

古火星環境での 二酸化炭素大気の温室効果

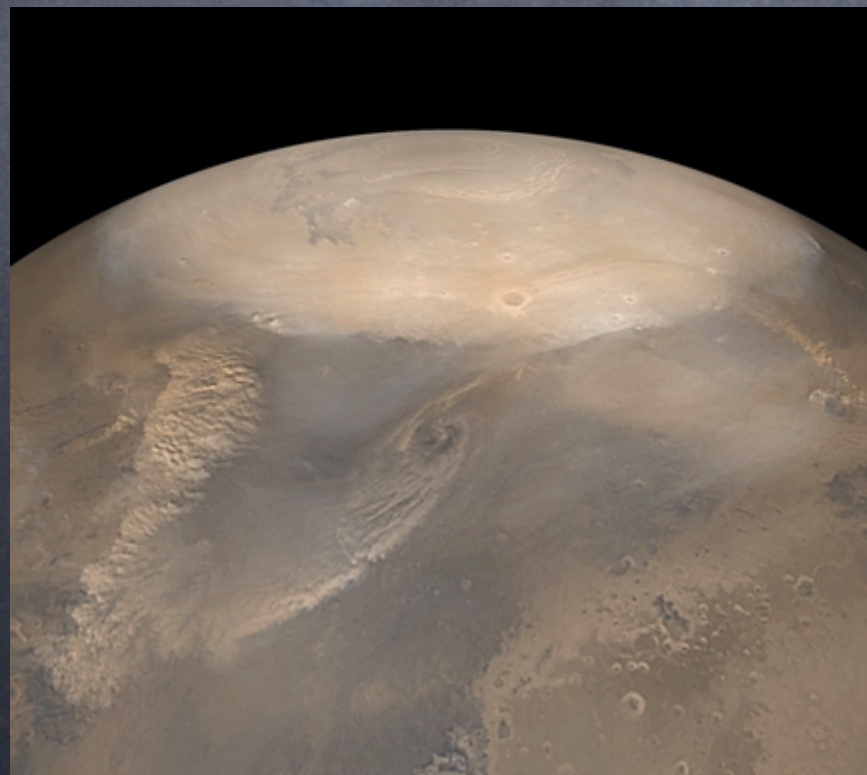
北大・理・地球惑星 M2

光田 千紘

chihiro@ep.sci.hokudai.ac.jp

現在の火星

- 太陽放射 : 地球の 43 %
- 大気主成分 : 二酸化炭素
- 大気圧 : 0.006 atm
- 地表面温度 : 215 K

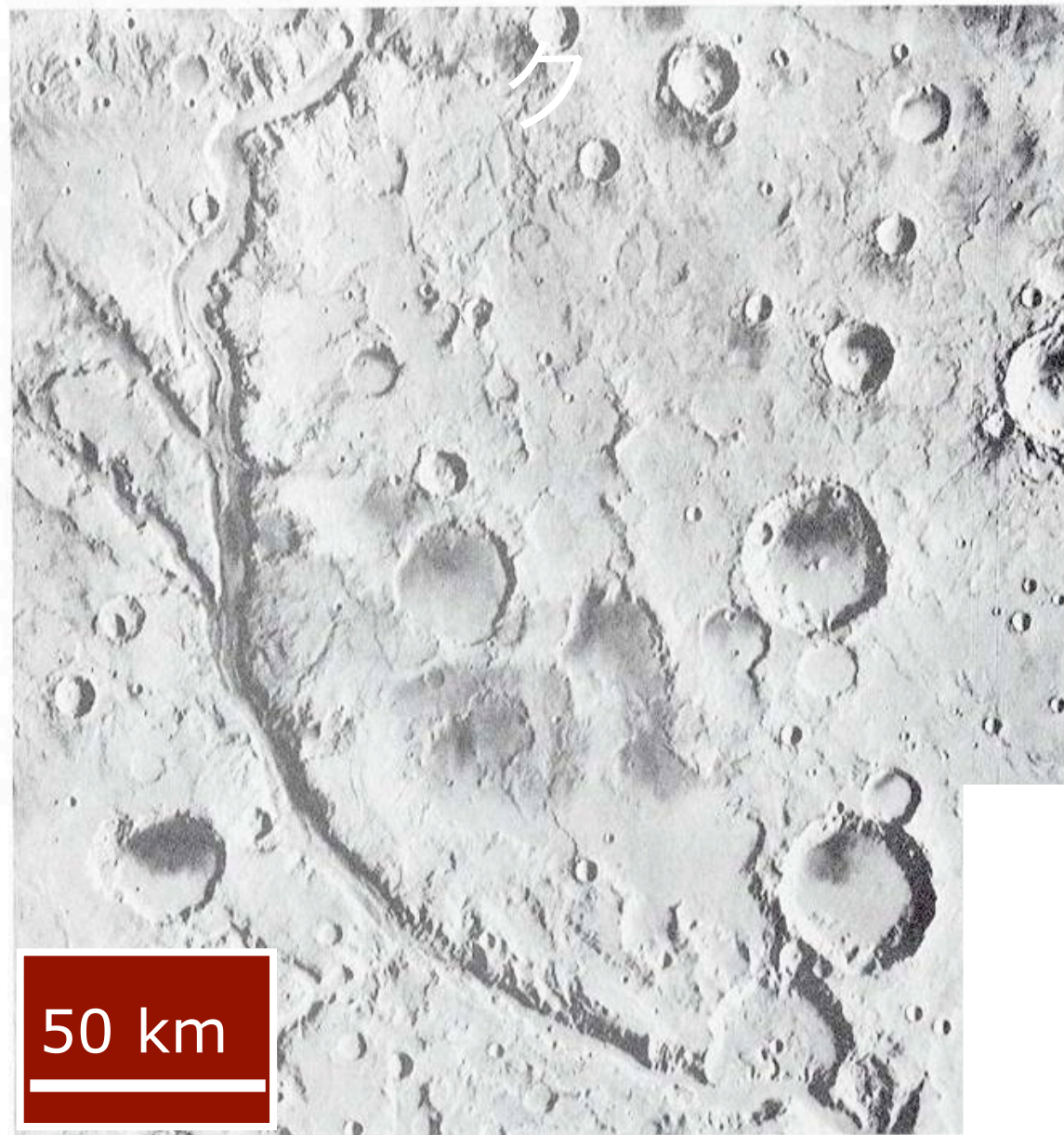


古火星環境



- 風化率が大きい
 - 今よりも**厚い**大気
- バレーネットワーク
 - 水が安定に存在できる程. **温暖湿潤**な気候を持つ

古火星環境



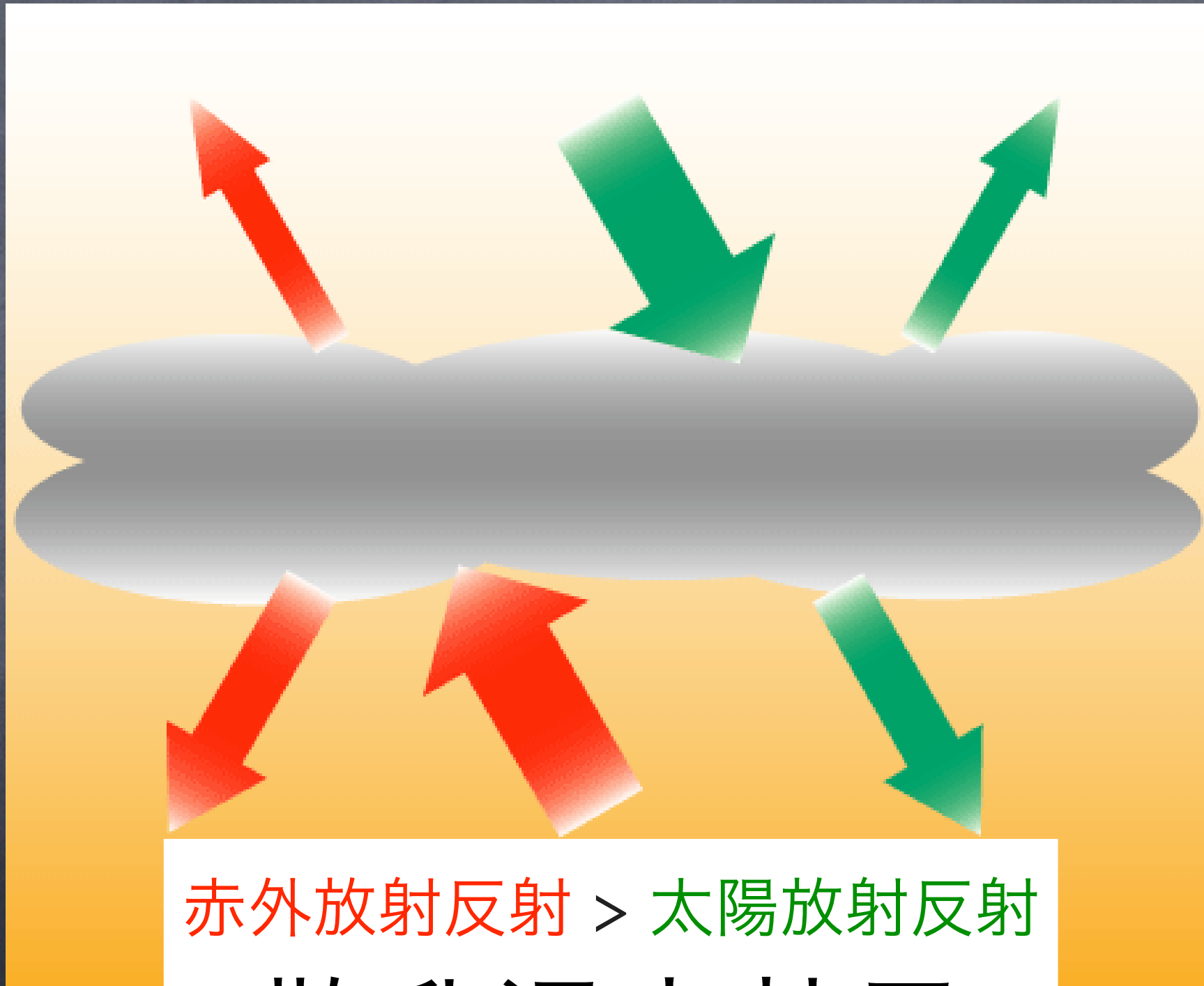
- 風化率が大きい
 - 今よりも**厚い**大気
- バレーネットワーク
 - 水が安定に存在できる程. **温暖湿潤**な気候を持つ

厚い二酸化炭素大気によって
強い温室効果が生じていた？

古火星環境での温室効果

- Pollack et al. 1987 (1D 放射対流平衡モデル)
 - 大気圧 > 5 atm で地表面温度 > 273 K .
- Kasting 1991 (1D 放射対流平衡モデル)
 - 大気圧 > 1 atm で大気凝結. 温室効果は弱まる.
- Pierrehumbert and Erick 1998 (雲放射モデル)
 - 雲粒半径 $\sim 10 \mu\text{m}$ (惑星放射波長域) では雲の散乱によって強い温室効果

氷雲の散乱による温室効果

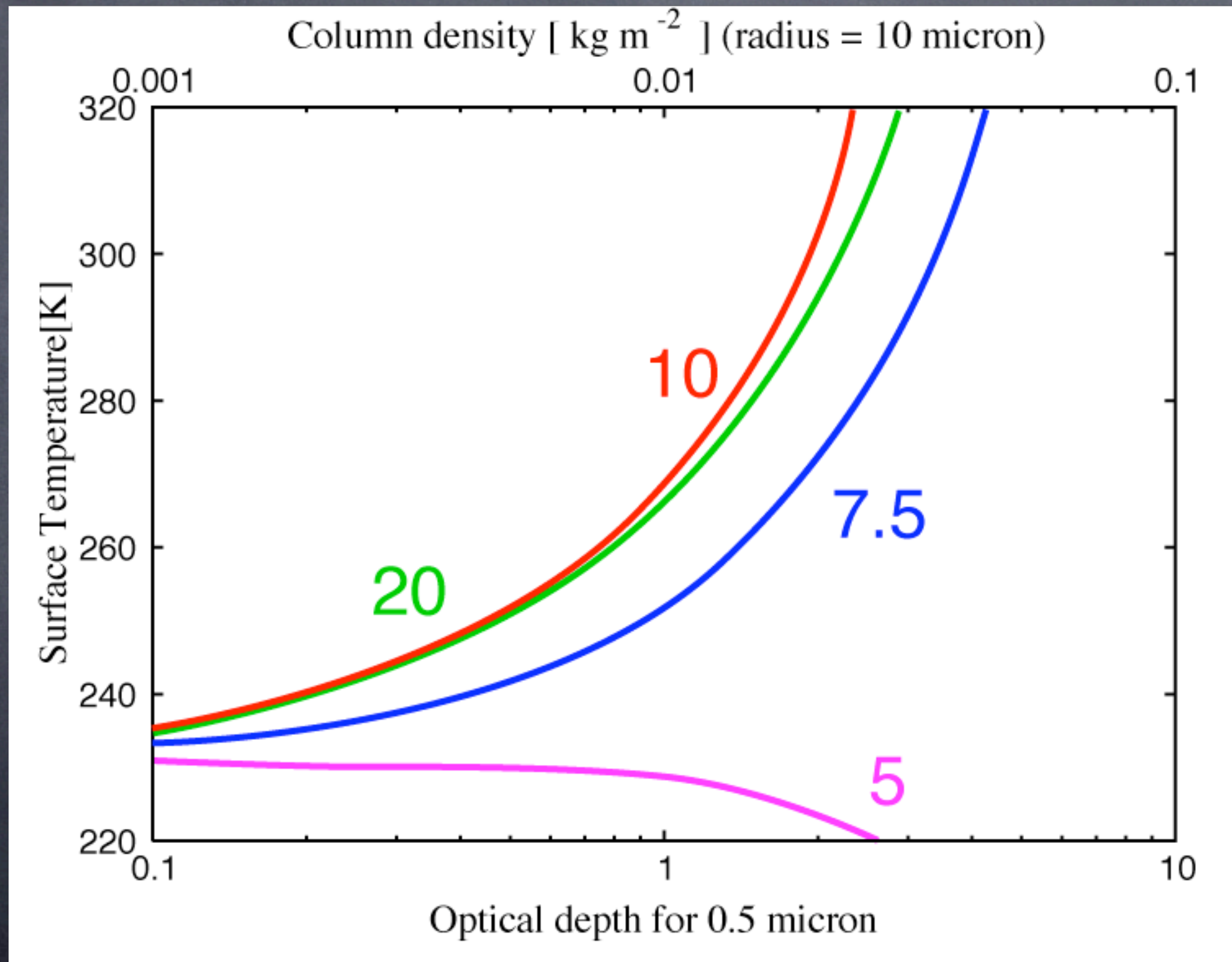


散乱温室効果

散乱温室効果問題の現状

- 適当な雲粒半径, 雲面密度をもてば**温暖湿潤な気候は再現可能**
 - Mischna et al, (2000)
 - 大朝・菊池 (惑星科学会)
- 雲粒半径, 面密度をどう見積もるか?
 - 温暖な気候を再現できるような値を持つことは可能?

平衡地表面温度 ($P_s = 1 \text{ atm}$)



散乱温室効果問題の現状

- 適当な雲粒半径, 雲面密度をもてば温暖湿潤な気候は再現可能
 - Mischna et al, (2000)
 - 大朝・菊池 (惑星科学会)
- 雲粒半径, 面密度をどう見積もるか?
 - 温暖な気候を再現できるような値を持つことは可能?

散乱温室効果問題の現状

- 適当な雲粒半径, 雲面密度をもてば温暖湿潤な気候は再現可能
 - Mischna et al, (2000)
 - 大朝・菊池 (惑星科学会)
- (雲粒半径,) 面密度をどう見積もるか?
 - 温暖な気候を再現できるような値を持つことは可能?

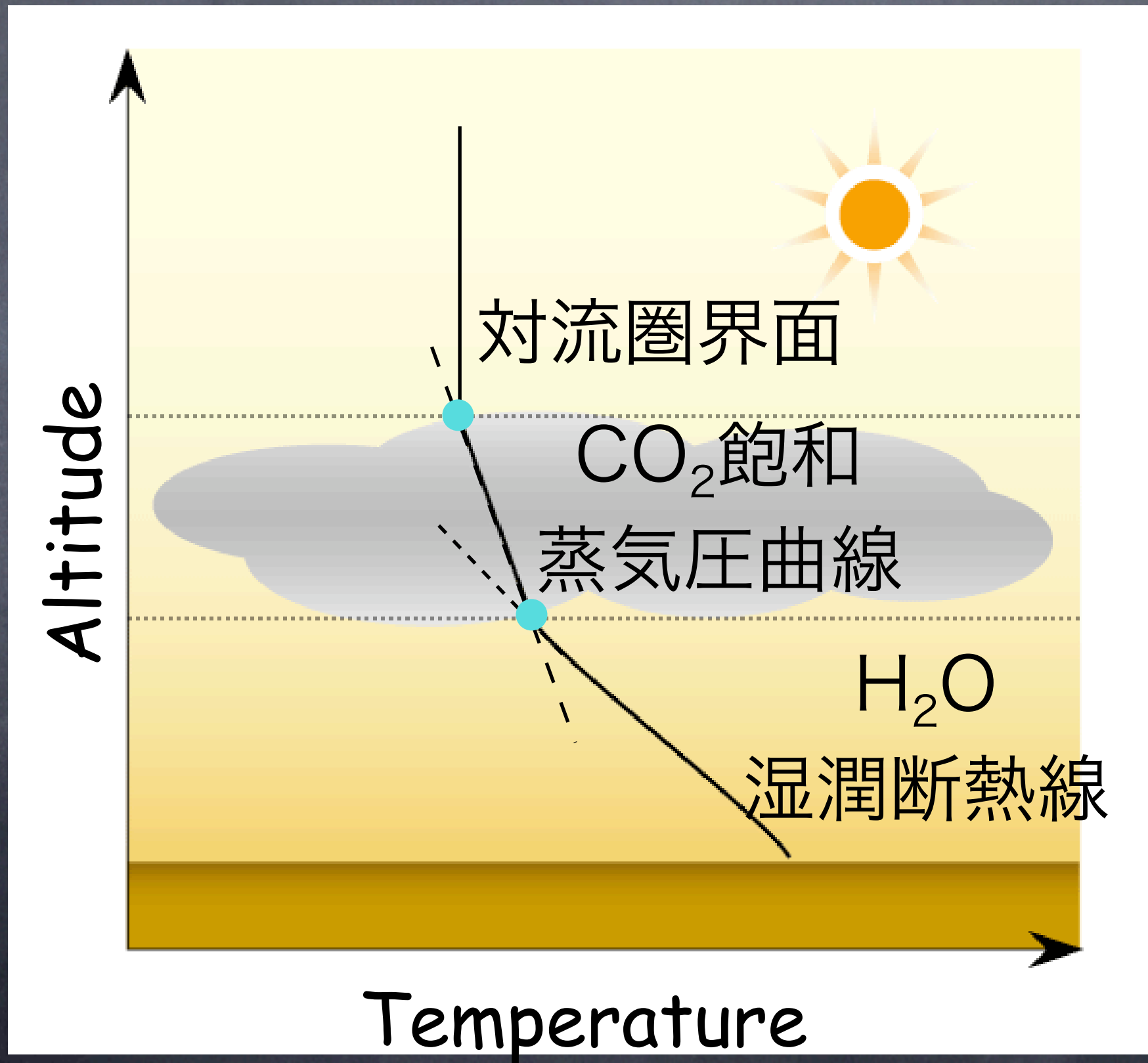
雲面密度の見積もり

- 雲面密度を変化させるメカニズム
 - 雲粒の成長(熱拡散過程)
 - 雲粒の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)

雲面密度の見積もり

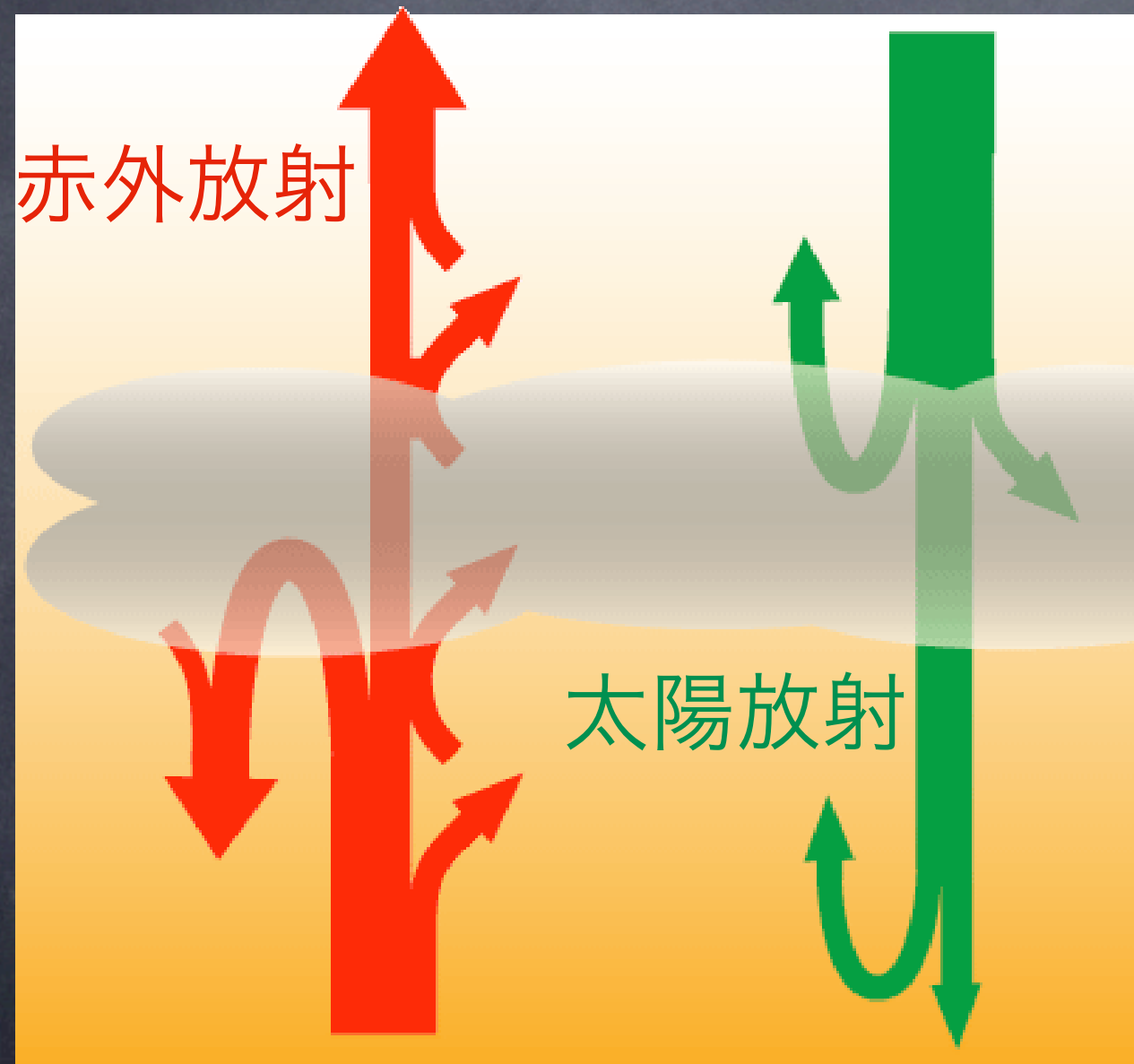
- 雲面密度を変化させるメカニズム
 - 雲粒の成長(拡散, 衝突過程)
 - 雲粒の沈降による雲層外への脱出
 - 放射過程における正味加熱(冷却)による蒸発(凝結)

モデル設定：鉛直温度構造



1D 放射モデル

* 太陽放射入射は全球年平均値
太陽光度は現在値の 0.75 倍



地表面アルベド: 0.2
(対太陽放射のみ)

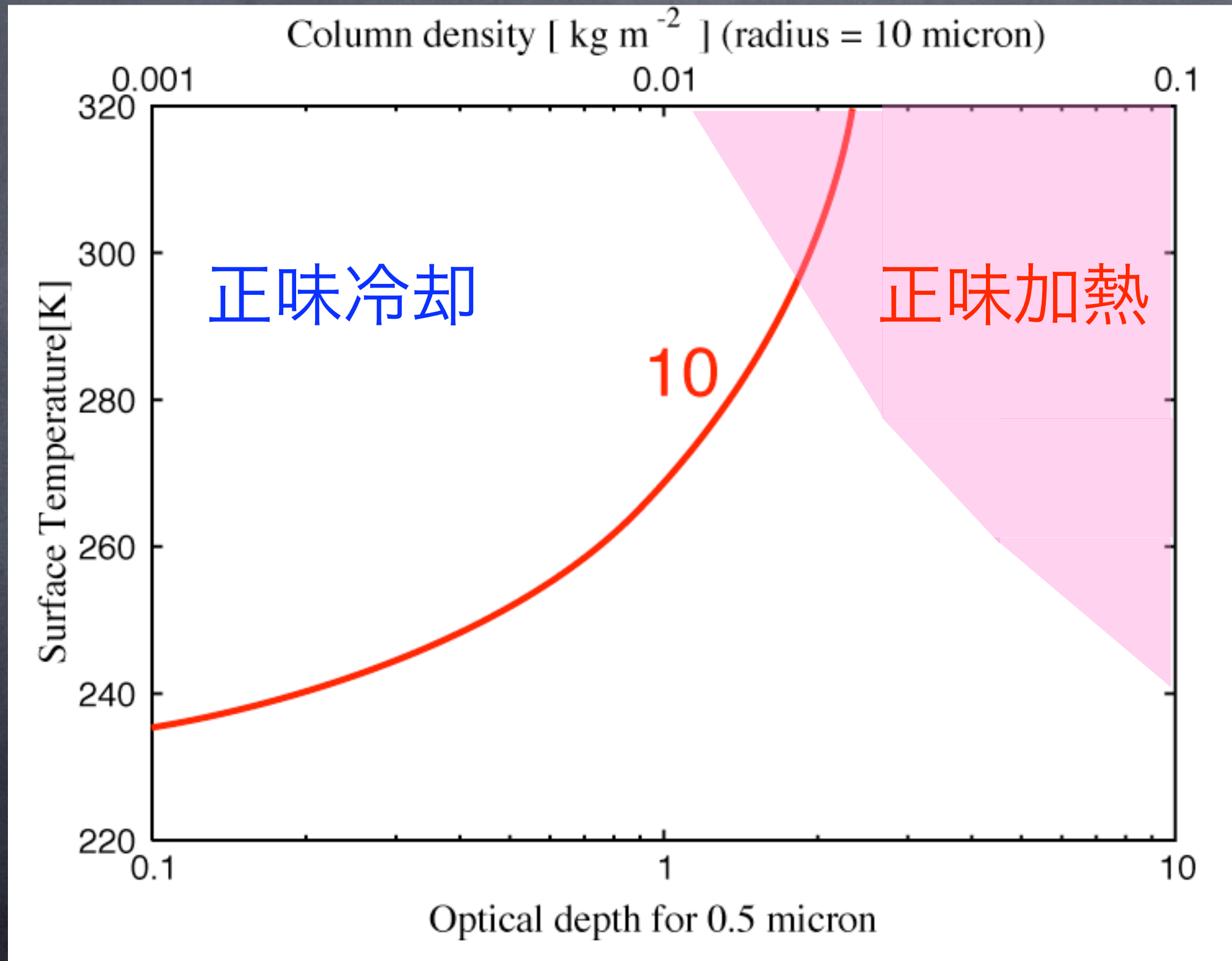
雲層: δ -エディントン近似
吸収/散乱(赤外/太陽)

* ミー理論(球形粒子を仮定)
CO₂復素屈折率(Warren, 1986)

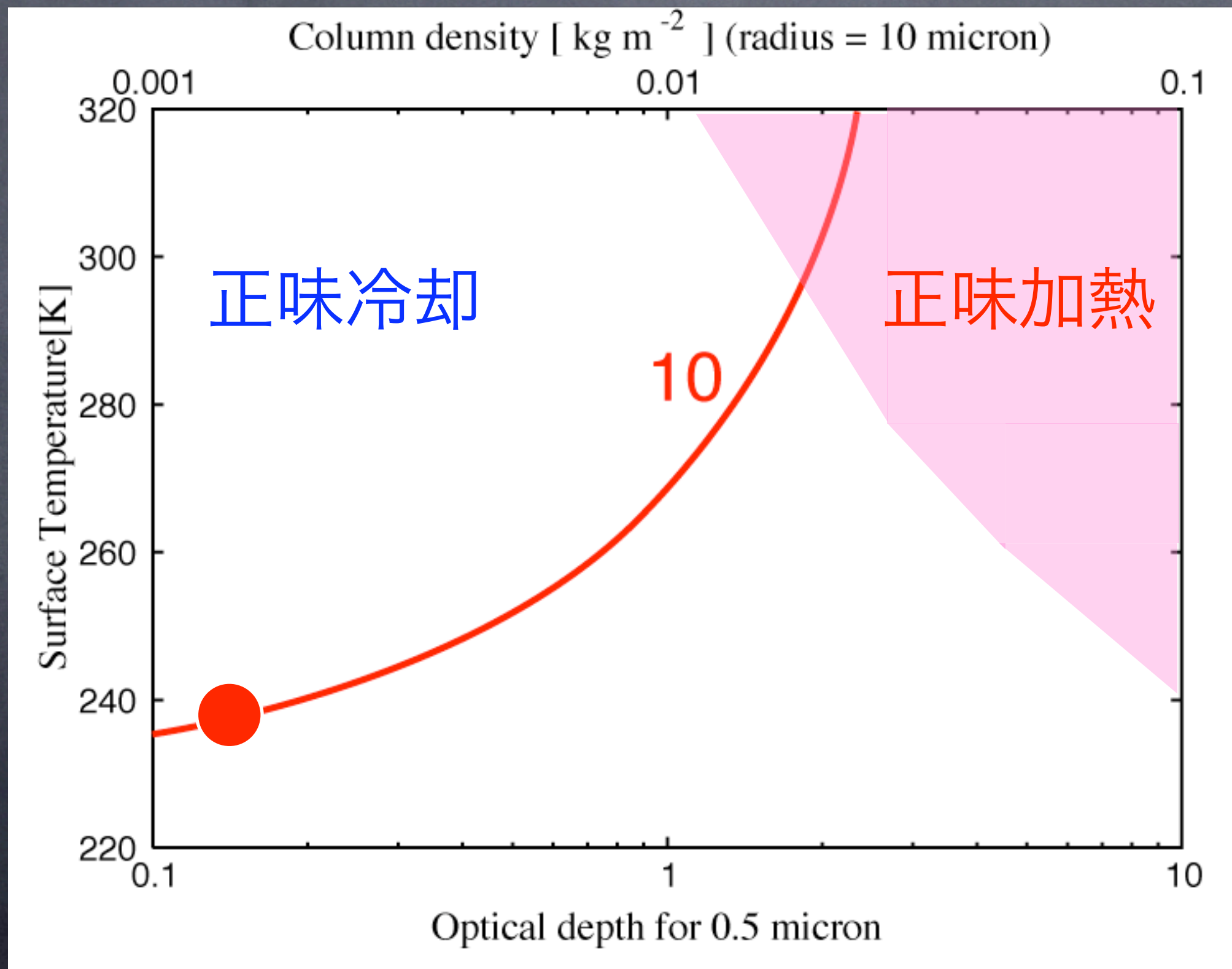
大気層: 二方向近似
吸収(赤外のみ)

* line by line 法
吸収線パラメータ(HITRAN)

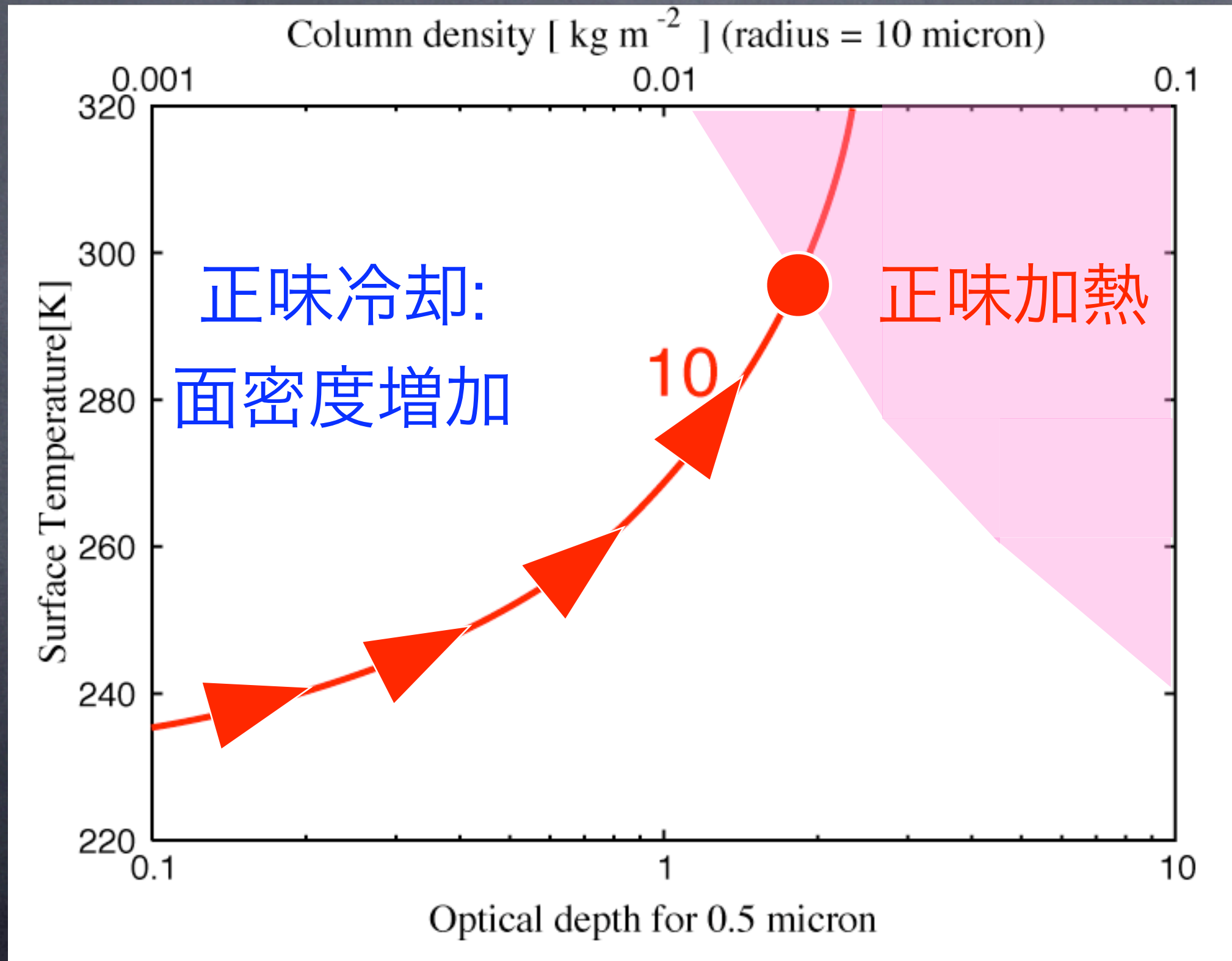
面密度の見積もり



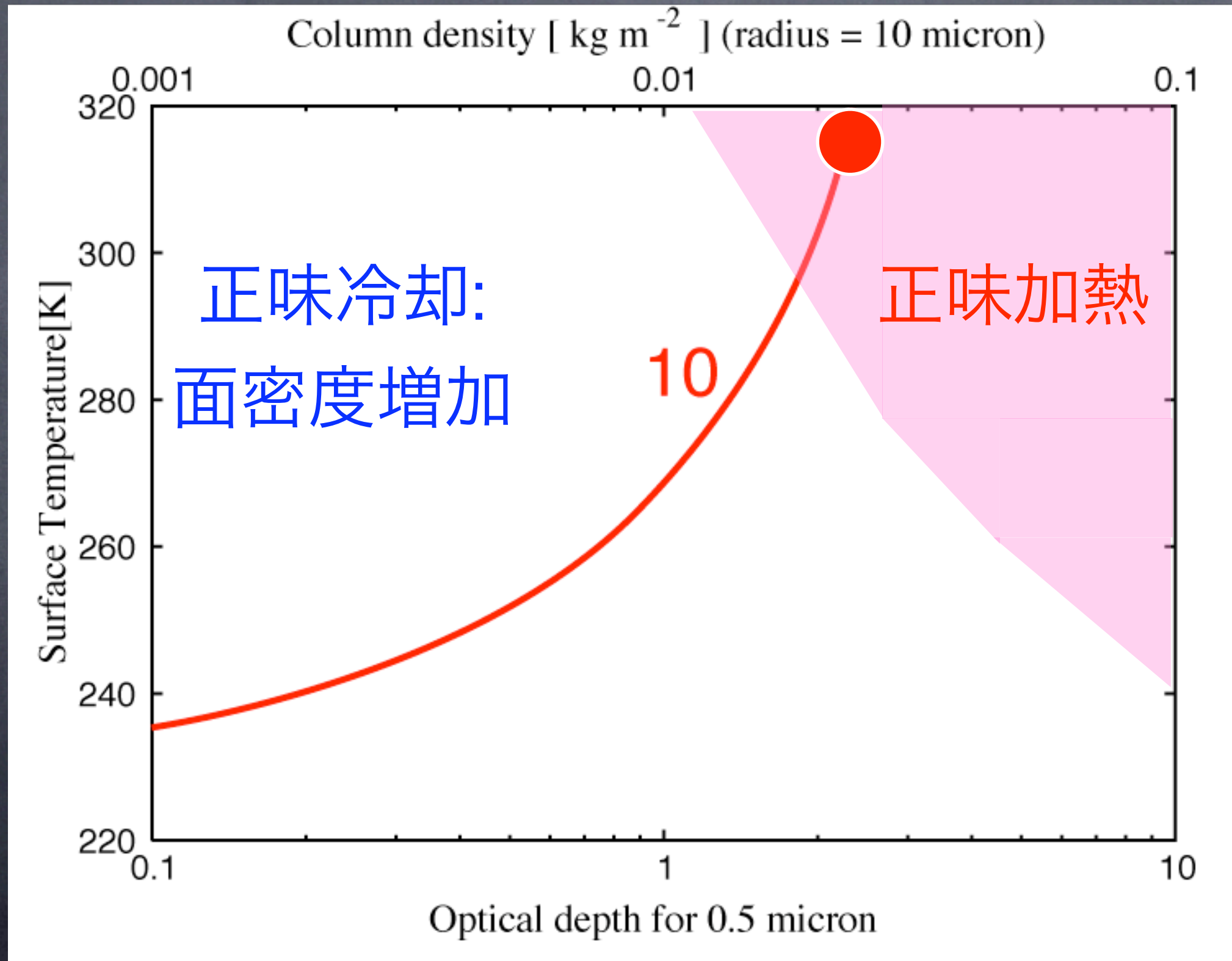
面密度の見積もり



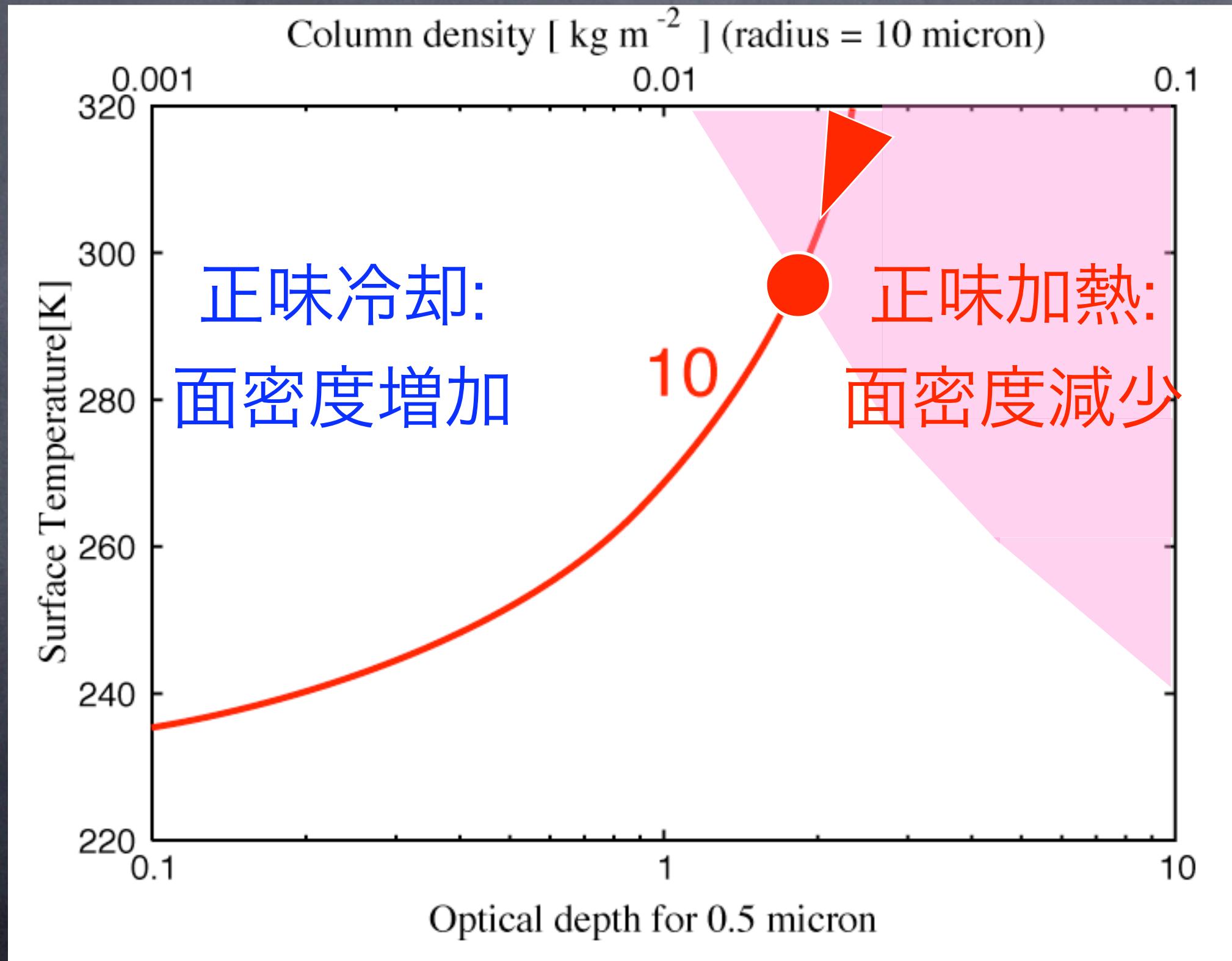
面密度の見積もり



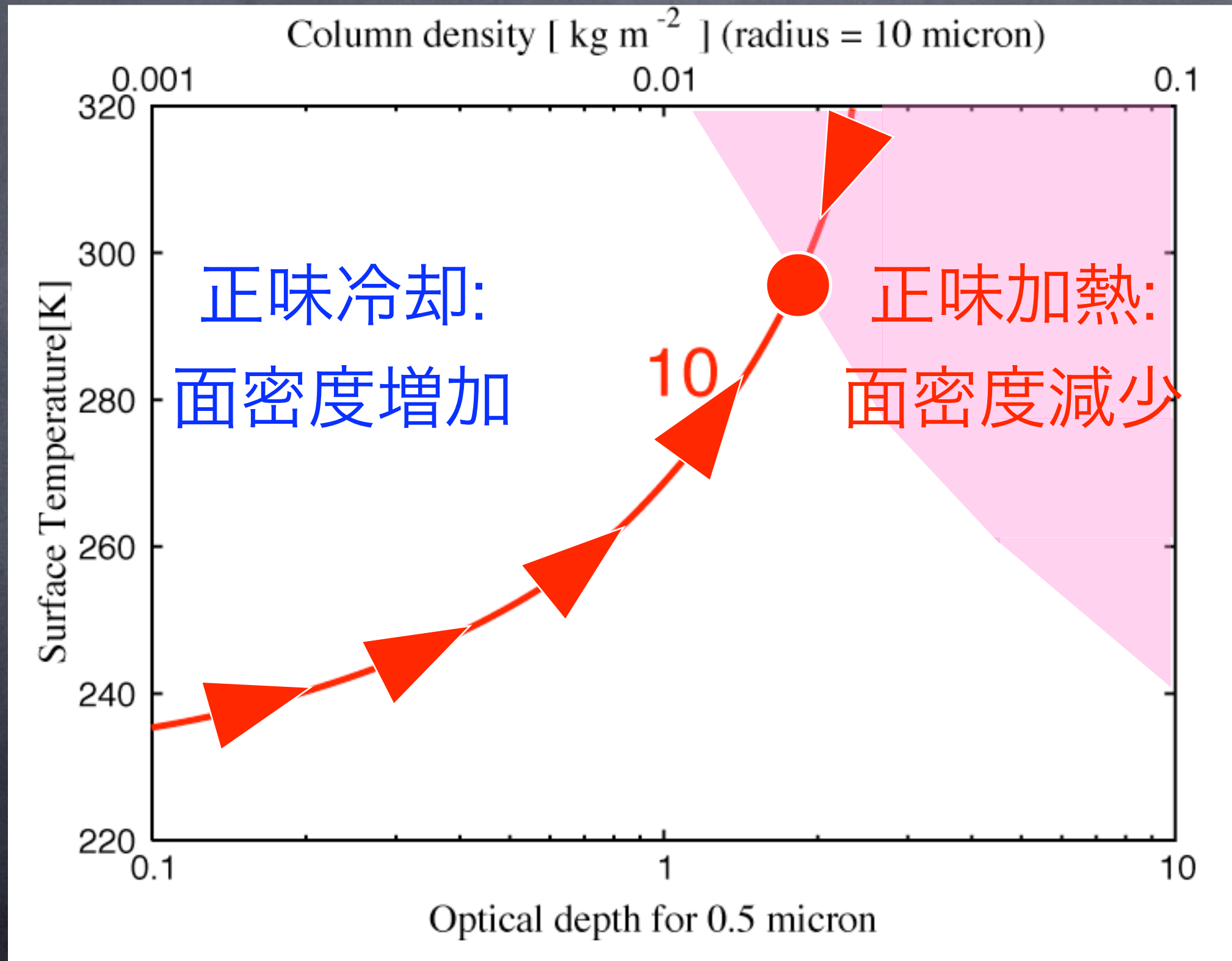
面密度の見積もり



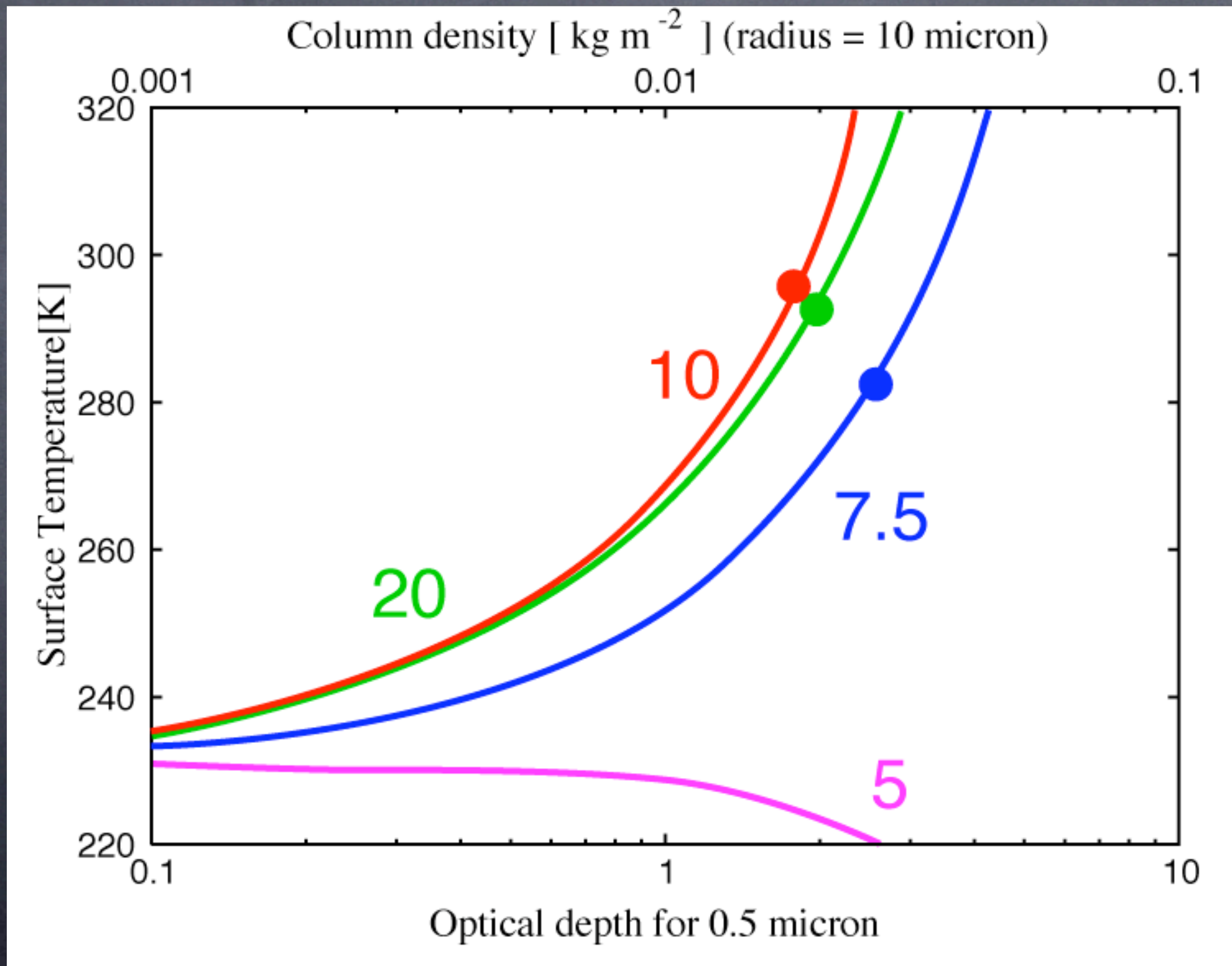
面密度の見積もり



面密度の見積もり



雲面密度の見積もり



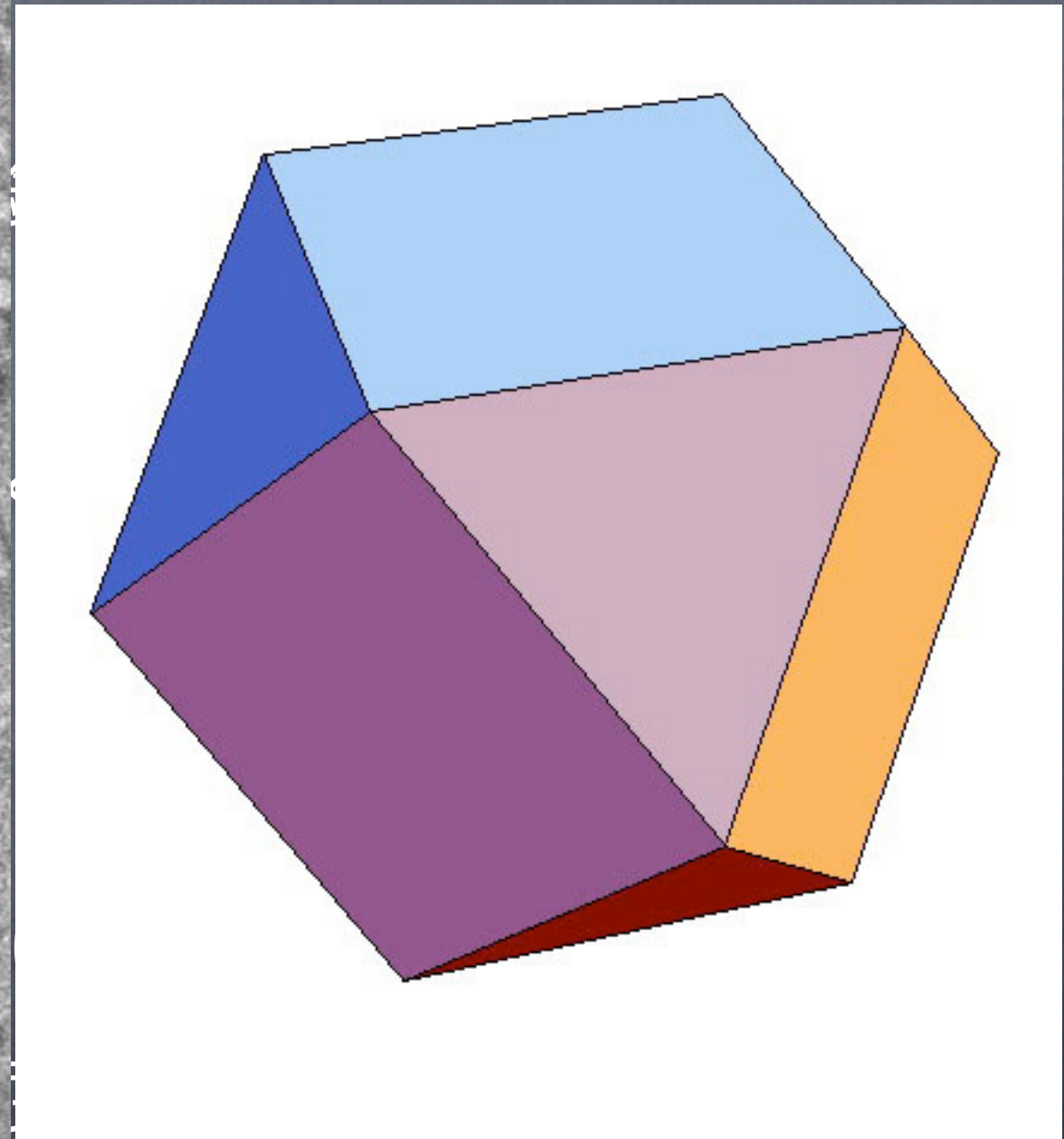
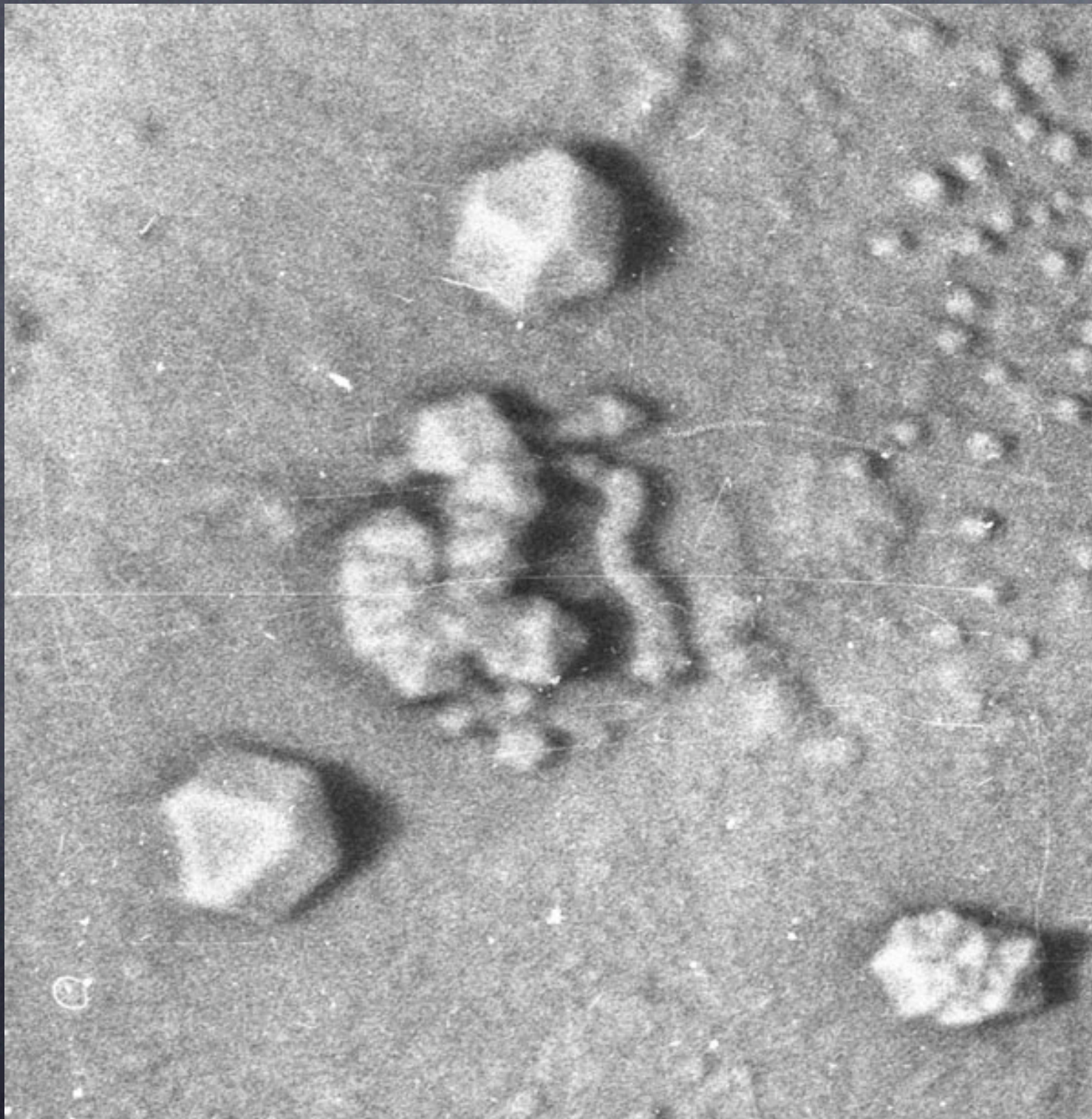
まとめ

- 散乱温室効果問題：雲パラメータの見積もりへ
 - 面密度の第一次近似の見積もり
 - $P_s = 1 \text{ atm}$, 粒子半径 $7.5 \sim 20 \mu\text{m}$ では $T_s \sim 280 \text{ K}$
 - この場合, 温暖湿潤な気候が再現される.
- 雲の正味加熱と面密度の負のフィードバック: 気候の安定化

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. 25 pp. 2650-2674

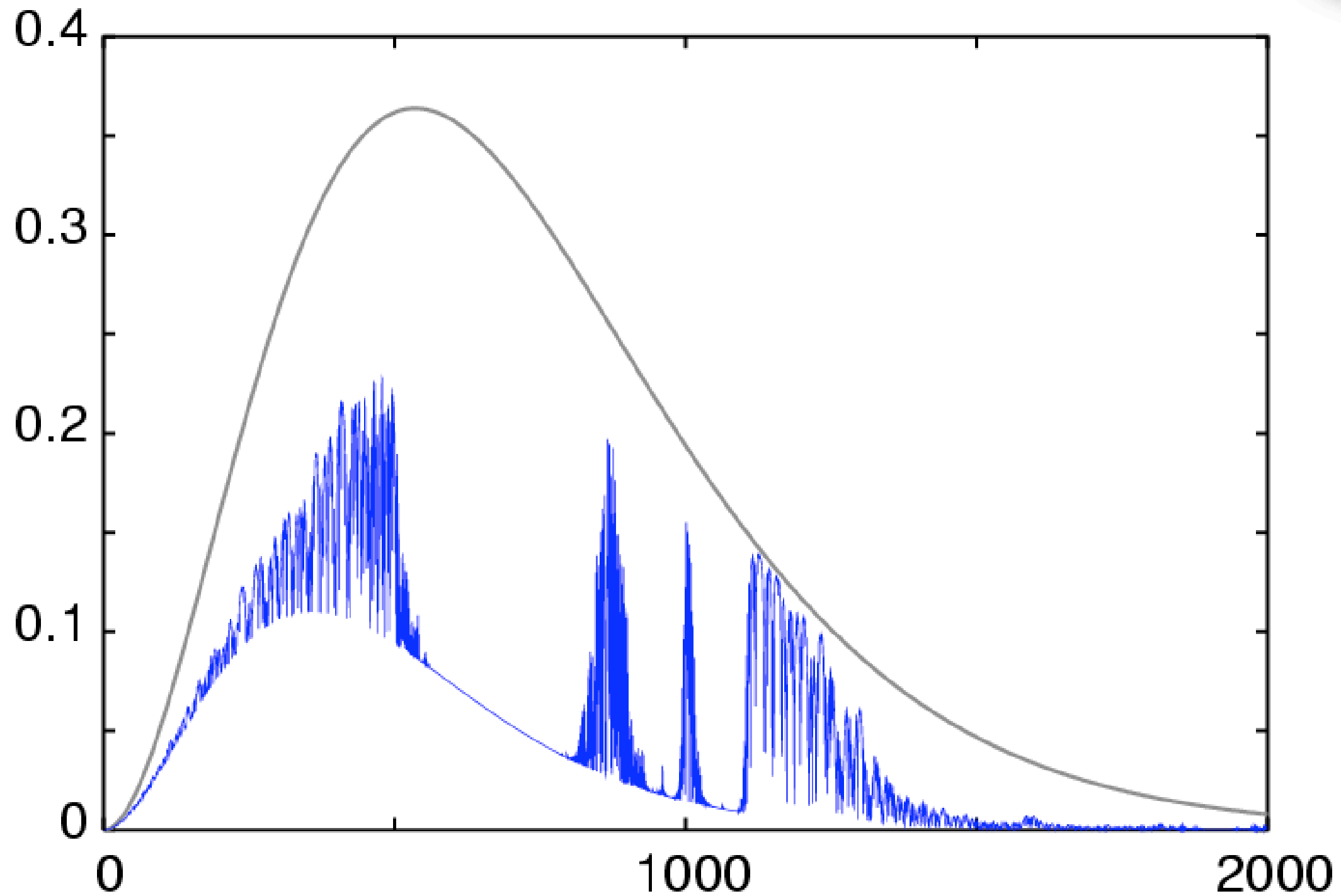
二酸化炭素の結晶構造



<http://www.exo.net/~pauld/Mars/4snowflakes/cuboctahedronrh400.jpeg>

<http://www.exo.net/~pauld/Mars/4snowflakes/snowflakes200.jpeg>

雲への入射スペクトル



地球型惑星の比較

	火星	地球	地球 (堆積岩)	金星
大気組成				
N2	2.7	78.1	1.0	1.8
O2	-	20.9	-	-
Ar	1.6	0.9	0.01	0.02
CO2	95.3	0.035	99.0	98.1
CO2 分圧 [bar]	6×10^{-3}	10^{-4}	80	90