

古火星における CO₂ 氷雲およびダスト層による温室効果Greenhouse Effect by CO₂ Ice Clouds and Dust Layer on Early Mars

小杉田 圭之[1], # 横畠 徳太[1], 小高 正嗣[1], 倉本 圭[1]

Yoshiyuki Kosugita[1], # Tokuta Yokohata[1], Masatsugu Odaka[2], Kiyoshi Kuramoto[2]

[1] 北大・理・地球惑星

[1] Earth and Planetary Sci., Hokkaido Univ, [2] Earth and Planetary Sci., Hokkaido Univ.

流水地形の存在から、過去の火星気候は地表面に液体の水が存在するほど温暖であったと考えられている。恒星進化の理論から流水地形が形成された 38 億年前の太陽光度は現在値の 0.7 倍程度と考えられている。にもかかわらず、過去の気候が非常に温暖であった原因については未だ不明な点が多い。

Kasting (1991) は CO₂ 大気が過去の火星において極めて厚かった (~ 5 気圧) としても、雲のない大気の温室効果は液体の水が存在できるほど強くはないことを示した。これに対し Pierrehumbert and Erlick (1998) は、CO₂ 氷雲による赤外光の散乱によって温室効果が強められ、太陽光度が現在の 0.7 倍の場合でも液体の水が存在できると議論した。しかしながら Pierrehumbert and Erlick (1998) は CO₂ 氷雲による赤外および太陽放射の散乱のみを考慮し、それぞれの吸収を無視している。赤外および太陽放射の散乱と透過は、吸収過程により変化するだろう。さらに過去の火星大気中にもダストが浮遊していた場合、ダストは温室効果を変化させる効果があったかもしれない。

そこで本研究では、鉛直一次元放射モデルを用いて過去の火星における CO₂ 氷雲および浮遊ダストの散乱吸収による温室効果を調べる。モデル内の氷雲およびダスト層は地表大気層の上に独立して存在すると仮定する。氷雲およびダスト層による温室効果の指標として、それぞれの太陽放射の有効透過率に対する赤外放射の有効透過率の比で定義される「加熱因子」を用いる。加熱因子が 1 以上の場合、氷雲およびダスト層は温室効果を強め加熱に寄与する。加熱因子を求める際に必要な反射率および吸収率は、赤外 (波長 10 ミクロン) および太陽放射 (波長 0.75 ミクロン) に対する放射伝達方程式を -エディントン近似法を用いて求める。氷雲およびダストの層厚、粒径はパラメータとして変化させる。雲およびダスト粒子の一次散乱アルベドおよび非対称因子は、純粋な CO₂ 氷と現在の火星大気中の浮遊ダストの光学定数からミー理論を用いて計算した。

モデル計算の結果を以下にまとめる。以下で用いられる加熱因子の「臨界値」とは、太陽定数が現在の 0.7 倍かつ CO₂ 大気圧が 5 気圧という条件の下で、地表面温度を 273 K に保つために必要な最小値を意味する。

1) CO₂ 氷雲:

過去の火星において現実的と考えられる CO₂ 氷雲 (粒径 10 -- 100 ミクロン, 層厚 10 kg/m²) を与えた場合、加熱因子は臨界値を超える。この結果は、CO₂ 氷雲の温室効果によって液体の水が存在した可能性が高いことを示す。上記の粒径範囲で加熱因子が大きな値をとるのは、雲による赤外放射の後方散乱が太陽放射の後方散乱よりも効率よく起こるためである。このとき可視および赤外放射に対する吸収の効果は相対的に小さい。加熱因子は基本的に雲の層厚とともに増加し、層厚が 10 kg/m² 以上になると一定値に落ち着く。ただし粒径が 20 ミクロン以下の場合には太陽放射の吸収により層厚 1 kg/m² 付近で加熱因子は極大値を持つ。

2) 浮遊ダスト:

現在の大气と同様のダスト層 (粒径 1.85 ミクロン, 層厚 0.1 -- 20 × 10⁻² kg/m²) を与えた場合、加熱因子は臨界値付近の値をとる。層厚が ~ 0.5 × 10⁻² kg/m² の場合に、加熱因子は最大となり臨界値を超える。これは過去の火星においても現在観測される程度のダストが存在すれば、ダスト層の温室効果によって液体の水が存在する可能性を示している。加熱因子が大きな値になるのは、ダストによる赤外放射の後方散乱および吸収が太陽放射の散乱および吸収よりも効率よく起こるためである。ここで吸収と散乱は同程度の寄与を持っている。