

原始火星大気における CO₂ 氷雲の安定性

Stability of CO₂ ice clouds in early Martian atmosphere

光田 千紘[1]; 横畠 徳太[2]; 倉本 圭[1]

Chihiro Mitsuda[1]; Tokuta Yokohata[2]; Kiyoshi Kuramoto[1]

[1] 北大・理・地球惑星; [2] 環境研

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

その地形的証拠から、およそ 38 億年前の火星は温暖湿潤な気候を持ち、表面には液体の水が安定に存在できたと言われている。しかし、当時の太陽光度は現在よりも小さいため、当時の厚い CO₂ 大気による温室効果を考慮しても液体の水が存在できる程温暖にはなれない可能性が指摘されている (Kasting, 1991)。

しかし近年、気候を温暖化させるメカニズムとして、CO₂ 氷雲による散乱温室効果が提案されている (Pierrehumbert and Erlick, 1998)。これは CO₂ 氷雲による惑星放射の後方散乱が太陽放射のそれよりも大きいため、大気下層にエネルギーが閉じ込められ、気温が上昇するというものである。しかし、CO₂ 氷雲は太陽および惑星放射の加熱によって蒸発してしまう可能性があり、安定に存在し得るかは自明ではない。Yokohata et al (2003) は CO₂ 氷雲が安定に存在できる条件を調べ、ある氷雲があるサイズを持てば氷雲は自己冷却によって安定に存在できる可能性があることをしめした。しかしこのモデルは単純な大気-雲モデルであり、地表および大気下層からの赤外放射フラックスが雲の安定性に与える影響を十分には考慮していない。そこで本研究では、地表大気系における放射伝達過程を詳細に計算し、CO₂ 氷雲の安定性を再検討した。

数値モデルは鉛直一次元放射モデルを用い、大気成分は簡単のため CO₂ のみとした。鉛直温度分布は CO₂ の乾燥断熱減率とし、温度が凝結温度を下まわった最低高度を雲底とした。また、その温度を CO₂ 氷雲の温度とおいた。地表面温度は H₂O の融点 273 K、およびより温暖な場合として 293 K を与え、大気圧は 1 -- 3 atm の場合を考えた。太陽光度は 38 億年前のものとして現在の 0.75 倍の値を用いた。CO₂ による放射の射出及び吸収は、バンドモデルを用いて評価し、バンドパラメータには Houghton (2002) を用いた。すべてのスペクトル間隔は 5 cm⁻¹ とした。氷雲下の大気を 10 層にわけ、各層について放射伝達方程式を解くことにより雲層に入射する赤外放射スペクトルを求めた。雲パラメータには散乱温室効果が最も大きいと見積もられている値 (粒子半径 10 μm, 面密度 3.2 × 10⁻³ kg/m², Yokohata et al., 2002) を与えた。CO₂ 氷雲の赤外射出量に比べて、惑星放射および太陽放射の吸収量が小さい場合には CO₂ の凝結が起こり、雲が安定に存在可能とした。

太陽放射依存性 :

太陽放射の値は、火星が楕円軌道であることから平均値の 20 % 程度季節変化する。また緯度によって幅がある。そこでこれらの変化を考慮し、全球季節平均値を与えた場合とそこから変化させた場合について計算を行った。まず全球季節平均値を与えた場合には、地表気温と大気圧によらずに氷雲は安定に存在できた。またこれに季節変化を考慮しても、この結果は変わらなかった。しかし緯度による変化を与えた場合には、太陽放射の強い太陽直下点付近では気圧が 2.2 気圧未満の場合に不安定となった。平均値を与えた場合の結果では氷雲による太陽放射の吸収量は惑星放射のその 1/10 程度と、太陽放射による加熱の効果は小さい。しかし太陽直下点のような極端な場合には、太陽放射による加熱が重要になる。したがって、氷雲の安定性の季節変動は小さいが、緯度変動は大きく、太陽直下点付近では CO₂ 氷雲は蒸発してしまう可能性がある。

大気圧依存性 :

大気圧が 2.2 気圧以上の場合には CO₂ 氷雲は安定に存在でき、それ以下の場合には太陽放射や地表面温度に依存する。この理由は次のとおりである。大気圧が増加すると CO₂ 氷雲温度が高くなり、CO₂ 氷雲の射出量は大きくなるが同時に赤外放射の吸収量も大きくなる。しかし、赤外放射の吸収量の増加のほうが若干小さいために、大気圧が上昇すると雲は冷却しやすくなる。この結果は、原始火星において CO₂ 氷雲による温室効果が発揮されるためにはある程度以上の大気圧が必要である可能性を示唆する。