

# 海王星現象論：海王星に関する基本的 数字

地球流体電腦俱楽部

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)	$1.0245 \times 10^2$	17.15	5.973
赤道半径 $R_e$ (km)	$2.4760 \times 10^4$	3.88	6378
極半径 $R_p$ (km)	$2.4339 \times 10^4$	3.83	6357
扁平率 $(R_e - R_p)/R_p$	0.017	5.00	0.0034
密度 (g cm <sup>-3</sup> )	1.64	0.297	5.52
赤道重力加速度(表面)(ms <sup>-2</sup> )	11.1	1.13	9.78
衛星の数	8	8	1

(理科年表 1992 より)

## 軌道要素<sup>1</sup>・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 ( $^{\circ}$ ) <sup>2</sup>	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 <sup>3</sup>	18h25m55.2s (0.768 日)	0.766	0.9973 日
自転角速度 (rad · sec <sup>-1</sup> )	$0.9469 \times 10^{-4}$	1.299	$7.292 \times 10^{-5}$

(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 <sup>-2</sup> )	1.507	0.0011	1370
Albedo(Bond) <sup>4</sup>	0.68	2.267	0.30

(理科年表 1992 より)

<sup>1</sup>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.

<sup>2</sup>各惑星の黄道座標系による黄経, 黄緯で表す.

<sup>3</sup>Voyager 2 の観測によれば  $16.11 \pm 0.05$  時間である (Stone et.al,1989).

<sup>4</sup>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 <sub>2</sub>	
He	0.190 ± 0.032
CH <sub>4</sub>	~ 3 × 10 <sup>-5</sup> (成層圏)
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	10 <sup>-7</sup> ~ 10 <sup>-6</sup> (成層圏)
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	(成層圏)
NH <sub>3</sub>	

(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 N<sub>2</sub> 80%, O<sub>2</sub> 20%, 海王星のモデル大気については H<sub>2</sub> 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  $\gamma$
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 $\gamma$	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  $\sigma$  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 $\gamma$

地球では 2 原子分子であるから

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

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

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

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

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

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

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

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なると、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、流体力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腦俱楽部版「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。