

地 学

I ある崖に図1に示す地層が露出していた。この露頭に関する以下の説明と解説を読み、問1～4に答えなさい。なお、この地層断面は奥行き方向にそのまま続くものとする。(配点25点)

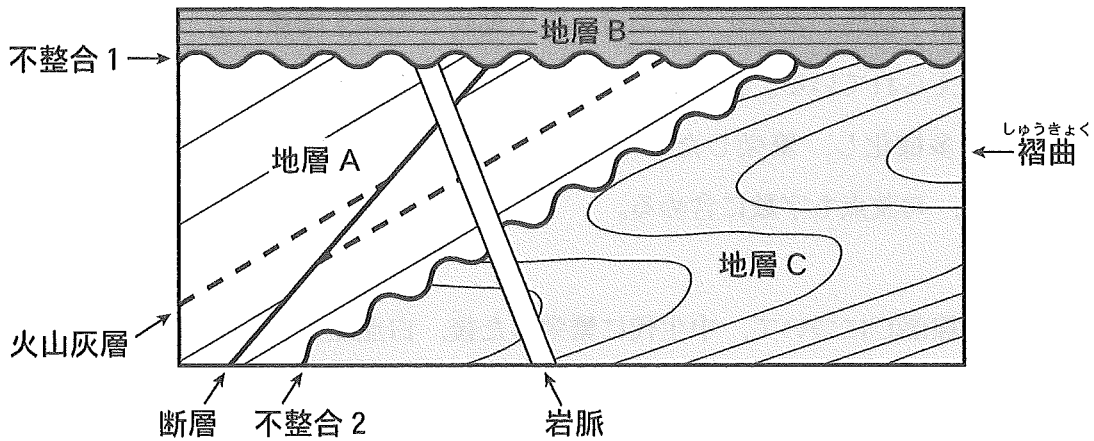


図1

<説明>

地層 A は浅海性の堆積岩からなり、広域に分布する特徴的な火山灰層を含む。地層 B は湖沼性の堆積物である。地層 C は結晶片岩からなり、内部に褶曲が発達している。岩脈は安山岩からなる。

<解説>

地層 A に含まれている火山灰層のように、広い範囲の地層を対比することに役立っている地層を という。安山岩の岩脈は が地層に貫入して冷え固まったものである。また、この露頭の断層のようなずれの方向を持つ断層を という。

地層 C は、以下のようにして形成されたと考えられる。地球の表層を覆う海洋プレートは、 で生成され、長い時間をかけて移動し、沈み込み帯で地球内部へと沈み込んでいる。このような場所では、沈み込むプレートがもう一方のプ

プレートに押し付けられて、一部が剥ぎ取られて **オ** が形成されることがある。沈み込み帯の深部では、温度と圧力の上昇に伴い、含まれる鉱物の再結晶や結晶構造の変化が起こる。このように岩石が、地下の温度圧力条件で安定な鉱物からなる岩石に変化する現象を **カ** という。**カ** を受けた地域でよく見られる岩石には結晶片岩の他に **キ** がある。

問 1 文中の空欄 **ア** ~ **キ** に入る適切な語句を答えなさい。

問 2 この露頭では地層 B が最後に形成されている。その他の地層 A, 地層 C, 断層, 岩脈, ^{しゅうきよく} 褶曲, 不整合 1, 不整合 2 を形成された順に並べなさい。

問 3 地層 B と岩脈の古地磁気方位(過去の地磁気の方向)を測定することにした。堆積物と火成岩が残留磁気を保持する仕組みをそれぞれ説明しなさい。

問 4 日本列島, 特に西南日本では, 細長く帯状に分布する地質体の形成年代が日本海側から太平洋側へ向かって新しくなる傾向がある。このような傾向が見られる理由を, フィリピン海プレートとユーラシアプレートという語句を用いて答えなさい。

II 次の文章を読んで、問1～5に答えなさい。(配点25点)

地球表層の水の総量は約 1.4×10^{21} kg と見積もられ、その % 以上が海洋に存在する。海洋に存在する水を海水、陸上に存在する水を陸水と呼ぶ。陸水の大部分は として存在し、次に が多く、これらに比べれば として存在する水は、量としてはずっと少ない。

地球表層の水として大気中に水蒸気や雲粒として存在する水もあり、その量は 1.3×10^{16} kg と見積もられている。これは、地球表層の水の総量のわずか 0.001% 程度にすぎず、水の蒸発と降水を頻りに繰り返している。海洋全体でみると蒸発量が降水量を上回っている。その余剰分は陸上での降水を増やし、河川などにより再び海洋に戻っている。このように地球表層の水は、氷・水・水蒸気と状態を変えながら自然界を循環している。

問1 空欄 に入る最も適切な数字を以下から選び、A～Dの記号で答えなさい。

- A) 25 B) 45 C) 67 D) 97

問2 空欄 , , に入る適切な語句の組合せを、以下のA～Fの中から1つ選び、記号で答えなさい。

- | | | |
|--------------|-----------|-----------|
| A) イ：河川水や湖沼水 | ウ：地下水 | エ：氷床や氷河 |
| B) イ：河川水や湖沼水 | ウ：氷床や氷河 | エ：地下水 |
| C) イ：地下水 | ウ：河川水や湖沼水 | エ：氷床や氷河 |
| D) イ：地下水 | ウ：氷床や氷河 | エ：河川水や湖沼水 |
| E) イ：氷床や氷河 | ウ：地下水 | エ：河川水や湖沼水 |
| F) イ：氷床や氷河 | ウ：河川水や湖沼水 | エ：地下水 |

問 3 水の蒸発や降水に伴う熱輸送は、地球表層における熱輸送のかなりの部分を担っている。以下のA～Cは、このことについて関連することがらを述べたものである。この中から内容に明らかな誤りを含む文を1つ選び、記号で答えなさい。

- A) 水が蒸発するときには周囲から蒸発熱を奪い、水蒸気が凝結して雲を作る際には潜熱を放出する。
- B) 水の蒸発や降水に伴う大気への熱輸送があるために、太陽放射を受ける地表の温度変化は小さくおさえられている。
- C) 太陽放射により暖められた地表から大気へ熱伝導により移動する熱輸送量は、水の蒸発や降水に伴う熱輸送の量に比べて大きい。

問 4 海洋と陸上における1年間の降水量は、それぞれ 3.9×10^{17} kg, 1.1×10^{17} kg と見積もられている。地球表層における水の循環において、水が大気中に滞留する平均の日数を計算により求めなさい。ただし有効数字は1桁とし、計算の過程がわかるように解答欄に示しなさい。

問 5 水が海洋に滞留する時間は、問4で考えた大気中に滞留する時間に比べてはるかに長く1000年程度と考えられている。こうした長い時間をかけて海水が海洋を循環するしくみについて述べた次の文章を読み、空欄 , , に入る適切な語句を答えなさい。

海洋表層を水平方向に循環する強い流れとして、海上を吹く風によって生じる がある。一方、海洋深層の流れはそれに比べるときわめて遅い。これは、深層海水の移動が、海洋表層から深層へ沈み込む海水に押し出されることによって起こるためである。このような海洋の鉛直方向の流れは、水温や塩分の違いに基づく海水の密度差によって引き起こされ、 循環と呼ばれる。現在の地球で、海洋表層から深層への沈み込みが起こっているのは などの海域に限られている。

Ⅲ 次の文章を読んで、問1～3に答えなさい。(配点25点)

ジョン・ミッチェルは1784年に出版された論文の中で、太陽と同じ密度で半径が500倍の天体からの光は我々に届かないだろうと述べている。^(A)これがブラックホールの概念が公に記された、知られている限り最古のものである。この計算にはニュートン力学が用いられていたが、正確な計算はアルバート・アインシュタインの一般相対性理論の完成により可能になった。

現在、ほとんど全ての銀河には一般的な恒星の質量を遥かに上回る、太陽の質量の数百万倍から数百億倍にもなる超大質量ブラックホールが存在していると考えられている。我々の住む天の川銀河(銀河系)も例外ではなく、その中心に超大質量ブラックホールを有していると考えられている。天の川銀河では1970年代に電波干渉計を用いた観測により、いて座の方向に強くコンパクトな電波源、いて座A*(SgrA*)が見出された。いて座A*は天の川銀河中心部にある超大質量ブラックホールに付随していると考えられ、1990年代には近赤外線を用いた大型望遠鏡によるいて座A*周辺のモニター観測が始まった。大型望遠鏡による近赤外線観測ではいて座A*周辺の複数の恒星の位置を精密に測定することができる。現在100個程度の恒星の運動がモニターされていて、特に周期が短い恒星についてはその軌道が正確にわかっている。^(B)そしてそれらによって、恒星の運動している領域より内側に含まれる質量が、極めて大きいことが示された。^(C)

2020年のノーベル物理学賞は、ブラックホールに関する研究をした研究者3名に贈られた。そのうち2名は、天の川銀河中心部の大質量かつコンパクトな天体を発見したラインハルト・ゲンツェルとアンドレア・ゲーズである。

問1 下線部(A)に関連した次の問いに答えなさい。

物体が、ある天体の表面から出発しその重力を振り切り無限遠方まで到達することのできる最小限の速度を脱出速度という。式で表すと次のようになる。

$$v_{\text{esc}} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

ここで v_{esc} は脱出速度の大きさ、 M と R は天体の質量と半径、また G は万有

引力定数である。今、太陽と同じ密度をもち半径が 500 倍大きい天体を考えると、その天体表面からの脱出速度が光速 (3.00×10^8 km/s) を越えることを示しなさい。なお太陽表面からの脱出速度が 6.18×10^2 km/s であることを使ってよい。

問 2 下線部(B)に関連した次の 2 つの問いに答えなさい。

(ア) 見かけの等級と絶対等級の間には、途中の空間における光の吸収の効果も考慮すると、

$$m_\lambda - M_\lambda = 5 \log_{10} d - 5 + A_\lambda$$

という関係がある。ここで m_λ は見かけの等級、 M_λ は絶対等級、また d は天体までの距離 (pc 単位；pc = パーセク) である。吸収の効果は等級で A_λ と表される。天の川銀河の中心部に見つかったある天体の、ある近赤外線波長域での見かけの等級を 14 等級、絶対等級を -3.0 等級、吸収による減光を 2.5 等級とする。このとき、この天体までの距離を有効数字 1 桁で求めなさい。常用対数の計算には以下の表を参照してよい。

$\log_{10} x$	x
0.1	1.26
0.2	1.58
0.3	2.00
0.4	2.51
0.5	3.16
0.6	3.98
0.7	5.01
0.8	6.31
0.9	7.94
1.0	10.0

(イ) 天の川銀河の中心部を可視光で観測するには困難がある。これはどのような理由によるかを簡単に述べなさい。

問 3 下線部(C)に関連した以下の問いに答えなさい。

いて座 A* 周辺で長期間モニターされている恒星に S2 と呼ばれるものがある。この S2 は、これまでの精密観測により近点距離 120 au (au = 天文単位)、離心率 0.88、周期 16 年の楕円軌道を持つことが知られている。S2 が超大質量ブラックホールの重力のもとで運動しているとして、このブラックホールの質量が太陽質量の何倍になるかを有効数字 1 桁で求めなさい。計算にあたっては、ケプラーの第三法則を適用し、かつ超大質量ブラックホールの質量は S2 よりも十分大きいとみなしてよい。また計算の過程を必ず示しなさい。