

数 学

以下の通り解答すること。

受験票記載の試験科目	解答する問題
数学Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ・Ⅳ	第1問、第2問、第3問、第4問
数学Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ	第1問、第2問、第3問、第5問

1 次の にあてはまる数または式を解答欄に記入せよ。ただし、あてはまる数または式が2つ以上となることもある。

(1) 関数 $f(x) = (\log_2 x)^2 + 2\log_2 x - 3$ は $x = \text{ア}$ で最小値をとる。
また、 $0 < x < 1$ において $f(x) = 0$ を解くと $x = \text{イ}$ 。

(2) k を正の実数とする。関数 $f(x) = k \cos x - \sqrt{2k+1} \sin x + k^2$ ($0 \leq x < 2\pi$) の最大値を k の式で表すと ウ である。また、 $f(x)$ の最大値が3であるとき、 $f(x)$ は $x = \text{エ}$ で最大値をとる。

(3) $a < 0$ かつ $b > 0$ とする。座標平面上の3点 $O(0,0)$, $A(a, 3a^2)$, $B(b, 3b^2)$ は内積 $\vec{OA} \cdot \vec{OB} = 0$ を満たす。このとき、 $ab = \text{オ}$ であり、 $b-a$ がとりうる値の範囲は $b-a \geq \text{カ}$ 。

(4) 集合 A, B を

$$A = \{x \mid x \text{ は } 1000 \text{ 未満の自然数で, } 7 \text{ で割ったときの余りが } 1\},$$

$$B = \{x \mid x \text{ は } 1000 \text{ 未満の自然数で, } 13 \text{ で割ったときの余りが } 11\}$$

とする。共通部分 $A \cap B$ の要素のうち最小のものは キ である。

また、 $A \cap B$ のすべての要素の和は ク である。

2 座標平面上に4点 $O(0,0)$, $A(4,1)$, $B(4,5)$, $C(-2,1)$ がある。2点 P, Q が

$$\vec{AP} \cdot \vec{BP} = 0, \quad \vec{OC} \cdot \vec{CQ} = 0$$

を満たしながら動くとき、以下の問いに答えよ。

- (1) $|\vec{OP}|$ の最大値を求めよ。
- (2) $|\vec{OP}|$ が最小となる P の座標を求めよ。
- (3) $|\vec{AQ}|$ が最小となる Q の座標を求めよ。
- (4) $|\vec{PQ}|$ の最小値を求めよ。

3 数列 $\{a_n\}$ を

$$a_1 = 4, \quad a_{n+1} = (-1)^n a_n + n \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

で定める。以下の問いに答えよ。

- (1) a_5 の値を求めよ。
- (2) 自然数 k に対し、 $b_k = a_{4k-3} + a_{4k-2} + a_{4k-1} + a_{4k}$ とする。
 b_k を k の式で表せ。
- (3) 自然数 m に対し、 $S_m = \sum_{n=1}^m a_n$ とする。 S_{100} の値を求めよ。
- (4) $S_M = 2025$ となる自然数 M の値を求めよ。

4 関数

$$f(x) = 2x + \frac{2}{\pi} \left\{ \int_{-\pi}^{\pi} (\sin 2t + \sin 3t)^2 dt \right\} \cos^2 x$$

について、以下の問いに答えよ。

- (1) 定積分 $I = \int_{-\pi}^{\pi} \sin^2 2t dt$ の値を求めよ。
- (2) 定積分 $J = \int_{-\pi}^{\pi} \sin 2t \sin 3t dt$ の値を求めよ。
- (3) 関数 $f(x)$ の $-\frac{\pi}{2} \leq x \leq \frac{\pi}{2}$ における最大値 M を求めよ。
- (4) 定積分 $K = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} f(x) dx$ の値を求めよ。

5 自然数 m に対し、 x についての $(m+1)$ 次式 $f_m(x)$ は次の条件を満たす。

$$0 \text{ 以上のすべての整数 } n \text{ について、} f_m(n) = \sum_{k=0}^n k^m = 0^m + 1^m + \cdots + n^m.$$

例えば、 $f_1(x) = \frac{1}{2}x(x+1) = \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{2}x$ である。

関数 $f_m(x)$ の導関数を $f'_m(x)$ で表すとき、以下の問いに答えよ。

ただし、次の 2 つの性質は証明なしに用いてもよい。

- 整式 $g(x), h(x)$ に対し、0 以上のすべての整数 n について $g(n) = h(n)$ が成り立つならば $g(x) = h(x)$ 。
- 整式 $g(x)$ に対し、関数 $g(x-1)$ の導関数は $g'(x-1)$ 。

- (1) 不定積分 $\int 3f_2(x) dx$ を求めよ。
- (2) $f'_m(x) - f'_m(x-1)$ を x についての整式で表せ。
- (3) $f'_4(x) - f'_4(0)$ を x についての整式で表せ。ただし、降べきの順に整理せよ。
- (4) $f_4(x)$ を x についての整式で表せ。ただし、降べきの順に整理せよ。

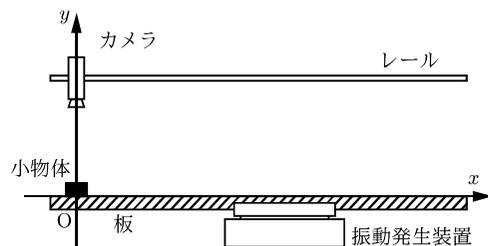
物 理

1 以下の 4 つの文章の空欄にあてはまる適切な式、数値、語句、記号などを解答欄に答えよ。なお、それぞれの文章は互いに独立である。

- (1) 質量 m の小球を鉛直上方へ初速度 v_0 で投げ上げた。投げ上げてから元の高さに戻るまでの時間は である。ただし、空気抵抗は無視できるものとし、重力加速度の大きさを g とする。
- (2) 音速を 340 m/s とする。同位相で振動数 200 Hz の音を様々な方向に出す 2 つのスピーカー A, B がある。スピーカーから出る音の波長は m である。水平な地面の上にスピーカー A を固定し、スピーカー B をその鉛直上方の高さ 6.00 m の位置に固定した。大きさの無視できるマイクロホンを地面の上でゆっくりと移動させながら、2 つのスピーカーから出る音を測定する。スピーカー A の位置から、向きを変えずにまっすぐにスピーカー A から 8.00 m 離れた位置まで動かす間に、音が強め合う点の個数は 個である。ただし、空气中を伝わる間の音の振幅の変化は無視できるものとし、風は吹いていないものとする。
- (3) 自己インダクタンス L のコイルに交流電圧を加える。コイルの両端を a, b とし、時刻 t における点 b に対する点 a の電位を $V(t) = V_0 \sin(\omega t)$ とする。ただし、 V_0 と ω は正の定数である。このとき、コイルを点 a から点 b の向きに流れる電流の最大値 I_0 は $I_0 = \text{ニ}$ であり、時刻 t における電流は $I(t) = I_0 \sin(\text{ホ})$ と表される。
- (4) ^{90}Sr は放射性崩壊により、半減期 28.8 年で ^{90}Y となる。ある時に ^{90}Sr の原子核が N 個あった場合、それから 14.4 年後に崩壊せずに残っている ^{90}Sr の原子核の数は 個である。

2 図のように、変形しない表面の粗い板が振動発生装置に固定されている。振動発生装置は、板の上面を水平に保ったまま、鉛直方向に上下に板を振動させることができる。板の上面には大きさの無視できる質量 m の小物体があり、その運動を、板の上に固定された水平なレール上にあるカメラを用いて記録する。カメラのレール上の動きは自在に制御できる。カメラと小物体は常に図に示された鉛直面内にあり、この面内で、時刻 $t = 0$ における小物体の位置を原点 O とし、水平右向きに x 軸、鉛直上向きに y 軸をとる。カメラは真下を向いており、カメラに対する小物体の x 軸方向の相対的な位置を記録できる。板の上面と小物体の間の動摩擦係数を μ 、重力加速度の大きさを g として、以下の問に答えよ。運動の間、小物体が板の端に達して落下することはなかったとする。

- (I) 振動発生装置を動作させず、板が静止している場合を考える。小物体は、時刻 $t = 0$ に原点を水平方向の速度 v_0 で右向きに通過した。その後、小物体は板の上面を移動し静止した。
- (イ) 移動中の小物体の x 軸方向の加速度 a を v_0, m, g, μ のうち必要なものを用いて表せ。
- (ロ) 小物体が静止する時刻を v_0, m, g, μ のうち必要なものを用いて表せ。
- (II) 振動発生装置を時刻 $t = 0$ に動かし始めた場合を考える。振動発生装置により、板は y 軸方向の単振動をする。時刻 $t > 0$ における板の上面の y 座標は $y = b \sin(\omega t)$ である。ただし、 b と ω は正の定数である。小物体は、時刻 $t = 0$ に原点を水平方向に速度 v_0 で通過した。その後の小物体の板上の運動を、レール上のカメラで撮影した。カメラの動きは、時刻 $t = 0$ にレール上の $x = 0$ の点を水平右向きにある速度で通過し、加速度が問 (イ) で求めた a と等しい等加速度運動になるように制御されている。このとき、小物体がカメラの真下の位置を中心として、 x 軸方向に何回も往復する様子（単振動）が動画として記録された。また、撮影中に小物体が板の上面から浮き上がることはなかった。
- (ハ) 時刻 $t > 0$ において小物体が板から受ける垂直抗力の最大値を m, g, b, μ, ω のうち必要なものを用いて表せ。
- (ニ) 小物体が板から浮き上がらないための条件を m, g, b, μ, ω のうち必要なものを用いた不等式で表せ。
- (ホ) 時刻 $t > 0$ において板の上面を移動中の小物体に対して板からはたらく動摩擦力の x 成分を t, m, g, b, μ, ω を用いた式で表せ。
- (ヘ) カメラから見たときに小物体に働いているように見える慣性力の x 成分を m, g, b, μ, ω のうち必要なものを用いて表せ。
- (ト) 時刻 $t = 0$ でのカメラの x 軸方向の速度を v_0, g, b, μ, ω のうち必要なものを用いて表せ。



図

3 熱機関は、気体が高温の熱源から熱を受け取り、外部に仕事をした後、低温の熱源に熱を捨てて、もとの状態に戻るサイクルを繰り返す装置である。ヒートポンプは、熱機関を逆に作動させたもので、外部からの仕事により低温の熱源から熱を汲み上げ、高温の熱源に熱を与える装置である。ヒートポンプは、給湯のために水を温めるためなどの用途で使われる。以下では、電気エネルギーを使って水の温度を 50.0 K だけ上昇させることを例に、ヒートポンプによるエネルギー利用について考えてみよう。以下の文章の空欄に当てはまる数値、語句または式を答えよ。数値を答える場合は、有効数字3桁で答えること。水の比熱を $4.20 \text{ J}/(\text{g} \cdot \text{K})$ とし、気体定数を R とする。必要であれば、絶対温度が T で物質量が n の単原子分子理想気体の体積を等温変化によって2倍に膨張させたとき、気体が外部にする仕事は $anRT$ となることを用いよ。ここで、 a は初期の体積によらない定数である。

400 V の電圧で 50.0 A の電流を 5.25 時間流すことに相当する電気エネルギーの利用を考える。このエネルギーの値は \square イ J である。電熱線などを用い、この電気エネルギーを全て熱エネルギーに変換して水の温度を 50.0 K 上昇させる場合、 \square ロ kg の水を温めることができる。次に、同じだけの電気エネルギーを使い、ヒートポンプを作動させることで水の温度を上昇させることを考える。ここでは単純なモデルとして、単原子分子理想気体の等温変化と断熱変化を組み合わせたヒートポンプを考えてみよう。低温の熱源の絶対温度を T_0 とし、高温の熱源の絶対温度を T_1 とする。

初期に低温の熱源に接触して絶対温度が T_0 であった物質量 n の単原子分子理想気体を、温度を一定に保ったまま体積を2倍に膨張させる。この時に気体がする仕事は、 \square ハ J である。その後、断熱 \square ニ J によって、気体の絶対温度を T_1 まで上昇させる。ここで、空欄 \square ニ は「膨張」か「圧縮」のいずれかで答えること。その後、気体を高温熱源に接触させ、温度を T_1 に保ったまま体積が $\frac{1}{2}$ 倍になるまで気体を圧縮する。このとき、気体は \square ホ J だけの熱を高温の熱源に放出するので、この熱を用いて水を温める。このようにすると、その後断熱膨張をさせれば気体を初期状態に戻せることが知られており、一連の変化を繰り返し行うことができる。気体が初期状態に戻るまでの一連の過程において、気体が高温熱源に放出する熱は、気体が低温熱源から吸収する熱よりも \square ヘ J だけ大きく、これが、ヒートポンプを作動させる際に気体に与えられる仕事（電気エネルギー）に相当する。つまり、ヒートポンプを用いることで、使用する電気エネルギーの \square ト 倍の熱を、温めたい水に与えることができる。このことから、電熱線の場合と同じ \square イ J の電気エネルギーを用いて、 $T_0 = 300 \text{ K}$ 、 $T_1 = 360 \text{ K}$ であるようなヒートポンプを作動させると、 \square チ kg の水の温度を 50.0 K だけ上昇させることができるといえる。

昨今の地球温暖化を抑制するためには、化石資源への依存から脱却し、二酸化炭素の排出を大幅に削減させなければならない。そのために、太陽光発電などの再生可能エネルギーの導入が進んでいるが、その発電量の制御が難しく、電力が余る事例も出てきている。ヒートポンプを用いて余った電気エネルギーを熱として溜めておき、電力が不足した際にヒートポンプを逆に動かして熱機関として作動させると、発電した電気エネルギーを有効に仕事として利用することができる。なお、本問ではエネルギーを熱として水に溜めることを考えたが、実際には効率の高い熱機関を使えるよう、より高温でエネルギーを溜められる材料を用いたシステムが研究されている。

化学

4 計算機などに使われる、電気信号を記憶するための回路の単純なモデルを考察する。以下の問において、示された操作が行なわれた後に、じゅうぶん時間が経った後の豆電球の状態を「点灯」または「消灯」のいずれかで答えよ。スイッチの接続部分の電気抵抗は無視できるものとする。

まず、図1のように、直列につなげた抵抗と直流電源、直列につなげた豆電球とコイル、およびスイッチのこれら3つを並列につなげた回路Pを考える。

(イ) 回路Pのスイッチを開いた。豆電球の状態を答えよ。

(ロ) 回路Pのスイッチを閉じた。豆電球の状態を答えよ。

図2のように、回路Pにスイッチをもう一つ並列に接続した回路Qを考える。回路Qの一つのスイッチを S_1 、もう一つのスイッチを S_2 とする。回路Pと回路Qを、図3のように組み合わせた装置を作製する。この装置において、回路Qのスイッチ S_2 と回路Pのコイルは隣接して置かれ、回路Pのスイッチと回路Qのコイルも隣接して置かれている。

隣接したスイッチとコイルにおいては、コイルに電流が流れることで生じた磁界（磁場）に鉄でできたスイッチが反応し、その状態が切り替わるように調整されている。隣接したコイルに電流が流れているときにはスイッチが閉じた状態にあり、隣接したコイルに電流が流れていないときにはスイッチが開いた状態にある。

はじめに、図3の装置の全ての電源を外し、全てのスイッチを開いた状態にする。その後、以下の(ハ)から(ヘ)の操作を順番に行い、豆電球の状態を観察する。

(ハ) 回路Qの直流電源を取り付けた。回路Pと回路Qの豆電球の状態をそれぞれ答えよ。

(ニ) 問(ハ)の操作の後、回路Pの直流電源を取り付けた。回路Pと回路Qの豆電球の状態をそれぞれ答えよ。

(ホ) 問(ニ)の操作の後、回路Qのスイッチ S_1 を閉じた。回路Pと回路Qの豆電球の状態をそれぞれ答えよ。

(ヘ) 問(ホ)の操作の後、回路Qのスイッチ S_1 を開いた。回路Pと回路Qの豆電球の状態をそれぞれ答えよ。

このモデルでは、スイッチ S_1 の開閉の状態を外部からの信号の有無を示す「入力」に、豆電球の状態をそれに対する「出力」に対応させることができる。問(ハ)と問(ニ)は、装置全体に電源を入れる手順を表しており、問(ホ)と問(ヘ)の結果は、ある時に入力された信号に対して装置がどのような振る舞いを示すかを表している。

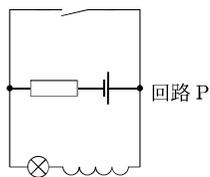


図1

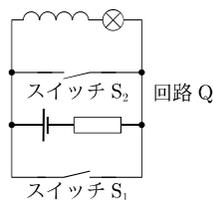


図2

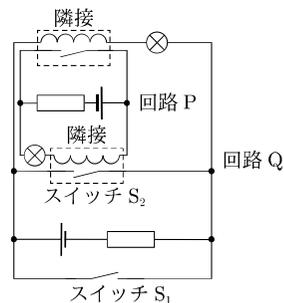


図3

すべての問題において、必要があれば、原子量および定数は次の値を使うこと。

H	1.00	C	12.0	N	14.0	O	16.0	S	32.0
Fe	56.0	Ni	59.0	Cu	64.0	Zn	65.0	Ag	108.0
Au	197.0								

アボガドロ定数 $N_A = 6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$

気体定数 $R = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})$

ファラデー定数 $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$

水のイオン積 $K_W = 1.00 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$ (25.0 °C)

各問題で特に指定のない場合、大気の大気圧力は $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、温度は 25.0 °C とする。

① 次の文を読み、下の問1と問2に答えよ。

金属イオンの水溶液に特定の試薬を加えると、沈殿を生じたり、特有の色を示したりする。また、イオン化傾向が小さい金属のイオンは、電気分解によって、陰極上で還元され金属として析出する。

問1 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Ag^{+} を含む混合水溶液に対して、以下の手順で金属イオンの系統分離を行った。次の(1)と(2)の問いに答えよ。

実験A 混合水溶液に希塩酸を加え、生じた沈殿をろ過した。

実験B 実験Aで得られたろ液に硫化水素を通じて、生じた沈殿をろ過した。

実験C 実験Bで得られたろ液を煮沸したあと、希硝酸を加えた。続いて、アンモニア水を過剰に加え、生じた沈殿をろ過した。

実験D 実験Cで得られたろ液に硫化水素を通じて、生じた沈殿をろ過した。

実験E 実験Dで得られたろ液に炭酸アンモニウム水溶液を加え、生じた沈殿をろ過した。

(1) 実験A、D、Eそれぞれにおいて生じた沈殿の化学式を書け。

(2) 実験Cにおいて、実験Bで得られたろ液を煮沸した理由を説明せよ。

問2 純度の異なる銅板を電極として用いて、硫酸酸性にした硫酸銅(Ⅱ)水溶液中で電気分解を行った。一方の銅板(電極X)には鉄、亜鉛、金、銀、ニッケルを含む粗銅、もう一方の銅板(電極Y)には純度99.99%以上の銅を用いた。電極Xを陽極として直流電流で100分間0.2~0.5Vの電圧をかけて電気分解を行った。この間、電流計の値は常に9.65Aを示していた。溶液の温度は変化しないものとして、次の(1)~(5)の問いに答えよ。(3)と(4)は計算過程を示し、有効数字2桁で答えよ。

(1) 電極Xで起こる銅に関する反応を電子 e^- を含むイオン反応式で示せ。

(2) 電気分解を利用して、不純物を含んだ金属から純粋な金属を得る手法を何というか。最もよく当てはまる語句を次の(ア)~(エ)から1つ選び、記号で答えよ。

(ア) 再結晶 (イ) 電解精錬

(ウ) 溶融塩電解 (エ) 電気透析

(3) この電気分解により流れた電気量の大きさ(絶対値)は何Jか。

(4) 電極Yでは銅以外の金属が析出しなかったとして、電極Yで増加した質量[g]を答えよ。

(5) 長時間の電解後、電極Xの下には沈殿が生じた。この沈殿に含まれる金属を具体的に挙げ、なぜそのような沈殿が生じるのかを説明せよ。

② 次の文を読み、下の問1~問7に答えよ。

2.00 molの酢酸エチルと少量の濃硫酸を加えた2.00 molの水を混合して加熱し、温度を一定に保って十分な時間をおいたところ、やがて平衡に達した。なお、混合液の体積は反応の前後で変わらないものとする。

問1 酢酸エチルの構造式を書け。

問2 下線部で起こっている正反応の名称と、その逆反応の名称を答えよ。

問3 下線部で起こっている反応で、水由来の酸素原子を含む生成物の名称をすべて答えよ。

問4 酢酸エチルの性質として正しいものを次の(ア)~(オ)からすべて選べ。

(ア) 揮発性の液体である。

(イ) 水に溶けやすい。

(ウ) 芳香をもつ液体である。

(エ) 純粋なものは0°Cで凝固する。

(オ) 接着剤や塗料の溶媒に用いられる。

問5 下線部の反応の平衡定数 K を反応物および生成物のモル濃度[mol/L]を用いて式で表せ。ただし、反応物および生成物それぞれのモル濃度は、例えば水のモル濃度[mol/L]は $[\text{H}_2\text{O}]$ のように、[化学式]で表すものとする。

問6 平衡定数 $K=0.25$ であるとき、平衡に到達するまでに酢酸エチルは何mol反応するか、計算過程を示して有効数字2桁で答えよ。

問7 下線部の混合液にさらに2.00 molの酢酸を混合して加熱し、下線部の実験と同じ温度と条件で平衡に達したとき、酢酸エチルは何mol残っているか。計算過程を示して有効数字2桁で答えよ。平衡定数は問6の値を用いること。必要ならば、 $\sqrt{3}=1.73$ を用いて良い。

3 分子式 $C_6H_{12}O$ で表される化合物 A~D について、次の文を読み、下の問 1~問 5 に答えよ。ただし、3 員環や 4 員環のような不安定な環状構造は考えない。

- (a) A と D は不斉炭素原子をもっているが、B と C は不斉炭素原子をもっていない。
- (b) A, B, C, D それぞれにナトリウムを加えると、いずれも激しく反応して気体が発生した。
- (c) 臭素水に A と D を加えると臭素水が脱色されたが、臭素水に B と C を加えても脱色は起こらなかった。
- (d) これらの化合物に硫酸酸性の二クロム酸ナトリウム水溶液を作用させると、A からは E が生成し、B からは F が生成した。一方で C と D は反応しなかった。
- (e) E と F はいずれも不斉炭素原子をもたない。
- (f) F にアンモニア性硝酸銀溶液を加えて加熱すると、銀が析出した。
- (g) 白金を触媒として D に水素を付加すると、不斉炭素原子をもたない G が生成した。また、同様の条件で E に水素を付加すると、不斉炭素原子をもつ H が生成した。
- (h) H にヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を作用させると、特有の臭気をもつ黄色沈殿が生じた。

問 1 不斉炭素原子とは何か。30 字以内で説明せよ。

問 2 (b)において、どのような官能基の有無を判別できるか答えよ。

問 3 (c)において、どのような結合の有無を判別できるか答えよ。

問 4 化合物 C, D, F, H の構造式を書け。

問 5 (f)において硝酸銀はどのような試薬として作用しているか、次の(ア)~(エ)から 1 つ選び、記号で答えよ。

- (ア) 酸 (イ) 塩基 (ウ) 酸化剤 (エ) 還元剤

4 次の文を読み、下の問 1~問 4 に答えよ。

ゴムの木から [A] と呼ばれる白い乳液が得られる。これに酢酸を加えて凝固、乾燥させたものを天然ゴムという。天然ゴム自体は小さいながらも弾性を示すが、①空気中に放置しておくとゴム弾性は失われる。工業的には、[B] を加えて加熱しながら混合処理を行い、天然ゴム分子の②ところどころに [C] 構造を生じさせたものを用いる。なお、[B] の添加量によって、弾性の向上した弾性ゴムや [D] と呼ばれる黒色の硬いプラスチック状の物質となる。

一方、天然ゴムの主成分となる高分子に類似した構造を持つ合成ゴムも身の回りでは多く用いられている。ブタジエンゴムはタイヤやホースに用いられており、1,3-ブタジエンの [E] 重合により得られる。また、③アクリロニトリル-ブタジエンゴム (NBR) は石油ホースなどに用いられ、アクリロニトリルと 1,3-ブタジエンを共重合することで得られる。

問 1 文中の空欄 [A] ~ [E] に最もよく当てはまる語句を書け。

問 2 下線部①に関して、天然ゴムは熱分解するとイソプレンとなる。イソプレンの構造を示すとともに、天然ゴムの主成分となる高分子の構造を示せ。重合度は n で示すこと。

問 3 下線部②に関して、ゴムの劣化は空気中の微量なオゾンが関与していると考えられている。劣化の原因をゴムの構造を踏まえて簡潔に述べよ。

問 4 下線部③に関して、アクリロニトリルと 1,3-ブタジエンを 2:3 の物質質量比で共重合することで NBR を合成した。次の(1)と(2)の問いに答えよ。

(1) アクリロニトリルの重合度を $2x$ 、1,3-ブタジエンの重合度を $3x$ としてこの NBR の構造式を書け。

(2) この NBR 中の窒素原子をすべて気体の窒素に変換したとき、 1.013×10^5 Pa、 0°C で 56.0 mL の窒素が発生した。このときに用いた NBR は何 g か。計算過程を示して有効数字 2 桁で答えよ。

生物

1 つぎの文を読み、問1～問5に答えよ。

有性生殖では、配偶子とよばれる細胞の融合により、染色体の新たな組合せをもつ個体^Aが作られる。配偶子の融合は一般に(イ)とよばれる。多くの動物では、大型で運動性のない雌性配偶子と、小型で運動性のある雄性配偶子が融合するが、この場合の(イ)は特に受精とよばれる。ヒトの雌性配偶子である卵の形成過程では、体細胞分裂によって多数の(ロ)が卵巣内に形成される。(ロ)は栄養分を蓄積して大型化した(ハ)となり、胎児期のうちに減数分裂^Bに入るが、第一分裂前期の段階でいったん停止する。出生後、性的成熟期になると、排卵の直前に第一分裂を再開し、(ニ)が生じて、第二分裂中期の状態ですり停止する。この状態で排卵が起こり、輸卵管内の(ニ)に精子が進入すると第二分裂が再開され、第二極体の放出が起こる。

配偶子形成過程では、染色体の分離にくわえて、減数分裂の第(ホ)分裂(ヘ)期に、染色体の乗換えという現象が起こる。これは遺伝子の組換えという現象^Cにつながり、結果、形成される配偶子の多様性を生み出している。

問1 上の文中の(イ)～(ヘ)に適切な語句を入れよ。

問2 下線部Aに関連して、マイクロサテライト(反復配列)は塩基配列の反復からなり、染色体上の特定の位置において個体ごとに固有の反復回数もち、DNA型鑑定に利用される場合がある。ある遺跡から発見された夫婦と思われる男女(それぞれM、Fとする)の遺体と、近くから発見された遺体P、Qの常染色体上のマイクロサテライトx、yにおいて、反復回数を解析したところ、表1のようになっていた。P、Qはこの夫婦2人の間の子だと考えて矛盾はないか、それとも矛盾はあるか。それぞれ理由とともに簡潔に答えよ。

表1 マイクロサテライトx、yにおける反復回数

マイクロサテライト	男性(M)	女性(F)	P	Q
x	10, 15	12, 14	10, 15	10, 12
y	7, 11	8, 8	7, 8	8, 11

問3 下線部Bに関連して、体細胞の染色体数が $2n=6$ の生物の場合、一個体から形成される配偶子の染色体の組合せは何通りあるか答えよ。ただし、乗換えは考慮しないものとする。

問4 ヒトの卵における、減数分裂から受精卵までの過程での細胞1個あたりのDNA量の変化をグラフにすると、どのようになるか解答欄の図2に示せ。ただし、1個の精子に含まれるDNAの量を1(相対値)とし、横軸上の3つの矢印はそれぞれ左から排卵、精子の進入、第二極体の放出を示すものとする。

問5 下線部Cに関連して、ある昆虫の精子形成過程では遺伝子の組換えは起こらないが、卵形成過程では組換えが起こることが知られている。この昆虫の遺伝子A、B、Dは同一の常染色体上に位置し、遺伝子a、b、dがそれぞれ遺伝子A、B、Dの対立遺伝子であるものとする。遺伝子型AABBDDのメスと遺伝子型aabbddのオスを交配してF₁を得たところ、すべてのF₁の表現型は[ABD]であった。このF₁のメスを用いて検定交雑したところ、生じた合計1000個体の子の表現型の分離比は表2のようになった。下の設問①～④に答えよ。

表2 子の表現型の分離比

| [ABD] |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 375 | 85 | 35 | 5 | 5 | 35 | 85 | 375 |

- ① 検定交雑に用いたオスの個体の遺伝子型を答えよ。
- ② F₁のメスではなくF₁のオスを用いて検定交雑を行った場合、子の表現型はどのようなものが生じるか。すべて答えよ。
- ③ 表の値をもとに、図1の染色体地図の(Ⅰ)～(Ⅲ)に入る遺伝子記号(A、B、D)と、(L₁)と(L₂)に入る組換え価(%)を答えよ。ただし、(L₁) < (L₂)とする。



図1 染色体地図

- ④ ③の(L₁)と(L₂)の値の合計は、(Ⅰ)・(Ⅲ)間の組換え価と一致していない。この原因となる現象を一つ、簡潔に述べよ。

2 つぎの文を読み、問1～問7に答えよ。

脊椎動物の受精時は、卵割とよばれる体細胞分裂をさかんにくり返し、桑実胚、胞胚を経て原腸胚とよばれる胚になる。原腸胚では胚葉の分化が起こるとともに、表層の細胞が原口とよばれる部分から胚の内部へと移動し、将来の消化管となる構造が形成される。その後、神経胚とよばれる段階になると、背側に神経板とよばれる構造が形成され、それが中央の神経溝という部分から胚内部に入り込み、神経管になる。発生過程での細胞の分化において、周囲の細胞からのはたらきかけが重要な役割を果たしていることは、20世紀にニューコープが行った実験やシュベーマンらが行った実験からも知ることができる。彼らが行った実験の概要を以下に示す。

〔ニューコープの実験〕

サンショウウオの胞胚を、図3に示すように、動物極側の領域(領域A)と植物極側の領域(領域B)に分割し、領域Aと領域Bをそれぞれ単独で、もしくは、領域Aと領域Bを接触させて培養した。

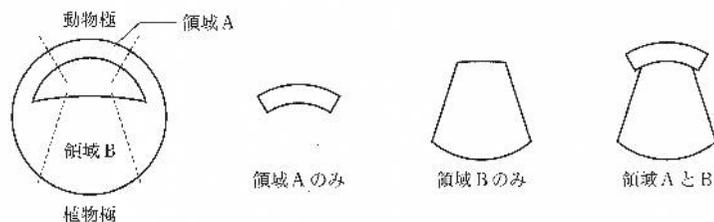


図3 ニューコープの実験の概略

〔シュベーマンらの実験〕

クシイモリの初期原腸胚の原口背唇部を切り取り、これを体色の異なるスジイモリの初期原腸胚の腹側の予定表皮域に移植した。その結果、移植を受けたスジイモリの胚が尾芽胚まで成長したとき、腹側に移植片を中心としてもう一つの胚が形成された。

- 問1 下線部に関連して、卵割が通常の体細胞分裂と異なる点を2つ、簡潔に述べよ。
- 問2 ニューコープの実験において、領域Aと領域Bを単独で培養した場合、領域Aと領域Bは、外胚葉、内胚葉、中胚葉のいずれの組織に分化したか答えよ。
- 問3 ニューコープの実験において、領域Aと領域Bを接触させて培養した場合、領域Aの下側の面(領域Bと接触していた面)は、外胚葉、内胚葉、中胚葉のいずれの組織に分化したか答えよ。
- 問4 ニューコープの実験から明らかになったことを50字以内で述べよ。

問5 シュベーマンらの実験の結果は、原口背唇部が周囲の未分化な細胞にはたらきかけ、神経管などに分化させていることを示している。この実験の原口背唇部のように、周囲の細胞を分化させる作用をもつ胚の領域を何とよぶか答えよ。

問6 シュベーマンらの実験で起こった現象について説明する下の文中の(イ)～(ニ)に適切な語句を入れよ。ただし、(ハ)と(ニ)には「表皮」か「神経」のいずれかが入るものとする。

胞胚期には、胚全体で(イ)というタンパク質が発現している。外胚葉の細胞は(イ)と結合する(ロ)を細胞膜上にもっており、(イ)が(ロ)に結合した外胚葉の細胞は、(ハ)に分化する。移植した原口背唇部からはノギンやコーディンというタンパク質が分泌されるが、これらのタンパク質は(イ)と結合することで、(イ)と(ロ)の結合を阻害する作用を示す。(イ)が(ロ)に結合しなかった外胚葉の細胞は(ニ)に分化するため、移植した原口背唇部の近くに存在する外胚葉の細胞は、(ニ)に分化することになる。

問7 シュベーマンらの実験では、なぜ異なる種のイモリの胚の間で交換移植を行ったのか、その理由を40字以内で述べよ。

3 つぎの文を読み、問1～問5に答えよ。

多様な生物と非生物的環境を一つのまとまりとしてとらえたものを生態系という。生態系では、たとえばカエルはクモを食べる(イ)であると同時に、ヘビに食べられる被食者でもある。このような(イ)と被食者の関係は一連の鎖のようにつながっており、(ロ)とよばれる。実際の生態系では、(イ)が一種類の生物だけを食べているのはまれであり、(イ)と被食者の関係は複雑になっている。それらの関係全体は(ハ)とよばれる。生態系では、生産者が光合成によって太陽の光エネルギーを変換して有機物中の化学エネルギーとして蓄積する。このエネルギーの一部は有機物とともに消費者に移動し、(ロ)の過程で消費者に利用されていく。このような生産者を出発点とする(ロ)の各段階は、栄養段階とよばれる。

1980年代、世界各地において、(ロ)の頂点に位置するワシなどの猛禽類がDDTなどの農薬の毒性の影響を受け、個体数を激減させた。これは、生物の体内で分解されにくく、いったん体内に入ると排出されにくい性質をもった物質が、環境中の濃度よりも生物の体内で高濃度になる(ニ)という現象が原因であった。上位の栄養段階の生物の減少は、生態系全体に大きな影響を及ぼす場合がある。特に生物多様性の低い生態系では生態系の復元力がうまくはたらかず、大きな変容をもたらす場合も少なくない。

問1 上の文中の(イ)～(ニ)に適切な語句を入れよ。

問2 下線部Aに関連して、植生の生産構造を表した生産構造図について、その型が広葉型になる植物を次の①～④のうちからすべて選び、記号で答えよ。

- ① アカザ ② ダイズ ③ チカラシバ ④ ススキ

問3 下線部Bに関連して、ある湖沼におけるエネルギー量[J/(cm²・年)]を表3に示した。下の設問①と②に答えよ。なお、老廃物排出量は無視できるほど小さいものとして、ここでは考慮しない。

表3 生産者と消費者が利用するエネルギー量

	総生産量 (同化量)	呼吸量	純生産量	被食量	枯死・ 死滅量	成長量
太陽光	499000	/	/	/	/	/
生産者	468	98.3	P	62.2	11.8	295.7
一次消費者	52.2	18.5	33.7	13.0	1.3	Q
二次消費者	10.0	5.5	4.5	0.0	R	3.4

① 表中のP～Rに入る数値を答えよ。

② 一次消費者では生産者の総生産量に占める一次消費者の同化量の割合(%)を、二次消費者では一次消費者の同化量に対する二次消費者の同化量の割合(%)をエネルギー効率という。それぞれの消費者についてエネルギー効率の値を求めよ。ただし、小数点以下第3位を四捨五入せよ。

問4 下線部Cに関連して、下の設問①と②に答えよ。

① 栄養段階ごとに生物の現存量を調べ、棒グラフを横にして積み上げると、一般的には図4のようになることが多い。この図の名称を答えよ。

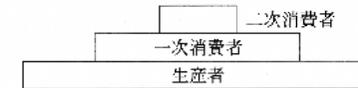


図4 一般的な環境下での、生物の現存量を栄養段階ごとに積み上げた図

② 栄養塩類が豊富な浅海域において、図5のように、生産者(植物プランクトン)と一次消費者(動物プランクトン)の現存量の逆転がしばしば観測された。また、このような現存量の逆転が起こっても、一次消費者や二次消費者(魚類)の現存量は大きく減少することはなかった。この生態系ではなぜ生産者の現存量が少なくなっても、一次消費者や二次消費者の現存量が減少しなかったのか、「食物不足」、「光合成器官」、「非光合成器官」、「増殖速度」という語句をすべて用いて説明せよ。

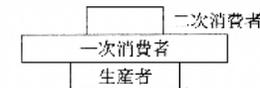


図5 栄養塩類が豊富な浅海域での、生物の現存量を栄養段階ごとに積み上げた図

問5 下線部Dに関連して、ある生物群集における種多様性を数値化するため、多様性指数を用いる。ここでは、多様性指数はその生物群集の単純度の逆数とする。単純度とは、生物群集において、ある種の生物が占める割合をその種の相対優占度(P)とし、すべての種の相対優占度を二乗した値(P²)の合計で示されるものである。たとえば、生物種A～Dが表4のような個体数で存在する場合、生物群集Ⅰの単純度は0.25×0.25×4=0.25であり、多様性指数は4ということになる。生物群集Ⅱの多様性指数の値を、計算式を示して、整数で答えよ。

表4 生物群集ⅠとⅡにおける生物種A、B、C、Dの個体数

	生物種A	生物種B	生物種C	生物種D
生物群集Ⅰ	25個体	25個体	25個体	25個体
生物群集Ⅱ	50個体	50個体	0個体	0個体

4 つぎの文を読み、問1～問7に答えよ。

ヒトの血液は心臓の拍動によって全身を循環し、組織に酸素や栄養分を届ける。血液の重さの35%は血しょうとよばれる液体で、45%は血球とよばれる有形成分である。血しょうは水にタンパク質やグルコース、脂質、無機塩類などが溶けたものであり、その一部は毛細血管から外へ染み出して(イ)となる。(イ)は細胞の間を満たし、細胞との間で物質のやり取りを行う。(イ)の大部分は再び毛細血管に戻るが、一部は(ロ)に流入して(ハ)の成分となる。(ハ)は周囲の筋肉の動きによって押されて移動し、やがて左右の鎖骨の下にある静脈へと流入する。血液の有形成分は骨髄中の(ニ)から作られ、赤血球、白血球、血小板に大別される。最も数が多いのは赤血球で、核をもたず、細胞質中に多量のヘモグロビンを含み、組織に酸素を運搬している。白血球は、体内に侵入してくる病原体などの異物に対する免疫作用にかかわる。血小板は血液凝固にかかわる。

問1 上の文中の(イ)～(ニ)に適切な語句を入れよ。

問2 下線部Aに関連して、心臓の拍動を促進する自律神経の末端から放出される神経伝達物質の名称を答えよ。

問3 下線部Bに関連して、血しょう中のタンパク質が減少すると浮腫(むくみ)が生じやすくなる。浮腫について説明する下の文が成立するように[]内の語句を選び、解答欄の該当する選択肢を○で囲め。

血しょう中に最も多く含まれるタンパク質であるアルブミンは肝臓で合成される。肝臓の機能が低下するなどしてアルブミンの量が減少すると、血しょうの浸透圧が[]上がり・下がり]、相対的に(イ)の浸透圧が[高く・低く]なる。その結果、血しょうと(イ)の間における水の移動のバランスが崩れ、(イ)中の水が[増加・減少]し、浮腫が生じる。

問4 下線部Cの静脈についての記述として適当なものを、次の①～④のうちからすべて選び、記号で答えよ。

- ① 動脈と比べ、筋肉の層が厚い。
- ② 組織から心臓へ戻る血液が流れている。
- ③ 逆流を防ぐための弁がある。
- ④ 動脈と比べ、血圧が高い。

問5 下線部Dに関連して、あるヒトの血液の総量が4.8L($4.8 \times 10^6 \text{ mm}^3$)であるとする、このヒトの骨髄で1分間につくられる赤血球の個数は平均でおよそ何個か。四捨五入し、有効数字2桁で[] $\times 10^{\text{[]}}$ 個という形で答えよ。ただし、ヒトの赤血球数は血液1mm³あたり500万個とし、赤血球の寿命は120日で、赤血球の破壊と生成は常に一定の速度で行われているものとする。

問6 下線部Eに関連して、下の設問①と②に答えよ。

① 表5は、酸素濃度と二酸化炭素濃度に変化した場合の、酸素ヘモグロビン(赤血球中のヘモグロビンのうち、酸素と結合しているもの)の割合を示している。あるヒトの肺では酸素濃度(相対値)が100で、二酸化炭素濃度(相対値)が40であり、組織では酸素濃度(相対値)が40で、二酸化炭素濃度が60であったとすると、動脈血中の酸素ヘモグロビンのうち何%が組織に酸素を放出したことになるか、答えよ。ただし小数点以下第2位を四捨五入せよ。

表5 様々な酸素濃度および二酸化炭素濃度条件下での酸素ヘモグロビンの割合

	二酸化炭素濃度(相対値)	
	40	60
酸素濃度(相対値)	100	95%
	40	55%

② ヒトの胎児は、成人と異なる性質をもったヘモグロビンをもつため、周囲の酸素濃度と酸素ヘモグロビンの関係は、図6のようにになっている。このような性質のヘモグロビンをもつことは、胎児によってどのように都合がよいのか、「胎盤」、「酸素濃度」という語句を用いて簡潔に述べよ。

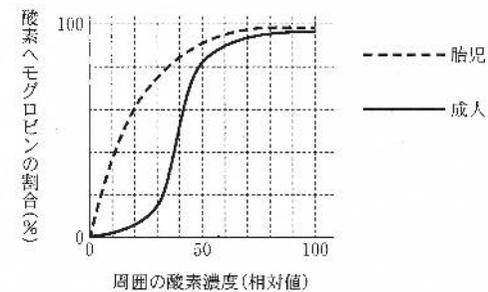


図6 ヒトの胎児と成人での酸素解離曲線

問7 下線部Fに関連して、実験に用いるマウスの血液を採取した後、血液凝固を防ぐためには低温に保つとよい。これはどのような理由によるのか、簡潔に述べよ。