

二酸化炭素氷雲による 初期火星の温暖化

北海道大学 大学院理学研究科

地球惑星科学専攻

光田 千紘

chihiro@ep.sci.hokudai.ac.jp

現在の火星

- ❑ 軌道半径 : 1.52 [AU]
- ❑ 太陽放射 : 地球の 43 %
- ❑ 大気主成分 : CO_2 (95%)
- ❑ 大気圧 : 0.006[atm]
- ❑ 地表面温度 : 215 [K]
- ❑ 乾燥, 寒冷な気候

<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA03154>(BY HST)



<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA05049>(BY SPIRIT)

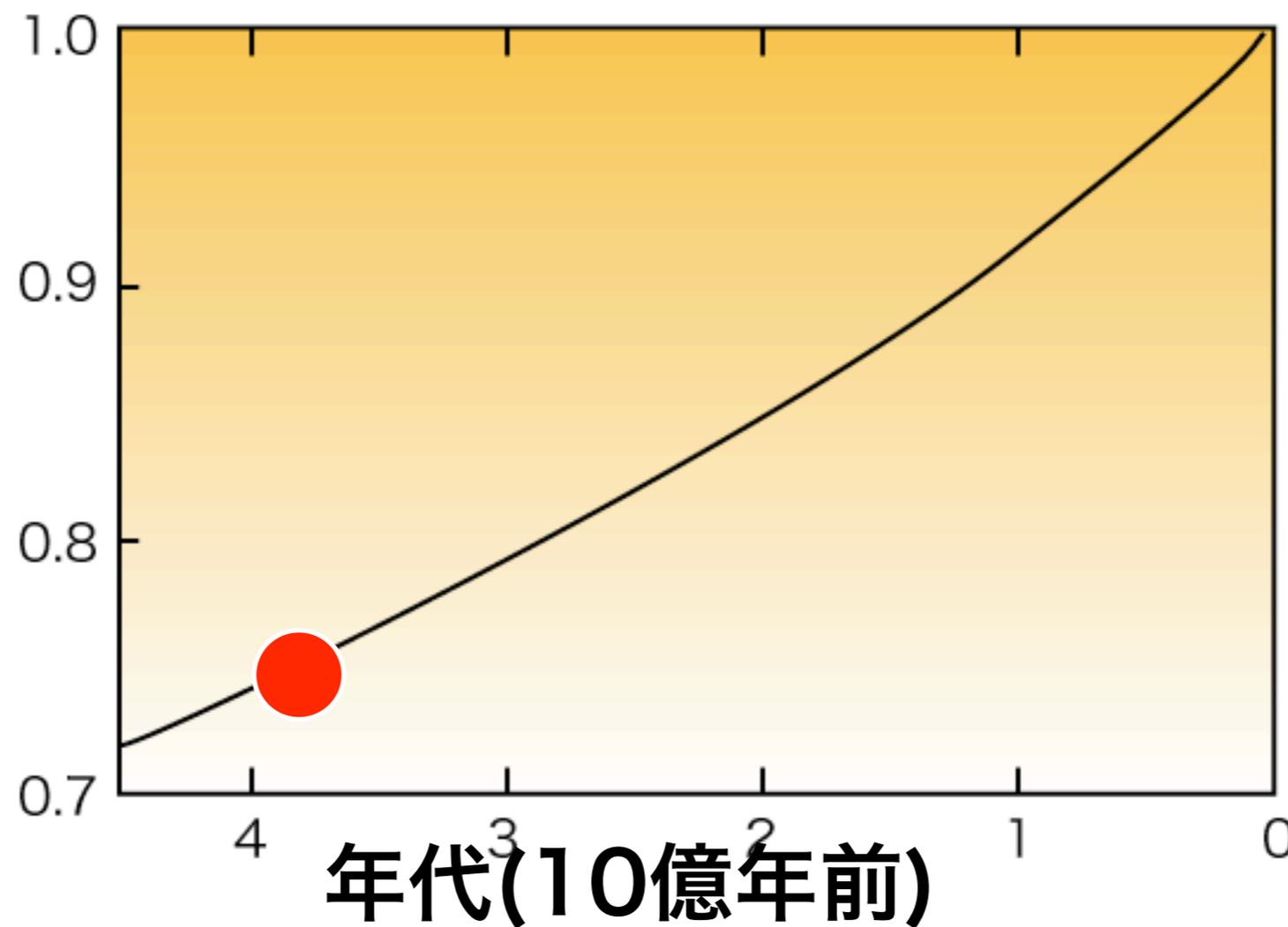
火星環境 現在 VS 形成初期

	現在	形成初期
大気圧	0.006 [atm]	高い (風化率大)
大気主成分	CO ₂	CO ₂ (光化学的に安定)
地表面温度	216 K	液体の水が存在可能 (バレーネットワーク)
気候	寒冷, 乾燥	温暖, 湿潤

暗い太陽のパラドックス

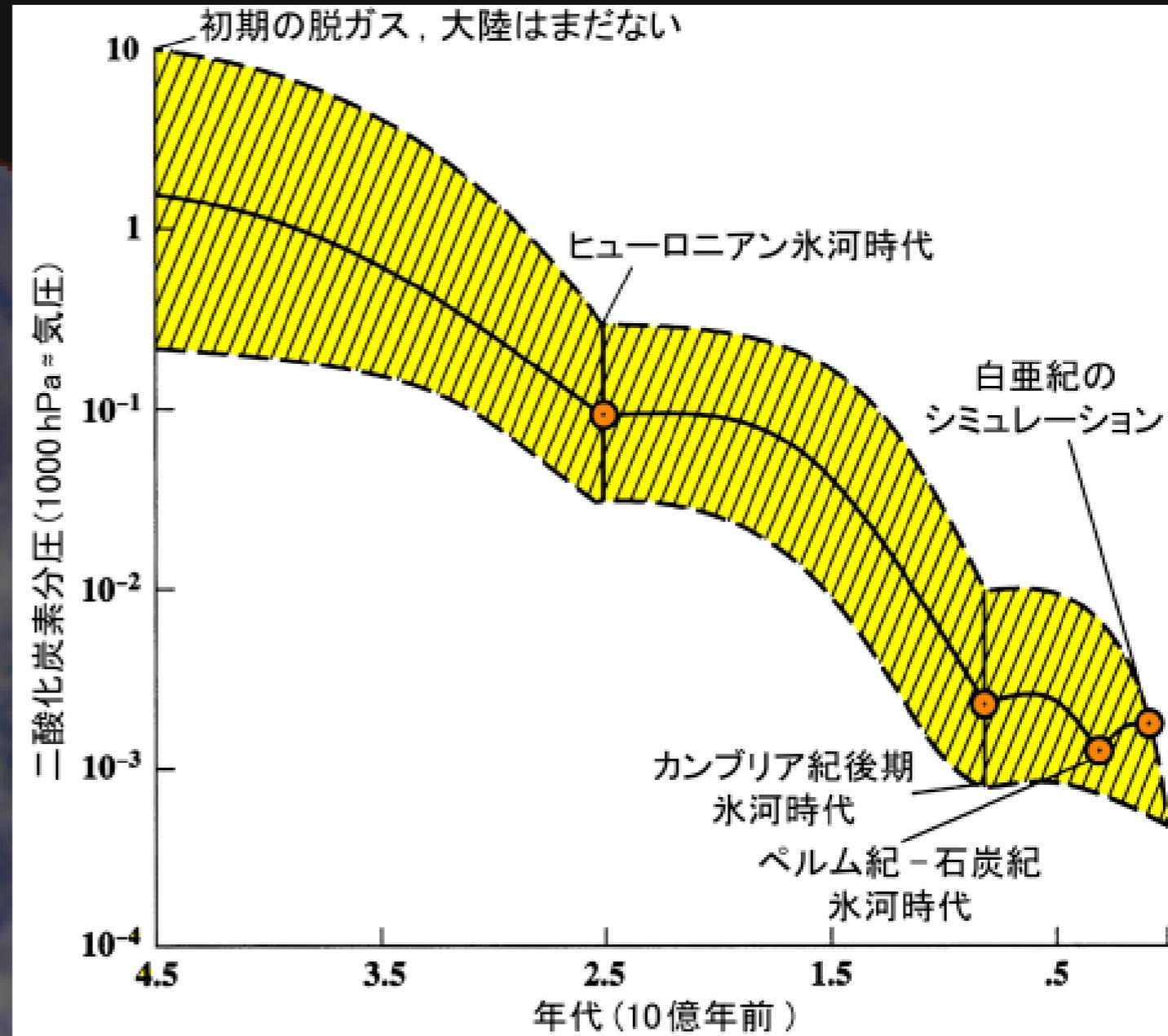
- 太陽光度は徐々に増加してきた
 - 過去は今よりも寒かったはず

太陽光度(現在値 = 1)



暗い太陽のパラドックス (地球の場合)

- 過去、海は凍っていたはず...
 - 45 億年間海は存在
- 二酸化炭素分圧が高ければ再現可能 (Kasting, 1993)



暗い太陽のパラドックス (火星の場合)

- 高い二酸化炭素分圧を維持できない
(Kasting, 1991)
 - 対流圏上層で CO_2 凝結
 - 潜熱解放による温度上昇
 - 地表面温度の低下
- * ただし, CO_2 氷雲の放射特性を無視

パラドックスを解くには...

1. 光学活性ガスの温室効果

- CH_4 , NH_3 , SO_2 etc.

2. ダストの温室効果

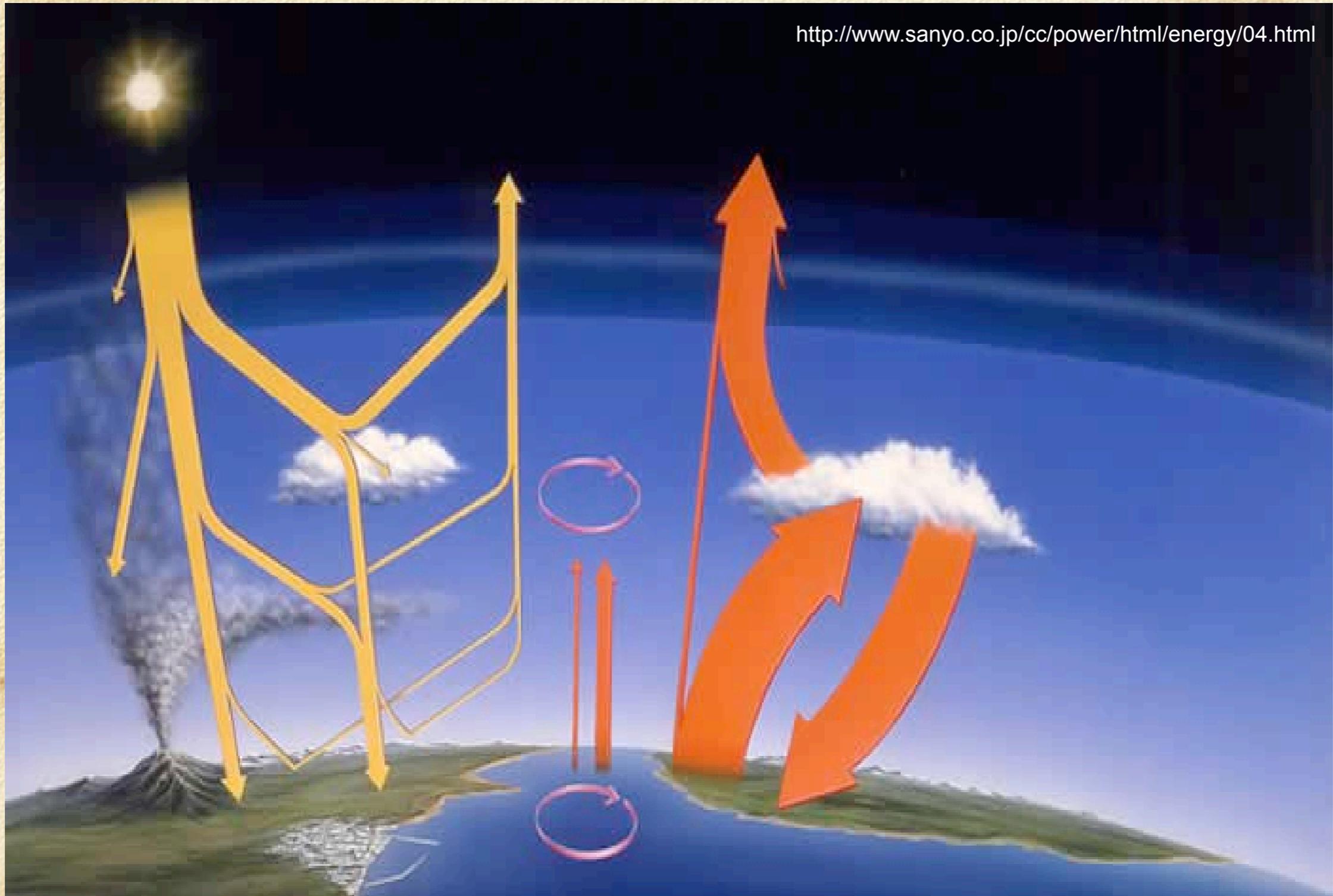
- ダストは太陽放射, 赤外放射を吸収

3. 雲による温室効果

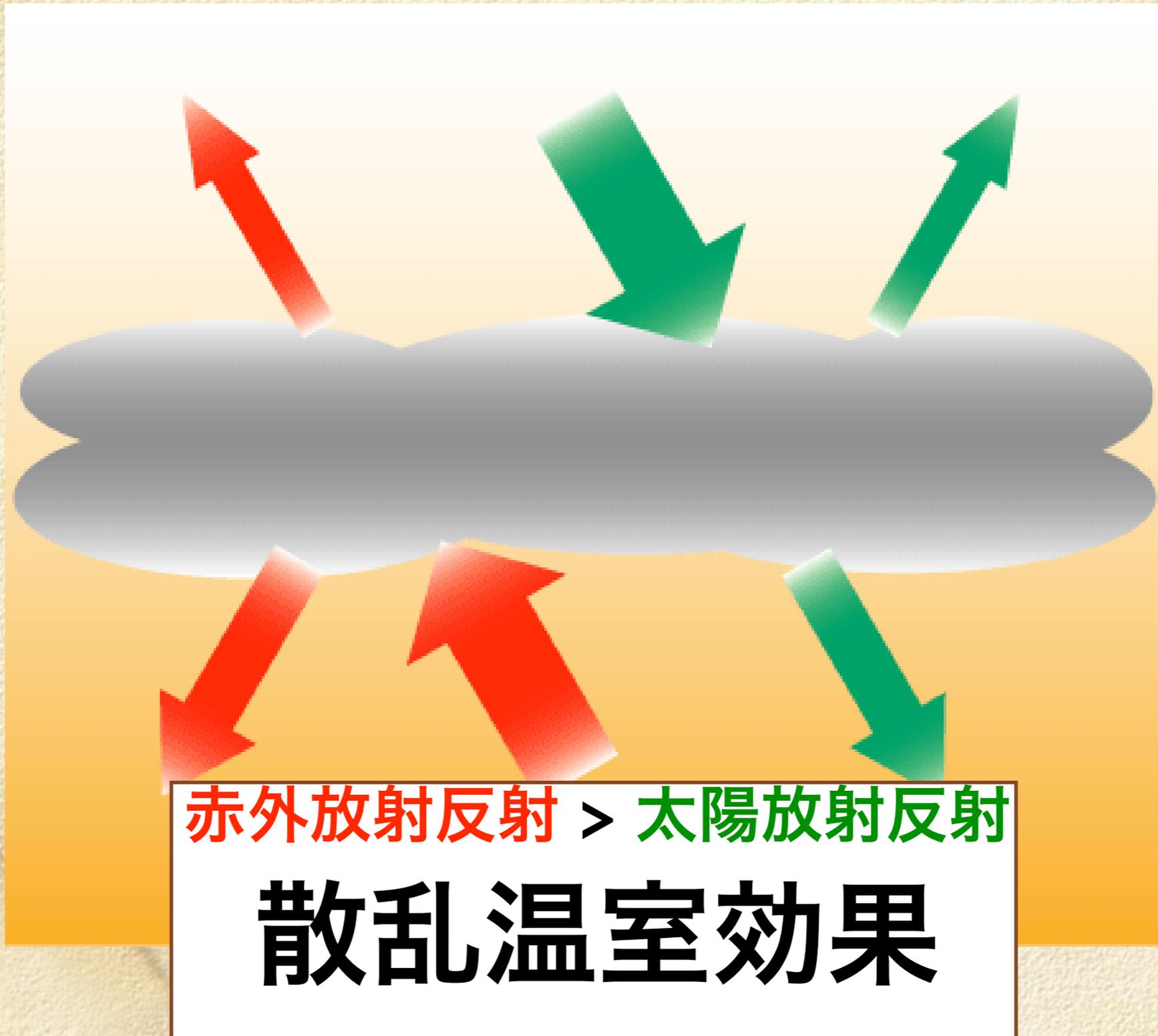
- 雲の放射特性を考慮

雲による温室効果(水雲)

<http://www.sanyo.co.jp/cc/power/html/energy/04.html>



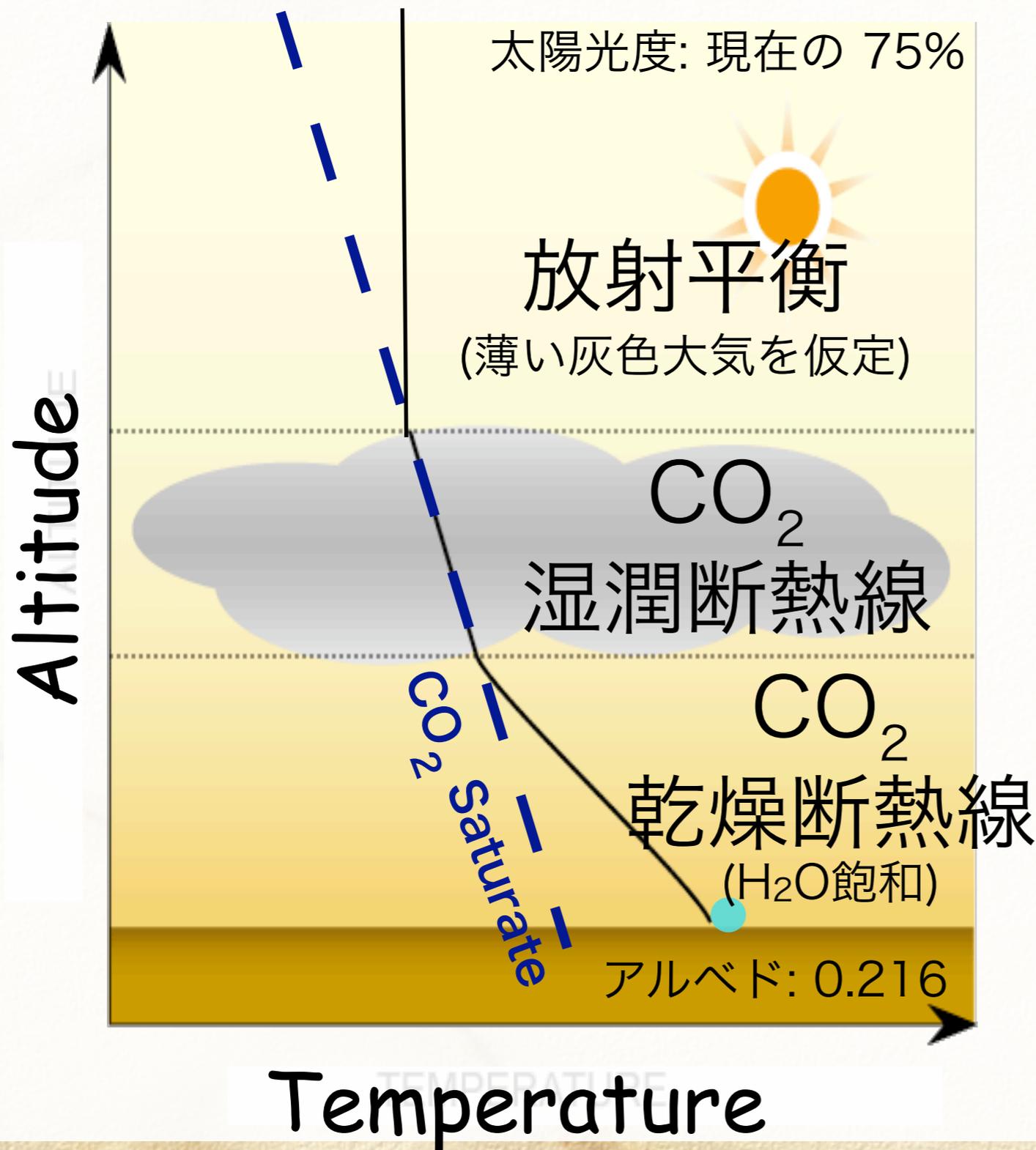
散乱による温室効果



本研究の目的

- 二酸化炭素氷雲による散乱温室効果を検討し、温暖な気候の可能性を探る。
 - どのような条件下で温暖湿潤？
 - 雲粒径と雲粒の個数をパラメータ
 - その時雲は存在できるのか？
 - 気固平衡を満たす雲層を調べる

一次元放射伝達モデル



二方向近似

(雲層: δ -エディントン近似)

雲粒の光学係数

* ミー理論(球形粒子を仮定)

* CO₂ 複素屈折率(Warren, 1986)

* 雲粒の面数密度および粒径をパラメータ, 粒径分布は無視

大気の光学係数

* Line-by-line 法

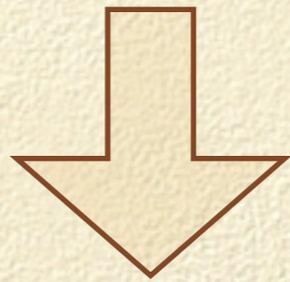
* 解像度 0.5 cm⁻¹

* HITRAN 2000

雲層の冷却率

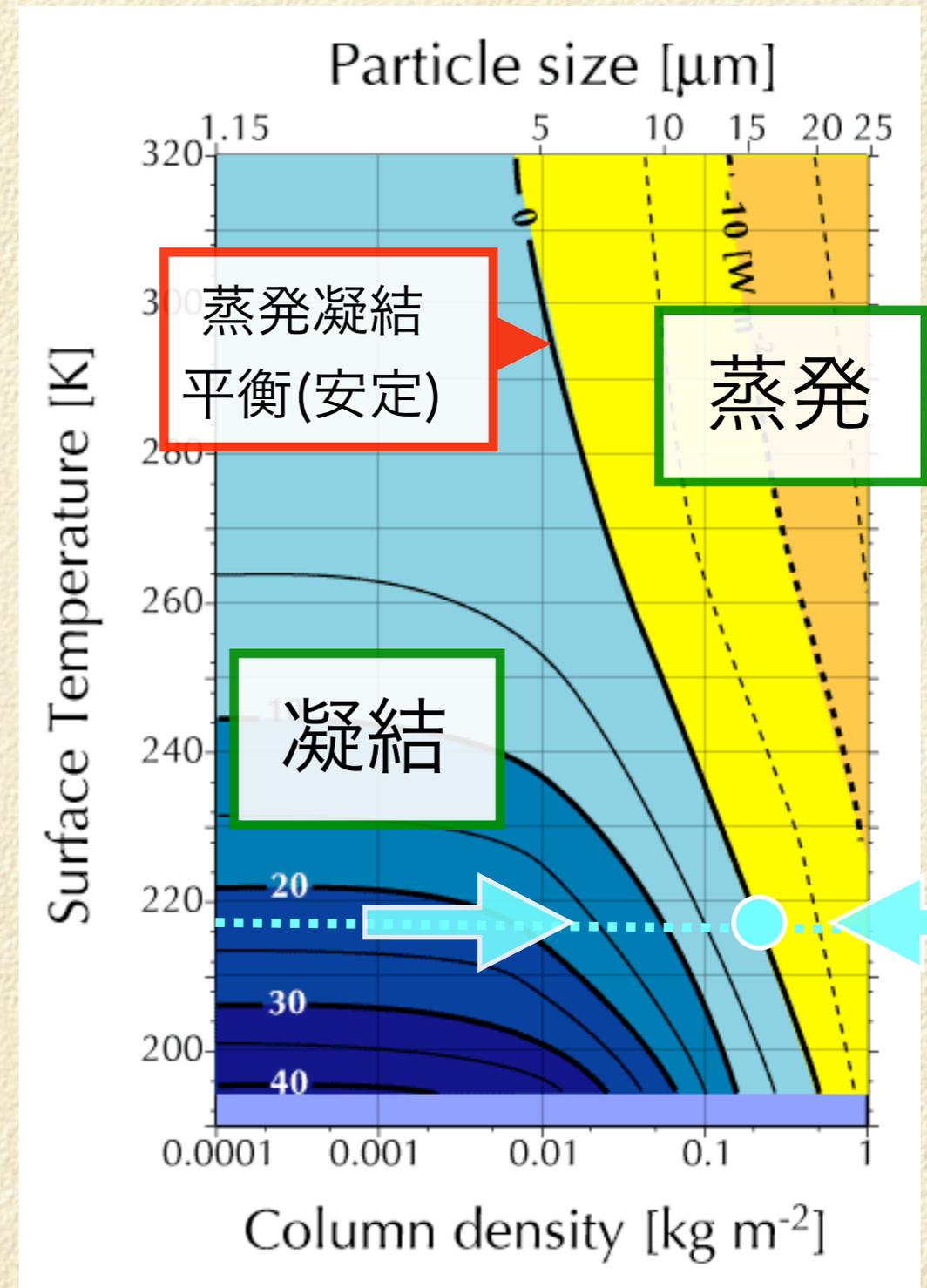
(大気圧 1 bar, 雲粒面数密度 10^{10} m^{-2})

雲層冷却率と粒径:
負の相関関係



面密度変化に対する
凝結潜熱の負の
フィードバック

*ただし, 地表面温度固定の場合



地表面温度の推定

(大気圧 1 bar, 雲粒面数密度 10^{10} m^{-2})

時定数

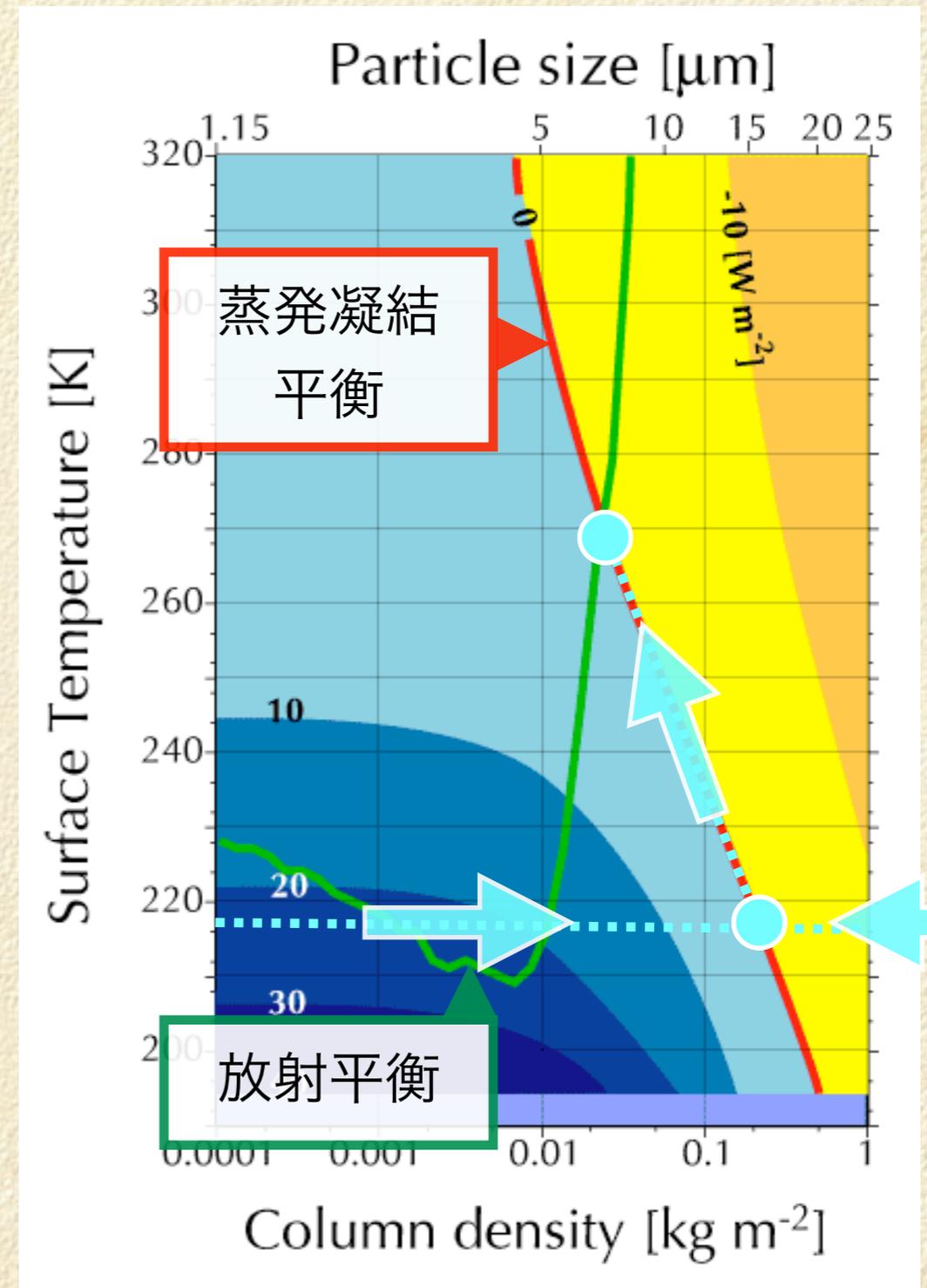
蒸発凝結(時間)

\ll 放射(週)

二平衡が満たされる値へ収束,

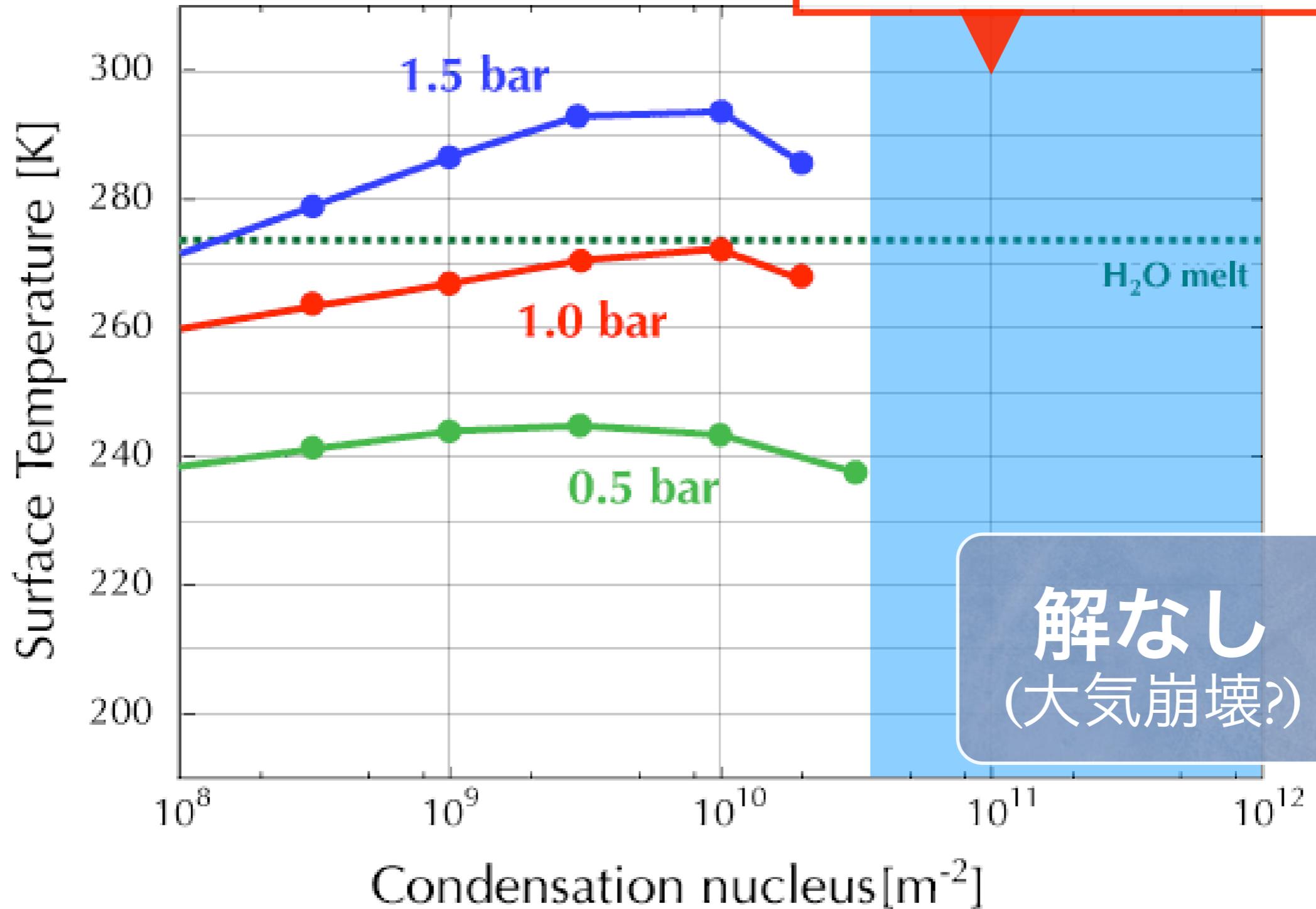
気候の安定化へ

地表面温度: 271 K



地表面温度の推定

Dust (present Mars)



解なし
(大気崩壊?)

まとめ

- 火星における暗い太陽のパラドックス：惑星大気やさんにとってのホットトピック
- CO₂ 雲の散乱温室効果：凝結核の面数密度を与えると、雲面密度及び地表面温度が決定
 - CO₂ 凝結潜熱が雲の質量面密度を支配
 - 大気圧 1.5 bar, 凝結核の面数密度 $\sim 10^{10} \text{ m}^{-2}$ で 地表面温度 $> 273 \text{ K}$
- CO₂ 凝結率と雲の質量面密度の負のフィードバックが気候の安定化に寄与

質問, 感想, コメント

- 大気が凝結すると大気がなくなるからそれを補うように成層圏から大気が落ちてきて, それは成層圏が断熱膨張したわけだから温度がより下がって... というような暴走冷却効果のようなものは生じないの?
- 凝結核は本当に宇宙線で形成される? かなりの過飽和が必要となるのでは??
- 雲は水雲でも温室効果が強く効く場合がある. それは雲粒の数密度が薄い場合であり, 例えば金星のもやのような雲がそれにあたる.
- この研究の見所は?
- 過去に一気圧の大気があったとして, 現在の大気圧まで減らすメカニズムとしてはどのようなものを考えているか?
- 初期の火星に H₂O ってたくさんあるものなのか?
 - そういえば初期火星の形成進化ってよく知らない...
 - 太陽系星雲の組成ってなんでわかっているんだっけ? 太陽存在度??
- 初期の地球にはいつから海があったと考えられるの? 蒸発してしまっていたりしないの?
- CO₂ って液体になったりしないの?
 - 相図用意しておかなきゃ...

参考文献

- Houghton J. 2002 : The Physics of Atmospheres third edition, Cambridge Univ. Press.,pp320
- NASA/JPL Planetary Photojournal, <http://photojournal.jpl.nasa.gov/>
- Kasting J. F.,1991 : CO₂ condensation and the climate of early mars, *Icarus*, Vol. 94, pp. 1-13
- Pierrehumbert R. T. and Erlick C., 1998 : On the scattering greenhouse effect of CO₂ ice cloud, *J. Atmos. Sci.*, Vol.55, pp.1987-1903
- Yokohata T., Kosugita K., Matatsugu O.,and Kuramot K., 2002 : Radiative absorption by CO₂ ice cloud on early mars: Implication on the stability and greenhouse effect of clouds, *Proceedings of 35th ISAS Lunar and Planetary Science Conference*, pp.13--16
- Warren, S. G. 1986 : Optical constraints of carbon dioxide ice, *Appl. Opt*, VOL.95,pp.2650-2674