

# 湿潤古火星大気における 二酸化炭素氷雲の安定性と散乱温室効果

Stability of CO<sub>2</sub> ice clouds and scattering greenhouse effect  
on early Martian wet atmosphere

光田千紘 (北大・理), 横畠徳太 (国立環境研究所), 倉本圭 (北大・理)

In order to investigate the scattering greenhouse effect of CO<sub>2</sub> ice clouds and those stability against radiative heating on a CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O atmosphere, we constructed a one-dimensional, radiative-convective model. Our calculations suggest that warm and wet climate is possibly induced by the stable cloud layer with visible optical depth about 1.5 when the atmospheric pressure and the radius of cloud particles are 1 atm and 10 μm, respectively.

## 1. 研究背景

初期の火星は二酸化炭素氷雲の散乱温室効果によって温暖湿潤であった可能性が提案されている (Pierrehumbert and Erlick, 1998). しかし, 雲によって温暖化が生じたとしても, 強い赤外放射加熱のために雲は十分な温暖化をもたらす前に蒸発してしまう可能性がある. 雲の存在可能性を議論するためには雲層の正味加熱量, 特に大気の赤外放射伝達を正確に計算する必要がある. しかし, Yokohata et al. (2002) では赤外波長域における大気層の黒体近似のために赤外加熱量は過小評価され, その結果安定な大気圧-地表面温度範囲を広く見積もっている可能性がある. そこで本研究では氷雲による散乱温室効果とその安定性について大気層の赤外放射伝達を詳細に計算を行い, より厳密に検討する.

## 2. モデル

鉛直一次元放射対流モデルを用い, 二酸化炭素と各高度で飽和蒸気圧分の水蒸気を混合させた CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 大気を扱う. 雲層の放射伝達は δ-エディントン法を用いて解いた. 雲の粒径は最も温室効果が強いと見積もられる 10 μm とし, 雲粒の光学係数は球形粒子を仮定し, 波長ごとの CO<sub>2</sub> 氷の復素屈折率を与えてミー理論により求めた. 大気層は太陽放射に対しては透明, 赤外放射に対しては CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O の吸収を考慮し, 放射伝達を二方向近似で解いた. その透過率は波数解像度 0.5 cm<sup>-1</sup> で line by line 法を用いて計算した. 吸収線データベースは HITRAN を用い, wing は CO<sub>2</sub> を 25 cm<sup>-1</sup>,

H<sub>2</sub>O を 50 cm<sup>-1</sup> で cutoff を行った.

## 3. 結果と議論

放射平衡下での地表面温度 (大気圧 1 気圧, 雲粒 10 μm の場合) を図 1 に示した. ただし, 雲粒径や雲層厚はここでもパラメータとして扱った. 雲層が厚くなるにつれ温室効果が強くなり, 光学的厚さおよそ 1.2 を超えると地表面温度が水の凝固点を超える. また, 雲層の正味加熱率は雲が厚くなる程, もしくは地表面温度が高くなる程大きくなるため, 光学的厚さが 2 を超えれば正味加熱率は正となる. すなわち, 厚い雲によって温暖化したとしても強い加熱を受け雲は薄くなり, 適度に温暖湿潤な気候が安定に保たれていたかもしれない. ただし, 温室効果の程度は雲の厚さだけでなく, 雲粒径に大きく依存することが示唆されており, さらなる検証が必要である.

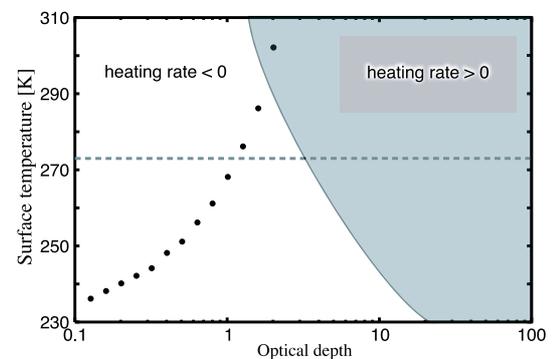


図 1: 放射平衡下での地表面温度. 光学的厚さは代表的な太陽放射 (波長 0.7 μm) に対する値である. 灰色の領域は正味加熱率が正であること (雲の蒸発が生じる) を示す.