

9. 太陽系の構造

9-1 天体の視運動

恒星の日周運動

星空を時間をおいて観察すると、あたかも地球を中心とする大きな球殻上に光点があり、この球殻が一日一周のペースで回転しているように見える。この仮想的な球殻を天球とよび、恒星はその相対的な位置がほとんど変化しない。これは地球の自転運動によるものであり、自転軸の延長線と天球の交点を天の北極ないし天の南極と呼ぶ。また地球の赤道面を延長して天球と交わった線を天の赤道と呼ぶ。

太陽の年周運動

太陽は一年の周期で天球内を移動してゆくように見える（年周運動）。この軌跡を黄道と呼ぶ。黄道は地球の公転面を延長したものと天球が交わる線であり、天の赤道とは一致しない。太陽の天球内の移動は、地球の公転運動によって太陽が背にする恒星（あるいは星座）が移り変わってゆくことによる。黄道と天の赤道の交点が分点（春分点、秋分点）である。太陽がこの位置にあるときは、地球上のすべての緯度で昼夜の長さが基本的に等しくなる。

ちなみに月は約30日の周期で天球内を移動する。この軌跡を白道と呼ぶ。天の赤道に近いがややずれている。

惑星の視運動

惑星はほぼ黄道に沿って概ね一定の方向に天球内を運動するが、時折逆向きに移動する。ここから彷徨う星の意味で惑星と呼ばれるようになった。これは地球と惑星がほぼ同一の軌道面内を同一方向に公転していることを表している。逆行現象は、惑星によって公転角速度に差があることに起因する。

天動説と地動説

古くは星が地球の周りを実際に回転しているとする説が広く信じられていた。この天動説は地球の自転運動と公転運動を示す証拠が後に得られたことで完全に棄却された。コペルニクスが唱えた地動説は、英語では **Heliocentrism** といい、これを直訳すると太陽中心説である。これは太陽系の構造を理解する上では有用である。ただし現在では太陽も宇宙の中心ではないことが分かっており、厳密な意味では **Heliocentrism** も不正確ということになる。

9-2 太陽系の物差し

太陽とその周りを公転する天体からなる系が太陽系である。

太陽系の広がりを表す尺度には、太陽と地球の間の距離、つまり地球の公転半径を用いるのが便利である。これを 1 天文単位 (AU) といい、149 597 870 700 m (およそ 1 億 5 千万 km, 15.8×10^{-6} 光年) に等しい¹。太陽と地球間の距離は、地球と金星の間の距離の測定を行い、これに力学の法則を組み合わせることで導かれている。

簡単のために太陽を公転する天体の軌道を円軌道と近似すると、万有引力と遠心力のつり合いから

$$G \frac{M_{\odot} m}{r^2} = m r \omega^2 \quad (1)$$

ここで G は万有引力定数、 M_{\odot} は太陽質量、 m , r , ω はそれぞれ公転天体の質量、軌道半径、公転角速度である。

ここからいくつか重要な量や関係を導くことができる。まず r と ω に地球の値を代入すれば、太陽の質量を求めることができる。その値は 1.989×10^{30} kg で、地球の質量のおよそ 30 万倍である。これは太陽系最大の惑星である木星の質量の約 1000 倍であり、太陽系の質量の大部分は太陽が占めていることが分かる。

また公転周期 T が $T = 2\pi/\omega$ を満たすことから、公転周期と軌道半径の間には

$$T^2 \propto r^3 \quad (2)$$

の関係が成り立つ。つまり公転周期は軌道半径の 1.5 乗に比例する。これは楕円軌道であっても r を軌道長半径と読み代えれば成立する。これはケプラーの第三法則として知られている。

¹厳密には地球の軌道は楕円なので、この値は平均距離に基づく

9-3 惑星

一般的には次の性質をもつ天体を惑星と呼ぶ.

- 1) 恒星の周りを公転
- 2) 自ら輝いていない
- 3) そこそこ大きい

組成が中心星よりも重元素に富むことを, 惑星の条件に加えるべきという考え方もある.

宇宙元素存在度 太陽大気の組成. 近似的に現在の宇宙全体の組成を表す.

| 宇宙元素存在度 (抜粋) | |
|--------------|------------------------|
| 元素 | 存在度 (個数比) |
| H | 2.79×10^{10} |
| He | 2.72×10^9 |
| C | 1.01×10^7 |
| N | 3.13×10^6 |
| O | 2.38×10^7 |
| Ne | 3.44×10^6 |
| Mg | 1.076×10^6 |
| Si | $\equiv 1 \times 10^6$ |
| S | 5.15×10^5 |
| Ar | 1.01×10^5 |
| Fe | 9.00×10^5 |

重元素はヘリウムより原子番号の大きな元素をいう. 惑星には固体になりやすい重元素 (O,Mg,Si,Fe,...) が多い.

2006年 IAU 決議 太陽系惑星の定義²

- 1) 太陽を周回する天体である
- 2) 自己重力が固体強度を上まわって球形になっている
- 3) (重力で) 自分の軌道の近傍の他天体を掃きちらしている

²この定義は太陽系内に限る. いま見つかっている系外惑星はいずれもかなり重い (質量は地球と同程度かそれ以上) ので定義をあまり気にせずに惑星と呼ばれている.

惑星のタイプ

岩石型惑星 岩石と金属が主成分…水星・金星・地球・火星

太陽系の内側に位置．質量小．衛星を持たない or 持っても小数．

巨大ガス惑星 ガスが主成分…木星・土星

外側に位置．質量大．H, Heに富む外層．多数の衛星．

木星・土星：内部までH, Heに富む．

巨大氷惑星 天王星・海王星：内部はH₂O, CH₄, NH₃に富む

冥王星 軌道いびつ．質量小．惑星と小惑星の中間的存在．

大気・衛星を持つ．惑星から準惑星に降格した(2006年)．

9-4 太陽系小天体

太陽と惑星およびそれらの衛星以外の天体は、太陽系小天体と総称される．太陽に接近した際にガスを放出する活動を示すものを彗星，それ以外を小惑星と分類する．

火星軌道と木星軌道の間には多数の小惑星が存在し，この領域をメインベルトと呼ぶ．落下軌道の解析や反射スペクトルの類似性，小惑星物質の回収分析から，多くの隕石はメインベルト小惑星に由来すると推定される．

一方で海王星の軌道の外側にも冥王星をはじめとする天体が多数帯状に分布している．この領域をエッジワース・カイパーベルトと呼ぶ．太陽に接近する軌道傾斜角の小さな彗星（例えばハレーすい星）の大多数は，このエッジワース・カイパーベルトに起源を持つと考えられている．こうした彗星は軌道周期が200年以下の短周期彗星であることが多い．

彗星のなかには非常に大きな軌道傾斜角と軌道離心率を持つものも多い．これらの天体は，太陽から遠く離れた小天体が球殻上に太陽をとり巻いているオールトの雲に由来すると考えられている．こうした彗星は軌道周期が200年以上の長周期彗星であることが多い．オールトの雲の広がりには太陽重力が他の恒星の重力に勝る数万AUに及ぶ³．

³参考: 1 光年= 63 241.077 084 AU

9-5 太陽系の境界

太陽風から噴き出した太陽風プラズマ（電離ガス）に満たされている空間を太陽圏と呼ぶ。その広がり観測的に半径約 100AU と求められている。より外側は希薄な星間ガスに占められている。太陽圏の境界はヘリオポーズと呼ばれる。

他方、前節で述べた太陽重力が他の恒星の重力に勝る領域のことを太陽重力圏という。これは太陽圏よりもはるかに広い。ちなみに太陽からもっとも近い星はプロキシマケンタウリであり、太陽から 4.2 光年の距離がある。

太陽系の惑星

| 天体名 | 軌道長半径 (a) | 公転周期 | 自転周期 | 赤道傾斜角 |
|-----|---------------|------------|----------------|---------------|
| 水星 | 0.3871 AU | 88.0 day | 58.65 day | $<28^\circ$ |
| 金星 | 0.7233 | 224.7 | 243.01 | $177^\circ.3$ |
| 地球 | 1.0000 | 365.26 day | $23^h56^m4^s$ | $23^\circ.44$ |
| 火星 | 1.5237 | 687 | $24^h37^m23^s$ | $25^\circ.19$ |
| 木星 | 5.2026 | 11.862 yr | $9^h50^m30^s$ | $3^\circ.1$ |
| 土星 | 9.5549 | 29.458 | 10^h14^m | $26^\circ.7$ |
| 天王星 | 19.2184 | 84.022 | 17^h17^m | $97^\circ.9$ |
| 海王星 | 30.1104 | 164.774 | 18^h20^m | $29^\circ.6$ |
| 冥王星 | 39.5399 | 248.534 | 6^h9^m | 118° |

太陽，惑星，月の性質

| 天体名 | 質量 (M) | 赤道半径 (R) | 平均密度 (ρ) | 表面重力 (g) | 脱出速度 (v_e) |
|-----|------------|--------------|-----------------------|--------------|----------------|
| 太陽 | 332946 | 696000 km | 1.41 g/cm^3 | 28.01 | 617.5 km/s |
| 水星 | 0.055 | 2439 | 5.43 | 0.38 | 4.25 |
| 金星 | 0.815 | 6052 | 5.24 | 0.91 | 10.36 |
| 地球 | $\equiv 1$ | 6378 | 5.52 | $\equiv 1$ | 11.18 |
| 火星 | 0.107 | 3397 | 3.93 | 0.38 | 5.02 |
| 木星 | 317.832 | 71398 | 1.33 | 2.37 | 59.57 |
| 土星 | 95.16 | 60000 | 0.70 | 0.95 | 35.36 |
| 天王星 | 14.50 | 25400 | 1.30 | 0.89 | 21.33 |
| 海王星 | 17.22 | 24300 | 1.76 | 1.19 | 23.77 |
| 冥王星 | 0.0021 | 1137 | 2.1 | 0.067 | 0.58 |
| 月 | 0.0123 | 1738 | 3.34 | 0.17 | 2.38 |