

2015 年度 東京大学 前期 地学

地学問題 I 宇宙

出題範囲	恒星
難易度	★★☆☆☆
所要時間	20 分
傾向と対策	問 I では基本的なことしか聞かれておらず、(4)では少し考察が必要だがそれ以外は即答したい。問 II も基本的だが計算は多いため、注意深く解答しよう。計算は煩雑なものもあるが頻繁に使う計算であるからしっかり習得しておこう。問 III は(1)で少し時間がかかるかもしれないが落ち着いて考えればわかりやすい問題だ。総じてひねりはあまりなく、時間をかけずに点を稼いでおきたい大問である。

解答

問 I (1) 図 1-1 から定数を $3000\mu\text{m} \cdot \text{K}$ としてウィーンの変位則を用い、

$$\frac{3000\mu\text{m} \cdot \text{K}}{40000\text{K}} = 7.5 \times 10^{-2}\mu\text{m}$$

- (2) 図 1-1 と(1)より、O6 型は可視光波長域より短波長側に、M6 型は長波長側にそれぞれ放射エネルギーが最大となる波長が存在するので、O6 型では波長の短い青白い光が、M6 型では波長の長い赤い光が強く見えるから。
- (3) 図 1-1 より、表面温度が低いと全波長にわたって放射エネルギーが小さくなるので、周囲に比べて低温である黒点は、輝度が著しく小さくなるから。
- (4) 太陽の周辺には太陽表面よりはるかに高温な 100 万 K ほどのコロナが存在し、短波長の X 線を放射しているから。

問 II (1) 質量 $10M_{\odot}$ 以下の主系列星の場合光度は質量の 4 乗に比例し、これ以上質量が大きいとき、光度は質量の 2 乗に比例することから、質量 $30M_{\odot}$ の O6 型主系列星の光度 L_{06} は

$$L_{06} = \left(\frac{30}{10}\right)^2 \times \left(\frac{10}{1}\right)^4 \times L_{\odot} = 9.0 \times 10^4 L_{\odot}$$

- (2) 恒星の光度は半径の 2 乗、表面の絶対温度の 4 乗に比例するので、太陽の表面温度を $T_{\odot}$ 、O6 型主系列星の半径を R_{06} 、表面温度を T_{06} とし、(1)の値を用いて計算すると、

$$R_{06} = \sqrt{\frac{L_{06}}{L_{\odot}}} \times \left(\frac{T_{\odot}}{T_{06}}\right)^2 \times R_{\odot} = \sqrt{\frac{9.0 \times 10^4 L_{\odot}}{L_{\odot}}} \times \left(\frac{6000\text{K}}{40000\text{K}}\right)^2 \times R_{\odot} = 6.75R_{\odot} \cong 6.8R_{\odot}$$

- (3) 半径が質量の n 乗に比例することから、O6 型主系列星の質量が $30M_{\odot}$ より、

$$\left(\frac{30M_{\odot}}{M_{\odot}}\right)^n = \frac{R_{06}}{R_{\odot}} = \frac{6.75R_{\odot}}{R_{\odot}}$$

両辺の常用対数をとって、問題文の冒頭で与えられた常用対数も用いると、

$$n = \frac{\log_{10}(2.5 \times 27 \times 10^{-1})}{\log_{10}(3 \times 10)} = \frac{0.40 + 3 \times 0.48 - 1}{0.48 + 1} = 0.567 \dots \cong 5.7 \times 10^{-1}$$

- (4) O6 型主系列星の寿命を x [年] とすると、O6 型主系列星の質量が $30M_{\odot}$ より、

$$\frac{x[\text{年}]}{2000 \text{ 万年}} = \frac{\frac{30M_{\odot}}{L_{O6}}}{\frac{10M_{\odot}}{L_{10M_{\odot}}}} = \frac{L_{10M_{\odot}}}{L_{O6}} \times \frac{30M_{\odot}}{10M_{\odot}}$$

となる。(1)も参照すれば、 $x = 2.0 \times 10^7 \times 1/9 \times 3 = 6.66 \dots \times 10^6 \cong 6.7 \times 10^6$ 年

- 問Ⅲ (1) 図 1-2 より、この球状星団において主系列に留まっている最も重い星は太陽と同じ G2 型の恒星であり、これより重く寿命の短い恒星はすべて主系列を離れている。これより、球状星団が星形成を行ってから現在までの期間の長さはおおよそ太陽の寿命の 1 倍である。
- (2) 図 1-2 の G2 型主系列星の本来の見かけの等級は $18 - 1 = 17$ 等級なので、見かけの明るさは距離の 2 乗に反比例して変化することから、太陽の絶対等級が 5 等級であることを用いると、求める距離を d パーセクとして、

$$\left(\frac{d}{10}\right)^2 = 10^{\frac{2}{5}(17-5)}$$

d は正なので、両辺を $1/2$ 乗して整理すると、

$$d = 10^{3.4} = 10^{0.40} \times 10^3 \cong 2.5 \times 10^3 (\text{パーセク})$$

解説

問 I

(1) 難易度：★★★★☆

求める波長を $\lambda_{O6}[\mu\text{m}]$ とすると、図 1-1 から定数を $3000\mu\text{m} \cdot \text{K}$ としてウィーンの変位則を用い、

$$\lambda_{O6} = \frac{3000\mu\text{m} \cdot \text{K}}{40000\text{K}} = 7.5 \times 10^{-2} \mu\text{m}$$

別解

求める波長を $\lambda_{O6}[\mu\text{m}]$ とすると、ウィーンの変位則より、変位則の定数を $2900\mu\text{m} \cdot \text{K}$ として

$$\lambda_{O6} = \frac{2900\mu\text{m} \cdot \text{K}}{40000\text{K}} = 0.0725 \cong 7.3 \times 10^{-2} \mu\text{m}$$

図 1-1 を見ると、放射エネルギーの最大となる波長が恒星の表面温度が 3000K の時に $1\mu\text{m}$ 、 30000K の時に $0.1\mu\text{m}$ であることがわかる。このことからウィーンの変位則を用いる際は定数を $3000\mu\text{m} \cdot \text{K}$ としてよいことがわかる。図から読み取ることができれば最もよいが、一般的には定数を $2900\mu\text{m} \cdot \text{K}$ と覚えておく場合も多く、こちらも正解として認められると思われるので別解とした。

◆Check!! ウィーンの変位則

ウィーンの変位則は黒体の輻射においてピークとなる波長 $\lambda[\mu\text{m}]$ と温度 $T[\text{K}]$ が反比例する、という法則で、ウィルヘルム・ウィーンによって発見された。恒星の放射スペクトルは黒体輻射スペクトルに近似できるために、恒星のスペクトルから表面温度を推定するときに用いられており、この方法で算出される温度は恒星の有効温度と呼ばれる。ウィーンの変位則で用いる定数は、この問では $3000\mu\text{m} \cdot \text{K}$ で与えられているが、より厳密には $\lambda \cdot T \cong 2898\mu\text{m} \cdot \text{K}$ と表されることが確かめられている。

(2) 難易度：★★★★☆

「図 1-1 を参考にして」と問題文にあるので、図の内容に触れて解答する。M6 型については図をそのまま読めばよいが、O6 型は 40000K のグラフがないため、(1)も用いておおよそのグラフの形を考える。

解答例

図 1-1 と(1)より、O6 型は可視光波長域より短波長側に、M6 型は長波長側にそれぞれ放射エネルギーが最大となる波長が存在するので、O6 型では波長の短い青白い光が、M6 型では波長の長い赤い光が強く見えるから。

(3) 難易度：★★★★☆

「黒い」というのは周りよりも暗い、ということであるから、図 1-1 を参考にして温度が低いことと放射エネルギーが小さいことを結び付ける。図 1-1 で太陽の表面温度 (6000K) におけるグラフと推定される黒点の温度 (4500K) のグラフ(6000K と 3000K のグラフの間を通る)を比較すればどの波長域でも放射エネルギーの相対強度が小さくなっていることがわかる。

解答例

図 1-1 より、表面温度が低いと全波長域にわたって放射エネルギーが小さくなるので、周囲に比べて低温である黒点は、輝度が著しく小さくなるから。

◆Column 図 1-1 とシュテファン・ボルツマンの法則

図 1-1 のグラフの曲線は波長ごとの放射エネルギーの相対強度を示しているから、各温度のグラフについて全波長にわたって積分すれば、各温度での単位時間・単位面積当たりの全放射エネルギーの相対値がわかる。この値は温度の異なる部分での輝度の差を表すので、グラフから積分値の小さい低温部ほど輝度が小さいことがわかる。

上記の関係について、グラフの縦軸を波長ごとの放射エネルギー強度とすると、全波長にわたって積分した値、すなわち曲線と軸に囲まれた領域の面積がシュテファン・ボルツマンの法則で導かれる単位時間・単位面積当たりの放射エネルギーに一致する。

(4) 難易度：★★★★☆

コロナの温度は概ね 100 万 K であるので、(1)同様に定数を $3000\mu\text{m} \cdot \text{K}$ としてウィーンの変位則を利用し、放射される電磁波の強度が最大となる波長を求めると、 $3.0 \times 10^{-3}\mu\text{m}$ となる。X 線は $1.0 \times 10^{-2}\mu\text{m}$ よりも短い波長の電磁波であるので、コロナが放射する電磁波の強度は X 線で最大となり、図 1-1 のグラフの傾向からかなりの強度になることも推定できる。

(2)でもいえることだが、X 線や可視光、赤外線や電波など天文分野でよく表れる電磁波のおおよその波長がわかると便利なのでぜひ覚えておこう。

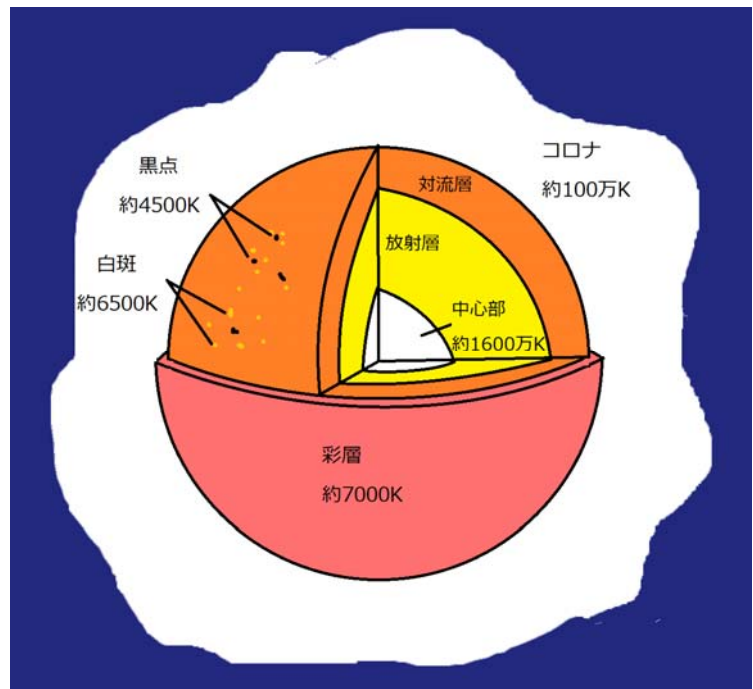
解答例

太陽の周辺には太陽表面よりはるかに高温な 100 万 K ほどのコロナが存在し、短波長の X 線を放射しているから。

◆Check!! 太陽の温度分布

太陽の温度構造は概ね左図のようになっている。

- ①中心部から光球まで温度は低下していく一方、彩層は光球より温度が高く、さらに最外層のコロナでは温度が跳ね上がる
- ②地上からおもに見えているのは光球で、皆既日食の際には光球が隠されて外側のコロナや彩層が見える
- ③粒状斑は対流層（中心部で作られたエネルギーが対流によって外部に輸送されている領域⇔放射層）の最上部に見える模様で、斑の一つ一つが対流の単位になっている



これらはしばしば取り上げられるので注意しておくとい。

問 II

(1) 難易度：★★★★☆

質量 $10M_{\odot}$ ($M_{\odot}$ は太陽質量) の主系列星の光度を $L_{10M_{\odot}}$ とすると、光度は質量の 4 乗に比例するので、

$$\frac{L_{10M_{\odot}}}{L_{\odot}} = \left(\frac{10}{1}\right)^4$$

より $L_{10M_{\odot}} = L_{\odot} \times 10^4$ となる。これ以上質量が大きいく、光度は質量の 2 乗に比例することから、質量 $30M_{\odot}$

の O6 型主系列星の光度 L_{O6} は

$$\frac{L_{O6}}{L_{10M_{\odot}}} = \left(\frac{30}{10}\right)^2$$

より $L_{O6} = 9L_{10M_{\odot}} = 9.0 \times 10^4 L_{\odot}$

(2) 難易度：★★★★☆

恒星の光度は恒星の半径の 2 乗、表面の絶対温度の 4 乗に比例するので、太陽の表面温度を $T_{\odot}$ 、O6 型主系列星の半径を R_{O6} 、表面温度を T_{O6} とすると、

$$\left(\frac{R_{O6}}{R_{\odot}}\right)^2 \left(\frac{T_{O6}}{T_{\odot}}\right)^4 = \frac{L_{O6}}{L_{\odot}}$$

と表せる。これを整理して(1)で求めた値 $L_{O6} = 9.0 \times 10^4 L_{\odot}$ を代入すると

$$R_{O6} = \sqrt{\frac{L_{O6}}{L_{\odot}}} \times \left(\frac{T_{\odot}}{T_{O6}}\right)^2 \times R_{\odot} = \sqrt{\frac{9.0 \times 10^4 L_{\odot}}{L_{\odot}}} \times \left(\frac{6000K}{40000K}\right)^2 \times R_{\odot}$$

より

$$R_{O6} = R_{\odot} \times 3.0 \times 10^2 \times \left(\frac{3}{20}\right)^2 = 6.75 R_{\odot} \cong 6.8 R_{\odot}$$

◆Check!! 恒星の光度

恒星の光度 $L[W]$ は半径 $R[m]$ 、表面の絶対温度 $T[K]$ を用いて

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

と表される。ただし σ はシュテファン・ボルツマン定数で、約 $5.67 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$ の値をもつ。この式は中に恒星半径の値を含んでおり、この問のような、恒星の半径を扱う問題ではまずこの式を思い浮かべると手掛かりになりやすい。

(3) 難易度：★★★★☆

半径が質量の n 乗に比例することから、O6 型主系列星の質量が $30M_{\odot}$ より、

$$\left(\frac{30M_{\odot}}{M_{\odot}}\right)^n = \frac{R_{O6}}{R_{\odot}} = \frac{6.75R_{\odot}}{R_{\odot}}$$

すなわち $30^n = 6.75$ となる n を求めればよいので、両辺の常用対数をとって、

$$n \log_{10} 30 = \log_{10} 6.75$$

問題文の冒頭で与えられた常用対数を用いると、

$$n = \frac{\log_{10}(2.5 \times 27 \times 10^{-1})}{\log_{10}(3 \times 10)} = \frac{0.40 + 3 \times 0.48 - 1}{0.48 + 1} = 0.567 \dots \cong 5.7 \times 10^{-1}$$

(4) 難易度：★★★★☆

O6 型主系列星の寿命を x 年とすると、O6 型主系列星の質量が $30M_{\odot}$ より、

$$\frac{x[\text{年}]}{2000 \text{ 万年}} = \frac{\frac{30M_{\odot}}{L_{06}}}{\frac{10M_{\odot}}{L_{10M_{\odot}}}} = \frac{L_{10M_{\odot}}}{L_{06}} \times \frac{30M_{\odot}}{10M_{\odot}}$$

これより, (1) も参照して,

$$x = 2.0 \times 10^7 \text{ 年} \times \frac{1}{9} \times 3 = 6.66 \times 10^6 \dots \cong 6.7 \times 10^6 \text{ 年}$$

問Ⅲ

(1) 難易度：★★★★☆

球状星団の恒星がどのスペクトルまで主系列に留まっているかという観点から考える。

主系列星の光度 L , 半径 R はその星の質量によって決まるから(問Ⅱ(1)(3)), $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$ より表面温度 T もある質量の主系列星に対して一意に定まり, したがってウィーンの変異則も考慮すれば同じスペクトルの主系列星の質量はほぼ同じになることがわかる。したがって, 図1-2でみられる最も光度の大きいG2型的主系列星(ここでは S_{G2} とよぶ)はG2型的主系列星である太陽とほぼ等質量であるといえる。

主系列星の寿命は質量に依存するので(より詳しく述べると(質量)/(光度)に比例するのだが, 問Ⅱ(1)のように光度は質量に依存するため, 質量のみ考えればよい), 主系列星 S_{G2} と太陽はほぼ等寿命である。球状星団の星形成は一時に起こったとされているため, 球状星団と主系列星 S_{G2} の年齢はほぼ等しい。以上のことから, 主系列星 S_{G2} が寿命を迎えようとしている現在, 球状星団の誕生後の時間は太陽の寿命とほぼ一致する。

解答例

図1-2より, この球状星団において主系列に留まっている最も重い星は太陽と同じG2型の恒星であり, これより重く寿命の短い恒星はすべて主系列を離れている。よって, 球状星団が星形成を行ってから現在までの期間の長さはおよそ太陽の寿命の1倍である。

◆Column 図1-2について

図1-2は横軸にスペクトル型, 縦軸に見かけの等級を用いたHR図(ヘルツシュプルング・ラッセル図)である。本問の解答に際しては恒星分布の「折れ曲がり」を用いており, 折れ曲がり前に位置する等級の暗い恒星たちが主系列星であることから年代を導いた。この折れ曲がり箇所は「転向点」とよばれている。

主系列星は中心部における核融合反応によって水素をヘリウムに変換し, 生み出されたエネルギーによって輝いているが, 中心部に含まれる水素を燃料としてほとんど消費してしまうと, エネルギーが生み出されなくなったことで恒星内の平衡が崩れ核部分が収縮して高温になる。この時の高温のために核周辺に存在する水素がエネルギーを生み出し, 核より外側の外層はエネルギーを吸収して膨張する。膨張のために外層は希薄となり, 温度が低下して赤色巨星となる。この時HR図上で恒星は右方向へおおむね平行に移動したのちに右上へ移動する。これが図1-2で10~18等付近にみられる折れ曲がり後の恒星の姿である。この部分は赤色巨星分枝とよばれる。

また, 見かけの等級13等のあたりを細かく見ると, 水平に恒星が分布する箇所がみられる。これは赤色巨星枝とは別の部分で, 水平分枝とよばれている。ここに含まれる恒星は比較的軽量の恒星で, 赤

色巨星になったのちにヘリウム中心核でヘリウム燃焼の暴走であるヘリウムフラッシュが起こり、核が膨張することによって核周辺の水素の反応効率が落ちて光度が小さくなった星である。核内部ではヘリウムの反応が進んでいる。

(2) 難易度：★★★★☆

図 1-2 の G2 型主系列星の本来の見かけの等級は $18-1=17$ 等級なので、見かけの明るさは距離の 2 乗に反比例して変化することから、太陽の絶対等級が 5 等級であることを用いると、求める距離を d パーセクとして、

$$\left(\frac{d}{10}\right)^2 = 10^{\frac{2}{5}(17-5)}$$

d は正なので、両辺を $1/2$ 乗して整理すると、

$$d = 10^{3.4} = 10^{0.40} \times 10^3 \cong 2.5 \times 10^3 [\text{パーセク}]$$

別解

図 1-2 の G2 型主系列星の本来の見かけの等級は $18-1=17$ 等級なので、太陽の絶対等級が 5 等級であることを用いると、求める距離を d パーセクとして、

$$5 = 17 + 5 - 5 \log_{10} d$$

より、 $d = 10^{3.4} = 10^{0.40} \times 10^3 \cong 2.5 \times 10^3 [\text{パーセク}]$

◆Check!! 星の等級と距離の関係

補正前において星団は『1 等級暗くなっている』ので、等級は 1 だけ大きくなっているはずである。この分を引けば正しい見かけの等級が求められる。

絶対等級は「ある天体を地球から距離 10 パーセクに置いたときの等級」の値なので、主系列星の実際の距離は明るさが絶対等級となる距離 = 10 パーセクの $d/10$ 倍である。

また一般的に、見かけの等級 m と絶対等級 M の間には

$$M = m + 5 - 5 \log_{10} d$$

の関係が成り立つことを用いれば $\log_{10} d = 3.4$ より同様に求められる。この式は本解で用いている式を一般化し変形したものではあるが、覚えておくと非常に便利に使えるのでぜひ覚えておこう。

(諸星暁之, 奥井晴香, 辻有恒, 仁木創太)

2015 年度 東京大学 前期 地学

地学問題 II 大気・海洋

出題範囲	大気の運動/海洋の構造/海水の運動
難易度	★★★★☆
所要時間	20 分
傾向と対策	問 I は大気の運動について、問 II は海洋の構造と熱塩循環に関する問題である。大気の運動、海洋の構造については基本的な知識が問われているので、解答を手早くまとめられるよう練習するとよいだろう。計算問題がいくつかあるが、どれも問題文をしっかりと読めば解答できる問題である。熱塩循環についても、問題文にヒントが書かれているので、自分の知識と組み合わせることで解くことができる。

解答

問 I (1) A : 蒸発量 B : 降水量 極大域 : 熱帯収束帯 (赤道低圧帯でも可)

(2) 大気循環 : ハドレー循環

その役割 : 熱帯収束帯で高温のため発生した上昇気流が降水により水蒸気を失い、圏界面付近で南北へ移動し亜熱帯高圧帯で下降し、蒸発が盛んなため発生した水蒸気を、赤道付近へ東から吹く貿易風として熱帯収束帯に運ぶ役割。

(3) 低緯度では気圧傾度力に対して転向力が弱いので、代わりに気圧傾度力と摩擦力が釣り合うように風が吹くから。

(4) 気圧 600hPa の面と 400hPa の面との間の大気層の単位面積当たりの質量 m は

$$m = \frac{(600 - 400) \times 10^2}{g} [\text{kg/m}^2]$$

図より、 5° N において 1 日 1 m^2 あたり 7 kg の降水があることが分かる。水蒸気 7 kg が水になるとき放出される潜熱 Q は

$$Q = 7.0L[J]$$

したがって 1 日当たりの温度上昇 ΔT は

$$\begin{aligned} \Delta T &= \frac{Q}{c_p m} = \frac{7.0Lg}{c_p \times 2.0 \times 10^4} = \frac{7.0 \times 2.5 \times 10^6 \times 9.8}{1.0 \times 10^3 \times 2.0 \times 10^4} \\ &= 8.575 \cong 8.6^\circ\text{C} \end{aligned}$$

問 II (1) 適切な語 : (表層)混合層

理由 : 大気による海面付近の冷却による対流や、風や波によるかき混ぜの影響で、海水が鉛直方向に混合され、水温が深さによらず一定になるから。

(2) 1 秒あたりの密度増加は

$$0.25 \times \frac{1.0 \times 10^3}{4.0 \times 10^3} = 0.0625 \cong 6.3 \times 10^{-2} [\text{kg/m}^3]$$

- (3) 海水の 1 秒当たりの密度増加は

$$35 \times \frac{1.0 \times 10^3}{2.5 \times 10^6} \times 0.75 = 1.05 \times 10^{-2} \cong 1.1 \times 10^{-2} [\text{kg/m}^3]$$

- (4) 名称：熱塩循環

気候への影響：この循環で海水のほとんどが循環するため、深層の海水という二酸化炭素の巨大な貯蔵庫へ二酸化炭素を運搬する役割があり、地球の温室効果に大きく関わっている。

- (5) 地中海：外部との海水の出入りがほとんどなく、夏季には中緯度高圧帯に覆われ、河川や降水による流入量よりも蒸発量の方が多くなるため。

南極大陸の周囲：低温により海水が形成される際、塩類が海水中に取り残されるため。

解説

問 I

- (1) 難易度：★★★★☆

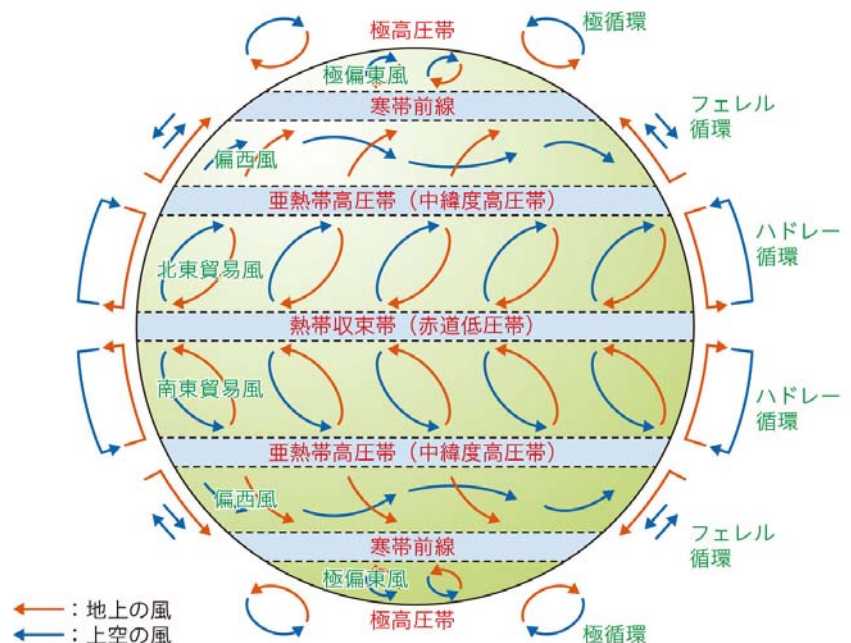
熱帯収束帯では、上昇気流により雲が発生し、蒸発量よりも降水量のほうが多い。亜熱帯高圧帯では、下降気流により雲ができにくく、年中晴れて降水量よりも蒸発量のほうが多い。なお、極大域が赤道よりも北にずれるのは、アジアのモンスーンの影響である。

したがって、答えはそれぞれ A：蒸発量 B：降水量 極大域：熱帯収束帯（赤道低圧帯でも可）となる。

- (2) 難易度：★★★★☆

(1)で取り上げた熱帯収束帯と亜熱帯高圧帯との間の循環がハドレー循環であり、そのうち中緯度高圧帯から熱帯収束帯に向かって地上を吹く風が貿易風である。ここでは循環の向きを示しつつ、2つの地域の水蒸気収支に触れて循環の役割を説明する。風の名前や東西方向の向きも明らかにしよう。

必ずおさえておくべき内容である大気の大循環について左図で確認しておこう。中緯度においては亜熱帯高圧帯と寒帯前線の間にフェレル(ロスビー)循環があり、地上には偏西風、上空には西寄りのジェット気流が吹く。寒帯前線と極高圧帯の間には極循環があり、地上では極偏東風が吹く。



大気循環：ハドレー循環

その役割：

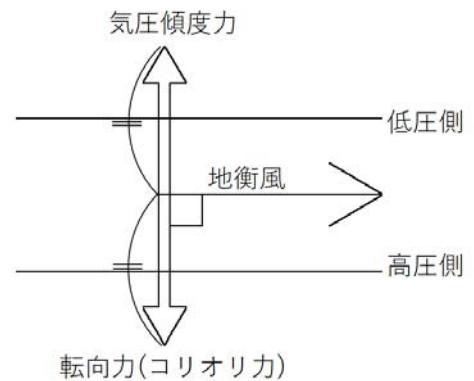
解答例

熱帯収束帯で高温のため発生した上昇気流が降水により水蒸気を失い、圏界面付近で南北へ移動し亜熱帯高圧帯

で下降し、蒸発が盛んなため発生した水蒸気を、赤道付近へ東から吹く貿易風として熱帯収束帯に運ぶ役割。

(3) 難易度：★★★★☆

地衡風とは、気圧傾度力と転向力が釣り合って吹く風であるが、転向力は緯度の正弦(サイン)に比例するから、低緯度地域では転向力が弱くなってしまう。したがって、低緯度地域で吹く風は地衡風では説明できず、摩擦力と合わせて力が釣り合う。



解答例

低緯度では気圧傾度力に対して転向力が弱いので、代わりに気圧傾度力と摩擦力が釣り合うように風が吹くから。

◆Check!! 転向力(コリオリ力)

転向力(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、単位体積あたりに働く転向力の大きさ f は $2\rho\omega v \sin \varphi$ と表される。ここで ρ は空気の密度、 ω は自転角速度、 v は風速、 φ は緯度である。

(4) 難易度：★★★★☆

気圧 600hPa の面と 400hPa の面との間の大気層の単位面積当たりの質量 m は

$$m = \frac{(600 - 400) \times 10^2}{g} [\text{kg/m}^2]$$

図より、 5° N において1日1 m^2 あたり7kgの降水があることがわかる。水蒸気7kgが水になるとき放出される潜熱 Q は

$$Q = 7.0L[J]$$

したがって1日当たりの温度上昇 ΔT は

$$\begin{aligned} \Delta T &= \frac{Q}{c_p m} = \frac{7.0Lg}{c_p \times 2.0 \times 10^4} = \frac{7.0 \times 2.5 \times 10^6 \times 9.8}{1.0 \times 10^3 \times 2.0 \times 10^4} \\ &= 8.575 \cong 8.6^\circ\text{C} \end{aligned}$$

問 II

(1) 難易度：★★★★☆

大気による海面付近の冷却による対流や、風や波によるかき混ぜの影響で、海水が鉛直方向に混合されることによって、水温が深さによらず一定になった層のことを表層混合層という。季節変化のある中緯度では、春から夏の高気圧に覆われて風の弱い時期にはかき混ぜがあまり起こらず、表面だけが暖められることにより、表層混合層は薄くなる。しかし秋から冬の低気圧が多く風の強い時期にはよくかき混ぜられ、表層混合層は深くなる。

適切な語：(表層)混合層

理由：

解答例

大気による海面付近の冷却による対流や、風や波によるかき混ぜの影響で、海水が鉛直方向に混合され、水温が深さによらず一定になるから。

(2) 難易度：★★★★☆

比熱容量 $4.0 \times 10^3 \text{ [J/kg}^\circ\text{C]}$ の海水から 1 kg あたり $1.0 \times 10^3 \text{ [W/m}^2\text{]}$ の熱が奪われるから、1 秒当たりの温度低下は

$$\frac{1.0 \times 10^3}{4.0 \times 10^3} = 0.25^\circ\text{C}$$

したがって、1 秒あたりの密度増加は

$$0.25 \times 0.25 = 0.0625 \cong 6.3 \times 10^{-2} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

(3) 難易度：★★★★☆

蒸発の潜熱が $2.5 \times 10^6 \text{ [J/kg]}$ である海水から $1.0 \times 10^3 \text{ [W/m}^2\text{]}$ の熱が奪われるから、1 秒あたりの海水蒸発量 ΔM は

$$\Delta M = \frac{1.0 \times 10^3}{2.5 \times 10^6} = 4.0 \times 10^{-4} \text{ [kg]}$$

よって、塩分変化 ΔS は

$$\Delta S \cong S \times \frac{\Delta M}{M} = 35 \times \frac{4.0 \times 10^{-4}}{1} = 1.4 \times 10^{-2} \text{ [‰]}$$

したがって、海水の 1 秒当たりの密度増加は

$$1.4 \times 10^{-2} \times 0.75 = 1.05 \times 10^{-2} \cong 1.1 \times 10^{-2} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

(4) 難易度：★★★★☆

大気による冷却で温度が低下し結氷により塩分が上昇して高密度化した海水が深層へ沈み込むことを成因とすることから、深層循環は熱塩循環とも呼ばれる。

大気と海洋は二酸化炭素の分圧の差に応じて二酸化炭素を交換している。人間活動によって放出された二酸化炭素の約 3 割が海洋によって吸収され、大気中の二酸化炭素濃度の上昇が抑えられている。海水のほとんどを循環させる熱塩循環により深層の海水へ二酸化炭素が運搬され貯蓄されているため、これが停止した場合大気の温室効果が強まるという全地球規模の影響が予想される。

全地球的な影響ではないが、深層海水に二酸化炭素を運搬すること以外の深層循環の影響として、循環が停止した場合北大西洋において暖流による熱の供給が止まることによりヨーロッパが寒冷化することなどが挙げられる。今からおよそ 1 万 3000 年前の最終氷期の末期に、ヨーロッパが突然寒冷化し、この寒冷気が 1300 年ほど続いた。この期間をヤンガー・ドリアス期という。これは、北アメリカ大陸の氷床が融けた水の流路が、氷床の後退によりミシシッピ川からセントローレンス川に変わり、北大西洋の表層に大量の淡水が供給されて熱塩循環が停止し、熱が供給されなかった結果であると考えられている。

名称：熱塩循環

気候への影響：

解答例

この循環で海水のほとんどが循環するため、深層の海水という二酸化炭素の巨大な貯蔵庫へ二酸化炭素を運搬する役割があり、地球の温室効果に大きく関わっている。

(5) 難易度：★★★★☆

地中海では外部との海水の出入りがほとんどなく、夏季には中緯度高圧帯に覆われ、河川や降水による流入量よりも蒸発量の方が多くなる。そのため、表層の高塩分の海水が比重の差により沈み込み、ジブラルタル海峡の底を經由して大西洋に流出して深層水となる。

南極大陸の周囲では、低温による密度増加と、海水生成の際の塩類の排斥による密度増加の2つの要因により、深層水の形成が生じている。

解答例

地中海：外部との海水の出入りがほとんどなく、夏季には中緯度高圧帯に覆われ、河川や降水による流入量よりも蒸発量のほうが多くなるため。

南極大陸の周囲：低温により海水が形成される際、塩類が海水中に残されるため。

(芝田力，辻有恒，仁木創太，西山学)

2015 年度 東京大学 前期 地学

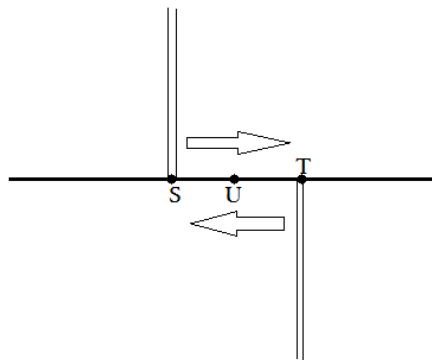
地学問題Ⅲ 固体地球，鉱物・岩石，地質・地史

出題範囲	プレートテクトニクス/地質図/火成岩/変成岩/古生物
難易度	★★☆☆☆
所要時間	18 分
傾向と対策	問Ⅰはプレートテクトニクスに関する問題である。基本的な知識とともに，プレートの空間的なイメージが必要である。震源メカニズムについても確認しておこう。問Ⅱでは地質図の読図が要求されている。断面図を描くことで全体をつかむことができる。わかるところから解いていこう。地質図の問題はあまり出題されないものの，数を多く解くことで手早く解くことができるようになる。他の大学の類題を探して練習しよう。

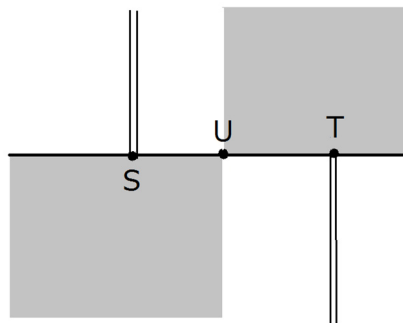
解答

問Ⅰ (1) トランスフォーム断層

(2) (a) 右の図



(b) 右図の灰色部分



(3) (a) 残留磁気

(b) 海嶺の軸で現在生成している岩石は現在の地磁気の向きに磁化しているから，黒い部分は現在と同じ向きの磁気を保持しており，現在の磁気を強めているが，白い部分は現在とは逆の向きの磁気を保持しており，現在の磁気を弱めているため，黒い部分は白い部分より全磁力が強い。

- (4) 2 枚のプレートの相対的な運動の角速度 ω は、地球の半径を r として、

$$\omega = \frac{130 \times 10^5}{3 \times 10^6} \times \frac{1}{r \sin 30^\circ} = \frac{26}{3r}$$

R における相対運動の速さは、

$$r\omega \sin 60^\circ = \frac{26}{3} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 7.50 \dots \cong 7.5 \text{ cm/年}$$

- 問Ⅱ (1) ア：背斜 イ：傾斜不整合 ウ：結晶質石灰岩(大理石)
 (2) SiO_2 を多く含む酸性岩であり、等粒状組織が特徴である。
 (3) カヘイ石(ヌンムリテス)
 (4) 古第三紀に B が堆積したのち、 $C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$ の順に堆積し、東西方向から押す力が加わったことで南北方向の軸をもつ背斜構造ができた。その後、A が貫入し、地殻変動や海面低下により地表に出て浸食されて不整合面が形成され、最後に最下部に基底礫岩を含む G が堆積したと考えられる。

解説

問Ⅰ

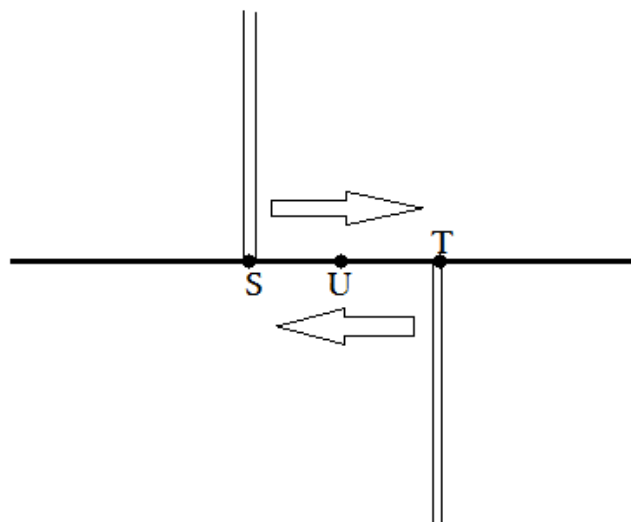
- (1) 難易度：★★★★☆

プレート境界には発散型、収束型、トランスフォーム型の3種類があり、発散型や収束型を結ぶ境界がトランスフォーム断層である。トランスフォーム断層は横ずれ断層の一種である。

- (2) 難易度：★★★★☆

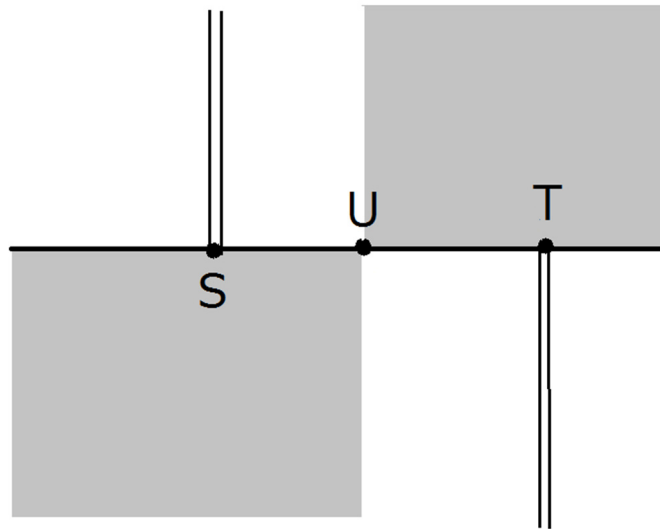
- (a)

海洋底が拡大する向きにずれが生じるため、図のような向きになる。



(b)

地震による断層のずれが震源に対して遠ざかるような向きとなる領域で P 波は押し波となる。したがって、押し波の領域は図の灰色部分になる。



(3) 難易度：★★★★☆

(a) 残留磁気

海洋底の岩石には磁鉄鉱が含まれており、常温では磁気を帯びている。物質はキュリー温度を下回ると磁気を帯びる。海洋底が生成されたあと、温度がキュリー温度を下回るときに磁鉄鉱が磁気を帯びるが、その向きはそのときの周りの磁気の方と同じになる。この時に帯びる磁気が残留磁気である。

(b)

海嶺の軸に最も近い部分が現在と同じ向きの磁気を帯びているから、黒い部分が現在と同じ向きの磁気を帯びている。現在の磁気の残留磁気に対する影響を考慮して解答をまとめる。

解答例

海嶺の軸で現在生成している岩石は現在の地磁気の向きに磁化しているから、黒い部分は、現在と同じ向きの磁気を保持しており、現在の磁気を強めているが、白い部分は現在とは逆の向きの磁気を保持しており、現在の磁気を弱めているため、黒い部分は白い部分より全磁力が強い。

(4) 難易度：★★★★☆

左の図は、地球を相対運動の回転軸に沿って切った断面図である。この図において、

$$r_Q = r \sin 30^\circ$$

$$r_R = r \sin 60^\circ$$

であり、

$$v_Q = r_Q \omega$$

$$v_R = r_R \omega$$

であることを用いて考える。

点 Q から拡大方向に 65 km 離れた 2 地点について、プレート A 上の点を S_1 、プレート B 上の点を S_2 とする。このとき S_2 から見ると、300 万年かけて Q は 65 km 動き、 S_1 は 65 km の 2 倍の 130 km 動いたことになる。

したがって、Q におけるプレートの相対運動の速さ v_Q は

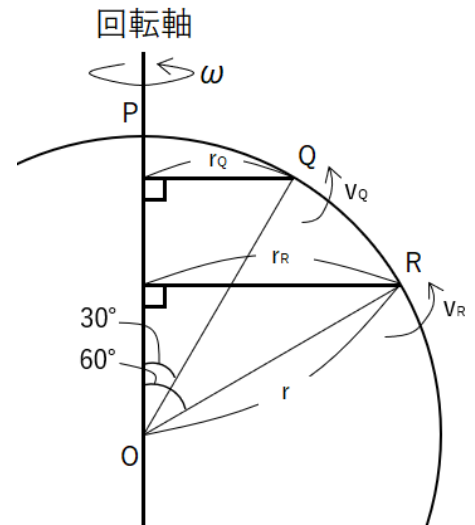
$$v_Q = \frac{130 \times 10^5}{3 \times 10^6} = \frac{13}{3} [\text{cm/年}]$$

$\angle POQ = 30^\circ$ だから、地球の半径を r とすると、相対運動の角速度 ω は

$$\omega = \frac{v_Q}{r \sin 30^\circ} = \frac{13}{3} \times \frac{1}{r \sin 30^\circ} = \frac{26}{3r}$$

したがって、R における相対運動の速さ v_R は、

$$v_R = r \omega \sin 60^\circ = \frac{26}{3} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{13\sqrt{3}}{3} = 7.50 \dots \cong 7.5 \text{ cm/年}$$

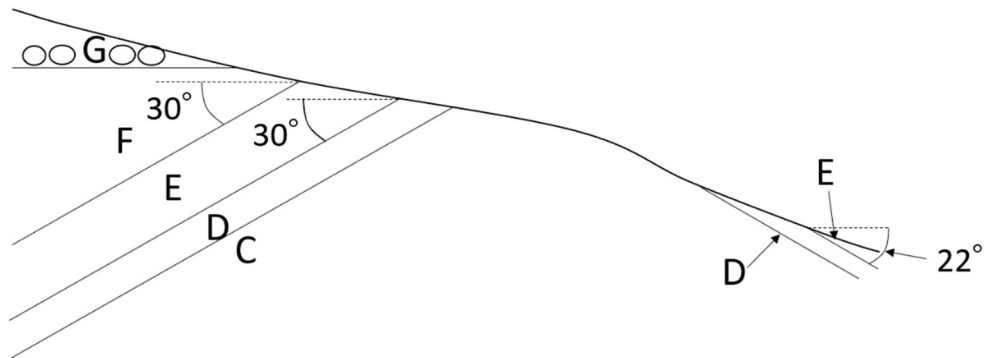


問Ⅱ

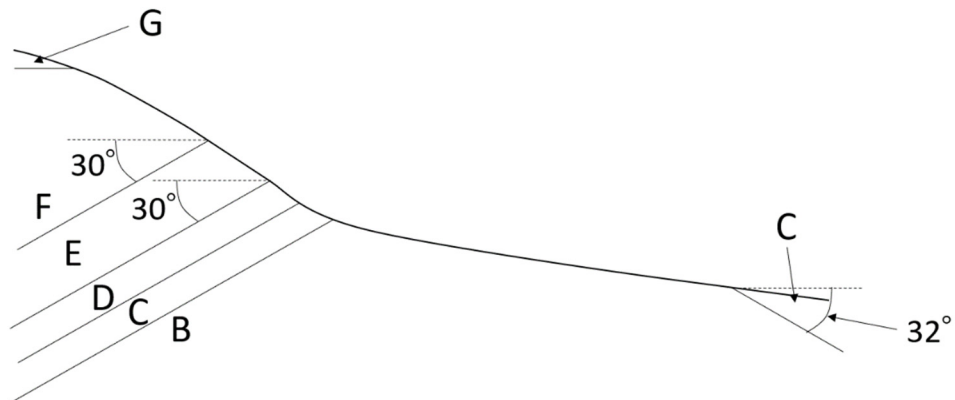
(1) 難易度：★★★★☆

ア：背斜

地質図から尾根線と谷線に沿って地質断面図を描いてみると、このようになる。

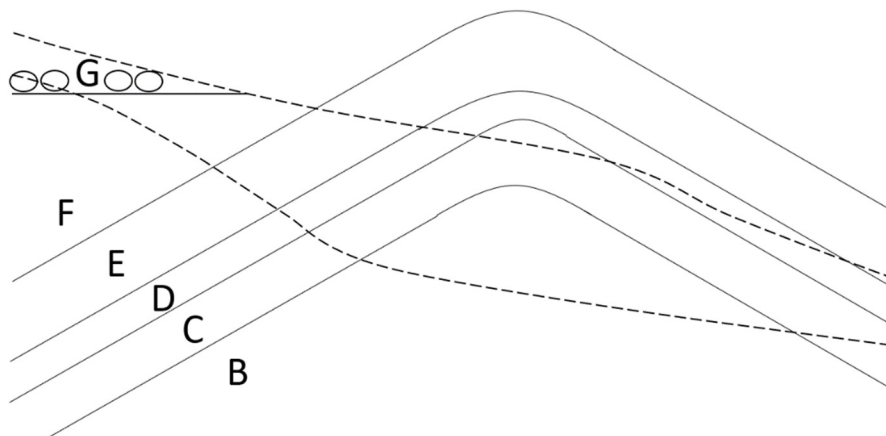


地質断面図(尾根線)



地質断面図(谷線)

2つの図を組み合わせることで、B~Fの層が背斜構造になっていることがわかる。



地質断面図

イ：傾斜不整合

不整合面のすぐ上には基底礫岩という礫が堆積することが多い。F 以下の層は傾斜しているため、傾斜不整合。

ウ：結晶質石灰岩

石灰岩が接触変成を受けると結晶質石灰岩(大理石)となる。

以上まとめると、ア：背斜 イ：傾斜不整合 ウ：結晶質石灰岩 が入る。

(2) 難易度：★★★★☆

組織と化学組成について述べよとあるので、斑状組織なのか等粒状組織なのか、 SiO_2 の含有量が多いのか少ないのか、この2点を明らかにする。余裕があれば、造岩鉱物の種類や SiO_2 以外の酸化物の量について述べてもよい。火成岩について、次の表で確認しておこう。

岩石の種類	超塩基性岩	塩基性岩(苦鉄質岩)	中性岩	酸性岩(ケイ長質岩)
火山岩		玄武岩	安山岩	デーサイト 流紋岩
深成岩	かんらん岩	斑れい岩	閃緑岩	花崗岩
SiO_2 量[重量%]	45 ← → 52 ← → 66(63) ← → 70			
色指数	約70 ← → 約35 ← → 約15			
比重	約3.2 ← → 約2.7			
主要造岩鉱物 [重量%]				
SiO_2 以外の 酸化物の量[重量%]				

火成岩の分類

解答としては以下ようになる。

解答例

SiO_2 を多く含む酸性岩であり、等粒状組織が特徴である。

(3) 難易度：★★★★☆

選択肢の中で、第三紀の示準化石はカヘイ石(ヌムリテス)である。フデイシ(筆石)、サンヨウチュウ(三葉虫)は古生代、イノセラムス、アンモナイトは中生代の示準化石である。頻出の古生物については確認しておこう。

(4) 難易度：★★★★☆

(1)から、B~Fの地層はB→C→D→E→Fの順に堆積し、褶曲したことになる。問題文の記述から、GとAの間も不整合であることがわかるので、AはFよりも新しく、GはAよりも新しいとわかる。したがって、この地域の地史をまとめると下の解答例のようになる。

地質図に関する問題では、このように地質断面図を描くと、地層の全体像がつかめることが多い。等高線と露頭線のようなすから、層理面をイメージする練習をするとよい。

解答例

古第三紀にBが堆積したのち、C→D→E→Fの順に堆積し、東西方向から押す力が加わったことで南北方向の軸をもつ背斜構造ができた。その後、Aが貫入し、地殻変動や海面低下により地表に出て浸食されて不整合面が形成され、最後に最下部に基底礫岩を含むGが堆積したと考えられる。

(芝田力, 仁木創太, 笠見京平, 坂井郁哉)