

# 原始火星における CO<sub>2</sub> 氷雲の安定性

\*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)

# 過去の火星(38億年前)

- 水が安定に存在した地形的証拠
  - 温暖湿潤な気候だった
  - 厚い CO<sub>2</sub> 大気をもっていた
- 
- 太陽光度は現在値よりも小さい
  - CO<sub>2</sub> 凝結
  - 十分な温室効果は得られない (Kasting 1991)



# 従来の研究



赤外放射反射 > 太陽放射反射

散乱温室効果

## Kasting 1991

- 雲は透明(散乱/射出/吸収なし)

## Pierrehumbert and Erlick 1998

- 雲の散乱過程の重要性を指摘
- 適当な粒径をもてば強い温室効果

## Yokohata et al. 2002

- 雲が蒸発する可能性を指摘
- 安定に存在する条件:自己冷却>放射加熱
  - 定量的な解析は不十分
    - 下層大気の赤外放射:黒体近似
    - H<sub>2</sub>O の効果を無視

# 本研究の目的

---

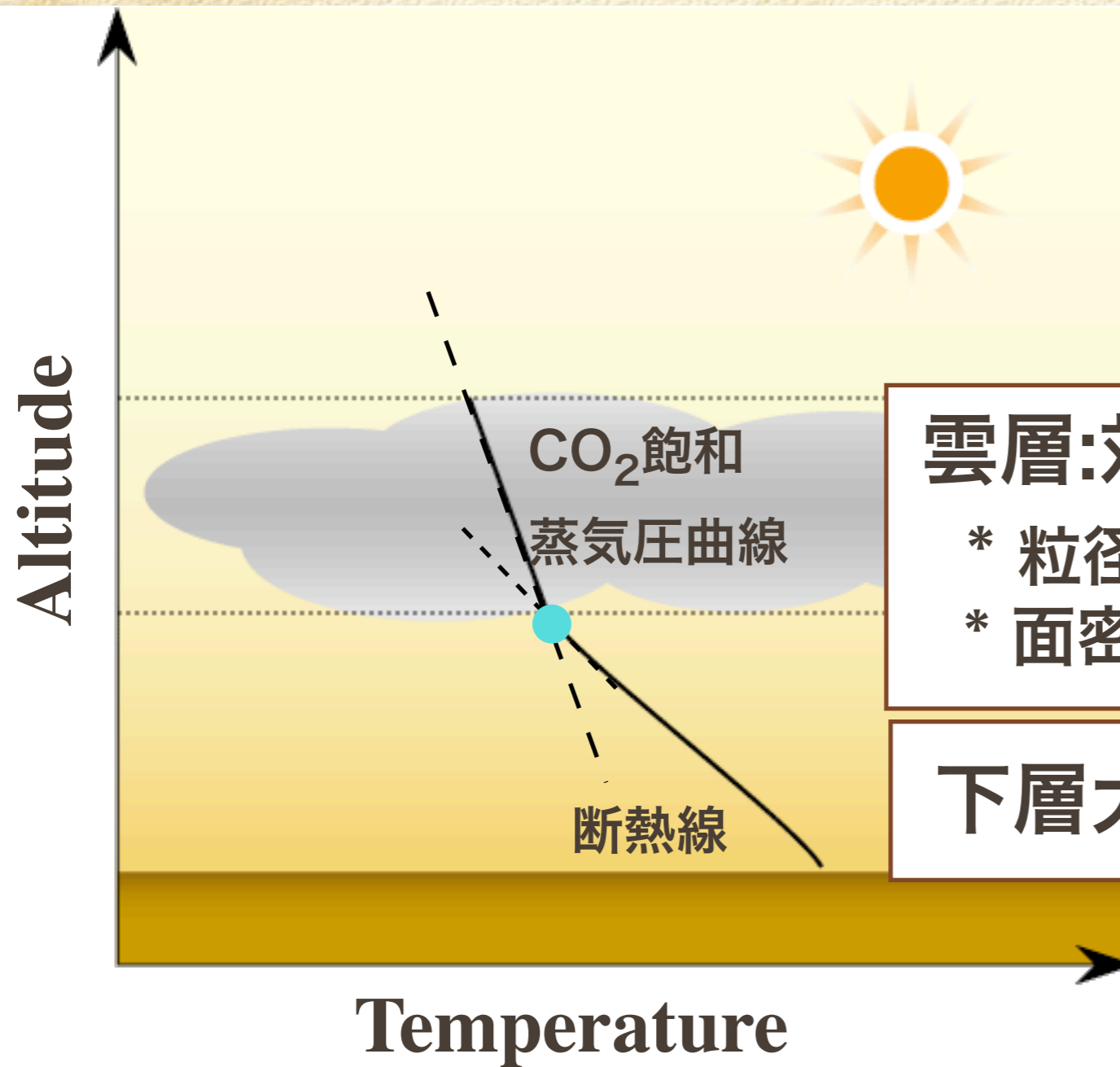
- 下層大気からの赤外加熱の役割を明らかにする.
- CO<sub>2</sub> 氷雲が安定に存在できる条件をより定量的に求める.
  - 大気の放射伝達過程を厳密に解く
  - 地表面圧力,温度への依存性
  - H<sub>2</sub>O の効果

# モデル設定

\* 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

## ■ 大気成分

1.  $\text{CO}_2$
2.  $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$



雲層:対流平衡( $\text{CO}_2$  湿潤断熱減率)

\* 粒径:  $10\mu\text{m}$ (温室効果最大)

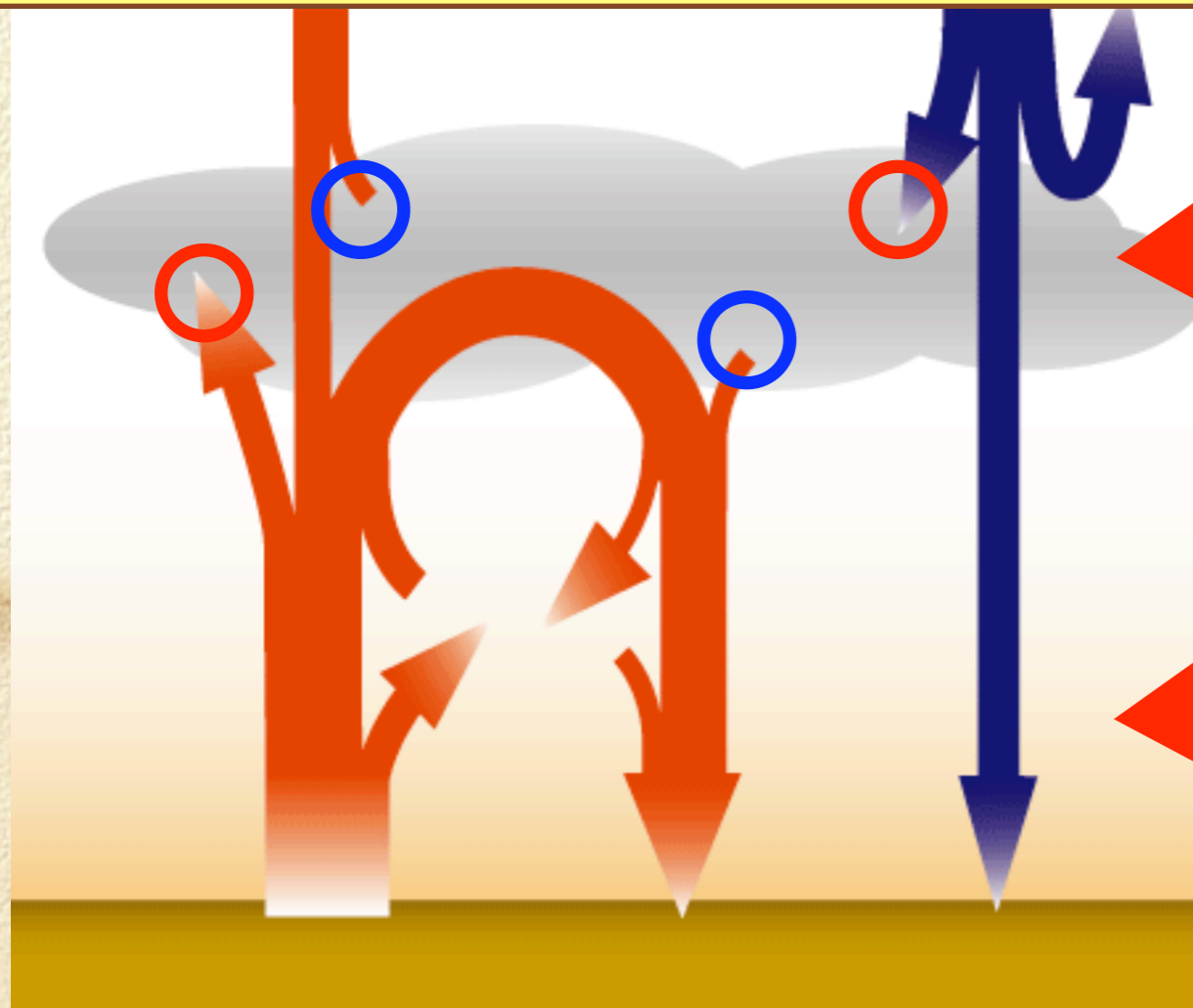
\* 面密度: パラメータ(3通り)

下層大気:対流平衡(断熱減率)

# 鉛直一次元放射モデル

安定に存在できる条件

雲の冷却率 = (射出量 - 吸収量) > 0 近似



吸収/散乱(赤外/太陽)

\* ミー理論(球形粒子を仮定)

CO<sub>2</sub>復素屈折率(Warren, 1986)

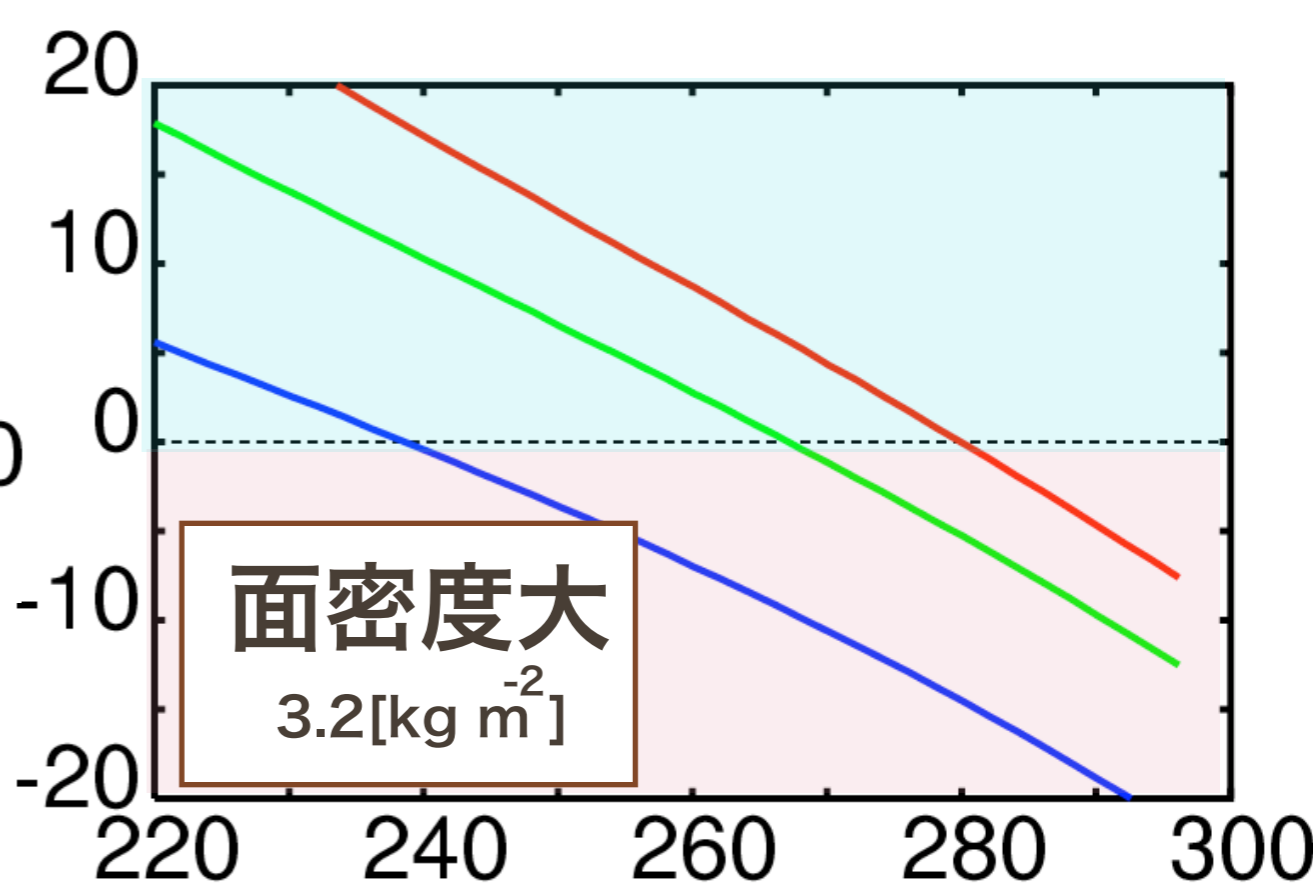
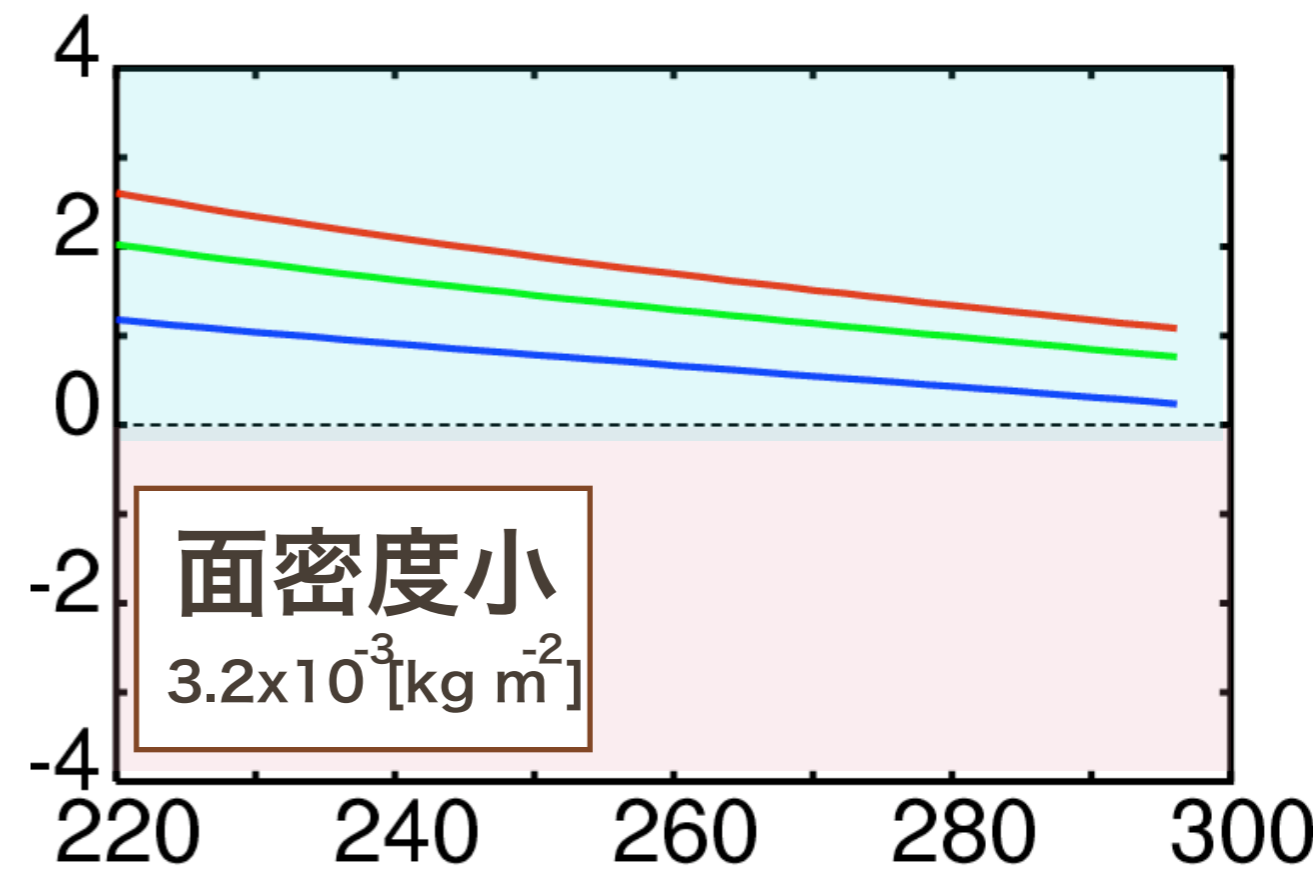
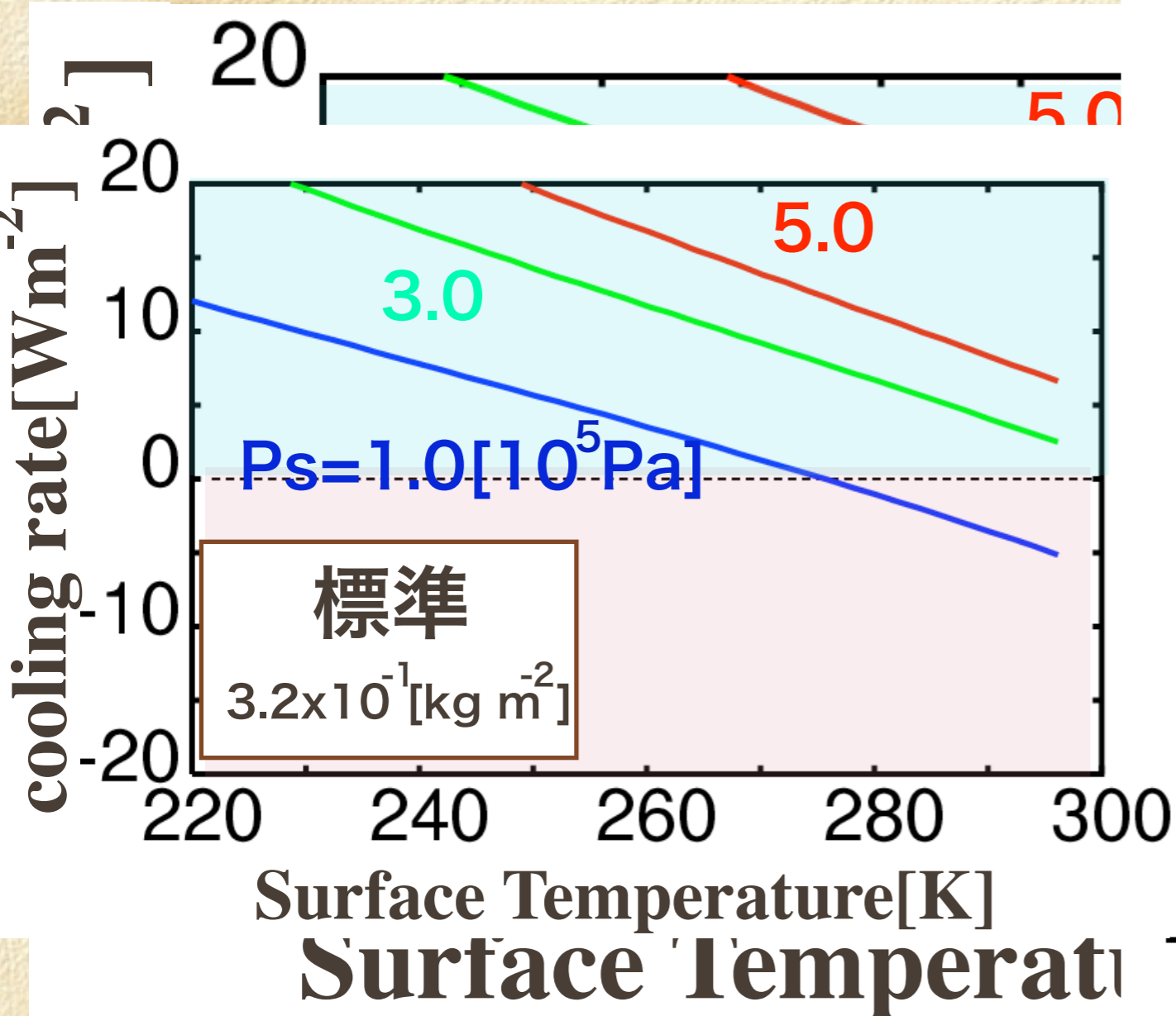
二方向近似

吸収(赤外のみ)

\* ランダムモデル

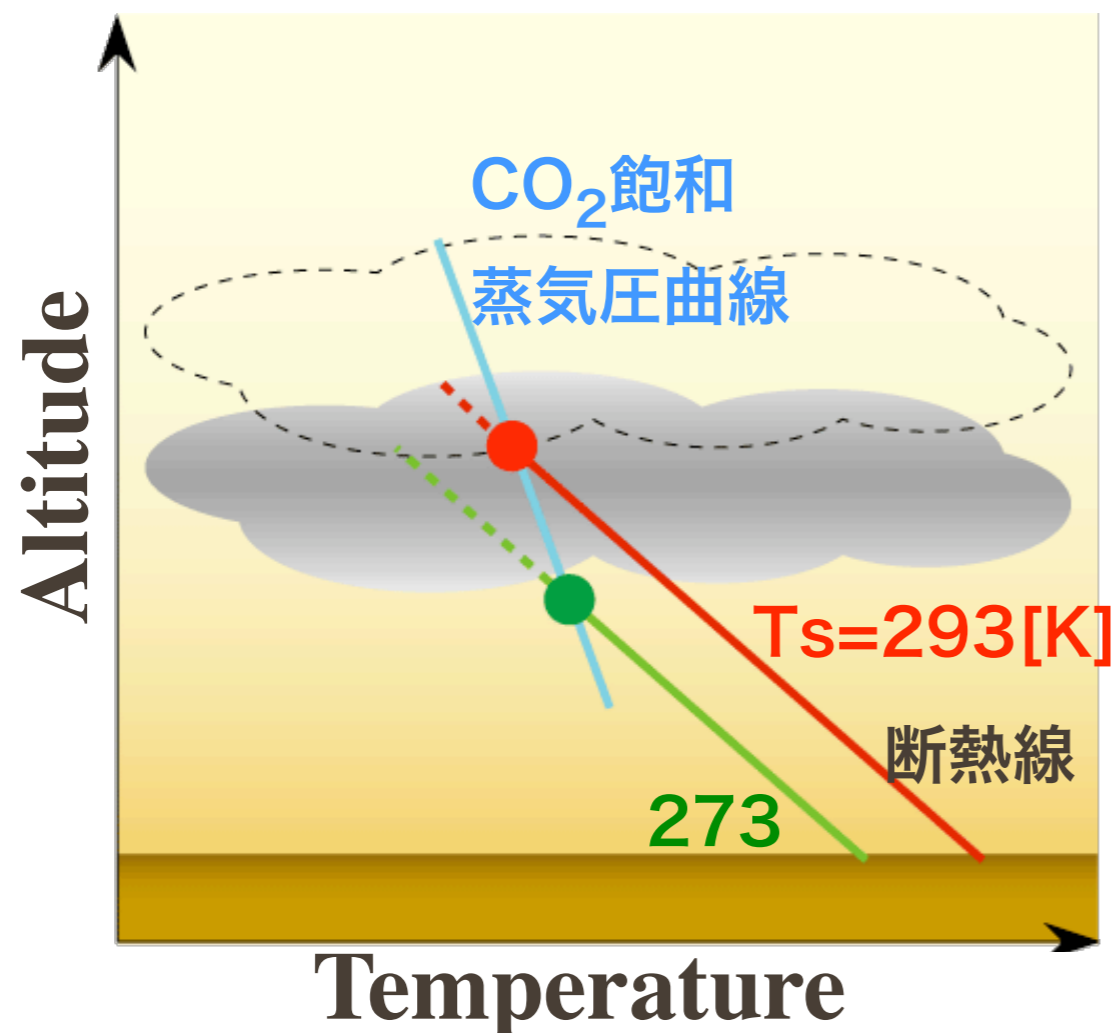
吸収係数(Houghton, 2002)

# 冷却率の地表面温度・気圧依存性: 大気成分 CO<sub>2</sub>

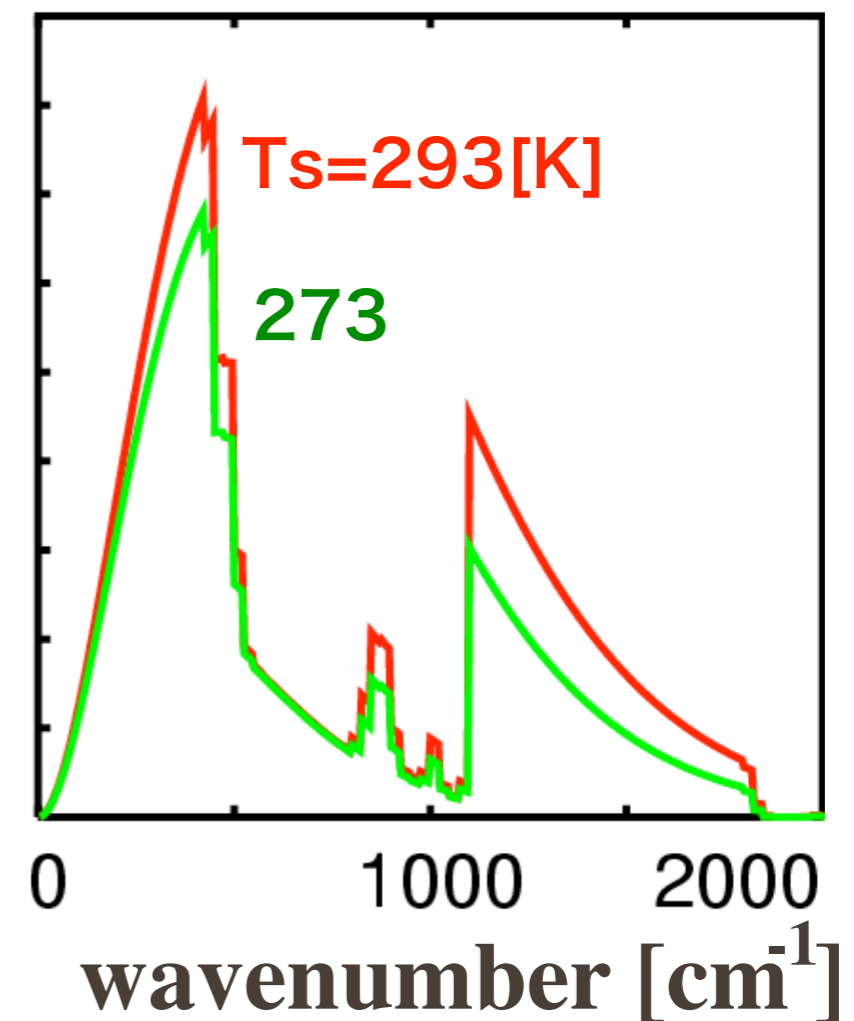


# 地表面温度依存性の解釈

- 温度が下がると…
  - 雲温度上昇, 放射加熱減少 → 冷却率増加



## 赤外放射の入射スペクトル

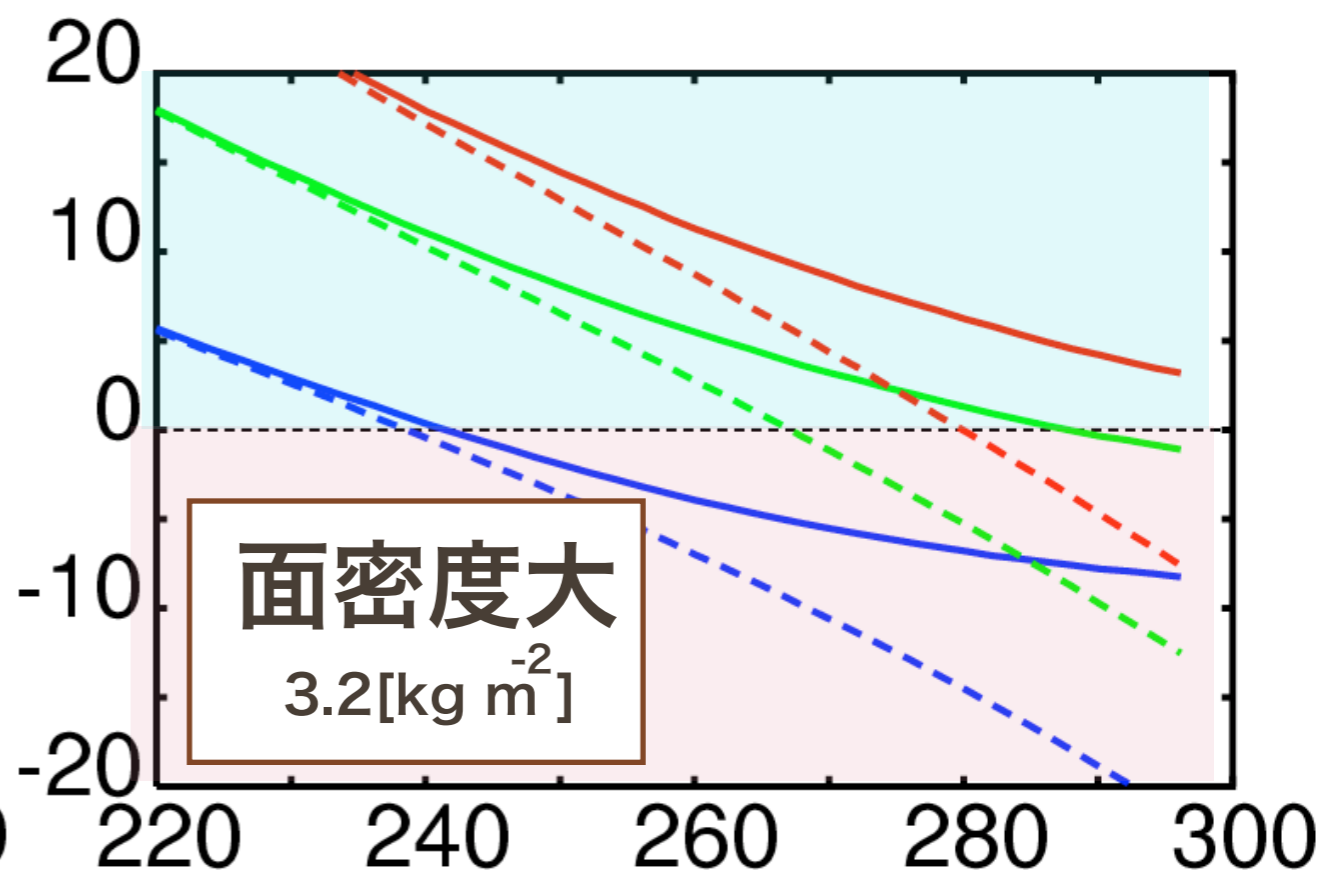
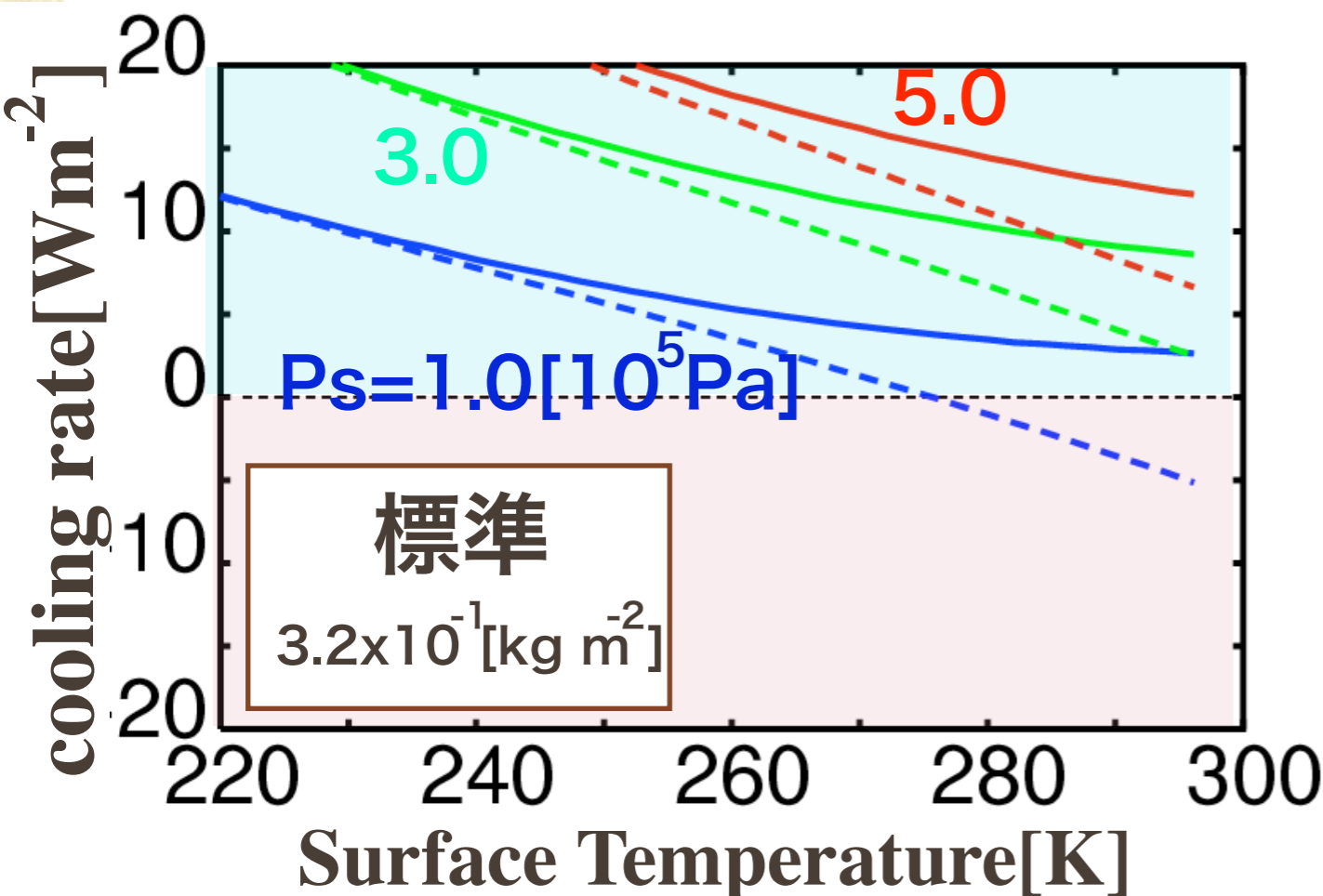
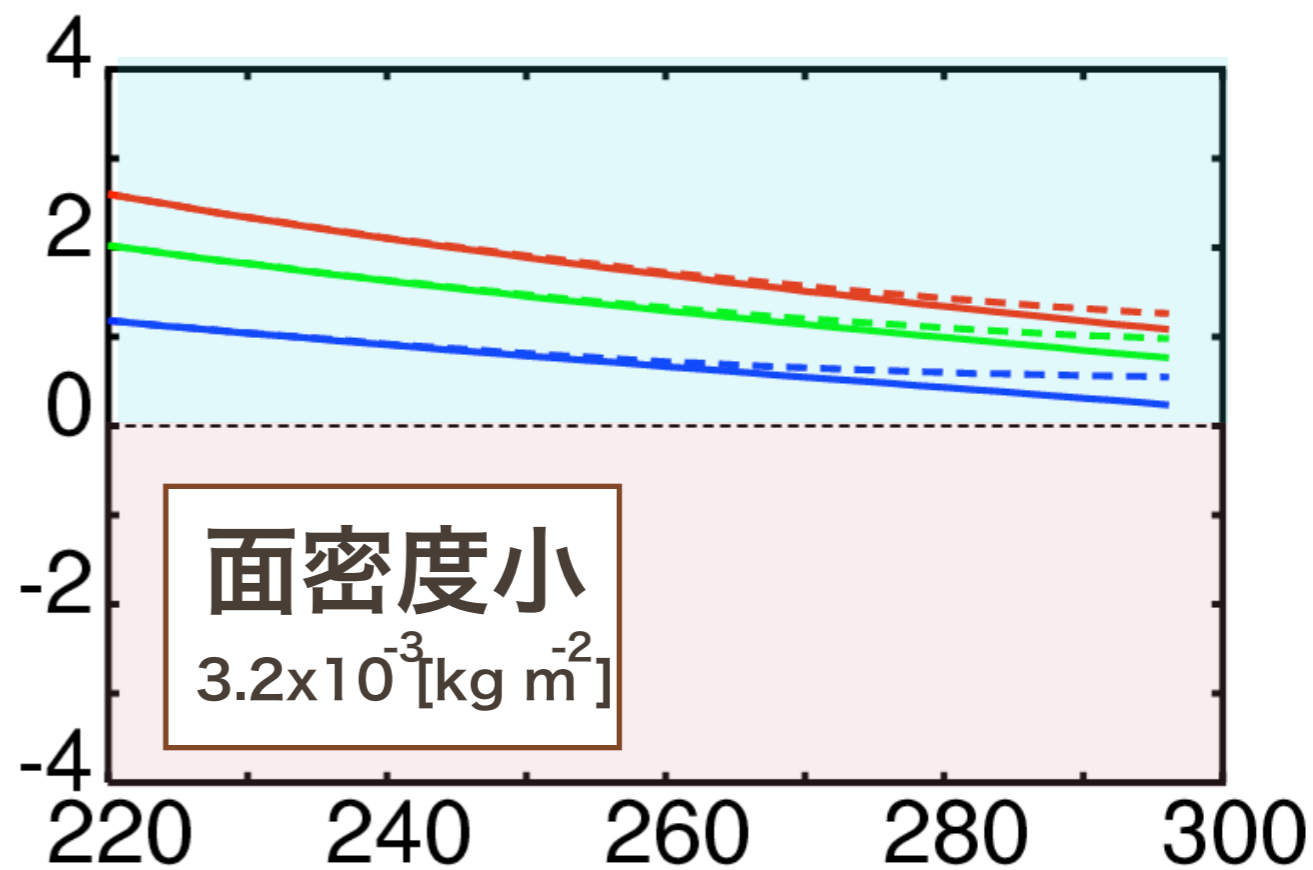




# H<sub>2</sub>Oの効果

H<sub>2</sub>O の効果 -> 冷却率増加

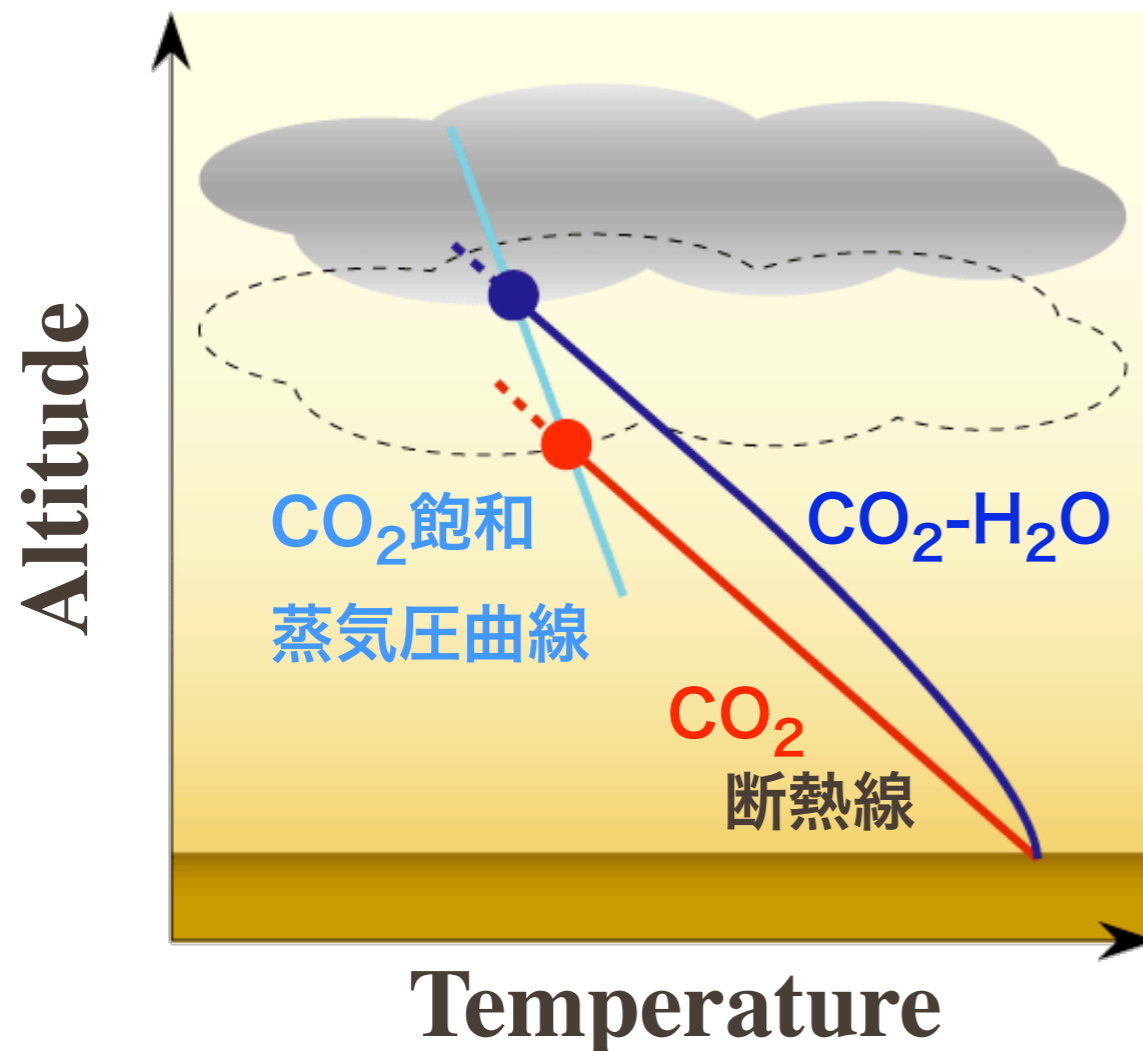
実線 : CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O  
点線 : CO<sub>2</sub>



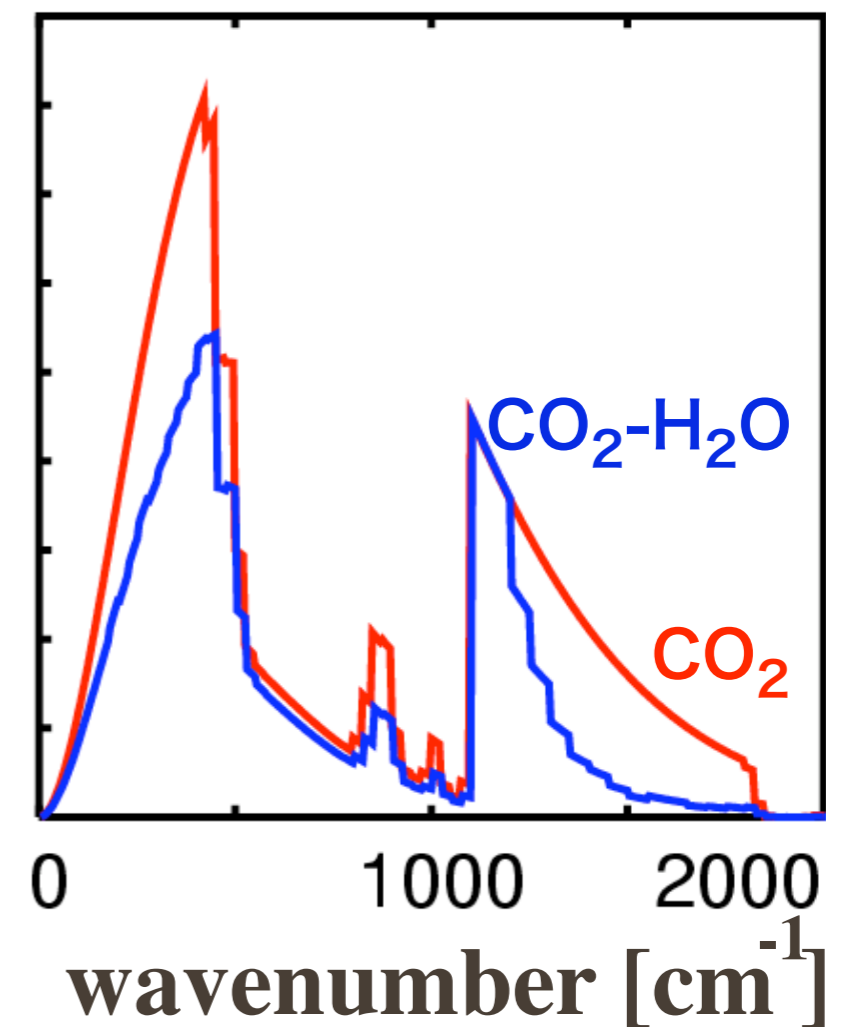
# H<sub>2</sub>O が冷却率を上昇させる理由

## □ H<sub>2</sub>O をまぜると…

- 雲温度低下 < 放射加熱減少 → 冷却率増加



## 赤外放射の入射スペクトル

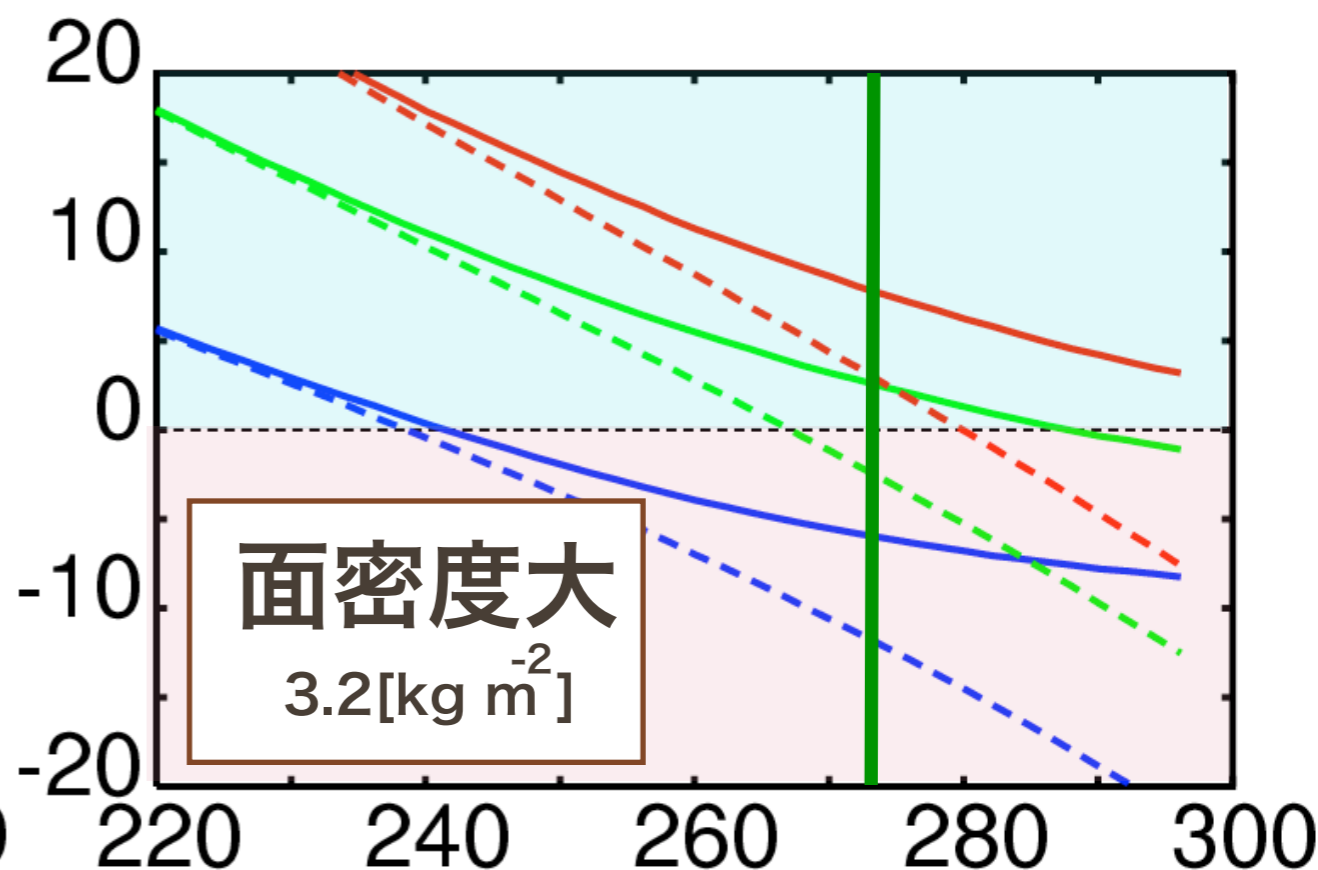
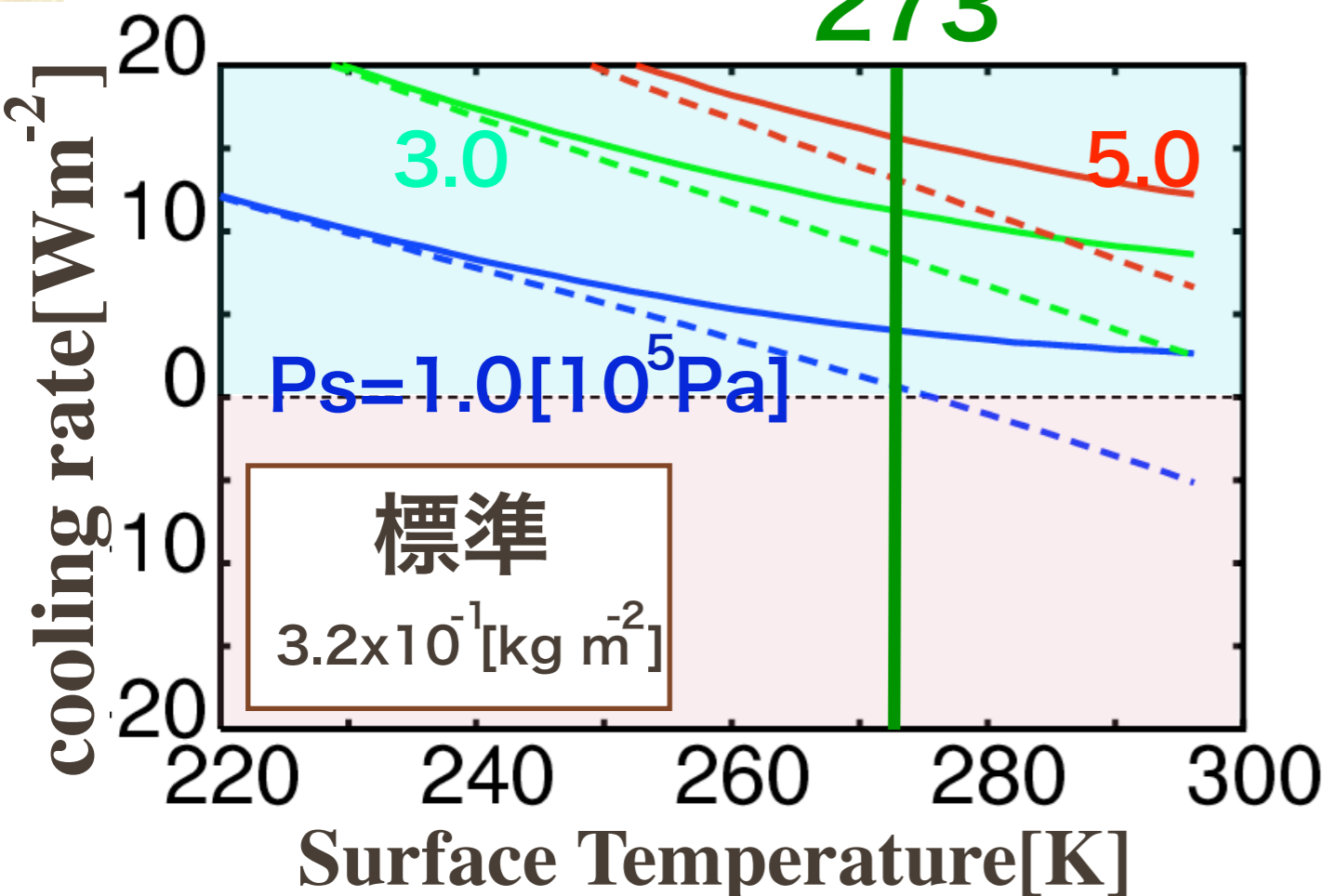
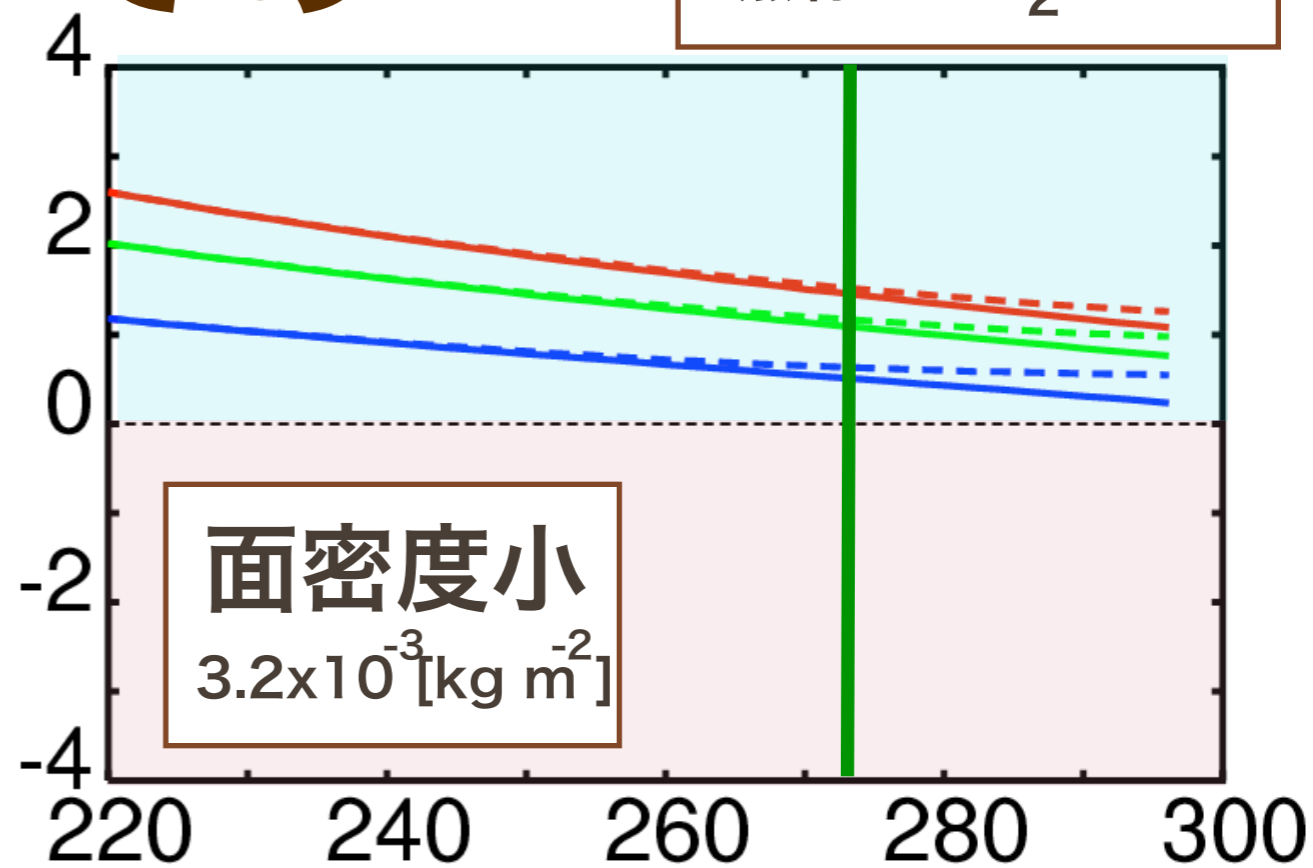


# 温暖湿潤な気候下での 雲の冷却率

実線 : CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O  
点線 : CO<sub>2</sub>

温暖湿潤な気候かつ  
雲が安定に存在 -> 可能

273



# まとめ

---

- 雲の粒径, 面密度を与え, 鉛直一次元放射モデルを用いてCO<sub>2</sub> 氷雲の安定性を調べた.
- 冷却率は地表面温度が低く, 地表面気圧が高いほど増加する
- H<sub>2</sub>O の吸収によって冷却率は増加する
  - 面密度が小さい場合にはほとんど影響しない.
- 273 [K] 以上の地表面温度下でも, 雲は安定に存在できる

# 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 : CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> ice cloud, *J. Atmos. Sci.*, Vol.55, pp.1987-1903
- Yokohata T., Kosugita K., Matatsugu O.,and Kuramot K., 2002 : Radiative absorption by CO<sub>2</sub> 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