

湿潤古火星大気における 二酸化炭素氷雲の安定性と 散乱温室効果

*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)

形成初期の火星(38億年前)

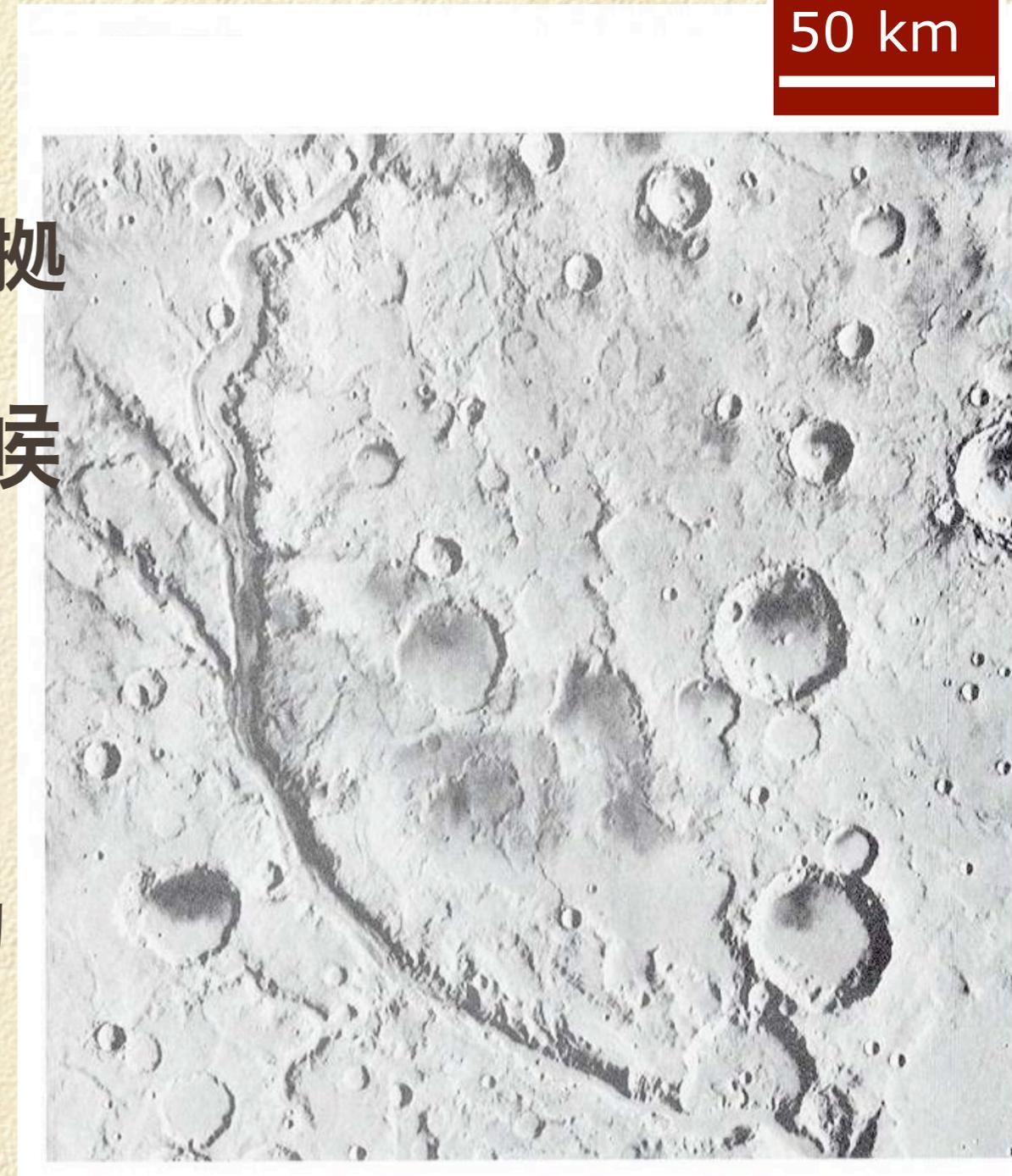
- 温暖湿潤な気候

- 水が安定に存在した地形的証拠

- CO₂-H₂O 大気で温暖な気候が再現できるか?

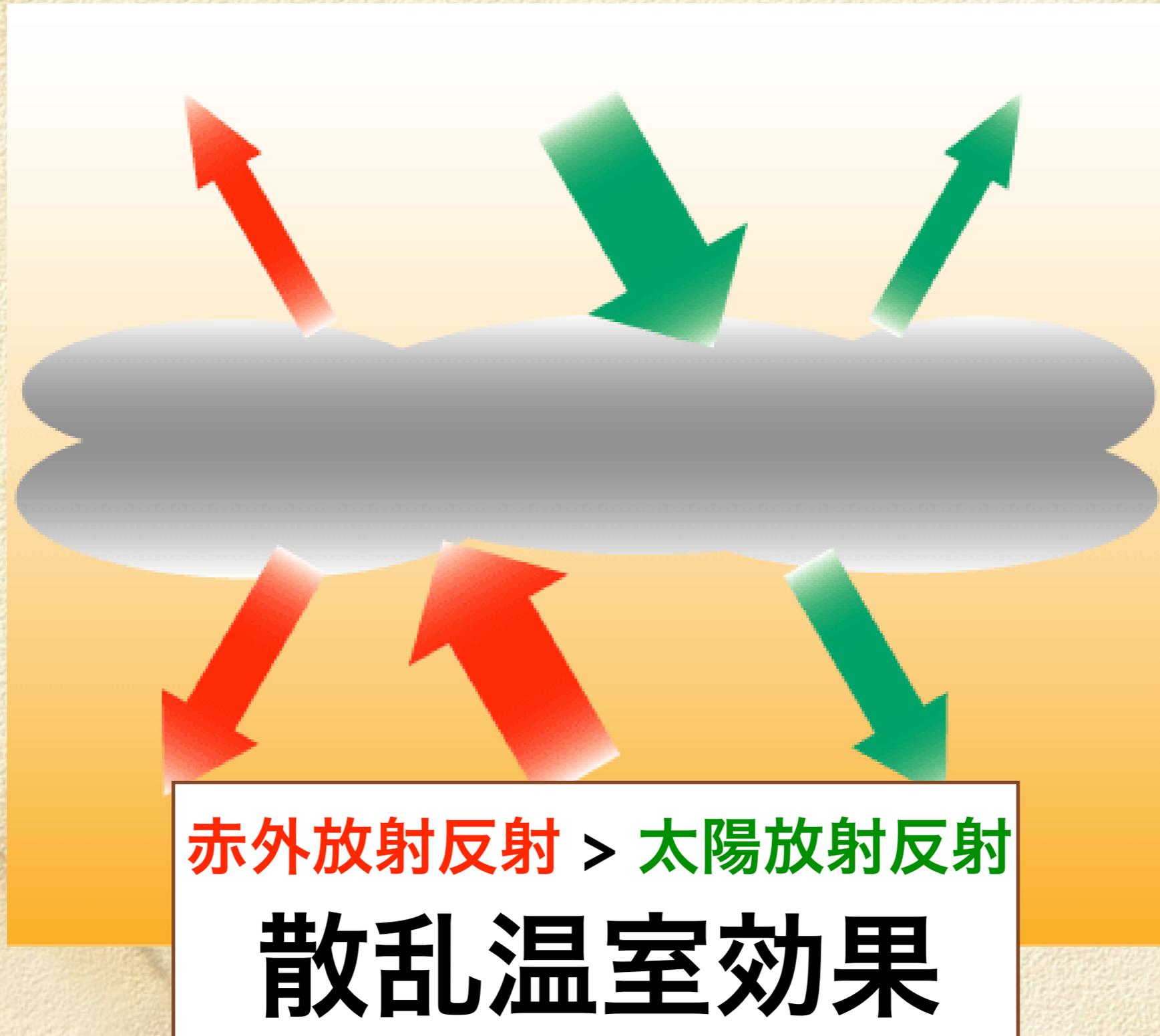
- 太陽光度：現在の 0.75 倍

- 大気上層でCO₂凝結：温室効果弱まる (Kasting 1991)



バレーネットワーク

氷雲の散乱による温室効果 (Pierrehumbert and Erlick, 1998)



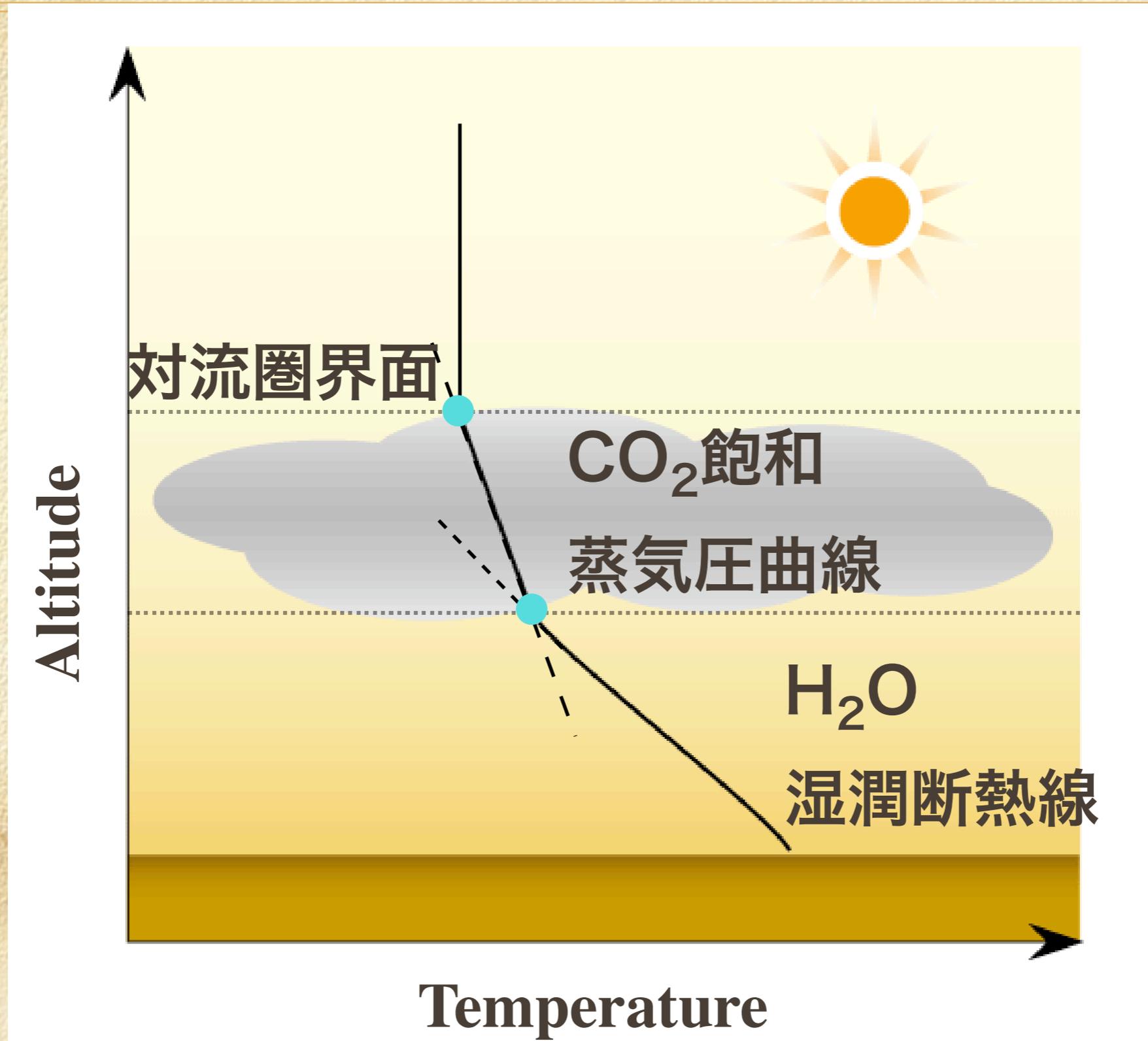
雲の存在可能性

- 強い放射加熱を受け, 雲が蒸発する可能性 (2004 年合同大会)
 - 地表面温度 $> 260 \text{ K}$ かつ
雲面密度 $> 0.032 \text{ kg m}^{-2}$ で蒸発
(大気圧 1 atm , 雲粒半径 $10 \mu\text{m}$)
 - ただし, 地表面温度はパラメータ
 - 温室効果は評価せず

本研究の目的

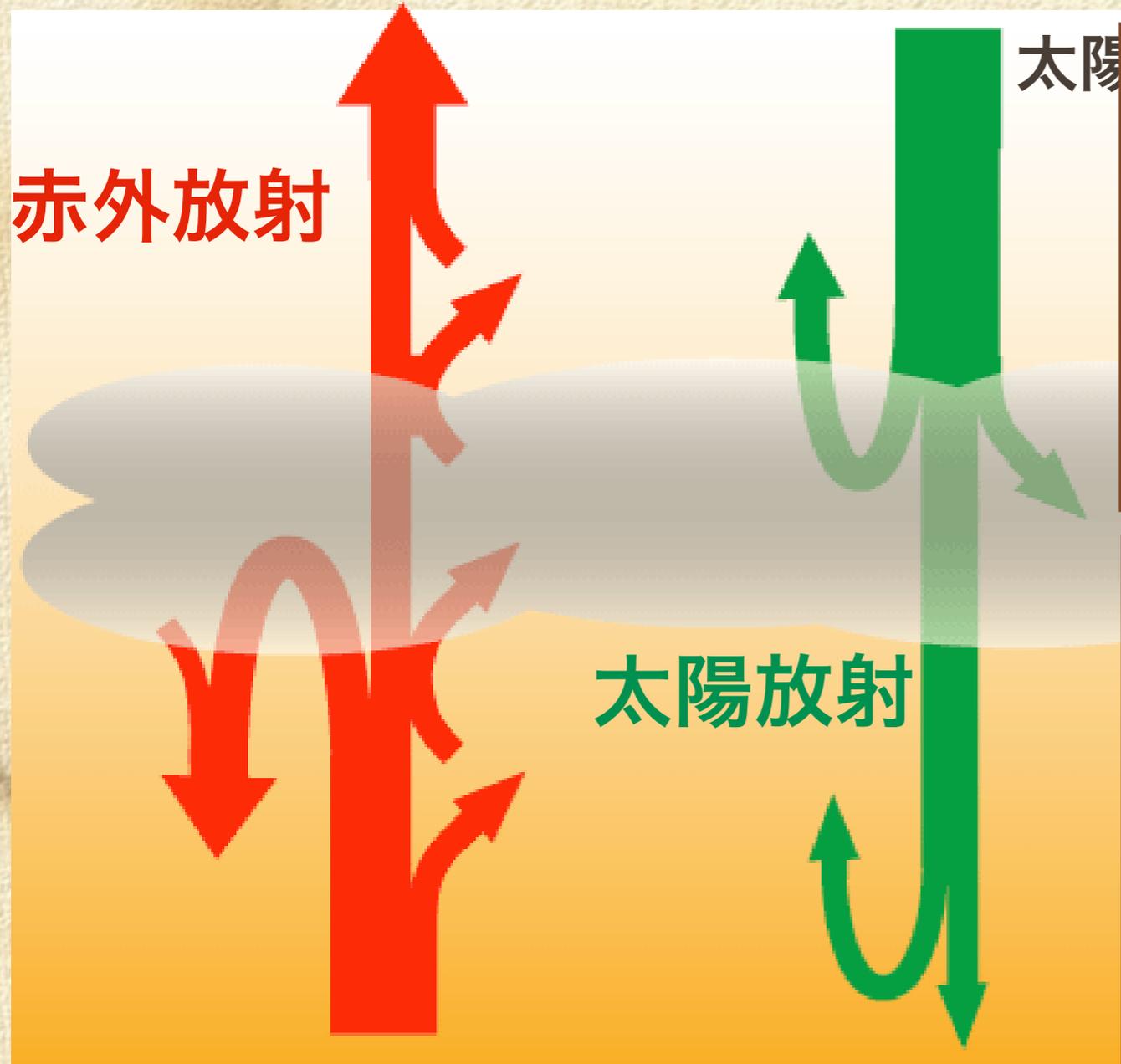
- 平衡地表面温度を計算
 - 放射対流平衡
 - 温暖な気候を再現する雲面密度, 雲粒半径条件
- 雲層の放射加熱に対する安定性が温室効果にどのような役割を持つのか検討

モデル設定:鉛直温度構造



鉛直一次元放射モデル

* 太陽放射入射は全球年平均値



太陽

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複素屈折率(Warren, 1986)

大気層：二方向近似

吸収(赤外のみ)

* line by line 法

CO₂, H₂O 吸収線パラメータ

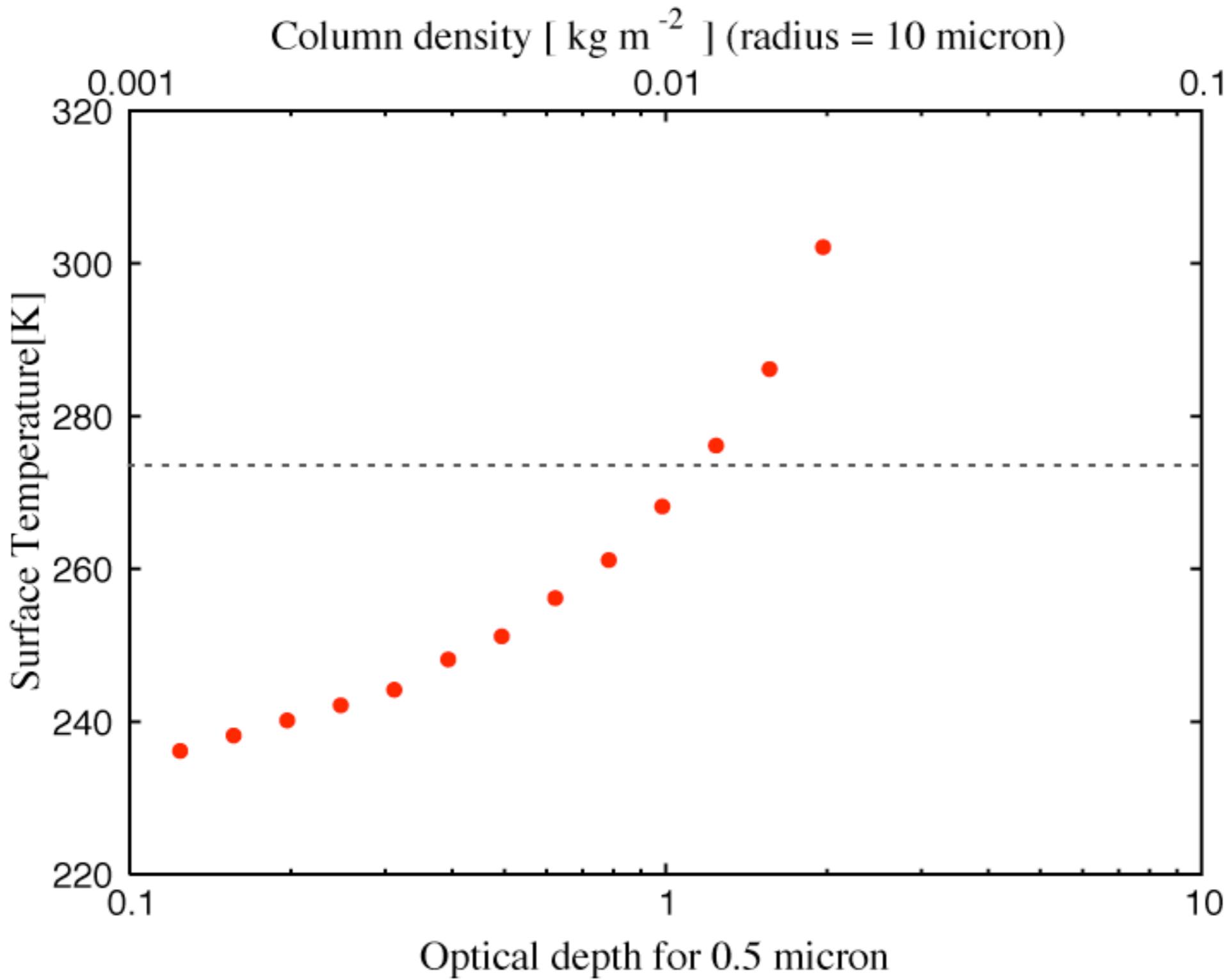
(HITRAN 2000)

地表面アルベド: 0.2

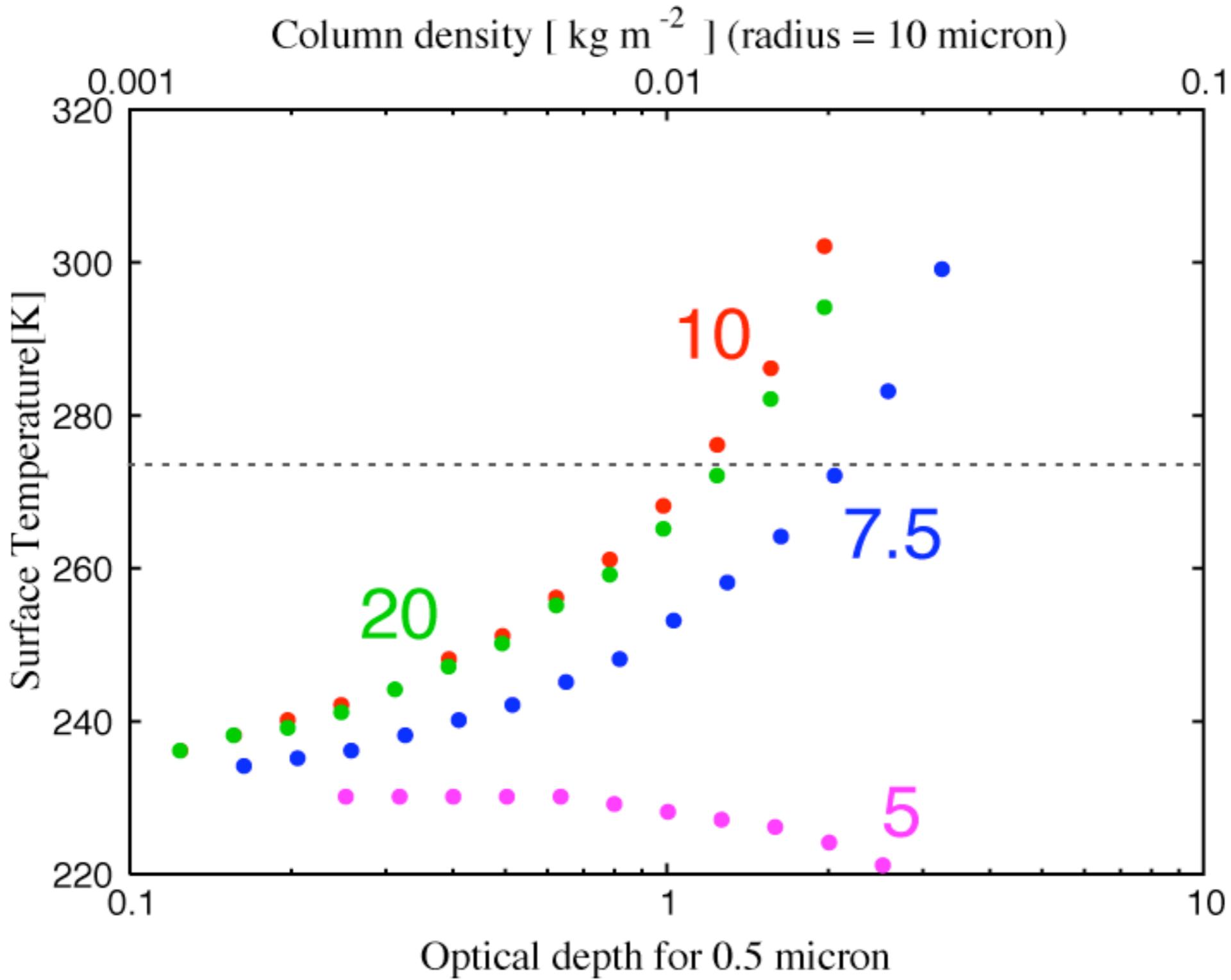
(対太陽放射のみ)

平衡地表面温度

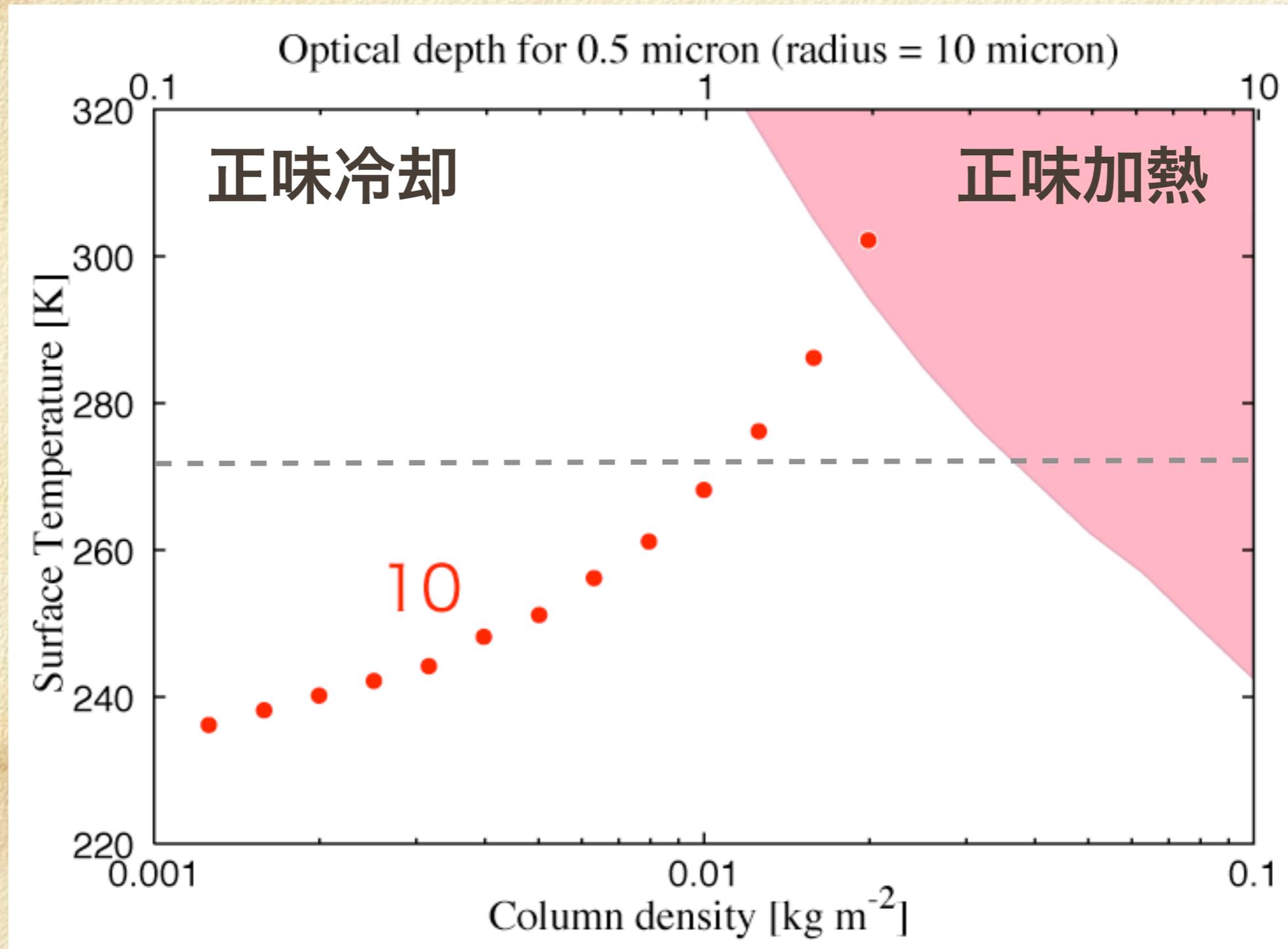
($P_s = 10^5$ Pa, 粒子半径 $10 \mu\text{m}$)



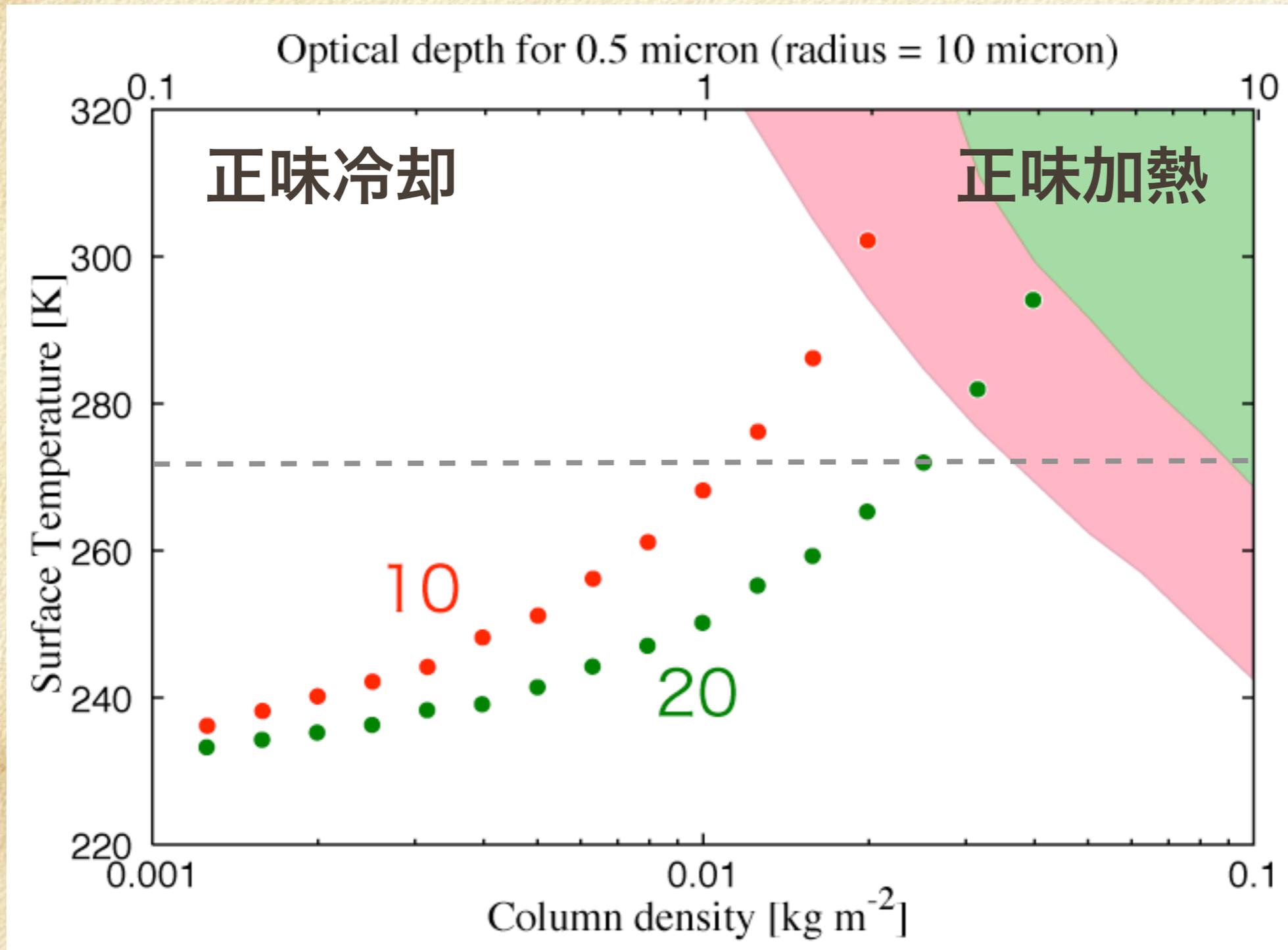
平衡地表面温度 ($P_s = 10^5 \text{ Pa}$)



雲の安定性と平衡地表面温度 ($P_s = 10^5 \text{ Pa}$)



雲の安定性と平衡地表面温度 ($P_s = 10^5 \text{ Pa}$)



まとめ

- 温暖湿潤な気候を生じさせる雲の条件
 - 粒子径 $7.5 \sim 20 \mu\text{m}$
 - 光学的厚さ ~ 2
- 雲層の加熱冷却率と雲面密度のフィードバックが雲面密度，粒子径をコントロールし，気候の安定化に寄与したかもしれない。
 - $\sim 290 \text{ K}$ (粒子径 $10 \mu\text{m}$)

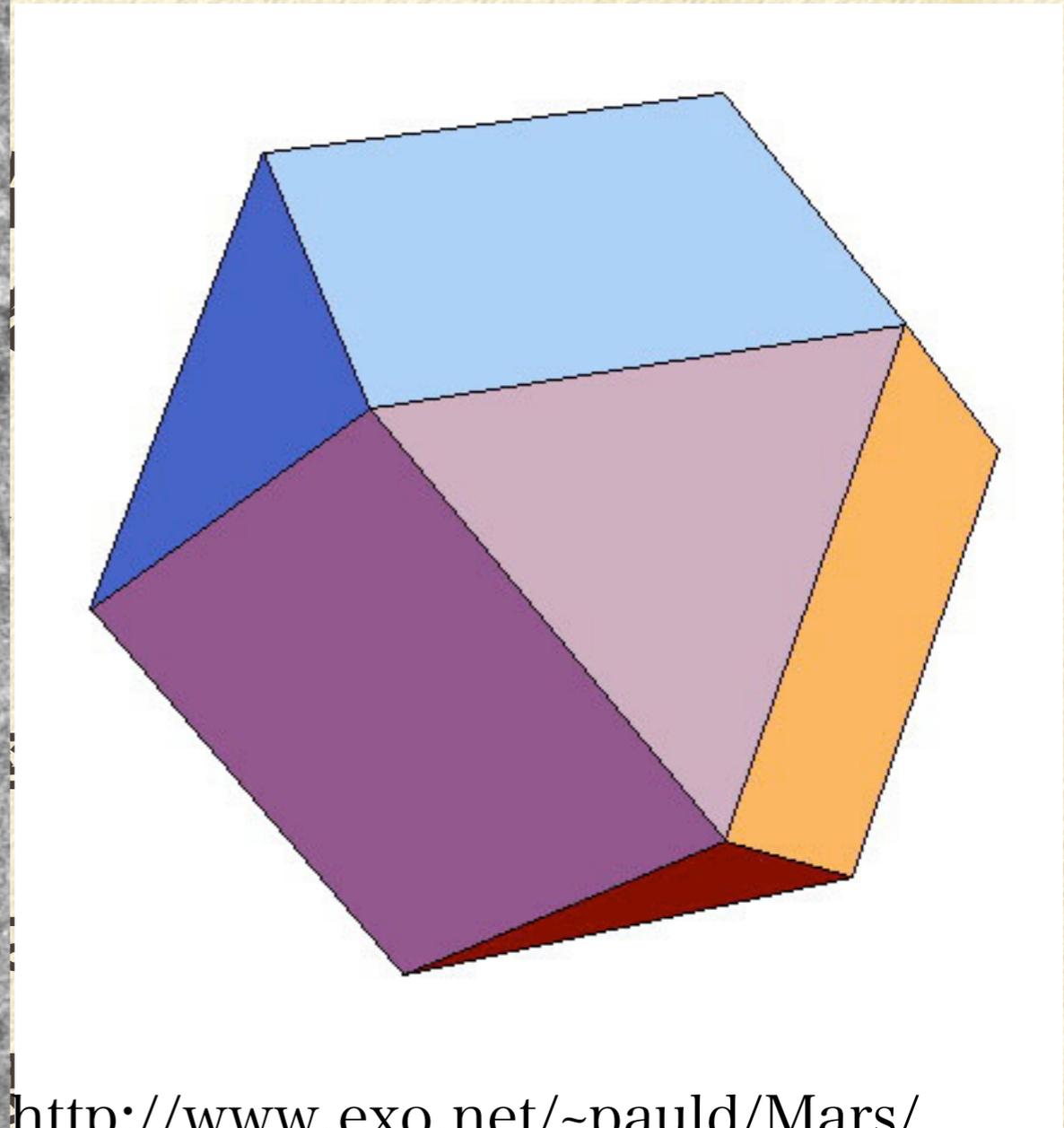
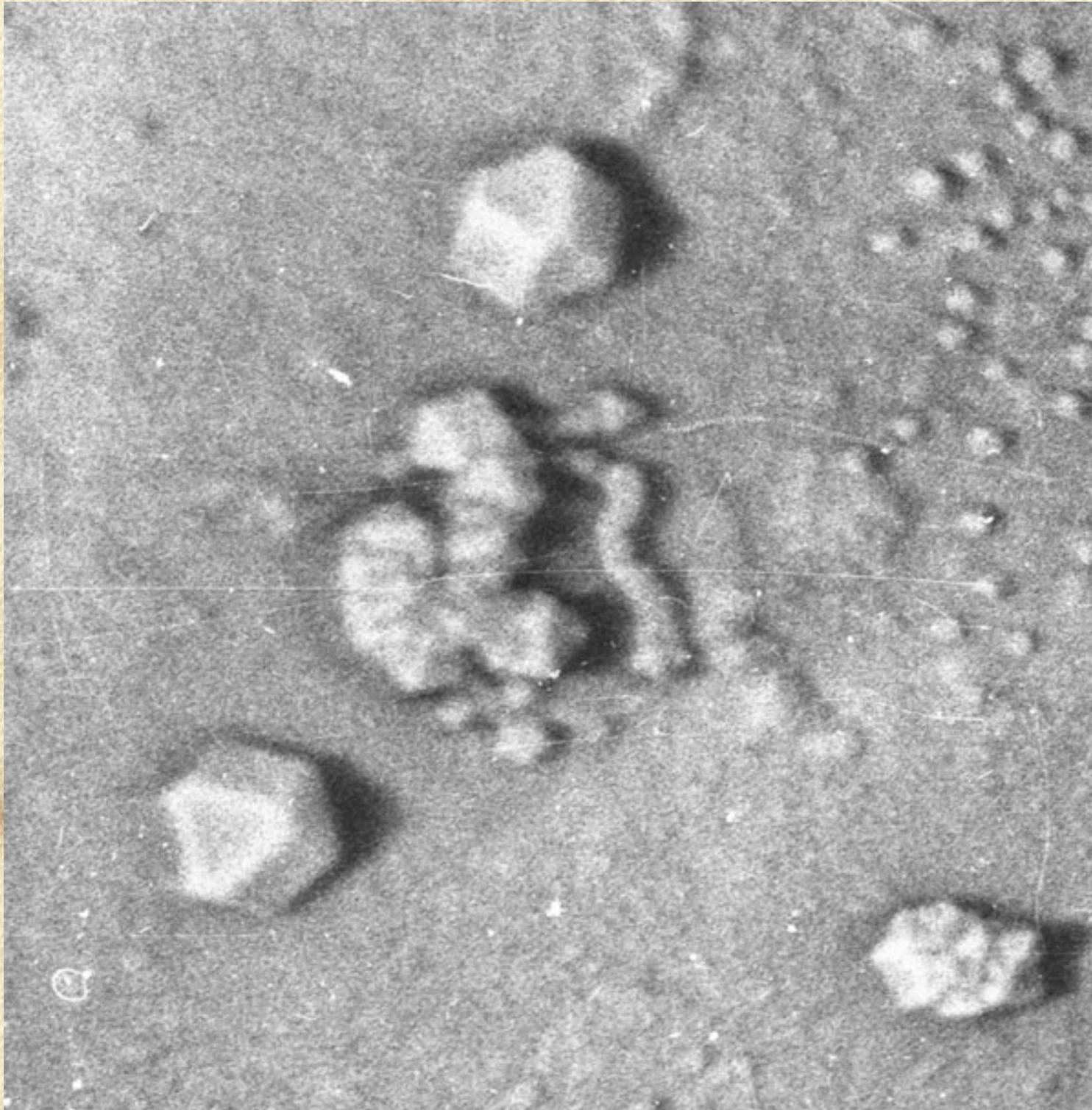
参考文献

- 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

今後の方針

- 大気放射伝達過程
 - 太陽放射波長域, 雲層の大気
- 雲の微物理過程
 - 拡散 + 衝突成長, 落下
 - Colaprete and Toon (2003)
 - 粒径, 面密度の鉛直分布

二酸化炭素氷の結晶



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

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

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

火星環境 現在 VS 形成初期

バレーネットワーク



50 km

形成初期

高い
(風化率大)

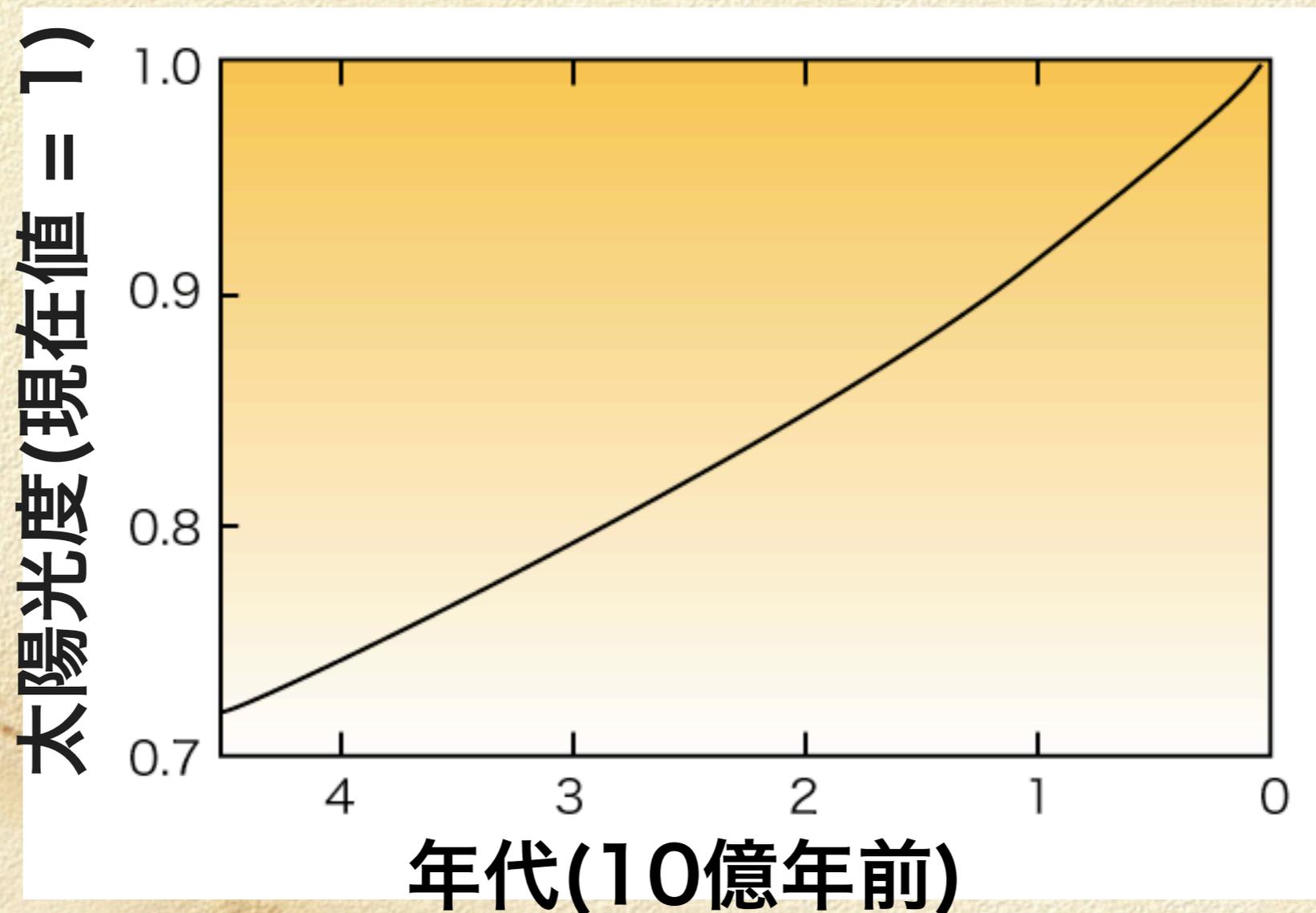
CO₂
(光化学的に安定)

液体の水が存在可能
(バレーネットワーク)

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



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 : CO₂ (95%)
- ❑ 大気圧 : 0.006[atm]
- ❑ 地表面温度 : 215 [K]
- ❑ 乾燥, 寒冷な気候

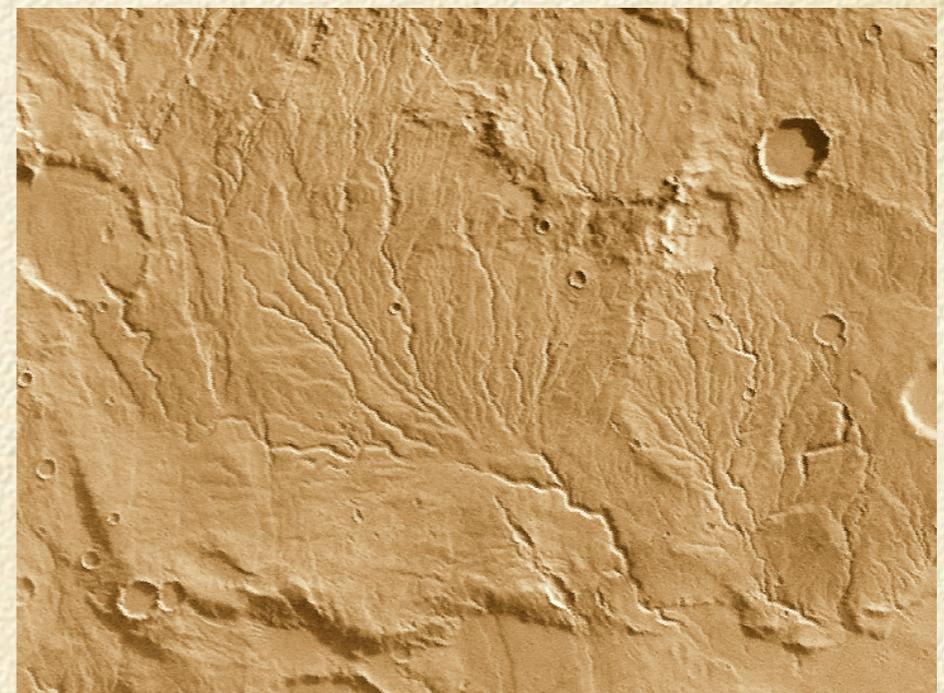
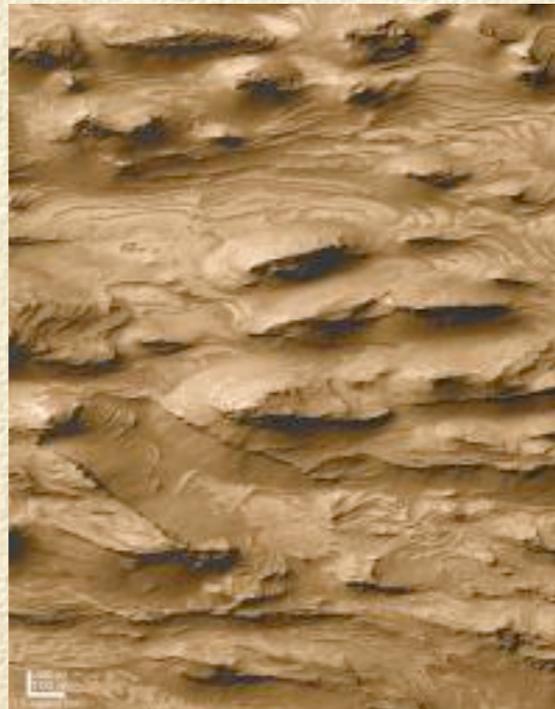
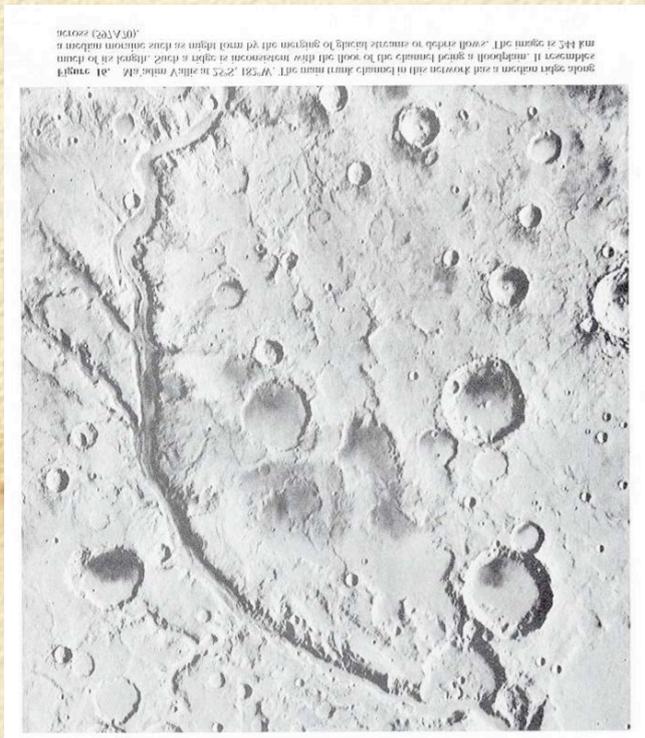
<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA03154>(BY HST)



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

暗い太陽のパラドックス

- 火星の場合：
 - 形成初期は温暖湿潤な気候
 - それ以降もたびたび温暖な気候が出現



雲への入射スペクトル(赤外)

($P_s = 10^5$ [Pa], $T_s = 273$ [K])

