

古火星大気中に形成される 二酸化炭素氷雲の鉛直構造と 散乱温室効果

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

2006/10/20(Fri)

日本惑星科学会 2006 年度秋季講演会

講演番号 324

火星古気候の謎

- 当時の温暖湿潤な気候を示唆する地形

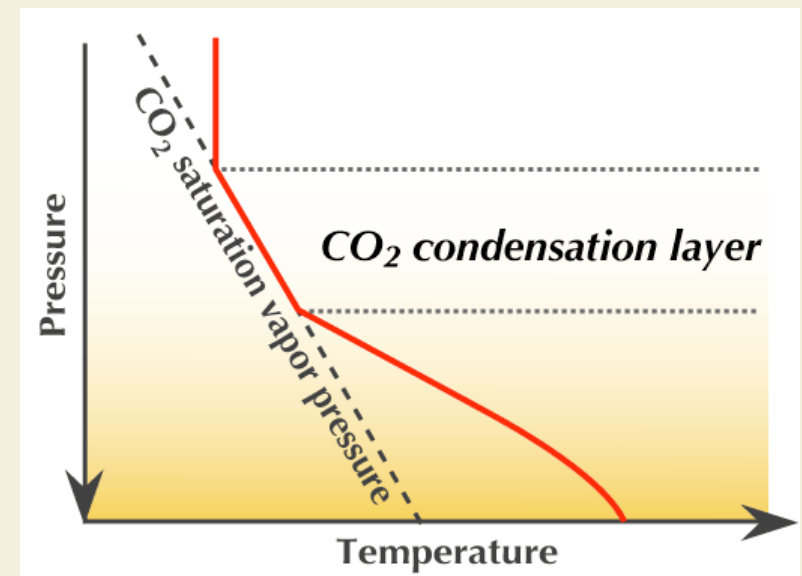
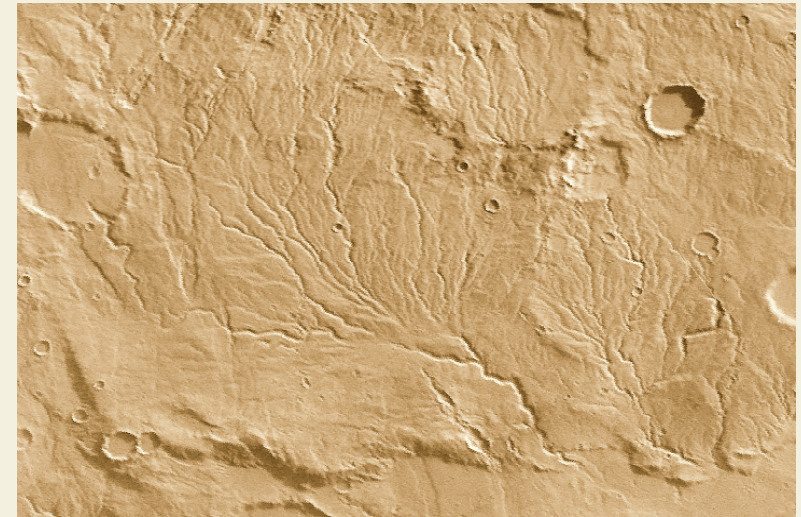
- Valley Networks(→)

- 温暖湿潤な気候は再現不可 (Kasting 1991)

- CO₂-H₂O 大気

- 太陽光度 75 %

- 雲の放射特性は無視



二酸化炭素氷雲の散乱温室効果

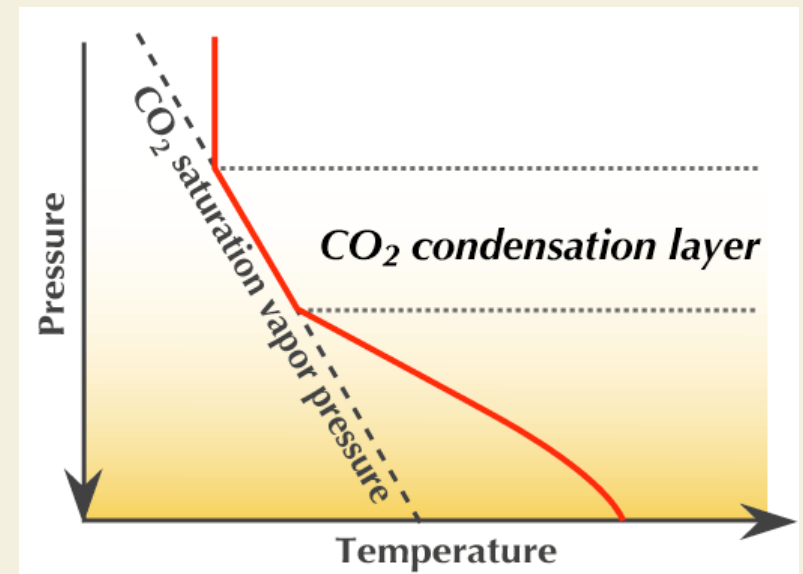


赤外放射反射 > 太陽放射反射
散乱温室効果

- 温室効果は雲パラメタに強く依存 (Pierrehumbert and Erlick 1997)
 - 粒径/光学的厚さ
- 条件次第では強い温室効果を生じさせる (Mischna et al. 2000)
 - 粒径: ~赤外放射波長(10 μ m)
 - 光学的厚さ: 1 ~ 20
 - 形成場所: 対流圏上端
- 雲パラメタの見積りは困難
 - 散乱温室効果研究の障壁

雲の形成機構 = 対流 ??

- 大気主成分が凝結
- 雲の形成過程
 - 対流に伴う凝結
 - 放射冷却による凝結



本研究: 雲は放射冷却によって形成
その場合に生じる CO₂ 氷雲の雲パラメタを見積もる



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満たす温度-雲構造を求める
- 大気成分: CO_2 , H_2O (飽和蒸気圧)
- 鉛直 50 層
- 計算の流れ:
 0. 初期値の温度, 雲構造を与える
 1. 放射場を解く
 2. 放射による加熱冷却
 3. 雲の凝結蒸発
 4. 対流不安定成層の調節
 5. 1 へもどる
- タイムステップ: $10^2 \sim 10^4 \text{ sec}$
- 収束条件: $< 10^{-9} \text{ K/sec}$



仮定と計算条件

● 仮定

- 凝結の時定数 \ll 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
- 各層内は単一粒径
 - 粒径は凝結量から決定

● 計算条件

- 太陽光度: $0.75 \times$ 現在値
- 地表面アルベド: 0.2 (Mischna et al. 2000)
- パラメータ:
 - 大気圧: 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0 気圧
 - 凝結核混合比: 10^5 , 10^6 , 10^7 , 10^8 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(CO_2 & H_2O): 相関 k 分布法

- 吸収線: HITRAN2004+HITEMP
- CO_2 圧力励起帯(@0-350, 1150-1800 cm^{-1}): Kasting *et al.* 1984
- CO_2 wing(@300-600 cm^{-1}): 500 cm^{-1} cutoff
 - Sub Lorentzian: Winters *et al.* 1961
- H_2O 連続吸収: Roberts *et al.* 1976

- 雲(CO_2 ice): Mie 理論

- 複素屈折率: Warren 1986

厚い CO_2 大気に対応

平衡大気-雲鉛直構造

パラメータ

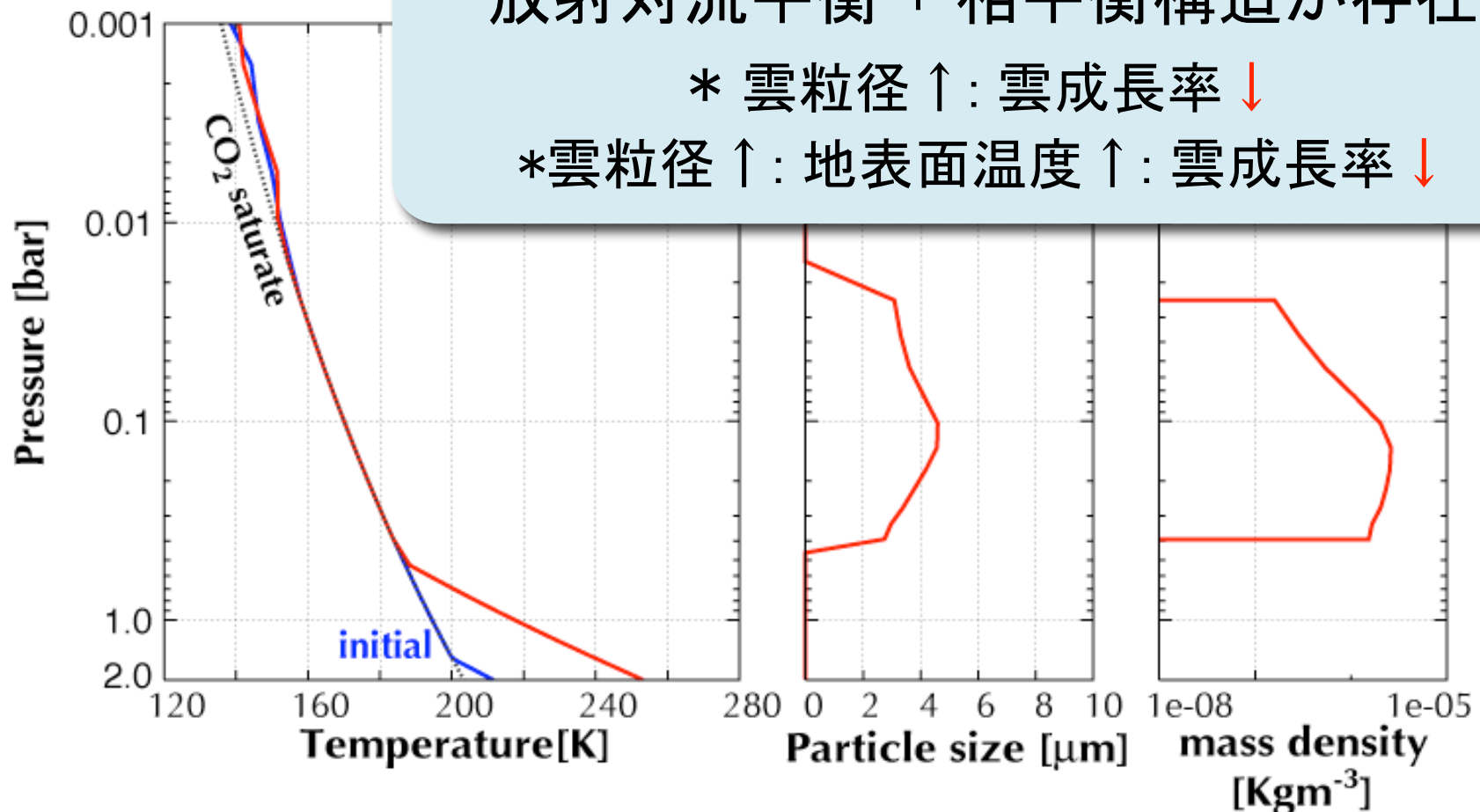
大気圧: 2 気圧

凝結核混合比: 10^7 kg^{-1}

放射対流平衡 + 相平衡構造が存在

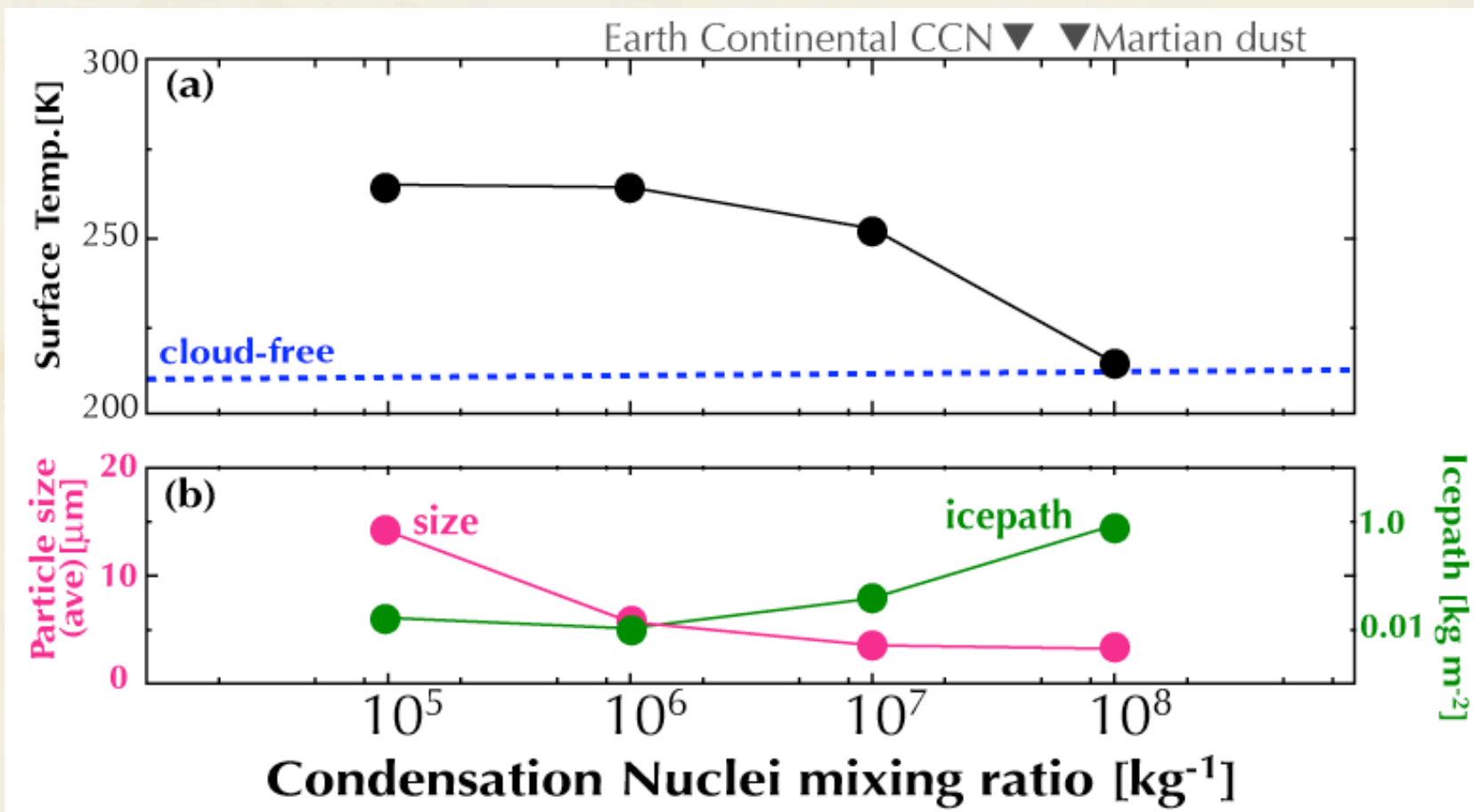
* 雲粒径 \uparrow : 雲成長率 \downarrow

* 雲粒径 \uparrow : 地表面温度 \uparrow : 雲成長率 \downarrow



凝結核混合比依存性

パラメータ
大気圧: 2 気圧

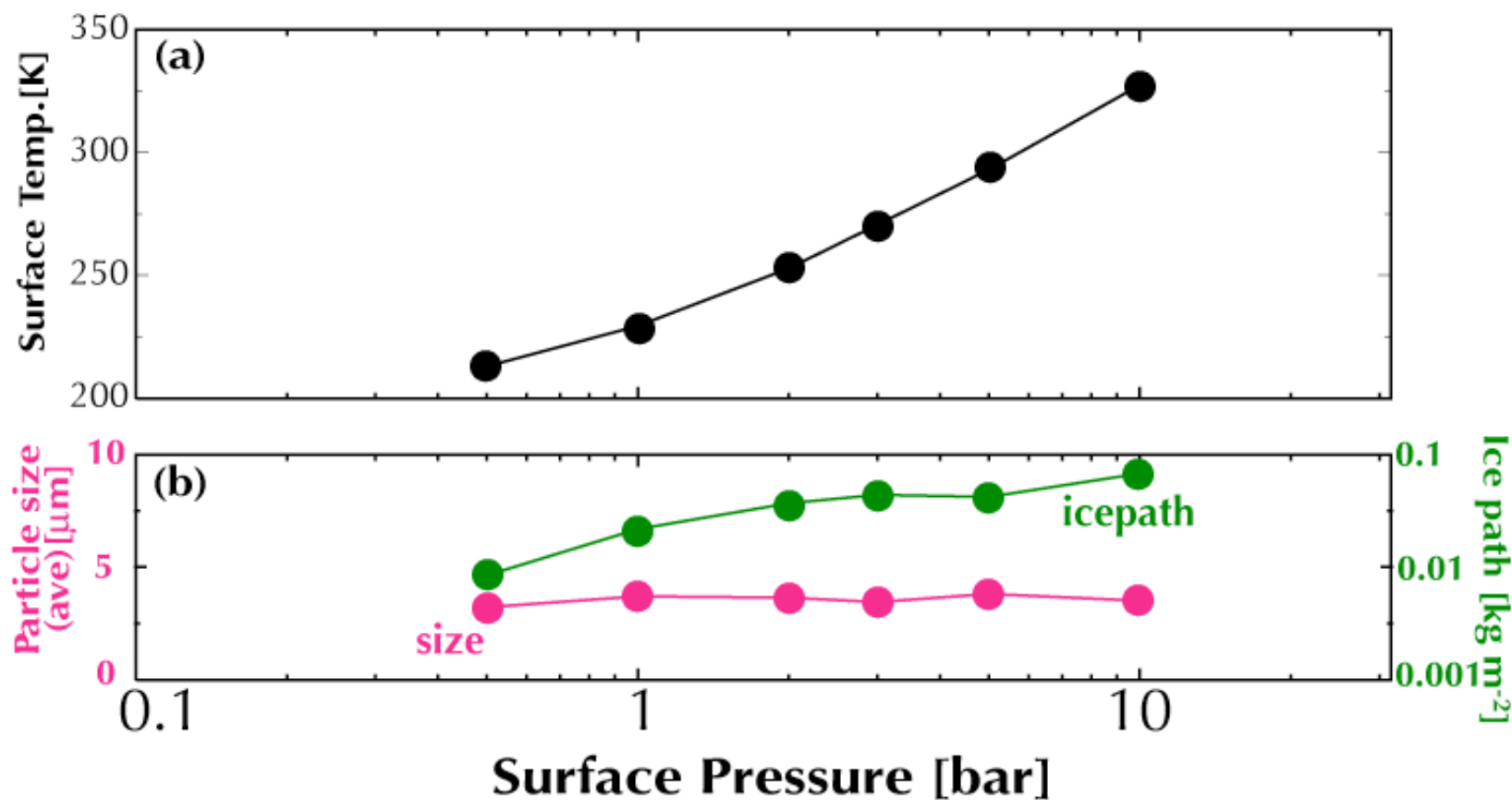


凝結核混合比 \uparrow : 雲粒径 \downarrow : 地表面温度 \downarrow

大気圧依存性

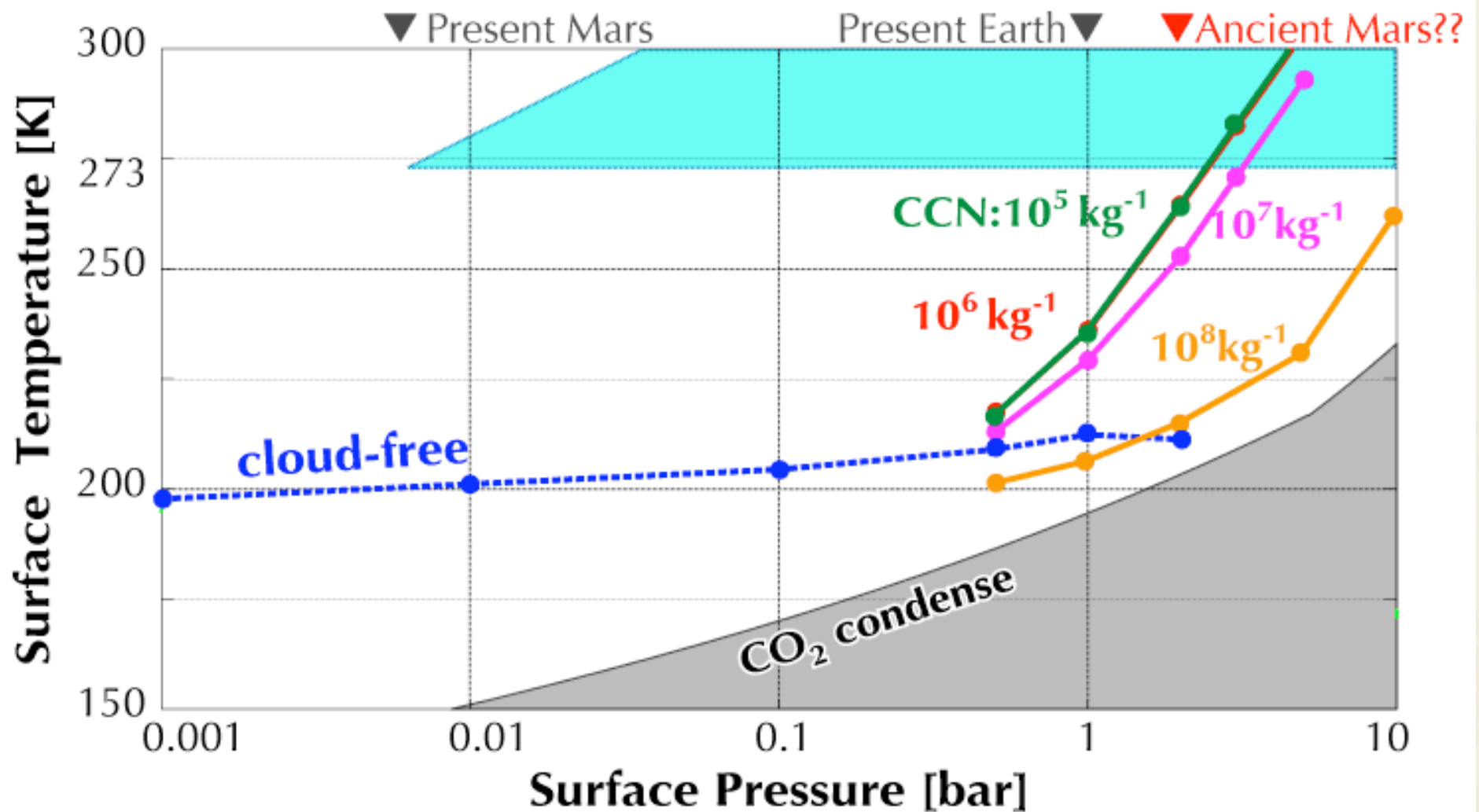
パラメータ

凝結核混合比: 10^7 kg^{-1}



大気圧 \uparrow : 雲厚 \uparrow : 地表面温度 \uparrow

温暖湿潤な気候の必要条件





まとめと今後の課題

- 放射冷却によって形成される CO_2 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、放射対流平衡と CO_2 相平衡とを同時に満たすことが出来る構造が存在する.
- 温暖湿潤な気候が再現される必要条件
 - 大気圧: \sim 数気圧
 - 凝結核混合比: $\sim 10^5\text{-}10^7 \text{ kg}^{-1}$
- 今後の課題
 - 大気微量成分(CH_4)の影響
 - 雲粒落下の効果
 - 凝結核混合比の決定機構