

# 論文審査の結果の要旨

氏名 小川佳子

現在の火星は水が無く冷たく乾燥しているが、火星表面には水による侵食地形が多く観測されている。特にアウトフローチャンネルは、地表面を液体の水が大量に流れて形成された「大洪水地形」とされている。火星の過去が温暖・湿潤であったために流水地形が形成されたという考えもあるが、アウトフローチャンネルの分布は局在していて、何らかの内部熱源による可能性が高い。しかし、これまで大量の水の供給を伴うアウトフローチャンネルの形成機構、特に、その源のカオス地形の形成機構は明らかにされていなかった。本研究は、地下凍土層の融解による水の発生を熱輸送の数値シミュレーションで解くことで、加熱・水の供給過程を明らかにした。特に、融解過程での熱対流が重要な役割を果たすことを本研究ははじめて示すことができた。

本論文は、6章から構成されている。まず第1章では、過去の研究をまとめて紹介するとともに、地下凍土層の融解の問題について、熱伝導のみを取り扱ったMcKenzie and Nimmo (1999)との比較で、熱対流までを取り入れた本研究の位置づけを明確に議論している。

第2章では、凍土層、地形、推定水量、火山活動に関する過去の研究をまとめるとともに、溶岩の貫入にともなう地下凍土層の融解という本研究の状況設定についての物理条件を説明している。

第3章では、本研究で使用した計算手法について説明している。地下凍土層は、多孔質層として取り扱い、液体の水は浸透流の方程式に従って運動する。融解を取り扱うステファン問題と対流熱輸送を同時に解く方法を構築した。融解はエントロピー法という潜熱を比熱として狭い温度範囲に分散させる方法を用いた。この計算系は、2つの無次元数：熱対流の活発さの指標となるレーリー数、相変化速度に効くステファン数によって支配

されることを示した。

第4章では、数値計算の結果を紹介・議論している。浸透率や凍土層の厚さの不確定性を考慮してレーリー数は100-1000の幅をもたせた。また、空隙率は0.2-0.5の範囲を想定した。この結果、融解した液体の水による熱対流が系の熱輸送の局在化、効率化を生むことが明らかになった。最終的な融解形状は、熱源付近では水平方向に広がり、鉛直方向には局在化して地表面直下まで伸びるようになる。はじめは上昇プリュームが複数存在しても、最終的には集中して局在化する。とくにレーリー数が大きな場合は、熱輸送の局在化が顕著になり、地表近くでも水平方向に広がった頭部を持つようになる。水の生成量はレーリー数が大きいほど、初期段階で増加してピークに達する。

第5章では、数値計算の結果に基づき、表面の地形形成過程を議論した。地表面直下にプリューム状の融解領域が存在する条件で、その領域内の圧密の時間スケールを見積もった。結果として、これは、1000-100000年で、マグマの冷却・融解時間1000000年よりも十分短い。そのため、融解した水は短い時間で分離して地表面へ噴出することが予想される。本研究で得られたプリューム頭部の規模は、アウトフローチャンネルの源部のカオス地形に対応する。そのため、凍土層の融解に伴う大量の水の自噴がカオス地形を形成して、アウトフローチャンネルの水源となったと考えることができる。

第6章では本論文の結論がまとめられている。

本研究では、火星の地下凍土層の融解により大量の水が供給されアウトフローチャンネル形成される、という問題において、熱対流を考慮すると、熱輸送が促進され、しかも局在化するということを明らかにした。これは、特筆すべき結果であり、本論文の成果は博士（理学）を与えるに十分な内容であると認められる。

なお、本論文は栗田敬、山岸保子との共同研究であるが、論文提出者が主体となって計算・解析・考察を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。よって、博士（理学）を授与できると認める。