

クラス		受験番号	
出席番号		氏 名	

2012年度

全統医進模試問題

理 科

2012年11月実施

(2 科目 200点・150分)
(1 科目 100点・ 75分)

試験開始の合図があるまで、この「問題」冊子を開かず、下記の注意事項をよく読むこと。

注 意 事 項

1. この「問題」冊子は、45ページである（物理 2～10ページ，化学12～28ページ，生物30～45ページ）。
2. 解答用紙(物理 1 枚，化学 1 枚，生物 1 枚)は問題冊子に挟み込まれているので抜き出して解答すること。
3. 本冊子に脱落や印刷不鮮明の箇所および解答用紙の汚れ等があれば試験監督者に申し出ること。
4. 試験開始の合図で解答用紙の下段の所定欄に **氏名** (漢字及びフリガナ)，**在・卒高校名**，**クラス名**，**出席番号**，**受験番号** (受験票の発行を受けている場合のみ) を明確に記入すること。
5. 解答には，必ず黒色鉛筆を使用し，解答用紙の所定欄に記入すること。
6. 試験終了の合図で上記 4. の事項を再度確認し，試験監督者の指示に従って解答用紙を提出すること。

河合塾

物理の問題は次ページから始まる。

物 理

1 (配点 34点)

図1のように、水平な上面をもつ質量 $3m$ の台を水平面上に置き、台の左端にばね定数 k の軽いばねの一端をつなぎ、他端には質量 m の板 A を取り付ける。また、質量 $2m$ の小球 B を台上に置く。台上の点 O はばねが自然長となるときの板 A の位置を示す。摩擦はどこにもなく、板 A の厚みと空気抵抗は無視できるものとして、以下の問に答えよ。

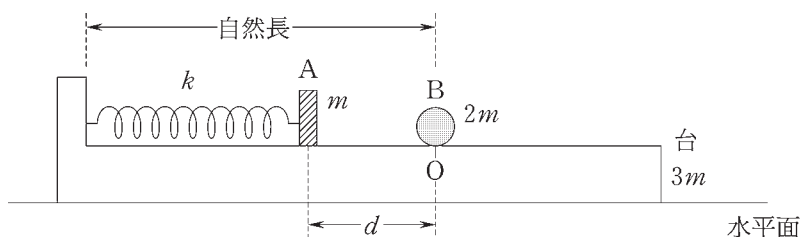


図1

まず、台を水平面上に固定する。小球 B を点 O に静止させ、ばねが自然長より d だけ縮んだ位置まで板 A を動かし、静かに A を放すと、A は点 O で B と衝突した。この衝突のはね返り係数(反発係数)を $\frac{3}{4}$ とする。

問1 小球 B と衝突する直前の板 A の速さ v_0 を m, k, d を用いて表せ。

問2 衝突直後の小球 B の速さを v_0 を用いて表せ。

問3 衝突後におけるばねの縮み(自然長からの縮み)の最大値を d を用いて表せ。また、板 A が放されてから小球 B との衝突をへて、ばねの縮みが最大となるまでの時間を m と k を用いて表せ。

次に、台の固定をはずし自由に動けるようにする。そして図 2 のように、小球 B を板 A に接触させたままばねを自然長から d だけ押し縮め、全体が静止した状態で放す。すると A, B, 台は動き始め、A が点 O を通過すると同時に B は A から離れた。

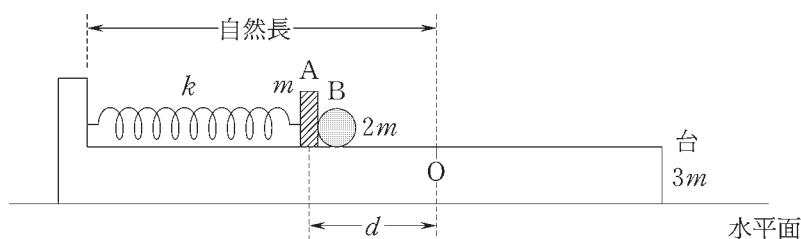


図 2

問 4 板 A, 小球 B, 台, およびばねを含めて 1 つの物体系とみなすとき, この物体系には水平方向に外力がはたっていない。このことに注目して, A, B が点 O に達したときの台の速さ V を, そのときの A, B の速さ v を用いて表せ。

問 5 v を m, k, d を用いて表せ。

問 6 板 A が点 O に達するまでに台が移動した距離を d を用いて表せ。

続いて, 小球 B が板 A から離れた後を考える。

問 7 ばねの縮みの最大値を d を用いて表せ。

2 (配点 35点)

鉛直下向きの一様な磁界(磁場)があり、磁束密度の大きさは B [T] である。図 1 のように、2 本の導体レールを間隔 ℓ [m] で水平に設置し、自己インダクタンス L [H] のコイルと電気容量 C [F] のコンデンサーを直列にしてレールに接続する。そして、平行レール上に質量が無視できる導体棒 PQ をレールに垂直に置き、初めの PQ の位置を原点 $x=0$ [m] として、図のようにレールに沿って x 軸をとる。レールは滑らかで十分に長く、回路に電気抵抗はないものとして、以下の問に答えよ。

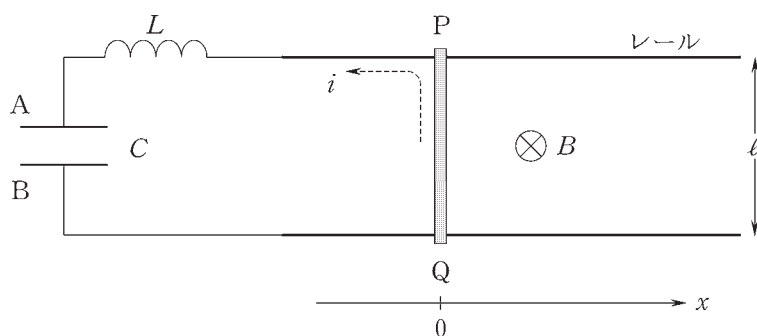


図 1

まず、 $x=0$ [m] にあった導体棒 PQ を、時刻 $t=0$ [s] から x 軸の正の向きに一定の速さ v_0 [m/s] で動かすと、回路に交流電流が流れた。

問 1 この現象について述べた次の文章中の空欄に、適切な式や記号を入れよ。

導体棒 PQ に生じる誘導起電力の大きさは (1) [V] であり、その向きは (2) である(向きは $P \rightarrow Q$ か $Q \rightarrow P$ で答えよ)。電流 i [A] の正の向きを図 1 の点線矢印の向きとし、微小時間 Δt [s] の間の電流変化を Δi [A] とおくと、コイルの自己誘導起電力は、電流 i の正の向きを正として、(3) [V] と表される。そして、コンデンサーの極板 A の電気量を q [C] とすると、キルヒホッフの法則より次式が成り立つ。

$$\boxed{(1)} + \boxed{(3)} + \boxed{(4)} = 0$$

一方、微小時間 Δt [s] の間の電気量の変化を Δq [C] とおくと、 $i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ と表せる。
 以上の式を詳しく解析すると、回路には交流電流が流れ、極板 A の電気量 q [C] は時刻 t [s] の関数として、次のように表せることが分かっている。

$$q = Q_0 \left(1 - \cos \frac{2\pi}{T} t \right) \quad (Q_0 \text{ [C] は正の定数})$$

これをグラフにしたのが図 2 である。ここで T [s] は交流電流の周期であり、動いている導体棒 PQ を静止させた後に起こる電気振動の周期に等しく、 $T = \boxed{(5)}$ [s] となっている。

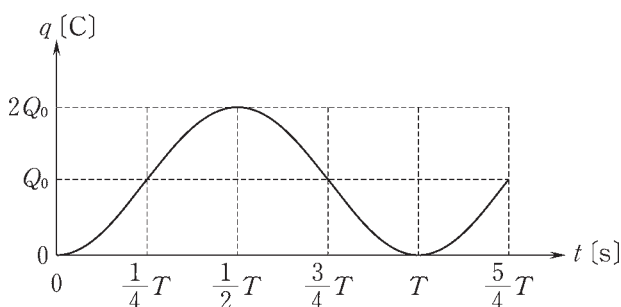


図 2

問 2 交流電流 i [A] の時間変化を表すグラフを描け。ただし、解答欄の i_0 [A] は電流の最大値を表す。また、 i_0 [A] を Q_0 と T を用いて表せ。必要ならば、 $\Delta\theta$ [rad] が微小のとき成り立つ次の近似式を用いてもよい。

$$\frac{\Delta(\cos \theta)}{\Delta\theta} \doteq -\sin \theta$$

問 3 時刻 $t = \frac{1}{4} T$ における状態に着目することによって、 Q_0 [C] を B , ℓ , C , v_0 を用いて表せ。

問 4 導体棒 PQ を動かしている外力の仕事によって、 $t = \frac{5}{4} T$ までに回路に供給されたエネルギーを、 L , C , Q_0 , i_0 を用いて表せ。また、このエネルギーを C と Q_0 だけで表せ。

次に、 $t = \frac{5}{4} T$ に導体棒 PQ を瞬時に静止させ、以後も静止させ続けた。すると、回路には周期 T [s] の電気振動が生じた。この状態において、

問5 極板 A の電気量の最大値を、 Q_0 を用いて表せ。

問6 導体棒 PQ を静止させてから、極板 A の電気量が初めて 0 [C] となるまでの時間を、 T を用いて表せ。

物理の問題は次のページに続く。

3 (配点 31点)

図1のように、滑らかに動くピストンをもつ断面積 S のシリンダー内に単原子分子からなる理想気体(以下、気体とよぶ)が入っている。シリンダーとピストンは共に熱を通さないが、シリンダーの側面の断熱材は取り外すことができ、そのときは外気との間で熱を通し、気体の温度は速やかに外気と同じになるものとする。また、シリンダーの内部には電熱線があり、電流を流して気体を加熱することができる。シリンダーは軸を介して支柱に取り付けられていて、水平からの角度 θ (反時計回りを正) を変えることができる。

初め、断熱材は取り外されている。シリンダーが水平位置 O ($\theta=0^\circ$) にあるとき、気体の圧力と絶対温度は外気と同じ P_0 と T_0 であり、体積は V_0 である。重力加速度の大きさを g として、以下の問に答えよ。

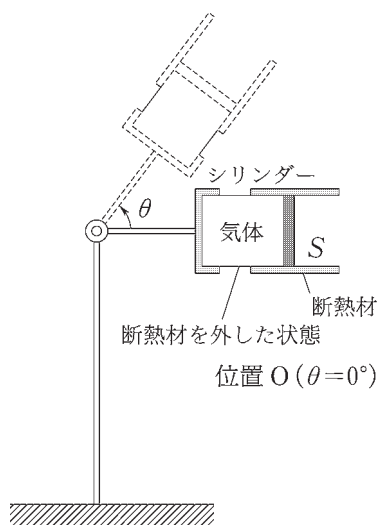


図 1

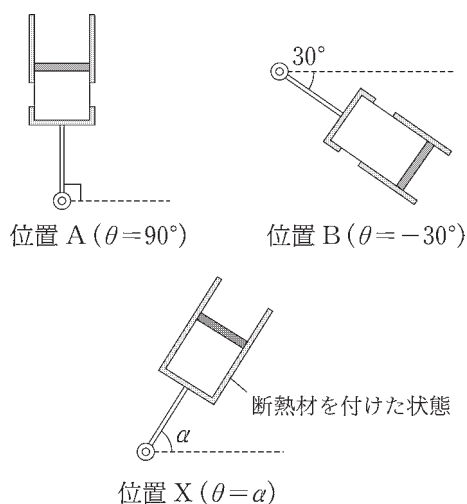


図 2

まず、シリンダーを図2の位置 A ($\theta=90^\circ$) にしたときの気体の体積に比べて、位置 B ($\theta=-30^\circ$) にしたときの体積は 2 倍となっていた。

問1 位置 B での気体の圧力は、位置 A での圧力の何倍か。

問2 位置 A と位置 B での、ピストンにはたらく力のつり合いを考えることにより、ピストンの質量を S 、 P_0 、 g を用いて表せ。

問3 位置 B での気体の圧力を P_0 を用いて表せ。また、体積を V_0 を用いて表せ。

次に、シリンダーを位置 O に戻し、断熱材を取り付け、気体の状態を以下のような順序でゆっくりと変化させた。この変化の様子は図 3 の圧力－体積グラフに示されている。

〔過程 I〕 シリンダーを位置 A ($\theta=90^\circ$) に移動させた。

〔過程 II〕 電熱線に電流を流して温度を一定に保ちながら、シリンダーを位置 A から $\theta=\alpha$ となる位置 X に移動させ、通電を止めた。

〔過程 III〕 位置 X から位置 B に移動させたところ、気体の温度は T_0 になった。

〔過程 IV〕 ここで、シリンダーの断熱材を外して、位置 O に戻した。

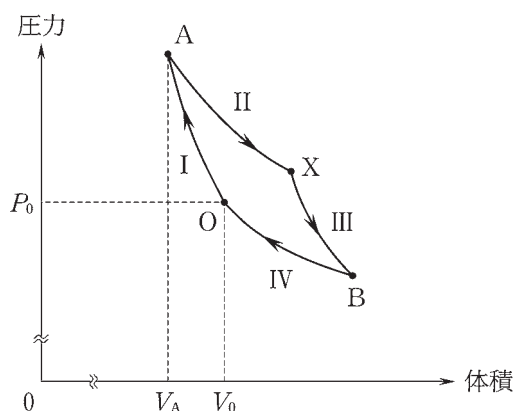


図 3

このような過程をへて、気体が初めの状態(圧力 P_0 、温度 T_0 、体積 V_0)に戻るための位置 X を定めたい。なお、断熱変化では (圧力) \times (体積) $^{\frac{5}{3}}$ =一定 の関係が成り立つ。

- 問4 過程Ⅰで気体がされる仕事を W_1 とし，過程Ⅲで気体がされる仕事を W_3 とする。 W_1 と W_3 の間に成り立つ関係式を，理由とともに答えよ。
- 問5 シリンダーが位置 A にあるとき，気体の体積 V_A を V_0 を用いて表せ。また，温度を T_0 を用いて表せ。
- 問6 シリンダーが位置 X にあるとき，気体の圧力を P_0 と α を用いて表せ。また，体積を V_A と α を用いて表せ。
- 問7 位置 X を定める $\sin \alpha$ を数値で表せ。

化学の問題は次ページから始まる。

化 学

1 (配点 35点)

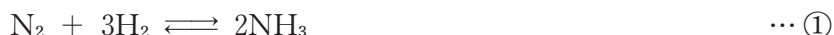
次の I ～III に答えよ。

I 次の文を読み、問 1 ～問 4 に答えよ。

窒素は周期表の第 2 周期，15 族に属する元素で，その単体 N_2 は常温ではかなり安定であり，大気中には体積比で約 78 % 含まれている。

窒素の水素化合物には，アンモニア以外にもヒドラジン，アジ化水素などがある。

アンモニアは，工業的には ① 式の反応により窒素と水素から直接合成され，化学肥料や薬品などの原料として重要な化合物である。



窒素の酸化物には，N の酸化数が +1 ～ +5 の様々な酸化物がある。

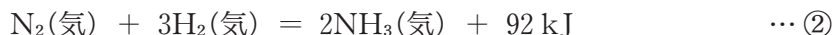
これらのうち，一酸化窒素は常温・常圧において無色の気体であるが，空気に触れると容易に赤褐色の気体に変化する。

また，五酸化二窒素は常温では固体であり，硝酸を十酸化四リンで脱水すると得られる。

問 1 窒素 N_2 およびヒドラジン N_2H_4 の電子式を記せ。ただし，ヒドラジンは 2 価の弱塩基である。

問 2 アジ化水素 HN_3 は弱酸であり，アジ化ナトリウムの水溶液に塩酸を加えて酸性にすると得られる。このときの変化を化学反応式で記せ。

問3 ①式の反応の熱化学方程式は、次の②式のように表される。

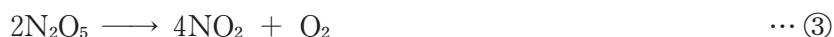


アンモニア分子中の N-H 結合の結合エネルギー [kJ/mol] を求め、四捨五入により整数で記せ。ただし、 $\text{N}\equiv\text{N}$ 結合、 $\text{H}-\text{H}$ 結合の結合エネルギーは、それぞれ 942 kJ/mol, 436 kJ/mol とする。

問4 五酸化二窒素 N_2O_5 について、次の (1), (2) に答えよ。

(1) N_2O_5 を常温で水に加えると、強酸性の水溶液になる。このときに起こる変化を化学反応式で記せ。

(2) N_2O_5 を約 50°C に温めると二酸化窒素 NO_2 と酸素 O_2 に分解する。



ここで生じた NO_2 は一部が会合して四酸化二窒素 N_2O_4 となり、次式の平衡状態になる。



内部を真空にした容器に 0.100 mol の N_2O_5 を入れて、ある温度に保ったところ、 N_2O_5 がすべて分解し、容器内の気体の全物質量が 0.210 mol になった。このとき、容器内に存在する NO_2 と N_2O_4 の物質量の比を最も簡単な整数比で記せ。

Ⅱ 次の文を読み、問 1～問 3 に答えよ。答えの数値は四捨五入により有効数字 2 桁で記せ。ただし、気体は理想気体として取り扱えるものとし、二酸化炭素の水に対する溶解についてはヘンリーの法則が成り立つものとする。なお、二酸化炭素の溶解による水の蒸気圧降下は無視できる。また、必要があれば次の値を用いよ。

原子量；H=1.0, C=12.0, O=16.0

気体定数； $R=8.3\times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol})$

水の飽和蒸気圧(67℃ のとき)； $2.7\times 10^4 \text{ Pa}$

1.00 L の水に溶解する二酸化炭素の物質質量(67℃, $1.00\times 10^5 \text{ Pa}$ のとき)；0.015 mol

なめらかに動くピストンが付いた容器を用いて、温度を 67℃ に保って、次の一連の操作 1～3 を行った。

(操作 1) 容器内を真空にしたのち、ドライアイス 4.40 g を入れて、容器内の圧力を $1.00\times 10^5 \text{ Pa}$ に保った(図 1)。

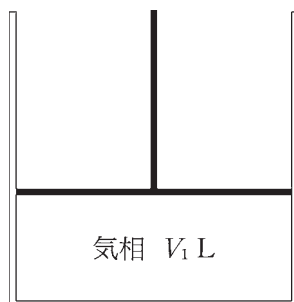


図 1

問 1 操作 1 において、気相の体積 V_1 は何 L になるか。

(操作 2) 次に，容器内に水 1.00 L を入れ，容器内の圧力を 1.00×10^5 Pa に保って，しばらく放置した(図 2)。

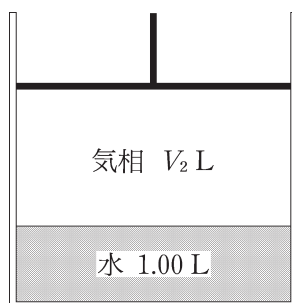


図 2

問 2 操作 2 において，気相の体積 V_2 は何 L になるか。

(操作 3) ついで，ピストンを押し込んで，気相の体積を 0 L にした(図 3)。

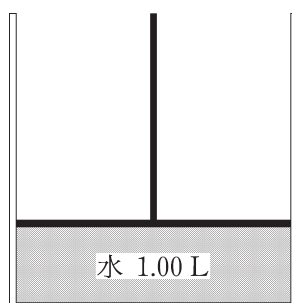


図 3

問 3 操作 3 において，容器内の圧力は何 Pa 以上になっているか。

Ⅲ 湖沼などの水質の指標の一つである溶存酸素を測定するために、次の実験操作を行った。これについて、問 1～問 5 に答えよ。ただし、原子量は O=16.0 とする。

(操作 1) 密栓のできる試料瓶を、採取した試料水で満たした。

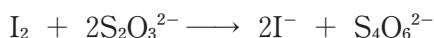
(操作 2) ついで、これに 2 mol/L の硫酸マンガン(Ⅱ)水溶液 5 mL と、水酸化カリウムで塩基性にした 1 mol/L のヨウ化カリウム水溶液 5 mL を、それぞれ注射器を用いて瓶の底の方に静かに注入したのち、密栓をした。このとき、試料瓶の上部の試料水が^{あふ}溢れ出た。

(操作 3) 瓶をよく振り混ぜると、褐色の沈殿 $\text{MnO}(\text{OH})_2$ ^(注) が生成した。

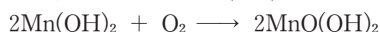
(操作 4) 瓶を静置して沈殿を完全に瓶の底に沈降させてから、注射器を用いて 5 mol/L の硫酸 20 mL を底の方に静かに注入した。密栓をしてから瓶をよく振り混ぜると、沈殿が溶解し、ヨウ素が生成して溶液の色が褐色になった。

(操作 5) この褐色の溶液をすべてコニカルビーカーに移し、デンプンを指示薬として 0.0500 mol/L のチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定すると、終点までに 5.00 mL を要した。

このとき、ヨウ素とチオ硫酸イオンは次のように反応する。



(注) 硫酸マンガン(Ⅱ)水溶液に水酸化カリウム水溶液を加えると、水酸化マンガン(Ⅱ)の白色沈殿が生じる。このとき、溶存酸素があると、生じた水酸化マンガン(Ⅱ)が次式のように酸素によって酸化されて、褐色沈殿 $\text{MnO}(\text{OH})_2$ が生成する。



問 1 褐色の沈殿 $\text{MnO}(\text{OH})_2$ 中の Mn 原子の酸化数を記せ。

問 2 (操作 4)で溶液を酸性にすると、 $\text{MnO}(\text{OH})_2$ は酸化剤としてはたらいて Mn^{2+} になり、ヨウ化物イオンは酸化されてヨウ素になる。この変化を一つのイオン反応式で記せ。

問 3 (操作 5)の滴定で、終点の前後における色の変化を、例にならって記せ。

例) 赤色 \longrightarrow 黄色

問4 一連の操作で、溶存酸素 1 mol はチオ硫酸ナトリウム何 mol に相当するか。整数または分数で記せ。

問5 試料水 1 L あたりの溶存酸素の質量 [mg/L] を求め、四捨五入により有効数字 2 桁で記せ。なお、用いた試料瓶の密栓したときの内容積は 260 mL である。

2 (配点 31点)

次の I, II の文を読み, 問 1 ~ 問 6 に答えよ。ただし, 以下では温度は一定であるとし, 化学種 X のモル濃度を $[X]$ と表記する。また, 必要があれば次の値を用いよ。

$$\text{水のイオン積 } K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14} \text{ (mol/L)}^2$$

$$\text{常用対数 } \log_{10} 2 = 0.30, \log_{10} 3 = 0.48$$

I ブレンステッド・ローリーの酸・塩基の定義によると, 酸は H^+ (プロトン) を相手に与える物質, 塩基は H^+ を他から受け取る物質である。

1 価の弱酸 HA の水溶液中での電離平衡を考える。



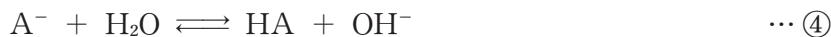
化学平衡の法則により, ① 式の平衡定数は次式のように定義される。

$$K = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}][\text{H}_2\text{O}]} \quad \dots \textcircled{2}$$

② 式中の $[\text{H}_2\text{O}]$ は一定値とみなすことができるので, H_3O^+ を H^+ と表記して, 弱酸 HA の電離定数 K_a は次式のように定義される。

$$K_a = K[\text{H}_2\text{O}] = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \quad \dots \textcircled{3}$$

一方, ① 式の可逆反応においてイオン A^- は塩基としてはたらいっており, A^- は水溶液中で次式のように水と反応する。



④ 式の平衡定数 K' は次式のように定義される。

$$K' = \frac{[\text{HA}][\text{OH}^-]}{[\text{A}^-][\text{H}_2\text{O}]} \quad \dots \textcircled{5}$$

⑤ 式中の $[\text{H}_2\text{O}]$ は一定値とみなすことができるので, 塩基 A^- の電離定数 K_b は次式のように定義される。

$$K_b = K'[\text{H}_2\text{O}] = \frac{[\text{HA}][\text{OH}^-]}{[\text{A}^-]} \quad \dots \textcircled{6}$$

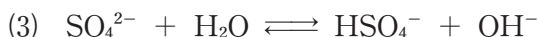
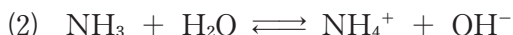
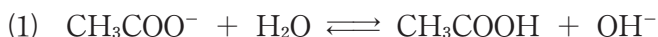
水溶液中では水の電離平衡も成り立ち, これは次式により表される。



⑦ 式の平衡定数において $[\text{H}_2\text{O}]$ は一定値とみなすことができるので、水のイオン積 $K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-]$ は一定値となる。また、③ 式と ⑥ 式より、水のイオン積 K_w と K_a と K_b の関係式が得られる。

$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = \boxed{\text{あ}}$$

問 1 次の (1) ～ (3) の可逆反応において、ブレンステッド・ローリーの酸としてはたっている化学種をすべて選び、それぞれ化学式で記せ。



問 2 文中の空欄 $\boxed{\text{あ}}$ に適する文字式を、 K_a と K_b を用いて記せ。

問 3 次の (1), (2) の水溶液の pH を求め、四捨五入により小数第 1 位まで記せ。ただし、必要があれば次の値を用いよ。

酢酸の電離定数； $2.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$,

アンモニアの電離定数； $2.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$

(1) 0.10 mol/L のアンモニア水

(2) 0.10 mol/L の酢酸ナトリウム水溶液

Ⅱ 2 価の弱酸 H_2A とそのナトリウム塩 NaHA , Na_2A の水溶液について考える。

2 価の弱酸 H_2A は、水溶液中で次式のように二段階で電離する。



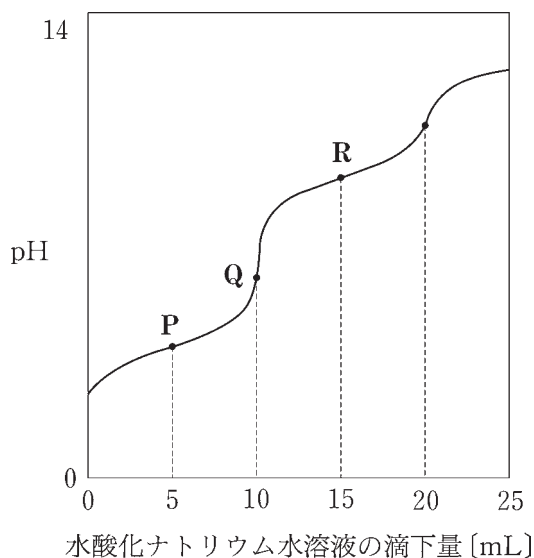
(i) 式, (ii) 式の電離定数 K_1 , K_2 はそれぞれ次のように表される。

$$K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HA}^-]}{[\text{H}_2\text{A}]} = 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L} \quad \cdots \text{(iii)}$$

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^{2-}]}{[\text{HA}^-]} = 1.0 \times 10^{-9} \text{ mol/L} \quad \cdots \text{(iv)}$$

(i) 式, (ii) 式の平衡は, H_2A の水溶液だけでなく, NaHA , Na_2A の水溶液, および, これらの混合溶液においても常に成り立つ。

次の図は, 0.10 mol/L の H_2A の水溶液 10.0 mL に 0.10 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液を滴下したときの滴定曲線である。点 **P**, **Q**, **R** は水酸化ナトリウム水溶液をそれぞれ 5.0 mL , 10.0 mL , 15.0 mL 滴下したときを表す。



図

問4 図中の点Pの水溶液について、次の(1), (2)に答えよ。

- (1) 点Pの水溶液のpHを求め、四捨五入により小数第1位まで記せ。
- (2) 点Pの水溶液中に存在する3種類の化学種 H_2A , HA^- , A^{2-} の濃度比を表す次式の空欄 い , う に適する数を、四捨五入により有効数字2桁で記せ。

$$[\text{H}_2\text{A}] : [\text{HA}^-] : [\text{A}^{2-}] = 1 : \boxed{\text{い}} : \boxed{\text{う}}$$

問5 図中の点Qの水溶液は NaHA の水溶液に相当する。この NaHA 水溶液の濃度を C [mol/L] として、次の文を読み、以下の(1)～(3)に答えよ。

電解質の水溶液では、溶液中の陽イオンのもつ電荷の総和と陰イオンのもつ電荷の総和は0になる(電気的中性の条件)から、 NaHA の水溶液中では陽イオン Na^+ , H^+ , 陰イオン HA^- , A^{2-} , OH^- のモル濃度について、次式が成り立つ。

$$[\text{Na}^+] + [\text{H}^+] = \boxed{\text{え}} \quad \dots (\text{v})$$

また、物質収支を考慮すると、 A を含むすべての化学種の物質量の総和は一定であり、 C [mol/L] の NaHA の水溶液中では、これらのモル濃度について、次式の関係が成り立つ。

$$C = [\text{Na}^+] = [\text{H}_2\text{A}] + [\text{HA}^-] + [\text{A}^{2-}] \quad \dots (\text{vi})$$

(v) 式, (vi) 式より、次式が得られる。

$$[\text{H}_2\text{A}] + [\text{H}^+] = [\text{A}^{2-}] + [\text{OH}^-] \quad \dots (\text{vii})$$

(iii) 式, (iv) 式, および, K_w を用いて (vii) 式を変形すると、次式が得られる。

$$\frac{[\text{H}^+][\text{HA}^-]}{K_1} + [\text{H}^+] = \frac{K_2[\text{HA}^-]}{[\text{H}^+]} + \frac{K_w}{[\text{H}^+]} \quad \dots (\text{viii})$$

さらに、(viii) 式より次式が得られる。

$$[\text{H}^+]^2 = \frac{K_1(K_w + K_2[\text{HA}^-])}{K_1 + [\text{HA}^-]} \quad \dots (\text{ix})$$

点Qでは、 $[\text{HA}^-] \doteq C$, $K_1 \ll C$, $K_w \ll K_2C$ が成り立つから、(ix) 式より、次式が得られる。

$$[\text{H}^+]^2 \doteq \boxed{\text{お}}$$
$$\therefore [\text{H}^+] = \sqrt{\boxed{\text{お}}} \quad \dots (\text{x})$$

- (1) 空欄

え

 に適する文字式を、水溶液中の化学種のモル濃度を用いて表せ。
- (2) 空欄

お

 に適する文字式を、 K_1 , K_2 , K_w , C のうちの必要なものを用いて表せ。
- (3) 点 **Q** の水溶液の pH を求め、四捨五入により小数第 1 位まで記せ。

問 6 図中の点 **P** や点 **R** 付近の水溶液は、少量の水酸化ナトリウム水溶液を加えても pH の変化量が小さく、緩衝液となっている。

様々な緩衝液を調製する目的で次の 3 種類の溶液 **X**, **Y**, **Z** を準備した。

溶液 **X** : 0.10 mol/L の H_2A 水溶液

溶液 **Y** : 0.10 mol/L の NaHA 水溶液

溶液 **Z** : 0.10 mol/L の Na_2A 水溶液

これについて、次の (1), (2) に答えよ。

- (1) 溶液 **X** V [mL] と溶液 **Y** V_1 [mL] を混合して点 **P** と同じ pH の緩衝液を調製するとき、 V_1 を、 V を用いた式で表せ。
- (2) 溶液 **Y** V [mL] と溶液 **Z** V_2 [mL] を混合して pH 9.3 の緩衝液を調製するとき、 V_2 を、 V を用いた式で表せ。

化学の問題は次のページに続く。

3 (配点 34点)

次の I, II の文を読み、問 1～問10に答えよ。ただし、原子量は $H=1.0$, $C=12$, $N=14$, $O=16$ とし、標準状態における気体のモル体積を 22.4 L/mol とする。また、構造式は次の例にならって記せ。

構造式の例：



I 1937 年ドイツの化学者クレブスは、エネルギー代謝、物質代謝に関連する重要なしくみであるクエン酸回路を提案した。この回路の初期段階では、クエン酸からイソクエン酸が生成する。

クエン酸、イソクエン酸について以下のことがわかっている。

- (i) クエン酸は分子式が $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ のヒドロキシ酸であり、不斉炭素原子をもたず、また、同じ官能基(ヒドロキシ基またはカルボキシ基)が 2 個以上結合している炭素原子は存在しない。
- (ii) クエン酸(分子量 192) 4.8 g を十分な量の炭酸水素ナトリウム水溶液に加えると、標準状態で 1.68 L の二酸化炭素が発生する。
- (iii) クエン酸を濃硫酸とともに加熱するとアコニット酸(分子量 174)が得られ、アコニット酸に水を付加させるとクエン酸とイソクエン酸とが得られる。

問 1 (ii) より、クエン酸 1 分子中にはカルボキシ基が何個存在するか。計算過程とともに整数で記せ。

問 2 クエン酸の構造式を記せ。

問 3 アコニット酸の構造式を記せ。ただし、立体異性体が存在する場合でも、それらを区別して記す必要はない。

問 4 イソクエン酸には立体異性体は何種類存在するか。

Ⅱ 天然のタンパク質には次の一般式で表される α -アミノ酸(以下アミノ酸とよぶ)が約 20 種存在し、側鎖 R の違いによって、様々に異なった性質を示す。



2 分子以上のアミノ酸がたがいにアミノ基とカルボキシ基のあいだで脱水縮合してペプチド結合を形成してできる化合物をペプチドという。

問 5 次の文について、以下の (1), (2) に答えよ。

水溶液中でアミノ酸のイオンがもつ あ になるときの pH を等電点という。グルタミン酸の等電点はアラニンの等電点より い，リシンの等電点はアラニンの等電点より う。

(1) 空欄 あ に適する語句を 9 字以内で記せ。


(2) 空欄 い，う に適する語の組合せを，次の (ア)～(エ) のうちから一つ選び，その記号を記せ。

	い	う
(ア)	高く	高い
(イ)	高く	低い
(ウ)	低く	高い
(エ)	低く	低い

問 6 グリシン，アラニン，フェニルアラニン各 1 分子からなる鎖状のトリペプチドは，光学異性体を区別すると何種類存在するか。

次の表に示す 5 種類のアミノ酸からなる鎖状のペプチド **X** がある。ペプチド **X** のアミノ酸の配列順序を決める目的で、以下の操作を行った。

なお、以下ではペプチドのアミノ酸配列を表記する場合、N 末端(ペプチドの両端のうち、ペプチド結合に関わらないアミノ基が残っている末端)を左側に、C 末端(ペプチド結合に関わらないカルボキシ基が残っている末端)を右側にして、たとえば Gly–Met–Asp のように記すものとする。

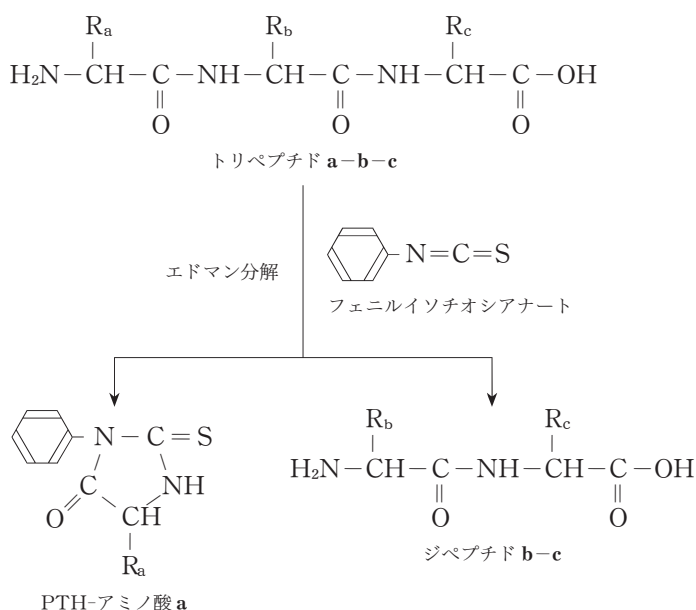
アミノ酸	略号	側鎖 R–	分子量
グリシン	Gly	H–	75
メチオニン	Met	CH ₃ –S–CH ₂ –CH ₂ –	149
アスパラギン酸	Asp	HOOC–CH ₂ –	133
リシン	Lys	H ₂ N–(CH ₂) ₄ –	146
フェニルアラニン	Phe	 –CH ₂ –	165

(操作 1) 酸性アミノ酸のカルボキシ基側のペプチド結合を特異的に加水分解する酵素 E1 を用いて **X** を加水分解したところ、2 種類のペプチド **P–1** と **P–2** が得られた。**P–1** はビウレット反応が陰性であったが、**P–2** は陽性であった。また、**P–1**、**P–2** に水酸化ナトリウムを加えて十分に加熱し、酢酸で中和したのち酢酸鉛(II)水溶液を加えると、**P–1** からは黒色沈殿が生じたが、**P–2** からは生じなかった。

問 7 下線部の黒色沈殿の化学式を記せ。

(操作 2) **P–1** をエドマン分解^(注)したところ、PTH-アミノ酸 **y** (分子量 282) とアミノ酸 **z** が得られた。一方、**P–2** をエドマン分解したところ、PTH-アミノ酸 **w** (分子量 192) とペプチド **Q–1** が得られ、さらに **Q–1** をエドマン分解したところ、PTH-アミノ酸 **w** とペプチド **Q–2** が得られた。**Q–2** はビウレット反応が陰性であった。

(注) エドマン分解法はフェニルイソチオシアナート(分子量 135)を用いてペプチドの N 末端のアミノ酸を決定する方法である。たとえば, アミノ酸 **a**, **b**, **c** (それぞれの側鎖を R_a , R_b , R_c とする) からなるトリペプチド **a-b-c** をエドマン分解すると, 以下のように, N 末端のアミノ酸 **a** が関与するペプチド結合が切断され, PTH-アミノ酸 **a** とジペプチド **b-c** が生成する (PTH はフェニルチオヒダントインの略である)。



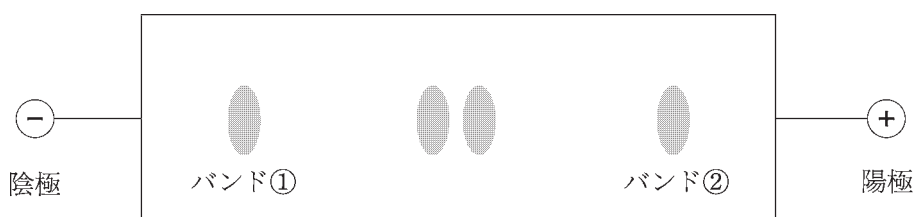
(操作 3) 塩基性アミノ酸のカルボキシ基側のペプチド結合を特異的に加水分解する酵素 E2 を用いて **X** を加水分解したところ, 2 種類のペプチド **R-1** と **R-2** が得られた。**R-1**, **R-2** はいずれもビウレット反応が陽性であり, また, **R-1** は不斉炭素原子を 1 個もつことがわかった。

問 8 ペプチド **P-1**, **P-2** について, 次の (1), (2) に答えよ。

- (1) **P-1** を構成するアミノ酸の略号をすべて記せ。
- (2) 1 分子の **P-2** を構成するアミノ酸の数は何個か。

問9 ペプチド P-1, P-2, R-1, R-2 について, 次の (1), (2) に P-1, P-2, R-1, R-2 の記号で答えよ。

- (1) キサントプロテイン反応が陽性であるものをすべて記せ。
- (2) これらの混合物を少量の pH 6 の緩衝液に溶かしてろ紙の中央につけた。このろ紙を, pH 6 の緩衝液で湿らせて, その両端に直流電圧をかけて電気泳動を行った。その後, ろ紙を乾燥し, ニンヒドリン溶液を噴霧してから温めたところ, 下の図のように紫色のバンドが 4 つ認められた。図のバンド ① とバンド ② は, それぞれどのペプチドによるものか。



問10 ペプチド X のアミノ酸の配列順序を, N 末端を左側にして, 例にならって記せ。
例) Met-Gly-Lys

生物の問題は次のページから始まる。

生 物

1 ミトコンドリアに関する次の文章 A・B を読み、下の各問に答えよ。(配点 25点)

A ミトコンドリアは二重膜に包まれた細胞小器官であり、内膜はひだ状に突出した 1 と呼ばれる構造を形成している。また、内膜で囲まれた基質部分は 2 と呼ばれる。ミトコンドリアでは好気呼吸が行われ、好気呼吸の 3 つの反応経路のうち、 3 は 2 で、 4 は内膜でそれぞれ進行する。

ミトコンドリアの機能を調べるために、以下の手順により細胞内構造体を分離した。まず、a ネズミの肝臓片をすりつぶして細胞破碎液を得た。この細胞破碎液をガーゼでこして破碎されていない細胞などを取り除いてから、低速で短時間遠心分離を行い、沈殿(分画Ⅰ)と上澄みに分けた。次にこの上澄みに対して、より大きな遠心力と長い遠心時間をかけて遠心分離を行い、沈殿(分画Ⅱ)と上澄みに分けた。この上澄みに対して、さらに大きな遠心力と長い遠心時間をかけて遠心分離を行い、沈殿(分画Ⅲ)と上澄みに分けた。

問1 文章中の 1 ～ 4 に入る最も適当な語を記せ。

問2 下線部 a について、この操作を行う際の細胞小器官の破裂を防ぐための処理と、細胞内の物質の分解を抑えるための処理をあわせて 20 字以内で答えよ。

問3 分画Ⅰ～Ⅲのそれぞれには、核、リボソーム、ミトコンドリアのいずれかが多く含まれている。分画Ⅰ～Ⅲのそれぞれに多く含まれる細胞小器官を染色する染色液として最も適当なものを、次のア～オから 1 つずつ選び、記号で答えよ。ただし、同じものを 2 回以上選んではならない。

ア カルノア液	イ 酢酸カーミン	ウ ピロニン
エ ヤヌスグリーン	オ ヨウ素ヨウ化カリウム溶液	

問4 分離したミトコンドリアに呼吸基質としてピルビン酸を加え、適当な条件下で呼吸を行わせた。これについて、次の(1)～(3)に答えよ。

(1) ピルビン酸が呼吸基質として利用される過程において、内膜に存在するタンパク質が**直接関与する反応**として誤っているものを、次のア～オからすべて選び、記号で答えよ。

ア 二酸化炭素を生成する。

イ 酸素を消費する。

ウ 水を消費する。

エ ADP とリン酸から ATP を生成する。

オ 還元型補酵素($X \cdot 2[H]$)を酸化する。

(2) ピルビン酸 1 モルがミトコンドリア内で完全に酸化されたときに生成される二酸化炭素は何モルか。

(3) ピルビン酸が呼吸基質としてミトコンドリア内で完全に酸化されて 132 mg の二酸化炭素が生成された場合、消費された酸素は何 mg か。ただし、原子量は、 $H=1$, $C=12$, $O=16$ とする。

B ミトコンドリアの内部にはミトコンドリア DNA(mtDNA)が存在する。一般に、細胞内には多数のミトコンドリアが存在し、1つのミトコンドリアは同じ mtDNA を複数含むため、細胞内には多くの mtDNA が存在している。

ミトコンドリアの機能障害が原因となる疾患をミトコンドリア病という。ミトコンドリアではたらくタンパク質には、その遺伝子が核内の染色体 DNA に存在するものと、mtDNA に存在するものがあるため、ミトコンドリアの機能障害は、核内の染色体 DNA の変異に由来する場合と、mtDNA の変異に由来する場合がある。

あるミトコンドリア病の患者で、mtDNA に特定の変異遺伝子がみつかった。図 1 はこの患者のさまざまな部位における、全 mtDNA のうちこの変異遺伝子をもつ mtDNA の割合を示したものである。また、同じ変異遺伝子をもつ別の患者でも同様に mtDNA を調べたところ、各部位における変異遺伝子をもつ mtDNA の割合は図 1 とはまったく異なっていた。

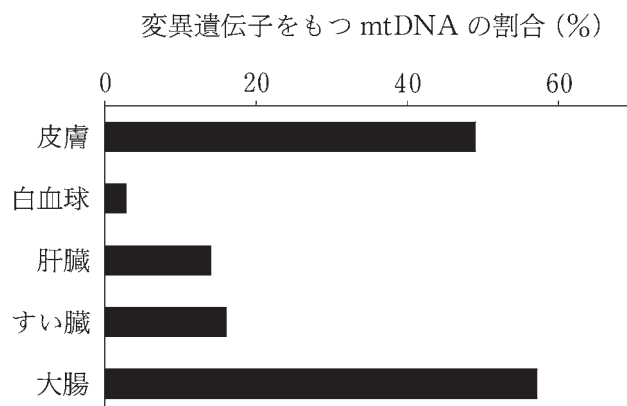


図 1

問 5 mtDNA には、真核生物の染色体 DNA とは異なり、原核生物の染色体 DNA と共通する特徴がみられる。その特徴として最も適当なものを、次のア～エから 1 つ選び、記号で答えよ。

- ア チミンの代わりにウラシルを含んでいる。
- イ 二重らせん構造をとらずに 1 本鎖の状態が存在する。
- ウ 直鎖状ではなく環状である。
- エ 直接リボソームに結合して翻訳される。

問6 図1について、部位によって変異遺伝子の割合が異なる理由を考察し、60字以内で述べよ。

問7 ミトコンドリアはほとんどの細胞に存在するにも関わらず、ミトコンドリア病では特に骨格筋や中枢神経系などにおいて機能障害が起こりやすい。これは、これらの組織がもつある特徴が原因である。その特徴として最も適当なものを、次のア～エから1つ選び、記号で答えよ。

- ア 多核である。
- イ 細胞の体積が大きい。
- ウ ATPを多量に消費する。
- エ 細胞骨格が発達している。

問8 下線部bについて、あるミトコンドリア病の患者におけるミトコンドリアの機能障害の原因をサイブリッド技術を用いて調べた。サイブリッドとは、図2に示すように、ミトコンドリアを除去した細胞と核を除去した細胞を融合した細胞である。サイブリッド技術を用いてどのような実験を行えば、この患者におけるミトコンドリアの機能障害がmtDNAの変異に由来すると判断できるか。予想される結果とともに80字以内で述べよ。

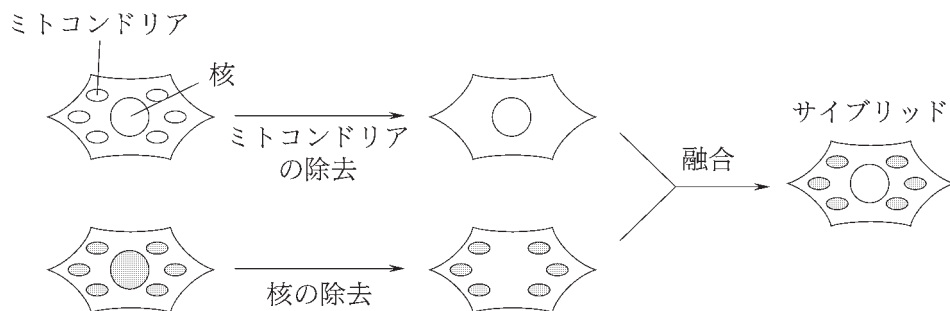


図2

2 血糖量調節に関する次の文章 A・B を読み、下の各問に答えよ。(配点 25点)

A 近年、過剰な栄養摂取や運動不足に伴い、多くの国々で肥満の増加が深刻な問題となっている。

食後に血糖値が上昇すると、間脳の 1 に存在する血糖調節中枢やすい臓の内分泌腺である 2 が高血糖を感知して、2 の B 細胞から ^a インスリン が分泌される。インスリンは、おもに 3 や骨格筋、および脂肪組織の細胞に存在するインスリン受容体に結合することで、3 の細胞では 4 の合成を促進し、細胞からのグルコースの放出を抑制する。また、骨格筋細胞や脂肪細胞では、図 1 に示すように、インスリン受容体と結合したタンパク質 P を介して酵素 Q を活性化し、これによりグルコース輸送体の細胞膜表面への移動を促すことで、細胞内へのグルコースの取り込みを促進する。その結果、骨格筋細胞ではグルコースの消費や 4 の合成が促進され、脂肪細胞ではグルコースからの脂肪の合成が促進されて、^b 上昇した血糖値はもとの値にもどる。

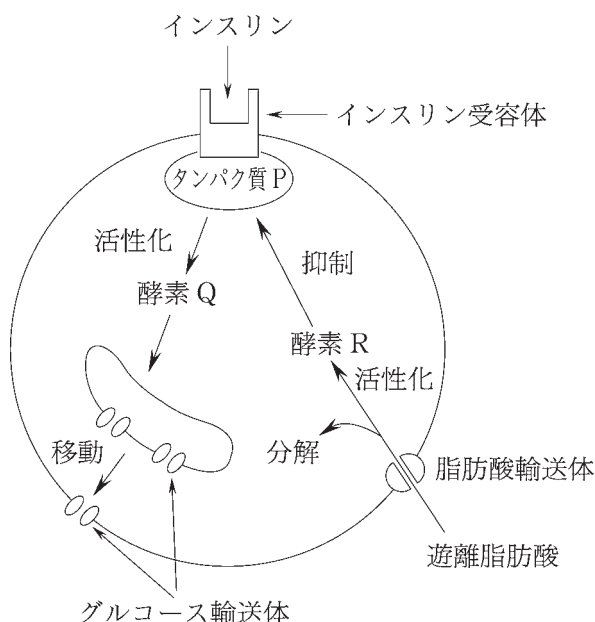


図 1

糖尿病の人では、食後に 3 の細胞におけるグルコースの放出が抑制できず、また骨格筋細胞や脂肪細胞では糖の取り込みが低下するので、高血糖の状態が続く。糖尿病の主要な原因は2つあり、1つは 5 場合である。もう1つは、インスリン受容体の構造の異常や数の減少、および図1に示したインスリン受容体がインスリンを受容してからグルコース輸送体がグルコースを取り込むまでの過程の異常などにより、標的細胞のインスリンに対する感受性が低下する場合である。このうち後者の状態は、十分量のインスリンが分泌されてもこれが標的細胞に作用できないことから、「インスリン抵抗性」とも呼ばれる。

血液中には、グルコースとともに、脂肪の分解で生じた遊離脂肪酸が含まれる。図1に示すように、通常は、遊離脂肪酸は細胞内に取り込まれて分解され、エネルギー源になる。糖尿病になると、_c 遊離脂肪酸の増加による高脂血症を招き、_d 動脈硬化性疾患などの疾病のリスクが高まることになる。

問1 文章中の 1 ～ 4 に入る最も適当な語を記せ。

問2 下線部 a のインスリンはどのような物質からなるか。最も適当なものを、次のア～エから1つ選び、記号で答えよ。

ア 核酸 イ 脂質 ウ タンパク質 エ 炭水化物

問3 下線部 b について、血糖値が低下したとき、血糖値をもとの値にもどすホルモンのうち、以下の(1)～(3)の条件にあてはまるものの名称を答えよ。

- (1) 副腎髄質から分泌される。
- (2) タンパク質の糖化を促進して血糖値を上昇させる。
- (3) インスリンと同じ内分泌腺から分泌される。

問4 文章中の 5 にあてはまる短文を、15字以内で記せ。

問5 下線部 c について、インスリン抵抗性を生じる一因として、図1に示したように、過剰な遊離脂肪酸が脂肪酸輸送体を通じて骨格筋細胞や脂肪細胞などに取り込まれ、これが酵素 R を介してタンパク質 P のはたらきを抑制することがあげられる。このことに基づき、インスリン抵抗性の人が脂質をおさえた食事を継続的に摂ると糖尿病が改善される理由を、80字以内で説明せよ。

問6 下線部 d について、ある器官で動脈硬化性疾患により血栓や血管破裂が生じた場合、死に至ることがある。このようなリスクの高いヒトの器官の例を1つあげよ。

B Aで述べたインスリンの作用に対して、アディポネクチンと呼ばれる物質が関与していることが明らかになった。一般に、体重が増加すると血中のアディポネクチン濃度が低下して、インスリン抵抗性となりやすい。そこで、アディポネクチンが作用するしくみを調べるために、正常なマウスからアディポネクチンを合成できないマウス(以下、欠損マウスと呼ぶ)を作成し、正常マウスと欠損マウスに普通食と高脂肪・高スクロース食を与え続けて、これらのマウスの血糖値および血しょう中の遊離脂肪酸濃度を測定したところ、図2のような結果になった(各グラフの下の「正常」は正常マウスを、「欠損」は欠損マウスを示す)。また、アディポネクチンはインスリンの分泌に直接影響を与えないこと、および、欠損マウスでは骨格筋細胞や脂肪細胞の細胞膜において図1の脂肪酸輸送体の数が減少していることがわかった。

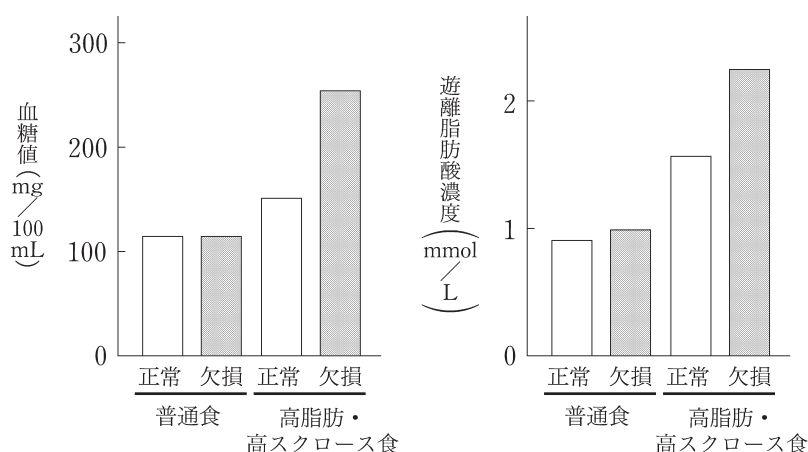
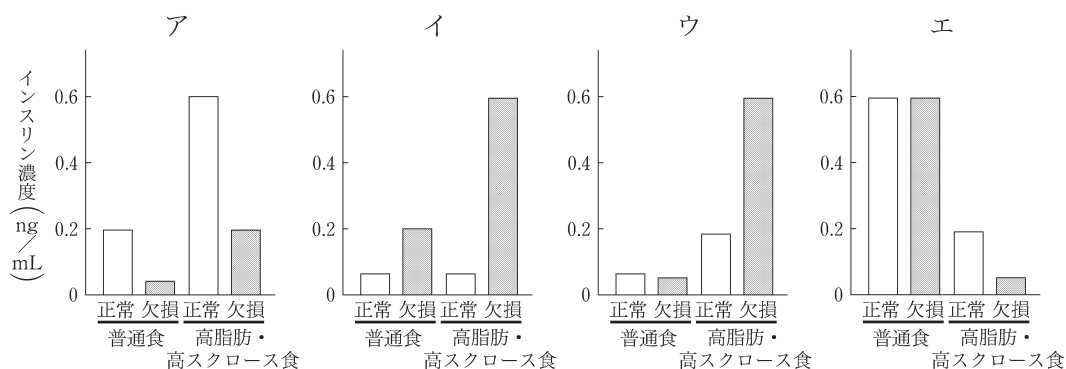


図2

問7 図2の結果をもとに、普通食と高脂肪・高スクロース食を与えた正常マウスと欠損マウスの血しょう中のインスリン濃度はどのようにになると推定されるか。最も適当なグラフを、次のア～エから1つ選び、記号で答えよ。



問8 高脂肪・高スクロース食を与え続けた正常マウスにインスリンを投与し、その後の血糖値の経時変化を測定した。インスリン投与前の血糖値を100とした相対値で示すと、図3の—○—のような結果になった。次の(1)・(2)に答えよ。

- (1) 欠損マウスの血糖値の変化を示すグラフは、図中のア～エのどれか。記号で答えよ。なお、欠損マウスについてもインスリン投与前の血糖値を100として相対値で示すものとする。
- (2) (1)のように考えた理由を、「インスリン抵抗性」の語を用いて60字以内で答えよ。

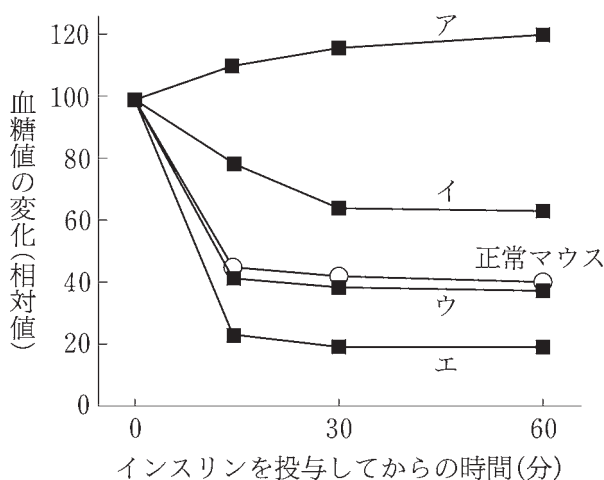


図3

問9 アディポネクチンが骨格筋細胞や脂肪細胞におよぼす効果について適当と考えられるものを、次のア～クから2つ選び、記号で答えよ。

- ア タンパク質Pと酵素Qの作用が活性化され、インスリン抵抗性が大きくなる。
- イ タンパク質Pと酵素Qの作用が活性化され、インスリン抵抗性が小さくなる。
- ウ タンパク質Pと酵素Qの作用が抑制され、インスリン抵抗性が大きくなる。
- エ タンパク質Pと酵素Qの作用が抑制され、インスリン抵抗性が小さくなる。
- オ 遊離脂肪酸の取り込みおよび細胞内での分解を促進する。
- カ 遊離脂肪酸の取り込みを促進し、細胞内での分解を抑制する。
- キ 遊離脂肪酸の取り込みを抑制し、細胞内での分解を促進する。
- ク 遊離脂肪酸の取り込みおよび細胞内での分解を抑制する。

3 センチュウの発生と遺伝に関する次の文章を読み、下の各問に答えよ。

(配点 25点)

センチュウは多細胞動物としては比較的単純な体制をしており、観察しやすいことなどから、発生や神経研究などのモデル動物として幅広く利用されている。

センチュウでは、^a 受精卵から成虫に至るまでのすべての細胞の分裂や分化の過程(細胞系譜)が明らかにされている。発生過程では細胞分裂によって 1090 個の細胞が生じ、そのうち 131 個の細胞は「^b プログラムされた細胞死」によって失われるので、成体は 959 個の細胞からなる。また、多くの個体は雌雄同体であるが、雄が全体の 0.3 % 程度存在する。^c 雌雄同体は性染色体である X 染色体を 2 本もつのに対し、雄は X 染色体を 1 本しかもたない。

問 1 下線部 a について、次の文章を読み、下の(1)・(2)に答えよ。

センチュウにおける受精卵から 4 細胞期胚になるまでの過程を図 1 に示した。受精卵(P_0)が AB 細胞と P_1 細胞に分裂した後、AB 細胞は ABa 細胞と ABp 細胞に、 P_1 細胞は P_2 細胞と EMS 細胞にそれぞれ分裂する。センチュウの 4 細胞期胚を用いて、**実験 1～3**を行った。なお、正常な発生では 4 細胞期の 4 つの細胞は互いに異なる細胞系譜を示し、これら 4 つの細胞の 1 つから腸が形成されることが知られている。

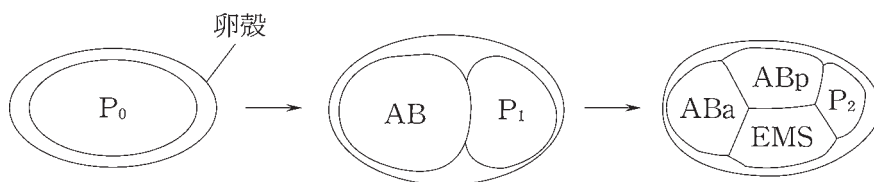


図 1

実験 1 4 細胞期胚の P_2 細胞にレーザー光を照射して細胞を破壊すると、ABp 細胞は ABa 細胞と同じ細胞系譜を示すようになった。

実験 2 4 細胞期胚になった直後に胚を卵殻から取り出すと、細胞は図 2 に示すような位置関係をとる。この状態で培養を続けると、ABp 細胞は ABa 細胞と同じ細胞系譜を示すようになった。

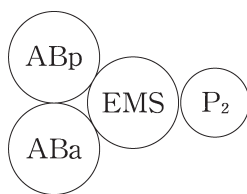


図 2

実験 3 4 細胞期胚になってから 0, 4, 8, 12 分後に細胞を分離し、それ以降は EMS 細胞単独で、または EMS 細胞に ABa, ABp, P₂ 細胞のいずれかを密着させて、一定時間培養し細胞分裂を進行させた。その後、腸に分化した細胞が存在する割合を調べたところ、図 3 に示す結果となった。

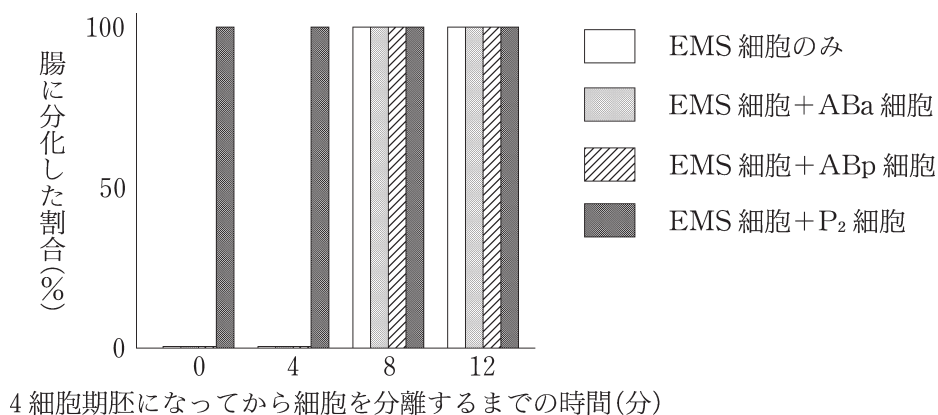


図 3

(1) センチュウの正常な発生過程において、ABp 細胞が ABa 細胞と異なる細胞系譜を示すようになるために必要なことがらを、20 字以内で述べよ。

(2) 腸の分化に関する記述として適当なものを、次のア～ケから2つ選び、記号で答えよ。

ア 腸の細胞はEMS細胞に由来する。

イ 腸の細胞はABa細胞またはABp細胞に由来する。

ウ 腸の細胞はP₂細胞に由来する。

エ 腸の分化には、4細胞期胚になってから0～8分の間、EMS細胞とABa細胞またはABp細胞が接していることが必要である。

オ 腸の分化には、4細胞期胚になってから8分以降、EMS細胞とABa細胞またはABp細胞が接していることが必要である。

カ 腸の分化には、4細胞期胚になってから0～8分の間、EMS細胞とP₂細胞が接していることが必要である。

キ 腸の分化には、4細胞期胚になってから8分以降、EMS細胞とP₂細胞が接していることが必要である。

ク 腸の分化には、4細胞期胚になってから0～8分の間、P₂細胞とABa細胞またはABp細胞が接していることが必要である。

ケ 腸の分化には、4細胞期胚になってから8分以降、P₂細胞とABa細胞またはABp細胞が接していることが必要である。

問2 下線部bについて、「プログラムされた細胞死」では、核が崩壊してDNAが断片化し細胞が死んでいく。このような細胞死を何と呼ぶか。

問3 下線部cについて、次の(1)・(2)に答えよ。

(1) 次の文章中の ～ に入る最も適当な染色体構成を記せ。また、 ・ に入る最も適当な語を記せ。

常染色体の一組をAで表すと、雌雄同体の体細胞の染色体構成は $2A+XX$ と表され、雄の体細胞の染色体構成は と表される。雌雄同体がつくる卵の染色体構成は ，精子の染色体構成は である。また、雄がつくる精子の染色体構成は または である。染色体構成が の精子が卵と受精すると が生じ、染色体構成が の精子が卵と受精すると が生じる。

- (2) 染色体の乗換えが起こらないと仮定した場合、雌雄同体 ($2n=12$) がつくる卵における染色体の組合せは何通りあるか。

問 4 D 遺伝子はセンチウの形態に関する遺伝子であり、この遺伝子に変異するとからだが太く短くなる異常形態を示す。また、 U 遺伝子はセンチウの行動に関する遺伝子であり、この遺伝子に変異すると異常行動を示す。これらの遺伝子について、交配 1・2 を行った。

交配 1 D 遺伝子に変異があり異常形態を示す変異型の雌雄同体から得られた卵と、 U 遺伝子に変異があり異常行動を示す変異型の雄から得られた精子を受精させた。交配によって生じた F_1 では、雌雄同体はすべて正常であったが、雄はすべて異常形態を示した。

交配 2 U 遺伝子に変異があり異常行動を示す変異型の雌雄同体から得られた卵と、 D 遺伝子に変異があり異常形態を示す変異型の雄から得られた精子を受精させた。交配によって生じた F_1 では、雌雄同体はすべて正常であったが、雄はすべて異常行動を示した。

- (1) 交配 1 の F_1 の雌雄同体から得られた卵と、交配 1 の F_1 の雄から得られた精子を受精させた結果から、 D 遺伝子と U 遺伝子の間の組換え価(%)を得るには何を求めればよいか。具体的な表現型を示して 50 字以内で述べよ。
- (2) D 遺伝子と U 遺伝子の間の組換え価は 7 % である。次の(i)・(ii)で生じる異常形態と異常行動をとともに示す個体の割合(%)を、それぞれ小数第 3 位を四捨五入して答えよ。
- (i) 交配 2 で生じた F_1 の雌雄同体から得られた卵と精子を受精させた場合。
- (ii) 交配 2 で生じた F_1 の雌雄同体から得られた卵と、交配 2 で生じた F_1 の雄から得られた精子を受精させた場合。

問 5 通常、雌雄同体は卵と精子をつくって自家受精を行うが、雄が存在すると、雌雄同体がつくる精子よりも雄がつくる精子を優先して受精に用い、他家受精が起こる。このことから考えて、センチウの集団に雄が存在する場合には、雄が存在しない場合に比べて、集団の遺伝子構成にどのような変化がみられると考えられるか。30 字以内で述べよ。

4 遺伝子発現の調節に関する次の文章を読み、下の各問に答えよ。(配点 25点)

DNA は遺伝物質であり、DNA が含む遺伝情報は多くの場合、a 配偶子を介して親から子へと伝えられる。真核生物では、DNA の遺伝情報は核内で RNA に転写される。ある遺伝子の転写が開始される際には、その遺伝子の近くに存在する転写調節配列に調節タンパク質が結合し、これによって基本転写因子と転写を行う酵素である **1** が、転写開始位置付近にある **2** と呼ばれる領域に結合する。合成された RNA は **3** が除去されて **4** どうしがつなぎあわされる過程である **5** を受けて成熟 mRNA となる。成熟 mRNA は **6** を通って細胞質に出て、リボソーム上でタンパク質が合成される。この過程を翻訳という。合成されたタンパク質はそれぞれが適当な細胞小器官などに運ばれるが、b 核内に運ばれて、核内で機能するタンパク質もある。

タンパク質には、一部の組織・器官のみで合成されるものや、発生過程の特定の時期にのみ合成されるものがある。これは、おもに c これらのタンパク質をコードする遺伝子が組織特異的、時期特異的に発現することによる。このような特異的な遺伝子の発現により組織・器官の分化などが起こる。したがって、遺伝子の発現を制御することは発生・分化の過程において非常に重要である。

ある調節タンパク質 X は B 細胞での免疫グロブリン遺伝子の発現を促進することが知られている。また、B 細胞の分化・活性化を促進する物質 Y を未熟な B 細胞に与えると、成熟した B 細胞への分化が進むとともに免疫グロブリン遺伝子が発現するようになる。そこで、この物質 Y を用いて、調節タンパク質 X による免疫グロブリン遺伝子の発現を調節するしくみを明らかにするために、以下の**実験 1**～**4**を行った。

実験 1 未熟 B 細胞に物質 Y を与えたところ、この細胞で免疫グロブリン遺伝子の mRNA が検出されるようになった。このとき、物質 Y と同時にタンパク質合成阻害剤を与えても、同様に免疫グロブリン遺伝子の mRNA が検出された。

実験 2 未熟B細胞を2群に分けて一方に物質Yを与え、これらの細胞から細胞質に存在するタンパク質、および、核内に存在するタンパク質を単離した。次に、免疫グロブリン遺伝子の調節領域(調節タンパク質Xが結合する転写調節配列を含む)と同じ塩基配列のDNA断片を合成して放射性同位体で標識し、細胞から単離したタンパク質と混合した。この試料をゲル電気泳動法で展開し、標識したDNA断片を検出した。この結果を図1に示す(■が検出されたDNAであり、これをバンドという)。なお、このゲル電気泳動法では分子量が大きいものほど移動度が小さくなり、バンドの太さは存在するDNA量を反映する。また、図中の+はその物質や試薬を加えたことを、-は加えていないことを表す。

実験 3 実験2のレーン3と同様の実験を、細胞から単離したタンパク質とDNA断片を混合するときに、調節タンパク質Xに特異的に結合する抗体を加えて行ったところ、図1のレーン3の矢印②のバンドよりも移動度が小さい位置にバンドが現れた。ただし、この抗体は、調節タンパク質XとDNAの結合を阻害しないことが知られている。

実験 4 ある試薬Zは、いくつかのタンパク質が結合して複合体を形成している場合に、その結合を切断する作用をもつ。実験2と同様の実験を、細胞から単離したタンパク質を試薬Zで処理してから行った。この結果を図2に示す。

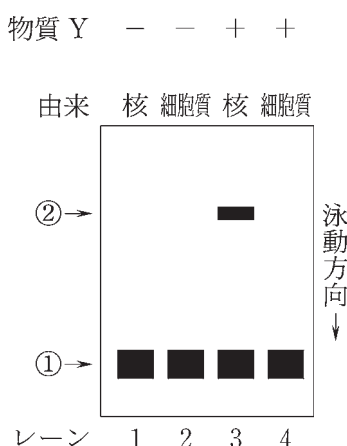


図 1

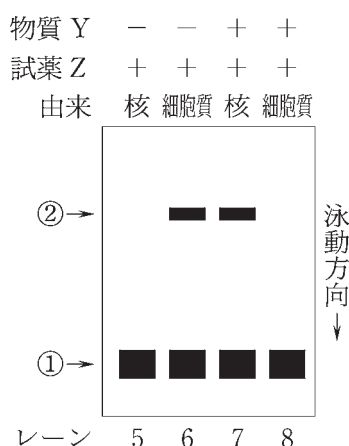


図 2

問1 文章中の 1 ～ 6 に入る最も適当な語を記せ。

問2 下線部 a について、次の(1)～(3)に答えよ。

(1) 配偶子に含まれる染色体や遺伝子のセットを何というか。その名称を答えよ。

(2) ヒトの(1)を構成する DNA の総塩基対数として最も適当な数値を、次のア～クから 1 つ選び、記号で答えよ。

ア 2.2×10^3 イ 2.2×10^4 ウ 2.2×10^5 エ 2.2×10^6

オ 3.0×10^7 カ 3.0×10^8 キ 3.0×10^9 ク 3.0×10^{10}

(3) ヒトの(1)に含まれる遺伝子の総数として最も適当な数値を、(2)のア～クから 1 つ選び、記号で答えよ。

問3 下線部 b について、核内に移行して機能するタンパク質として適当なものを、次のア～エから 1 つ選び、記号で答えよ。

ア コラーゲン イ ヒストン ウ ペプシノーゲン エ ヘモグロビン

問4 下線部 c について、発生過程で異なる遺伝子が発現することを示す方法として、ショウジョウバエの幼虫のだ腺(だ液腺)染色体を観察する方法がある。だ腺染色体に関する記述として誤っているものを、次のア～オから 1 つ選び、記号で答えよ。

ア ふつうの細胞の染色体の 100 ～ 150 倍の大きさであり、いつでも光学顕微鏡で観察することができる。

イ 特定の色素で染色すると何本もの横縞^{じま}がみられ、野生型と突然変異体の形質と横縞の違いから、染色体上での遺伝子の位置を推定できる。

ウ だ腺染色体の特定の位置で観察されるパフでは、折りたたまれて凝縮していた DNA の一部がほどけており、その内部ではタンパク質がさかんに合成されている。

エ だ腺の細胞に放射性同位体で標識したウリジン(ウラシルとリボースが結合した化合物)を与えてしばらくおくと、パフの部位から放射能が検出される。

オ 発生の進行とともにパフの位置は変化し、また、ある種ホルモンを与えることでパフの位置が変化する。

問5 実験1の結果のみから判断して、未熟B細胞に物質Yを加えたときに調節タンパク質Xによって免疫グロブリン遺伝子の転写が促進されるしくみとして最も適当なものを、次のア～エから1つ選び、記号で答えよ。

ア 調節タンパク質Xをコードする遺伝子の転写が促進される。

イ 調節タンパク質Xの mRNA の翻訳が促進される。

ウ 合成された調節タンパク質Xが活性化される。

エ 合成された調節タンパク質Xの分解が促進される。

問6 実験2・3について、次の(1)・(2)に答えよ。

(1) 図1の矢印①のバンドには、標識されたDNA断片のみが含まれる。では、矢印②にみられる移動度が小さいバンドが現れたのはなぜか。考えられる理由を40字以内で述べよ。

(2) 図1のレーン3の実験で、標識したDNA断片を加えるときに、同時に同じ塩基配列の標識していないDNA断片を10倍量加えると、矢印②のバンドはどのように変化すると予想されるか。最も適当なものを、次のア～エから1つ選び、記号で答えよ。

ア バンドの位置が移動度の小さい側に移り、バンドの太さは変わらない。

イ バンドの位置が移動度の大きい側に移り、バンドの太さは変わらない。

ウ バンドの位置は変化せず、バンドの太さが太くなる。

エ バンドの位置は変化せず、バンドの太さが細くなる。

問7 図1に示された**実験2**のレーン2では、図2に示された**実験4**のレーン6と異なり矢印②のバンドが現れていない。この理由として考えられることを、60字以内で述べよ。

問8 図2に示された**実験4**の結果から考えて、物質Yを与えたときに免疫グロブリン遺伝子の転写が促進されるしくみを60字以内で述べよ。

