# 第2章

# 地球の基礎データ

## 2.1 大きさ,重力,自転,公転

図 2.1 参照 ほぼ回転楕円体であり、その大きさは

- 赤道半径:6378 (又は 6377) km
- 極半径:6356km
- 扁平率:1/ (297~298)
- 子午線象限:10000~10002km (約1万km)

赤道の重力加速度= 9.78 m/s<sup>2</sup>

自転角速度=  $7.292 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$  (約  $10^{-4} \text{ rad/s}$ )

1 恒星日 = 23h56m04s

ちなみに1日は約24\*60\*60=86,400秒~10<sup>5</sup>秒

1太陽年= 365.2422 日 (1恒星年= 365.2564 日)

公転軌道長半径= 1.496 × 10<sup>11</sup> m (1.5 × 10<sup>8</sup> km、1.5 億 km)

平均太陽輻射量は約 1370 W/m<sup>2</sup>

◎赤道傾斜角が23.4度。夏半球と冬半球がある。

◎地球が球面であることと赤道傾斜角がゼロでないことから、大気上端で受ける1日平均太陽輻射量は季節・緯度 で変化する

◎このように、極では1日中太陽が出ているため、1日平均でみた太陽輻射量は夏極が大きくなる。

◎近日点黄経が約100度、つまり春分の約百日前に近日点、つまり、北半球の冬に最も太陽に近づき、夏が最も太陽に遠い。輻射量は距離の自乗に反比例するから、近日点と遠日点で±3%程度変化する。

◎ちなみに、金星は自転の向きが逆で、かつ(表にはないが)自転周期は 243 日と非常に長い。木星や土星は 0.4 日(約 10 時間)と自転が大変はやい。このため、コリオリカの効果がそれぞれ地球と全く違い、独自の大気循環・ 気候が生まれている。(図 2.4、2.5、2.6)

### 2.1.1 軌道変化について

近日点と遠日点で太陽輻射が7%程度違う。今は北半球の冬が近日点だが、軌道要素の変化により北半球の夏 が近日点になったこともある。そのときは北半球の夏は今より7%程度太陽放射を多く受けることになり、外的

展小長学程展大学、電子学校開始、25%市场、24,06 0.579 0.658 0.11 14732,42 0.34,065 47.36 115.9 Mercury 1.075 1.082 1.089 0.52 5767.67 0.61521 35.02 583.9 Venus 1.477 1.466 1.551 0.658 0.11 14732,42 0.34,065 47.36 115.9 Mercury 1.477 1.466 1.551 0.52 3548.19 1.00004 29.78 0.65 379.9 Mercury 1.35.01 13.501 13.502 584.19 1.00004 29.78 0.65 378.1 5.44 367.5 Mercury 2.066 2.279 2.467 9.0.61521 35.02 583.9 Venus 2.066 2.279 2.467 9.0.61521 35.02 584.19 1.00004 29.78 9.65 378.1 5.44 367.5 Mercury 2.466 0.579 0.615.2 1.880.652 1.880.652 1.880.652 1.880.652 1.360.6 3.98.9 Mercury 2.466 0.579 0.561 51.84 2.23 84.0223 84.0223 6.81 369.1 5.44 1.551 0.292 354.11 2.153 164.774 5.44 367.5 Nepture 2.466 0.0004 45.04 45.449 86.774 5.44 367.5 Nepture 2.466 0.0004 45.04 45.449 86.774 5.44 367.5 Nepture 2.4478×10 <sup>-6</sup> 0.0133 0.015 1.54 2.42 38.4.0223 6.81 369.1 124000 2.44 1.51 2.53 164.774 5.44 367.5 Nepture 2.4478×10 <sup>-6</sup> 0.0133 0.015 1.54 2.43 84.0223 8.65 0.000 2.44 1.60 0.000 2.44 1.60 0.000 2.524 0.000 2.524 0.000 2.524 0.000 2.524 0.000 0.52 1.74 0.76 -4.47 0.55 3.4478×10 <sup>-6</sup> 0.0133 0.055 1.725 1.025 2.43 0.367 -2.45 Nepture 2.4478×10 <sup>-6</sup> 0.0133 0.055 1.725 1.025 2.43 0.367 2.34 0.30 0.56 -2.45 Nepture 2.553 0.0174 0.75 2.24 0.90 0.00 -2.45 Nepture 2.553 0.0174 0.75 2.24 0.91 0.72 0.55 3.440 0.55 2.45 0.444 2.57 0.77 0.72 0.055 2.45 0.444 2.57 0.77 0.72 0.45 7.24 0.75 0.55 1.40 0.05 2.45 0.444 2.57 0.77 0.55 3.440 0.55 2.24 0.91 0.72 0.55 1.91 0.72 0.55 3.440 0.55 2.24 0.91 0.72 0.55 1.40 0.05 2.24 0.91 0.72 0.55 1.40 0.05 2.24 0.91 0.72 0.55 1.40 0.05 2.24 0.90 0.05 2.24 0.91 0.72 0.55 1.55 0.52 0.41 0.55 0.52 0.52 0.50 0.55 0.50 0.55 0.50 0.55 0.52 0.50 0.55 0.52 0.55 0.55	太陽からの	西離10 <sup>8</sup> km	作用圈	対恒星	町町	見	道	金合	
0.460     0.579     0.698     0.11     14732.42     0.2408     47.36     115.9     Mercury       1.075     1.082     1.082     0.52     55767.67     0.61521     35.02     583.9     Venus       1.471     1.496     1.521     0.92     3548.19     1.00004     29.78     Yenus       2.066     2.279     2.492     0.58     1886.52     1.88089     24.06     Yenus       7.405     7.783     8.161     48.20     2.99.13     11.8622     13.06     389.7     Uranus       2.7405     5.044     45.449     86.77     21.53     16.4.774     5.44     36.75     Nepture       2.7419     28.756     30.081     51.84     21.53     16.4.774     5.44     36.77     Yenus       2.7419     28.756     30.081     51.84     21.53     16.4.774     5.44     367.5     Nepture       2.7419     28.755     12.04.774     5.44     367.5     Nepture     26.75     Nepture       2.741112 </th <th>最小長<sup>+</sup> a(1-e) a</th> <th>4 最大 (1+e)</th> <th>半 径 10<sup>°</sup>km</th> <th>平均建期 (平均太陽日)</th> <th>の変</th> <th>())</th> <th>唐 周 ()-s-m</th> <th>周期 (太陽日)</th> <th>ļ</th>	最小長 <sup>+</sup> a(1-e) a	4 最大 (1+e)	半 径 10 <sup>°</sup> km	平均建期 (平均太陽日)	の変	())	唐 周 ()-s-m	周期 (太陽日)	ļ
1.075   1.082   1.089   0.62   5767.67   0.61521   35.02   583.9   Venus     1.471   1.496   1.521   0.92   3548.19   1.00004   29.78   -   Earth     2.066   2.279   2.492   0.58   1886.52   1.88089   24.06   779.9   Mars     7.405   7.783   8.161   48.20   299.13   11.8622   13.06   389.7   Uranus     2.066   2.279   2.449   15.047   21.53   16.474   5.44   389.7   Uranus     2.7419   28.756   30.081   51.84   42.23   84.0223   6.81   389.7   Uranus     2.7419   28.756   30.081   51.84   24.0223   6.81   389.7   Uranus     2.7419   28.756   30.081   51.84   21.53   16.4.774   5.44   367.5   Neptum     2.7416   45.449   86.77   21.53   16.4.774   5.44   367.5   Neptum     2.4601   1.1000   33994   1.41   13.4   367.5   Neptum  <	0.460 0.5	79 0.698	0.11	14732.42	0.24	085	17.36	115.9	Mercury
1.471 1.496 1.521 0.92 3548.19 1.00004 29.78 Earth 2.066 2.279 2.492 0.58 186.52 1.88089 24.06 779.9 Mars 7.405 7.783 8.161 48.20 239.13 11.8622 13.06 398.9 Jupiter 3.774.05 7.783 8.161 48.20 239.13 11.8622 13.06 398.9 Jupiter 3.774.05 7.783 8.161 48.20 239.13 11.8622 13.06 398.9 Jupiter 3.746 4.644 4.6 4.6 4.49 86.77 2.153 1.64.774 5.44 367.5 Neptume 7.7 4.6 4.6 4.6 4.6 4.6 4.6 4.6 4.6 4.6 4.6	1.075 1.0	82 1.089	0.62	5767.67	0.61	521	35.02	583.9	Venus
2.066 2.279 2.492 0.58 1886.52 1.88089 24.08 779.9 Mars 7.405 7.783 8.161 48.20 299.13 11.8622 13.06 398.9 Jupiter 13.501 14.294 15.087 54.56 120.45 29.4578 9.65 378.1 Saturn 27.419 28.750 30.081 51.84 42.23 84.0223 6.81 399.7 Uranus 44.640 45.0449 86.77 21.53 1.64.774 5.44 367.5 Nepture (大陽二1) (#3% 元 2.53 1.64.774 5.449 86.77 0.687 54.68 2.6.8 39.6 10.00 2.53 1.64.774 5.44 367.5 Nepture 2.53 2.53 1.64.774 5.44 367.5 Nepture 1.600 383 946 1.44 1 1 五 五 道 夏 3.75 2.675 54 1.44 1.6601×10 <sup>-6</sup> 0.05 5.24 10.38 2.33 7.25 2.675 54 1.6601×10 <sup>-6</sup> 0.05 5.24 10.38 2.33 1.774 0.78 - 4.7 Venus 2.446×10 <sup>-6</sup> 1.145 1.127 2.138 7.25 2.675 54 1.6601×10 <sup>-6</sup> 0.05 5.24 10.38 2.3302 1.774 0.78 - 4.7 Venus 2.446×10 <sup>-6</sup> 1.145 1.127 2.129 0.414 2.7 0.78 - 4.7 Venus 5.643 1.138 1.338 59.53 0.414 2.7 0.78 - 4.7 Venus 5.647×10 <sup>-6</sup> 0.1074 3.39 0.671 2.78 0.77 - 0.5 5444 3.2275×10 <sup>-6</sup> 0.1074 3.39 0.671 2.78 0.67 0.77 - 0.5 54444 3.2235×10 <sup>-6</sup> 0.1074 2.349 0.414 2.7 0.77 - 7.2.8 Jupiter 2.8599×10 <sup>-6</sup> 317.83 1.138 59.53 0.414 2.7 0.77 - 0.5 54444 3.2235×10 <sup>-6</sup> 0.1074 2.349 0.414 2.7 0.77 - 7.2.8 Jupiter 2.8599×10 <sup>-6</sup> 1.145 1.127 2.129 0.718 27.9 0.67 - 4.7 Venus 5.1614×10 <sup>-6</sup> 1.145 1.127 2.129 0.718 27.9 0.667 0.07 - 12.6 Moon 0.1074 0.1074 0.1074 0.1074 2.44 2.7 0.77 - 12.6 Moon 0.1074 1.500 5.34 1.53 2.349 0.414 2.7 0.77 - 12.6 Moon 0.1074 0.1074 0.1074 0.1074 2.45 3.47 0.78 - 4.73 0.667 0.07 - 12.6 Moon 0.1171 0.1074 0.1074 0.1074 0.1076 0.1024 0.14 2.126 0.000 0.1066 0.171 2.126 0.000 0.22 + 5.3 1.1367 0.1367 0.126 0.1367 0.1260 0.1260 0.127 0.127 0.126 0.126 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1074 0.1074 0.1074 0.1076 0.126 0.1000 0.1074 0.1074 0.1074 0.1076 0.1290 0.106 0.1074 0.1060 0.1076 0.1290 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1077 0.126 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1240 0.1274 0.126 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1274 0.1290 0.166 0.1207 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.1260 0.126	1.471 1.4	1.521	0.92	3548.19	T.00	004	39.78	{	Earth
7.405 7.7783 8.161 48.20 299.13 11.8622 13.06 398.9 Jupiter 13.501 14.294 15.087 54.55 120.45 29.4578 9.65 378.1 Saturn 27.419 28.750 30.081 51.84 42.23 84.0223 6.81 369.7 Uranus 44.640 45.044 45.449 86.77 21.53 1.64.774 5.44 367.5 Nepture 7.5	2.066 2.2	79 2.492	0.58	1886.52	1.88	680	34.08	779.9	Mars
13.501 14.294 15.087 54.55 120.45 29.4578 9.65 378.1 Saturn 27.419 28.750 30.081 51.84 42.23 84.0223 6.81 369.7 Uranus 44.640 45.0449 86.77 21.53 1.64.774 5.44 367.5 Nepture 7 (大陽二1) (地球一口) 21.53 1.64.774 5.44 367.5 Nepture 7 (大陽二1) (地球一口) 21.53 1.64.774 5.44 367.5 Nepture 2.650 50.081 5.4 37.5 Nepture 2.60 10.0 10.0 10.0 10.0 10.0 10.0 10.0 1	7.405 7.7	83 8.161	48.20	299.13	11.8	622	13.06	398.9	Jupiter
27.419 28.750 30.061 51.84 42.23 84.0223 6.81 369.7 Uranus 44.640 45.044 45.449 86.77 21.53 1.64.774 5.44 367.5 Neptume び 月 定 数 表 (大陽=1) (地球=1) 倍 振 赤 道 度 市 赤 道 度 市 七 75 5.44 367.5 Neptume 333 946 5.41 175 5.43 175 5.43 177 4 0.78 267.5 Sun 1.000 333 946 5.41 1775 5.43 1774 0.78 267.5 Sun 1.000 333 946 5.41 135 5.43 1.75 5.43 1774 0.78 267.5 Sun 1.000 333 946 5.41 0.36 2.3.0250 5.19 0.162.4 Mercury 3.3272×10 <sup>-1</sup> 0.0557 5.43 1.038 2.3.02 1774 0.78 4.7 Venus 0.044 26.7 0.78 4.7 Venus 0.0107 3.33 944 26.7 0.77 -2.8 Jupiter 3.2272×10 <sup>-1</sup> 0.1070 3.33 5.0.2 11774 0.78 2.4 Mercury 3.2273×10 <sup>-1</sup> 0.1074 3.95 1.0380 5.19 0.162.4 Mercury 3.2408×10 <sup>-2</sup> 0.1074 3.1 0.397 2.3.44 0.57 2.8 Jupiter 2.8599×10 <sup>-3</sup> 1.454 1.328 5.0.214 3.1 0.77 -0.5 Saturn 3.044 26.7 0.77 -0.5 Saturn 3.044 26.7 0.77 -0.5 Saturn 3.044 26.7 0.77 -12.6 Morn 1.850-1738 1.338 5.9.53 0.414 26.7 0.77 -0.5 Saturn 3.044 26.7 0.77 -0.5 Saturn 3.0561 2.174 0.30 -2.2 Saturn 3.044 26.7 0.77 -0.5 Saturn 3.0561 2.124 0.916 -3.0 0.77 -0.5 Saturn 3.0561 2.174 0.91 -0.5 Saturn 3.0561 2.174 0.91 -0.5 Saturn 3.0561 2.124 0.916 -3.0 0.77 -0.5 Saturn 3.0561 2.124 0.916 -3.0 0.77 -0.5 Saturn 3.0561 2.124 0.916 -3.0 0.77 -0.5 Saturn 3.0561 2.124 0.916 0.72 -2.28 Jupiter 3.0561 2.124 0.917 0.124 0.916 0.77 -0.5 Saturn 3.0561 2.124 0.917 0.917 0.917 0.917 0.917 0.918 0.916 0.926 0.918 0.918 0.918 0.918 0.918 0.918 0.956 0.918 1.055 0.2061 0.918	13.501 14.2	94 15.087	54.65	120.45	29.4	578	9.65	378.1	Saturn
44.640 45.044 45.449 86.77 21.53 164.774 5.44 367.5 Nepture 本 44.640 45.044 45.449 86.77 21.53 164.774 5.44 367.5 Nepture 第 第 (大陽=1) (地球=1) 世界 第 第 第 第 第 第 第 第 第 第 1000 333 946 1.41 日転 書 第 第 第 第 第 第 第 第 第 1000 1.6601×10 <sup>-0</sup> 0.0557 5.43 4.25 58.650 26.75 5un 1.6601×10 <sup>-0</sup> 0.0557 5.43 4.25 58.650 0.062.4 Mercurs 2.4478×10 <sup>-6</sup> 0.01074 3.53 1.1775 25.3 7.250 26.75 5un 3.3478×10 <sup>-6</sup> 0.01074 3.53 1.1775 25.3 7.250 26.75 5un 3.3478×10 <sup>-6</sup> 0.01074 3.53 1.1774 0.7812.6 Mercurs 3.2272×10 <sup>-6</sup> 0.1074 3.53 1.133 5.0250 55.19 0.163.0 Mars 9.6479×10 <sup>-6</sup> 3.1783 1.133 5.0251 0.144 26.7 0.77 -0.5 5 8un 3.9414×10 <sup>-6</sup> 1.127 21.32 0.414 26.7 0.77 -0.5 5 8un 3.9414×10 <sup>-6</sup> 1.127 21.34 0.378 0.414 26.7 0.77 -0.5 5 8un 3.943×10 <sup>-6</sup> 0.012300 3.34 2.348 0.444 26.7 0.77 -0.5 5 8un 3.943×10 <sup>-6</sup> 0.012300 3.34 2.348 0.444 26.7 0.77 -0.5 5 8un 0.174 26.7 0.77 -0.5 5 8un 0.1715 1.127 21.349 0.414 26.7 0.77 -12.6 Moon 1.37.77 0.78 1.138 5.9.53 0.414 26.7 0.77 -12.6 Moon 1.37.97 7.74×10 Bond albeidol : 各級軍 2.348 0.451 26.7 0.57 -12.6 Moon 1.37.97 7.4×10 <sup>-6</sup> 1.539×1.1780 0.1528 5.1.540 0.71 21.56 Moon 1.37.97 7.4×10 <sup>-7</sup> 1.539×1.1580 0.158 5.1.540 0.77 -12.6 Moon 1.37.97 7.4×10 <sup>-6</sup> 1.539×1.1580 5.1.540 0.72 -12.56 Moon 1.37.9×17.4×10 <sup>-8</sup> 1.500 0.52 1.540 0.71 21.540 0.1057 -2.28 1.057 2.515 5.515 5.515 5.5169 5.1.550 5.1.1864 1.057 5.2053 5.1.057 2.515 5.515 5.5169 5.1.550 5.1.1864 5.1.550 5.1.1864 1.057 5.2053 5.1.0550 5.2.013 1.0550 5.2.013 1.0557 5.2.053 5.1.0550 5.2.013 1.0557 5.2.053 5.1.0550 5.2.013 1.0557 5.2.053 5.1.0550 5.2.013 1.0557 5.2.053 5.1.0550 5.2.013 1.0557 5.2.053 5.1.0550 5.2.013 1.0557 5.2.053 5.1.0550 5.2.013 1.0557 5.2.053 5.1.0550 5.2.013 1.0557 5.2.033 5.1.0550 5.2.023 5.2.0250 5.2.018 5.2.053 5.2.0353 5.2.0250 5.2.0350 5.2.018 5.2.053 5.2.0353 5.2.0250 5.2	27.419 28.7	50 30.081	51.84	42.23	84.0	223	6.81	369.7	Uranus
び 月 定 数 表 (太陽二)((1)(1)(1)(1)(1)(1)(1)(1)(1)(1)(1)(1)(1	44.640 45.0	44 45.449	86.77	21.53	164.7	14	5.44	367.5	Neptune
(大陽=1)     (把第=1)     (把=1)     (1000     339 946     1.41     (11.5)     2.5.38     7.25		114		0 	14	煙	"M	抵	
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	(太陽=1)	(地球=1)	密度	一型	羅	國等角	射能	等数	
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	1.000	333 946		617.5 2	в 5.38	7,25		-26.75	Sun
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$1.6601 \times 10^{-7}$	0.05527	5,43	4.25 51	8.65	0~	0.06	-2.4	Mercury
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	2.4478×10 <sup>-4</sup>	0.8150	5.24	10.36 24	3.02	177.4	0.78	-4.7	Venus
3.2273×10 <sup>-7</sup> 0.1074 3.93 5.02 1.0260 75.19 0.163.0 Mars 9.6479×10 <sup>-4</sup> 3.17.83 1.33 59.55 0.414 2.67 0.772.8 Jupiter 2.8599×10 <sup>-6</sup> 14.54 1.27 7.129 0.718 97.9 0.770.5 Saturn 2.8593×10 <sup>-6</sup> 14.54 1.27 1.29 0.718 97.9 0.65 +7.8 Neptun 5.1514×10 <sup>-6</sup> 17.15 1.64 2.348 0.467 27.8 0.65 +7.8 Neptun 3.6943×10 <sup>-6</sup> 0.012300 3.34 2.348 2.414 2.67 0.07 -12.6 Moon 3.54 2.348 2.43 2.55 5.159 0.718 97.9 0.65 +7.8 Neptun 3.6943×10 <sup>-6</sup> 1.515 1.56 2.348 0.457 2.78 0.65 +7.8 Neptun 3.6943×10 <sup>-6</sup> 0.012300 3.34 2.348 2.4128-1.236 5.156 Moon 3.6945×10 <sup>-6</sup> 0.012300 3.54 2.348 2.4128-1.236 5.156 0.07 -12.6 Moon 3.6945×10 <sup>-6</sup> 1.578-1.515 5.155 1.550 1.560 0.07 -12.6 Moon 3.6945×10 <sup>-6</sup> 0.012300 3.54 2.348 0.444 2.51 2.549 1.864 Main 1.71B-1.567 7.1236-1.1256 5.1550 1.1867 A.1007-2.996 7.1236-1.1256 5.1557 2.1569 7.1864 Main 1.71B-1.267 7.2369 4.1560 8.1889 Main 1.71B-1.267 7.2369 7.1567 9.2.033 Constants 2.15 5.1527 2.699 7.1567 9.2.033 Levertis 2.15 5.152 5.1527 1.950 7.1867 9.2.033	3.0404×10-8	1.0000	5.52	8LIL	0.9973	23.44	0.30	}	Earth
95479×10 <sup>-4</sup> 317.83 1.33 59.53 0.414 3.1 0.73 -2.2 Jupiter 2.8390×10 <sup>-4</sup> 31.7.15 1.54 0.66 35.48 0.444 2.6.7 0.77 -2.2 Jupiter 2.8390×10 <sup>-6</sup> 1.45.4 1.27 1.29 0.718 97.9 0.82 +5.3 luramus 5.1514×10 <sup>-6</sup> 1.7.15 1.54 2.348 0.671 2.78 0.65 +7.8 Neptune 3.6943×10 <sup>-6</sup> 0.012300 3.34 2.38 2.7.32.17 6.67 0.07 -12.6 Moon 1.3.5 1.7.15 1.54 2.348 0.671 2.78 0.67 -12.6 Moon 1.3.5 1.7.15 1.54 2.348 0.671 2.78 0.67 -12.6 Moon 1.3.5 1.7.15 1.54 2.348 0.671 2.78 0.67 -12.6 Moon 1.3.5 1.54 1.55 1.55 1.55 1.55 1.55 1.55 1.	$3.2272 \times 10^{-7}$	0.1074	3.93	5.02	1.0260	25.19	9.16	-3.0	Mars
2.8593×10 <sup>-1</sup> 95.16 0.69 35.48 0.444 26.7 0.77 -0.5 Saturn 4.863×10 <sup>-1</sup> 14.54 1.27 21.29 0.718 97.9 0.82 +5.3 Uraruus 6.1514×10 <sup>-6</sup> 1.71.5 1.64 2.349 0.671 27.8 0.65 +7.8 Nepturn 3.6943×10 <sup>-6</sup> 0.012300 3.34 2.348 2.349 0.671 27.8 0.65 +7.8 Nepturn 3.6943×10 <sup>-6</sup> 0.012300 3.34 2.348 2.7.2217 6.67 0.07 -12.6 Mootu 3.671 27.8 6.67 0.07 -12.6 Mootu 3.84 2.348 2.349 0.671 27.8 0.657 0.07 -12.6 Mootu 3.84 2.348 2.349 0.671 27.8 0.667 0.07 -12.6 Mootu 3.84 2.349 2.7.2219 6.67 0.07 -12.6 Mootu 3.84 2.349 2.7.2219 6.67 0.07 -12.6 Mootu 1.899-1.718 -1.236 5.156 0.07 -12.6 Mootu 1.899-1.718 -1.236 5.156 0.07 -12.6 Mootu 1.899-1.718 7.1236 5.156 0.07 -1369 1.864 Mootu 1.718-0.1607 5.158 5.158 5.1586 5.1567 2.1097 5.2031 6.216 1.69 2.105 7.2399 6.1780 7.2363 5.1565 7.1367 1.864 1.665 7.2031 6.2316 7.2327 2.899 7.1780 7.23239 5.1555 7.1367 1.864 1.866 7.2031 6.2316 7.2327 2.899 7.1780 7.23239 5.1555 7.1367 7.2363 1.864 1.666 7.2031 7.23227 2.863 7.1367 7.2363 1.864 1.666 7.2031 7.23227 2.863 1.667 7.2369 7.1367 7.2363 1.667 7.2369 7.1367 7.2363 1.864 1.666 7.2303 1.864 1.666 7.2303 1.864 1.666 7.2303 1.864 1.666 7.2303 1.864 1.666 7.2303 1.864 1.666 7.2303 1.864 1.666 7.2303 1.864 1.666 7.2303 1.864 1.666 7.2303 1.864 1.666 7.2303 1.864 1.666 7.2303 1.864 1.666 7.2303 1.864 1.666 7.2303 1.864 1.666 7.2303 1.864 1.666 7.2303 1.864 1.666 7.2303 1.864 1.666 7.2303 1.864 1.666 7.2303 1.864 1.866 1.865 1.667 1.866 1.865 1.667 1.866 1.	9.5479×10-4	317.83	1.33	29-53	0.414	3.1	0.73	-2.8	Jupiter
43653×10 <sup>16</sup> 114.54 1.127 21.29 0.718 97.9 0.82 + 5.3 Uranus 5.1514×10 <sup>16</sup> 1.11.15 1.154 23.48 0.671 27.8 0.65 + 7.8 Neptua 5.6943×10 <sup>16</sup> 0.012300 3.34 2.348 0.67 0.67 + 7.8 Neptua 3.6943×10 <sup>16</sup> 0.012300 3.34 2.348 0.67 0.67 - 12.6 Moon 3.34 2.38 2.73217 6.67 0.67 - 12.6 Moon 1.3595-1.718 1.125-1.1256 5 1.559 2 1.889 Main 1.719-1.867 1.125-1.1256 5 1.557 6 1.889 Main 1.719-1.867 1.125-1.1256 5 1.557 6 1.889 Main 1.719-1.867 1.125-1.959 5 1.556 2 1.557 6 1.889 Main 1.719-1.867 1.2395 5 1.556 5 1.557 6 1.889 Main 1.719-1.867 1.2395 5 1.556 5 1.557 6 1.889 Main 1.719-1.867 1.2395 5 1.555 5 1.557 6 1.889 Main 1.719-1.867 1.2395 7 1.558 5 1.557 6 1.889 Main 1.719-1.867 1.2395 7 1.558 7 1.	$2.8589 \times 10^{-4}$	95.16	0.69	35.48	0.444	26.7	0.77	-0.5	Saturn
5.1514×10 <sup>-6</sup> 17.15 1.64 23.49 0.671 27.8 0.65 +7.8 Nepture 3.6943×10 <sup>-6</sup> 10.012300 3.34 2.38 27.3217 6.67 0.07 -12.6 Moon 1) ボンドブルペド (Bond abedo): 各級国について、入針全エネルギーに対する反射全エネルギーの計 未属の第 1.399-1.718 亡星の第 天王星の筆 相和 1.71b-1.867 7.128-1.136 5 1.559 7 1.869 Main 1.71b-1.867 7 1.239-1.136 5 1.557 5 1.889 Main 1.71b-1.867 7 1.239-1.136 5 1.557 5 1.889 Main 1.71b-1.867 7 2.239 7 1.899 7 1.899 Constants 1.697 2.299 7 1.899 7 1.869 7 1.895 Generatic 2.15 5 5 1.527 2.1399 7 1.865 7 2.001 Levertic 2.15 5 5 1.527 2.1399 7 1.865 7 2.001 Levertic 2.15 5 5 1.527 1.875 1 1.895 Levertic 2.15 5 5 1.527 2.039 7 1.865 1.537 1.855 Levertic 2.15 5 5 1.527 2.049 7 1.665 7 2.001	$4.3663 \times 10^{-5}$	14.54	1.27	21.29	0.718	61.6	0.82	+5.3	Uranus
3.8943×10 <sup>-*</sup> 0.012300 3.34 2.38 27.3217 6.67 0.07 -12.6 Moon 1) ボンドブルード (Bond albeid): 含凝星について、入針全ェネルギーレ対する反射全エネルギーの詳 木種の環 1.399~1.718 上星の葉 天王星の弾 7.7元星の弾 1.864 Main 1.719~1.567 5 1.239-1.736 5 1.549 7 1.864 Main 1.719~1.567 5 1.239-1.1326 5 1.545 7 1.864 Main 1.719~1.567 5 1.239-1.1326 5 1.545 7 1.865 高型10 1.729~1.299 5 1.565 7 1.956 5 1.657 2 1.565 7 1.957 5 2.527 2.569 7 1.666 7 2.063 1.669 7 2.063 Catle 2.15 Levertic 2.15 E 3.00~6.00 7 1.846 1 2.653	5,1514×10 <sup>-6</sup>	17.15	I.64	23.49	.175.0	27.8	0.65	812+	Neptiané
1) ボンドアルペド (Bond albedo): 各級軍について、入納全エネルギーに対する反納会エネルギーの計 大臣の環 村和の 日本の (第一日本の): 二399~1.718 日本の (第一日本の): 二1718~1.236 日本の (第一日本の): 二1718~1.236 日本の (第一日本の): 二150 日本(150) 日 (150) 日本(150) 日 (150) 日本(150) 日 (150) 日 (150) 日 (150) 日 (150) 日 (150) 日 (150) 日	3.6943×10 <sup>-8</sup>	0.012300	3.34	2.38 2'	7.3217	6.67	0.07	-12.6	Moon
大庫の環 井庫の環 利ain Main Main 1.718-9-1.738 Main 1.718-9.1867 高い 1.239-1.738 1.112-1.236 1.112-1.236 1.112-1.236 1.112-1.236 5.1557 1.239-1.526 5.1557 1.557-2.2399 5.1557 1.557-2.2399 5.1557 1.557-2.2399 5.1557 1.557-2.2399 5.1557 1.557-2.039 5.1557 1.557-2.2399 5.1557-2.2399 5.1557 1.557-2.2399 5.1557-2.2399 5	1) ペンドアかべ	F (Bond albe	sio): 各級	至について,	入射全工具	ーキー	长潜小る.	反射全工オ	マチーの世
Main     1.7151.817     C     1236-1.236     6     1.637     6     1.889       Main     1.7151.817     C     1236-1.236     6     1.637     6     1.895       Main     1.7151.817     C     1236-1.1266     B     1.1261.946     5     1.635       Main     1.697-2.996     B     1.12651.1940     5     1.655     2     2.1037       Galle     1.697     A     2.025-2.2369     4     1.666     *     2.063       Galle     2.155     G     2.327     2.329     6     1.787     1.3877       Leverticz     2.155     G     3.00-80.0     7     1.846     2.3633       Lassell     2.215     E     3.00-80.0     7     1.846     1.8353	木屋の環	1 2000 F	-	土庫の構	1 396	-	日尾の	憲。	1 864
瀬王星の職 8 2.025~2.269 4 166 5 2.001 Autor 1.69 F 2.327 2 1 166 5 2.001 Leverna 2.15 日 2.77~2.89 タ 1.787 μ 3.853 Lassell 2.24 E 3.0~6.0 7 1.846	Main Gossamer	1.718~1.5	168	C 1236	-1.950		1.65	20 - 00	1.957
Leverine 2.15 E 2.76~2.89 B 1.787 # 3.823 Leverine 2.15 E 3.0~8.0 7 1.846	単一書の単一書の単			A 2,025	~2.269		99T	4 : 9 0	2,001
	Levertier Levertier	215	<u> </u>	10 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2,89		1.78	2 C- 49	3.823

Ę

極大	攀錽	-26.75	-2.4	-4.7	ł	-3.0	-2.8	-0.5	+5.3	+7.8	-12.6	調全エネ		2	40	*	*
* 123	部間	1	0.06	0.78	0.30	0,16	0.73	0.77	0.82	0.65	0.07	四日小村	にの書王	1.549	1.637	1,652	1.666
道志	相斜角	7,25	2	177.4	23.44	25.19	3.1	26.7	97.9	27.8	6.67	オーナード	K	-	9	-	4
自根	周期	в 25.38	58.65	243.02	0.9973	1.0260	0.414	0.444	0.718	0.671.	27.3217	C, 入射全土	EU!	12-1.236	36~1.526	26-1.950	75~2.260
王王	樹斌	617.5	4.25	10.36	8L.11	5.02	59.53	35.48	21.29	23.49	2.38	2002	に見の	D	0	B 1.5	A 2.0
を見	et H	141	5.43	5.24	5.52	3.93	1.33	0.69	1.27	1.64	3.34	do): 倍		38	101	96	
114	(地球=1)	333 946	0.05527	0.8150	1.0000	0.1074	317.83	95.16	14.54	17.15	0.012300	(Bond albe		1.399~1.7	1.718~1.8	1.807~2.5	
毿	(大陽=1)	1.000	1.6601×10 <sup>-7</sup>	2.4478×10-4	3.0404×10-8	$3.2272 \times 10^{-7}$	9.5479×10-4	2.8589×10 <sup>-4</sup>	4.3663×10 <sup>-5</sup>	5,1514×10-6	3.6943×10 <sup>-8</sup>	しゃえたいへい つ	木犀の藻	Halo	Main	Gossamer	第二年の第

1(1) 2(2) 50(63) 53(65) 27(27) 13(13) 1738 (3時不答 | 0.202×10<sup>-8</sup> | 0.17 | 0.0303 | 一 一定の面積の上の太陽の平均輻射量。月の根半径は地球 ・ 質量(太陽=1)には衛星も加えてある。太陽の質量 4 寬星数 1 G 0 存着 (追读=1) 19 1.000 0.056 0,857 1304000 1321 764 63 58 星 赤 重 地 村 (1) 23.01 0.38 0.38 0.31 0.38 0.38 0.38 0.38 0.38 0.38 辙 14,75 ×10<sup>-3</sup> 16.45 ×10<sup>-3</sup> 3.52 ×10<sup>-8</sup> 鴉.  $1.964 \times 10^{-8}$ 3.54 ×10<sup>-9</sup> の係え力数  $0.027 \times 10^{-8}$  $-01 \times 10^{-1}$ × 影争 |月||100||1523.68||1738|3時代巻|1 太陽から受ける臨射量は一定の面積の上の法 よりの平均距離における値、質重(大陽=1) は1.989×10<sup>m</sup>Eg、地球の質量は591×10<sup>24</sup>Kg、 は1.989×10<sup>m</sup>Eg、地球の質量は591×10<sup>24</sup>Kg、 \* 0.0034 0.0059 0.0229 0.0649 0.0980 1710.0 Щ 696 000 60 268 25 559 24 764 2 440 6 052 6 378 3 396 71,492 斑 灃 \* 悉 追半谷 (標10) (考約) 15,59,64 5.49 30,16 23.46 1.93 8.94 9.71 1 大勝六日、後日の一日、日本の大勝山の一日、日本の大日本の一日、日本の大日本の一日、日本の一日、日本の一日、日本の一日、日本の一日、日本の一日、日本の一日、日本の一日、日本の一日、日本の一日、日本の一日、 0.0027 0.0011 0.011 0.037 6.67 1007 0.43 5 太永金地火水土天海 勝屋星球星里里里里

赤道領針角とは各天体の赤道面の軌道面に対する角度である。ただし太陽の赤道

(協商有は黄道(地球の前道団)に対する角度である。 天3下表は、感星の類の名前とその位置(母惑星の赤道半径を単位)を示したも ので、IAU の惑星系命名作業能会(WGPSN)の報告に違ういている。 ので、IAU の惑星系命名作業能会(WGPSN)の報告に違ういている。 第星数は、戦道が確定し、IAU によって登録罪号と名前がつりもれた各惑星の第 星数で、2009年7月末までに発見の執め1AU 回線になされた倫星能数をかっこ内に がした。

副

節

猆

毎王屋は1846年に発見された。つぎの委は惑星の軌道の要素およびこれと関 重 水星、金星、火星、木星、土星は太古より知られており、天王星は1781年、 係のある定数を記したものである。元期2011年8月27.0日=JD 2455800.5. あ年期に近

基 数 塔 健 健

逝 王 志 経

軌道傾斜;

離心學

勒道浜半径

Mo

0

R

不変面

瀆

蕉

0

(天文単位)

ø

図 2.1 惑星表
-----------

13.590

113.635 74.015

0.328 0.934 1.028 0.726

1.303 2.489 0.773 1.770

0.0485 0.0555 0.0463

5.2026 9.5549 19.2184 30,1104

水金塘火 木土天蘇星軍運隊星 星星球星 星星球

0600.0

14.356 173.015

190.960 281.679

131.782

28.282

76.648 174.845

77,474 102.976 336.112 93.123 48.124

6.344 2.196 1.578 1.680

7,004 3.395 0.002 1.849

0.2056 0.0068 0.0167 0.034

0.3871 0.7233 1.0000 1.5237

49.524 100.487

309.724 231.750 89.343

48.316

(理科年表 2011 年版より)

第2章 地球の基礎データ



図 2.2 太陽入射量の変化 1

条件としては暑い夏と寒い冬になる。このような太陽放射の極僅かな変化がフィードバックを通して大きな変化 を引き起こすという説がある(ミランコビッチ説)。図 2.7、2.8 参照。

図 2.9 のように日射量と酸素同位体比に共通の周期成分が含まれていることが分かる。2 万年と4 万年の周期に ついては、日射量に対する線形応答としても大きな間違いはないであろう。しかし、図 2.9(c) のように、日射量 では振幅の弱い 10 万年周期の変動が酸素同位体には強く現れている。

この原因には、CO2のフィードバックや、氷床のフィードバックによるものが候補として挙がっている(図 2.10、 図 2.11)。

#### 2.2 大気組成

平均的な物質構成は、図 2.12 のようになっている。温暖化物質として問題になっている CO2 の存在比が非常 に小さいことに注意。

現在の大気の鉛直断面は図 2.13 のようになっている。通常の大気科学で対象にするのは、下部熱圏の 100km 程度まで。その辺りまでは分子量がほぼ一定(28.94)であり、大気を構成する物質が良く撹拌されている(均質 圏、homosphere)。それより上では、軽い分子の比率が大きくなり、大気の分子量は減少しはじめる(非均質圏、 heterosphere)(図 2.14)。もちろん、均質圏でも地上に発生源があり大気中に消滅原因のある物質(フロンやメ タン)や大気中に生成・消滅原因のある物質(オゾン)などは鉛直方向に不均一に分布する。

物質分布ではなく温度構造で大気を分類すると、下から対流圏(10数km、troposphere)、成層圏(50km、



3 January	0	0	90	231	413	505	509	514	547
21 March	0	149	280	378	436	378	280	149	0
22 June	524	492	482	474	384	213	80	0	0
4 July	513	482	477	472	386	216	84	0	0
23 September	0	147	276	373	430	372	276	147	0
21 December	0	0	86	227	410	507	514	526	559
Positive (negat	tive) la	titude	s for th	ne Nor	thern	(South	nern) I	Iemis	phere

ORBITAL PARAMETERS. Figure 4. Solar irradiance (watts per square meter) at the top of the atmosphere as a function of the latitude and seasons through the year.

図 2.3 太陽入射量の変化 2 (Schneider Ed., Encylopedia of Climate and Weather より)

stratosphere)、中間圏(80km、mesosphere)、熱圏(80km、thermosphere)となる(図2.15)。それぞれの境 界は、対流圏界面(もしくは単に圏界面、tropopause)、成層圏界面(stratopause)、中間圏界面(mesopause)と 呼ばれる。対流圏は温度が高度と共に下がるが、後述の断熱冷却率よりは少なく、凝結が起こらなければ(日中の 境界層(地面近く)を除き)安定である。中間圏も同様に安定。ただし、対流圏では湿潤対流が頻繁に起こり、上 下に良く混合されている。成層圏では温度は下部で等温、それ以上で高度とともに昇温していて、非常に静的に安 定な状態となっている。

では、このような大気構造はどのようにして説明されるのか。この問題意識を念頭において、以後、熱力学と









図 2.6 火星



Figure 2.7 The eccentricity e, the obliquity of the ecliptic  $\varepsilon$ , and the longitude of the perihelion  $\omega$  of the earth as functions of year before the present.

図 2.7 軌道要素の変化 (Liou "An Introduction to Atmospheric Radiation" (2002) より)



(b) If Step (218) ORBITAL VARIATIONS. Figure 3. Shift of the position of the equinoxes and the solstices around the Earth's elliptical orbit for (a) today, (b) 5,500 years ago, and (c) 11,000 years ago. SE: spring equinox, FE: fall equinox, SS: summer solstice, WS: winter solstice, P: perihelion, A: aphelion. The orientation of this orbit has been kept arbitrarily the same and the beginning of the spring is fixed on calendar date 21 March. The beginning of the other seasons is changing in time because the length of the seasons is changing. The numerical values of the eccentricity, e, of the obliquity, e, of th

図 2.8 近日点黄経の変化 (Schneider Ed., Encylopedia of Climate and Weather より)

大気放射について概観する。



て計算).(b)(a)のうちから,パンドパスフィルタで,10万年前後,4.1万年前 後,2.3万年前後の周期帯成分をそれぞれ取り出したもの.(c)(d)のうちから, パンドパスフィルタで,10万年前後,4.1万年前後,2.3万年前後の周期帯成分 をそれぞれ取り出したもの.(d)5つの海底コアの浮遊性有孔虫の酸素同位体比 を総合した SPECMAP stack と呼ばれるもの(%,ただし0は長期間平均を示 す.Berger et al.,1984 の Imbrie ほかの論文で記述されている.

図 2.9 日射量と海底コア酸素同位体比の周期帯毎の変動 (住ほか、気候変動論 (1996) より)



図4.11 水床の力学モデルに2万年周期の外力を与えたときの応答(Abe-Ouchi, 1993; 阿部, 1994). (a) 外力の与えかた.外部条件である水床の均衡線高度を2 万年周期の矩形波型に変化させている. 機軸は時間(単位:ka). (b) 得られた水 床の変動のタイプと与えた外部条件との関係. 横軸は外力の平均(*(ELA\_min+ELA\_min)/2*, 単位:m),縦軸は外力の変化の振幅(*(ELA\_ma-ELA\_min)/2*, 単位: m). A は強い非線形応答の現われる領域. (e) 水床の断面積(単位:km<sup>1</sup>)の時系 列. [A]強い非線形応答、外力の倍周期よりも長い周期の不規則な振動が生じる 場合と,外力の倍周期(4万年)で水床が生成消滅または振動する場合.[B] 準線 形応答.外力の周期(2万年)で水床が生成消滅または振動する場合.

図 2.10 氷床 feedback を入れたシミュレーション (住ほか、気候変動論 (1996) より)



ORBITAL VARIATIONS. Figure 5. Long-term variations of ice volume simulated by the LLN-model (from Gallke et al., 1992) in response to insolation and CO<sub>2</sub> forcings over the last glacial-interglacial cycle. The dotted line of the lower panel represents the  $\delta^{18}$ O values taken from Labeyrie et al. (1987) as a proxy for total ice volume over the Earth.

図 2.11 CO2 feedback を入れたシミュレーション (Schneider Ed., Encylopedia of Climate and Weather より)

		32 4.1	Exne		
<del></del>	4	ムスチ	八乙島	存在比率	r (%)
л <b>х.</b>		为于云	刀丁里	容積比	重量比
窒素	分子	N <sub>2</sub>	28.01	78.088	75. 527
酸素	分子	O2	32.00	20.949	23. 143
アル	ゴン	Ar	39.94	0.93	1. 282
炭酸	ガス	CO2	44.01	0.03	0. 0456
一酸	化炭素	CO	28.01	$1 \times 10^{-5}$	1×10 <sup>-5</sup>
ネオ	ン	Ne	20.18	1.8×10 <sup>-3</sup>	1.25×10-3
ヘリ	ウム	He	4.00	5.24×10-4	7.24×10⁻⁵
メタ	ン	CH4	16.05	1.4×10 <sup>-4</sup>	7.25×10 <sup>-5</sup>
クリ	プトン	Kr	83.7	1.14×10-4	3.30×10 <sup>-4</sup>
一酸	化二窒素	₹ N <sub>2</sub> O	44.02	$5 \times 10^{-5}$	7.6×10 <sup>-5</sup>
水素	分子	H <sub>2</sub>	2.02	5×10-5	3.48×10 <sup>-6</sup>
オゾ	~	O <sub>3</sub>	48.0	$2 \times 10^{-6}$	3×10 <sup>-6</sup>
水蒸	灵	H <sub>2</sub> O	18.02	不定	不定

表2.1 地表付近の大気組成

図 2.12 大気の組成 (松野・島崎、成層圏と中 間圏の大気 (1981) より)



図 2.13 大気の鉛直変化 (和達監修、気象の事 典 (1993) より)



Figure 1.3 Global-mean pressure (bold), temperature (shaded), mean molar weight (solid), and number densities of atmospheric constituents, as functions of altitude. *Source:* U.S. Standard Atmosphere (1976).

図 2.14 分子の数密度鉛直変化 (Salby, Fundamentals of Atmospheric Physics (1996) よ り)



図 2.15 気温の鉛直変化 (松野・島崎、成層圏 と中間圏の大気 (1981) より)