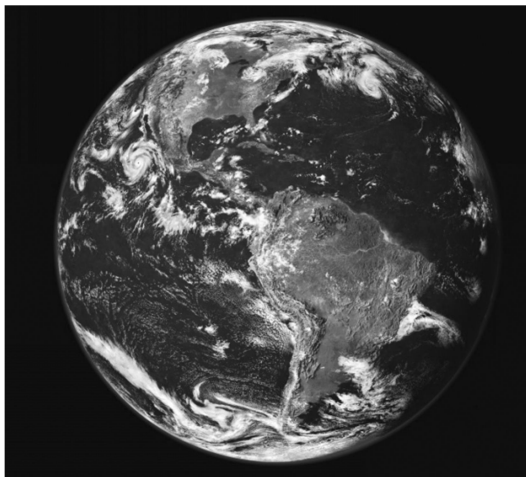


3回 地球システム/天文学的視点から地球環境を知る

地球環境を論ずるためには、地球の現在の状態と、そこにいたる経過をある程度知っておく必要があるだろう。この授業ではそれをざっと学ぶことにする。

太陽系の中の地球

地球は太陽系の第3惑星である。最近では有人の人工衛星が飛ぶようになり、宇宙飛行士は宇宙から地球の姿を肉眼で見られるようになった。青い海と黒っぽいまたは茶色っぽい大陸、それを部分的に覆い隠す白い雲など、全体として青く見える。このような色調は他の惑星や衛星では見られない地球独特のものである。宇宙飛行士の感想によると地球の表情から生物をはぐくむ雰囲気を読み取れるばかりか、地球そのものが生き物であるかのような印象さえ受けるという。



惑星としての地球の物理的特徴を見るために、太陽系惑星に関する諸量を示す。

表の左半分は惑星の軌道に関する量を、右半分は惑星自身に関する量である。ただし、離心率を除く諸量は地球を基準にしてある。これらの値は理科年表 (1997) から抜粋

| | 軌道長径比 | 離心率 | 公転周期比 | 赤道半径比 | 質量比 | 赤道重量比 | 密度比 |
|-----|---------------------|--------|---------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 水星 | 0.387 | 0.2056 | 0.24 | 0.382 | 0.055 | 0.38 | 0.98 |
| 金星 | 0.723 | 0.0068 | 0.62 | 0.949 | 0.815 | 0.91 | 0.95 |
| 地球 | 1.000 ¹⁾ | 0.0167 | 1.00 | 1.000 ²⁾ | 1.000 ³⁾ | 1.00 ⁴⁾ | 1.00 ⁵⁾ |
| 月 | 0.0026 | 0.0549 | (27.3日) | 0.272 | 0.012 | 0.17 | 0.61 |
| 火星 | 1.524 | 0.0934 | 1.88 | 0.533 | 0.107 | 0.38 | 0.71 |
| 木星 | 5.203 | 0.0485 | 11.86 | 11.21 | 317.8 | 2.37 | 0.24 |
| 土星 | 9.555 | 0.0555 | 29.46 | 9.45 | 95.16 | 0.94 | 0.13 |
| 天王星 | 19.22 | 0.0463 | 84.02 | 4.01 | 14.54 | 0.89 | 0.23 |
| 海王星 | 30.11 | 0.0090 | 164.8 | 3.88 | 17.15 | 1.11 | 0.30 |
| 冥王星 | 39.54 | 0.2490 | 247.8 | 0.178 | 0.0023 | 0.07 | 0.40 |

1) 1天文単位 = 1.496×10^8 km 2) 6378 km 3) 5.974×10^{24} kg 4) 9.8 m/s^2
 5) 5.52 g/cm^3

し手を加えたもので、参考のため地球の衛星である月も表に加えた。

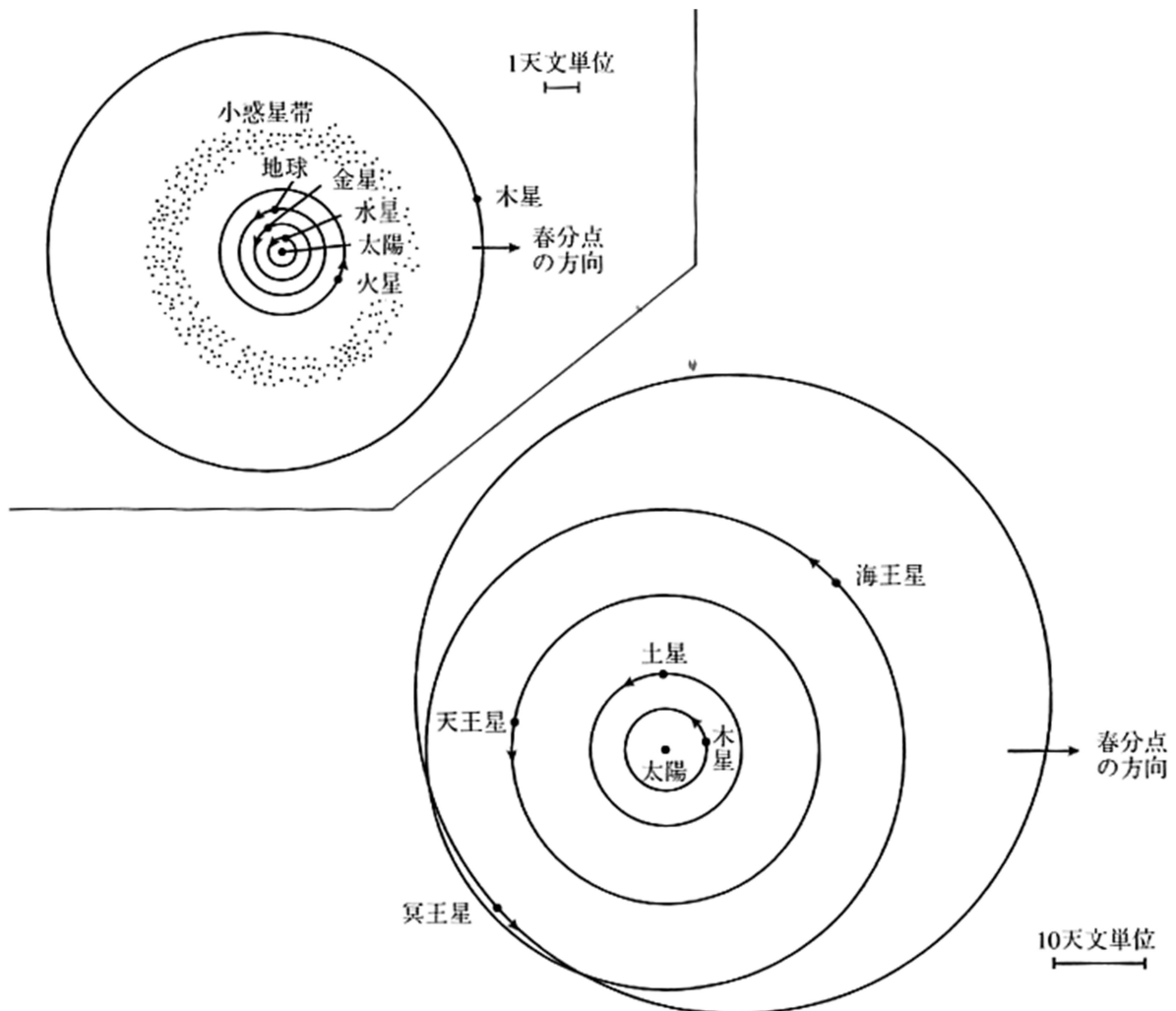
地球から太陽までの距離約 1 億 5000 万 km を 1 天文単位という、これを基準にすると、太陽からもっとも遠い冥王星までの距離は約 40 天文単位になる。

冥王星の楕円軌道の離心率は 0.25 で、円からのはずれが大きく、海王星の軌道の内側に入り込むことがある。あとで見るように、太陽に近い第 1 惑星の水星から第 4 惑星の火星までの 4 つの惑星はその内部の構造が互いによく似ているので地球型惑星とよばれる。

第 5 惑星の木星から第 8 惑星の海王星まではその内部構造が地球型と異なるタイプであって互いに似ているので木星型惑星とよぶ。ただし冥王星は地球型とも木星型とも異なるため、近年惑星の分類から外され、準惑星に分類されるようになった。

これらの惑星のほか太陽系には小惑星と称する多数の小天体群が火星と木星の軌道の間を回っている。また、彗星とよばれる惑星とタイプの異なるものもある。

図にはこれら惑星と小惑星の軌道が示されている。ただし、木星より内側にある惑星の軌道は図の左上に拡大した。



太陽系惑星の軌道

(「北」から見下ろした図、各惑星の位置は近日点を示す。)

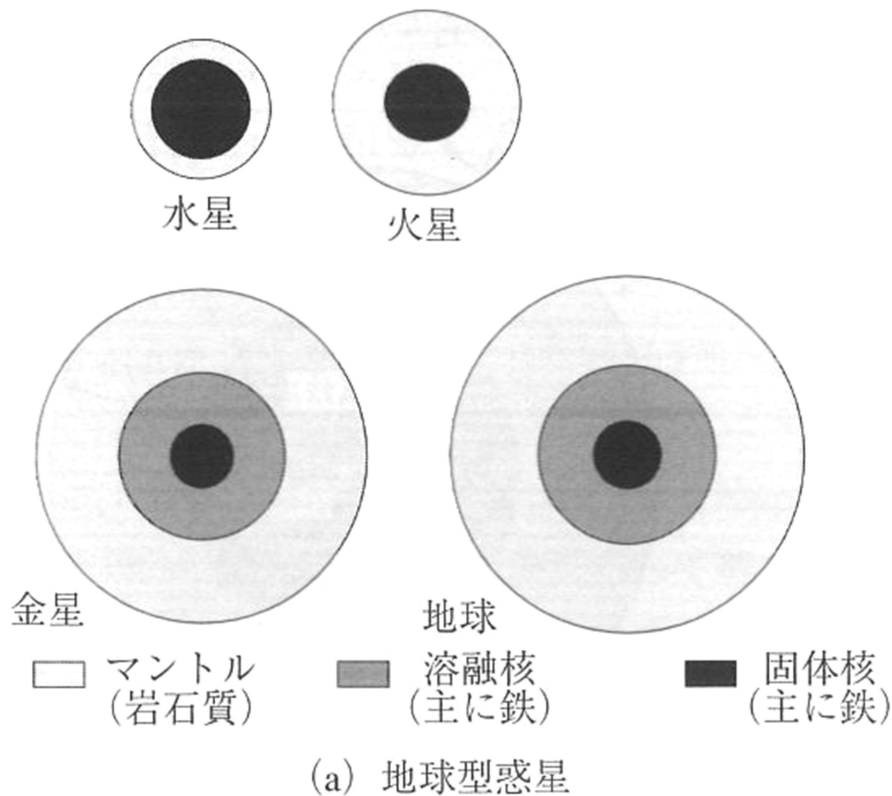
地球型惑星の比較

月を含めた地球型惑星について詳細に見ると、第1惑星である水星(Mercury)は太陽にいちばん近い。質量は地球の約5%、半径は約1/3である。弱い磁場があり、表面は大小のクレーターで覆われている。

第2惑星の金星(Venus)の質量は地球の約82%、半径は95%で、地球とほぼ同じ大きさである。内部構造も地球に似ている。磁場はほとんどなく、厚い大気に覆われていて太陽の光をよく反射する。これが明星とよばれる理由である。

月は地球の唯一の衛星であって質量が地球の約1%、半径は1/4くらいで、表面には大小のクレーターが無数にある。第4惑星である火星(Mars)は質量が地球の約1/10、半径は約1/2で磁場はほとんどなく、薄い大気が存在する。

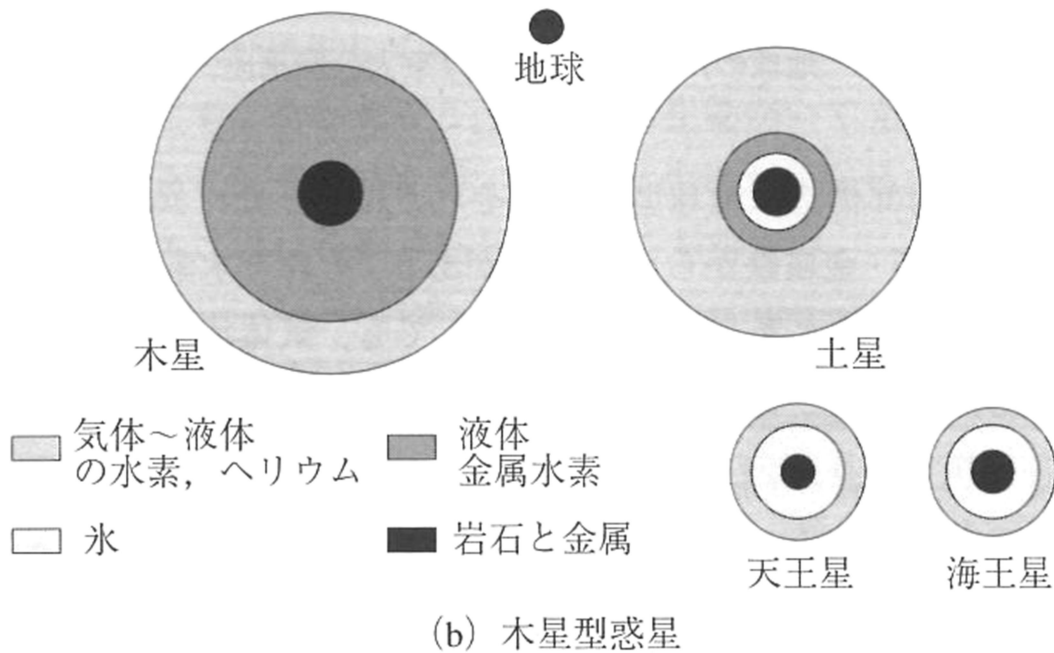
地球型惑星の内部構造



地球型ではいずれも中心部には金属鉄のコアがあり、それをとりまいて岩石質のマントルが、さらに地球型では(図には示されていないが)その外側を薄い地殻が覆っている。

今回の講義で説明するが、地球の場合、全体の半径が約6400Km、マントル部分は珪酸塩の岩石でできていて厚さはその約半分の3500Km程度である。地殻も岩石でできておりその厚さは大陸部分では30~50km、海洋部分では5km程度で、そこで平均して約3800mの深さの海水を支えている。

木星型惑星の内部構造



木星型惑星の内部構造は地球型惑星のそれとはまったく異なる。共通していることは、氷、岩石、金属鉄からなるコアがあり、それを水素とヘリウムが覆ったような構造である。水素とヘリウムといっても気体状態にあるのは表面付近だけで、比較的浅いところでも高圧のため液体となり、深部では金属状態にあると考えられている。

地球型惑星のうち金星・地球・火星の大気を比較してみよう。

周知のように地球には約1気圧の大気が存在し、地表での平均気温は約15℃である。

それに対して金星の大気は約90気圧、470℃くらい、火星の大気は0.0055気圧、-30℃くらいである。ただし、火星の大気圧は季節変化がいちじるしい。

月には大気が存在せず、そのため表面温度は昼夜の差が激しく、昼の11℃から夜の-170℃くらいまで変化する。

大気の組成をみると、地球では酸素が21%、水蒸気が0～2%であるのに対して、火星および金星では酸素と水蒸気および窒素の濃度はきわめて薄い、事実上ゼロである。

二酸化炭素の濃度は地球では350ppm(=0.035%)であるのに対し金星では96.5%、火星では95.3%であって他の成分に比べて圧倒的に多い。つまり金星と火星は大気の構成がかなり似ているが、地球はそれらとは著しく異なる。

かりに、地球にあるすべての石灰質の岩石を分解して二酸化炭素を発生させると、大気中の二酸化炭素の圧力は一挙に50～100気圧に上昇するものと推定される。これと、地球が誕生して間もないころの大気には二酸化炭素が多量に含まれていたことと考えると、地球には生物がいて光合成を行い、大気の組成を現在のように変化させたが、金星には生物が存在しなかったために大気の組成が変化することはなかったと考えざるを得ない。

惑星大気の物理的条件の比較 (阿部/東大公開講座, p42)

| | 地球 | 金星 | 火星 |
|-----------------------|--------|---------|------------------|
| 気圧 | 1気圧 | 90気圧 | ~0.0055気圧 (季節変動) |
| 気温 | 15°C | 470°C | -30°C |
| 窒素 N ₂ | 78.08% | 3.5% | 2.7% |
| 酸素 O ₂ | 20.95% | 0% | 0.13% |
| アルゴン Ar | 0.934% | ~70ppm | 1.6% |
| 水蒸気 H ₂ O | 0~2% | <100ppm | 0~100ppm (変動) |
| 二酸化炭素 CO ₂ | 350ppm | 96.5% | 95.32% |

1 ppm = 0.0001%

ここで、惑星の地表付近の気温がどのようにして決まるのかを説明しておこう。地表温度を決める要因は主に太陽から放射されるエネルギーに支配される。そのほか惑星内部からの地熱も関係するが、地球の場合は太陽から地球に放射されるエネルギーに比べて無視できるほど小さい。

太陽からの放射エネルギーのうち、大気によって散乱され、大気や大気に漂う雲、および惑星表面（地球の場合は海や雪氷を含む）から反射されるエネルギーを考慮しなければならない。

反射される割合、つまり反射率をアルベドという。金星・地球・火星についての1 cm²あたり毎秒の太陽放射エネルギー（太陽放射フラックスという）と、アルベドおよびそれらをもとにして計算された地表温度およびその観測値を表に示す。

太陽放射と惑星温度 (中江/樽谷, p81)

| 惑星 | 太陽からの距離 (10 ⁶ km) | 太陽放射フラックス (W/cm ²) | 反射率 (アルベド) | 表面温度 (°C) | | 温室効果 (°C) |
|----|---------------------------------|-----------------------------------|---------------|-----------|-----|--------------|
| | | | | 計算値 | 観測値 | |
| 金星 | 108 | 0.27 | 0.71 | -33 | 477 | 510 |
| 地球 | 150 | 0.14 | 0.30 | -17 | 15 | 32 |
| 火星 | 228 | 0.061 | 0.17 | -57 | -47 | 10 |

計算値が実測値より低いのは、惑星大気のもつ温室効果を考慮しなかったからである。したがって観測値から計算値を差し引いた値が温室効果による温度を表すと考えられる。