

# 冥王代の地球と金星の大気

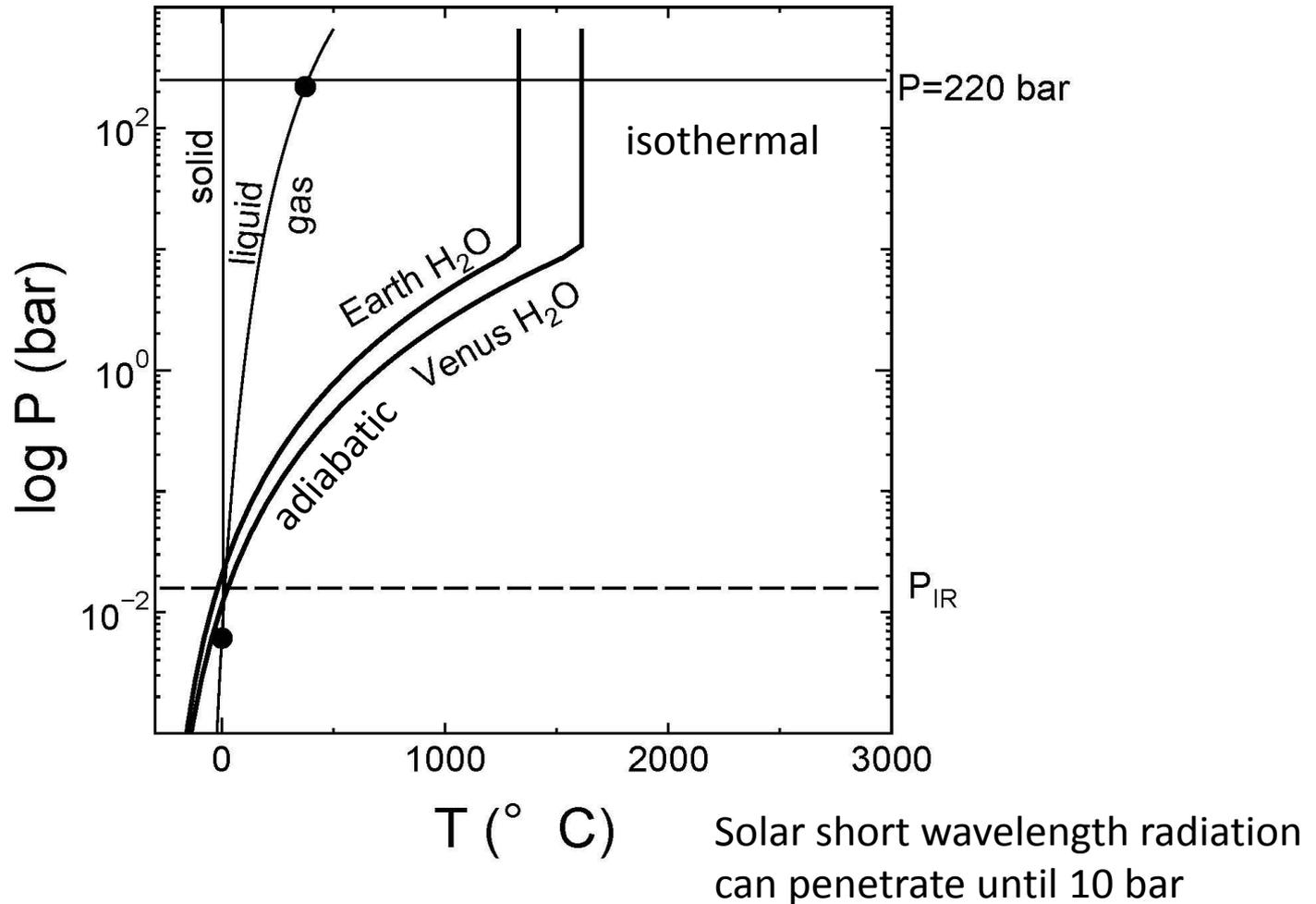
(間違いを含んでいるので使う人は注意すること)

戎崎俊一

理研

# Hadean H<sub>2</sub>O Atmosphere

Abe and Matsui 1981



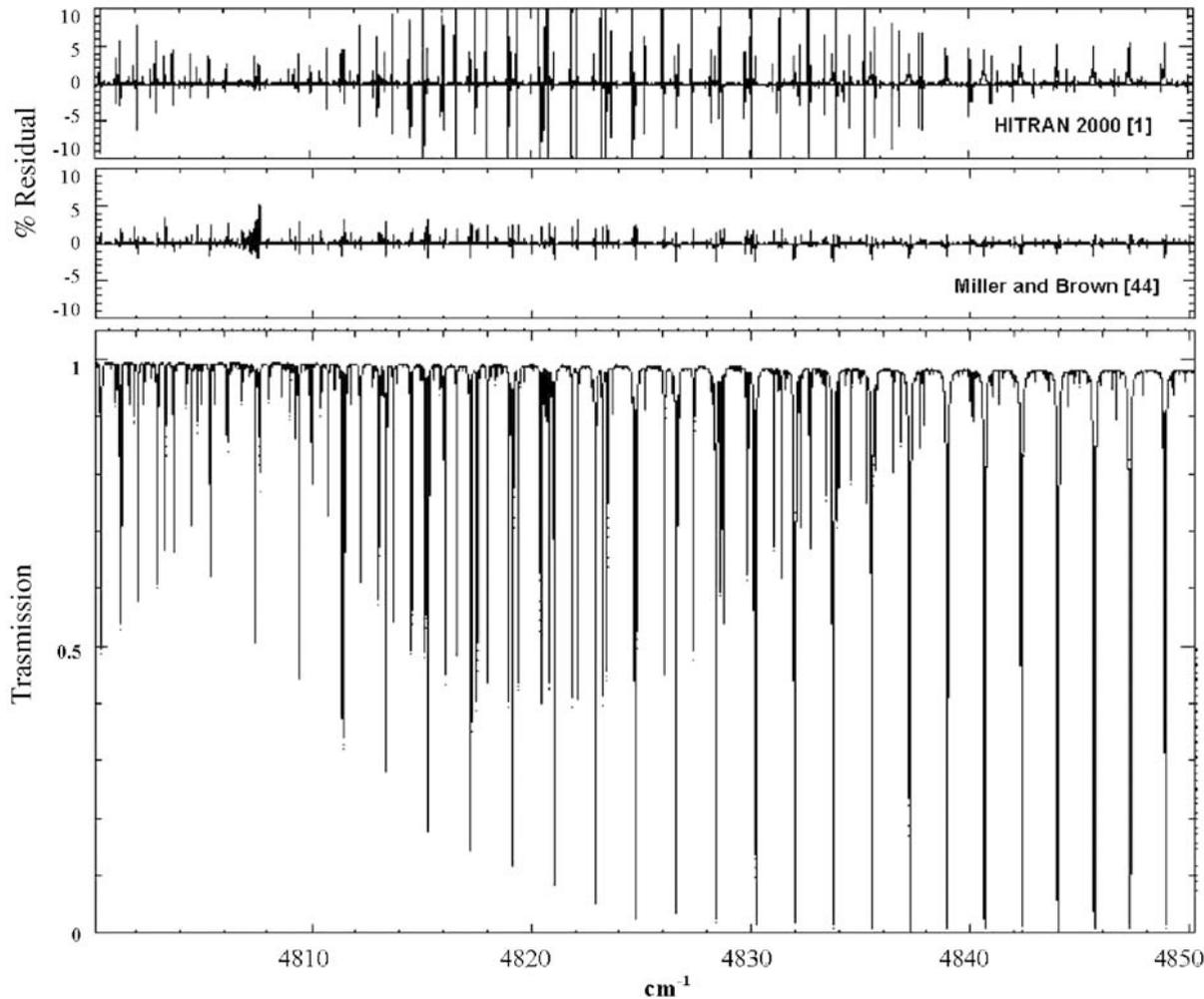
# 赤外球と冷却率

- 光学的厚さ= 1 @中間赤外 ( $\lambda=5-15 \mu\text{m}$ )
  - 赤外線はここから自由に逃げられる
- 赤外球の温度: 冷却率を決める  $\sim \sigma T_{\text{IR}}^4$
- 中間赤外線の特徴:  $\kappa_{\text{avg}} = cP$

$$\tau = \int_z^{\infty} \kappa \rho dz = \frac{cP^2}{2g\mu m_H} = 1$$

- 赤外球の高さは分からないが、圧力は分かる
- 太陽可視光は大気内部へ透過して熱化する。
  - 熱は対流で赤外球まで運ばれて、放射される

# CO<sub>2</sub> infrared spectrum



CO<sub>2</sub> laboratory spectra in the 2-μm region. The experimental conditions of the bottom panel are 30 torr CO<sub>2</sub> and 25m path.

# バンド構造における吸収線の合体

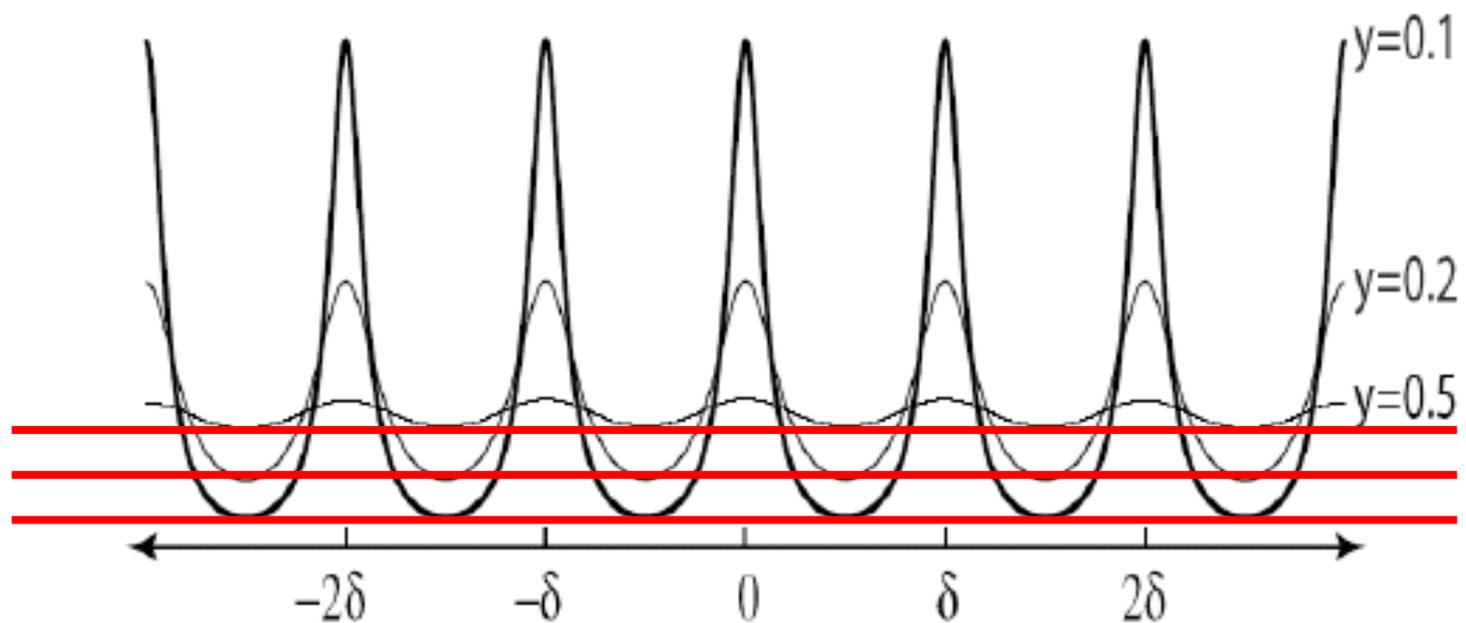


Figure 9.2 Schematic depiction of the absorption coefficient in the Elsasser (regular) band model, for three different values of  $y = \alpha/\delta$ .

# ロスランド近似

$$\begin{aligned} F_{\text{net}} &= \int F_{\nu} d\nu \\ &= -\frac{4\pi}{3} \int \frac{1}{\kappa \rho_{\text{gas}}} \frac{dB_{\nu}}{dz} d\nu \end{aligned}$$

$$\frac{1}{\kappa_R \rho_{\text{gas}}} = \frac{\int \frac{1}{\kappa \rho} \frac{dB_{\nu}}{dT} d\nu}{\int \frac{dB_{\nu}}{dT} d\nu}$$

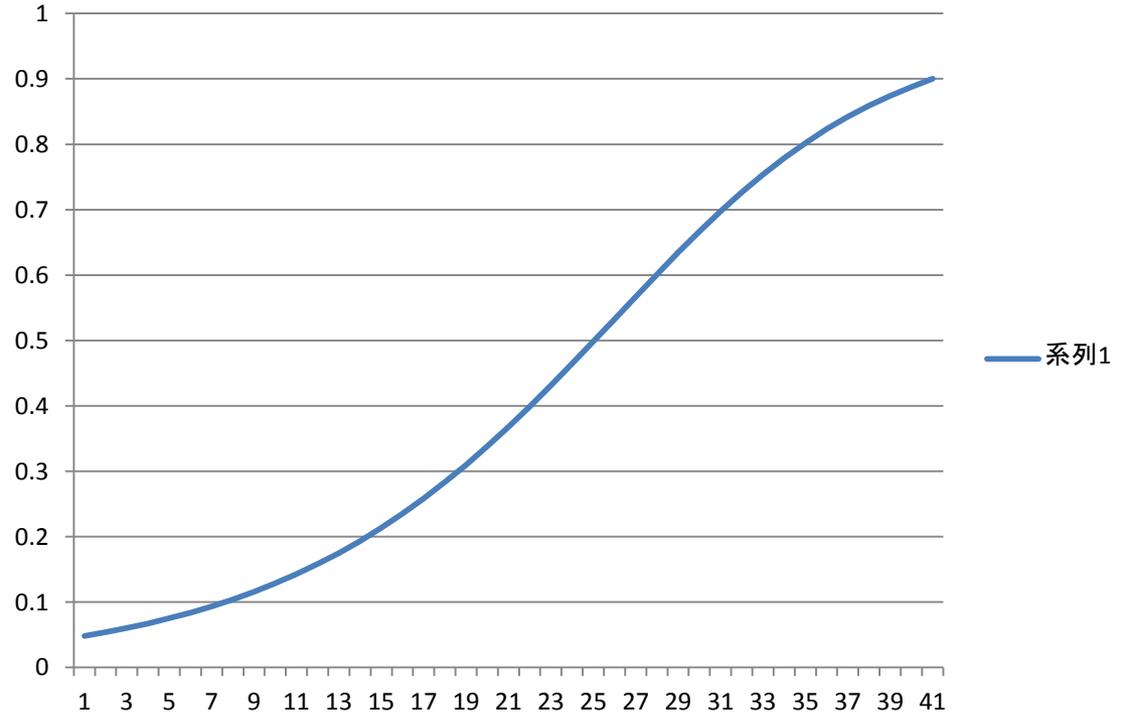
$$F_{\text{net}} = -\frac{16\sigma T^3}{3\rho\kappa_R} \frac{dT}{dz}$$

# アルベド

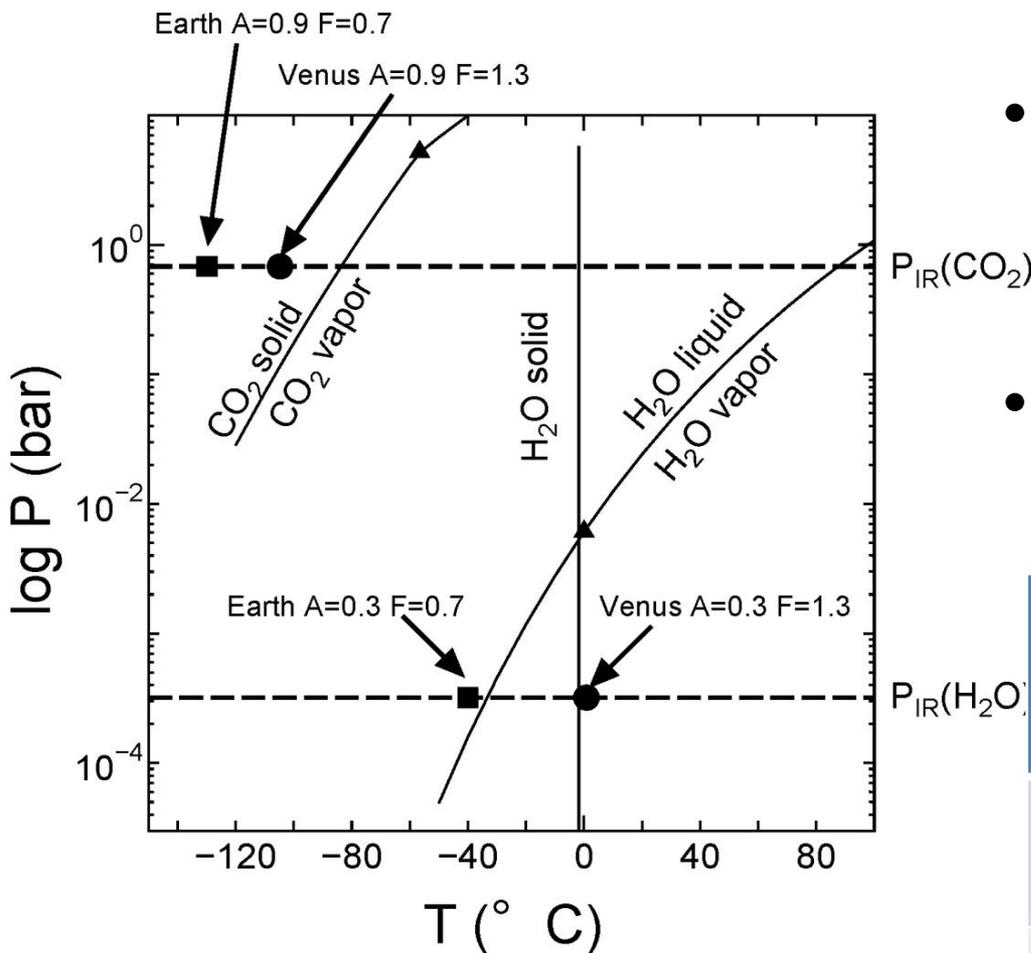
- $A \sim (1-a)^{1/2}$       $a = \sigma_a / \sigma$
- ガスの場合 (雲なし)
  - $a \sim 0.1 \rightarrow A \sim 0.3$
  - 海:  $A = 0.05$
- 雲の場合
  - $a \sim 10^{-4} \rightarrow A \sim 0.99$
- 雲の被覆率？

# アルベド

- $A=1-(1-\exp(-w))/w$
- $w=(\sigma_a/\sigma_s)^{1/2}$
- 雲の被覆率



# 地球型惑星の大気



- 赤外球圧力

- $P_{IR}(H_2O) = 3 \times 10^{-4}$  bar

- $P_{IR}(CO_2) = 6 \times 10^{-1}$  bar

- 赤外球温度

- $T_{IR} = 279[(1-A)F]^{1/4}$

	金星	地球
	F=1.33	F=0.7
$A_c(H_2O)$	0.31	1.3
$A_c(CO_2)$	0.82	0.67

# 地球型惑星の大気の運命

## 金星

$$A_c(\text{H}_2\text{O})=0.31 \quad A_c(\text{CO}_2)=0.81$$

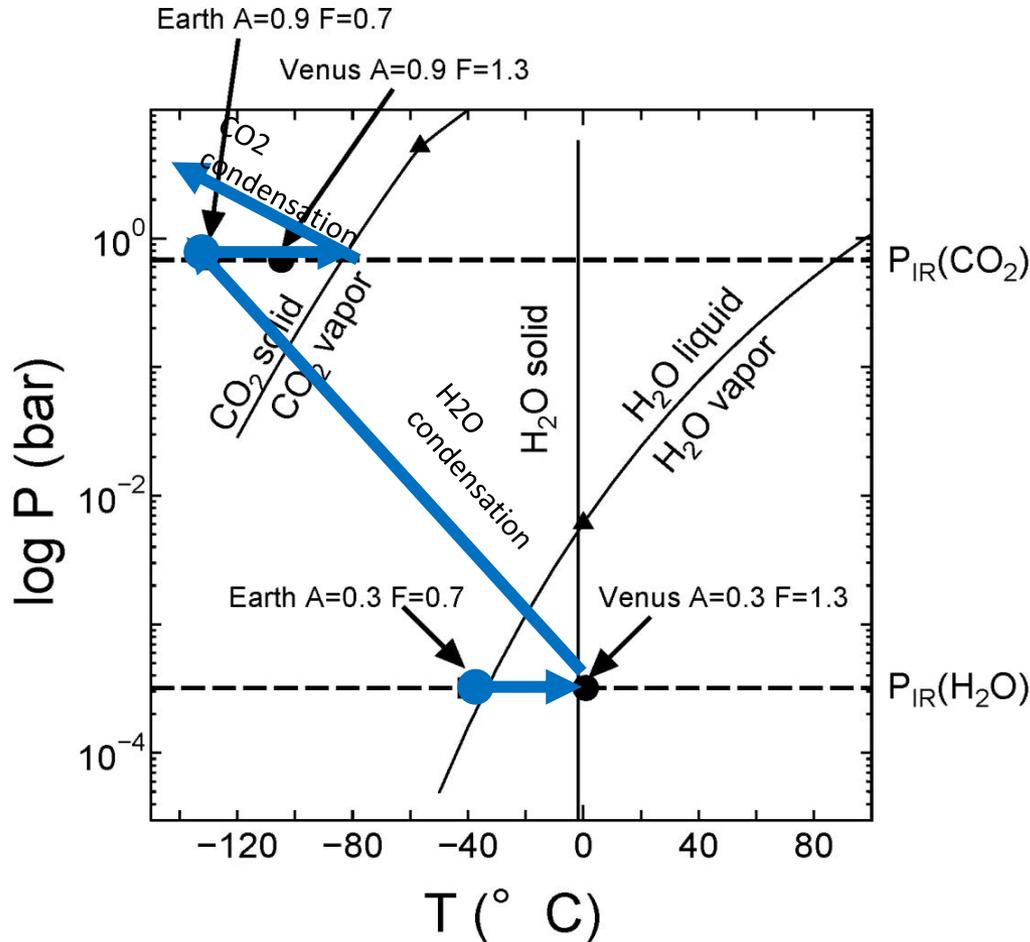
- $\text{H}_2\text{O}$ :  $A < 0.31$ ならばガス相

## 地球

$$A_c(\text{H}_2\text{O})=1.3 \quad A_c(\text{CO}_2)=0.67$$

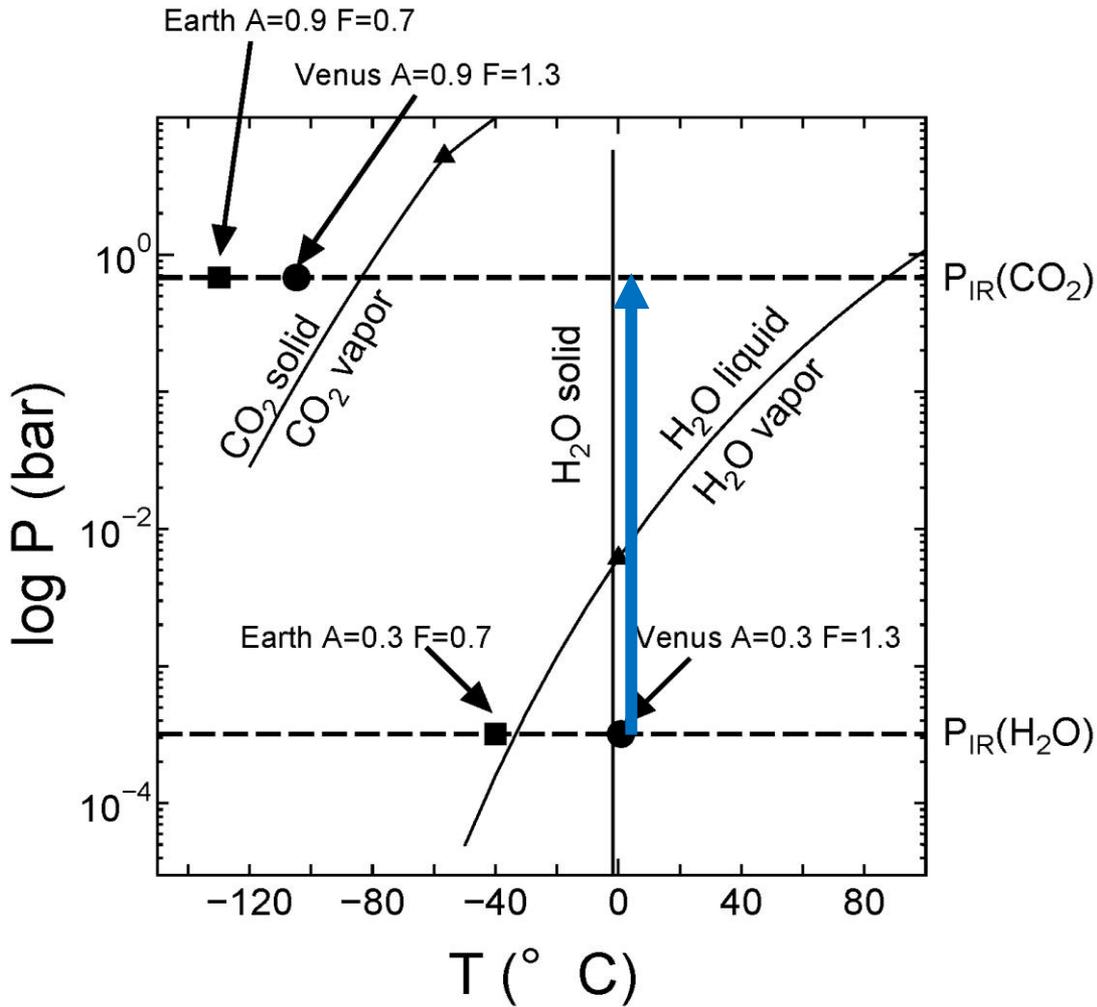
- $\text{H}_2\text{O}$ : 凝縮相
- $\text{CO}_2$ :  $A > 0.67$ ならば凝縮相

# 冥王代地球



- IR sphere of  $\text{H}_2\text{O}$  atmosphere locates in the condensation area  
 → loose energy to condensate  $\text{H}_2\text{O}$   
 $300\text{-}500 \text{ W m}^{-2}$
- $\text{H}_2\text{O}$  particles block solar SWR
  - nearly isothermal atmosphere
  - large albedo  $A \sim 0.9$
  - Most of  $\text{H}_2\text{O}$  condensed to the sea within  $10^4\text{-}10^5$  yrs
- $\text{CO}_2$  atmosphere
- IR sphere of  $\text{CO}_2$  atmosphere locates in the condensation area  
 → loose energy to condensate  $\text{CO}_2$   
 →  $\text{N}_2$  atmosphere

# 冥王代金星



- IR sphere of  $\text{H}_2\text{O}$  atmosphere locates in gas phase  
→ stable as  $\text{H}_2\text{O}$  atmosphere
- Loose  $\text{H}_2\text{O}$  through UV decomposition

# 小惑星衝突の結果が違う

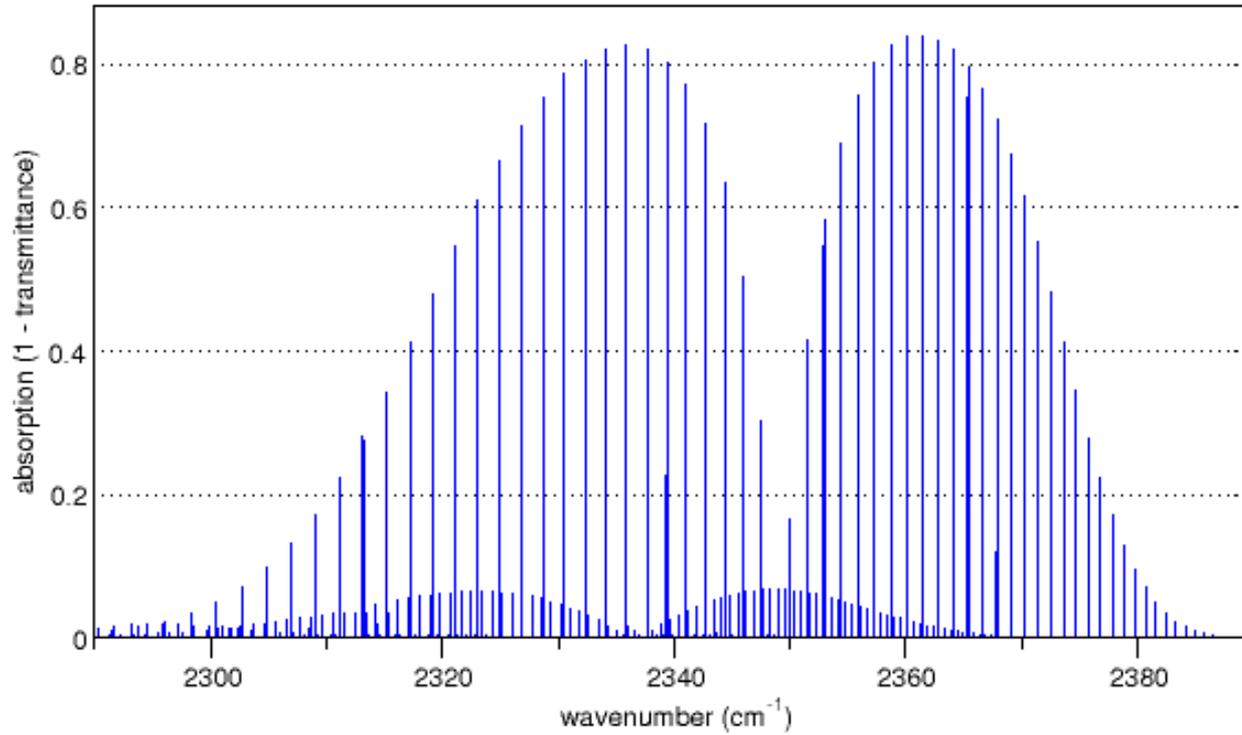
## 地球

- H<sub>2</sub>Oが、どんなにたくさん降着しても、冷却して海か氷河になる(1-10万年) → CO<sub>2</sub>大気へ
- CO<sub>2</sub>が、どんなにたくさん降着しても海か氷河(CO<sub>2</sub>)になる  
→ (千年-万年) N<sub>2</sub>大気へ
- 水の上をCO<sub>2</sub>が覆うため、H<sub>2</sub>Oが保護される
  - CO<sub>2</sub>が地殻へ取り込まれる
- N<sub>2</sub>大気にH<sub>2</sub>Oの海  
→ 今の地球

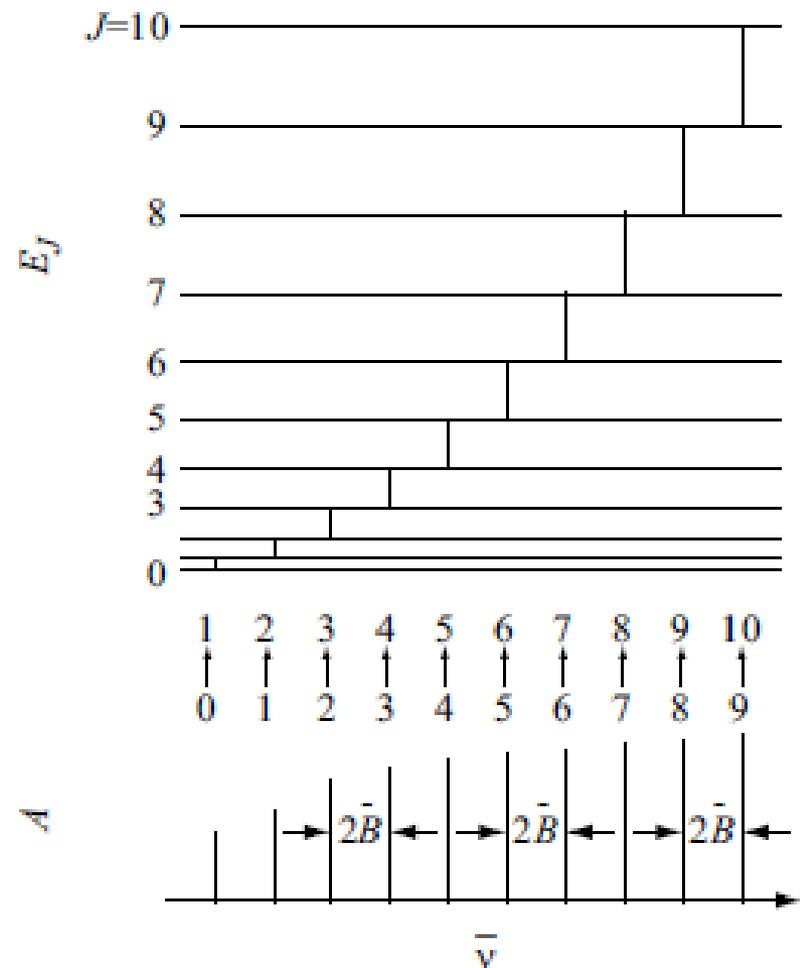
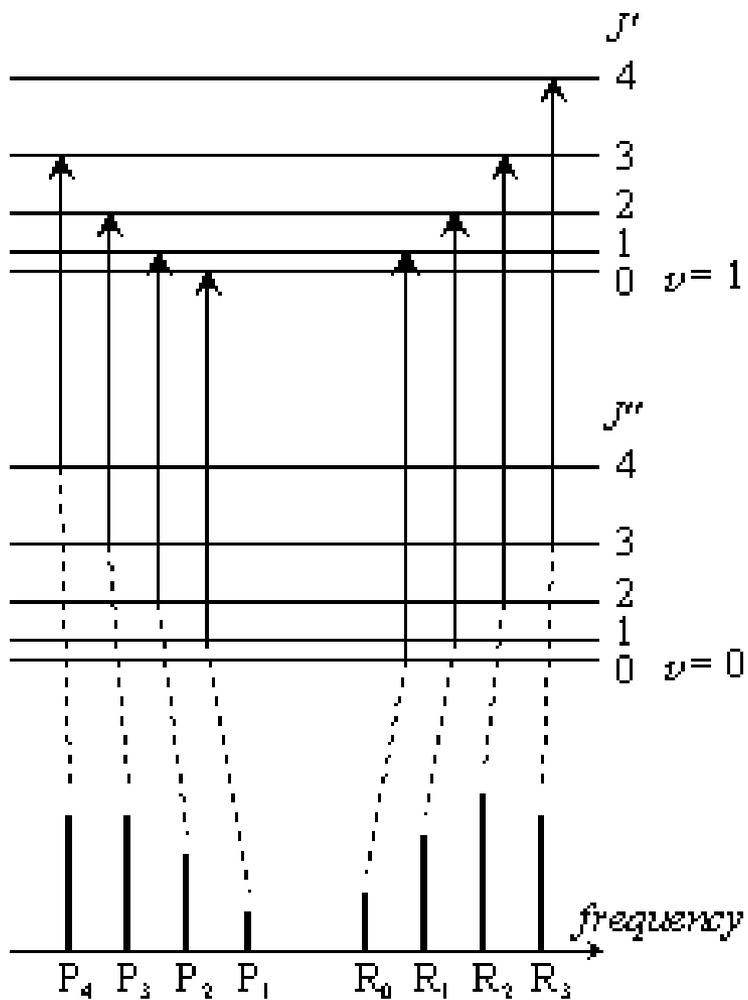
## 金星

- H<sub>2</sub>Oが、3x10<sup>-4</sup> bar以上降着すれば太陽からの熱入力とバランスしてH<sub>2</sub>O大気が維持される。
- 紫外線による分解で大気から水(雲)がなくなると太陽光が大気内部に透過し、Greenhouse効果で熱暴走  
→ 今の金星

# CO<sub>2</sub>



# 振動回転スペクトル $h\nu = B(J+1)$



# Delivery by Late Heavy Bombardment

CI chondrite + Primordial Crust

H<sub>2</sub>O:  $1.4 \times 10^{21}$  kg 5%wt in CI chondrite

Hadean Earth Surface

C: 34500

S: 62500

Mg: 98900

Si: 106400

Cl: 17300

Na: 229826

K: 56118

Ca: 126072

Fe: 190400

Atmosphere:

CO<sub>2</sub>  $1.2 \times 10^{23}$  mol : 1200 bar

Ocean: extremely acidic pH<1

H<sub>2</sub>O  $7.8 \times 10^{22}$  mol: 3000 m

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>  $8.4 \times 10^{22}$  mol

HCl  $2.1 \times 10^{22}$  mol

Crust: silicate rocks

(Na, Fe, Ca, Mg, K)SiO<sub>4</sub>

erosion → Ocean neutralization

high salinity: Na<sup>+</sup> Fe<sup>2+</sup> K<sup>+</sup> Mg<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> Cl<sup>-</sup>

