

# 2016 年度 京都大学 前期 地学

## 地学問題 I 宇宙

出題範囲	恒星
難易度	★★★★☆
所要時間	18分
傾向と対策	シュテファン・ボルツマンの法則や等級の概念、ドップラー効果といった幅広い事項がテーマとされ、思考力と計算力が必要なやや難しい大問である。また、問3のように図を読解しなければならない問題もあり、想像力も試されている問題でもある。宇宙分野に関する問題ではこのように計算が必要な問題が多いので、過去問等で演習をして慣れておくことが肝要。加えて、このような大問では問1や問3のような知識問題や誘導のある問題は確実に正解したい。

### 解答

問1 ア：組成 イ：短く ウ：長く エ：ドップラー

問2 この星は太陽より 7.5 等級明るい、つまり明るさが約 1000 倍である。シュテファン・ボルツマンの法則より表面温度が等しいときは単位面積あたりに放出されるエネルギーは等しいため、明るさは半径の 2 乗に比例する。よって、半径は  $\sqrt{1000} \cong 3 \times 10$  倍

問3 (1) この星自体が太陽系に近づく運動をしているから。

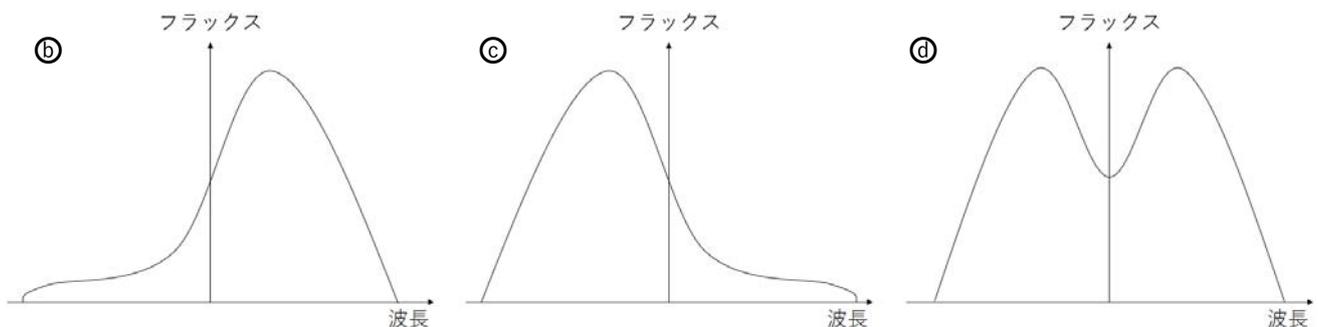
(2) C

理由：視線速度が平均を下回るのは星の表面が太陽系に近づく膨張時で、膨張が終わる点が最も膨張した時であるから。

問4 白色矮星

理由：与式より  $r = \frac{GM}{v^2}$  であり、問題文中で与えられた値を用いて主星中心から円盤内縁までの距離を求めると約  $1 \times 10^7 \text{m}$  となる。したがって、円盤内縁と主星の表面が接していることから、主星は太陽と同程度の質量で半径は太陽の 10 分の 1 以下であるとわかるので、適するのは白色矮星である。

問5



## 解説

(a)

## 問1 難易度：★★★★☆

## ア：組成

元素によって吸収または放出する光の波長は決まっており、スペクトル中の吸収線(暗線)や輝線からその光を放つ恒星の大気の構成元素を調べることができる。太陽光線のスペクトル内には数万本の吸収線(暗線)があり、これを特に Fraunhofer 線とよぶ。

## ◆Check!! スペクトル型

光を分光器で分散させると赤・橙・黄・緑・青・藍・紫といった具合に色が並んだ光の帯ができ、これをスペクトルという。恒星の光をスペクトル分解すると、恒星の大気の成分等による吸収線(暗線)や輝線がみられ、その特徴によって大まかにいくつかの型に分類される。スペクトル型は恒星の温度と色と密接な関係があり、以下の表のようになる。また、各スペクトル型内でも 10 段階に細分化されており、0 は最も温度が高く、9 は最も温度が低い。

スペクトル型	O	B	A	F	G	K	M
表面温度(K)	60,000 ~ 29,000	10,000 ~ 7,500	6,000 ~ 5,300	3,900 ~ 2,500			
恒星の色	青	青白	白	黄白	黄	橙	赤

スペクトル型は覚えておこう。(覚え方：Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me!)

また、太陽の表面温度は約 5800K であることと結び付けて、太陽のスペクトル型が G2 型であることは覚えておこう。

## イ：短く ウ：長く エ：ドップラー

光のドップラー効果の式を考える。観測者からガスへの向きを正としてガスの運動速度を  $v$ 、光速を  $c$ 、光源の発する光の波長を  $f$ 、観測される光の周波数を  $f'$  とすると、

$$f' = f \frac{c}{c + v}$$

となる。ここで、周波数 =  $\frac{\text{光速}}{\text{波長}}$  であり、光源の発する光の波長を  $\lambda$  とすると、観測される光の波長は  $\lambda + \Delta\lambda$  となる

ので、 $f = \frac{c}{\lambda}$   $f' = \frac{c}{\lambda + \Delta\lambda}$  であり、代入すると、

$$\frac{c}{\lambda + \Delta\lambda} = \frac{c}{\lambda} \times \frac{c}{c + v}$$

となるので、両辺を  $c$  で割って、両辺に  $(\lambda + \Delta\lambda)\lambda(c + v)$  をかけると、

$$c(\lambda + \Delta\lambda) = \lambda(c + v)$$

これを展開して整理すると、 $c\Delta\lambda = v\lambda$  となる。

つまり、 $v$ が正のとき $\Delta\lambda$ も正、 $v$ が負のときは $\Delta\lambda$ も負である。 $v$ の正の向きを考慮すると、ドップラー効果が起ると観測者に近づくガスからの光の波長は短く、遠ざかるガスからの光の波長は長くなる。

解答をまとめると、ア：組成 イ：短く ウ：長く エ：ドップラー となる。

## 問2 難易度：★★★★☆

この星の絶対等級は $-2.6$ 等、太陽は $4.9$ 等であるため、この星は太陽より $4.9 - (-2.6) = 7.5$ 等級小さい。 $5$ 等級小さいと $100$ 倍、 $2.5$ 等級小さいと $10$ 倍明るいので、この星の光度は太陽の光度の $100 \times 10 = 1000$ 倍である。

次に、シュテファン・ボルツマンの法則より、単位面積あたりに放射されるエネルギーはその温度の $4$ 乗に比例する。恒星の光度は単位面積あたりに放射されるエネルギーと恒星の表面積の積であり、シュテファン・ボルツマン定数を $\sigma$ 、求める半径を $R$ 、太陽半径を $R_{\odot}$ 、この星の表面温度を $T$ 、太陽の表面温度を $T_{\odot}$ として、この星の光度が太陽の光度の $1000$ 倍であることから式を立てると

$$4\pi R^2 \times \sigma T^4 = 4\pi R_{\odot}^2 \times \sigma T_{\odot}^4 \times 1000$$

ここで問題文より $T = T_{\odot}$ だから

$$R^2 = R_{\odot}^2 \times 1000$$

$$\therefore R = \sqrt{1000}R_{\odot} \cong 3 \times 10R_{\odot}$$

よって、光度が大きい図1の星の方が $\sqrt{1000} \cong 3 \times 10$ 倍大きい。

### ◆Check!! シュテファン・ボルツマンの法則と恒星の輝度

黒体の表面の $1\text{m}^2$ から $1$ 秒あたりに放出される放射のエネルギー $E$ は定数 $\sigma$ と表面温度 $T$ を用いて、 $E = \sigma T^4$ と表され、これをシュテファン・ボルツマンの法則とよぶ。ちなみに、定数の値は $\sigma \cong 5.670 \times 10^{-8}\text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ である。

恒星が放射するエネルギーの量はその恒星の表面積、つまり $4\pi R^2$ ( $R$ は恒星の半径)に比例しており、半径 $R$ の恒星が $1$ 秒間に放射する全エネルギー(光度) $L$ は

$$L = 4\pi R^2 \times \sigma T^4$$

で表される。この式は覚えておくと便利だろう。

## 問3

### (1) 難易度：★★★★☆

問題文よりマイナスの視線速度は観測者に近づく運動を意味しているので、平均速度が $0$ ではなくマイナスなのは星自体が太陽系に近づく運動をしているからだと考えられる。

それぞれの星はそれぞれが固有の運動をしていて天球上での位置も変化している。遠く離れているために数

年・数十年の単位では変化はみえないが、数万年・数十万年の単位では恒星の位置は大きく動いて異なる場所に見えるようになる。

**解答例**

この星自体が太陽系に近づく運動をしているから。

**(2) 難易度：★★★★☆**

(1)からもわかるように、平均視線速度が星自体(星の中心)の運動の速度である。したがって、星の視線速度が平均速度を下回る値のときは、星の表面が星の中心よりも速く地球に近づいている状態であり、星の中心と表面の距離が長くなる、つまりは星が膨張していることを示す。逆に、星の視線速度が平均速度を上回る値のときは、星の表面が星の中心よりもゆっくり地球に近づいている状態であり、星の中心と表面の距離が短くなる、つまりは星が収縮していることを示す。

これを念頭に考えると、視線速度が平均を下回る A-C 間では膨張、視線速度が平均を上回る C-A 間では収縮が起きているので、この脈動変光星の大きさは膨張が終わる C 点で最大に、収縮が終わる A 点で最小になる。一見 B や D が答えとなりそうだが、この 2 点は膨張や収縮のスピードが速いだけであり、恒星の大きさとは関係ないことに注意しよう。

以上より、解答は次のようになる。

**C**

理由：

**解答例**

視線速度が平均を下回るのは星の表面が太陽系に近づく膨張時で、膨張が終わる点が最も膨張したときであるから。

**(b)**

**問 4 難易度：★★★★☆**

問題文より

$$\frac{GM}{r^2} = \frac{v^2}{r}$$

であり、これを变形して主星から円盤内縁までの距離  $r$  の具体的な値を求めてみる。 $G = 6.7 \times 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$ 、 $M = 2.0 \times 10^{30} \text{kg}$ 、 $v = 3.6 \times 10^6 \text{m/s}$ を用いて、

$$r = \frac{GM}{v^2} = \frac{6.7 \times 10^{-11} \times 2.0 \times 10^{30}}{(3.6 \times 10^6)^2} = \frac{13.4 \times 10^{19}}{12.96 \times 10^{12}} \cong 1 \times 10^7 \text{m}$$

である。この値は主星の中心から円盤内縁までの距離であるが、円盤内縁は主星に接しているので主星の半径と等しいと考えられる。問題文より太陽の半径は  $7 \times 10^8 \text{m}$  であるから、この値は太陽半径の 10 分の 1 以下である。したがって、太陽と質量が同じであるが半径が 10 分の 1 以下なので密度が大きい天体である白色矮星が答えと

なる。理由は以上の考察をまとめればよい。

主系列星は太陽と密度はあまり変わらず、巨星は太陽よりも密度が小さいと考えられるため誤り。中性子星は密度が太陽の 100 兆倍と大きすぎ、地球型惑星は質量が太陽よりもずっと小さいので不適である。

### 白色矮星

理由：

**解答例**

与式より  $r = \frac{GM}{v^2}$  であり、問題文中で与えられた値を用いて主星中心から円盤内縁までの距離を求めると約  $1 \times 10^7 \text{m}$  と求まる。したがって、円盤内縁と主星の表面が接していることから、主星は太陽と同程度の質量で半径は太陽の 10 分の 1 以下であるとわかるので、適するのは白色矮星である。

### 問 5 難易度：★★★★☆

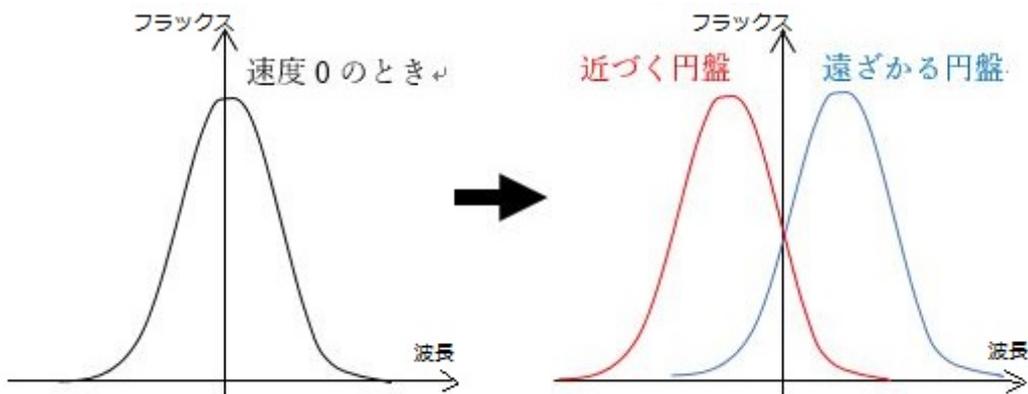
円盤のガスが発する輝線が伴星によってどのように隠されるかを考えればよい。まず、輝線のフラックスのピークが長波長側と短波長側に分かれているが、これはドップラー効果が原因である。問題文より連星系の公転による影響は無視できるので、ガス円盤の運動に注目すればよい。(a)の問 1 でも解説したように、観測者に近づくガスからの光の波長は短く、遠ざかるガスからの光の波長は長くなる。したがって、回転するガス円盤のうち、観測者に近づく動きをしている約半分が波長が短いほうに、観測者から遠ざかる動きをしている約半分が波長の長いほうにピークを作っていると考えることができる(下図)。これを念頭にそれぞれの場合について考えよう。

㊸は伴星によって円盤の左半分(観測者に近づいている側)が隠されて観測される。したがって、波長の短い側のフラックスが小さく観測されるはずである。

㊹は伴星によって円盤の右半分(観測者から遠ざかっている側)が隠されて観測される。したがって、波長の長い側のフラックスが小さく観測されるはずである。

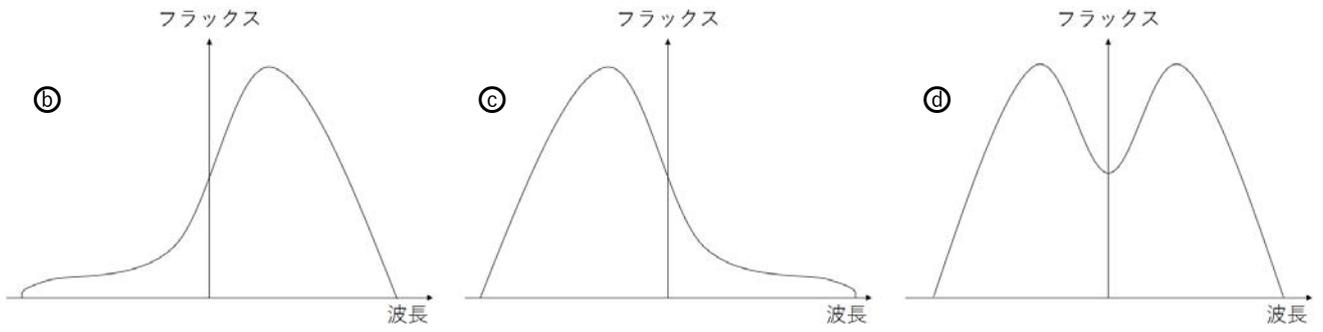
㊺は伴星によって円盤は隠されずに観測される。したがって、この時は㊸と同じようなフラックスの分布がみられるはずである。

よって、これらより下に示す解答のような図が書ける。



円盤の運動とガスの輝線の波長の変化

解答例



(西山学, 笠見京平, 坂井郁哉, 仁木創太)

# 2016 年度 京都大学 前期 地学

## 地学問題 II 地球大気と海水の運動

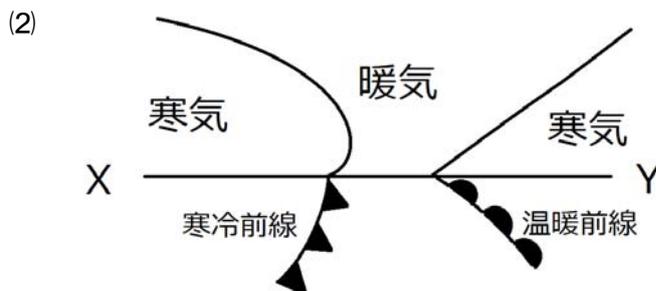
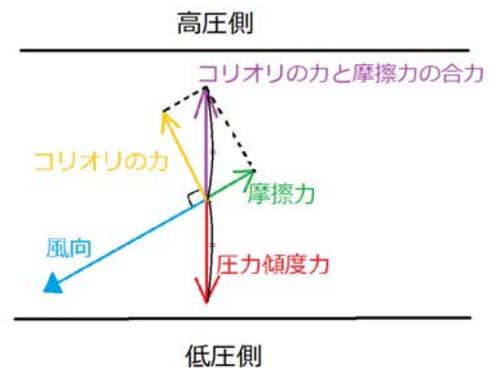
出題範囲	大気の運動/海水の運動
難易度	★★★★☆
所要時間	18分
傾向と対策	問2の(3)(4)以外はどれもオーソドックスな知識問題で、教科書の説明や図表等を読み込んでおけば難なく対応できたであろう。問2の(4)についても計算問題ではあるが、問題文をよく読んで考えれば解ける標準的な難易度であった。しかし、問2の(3)の台風についての問題では台風についての教科書などでもほとんど扱われていないようなかなり細かい知識を要求されており、解けなかったとしてもあまり気を揉まないでほしい。

### 解答

問1 ア：時計 イ：左 ウ：右 エ：低 オ：熱帯 カ：遠心 キ：気圧傾度

問2 (1) 風向：北東

(理由)右図のようにコリオリの力と摩擦力の合力が南向きの気圧傾度力につり合うように風が吹くため。



(3) 地表近くにおいて低圧である中心部に向かって風が吹き込み、遠心力と気圧傾度力がつり合うために中心部まで吹き込めなくなった風が中心部の周辺でらせん状の上昇気流を形成する。この上昇気流で断熱膨張した空気塊では水蒸気の凝結が起き、放出される潜熱によって空気塊が暖められてさらに上昇気流を強める。こうして積乱雲が形成・発達してゆく。中心部は風が吹き込めなくなっており下降気流が形成されるため雲が発生しにくくなる。

(4) 高度 1km での空気塊の温度は  $25^{\circ}\text{C} - 0.50^{\circ}\text{C}/100\text{m} \times 1000\text{m} = 20^{\circ}\text{C}$  であるから、求める水の量は

$$(22.8 - 17.2)\text{g}/\text{m}^3 \times 10^9\text{m}^3 \times 10^{-3}\text{kg}/\text{g} \cong 6 \times 10^6\text{kg}$$

問3 (1) 北側を東向きに吹く偏西風と南側を西向きに吹く貿易風がもたらす吹送流によって、北側では南向き

に、南側では北向きに海水が運ばれ、これにより中央に海水が集められて中央部の海面が高くなる。そのため中央部から外側の向きに圧力傾度力が発生し、これにコリオリの力がつり合うように時計回りの環流が形成される。

- (2) 極域では海水温が低いいため海水の密度が高くなる。また、海水が凍る際に塩類は氷に取り込まれずに海水中に残り、これによって塩分が上昇して密度が高くなる。こうして重くなった海水が極域で沈み込んでいる。

**解説**

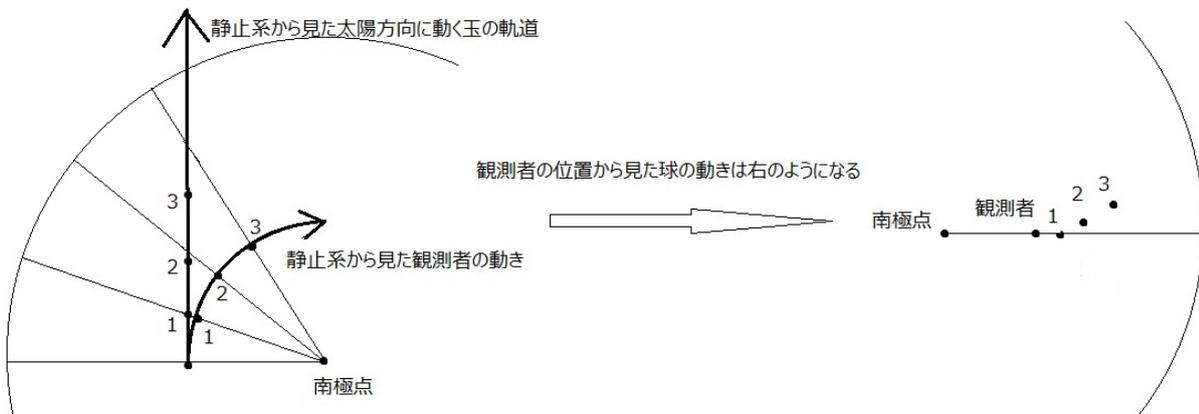
**問1 難易度：★★★★☆**

**ア：時計**

地球は北極点上空から見て反時計回り、南極点上空から見て時計回りに自転している。

**イ：左**

南半球を考慮するので、時計回りに回転する円盤に乗った場合を考えてみるとよい。下図のように円盤に観測者が乗って円の半径方向を向いて玉の動きを観測すると、だんだんと左側に寄っていくように見える。イメージがつかなければ、フィギュアスケーターのように回転しながら腕をまっすぐ前後に動かしてみればわかるだろう。



**南半球でのコリオリの力**

**ウ：右 エ：低**

コリオリの力とは回転する物体上で運動する際にかかる見かけの力で、地球表面という回転座標系において移動する空気塊にも生じる。北半球では進行方向に対して右に、南半球では左に生じており、単位体積の空気塊に働く転向力の大きさ  $f$  は  $f = 2\rho\omega v \sin\varphi$  と表されるここで  $\rho$  は空気の密度、 $\omega$  は自転角速度、 $v$  は風速、 $\varphi$  は緯度である。そのため、緯度が低いほどコリオリの力は小さくなる。

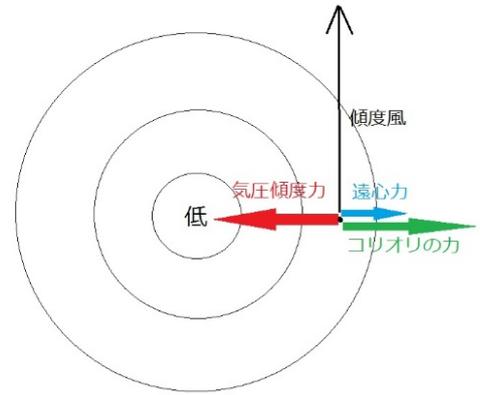
オ：熱帯

熱帯低気圧は場所によって名称が変わる。北太平洋西部に存在する風速約 17m/s を超えるものは台風，大西洋や北太平洋東部で発生した風速約 32m/s を超えるものをハリケーン，インド洋や太平洋南部で発生したものをサイクロンとよぶ。

カ：遠心 キ：気圧傾度

低気圧では右図のように遠心力とコリオリの力の合力が気圧傾度力と釣り合うように風が吹く。この風を傾度風と呼ぶ。

大気の大循環や環流の西岸強化など他のコリオリの力が関連する事象についても確認しておこう。



低気圧付近の上空の風

以上より解答をまとめると、ア：時計 イ：左 ウ：右 エ：低 オ：熱帯 カ：遠心 キ：気圧傾度 となる。

問 2

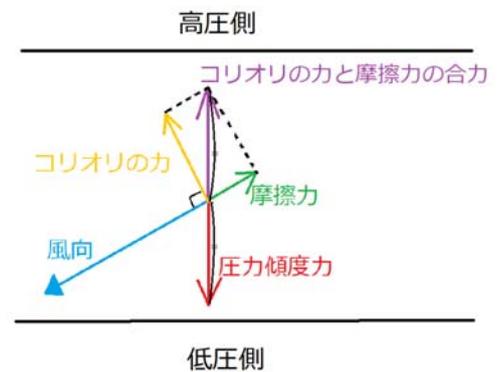
(1) 難易度：★★★★☆

地表付近では摩擦力と転向力の合力が気圧傾度力と釣り合うように風が吹いている。問題中の A 地点では北側が高圧，南側が低圧になっていることが天気図から読み取れ，このことから気圧傾度力は北から南の向きにはたらいっていることがわかる。A 地点は北半球なので風の進行方向に対して垂直右向きに転向力がはたらく。また，摩擦力は風の吹く向きとは逆向きにはたらくため，これらの 3 つの力がうまくつり合うようにするには図のように北東風である必要がある。

解答例

風向：北東

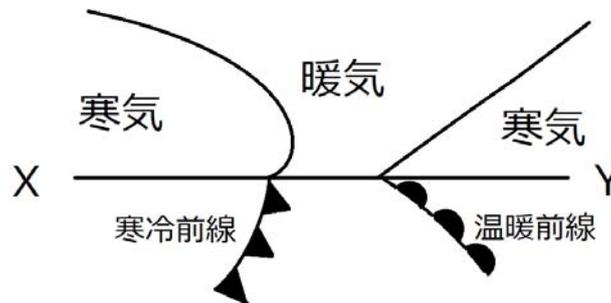
理由：右図のようにコリオリの力と摩擦力の合力が南向きの気圧傾度力につり合うように風が吹くため。



(2) 難易度：★★★★☆

低気圧 B は温帯低気圧であり，寒気と暖気から構成されるため温暖前線と寒冷前線をもっている。温暖前線は重い寒気の上を軽い暖気が緩やかに上昇し，寒気をゆっくり押しながらか移動する。一方，寒冷前線は軽い暖気の下に重い寒気が潜り込んだ構造をしており，暖気を押し上げながらか移動する。したがって，寒気と暖気の分布は解答例の下図のようになる。

## 解答例



## (3) 難易度：★★★★★

台風は熱帯低気圧であり、中心部に向かって渦を巻きながら風が吹き込む。そうして風が中心部に吹き込んでいくと、遠心力は回転中心からの距離(ここでは台風の中心からの距離)に反比例するため、中心ほど遠心力が強くなる。するとある時点で遠心力と気圧傾度力が釣り合い、風の流れは等圧線に沿った流れになり、それ以上中心側に空気は入ることができなくなる。しかし、外から風は吹き込み続けるため、行き場を失った空気は上昇せざるを得なくなり、らせん状の上昇気流が作り出される。この上昇気流で空気が断熱膨張し、水蒸気の凝結が起きる。さらにこの際放出される凝結熱が空気を暖め、さらに上昇気流が強まる。その結果、台風では積乱雲が形成・発達していく。また、こうして目のまわりにはアイ・ウォールとよばれる積乱雲の壁ができ、これより中には上昇気流が発生せず雲のない目が形成される。加えて、アイ・ウォールにおける上昇気流の補償流として目では弱い下降気流も形成される。これは低圧部である台風の目に地上からは風が吹き込めないため、それを補うには上空から風が吹かざるを得ないことが原因である。この下降流の影響で雲はできない。これをまとめると、以下ようになる。

## 解答例

地表近くにおいて低圧である中心部に向かって風が吹き込み、遠心力と気圧傾度力が釣り合うために中心部まで吹き込めなくなった風が中心部の周辺でらせん状の上昇気流を形成する。この上昇気流で断熱膨張した空気塊では水蒸気の凝結が起き、放出される潜熱によって空気塊が暖められてさらに上昇気流を強める。こうして積乱雲が形成・発達してゆく。中心部は風が吹き込めなくなっており下降気流が形成されるため雲が発生しにくくなる。

## (4) 難易度：★★★★☆

問題文より、台風に近い海面上の空気塊の湿度は 100%であるから、空気塊の上昇に伴う気温の減率は湿潤断熱減率  $0.50^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  (100m 上昇すると  $0.5^{\circ}\text{C}$  気温が下がる) に沿うはずである。したがって、海面上での気温は  $25^{\circ}\text{C}$  であり、1km 上昇すると気温は

$$25^{\circ}\text{C} - 0.50^{\circ}\text{C}/100\text{m} \times 1000\text{m} = 20^{\circ}\text{C}$$

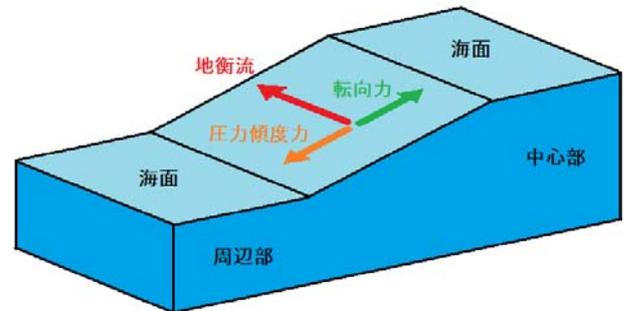
となる。表 1 より飽和水蒸気量は  $25.0^{\circ}\text{C}$  で  $22.8\text{g}/\text{m}^3$ 、 $20^{\circ}\text{C}$  で  $17.2\text{g}/\text{m}^3$  であるから、気温が下がると  $1\text{m}^3$  あたりこの差分が凝結する。したがって、 $1\text{km}^3=10^9\text{m}^3$  であるから、求める、水の量は

$$(22.8 - 17.2)\text{g}/\text{m}^3 \times 10^9\text{m}^3 = 5.6 \times 10^9\text{g} \cong 6 \times 10^6\text{kg}$$

### 問 3

#### (1) 難易度：★★★★☆

北半球では転向力は進行方向に対して右方向にはたらく。そのため、海上の風に引きずられて動く海洋表層の海水は、転向力がかかると風の進行方向から右にずれた方向へと動いていく。偏西風は西から東へと吹く風なので、海洋表層の水は風下の東に対して右側、つまり南側に運ばれる。これを吹送流とよぶ。一方、貿易風は東から西へと吹く風であるので、西に対して右側、つまり北側に運ばれる。こうして、北側の偏西風帯では南向きに、南側の貿易風帯では北向きに水が運ばれ、中心方向に海水が集められる。こうして中心部分で海面は高くなり、周辺部が低くなる。海面が高い中心部のほうが周辺部より水圧が高いため、中心部から周辺部へと圧力傾度力がはたらく。すると、右図のように圧力傾度力と転向力が釣り合うように流れが生じ、この流れのことを地衡流という。地衡流は海面が高い方を右手にみて流れる。このため北半球においては時計回りの環流ができる。



地衡流

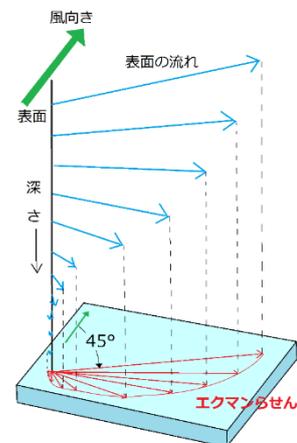
#### 解答例

北側を東向きに吹く偏西風と南側を西向きに吹く貿易風がもたらす吹送流によって、北側では南向きに、南側では北向きに海水が運ばれ、これにより中央に海水が集められて中央部の海面が高くなる。そのため中央部から外側の向きに圧力傾度力が発生し、これにコリオリの力が釣り合うように時計回りの環流が形成される。

#### ◆Check!! 吹送流

海水が風により引きずられて生じる海流を吹送流とよぶ。吹送流の流れの向きは転向力の影響を受けて、風向から北半球では右方向に（南半球では左方向に） $45$  度ずれて流れる。水深が大きくなるにつれて流速は小さくなり、流向は右回り（南半球では左回り）に変化していく。

このように吹送流の流速と流向は水深によって変化していくが、これを積分（総和）すると海水は風向に対して直角右向き（南半球では左向き）に輸送される。これをエクマン輸送という。



吹送流

## (2) 難易度：★★★★☆

海水の沈み込みには海水の密度が大きく関係している。海水の密度は海水温と塩分できまり、海水の密度は水温が低いほど大きく、塩分が高いほど大きくなっている。極域は日射による加熱が少ないため海水温が低い。また、海水が凍る際に塩類は氷に取り込まれないようにふるまうため、氷の周りでは塩類が取り残されて塩分が上昇する。こうして極域では表層の海水の密度が大きくなって深層に沈み込み、深層循環を引き起こすことが知られている。

**解答例**

極域では海水温が低いため海水の密度が高くなる。また、海水が凍る際に塩類は氷に取り込まれずに海水中に残り、これによって塩分が上昇して密度が高くなる。こうして重くなった海水が極域で沈み込んでいる。

(西山学, 奥井晴香, 芝田力, 諸星暁之)

# 2016 年度 京都大学 前期 地学

## 地学問題Ⅲ 太古の地球環境の変化・核とマントルの分離

出題範囲	地球の内部構造/地球史
難易度	★★★★☆
所要時間	18分
傾向と対策	(a)については問1と問2は基礎的な問題であったが、問3は生物の知識も必要とされる難問である。ただ、原核生物から真核生物への進化は地球史上で重要な出来事なのでこの機会に覚えてもらいたい。(b)については受験生にとっては見慣れない問題であっただろう。しかし、このような教科書等に乗ってないような事項が題材となるときは導入文にヒントが隠されていることが多いので、しっかりと問題文を読み込んでから考えることが重要である。

### 解答

問1 鉄・ニッケル

問2 原始大気の主成分である二酸化炭素が海洋に溶解込み炭酸塩として固定されることで大気中から取り除かれ、大気の主成分が二酸化炭素から窒素へと変化した。

問3 ストロマトライトとよばれる層状の構造の生痕化石を残すことで知られる、光合成色素をもつ原核生物であるシアノバクテリアが登場し、光合成によって二酸化炭素を吸収して酸素を放出することで大気中および海洋中の酸素濃度が上昇した。これによって海中で酸素と鉄イオンが結びついて沈殿し、縞状鉄鉱層が形成された。また、嫌気性の原核生物の一部で、好気性細菌を細胞内に共生させて酸素からエネルギーを得ることを可能にした種が酸素の増加した環境に適応し、またDNAを核膜で覆って酸素から保護するようになり、真核生物へと進化した。(248字)

問4 (1)  $^{182}\text{Hf}$ の量が10分の1以下に減少するのにかかる時間を $t$ 年以上だとすると、

$$\frac{1}{10} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{8.9 \times 10^6}}$$

両辺の対数をとって計算すると

$$-1 = \frac{t}{8.9 \times 10^6} \times (-\log_{10} 2)$$

$$t = 8.9 \times 10^6 \times \frac{1}{0.301} \cong 3.0 \times 10^7$$

よって、 $3.0 \times 10^7$ 年

(2) 分離時は核もマントルも $^{182}\text{W}$ 同位体比は同じであるが、マントルでは $^{182}\text{Hf}$ の放射壊変で $^{182}\text{W}$ が増加し $^{182}\text{W}$ 同位体比が上がる一方、核にはハフニウムが含まれないため $^{182}\text{W}$ 同位体比に変化がなく、マントルのほうが $^{182}\text{W}$ 同位体比は大きくなる。

## 解説

(a)

## 問1 難易度：★★★★☆

地球の核は Fe が約 90%、Ni が約 5%であり、残りが Co などその他の元素である。以下にマントルや地殻の化学組成も示しておくので確認しておいてもらいたい。

地殻		マントル	
化学式	存在比率	化学式	存在比率
SiO <sub>2</sub>	57.3%	SiO <sub>2</sub>	46%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.9%	MgO	37.8%
FeO	9.1%	FeO	7.6%
CaO	7.4%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.1%
MgO	5.3%	CaO	3.2%
Na <sub>2</sub> O	3.1%	Na <sub>2</sub> O	0.3%
K <sub>2</sub> O	1.1%		
TiO <sub>2</sub>	0.9%		

よって、主要な元素 2 つは、**鉄・ニッケル**である。

## 問2 難易度：★★★★☆

地球の原始大気は微惑星から放出された二酸化炭素がほとんどを占めており、現在の地球の数十倍もの厚さの大気であった。しかし、徐々に気温が下がって大気中の水蒸気が雨となって降り注いで海を形成すると、水に溶けやすい二酸化炭素は海に溶け込み、海中の Ca などと結びついて石灰岩などとなって固定された。こうして二酸化炭素が主成分の厚い大気は窒素が主体の薄い大気へと変化していった。

- ・二酸化炭素は海中に溶け込み固定されたこと
- ・大気の主成分が二酸化炭素から窒素に変化したこと

この 2 点が解答に必要な要素である。

## 解答例

原始大気の主成分である二酸化炭素が海洋に溶け込み炭酸塩として固定されることで大気中から取り除かれ、大気の主成分が二酸化炭素から窒素へと変化した。

## 問3 難易度：★★★★☆

以下の 3 点をまとめる問題である。

- ①約 27 億年前に光合成をする原核生物であるシアノバクテリア(ラン藻類)が登場。ストロマトライト(ラン藻類の生痕化石)がその証拠であり、光合成によって二酸化炭素が吸収され酸素濃度が上昇。
- ②酸素濃度が上昇して海中の鉄イオンと結合して沈殿。この際に堆積した酸化鉄層は縞状構造をしているため縞状鉄鉱層とよばれる。

- ③酸素濃度の上昇により嫌気性(酸素を嫌う)原核生物は生存危機に直面した。そこで好気性(酸素を好む)原核生物を細胞内に共生させることで酸素を使ってエネルギーを得られるようになった生物が登場し、この生存危機を乗り越えることができた。この好気性原核生物が現在の真核生物の細胞内に存在するミトコンドリアだといわれており、ミトコンドリアが二重膜や独自のDNAをもつことが証拠とされている。また、嫌気性原核生物は核膜を用いることでDNAを酸素から保護するようになった。これが真核生物の起源となった。

**解答例**

ストロマトライトとよばれる層状の構造の生痕化石を残すことで知られる、光合成色素をもつ原核生物であるシアノバクテリアが登場し、光合成によって二酸化炭素を吸収して酸素を放出することで大気中および海洋中の酸素濃度が上昇した。これによって海中で酸素と鉄イオンが結びついて沈殿し、縞状鉄鉱層が形成された。また、嫌気性の原核生物の一部で、好気性細菌を細胞内に共生させて酸素からエネルギーを得ることを可能にした種が酸素の増加した環境に適応し、またDNAを核膜で覆って酸素から保護するようになり、真核生物へと進化した。(248字)

(b)

**問4****(1) 難易度：★★★★☆**

$^{182}\text{Hf}$ の量が10分の1に減少するのにかかる時間を $t$ 年だとすると、 $^{182}\text{Hf}$ の半減期が $8.9 \times 10^6$ 年であるから、

$$\frac{1}{10} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{8.9 \times 10^6}}$$

両辺の自然対数をとって計算すると

$$-1 = \frac{t}{8.9 \times 10^6} \times (-\log_{10} 2)$$

これを整理すると

$$t = 8.9 \times 10^6 \times \frac{1}{0.301} \approx 3.0 \times 10^7$$

よって、 $3.0 \times 10^7$ 年が、求める解となる。

**◆Check!! 放射性同位体と半減期**

放射性同位体は温度や圧力によらない一定の速度で安定な原子に変化する。放射性同位体量がはじめの半分になるまでに要する時間を半減期といい、以下の公式が成り立つ。なお、 $N$  :  $t$ 年後の量、 $N_0$  : はじめの量、 $T$  : 半減期である。

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

**(2) 難易度：★★★★☆**

問題文より核とマントルの分離時、 $^{182}\text{W}$ 同位体比は核とマントル両方で等しい。その後の同位体比の増加は $^{182}\text{Hf}$ の放射壊変によって生成されるため、ある程度時間が経つと $^{182}\text{Hf}$ が多く含まれる領域ほど $^{182}\text{W}$ 同位体比が

大きくなる。問題文よりハフニウムは全てマントルに含まれ核には含まれないため、分離してから長期間経った現在の地球では放射壊変が進み、核よりもマントルの方が $^{182}\text{W}$ 同位体比は大きくなっている。

このような見慣れない設問で戸惑う受験生は多いかもしれない。しかし、こういった問題では問題文中にヒントがあることが多いので、落ち着いて取り組むことが肝要である。

**解答例**

分離時は核もマントルも $^{182}\text{W}$ 同位体比は同じであるが、マントルでは $^{182}\text{Hf}$ の放射壊変で $^{182}\text{W}$ が増加し $^{182}\text{W}$ 同位体比が上がる一方、核にはハフニウムが含まれないため $^{182}\text{W}$ 同位体比に変化がなく、マントルのほうが $^{182}\text{W}$ 同位体比は大きくなる。

(西山学, 芝田力, 辻有恒, 諸星暎之)

# 2016 年度 京都大学 前期 地学

## 地学問題IV 地質図の読図と地質断面図の作成

出題範囲	地質図・地質断面図
難易度	★★☆☆☆
所要時間	18分
傾向と対策	この年の京大地学の問題の中では最もやさしい大問であったといえるだろう。地質図・地質断面図の問題では走向線を引いて地質断面図を推測するという作業が必要な問題が数多く出題されているので、何度も反復練習して間違えないように慣れておきたい。また、問4の火成岩や問5の示準化石については頻出の知識問題である。確実に得点できるようにしっかりと暗記しておいてもらいたい。

### 解答

問1 地点1・2・7

問2 A・B層が背斜構造をしていることから地層が堆積したのちに東西方向から圧縮力を受けており、そこから流紋岩が貫入した1億年前までの間に正断層である断層Fが形成されていることから東西方向に引っ張る力を受けたと考えられる。(107字)

問3 (い)

理由：地層の逆転はなかったので堆積順は古いほうからD・A・B・Cの順であり、B層にモノチスが産出することからC層の形成は三畳紀以降である。また、断層Fの形成後は傾斜が変化していないためC層の形成は断層Fより古く、流紋岩は断層Fを切っているため断層Fのほうが古いことから、C層の形成は流紋岩が形成された1億年より前だとわかるため。(158字)

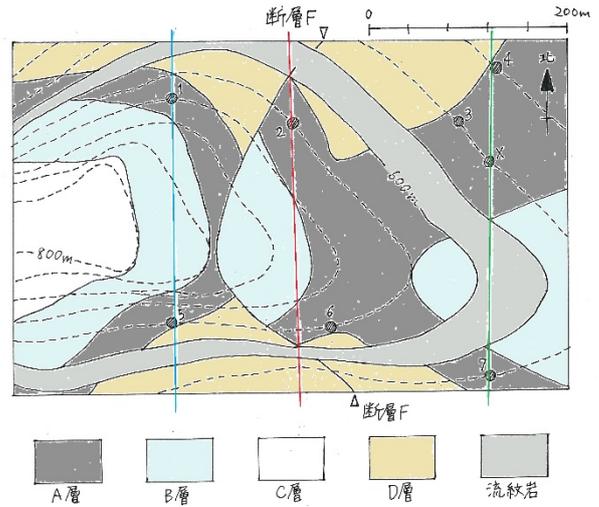
問4 (う)

問5 (か)

**解説**

**問 1 難易度：★★★★☆**

露頭 X でみられた凝灰岩層は A 層中に存在している。右図の緑の走向線に注目すると、X の標高は 520m、A 層と D 層の境は 480m であるから、火山灰層は A 層と D 層との境から 40m 上に位置すると推測することができる。右図の緑の走向線上では標高 520m の場所に凝灰岩層があるので地点 7 でも凝灰岩層がみられると考えられる。なお、この問題では A・B 層の境界の傾斜は一定なので、A・B 層の境界と D 層の標高差は常に一定である。次に、右図の赤の走向線上では A 層と D 層の境界の標高は 600m であるから、この走向線上では標高 640m の場所、つまり地点 2 で凝灰岩がみられるはずである。最後に、右図の青の走向線上では A 層と D 層の境界の標高は 640m であるから、この走向線上では標高 680m の場所、つまり地点 1 で凝灰岩が見られるはずである。他の地点はいずれも A 層と D 層の境界に近接しているため適さない。よって、答えは**地点 1・2・7**となる。



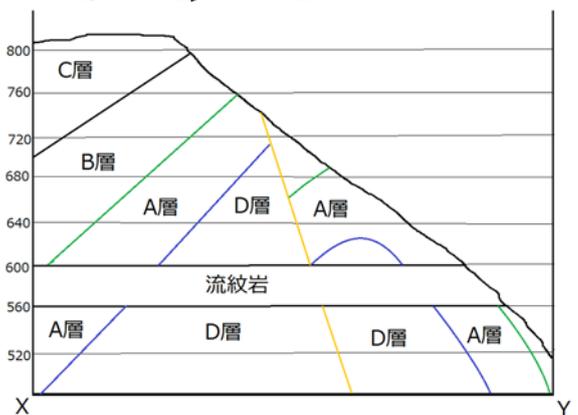
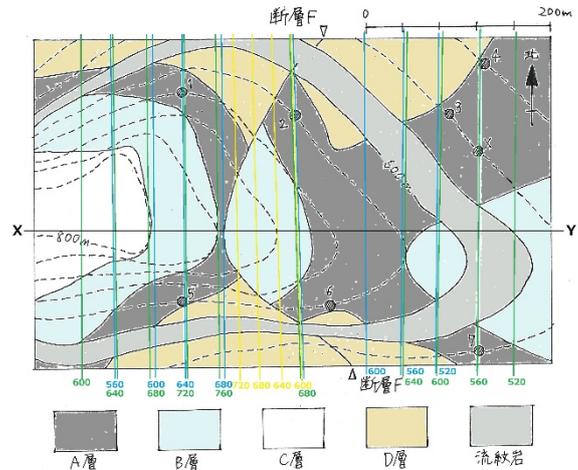
**問 2 難易度：★★★★☆**

図 1 を用いて地質断面図を書くと右下図のようになる。緑線が A 層と B 層の境界、青線が A 層と D 層の境界、黄線が断層 F を示す。

右図よりこの地域の地層に起きた出来事は D・A・B・C 層の堆積→褶曲(背斜)形成→断層 F 形成→流紋岩の貫入の順である。褶曲構造は圧縮力を受けて形成するので、この地域の地層にはまず東西方向から押される力がはたらいていたとわかる。次に、断層 F は上側がずり落ちているので正断層であり、東西方向に引っ張られる力を受けたとわかる。このように、この地域の地層にかかった力を読み取ることができる。

**解答例**

A・B 層が背斜構造をしていることから地層が堆積したのちに東西方向から圧縮力を受けており、そこから流紋岩が貫入した 1 億年前までの間に正断層である断層 F が形成されていることから東西方向に引っ張る力を受けたと考えられる。(107 字)



**地質断面図**

### 問3 難易度：★★★★☆

問題文中で地層の逆転はないとされており、下方の地層ほど古い、つまり D・A・B・C の順で堆積したとわかる。問題文から、B 層では中生代三畳紀の示準化石であるモノチスが産出し、D 層はフズリナが絶滅した古生代ペルム紀末の地層であるから、B 層の上にある C 層は B 層よりも新しいことがわかり、古生代の終わりである 2 億 5000 万年前よりも昔である選択肢(う)・(え)が消去できる。次に、問 2 からもわかったように、C 層の堆積は流紋岩の貫入以前に起きた。したがって、C 層は流紋岩の貫入が起きた 1 億年前よりも古いはずである。よって、選択肢(い)が正答となる。よって、解答は下のようになる。

(い)

理由：

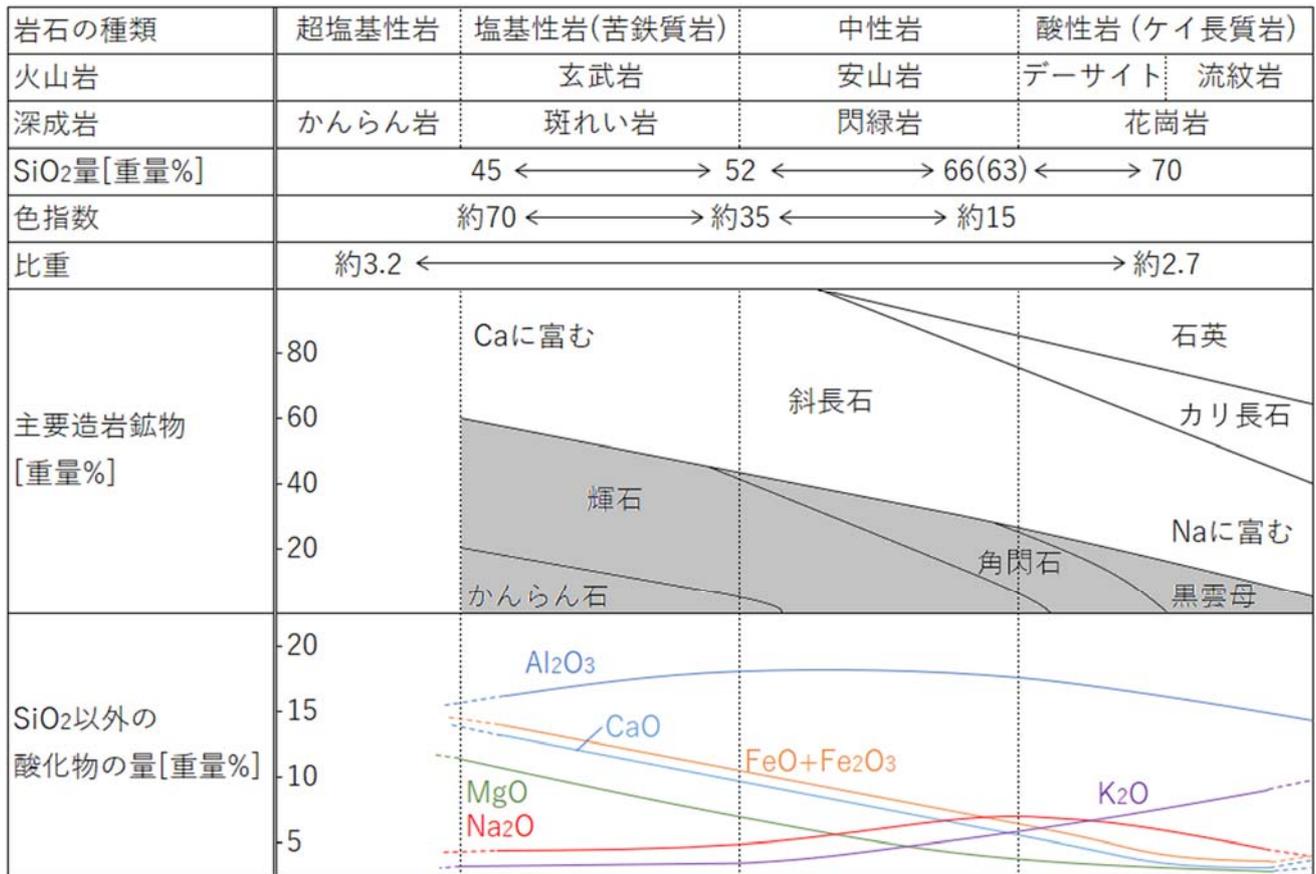
**解答例**

地層の逆転はなかったので堆積順は古いほうから D・A・B・C の順であり、B 層にモノチスが産出することから C 層の形成は三畳紀以降である。また、断層 F の形成後は傾斜が変化していないため C 層の形成は断層 F より古く、流紋岩は断層 F を切っているため断層 F のほうが古いことから、C 層の形成は流紋岩が形成された 1 億年前より前だとわかるため。(158 字)

### 問4 難易度：★★★★☆

下の表からわかるように流紋岩の色指数は 15%以下で、おもに含まれる鉱物は石英・カリ長石・角閃石・黒雲母・Na に富む斜長石であり、かんらん石はほとんど含まれない。また、流紋岩は地表近くで冷えてできる火山岩であり、あまり結晶が大きく成長しないため細粒の斑状組織をもつ。基礎知識なので間違えた場合は確認しておいてもらいたい。

よって、解答は(う)となる。



火成岩の組成表

問5 難易度：★★★★☆

流紋岩が貫入した1億年前は中生代白亜紀にあたり、白亜紀末にはアンモナイトや恐竜などが絶滅した。三葉虫・フズリナは古生代末ペルム紀末に、オパビニアは古生代カンブリア紀に、ヌムリテス(カヘイ石)は新生代古第三紀に、デスモチルスは新生代新第三紀に絶滅しているので、白亜紀末に絶滅した生物としては誤り。また、アンモナイトは中生代白亜紀末に、フデイシは古生代末には絶滅しているため生き延びた生物としては誤り。デスモチルスは中生代にはまだ登場していないので、これも生き延びた生物としては誤りである。

よって解答は、(か)となる。

(西山学, 奥井晴香, 辻有恒, 坂井郁哉)