

2. 惑星大気

2-1 組成

木星型惑星：元素組成 ~ 太陽大気。H は H₂ 分子として存在。極めて厚い。

地球型惑星：元素組成 ≠ 太陽大気。重元素に富む。

金星・火星：CO₂ が主成分。金星は厚く、火星は薄い。

地球：N₂, O₂ が主成分。地表に大量の液体の H₂O。

2-2 温度

ステファンボルツマンの法則

温度 T の黒体が単位時間単位表面積あたりに放射するエネルギー = σT^4

ここで σ はステファンボルツマン定数

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

平衡温度 T_{eq} 惑星の吸収した太陽放射に等価な黒体温度

$$4\pi R^2 \sigma T_{eq}^4 = \pi R^2 (1 - A) F$$

ここで、 R は惑星半径、 A はアルベド、 F は惑星軌道における太陽放射フラックス。1AU では

$$F = 1370 \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-2}$$

この値を**太陽定数**と呼ぶ。

有効温度 T_{eff} 惑星の総熱放射に等価な黒体温度

$$4\pi R^2 \sigma T_{eff}^4 = [\text{惑星の総熱放射}]$$

金星： $T_s \gg T_{eq}, T_{eff}$ CO₂ の強い温室効果。

木星： $T_{eff} > T_{eq}$ 内部にも熱源。

地球： $T_s > T_{eq}, T_{eff}$ H₂O, CO₂ の温室効果。

太陽と代表的な惑星の大気

	太陽	地球	金星	火星	木星
表面気圧 $P(\text{bar})$	0.13 (光球面)	1.013	92	0.006	2 (雲頂)
表面温度 $T_s(\text{K})$	6430 (光球面)	280	750	240	134 (雲頂)
有効温度 (K) T_{eff}	5780	250	230	220	130
平衡温度 (K) T_{eq}	—	256	227	216	98
主要大気成分 (vol%)	H (91.0)	N ₂ (78)	CO ₂ (96.5)	CO ₂ (95.3)	H ₂ (88.8)
	He (8.9)	O ₂ (21)	N ₂ (3.5)	N ₂ (2.7)	He (11.1)
	O(78ppm)	Ar (0.9)	Ar (70 ppm)	Ar (1.6)	CH ₄ (0.2)

2-3 惑星に大気が存在するための条件

直観的に…小さな惑星は大気を持ってない

大気を存在する必要条件：分子の熱運動エネルギー < 重力エネルギー

$$\frac{3}{2}kT < G\frac{Mm}{R}$$

ここで k はボルツマン定数, G は万有引力定数, M は惑星質量, m は分子質量.

$$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K.}$$

これを脱出速度 v_e を用いて変形

$$\frac{1}{2}v_e^2 = G\frac{M}{R}$$

だから

$$\frac{3}{2}kT < \frac{1}{2}mv_e^2$$

レポート問題

問題 1 太陽定数, 太陽の半径, 太陽-地球間の距離から, 太陽の有効放射温度を求めよ.

問題 2 (1) 地球は大気を持つ条件を満たしていることを確かめよ. (2) 月に大気が存在しない理由について考察せよ.