2016 年度 東北大学 前期 地学

1 恒星の進化

出題範囲	恒星の進化
難易度	★★★☆☆
所要時間	13 分
傾向と対策	恒星の進化を題材としての出題である。細かい知識や思考力が問われており，やや難しい問題である。問 1 の穴埋め問題には教科書を漫然と読んでいるだけでは答えられない出題もあり，普段から教科書をしっかりと読む癖をつけてもらいたい。また問 5 は発展的な思考を問われており，このような出題にも問題なく対処できる受験生は少ないであろう。総合的には，難易度の低い問題を確実に取る力が重要な出題である。簡単な問題を確実に落とさないように気をつけながら取り組もう。

解答

問 1　ア：重力　　イ：核融合　　ウ：林フェイズ　　エ：暗線(吸収線)　　オ：A・F・G・K　　カ：褐色矮星

問 2　元素がそれぞれ固有の波長の電磁波を吸収するという特性を利用して，観測した恒星の連続スペクトルの中に含まれている暗線の波長や強度から推定する。

問 3　主系列星 X の絶対等級をM[等級]とすると，絶対等級と見かけの等級の関係式より，

$$M - 4.8 = 5 + 5\log_{10}0.30$$

$$M = 4.8 + 5 + 5 \times (\log_{10}3 - \log_{10}10)$$

$$M = 7.185 \fallingdotseq 7.2 \text{ 等級}$$

また，ウィーンの変位則より，主系列星 X の表面温度をT[K]とすると，

$$T \times 0.66 = 5800 \times 0.50$$

$$T = 5800 \times \frac{0.50}{0.66} = 4393 \fallingdotseq 4.4 \times 10^3 \text{K}$$

問 4　X と Y は同じスペクトル型なので，表面温度も同じである。X と Y は絶対等級が 5.0 等級異なるので，赤色巨星である Y は X の 100 倍の光度をもつ。シュテファン・ボルツマンの法則より，恒星の光度は表面温度の 4 乗と半径の 2 乗の積に比例する。Y の半径が X の半径のk倍であるとすると，

$$k^2 = 100$$

$$k = 10 = 1.0 \times 10 \text{ 倍}$$

問 5　恒星の寿命はその質量に比例して主系列星時の光度に反比例するため，質量が 20 太陽質量以下の場合は質量の 3 乗に反比例し，質量が 20 太陽質量以上の場合，寿命は一定となる。

したがって 100 太陽質量の恒星の寿命は 20 太陽質量の恒星の寿命と等しい。求める恒星の寿命は，太陽の寿命が 100 億年であることから，

©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。

$$1\times10^{10}\text{年}\times\frac{1}{20^3}=1.25\times10^6\fallingdotseq1.3\times10^6\text{年}$$

解説

問 1　難易度：★★★☆☆

ア：**重力**　　イ：**核融合**　　ウ：**林フェイズ**　　カ：**褐色矮星**

星間物質の濃い部分が重力によって収縮して分子雲となり，さらに収縮して原始星となる。生まれたばかりの原始星は収縮することで重力エネルギーを解放して明るく光っているが，周りを厚く星間物質が取り巻いているため可視光線では見えにくい。そのため吸収を受けにくい赤外線によって観測される。やがて原始星の重力によって取り巻く星間物質が収縮し少なくなると可視光線で観測できるようになり，そしてさらに収縮して中心部の温度が約 1000 万 K を超えると水素の核融合反応が始まり主系列星となる。この収縮進化段階はそれを研究していた研究者林忠四郎の名前から林フェイズとよばれている。この説は 1961 年に発表され，従来の説では説明できなかったさまざまな現象を説明できるとして評価された。また従来の太陽形成論を全面的に考え直すことになるなど，一種のパラダイムシフトを引き起こした。林フェイズにもとづく，星間物質が主系列星になるまでの流れは，このように科学史上でも重要なので覚えておきたい。なお，質量が太陽の 0.08 倍以下であると収縮しても中心部が十分な温度に達しないために水素の核融合反応が起こらない。そのためこのような星のエネルギー源は収縮により解放される重力エネルギーのみであり，暗く光っている。このような天体を褐色矮星という。

エ：**暗線（吸収線）**　　オ：A・F・G・K

恒星の放射スペクトルには，各原子・分子イオンが固有の波長の電磁波を吸収することによって暗線が現れている。ほとんどの恒星の大気の元素組成は同じであるが，その暗線の現れ方は恒星ごとに異なっている。これは原子の電離の状態によって吸収の強さが変化するからである。原子の電離の状態は恒星の表面温度の違いによるため，暗線の現れ方は表面温度の違いを反映しているといえる。恒星は表面温度の高いほうから O・B・A・F・G・K・M の 7 つのスペクトル型に分類され，各スペクトル型はさらに 0~9 の 10 段階に細分されている。例えば太陽は G2 型である。

以上まとめると，ア：**重力**　イ：**核融合**　ウ：**林フェイズ**　カ：**褐色矮星**　エ：**暗線（吸収線）**　オ：A・F・G・K となる。

◆Column ヘリウムの発見

原子・分子イオンが固有の波長の電磁波を吸収することで暗線が現れる。その一方で，固有の波長の電磁波を放出することで現れる原子スペクトルのことを輝線という。この電磁波は励起状態にあった原子が，エネルギーのより低い安定な状態に移ろうとするときに放出するエネルギー差に相当する波

©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。

長の電磁波である。このエネルギー差はそれぞれの原子固有のものなので，原子の放出する電磁波の波長もまた固有のものである。分光器を用いてこの電磁波を測定すると，特定の波長の光だけを放出していることが確認できる。輝線を用いて発見された原子がある。ヘリウムである。

原子番号が 2 であり，空気より軽いために風船を浮かばせるためにも使われていることで有名なヘリウムであるが，ヘリウムが発見されたのは 19 世紀の 1868 年であった。1868 年 8 月 18 日，インドで皆既日食が観測された。フランス人のピエール・ジャンサンとイギリス人のノーマン・ロッキャーはそれぞれ独立にその時の太陽コロナのスペクトル解析を行い，ヘリウムの輝線を観測した。この輝線の波長は 587.49nm であり，既に知られていたナトリウムの輝線スペクトルである D1(589.6nm)と D2(589.0nm)に近かったため，当初はジャンサンによって新しいナトリウムの輝線スペクトルである D3 であるとされていた。しかしその後ロッキャーによって未知の元素によるものであると結論付けられ，ギリシャ語で太陽を意味する「ヘリウム」という名前が付けられた。

問 2　難易度：★★★☆☆

元素ごとに吸収する電磁波の波長が異なるため，暗線の現れる波長から元素の種類を推定することができ，さらに暗線の強度からそれぞれの元素の量の比を推定することができる。この 2 つから恒星の大気の元素組成を推定することができる。特に太陽光線の連続スペクトルに見られる暗線のことをフラウンホーファー線という。フラウンホーファー線は試験で単語を問われることもあるので，覚えておこう。

解答例

元素がそれぞれ固有の波長の電磁波を吸収するという特性を利用して，観測した恒星の連続スペクトルの中に含まれている暗線の波長や強度から推定する。

問 3　難易度：★★☆☆☆

主系列星 X の絶対等級をM〔等級〕とすると，絶対等級と見かけの等級の関係式より，

$$M = 4.8 + 5 + 5\log_{10}0.30$$

$$M = 4.8 + 5 + 5 \times (\log_{10}3 - \log_{10}10)$$

$$M = 7.185 \fallingdotseq \mathbf{7.2等級}$$

また，ウィーンの変位則より，主系列星 X の表面温度をT〔K〕とすると，

$$T \times 0.66 = 5800 \times 0.50$$

$$T = 5800 \times \frac{0.50}{0.66} = 4393 \fallingdotseq \mathbf{4.4 \times 10^3 K}$$

公式さえ覚えていれば解ける問題である。確認しておこう。

©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!! 絶対等級を求める公式

絶対等級：M，見かけの等級：m，恒星の年周視差：pとする。また，恒星の見かけの光度をL_m，絶対光度L_Mとする。恒星までの距離は$1/p$ [pc]であり，これを10pcの位置にもってくるときを考えると，光度は距離の 2 乗に反比例するので，

$$L_M = L_m \times \left(\frac{1/p}{10}\right)^2 \quad \cdots Ⓐ$$

が成り立つ。ここで，光度の比と等級の関係を考えると，

$$\frac{L_m}{L_M} = 100^{\frac{1}{5}(M-m)} \quad \cdots Ⓑ$$

となる。ⒶとⒷより，

$$10^{\frac{2}{5}(M-m)} = (10p)^2$$

であり，両辺の自然対数をとると，

$$\frac{2}{5}(M-m) = 2 \times (\log_{10}10 + \log_{10}p)$$

$$M = m + 5 + 5\log_{10}p$$

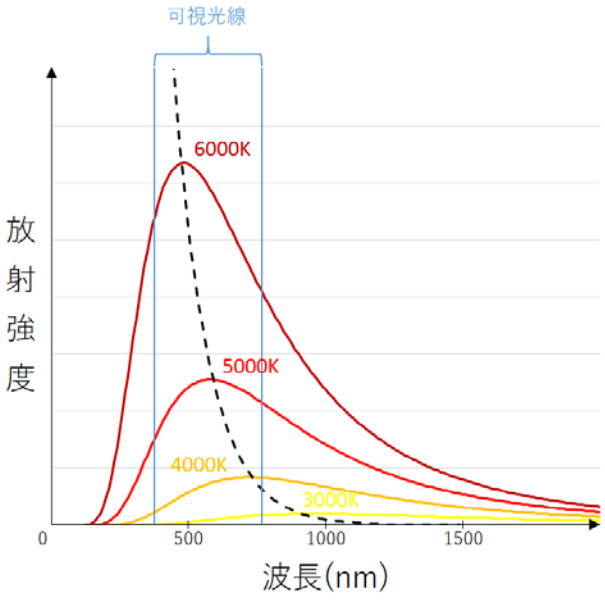
という公式が導かれた。

◆Check!! ウィーンの変位則

太陽放射や地球放射を黒体放射(入射した電磁波をすべて吸収しその表面温度において最大のエネルギーを放射する物体を黒体という)とみなすと，表面温度T〔K〕のとき放射強度が最大となる波長λ〔μm〕は，およそ次の関係を満たす。

$$\lambda T = 2900$$

この関係をウィーンの変位則という。



ウィーンの変位則

©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：★★☆☆☆

X と Y は同じスペクトル型なので，表面温度も同じである。また，X と Y は絶対等級が 5.0 等級異なるので，いずれかが他方の 100 倍の光度をもっている。ここで，Y は赤色巨星であるため主系列星である X よりも半径が大きく，明るい。したがって，Y が X の 100 倍の光度をもつとわかる。

Y の半径が X のk倍であり，X の半径をR[m]，X,Y の表面温度をT[K]とすると，シュテファン・ボルツマンの法則よりそれぞれの光度L_x[W],L_y[W]は

$$L_x = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

$$L_y = 4\pi (kR)^2 \sigma T^4$$

ここで$L_y/L_x = 100$より

$$k^2 = 100$$

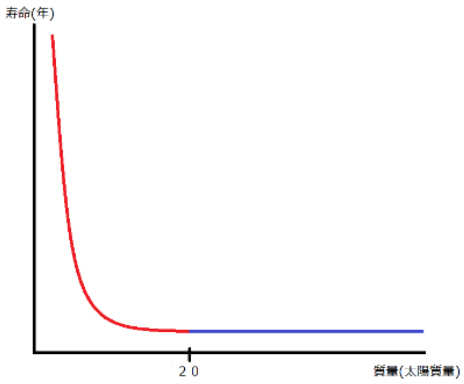
$$k = 10 = \mathbf{1.0 \times 10倍}$$

問 5　難易度：★★★☆☆

恒星の寿命はその質量に比例して主系列星時の光度に反比例するため，質量が 20 太陽質量以下の場合は質量の 3 乗に反比例し，質量が 20 太陽質量以上の場合，寿命は一定となる。この寿命と質量の関係をグラフで表すと図 B のようになり，20 太陽質量までの赤い曲線と 20 太陽質量以降の青い直線で関係が変わっている。

さてグラフより，100 太陽質量の恒星の寿命は 20 太陽質量の恒星の寿命と等しいため，20 太陽質量の恒星の寿命を求めればよい。太陽の寿命は 100 億年であるので，この恒星の寿命は

$$1 \times 10^{10}\text{年} \times \frac{1}{20^3} = 1.25 \times 10^6 \fallingdotseq \mathbf{1.3 \times 10^6年}$$



寿命―質量曲線

（坂井郁哉，奥井晴香，辻有恒，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。

2016 年度 東北大学 前期 地学

2 大気の構造

出題範囲	大気の構造
難易度	★★☆☆☆
所要時間	11 分
傾向と対策	大気の構造を題材とした問題が出題された。要求されている知識のレベルはさほど高くなく，比較的簡単な問題である。本問の問 1，問 2，問 3 は基本問題であるので，確実に点数を取れるようにしておきたい。また，問 4 の正しいものをすべて選ぶという出題の仕方は難易度が高く，選択肢も細かい知識を要求しているため自信をもって完答するのは難しい。満点を狙いにいくならば，教科書の細かいところもしっかりと把握するような勉強が必要である。

解答

問 1　A：⑤　　B：②　　C：③　　D：①

問 2　緯度 45°：0.71 倍

緯度 60°：0.50 倍

緯度θ[°]の地点では単位面積あたりの太陽放射入射量は太陽定数の$\cos\theta$[°]倍となる。

したがって，緯度 45°の地点では，赤道上での太陽放射入射量の

$$\frac{\cos 45^\circ}{\cos 0^\circ} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707\ldots \fallingdotseq 0.71 \text{ 倍}$$

緯度 60°の地点では，赤道上の太陽放射入射量の

$$\frac{\cos 60^\circ}{\cos 0^\circ} = \frac{1}{2} = 0.50 \text{ 倍}$$

となる。

問 3　オゾンが太陽からの紫外線を吸収して熱を放出するから。

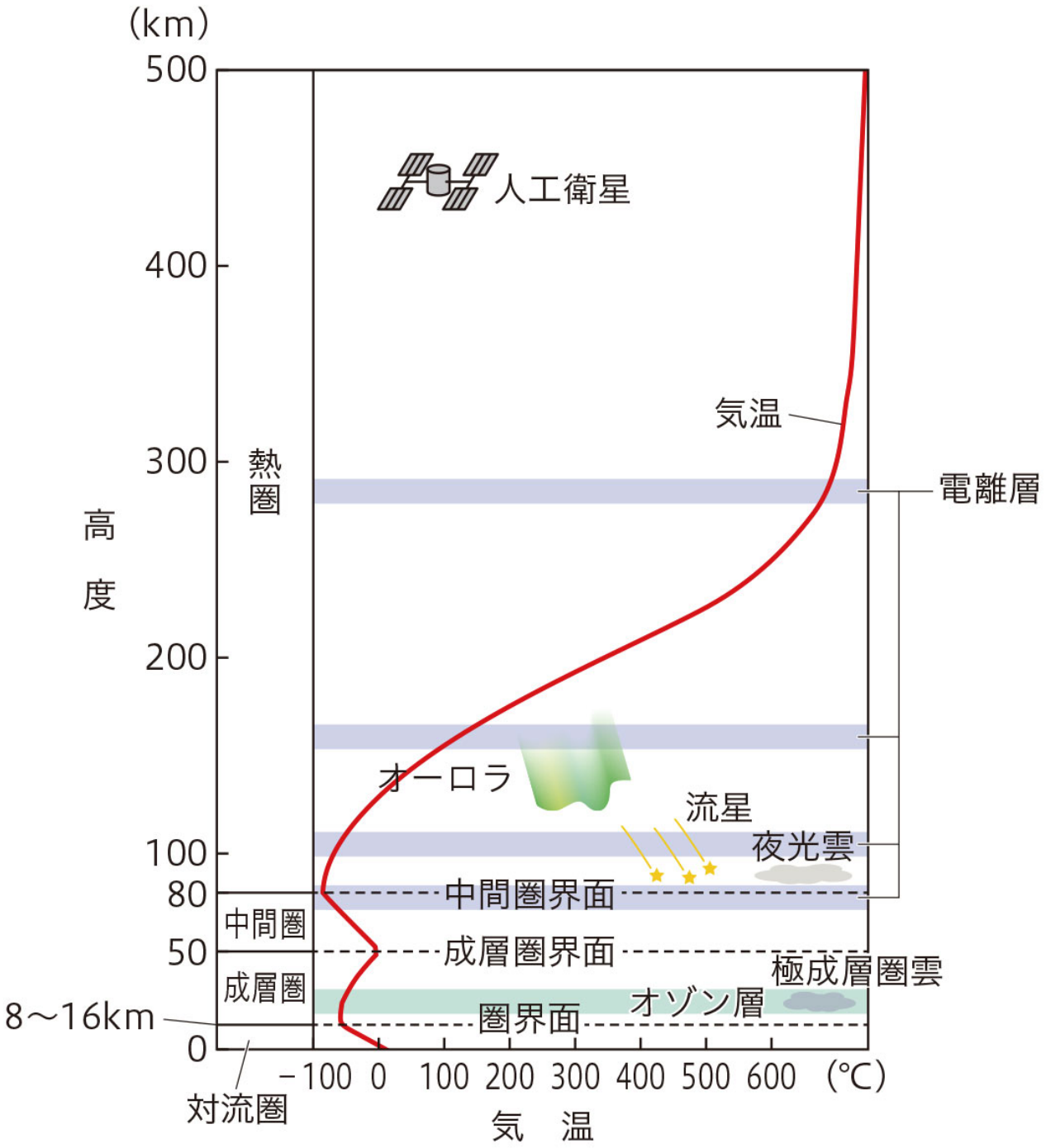
問 4　①，③，④

解説

問 1　難易度：★☆☆☆☆

基本的な知識問題である。それぞれの層の地表からの順番だけではなく，それらの層の高さもあわせて覚えておこう。

©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。



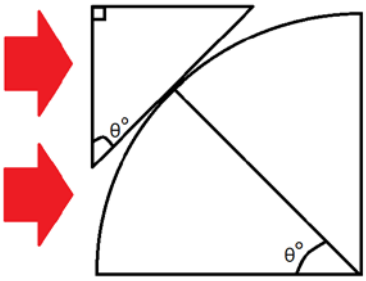
大気の鉛直構造

よって，それぞれ A：⑤　B：②　C：③　D：① となる。

問 2　難易度：★★☆☆☆

太陽放射の入射量とは，大気圏上端に入射する太陽放射の，大気圏上端に垂直な成分の量のことである。したがって，各々の緯度の大気圏上端の単位面積について，太陽放射に対して垂直な面がどれだけの面積であるかを比較すればよい。

©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。



太陽放射の入射

左図のように緯度θ[°]の地点において，太陽光に対して垂直な面への正射影はその緯度における大気圏上端の面積の$\cos\theta$[°]倍であるとわかる。

太陽定数を$S[W/m^2]$とする。赤道，つまり緯度 0°の地点での大気圏上端における単位面積当たりの太陽放射入射量は，

$$S \times \cos 0° = S[W/m^2]$$

緯度 45°の地点での大気圏上端における単位面積当たりの太陽放射入射量は，

$$S \times \cos 45° = \frac{S}{\sqrt{2}}[W/m^2]$$

緯度 60°の地点での大気圏上端における単位面積当たりの太陽放射入射量は，

$$S \times \cos 60° = \frac{S}{2}[W/m^2]$$

以上より緯度 45° の地点では$\mathbf{1/\sqrt{2} = \sqrt{2}/2} = 0.707 \ldots \fallingdotseq \mathbf{0.71}$**倍**，緯度 60° の地点では$\mathbf{1/2 = 0.50}$**倍**となる。

問 3　難易度：★★☆☆☆

領域 B である成層圏にはオゾンの密度が濃い領域であるオゾン層が存在する。オゾンはどのように生成されているのだろうか。

まず酸素分子が紫外線を吸収して解離し，2 つの酸素原子となる。この酸素原子が大気中の N_2 や O_2 などの分子を触媒として酸素分子と結合することでオゾンが生成される。この 2 つの反応がオゾンを生成する反応である。生成されたオゾンは紫外線を吸収して解離し，酸素分子と酸素原子になる。そして酸素原子はオゾンと反応することで 2 つの酸素分子になる，こうして生成されたオゾンは再び酸素分子に戻される。以上の 4 つの反応をまとめると，下のようになる。

【1】O_2+紫外線→2O　　【2】$O+O_2 \rightarrow O_3$　　【3】O_3+紫外線→O_2+O　　【4】$O+O_3 \rightarrow 2O_2$

この 4 式の反応が繰り返され，オゾン濃度は一定に保たれている。そして特に【3】の反応で熱が発生し，成層圏では気温が高くなる。

これらの反応によって，紫外線が地表に届く前に吸収されるため，地表の生物が浴びる有害な紫外線量は少なくなる。オゾンの反応が，生物の陸上での生存を可能にしているのである。

解答例

オゾンが太陽からの紫外線を吸収して熱を放出するから。

©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：★★★★☆

①　正　問 3 に述べたように，オゾンは大気中の酸素が紫外線を吸収することで生成される。酸素濃度は低緯度でも高緯度でもさほど変わらないため，オゾンがより多く生成されるのは紫外線が多く供給されるところである。紫外線は太陽の放射に含まれているので，より太陽放射の入射が多い低緯度のほうが多くなる。そのため，オゾンは低緯度の熱帯上空でおもに生成される。

②　誤　オゾンは熱帯上空で生成されるが，それらのオゾンは大気の大規模な循環によって 4~5 年かけて低緯度から極域にまで輸送される。そのため，実際に観測されるオゾン濃度は高緯度地域のほうが低緯度地域よりも高い。

③　正　問 3 でも述べたように，オゾン分子は問 3 の【1】と【2】の反応によって生成されている。【1】は酸素分子が紫外線を吸収して 2 つの酸素原子に解離する反応で，光解離という。【1】で解離した酸素原子が【2】の反応によって酸素分子と結合することで，オゾンは形成される。

④　正　フロンガスに含まれている Cl が触媒となり，オゾン層は破壊されている。南極や北極といった非常に低温である極域の成層圏では極成層圏雲が発達することがあり，この極成層圏雲の表面上では化学反応が急速に起こる。その上 Cl が触媒となり反応を促進させるため，低緯度に比べて速いスピードでオゾンが分解されてしまい，オゾン濃度の低いオゾンホールが出現するようになる。なお，従来はより低温の南極上空でしか見られないとされていたが近年では北極上空にも見られるようになった。

⑤　誤　問 3 でも述べたように，オゾンが生成されるのは酸素分子が紫外線を吸収するからである。火星や金星では紫外線は多く降り注いでいるが酸素分子がほとんど存在しないため，オゾンが生成されない。そのためオゾン層が形成されることもない。

よって答えは**①，③，④** となる。

◆Check!! フロンガスがオゾンを分解するメカニズム

フロンが対流圏から流出して成層圏に達すると，フロンは紫外線を浴びて分解し，塩素原子(Cl)を生じる。この Cl が以下のようにオゾンと反応していく。

$$O_3+Cl\rightarrow O_2+ClO \quad \Rightarrow \quad ClO+O\rightarrow Cl+O_2$$

こうして一度オゾンを分解した Cl は再び Cl に戻り，さらにオゾンを酸素に分解する。

したがって少量の塩素原子，つまり少量のフロンが半永久的に大量のオゾンを分解する。以上のオゾン分解のメカニズムが明らかになったため，1987 年にモントリオール議定書でフロン類の規制が決定された。またこのオゾン分解のメカニズムに関する研究は化学の分野における重要な発見であるとして，このメカニズムについて研究していたオランダやアメリカの 3 人の研究者には 1995 年にノーベル化学賞が授与された。

（坂井郁哉，奥井晴香，辻有恒，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。

2016 年度 東北大学 前期 地学

3 マグマの発生と分化

出題範囲	マグマの発生と分化
難易度	★★★☆☆
所要時間	15 分
傾向と対策	マグマの発生を題材とした出題が行われた。要求される知識のレベルは高くないが，問 2 のように与えられたグラフから考える問題など，思考力を問う問題がありやや難しかったといえる。日ごろからどのような原因によって現象が引き起こされるのかということを考える癖をつけておきたい。問 3 の出題は化学の履修を前提とする問題であったとして全員に満点が与えられたが，このレベルの問題にも対応できるようにはしておいてほしい。

解答

問 1　ア：かんらん　　イ：斑れい　　ウ：マグマだまり

問 2　流紋岩質マグマが冷える現象によってマグマの温度が下がると図 1 より結晶の体積割合が上昇し，H_2O や CO_2 などの揮発成分が溶け込んでいる液部分の体積割合が減少する。そのため，やがて揮発成分が耐えられなくなり発泡する。(例[1])

流紋岩質マグマにマグマが供給されるなどの現象によってマグマの温度が上昇すると，図 2 より流紋岩質マグマに対する H_2O の溶解度が減少するため，やがて揮発成分が耐えられなくなり発泡する。(例[2])

問 3　簡単のため，$1\mathrm{m}^3$のマグマとして考える。この時，マグマは$2500\mathrm{kg}$である。

マグマ$2500\mathrm{kg}$に含まれている H_2O は図 3 より

$$2500 \times 0.08 = 200\mathrm{kg}$$

この水が全て水蒸気になると，

標準状態での 1mol の気体の体積は$22.4\mathrm{L}$，水 1mol は$18\mathrm{g}$であるから，

$$22.4 \times \frac{800+273}{273} \times \frac{200 \times 10^3}{18} \times \frac{1}{10^3} \fallingdotseq 978.2$$

したがって，地表に噴出したときに気泡が$978.2\mathrm{m}^3$を占める。

以上より，気泡がマグマ全体に占める割合は

$$\frac{978.2}{1+978.2} \times 100 \fallingdotseq \mathbf{99.9\%}$$

解説

問 1　難易度：★☆☆☆☆

ア：**かんらん**　　イ：**斑れい**

©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。

マントルで発生したマグマが地球深部から上昇する際に巻き込まれ地表にあげられたマントル捕獲岩や，地震波を用いた実験などから，マントルはかんらん岩を主としているとわかっている。かんらん岩は SiO_2濃度がおよそ 45 重量%よりも低い超塩基性の深成岩である。また，大陸地殻下部を構成する斑れい岩は塩基性の深成岩である。これらの塩基性岩が部分的に溶融することで玄武岩質のマグマが発生する。この玄武岩質マグマは多様なマグマの源となるものであり，本源マグマとよばれている。

ウ：**マグマだまり**

発生した液体のマグマは周囲よりも密度が小さいため浮力により上昇する。地表に近づくと周囲の密度も次第に下がっていくため，途中でマグマの密度と周りの密度が釣り合いマグマの上昇が停止し，マグマだまりを形成する。マグマだまりではマグマが冷却されるのに伴い結晶が晶出し，マグマの組成が変化する。これを結晶分化作用という。

以上まとめると，ア：**かんらん**　イ：**斑れい**　ウ：**マグマだまり** となる。

問 2　難易度：★★★★☆

マグマの発泡が促進されるのはどのような場合であるかを考える。

1 つ目の場合として考えられるのは，マグマの中で結晶が占める割合が大きくなることで揮発成分が溶けている液部分の体積割合が減少することである。結晶の体積割合が大きくなるには，図 1 より温度が十分に下がればよい。温度が十分に減少することにより流紋岩質マグマに対する H_2O の溶解度(重量%)は上昇するものの，液部分それ自体の体積割合が減少する。そのためマグマに溶け込める揮発成分の絶対量が減少し，揮発成分が液部分に溶け切らなくなり発泡する。温度の低下はマグマが冷える現象によって生じる。したがって，マグマが冷える現象によってマグマの発泡が促進されるということを述べればよい。

次の場合として考えられるのは，溶解度が下がることで揮発成分が飽和し，液部分に溶け切らなくなって発泡することである。この場合溶解度が下がればよいので，図 2 から温度が上昇すればよいとわかる。温度が上昇する現象はマグマが供給されることなどによって生じる。したがって，マグマの供給という現象によってマグマの発泡が促進されるということを述べればよい。

以上の 2 つについて，記述すればよい。

解答例 1

流紋岩質マグマが冷える現象によってマグマの温度が下がると図 1 より結晶の体積割合が上昇し，H_2O や CO_2 などの揮発成分が溶け込んでいる液部分の体積割合が減少する。そのため，やがて揮発成分が液部分に溶け切らなくなり発泡する。

解答例 2

流紋岩質マグマにマグマが供給されるなどの現象によってマグマの温度が上昇すると，図 2 より流紋岩質マグマに対する H_2O の溶解度が減少するため，やがて揮発成分が溶け切らなくなり発泡する。

©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。

問 3　難易度：★★★☆☆

簡単のため，1m^{3}のマグマとして考える。この時，マグマは2500kgである。

図 3 から300MPaにおける H_2O の溶解度は 8 重量%なので，

マグマ2500kgに含まれている H_2O は

$$2500 \times 0.08 = 200\text{kg}$$

である。

この水がすべて水蒸気になるとどのくらいの体積になるかを考える。

標準状態での 1mol の気体の体積は22.4L，水 1mol は18gであるから，

$$22.4 \times \frac{800+273}{273} \times \frac{200 \times 10^3}{18} \times \frac{1}{10^3} \fallingdotseq 978.2$$

したがって，地表に噴出したときには気泡が978.2m^{3}を占める。

以上より，気泡がマグマ全体に占める割合は

$$\frac{978.2}{1+978.2} \times 100 \fallingdotseq \mathbf{99.9}\%$$

である。

なおこの問 3 は本試験において，「化学の履修を前提とする問題であった」として，受験者全員に満点が与えられている。

（坂井郁哉，奥井晴香，辻有恒，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。

2016 年度 東北大学 前期 地学

4 露頭の観察

出題範囲	変成作用/堆積構造/火成岩/地質図・地質断面図/地球史
難易度	★★☆☆☆
所要時間	8 分
傾向と対策	問 1～3 は非常に基本的な地質や岩石に関する知識問題。問 4 の層序を問う問題もスタンダードなものである。記述もないためここは落とさず短時間で完答したい。層序問題では層序をフローチャートにするなどして，正確かつ素早い判断ができるように工夫して練習を積んでおくとよいだろう。

解答

問 1　ホルンフェルス

問 2　傾斜不整合

問 3　花こう岩体：①②④

　　玄武岩：③⑤⑥

問 4　③①⑥②④⑤

解説

問 1　難易度：★☆☆☆☆

花こう岩質マグマなどの貫入により，その周囲の岩石が変成作用を受けることを接触変成作用という。これによってできる変成岩は，もとの岩石が石灰岩であれば結晶質石灰岩（大理石）であり，元の岩石が砂岩や泥岩であればホルンフェルスである。ホルンフェルスは黒色で硬く緻密であり，侵食に強い。

接触変成を受けた岩石は，貫入した花こう岩体よりも先に堆積しているとわかるので，このような接触変成岩はその地域の地層の形成順序を知る手掛かりとなる。ここでは泥岩や砂岩よりも花こう岩のほうが新しいとわかる。

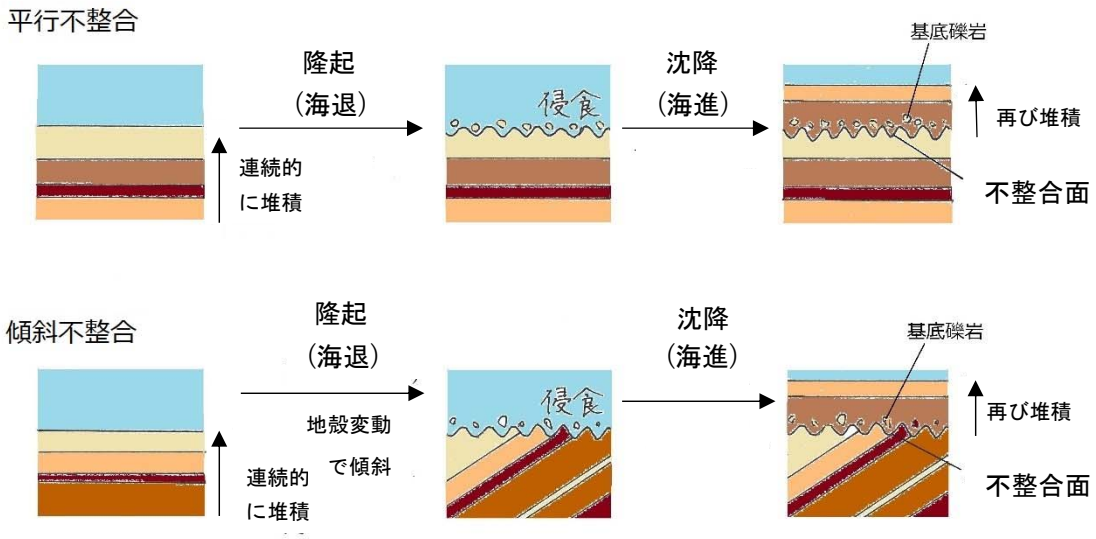
したがって，答えは**ホルンフェルス**である。

問 2　難易度：★☆☆☆☆

水底で堆積した地層が，地殻変動や海面変動のために陸地になると風化や侵食を受ける。これがまた水底に沈むと，再びその上に地層が堆積していく。このような不連続な新旧２つの地層の関係を不整合という。上下の地層が平行であれば平行不整合，上下の地層が平行でない場合は傾斜不整合という。不整合面の直上にはしばしば，古いほうの地層が侵食を受けたときにできる礫から礫岩が形成されていて，これを基底礫岩とよぶ。

©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。

基底礫岩を含む層のほうがよりあとに堆積したとわかるので，地域の地層の形成順序を知る手掛かりとなる。ここでは頁岩よりも砂岩のほうが新しいとわかる。

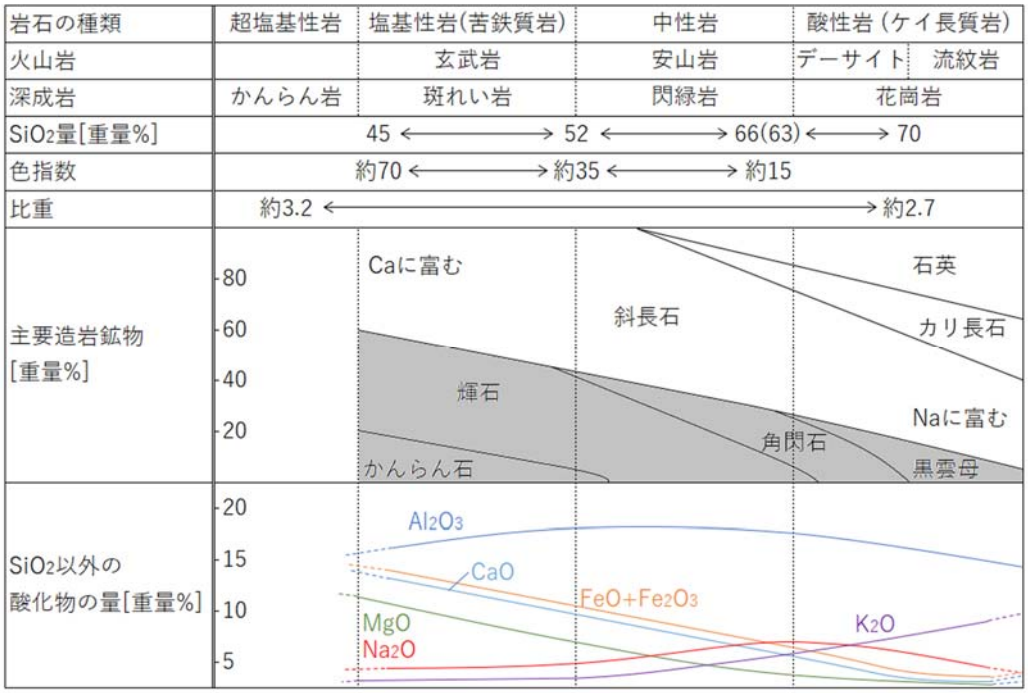


不整合の形成

したがって答えは，**傾斜不整合**である。

問 3　難易度：★★☆☆☆

火成岩はその形成温度によって含む鉱物を異にする。下の図からわかるように，花こう岩には石英，カリ長石，Na に富む斜長石，黒雲母が，玄武岩には，Ca に富む斜長石，輝石，かんらん石がおもに含まれる。



火成岩の分類

©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。

よって，解答は次のとおり。

花こう岩体：①②④

玄武岩：③⑤⑥

◆Check!! 固溶体

結晶構造が同じでも含まれる元素の割合が結晶ごとに異なる鉱物を固溶体という。造岩鉱物の大半が固溶体だが，例えば，斜長石は塩基性岩内で晶出するものは Ca が多く，酸性岩内のものは Na が多い。ほかにも，かんらん石は Mg と Fe の含有比が結晶ごとに異なり，Mg だけを含むものを苦土かんらん石，Fe だけを含むものを鉄かんらん石という。

問 4　難易度：★★★☆☆

この地域の地層は，頁岩，砂岩，安山岩，泥岩，花こう岩，玄武岩の順番で形成された。

以下に，この地域の 4 つの露頭と問題文の情報からわかることを列挙する。

・露頭Ａの泥岩が含んでいたビカリアは新生代古第三紀から新第三紀にかけての生物である。一方，露頭 D の安山岩が放射性同位体による測定で示した 6600 万年前という年代は，中生代と新生代の境界である。よって安山岩よりも泥岩がよりあとに形成されたとわかる。

・問 1 の解説で述べたように，露頭 A での接触変成作用のようすから，泥岩や砂岩よりも花こう岩のほうがあとになって形成されたとわかる。

・露頭 D で砂岩や頁岩の層に安山岩の岩脈が貫入していることから，この砂岩や頁岩よりも安山岩のほうがあとに形成されたとわかる。

・露頭 C で花こう岩の岩体に玄武岩の岩脈が貫入していることから，花こう岩よりも玄武岩のほうがあとになって形成されたとわかる。

・問 2 の解説で述べたように傾斜不整合のようすから，頁岩よりも砂岩のほうがあとになって形成されたとわかる。

以上を総合して，答えは③①⑥②④⑤となる。

（辻有恒，坂井郁哉，奥井晴香，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。

2016 年度 東北大学 前期 地学

5 ミランコビッチサイクル

出題範囲	ミランコビッチサイクル
難易度	★★★★☆
所要時間	13 分
傾向と対策	酸素同位体の変化とミランコビッチサイクルを題材とした出題である。設問自体は比較的よく出題される内容であるため難易度はそれほど高くないが，要求される行数が多いためある程度具体的に内容をまとめる必要があり，正確な知識が要求されている。よく出題される事項に関してはあらかじめ自分で文章をまとめておくなどといった対策をしておくようにしよう。

解答

問 1　軽い ^{16}O を含む水は重い ^{18}O を含む水より蒸発しやすいため，海水から蒸発した水蒸気の酸素同位体比 $^{18}O/^{16}O$ はもとの海水より小さい。寒冷期に氷床が発達すると，この水が陸に固定され，海水の酸素同位体比 $^{18}O/^{16}O$ は大きくなるので，海水中の O に由来する有孔虫の殻の $^{18}O/^{16}O$ も同様に大きくなる。温暖期には，陸上の氷床に固定されていた $^{18}O/^{16}O$ の小さい氷が融けて海水の $^{18}O/^{16}O$ が小さくなり，有孔虫の殻の $^{18}O/^{16}O$ も小さくなる。

問 2　約 260 万年前

理由：約 260 万年前を境に $^{18}O/^{16}O$ の値が現在よりも大きくなって気温が低くなり，短期間での気温の変動が大きい時代へと変わっているから。

問 3　周期の名称：ミランコビッチサイクル

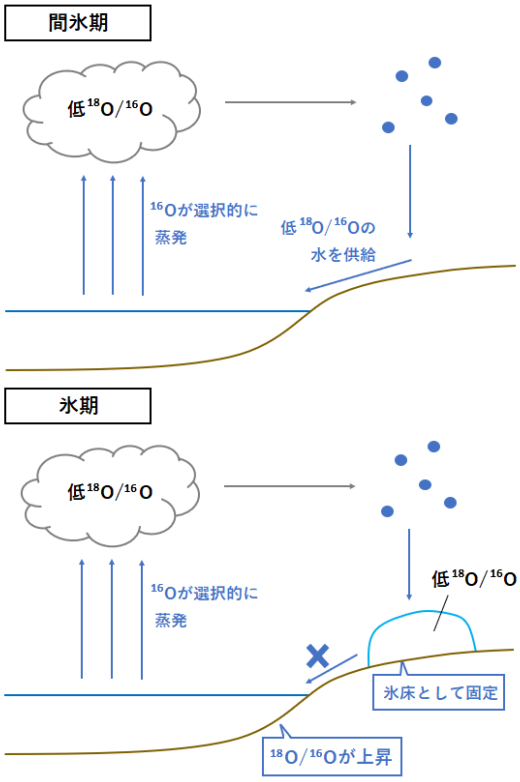
周期の要因：酸素同位体比の変化は地球の気温変化に起因する。気温変化は離心率や，地軸の公転面に対する傾き，地軸の傾斜の向きなどが周期的に変化することによって起こる。これらの変化が重なり合い，周期約 10 万年の気温変化となることが，酸素同位体比の周期的な変化の原因だと考えられている。

©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：★★★★☆

蒸発するには，分子間力によるエネルギーを上回るエネルギーによって分子が自由に動けるようになればよい。軽い同位体を含む水分子のほうが，分子同士が相互に引き合うエネルギーを上回るのに必要なエネルギーは小さく，そのため軽い同位体である ^{16}O を含む水分子のほうが重い同位体である ^{18}O を含む水分子よりも蒸発しやすい。そのため右図のように，海から蒸発して形成された雲には ^{16}O が多くなり，結局は降水に含まれる ^{16}O は多くなる。もし寒冷な時期なら ^{16}O を含む降水は氷床となって陸上に残るので，海中の ^{16}O の割合は減る。温暖な時期なら氷床は融解して海に流れ込むので ^{16}O の割合は低くはならない。つまり，$^{18}O/^{16}O$ の値は温暖なときに小さく，寒冷なときに大きくなる。海洋底に生息している有孔虫は $CaCO_3$からなる殻をつくるが，その元素の由来は海水であるため有孔虫の殻に含まれる酸素の同位体比は海水のものに依存する。有孔虫は頑丈な殻をもつため死んだあとも殻が当時の組成のまま化石として残る。そのため，有孔虫の殻に含まれる酸素の同位体比と年代を照らし合わせることで，当時の気温を推定することができる。



酸素同位体比と温度の関係

解答例

軽い ^{16}O を含む水は重い ^{18}O を含む水より蒸発しやすいため，海水から蒸発した水蒸気の酸素同位体比 $^{18}O/^{16}O$ はもとの海水より小さい。寒冷期に氷床が発達するとこの水が陸に固定され，海水の酸素同位体比 $^{18}O/^{16}O$ は大きくなるので，海水中の O に由来する有孔虫の殻の $^{18}O/^{16}O$ も同様に大きくなる。温暖期には，陸上の氷床に固定されていた $^{18}O/^{16}O$ の小さい氷が融けて海水の $^{18}O/^{16}O$ が小さくなり，有孔虫の殻の $^{18}O/^{16}O$ も小さくなる。

問 2　難易度：★★★☆☆

新第三紀と第四紀の境目は約 260 万年前である。第四紀は寒冷化が顕著となった時代であり，氷期と間氷期を繰り返して気温変動が激しいという特徴がある。この寒暖の繰り返しには約 10 万年の周期が認められ，これについての問題が問 3 である。

したがって，解答は次ページのようになる。

©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。

約 260 万年前

理由：

解答例

約 260 万年前を境に $^{18}O/^{16}O$ の値が現在よりも大きくなって気温が低くなり，短期間での気温の変動が大きい時代へと変わっているから。

問 3　難易度：★★★★☆

ミランコビッチサイクルはいくつかのことを原因としているので，複数のことに言及しなければならない。以下の 3 つには言及しておくこと。

①離心率

地球の公転軌道はケプラーの法則に従い太陽を 1 つの焦点とする楕円軌道であるが，その離心率は周期的に変化している。地球が受け取るエネルギーの大半は太陽のエネルギーであるため，軌道が変化して地球が一定時間に受け取るエネルギーが変化してしまうと，地球の気温にも大きく影響してしまう。離心率の変化はおよそ 10 万年周期である。

②地軸の傾き

地軸は地球の公転面に対して傾いている。現在はおよそ 23.4° 傾いているが，その傾きは 22° ~25° の範囲で周期的に変動することがわかっている。地軸の傾きが変化することによって季節変化にも変動が起き，地球の気候に大きく影響してしまう。気候が変動すると氷床の量などが変動するため，それによって地球のアルベドもまた変動する。そのため，地球の気温変化に起因してしまう。地軸の傾きの変化はおよそ 4.1 万年周期である。

③歳差運動

地軸はその傾きだけではなく，傾斜の向きもまた変化している。これを歳差運動という。現在地球は近日点では冬，遠日点では夏になるような地軸の傾斜をしているが，歳差運動によって傾斜の向きが変化すると近日点で夏に，遠日点で冬になることもある。すると冬と夏の寒暖差はより大きくなり，気候に大きく影響してしまう。②でも述べたように気候が変動すると気温も変動してしまう。歳差運動はおよそ 2.6 万年周期である。

以上の 3 つの大きな要因がそれぞれ影響して，各々による周期的な気温変化がみられる。これらの周期変化が時代によって影響の大きさを変化させつつ重なり合うことで，気温変化には約 10 万年の周期が認められる。問 1 で述べたように気温の変化によって酸素同位体比は変化する。そのため，酸素同位体比の変化にも約 10 万年の周期が認められるのである。

したがって，解答は下のようになる。

周期の名称：**ミランコビッチサイクル**

周期の要因：

解答例

酸素同位体比の変化は地球の気温変化に起因する。気温変化は離心率や，地軸の公転面に対する傾き，地軸の傾

©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。

斜の向きなどが周期的に変化することによって起こる。これらの変化が重なり合い，周期約 10 万年の気温変化となることが，酸素同位体比の周期的な変化の原因だと考えられている。

（坂井郁哉，奥井晴香，辻有恒，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。