

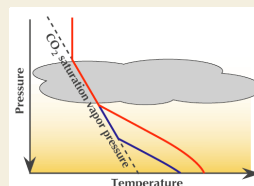
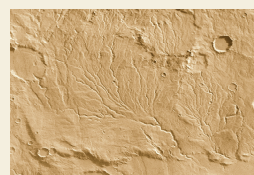
放射冷却による 二酸化炭素氷雲の形成と 古火星大気の温室効果

*光田 千紘 (北大院宇宙理学)
横島 徳太 (国立環境研究所)
倉本 圭 (北大院宇宙理学)

2006/10/27(Fri)
日本気象学会 2006 年度秋季大会
講演番号 A361

火星古気候の謎

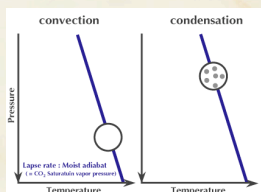
- 温暖湿潤な気候?
 - 多数の流水地形 (e.g. Carr 2000)
- 温暖化メカニズムは?
 - 厚い(〜数気圧) CO₂ 大気の温室効果 (Pollack et al. 1989)
 - 大気凝結による温室効果弱体化 (Kasting 1991)
 - + CO₂雲の温室効果
 - 雲粒径/光学的厚さ次第で温室効果強 (e.g. Forget and Pierrehumbert 1997)



雲パラメタの見積りが重要

雲パラメタの見積り

- 地球大気
 - 微量成分が凝結
 - 湿潤対流は活発
- 古火星大気
 - 大気主成分(CO₂)が凝結
 - 湿潤対流は必然でない
 - 潜熱収支によって浮力 0
- 湿潤対流が生じない場合
 - 雲が成長した結果、正味放射加熱を受ければ、系は放射平衡を満たす構造へ収束
 - CO₂の降雨や降雪は生じなくても雲構造が決定

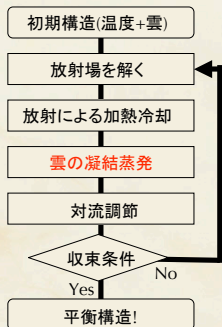


本研究:
雲は放射冷却によって形成

一次元放射対流凝結平衡モデル

- 放射対流平衡
- 大気と雲の相平衡を同時に満たす温度-雲構造を求め
- 大気成分: CO₂, H₂O (飽和蒸気圧)
- 鉛直 50 層
- タイムステップ: 10² ~ 10⁴ sec
- 収束条件: < 10⁻⁹ K/sec

-- 計算の流れ --



仮定と計算条件

- 仮定
 - 凝結の時定数 << 対流の時定数
 - 雲層では放射冷却を受けた分、雲粒が成長する
 - 雲粒の運動は無視
 - 凝結核混合比は一定値を保つ
 - 雲粒落下、併合成長の効果は考えない
 - 各層内は単一粒徑
 - 粒徑は凝結量から決定
- 計算条件
 - 太陽光度: 0.75 x 現在値 (Gough 1981)
 - 地表面アルベド: 0.2 (Mischna et al. 2000)
 - パラメタ:
 - 大気圧: 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0 気圧
 - 凝結核混合比: 10⁵, 10⁶, 10⁷, 10⁸ 個/大気1kg

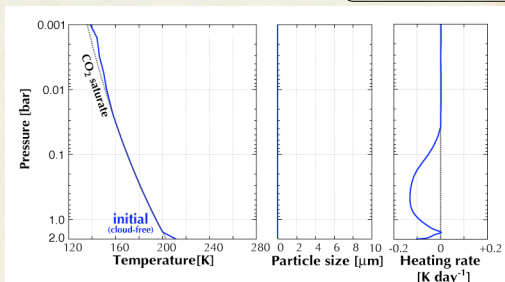
放射コード

- 放射伝達
 - 二方向近似 (Toon et al. 1989)
 - 太陽放射: δ-Eddington 近似
 - 赤外放射: Hemispheric mean 近似
 - * 複数の雲層による多重散乱を考慮
- 光学定数
 - 気体(CO₂ & H₂O): 相関 k 分布法
 - 吸収線: HITRAN2004+HITEMP
 - CO₂ 圧力励起帯(@0-350, 1150-1800cm⁻¹): Kasting et al. 1984
 - CO₂ wing(@300-600cm⁻¹): 500cm⁻¹ cutoff
 - Sub Lorentzian: Winters et al. 1961
 - H₂O 連続吸収: Roberts et al. 1976
 - 雲(CO₂ ice): Mie 理論
 - 複素屈折率: Warren 1986

厚い CO₂ 大気に
対応

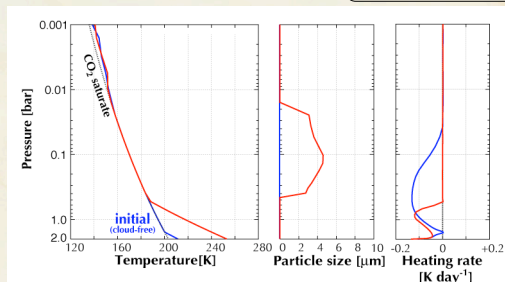
結果1: 平衡鉛直構造

大気圧: 2 気圧
凝結核混合比: 10^7 kg^{-1}



結果1: 平衡鉛直構造

大気圧: 2 気圧
凝結核混合比: 10^7 kg^{-1}



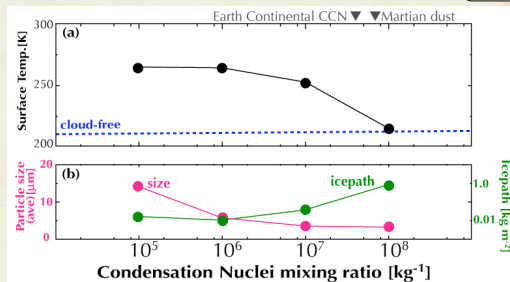
雲層は放射収支が釣り合った状態へと収束

* 雲粒径 ↑: 雲層の吸収率 ↑; 雲成長率 < 0

* 雲粒径 ↑: 地表面温度 ↑; 雲層への赤外入射 ↑; 雲成長率 < 0

結果2: 凝結核混合比依存性

大気圧
2 気圧



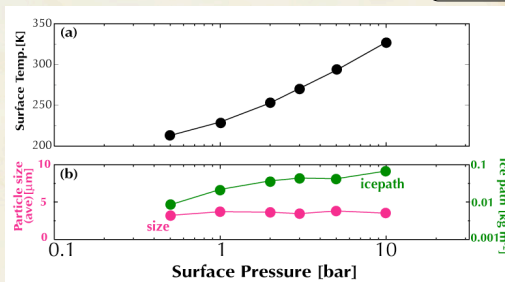
凝結核混合比 ↑: 地表面温度 ↓

* 凝結核少: 消散波長域の増加(=雲粒径の増加)で成長率 < 0

* 凝結核多: 光学的厚さの増加(=雲水量の増加)で成長率 < 0

結果3: 大気圧依存性

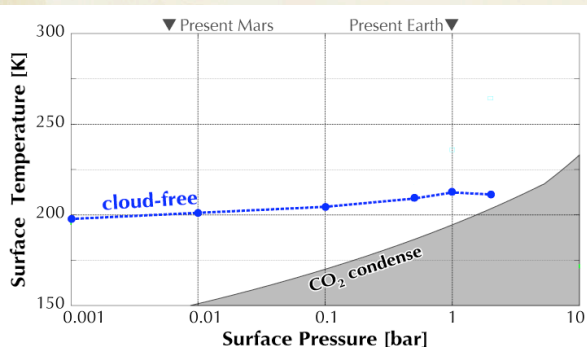
凝結核混合比
 10^7 kg^{-1}



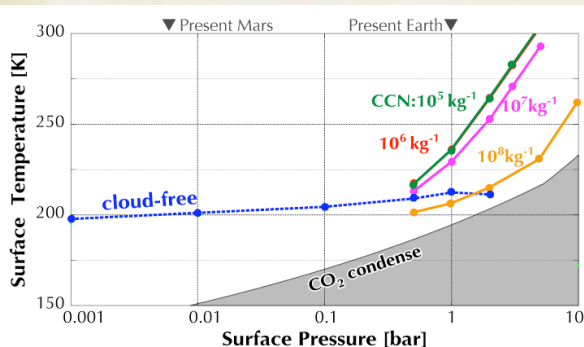
大気圧 ↑: 地表面温度 ↑

* 大気圧 ↑: 雲の形成領域増加: 雲水量 ↑

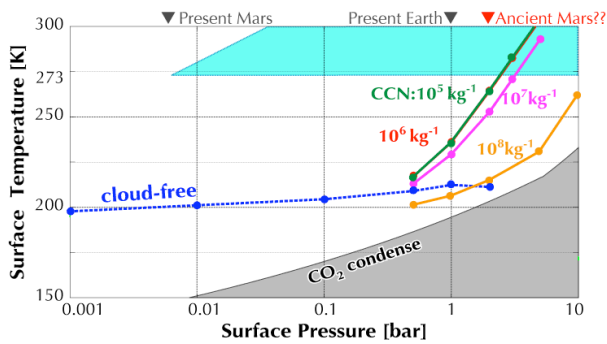
温暖湿潤な気候の必要条件



温暖湿潤な気候の必要条件

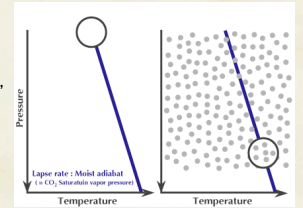


温暖湿潤な気候の必要条件



考察

- 平衡雲構造の安定性
 - 鉛直断熱的擾動に対して、雲層の内部領域は安定
 - 雲質量無視: 対流中立
 - 雲質量考慮: 対流安定



- 地表面温度の強い凝結核混合比依存性
 - 古火星気候の温暖化が一時的であったことと調和的
 - * 凝結核混合比を変動させるメカニズムは多数
 - Ex.) 火山噴火, 隕石衝突, 大気によるダスト巻き上げ
 - * 地球大陸性凝結核の変動 ~ 2 オーダ (Twomey and Wojciechowski 1969)
 - * 火星ダストの変動 ~ 1 オーダ (Pollack et al. 1979)

まとめと今後の課題

- 放射冷却によって形成される CO₂ 氷雲の鉛直構造とその散乱温室効果を見積もった。
- 雲粒径と雲粒成長率との負のフィードバックにより、放射収支のみによって雲の構造を決定可能。さらにこの構造は断熱的擾乱に対し安定。
- 温暖湿潤な気候が再現される必要条件
 - 大気圧: ~ 数気圧
 - 凝結核混合比: ~ 10^5 - 10^7 kg^{-1}
- 凝結核混合比の変動により、一時的な温暖化を説明可能。
- 今後の課題
 - 大気微量成分(CH₄)の影響
 - 対流/雲粒落下の効果
 - 凝結核混合比の決定機構
 - 地表からの巻き上げ/隕石衝突/火山噴火 etc.