

# 放射冷却による二酸化炭素氷雲の形成と古火星大気の温室効果

○光田千紘(北大院理), 横畠徳太(環境研), 倉本圭(北大院理)

## 1. 研究背景

地形学的証拠から初期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いる。その温暖化メカニズムとして高圧の  $\text{CO}_2$  大気存在とその対流圏上部に生じる  $\text{CO}_2$  氷雲による散乱温室効果が提案されている。従来の研究により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し、これらのパラメータ値が適当な範囲にある場合には温暖湿潤な気候が再現されることが示されてきた。

一方で雲パラメータの推定は困難と思われてきた。その理由は地球大気の種類から氷雲の形成は主に湿潤対流により起こると考えられてきたためである。しかし地球とは異なり大気主成分が凝結する系でどのような湿潤対流が生じるかは明らかではない。最近の  $\text{CO}_2$  大気鉛直対流数値実験によると、雲層では鉛直混合が抑制される事が示唆されている。そこで本研究では対流運動よりもむしろ放射冷却による雲形成が起こると仮定し、その場合に実現される雲パラメータの推定及び温室効果の評価を行った。

## 2. 数値モデル

今回用いる一次元放射対流平衡モデルは鉛直 50 層の  $\text{CO}_2$ - $\text{H}_2\text{O}$  大気である。放射伝達は二方向近似を用いて解く。雲粒の光学係数はミー理論に  $\text{CO}_2$  氷の複素屈折率を与えて求めた。大気光学係数は相関 K 分布法を用い、そのパラメータは HITRAN2004/HITEMP を基にした LBL 計算より求めた。300-600  $\text{cm}^{-1}$  では  $\text{CO}_2$   $\nu_2$  帯の wing を考慮するために 500  $\text{cm}^{-1}$  で cutoff を行った。また  $\text{CO}_2$  圧力励起帯 (0-350, 1150-1800  $\text{cm}^{-1}$ ) 及び  $\text{H}_2\text{O}$  連続吸収を考慮した。

凝結層の  $\text{CO}_2$  凝結潜熱は正味放射冷却エネルギーと等しいとする。もしも潜熱が正ならその分雲粒径を成長させ、逆なら減少させる。各層での粒径は一定とし、凝結核混合比をパラメータとした。

## 3. 結果と議論

図 1 に放射対流平衡と凝結蒸発平衡を共に満足する構造の一例を示す。この時形成された雲は厚さ 30km にも及び、雲密度は  $10^{-6} \text{ kg m}^{-3}$  程度、短波放射に対する雲の光学的厚さは 10 程度となる。雲粒は最大 5  $\mu\text{m}$  まで成長しており、粒径と同程度の波長である長波放射を

効率的に消散する。その結果生じた散乱温室効果はおおよそ 40 K である。

次に平衡状態下の地表面温度の凝結核混合比依存性を示す(図 2)。凝結核混合比  $10^4$ - $10^7 \text{ kg}^{-1}$  では地表面温度は 250 K まで上昇した。一方で混合比を  $10^8 \text{ kg}^{-1}$  に増やすと、温室効果は 4K しか生じない(図 2a)。これは凝結核が多数存在することによって光学的に厚い雲が形成され、短波放射を反射する反温室効果が強く効くためである(図 2c)。

## 4. まとめ

凝結核混合比を与え、放射対流平衡と凝結蒸発平衡を仮定することで、大気と雲の鉛直構造を決めることができる。今後散乱温室効果を見積もるためには、凝結核混合比を決める物理過程を明らかにする事が重要である。

## 5. 謝辞

数値実験は宇宙科学研究本部宇宙科学情報解析センターの SX-6 を利用して行った。

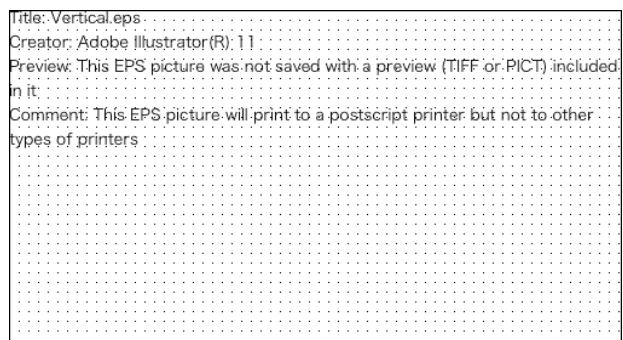


図 1:放射対流平衡と凝結蒸発平衡に達した鉛直構造。(a)大気温度(灰色:初期値,破線: $\text{CO}_2$ 飽和蒸気圧曲線),(b)雲粒径,(c)雲質量密度。太陽放射  $0.75 \times$  現在値,大気圧 2 気圧,凝結核混合比  $10^7 \text{ kg}^{-1}$  の場合

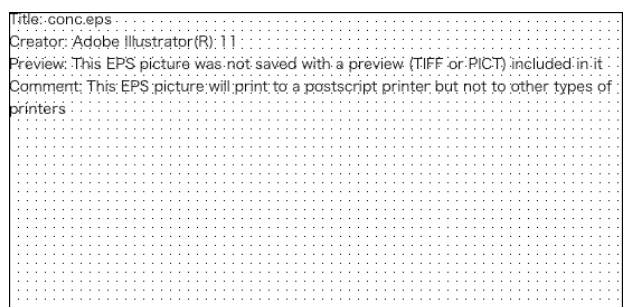


図 2:凝結核混合比依存性。(a)地表面温度 (b)最大粒径 (c)短波及び長波放射の大気上端での射出フラックス。大気圧 2 気圧の場合。