

令和 6 年度学力検査問題

理 科 ①

	ページ	ページ	(解答用紙枚数)
物 理	1	～ 13	2 枚
化 学	14	～ 24	2 枚
生 物	25	～ 41	2 枚

○志望学部別，科目選択方法及び解答時間

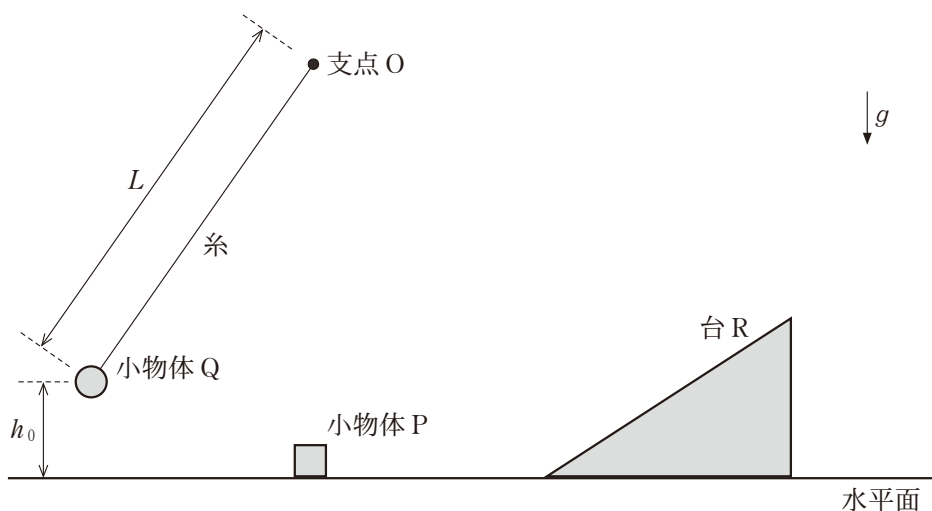
志望学部	科 目 選 択 方 法	解答時間
医 学 部	物理，化学，生物から 2 科目選択すること。	150 分
工 学 部	物理，化学から 1 科目選択すること。	90 分
生物資源学部	物理，化学，生物から 1 科目選択すること。	90 分

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで，この問題冊子の中を見てはいけません。
2. 本冊子のページ数は上記のとおりである。落丁，乱丁，印刷不鮮明の箇所などがある場合は申し出ること。
3. 解答はすべて別紙解答用紙のそれぞれの解答欄に記入すること。
4. あらかじめ届け出た科目について解答すること。
5. 解答用紙の指定された欄(物理は計 4 箇所，化学は計 4 箇所，生物は計 4 箇所)に，忘れずに本学の受験番号を記入すること。
6. 試験場内で配付された問題冊子は試験終了後持ち帰ること。

物 理

- 1 以下の文章中の (a) ～ (h) に当てはまる適切な数式を答えよ。ただし、解答には文中に与えられた記号だけを用いよ。重力加速度の大きさを $g[\text{m/s}^2]$ とする。



図

なめらかな水平面上に、質量 $m[\text{kg}]$ の小物体 P と質量 $am[\text{kg}]$ (a は定数) の台 R が静止している。小物体 P から鉛直上方に距離 $L[\text{m}]$ だけ離れた支点 O から長さ $L[\text{m}]$ の伸びない軽い糸で質量 $bm[\text{kg}]$ (b は定数) の小物体 Q が吊るされている。なお、すべての物体は図に示される鉛直面内を運動し、台 R は底面全体が常に水平面と接しているものとする。また、速度は図の右向きを正とし、小物体 P、Q の大きさおよび空気抵抗は無視できるものとする。

図に示したように、小物体 Q を高さ $h_0[\text{m}]$ の位置から静かに放して、最下点で小物体 P と衝突させるときの小物体 P と小物体 Q の運動を考える。小物体 Q は、速度 (a) $[\text{m/s}]$ で小物体 P と衝突する。反発係数を e とすると、衝突後の小物体 P の速度は、(b) $[\text{m/s}]$ となる。衝突直後の小物体 P と小物

体 Q の速度が等しくなる場合には、この衝突によって小物体 P と小物体 Q の物体系の力学的エネルギーは、 [J] だけ減少する。

次に、小物体 Q との衝突後の小物体 P の速度を u_0 [m/s] とし、その後の小物体 P と台 R の運動を考える。台 R は水平面となめらかにつながる斜面を持ち、小物体 P が台 R に達すると、小物体 P は斜面を上り、台 R は右向きに動き出す。

小物体 P と台 R の斜面の間に摩擦がない場合、小物体 P が台 R の斜面を上り、台 R の斜面上で最高到達点に達したとき、台 R の速度は、 [m/s]、小物体 P の水平面からの高さ H_1 [m] は、 [m] となる。その後、小物体 P が台 R を滑り降り、水平面に達した後の小物体 P の速度は、 [m/s] となる。

他方、小物体 P と台 R の斜面の間に摩擦があり、小物体 P が台 R の粗い斜面を上り、高さ H_2 [m] の位置で台 R に対して停止したとき、台 R の速度は、 [m/s] となり、この摩擦によって小物体 P と台 R の物体系の力学的エネルギーは、 [J] だけ減少する。

2 次の文章を読み、問 1 ～ 問 3 に答えよ。

水槽内の液体に物体 A が入っている。この物体 A は一辺の長さが a [m]、密度が ρ_A [kg/m³] の立方体である。重力加速度の大きさには g [m/s²] を用いて、以下の問いに答えよ。

問 1 以下の (ア)，(イ) に当てはまる適切な数式を答えよ。

図 1 のように、密度の異なる 2 つの液体 1 および液体 2 が 2 層に分かれて水槽に入っている。液体 1 の密度は ρ_1 [kg/m³]、液体 2 の密度は ρ_2 [kg/m³] であり、両者の関係は $\rho_1 > \rho_2$ である。また、2 つの液体は混合しない。水槽内の物体 A の上面は液体 2 の液面と等しい位置で静止している。このとき、液体 1 の水槽底面からの高さが h_1 [m]、液体 2 の厚さが h_2 [m] ($a > h_2$) であった。大気圧が p_0 [Pa] とすると、水槽の底面にある点 P における水圧は (ア) [Pa] となる。また、液体 2 の厚さは $h_2 =$ (イ) [m] と表される。

問 2 問 1 の状態から、液体 2 の厚さを $\frac{3}{4}a$ [m] にすると物体 A が浮き上がったため、同じ長さの 2 本の糸を用いて図 2 のように物体 A の底面両端と水槽の底面をつなぎ、物体 A の上面が液体 2 の液面と等しい位置に固定して静止させた。このとき、1 本の糸の張力 T [N] を求めよ。ただし、図 2 のように糸と鉛直方向のなす角は θ [rad] であり、糸の浮力と質量は無視できるものとする。また、2 本の糸はどちらも緩んでおらず、水槽の底面と物体 A の底面は平行である。

問 3 別の水槽に、密度が ρ_3 [kg/m³] ($\rho_A > \rho_3$) である液体 3 を入れた。図 3 のように、物体 A を液体 3 に入れ、その上面と液面を等しい位置に固定したとき、水槽底面から液面の高さは h_3 [m] であった。次に、物体 A の固定を静かに外すと、物体 A は水槽の底面に到達した。このとき、物体 A の底面が水槽の底面に到達するまでの時間 t [s] を求めよ。ただし、液体による物体 A への抵抗は無視できるものとする。

大气压 p_0

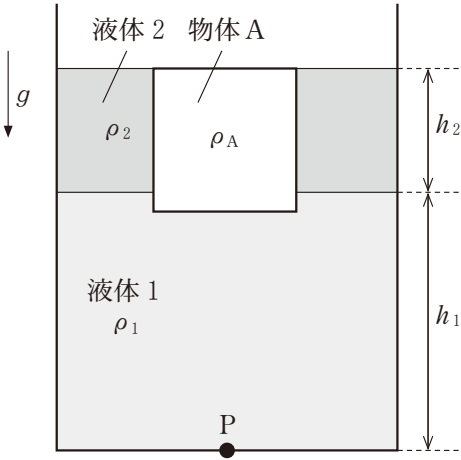


图 1

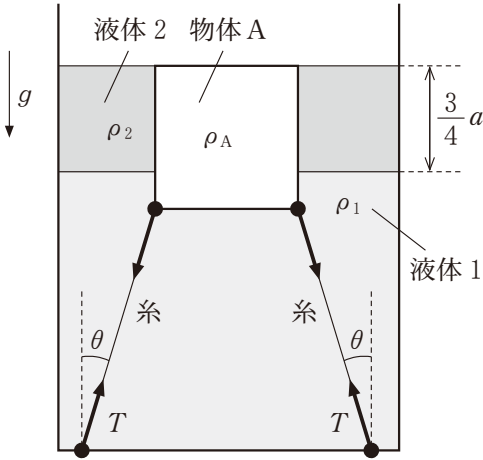


图 2

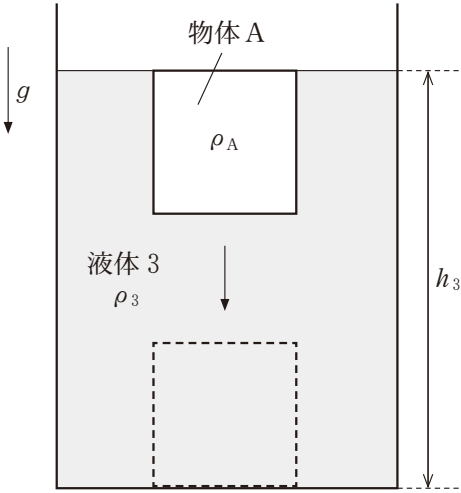


图 3

3 同じ形・大きさを持つ2つの剛体シリンダー a, b と、両端に同じ形・大きさの軽い剛体ピストン a, b が結合された軽い剛体棒がある。個々のピストンをそれぞれ対応するシリンダーに差し込み、横倒しの姿勢で、図1のように台に固定した。シリンダー、ピストンはともに断面積 A [m²] である。加えて、シリンダー a には小さなヒーターが設置されている。

台は比熱比 γ 、圧力 p_0 [Pa]、温度が一定の理想気体で満たされた大きな部屋に設置され、各シリンダーの底面の栓を開けた状態で長時間放置された。このとき各シリンダーの底面とピストン端面の間の距離をともに x_0 [m] で保った(手順 I)。この状態を「状態 1」とする(図 1)。

その後、栓を2つとも閉じて密閉状態とし、ヒーターでシリンダー a、ピストン a に囲まれた領域内の気体に熱量 Q [J] を加えた。その結果、ピストン、剛体棒はゆっくりとシリンダー b 側へ移動し、その後シリンダー b 内の体積が「状態 1」の半分になり静止した。この状態を「状態 2」とする(図 2)。

ここで、各々のシリンダー、ピストン、継手、閉鎖後の栓から熱は出入りしない。また、継手の内部とヒーターの体積、ならびにピストン—シリンダー間の摩擦、ヒーターの熱容量は無視できる。加えて手順 I 以降は、シリンダーとピストンに囲まれた領域外の圧力 p_0 がピストンの移動に影響しないものとして、以下の問いに答えよ。ただし、解答用紙への記入にあたり、特記ない場合は図 1 内にある記号のみを用いよ。

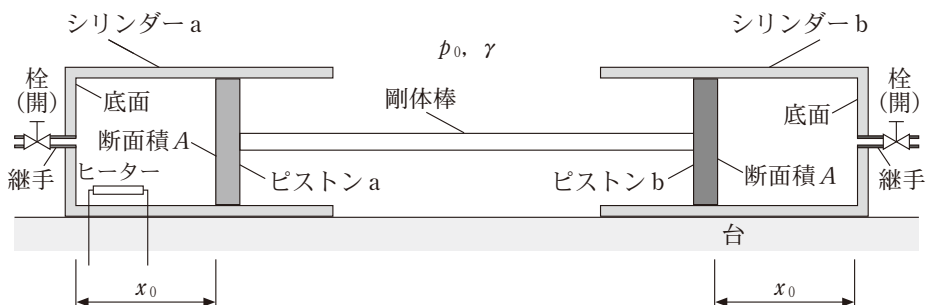


図 1 (状態 1)

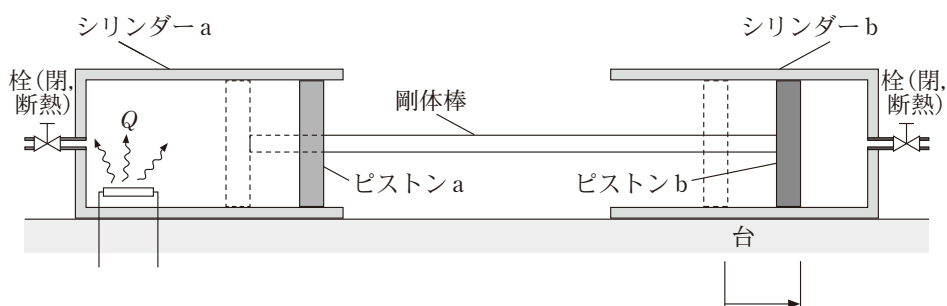


図 2 (状態 2)

問 1 加熱終了後、シリンダー b 内に封入された気体がピストン b を押す力の大きさ [N] を求めよ。

問 2 ピストン b が、シリンダー b 内に封入された気体にした仕事 W [J] を求めよ。ただし、シリンダー b 内の気体の性質は図 3 の p - V グラフで表され、この図中の斜線の面積は、次の式で表される。

$$\begin{cases} \frac{p_I V_I}{n-1} \left[1 - \left(\frac{V_I}{V_{II}} \right)^{n-1} \right] & (n \neq 1) \\ p_I V_I \log_e \left(\frac{V_{II}}{V_I} \right) & (n = 1) \end{cases}$$

ここで、 V_I 、 V_{II} はともに体積、 p_I は圧力、 n は正の実数。

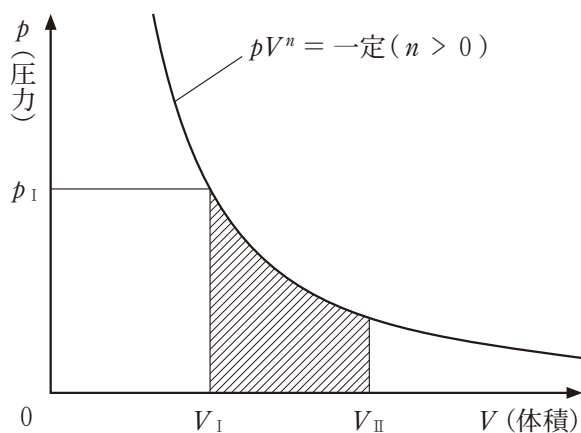


図 3

問 3 「状態 1」から「状態 2」の間の、シリンダー a 内に封入された気体の内部エネルギーの増分 ΔU [J] を、 Q 、 W を用いて示せ。

剛体棒の代わりにばね定数 k [N/m] のばねを用い、手順 I を行った。この状態を「状態 3」とする(図 4)。ただし、このときのばねの長さは自然長である。その後、栓を閉鎖し、ヒーターでシリンダー a 内に熱量 Q' [J] を加えると、シリンダー b 内の体積は「状態 3」の半分になり、ピストンは静止した。この状態を「状態 4」とする(図 5)。

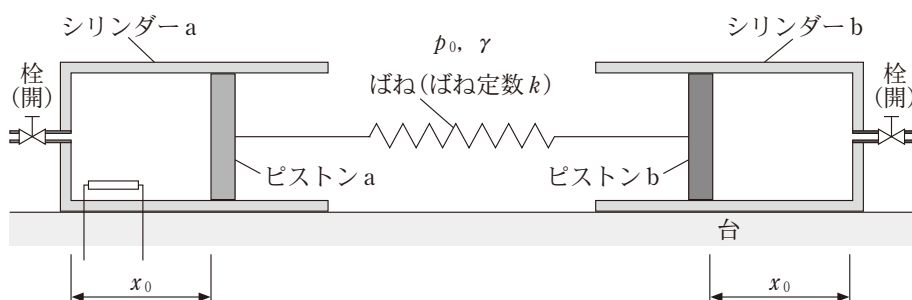


図 4 (状態 3)

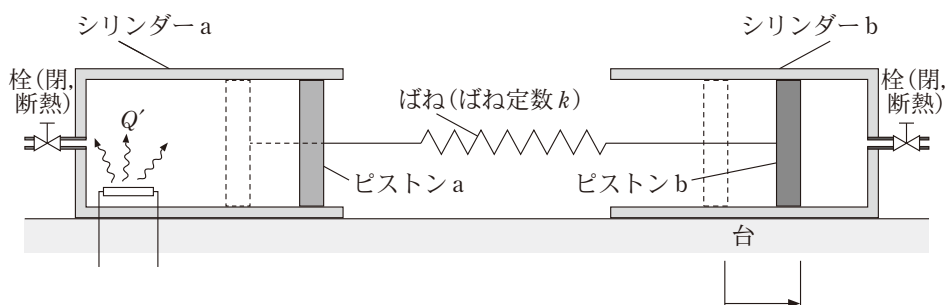


図 5 (状態 4)

次の問いに答えよ。ただし、手順 I 以降は、シリンダーとピストンに囲まれた領域外の圧力 p_0 がピストンの移動に影響しないものとする。また、解答用紙への記入にあたり、特記ない場合は図 1 内にある記号および k のみを用いよ。

問 4 「状態 3」から「状態 4」の間の、ばねの収縮量[m]を求めよ。

問 5 ばねが 2 つのピストンからされた仕事 W_s [J] を求めよ。

問 6 「状態 3」から「状態 4」の間の、シリンダー a 内に封入された気体の内部エネルギーの増分 $\Delta U'$ [J] を、 W , W_s , Q' を用いて示せ。

問 7 $\frac{\Delta U'}{\Delta U}$ と $\frac{Q'}{Q}$ がともに 2 である場合、ばね定数 k [N/m] を求めよ。

4 図のように、鉛直下向きに一様な磁束密度 B [T] の磁場内に平行な導体のレール a, b を水平面に置き、その上に質量 m [kg] の導体棒をレールに対して直角にのせる。レール a, b と導体棒の接点をそれぞれ P, Q とする。レール a, b には電池(起電力 E_1, E_2 [V])、抵抗(抵抗値 R_1 [Ω])、可変抵抗器が接続されている。可変抵抗器は、はじめに抵抗値が最大になっており、導体棒は静止している。レール a, b 間の距離を l [m]、重力加速度の大きさを g [m/s²]、導体棒とレール a, b の静止摩擦係数を μ_0 、動摩擦係数を μ として次の問いに答えよ。ただし、レール a, b と導体棒は電氣的に接触しており、導体棒はレール a, b と直角を保ちながら滑るものとする。また、電池の内部抵抗や回路の導線と導体棒、レールの電気抵抗は無視できるものとする。

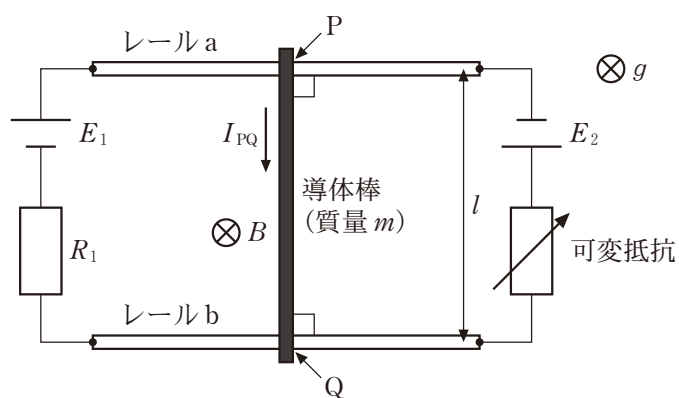
問 1 可変抵抗器の抵抗値をゆっくりと減少させ、抵抗値が R_2 [Ω] になったとき、導体棒がレール a, b 上を滑りはじめた。このときの可変抵抗器の抵抗値 R_2 を求めよ。また、滑り始めた向きを右向きか左向きか解答欄中の選択肢から選べ。ただし、 R_2 は $R_1, E_1, E_2, B, l, \mu_0, m, g$ を用いて答え、このときの R_2 は $E_1 R_2 < E_2 R_1$ を満たすものとする。

しばらくして導体棒は一定の速さ v_0 [m/s] となった。

問 2 導体棒に流れる電流 I_{PQ} [A] の大きさを求めよ。

問 3 導体棒に生じる誘導起電力の大きさ V_1 [V] を答えよ。また、導体棒で電位が高い方の接点は P か Q か解答欄中の選択肢から選べ。

問 4 一定の速さ v_0 を求めよ。ただし、 v_0 は $R_1, R_2, E_1, E_2, \mu, m, g, B, l$ を用いて答えるものとする。



図

- 5 以下の文章中の ① ～ ⑩ に当てはまる適切な語句、数式、数値を答えよ。ただし、① ～ ② , ⑦ ～ ⑧ には語群から語句を、③ , ⑨ ～ ⑩ には数式を、④ ～ ⑥ には数値をそれぞれ解答欄に記入せよ。プランク定数は h [J・s] , 真空中の光速は c [m/s] , 電気素量は e [C] , リュドベリ定数は R [/m] , クーロンの法則の比例定数は k_0 [N・m²/C²] とする。

語群

質量	質量数	陽子	中性子	α 粒子	三重水素
励起	完全	不完全	非定常	基底	原子番号

- 問 1 太陽の内部では水素による核融合が起こっている。その例として、式(1)に示すような二重水素からヘリウム 3 と ① が生じる反応がある。



この核反応の前後において ② の和はそれぞれ 4 と、保存されている。一方、核反応の前後で質量の和は変化しており、その減少した量に応じた原子核の結合エネルギーが放出される。 ${}^2_1\text{H}$, ${}^3_2\text{He}$, ${}^1_0\text{n}$ の質量をそれぞれ m_{H} , m_{He} , m_{n} [kg] とすると、式(1)の核反応で放出される原子核の結合エネルギーは ③ [J] である。

- 問 2 フラウンホーファーは太陽のスペクトルを観察し、いくつかの暗線(特定の波長が吸収され暗くなった箇所)があることを確認して記号をつけた。その中に次表のようなものがある。

記号	A	B	C	D ₁	E ₂	F
波長(× 10 ⁻⁷ m)	7.6	6.9	6.5	5.9	5.3	4.8

一般に水素原子の線スペクトルは波長 λ [m] について、 R を用いて式(2)であらわされる。

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right) \left(\begin{matrix} n' = 1, 2, 3, \dots \\ n = n' + 1, n' + 2, n' + 3, \dots \end{matrix} \right) \dots\dots\text{式(2)}$$

ここで、おおよそ可視光の波長 $3.6 \times 10^{-7} \text{ m} \sim 7.8 \times 10^{-7} \text{ m}$ の範囲に含まれるバルマー系列と呼ばれるスペクトルは、式(2)で $n' = \boxed{\text{④}}$ のときである。

$R = 1.1 \times 10^7$ [1/m] と仮定して、そのバルマー系列で最も波長の長いスペクトルを有効数字 2 桁で求めると $\lambda = \boxed{\text{⑤}}$ [m] であり、次に波長の長いスペクトルを有効数字 2 桁で求めると $\lambda = \boxed{\text{⑥}}$ [m] である。前述の表でこれに対応した波長は、水素原子の存在を示すものといえる。

問 3 水素原子の電子の軌道とエネルギー準位をボーアの原子模型に基づいて考える。電子の質量は原子核の質量に比べて十分小さいものとする。質量 m [kg]、電気量 $-e$ の電子が、電気量 e の原子核の周りの軌道にあるとして、量子数 n ($n = 1, 2, 3, \dots$) に対するエネルギー準位を E_n であらわすと、次の関係がある。

$$E_n = - \frac{2\pi^2 k_0^2 m e^4}{h^2} \cdot \frac{1}{n^2} \dots\dots\text{式(3)}$$

電子のエネルギー準位は $n = 1$ のときに最も低く安定な状態となる。これを $\boxed{\text{⑦}}$ 状態という。 n が 2 以上の場合は $\boxed{\text{⑧}}$ 状態という。

水素原子内の電子がある振動数 ν [Hz] の光子を吸収して量子数 n' の状態からそれよりエネルギー準位が高い量子数 n の状態に移ったとすると、ボーアの振動数条件から、振動数 ν を用いて次の関係が成り立つ。

$$E_n - E_{n'} = \boxed{\text{⑨}} \text{ [J]} \dots\dots\text{式(4)}$$

式(2), 式(3), 式(4)より, 量子数 n は消去して, リュードベリ定数 R は

$$R = \boxed{\textcircled{10}} \text{ [}/\text{m]} \quad \cdots\cdots\text{式(5)}$$

となる。この式(5)に各種定数を代入することで R の値を求められる。

化 学

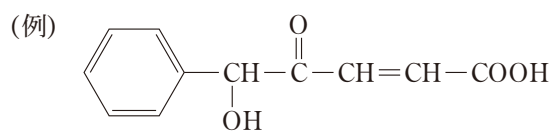
[注意] 計算のために必要な場合には、以下の数値を使用せよ。

原子量：H = 1.00 C = 12.0 N = 14.0 O = 16.0 Cu = 63.6

Zn = 65.4 Ag = 108

ファラデー定数 = 9.65×10^4 C/mol

また、構造式は下の例にならって記せ。



1 次の文章を読み、以下の問 1 ～ 問 5 に答えよ。

金属を獲得する技術のうち、鉱石から目的の金属を分離する工程は製錬、不純物の多い金属から純度の高い金属を取り出す過程は精錬と呼ばれる。鉄鉱石から鉄を製錬する場合、溶鉱炉には鉄鉱石と共に、石炭から作られる ア と、鉄鉱石中のケイ酸やリン、イオウなどの不純物を分離するための イ が加えられ、鉄は溶鉱炉の中で段階的に還元される。このようにして得た鉄は^(a) ウ と呼ばれるが、炭素を 4 % 程度含み、硬いが割れやすい性質を持つ。ウ に含まれる炭素を転炉で酸素を加えながら燃焼し、炭素含有量を 0.02 % から 2 % 程度にしたものは エ と呼ばれる。エ は ウ と比べ柔らかく、粘り強い性質を持つ。炭素含有量が 1.2 % 以下の エ に オ を 10.5 % 以上加えたものがステンレス エ である。

精錬には湿式精錬、乾式精錬、電解(電気)精錬などの手法があり、例えば金の湿式精錬には、不純物が含まれる金を^(b)王水に溶かし、還元剤を用いて高純度の金を分離する方法などがある。高純度の銅は^(c)黄銅鉱からの製錬により粗銅を得た後、さらに^(d)電解精錬に供することで得ることができる。

問 1 ア ～ オ に相当する語句を答えよ。なお、オ は元素記号で記述せよ。

問 2 下線部(a)について、次の問に答えよ。

下の式は、鉄鉱石に含まれる酸化鉄が溶鉱炉中で 3 段階の還元反応を受け、酸化数 0 の単体の鉄になる過程を記したものである。



- (1) A を鉄鉱石に含まれる主な酸化鉄とした場合、A と B に相当する酸化鉄の組成式を記述せよ。
- (2) これらの還元反応では、同じ物質が還元剤として酸化鉄に作用する。その物質の組成式を記述せよ。

問 3 下線部(b)について、次の問に答えよ。

- (1) 王水は通常(A)と(B)を1:(C)の体積比で混合したものである。王水について説明したこの文章について、(A)と(B)に相当する語句、および(C)に入る数字を答えよ。なお、(A)と(B)は漢字で、(C)は1より大きな整数で記述せよ。
- (2) 金と異なり、銀は王水に入れてもほとんど溶解しない。その理由を50字以内で簡潔に記述せよ。

問 4 下線部(c)の工程の前半では、高温で黄銅鉱に酸素を反応させることで、硫化銅(Ⅰ)と酸化鉄(Ⅱ)が得られる。発生する副産物も含め、この反応の反応式を記述せよ。

問 5 下線部(d)について、次の問に答えよ。

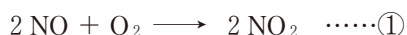
不純物として亜鉛と銀のみを含む粗銅 100 g を陽極、純銅 100 g を陰極とし、希硫酸に十分な量の硫酸銅(Ⅱ)を溶解した溶液中で通電し、電解精錬を行った。38.6 A の直流電流を一定時間流したところ、陽極の粗銅の質量は 4.00 g となり、陰極の質量は 95.4 g 増加した。また陽極泥が 0.420 g 発生した。なお、粗銅中に亜鉛と銀は均一に含まれており、陰極に析出する金属は銅のみとする。また金属が反応する場合、その反応は電極上のみで生じ、それぞれ次の反応式に従うものとする。



- (1) 本反応の通電時間を分単位で、有効数字 3 桁で答えよ。
- (2) 溶液中に溶け出した亜鉛の質量(g)を計算し、有効数字 3 桁で答えよ。
- (3) 粗銅の純度(粗銅に含まれる銅の重量パーセント)を有効数字 3 桁で答えよ。

2 次の文章を読み，問 1 ～問 2 に答えよ。ただし，すべての実験は大気圧 ($1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$) のもと，300 K の温度に保った状態で行われた。また，気体はすべて理想気体とし，気体定数 $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})$ とする。

300 K の温度において，気体の一酸化窒素 (NO) は式①の化学反応式にしたがって酸素とただちに反応し，赤褐色の気体である二酸化窒素 (NO_2) を生成する。



気体の二酸化窒素は式②に示す可逆反応により，その一部が無色の気体の四酸化二窒素 (N_2O_4) へと変化し，最後は平衡状態に達する。



問 1 図 1 に示すように、容積が変化しない容器 A と、摩擦のないピストンを動かすことによって容積を変化させることができる容器 B を活栓 C で連結する。まず活栓 C を閉じた状態で、容器 A には 0.20 mol の一酸化窒素を、容器 B には 0.10 mol の酸素を入

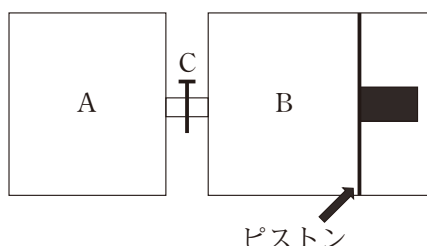


図 1

れた。両容器内の圧力は大気圧と同じ $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ であった。この状態で、容器 B のピストンは動かないように固定した。その後、活栓 C を開けて十分に時間が経過すると、一酸化窒素と酸素は式①の反応にしたがってすべて費やされ、式②にしたがって平衡状態に達した。式①および式②以外の反応は起こらない。また、活栓 C を含めた連結部の体積は無視でき、連結部を通しての気体の往来は自由である。

- (1) 容器 A の体積を求めよ。有効数字は 2 桁とし、答えは [L] 単位で表せ。
- (2) 平衡状態において、容器 A と B を合わせた全容器内に存在している N_2O_4 の濃度は $8.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ であった。

[I] 全容器内に存在する気体すべての物質量を求めよ。有効数字は 2 桁とし、答えは [mol] 単位で表せ。計算過程も示せ。

[II] 全容器内の圧力を計算せよ。有効数字は 2 桁とし、答えは [Pa] 単位で表せ。

- (3) 300 K の温度における、式②の濃度平衡定数 K_c の値を計算せよ。有効数字は 2 桁とし、答えは [L/mol] 単位で表せ。

問 2 次に、問 1 の平衡状態から容器 B のピストンの固定を解除したところ、ピストンはすみやかに容器 A 側に移動し、容器 B 内に気体は存在しなくなった。

- (1) 下線部について、なぜこのような現象が観測されたか、答えよ。
- (2) 時間が充分経過し、容器内は再び平衡状態に達した。この時、容器内の N_2O_4 の物質量は、ピストンの固定を解除する前の平衡状態の時と比べて、どの様に変化するか。「増加する」、「減少する」、「変化無し」のいずれかで答えよ。またその理由を述べよ。

3 次の文章を読み、問 1 ～ 問 4 に答えよ。

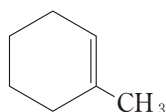
有機化合物は炭素原子の結合様式に基づいて、① と ② とに分類できる。② のうち、主にベンゼン環を持つ化合物は ③ といひ、それ以外のものを ④ という。③ は医薬品、染料樹脂などとして日常生活に広く利用されている。③ のうち、炭素と水素からなる最も単純な構造がベンゼンである。ベンゼンは各炭素原子に 1 個ずつ水素原子が結合し、炭素原子間には二重結合と単結合が交互に配列した環状構造である。また、この環状構造をベンゼン環という。化学産業において、ベンゼンは基礎原料として重要であり、適切な置換基を導入することで、多様な性質を有する。しかし、ベンゼンはベンゼン環の安定性により、アルケンに比べて反応性が低く、付加反応より置換反応が起こりやすい。^(a) 例えば、プロペン(プロピレン)に塩化水素が反応して主生成物 ア が得られ、1-メチルシクロヘキセンに塩化水素が反応して主生成物 イ が得られるが、ベンゼンは塩化水素と容易に反応しない。一方、ベンゼンに塩化鉄(Ⅲ)を加えて塩素を反応させると、生成物 ウ が得られる。

このように、ベンゼンを修飾することは容易ではなく、反応条件の工夫が必要である。置換反応には、ハロゲン化、ニトロ化、スルホン化、アルキル化がある。例えば、ニトロ化はベンゼンに混酸を加えて約 60℃ で反応させると生成物 エ が得られる。一般にベンゼンの一置換体に、さらに置換反応を行わせる時、すでに結合している置換基により、次の置換基が入りやすい位置が決まっ^(b)ている。このような現象を置換基の ⑤ とよぶ。

問 1 ① から ⑤ に入る適切な語句を記せ。

問 2 ア から エ に入る適切な化合物の構造式を記せ。

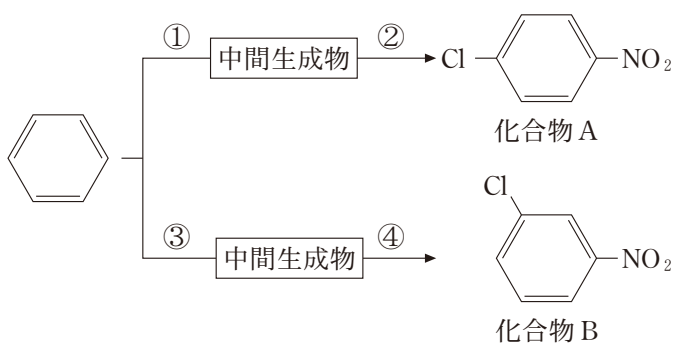
なお，1-メチルシクロヘキセンは以下の構造式である。



問 3 下線部(a)について，ベンゼン環の構造の視点から，その安定性を示す理由を答えよ。

問 4 下線部(b)について，以下を答えよ。

- (1) $-\text{OH}$ ， $-\text{NH}_2$ ， $-\text{CH}_3$ ， $-\text{COOH}$ ， $-\text{Cl}$ の置換基の中で，メタ ⑤ の置換基を選べ。
- (2) ベンゼンから，化合物 A および化合物 B をそれぞれ生成する経路を図に示す。図中の①から④に当てはまる置換反応名を記せ。



図

4 次の文章を読み、問 1 ～問 5 に答えよ。

炭素、水素、酸素からなる有機化合物 A および有機化合物 B はいずれも分子量 86.0 の炭素—炭素二重結合をもつエステルである。ここで、有機化合物 A および有機化合物 B には、アルデヒド基($-\text{CHO}$)が含まれていないものとする。

86.0 mg の有機化合物 A を完全に燃焼させ、生じた物質を (ア) の入った U 字管を通した後に (イ) の入った U 字管に通したところ、それぞれ 54.0 mg の水と 176.0 mg の二酸化炭素が吸収されていた。

アクリロニトリルと有機化合物 A を物質質量比 2 : 1 で十分に混合してから付加重合を行うと、完全に反応が進行したのち、高分子化合物 C が得られた。高分子化合物 C の平均分子量は 96.0×10^3 であった。

一方、有機化合物 B を加水分解すると、生成物の 1 つに、3 つの炭素原子をもつカルボン酸が得られた。

問 1 文章中の (ア) および (イ) に当てはまる化合物名の組み合わせで、最も適切なものを以下の①～④の中から 1 つ選び、その理由も簡潔に答えよ。

- ① (ア) 塩化カルシウム, (イ) 水酸化ナトリウム
- ② (ア) 水酸化ナトリウム, (イ) 塩化カルシウム
- ③ (ア) 塩化カルシウム, (イ) 塩化カルシウム
- ④ (ア) 水酸化ナトリウム, (イ) 水酸化ナトリウム

問 2 有機化合物 A の分子式を記せ。

問 3 有機化合物 B の構造式を記せ。

問 4 有機化合物 A および有機化合物 B と同じ分子式で、カルボキシ基をもつ化合物の構造式として考えられるものを全て挙げると何通り存在するか答えよ。

問 5 高分子化合物 C の繰り返し構造 1 つあたりの式量および平均重合度を、それぞれ有効数字 3 桁で答えよ。また、高分子化合物 C の 1 分子あたりに平均して含まれる窒素原子の数を有効数字 3 桁で答えよ。

5

〔1〕と〔2〕の文章を読み、問 1 ～問 5 に答えよ。

〔1〕 アミノ酸は、分子内にアミノ基とカルボキシ基の両方の官能基を持つ有機化合物である。アミノ基とカルボキシ基が同一の炭素に結合しているアミノ酸を **ア** という。アミノ酸の中には、アミノ基やカルボキシ基以外に水素イオンの授受を行う SH 基を持つ **イ** がある。アミノ酸は、アミノ基とカルボキシ基が分子間で脱水縮合しアミド結合を形成する。このアミド結合を **ウ** という。**ウ** を 2 つ以上持つアミノ酸の結合体は、アルカリ性で銅イオン(Cu^{2+})と反応して赤紫色の錯体をつくる。この反応は **エ** といい、タンパク質の定量にも用いられる。

〔2〕 3 種類のアミノ酸(A, B, C)の 0.1 mol/L の水溶液に塩酸を加えて pH 0.8 の水溶液を調製した。これを、アミノ酸 A 水溶液、アミノ酸 B 水溶液、アミノ酸 C 水溶液とする。図 1 ～ 3 は、各アミノ酸水溶液 20 mL に 0.1 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を滴下して得られた滴定曲線である。丸印(●)a～h は、各滴定曲線における変曲点(共役酸と共役塩基の濃度が等しい点)を示している。

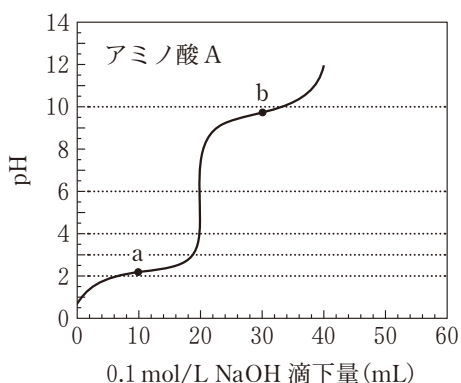


図 1

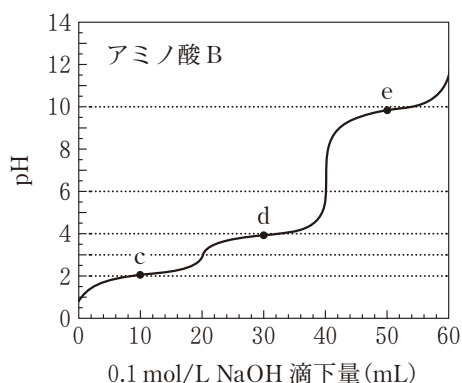


図 2

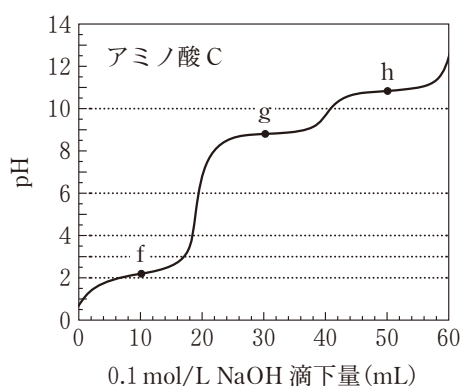


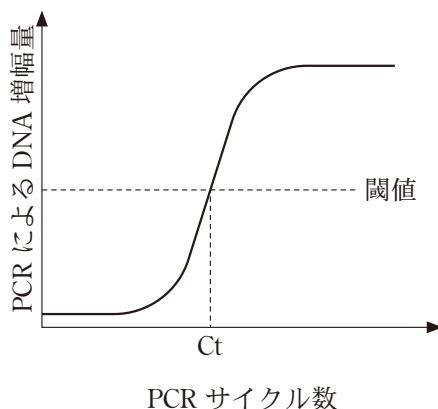
図 3

- 問 1 [1]の文章中の ア ~ エ に入る適切な語句を記せ。
- 問 2 図 1 において、アミノ酸 A の滴定曲線には、酸性領域と塩基性領域に 1 つずつの変曲点(a と b)がある。このような滴定曲線を示すのは、アミノ酸 A のどういう性質によるものか答えよ。
- 問 3 アミノ酸 A～C のうち、酸性アミノ酸はいずれであるか答えよ。また、その理由を記せ。
- 問 4 アミノ酸 A～C の等電点に最も近い pH 値を次の中から選び、それぞれ番号を記せ。
- ① pH 2.0 ② pH 3.0 ③ pH 4.0 ④ pH 6.0 ⑤ pH 10.0
- 問 5 3 種類のアミノ酸水溶液を混合し、1 本の陽イオン交換樹脂カラムにゆっくりと流し込み吸着させる。次に、pH 2.0 から pH 11.0 の緩衝液を pH の低い方から順にカラムに流し込み、アミノ酸を溶出させる。この溶出操作において、アミノ酸 A～C はどの順番で溶出されるか答えよ。また、その理由を記せ。

生 物

1 次の文章を読み、問 1 ～問 6 に答えよ。

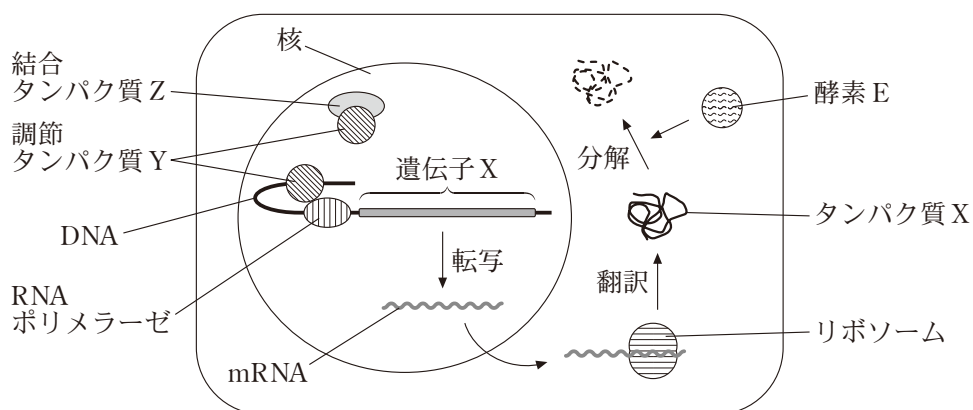
DNA の遺伝情報は RNA に転写され、RNA からタンパク質へと翻訳される。この一連の遺伝情報の流れを (ア) と呼び、遺伝子発現の基本原理である。しかし、この遺伝情報の流れには一部の例外があり、mRNA を鋳型として DNA を合成する酵素も存在する。このように、mRNA を鋳型として合成した DNA^(あ)の量を測定することで、特定の遺伝子の mRNA への転写量を調べることができる。DNA 量の測定法の一つとしては、定量的 PCR 法(qPCR 法)がある。qPCR 法では、測定したい遺伝子の DNA 配列を特異的に増幅させるプライマーを用いて PCR 法による DNA 増幅を行い、1 サイクルごとに増幅された DNA 量を測定することで、遺伝子の増幅曲線が描かれる。増幅曲線のグラフの縦軸に PCR による DNA 増幅量を、横軸に PCR サイクル数を取り、一定の DNA 量の閾値の増幅にかかる PCR サイクル数(Ct)をサンプル間で比較することで、PCR に用いた DNA の鋳型となった mRNA の量を相対的に比べる事が可能となる(参考図 1)。この qPCR 法を用いて、以下のような実験を行った。



(参考図 1 : qPCR 法における DNA 量の増幅曲線)

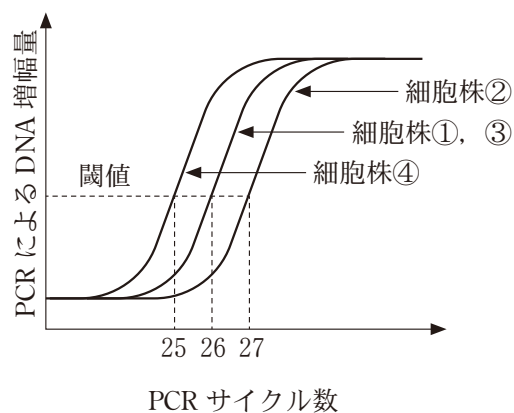
【実験 1】

遺伝子 X は調節タンパク質 Y により転写調節を受ける遺伝子である。調節タンパク質 Y は遺伝子 X の転写調節配列に結合し、遺伝子 X の転写を正に制御している。また、調節タンパク質 Y は結合タンパク質 Z が結合すると、転写調節配列への結合が阻害される。さらに、この遺伝子 X から翻訳されたタンパク質 X は、酵素 E により分解される(参考図 2)。



(参考図 2 : 遺伝子 X の細胞内における発現量制御に関わる因子)

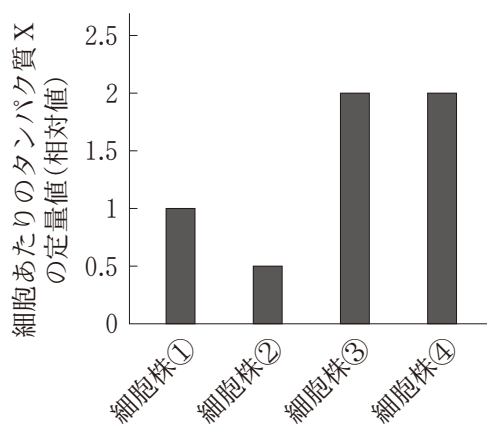
これら X, Y, Z, E すべてのタンパク質を発現する細胞株①を作製した。さらに、細胞株①の遺伝子を改変して、細胞株②, ③, ④を作製した。細胞株②, ③, ④は Y, Z, E の遺伝子のいずれか 1 つの発現が減少している細胞株である。これらの細胞株①~④から遺伝子 X の mRNA を抽出し、それを鋳型として DNA を合成した。その DNA を qPCR 法で定量したところ、図 1 のような結果になった。



(図 1 : 実験 1 の qPCR 増幅曲線)

【実験 2】

実験 1 の細胞からタンパク質 X を抽出し、細胞あたりのタンパク質 X の存在量を調べたところ、図 2 のような結果になった。



(図 2 : 実験 2 のタンパク質 X 定量値)

問 1 問題文の ア にあてはまる語句を記入せよ。

問 2 下線部(あ)の名称を答えよ。

問 3 実験 1 および 2 の結果から、細胞株②、③、④において、それぞれ 1 つずつ発現が減少している遺伝子はどれか答えよ。

問 4 実験に用いた細胞株①を改変して、細胞株⑤を作製した。細胞株⑤は調節タンパク質 Y の発現量が増加しており、その結果転写される mRNA の量が細胞株①の 8 倍であった。この細胞株⑤を用いて、実験 1 と同じく qPCR を行った場合、閾値でのサイクル数はいくつになるか答えよ。ただし、1 サイクルあたりの DNA 増幅率は 100 % であるものとする。

問 5 さらに細胞株①を改変して、細胞株⑥を作製した。細胞株⑥では qPCR による遺伝子 X の閾値でのサイクル数は細胞株①と同じであり、細胞から抽出したタンパク質 X の量は細胞株①の半分であった。この細胞株⑥において、細胞株①と比較して発現変動している可能性があるものを以下の a ~ d の中から全て選べ。

- a. 遺伝子 E の調節タンパク質
- b. 遺伝子 Z の調節タンパク質
- c. 遺伝子 X の基本転写因子
- d. 遺伝子 X の mRNA の核外輸送に関わるタンパク質

問 6 この qPCR で用いたプライマーを同じ細胞から抽出したゲノム DNA を鋳型として増幅させたところ、その塩基対の長さは qPCR で増幅されたものより大きかった。その理由について、30 字以内で記せ。

2

次の文章を読み、問1～問7に答えよ。

動物の胚は受精卵から生じ、卵割により細胞数を増やし、(ア) 胚を経て胞胚となる。陥入が起こって(イ) を形成する(イ) 胚では、3種類の^(あ)胚葉が形成される。カエルの胚では、胞胚期には胚全体で骨形成タンパク質(BMP)が分泌され、細胞表面にはBMP受容体が存在している。原口背唇部の領域から分泌因子が広がると外胚葉は神経組織へと分化し、^(い)分泌因子の影響を受けない外胚葉は皮膚へと分化する。^(う)この分化の運命の選択には分泌因子とBMPの結合が関与している。

また、脊椎動物のからだには^(え)3つの軸が存在し、発生が進むにつれて非対称性を獲得するが、節足動物のショウジョウバエでは受精卵に存在する極性に基づき体軸が形成される。タンパク質の濃度勾配に基づきギャップ遺伝子、ペア・ルール遺伝子、セグメント・ポラリティ遺伝子の分節遺伝子が順に発現して体節が形成され、最終的に(ウ) 遺伝子がはたらく。(ウ) 遺伝子と相同な遺伝子は哺乳類にも存在し、マウスでその遺伝子の1つを欠損させると腰椎が胸椎に^(お)変化し肋骨の形成がみられる例がある。

からだの一部がなんらかの理由で失われたとき、それに該当する部分が復元される現象を(エ) といい、^(か)イモリでは水晶体や四肢でみられる。ヒトでは通常、造血幹細胞や神経幹細胞などの組織幹細胞しかその能力をもたないが、2007年に山中伸弥らが成人のヒトの皮膚からつくり出した細胞は医療への応用^(き)が大いに期待されている。

問1 文章中の(ア)～(エ)にあてはまる適切な語句を答えよ。

問2 下線部(あ)について、中胚葉および内胚葉から分化するものを次の①～⑦から2つずつ選び、番号で答えよ。

- | | | | |
|------|------|-------|------|
| ① 毛 | ② 爪 | ③ 肺 | ④ 肝臓 |
| ⑤ 腎臓 | ⑥ 脊髄 | ⑦ 骨格筋 | |

問 3 次の(1)～(3)の問いに答えよ。

- (1) 下線部(い)の現象の名称を記せ。
- (2) 原口背唇部のように分化を促す領域の名称を記せ。
- (3) 下線部(い)と(う)の説明について、次のア～カから適切なものをそれぞれ選び、記号で答えよ。

ア BMPはBMP受容体に結合し、細胞内へ情報伝達され、神経に分化する。

イ BMPはBMP受容体に結合し、細胞内へ情報伝達され、皮膚に分化する。

ウ BMPは分泌因子に結合し、細胞内への情報伝達が阻害され、神経に分化する。

エ BMPは分泌因子に結合し、細胞内への情報伝達が阻害され、皮膚に分化する。

オ 分泌因子はBMP受容体に結合し、細胞内へ情報伝達され、神経に分化する。

カ 分泌因子はBMP受容体に結合し、細胞内へ情報伝達され、皮膚に分化する。

問 4 下線部(え)について、3つの軸とは何か。それぞれの名称を記せ。

問 5 下線部(お)について、これに類似するハエの変異体はどれか。次のア～オから1つ選び、記号で答えよ。

ア 眼の色が白くなる

イ 剛毛が太く短くなる

ウ からだの色が黒くなる

エ 触角があしに変化する

オ はねが上向きに曲がる

問 6 下線部(か)について、イモリの水晶体を除去すると虹彩の先端部の細胞は色素が抜ける。その後、虹彩先端部の無色の細胞がもつ特徴について、適切なものを次のア～オから 1 つ選び、記号で答えよ。

- ア 細胞死を起こす
- イ 角膜を誘導する
- ウ 網膜の性質をもつ
- エ 無色の虹彩のままである
- オ 未分化の状態に戻り、増殖する

問 7 下線部(き)について、以下の(1)、(2)に答えよ。

(1) 細胞の名前を次の選択肢から選べ。

[選択肢]

EC 細胞	EG 細胞	ES 細胞	HeLa 細胞
iPS 細胞	ntES 細胞		

(2) 医療応用が期待されている理由について細胞の特徴を踏まえて 50 字以内で述べよ。

3

次の文章を読み、問 1 ～ 問 6 に答えよ。

[A]

われわれのからだには、熱や紫外線、病原体や化学物質などからからだを守る生体防御の仕組みが備わっている。体内に病原体が侵入すると、まず顆粒白^(あ)血球の一種である (ア) や単球から分化した (イ) が侵入部位に集まり、(ウ) によって異物を排除する。また、異物を認識^(い)し、活性化した (イ) は周辺の毛細血管に働きかけ、これにより免疫に関わる細胞を侵入部位に集める。侵入部位では、毛細血管が拡張して他の白血球などが通りやすくなり、血液量が増えるので赤く腫れた状態となる。これを (エ) 反応という。

問 1 下線部(あ)に関して、生体防御には、①物理的防御、②化学的防御、③自然免疫、④獲得免疫の大きく 4 つの仕組みがある。下記の(1)～(7)の働きは、

①～④のどの仕組みに該当するか。適する仕組みの番号を答えよ。

- (1) 食べ物に含まれる多くの病原体は、強酸性の胃酸により殺菌される。
- (2) キラー T 細胞が、感染細胞やがん細胞を直接攻撃する。
- (3) NK 細胞が、感染した細胞を排除する。
- (4) 気管粘膜の繊毛運動によって、呼吸器に侵入した異物の肺への侵入を防ぐ。
- (5) 血液中に存在する抗体が、異物と特異的に結合して排除する。
- (6) 皮膚の最外層にある角質によって、病原体の侵入を防いでいる。
- (7) リゾチームは唾液や涙に含まれ、細菌の細胞壁を分解する。

問 2 文中の (ア) ～ (エ) にあてはまる適切な語句を答えよ。

問 3 下線部(い)に関して、(ア) や (イ) などに存在し、病原体の認識に用いるタンパク質の名称を下記の選択肢から選び、番号で答えよ。

[選択肢]

- 1 TCR 2 G タンパク質 3 MHC 4 HLA 5 TLR

[B]

あるウサギに、これまでに体内に侵入したことがない毒素 A を注射し、その
40 日後に同じウサギに毒素 A を再び注射した。以下の図は、毒素 A に対して 1
回目の注射後からウサギが産生する抗体量の時間的推移を示したものである。

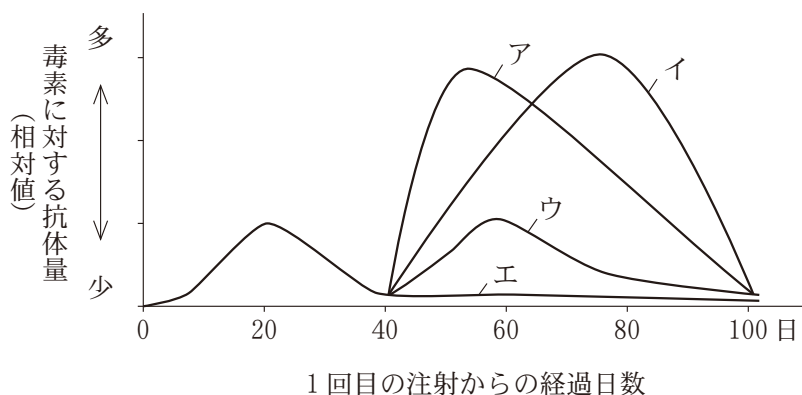


図 毒素注射後の抗体量の推移

問 4 下線部(う)に関して、毒素や病原菌がはじめて侵入すると、B細胞やT細胞の一部が特定の細胞として体内に残る。この細胞のことを何というか答えよ。

問 5 2 回目の注射後の毒素 A に対する抗体量の変化について、最も適切な曲線を図中のア～エから 1 つ選び、記号で答えよ。

問 6 2 回目の注射の時に、毒素 A ではなく、別の毒素 B を注射したところ、毒素 A に対する抗体量の変化と類似した曲線を示した。その理由について、50 字以内で説明せよ。

4 次の文章を読み、問 1 ～問 7 に答えよ。

[A]

温帯地域の多くの動植物では、季節の進行をあらかじめ知る手段として、光や温度等の環境要因を感知する仕組みを持っている。とくに、1 日の中の昼間(明期)と夜間(暗期)の長さの影響を受けてそれに反応する生物の性質を (ア) という。温帯地域には季節に応じて花をつける植物があり、その多くは日長に反応して花芽分化することが知られている。日長が一定以上になると花芽分化する植物を (イ) , 花芽分化に日長が関与しない植物を (ウ) という。なお、日長に反応する植物が実際に感知しているのは暗期の長さであることが知られており、花芽分化が起こり始める暗期の長さを (エ) という。

彩花さんはある植物の花芽分化への日長の影響を知るため、以下の実験①を行った。この植物は、温帯地域の 1 つの場所で 1 つの種の集団を採取して栽培・維持されたものである。

室温 25℃ の部屋の中に大きな箱を 7 個用意し、それぞれ、タイマーで 1 日 24 時間のうち一定時間だけ照明が点灯するようにした。点灯時間は箱ごとに 9 時間から 15 時間まで 1 時間刻みで異なるようにし、それぞれの中に植物 100 個体を配置して花芽分化が生じるか記録した(実験①)。この結果を図 1 として示す。折れ線の上の数値は、各点の縦軸方向の値を示す。

問 1 上の文章の (ア) から (エ) までにあてはまる語句を解答欄に記せ。

問 2 彩花さんの得た結果からわかることとして正しいものを以下の a ～ i から 2 つ選び、記号で答えよ。

- a 花芽分化の始まる日長は実験に使ったすべての個体で同じである。
- b この植物はキクである。
- c この植物は日長が長いほうがより多くの個体で花芽分化する。
- d この植物は日長が短いほうがより多くの個体で花芽分化する。

- e この植物はアブラナである。
- f この植物は日長と関係なく花芽分化する。
- g この植物は個体によって日長反応が異なる。
- h この植物は6月に開花する。
- i この植物は9月に開花する。

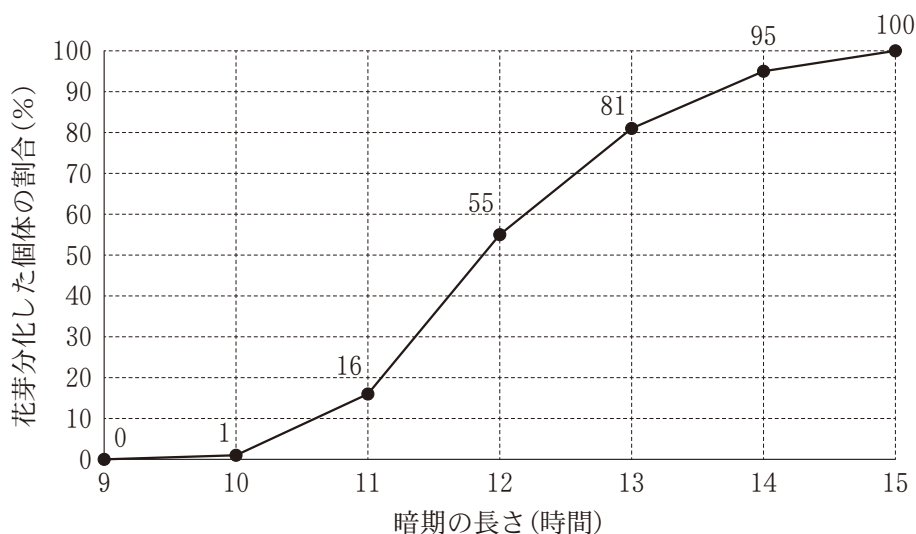


図 1

問 3 50 % が花芽分化する暗期の長さは何時間何分と推定されるか。図 1 の折れ線グラフの折れ線が 50 % を通る座標を計算して求めよ。秒以下は切り捨てて分までを記せ。

問 4 秋に開花する草本植物は、開花後種子を形成し、冬にはその個体は枯れてしまうことが多い。これは、冬の低温を種子としてやり過ごすことが有利(適応的)であるからだと考えられる。一方、気温が高い期間はなるべく長い間成長して、できるだけ多くの種子を次世代に残すことが有利と考えられる。では、今後気温が高く冬が短い状態が続くとすると彩花さんが調べた植物の日長への反応はどのように進化していくと考えられるか。20 字以内で記せ。

[B]

冬の長さのような外部環境が変化すると、それに適応した個体^(あ)がその種の集団中で大きな割合を占めるようになる^(あ)と期待される。実際に日長への反応は進化するのか、彩花さんは2つめの実験(実験②)を試みた。まず、実験①に使った個体の中で最も元気な個体を1つ選び、大きく育てた後で挿し芽を行ってたくさんの個体に分けた。挿し芽とは株の一部を切り取って土などに挿し、発根させて育てる技法である。そして、得られた個体を使って実験①と同様の光条件で反応を調べると図2のような結果が得られた。

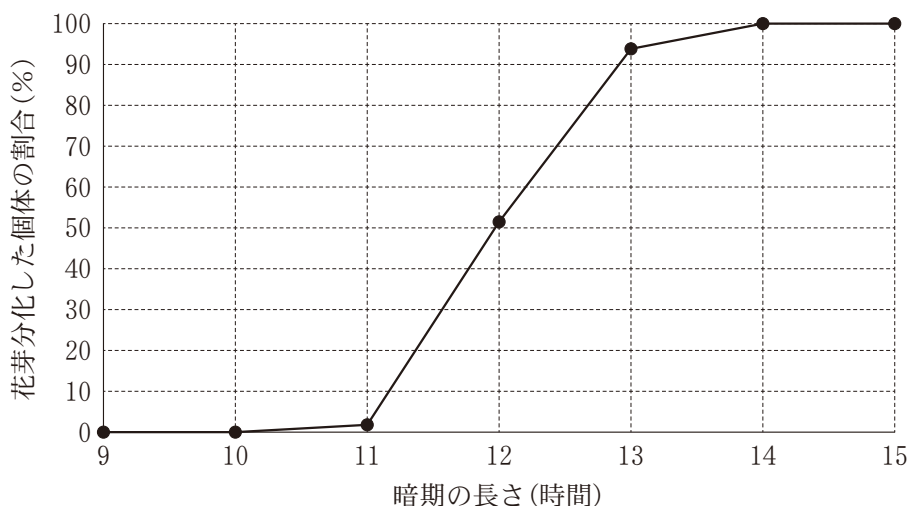


図2

図2では暗期が9時間と10時間では花芽分化した個体はなかった^(い)うえ、11時間でもほとんど花芽分化しなかった。一方、暗期が13時間でほぼ全ての個体が、14時間と15時間では全個体が花芽分化したので、11~13時間暗期の時に花芽分化した個体のみからさらに挿し芽をして同様の実験をもう一度行った(実験③^(う))。

問 5 (a) 下線部(あ)のように，集団内で生存や生殖に有利な遺伝的形質をもつものが次世代に多くの個体を残すことを何というか，漢字 4 文字で記せ。

(b) (a)の現象は，温度，光，競争，その他様々な要因によって引き起こされる。これらの要因のことを何というか，漢字 3 文字で記せ。

問 6 下線部(い)は図 1 で得られた結果とは異なり，これは日長への反応の個体間のばらつきが，存在しているが小さいことを示している。なぜこのようなことが生じたのか，40 字以内で記せ。

問 7 下線部(う)の実験③の結果を折れ線グラフとして図 2 に重ねて描き入れるとすると，それは図 2 の元の折れ線と比べてどのようなものになると考えられるか，以下の(a)，(b)からアルファベットを 1 つずつ選んで最も適切な組合せを作れ。

(a) 変化の度合い(12 時間付近の傾き)

A：大きい

B：小さい

C：ほぼ同じ

(b) 大きく変化している部分の位置

X：左寄り

Y：右寄り

Z：ほぼ同じ

5

次の文章を読み、問1～問6に答えよ。

[A]

植生の中で、個体数が多く、背丈が高くて葉や枝の広がり大きい種類を といい、それによって特徴づけられる植生の外観的な様相を という。 によって分類されたその地域に生息しているすべての生物の集まりをバイオームという。バイオームの違いは主に年平均気温と年降水量の違いに対応している。世界の陸上のバイオームは、森林、 , および植物がまばらにしか生えない に大別される。年降水量が多く、年平均気温が極端に低くない地域では樹木の生育が可能となり、森林のバイオームが発達する。樹木が生育できないほど年降水量が少ない地域では のバイオームになる。年平均気温が極端に低い地域では、年降水量も少なく低温や乾燥に適応した植物だけがまばらにしか生育できない のバイオームが見られる。これらのバイオームは、さらに にもとづいていくつかの型に分かれる。

問1 文中の ～ にあてはまる適切な語句を答えよ。

問2 生物が環境へ適応した結果が形態に現れているとき、それを生活形という。

- (1) デンマークの植物学者のラウンケルは、休眠芽の位置に着目して生活形を6つ(地上植物, 地表植物, 半地中植物, 地中植物, 一年生植物, 水生植物)に分類した。植物の環境への適応という点から、ラウンケルの生活形について50字以内で説明せよ。
- (2) 図1は、熱帯多雨林とツンドラにおける植物のラウンケルの生活形の割合を示したものである。それぞれで一番多くを占める生活形①, ②を上記の6つの分類から最適なものを答えよ。

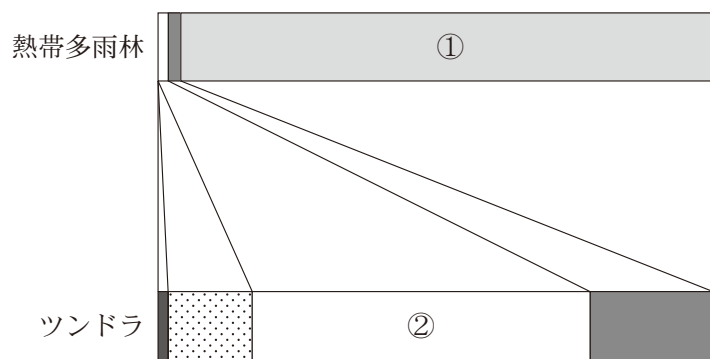


図 1

[B]

日本はほぼ全域にわたって年降水量が十分にあるので、森林が成立する条件を備えている。そのため日本の陸上のバイオームを決める主な限定要因は年平均気温である。年平均気温は、標高と対応しているため、標高に対応したバイオームの分布^(あ)が見られる。図 2 は本州中部のバイオームの分布を示す。

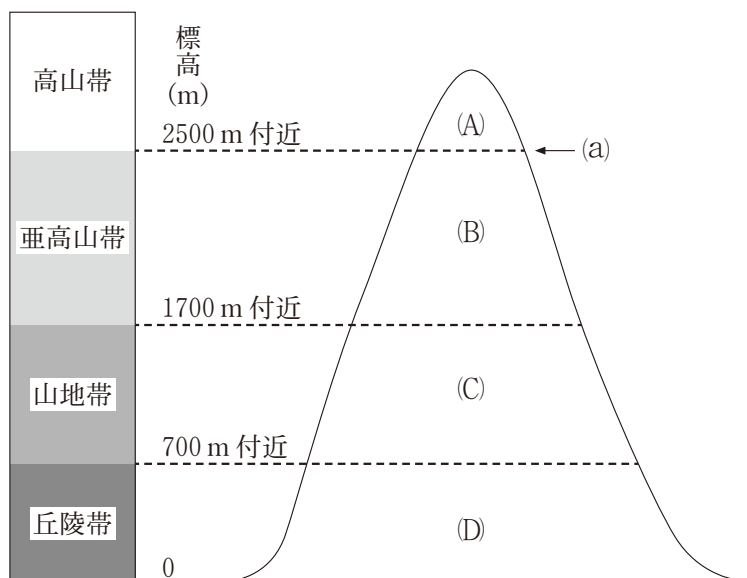


図 2

問 3 文中の下線部(あ)の分布を何というか答えよ。

問 4 図 2 中の(A)～(D)のバイオームの名称を答えよ。

問 5 図 2 中の(A)～(D)のバイオームを最も特徴づける植物をそれぞれ次の中から重複をさせて 2 つずつ選べ。

クスノキ	コマクサ	コメツガ	シラビソ
スダジイ	トチノキ	ハイマツ	ブナ

問 6 近年，地球温暖化により図 2 中の(a)の破線が上昇し，(A)に分布する植物が絶滅する可能性が危惧されている。(a)は何というか答えよ。