

2023年 第4回東大本番レベル模試・地学

解答・解説・採点基準

全3問 75分 60点満点

第1問 (20点)

【解答・採点基準】

問1

(1)

宇宙空間に広がっていた自由電子が原子核に捉えられ水素原子やヘリウム原子が形成された結果、光が自由電子に散乱されず直進できるようになり宇宙を遠くまで光で見渡せるようになった現象。

(2)

(a)

寿命が138億-3億=135億年になる質量を考え、その質量の対数をとって評価し、

$$\begin{aligned}\log_{10}\left(\frac{100}{135}\right)^{\frac{1}{2.5}} &= \frac{1+0.3010-0.4771\times 3}{2.5} \\ &= -\frac{0.1303}{2.5} = -0.05212\end{aligned}$$

である。

$$\log_{10} 0.9 = 0.4771 \times 2 - 1 = -0.0458$$

$$\log_{10} 0.8 = 0.3010 \times 3 - 1 = -0.0970$$

よって、端数を切り上げて0.9太陽質量である。

(b)

$$122\text{ nm} \times (1+14) = 1.83 \times 10^3\text{ nm} \doteq 1.8 \times 10^3\text{ nm}$$

赤外線

(3)

(a)

問1 10点

(1) 2点

*語群(電子, 光)を両方使用していることが必須。

*電子が原子核にとらえられた旨に1点。

*光が散乱されなくなった, または直進できるようになった旨に1点。

(2) 4点

(a) 2点

*0.8, 0.9の対数をとって

$$\log_{10}\left(\frac{100}{135}\right)^{\frac{1}{2.5}} \text{との関係を考える, もしくは比較すること}$$

に1点。

*正答に1点。

(b) 2点

*波長(有効数字・単位指定のため $1.8 \times 10^3\text{ nm}$ のみ)に1点。

*赤外線に1点。

(3) 4点

(a) 1点

万有引力と遠心力とのつりあいを考え、 $\frac{GM_r}{r^2} = \frac{v^2}{r}$ より、

$$M_r = \frac{v^2 r_c}{G} x$$

よって、

$$C = \frac{v^2 r_c}{G} \doteq 3.92 \times 10^{10} \text{ 太陽質量} \doteq 3.9 \times 10^{10} \text{ 太陽質量}$$

となる。

(b)

$$M_D(x) = M_r(x) - M_s(x)$$

であるため、(a)および与えられた式を代入すると、

$$M_D(x) = 3.9 \times 10^{10} x - 1.0 \times 10^{11} \{1 - (x+1)e^{-x}\} \text{ 太陽質量}$$

となる。

(c)

銀河の中心から $x=2$ まで、

$$\frac{M_D(2)}{M_r(2)} = 1 - \frac{10^{11} \left(1 - \frac{3}{e^2}\right)}{2 \times 3.92 \times 10^{10}} = 0.242 \dots$$

よって、24%である。

$x=2$ から $x=10$ まで、

$$\frac{M_D(10) - M_D(2)}{M_r(10) - M_r(2)} = 1 - \frac{10^{11} \left(\frac{3}{e^2} - \frac{11}{e^{10}}\right)}{8 \times 3.92 \times 10^{10}} = 0.870 \dots$$

よって、87%である。

問2

(1)

(a)

グリーゼ 710, 太陽, シリウス A, アケルナル

(b)

(ア) : 水素

(イ) : 低

(ウ) : 高(大きい)

(エ) : 惑星状星雲

(2)

***正答**($C = 3.9 \times 10^{10}$ 太陽質量)に**1点**。

(b) 1点

***正答**に**1点**。

(c) 2点

***銀河系の中心から $x=2$ までの質量比 24%に 1点。**

*** $x=2$ から $x=10$ までの質量比 87%に 1点。**

問2 10点

(1) 2点

(a) 1点

***完答**(グリーゼ 710, 太陽, シリウス A, アケルナル)で**1点**。

(b) 1点

***完答**で(ア: 水素, イ: 低, ウ: 高(大きい), エ: 惑星状星雲)で**1点**。

(2) 6点

(a)

白色矮星の内部と外部で温度と密度の分布が連続的であることから、その境界で $\rho = \rho_0 = AT_{\text{wd}}^{\frac{3}{2}}$, $T = T_{\text{wd}}$ である。

よって、

$$T_{\text{wd}}^{\frac{17}{2}} = C_1 LP^2, P = C_2 \left(AT_{\text{wd}}^{\frac{3}{2}} \right) T_{\text{wd}}$$

が成り立つ。整理して、 $L = \frac{1}{C_1 C_2^2 A^2} T_{\text{wd}}^{\frac{7}{2}}$ を得る。

以上より、 $\alpha = \frac{7}{2}$ である。

(b)

$$\beta = -\frac{2}{5}, \gamma = -\frac{7}{5}$$

(c)

②

(3)

白色矮星 W の絶対等級は、星間物質の吸収の影響も考慮して、

$$27.6 - 5 \times \log_{10} \frac{2500}{10} - 0.5 = 15.1$$

より 15.1 等と求められる。問題文の仮定より、NGC 6397 の年齢は白色矮星 W の年齢に等しい。図 1-4 より、これは 115 億年。

(a) 2点

*境界での密度が $AT_{\text{wd}}^{\frac{3}{2}}$, かつ温度が T_{wd} であることに 1点。

・密度と温度の一方だけでは不可

・密度については ρ_0 や $AT_{\text{wd}}^{\frac{3}{2}}$ という表現も許容。

*正答 ($\alpha = \frac{7}{2}$) に 1点。

(b) 3点

* $\beta = -\frac{2}{5}$ に 2点。

* $\gamma = -\frac{7}{5}$ に 1点。

(c) 1点

*正答に 1点。

(3) 2点

*絶対等級への換算の正しい立式と、正しい絶対等級(15.1等)を合わせて 1点。

・正しい立式の例:

$$27.6 - 5 \times \log_{10} \frac{2500}{10} - 0.5$$

・正しい立式では「見かけの等級」「距離の影響(ポグソンの式)」「星間物質の吸収」の3点が正しく表現できている必要がある。2つ目の要素には様々な表現がある

($-5 \times \log_{10} (2.5 \times 10^3) + 5$ など)ことに注意。

*正答(115億年または 1.15×10^{10} 年)に 1点。

第2問 (20点)

【解答・採点基準】

問1

(1)

(a)

$$V_0 = 3.0 \times 10^2 \text{ m/s}$$

(b)

$$V_s = 2.1 \times 10^2 \text{ m/s}$$

トンガ火山で発生した津波が速さ V_s で伝わる場合の奄美大島に到達する時刻は 23 時 50 分頃となる。図 2-1 中 A の海面変動はその時刻よりかなり前の時刻であるためトンガ火山で発生した津波としてありうる到達時刻ではないのに対して、図 2-1 中 B の海面変動はその時刻と整合的であるためトンガ火山で発生した津波としてありうる到達時刻である。

(c)

トンガ火山で発生したラム波が速さ V_l で伝わる場合の奄美大島に到達する時刻は 20 時 20 分頃となる。図 2-2 中 C の気圧変動はその時刻と整合的であるためトンガ火山で発生したラム波としてありうる時刻である。

(2)

(a)

$$1.0 \times 10^{-2} \text{ m}$$

(b)

$$H_{\text{eq}} = 9.8 \times 10^3 \text{ m}$$

(c)

$$\alpha = -\frac{1}{4}$$

問1 10点

(1) 5点

(a) 1点

*正答に1点。

(b) 2点

* V_s を求められて1点。

*トンガ火山で発生した津波が速さ V_s で伝わる場合の奄美大島に到達する時刻をもとに、図 2-1 中 A の海面変動がトンガ火山で発生した津波としてありうる到達時刻ではないのに対して、図 2-1 中 B の海面変動はトンガ火山で発生した津波としてありうる到達時刻であることを述べていて1点。

(c) 2点

*トンガ火山で発生したラム波が速さ V_l で伝わる場合の奄美大島に到達する時刻を求めて1点。

*図 2-2 中 C の気圧変動がトンガ火山で発生したラム波としてありうる到達時刻であることを述べて1点。

(2) 5点

(a) 1点

*正答に1点。

(b) 1点

*正答に1点。

(c) 2点

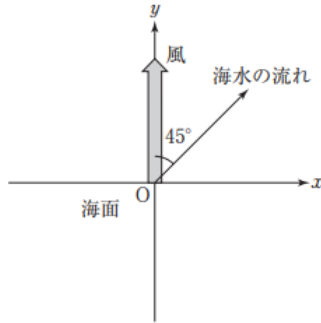
*正答に2点。

(d) 0.50 m

問 2

(1)

(a)



(b)

- ①時計回り ②小さく ③右向き ④北向き
⑤南向き ⑥上昇

(c)

中緯度(北緯 30°)でのエクマン輸送量を考えているので、

$$f = 2\Omega \sin 30^\circ = 2 \times 7.3 \times 10^{-5} / \text{s} \times \frac{1}{2} = 7.3 \times 10^{-5} / \text{s}$$

となり、エクマン輸送量は、

$$T_e = \frac{0.10 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s}^2)}{1030 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 7.3 \times 10^{-5} / \text{s}}$$
$$= 1.329 \dots \text{ m}^2/\text{s}$$
$$\doteq 1.3 \text{ m}^2/\text{s}$$

となる。

(d)

日本海側では西～南西よりの風が、太平洋側では東～北東よりの風が海洋上空を連続して吹くことで、エクマン輸送により海水が陸に向かい高潮が起こる。

(2)

(d) 1点

*正答に1点。

問 2 10点

(1) 6点

(a) 1点

*正しい作図に1点。

・海水が風の吹く向きに対して 45° ずれていることが分れば厳密な作図でなくとも許容。

(b) 1点

*完答で1点。

(c) 2点

*正答に1点。

*正しい計算過程に1点。ただし、正解が間違っている場合は、 f の数値が出せているもしくは

$$T_e = \frac{0.10 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s}^2)}{1030 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 7.3 \times 10^{-5} / \text{s}}$$

に準ずる立式ができているときは方針点として1点与える。

(d) 2点

*日本海側での風向きに1点。

*太平洋側での風向きに1点。

・日本海側については西～南西ではなく西寄りの風、南西の風でも可。16方位で記述している場合は南南西、西南西でも可。

・太平洋側については東～北東ではなく東寄りの風、北東よりの風でも可。16方位で記述している場合は北北東、東北東でも可。

(2) 4点

(a)

起源：北大西洋(グリーンランド沖)

循環：深層循環

(b)

秋季に北東風が卓越することで、夏季に海氷融解で塩分が低下した沖合の南極冬季水が南東にエクマン輸送され、沿岸部では南極冬季水の層が厚くなるとともに上層の低塩分化が生じた。

(a) 2点

*起源に1点。

*循環の名前に1点。

(b) 2点

*南極冬季水の厚さが変化する要因(北東風によるエクマン輸送)が書けて1点。

*低塩分化の要因(夏季の海氷融解による低塩分化)が書けて1点。

第3問 (20点)

【解答・採点基準】

問1

(1)

速度の逆数を $k_i = \frac{1}{v_i}$ とすると、各径路における地震波の伝搬に掛かった時間 $t_1 \sim t_4$ に対して、

$$k_1 + k_3 = \frac{t_1}{2.4}$$

$$k_2 + k_4 = \frac{t_2}{2.4}$$

$$k_2 + k_3 = \frac{t_3}{2.4 \times \sqrt{2}}$$

$$k_1 + k_4 = \frac{t_4}{2.4 \times \sqrt{2}}$$

という式が得られる。 $k_1 = \frac{1}{v_1} = 1.0 \text{ s/km}$ であるから、

これらの連立方程式を解くと、

$$k_3 = \frac{2.0}{2.4} \text{ s/km}, k_4 = \frac{2.4}{2.4} \text{ s/km}, k_2 = \frac{3.0}{2.4} \text{ s/km}$$

$v_i = \frac{1}{k_i}$ であるから、

$v_2 = 0.8 \text{ km/s}$, $v_3 = 1.2 \text{ km/s}$, $v_4 = 1.0 \text{ km/s}$ となる。

(2)

I 多形 (同質異像) II 浅い III ②

IV 2 V 低い VI ①

(3)

(a)

プルーム

(b)

沈み込むプレートと同様に、周囲と比較して地震波の伝播速度は速くなっていると考えられる。これは、この部分が周囲よりも冷えて固くなっていることを示し、深さ 660 km 程度で滞留していた海洋プレートがマントル下部まで崩落したものであると考

問1 10点

(1) 2点

*連立方程式を立てられて1点。

* $v_2 \sim v_4$ がすべて求められて1点。

(2) 3点

*I が正解で1点。

*II と III がともに正解して1点。

*IV, V, VI がすべて正解して1点。

(3) 3点

(a) 1点

*正答に1点。

(b) 2点

*周囲より冷えていることに言及して1点。

*沈み込んだプレートが起源であることに言及して1点。

えられる。

- (4) マントル内部の大規模な上昇流が地表面を押し上げ、また核-マントル境界を引き上げることで、重い物質が周辺よりも浅い領域に存在するため、地球楕円体と比較してジオイドが高くなる。

問2

- (1) 浸透した水に溶けていた塩類が晶出し、結晶として成長することにより物理的に破壊される。

- (2) ヨルダン川や地下水によって流域の岩石・土壌に含まれていた塩分が供給され、高温かつ年間降水量が極めて少ないことから蒸発が進み高塩分化した。

- (3) (a) 大西洋と地中海を結ぶジブラルタル海峡が地殻変動によって断絶され、地中海への海水流入が途絶え、地中海全体が蒸発したことによって溶解していた塩分が析出し、大規模な蒸発岩層が形成された。

- (b) テチス海の陸化で形成された蒸発岩である岩塩層が、インド大陸の衝突により更に隆起して形成された。

- (4) 2点

*上昇流が地表または核-マントル境界を押し上げることに言及して1点。

*正答に1点。

問2 10点

- (1) 1点

*語群をすべて使用し、塩類風化の機構を説明できて1点。

- (2) 2点

*塩類の供給源を指摘できて1点。(水系についてはヨルダン川の言及で十分であり、地下水についての言及は必須ではない。)

*乾燥気候ゆえに蒸発が進行したことを指摘出来て1点。

- (3) 4点

- (a) 3点

*地殻変動によるジブラルタル海峡の閉鎖を指摘できて1点。

*地中海と大西洋の海水のやり取りが断絶したことを指摘できて1点。

*蒸発により塩分が析出したことを指摘できて1点。

ただし、地中海が縮小したことには学術的なコンセンサスが存在するものの、干上がったか否かについてはまだ学術的な議論が分かれているため、「地中海が干上がった」「地中海が縮小した」双方の記載とも正しいものとして扱う。

- (b) 1点

*海洋由来の岩塩層形成後にインド大陸の衝突によりさらに隆起したことを指摘できて1点。

(「テチス海」という固有名詞への言及は必須ではない)

(4)

(a)

- ・広域に堆積していること。
- ・他の層と明瞭に区別が可能であること。

(b)

以下などから一つ。

- ・火山性地震で建造物が倒壊・損傷する
- ・火山灰が堆積し、都市機能を麻痺させる・農業被害が出るなど
- ・火山弾の衝突で負傷者が発生する。
- ・火砕流や溶岩流に集落が巻き込まれる。

以下の解答も許容される。

- ・火山灰が大気を漂うことで、航空交通に支障する。
- ・冬季に融雪型火山泥流が発生し、麓の集落を巻き込む

(4) 3点

(a) 2点

*広域に堆積していることを指摘できて1点。

*他の層と明瞭に区別が可能であることを指摘できて1点。

(b) 1点

*一つ例示をあげられて1点。