

二酸化炭素氷雲による 初期火星の温暖化: 雲面密度変化に対する凝結率の 負のフィードバック

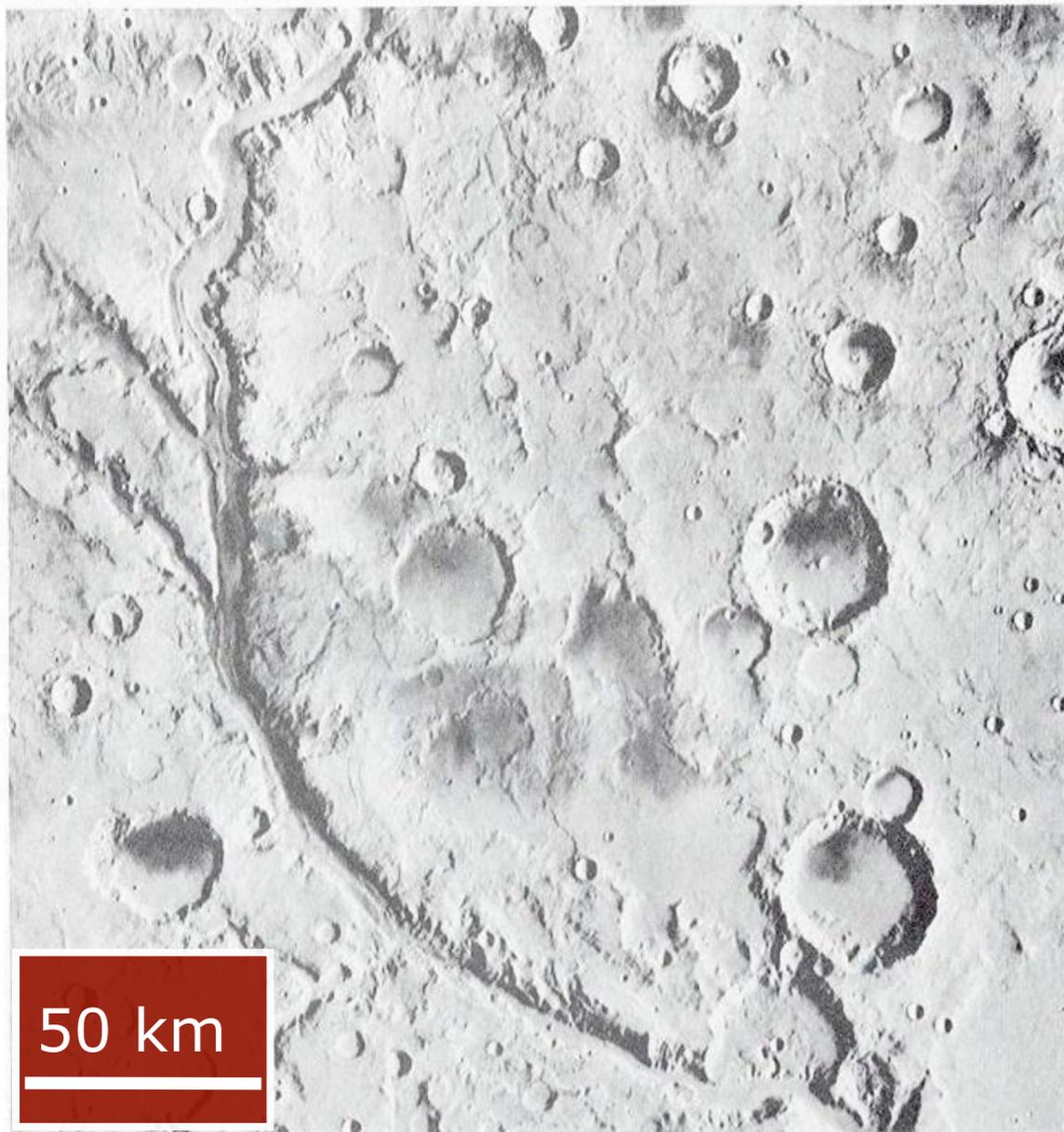
地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, P092-010

2005/05/26

*光田 千紘 (北大・理・地惑)
横畠 徳太 (国立環境研究所)
倉本 圭 (北大・理・地惑)

火星古気候の謎

バレーネットワーク



50 km

- ◉ 温暖湿潤な気候?
 - ◉ 地表に流水の痕跡
 - ◉ 高い地表風化率
- ◉ 二酸化炭素-水蒸気大気
- ◉ 太陽光度: 現在の 75%

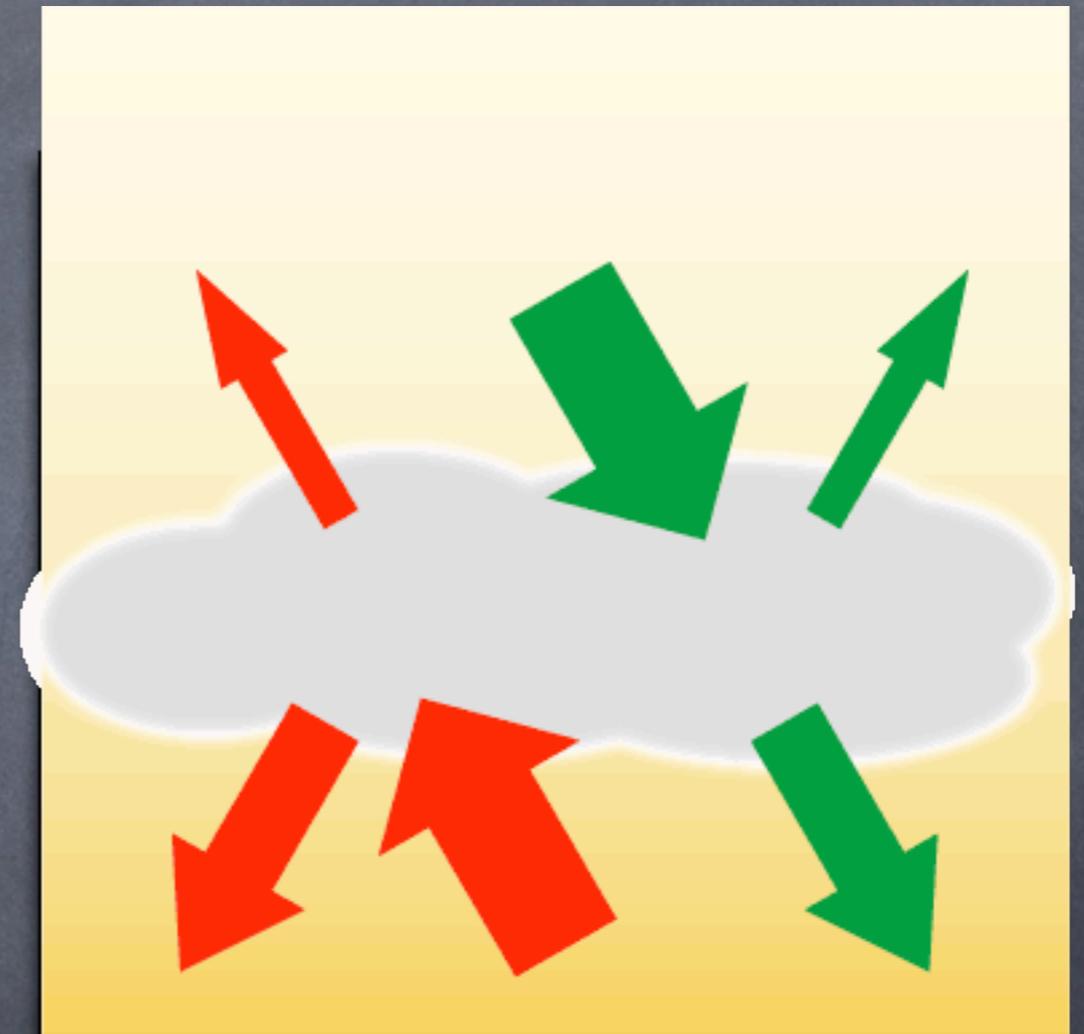
温暖湿潤な気候は
再現されない

(Kasting, 1991)

氷雲の散乱による温室効果

- 理想的な雲の粒径・面密度であれば温暖湿潤な気候が再現可 (e.g. Mischna et al, 2000)

- 理想的な雲の形成・維持は可能か??



赤外放射反射 > 太陽放射反射

散乱温室効果

粒径・面密度の決定機構

- 雲の粒径, 面密度を変化させるメカニズム
 - 衝突合体
 - 雲粒の重力沈降による雲層外への脱出
 - 放射過程における正味加熱(冷却)による蒸発(凝結)

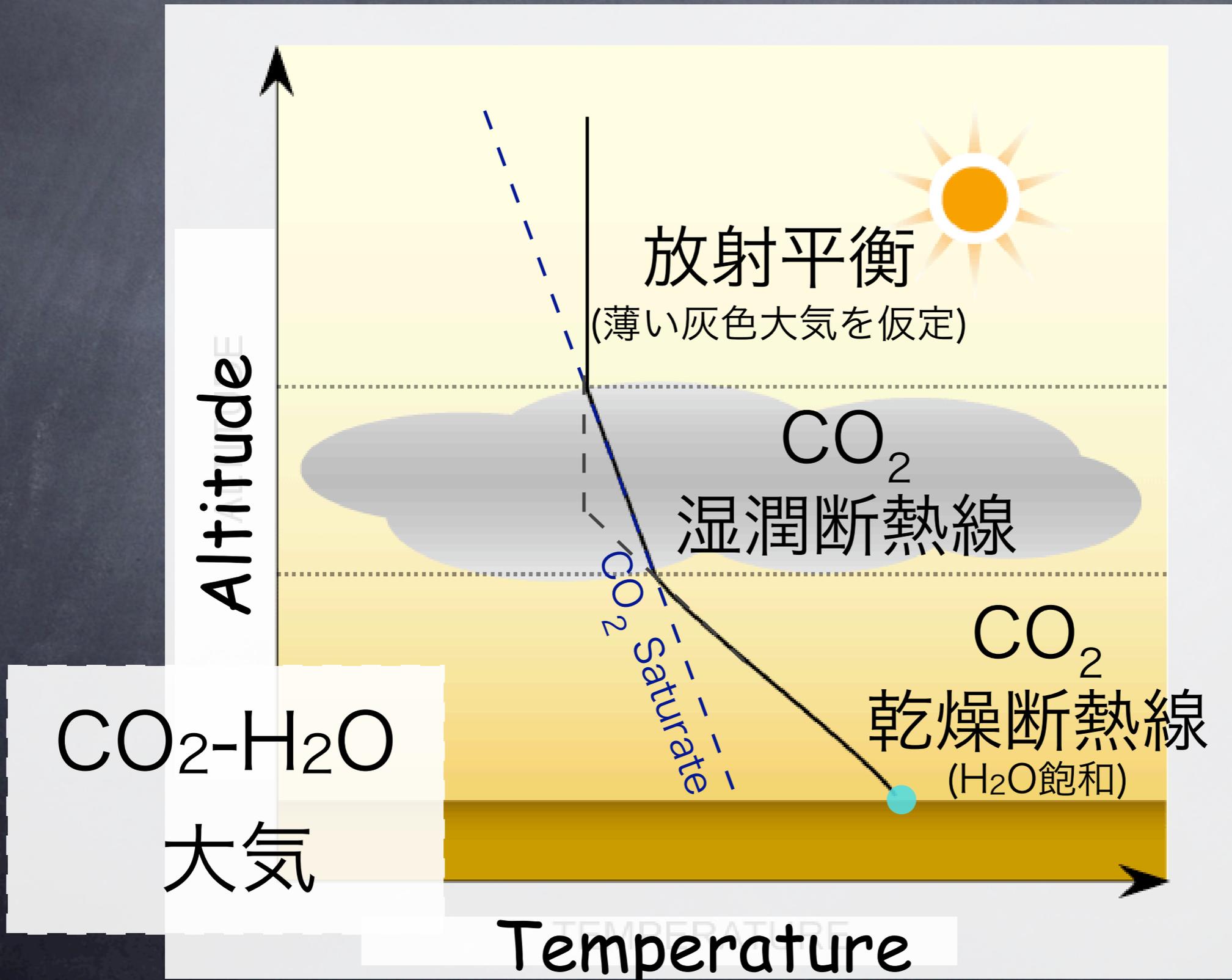
粒径・面密度の決定機構

- 雲の粒径, 面密度を変化させるメカニズム
 - 衝突合体
 - 雲粒の重力沈降による雲層外への脱出
 - 放射過程における正味加熱(冷却)による蒸発(凝結)

本研究の目的

雲面密度と温室効果の評価

モデル: 鉛直温度構造



1D 放射モデル

太陽光度: 0.75 倍
(全球年平均値)

二方向近似
(散乱層: δ - Eddington 近似)

アルベド: 0.216
(Kieffer et al. 1977)

雲粒: 吸収/散乱(赤外/太陽)

* ミー理論(球形粒子を仮定)

CO₂復素屈折率(Warren, 1986)

気体: 吸収(赤外のみ)

* line by line 法

吸収線パラメータ(HITRAN2000)

* 散乱層では ランダムモデル

バンドパラメータ(Houghton, 2002)

1D 放射モデル

太陽光度: 0.75 倍
(全球年平均値)

二方向近似
(散乱層: δ - Eddington 近似)

**CO₂ 凝結潜熱
= 雲層の正味冷却エネルギー**

アルベド: 0.216
(Kieffer et al. 1977)

雲粒: 吸収/散乱(赤外/太陽)

* ミー理論(球形粒子を仮定)

CO₂複素屈折率(Warren, 1986)

気体: 吸収(赤外のみ)

* line by line 法

吸収線パラメータ(HITRAN2000)

* 散乱層では ランダムモデル

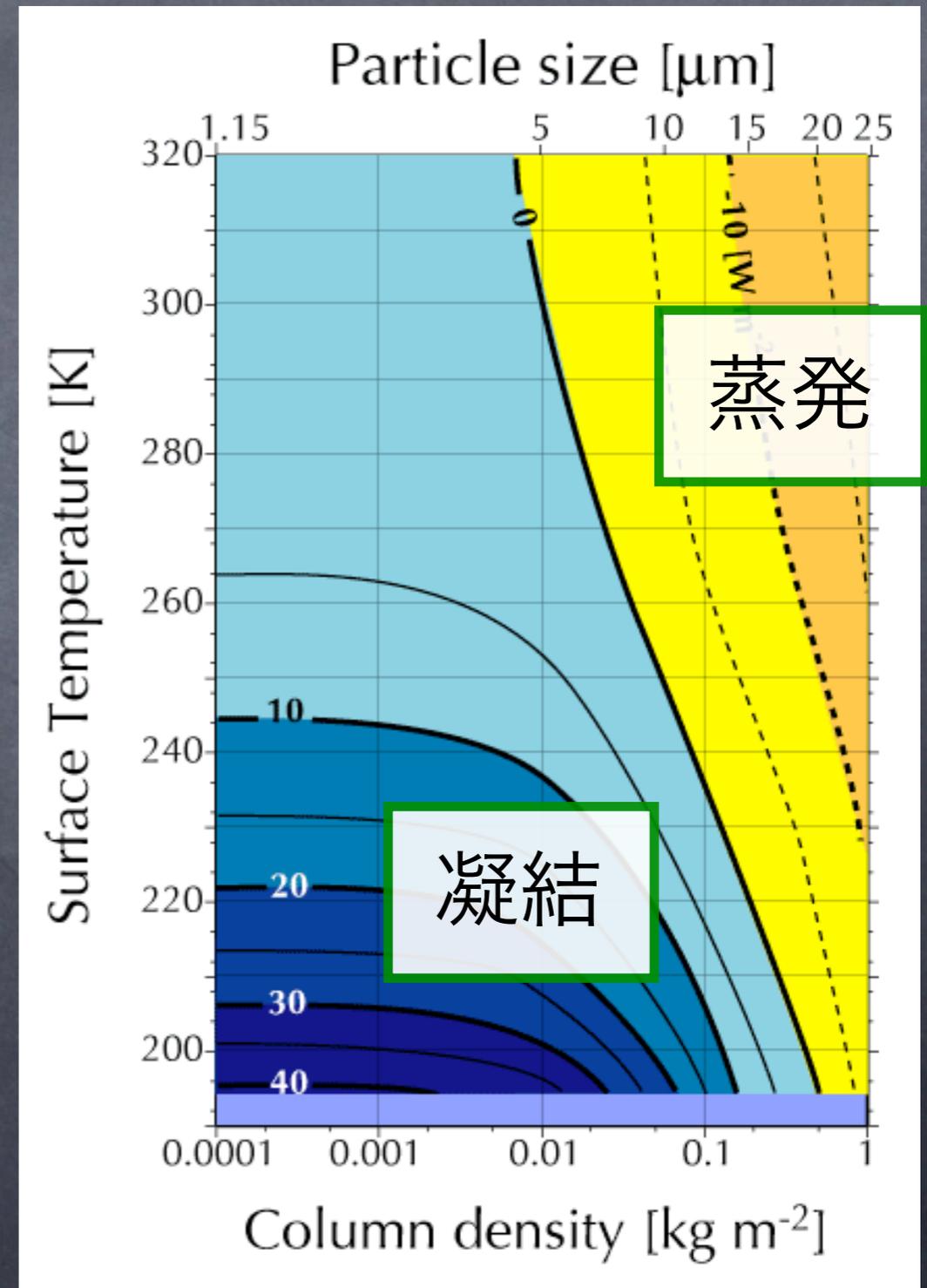
バンドパラメータ(Houghton, 2002)

CO₂ 凝結潜熱

(大気圧 1bar, 凝結核面数密度 10^{10} m^{-2})

● 粒径と凝結潜熱:

負の相関



CO₂ 凝結潜熱

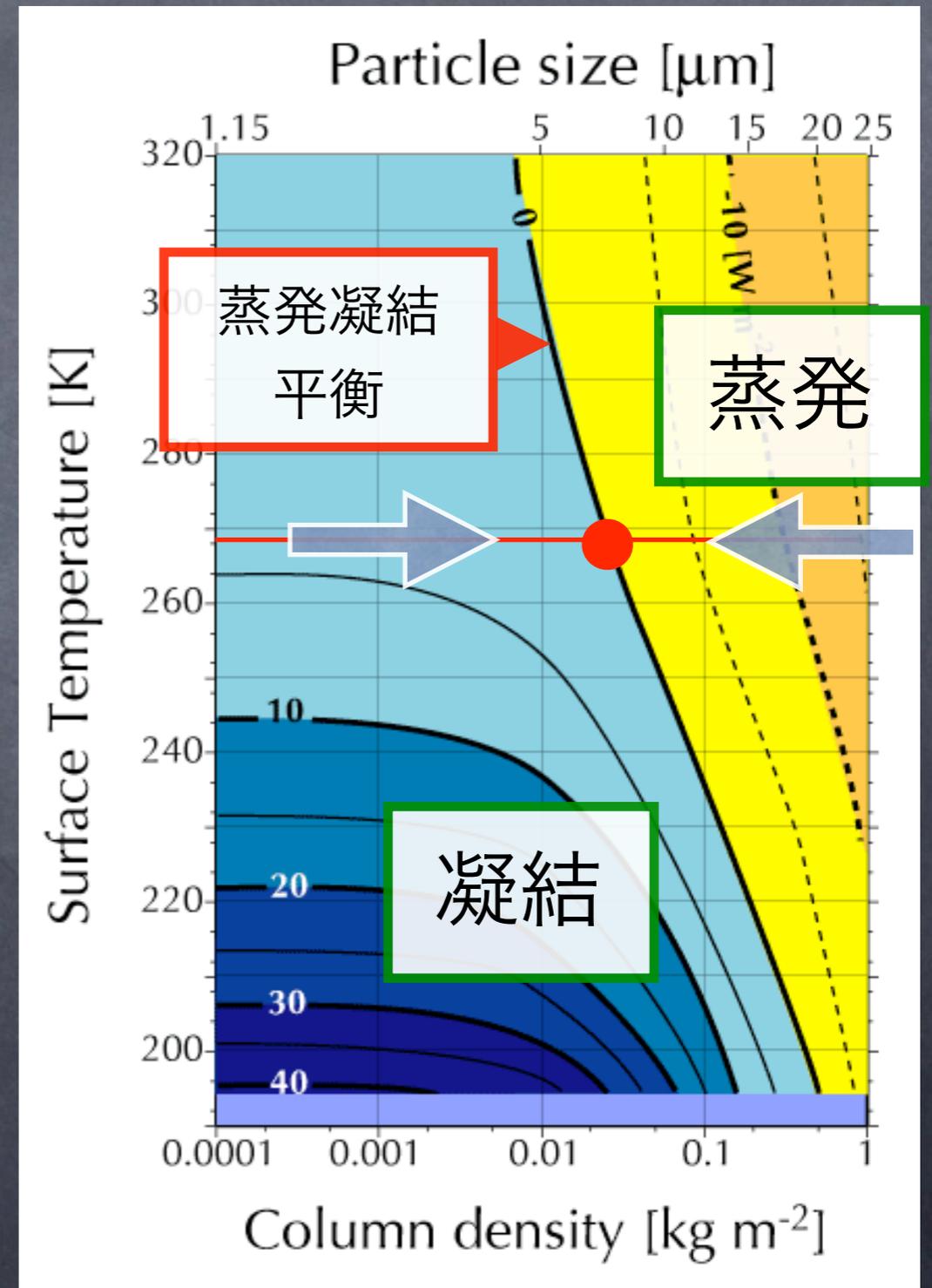
(大気圧 1bar, 凝結核面数密度 10^{10} m^{-2})

● 粒径と凝結潜熱:

負の相関

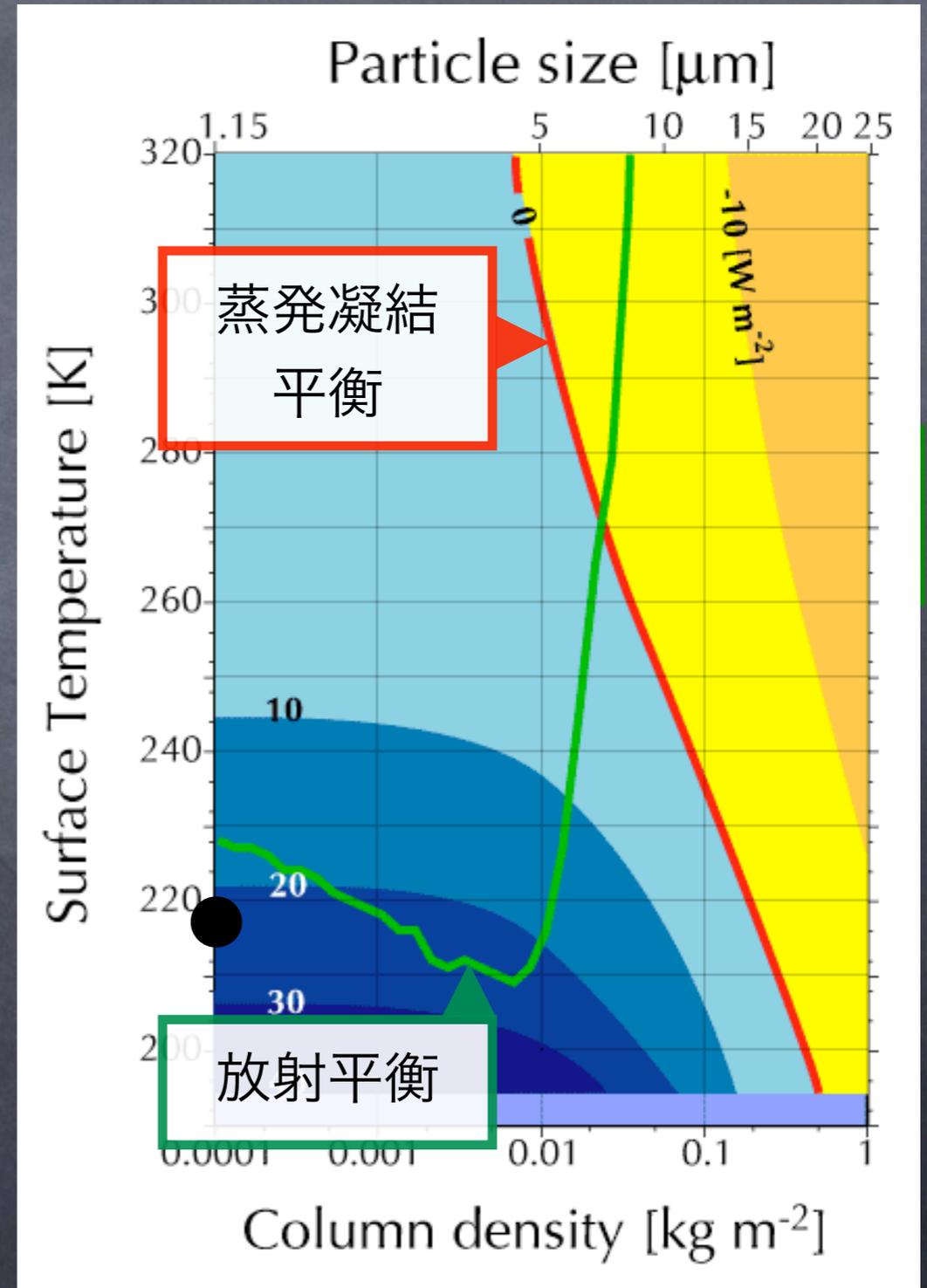
面密度変化に対する
凝結潜熱の負の
フィードバック

*ただし, 地表面温度固定の場合



地表面温度の見積もり

(大気圧 1bar, 凝結核面数密度 10^{10} m^{-2})



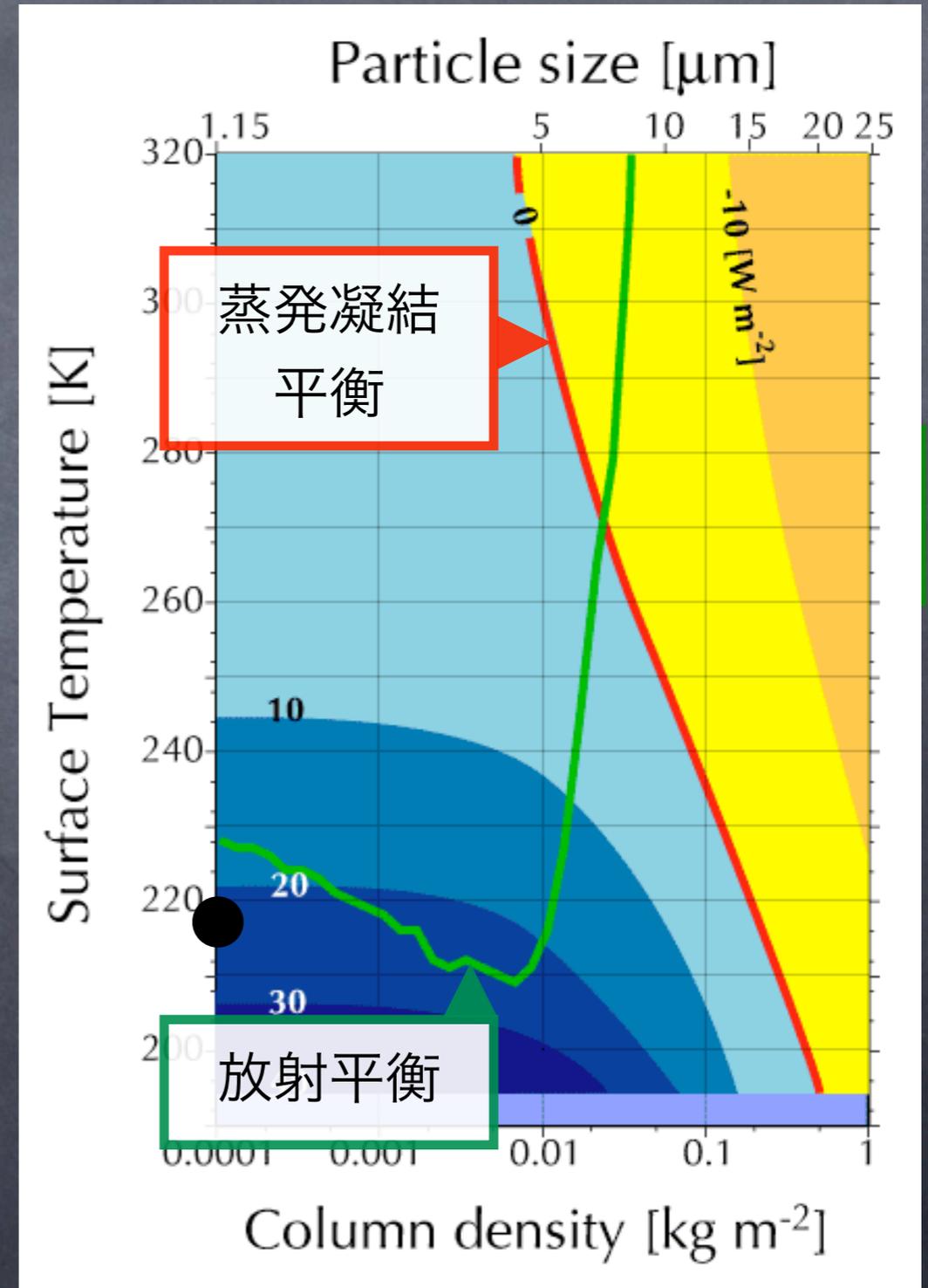
地表面温度の見積もり

(大気圧 1bar, 凝結核面数密度 10^{10} m^{-2})

時定数

蒸発凝結(時間)

<< 放射(週)



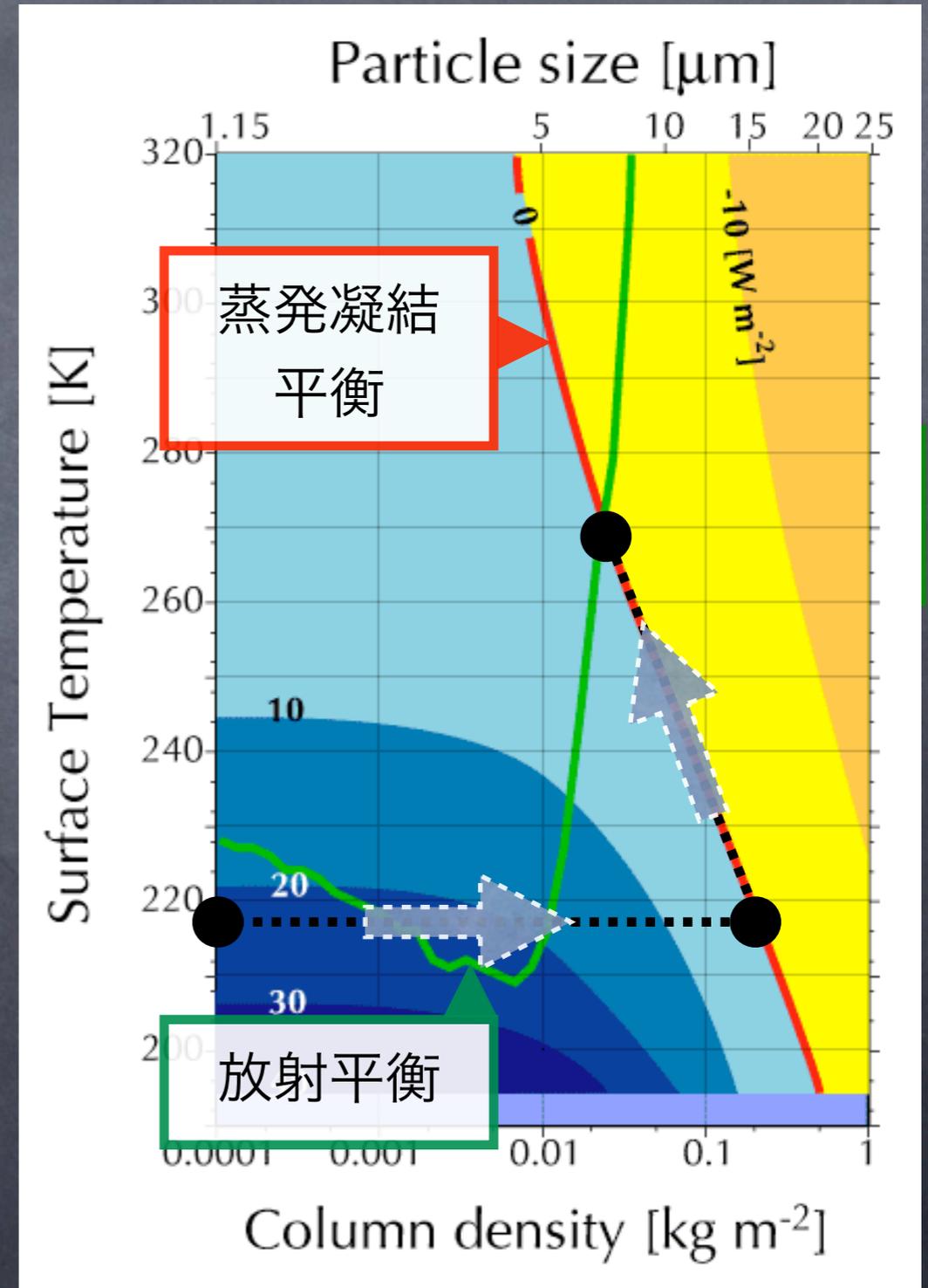
地表面温度の見積もり

(大気圧 1bar, 凝結核面数密度 10^{10} m^{-2})

時定数

蒸発凝結(時間)

<< 放射(週)



地表面温度の見積もり

(大気圧 1bar, 凝結核面数密度 10^{10} m^{-2})

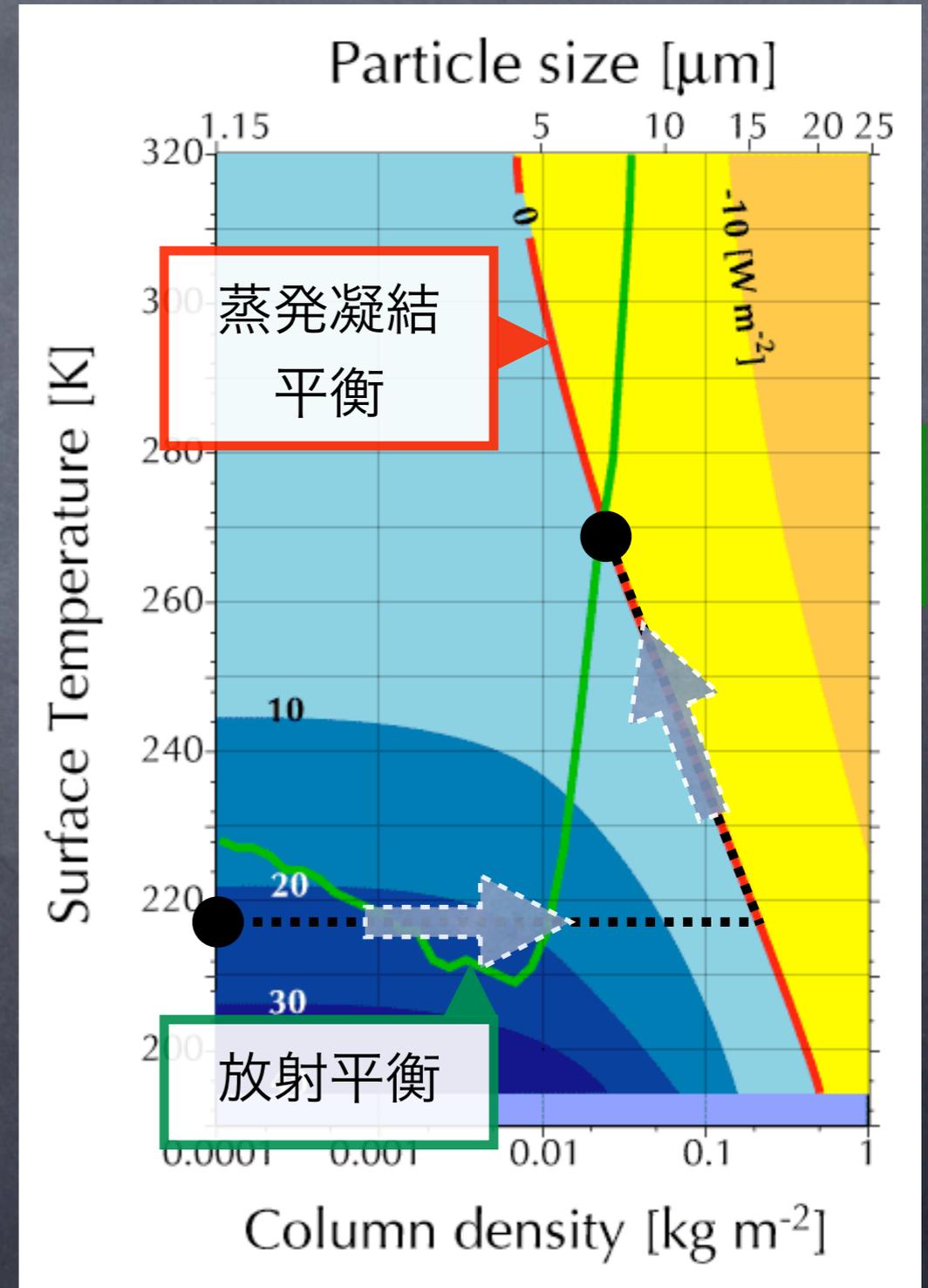
時定数

蒸発凝結(時間)

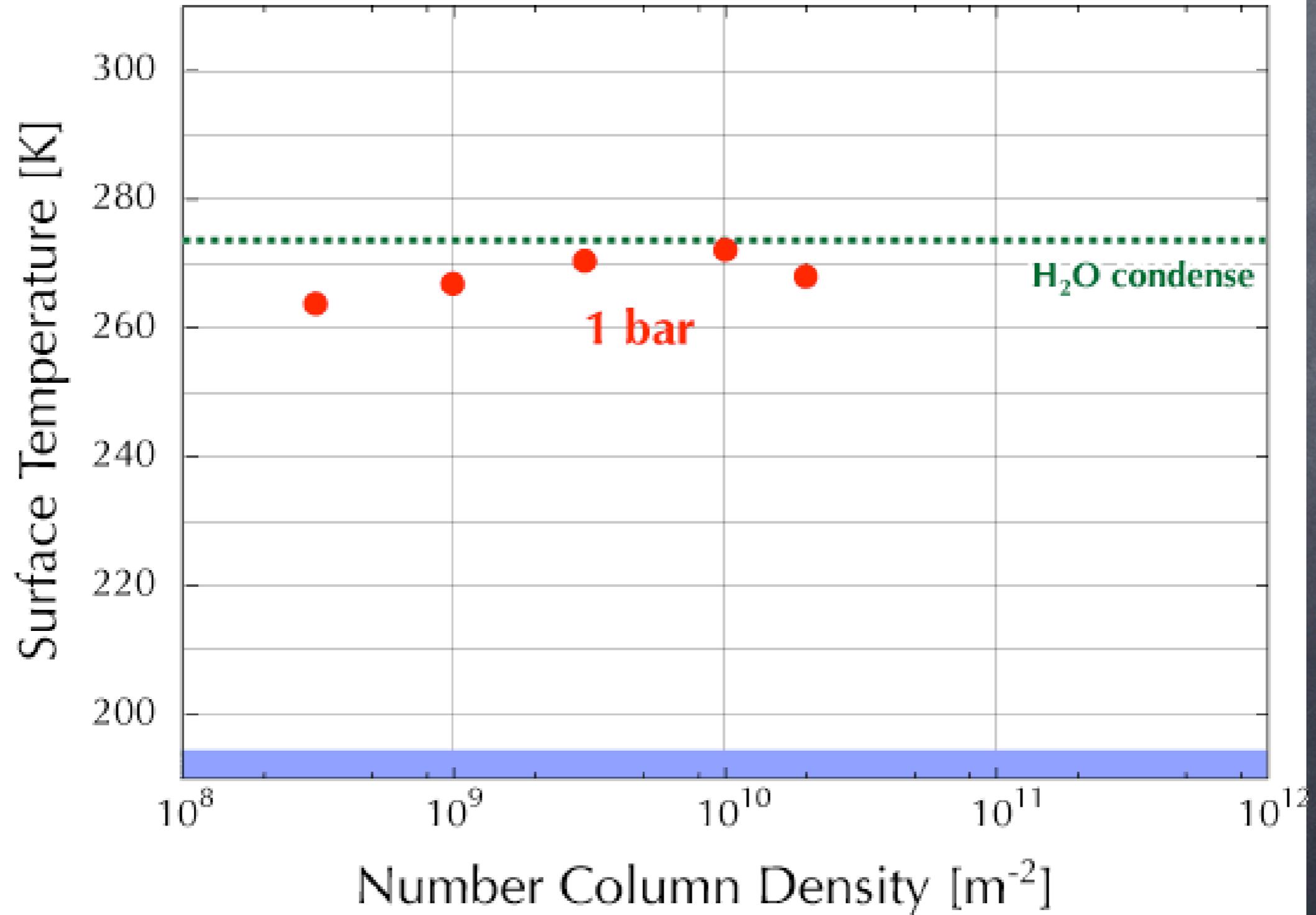
<< 放射(週)

二平衡が満たされる値へ収束する

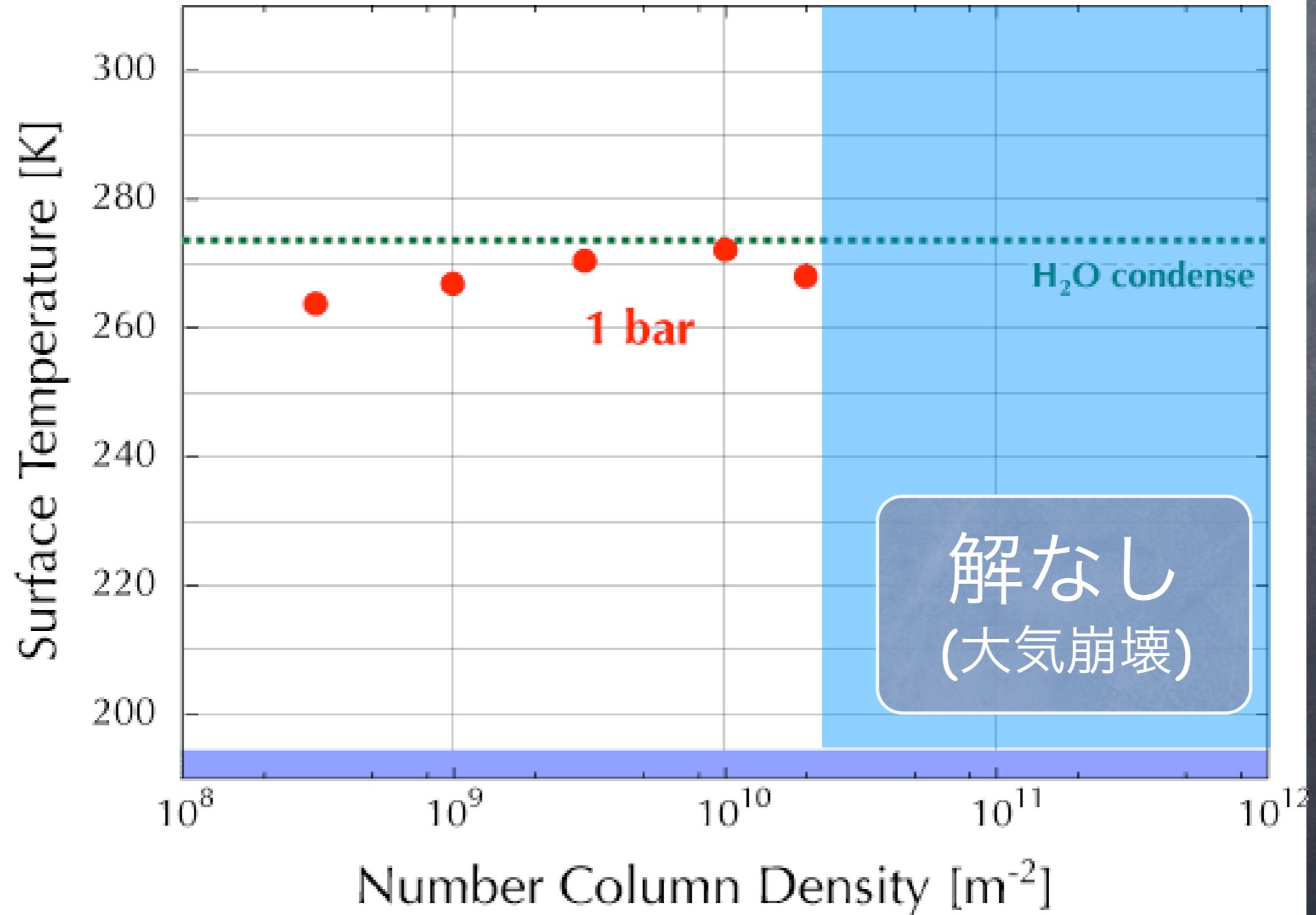
地表面温度: 271 K



地表面温度の見積もり (大気圧 1 bar)

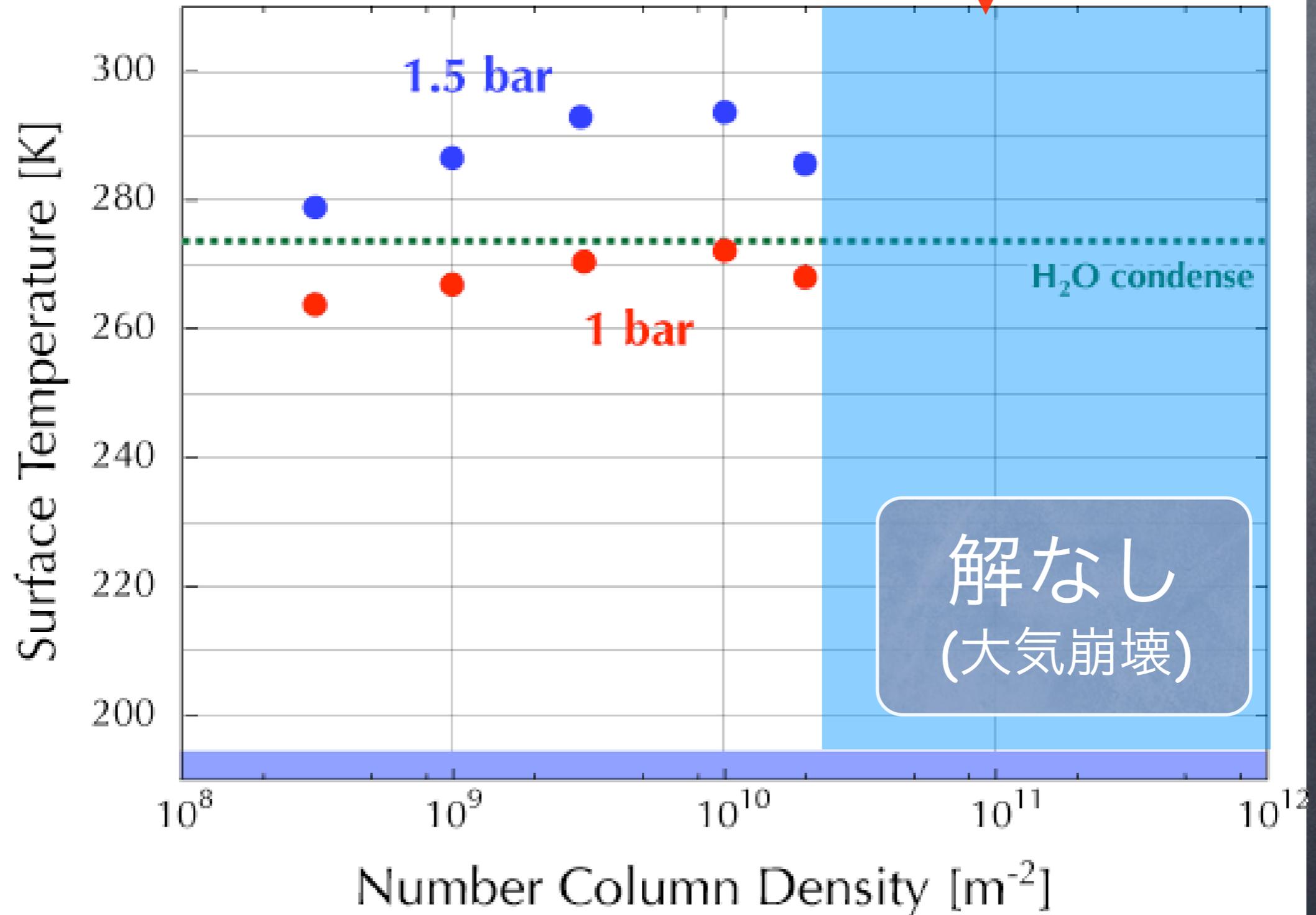


地表面温度の見積もり (大気圧 1 bar)



地表面温度の見積もり

現在の火星ダスト



まとめ

- 散乱温室効果問題：雲の粒径, 質量面密度の見積もりが重要
- 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 10^9 -- 10^{10} m^{-2} で **地表面温度 > 273 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

今後の課題

- 凝結核の面数密度の見積もり
 - インパクトによる面数密度増加?
- 雲層の鉛直構造の考慮
 - より詳細な放射モデルへ
 - 雲粒落下のタイムスケール
- CH₄ による影響

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
- Mischna, M. A., Kasting, J. F., and Freedman, R., 2000, Influence of carbon dioxide clouds on early Martian climate, Icarus, 145, pp.546-554
- 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
CO₂ 凝結率が雲の質量面密度を支配