

木星現象論：木星に関する基本的数字

地球流体電脳倶楽部

1996 年 5 月 24 日

目次

1	天文学に関する数字	2
1.1	惑星本体・衛星	2
1.2	軌道要素・自転軸	2
1.3	時間	2
1.4	太陽定数, アルベド	3
2	大気科学に関する数字	4
2.1	組成 (雲より上)	4
3	練習問題：木星大気の諸量概算	5
3.1	解答	5
3.2	練習問題解答例	5
4	参考文献	7

要旨

木星とその大気にまつわる天文学的数字のリストを掲げる.

1 天文学に関する数字

1.1 惑星本体・衛星

物理量	木星	地球の値との比	地球
質量 (10^{24} kg)	1.899×10^3	317.832	5.973
赤道半径 R_e (km)	7.1398×10^4	11.19	6378
極半径 R_p (km)	6.704×10^4	10.55	6357
扁平率 $(R_e - R_p)/R_p$	0.065	19	0.0034
密度 (g cm^{-3})	1.33	0.241	5.52
赤道重力加速度 (表面) (ms^{-2})	23.2	2.37	9.78
衛星の数	16 個以上	16 以上	1

(理科年表 1990 より)

1.2 軌道要素・自転軸

物理量	木星	地球
昇交点黄経 $\Omega(^{\circ})$	100.449	354.865
軌道傾斜角 $i(^{\circ})$	1.303	0.001
軌道長半径 $a(10^8 \text{ km})$	7.783	1.496
離心率 e	0.0485	0.0167 ¹
近日点黄経 $\varpi(^{\circ})$	14.311	102.904
元期平均近点離角 $M_o(^{\circ})$	91.589	76.273
赤道傾斜角 $(^{\circ})^2$	3.1	23.44

(理科年表 1990)

1.3 時間

物理量	木星	地球の値との比	地球
公転周期	4332.589 日 (11.862 年)	11.862	365.256 日
自転周期 ³	9h55m40.632s (0.414 日)	0.415	0.9973 日
自転角速度 ($\text{rad} \cdot \text{sec}^{-1}$)	1.758×10^{-4}	2.411	7.292×10^{-5}

(理科年表 1990, Moore and Hunt 1983 より)

¹元期:1990 年 7 月 1.0 日. 座標系:2000 年 1 月 1.5 日の黄道座標系. くわしくは金星現象論 ‘金星に関する基本的数字’ Appendix を参照せよ.

²各惑星の黄道座標系による黄経, 黄緯で表す.

1.4 太陽定数, アルベド

物理量	木星	地球の値との比	地球
太陽定数 (W m^{-2})	50.7	0.037	1370
Albedo(Bond) ⁴	0.73	2.43	0.30

(理科年表 1990 より)

³木星の自転の定め方については別シリーズ‘木星に関する用語’を参照せよ.

⁴木星のアルベドは, 他の教科書によると約 0.3 程度である (Moore and Hunt 1983). 理科年表がどのように計算しているのかわからない. 別シリーズ‘木星の放射エネルギー収支’も参照せよ.

2 大気科学に関する数字

2.1 組成 (雲より上)

構成要素	体積百分率 (%)
H ₂	90
HD	1.8×10^{-3}
He	4.5
CH ₄	7×10^{-2}
CH ₃ D	3×10^{-5}
NH ₃	2×10^{-2}
C ₂ H ₆	10^{-2}
C ₂ H ₂	10^{-2}
H ₂ O	10^{-4}
PH ₃	10^{-6}
CO	10^{-7}
GeH ₄	10^{-7}

(Moore and Hunt 1983 より) ¹

¹総和をとっても 100% にならない

3 練習問題: 木星大気の諸量概算

地球, 木星大気について次の量を計算せよ. 地球のモデル大気は $\text{N}_2 80\%$, $\text{O}_2 20\%$, 木星のモデル大気については $\text{H}_2 90\%$, $\text{He} 10\%$ で考えてみよ.

1. 有効放射温度 T_e
2. 平均分子量 M
3. (単位質量あたりの) 定積比熱 c_v , 定圧比熱 c_p , 比熱比 γ
4. 音速 c_s
5. 圧力スケールハイト H_p
6. 断熱温度勾配 $\left(\frac{dT}{dz}\right)_{ad}$

3.1 解答

物理量	木星	地球
有効放射温度 T_e (K)	111.8	255.0
平均分子量 M	2.2	28.8
定積比熱 (単位質量) c_v ($\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	9065.5	721.4
定圧比熱 (単位質量) c_p ($\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	12842.7	1009.9
比熱比 γ	1.42	1.4
音速 c_s ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	774.4	321.0
圧力スケールハイト H_p (Km)	18.2	7.51
断熱温度勾配 ($\text{K} \cdot \text{Km}^{-1}$)	1.81	9.70

3.2 練習問題解答例

1. 有効放射温度 T_e
太陽定数を S , アルベドを A , ステファン-ボルツマン定数を σ とすると, 有効放射温度を定める式は

$$\frac{1}{4}(1 - A)S = \sigma T_e^4$$

である. 地球大気の場合には

$$\frac{1}{4}(1 - 0.3) \times 1370 = 6.67 \times 10^{-8} T_{eEarth}^4$$

よって

$$T_{eEarth} = 255.0 \text{ (K)}$$

木星大気の場合には

$$\frac{1}{4}(1 - 0.3) \times 1370 \times 0.037 = 6.67 \times 10^{-8} T_{eJupiter}^4$$

よって

$$T_{eJupiter} = 111.8 \text{ (K)}$$

2. 平均分子量 M

$$M_E = 0.8 \times 28 + 0.2 \times 32 = 28.8,$$

$$M_J = 0.9 \times 2 + 0.1 \times 4 = 2.2$$

3. (単位質量あたりの) 定積比熱 c_v , 定圧比熱 c_p , 比熱比 γ

地球では 2 原子分子であるから

$$c_v = \frac{5}{2}R = \frac{5}{2} \times \frac{8.31}{28.8 \times 10^{-3}} = 721.4 \text{ (J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}\text{)},$$

$$c_p = \frac{7}{2}R = \frac{7}{2} \times \frac{8.31}{28.8 \times 10^{-3}} = 1009.9 \text{ (J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}\text{)},$$

$$\gamma = \frac{7}{5} = 1.4$$

木星大気は 1 原子分子と 2 原子分子の混合気体であるから

$$c_v = \frac{5}{2}R \times 0.9 + \frac{3}{2}R \times 0.1 = 2.4R = 2.4 \times \frac{8.31}{2.2 \times 10^{-3}} = 9065.5 \text{ (J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}\text{)},$$

$$c_p = c_v + R = 3.4R = 3.4 \times \frac{8.31}{2.2 \times 10^{-3}} = 12842.7 \text{ (J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}\text{)},$$

$$\gamma = \frac{3.4}{2.4} = 1.42$$

4. 音速 c_s

温度として先に計算した有効温度を用いることにすると, 地球大気では

$$c_{sE} = \sqrt{\gamma RT} = \sqrt{1.4 \times \frac{8.31}{28.8 \times 10^{-3}} \times 255.0} = 321.0 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$$

木星大気では

$$c_{sJ} = \sqrt{\gamma RT} = \sqrt{1.42 \times \frac{8.31}{2.2 \times 10^{-3}} \times 111.8} = 774.4 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$$

5. 圧力スケールハイト H_p

温度を先に求めた有効放射温度を用いると, 地球大気の場合には

$$H_{pE} = \frac{RT}{g} = \frac{8.31}{28.8 \times 10^{-3}} \times 255.0 \times \frac{1}{9.8} = 7507.1 \text{ (m)} = 7.51 \text{ (Km)}$$

木星大気の場合には

$$H_{pJ} = \frac{RT}{g} = \frac{8.31}{2.2 \times 10^{-3}} \times 111.8 \times \frac{1}{9.8 \times 2.37} = 18182 \text{ (m)} = 18.2 \text{ (Km)}$$

6. 断熱温度勾配 $\left(\frac{dT}{dz}\right)_{ad}$

理想気体の場合, 断熱温度勾配は $\left(\frac{dT}{dz}\right)_{ad} = -\frac{g}{c_p}$ であるから, 地球大気の場合には

$$\left|\left(\frac{dT}{dz}\right)_{ad}\right| = \frac{9.8}{1009.9} = 0.00970 \text{ (K} \cdot \text{m}^{-1}) = 9.70 \text{ (K} \cdot \text{Km}^{-1})$$

木星大気の場合には

$$\left|\left(\frac{dT}{dz}\right)_{ad}\right| = \frac{9.8 \times 2.37}{12842.7} = 0.00181 \text{ (K} \cdot \text{m}^{-1}) = 1.81 \text{ (K} \cdot \text{Km}^{-1})$$

4 参考文献

Moore,P.,Hunt.G.,1983 : Atlas of the solar system. Rand McNally & Company, 464pp. 清水幹夫訳 : 図説我らの太陽系

国立天文台, 1990 : 理科年表, 丸善, 1032pp.

謝辞

本稿は 1989 年から 1993 年に東京大学地球惑星物理学科で行われていた, 流体理論セミナーでのセミナーノートがもとになっている. 原作版は竹広真一による「木星現象論」(90/05/01) であり, 林祥介によって地球流体電脳倶楽部版「木星現象論」として書き直された (96/06/23). 構成とデバッグに協力してくれたセミナー参加者のすべてにも感謝しなければならない.