



第 13 回日本地学オリンピック本選

(国際地学オリンピック選抜)

地質分野 問題

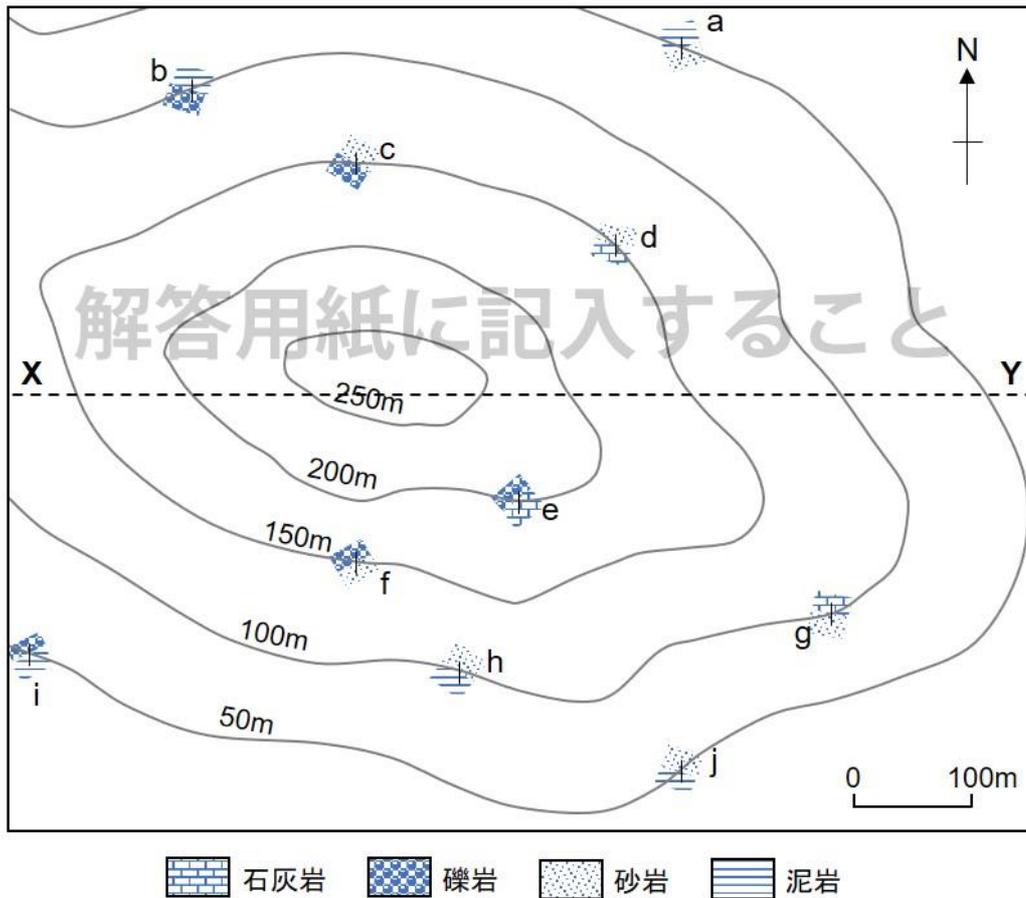
- ◆ 試験開始の合図があるまではこの冊子は開かないでください。
- ◆ 試験開始前に問題冊子と解答用紙に番号と氏名を記入してください。
- ◆ 解答はすべて解答用紙に記入して下さい。
- ◆ 問題冊子の余白等は適宜利用してください。
- ◆ 解答時間は 30 分です。
- ◆ 試験終了の合図とともに筆記用具をおいてください。
- ◆ 解答用紙は試験監督が回収します。
- ◆ この問題冊子は持ち帰って構いません。
- ◆ 貸与物: 定規

番号		氏名	
----	--	----	--

次の文章を読み、問いに答えなさい。

ある地域で地質調査を行ったところ、露頭 a～j の 10 地点で 4 枚の地層（石灰岩、礫岩、砂岩、泥岩）とそれらの地層境界を観察することができた。これら全 10 地点での地層境界の走向はどれも南北で、地層境界の中には一部不整合面も認められた。また、この地域内では断層や地層の逆転、地層の厚さの変化は認められなかった。（※作図問題では定規を用いても構わない。）

（解答用紙に作図をすること。また、作図に用いた線などは消さないで残しておくこと）



問1 地図上に、全ての地層境界線を描いて地質図を完成させなさい。この時、地図上の X-Y 線に沿う地質断面図を描きながら作業を進めること。最終的な地質断面図も完成させなさい。
(凡例の様様で塗りつぶす必要はなく、岩石名のみを記入すればよい)

問2 不整合面の直上に分布し、主に下位の地層から供給された礫を含む礫岩を一般に何と呼ぶか。

問3 砂岩層の厚さは何 m か。整数で答えよ。

問4 4 枚の地層を、形成年代の古い順に左から右へ並べなさい。

(例) ○○岩→●●岩→△△岩→◇◇岩

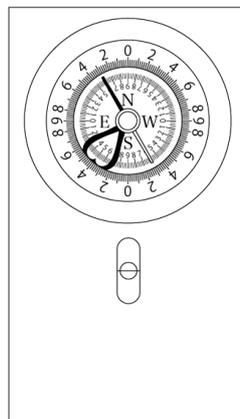
問5 砂岩層からは、モノチスの化石が産出した。以下の化石の中で、泥岩層から産出する可能性が最も低いと思われるものを一つ選びなさい。

ビカリア アンモナイト リンボク トリゴニア フデイシ

問6 堆積岩の地層を観察する場合、地層の逆転などがいないか、上下判定をすることが重要である。地層の上下判定に役立つ堆積構造や地層中に含まれる化石の特徴について、例を 5 つ挙げて説明しなさい。

問7 以下の文章の空欄に入る最も適当な語句を記入しなさい。

クリノメーターは、層理面や断層面の傾きの様子（走向や傾斜）を測定する器具である。クリノメーターの方位磁針の周辺には外側・内側二つの目盛がついており、(A) 側の目盛は走向を、(B) 側の目盛は傾斜を読みとる際にそれぞれ用いられる。層理面の走向を測定する際には、クリノメーターの長辺・短辺のうち (C) を層理面にあて、付属の (D) を使ってクリノメーターを水平に保持した状態にしなければならない。また、傾斜を測定する際には、クリノメーターの (C) を走向に対して (E) するように層理面にあてる必要がある。





第 13 回日本地学オリンピック本選

(国際地学オリンピック選抜)

固体地球分野 問題

- ◆ 試験開始の合図があるまではこの冊子は開かないでください。
- ◆ 試験開始前に問題冊子と解答用紙に番号と氏名を記入してください。
- ◆ 解答はすべて解答用紙に記入して下さい。
- ◆ 問題冊子の余白等は適宜利用してください。
- ◆ 解答時間は 30 分です。
- ◆ 試験終了の合図とともに筆記用具をおいてください。
- ◆ 解答用紙は試験監督が回収します。
- ◆ この問題冊子は持ち帰って構いません。
- ◆ 貸与物:電卓

番号		氏名	
----	--	----	--

※ 対数 (log) に関する説明

$a > 0, a \neq 1$ で, $M > 0$ とするとき, 次が成り立つ。

$$M = a^p \Leftrightarrow \log_a M = p$$

特に, $a = 10$ のときは次のように表され, これを常用対数という。

$$M = 10^p \Leftrightarrow \log_{10} M = p$$

(空白)

次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

地震はおもに地下の断層がずれることにより発生する。地震が発生すると、震源域から放出された波（地震波）が地上の観測点等で観測される。震源域から放出された波の強さを測ることで、地震の規模であるマグニチュードをもとめることができる。

はじめに導入されたマグニチュードは、ローカルマグニチュード（ M_L ）と呼ばれており、震源から 100 km ほど離れたウッド・アンダーソン型地震計で計測された最大振幅（ A ）を用いて、

$$M_L = \log_{10} A$$

と定義されている（ \log の意味は表紙裏の説明を参照）。実際には、適当な距離に適当な地震計の観測点が存在しないので、波が距離によって減衰する距離減衰の特性や地震計の特性を加味して、マグニチュードを推定することになる。各観測点での補正した最大振幅からもとまるマグニチュードは異なるので、最終的に発表されるマグニチュードは、観測点毎に求めたマグニチュードを平均したものになる。

ローカルマグニチュードとは異なるマグニチュードとして、断層すべりに相当する力から求められるモーメントマグニチュード（ M_w ）がある。地震時の断層すべりに相当する力は地震波形からもとめることができ、その値は地震モーメントと呼ばれる。地震モーメント（ M_0 ）は、バネ定数のように変形のしやすさに対応する剛性率（ μ ）と断層面積（ S ）と断層の平均すべり量（ \bar{D} ）を用いて、

$$M_0 = \mu S \bar{D}$$

となる。モーメントマグニチュード（ M_w ）は地震モーメントを用いて、

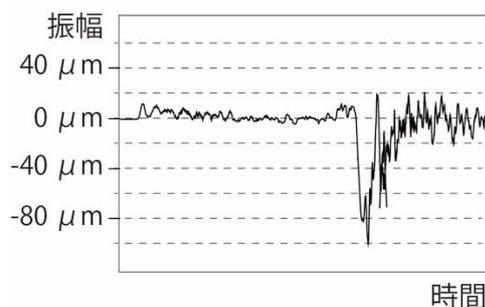
$$M_w = \frac{\log_{10} M_0}{1.5} - 10.7$$

と定義されている。

問 1 図 1 のように、2 つの観測点で地震波形が観測されたものとする。この地震のマグニチュードを有効数字 2 桁で求めよ。ただし、最大振幅の距離減衰式は観測点によって変化しないと考え、マグニチュード（ M ）は最大振幅（ $A \mu\text{m}$ ）と観測点の震央距離（ $d \text{ km}$ ）を用いて、下記の式で求めることができるものとする。

$$M = \log_{10} A + 1.7 \log_{10} d - 0.8$$

震央距離 10 km の観測点での地震波形



震央距離 100 km の観測点での地震波形

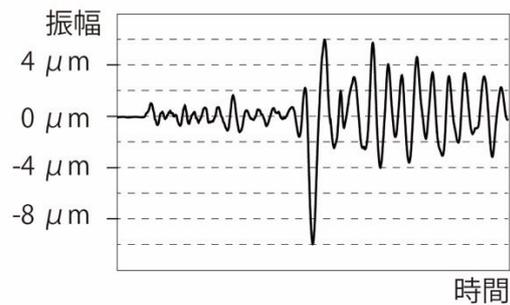


図 1 震央距離 10 km と 100 km で観測された地震動。

(各波形の特徴がわかるように縦軸と横軸が調整されていることに注意すること。)

問2 図2は、震央距離が異なる観測波形を示したものである。P波S波といった地中を通過する波の後に、地表にそって伝播する表面波が観測される。この図を参考にして、問1で提示された式を使用してマグニチュードを推定する場合の問題点について考察せよ。

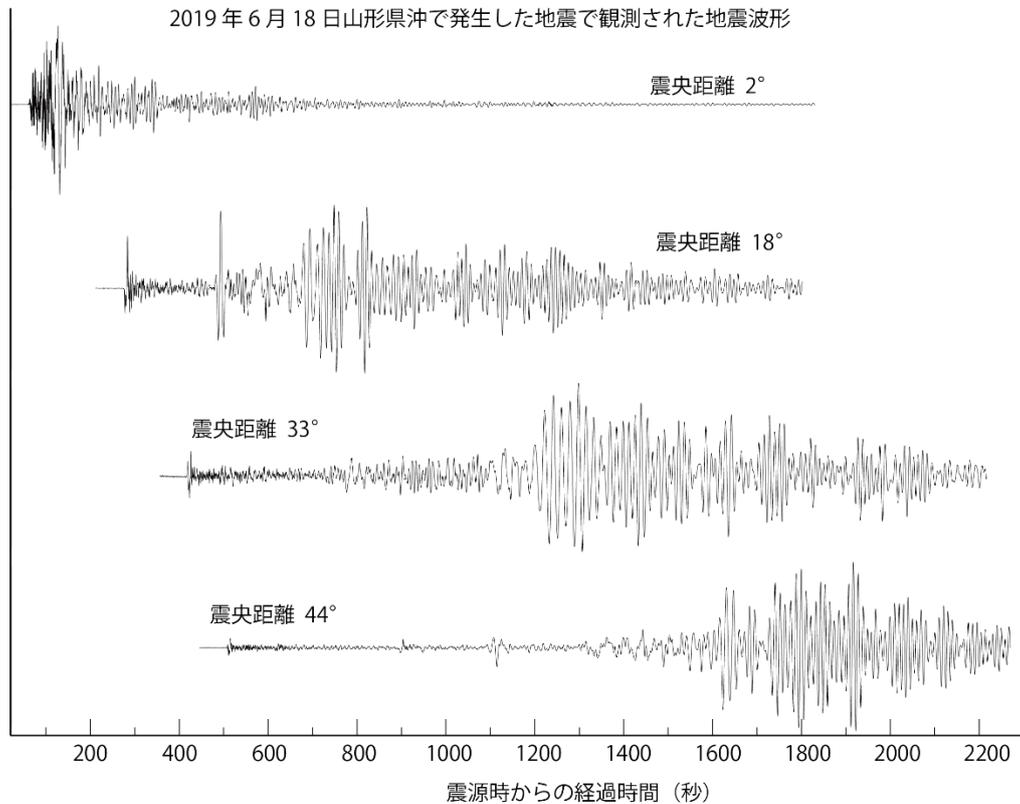


図2 2019年6月18日に山形県沖で発生した地震の地震動。横軸は、震源時からの経過時間で、各観測点で観測された波形の振幅の値は異なるが、図ではすべての波形の最大振幅が等しくなるように調整している。

問3 マグニチュードが1大きくなると、地震モーメントは厳密に何倍になるのか答えよ。答えには平方根を使用しても良い。

問 4 地震は地球内部に蓄積されたひずみが解放される現象である。ひずみはおおよそ、断層の平均滑り量を断層の長さで割ったものに比例する。蓄えられるひずみは、場所によって大きく変化しないために、断層の平均的なずれの量 (\bar{D}) を断層の長さ (L) で割った値がおおよそ一定になる。また、断層の幅 (W) は断層の長さに比例する。

- (1) マグニチュードが 1 大きくなった場合、 \bar{D} 、 L 、 W はそれぞれどのように変化するのか答え、その理由を説明せよ。
- (2) 地震が一点から破壊が開始し、その継続時間 (t) と断層の長さ (L) との間に $t = kL$ (k は比例定数) の関係がある場合、地震モーメントと継続時間 (t) がどのような関係になるのか考察せよ。

問 5 中規模以下の地震では、マグニチュードが変化しても、断層を表現する値の比 $\bar{D}:L:W$ がおおよそ一定の値になることが知られている。一方で、マグニチュードが大きくなるにつれ、この関係が破綻することも知られている。内陸地殻内部の横ずれ断層が動いた場合この関係はおおよそマグニチュード 7 程度で破綻し、沈み込み帯のプレート境界で発生する逆断層の地震ではこの関係はおおよそマグニチュード 8 程度で破綻する。両者で破綻するマグニチュードの違いが生じる理由について考察せよ。ここで、地震時の断層のずれは温度が低い領域に限られることに留意すること。また、図 3 を説明に用いても良い。

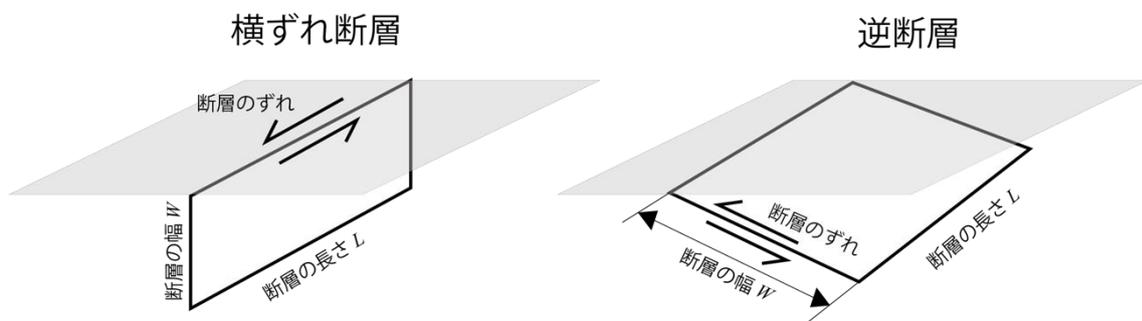


図 3 横ずれ断層と逆断層の場合の断層の長さ (L) と断層の幅 (W) の模式図



第 13 回日本地学オリンピック本選

(国際地学オリンピック選抜)

気象分野 問題

- ◆ 試験開始の合図があるまではこの冊子は開かないでください。
- ◆ 試験開始前に問題冊子と解答用紙に番号と氏名を記入してください。
- ◆ 解答はすべて解答用紙に記入して下さい。
- ◆ 問題冊子の余白等は適宜利用してください。
- ◆ 解答時間は 30 分です。
- ◆ 試験終了の合図とともに筆記用具をおいてください。
- ◆ 解答用紙は試験監督が回収します。
- ◆ この問題冊子は持ち帰って構いません。
- ◆ 貸与物:電卓

番号		氏名	
----	--	----	--

気象に関する以下の問い（問 1～3）に答えよ。なお、問 1～問 3 はそれぞれ独立に解くことができる。問題全体に目を通し、できるところから解答するとよい。

問 1 陸域の地表付近の気温や降水量などの気象条件は、陸面の状態と密接に関係している。次の図 1 に示したロシアに含まれる領域 R における気象条件や陸面の状態に関する以下の問いに答えよ。

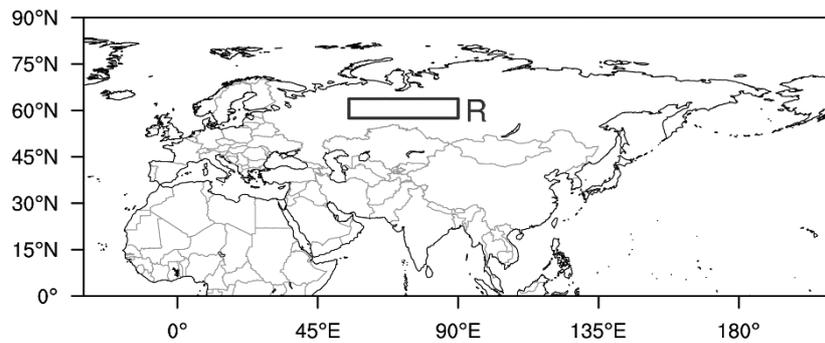


図 1 領域 R の位置

(1) 次の図 2 は、領域 R で長期間にわたり平均した降水量、地表気温、土壤水分飽和率（土壤の湿り具合を表す量）の季節変化を示している。降水量が 8 月に極大を迎えるにもかかわらず、土壤水分飽和率は 4 月に明瞭な極大をもつ。この理由を、4 月頃の気温変化をふまえて説明せよ。

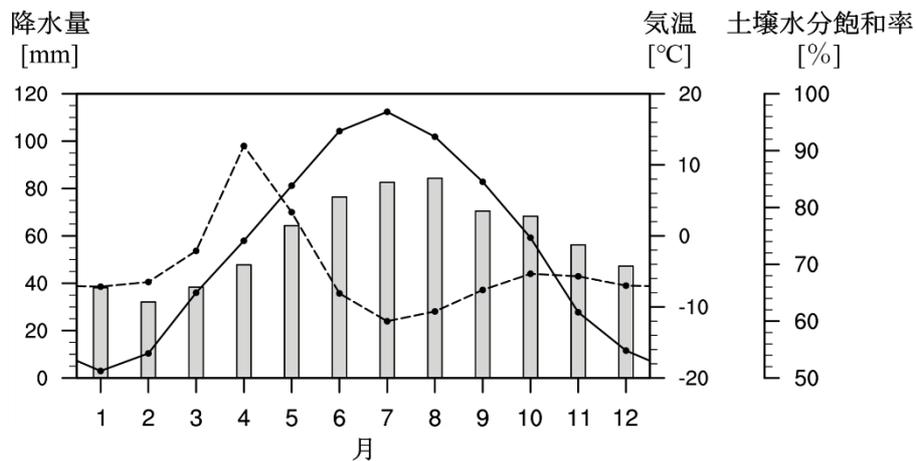


図 2 領域 R での降水量（棒グラフ）、地表気温（実線）、土壤水分飽和率（破線）の季節変化

(2) 次の図3は、領域Rで長期間にわたり平均した地表面での放射，潜熱，顕熱による熱輸送の季節変化を示したものである。これについて説明した下の文章中の空欄A~Kに入る語句として最も適当なものを，それぞれ下の語群ア~コから選び，記号で答えよ。ただし，同じ語句を二度以上用いてもよい。

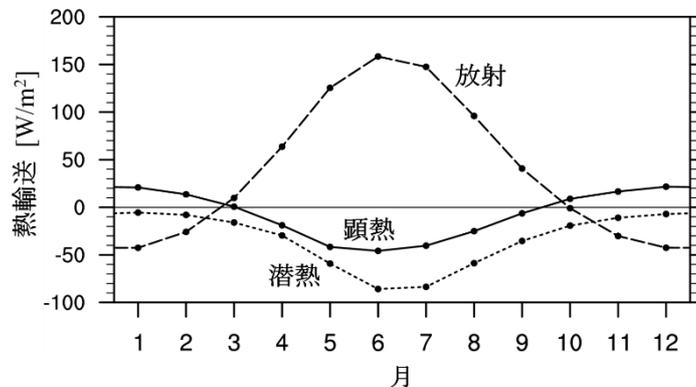


図3 領域Rの地表面における放射（破線），潜熱（点線），顕熱（実線）による熱輸送の季節変化（縦軸は熱輸送が下向きなときを正としている）

放射は夏季に地表面を し，冬季に している。これは，夏季には地表面が正味で受け取る が，正味で射出する を上回るのに対し，冬季には逆に正味で受け取る が，正味で射出する を下回るからである。潜熱輸送は年間を通して地表面を しており，これは へ水が していることを意味する。顕熱輸送は夏季に地表面を し，冬季に している。冬季に顕熱輸送が地表面を する一つの要因として，放射により強く された地表面付近の温度が，より上空の大気の温度と比べて なることがあげられる。

語群：

- | | | | |
|---|------------|---|------------|
| ア | 加熱 | イ | 冷却 |
| ウ | 長波放射（地球放射） | エ | 短波放射（太陽放射） |
| オ | 大気から地表面 | カ | 地表面から大気 |
| キ | 蒸発 | ク | 凝結 |
| ケ | 高く | コ | 低く |

(3) 領域 R 周辺にみられる、ユーラシア大陸や北米大陸の亜寒帯に特徴的な植生として最も適切なものを、次の①～④から一つ選び、記号で答えよ。

- ① 砂漠 ② 草原 ③ 広葉樹林 ④ 針葉樹林

(4) 地表面は、岩石が風化されてできた粘土鉱物などと、植物の遺骸やそれが分解された腐植などの有機物とが混ざり合った土壤に覆われていることが多い。岩石の風化や微生物による有機物の分解の速さは、気温や降水量の影響を大きく受ける。そのため、気候帯や植生と対応して一定の性質を持った土壤が分布することがあり、このような土壤は成帯土壤と呼ばれる。次の X～Z は、代表的な成帯土壤とその説明である。このうち、領域 R 周辺にみられる成帯土壤として最も適切なものを一つ選び、記号で答えよ。

X：微生物による有機物の分解やその流出が速いため、腐植は少ない。岩石の風化の進み方も速く、水に溶けやすい成分が速やかに溶け出す。結果として、鉄やアルミニウムの酸化物・水酸化物が地表付近に残留し、赤色を呈する土壤が形成される。

Y：微生物による有機物の分解が不活発であり、表面に植物の遺骸や腐植が厚く堆積する。有機物に由来する酸により強い酸性となり、腐植下では鉄やアルミニウムが流出することで灰白色を呈した土壤が形成される。

Z：微生物による有機物の分解が比較的速く、落葉による植物の遺骸の供給も多いため、腐植が豊富につくられる。岩石の風化も比較的速く、粘土鉱物が有機物と混ざり合った結果、褐色を呈した土壤が形成される。

(5) 高緯度地域では低温のために土壤に含まれる水分が恒常的に凍結していることがあり、このような状態の土壤は永久凍土とよばれる。近年の温暖化に伴って永久凍土が融解することにより、そこに閉じ込められていたある温室効果気体が放出され、温暖化を加速させることが懸念されている。一方で、この気体は永久凍土や深海底の地下深くでは、氷のような固体の物質として保存されていることがあり、新たな資源としても期待されている。この気体の名称と、それを多く含む氷のような固体の物質の名称を、それぞれカタカナで答えよ。

問2 近年、世界の平均地表気温は上昇傾向にある（地球温暖化，温暖化）。次の図4は、近年の地表気温の上昇率を示している。温暖化に関する以下の問いに答えよ。

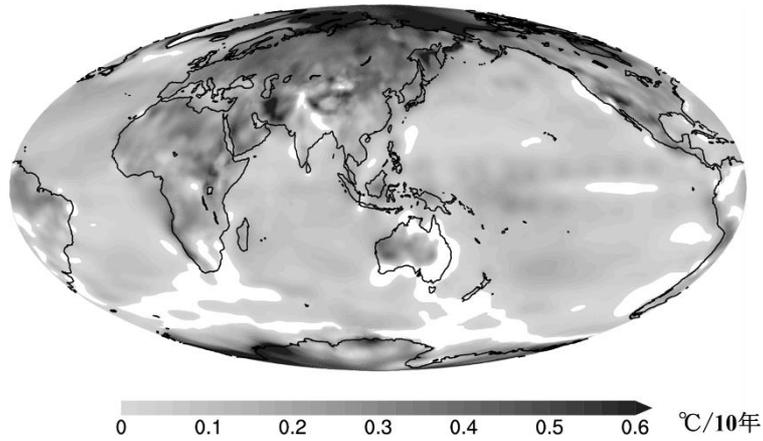


図4 近年の地表気温の上昇率

(1) 図4にみられるように、温暖化に伴う昇温は極域で特に大きく（極域増幅），極域の海水の急速な減少が問題となっている。下の図5は、夏の北極域の海水面積の年々変動とその平均的な減少傾向を表す直線（回帰直線）を示したグラフである。この回帰直線は、西暦2000年からの年数を X [年]（つまり、例えば2010年は $X = 10$ ），海水面積を Y [10^4 km^2]とすると、

$$Y = aX + b$$

と書ける。上の式の a と b に入る値を整数で答えよ。また、今後の海水面積がこの回帰直線にしたがって直線的に減少すると仮定すると、夏の北極域において海水が消滅するのは西暦何年か、整数で答えよ。計算の過程も記すこと。

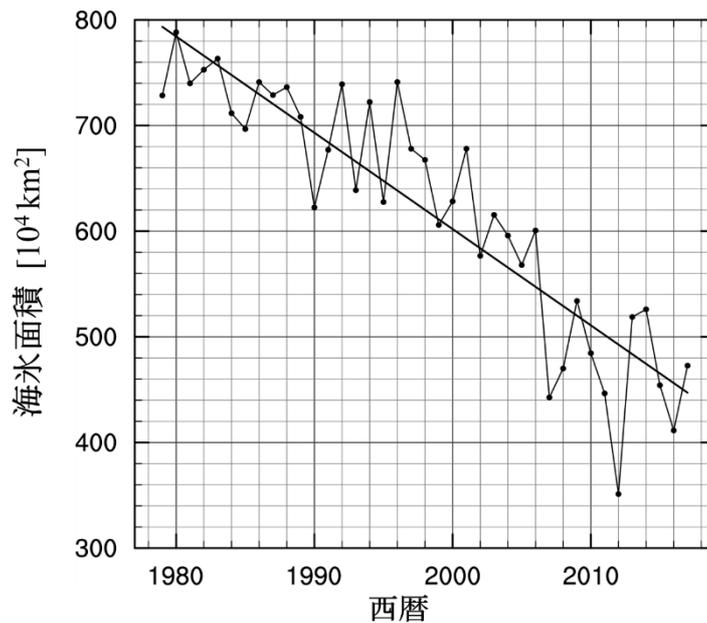


図5 夏（9月はじめ頃）の北極域の海水面積

(2) 温暖化の主要因は、人間活動に起因する大気中の二酸化炭素濃度の増加である。二酸化炭素濃度が増加すると温室効果が強化され、大気上端から宇宙空間へ出ていく長波放射が減少するため、地球の気候システムが正味で受け取るエネルギーが増加する。このエネルギーの増分は「放射強制力」と呼ばれ、ここでは ΔF と書く。例えば、大気中を伝わる放射の詳細な計算により、大気中の二酸化炭素濃度が 2 倍になると気候システムは 3.7 W/m^2 のエネルギーを過剰に受け取るとされる。この場合、放射強制力 ΔF は 3.7 W/m^2 となる。

放射強制力が与えられた気候システムはエネルギーの不均衡を解消するように変化し、いずれ地表気温が ΔT 上昇した新しい平衡状態に達すると考えられる。いま、平均地表気温の上昇量 ΔT が放射強制力 ΔF に比例し、

$$\Delta T = s \Delta F$$

と書けるとする。ここで、比例係数 s は「気候感度」と呼ばれる。気候感度は、温室効果の強化に対してどのくらい気温が上昇するかに相当する量であるから、温暖化予測とは気候感度を見積もることであると言っても過言ではない。

気候感度の最も単純な見積もりは「プランク応答」を考えることである。いま、温室効果の増大により地表面や大気が高度方向に一様に昇温する状況を考える。このとき、シュテファン・ボルツマンの法則*) にしたがって昇温の分だけ宇宙空間へ長波放射として射出される放射エネルギーが増加し、新しい平衡状態では昇温による長波放射の増加が放射強制力と等しくなると仮定する。これがプランク応答であり、プランク応答に対応する気候感度(ここでは s_p と書く)は、放射強制力 1 W/m^2 あたり約 0.3°C であると見積もられている。

しかし、複数の気候モデルの計算により、実際の気候感度 s はプランク応答のみを考慮した気候感度 s_p よりも大きいと見積もられている。これは、気温の上昇により生じる気候システムの変化が大気上端での放射収支などをさらに変化させる過程である「フィードバック」が存在するからである。気候システムには正と負のフィードバックが複数存在し、 s と s_p の大小関係は、正味としてどちらのフィードバックが優勢であるかに依存する。フィードバックに関する以下の問いに答えよ。

*) シュテファン・ボルツマンの法則：物体表面から単位面積・単位時間あたりに射出される放射エネルギーは、絶対温度の 4 乗に比例する。

(i) 気候システムに内在する正のフィードバックの一つとして、アイス・アルベドフィードバックが挙げられる。このフィードバックは極域において効果的にはたらき、極域増幅の主要因であると考えられている。アイス・アルベドフィードバックとはどのようなフィードバックか。次の文中の空欄を埋める形で説明せよ。解答欄には空欄部分のみを記すこと。

地表気温の上昇によって、，大気上端での放射収支が変化し、気候システムが正味で受け取るエネルギーが増加する。

- (ii) 温暖化に伴う昇温は、極域増幅のように水平方向に非一様であるだけでなく、高度方向にも非一様となりうる。主に熱帯の積乱雲の活動の変化により、昇温は地表面付近よりも対流圏上層で大きく、温暖化に伴って対流圏の気温減率が小さくなることが予測されている。また、温暖化に伴う昇温は大気中の水蒸気量を変化させ、大気中での長波放射の伝わり方を変えることが予測されている。この気温減率と水蒸気量の変化は、正の放射強制力に対する地表気温の上昇に対して正と負のどちらのフィードバックとしてはたらくか。それぞれ「正」または「負」のいずれかで答えよ。

問 3 地球の大気現象について述べた以下の文 (a) ~ (f) について、正しければ○を、誤っていれば×を解答欄に記せ。ただし、正文も誤文も少なくとも 1 つはあり、6 つ全てを○や×とした解答には点を与えない。

- (a) 水蒸気が凝結する際に放出される潜熱は、発達する温帯低気圧のエネルギー源の一つである。
- (b) 南半球の温帯低気圧は、温暖前線の前方（東側）に寒冷前線をもつ。
- (c) 一般に、南半球のほうが北半球よりも偏西風の蛇行の程度やその季節変化が大きい。
- (d) 中緯度の対流圏上層では偏西風とよばれる西風が吹くことが多いが、地表付近では東風が吹くことが多い。
- (e) ハドレー循環の上昇流域の上空には、亜熱帯ジェット気流と呼ばれる強い西風が吹いている。
- (f) 極域の成層圏では、西風と東風が約 2 年周期で入れ替わる準二年周期振動 (QBO) という現象がみられる。



第 13 回日本地学オリンピック本選

(国際地学オリンピック選抜)

海洋分野 問題

- ◆ 試験開始の合図があるまではこの冊子は開かないでください。
- ◆ 試験開始前に問題冊子と解答用紙に番号と氏名を記入してください。
- ◆ 解答はすべて解答用紙に記入して下さい。
- ◆ 問題冊子の余白等は適宜利用してください。
- ◆ 解答時間は 30 分です。
- ◆ 試験終了の合図とともに筆記用具をおいてください。
- ◆ 解答用紙は試験監督が回収します。
- ◆ この問題冊子は持ち帰って構いません。
- ◆ 貸与物:電卓

番号		氏名	
----	--	----	--

次の文章を読み、問いに答えなさい。

大西洋の海水の水温と塩分の鉛直分布は、図1に示すような特徴的な分布をしており、①表層水、②中層水、③深層水、④底層水に大きく区別され、層構造を形成して循環している。表層水は大気の変化に直接応答し、中層水は表層水と深層水の間から南極側から貫入し塩分が小さく、深層水と底層水は海洋の大半で大気から隔離され、その海水の性質はほぼ保存されている。ところで、深層水と底層水の平均的な流れは海水の水温や塩分の緯度による違いによって駆動されているため、(ア)循環と呼ばれている。^(a)北大西洋高緯度や南極で表層水が冷やされると海水の密度が高くなり沈降していき、深層水や底層水が形成される。蒸発と海水の形成の際に放出される塩分も海水の密度を増加させる。^(b)海底近くに沈降した海水は、全海洋の様々な場所でゆっくり湧き上がり、表層にもどされる。この流れは、3次元的にみると海盆スケールで水平循環をなし、西岸に沿って特に強い。風成循環と(ア)循環を結びつけた^(c)全海洋の3次元的な深層水と底層水の海水移動の部分の循環を(イ)循環といい、全体的な流れのパターンは(ウ)と呼ばれている。(ウ)の強さの変化は、特に西ヨーロッパの気候変化と関連がある。

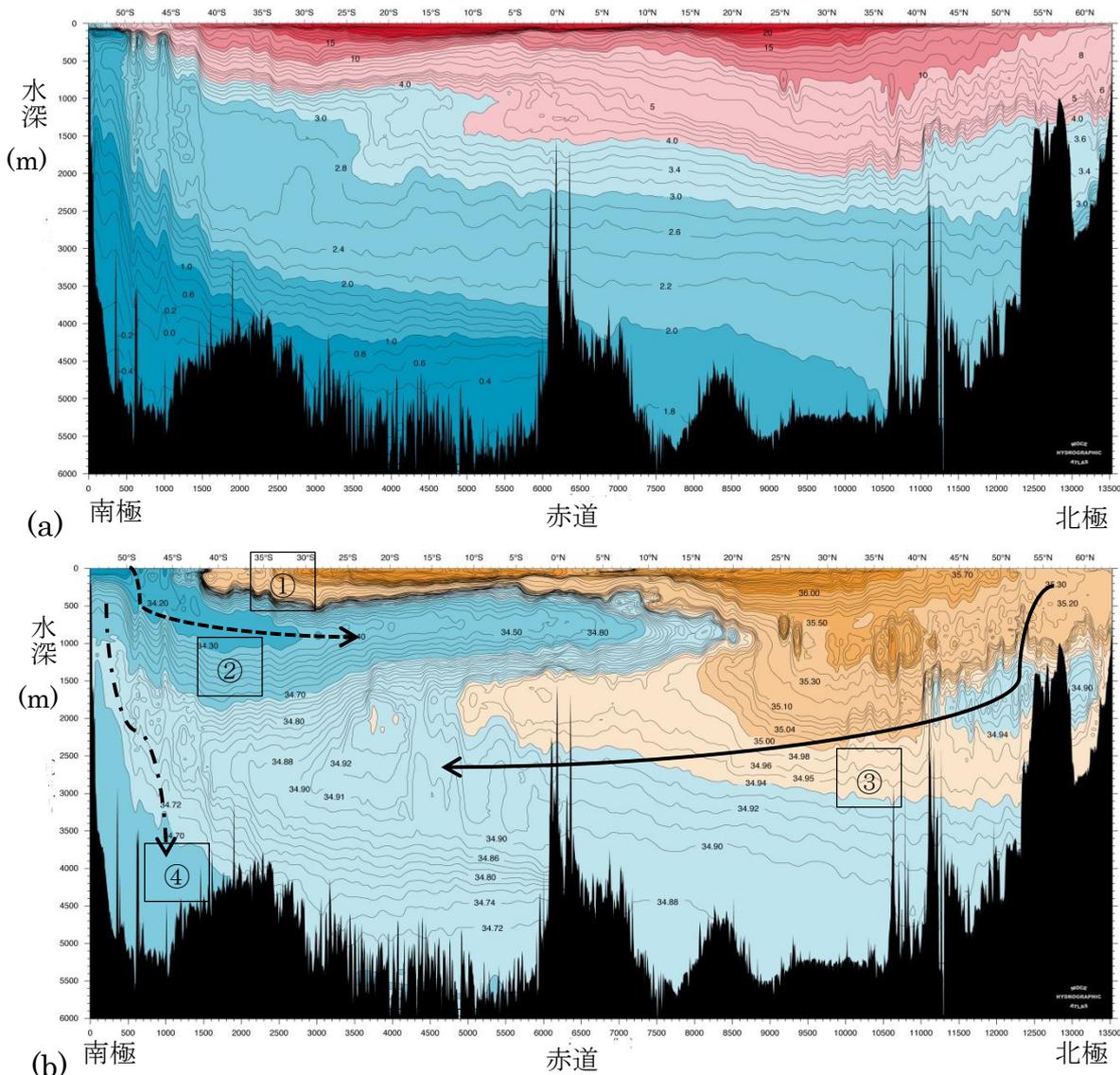


図1. 西大西洋南北断面における(a)水温と(b)塩分の分布 (WOCE Map)

問 1 文中の(ア)から(ウ)にあてはまる語句を答えなさい。

問 2 下線(a)の③深層水と④底層水が形成される海域に対応する具体的な海の名前を、一つずつ書きなさい。

問 3 海水は図 1 に示したように鉛直方向に塩分と水温が異なる固有の領域が分かれるような構造をもち、①表層水から④底層水の 4 つの領域に分けられる(水塊)。図 1 を参考に、それらの水塊が以下の図 2 に示す水温－塩分ダイアグラムのどの位置に存在するか、図の中の(ア)～(エ)から選択し記号で答えなさい。また、対応するそれらの水塊の名まえを〇〇水として答えなさい。

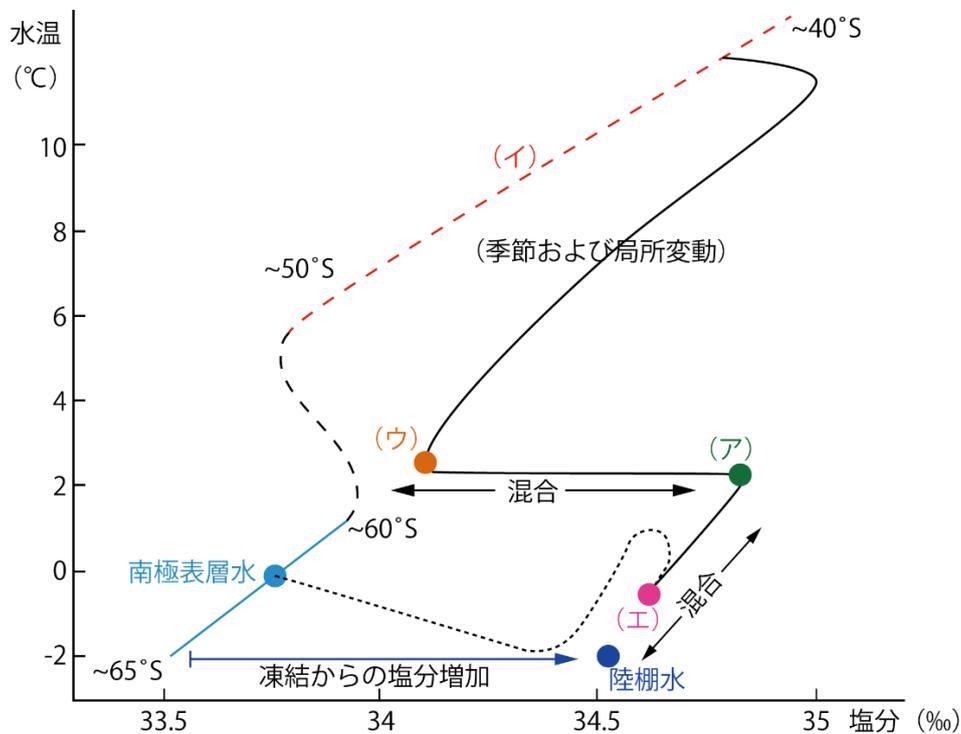


図 2. 大西洋の代表的な水塊の水温－塩分ダイアグラムを改変 (Regional Oceanography, Tomzack and Godfly, 2005 を改変)

問 4 下線部(b)について、経線に沿った緯度－水深断面の南北の循環は物理的には対流とみなすことができる。この南北循環は、海面での大気との熱と淡水のフラックス(やりとり)による海洋内の密度の南北変化によって起こると考えられる。この南北対流について、形成過程と循環の様子について物理的解釈を含めて説明しなさい。

問 5 下線部(c)について、海洋循環が一周するのにどの程度の期間がかかるか、図 3 の放射性物質トリチウムの 10 年間の分布の変化から時間を見積もり、地球一周するのにかかる時間を年の単位で答えなさい。(ここで、海洋循環の一周の距離は大西洋における北極と南極の往復と地球の外周を合わせたものとする。また、図 3(a), (b)における 0.2 の等値線の水深 3,000 m~4,000 m での変化に注目し、海水の 10 年間の移動距離が緯度差 5° に相当すると判断する。また、緯度差 1° を近似的に 100 km と換算する。)

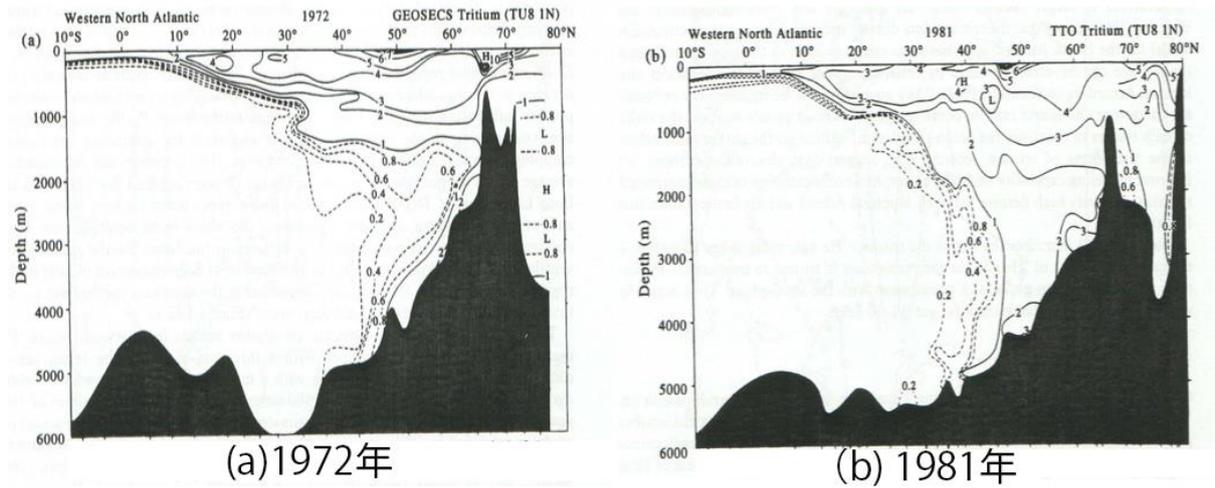


図 3. 北大西洋におけるトリチウムの鉛直濃度分布の(a) 1972 年から(b) 1981 年までの 10 年間に移動したパターン



第 13 回日本地学オリンピック本選

(国際地学オリンピック選抜)

天文分野 問題

- ◆ 試験開始の合図があるまではこの冊子は開かないでください。
- ◆ 試験開始前に問題冊子と解答用紙に番号と氏名を記入してください。
- ◆ 解答はすべて解答用紙に記入して下さい。
- ◆ 問題冊子の余白等は適宜利用してください。
- ◆ 解答時間は 30 分です。
- ◆ 試験終了の合図とともに筆記用具をおいてください。
- ◆ 解答用紙は試験監督が回収します。
- ◆ この問題冊子は持ち帰って構いません。
- ◆ 貸与物： 電卓

番号		氏名	
----	--	----	--

立方・立方根表

(解答にあたって必要に応じて以下の表を利用しても構わない)

n	n^3	$\sqrt[3]{n}$	n	n^3	$\sqrt[3]{n}$
1	1	1.0000	26	17576	2.9625
2	8	1.2599	27	19683	3.0000
3	27	1.4422	28	21952	3.0366
4	64	1.5874	29	24389	3.0723
5	125	1.7100	30	27000	3.1072
6	216	1.8171	31	29791	3.1414
7	343	1.9129	32	32768	3.1748
8	512	2.0000	33	35937	3.2075
9	729	2.0801	34	39304	3.2396
10	1000	2.1544	35	42875	3.2711
11	1331	2.2240	36	46656	3.3019
12	1728	2.2894	37	50653	3.3322
13	2197	2.3513	38	54872	3.3620
14	2744	2.4101	39	59319	3.3912
15	3375	2.4662	40	64000	3.4200
16	4096	2.5198	41	68921	3.4482
17	4913	2.5713	42	74088	3.4760
18	5832	2.6207	43	79507	3.5034
19	6859	2.6684	44	85184	3.5303
20	8000	2.7144	45	91125	3.5569
21	9261	2.7589	46	97336	3.5830
22	10648	2.8020	47	103823	3.6088
23	12167	2.8439	48	110592	3.6342
24	13824	2.8845	49	117649	3.6593
25	15625	2.9240	50	125000	3.6840

次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

2017年10月19日、ハワイの天文台で1つの興味深い天体が発見された。その天体は、後にハワイ語で“遠方からの使者”という意味を持つ‘Oumuamua(オウムアウア)’と命名された。この天体について考えていこう。

天体の運動を考える際には、ケプラーの法則が基礎となる。ケプラーの法則は次の3つの法則からなる。

第1法則: 太陽系の惑星の軌道は楕円である。

第2法則: 太陽と惑星を結ぶ線分が単位時間に描く面積は一定である。

第3法則: 惑星の公転周期の2乗は軌道の長半径の3乗に比例する。

このケプラーの法則は惑星だけでなく、太陽系内の天体に一般的に成り立つことがわかっている。ケプラーの第1法則から、太陽系天体は太陽に最も近づく点(近日点)と最も遠ざかる点(遠日点)を持つことがわかる(図1)。ここで、天体の軌道を考える際に重要な要素となる量として離心率(e)を導入する。近日点の距離($r_{近}$)、遠日点の距離($r_{遠}$)は、長半径(a)と離心率(e)から求めることができる。

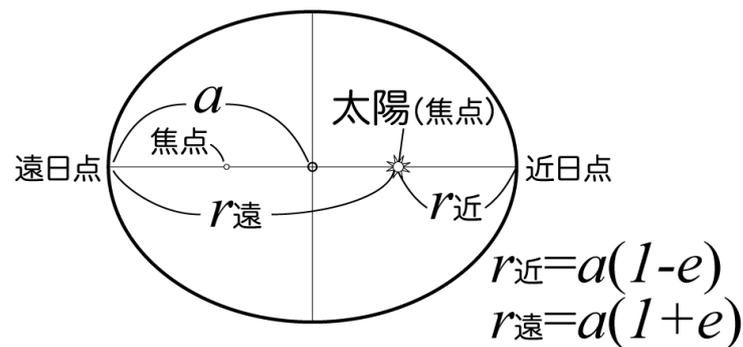
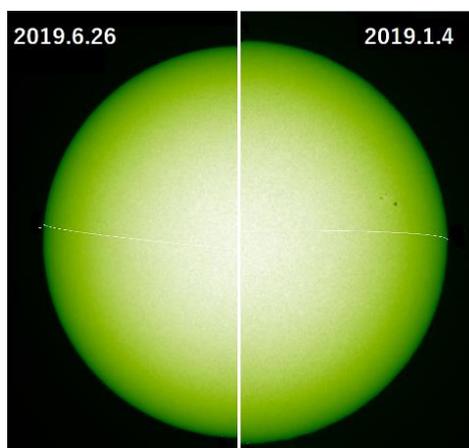


図1: 太陽系天体の軌道の概念図

問1. 地球から太陽を観察すると、時期によって太陽の見かけの大きさが違って見える。

図2は地球が近日点近くにいる頃(2019.1.4)と遠日点近くにいる頃(2019.6.26)に撮影した太陽画像の比較をしたものである。わずかではあるが、大きさが違ってることがわかる。



地球の近日点位置での太陽の見かけの大きさは、遠日点位置での太陽の見かけの大きさ(直径)と比べて3.4%大きかった。このことから、地球の軌道の離心率を有効数字2桁で求めよ。

図2: 太陽のみかけの大きさの比較

問 2: 削除

図 3 削除

問 3:ケプラーの第 2 法則から、太陽と天体までの距離 r と公転速度 v の積は近日点と遠日点で等しい。ハレー彗星の近日点での公転速度を $5.4 \times 10^4 \text{m/s}$ とすると、遠日点での速度はいくらになるか。有効数字 2 桁で解答せよ。

問 4:オウムアウアの明るさの変化を観測したところ図 4 のような結果が得られた。見かけの明るさは対象までの距離によって変化するため、図 4 では距離の影響は除いてある。

明るさの変化が地球から見た時のオウムアウアの大きさの変化であると仮定すると、図 4 からオウムアウアの形状を推定することができる。選択肢①～⑤のうちで、オウムアウアの形状として最も適切と考えられるものはどれか。理由も含めて解答せよ。

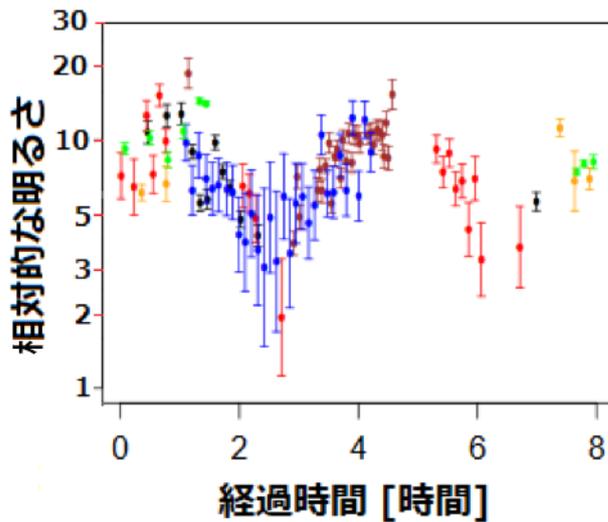
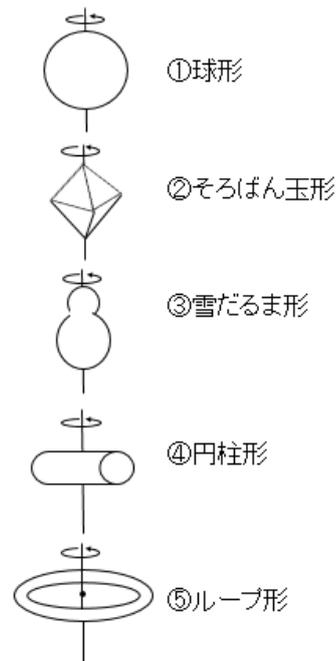


図 4:オウムアウアの明るさの時間変化



問 5:オウムアウアが太陽系の外から飛来したかどうかを光学的観測に基づいて判断するためには、どのような情報が必要か。理由とともに解答せよ。