

第 11 回日本地学オリンピック本選（固体地球 問題用紙）

番号

氏名

次の文章を読み、各問いに答えなさい。

日本は、地震活動と火山活動が活発な地域である。東日本太平洋沖では太平洋プレートが年間約 10 cm のスピードで日本列島の下に沈み込んでおり、西日本太平洋沖ではフィリピン海プレートが年間数 cm のスピードで日本列島の下に沈み込んでいる。日本で発生する地震や火山のほとんどはこのプレートの動きと関連付けて説明することができる。図 1 は、全地球航法衛星システム (GNSS) で観測された、2011 年東北地方太平洋沖地震以前の 1 年間の地殻変動の図である。東日本は新潟の観測点を固定点として、西日本は対馬の観測点を固定点として水平変動を描いている。

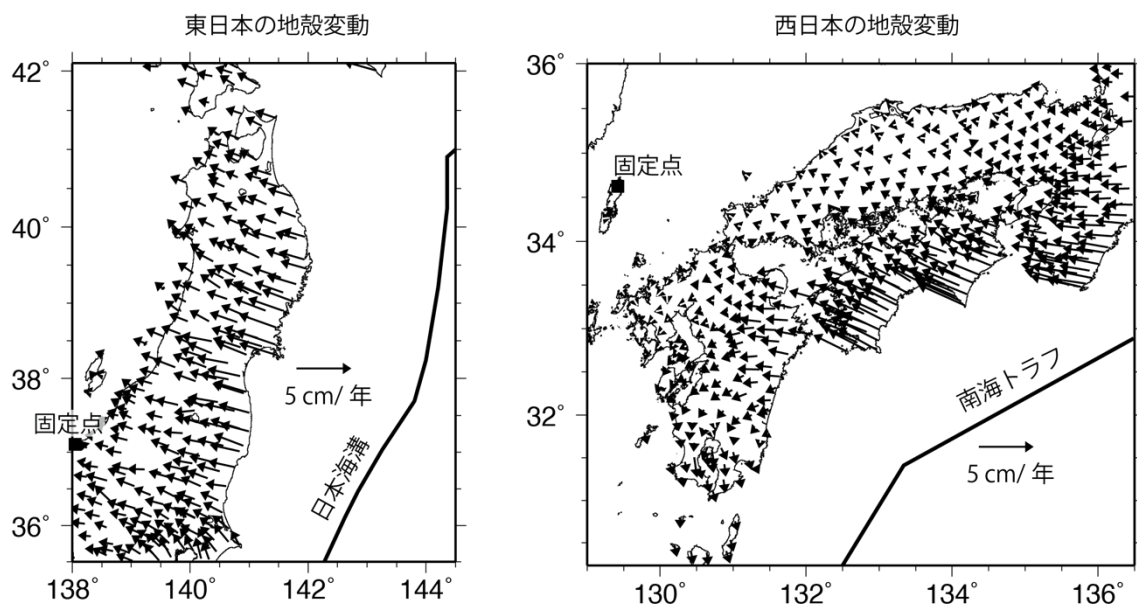


図 1 東日本と日本の地殻変動

問 1

図 1 の東日本と西日本の地殻変動の共通点と、そのような変動が観測される理由について述べなさい。

問 2

1946 年に発生した昭和南海地震では、太平洋に突き出ている室戸岬の海岸線で隆起が観測され、高知市の海岸線では沈降が観測された。両者の違いについて解答用紙に記載されているプレート境界の概念図に地震後の地表面の変化を記載し、説明せよ。ここで、地球はゴムのような性質を持ち、全体の体積変化は小さいことに注意すること。

問 3

南海トラフで発生する巨大地震の断層すべりの方向が南海トラフの伸びる方向と垂直方向になり、その方向に蓄積したひずみは巨大地震によって全て解放するものとする。

- (1) 解答用紙に描かれている地図中の点 A と B の巨大地震間（平常時）、巨大地震時の変位ベクトル^(注)を描き、巨大地震後に四国に残留する変位ベクトルについて説明せよ。
- (2) 巨大地震後に残留したひずみによって、四国を横切る中央構造線に沿った活断層はどのようにずれやすくなるかについて考察せよ。

(注)

・ベクトル：

向きと大きさを持ったもの。図では向きは矢印の方向、大きさは矢印の長さで表現している。

・変位ベクトル：

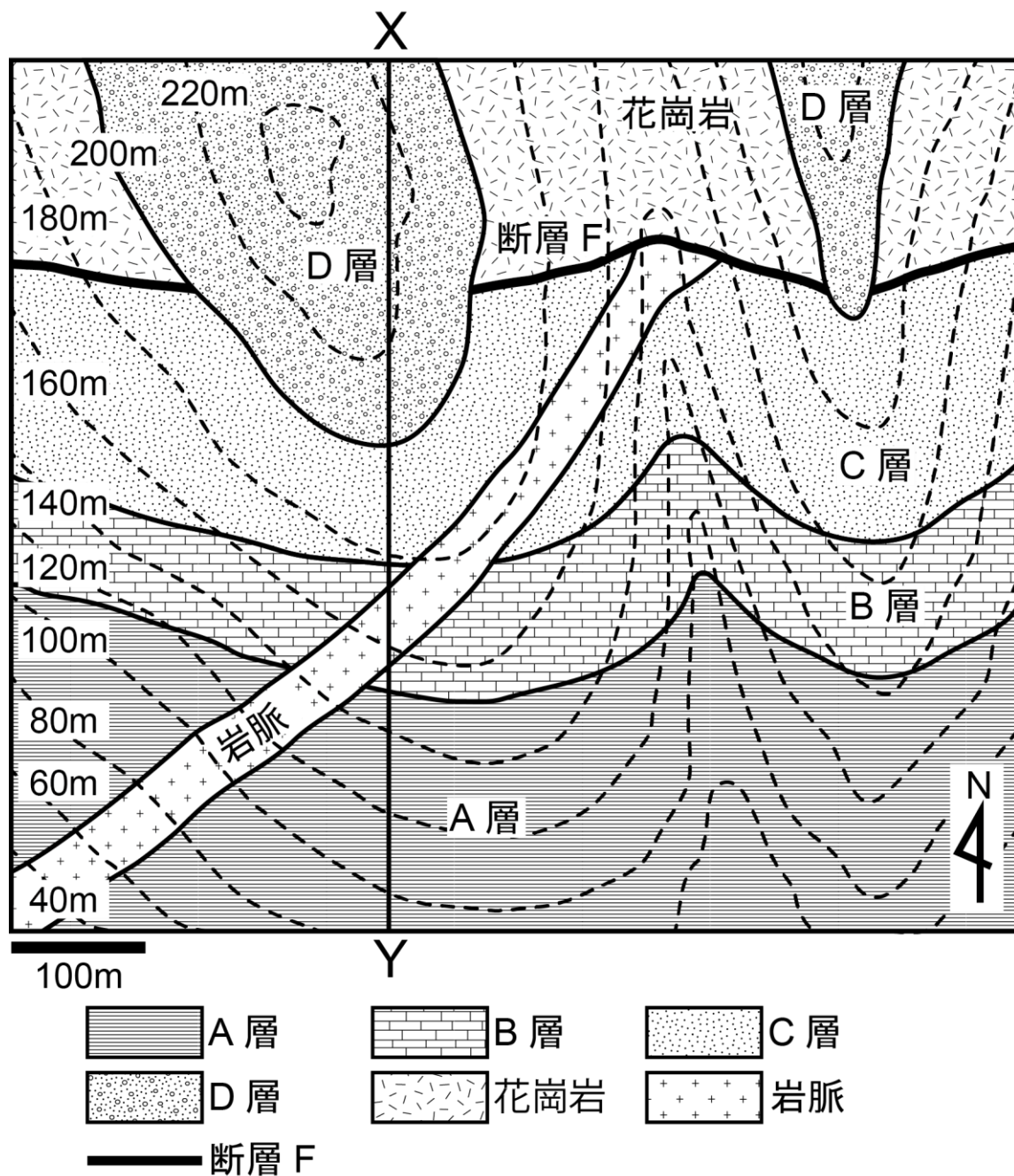
ある点が移動した方向とその量を表現したもの、方向は矢印で移動量は長さで表現している。

第 11 回日本地学オリンピック本選（地質 問題用紙）

番号

氏名

ある地域で行った地質調査の結果をもとに、以下の地質図を作成した。この地域には、A 層～D 層、花崗岩、岩脈が分布していた。A 層はチャートからなる地層であり、ジュラ紀の時代を示す放散虫化石が含まれていた。B 層は石灰岩層で、サンゴの化石が見つかった。C 層は砂岩層で、ビカリアの化石が見つかった。D 層は砂層・礫層で、約 5 万年前の放射年代を示す植物化石が含まれていた。花崗岩からは、約 2.8 億年前の放射年代が得られている。花崗岩と C 層および岩脈は断層で接していた。また、岩脈の周辺では、A 層、B 層、C 層の岩石が熱変成によって接触変成岩に変化していた。なお、地層の逆転はないものとする。設問中で必要な場合は、あとの三角関数表を用いること。



問 1 図中の X—Y 測線に沿った地形断面を作成し、地層境界線や断層、それぞれの地層および岩脈の傾斜角を書き入れた模式的な地質断面図を作成しなさい。地層や断層には A 層、B 層、断層 F などの言葉を書き入れること。

問 2 断層 F の種類を以下の語句の中から 1 つ選び、それを選んだ根拠を解答欄におさまるように文章で説明せよ。

【 正断層、逆断層、右横ずれ断層、左横ずれ断層 】

問 3 岩脈の岩石を調べたところ、斑晶と石基からなる斑状組織を示していた。また、斑晶は主に斜長石で、輝石、角閃石を含んでいた。この岩石の名称として最も適当なものを以下の語句の中から 1 つ選びなさい。また、この岩石の薄片を偏光顕微鏡で観察したときの模式的な図を描きなさい。

【 花崗岩、流紋岩、閃緑岩、安山岩、斑レイ岩、玄武岩 】

問 4 岩脈の真の厚さを求めよ。なお、岩脈の走向・傾斜や厚さは地域内で変化がない。

問 5 地質図と設問の文章から、この地域の地史（地層および花崗岩、岩脈、断層の形成順序）について、当時の堆積環境や地質時代区分を交えながら、そのように考えた根拠とともに解答欄におさまるように文章で述べよ。

三角関数表			
角度	sin	cos	tan
0	0.00	1.00	0.00
5	0.09	1.00	0.09
10	0.17	0.98	0.18
15	0.26	0.97	0.27
20	0.34	0.94	0.36
25	0.42	0.91	0.47
30	0.50	0.87	0.58
35	0.57	0.82	0.70
40	0.64	0.77	0.84
45	0.71	0.71	1.00
50	0.77	0.64	1.19
55	0.82	0.57	1.43
60	0.87	0.50	1.73
65	0.91	0.42	2.14
70	0.94	0.34	2.75
75	0.97	0.26	3.73
80	0.98	0.17	5.67
85	1.00	0.09	11.43
90	1.00	0.00	-

第 11 回日本地学オリンピック本選（気象 問題用紙）

番号

氏名

地表面付近の大気の気温構造と地表面から大気への熱輸送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 対流圏の平均的な気温減率は約 $6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ であるが、実際の気温減率は時間や場所によって変動する。特に、日中の地表面付近では風の乱れが生じやすく、鉛直方向の空気の混合が盛んな混合層が発達することがある。ここでは、この混合層の気温構造を考えよう。

図 1-a に示すように、混合層発達前の地表面付近の大気が、一様な気温減率 $\Gamma (> 0)$ をもつとする。太陽放射により熱せられた地表面からの加熱により不安定となった大気は、鉛直方向に混合をはじめ、混合層が発達する。盛んな混合の結果、混合層では気温減率が乾燥断熱減率 $\Gamma_d (> \Gamma)$ で一様となるとする。このとき、単位面積の地表面から直上の混合層内に供給された熱量 Q は、図 1-b 中の斜線部の面積を S として、 $Q = \rho c_p S$ と書ける。ここで ρ と c_p はそれぞれ大気の密度と定圧比熱であり、高度により変化しないとする。

なお、ここでは大気中で水蒸気の凝結は生じず、混合層の発達前後で混合層より上空の気温構造は変化しないと仮定する。

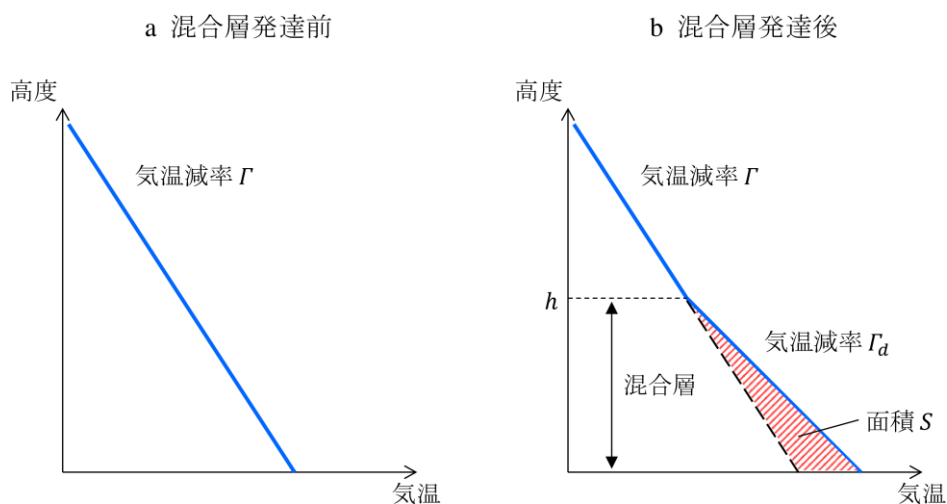


図 1 混合層の発達前後の気温構造の模式図（実線）

b 中の破線は混合層発達前の気温を示す。

- (1) 混合層の高さが h のとき、図 1-b 中の斜線部の面積 S を Γ 、 Γ_d 、 h を用いて表せ。

(2) 混合層の高さ h を Γ , Γ_d , Q , ρ , c_p を用いて表せ。

(3) Γ , Γ_d , Q , ρ , c_p の値が以下のとき、混合層の高さ h を計算過程も含め有効数字 2 桁で求めよ。

$$\Gamma : 6.5 \text{ }^{\circ}\text{C/km} (6.5 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C/m})$$

$$\Gamma_d : 10.0 \text{ }^{\circ}\text{C/km} (10.0 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C/m})$$

$$Q : 2.1 \times 10^6 \text{ J/m}^2$$

$$\rho : 1.2 \text{ kg/m}^3$$

$$c_p : 1.0 \times 10^3 \text{ J/(kg} \cdot ^{\circ}\text{C)}$$

問 2 地表面付近の大気が湿潤な場合、混合層内に雲が生じることがある。ここでは、図 2 に示す気温の鉛直構造があらかじめ与えられているとしよう。高度 1200 m より下層では気温減率が $10.0 \text{ }^{\circ}\text{C/km}$ 、上層では $6.5 \text{ }^{\circ}\text{C/km}$ であり、高度 1200 m に気温が急激に上昇する逆転層が存在している。

このような周囲の気温のもとで、地表面から気温 24.0°C 、露点 17.6°C の空気塊が上昇を始める状況を考える。空気塊はその温度が周囲の気温より暖かいうちは上昇を続け、低くなった高度で上昇を止めるものとする。上昇する空気塊の気温減率は、水蒸気の凝結が生じない場合は乾燥断熱減率 $10.0 \text{ }^{\circ}\text{C/km}$ 、凝結が生じる場合は湿潤断熱減率 $5.0 \text{ }^{\circ}\text{C/km}$ にしたがうとする。また、空気塊の露点も高度とともに変化し、 $2.0 \text{ }^{\circ}\text{C/km}$ の割合で低下する。なお、ここでは周囲の空気が空気塊へと取り込まれる過程は考慮しない。

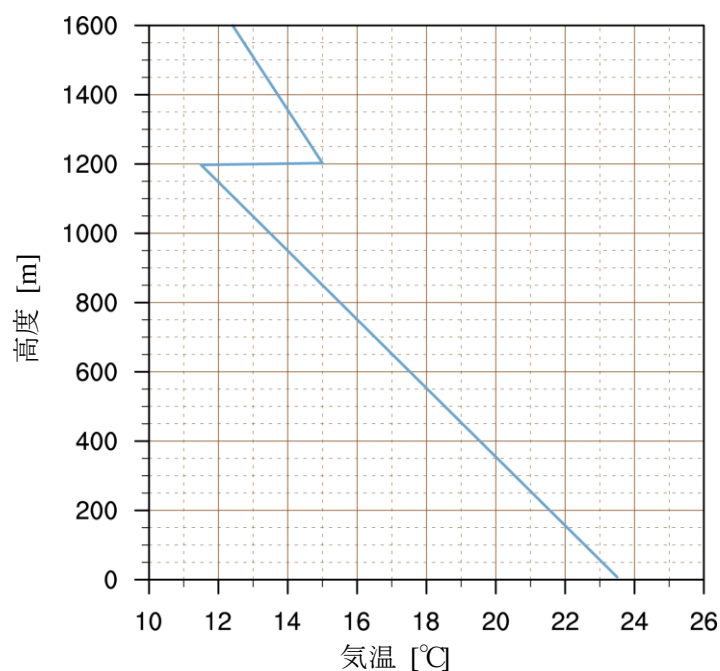


図 2 地表面付近の気温構造

(1) 地表面から上昇を始めた空気塊が上昇を止めるまでの、空気塊の気温と高度の変化を、解答欄の図中にわかりやすく記入せよ。特に、雲底と雲頂については、その具体的な高度が分かるように記せ。

(2) (1)のような状況で形成される雲は、図3の写真のような（丸で囲んで示される）雲となることが多い。このような形状の雲は何とよばれるか。十種雲形で答えよ。



図3 ある晴れた日中にみられた雲

問3 次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

問1の状況では、地表面によって温められた空気が混合によって上空へと運ばれることを通して地表面から大気への熱輸送が行われている。このような熱輸送を 輸送という。また問2の状況では、地表面から供給された水蒸気が大気中で凝結することを通して地表面から大気への熱輸送が行われている。このような熱輸送を 輸送という。 輸送と 輸送は、放射とともに、地表面や大気の熱収支を考える上で重要な過程である。

(1) 上の文章中の空欄 および空欄 に入る適語を、それぞれ漢字2文字で答えよ。

(2) 地表面における $\boxed{\text{Y}}$ 輸送に対する $\boxed{\text{X}}$ 輸送の比 ($\boxed{\text{Y}}$ 輸送が分母) をボーエン比という。ボーエン比は陸面の状態により異なる値をとることが知られている。次の①～④に挙げた土地利用の変化のうち、ボーエン比の上昇をもたらすと考えられるものを全て選び記号で答えよ。ただし、答は多くても三つまでとし、①～④の全てを解答した場合には点を与えない。

- ① 過剰な森林伐採
- ② 水田への湛水
- ③ アスファルトによる路面舗装
- ④ 都市部沿岸の埋め立て

(3) 単位面積あたりの海洋から大気への $\boxed{\text{X}}$ 輸送 F_x および $\boxed{\text{Y}}$ 輸送 F_y には、「海上風速が強いほど、海面水温と海上気温との差が大きいほど大きくなる」という関係がみられ、以下の式で見積もられることが知られている。

$$F_x = C_x U (T_s - T_a) \quad \dots (x)$$

$$F_y = C_y U \{ e_s(T_s) - r e_s(T_a) \} \quad \dots (y)$$

ここで、 C_x と C_y は比例係数、 U は海上風速、 T_s は海面水温、 T_a は海上気温、 r は海上の相対湿度 ($0 \leq r \leq 1$) である。 $e_s(T)$ は温度 T における飽和水蒸気圧を表し、したがって、 $e_s(T_s)$ は海面水温に対応する飽和水蒸気圧、 $e_s(T_a)$ は海上気温に対応する飽和水蒸気圧ということである。また、海面水温 T_s は海上気温 T_a よりも高いとする。

一般に、ボーエン比 (F_x/F_y) は熱帯海域と中緯度海域とでどちらが大きいのか。図 4 の飽和水蒸気圧と温度との関係を示したグラフの形に着目して、理由とともに 5 行程度で説明せよ。ただし、ここでは比例係数 C_x および C_y の値は熱帯海域と中緯度海域とで変わらず、相対湿度 r はほぼ 1 である (飽和に近い) とみなすこと。

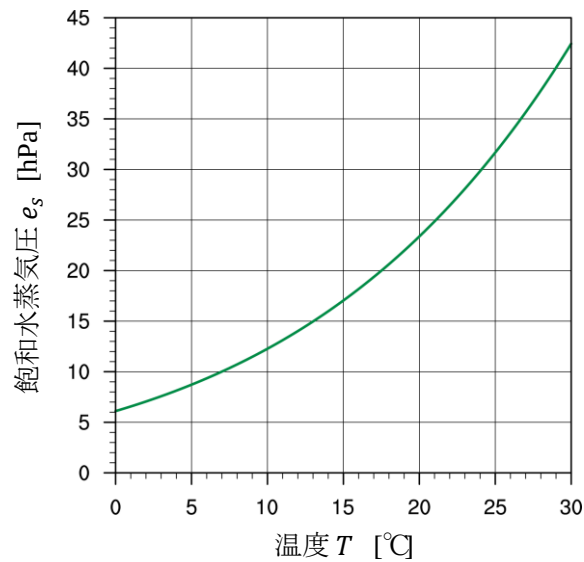


図 4 飽和水蒸気圧と温度との関係を示したグラフ

- (4) 図 5 は日本海における海洋から大気への X 輸送の季節変化を示したグラフである。図 5 から分かるように、 X 輸送は一年のうちで冬季に最大となる。この理由を上式の (x) に含まれる各変数の季節変化に言及し、5 行程度で説明せよ。

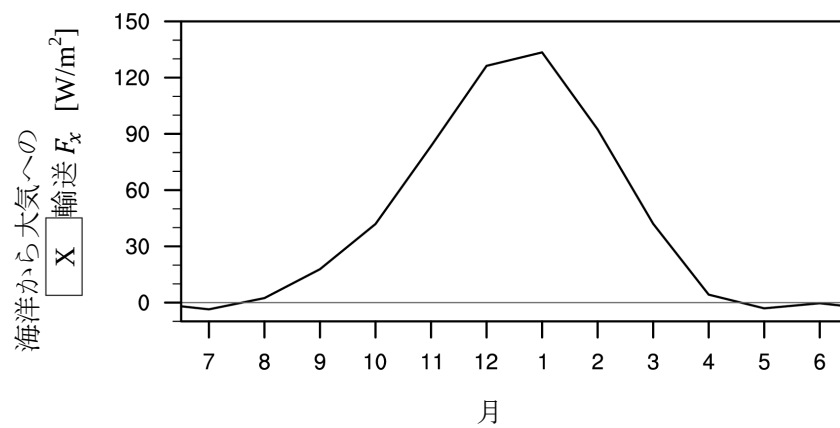


図 5 日本海における海洋から大気への X 輸送の季節変化

第 11 回日本地学オリンピック本選（海洋 問題用紙）

番号

氏名

下の図 1 は、北太平洋における海面での塩分の平均的な分布を示している。また図 2 は、図 1 中の地点 A, X, Y における水温、塩分、溶存酸素（海水中に溶けている酸素）濃度の平均的な鉛直分布を示している。海水は風や熱の影響で水平方向や鉛直方向に運ばれる。移動中の海水の水温と塩分は、海面下ではおよそ保たれるが、溶存酸素は時間とともに減少する。これらのことを踏まえて、あとの問 1 から問 6 に答えよ。

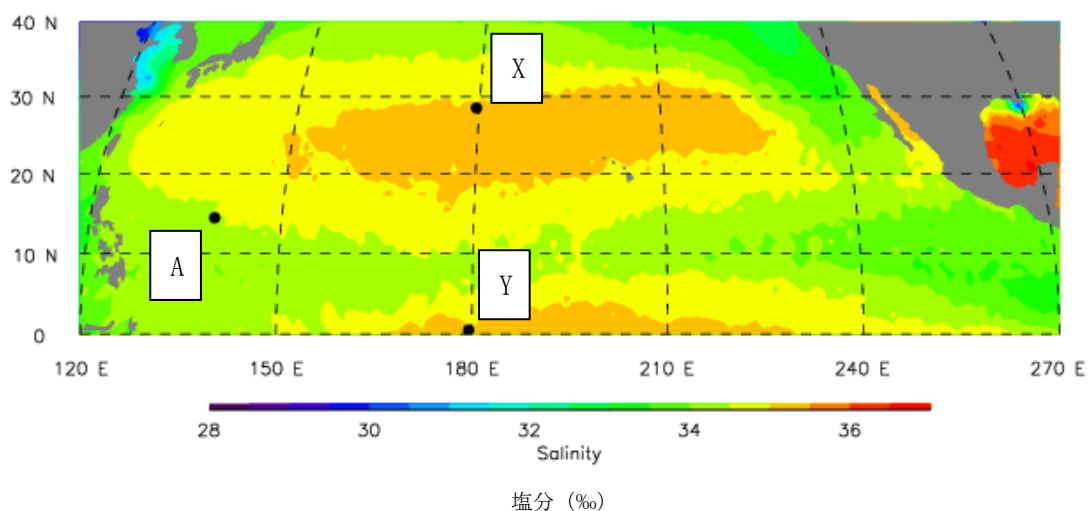


図 1 北太平洋における海面での塩分の平均的な分布。図中の黒丸が地点 A, X, Y を示す。

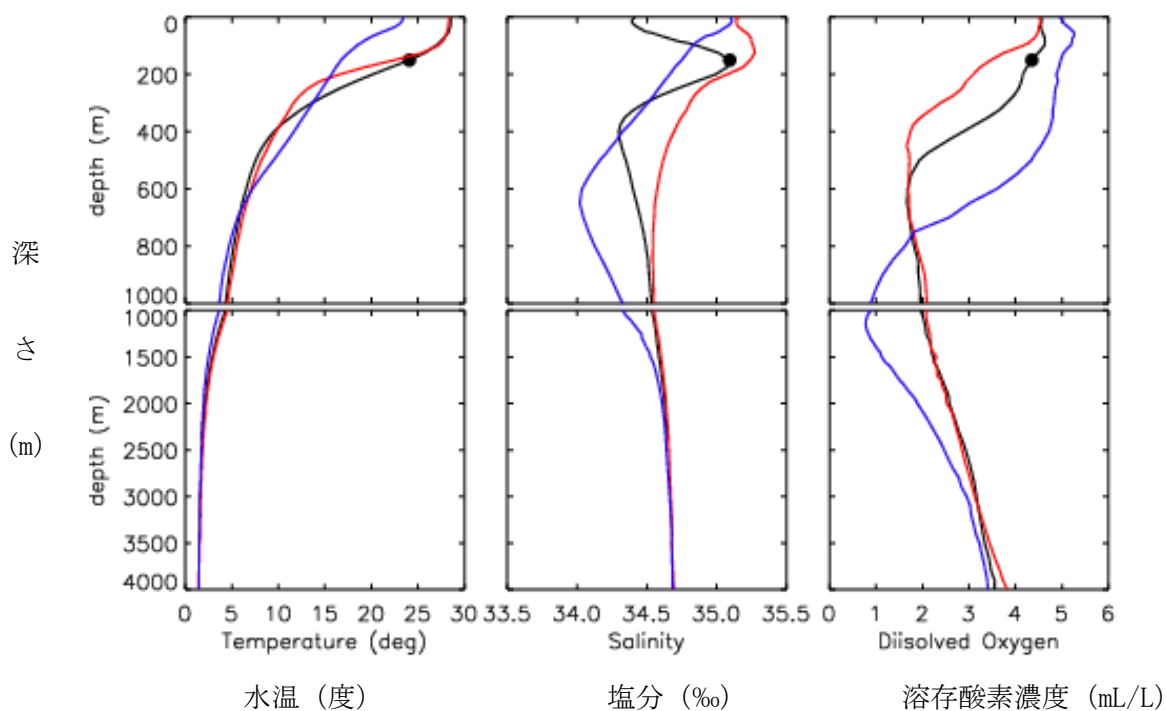


図 2 図 1 の地点 A (黒線), X (青線), Y (赤線) における水温 (左図), 塩分 (中図), 溶存酸素濃度 (右図) の鉛直分布。

問1 地点 A, X, Y いずれにおいても、海水温は水深 100m から 1000m の間で急激に減少している。この水温が深さとともに急激に減少する層の名称を答えよ。

問2 赤道から北緯 40 度の海域においては、北緯 20 度から 30 度の海域で海面での塩分が周囲より高く、北緯 10 度付近で周囲より低い。塩分のこのような分布と大気循環の関係を説明せよ。図を用いて説明しても良い。

問3 地点 A の水深 150m 付近には、塩分の高い海水がみられる。この海水は溶存酸素濃度も比較的高いことから、海面に位置していた海水が地点 A の水深 150m にまで下降しながら運ばれてきた結果と考えられる。この海水が海面に位置していた場所として、適切な地点は地点 X, Y のどちらか。その理由とともに答えよ。

問4 北太平洋における表層（海面から水深 150m 付近まで）の海水の溶存酸素濃度は、1 年でおよそ 0.1mL/L 減少する。前問で答えた地点から、地点 A まで海水が運ばれるのに要した時間として最も適切なものは以下のいずれか。理由とともに示せ。

1.5 か月, 6 か月, 1.5 年, 6 年, 15 年, 60 年

問5 問3 で述べたような海面付近の海水の下降は、偏西風と貿易風に挟まれた海域で広く見られる現象であり、海水が地球自転の影響を受けながら風によって輸送されたためである。偏西風と貿易風に挟まれた海域の海水が下降する理由を、風による海水の輸送を用いて説明せよ。図を用いて説明しても良い。

問6 3500m より深い海水の水温と塩分は、地点 A, X, Y でほぼ同じ値となっていることから、同じ場所から運ばれてきたと考えられる。これらの水深では、水温は 1 度程度と低い。溶存酸素濃度は 3mL/L 以上と比較的高く、また溶存酸素濃度は地点 Y, A, X の順に高い。これらのことから、3500m より深い海水はどのような海域からどの方向に運ばれてきたと考えられるか、述べよ。

第 11 回日本地学オリンピック本選（天文 問題用紙）

番号

氏名

1 つの恒星からなる仮想的な恒星-惑星系についての以下の問題に答えなさい。数値の有効数字は 2 桁で答えよ。

問1

ある惑星 X の表面上では文明が繁栄しており、その北半球中緯度において、北東から南西に伸びる直線状の細長い国土を持つ国があるとする。北東端の地点 A、中央部に地点 B、南西端の C 地点を考える（図 1）。B を通る経線と AC は惑星面上で 30° の角をなす。また A および C を通る経線はそれぞれ B を通る経線から東西に 15° ずつ離れているものとする。この惑星の公転軸に対する自転軸の傾斜角は 30° 、自転の向きは地球と同じ（北極上空から見下ろしたときに反時計回り）で、自転周期はおよそ 24 地球時間とする。また、この国では A、B、C 全ての地点で同じ標準時を採用しており、その単位は地球のものと同じものとする。

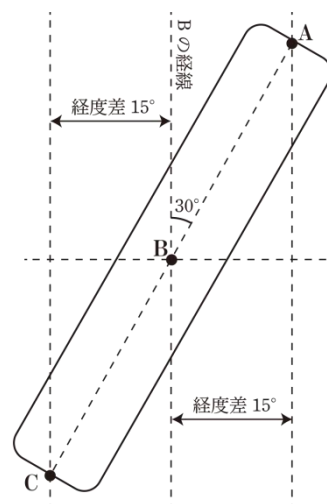


図 1 国土と地点 ABC の模式図

問 1-1 春分と秋分の日において、A と C の日出時刻はどのような関係にあるか。また、日没時刻についてはどのような関係にあるか。それぞれ具体的に数値を示して述べなさい。

以下ではこの惑星が夏至のときを考える。

問 1-2 夏至の日の A が日の出を迎えるときの状況の概略図を、以下の条件に従って解答欄に描け。なお解答欄の円はこの惑星を、円内の縦線は昼夜境界線を、それぞれ表している。

<条件>

1. 視点は昼夜境界線と赤道の交点の地点の上空から A を見下ろした視点とする。
2. 角度の数値を示せる場合には、図が読み取りにくくならない程度に記入する。
3. 各要素が重なってしまう場合、どのように重なっているか図に簡単な説明を添える等により指定の要素がわかるようにすること。
4. 図示すべき要素は次の通り。
 - 地点 A を通る経線
 - 赤道（線のみでなく「赤道」の文字などを添えてそれとわかるようにせよ）
 - 国土（線分などでも構わない）。ただし A の位置がわかるようにせよ。
5. その他の補助的な要素（自転軸やその他の経線など）を図に描き込んでも構わない。

問 1-3 前問同様、夏至の日の A が日没を迎えるときの状況の概略図を、前問と同じ条件に従って解答欄に描け。

問 1-4 夏至の日における A と C の日出時刻・日没時刻の関係を理由とともに述べなさい。

問 2

太陽によく似たある恒星 Y_1 を分光観測して得られた視線速度の時間変化を図 2 に示す。この視線速度の変動が、恒星 Y_1 を公転する単一の惑星 Y_2 によるものであるとして、惑星 Y_2 の質量を見積もることを考える。

単純化するため、惑星 Y_2 は視線方向と平行な平面内を円軌道を描いて公転しているものと仮定する (図 3)。共通重心から恒星 Y_1 、惑星 Y_2 までの距離をそれぞれ d_1 、 d_2 とし、

$$d = d_1 + d_2$$

とする。また恒星 Y_1 と惑星 Y_2 の質量をそれぞれ太陽質量 M_S および M_2 とし、その比 ε を

$$\varepsilon = M_2/M_S \ll 1$$

とする。公転周期を P とする。また、万有引力定数は G である。

問 2-1

・図 2 から公転周期 P (単位は地球日) のおよその値を読み取り、最も近い数値を次の①～④より選びその記号を書きなさい。

< 選択肢 >

P : ①750 ②800 ③850 ④900

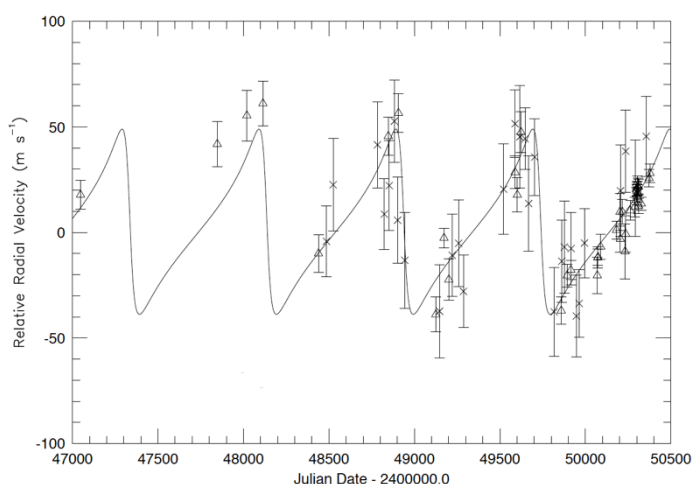


図 2 恒星 Y_1 の視線速度 (単位 m/s) の時間変化。横軸はある基準日から経過した日数 (ユリウス日) である。Cochran W.D., Hatzes A.P., Butler R.P. and Marcy G.W. (1997), ApJ., 483, 457 より。

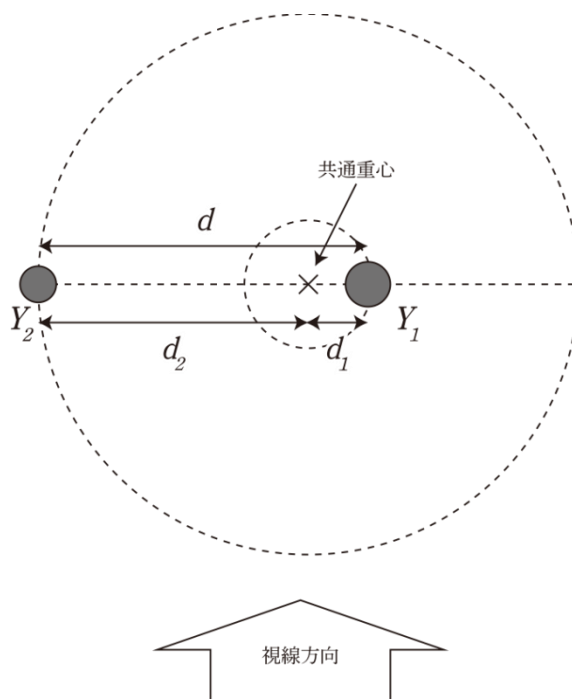


図 3 円運動を仮定した場合の恒星 Y_1 と惑星 Y_2 の軌道の模式図

・また恒星 Y_1 の視線速度 V_1 (単位は m/s) を、図 2 から読み取れる周期内のおよその最大値と最小値の絶対値の平均値とした時、 V_1 の値として最も近い数値を次の①～④より選びその記号を書きなさい。

<選択肢>

V_1 : ①40 ②45 ③50 ④55

問 2-2

惑星の運動は円運動を仮定しているので次の式が成り立つ。ただし、 V_2 は惑星 Y_2 の視線速度の最大値と最小値の絶対値の平均値とする。

$$d_1 M_S = d_2 M_2$$

$$V_1 P = 2\pi d_1 \text{ かつ } V_2 P = 2\pi d_2 \text{ より } (V_1 + V_2)P = 2\pi d$$

$$\frac{d^3}{P^2} = \frac{G}{4\pi^2} (M_S + M_2)$$

この式を解いて、惑星 Y_2 の質量 M_2 が木星質量 M_J (ただし $M_S = 1000M_J$ としてよい) の何倍かを見積もりなさい。ただし、 $\varepsilon \ll 1$ なので

$$\frac{\varepsilon^3}{(1 + \varepsilon)^2} \approx \varepsilon^3$$

としてよく、また以下の数値は使ってよい。

$$\sqrt[3]{2\pi G M_S} = 9.41 \times 10^6$$

$$\sqrt[3]{6.912 \times 10^7} = 4.10 \times 10^2$$

前問では、視線方向に平行に公転軌道面があり、かつ円軌道であると仮定したが、より詳細な研究によれば、この惑星 Y_2 の公転軌道の離心率は 0.6890、軌道長半径は 1.6800 au と見積もられている。

問 2-3 図 4 を参考に、惑星 Y_2 の主星 Y_1 に対する近点距離・遠点距離を、au を単位として計算しなさい。ただし、図において離心率 e は以下のように定義される。

$$e = \frac{OF}{a} = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

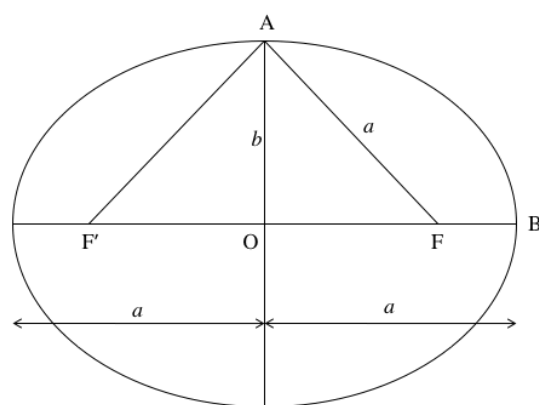


図 4 楕円の一般的性質。F および F' は楕円の焦点である。

問 2-4

この惑星 Y_2 の周りに、大きさ・内部構造・表層の構成物質が地球とそっくりな衛星 Y_3 があるとする。この衛星 Y_3 の公転軌道は、惑星 Y_2 の主星 Y_1 に対する公転軌道と同じ面にあり、この惑星 Y_2 と衛星 Y_3 は主星である恒星 Y_1 に対して常にほぼ同じ位置にあると考えてよいものとする。またこの衛星 Y_3 の自転周期は 24 地球時間程度、公転軸に対する自転軸の傾斜角は 0° であるとする。

この惑星 Y_2 の公転 1 回の中で起こると推測される、衛星 Y_3 の表面温度の変化を、理由を添えて述べなさい。なお、この衛星では、惑星 Y_2 が主星 Y_1 の周りを 1 公転することを「1 年」と通称することとする。

第 11 回日本地学オリンピック本選（岩石・鉱物鑑定問題）

解答時間は 15 分

問題 1 机上の 7 種類の岩石標本（A～G）、4 種類の鉱物標本（ア～エ）を観察し、以下の各問いに答えなさい。



岩石標本 A



岩石標本 B

- 問 1 岩石標本 A、B に共通に含まれている鉱物は何か。2 個答えなさい
- 問 2 岩石標本 A のピンク（橙色）の鉱物は何か。
- 問 3 岩石標本 A に含まれている鉱物を、鉱物標本ア～エから選びなさい。
- 問 4 岩石標本 B は、どのようにして形成されたと考えられるか。岩石の示す特徴が分かるように書くこと。
- 問 5 鉱物標本イとウの鉱物名と、化学組成を化学式で答えなさい。
- 問 6 岩石標本 A～G のうち、変成岩を選び、その岩石名と、変成作用を受ける前の元の岩石を答えなさい。解答欄はすべて埋める必要はない。

第 11 回日本地学オリンピック本選（化石鑑定問題） 解答時間は 15 分

問題 2 机上の 3 種類の化石標本（1～3）を観察し、以下の各問いに答えなさい。



化石標本 1



化石標本 2



化石標本 3

問 1 化石標本 1～3 の化石の一般的な名称（解答例．三葉虫、ウミユリ）と、主に生息した時代（古生代、中生代、新生代）を答えなさい。

問 2 化石標本 1 の化石が含まれる堆積岩は何か。

問題 3 前にある 7 種類の化石標本（4～10）を観察し、以下の各問いに答えなさい。なお、1 人 2 分間ずつ、実際の標本を観察することができる。

問 1 化石標本 4～10 の化石について、化石となった生物が新生代に繁栄したものを選び、その一般的な名称を答えなさい。解答欄はすべて埋める必要はない。

問 2 化石標本 4～10 の化石について、次の説明にあてはまるものを選び、その一般的な名称を答えなさい。

- ① 軟体動物頭足綱に属している（2 個）。
- ② 腕足動物に属している。
- ③ 植物である。

化石標本

〔1人2分間ずつ、実際の標本を観察する〕



化石標本 4



化石標本 5



化石標本 6



化石標本 7



化石標本 8



化石標本 9



化石標本 10