

原始火星環境における CO₂氷雲の散乱温室効果

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

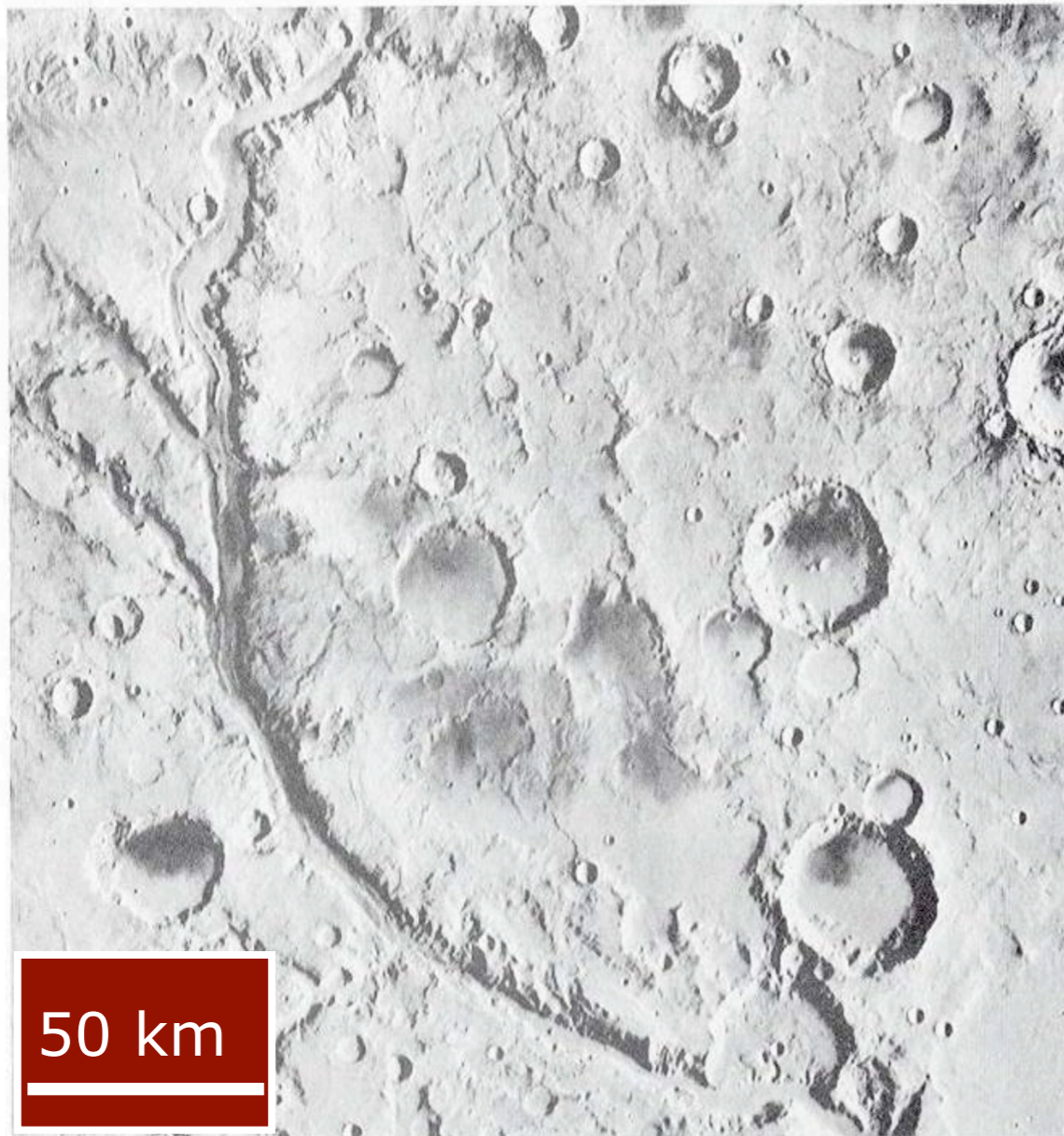
<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA03154>(BY HST)



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

火星環境 現在 VS 形成初期

バレーネットワーク



大
地

形成初期

高い
(風化率大)

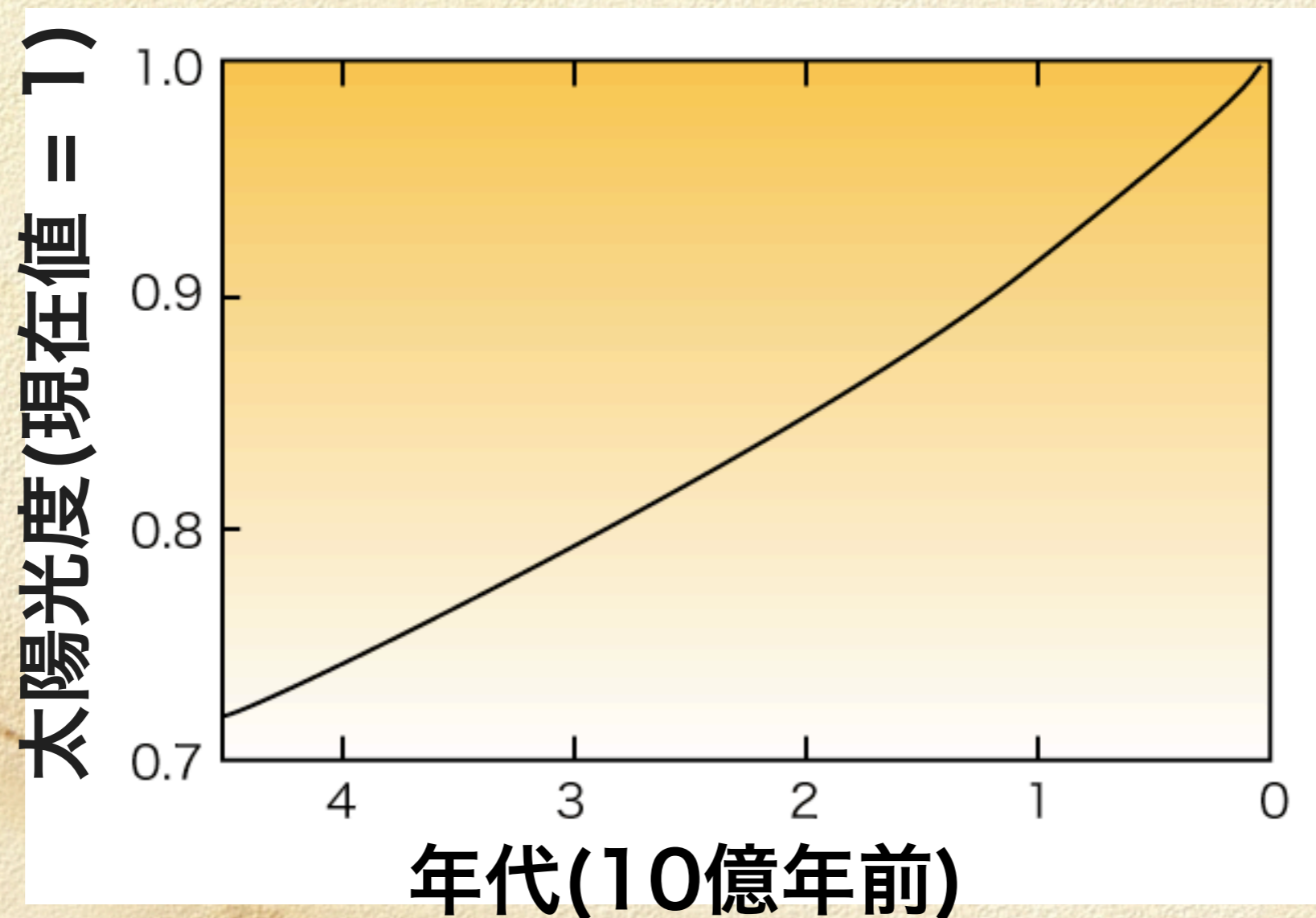
CO₂
(光化学的に安定)

液体の水が存在可能
(バレーネットワーク)

温暖, 湿潤

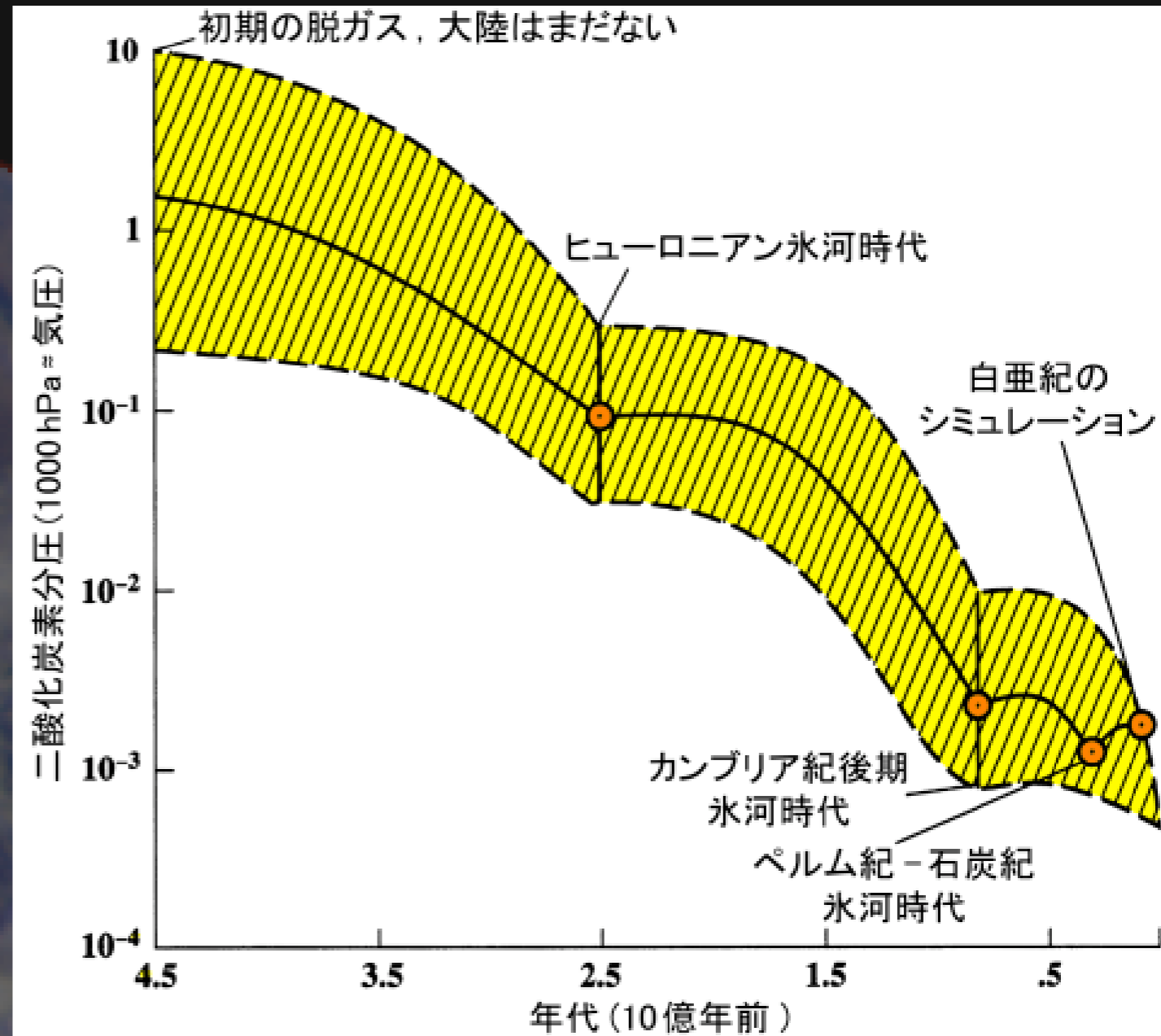
暗い太陽のパラドックス

- 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



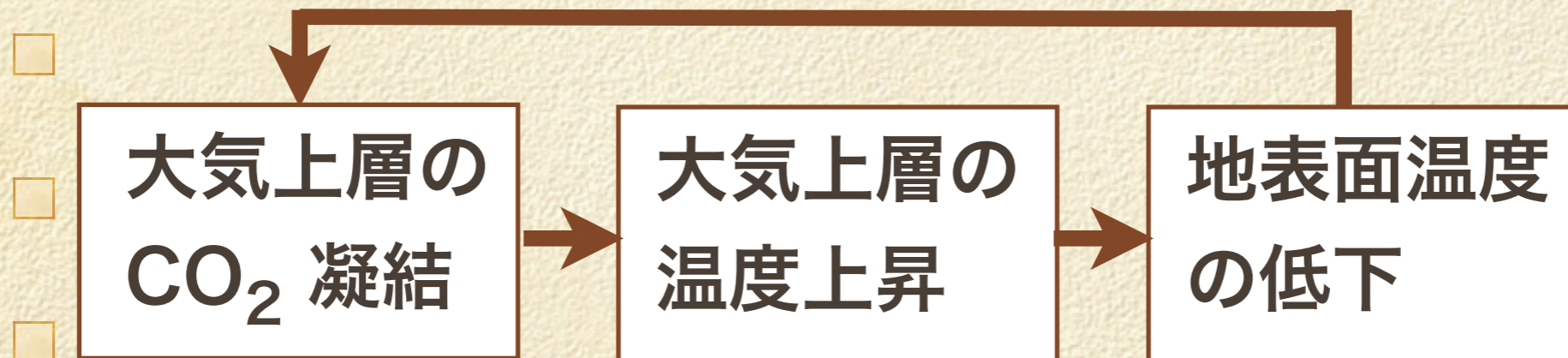
暗い太陽のパラドックス (地球の場合)

- 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)
 - 大気上層で CO_2 凝結, 暴走冷却



* 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

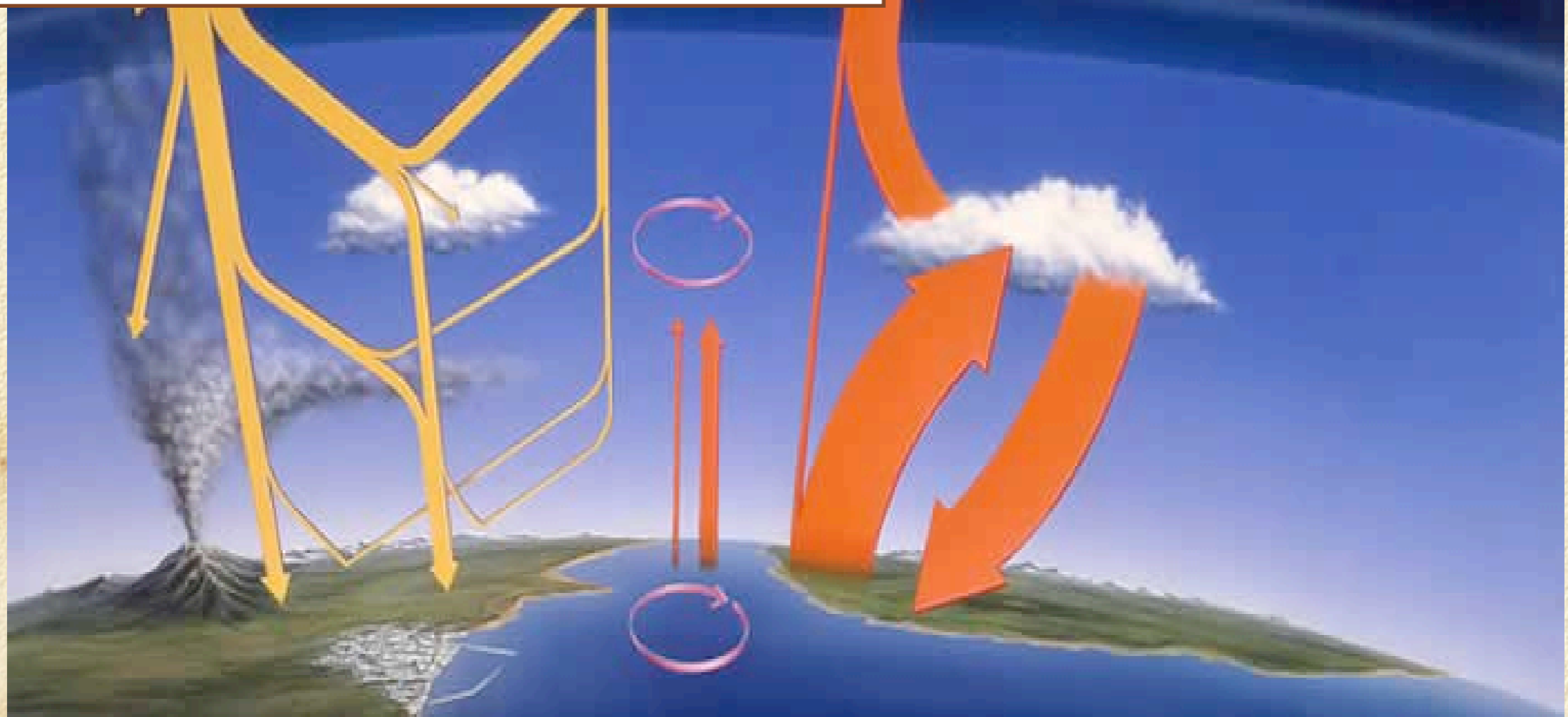
3. 雲による温室効果

- 雲の放射特性を考慮

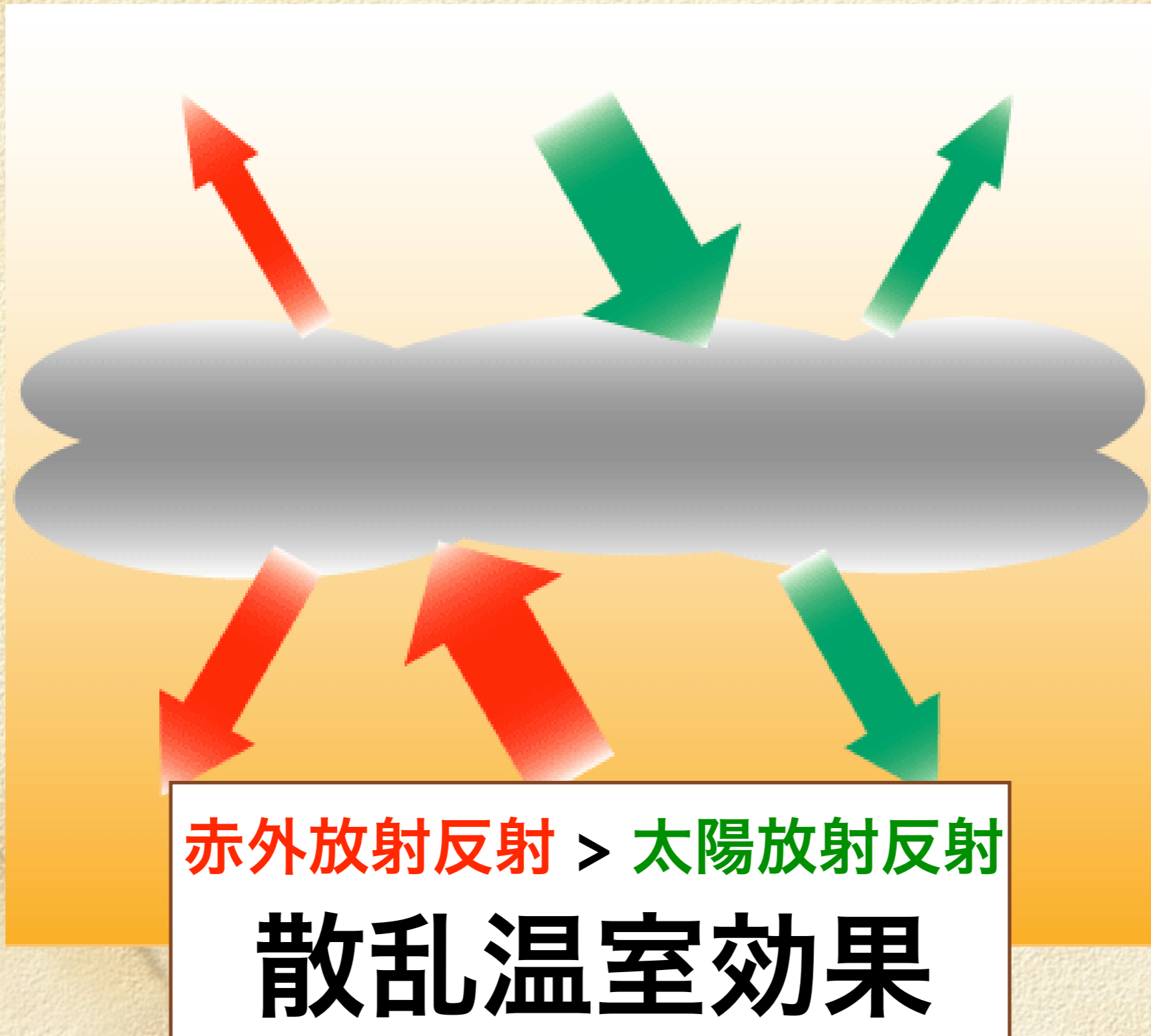
雲による温室効果(水雲)

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

CO₂ 氷:
吸収よりも散乱が卓越



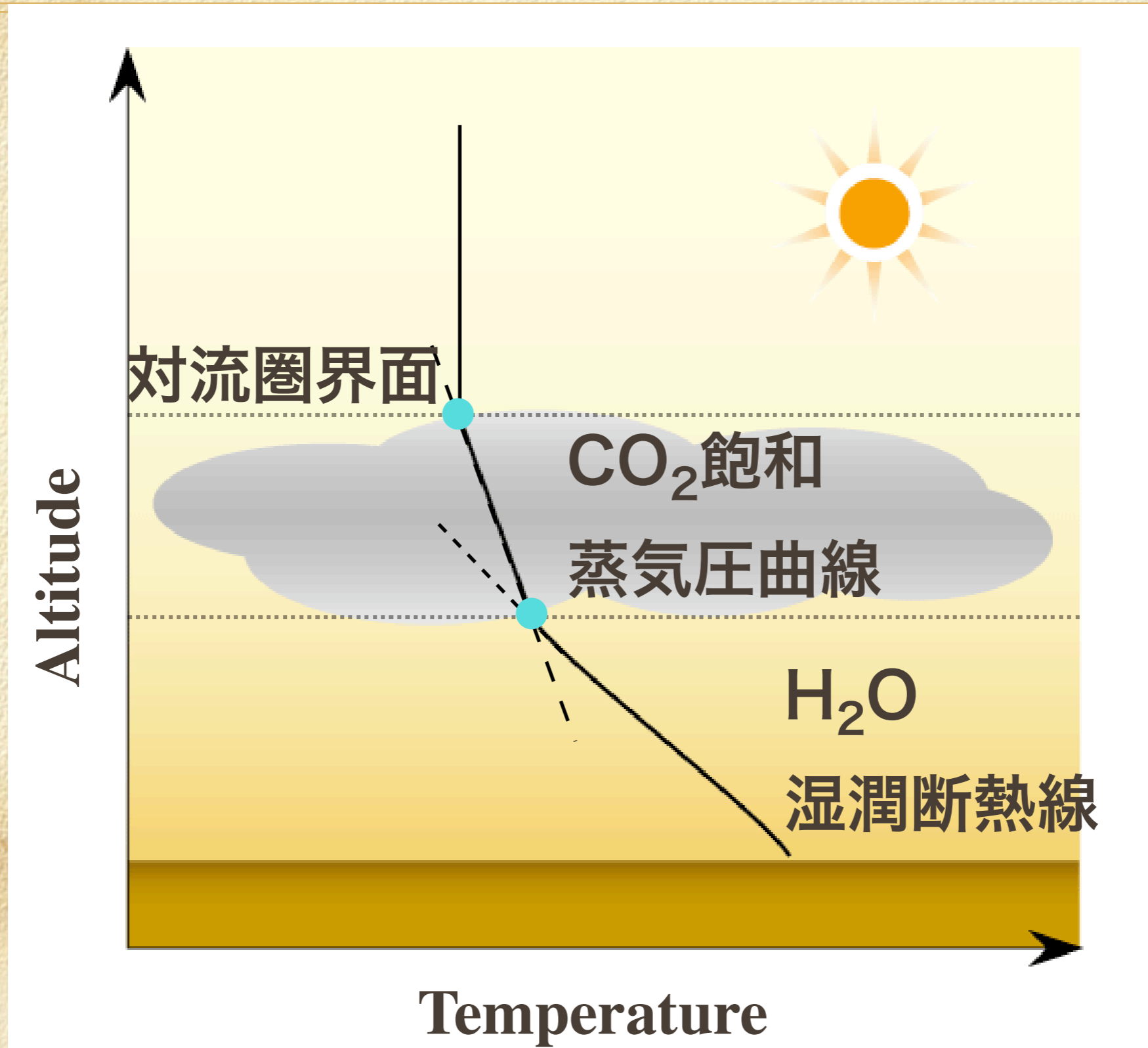
散乱による温室効果



本研究の目的

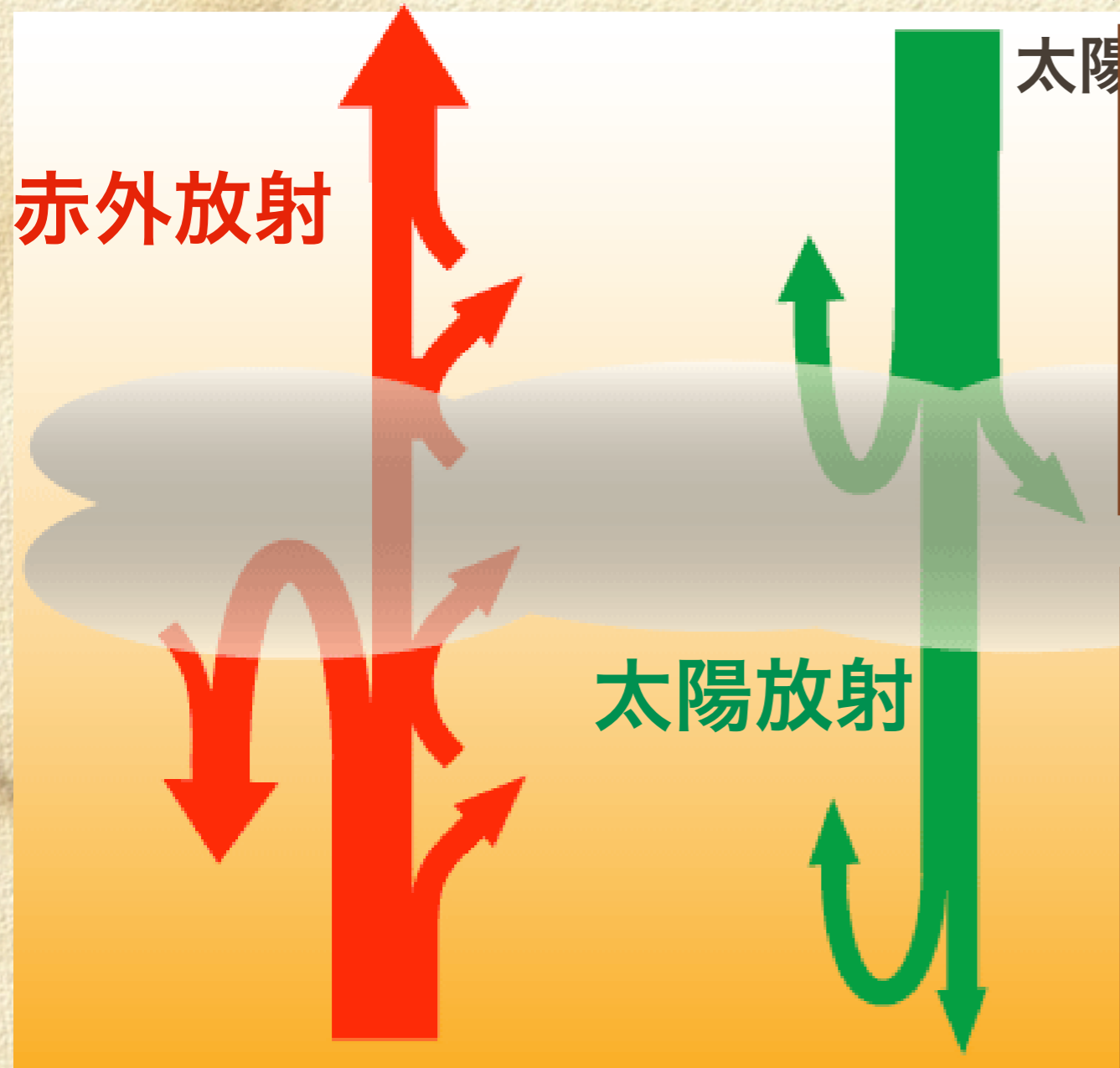
- 二酸化炭素氷雲による散乱温室効果を検討し、温暖な気候の可能性を探る。
 - どのような条件下で温暖湿潤？
 - 雲粒径と雲厚をパラメータ
 - その時雲は存在できるのか？
 - 凝結率(加熱率)を評価

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



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)

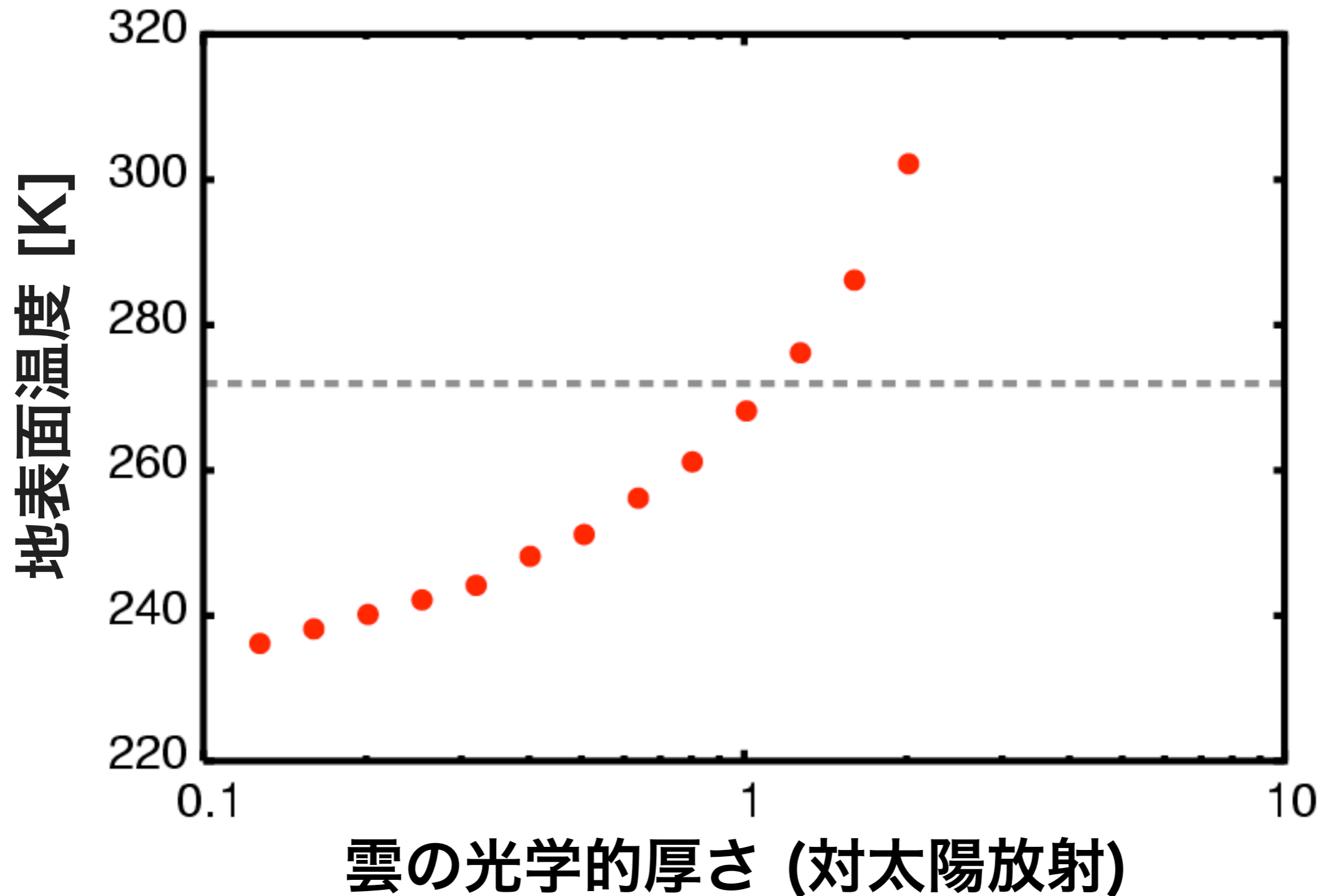
大気層：二方向近似
吸収(赤外のみ)

* line by line 法
吸収線パラメータ(HITRAN)

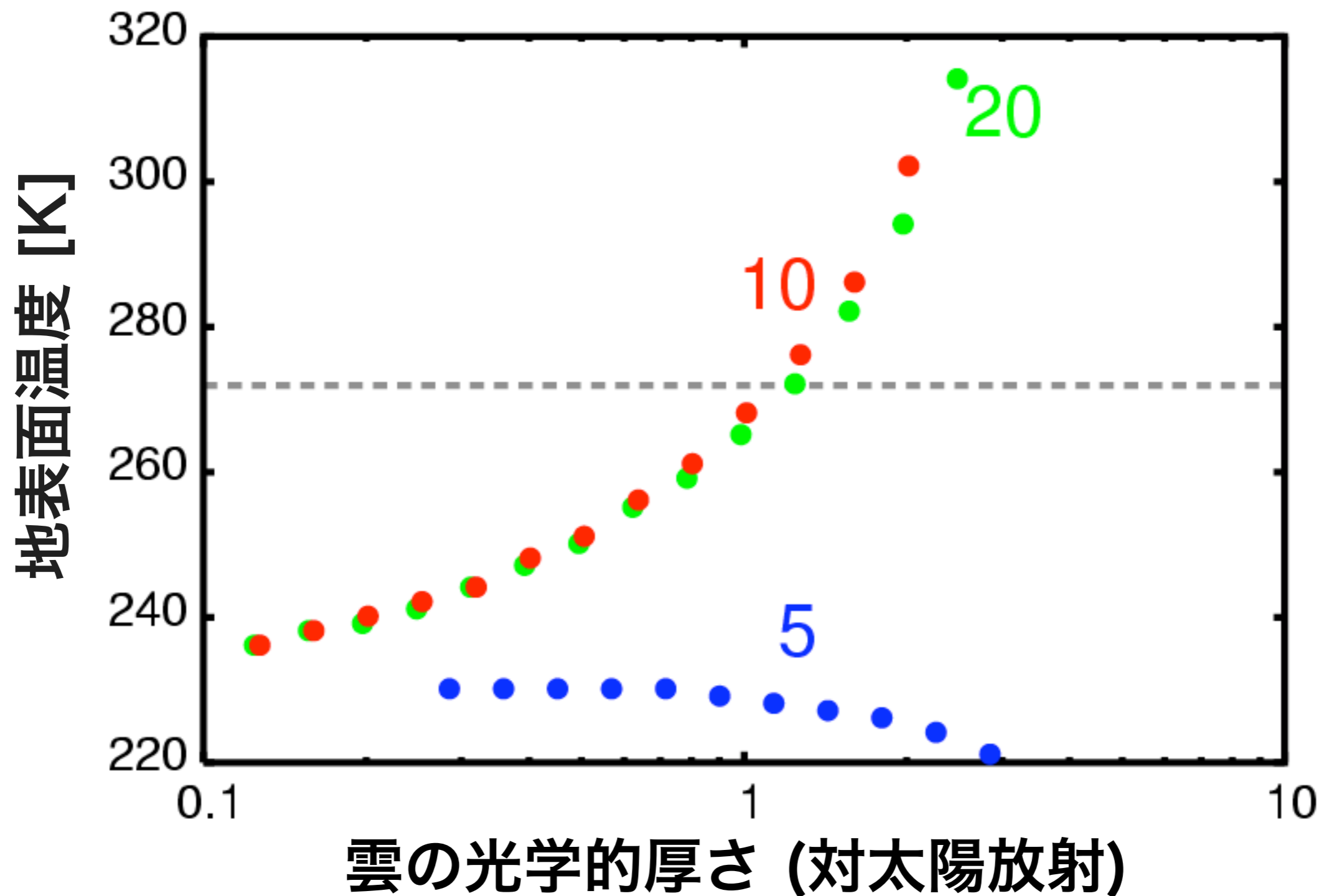
地表面アルベド: 0.2
(対太陽放射のみ)

放射平衡時の地表面温度

($P_s = 10^5$ [Pa], 粒子半径 10 [μm])



放射平衡時の地表面温度 ($P_s = 10^5$ [Pa])



雲の存在可能性

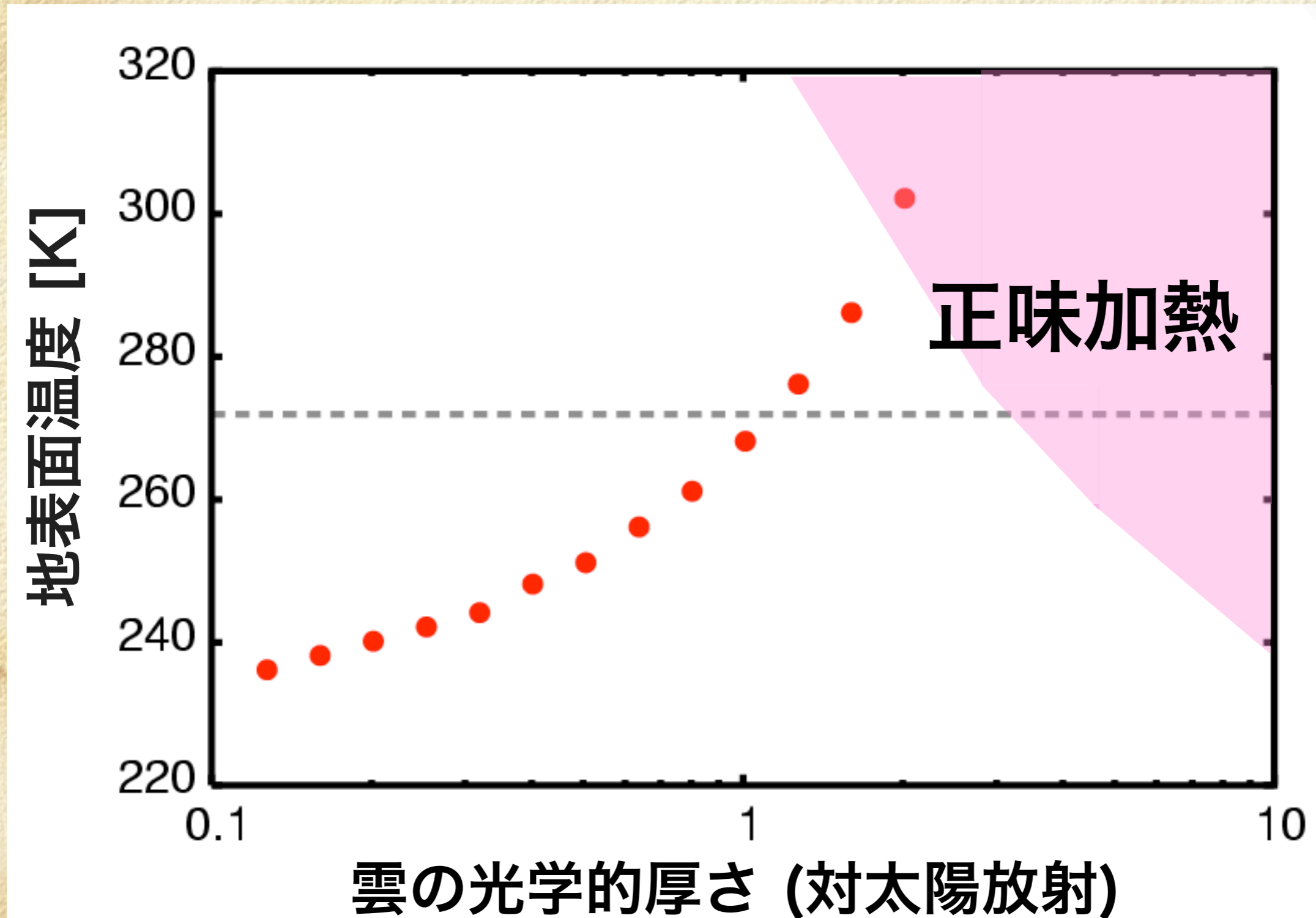
- 雲が蒸発しない条件：

正味に加熱されない

- 正味加熱率 = 赤外加熱 + 太陽加熱
- 射出による自己冷却
- * 対流によって熱は運ばれないと仮定

放射平衡時の地表面温度

($P_s = 10^5$ [Pa], 粒子半径 10 [μm])



まとめ

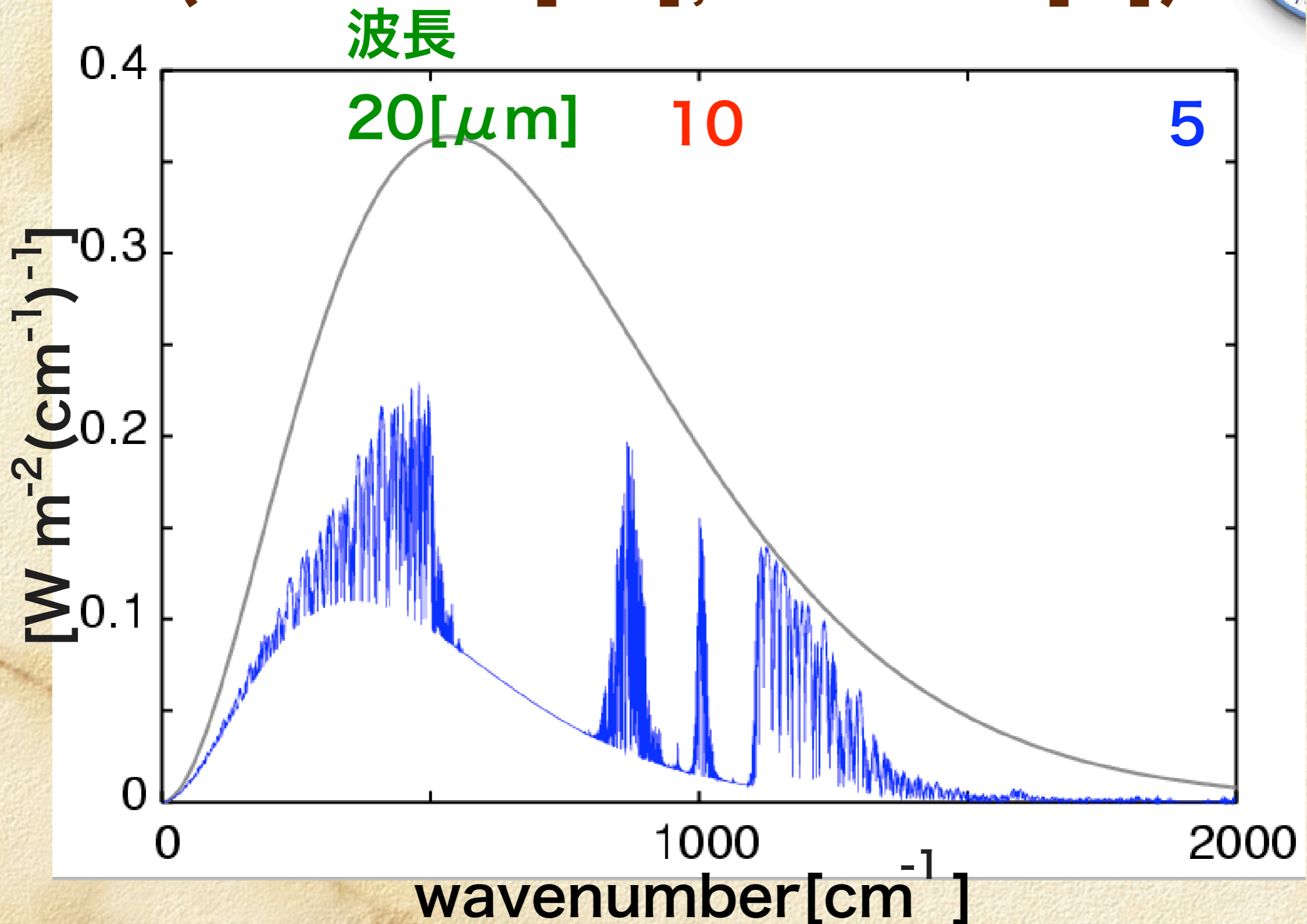
- 鉛直一次元放射モデルを用いて二酸化炭素氷雲の散乱温室効果を検討した。
- 273 [K]以上の地表面温度となるケースが存在
 - 大気圧 1[atm], 粒径 10-20 [μm], 光学的厚さ ($0.7 [\mu\text{m}]$) > 1.2 の場合
- 粒径 10 [μm] の場合, 光学的厚さ 1.2 程度では温暖湿潤なおかつ雲が安定に存在可能。

参考文献

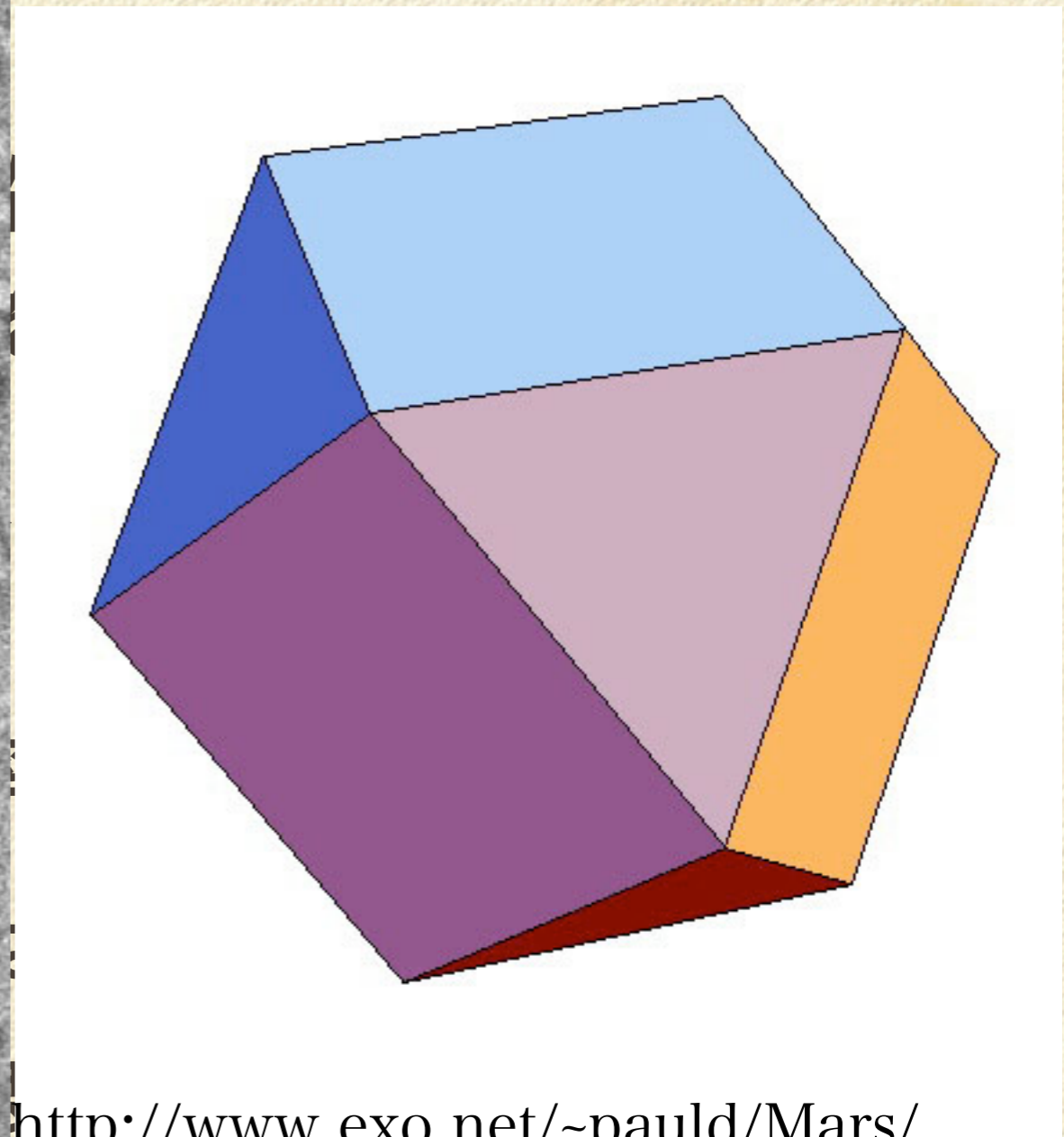
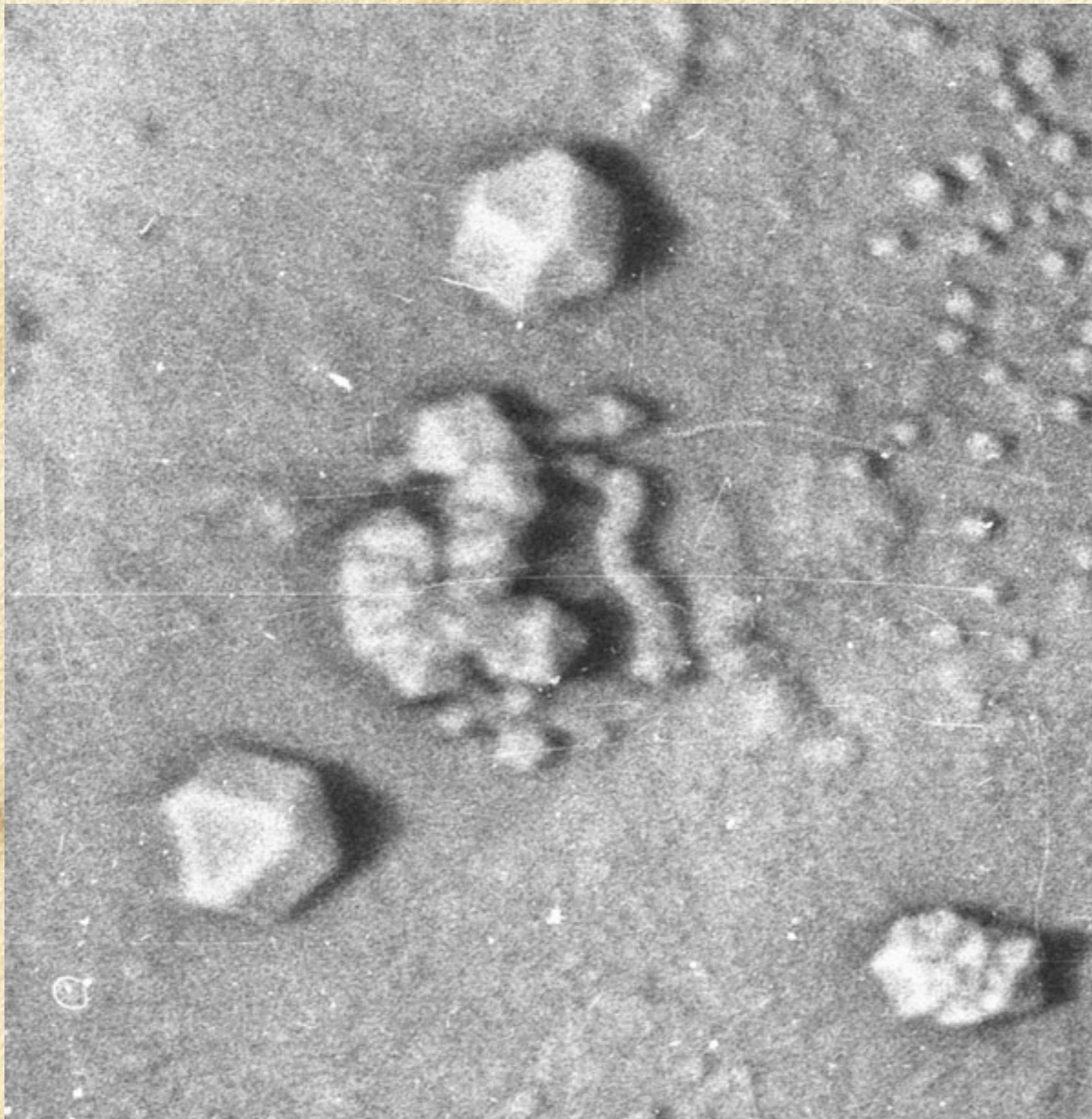
- Houghton J. 2002 : The Physics of Atmospheres third edition, Cambridge Univ. Press.,pp320
- NASA/JPL Planetary Photojournal, <http://photojournal.jpl.nasa.gov/>
- Kasting J. F.,1991 : CO₂ condensation and the climate of early mars, *Icarus*, Vol. 94, pp. 1-13
- Pierrehumbert R. T. and Erlick C., 1998 : 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

雲への入射スペクトル(赤外)

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



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>