

土星現象論: 土星に関する基本的数字

地球流体電脳倶楽部

1996 年 7 月 22 日

目次

1	天文学に関する数字	2
2	大気科学に関する数字	4
3	練習問題	4
3.1	解答	5
4	練習問題解答例	6
5	参考文献	7

要旨

土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

惑星本体・衛星

物理量	土星	地球の値との比	地球
質量 (10^{24} kg)	5.684×10^2	95.16	5.973
赤道半径 R_e (km)	6.0000×10^4	9.407	6378
極半径 R_p (km)	5.415×10^4	8.517	6357
扁平率 $(R_e - R_p)/R_p$	0.108	31	0.0034
密度 (g cm^{-3})	0.70	0.13	5.52
赤道重力加速度 (表面)(ms^{-2})	9.29	0.95	9.78
衛星の数	17 個以上	17 以上	1

(理科年表 1990 より)

軌道要素¹・自転軸

物理量	土星	地球
昇交点黄経 $\Omega(^{\circ})$	113.689	354.865
軌道傾斜角 $i(^{\circ})$	2.489	0.001
軌道長半径 $a(10^8 \text{ km})$	14.294	1.496
離心率 e	0.0555	0.0167
近日点黄経 $\varpi(^{\circ})$	93.003	102.904
元期平均近点離角 $M_o(^{\circ})$	200.919	76.273
赤道傾斜角 $(^{\circ})^2$	26.7	23.44

(理科年表 1990)

時間

物理量	土星	地球の値との比	地球
公転周期	10759.22 日 (29.457 年)	29.457	365.256 日
自転周期 ³	10h39m24s (0.444 日)	0.445	0.9973 日
自転角速度 ($\text{rad} \cdot \text{sec}^{-1}$)	1.638×10^{-4}	2.246	7.292×10^{-5}

(理科年表 1990, Moore and Hunt 1983 より)

太陽定数, アルベド

物理量	土星	地球の値との比	地球
太陽定数 (W m^{-2})	15.1	0.011	1370
Albedo(Bond) ⁴	0.77	2.6	0.30

(理科年表 1990 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.

³土星の自転の定め方については別シリーズ‘土星に関する用語’を参照せよ.

⁴土星のアルベドは, 他の教科書によると 0.33 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.

2 大気科学に関する数字

組成

構成要素	体積百分率 (%)
H ₂	~ 94
He	~ 6
NH ₃	2×10^{-4}
PH ₃	1×10^{-6}
CH ₄	8×10^{-4}
C ₂ H ₆	5×10^{-6}
C ₂ H ₂	2×10^{-8}
CH ₃ CH	10^{-10}
C ₃ H ₈	10^{-10}
HD	5×10^{-5}
CH ₃ D	2×10^{-5}

(Moore and Hunt 1983 より)¹

3 練習問題

地球, 土星大気について次の量を計算せよ. 地球のモデル大気は N₂80%, O₂20%, 土星のモデル大気については H₂94%, He6% 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 $\left(\frac{dT}{dz}\right)_{ad}$

¹総和をとっても 100% にならない

3.1 解答

物理量	土星	地球
有効放射温度 T_e (K)	78.43	255.0
平均分子量 M	2.12	28.8
定積比熱 (単位質量) c_v ($\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	9564.3	721.4
定圧比熱 (単位質量) c_p ($\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	13484	1009.9
比熱比 γ	1.41	1.4
音速 c_s ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	658.4	321.0
圧力スケールハイト H_p (Km)	33.0	7.51
断熱温度勾配 ($\text{K} \cdot \text{Km}^{-1}$)	0.69	9.70

4 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

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

土星大気の場合には

$$\frac{1}{4}(1 - 0.33) \times 1370 \times 0.011 = 6.67 \times 10^{-8} T_{eSaturn}^4$$

よって

$$T_{eSaturn} = 78.43 \text{ (K)}$$

2. 平均分子量 M

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

$$M_S = 0.94 \times 2 + 0.06 \times 4 = 2.12$$

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

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

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

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

土星大気は 1 原子分子と 2 原子分子の混合気体であるから

$$c_v = \frac{5}{2}R \times 0.94 + \frac{3}{2}R \times 0.06 = 2.44R = 2.44 \times \frac{8.31}{2.12 \times 10^{-3}} = 9564.3 \text{ (J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$$

$$c_p = c_v + R = 3.44R = 3.44 \times \frac{8.31}{2.12 \times 10^{-3}} = 13484 \text{ (J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}),$$

$$\gamma = \frac{3.44}{2.44} = 1.41$$

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

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

土星大気では

$$c_{sJ} = \sqrt{\gamma RT} = \sqrt{1.41 \times \frac{8.31}{2.12 \times 10^{-3}} \times 78.43} = 658.4 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$$

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

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

土星大気の場合には

$$H_{pJ} = \frac{RT}{g} = \frac{8.31}{2.12 \times 10^{-3}} \times 78.43 \times \frac{1}{9.8 \times 0.95} = 33021 \text{ (m)} = 33.0 \text{ (Km)}$$

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

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

土星大気の場合には

$$\left|\left(\frac{dT}{dz}\right)_{ad}\right| = \frac{9.8 \times 0.95}{13484} = 0.000690 \text{ (K} \cdot \text{m}^{-1}\text{)} = 0.69 \text{ (K} \cdot \text{Km}^{-1}\text{)}$$

5 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「土星現象論」(90/07/23) であり, 林祥介・豊田英司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 (96/07/22). 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.