

## 初期火星大気中の主成分凝結対流の二次元数値実験

### A 2D numerical simulation of atmospheric convection with condensation of major component under early Mars condition

山下 達也<sup>1\*</sup>, 小高 正嗣<sup>1</sup>, 杉山 耕一朗<sup>1</sup>, 中島 健介<sup>2</sup>, 石渡 正樹<sup>1</sup>, 林 祥介<sup>3</sup>

Tatsuya Yamashita<sup>1\*</sup>, Masatsugu Odaka<sup>1</sup>, Ko-ichiro SUGIYAMA<sup>1</sup>, Kensuke Nakajima<sup>2</sup>, Masaki Ishiwatari<sup>1</sup>, Yoshi-Yuki Hayashi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>北海道大学, <sup>2</sup>九州大学, <sup>3</sup>神戸大学

<sup>1</sup>Hokkaido university, <sup>2</sup>Kyushu university, <sup>3</sup>Kobe university

初期の火星においては大気主成分の凝結が広範にわたって生じ、CO<sub>2</sub> 氷雲の散乱温室効果が温暖な気候の実現に寄与したと考えられる (Forget et al., 2013). 散乱温室効果は雲の分布に強く依存し、雲の生成と分布を決める要因の一つは対流運動である。しかし大気主成分の凝結を伴う対流の構造についてはこれまでほとんど調べられていない。

Colaprete et al.(2003) は大気主成分が凝結する場合においても、臨界飽和比が 1.0 より大きく過冷却状態が維持されれば、凝結する気塊が浮力を得ることで対流が生じる可能性があるとして主張した。しかし Colaprete et al.(2003) が行ったのは 1 次元モデル計算であり、彼らの主張するシナリオが実現するかどうかは、空間 2 次元の数値流体モデルを用いて調べる必要がある。

我々は大気主成分凝結を考慮した 2 次元雲解像モデルの開発と、現在の火星の極夜での条件を与えた予備的な計算を行ってきた (例えば山下他, 2012 年連合大会)。本研究では初期火星条件の下での主成分凝結対流の数値計算を行い、臨界飽和比と凝結核数密度を変化させた際に流れ場と雲の分布がどのように変化するかを調べた。

支配方程式は山下他 (2012) 同様、大気主成分の凝結を考慮した 2 次元準圧縮方程式系である。雲粒の形成過程は拡散成長のみを考慮し、雲密度が閾値 ( $10^{-6}$  kg/m<sup>3</sup>) 以下であれば過飽和が維持されると仮定する。この閾値は物理的には拡散成長する雲粒には臨界半径が存在することを考慮したものである。放射過程は陽に解かず、高度 0 km から 50 km までは水平一様な冷却、それより上空にはニュートン冷却を与える。水平一様な冷却率の大きさは -0.1 K/day (Kasting, 1991) とする。地表気圧は  $2.0 \times 10^5$  Pa, 地表温度は 273 K に固定する。初期の大気温度は高度 20 km 以下で乾燥断熱減率に従い、高度 20 km から 50 km まで飽和蒸気圧曲線に従い、高度 50 km より上で等温という分布を与える。臨界飽和比は 1.0, 1.35 (Glandorf et al., 2002), 凝結核数密度は  $5.0 \times 10^8$ ,  $5.0 \times 10^6$ ,  $5.0 \times 10^4$  /kg とし (Forget et al., 2013), これらを組み合わせた 6 通りの数値実験を行なう。計算領域は水平 100 km, 鉛直 80 km, 格子間隔は水平 500 m, 鉛直 400 m である。

臨界飽和比を 1.0 とした場合、凝結高度より上空にほぼ水平一様な雲層が準定常的に存在する状態が得られた。雲層内の鉛直流は凝結高度より下と比べると小さく、最大で 0.5 m/s である。これらの特徴は凝結核数密度によって変わらない。臨界飽和比が 1.35 の場合、雲の分布は凝結核数密度によって変化する。凝結核数密度を小さくすると、凝結が生じる期間と凝結が生じない期間が交互に出現するようになり、凝結期には厚い雲とともに 2-3 m/s の鉛直流が生じる。非凝結期には、雲密度が閾値未満である水平一様な雲層が存在し、そこでの鉛直流は最大で 0.5 m/s である。

以上より、大気主成分が凝結する系においては、臨界飽和比と凝結核数密度の値によって雲対流の時空間構造は大きく異なり、時間的に雲や流れ場があまり変動しない準定常解と、凝結期と非凝結期を交互に繰り返す準周期的な解が存在することが分かった。

キーワード: 大気主成分の凝結, CO<sub>2</sub> 氷雲, 雲解像モデル, 初期火星

Keywords: condensation of major atmospheric component, carbon dioxide ice cloud, cloud resolving model, early Mars