

二酸化炭素氷雲の散乱温室効果による古火星気候の温暖化

○光田千紘(北大・理), 横畠徳太(国立環境研究所), 倉本圭(北大・理)

1. 研究背景

地形学的証拠から初期(38億年前)の火星は液体の水が地表面で安定に存在できるほど温暖であったと推測されており, その温暖化メカニズムとして二酸化炭素氷雲による散乱温室効果が提案されている. この散乱温室効果は氷雲の粒径や光学的厚さに強く依存するが, 氷雲が適当なパラメータ値を持つ場合には温暖湿潤な気候が再現されることが従来の研究により示されてきた. しかしながら, そのような氷雲が実際に生じ, 維持されるのかについてはあまり議論されていない.

本研究では放射加熱と冷却による雲粒の蒸発及び成長に着目し, 雲の粒径と面密度の推定, さらに温室効果の評価を行った.

2. モデル

鉛直一次元放射モデルを二酸化炭素-水蒸気大気に適用する. 放射伝達は二方向近似, 雲層では特に δ -Eddington 近似を用いて解く. 雲粒の光学係数は二酸化炭素氷の複素屈折率を与えてミー理論により求めた. 雲粒の大きさ及び面数密度はパラメータとして与え, 粒径分布は無視した.

雲層の放射冷却(加熱)率を算出し, それを二酸化炭素の凝結(蒸発)潜熱と等しいと仮定して雲の質量収支を調べ, 雲層の安定性を評価した.

3. 結果と議論

図1に凝結核柱数密度を一定とした場合に, 惑星全体の放射収支と雲層の質量収支がそれぞれ釣り合う(後者をここでは凝結蒸発平衡と呼ぶ)解を粒径の関数として示した. 凝結核柱数密度が変化しないとすれば, 二酸化炭素の凝結潜熱と粒径の間には負の相関があり, これによって系は両平衡を満たす状態に漸近すると考えられる. この収束点は, 雲粒径や地表面温度の擾乱に対しては安定である. つまり雲は気候を温暖化させるだけでなく, その温暖な気候の安定化に寄与していた可能性がある.

さらに様々な大気圧及び凝結核柱数密度において地表面温度を見積もった(図2). 凝結核の数が増加すると両平衡を満たす収束解は存在しない. これは雲粒が長波放射を強く後方散乱できるほど成長できないためである. また, 大気圧が増加すると地表面温度は上昇す

る. 地表面温度および粒径を固定し, 大気圧のみを増加させた場合, 雲の射出エネルギーの増加が最も支配的であり凝結潜熱は増加する. そのため大気圧が増加すると, 凝結蒸発平衡を満たすパラメータがより雲の厚い側, 地表面温度の高い側へシフトし, 凝結蒸発平衡を満たすように地表面温度は上昇する. その結果, 二酸化炭素氷雲によって古火星の温暖湿潤な気候を再現するための必要条件は, 大気圧 1 気圧以上, 凝結核柱数密度 10^{10}m^{-2} 程度である事がわかった.



図1: 各平衡を満たすような粒径-地表面温度. 大気圧 1 気圧, 凝結核柱数密度 10^{10}m^{-2} の場合. 実線が凝結蒸発平衡, 破線が放射平衡を示している. 二酸化炭素の凝結潜熱と惑星全体の放射収支から各パラメータ空間での粒径 (ϕ) 及び地表面温度 (T_s) の変化を推測した.

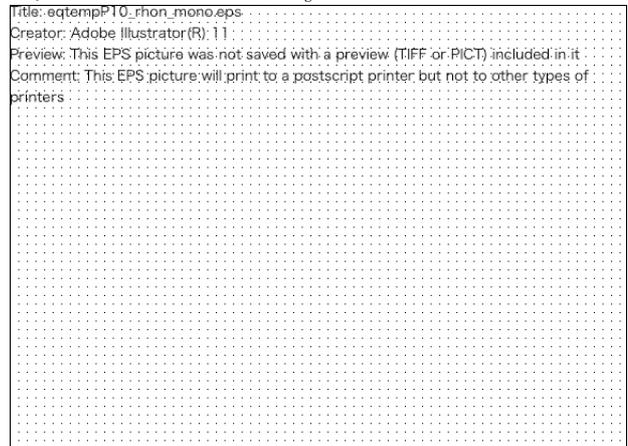


図2: 地表面温度を凝結核柱数密度の関数として示した. 各線はそれぞれ大気圧が異なる.