

海王星現象論：海王星に関する基本的 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	8

要旨

海王星を扱う上で基本的な数字をあげておく。参考のために対応する地球の値を並べておいた。

1 天文学に関する数字

惑星本体・衛星

物理量	海王星	地球の値との比	地球
質量 (10^{24} kg)	1.0245×10^2	17.15	5.973
赤道半径 R_e (km)	2.4760×10^4	3.88	6378
極半径 R_p (km)	2.4339×10^4	3.83	6357
扁平率 $(R_e - R_p)/R_p$	0.017	5.00	0.0034
密度 (g cm^{-3})	1.64	0.297	5.52
赤道重力加速度 (表面) (ms^{-2})	11.1	1.13	9.78
衛星の数	8	8	1

(理科年表 1992 より)

軌道要素¹・自転軸

物理量	海王星	地球
昇交点黄経 $\Omega(^{\circ})$	131.783	354.865
軌道傾斜角 $i(^{\circ})$	1.770	0.001
軌道長半径 $a(10^8 \text{ km})$	45.044	1.496
離心率 e	0.0090	0.0167
近日点黄経 $\varpi(^{\circ})$	48.119	102.914
元期平均近点離角 $M_o(^{\circ})$	239.836	176.491
赤道傾斜角 $(^{\circ})^2$	29.6	23.44

(理科年表 1992)

時間

物理量	海王星	地球の値との比	地球
公転周期	60184.692 日 (164.774 年)	164.774	365.256 日
自転周期 ³	18h25m55.2s (0.768 日)	0.766	0.9973 日
自転角速度 ($\text{rad} \cdot \text{sec}^{-1}$)	0.9469×10^{-4}	1.299	7.292×10^{-5}

(理科年表 1992 より)

太陽定数, アルベド

物理量	海王星	地球の値との比	地球
太陽定数 (W m^{-2})	1.507	0.0011	1370
Albedo(Bond) ⁴	0.68	2.267	0.30

(理科年表 1992 より)

¹元期:1992 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.

³Voyager 2 の観測によれば 16.11 ± 0.05 時間である (Stone *et.al*,1989).

⁴最近の文献では, 海王星のアルベドは約 0.3 程度である. ‘海王星の放射エネルギー収支’ を参照のこと.

2 大気科学に関する数字

組成

海王星は, ほとんど水素で構成されている.

構成要素	モル分率
H ₂	
He	0.190 ± 0.032
CH ₄	$\sim 3 \times 10^{-5}$ (成層圏)
C ₂ H ₂	$10^{-7} \sim 10^{-6}$ (成層圏)
C ₂ H ₆	(成層圏)
NH ₃	

(微量元素は水素に対する比を示してある. He のデータは Conrath *et al.* 1991, その他は Stone *et al.*, 1989 より)

3 練習問題

地球, 海王星大気について次の量を計算せよ. 地球のモデル大気は N₂ 80%, O₂ 20%, 海王星のモデル大気については H₂ 80%, He 20% 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	海王星	地球
有効放射温度 T_e (K)	44.6	255.0
平均分子量 M	2.4	28.8
定積比熱 (単位質量) c_v ($\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	7963.6	721.4
定圧比熱 (単位質量) c_p ($\text{J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	11426	1009.9
比熱比 γ	1.43	1.4
音速 c_s ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	469.9	321.0
圧力スケールハイト H_p (Km)	14.0	7.51
断熱温度勾配 ($\text{K} \cdot \text{Km}^{-1}$)	0.97	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

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

海王星大気の場合には

$$\frac{1}{4}(1 - 0.3) \times 1370 \times 0.0011 = 6.67 \times 10^{-8} T_{eNeptune}^4$$

よって

$$T_{eNeptune} = 44.6 \text{ (K)}$$

2. 平均分子量 M

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

$$M_N = 0.8 \times 2 + 0.2 \times 4 = 2.4$$

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

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

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

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

海王星大気は 1 原子分子と 2 原子分子の混合気体であるから

$$c_v = \frac{5}{2} R_{Neptune} \times 0.8 + \frac{3}{2} R_{Neptune} \times 0.2 = 2.3R = 2.3 \times \frac{8.31}{2.4 \times 10^{-3}} = 7963.6 \text{ (J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$$

$$c_p = c_v + R = 3.3R = 3.3 \times \frac{8.31}{2.4 \times 10^{-3}} = 11426 \text{ (J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}),$$

$$\gamma = \frac{3.3}{2.3} = 1.43$$

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

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

海王星大気では

$$c_{sN} = \sqrt{\gamma R_{Neptune} T} = \sqrt{1.43 \times \frac{8.31}{2.4 \times 10^{-3}} \times 44.6} = 469.9 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$$

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

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

海王星大気の場合には

$$H_{pN} = \frac{R_{Neptune} T}{g} = \frac{8.31}{2.4 \times 10^{-3}} \times 44.6 \times \frac{1}{9.8 \times 1.13} = 13945 \text{ (m)} = 14.0 \text{ (Km)}$$

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

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

海王星大気の場合には

$$\left|\left(\frac{dT}{dz}\right)_{ad}\right| = \frac{9.8 \times 1.13}{11426} = 0.000969 \text{ (K} \cdot \text{m}^{-1}\text{)} = 0.97 \text{ (K} \cdot \text{Km}^{-1}\text{)}$$

5 参考文献

Stone, E.C., Miner, E.D., 1989 : The Voyager 2 encounter with the Neptunian system. *Science*, **246**, 1417-1421

Conrath, B.J., Gautier, D., Lindal, G.F., Smuelson, R.E., Shaffer, W.A., 1991 : The Helium abundance of Neptune from Voyager measurements. *J. Geophys. Res.*, **96**, 18907-18919

国立天文台, 1992 : 理科年表, 丸善, 1040pp.

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なわれていた, 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「天王星現象論」(92/10/17) であり, 林祥介によって地球流体電脳倶楽部版「天王星現象論」として書き直された. 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.