

原始火星における  
CO<sub>2</sub> 氷雲の安定性

---

2004/04/28 DM<sub>2</sub> Seminar  
惑星物理学研究室 M<sub>2</sub>

光田千紘

# 目次

---

- 研究背景(1時間)
  - 現在の火星, 過去の火星
  - CO<sub>2</sub> 氷雲の散乱温室効果とは？
- モデル解説(20分)
- 計算結果(20分)
- 考察(20分)

# 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 : CO<sub>2</sub> (95 %)
- ❑ 大気圧 : 0.006 [atm]
- ❑ 地表面温度 : 215 [K]

寒冷, 乾燥

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



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

# 初期の火星(38億年前)

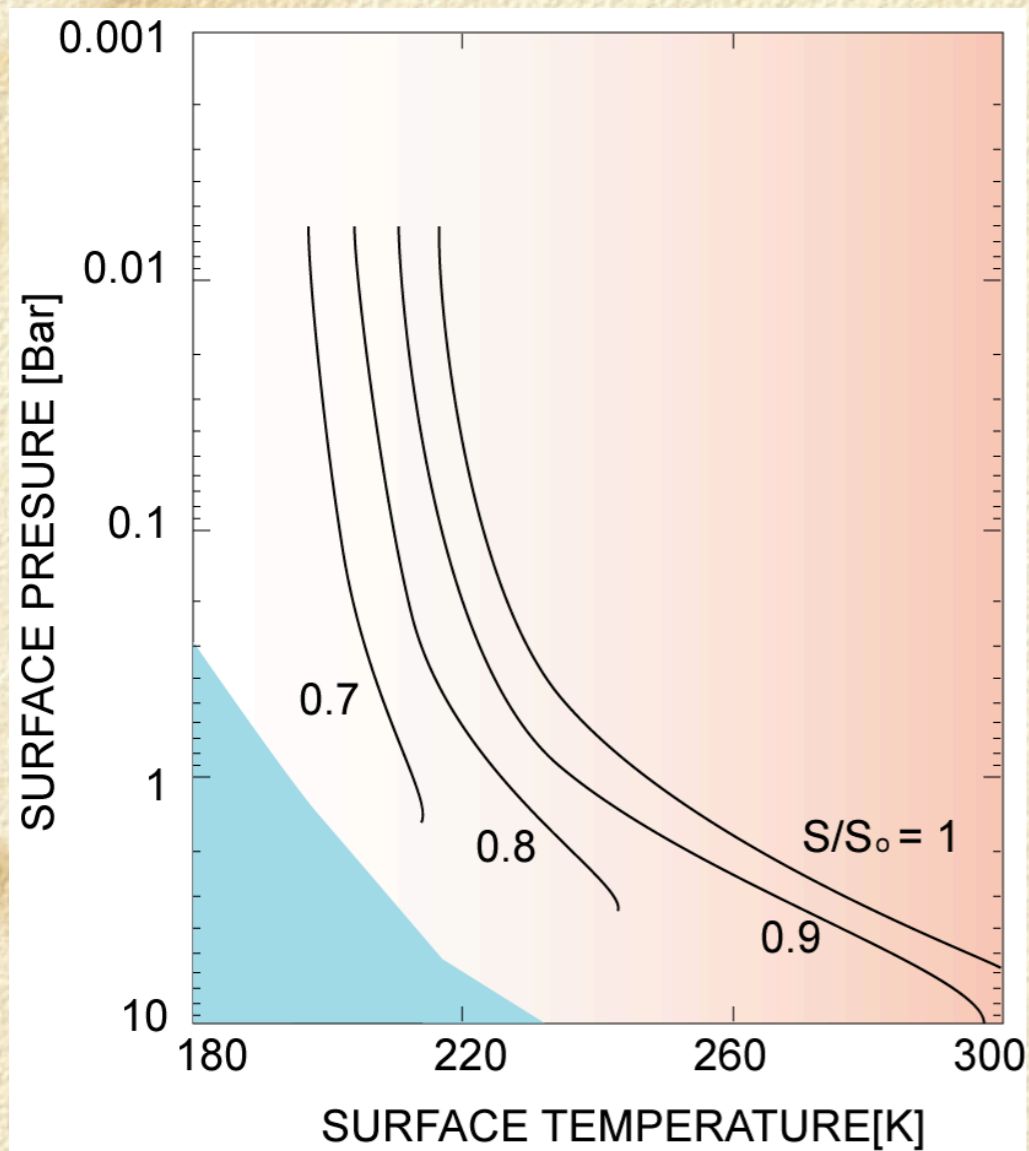
---

## 温暖, 湿潤

- 水が安定に存在した
  - 水の長期間流れた地形的証拠
- 気圧が高かった
  - 高い地表浸食率



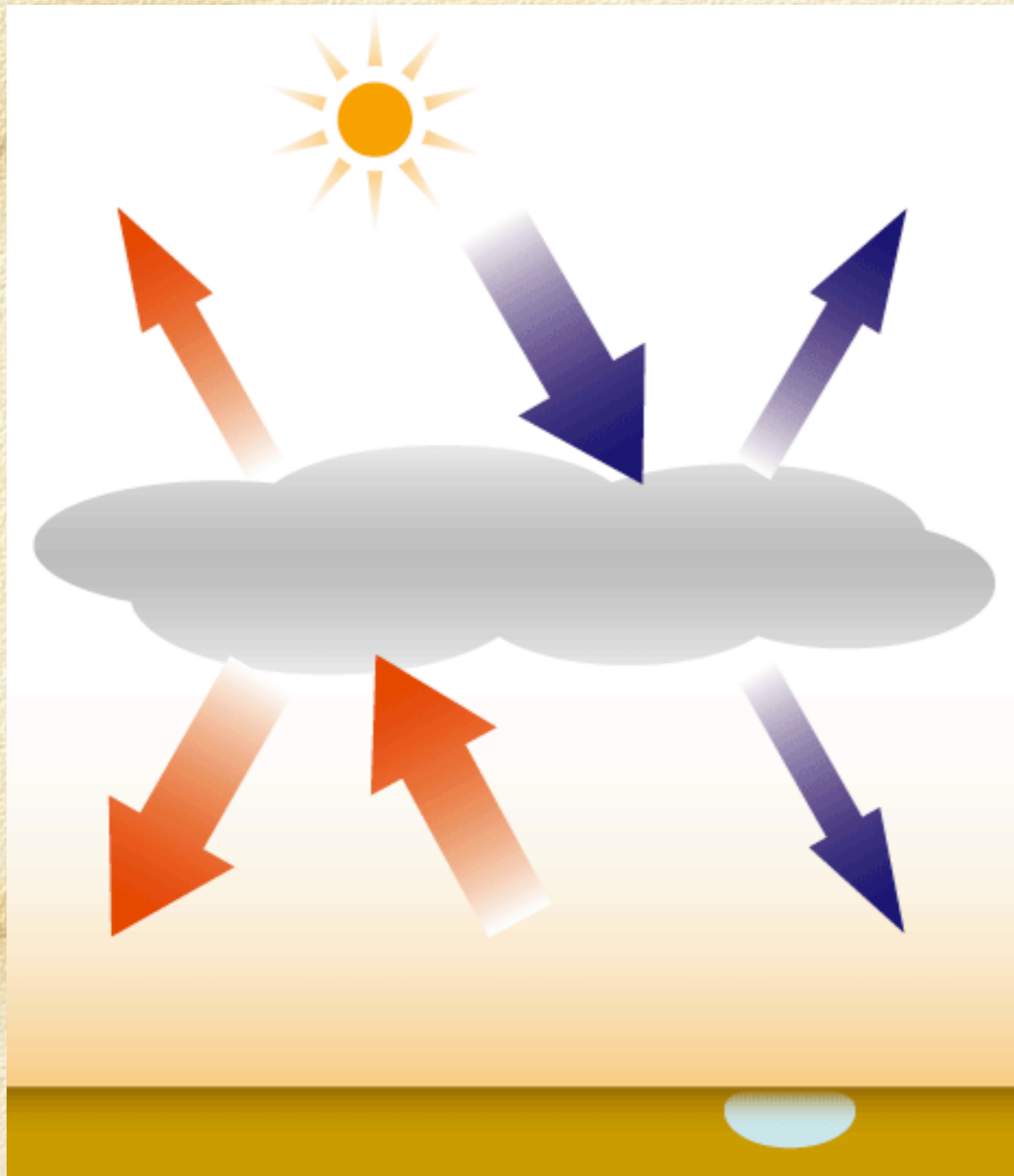
# 厚い大気=液体の水？



Kasting(1991) fig.7

- 暗い太陽のパラドックス
  - 38 億年前の太陽は暗い(現在比 0.75 倍)
  - それでも温暖湿潤？
- Kasting 1991
  - CO<sub>2</sub> 凝結(雲) -> 温室効果小
  - 太陽光度が現在の 0.86 倍以下では液体の水が存在できない。

# CO<sub>2</sub> 氷雲の散乱温室効果

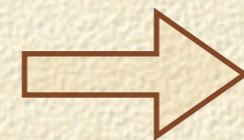


紫外放射反射



赤外放射反射

雲層下にエネルギー  
が閉じ込められる



温室効果

# 従来の研究

---

- Pierrehumbert R. T & Erlick C., 1998
  - 氷雲安定性を考慮せず
- Yokohata et al., (2002)
  - 氷雲の安定性についても解析
    - 大気の放射過程を単純化( $\tau = 0$ ).

# 本研究の目的

---

- CO<sub>2</sub> 氷雲の安定性を大気の放射伝達過程を考慮して検討する.
- CO<sub>2</sub> 氷雲は蒸発してしまわないか??
  - 地表面圧力,温度への依存性は??
  - H<sub>2</sub>O の効果は??



# モデル設定

## ■ 大気成分

### ■ CO<sub>2</sub> & CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O

大気圧 > 蒸気圧で雲形成

雲 層:対流平衡

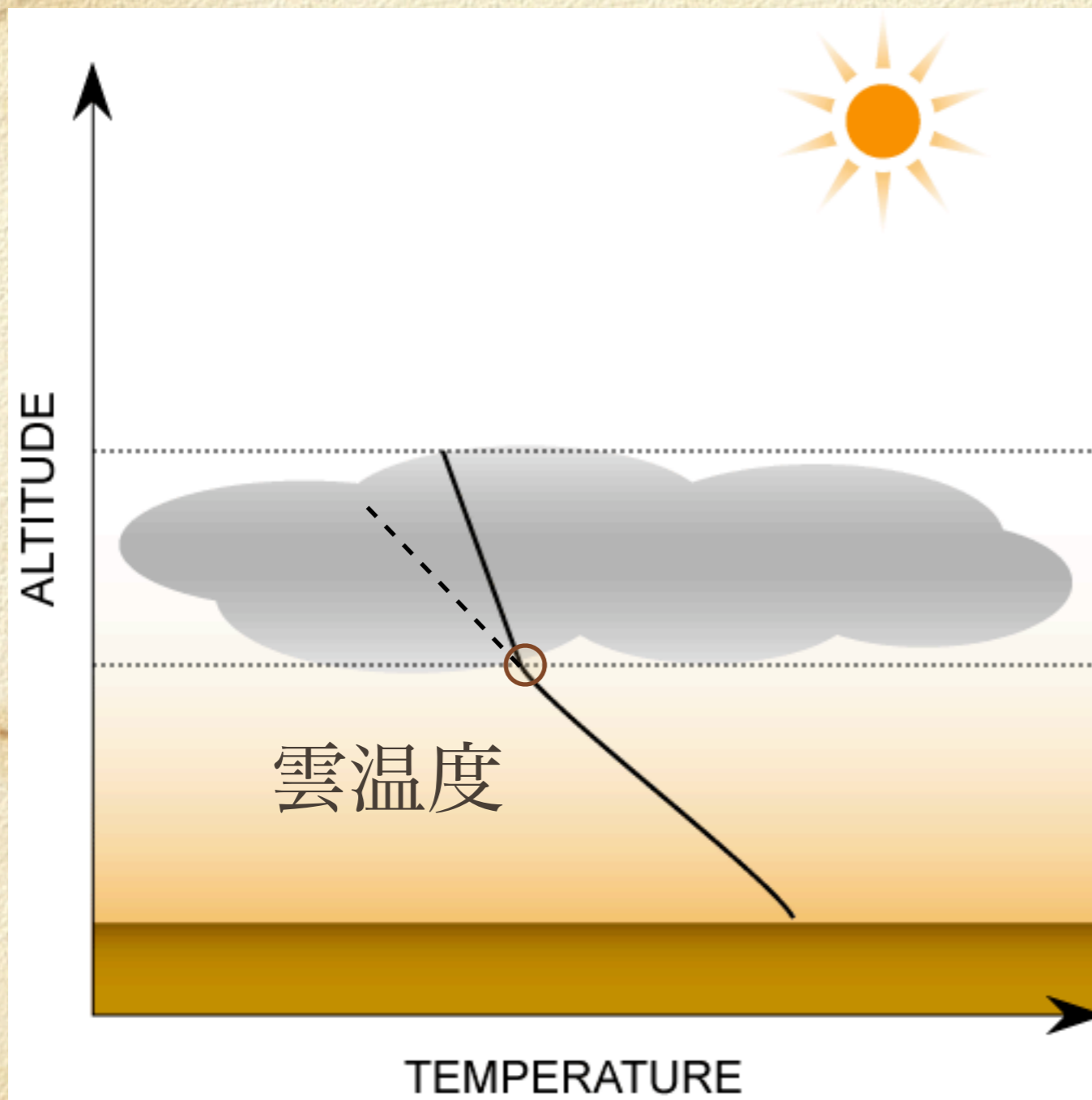
- CO<sub>2</sub> 湿潤断熱減率

雲厚はパラメータで決定

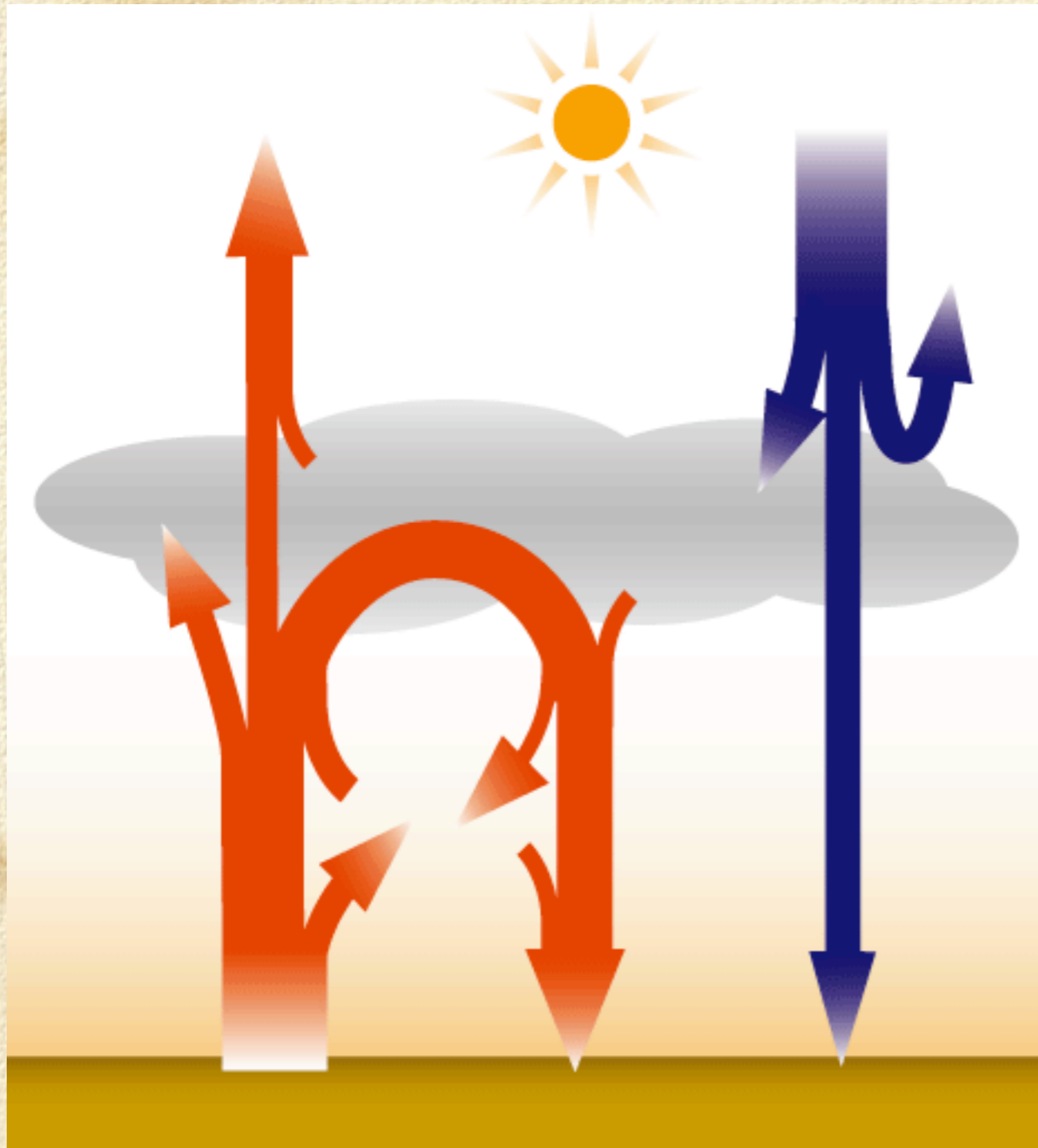
雲下層:対流平衡

- CO<sub>2</sub> 乾燥断熱減率

- H<sub>2</sub>O 湿潤断熱減率



# 鉛直一次元放射モデル(大気)

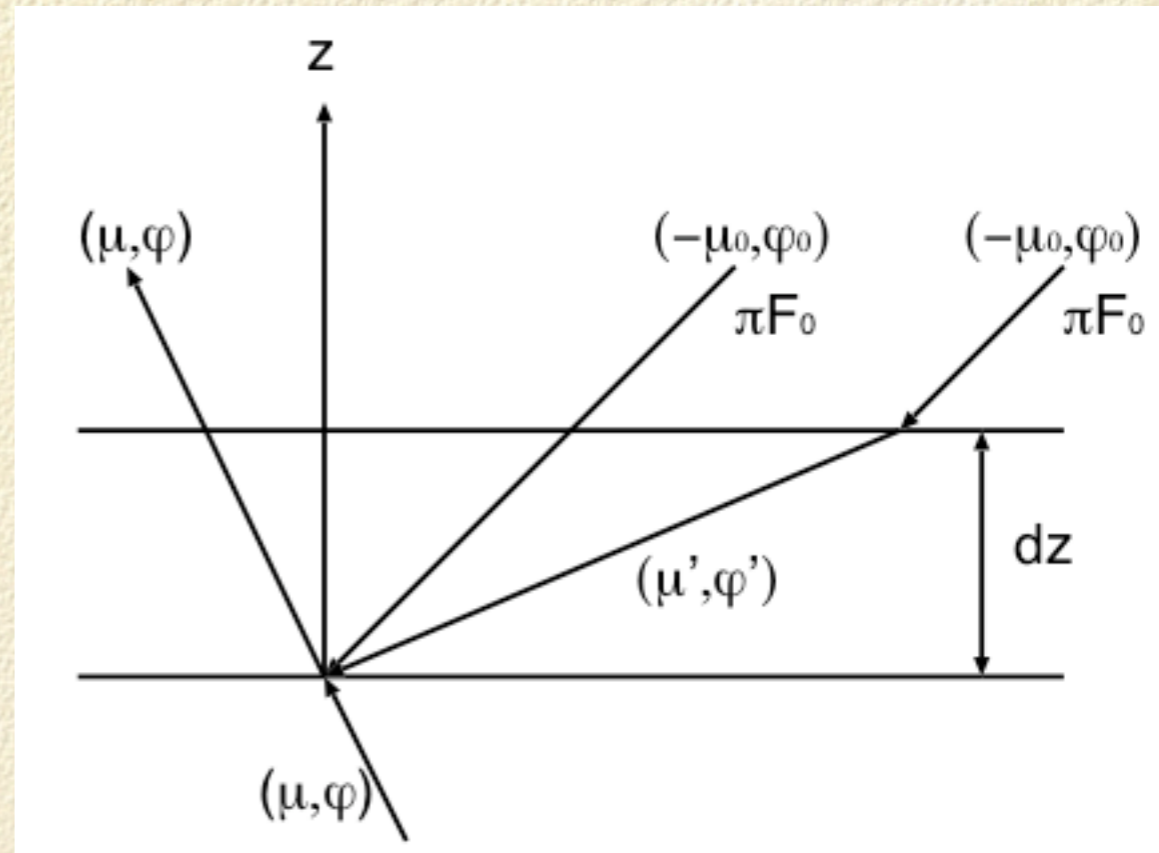


- 大気上層
  - 太陽/赤外放射に対して透明
- 大気下層
  - 等温 20 層
  - 二方向近似
  - 赤外吸収/射出
  - Goody バンドモデル
    - バンド幅  $5 \text{ cm}^{-1}$

# 鉛直一次元放射モデル(雲)

小杉田,2002

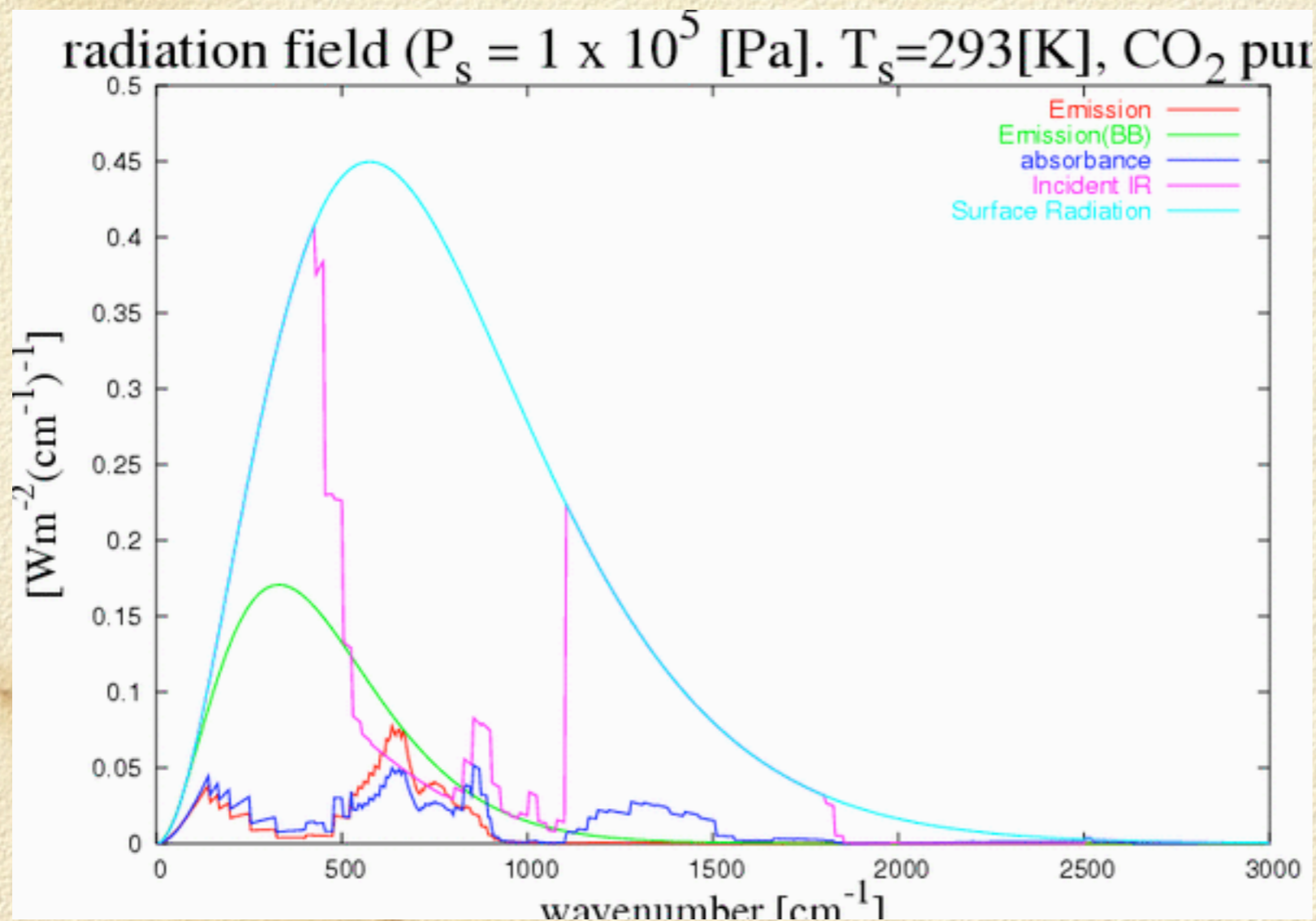
- 鉛直一次元放射伝達方程式
  - $\delta$ -エディントン近似
  - $1 - 100 \mu\text{m}$  を184 分割
  -
- 雲の吸収/散乱率
  - 雲粒子は球形を仮定
  - ミー理論を適用



小杉田,2002 図3

# 雲の安定不安定

□ 雲の凝結潜熱 = (射出量 - 吸収量) > 0 : 安定



赤 : 雲の射出

青 : 雲の吸収

水 : 地表面放射

紫 : 雲への入射

緑 : 雲の射出

(雲は黒体と仮定)

青 < 赤 : 安定

青 > 赤 : 不安定

赤外領域の放射スペクトル図一例

# パラメータ

---

- 太陽放射

- 光度：現在の 0.75 倍

- 入射量：全球年平均値

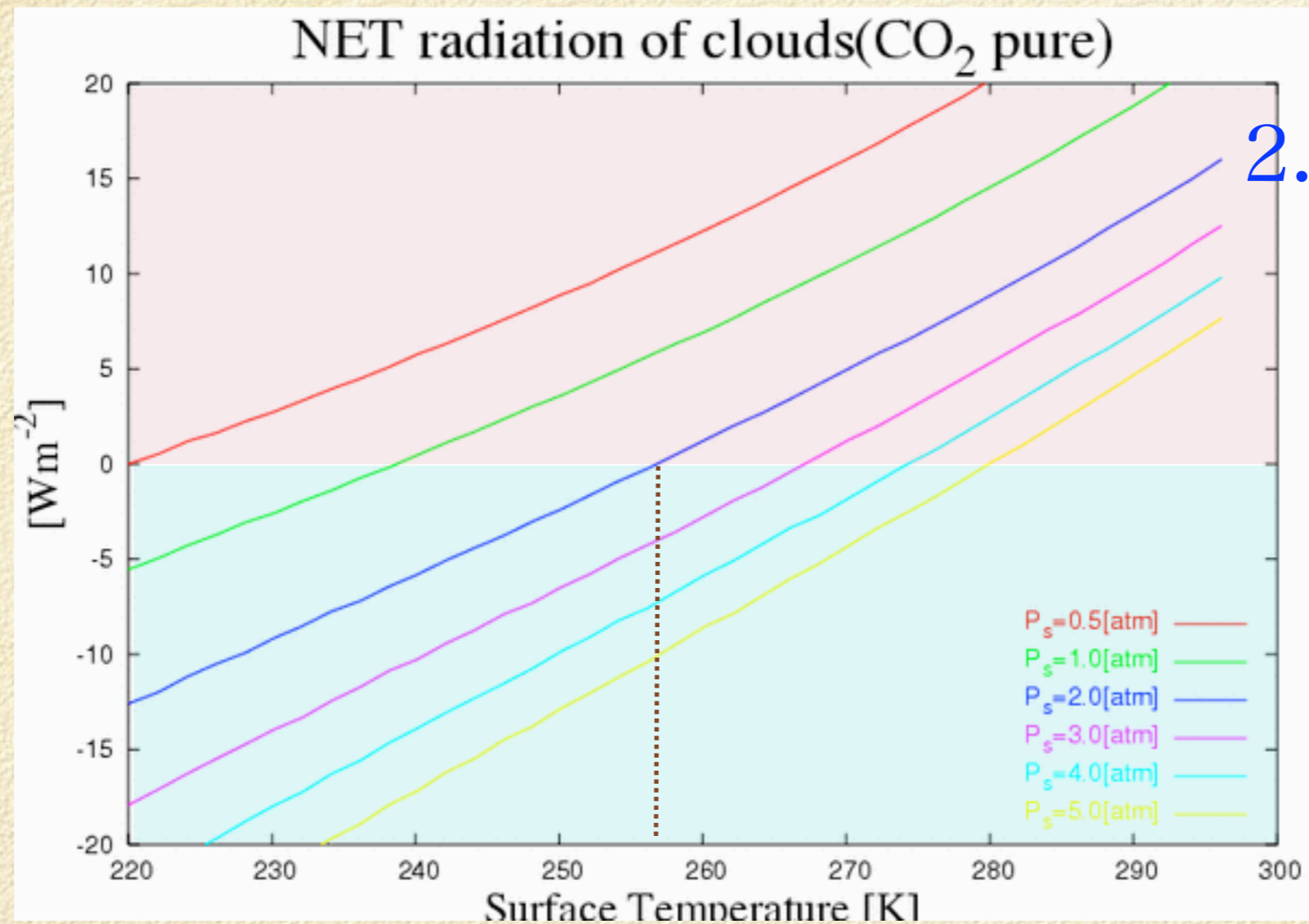
- 

- 雲

- 粒径：10  $\mu\text{m}$

- 面密度：3.2  $\text{kg}/\text{m}^2$

# 雲の安定性: CO<sub>2</sub> pure



- 高温低圧になるほど氷雲は不安定になる。
- 2 気圧では, 257 [K] 以上で不安定
- 水が安定に存在するには 4 気圧以上必要

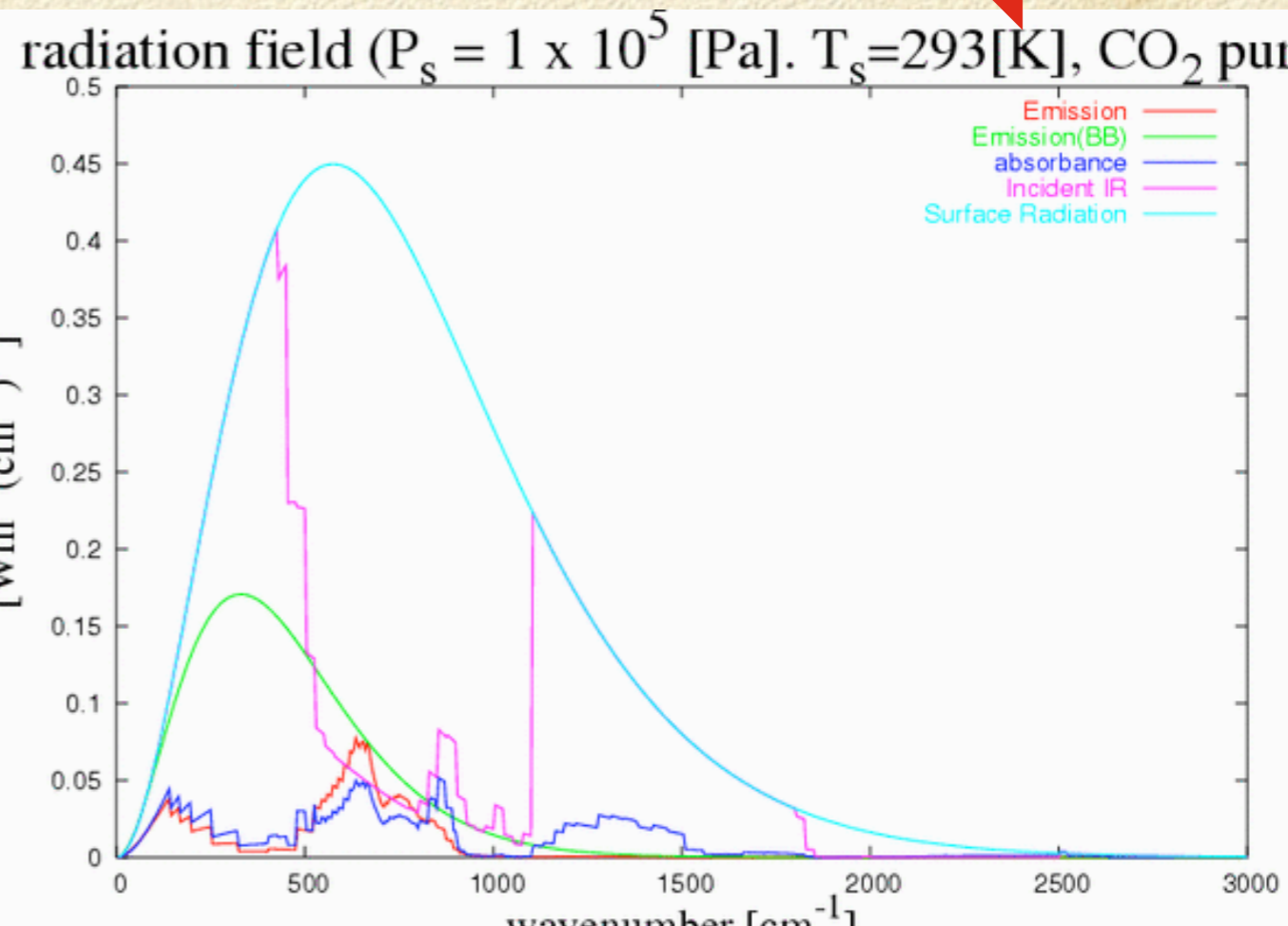
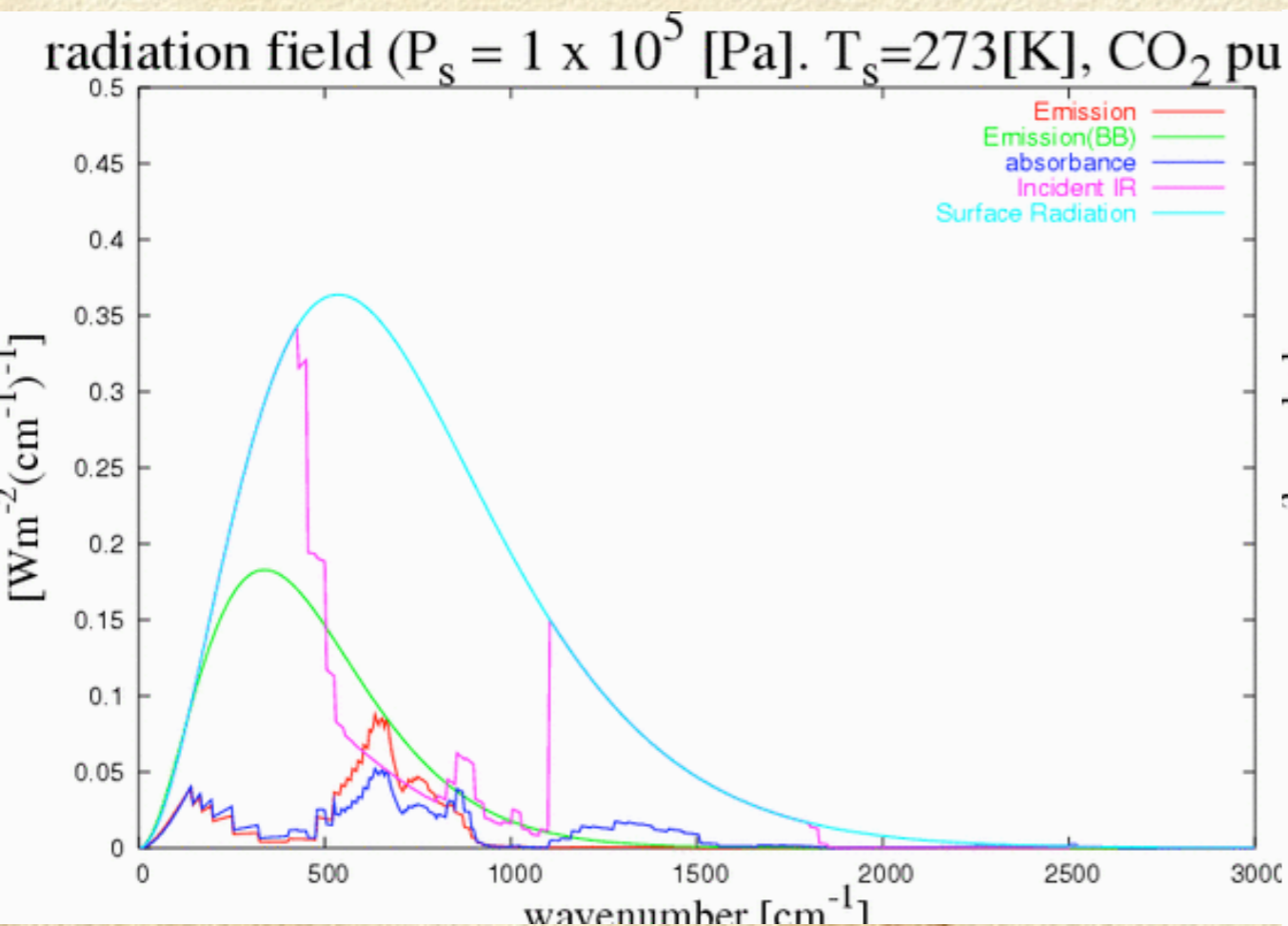
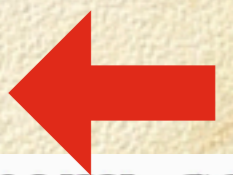
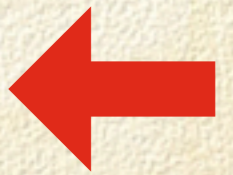
# 不安定：温度への依存

■ 地表面が高温

■ 射出：小さくなる

■ 吸収：大気透過率 0 → 小さくなる

■ : 大気透過率 0 以上 → 大きくなる



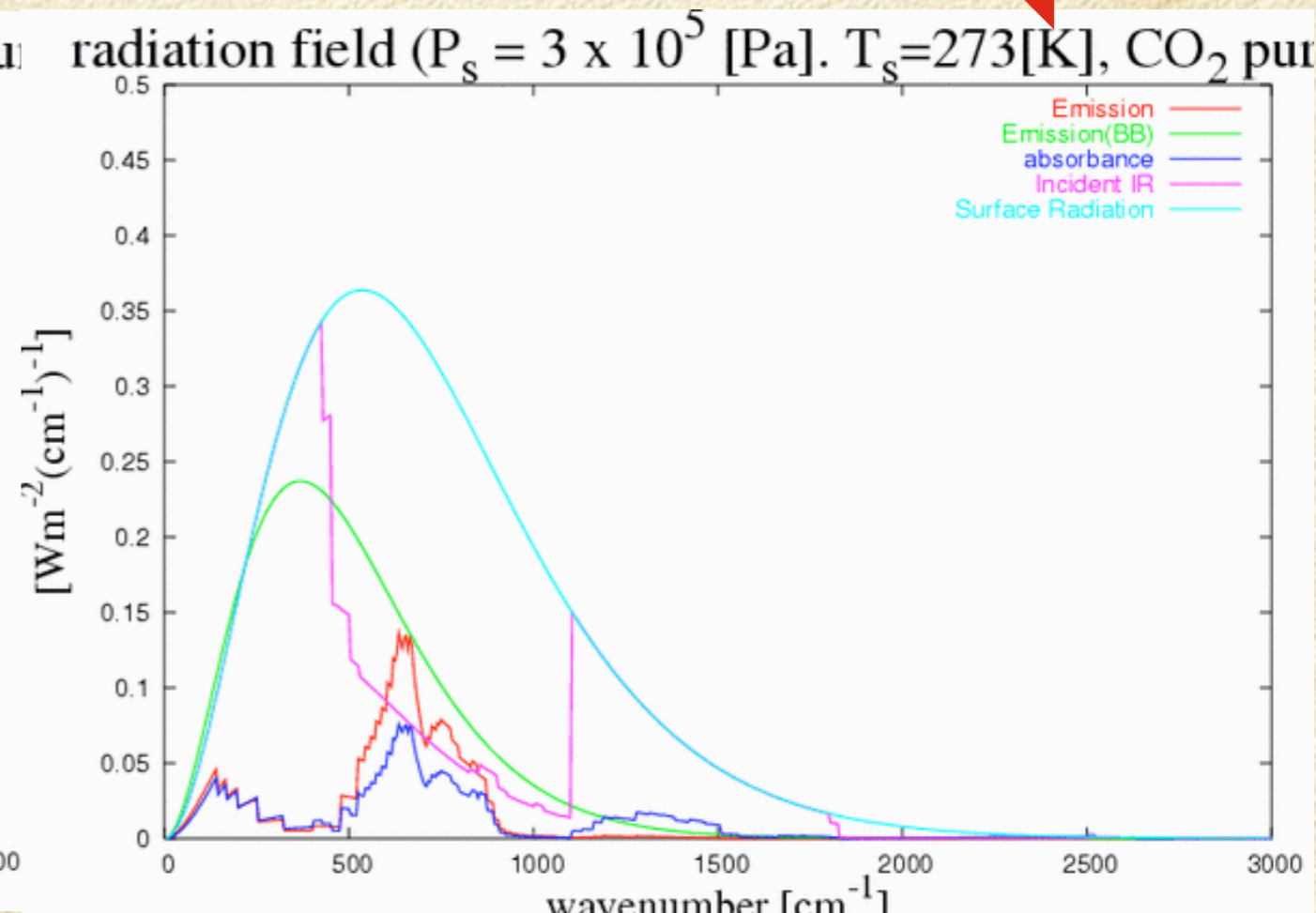
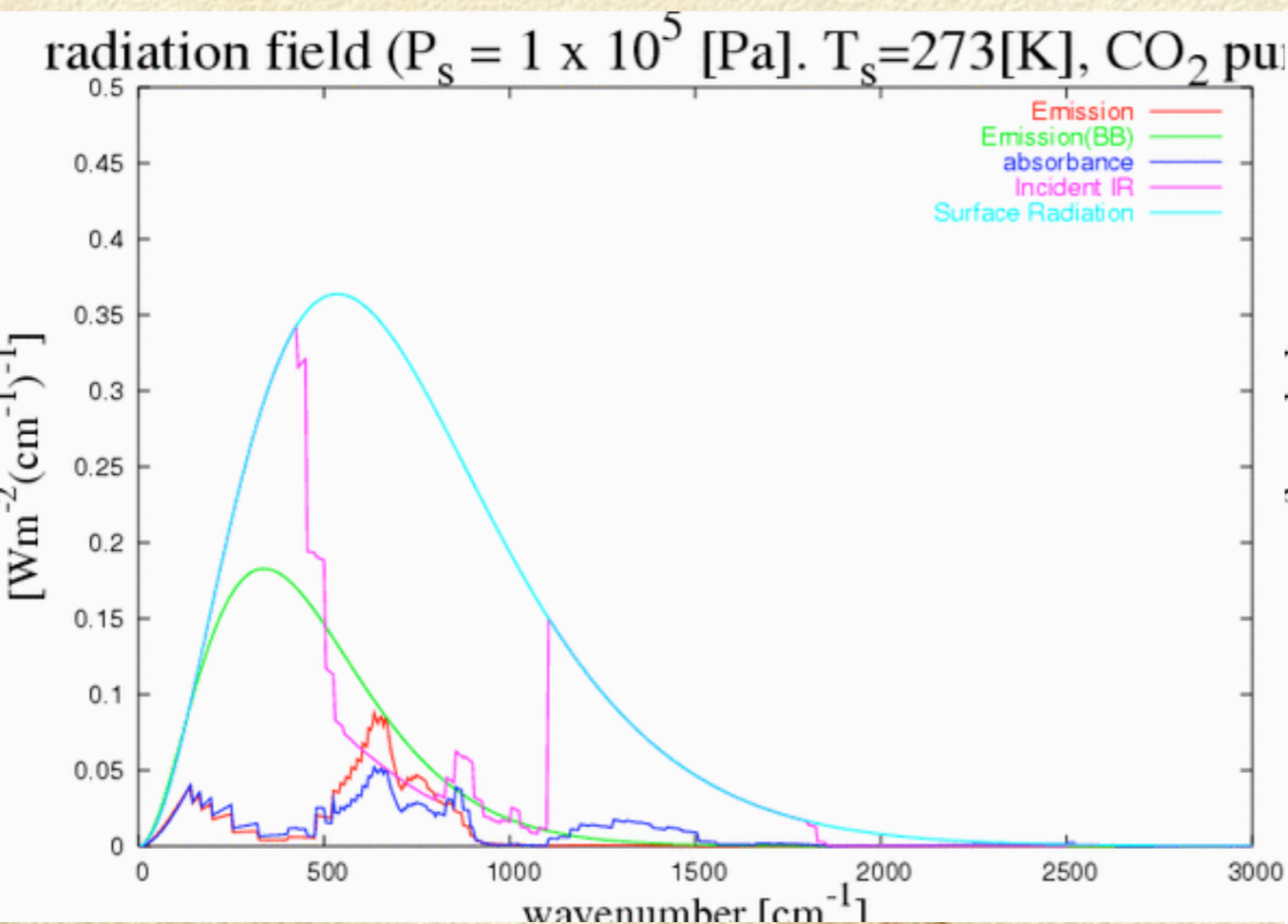
# 不安定：圧力への依存

■ 地表面が低圧

■ 射出：小さくなる(雲温度低)

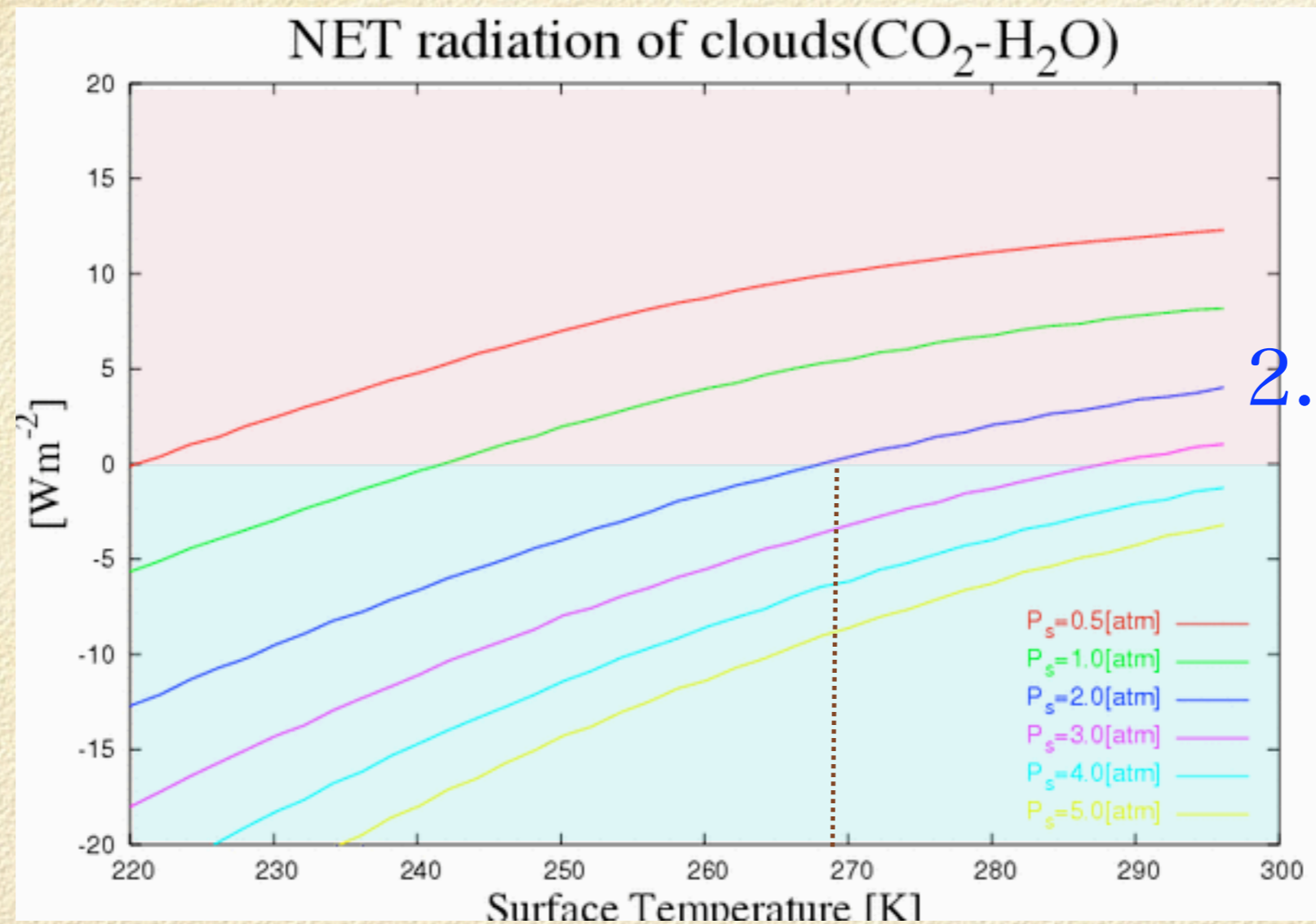
■ 吸収：大気吸収率 0 → 小さくなる

■ : 大気吸収率 0 以下 → 変化しない ←



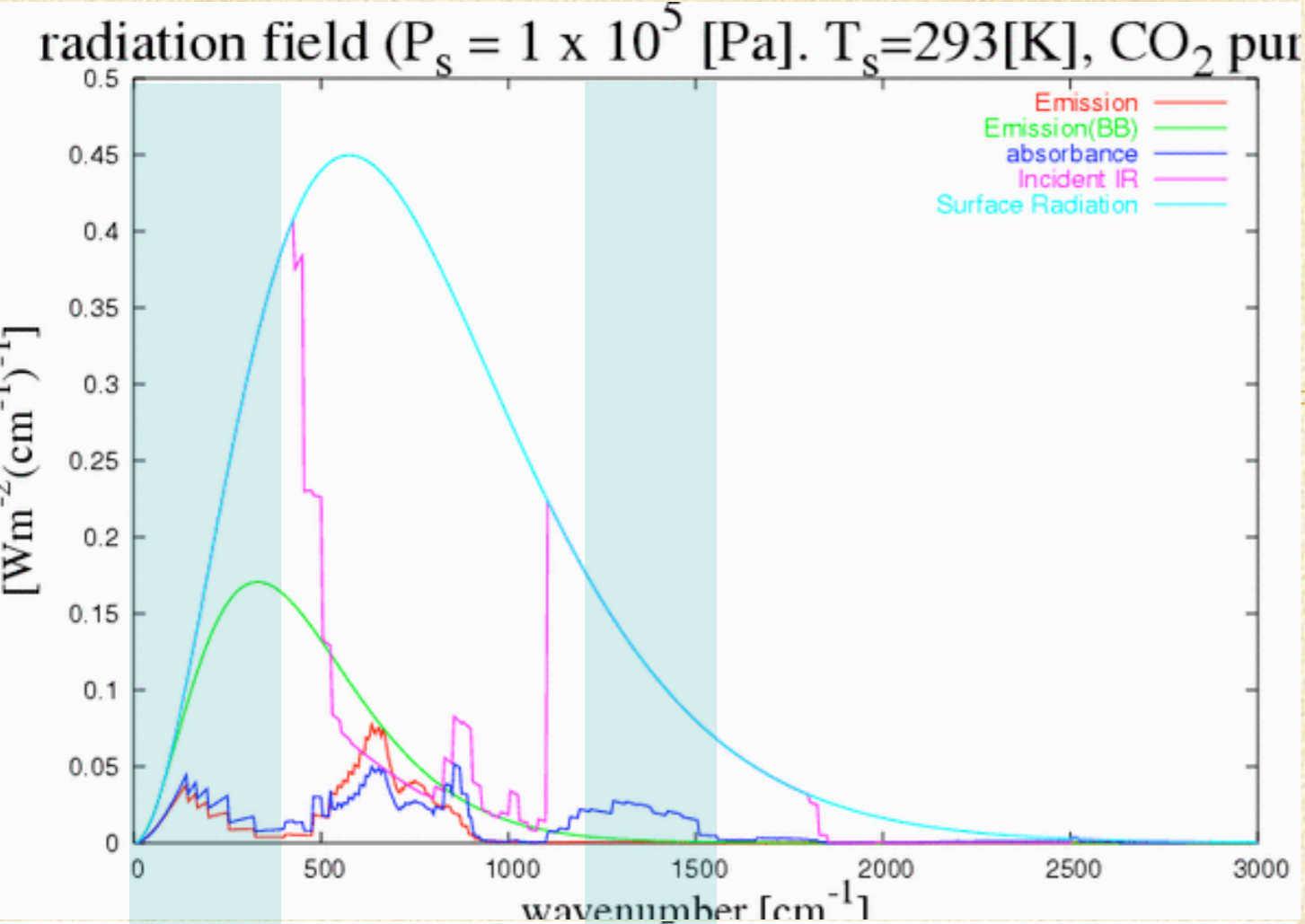


# 雲の安定性: CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 大気

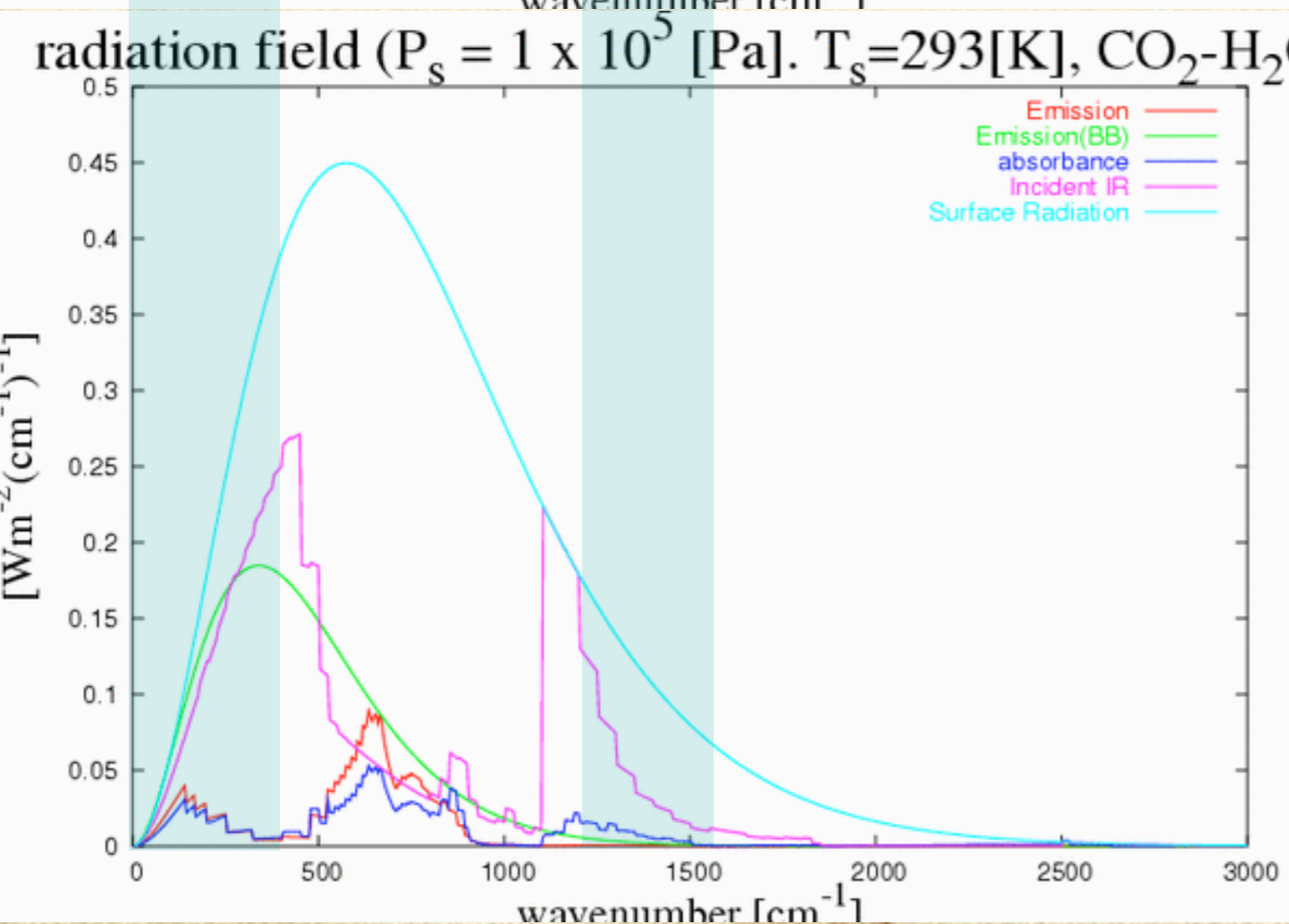


- 高温低圧で不安定 (傾向変わらず)
- CO<sub>2</sub> 大気より安定
- 水が安定に存在するには 2.5 気圧以上必要

# H2O への依存



- $\text{CO}_2$  大気より安定
- $\text{H}_2\text{O}$  の吸収帯によって  $\text{CO}_2$  氷雲の吸収減



# まとめ

---

- ある雲の粒径, 面密度を与えてCO<sub>2</sub> 氷雲の安定性を調べた.
  - 地表面気圧低, 温度高 -> 不安定
  - H<sub>2</sub>O の吸収効果 -> 安定
- CO<sub>2</sub> 大気で 4 気圧以上, CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 大気で **2.5 気圧以上**の大気がないと雲と水が安定に存在できない.

# 今後の方針

---

- 雲パラメータのつじつまは合っているのか確認.
- 地表面, 大気上端での放射平衡を満たすような気温/圧力は? その時の雲パラメータは?
- 雲は安定するのか? 温室効果するのか?
- 一次元モデルから鉛直南北二次元モデルへ
- HITRAN のデータベースを使いこなす.
  - バンド幅をより細かく
- CH<sub>4</sub> とか NH<sub>3</sub> を混ぜて遊ぶ.

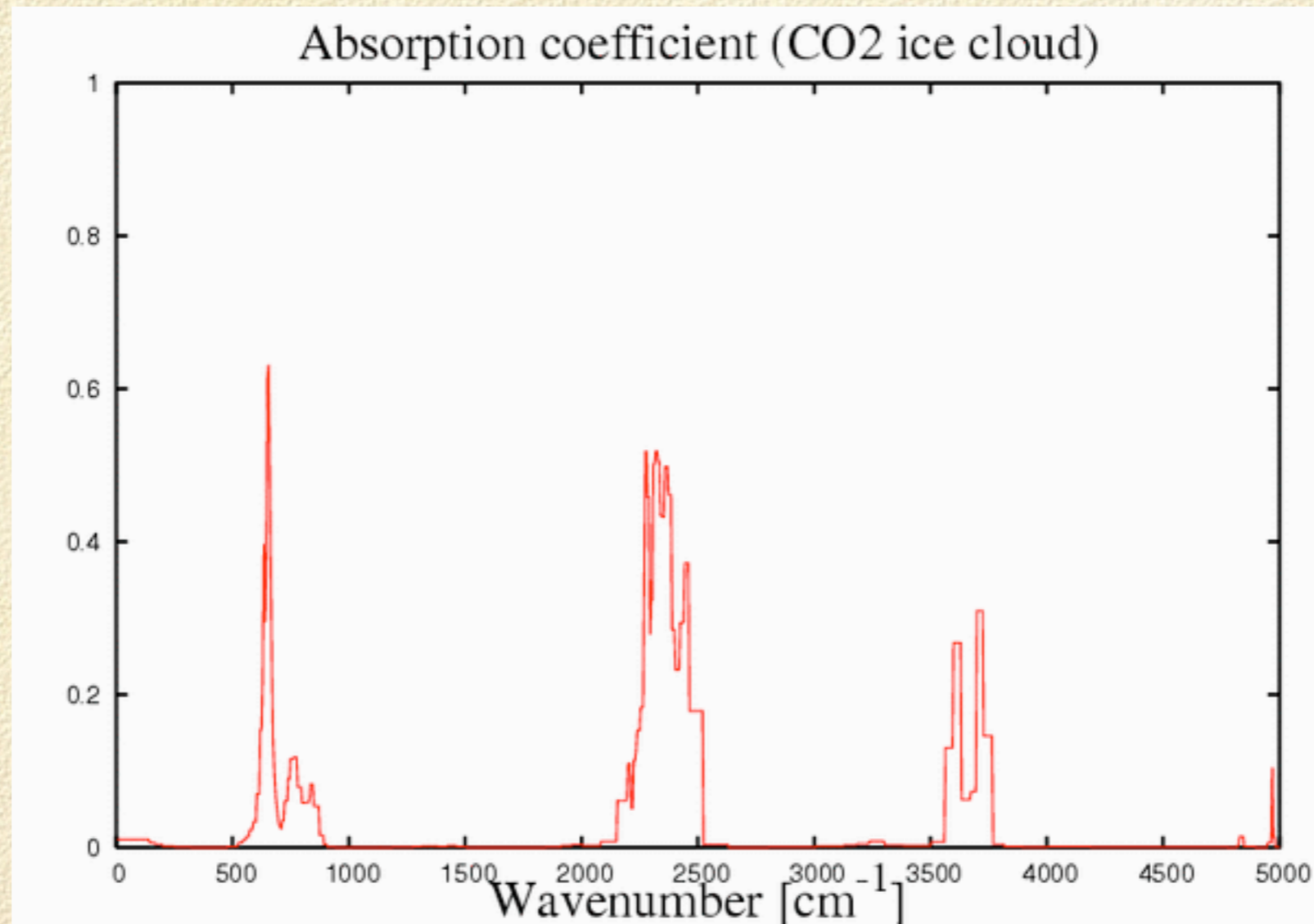
# 参考文献

---

- 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
- 小杉田圭之, 2002 : 火星大気の散乱温室効果:  $\delta$ -エディントン近似及び二方向近似による検討, 北海道大学修士論文
- 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

# Appendix

# CO2 氷雲の吸収率



# CO<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O 大気のスเปクトル

