecast the forthcoming activities of those volcanoes. For a better understanding of magmatic-hydrothermal system, it is required to reveal both its spatial distribution and dynamic behavior by combining structural survey and numerical modeling. However, most previous studies on the numerical modeling of such systems use highly simplified structures, and few studies have considered the actual heterogeneity of volcanic edifice. In this study, I attempted to clarify the detailed magmatic-hydrothermal system of Kusatsu-Shirane Volcano (KSV) based on both electromagnetic sounding and numerical hydrothermal modeling to explore the feasibility of the simulations that take into account the complexity of the subsurface structure. The most notable feature of the resistivity model estimated from the sounding data is a sub-vertical conductive zone that extends from a depth of 1.5 km below the summit area to a depth of ~10 km in the north-northwestern part of KSV. The upper half of this conductor (<4 km bsl) was interpreted as a zone containing high-salinity brine and the lower half (>4 km bsl) as a partially molten zone. The fact that the inflation source during the unrest periods is located just beneath the brine zone indicates that the lower partially molten zone contains degassing magmas. Numerical simulations of the hydrothermal system of KSV, which used the resistivity structure as a constraint, revealed that the conductive zone was reproduced only when a low-permeability layer was assumed around the zone. The simulation results also succeeded in reproducing the characteristics of the discharge of hot springs around KSV. This study is the first step in developing a method for reproducing the magmatic-hydrothermal process by the integrated analysis of resistivity structure and hydrothermal simulation.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).