

第1問

問I

$$(1) \frac{10}{40} \times 2000 = 500 \text{ (万年)}$$

答 5.0×10^6 年

$$(2) N(20)=60 \text{ であるから}$$

$$60 = N_{10} \left(1 - \frac{10}{20}\right)$$

より $N_{10} = 120$ 。この星団の最も重い恒星の質量を x とすると、 $N(x) = 60 + 20 = 80$ である。

$$120 \left(1 - \frac{10}{x}\right) = 80$$

$$\text{この式より } x = 30。 \text{この質量の恒星の年齢は } 2000 = \frac{10}{30} = 666.6\cdots \text{ (万年)}$$

答 6.7×10^6 年

$$(3) 10M_{\odot} \sim 11M_{\odot} \text{ の恒星が生まれ出される数 } N_1, 20M_{\odot} \sim 21M_{\odot} \text{ の恒星が生まれ出される数 } N_2 \text{ はそれぞれ次のようになる。}$$

$$N_1 = N_{10} \left(1 - \frac{10}{11}\right) = \frac{N_{10}}{11}$$

$$N_2 = N_{10} \left(1 - \frac{10}{21}\right) - N_{10} \left(1 - \frac{10}{20}\right) = \frac{N_{10}}{42}$$

現在存在している恒星の数は生まれ出される個数と寿命の積に比例する。 N_2 の恒星の寿命は N_1 の恒星の寿命の $\frac{1}{2}$ なので、求める比は次のようになる。

$$\left(\frac{1}{42} \times \frac{1}{2}\right) \div \left(\frac{1}{11}\right) = 1.30\cdots \times 10^{-1}$$

答 $20M_{\odot} \sim 21M_{\odot}$ の恒星は $10M_{\odot} \sim 11M_{\odot}$ の恒星の 1.3×10^{-1} 倍存在する。

問II

$$(1) 1\text{Mpc} \text{ を } 6.0 \times 10^2 \text{ (km/s)} \text{ で割り、秒を年に換算すればよい。}$$

$$\frac{10^6 \times 3.1 \times 10^{16}}{6.0 \times 10^2 \times 10^3} \div (365 \times 24 \times 60 \times 60) = 1.63\cdots \times 10^9$$

答 1.6×10^9 年前

$$(2) 46 \text{ 億年前に形成された地球が宇宙より古くなってしまうこと。}$$

$$(3) \text{長さ } d_r \text{ の弧は中心 } O \text{ から見て } \frac{d_r}{R} \text{ ラジアン} \text{ の角度を張るので、求める半径は } R \sin \frac{d_r}{R} \text{ となる。}$$

答 $R \sin \frac{d_r}{R}$

- (4) 天体の光は長さ $2\pi R \sin \frac{d_T}{R}$ の円周上に広がるので、 L をこの長さで割ればよい。

$$\text{答 } F = \frac{L}{2\pi R \sin \frac{d_T}{R}}$$

- (5) 問題の(a)式に(4)の F を代入すると、

$$d_L = R \sin \frac{d_T}{R}$$

これに $d_T = \frac{v}{H}$ を代入すればよい。

$$\text{答 } d_L = R \sin \left(\frac{v}{RH} \right)$$

第2問

問I

(1) $(S_0 + F_a - F_s - H - E) / C_g$

(2) それぞれの温度で平衡状態となっているので、

$$S_0 + F_a - \sigma T_s^4 - C_H (T_s - T_a) + C_E (T_s - T_a)$$

$$= (S_0 + \Delta S_0) + F_a - \sigma (T_s + \Delta T_s)^4 - C_H (T_s + \Delta T_s - T_a) - C_E (T_s + \Delta T_s - T_a) = 0$$

が成立する。

 T_s に比べて ΔT_s が十分に小さいことから、

$$(T_s + \Delta T_s)^4 = T_s^4 \times (1 + \Delta T_s / T_s)^4 = T_s^4 \times (1 + 4 \Delta T_s / T_s) = T_s^4 + 4 \Delta T_s \times T_s^3$$

となる。これらを整理して、

$$\Delta S_0 = \Delta T_s (4 \sigma T_s^3 + C_H + C_E)$$

答 $\Delta S_0 = \Delta T_s (4 \sigma T_s^3 + C_H + C_E)$

(3) 8時 (B) 15時 (A) 22時 (C)

理由：夜になると放射冷却で下方から冷やされ、逆転層が形成され始めるので、22時は(C)である。夜明け前に逆転層の高さが最大となり、日が昇ると下方から暖められて逆転層が破壊されるので、8時は(B)である。また、昼は地表が高温になるので、15時は(A)である。

(4) 煙は z_b の高度まで広がるが、 z_b から z_a までの逆転層の中を上昇することができない。

問II

(1) 圧力傾度力とコリオリの力が等しく、コリオリの力は速度と緯度の正弦に比例するので、求める速さを x とすると、

$$\frac{0.30}{0.85} = \frac{0.31}{x} \times \frac{0.66}{0.56}$$

が成立する。したがって、 $x=1.03\dots$

答 1.0 m/s

(2) 西岸強化

(3) 渦の中心ほど海面の高さが低く、圧力傾度力が中心方向に、コリオリの力がその反対方向にはたらいっていることから、表層における回転方向は上から見て反時計回りである。

(4) 圧力傾度力とコリオリの力の大きさは場所によらず同じであるが、高緯度ほどコリオリの力が強くはたらくので、高緯度ほど地衡流の流速は小さい。南に向かう渦の西側では流速が増加するので海面は下降し、逆の東側では流速が減少するので海面は上昇する。

第3問

問I

(1) リソスフェアは時間とともに冷却され、さらに、底面で冷却されたアセノスフェアを取り込んで厚くなって、アセノスフェアよりも密度が大きくなるため、アイソスタシーを保つように海洋底が沈降するから。

$$(2) (a) \quad \rho_W \times d + \rho_S \times D = \rho_W \times d_0 + \rho_A \times (d + D - d_0)$$

$$d_0(\rho_A - \rho_W) = d \times (\rho_A - \rho_W) + D \times (\rho_A - \rho_S)$$

$$d_0 = d + D \times \frac{\rho_A - \rho_S}{\rho_A - \rho_W}$$

(b) (a)で得られた式で、求める値は $d_0 - d = D \times \frac{\rho_A - \rho_S}{\rho_A - \rho_W}$ であるから、

$$D \times \frac{\rho_A - \rho_S}{\rho_A - \rho_W} = 370 \times \frac{(3.3 - 2.0) \times 10^3}{(3.3 - 1.0) \times 10^3} = 209.1 \dots (\text{m})$$

答 観測値より $2.1 \times 10^2 \text{ m}$ 深くなる。

問II

(1) 河川によって陸から海洋まで運ばれた後、海流によってさらに遠洋まで運ばれる。

(2) C

炭酸塩補償深度である水深 4500m よりも浅く、有孔虫や円石藻の殻の成分である炭酸カルシウムが溶解することなく海底に沈積するハワイ諸島周辺や中央海嶺周辺海域に堆積するから。

(3) 求める年代を t とすると、

$$\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{5700}} = \frac{1}{1000}$$

この式の両辺の常用対数をとると、

$$\log_{10} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{5700}} = \log_{10} \frac{1}{1000}$$

$$\therefore -\frac{t}{5700} \log_{10} 2 = -3$$

$$\therefore t = 5700 \times \frac{3}{0.30} = 57000$$

答 5.7×10^4 年前

(4) 宇宙線を生成する太陽の活動や宇宙が直接地球大気に到達するのを妨げる地磁気の強さが変動してきたから。

(5) 堆積残留磁気を調べて、それを地磁気の逆転のパターンと比較する。