２０２３年　第３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】

解答	採点基準
問 1	問１　１０点
(1)	(1)　４点
(a) 地球と銀河系中心に存在するいて座 A*の間には，銀河面に含まれる星間物質が大量に存在し，可視光は星間物質に吸収されてしまうため。	(a)　２点 ＊銀河面内に星間物質が存在していることに１点。 ＊可視光線が星間物質に吸収されることに１点。
(b) ブラックホールの重力により中心に落下する物質の位置 エネルギー。	(b)　２点 ＊ブラックホールの中心に物質(ガス)が落下することに１点。 ＊物質の位置エネルギーに正しく言及して１点。(表現は違っても科学的に正しいものであれば広く加点する。)
(2)	(2)　３点
(a) $\dfrac{950^3}{15^2}=3.81\cdots\times10^6$ より，3.8×10^6 倍。	(a)　１点 ＊正答(3.8×10^6 倍)に１点。
(b) S2 がいて座 A*に最も近づいたときの距離は $950\times(1-0.88)=114$ 天文単位であるから，このときの S2 の速度は， $\sqrt{G\times3.8\times10^6\,\text{太陽質量}\times\left(\dfrac{2}{114\text{天文単位}}-\dfrac{1}{950\text{天文単位}}\right)}$ となる。このときの S2 といて座 A*の距離は軌道長半径 950 天文単位より十分短いとみなせることから,	(b)　２点 ＊S2 がいて座 A*に最も近づいた時の距離が 114 天文単位であることに１点。 ＊正答(0.02 倍または 0.03 倍)に１点。

$$\frac{2}{114\text{天文単位}}-\frac{1}{950\text{天文単位}} \fallingdotseq \frac{2}{114\text{天文単位}}$$

$$\fallingdotseq \frac{1}{57\text{天文単位}}$$

であり，また地球の公転について，

$$\sqrt{\frac{G\times 1\text{太陽質量}}{1\text{天文単位}}}=3.0\times 10^4\ \mathrm{m/s}$$

が成り立つ。よって，S2 がいて座 A*に最も近づいたときの速さは，

$$\frac{3.0\times 10^4\ \mathrm{m/s}}{3.0\times 10^8\ \mathrm{m/s}}\times\sqrt{\frac{3.8\times 10^6}{57}}=0.025\cdots$$

より，光速の 0.03 倍。

(3)

(a)

$$\frac{3\sqrt{3}\times(6.7\times 10^{-11})\times(3.8\times 10^6)\times(2.0\times 10^{30})}{(3.0\times 10^8)^2\times(1.5\times 10^{11})}=0.195\cdots$$

より 0.20 天文単位。

(b)

$$\frac{2\times 0.20}{8200}=4.8\cdots\times 10^{-5}$$ より，5×10^{-5} 秒角。

(c)

$$\frac{1.2\times(1.3\times 10^{-3})}{(4.8\times 10^{-5})\times(4.8\times 10^{-6})}=6.7\cdots\times 10^6$$ より，

$7\times 10^6\ \mathrm{m}(7\times 10^3\ \mathrm{km})$。

問 2

(1)

(a)

地球の公転速度は，$\dfrac{2\pi\times 1\text{天文単位}}{3.2\times 10^7\text{秒}}$ で与えられるから，

求める見かけの速さの最大値は，

$$2\pi\text{ラジアン}\times\frac{\dfrac{2\pi\times 1\text{天文単位}}{3.2\times 10^7\text{秒}}}{2\pi\times 0.3\text{天文単位}}\times\frac{\left(\dfrac{360}{2\pi}\right)^\circ}{1\text{ラジアン}}\times\frac{3600\text{秒角}}{1^\circ}$$

$=1.35\times 10^{-1}$ 秒角/秒 $\fallingdotseq 1.4\times 10^{-1}$ 秒角/秒

である。また，天体 X は地球から見て外惑星であるので，見かけの動きが逆行するタイミングがある。よって，見かけの速さの最小値は 0 秒角/秒 である。

(3)　３点

(a)　１点

＊正答(0.19，0.20，0.21 天文単位のいずれか)に１点。

(b)　１点

＊正答(5.0×10^{-5} 秒角)に１点。

(c)　１点

＊正答(6.0×10^6 m)に１点。

問 2　１０点

(1)　４点

(a)　２点

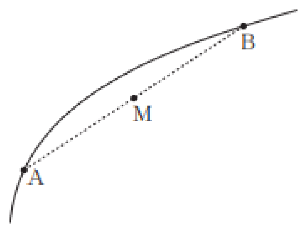
＊見かけの速さの最大値の答えが正しくて１点。

＊見かけの速さの最小値の答えが正しくて１点。

(b) 30 秒で天体は $1秒角/秒\times30秒=30秒角=0.5分角$ 動くので, $2000\times\frac{0.5分角}{39.7分角}\fallingdotseq25.2$ より, 求める答えは 26 画素である。	**(b) 2点** **＊正しい答えに2点。ただし,「25 画素」という答えには1点与える。**
(2)	**(2) 4点**
(a) 天体が受ける太陽放射の量は, 天体の見える面積, すなわち半径の 2 乗に比例し, また, 太陽からの距離の 2 乗に反比例するので, $\left(\frac{1.5\times10^{11}\,\mathrm{m}+3.8\times10^{8}\,\mathrm{m}}{1.5\times10^{11}\,\mathrm{m}+7.6\times10^{8}\,\mathrm{m}}\right)^2\times\left(\frac{1.7\times10\,\mathrm{m}}{1.7\times10^{6}\,\mathrm{m}}\right)^2\fallingdotseq1\times10^{-10}$ 倍 である。	**(a) 2点** **＊正しい立式に1点。** **＊正しい答えに1点。**
(b) 天体の見かけの明るさは, 天体が受け取った太陽放射の大きさ, アルベドに比例し, 地球からの距離の 2 乗に反比例するので, 天体 Y の見かけの明るさは月の, $1\times10^{-10}\times\frac{0.14}{0.07}\times\left(\frac{3.8\times10^{8}\,\mathrm{m}}{7.6\times10^{8}\,\mathrm{m}}\right)^2=\frac{1}{2}\times10^{-10}$ 倍である。よって, 天体 Y の見かけの等級は, $-13+(-2.5)\log_{10}\left(\frac{1}{2}\times10^{-10}\right)\fallingdotseq13$ 等である。	**(b) 2点** **＊天体Xの見かけの明るさが月の何倍であるか正しく立式して1点。** **＊正しい答えに1点。**
(3) ①: 天体の明るさは天体の見かけの面積に比例して変化するが, 自転によって見かけの面積が変化するのは①のみであるため。	**(3) 2点** **＊答えが正しくて1点。** **＊理由が正しくて1点。**

第２問（２０点）

【解答・採点基準】

問 1	問 1　１０点
(1)	(1)　５点
(a) 表 2-1 から，管 A からの空気に含まれる水蒸気量は $2.14\,\mathrm{g/m^3}$，管 B からの空気に含まれる水蒸気量は $1.06\,\mathrm{g/m^3}$ と分かる。これらを等量ずつ混合した空気に含まれる水蒸気量は， $\dfrac{2.14\,\mathrm{g/m^3}+1.06\,\mathrm{g/m^3}}{2}=1.60\,\mathrm{g/m^3}$ と求まる。混合空気の温度は $-14^\circ\mathrm{C}$ となるから，氷に対する相対湿度は， $\dfrac{1.60\,\mathrm{g/m^3}}{1.51\,\mathrm{g/m^3}} \fallingdotseq 106\%$ となる。	(a)　１点 ＊正答に １ 点。(±1%までのずれは許容。答えが合っていても，過冷却水に対する飽和水蒸気量を計算に使うなど途中過程が誤っていたら得点を与えない。)
(b) 空気と海水は，いずれも等値線(水蒸気量/密度)の傾き が単調に変化し，常に低水蒸気量/低密度側に凸な関数となっているため，同水蒸気量/同密度の流体(A・B) の混合 (M) では，常にその等値線の凹んでいる側，つまり水蒸気量/密度のより高い領域に位置するから。 	(b)　２点 ＊曲線が凸関数であることに言及して １ 点。 ＊凸関数上の２点の中点(2 点間を結んだ線分)と曲線の上下関係が定まっていることに言及して １ 点。
(c) ア: 露点 (露点温度) イ: 過冷却水に対する相対湿度 [%] ウ: 108 %	(c)　２点 ＊ア・イの完答に １ 点。 ＊ウに １ 点。(±1%までのずれは許容。2%以上のずれには得点を与えない。)
(2)	(2)　３点

解答例	採点基準
(a) 曲線 X は, 過冷却水に対する飽和水蒸気密度から氷に 対する飽和水蒸気密度を引いた曲線を示している。曲線の下側にある空気は氷に対して飽和しており氷表面への水蒸気の昇華が進む一方, 過冷却水に対しては不飽和となっており過冷却水滴の蒸発が進むから。	(a) 2点 ＊曲線 X が過冷却水に対する飽和水蒸気密度から氷に対する飽和水蒸気密度を引いた曲線であることに言及して1点。 ＊曲線Xより下(過冷却水に対して不飽和, 氷に対して過飽和)の状態では過冷却水滴が蒸発して氷晶が成長していくことに言及して1点。
(b) 樹枝状結晶から針状結晶に変化していることから, 環境の気温は上昇したと考えられる。	(b) 1点 ＊環境の気温が上昇したことに言及して1点。
(3) ウサギの毛は結晶生成のための氷晶核としての役割を果たしており, 現実の上空ではその役割を土壌粒子といったエーロゾルが担っている。	(3) 1点 ＊ウサギの毛は氷晶核の役割をなしていることに言及し, 具体例(粘土鉱物などの土壌粒子, 工場などの煤煙粒子, 花粉などの生物粒子, 火山灰など)を 1 つ以上挙げて1点。
(4) ③	(4) 1点 ＊正答に1点。
問 2	問 2 10点
(1)	(1) 5点
(a) 水温躍層	(a) 1点 ＊正答に1点。
(b) 冬は海面近くの海水が冷却されて沈みこんだり, 海面の風が強まったりして海面近くの海水の混合が促進されるので表層混合層は厚くなる。	(b) 2点 ＊「冬の表層混合層は厚くなる」ことを結論して1点。 ＊「冬の表層混合層は厚くなる」ことを結論したうえで「冬は表層の海水が冷却されて沈みこむ」ことや「冬は海上を吹く風が強まり表層の海水がかき混ぜられる」ことなどの適当な理由を挙げて1点。
(c) 海氷が形成されることで海水の塩分が上昇し, 海水の密度が上昇する。	(c) 2点 ＊「海氷の形成によって塩分が上昇する」ことを述べて1点。

	＊「塩分の上昇」から「海水の密度が上昇する」ことを述べて１点。 ただし,指定語句を用いていないものは採点対象外。
(2) 台風に伴い反時計回りに吹き込む風が生じ, それによって表層の海水が台風の中心から遠ざかる向きにエクマン輸送されることで深層の冷たい海水の湧昇が生じるため。	(2) ３点 ＊台風によって反時計回りの風が生じることを述べて１点。 ＊表層の海水が「台風中心から遠ざかる向き」に輸送されていることを述べて１点。 ＊「海水が湧昇する」ことを述べて１点。
(3) 太平洋赤道域東部の海面水温は平年より低く, 貿易風は平年より強くなり, 対流活動が活発な領域は通常時に比べて西側に位置する。	(3) ２点 ＊「太平洋赤道域東部の海面水温が低い」「貿易風が強い」「対流活動が活発な領域は通常より西にある」という３要素をすべて挙げて２点。このうち２要素を挙げて１点。そのほかは得点を与えない。

第３問　（２０点）

【解答・採点基準】

<table>
<tr>
<td>

問 1

(1)

(a)

以下線分 AB を $\overline{\mathrm{AB}}$ と記す。まず，直接波が A に到着する時間を T_1 とすると，

$$T_1 = \frac{x_1}{v_1}$$

となる。つぎに，第 2 層で屈折した波が A に到着する時間を T_2 とすると，

$$T_2 = \frac{2d_1\cos\theta_1}{v_1} + \frac{2\overline{\mathrm{O'D}}\sin\theta_1}{v_1} + \frac{\overline{\mathrm{DE}}}{v_2}$$

$$= \frac{2d_1\cos\theta_1}{v_1} + \frac{2\overline{\mathrm{O'D}}}{v_2} + \frac{\overline{\mathrm{DE}}}{v_2}$$

$$= \frac{2d_1\cos\theta_1}{v_1} + \frac{x_1}{v_2}$$

$T_1 = T_2$ であるから，これらの式を連立して，

$$2d_1\cos\theta_1 = x_1\left(1 - \frac{v_1}{v_2}\right)$$

$$\cos\theta_1 = \sqrt{1-\sin^2\theta_1} = \sqrt{\frac{v_2^2 - v_1^2}{v_2^2}}$$

であるから，

$$d_1 = \frac{x_1}{2}\left(1 - \frac{v_1}{v_2}\right)\sqrt{\frac{v_2^2}{v_2^2 - v_1^2}}$$

ゆえに，

$$d_1 = \frac{x_1}{2}\sqrt{\frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1}}$$

となる。

(b)

まず第 2 層目で屈折した屈折波が B に到達する時間を T_2' とすると，(a)の導出過程と同様に，

$$T_2' = \frac{2d_1\cos\theta_1}{v_1} + \frac{x_2}{v_2} = \frac{2d_1\sqrt{\frac{v_2^2 - v_1^2}{v_2^2}}}{v_1} + \frac{x_2}{v_2}$$

となる。つぎに，第 3 層で屈折した屈折波が B に到着する時間を T_3 とすると，

$$T_3 = \frac{2\overline{\mathrm{OC}}}{v_1} + \frac{2\overline{\mathrm{CH}}}{v_2} + \frac{\overline{\mathrm{HI}}}{v_3}$$

</td>
<td>

問１　１０点

(１)　６点

(ａ)　２点

＊直接波の到着時間，屈折波の到着時間のいずれかを求めて１点。

＊正答に１点。

(ｂ)　２点

＊直接波の到着時間，屈折波の到着時間のいずれかを求めて１点。

＊正答に１点。

</td>
</tr>
</table>

$$\overline{\mathrm{OC}} = \overline{\mathrm{OO'}}\cos\theta_0 + \overline{\mathrm{O'C}}\sin\theta_0 = d_1\cos\theta_0 + \overline{\mathrm{O'C}}\sin\theta_0$$
$$\overline{\mathrm{CH}} = \overline{\mathrm{CC'}}\cos\theta_2 + \overline{\mathrm{C'H}}\sin\theta_2 = d_2\cos\theta_2 + \overline{\mathrm{C'H}}\sin\theta_2$$

また，$\dfrac{\sin\theta_0}{\sin\theta_2} = \dfrac{v_1}{v_2}, \sin\theta_2 = \dfrac{v_2}{v_3}$ より，

$$\sin\theta_0 = \frac{v_1}{v_3}$$

である。

$$T_3 = \frac{2\left(d_1\cos\theta_0 + \overline{\mathrm{O'C}}\cdot\dfrac{v_1}{v_3}\right)}{v_1} + \frac{2\left(d_2\cos\theta_2 + \overline{\mathrm{C'H}}\cdot\dfrac{v_2}{v_3}\right)}{v_2} + \frac{\overline{\mathrm{HI}}}{v_3}$$
$$= \frac{2d_1\cos\theta_0}{v_1} + \frac{2d_2\cos\theta_2}{v_2} + \frac{2\overline{\mathrm{O'C}} + 2\overline{\mathrm{C'H}} + \overline{\mathrm{HI}}}{v_3}$$
$$= \frac{2d_1\cos\theta_0}{v_1} + \frac{2d_2\cos\theta_2}{v_2} + \frac{x_2}{v_3}$$

$T_3 = T_2'$ であるから，これらの式を連立すると，

$$\frac{2d_1\cos\theta_1}{v_1} + \frac{x_2}{v_2} = \frac{2d_1\cos\theta_0}{v_1} + \frac{2d_2\cos\theta_2}{v_2} + \frac{x_2}{v_3}$$

となる。この式を d_2 について解くと，

$$d_2 = \frac{x_2}{2}\sqrt{\frac{v_3 - v_2}{v_3 + v_2}} - d_1\frac{v_2\sqrt{v_3^2 - v_1^2} - v_3\sqrt{v_2^2 - v_1^2}}{v_1\sqrt{v_3^2 - v_2^2}}$$

となる。

(c)

走時曲線から読み取った P 波速度は，$v_1 = 500\,\mathrm{m/s}$，$v_2 = 1500\,\mathrm{m/s}$，$v_3 = 2500\,\mathrm{m/s}$ である。また，走時曲線が屈曲する距離はそれぞれ $x_1 = 40.0\,\mathrm{m}$，$x_2 = 220\,\mathrm{m}$ であるから，これらの値を(1)で求めた式に代入すると，

$$d_1 = \frac{x_1}{2}\sqrt{\frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1}}$$
$$= 20.0\sqrt{\frac{1000}{2000}}$$
$$\fallingdotseq 1.41\times 10\,\mathrm{m}$$

$$d_2 = \frac{x_2}{2}\sqrt{\frac{v_3 - v_2}{v_3 + v_2}} - d_1\frac{v_2\sqrt{v_3^2 - v_1^2} - v_3\sqrt{v_2^2 - v_1^2}}{v_1\sqrt{v_3^2 - v_2^2}}$$
$$= \frac{220}{2}\sqrt{\frac{2500 - 1500}{2500 + 1500}}$$
$$- d_1\frac{1500\sqrt{2500^2 - 500^2} - 2500\sqrt{1500^2 - 500^2}}{500\sqrt{2500^2 - 1500^2}}$$
$$= 55 - d_1\frac{1500\sqrt{6} - 2500\sqrt{2}}{500\sqrt{4}}$$
$$= 55 - \left(3\sqrt{3} - 50\right)$$
$$\fallingdotseq 5.30\times 10\,\mathrm{m}$$

(c) **2点**

＊それぞれ正答に 1 点。

よって，$d_1 = 1.41 \times 10\,\mathrm{m}$，$d_2 = 5.30 \times 10\,\mathrm{m}$ となる。

(2)
正しい構造：㋔
理由：直接波と屈折波がそれぞれ一直線になっていることから，第 1 層と第 2 層は層の内部で速度が不連続に変化しておらず，また直接波と屈折波が同時に到達する距離から，起振点 P の直下よりも起振点 Q の直下のほうが P 波速度の変化する深さが浅いことがわかるため。

(2) 2点
＊正答に 1 点。
＊走時曲線が折れ曲がる距離の違いに言及して 1 点。

(3)
自然地震を用いた場合には，地震波が遠地にまで到達するために測線長を長くとることができ，モホ面などの深い地震波速 度境界を観測できる。一方で，人工地震のように震源の場所を選んで震央の周囲に密に観測点を設置することができないため，浅い領域の速度境界を検出することが難しくなる。

(3) 2点
＊長い測線長が取れるために深い部分が見えることに言及して 1 点。
＊発生場所がわからないために浅い部分が見えづらいことに言及して 1 点。

問 2

問 2 10点

(1)
(ア) カルスト
(イ) ボーキサイト

(1) 2点
＊(ア)と(イ)の正答にそれぞれ 1 点。

(2)
・鍾乳石や石筍の形成
・海洋底における炭酸カルシウム(石灰岩)の沈殿
・温泉沈殿物の形成
などの中から 2 つ

(2) 2点
＊2つの例についてそれぞれ 1 点。

(3)
⑤

(3) 1点
＊正答に 1 点。

(4)
雨水などの形で新しい水が供給される一方で，反応後の溶脱したカリウムイオンを含む水は地下水などとなって流れ出すため。

(4) 2点
＊雨水などで新しい水が供給されるという点が合っていて 1 点。
＊生成した KOH は水に溶けて流れ出すという点が合っていて 1 点。

(5)
①

(5) 1点
＊正答に 1 点。

(6)

カリ長石が激しく化学的風化を起こすと，$Al(OH)_3$ と KOH と SiO_2 が形成される。 KOH は水に溶けやすく溶脱する。 pH 4 ～ 9 の水に対して，SiO_2 は若干量溶けるが $Al(OH)_3$ はほとんど溶けない。そのためカリ長石の分解物のうち水に溶けにくい $Al(OH)_3$ だけが濃集する。

(6) ２点

＊PH4～9 の水に対して，SiO_2 と $Al(OH)_3$ の溶解度の差に触れていて１点。

＊水に溶けにくい $Al(OH)_3$ が濃集するという点に１点。