

V 惑星科学

以下の2問 (V-1, V-2) を解答せよ。

V-1 衝突合体による微惑星の成長を考察する。簡単のため、各微惑星は半径分布 $d = d(r, t)$ をもつ球体 (r は中心星からの距離, t は時刻) であり、その密度 ρ は場所・時間によらず常に一定として扱ってよいことにする。また、微惑星は衝突すれば完全に合体するものとし、かつ、各微惑星の自転 (スピン) は考えなくてもよいものとする。

問1 微惑星の質量を m 、数密度を n 、衝突断面積を σ 、微惑星間の相対速度を v とするとき m の時間変化 (の概略) を表す式を示せ。

問2 微惑星衝突が自由運動する剛体の衝突とみなせるとき衝突断面積 σ はいくつか。

問3 原始太陽系物質の黄道面に射影した質量面密度が中心天体 (太陽) からの距離 r のみの関数として $\Sigma = \Sigma(r)$ と与えられているものとする。微惑星の平均的な軌道傾斜が i であるとするとき、微惑星の数密度 n を Σ 、 i 、 m 、 r で簡略に表せ。

問4 微惑星衝突の相対速度 v はおおむね iv_k であるものとする (v_k はケプラー速度)。微惑星の惑星への成長時定数

$$\left| \frac{m}{dm} \right|$$

の表現はどうか。

問5 Σ として、現在の太陽系物質の分布から推定するとおおむね

$$\Sigma = 10^2 \left(\frac{r}{r_e} \right)^{-\frac{3}{2}} \text{ kg/m}^2$$

と与えられる。このような質量分布のもとで得られる惑星の成長時間を、 $r = r_e$ (地球)、 $r = 10r_e$ (土星付近) について具体的に考察せよ。惑星は何年ぐらいで形成されると考えられるか。知られている太陽系の年齢に比べてどうか。

問6 微惑星の成長、惑星形成モデルとしては明らかに簡単すぎる。どのような点を改善するのが望ましいか論ぜよ。

V-2 惑星大気中に入射した太陽紫外線は大気分子の一部を光解離する。地球大気中で光解離により生成する酸素原子の運動エネルギーは約 4.4eV である。以下の問に答えよ。

問1 光解離により生成した酸素原子は酸素原子間の衝突により熱化し平衡状態の速度分布になったとする。酸素原子気体の温度を求めよ。ただし、電子の電荷量を $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、ボルツマン定数を $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ 、大気・気体の空間分布は局所的に一様とし、酸素原子の内部エネルギー変化はないとする。

問2 光解離により生成した酸素原子の平均自由行程を求めよ。また、酸素原子が周囲の大気分子と 1 秒間に衝突する回数（衝突周波数）を求めよ。ただし、周囲の大気密度を $n = 10^{18} \text{ m}^{-3}$ 、衝突断面積を $\sigma = 10^{-19} \text{ m}^2$ 、光解離により生成した酸素原子の密度は周囲の大気密度と比較し無視できるほど小さいとする。

問3 惑星大気中に入射した太陽紫外線は、光解離だけでなく惑星大気の子・分子により散乱・吸収される。高度 z での光の強度 I を示せ。ただし、大気の厚さは惑星半径と比べて十分小さく、大気は静水圧平衡状態にあるとする。

問4 波長の短い極紫外線や X 線が惑星大気中に入射したとき、どのような現象が大気中に発生すると考えられるか、200 字以内で簡潔に述べよ。