2015 年度 京都大学 前期 地学

地学問題Ⅰ 宇宙

出題範囲	太陽/恒星
難易度	★★☆☆☆
所要時間	18 分
傾向と対策	恒星を扱った問題として極めてオーソドックスな内容である。京大の問題らしくリード文が長いので読むのに根気が必要だが，記述で長文を書かせる設問などもないのでこれくらいなら難なく正答できるよう力をつけてほしい。太陽は第 1 問の空欄補充問題で取り上げられることが多い題材なので，層構造やエネルギー生産の仕組み，フレアなどの自然現象などあいまいなところがないかチェックしておこう。

解答

問 1　ア：光球　イ：粒状斑　ウ：ヘリウム　エ：$2\pi a/P$

問 2　主系列星の光度をL，質量をMとすると，比例関係を$\propto$で表して，

$$\frac{L}{R^2} \propto \frac{M^4}{M^2} = M^2$$

これと$L/R^2 = 4\pi T^4$より，

$$\frac{L}{R^2} \propto M^2, \frac{L}{R^2} \propto T^4$$

$$\therefore M \propto T^2$$

ゆえに，質量は表面温度のおよそ2乗に比例する。

問 3　恒星が生まれたときにもっていた水素の10%は恒星の質量Mに比例する。一方，燃焼の速さは光度Lに比例するので，主系列星としての寿命はM/Lに比例する。

シリウスは表 1 より$M \cong 2.0M_{\odot}$，図 1 より$L \cong 25L_{\odot}$であるので，寿命は太陽のおよそ$2/25$ 倍 $\cong 0.1$ 倍である。

問 4　恒星と惑星との距離をa，公転周期をT，恒星の質量をM_S，惑星の質量をM_Pとすると，ケプラーの第 3 法則は，$M_S \gg M_P$より

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{G(M_S + M_P)}{4\pi^2} \cong \frac{GM_S}{4\pi^2}$$

一方，太陽と地球について，それぞれの質量を$M_{\odot}, m_{\oplus}$とすると

$$\frac{(1\mathrm{AU})^3}{(1\text{ 年})^2} = \frac{G(M_{\odot} + m_{\oplus})}{4\pi^2} \cong \frac{GM_{\odot}}{4\pi^2}$$

であるから，$M_S = 1.7M_{\odot}$より

$$\mathrm{T} = \left\{\frac{4\pi^2 a^3}{GM_S}\right\}^{\frac{1}{2}} = \left\{\frac{(8.0\mathrm{AU})^3}{(1\mathrm{AU})^3} \cdot \frac{M_{\odot}}{1.7M_{\odot}} \cdot (1\text{ 年})^2\right\}^{\frac{1}{2}} \cong 17\text{ 年}$$

問 5　距離20パーセクから見た場合，視線に垂直な1AU の長さが$(1/20 =)0.05''$に見える。半径8.0AU の円軌道をえがいていることから，最大で$(0.05 \times 8.0 =)0.4''$離れるように見える。

©Foresight Inc.
本サービス・コンテンツの知的財産権その他一切の権利は
株式会社フォーサイトに帰属し，無断転載・引用を禁止します。

解説

問 1　難易度：★☆☆☆☆

ア：**光球**

太陽は中心から核，放射層，対流層，光球の順に層を成しており，その周りを希薄な太陽大気が覆っている。太陽大気は下層の彩層と上層のコロナに分けられ，これらは非常に希薄なため放射が弱く，皆既日食の際光球からの放射が遮られたときなどに観察される。光球は比較的高密度で中性ガス（電子の励起により光を吸収する）が多く光に対し不透明なため光球より内側からの光は光球のガスに吸収される。なおかつ放射した光が外層に遮られることもないため，私たちが直接見ているのは光球である。

イ：**粒状斑**

光球は上に述べた光に対する不透明性により内部からの放射を吸収してエネルギーの流れをせき止める。一方光球最上部は光を透過するため輻射により急速に冷やされる。このため温度勾配が十分大きくなっており，分子運動で熱を伝達する放射(輻射)より物質ごとかき混ぜてしまう対流のほうがエネルギーの下層から上層への伝達における効率が良い。よって光球では対流によってエネルギーが運ばれ，ガスの上昇流と下降流の作る細胞状の模様ができる(しばしば味噌汁の味噌の動きに喩えられる)。これを粒状斑という。

ウ：**ヘリウム**

主系列星は中心部での水素の核融合反応によりエネルギーを得ている。この反応では水素原子核 4 つからヘリウム原子核 1 つが生じ，この時の質量の減少分に対応して莫大なエネルギーが放出される。太陽質量程度(あるいはそれ以下)の星では pp チェインとよばれる反応機構で核融合が行われている。

エ：$\boldsymbol{2\pi a/P}$

公転軌道の周長は$2\pi a$だから，$V = 2\pi a/P$となる。

以上まとめると，ア：**光球**　イ：**粒状斑**　ウ：**ヘリウム**　エ：$\boldsymbol{2\pi a/P}$ が入る。

問 2　難易度：★★☆☆☆

主系列星の光度をL，質量をMとすると，比例関係を∝で表して，与えられた関係を整理すると，

$$L \propto M^4 \text{(質量光度関係)} \qquad \cdots (1)$$

$$R \propto M \qquad \cdots (2)$$

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \qquad \cdots (3)$$

$(\sigma = 5.67 \times 10^{-8}\mathrm{Wm^{-2}K^{-4}} \cdots$ シュテファン・ボルツマン定数$)$

(1)，(2)より，

$$\frac{L}{R^2} \propto \frac{M^4}{M^2} = M^2$$

(3)より，$L/R^2 = 4\pi\sigma T^4$であるので，

$$\frac{L}{R^2} \propto M^2, \frac{L}{R^2} \propto T^4$$

$$\therefore M \propto T^2$$

ゆえに，質量は表面温度のおよそ**2乗**に比例する。

©Foresight Inc.
本サービス・コンテンツの知的財産権その他一切の権利は
株式会社フォーサイトに帰属し，無断転載・引用を禁止します。

◆Check!!

(1)と(3)からMはTの 1 乗に比例すると考えるのは間違い。RもMの関数であることに注意する。

問 3　難易度：★★☆☆☆

主系列星の燃料の総量である「恒星が生まれたときに持っていた水素の10%」は恒星の質量Mに比例する。一方，燃焼の速さは，放出する単位時間当たりのエネルギーすなわち光度Lに比例するので，主系列星としての寿命(= 水素量の 10% ÷ 燃焼の速さ)はM/Lに比例する。シリウスは表 1 より太陽の 2.0 倍の質量をもち，図 1 より光度はおよそ 25 倍であるので，寿命は太陽のおよそ$2/25$ 倍 $= 0.08$ 倍 $\cong$ **0.1倍**と求められる。

◆Check!!

問 2 で述べられた「光度Lは質量Mの 4 乗に比例する(質量光度関係)」ことを用いて質量Mの-3乗に比例するとしても間違いではないが，ここでは恒星の光度が図 1 で具体的に与えられているのでこれを用いるのがよい。

問 4　難易度：★★☆☆☆

恒星(がか座ベータ星)と惑星との距離をa，公転周期をP，恒星の質量をM_S，惑星の質量をM_Pとすると，恒星を中心とした円軌道であることから$M_S \gg M_P$，$a = 8.0$ 天文単位 (AU)であり，ケプラーの第 3 法則は万有引力定数Gを用いて

$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{G(M_S + M_P)}{4\pi^2} \cong \frac{GM_S}{4\pi^2}$$

と表される。一方，太陽と地球の系について，それぞれの質量を$M_\odot$，$m_\oplus$とすると
$M_\odot \gg m_\oplus$より

$$\frac{(1\mathrm{AU})^3}{(1\ \text{年})^2} = \frac{G(M_\odot + m_\oplus)}{4\pi^2} \cong \frac{GM_\odot}{4\pi^2}$$

$$\therefore \frac{4\pi^2}{G} = \frac{(1\ \text{年})^2}{(1\mathrm{AU})^3} \cdot M_\odot$$

であるから，$M_S = 1.7M_\odot$より

$$P = \left\{\frac{4\pi^2 a^3}{GM_S}\right\}^{\frac{1}{2}} = \left\{\frac{(8.0\mathrm{AU})^3}{(1\mathrm{AU})^3} \cdot \frac{M_\odot}{1.7M_\odot} \cdot (1\ \text{年})^2\right\}^{\frac{1}{2}} \cong 17.35\cdots \text{年} \cong \mathbf{17年}$$

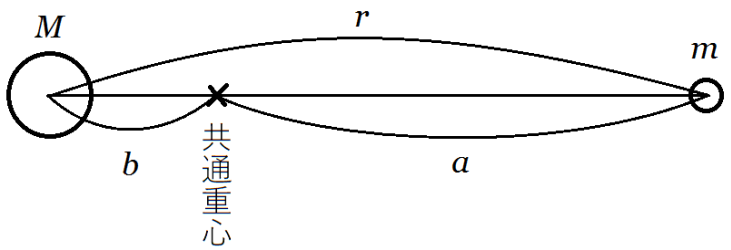
©Foresight Inc.
本サービス・コンテンツの知的財産権その他一切の権利は
株式会社フォーサイトに帰属し，無断転載・引用を禁止します。

◆Check!! ケプラーの第 3 法則(調和の法則)の導出

「惑星—太陽間の平均距離の 3 乗と惑星の公転周期の 2 乗の比は，同じ惑星系の中ならどの惑星でも一定である。(ケプラーの第 3 法則)」

これを示す。まず，太陽—惑星間距離をr，惑星の公転角速度をω，公転周期をP，重力定数をG，太陽質量をM，惑星の質量をmとする。

まず，下図のように，太陽と惑星の共通重心を考えると，共通重心までの距離の比は質量の逆比となる。つまり，$a:b=M:m$となり，$a=\frac{M}{M+m}r$ となる。



ここで，万有引力と遠心力のつりあいを考えると，

$$ma\omega^2=\frac{GMm}{r^2}$$

が成立しており，ここに$a=\frac{M}{M+m}r$を代入し，また，$\omega=\frac{2\pi}{P}$であるから，

$$\frac{4\pi^2Mmr}{(M+m)P^2}=\frac{GMm}{r^2}$$

両辺をMmで割って整理すると，

$$\frac{r^3}{P^2}=\frac{G(M+m)}{4\pi^2}$$

となる。

太陽系においては$M\gg m$だから，$M+m$はMで近似できる。このような近似より同じ惑星系ならどの惑星でも右辺は一定となる。こうして第３法則は導かれた。

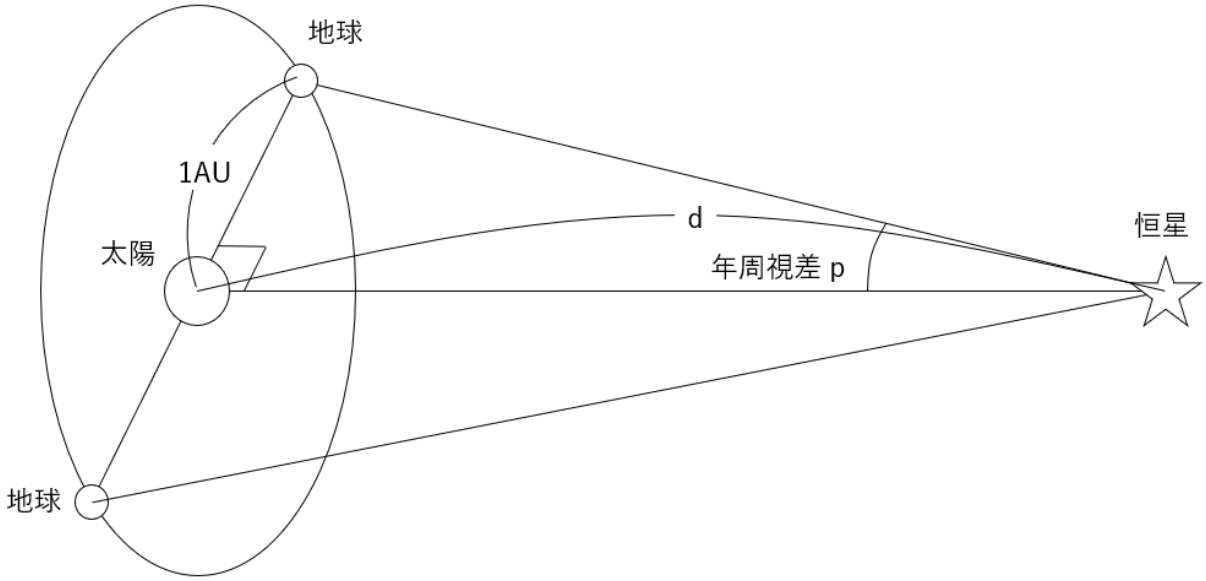
問 5　難易度：★★☆☆☆

円軌道の場合，恒星と惑星を結ぶ線分が観測者の視線方向に垂直なときに，恒星と惑星が最も離れて見える位置関係となる。距離20パーセクから見ると，視線方向に垂直な1天文単位(AU)の長さは$(1/20=)0.05''$に見える。惑星は半径8.0天文単位の円軌道をえがいていることから，恒星から最大で$(0.05\times8.0=)\mathbf{0.4}''$離れるように見える。

©Foresight Inc.
本サービス・コンテンツの知的財産権その他一切の権利は
株式会社フォーサイトに帰属し，無断転載・引用を禁止します。

◆Check!! パーセクの定義

年周視差p''の天体の距離を$d[\text{パーセク}] = 1/p$として定義する。下の図のように，1 天文単位(AU)分の視点の移動がp''に相当するから，観測者から距離dパーセクの場所にある視線方向に垂直に1天文単位離れた2点は，観測者にはp''離れて見える。



（奥井晴香，芝田力，辻有恒，西山学）

©Foresight Inc.
本サービス・コンテンツの知的財産権その他一切の権利は
株式会社フォーサイトに帰属し，無断転載・引用を禁止します。

2015 年度 京都大学 前期 地学

地学問題 II　大気と海洋

出題範囲	大気の構造/大気の運動/古生物/地球史
難易度	★★★☆☆
所要時間	18 分
傾向と対策	大気の層構造とフェーン現象の問題に加え，古生物と地球史の知識も問われた。フェーン現象の問題は，2 種類の断熱減率および露点温度減率の意味がわかっていれば容易に解ける。頻出の問題なので，類題を探して解くとよいだろう。内分法という言葉は聞いたことのない人も多いと思うが，よく問題文を読めば対応できる。計算量がやや多いので，すばやく正確に計算できるようにしたい。

解答

問 1　オゾンが太陽からの紫外線を吸収して熱が発生し，このとき上層ほど紫外線量が多く熱容量も小さいため。
（49 字）

問 2　ア：対流　イ：中間

問 3　(1)

$$\frac{23.4+(31.7-23.4)\times\dfrac{23.6-20.0}{25.0-20.0}}{42.4}\times 100 = 69.3\ldots \cong 69\%$$

(2)　空気塊の温度減少をx[℃]とすると，$30.0-x=23.6-x\times 0.200$

したがって，雲底の温度は 22℃，雲底高度は 800m

(3)　$22-0.500\times 12=16$℃

(4)　温度は　$16+1.00\times 20=36$℃

相対湿度は

$$\frac{17.1+(23.4-17.1)\times\dfrac{16.0-15.0}{20.0-15.0}}{56.2+(73.7-56.2)\times\dfrac{36.0-35.0}{40.0-35.0}}\times 100 = 30.7\ldots \cong 31\%$$

問 4　(え)，(き)

解説

問 1　難易度：★★☆☆☆

成層圏では，太陽からの紫外線のエネルギーにより，酸素分子が 2 つの酸素原子に解離し，それぞれに酸素分子が結合することでオゾンが発生する。そして，オゾンが紫外線により酸素分子と酸素原子に解離するときに熱が発生することで，成層圏の気温が上がる。上層の大気ほど紫外線を吸収しやすく，また上層ほど大気が薄く熱容量が小さいため，高温になる。

解答例

オゾンが太陽からの紫外線を吸収して熱が発生し，このとき熱容量が小さい上層ほど紫外線を吸収するため。

©Foresight Inc.
本サービス・コンテンツの知的財産権その他一切の権利は
株式会社フォーサイトに帰属し，無断転載・引用を禁止します。

(49 字)

問 2　難易度：★☆☆☆☆

大気は地表に近い部分から順に対流圏，成層圏，中間圏，熱圏に区分されている。この区分は気温減率の変化によって定められている。

対流圏では水蒸気のはたらきにより活発な対流運動が行われており，降水などの気象現象が起こる。低緯度ほど太陽放射による加熱が多いため一般に上昇気流が起きやすく，圏界面は高くなる。中間圏までは水蒸気以外の大気成分の比率はほぼ一定となっている。問題図 1 にみられるように対流圏・中間圏では気圧低下による断熱膨張の影響で，上空ほど気温が低い温度勾配となる。

熱圏では太陽からの紫外線や X 線により，酸素や窒素の分子は原子に解離したり，さらにイオンと電子に電離したりしている。このため，上層ほど温度が高いのが特徴である。電離した電子の密度が高くなった部分を電離層といい，遠距離通信に役立っている。オーロラや流星も熱圏で起きる現象である。

したがって，当てはまるのは，ア：**対流**　イ：**中間** となる。

問 3　難易度：★★★☆☆

(1)

露点温度が 23.6℃ということから，この空気塊の水蒸気圧は，問題文で与えられた内分法により，20.0℃と 25.0℃での飽和水蒸気圧がそれぞれ 23.4hPa と 31.7hPa であることから

$$23.4 + (31.7 - 23.4) \times \frac{23.6 - 20.0}{25.0 - 20.0} = 29.376 \cong 29.4\text{hPa}$$

とわかる。30℃の空気塊の飽和水蒸気圧は 42.4hPa だから，空気塊の相対湿度は

$$\frac{29.4}{42.4} \times 100 = 69.3 \ldots \cong \mathbf{69}\%$$

(2)

雲底において，30.0℃から乾燥断熱減率に従い下がった空気塊の温度と，23.6℃から露点温度減率に従って下がった空気塊の露点温度が一致する。空気塊の温度減少をx[℃]とすると，露点温度の減少は$x \times 0.200$[℃]だから，

$$30.0 - x = 23.6 - x \times 0.200$$

したがって，空気塊の温度減少がx =8℃だから，雲底の温度は

$$30 - 8 = \mathbf{22℃}$$

そして，雲底高度は

$$8℃ \div \frac{1.00℃}{100\text{m}} = \mathbf{800m}$$

©Foresight Inc.
本サービス・コンテンツの知的財産権その他一切の権利は
株式会社フォーサイトに帰属し，無断転載・引用を禁止します。

◆Check!! 露点と気温の凝結高度の式

凝結高度hにおける気温と露点が等しいことから，地上気温T，地上での露点T_d，乾燥断熱減率γ，露点温度減率αを用いて，

$$T_d - \alpha \times \frac{h}{100} = T - \gamma \times \frac{h}{100}$$

が成り立つ。これを変形して，凝結高度hは

$$h = \frac{T - T_d}{\gamma - \alpha} \times 100$$

と表される。地上気温T，露点温度T_dだけを用いて，

$$h = 125(T - T_d)$$

と表されることもある。

(3)

雲底より上層では，空気塊の温度減少は湿潤断熱減率に従うので，

$$22 - 0.500 \times \frac{1200}{100} = \mathbf{16℃}$$

(4)

雲頂である高度 2km から空気塊が下降する。空気塊には雲粒は含まれず，温度は乾燥断熱減率に従って上昇するため，

$$16 + 1.00 \times 20 = \mathbf{36℃}$$

36℃の空気塊の飽和水蒸気圧は

$$56.2 + (73.7 - 56.2) \times \frac{36.0 - 35.0}{40.0 - 35.0} = 59.7\text{hPa}$$

(3)よりこの空気塊の露点は 16℃。よってこの空気塊の水蒸気圧は

$$17.1 + (23.4 - 17.1) \times \frac{16.0 - 15.0}{20.0 - 15.0} = 18.36\text{hPa}$$

したがって，この空気塊の相対湿度は

$$\frac{18.36}{59.7} \times 100 = 30.7 \ldots \cong \mathbf{31}\%$$

◆Check!!

乾燥断熱減率とは，水蒸気が飽和していない空気塊が上昇する際，気圧の低下により膨張するときの温度減少の割合のことで，空気塊の上昇 100m あたりの温度減少で表わされる。一方，湿潤断熱減率と

©Foresight Inc.
本サービス・コンテンツの知的財産権その他一切の権利は
株式会社フォーサイトに帰属し，無断転載・引用を禁止します。

は，水蒸気が飽和した空気塊が上昇する際の温度変化の割合であり，同様に空気塊の上昇 100m あたりの温度減少で表わされる。湿潤断熱減率が乾燥断熱減率よりも小さいのは，飽和した水蒸気が凝結する際に潜熱を放出するため，温度が減少しにくいためである。

フェーン現象とは，水蒸気を含んだ空気塊が山を越える際に雨を降らせ，この 2 つの温度減率の差により高温で乾燥した風となって吹き下りる現象である。フェーンという名前は，アルプス山脈を越えて吹く局地風に由来する。日本では特に春先に，日本海を進む低気圧に向かって南風が吹くと，日本海側の地域でフェーン現象がよく発生する。この際，雪崩や融雪による洪水，大規模な火災に注意する必要がある。

この問題では表にない気温における飽和水蒸気圧を求めるのに内分法を使った。これは，実際は曲線である気温と飽和水蒸気圧の関係を，温度差が 5 ℃の狭い範囲において直線と近似し，直線を内分することで表にない気温での飽和水蒸気圧を求めるものである。図で表すと，図 A を図 B になるように直線に近似したうえで，図 C のように直線を内分している。

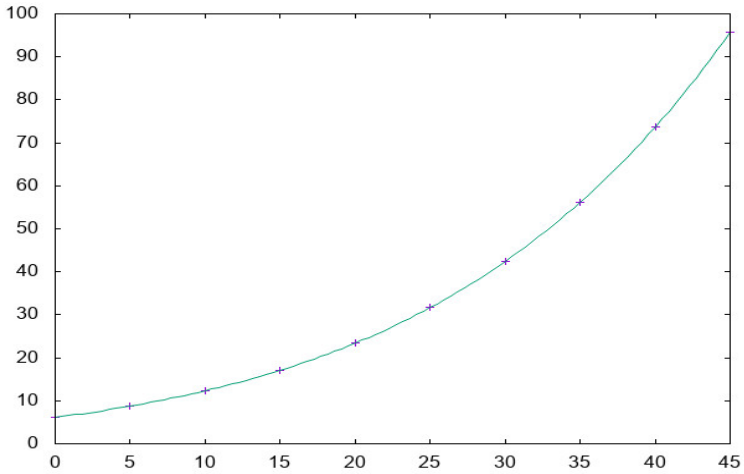


図 A

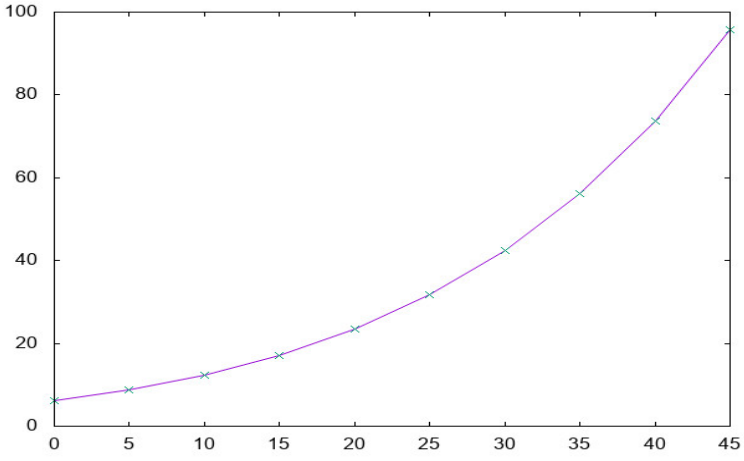


図 B

©Foresight Inc.
本サービス・コンテンツの知的財産権その他一切の権利は
株式会社フォーサイトに帰属し，無断転載・引用を禁止します。

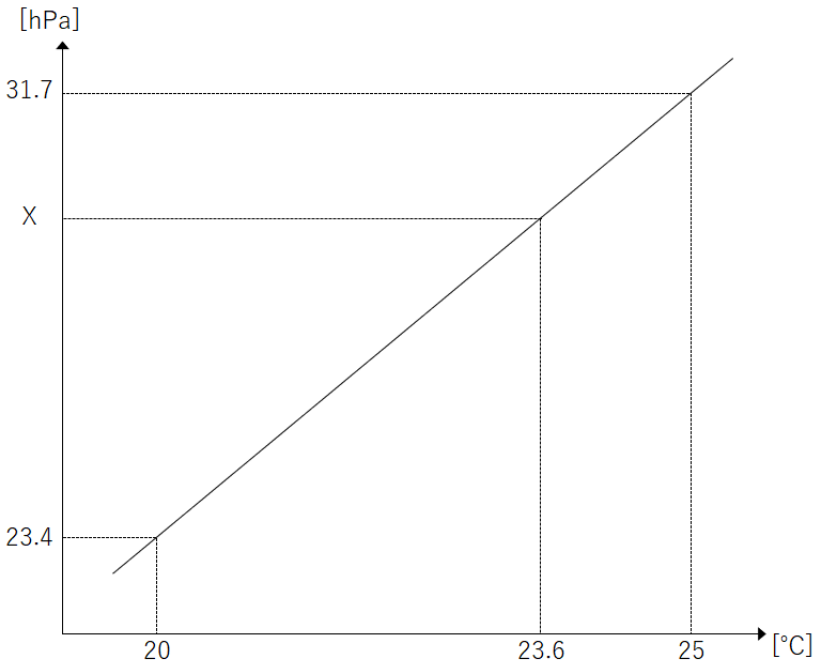


図 C

問 4　難易度：★★☆☆☆

(あ)…陸上植物クックソニアが出現したのは，シルル紀である。

(い)…全球凍結が最後に起こったのは，6 億年前の先カンブリア時代である。

(う)…シアノバクテリアが出現したのは，27 億年前の先カンブリア時代と考えられている。

(え)…石炭紀には酸素濃度が増加し，二酸化炭素濃度が減少した。

(お)…真核生物が出現したのは，19 億年前の先カンブリア時代である。

(か)…エディアカラ生物群が出現したのは，5.5 億年前の先カンブリア時代である。

(き)…大型化したシダ植物が地中に堆積したのは，石炭紀である。

(く)…バージェス動物群が出現したのは，カンブリア紀である。

(け)…哺乳類が出現したのは，三畳紀(トリアス期)である。

したがって，答えは**(え)**と**(き)**である。

(芝田力，奥井晴香，坂井郁哉，諸星暁之)

©Foresight Inc.
本サービス・コンテンツの知的財産権その他一切の権利は
株式会社フォーサイトに帰属し，無断転載・引用を禁止します。

2015 年度 京都大学 前期 地学

地学問題Ⅲ　固体地球

出題範囲	プレートテクトニクス／地球の層構造
難易度	★★★☆☆
所要時間	18 分
傾向と対策	問 1 は地球の構造に関するリード文の穴埋め問題であるが，非常に基本的な内容ばかりなのでしっかりと得点してほしい。ケの鉱床についての穴埋めはやや手薄なところかもしれないが，選択肢が与えられているので消去法でも解けるだろう。問 3 はやや難しいか。上部・下部マントルの境界が図中の相境界になることがわかればあと一歩だ。問 4 は方程式を立てて解くだけの問題だ。単位を間違えないように気をつければ大丈夫だろう。

解答

問 1　ア：プレートテクトニクス　イ：太平洋　ウ：核　エ：ケイ酸　オ：玄武岩　カ：低　キ：安山岩　ク：高　ケ：熱水鉱床

問 3　(1)　図 4 より，マントル境界は低圧であるほど高温になるので，より浅部にある点 A のほうが高温である。(46 文字)

(2)　$28 \times 30 = 8.4 \times 10^2 \mathrm{MPa}$

より，B のほうが$8.4 \times 10^2 \mathrm{MPa}$だけ高圧で，

$$\frac{8.4 \times 10^2}{-2.8} = -3.0 \times 10^2 ℃$$

より，A の方が$3.0 \times 10^2 ℃$だけ温度が高い。

問 4　a：72　b：9.3×10^2

マグマ起源の水蒸気の供給量を毎秒$x$kg とすると，温泉水のうち地下水起源のものの供給量は毎秒$(1000 - x)$kg。

マグマ起源の水蒸気が地下水に与える熱量と，地下水が水蒸気から受け取る熱エネルギーが等しいことから

$$x \times 4.3 \times 10^6 = (1000 - x) \times 4.2 \times 10^3 \times 80$$

この式を解く。

$$4.636 \times 10^3 x = 3.36 \times 10^5$$

有効数字を考えて

$$x = \frac{3.36 \times 10^5}{4.64 \times 10^3} = 7.24 \ldots \times 10 \cong 7.2 \times 10$$

よってマグマ起源の水蒸気の供給量は毎秒7.2×10kg

また温泉水のうち地下水起源のものの供給量は

$$1000 - 7.24 \times 10 = 927.6 \cong 9.3 \times 10^2$$

より，毎秒9.3×10^2kg

©Foresight Inc.
本サービス・コンテンツの知的財産権その他一切の権利は
株式会社フォーサイトに帰属し，無断転載・引用を禁止します。

解説

問 1　難易度：★☆☆☆☆

ア：**プレートテクトニクス**

地球表層が水平移動する 10 数枚のプレートに分かれているとし，それらの運動から地球の変動を説明しようとする考え方。大陸移動説，マントル対流説，海洋底拡大説などから発展して提唱された。

◆Check!!　プレートテクトニクスに至るまで

・大陸移動説

ドイツの気象学者ウェゲナーが 1912 年に発表した。大西洋両岸の海岸線の形状が似ていることや，氷河の跡や古生物の分布を根拠に，かつて単一の大陸が存在し，それが分裂したとする説。大陸移動の原動力をうまく説明できなかったことなどから受け入れられなかった。

・マントル対流説

地球のマントル内に熱対流が存在し，それが地殻運動の主因となっているという説。海洋底拡大説と合わせてプレートテクトニクスの背景となった。

・海洋底拡大説

中央海嶺は地球内部の物質が上昇してくるところであり，海洋底はその中軸谷で生産され，ゆっくりとした速度で両側へと広がっていくという説。中央海嶺を中心軸として両側に対称的に古地磁気が記録されていることや，海洋底の年代がせいぜい 2 億年しかないことなどが発見され，それが契機となって提唱された。広がっていった海洋底はやがて海溝で再び地球内部へと沈み込む。

・プルームテクトニクス

マントル内部に発生する大規模な上昇流や下降流によって，地球の変動を説明する考え方で，超大陸の形成と分裂の原因も説明できる。上昇流はホットプルーム，下降流はコールドプルームとよばれる。

イ：**太平洋**

東太平洋海嶺で作られて西～北西方向に移動して日本周辺にやってくるプレートである。千島海溝と日本海溝で北米プレートに対し，伊豆・小笠原海溝でフィリピン海プレートに対し沈み込んでいる。

ウ：**核**

核はおもに鉄やニッケルからなる。液体の外核と固体の内核とに区別されるが，これは地震波の伝わり方から推測された。横波である S 波が核を通過しないことから外核が液体であることが，屈折のために地震波が伝わらないはずの部分（シャドーゾーン）で微弱な P 波が観測されたことからその内部に固体の内核が存在することが推測された。

エ：**ケイ酸**

金属酸化物と二酸化ケイ素からなるケイ酸塩を主成分とした鉱物である。造岩鉱物の大部分を占め，種類も多い。中心にケイ素をもち，周りに 4 個の酸素イオンが配位したSiO_4四面体が結晶構造の基本となっている。

オ：**玄武岩**　カ：**低**

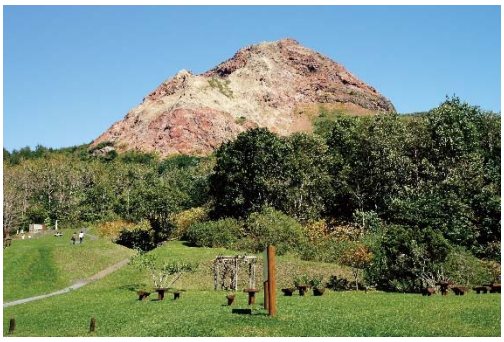
©Foresight Inc.
本サービス・コンテンツの知的財産権その他一切の権利は
株式会社フォーサイトに帰属し，無断転載・引用を禁止します。

プレート拡大境界はその多くが深海底にあるため，そこでの火山現象を直接目にすることは難しい。しかしアイスランドでは地上に存在していて，地面の割れ目から粘性の低いマグマを噴出させているようすを目にすることができる（なおアイスランドはホットスポットにもなっている）。またプレート拡大境界ではないが，ホットスポットであるハワイでも玄武岩質マグマが噴出しており，キラウエア山やマウナロア山が代表的である。この玄武岩質マグマは粘性が低いので，溶岩台地や盾状火山といった火山地形を形成する。

盾状火山(マウナケア山)

キ：**安山岩**　ク：**高**

沈み込み帯の代表的なものは日本やアンデス山脈であり，粘性の比較的高い安山岩質マグマや流紋岩質マグマを多く噴出する。フィリピンのマヨン山のような成層火山や，有珠山の昭和新山のような溶岩ドームをしばしば形成する(ただし富士山などのように，玄武岩質マグマが成層火山を形成する例もある)。



溶岩ドーム(昭和新山)

なお問題文にあるように，プレート拡大境界と沈み込み帯では異なった性質のマグマが多く噴出するが，この理由として結晶分化作用や同化作用がある。結晶分化作用とは，マグマが固化していくときに特定の順番に鉱物が晶出していくために，残されたマグマの化学組成が変化していく作用のことである。また同化作用とは，マグマが周囲の岩石を取り込んだり，周囲の岩石と反応したりすることで，マグマの組成が変化する作用のことである。

ケ：**熱水鉱床**

熱水鉱床は，地下の火成活動に伴って発生する熱水により形成される鉱床。熱水がさまざまな元素を溶解し，それが地表へ向かって移動して冷却されるにしたがって有用鉱物を沈殿させることでできる。

以上まとめると，ア：**プレートテクトニクス**　イ：**太平洋**　ウ：**核**　エ：**ケイ酸**　オ：**玄武岩**　カ：**低**　キ：**安山岩**　ク：**高**　ケ：**熱水鉱床** が入る。

◆Check!!

・メタンハイドレート

水分子が作るかご状の構造の中にメタン分子が取り込まれて，シャーベット状になった化合物。その資源量の大きさと，燃焼時の二酸化炭素排出量が少ないことから新たなエネルギー源として注目されている。

・ストロマトライト

©Foresight Inc.
本サービス・コンテンツの知的財産権その他一切の権利は
株式会社フォーサイトに帰属し，無断転載・引用を禁止します。

おもにシアノバクテリア(ラン藻類)によって形成される，層状の構造をもつ岩石。先カンブリア時代に多くみられるが，現在もオーストラリア西北部の海岸にのみ生息している。なお，シアノバクテリアは光合成をおこなって地球に酸素をもたらした。

・縞状鉄鉱層

酸化鉄を含む層と石英分を含む層が交互に重なって縞状になっている堆積物。先カンブリア時代にシアノバクテリアの登場で光合成が始まり，それまで無酸素状態だった海水に酸素が溶け込んで，大量の鉄イオンが酸化されて沈殿したものと考えられる。

ストロマトライト

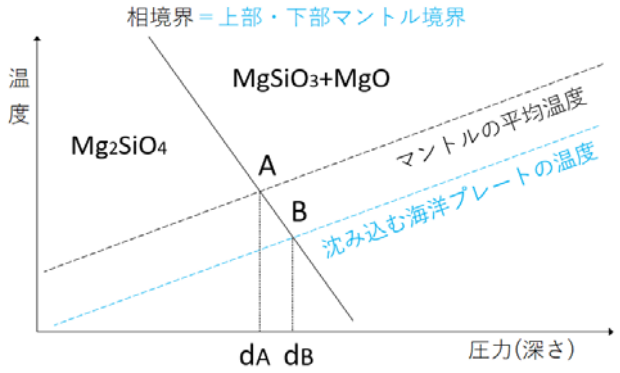
縞状鉄鉱床

問 3　難易度：★★★★☆

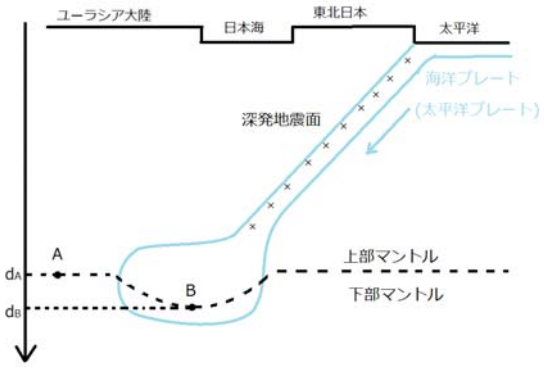
(1)

上部・下部マントルの境界は，Mg_2SiO_4の相転移の境界と一致する。点 A と点 B はともに上部・下部マントル境界にあるので，その温度と圧力を図 4 にプロットすると相境界を示す線の上に乗るはずである。この線は，圧力が低くなるほど高温になるような傾きなので，より浅部にあって低圧である点 A の方が高温である。

図 3 の模式的断面図に描かれた深発地震面は，沈み込んでいく冷たい海洋プレート(スラブ)の位置を示している。この沈み込みによって点 B 付近では温度が下がり，上部・下部マントル境界が周辺より深くなっているのである。



マントルの平均温度と相境界



海洋プレートの沈み込みのようす

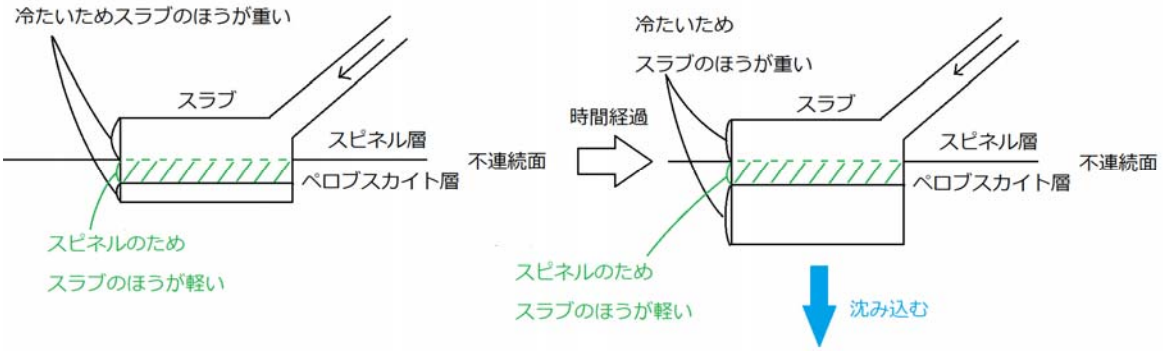
解答例

図 4 より，マントル境界は低圧であるほど高温になるので，より浅部にある点 A のほうが高温である。

©Foresight Inc.
本サービス・コンテンツの知的財産権その他一切の権利は
株式会社フォーサイトに帰属し，無断転載・引用を禁止します。

◆Column スラブが塊となって落下する仕組み

上部マントルと下部マントルの境界では，スピネル相Mg_2SiO_4(上部マントル)とペロブスカイト相$MgSiO_3$(下部マントル)とで相転移が起きていて，ペロブスカイトの方が高密度である。そのため，沈み込み部分で相境界が深くなると，浮力によって沈み込みが妨げられ，スラブが溜まっていく。スラブが溜まっていっても下図のように 660km 不連続面のくぼみの深さは変わらない(相転移する圧力条件が変わらないから)ので，スラブのほうが周囲の下部マントルよりも比重が大きい深さが相対的に大きくなっていく。そのためにスラブはある程度大きくなってから塊となって落下していく。



スラブが塊となって落下していく仕組み

(2)

点 A と点 B の深さの差が 28km であり，上部マントル最下部での圧力勾配から

$$28 \times 30 = 8.4 \times 10^2 \mathrm{MPa}$$

となり，B のほうが8.4×10^2MPaだけ高圧である。ここで相境界の圧力変化と温度変化の関係を使って

$$\frac{8.4 \times 10^2}{-2.8} = -3.0 \times 10^2 ℃$$

より，A のほうが$\boldsymbol{3.0 \times 10^2}$℃だけ温度が高い。

問 4　難易度：★★☆☆☆

a：**72**

マグマ起源の水蒸気の供給量を毎秒$x$kg とすると，これと地下水が混合してできる湯の湧出量が毎秒 1 トンであることから，温泉水のうち地下水起源のものの供給量は毎秒$(1000\text{-}x)$kg となる。

マグマ起源の水蒸気が地下水に与える熱量と，地下水が水蒸気から受け取る熱エネルギーが等しいことから

$$x \times 4.3 \times 10^6 = (1000 - x) \times 4.2 \times 10^3 \times 80$$

この式を解く。

$$4.3 \times 10^3 x = 3.36 \times 10^5 - 3.36 \times 10^2 x$$

$$4.636 \times 10^3 x = 3.36 \times 10^5$$

有効数字を考えて

©Foresight Inc.
本サービス・コンテンツの知的財産権その他一切の権利は
株式会社フォーサイトに帰属し，無断転載・引用を禁止します。

$$x = \frac{3.36 \times 10^5}{4.64 \times 10^3} = 7.24 \ldots \times 10 \cong 7.2 \times 10$$

よってマグマ起源の水蒸気の供給量は毎秒7.2×10kg。

b：$\boldsymbol{9.3 \times 10^2}$

また温泉水のうち地下水起源のものの供給量は

$$1000 - 7.24 \times 10 = 927.6 \cong 9.3 \times 10^2$$

より毎秒9.3×10^2kg。

以上まとめると，a：**72**，b：$\boldsymbol{9.3 \times 10^2}$が入る。

問題を解いていて方程式を立てることになった場合は，式の両辺で単位が同じかを確認するようにしよう。

（辻有恒，笠見京平，坂井郁哉，仁木創太）

©Foresight Inc.
本サービス・コンテンツの知的財産権その他一切の権利は
株式会社フォーサイトに帰属し，無断転載・引用を禁止します。

2015 年度 京都大学 前期 地学

地学問題IV　地質

出題範囲	地質図・地質断面図
難易度	★★★☆☆
所要時間	15 分
傾向と対策	あまり難しくない地質図の問題である。解き始める前に地質図の構造をはっきりと把握して問題に備えよう。問 2，問 3 の立体的な考察と問 5 の解答で少し手間取るかもしれないが，あとは単純な問題ばかりであろう。記述解答の文字数が多いため，書き始める前にポイントを考えておいて，見通しがたったら一気に書いてしまわないと時間がかかってしまう。難しくはないからこそ時間の配分には気をつけよう。

解答

問 1　(お)

問 2　(う)

理由：この地域の断層は断層 Z のみだから AB 層境界面は傾斜 90°の層理面であり，産出化石から A 層は中生代中後期，B 層は中生代末期の地層であるため同じ標高では北ほど古い時代の地層であり，級化層理から粒径が大きい(う)の側がより古い地層だから。(116 字)

問 3　(か)

理由：断層が地点 3，4 では標高 20m，地点 2 では標高 120m で見られることから傾斜方向は南であり，同じ経度の地点 1，5 で同じ層序が見られることから考えるとずれは南北方向，即ち傾斜方向のみと考えられるため。(99 字)

問 4　地点 3 は地点 2 より 100m 南であり，断層面の位置は地点 3 に向かって 100m 低くなっている。よって地点 3 より 100m 南下した地点 5 では断層面は地点 3 より 100m 低い標高-80m でみられるはずである。また，地点 5 の標高は 120m であるから，地表から 120＋80＝200m の深さまで掘る必要がある。(146 字)

問 5　(え)

理由：地点 1 で白亜紀末の地層が見られることから B 層の堆積年代は白亜紀末期から古第三紀で，地点 1 以南で断層が見られることから古第三紀に断層 Z は活動している。一方 B 層の後に堆積した古第三紀の C 層を観察すると，断層 Z をはさんだ南北で A，B 層と C 層の境界面の高度は等しく，C 層の堆積開始後に断層運動はなかったと判断できる。以上から断層 Z の活動が終了したのは古第三紀である。(179 字)

問 6　(か)・(き)

解説

©Foresight Inc.
本サービス・コンテンツの知的財産権その他一切の権利は
株式会社フォーサイトに帰属し，無断転載・引用を禁止します。

各個の問題に取り組む前に，まず地質図から読み取ることのできる情報を整理しておく。

地層を大まかに分けると，直線の地層境界面をもつ A，B 層と等高線に平行な地層境界面をもつ C，D 層および沖積層の 2 種類に分かれる。このそれぞれについて考えよう。

A，B 層の境界は直線に見えており，これは地層の傾斜が 90°であることを示している。化石などの情報を用いると，A 層の中で「イノセラムスとトリゴニア（三角貝）と裸子植物」が見つかっていることから A 層は中生代ジュラ紀～白亜紀の地層であることがわかり，B 層の中に「アンモナイトが絶滅した時期に形成された」級化層理が見られることから B 層は白亜紀末の地層を含んでいることがわかる。これらのことから A，B 層は A 層→B 層の順で堆積し，そのあと 90°傾いたということがわかる。

C，D 層の境界および A，B 層と C 層の境界は等高線に平行である。これより C，D 層は A，B 層が堆積後に傾き終わってから堆積を始めたことがわかり，C 層から貨幣石（ヌンムリテス）の化石が見つかっていることから遅くとも古第三紀には堆積を始めていたことがわかる。

以上の情報をもとに各問を解いていく。

問 1　難易度：★★☆☆☆

解答冒頭で述べた考察から，B 層の最下部はジュラ紀～白亜紀以後かつ白亜紀末より前の年代に堆積している。この条件に当てはまるのは白亜紀である。また C 層の年代は貨幣石から判断できる。以上から B 層の最下部が白亜紀，C 層が古第三紀である選択肢を選べばよい。

よって，解答は，**（お）　B 層の最下部：白亜紀，　C 層：古第三紀** となる。

問 2　難易度：★★★☆☆

解答冒頭で述べた考察から，下図のように B 層堆積時には現在の北側が下，南側が上であったことになるから級化層理の下側である(う)が北側である。よって答えは(う)となる。

理由に関しては，解答冒頭で述べた考察を短くまとめればよい。下の解答例では

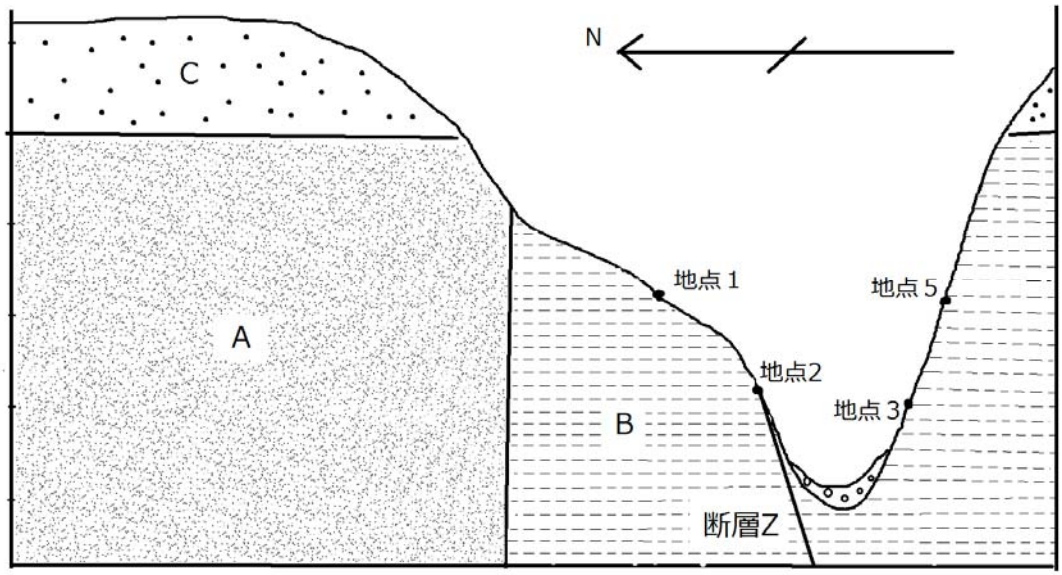
①A，B 層の傾斜が 90°である

②産出化石から堆積順序は北から南である

③よって，同じ標高では地層は北に行くほど古い地層になる

©Foresight Inc.
本サービス・コンテンツの知的財産権その他一切の権利は
株式会社フォーサイトに帰属し，無断転載・引用を禁止します。

という流れが明確になるようにしたうえで，古い側ほど粒径が大きくなるという級化層理の特徴を付け加えた。A，B 層境界が断層ではないことに触れておくと，A 層と B 層の新旧関係が B 層内の新旧関係に一致することを示すことができてよいだろう。



地質断面図

(う)

理由：

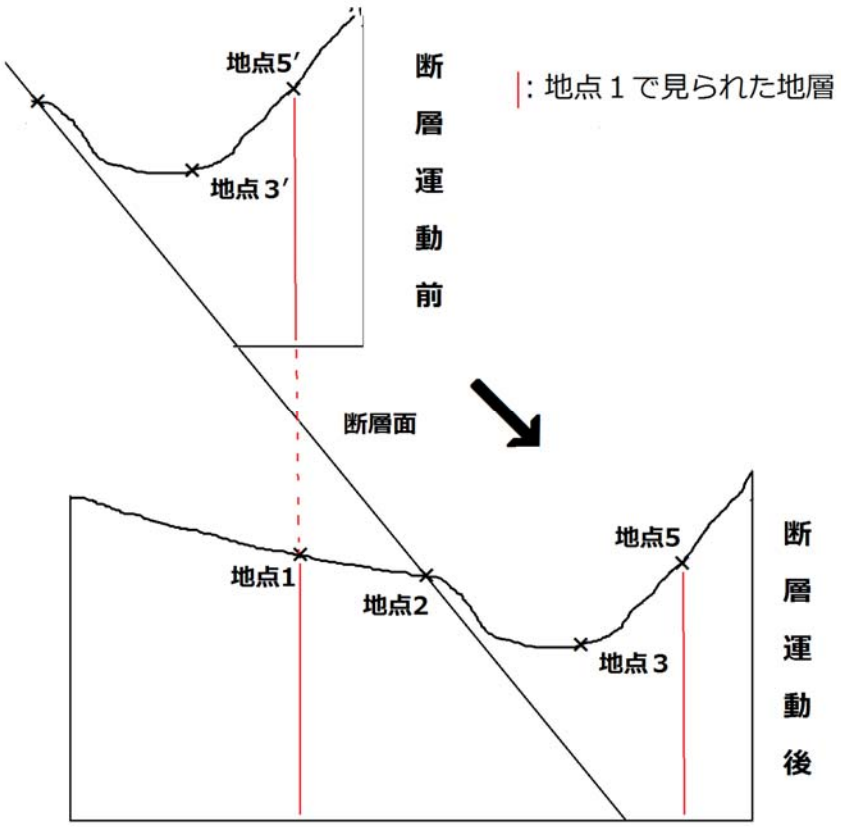
解答例

この地域の断層は断層 Z のみだから AB 層境界面は傾斜 90°の層理面であり，産出化石から A 層は中生代中後期，B 層は中生代末期の地層であるため同じ標高では北ほど古い時代の地層であり，級化層理から粒径が大きい(う)の側がより古い地層だから。(116 字)

©Foresight Inc.
本サービス・コンテンツの知的財産権その他一切の権利は
株式会社フォーサイトに帰属し，無断転載・引用を禁止します。

問 3　難易度：★★★☆☆

さまざまな情報が断片的に与えられている。うまく整理して解けば困難な問題ではない。



地点 1，2，3，5 を通る平面での断層運動の様子

上図のように地点 1，　2，　3，　5 を通る平面で地面を切って考えるとよい。まず断層の走向であるが，問題文より東西方向に並ぶ地点 3 および地点 4 ではいずれも標高が 100m，断層面の深さが 80m となっている。このことから地点 3 と地点 4 では断層面の標高が同じであることがわかり，断層の走向が東西方向であると判断できる。また断層面は地点 2 の地表面，すなわち標高 120m 地点と，地点 2 より南にある地点 3 の地下 80m，すなわち標高 20m 地点に現れているので，上図のように断層面の傾斜は南向きである。

また地点 1 と地点 5 で同じ層準の地層が現れることについて考えると，B 層に関しては層序が南北方向に移り変わるから，2 地点で同じ層準の地層が現れるには南北方向に変位が生じなければならない。これより(か)が選べる。実際の地点 5 の動きは上図の地点 5'→地点 5 のようであったと考えられる。

(か)

理由：

解答例

断層が地点 3，4 では標高 20m，地点 2 では標高 120m で見られることから傾斜方向は南であり，同じ経度の地点 1，5 で同じ層序が見られることから考えるとずれは南北方向，即ち傾斜方向のみと考えられるため。(99 字)

©Foresight Inc.
本サービス・コンテンツの知的財産権その他一切の権利は
株式会社フォーサイトに帰属し，無断転載・引用を禁止します。

問 4　難易度：★★★☆☆

問 3 がわかってしまえばとてもわかりやすい問題である。問 3 で行ったように各地点での断層面や地層境界面の標高を考えておくと地点 2，3 での断層面の高度差が 100m，距離が 100m であることから傾斜が 45 度であることがわかる。あとは比例計算をして地点 2，5 の標高を考えれば答えにたどり着く。

解答例

地点 3 は地点 2 より 100m 南であり，断層面の位置は地点 3 に向かって 100m 低くなっている。よって地点 3 より 100m 南下した地点 5 では断層面は地点 3 より 100m 低い標高-80m でみられるはずである。また，地点 5 の標高は 120m であるから，地表から 120＋80＝200m の深さまで掘る必要がある。(146 字)

問 5　難易度：★★★☆☆

この問題のポイントは断層 Z が直接 C 層を切っていない点である。問 3，4 の考察を経ていれば，地点 2 以北で断層が地層 C を切る可能性がないことがわかる。ここで断層を挟んで南北に存在する C 層と A，B 層の境界の高度に注目すると，高度が等しい，すなわち変位がないので，この境界が形成されてからは断層活動が起こっていないことがわかる。もし C 層形成後に断層が活動したとすると，沖積層を挟んで南北にみられる C 層の最下部の高度は異なっているはずなのだ。ここから断層が活動しなくなったのは古第三紀であると判断できる。解答は次のようになる。

(え)

理由：

解答例

地点 1 で白亜紀末の地層が見られることから B 層の堆積年代は白亜紀末期から古第三紀で，地点 1 以南で断層が見られることから古第三紀に断層 Z は活動している。一方 B 層の後に堆積した古第三紀の C 層を観察すると，断層 Z をはさんだ南北で A，B 層と C 層の境界面の高度は等しく，C 層の堆積開始後に断層運動はなかったと判断できる。以上から断層 Z の活動が終了したのは古第三紀である。(179 字)

しかし，実は本問は解答が 1 つに定まらない。これを考慮した解を以下に示す。

この問題で 1 つ気を付けたいのは「終了した年代」という書き方だ。この書き方から考えると最後の活動が起こった年代を答えるべきなので，古第三紀に C 層が堆積し始めてからは活動しておらず，白亜紀末より後に堆積した（白亜紀末に堆積した地点 1 より南にある）地点 2 で断層が確認できることから，答えるべきは最後の活動があった古第三紀となる。

この問題では，「アンモナイトが絶滅した時期に形成された」という記述から B 層を白亜紀末期の地層と考えると，解答は白亜紀末に活動があったことおよび C 層が堆積を開始するまでの段階で断層運動が終了したことから判断することになり，白亜紀と古第三紀のどちらでも成り立つように読めるようになる。模範解答とは異な

©Foresight Inc.
本サービス・コンテンツの知的財産権その他一切の権利は
株式会社フォーサイトに帰属し，無断転載・引用を禁止します。

る読みだが，B 層の内部構造が明瞭に示されない以上否定することはできない。この場合の解答例を下に示すが，確定しないことを述べたうえで白亜紀か古第三紀のどちらかを選ぶのが無難であろう。解答が 1 つに定まらない可能性もあるという点では，受験生を混乱させる問題といえる。このような問題に突き当たっても慌てず，できる限りの全力を尽くせばよいと考えて落ち着いて取り組もう。

別解

（う） or **（え）**

理由：

解答例

白亜紀末期の地層である B 層は断層 Z によって切られており，白亜紀の間は断層運動が継続していたことがわかる。一方 B 層の次に堆積したと考えられる古第三紀の C 層を観察すると，断層 Z をはさんだ南北で A，B 層と C 層の境界面の高度は一定であり，これは C 層が堆積し始めたあとには断層運動が起こっていないことを示す。以上より白亜紀末期から古第三紀の間に断層 Z の活動は終了した。(179 字)

問 6　難易度：★★☆☆☆

地質図から，答えるべきは地層 A に含まれる可能性のある化石である。地層 A は中生代中期から後期にかけての地層なので，該当し得る中生代に存在した生物種の化石を選べればよい。

（あ）フズリナ(紡錘虫)，(い）三葉虫は古生代の有名な示準化石であり，(う）ビカリア（ビカリヤ)，(え）ナウマンゾウ，（お）貨幣石（ヌンムリテス）は有名な新生代の示準化石であるから簡単に外せるだろう。(く）サヘラントロプスは比較的有名ではないが，（か）被子植物，（き）アンモナイトを積極的に選ぶことはできるだろうし，種名から化石人類の一種であることは察しがつくだろう。サヘラントロプスは新第三紀にアフリカに生息した霊長類の属で，ヒトとチンパンジーが分岐したころにあたる。(く)を除けば基本的な知識で解ける問題で，即答できるとよい。

以下に各化石の示す年代をまとめておく。

化石名	年代
ナウマンゾウ	新生代第四紀（更新世）
サヘラントロプス	新生代新第三紀（中新世）
ビカリア（ビカリヤ）	新生代新第三紀（中新世）
貨幣石（ヌンムリテス）	新生代古第三紀
被子植物	中生代以降（ジュラ紀ごろ出現，白亜紀以降に繁栄）
アンモナイト	古生代デボン紀～中生代白亜紀（中生代に大きく繁栄）
フズリナ（紡錘虫）	古生代（石炭紀ごろ出現，ペルム紀末に絶滅）
三葉虫	古生代（ペルム紀末に絶滅）

よって答えは**（か）・（き）**となる。

©Foresight Inc.
本サービス・コンテンツの知的財産権その他一切の権利は
株式会社フォーサイトに帰属し，無断転載・引用を禁止します。

（諸星暁之，笠見京平，仁木創太，西山学）

©Foresight Inc.
本サービス・コンテンツの知的財産権その他一切の権利は
株式会社フォーサイトに帰属し，無断転載・引用を禁止します。