



Title	初期火星大気を想定した主成分凝結対流の二次元数値実験：臨界飽和比と凝結核数混合比に対する依存性 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	山下, 達也
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第11497号
Issue Date	2014-06-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/56685
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Tatsuya_Yamashita_review.pdf, 審査の要旨



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（理 学） 氏 名 山 下 達 也

審査担当者	主 査	准教授	石 渡 正 樹
	副 査	教 授	倉 本 圭
	副 査	教 授	渡 部 重 十
	副 査	教 授	高 橋 幸 弘
	副 査	教 授	小 高 正 嗣

学 位 論 文 題 名

初期火星大気を想定した主成分凝結対流の二次元数値実験
～臨界飽和比と凝結核数混合比に対する依存性～

博士学位論文審査等の結果について（報告）

本論文は大気主成分の凝結を伴う対流に関する数値実験を行ない、その基礎的性質を系統的に調べた世界で初めての試みである。著者は、まず主成分が凝結する大気における対流を表現する2次元雲解像モデルを開発した。次に、臨界飽和比(凝結が始まるときの飽和蒸気圧に対する圧力の比)、凝結核数混合比を変更した数値実験を行った。その結果、流体運動を陽に考慮して主成分凝結対流に関する数値実験に世界で初めて成功し、初期火星を想定した条件下における流れ場と雲分布を明らかにした。

著者の開発したモデルの基礎方程式は主成分の凝結過程を考慮した2次元準圧縮系方程式系である。モデル大気は CO_2 のみから成ると仮定する。モデルでは、定常熱強制と単純化された雲物理を考慮している。放射冷却率として過去の1次元放射対流平衡モデルによって得られた結果に基づき決定した値を用いた。雲物理に関しては、地球の雲過程に準拠した雲スキームを使用した。表面気圧と初期温度分布として初期火星を想定したものを与えた。計算領域として水平 100km、鉛直 80km の矩形領域を用いた。臨界飽和比として 1.0, 1.35 の2通り、凝結核数混合比として 5.0×10^8 , 5.0×10^6 , $5.0 \times 10^4 \text{ kg}^{-1}$ の3通りの値を与えて、150日の積分を行った。

数値実験の結果、パラメータの値によって、流れ場や雲分布が時間的に大きく変動しない準定常的な解と対流が間欠的に生じる準周期的な解の2種類の解が得られることがわかった。準定常解が得られるのは、臨界飽和比が 1.0 の場合および臨界飽和比が 1.35 かつ凝結核数混合比が $5.0 \times 10^8 \text{ kg}^{-1}$ の場合であった。準定常解においては凝結高度より下の領域に細胞状の対流が生じ、凝結高度付近には対流に伴う上昇流により密度の大きい雲が形成される。このとき気塊は凝結層で熱的な浮力を獲得できず、対流に伴う上昇流は凝結層に数 km 程度しか貫入しない。この場合では、水平方向に一様に広がる雲層が形成されることになる。雲層内における流れは非常に弱い。

準周期的な解が得られるのは、臨界飽和比が 1.0 の場合および臨界飽和比が 1.35 かつ凝結核数混合比が $5.0 \times 10^6 \text{ kg}^{-1}$ 以下の場合であった。準周期解では、凝結が生じない時期と生じる時期が交互に出現し、流れ場や雲分布が準周期的に変動する。準周期的な解においては、凝結が生じない時期には厚い雲は存在せず、準定常解と同様に対流に伴う上昇流は凝結が生じる時期における凝結レベル（高度 20km）より上方には数 km 程度しか貫入しない。一方凝結が生じる時期には凝結層に厚い雲が発生する。凝結核数混合比が $5.0 \times 10^6 \text{ kg}^{-1}$ の場合には凝結層で強い鉛直流が生じる。これは気塊が過冷却状態にある凝結層で熱的な浮力を獲得するためである。しかし雲粒による引きずりの力が熱的な浮力を相殺し、強い鉛直流が凝結層全体にわたって生じることはない。凝結核数混合比が小さい場合に準周期的な解が実現される理由は、雲粒の重力落下速度が十分

大きく、雲粒が凝結層から完全に取り除かれることで過冷却状態が実現・維持されるためである。

著者によって得られた結果は、初期火星進化の解明にとって重要な情報を与えるものとなっている。38億年程度前の火星の表層は現在よりも温暖な状況にあったと考えられている。なぜなら、液体の水の流動によって作られた地形が存在しているからである。初期の火星において温暖な気候をもたらすメカニズムとして散乱温室効果というものが提案されている。散乱温室効果とは、火星大気の主成分である CO_2 が凝結し氷雲を形成した際に、赤外放射を選択的に後方散乱し強い温室効果をもたらす、というものである。散乱温室効果が効果的に働くためには、適切な粒径を持つ氷雲が安定して存在する必要がある。しかし、著者の計算結果に基づいて推定した結果、準定常解で生じる氷雲では散乱温室効果が効果的に働かないことがわかった。このため、初期火星において散乱温室効果をもたらす雲層は存在できない可能性がある。以上の結果は、散乱温室効果のみでは初期火星における温暖化を説明することは難しいということを示唆している。これは、これまでに提唱されていた初期火星の温暖化メカニズムについて重要な問題点を指摘するものであると言える。

以上を要するに、著者は、主成分凝結対流の振る舞いに関する新知見を得たものであり、地球流体力学における対流に関する知見および惑星科学における火星初期進化に関する知見の蓄積に対して貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。