

令和6年度 試験問題

理 科 (120分)

(化学基礎・化学 生物基礎・生物)

注 意

- 1 試験開始の合図があるまで、問題冊子の中を見てはいけません。
- 2 問題冊子は27ページあります。化学基礎・化学あるいは生物基礎・生物のいずれか一科目だけを選び、解答しなさい。両方を解答した場合は、いずれも採点の対象にならないので注意すること。
- 3 各科目の解答用紙は4枚あります。解答用紙には受験番号欄と氏名欄があるので、監督者の指示に従って、それぞれ正しく記入しなさい。
- 4 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁および解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、手をあげて監督者に知らせなさい。
- 5 「選択しなかった科目の解答用紙」を試験時間中に監督者が回収するので、表紙に大きく×印をして機の通路側に置きなさい。
- 6 解答は、全ての解答用紙の指定された欄に書きなさい。
- 7 問題冊子の余白等は適宜利用してよいが、どのページも切り離してはいけません。
- 8 試験終了後、問題冊子は持ち帰りなさい。

化学基礎・化学

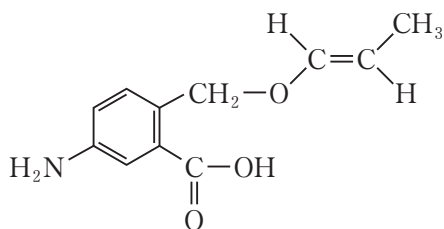
【注意】 以下の問題を解くために、必要があれば次の数値を用いること。なお、構造式は例にならって書け。また、気体はすべて理想気体とする。

原子量：H = 1.0, C = 12, O = 16, S = 32, Cu = 64

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

$\log_{10} 3 = 0.477$

[例]



問題 1 次の文章を読み、問 1～問 4 に答えよ。(50 点)

物質を構成する原子どうしを結びつける化学結合には、共有結合やイオン結合などがある。共有結合は、(ア)元素の原子どうしが価電子を出しあい、それらを共有することで形成され、多くの場合、各原子は(イ)原子と同じ電子配置をとる。分子は一般に共有結合によってつくられている。分子からなる物質の沸点は、(1)その物質の分子量と関連している。(2)イオン結合は陽性の強い(ウ)元素のイオンと陰性の強い(ア)元素のイオンとが結びつく化学結合である。イオン結合によってつくられるイオン結晶は一般に水に溶けやすい。(3)

問 1 (ア)～(ウ)にあてはまる適切な語句を答えよ。

問 2 水分子，メタン分子，アンモニア分子について，下線部(1)に関連する次の問に答えよ。

- (a) それぞれの分子中に存在する共有電子対と非共有電子対の数，ならびに分子の形を書け。
- (b) 分子中の隣りあう二つの結合がなす角を結合角という。結合角は電子対の間の静電的な反発の影響をうける。反発力の大きさは共有電子対より非共有電子対の方が大きいことから結合角に違いが生じると考えて，各分子名を結合角が大きいものから順に並べよ。
- (c) アンモニア分子に水素イオンが結合すると，安定なアンモニウムイオンができる。アンモニウムイオンを電子式で表せ。また，この結合が形成されるしくみを 2 行以内で書け。

問 3 下線部(2)に関連して，次の問に答えよ。

- (a) アルカンのような無極性分子からなる物質は，一般に分子量が大きくなると沸点が高くなる。その理由を 1 行で書け。
- (b) メタンと水の分子量は同程度であるが，水の沸点(100℃)はメタンの沸点(−161℃)に比べ非常に高い。その理由を 1 行で書け。

問 4 下線部(3)に関連して，次の問に答えよ。

- (a) 60℃の硫酸銅(II)の飽和水溶液 200 g を 20℃まで冷却したところ，硫酸銅(II)五水和物の結晶が析出した。ただし，硫酸銅(II)は 20℃の水 100 g に 20 g，60℃の水 100 g に 40 g 溶けるものとする。
 - (i) 60℃の飽和水溶液 200 g に溶けていた硫酸銅(II)の質量を求め，整数で答えよ。また，求める過程も示せ。
 - (ii) 析出した硫酸銅(II)五水和物の質量を求め，整数で答えよ。また，求める過程も示せ。
- (b) 炭酸カルシウムや硫酸バリウムはイオン結晶であるが水に溶けにくい。その理由を 1 行で書け。

問題 2 次の文章を読み、問 1～問 8 に答えよ。(50 点)

炭酸ナトリウム Na_2CO_3 は、ガラスやセッケンの原料として多量に利用されている。炭酸ナトリウムの工業的製法も提案されており、(ア)法と呼ばれる。炭酸ナトリウムは白色の固体で、水に溶けて、加水分解によって水溶液は(イ)性を示す。また、水酸化ナトリウムを空気中に放置することによっても生じるため、不純物として含まれる。水酸化ナトリウムと炭酸ナトリウムの混合水溶液中におけるそれぞれの濃度を決定するために、変色域の異なる 2 種類の指示薬(フェノールフタレインと指示薬 X)を用いた二段階中和滴定により、次の実験を行った。

水酸化ナトリウムと炭酸ナトリウムを含む溶液を(ウ)で 20.0 mL はかりとり、コニカルビーカーに入れた。0.100 mol/L の希塩酸を(エ)に入れ、フェノールフタレインを用いて滴定したところ、第 1 中和点まで 16.0 mL を要した。その後、指示薬 X を用いて滴定を続けると第 2 中和点までさらに 2.8 mL を要した。

問 1 (ア)～(エ)にあてはまる適切な語句を答えよ。

問 2 下線部(1)について、なぜ(イ)性を示すか、1 行で説明し、塩の加水分解反応の化学反応式を書け。

問 3 下線部(2)について、炭酸ナトリウムを生成する化学反応式を書け。

問 4 下線部(3)について、フェノールフタレインの変色が完了するまでに起こった 2 つの反応を、それぞれ化学反応式で書け。

問 5 下線部(4)について、指示薬 X の変色が完了するまでに起こった反応を、化学反応式で書け。

問 6 この混合水溶液中の水酸化ナトリウムおよび炭酸ナトリウムのモル濃度 [mol/L] をそれぞれ有効数字 2 桁で求めよ。また、求める過程も示せ。

問 7 下線部(4)の実験で用いた指示薬 X に適するものを 1 つあげよ。

問 8 中和滴定に用いる指示薬は、水溶液中の pH の変化にともなって色が変化する物質である。フェノールフタレイン分子を HA で表すと、異なった色を示す HA と A⁻ について、水溶液中で[1]式の電離平衡(電離定数 $K = 3.0 \times 10^{-10}$ mol/L) が成り立つ。



- (a) [1]式の電離平衡について、HA, H⁺, A⁻ のモル濃度をそれぞれ [HA], [H⁺], [A⁻] とし、電離定数 K を式で示せ。
- (b) 溶液中の水素イオン濃度が大きくなると、[1]式の平衡はどちらに移動するか答えよ。
- (c) 指示薬の色は、[HA] と [A⁻] の比 $\left(\frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]}\right)$ が 0.1 以下もしくは 10 以上になるとき、片方の色のみを目視できる。 $\left(\frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]}\right)$ が 0.1 のときの pH を小数第 2 位まで求めよ。また、求める過程も示せ。
- (d) HA と A⁻ はそれぞれ何色を示すか答えよ。

問題 3 次の問 1 および問 2 に答えよ。(50 点)

問 1 反応の速さは反応の種類によって大きく異なる。また、同じ反応であっても、反応物の濃度などの条件を変えると、反応の速さは変化する。⁽¹⁾分子どうしが反応するためには、互いに分子が衝突し、さらに衝突した分子が(ア)と呼ばれるエネルギーの高い中間の状態を経由しなければならない。反応物を(ア)にするのに必要な最小のエネルギーを、その反応の活性化エネルギーという。

- (a) (ア)にあてはまる適切な語句を答えよ。
- (b) 次の反応速度に関する記述 A ~ D に最も関係が深い要因を次の選択肢①~⑥の中からそれぞれ選び、記号で答えよ。
- A 濃硝酸は褐色のびんに入れて保存する。
- B 等体積、1 mol/L の塩酸と酢酸それぞれに同量の亜鉛を加えると、塩酸の方が激しく水素を発生する。
- C 過酸化水素水は、なるべく冷蔵庫で保存する方がよい。
- D 木を燃やすとき、細かく割いた方がよく燃焼する。

[選択肢]

- ① 温度 ② 濃度 ③ 圧力
④ 表面積 ⑤ 触媒 ⑥ 光

- (c) 下線部(1)に関して、一般に反応物の濃度が大きいほど反応速度は大きくなるが、その理由を 1 行で答えよ。
- (d) ある化学反応は温度が 10 K 上昇するごとに反応速度が 2 倍になる。この反応の温度が 40 K 上昇すると反応速度は初めの何倍になるか、答えよ。
- (e) 触媒を加えると変化するものを次の選択肢①~④の中からすべて選び、記号で答えよ。

[選択肢]

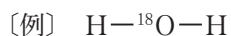
- ① 活性化エネルギー ② 生成物の量
③ 反応速度 ④ 反応熱

問 2 モル濃度が 0.66 mol/L の過酸化水素水 10 mL に、触媒として少量の酸化マンガン(IV)を加えたところ、過酸化水素が分解して酸素が発生した。反応開始後 60 秒の間に発生した酸素を水上置換により捕集したところ、得られた気体の体積は 27°C において 18 mL であった。なお、 27°C での水の蒸気圧は $4.0 \times 10^3 \text{ Pa}$ 、大気圧は $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ とする。ただし、酸素の水への溶解はないものとし、反応は一定温度(27°C)で行われ、反応の前後で過酸化水素の体積は変化しないものとする。

- (a) 下線部(2)の反応について、化学反応式を書け。
- (b) 下線部(3)について、水上置換により捕集した気体中の酸素の分圧は何 Pa か、有効数字 2 桁で答えよ。また、求める過程も示せ。
- (c) 下線部(3)について、水上置換により捕集した気体中の酸素の物質量は 何 mol か、有効数字 2 桁で答えよ。また、求める過程も示せ。
- (d) 反応開始後 60 秒の間で分解した過酸化水素の分解速度は何 $\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{s})$ か、有効数字 2 桁で答えよ。また、求める過程も示せ。
- (e) 反応開始から 60 秒後の溶液中の過酸化水素のモル濃度は何 mol/L か、有効数字 2 桁で答えよ。また、求める過程も示せ。
- (f) 下線部(2)の分解反応における反応開始後 60 秒の間の反応速度定数 $k[\text{s}^{-1}]$ を有効数字 2 桁で答えよ。また、求める過程も示せ。ただし、反応速度 v について $v = k[\text{H}_2\text{O}_2]$ が成り立つものとする。また、反応開始後 60 秒の間における過酸化水素の分解速度とモル濃度についてもこの式に従うものとし、計算には平均のモル濃度を用いよ。

問題 4 次の問 1～問 3 に答えよ。(50 点)

問 1 化合物中の酸素原子が同位体 ^{18}O に置き換わったメタノールおよび無水酢酸を用いて、以下の実験を行った。次の問に答えよ。



実験 1 サリチル酸と、酸素原子が同位体 ^{18}O に置き換わったメタノールの混合物に、触媒として少量の濃硫酸を加えて加熱した。

実験 2 サリチル酸と、酸素原子がすべて同位体 ^{18}O に置き換わった無水酢酸の混合物に、触媒として少量の濃硫酸を加えて作用させた。

- (a) 実験 1 の反応について、例の式のように同位体 ^{18}O に置き換わった酸素原子を ^{18}O と示し、構造式を用いて化学反応式を書け。
- (b) 実験 2 の反応について、例の式のように同位体 ^{18}O に置き換わった酸素原子を ^{18}O と示し、構造式を用いて化学反応式を書け。
- (c) 実験 1 および実験 2 の反応によって生じた化合物に塩化鉄(III)水溶液を加えると、ある化合物が赤紫色に呈色した。この化合物の分子量を整数値で答えよ。

問 2 実験 1～実験 3 について、次の問に答えよ。

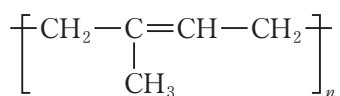
実験 1 鎖式炭化水素の化合物 A 7.0 g を、触媒を用いて十分な量の水素と反応させたところ、化合物 A と同じ物質量的水素が反応し、炭化水素の化合物 B が 7.2 g 得られた。

実験 2 化合物 B と塩素を混合して光を照射すると、化合物 B の水素原子 1 個が塩素原子に置き換わった 4 種類の構造異性体が得られた。

実験 3 化合物 A に酸触媒の存在下で水を付加させたところ、不斉炭素原子をもつアルコールの化合物 C と不斉炭素原子をもたないアルコールの化合物 D の 2 種類の混合物が得られた。化合物 C および化合物 D を硫酸酸性の二クロム酸カリウム水溶液を用いて酸化させると、化合物 C からは不斉炭素原子をもたない化合物 E が得られたが、化合物 D は酸化されにくかった。

- (a) 化合物 A の分子式を求めよ。また、求める過程も示せ。
- (b) 実験 1 によって得られた結果から考えられる化合物 B の構造異性体の数を数字で答えよ。
- (c) 実験 2 によって得られた結果から考えられる化合物 B の構造式を書け。ただし、化合物 B に含まれる水素原子の反応性に差はないものとする。
- (d) 化合物 A が分子中に 3 つのメチル基をもつ場合、化合物 A, C, D, E の構造式を書け。

問 3 天然ゴムは、イソプレン分子の二重結合が中央に移って両端の炭素原子が他のイソプレン分子と結合する反応が次々くり返されたポリイソプレンの構造をもつ。天然ゴムに数%の硫黄を加えて加熱すると、弾性、強度、耐久性が向上した弾性ゴムが得られる。このような操作を(ア)という。また、天然ゴムに30～40%の硫黄を加えて長時間加熱すると、(イ)と呼ばれる黒色の硬いプラスチック状の物質が得られる。天然ゴムに似た弾性を有する合成高分子化合物である合成ゴムにはスチレン-ブタジエンゴムなどがある。



ポリイソプレン

- (a) (ア)および(イ)にあてはまる適切な語句を答えよ。
- (b) イソプレンの構造式を書け。
- (c) 下線部の操作によって得られた物質の性質は、天然ゴムのどのような構造の変化によるためか、2行以内で説明せよ。
- (d) スチレンと1,3-ブタジエンが1:4の物質質量比で合成されたスチレン-ブタジエンゴム8.0gに、水素を完全に反応させると、標準状態で何Lの水素が消費されるか、有効数字2桁で答えよ。また、求める過程も示せ。

生物基礎・生物

問題 1 次の問 1 および問 2 に答えよ。(50 点)

問 1 ホルモンは、内分泌腺から血液を介して特定の器官や組織に作用し、体内環境の維持にはたらく。すい臓の内分泌腺である(ア)のB細胞は、(イ)神経による刺激や、血しょう中のグルコース濃度の上昇を直接感知してインスリンを分泌する。

インスリン遺伝子の発現によって合成されたポリペプチドは、プレプロインスリンと呼ばれる。プレプロインスリンは、図1の模式図の丸で示すような110個のアミノ酸からなるポリペプチドで、シグナルペプチドが切断されてプロインスリンとなる。次に、プロインスリンは、特異的なアミノ酸2個(斜線)を認識して切断する酵素の作用によってCペプチドが切り出され、A鎖とB鎖の2本のポリペプチドからなるインスリンができる。

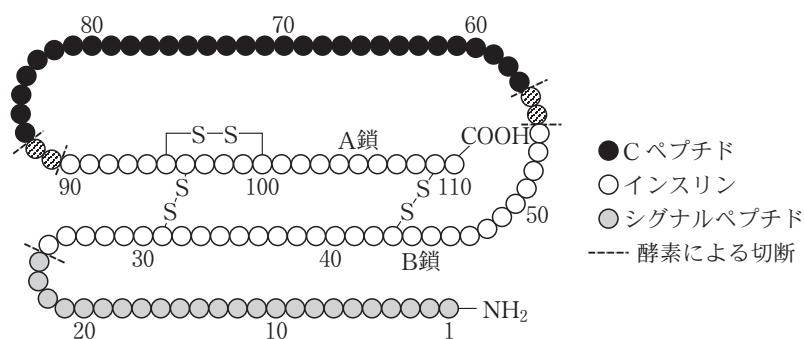


図1 プレプロインスリンの構造

- (a) (ア)および(イ)にあてはまる適切な語句を答えよ。
- (b) インスリンは、標的細胞にはたらいて血糖濃度を低下させる。インスリンが血糖濃度を低下させるしくみを2つあげ、それぞれ1行で説明せよ。
- (c) 以下に、正常なインスリン遺伝子と変異が起こったインスリン遺伝子(突然変異A～突然変異E)の塩基配列を示す。いずれの塩基配列も、左から順

にインスリン遺伝子から翻訳されるプレプロインスリン 87 番目～98 番目のアミノ酸の mRNA に対応する塩基配列を示し、**太字**は変異によって変化した塩基である。突然変異 A～突然変異 E の突然変異を含む塩基配列について、正常なコドンが指定するアミノ酸と、突然変異が入ったコドンが指定するアミノ酸(終止コドンの場合は終止コドン)を答え、それぞれの突然変異による変化について、最も適切な内容を選択肢①～⑤より 1 つ選び記号で答えよ。ただし、同じ記号を何度選んでもよい。

正常なインスリン遺伝子

cag aag cgt ggc att gtg gaa caa tgc tgt acc agc

突然変異 A

cag **t**ag cgt ggc att gtg gaa caa tgc tgt acc agc

突然変異 B

cag aag c**a**t ggc att gtg gaa caa tgc tgt acc agc

突然変異 C

cag aag cgt ggc att **c**tg gaa caa tgc tgt acc agc

突然変異 D

cag aag cgt ggc att gtg gaa c**a**g tgc tgt acc agc

突然変異 E

cag aag cgt ggc att gtg gaa caa tgc t**c**t acc agc

表1 遺伝暗号表

1 番目の塩基	2 番目の塩基				3 番目の塩基
	U	C	A	G	
U	UUU } フェニルアラニン UUC } UUA } ロイシン UUG }	UCU } UCC } セリン UCA } UCG }	UAU } チロシン UAC } UAA } (終止) UAG }	UGU } システイン UGC } UGA } (終止) UGG } トリプトファン	U C A G
C	CUU } CUC } ロイシン CUA } CUG }	CCU } CCC } プロリン CCA } CCG }	CAU } ヒスチジン CAC } CAA } グルタミン CAG }	CGU } CGC } アルギニン CGA } CGG }	U C A G
A	AUU } AUC } イソロイシン AUA } AUG } メチオニン(開始)	ACU } ACC } トレオニン ACA } ACG }	AAU } アスパラギン AAC } AAA } リシン AAG }	AGU } セリン AGC } AGA } アルギニン AGG }	U C A G
G	GUU } GUC } バリン GUA } GUG }	GCU } GCC } アラニン GCA } GCG }	GAU } アスパラギン酸 GAC } GAA } グルタミン酸 GAG }	GGU } GGC } グリシン GGA } GGG }	U C A G

[選択肢]

- ① シグナルペプチドが切断されない。
- ② Cペプチドが切り出されない。
- ③ Cペプチドの領域は翻訳されるが、正常のインスリンホルモンはできない。
- ④ 正常のインスリンホルモンと比べて、アミノ酸数は同じだが、一次構造が変化する。
- ⑤ 正常のインスリンホルモンと比べて、アミノ酸数は同じで、一次構造も変化しない。

問 2 真核生物の遺伝情報の発現において、多くの遺伝子では、発現の有無や転写される mRNA の量が、様々な因子によって制御されている。DNA には、プロモーターを含めた遺伝子の発現制御に関わる塩基配列が複数存在しており、これらの配列は、(ウ)領域と総称される。プロモーター以外の(ウ)領域に結合して遺伝子の発現を制御するタンパク質のうち、転写を促進するものを(エ)、転写を抑制するものを(オ)という。さらに、複数のタンパク質で構成される基本転写因子も重要である。

- (a) (ウ)～(オ)にあてはまる適切な語句を答えよ。
- (b) 基本転写因子のはたらきを 2 行以内で説明せよ。
- (c) ある遺伝子 X の転写の制御に関わる DNA 領域を調べるために、GFP(緑色蛍光タンパク質)を使ったレポーターアッセイという実験を行った。この実験では、図 2 に示すように、遺伝子 X のプロモーターに、GFP 遺伝子をつないだ DNA を使用した。この実験で、遺伝子 X の代わりに GFP 遺伝子をつないだ利点を 1 行で説明せよ。

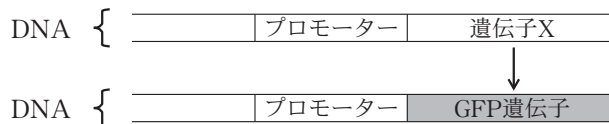


図 2

(d) 図3に示すように、遺伝子Xのプロモーター付近の転写の制御に関わる領域をa～dに分けて配置したDNA-I～DNA-Vを作製した。それぞれのDNAを細胞へ導入し、GFP蛍光量を測定した。そのときのGFP蛍光量の相対値を図4に示す。このとき、領域a～dは遺伝子Xの転写をどのように制御するか、選択肢①～③より1つ選び記号で答えよ。ただし、同じ記号を何度選んでもよい。

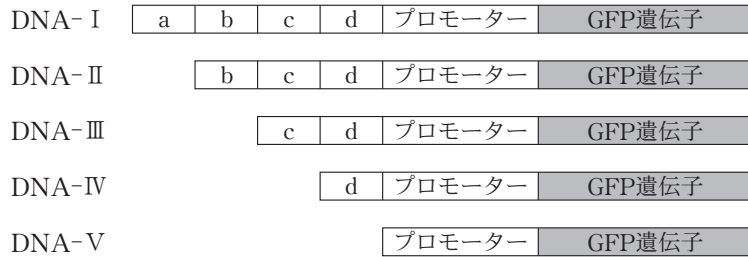


図3

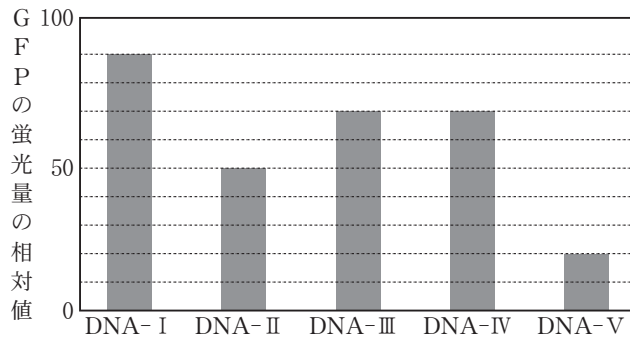


図4

[選択肢]

- ① 転写を促進する。
- ② 転写を抑制する。
- ③ 転写に影響しない。

問題 2 次の問1および問2に答えよ。(50点)

問1 体液量および体液に含まれる電解質の濃度は、さまざまな生理機能や生体環境の恒常性維持に重要であり、⁽¹⁾主に腎臓および各種内分泌臓器のはたらきにより調節されている。腎臓では、糸球体から(ア)へとろ過された原尿中の電解質が細尿管における輸送体を介して再吸収されることにより、体液中の電解質濃度や水分量の調節がおこなわれている。細尿管中において Na^+ などの無機イオン、グルコース、アミノ酸などが再吸収されると、細尿管内の浸透圧が低下し、原尿中の水分がアクアポリンと呼ばれるチャネルの一種を介して細尿管内から再吸収される。その結果、原尿の濃縮が起こる。発汗などにより体液中の水分量が減少して血しょう浸透圧が増加すると、(イ)から分泌されるバソプレシンが腎臓の集合管に作用してアクアポリンの発現を増加させる。⁽²⁾すると、水の再吸収が促進されて体液量が保持される。また、体液量が減少した場合には、(ウ)からホルモンの一種である(エ)も分泌され、集合管における Na^+ および水の再吸収を促進することにより、体液量を保持するようにはたらいっている。さらに、(エ)は⁽³⁾間脳視床下部にある飲水中枢に作用して渇きを感じさせ、飲水行動を誘発する。

(a) (ア)～(エ)にあてはまる適切な語句を答えよ。

(b) 下線部(1)に関連して、細胞内の Ca^{2+} はさまざまな生理機能の発現にかかわっており、例えば筋収縮には、筋細胞内における Ca^{2+} 濃度の増加が必須である。次のオ～サを、骨格筋が収縮する過程の順に並べ、記号で記せ。ただし、最後(7番目)はサとなる。

オ ミオシン頭部がアクチンフィラメントと結合する。

カ 筋小胞体から細胞質内へ Ca^{2+} が放出される。

キ トロポニンと Ca^{2+} が結合する。

ク 筋細胞の細胞膜にあるアセチルコリン受容体にアセチルコリンが結合する。

ケ 筋細胞の細胞膜にある電位依存性 Na^+ チャネルが開く。

コ 運動ニューロンからアセチルコリンが放出される。

サ 骨格筋が収縮する。

(c) 生まれつき多尿(尿の排出回数および排出量が異常に増える状態)の症状を示す2系統のマウス A 群および B 群について、下線部(2)に関する生理機能が悪くなっていることが疑われた。多尿の原因を明らかにするため、それぞれのマウス群に対し、次に示す実験 1 および実験 2 を実施した。実験結果より、マウス A 群および B 群について、多尿を示す原因として考えられるものを次の選択肢①～⑦の中からそれぞれ3つずつ選び、記号で答えよ。

実験 1 バソプレシンと同じ受容体に作用してバソプレシンと同じ効果を示すデスモプレシンという薬をマウスに投与し、多尿の症状が改善するか調べた。その結果、A 群のマウスは症状が改善しなかったが、B 群のマウスは症状が改善した。

実験 2 高浸透圧食塩水(高張液)をマウスの静脈内に投与してバソプレシンが分泌されるかどうか調べるため、高張液の投与後に採取した血液中のバソプレシン濃度と、投与前に採取した血液中のバソプレシン濃度を比較した。その結果、A 群のマウスは投与前に比べ投与後にバソプレシン濃度が増加した。一方、B 群のマウスは増加せず、高張液投与前と同程度の濃度であった。

[選択肢]

- ① バソプレシンの産生不全
- ② バソプレシンの分泌不全
- ③ バソプレシン受容体の活性化不全
- ④ アクアポリンの発現不全
- ⑤ アクアポリンの過剰発現
- ⑥ 集合管における水の再吸収不全
- ⑦ 中枢神経系における浸透圧を感知する細胞の感受性不全

(d) 下線部(3)に関連して、間脳視床下部には、飲水中枢以外にどのような機能をつかさどる中枢が存在するか、次の選択肢①～⑥の中からすべて選び、記号で答えよ。

[選択肢]

- ① 呼吸運動

- ② 血糖調節
- ③ 視覚
- ④ 体温調節
- ⑤ 随意運動
- ⑥ しつがい腱反射

問 2 血液中に存在するさまざまな物質は腎臓で選別され、糸球体でろ過されたのち、必要な物質は再吸収される。一方、再吸収されない老廃物は尿として排泄される。イヌリンとクレアチニンは腎臓で再吸収されない物質であるため、腎機能の検査に用いられている。イヌリンは糸球体のみでろ過されるが、クレアチニンは糸球体に加えて、血管から細尿管に分泌される。被験者 C と被験者 D の血しょうと尿の成分を調べたところ、表 2 の結果を得た。ただし、表 2 の成分の血しょう中の濃度と原尿中の濃度は同じとする。

表 2

	成分	血しょう (mg/mL)	尿 (mg/mL)
被験者 C	グルコース	1	0
	イヌリン	0.1	12
	クレアチニン	0.01	1.4
被験者 D	グルコース	5	60
	イヌリン	0.1	6

- (a) 被験者 C において、1 日につくられる原尿の量は何 mL か答えよ。また、求める過程も示せ。なお、尿の生成量は毎分 1 mL とする。
- (b) 被験者 C において、血管から細尿管に分泌されるクレアチニンの量は毎分何 mg か答えよ。また、求める過程も示せ。
- (c) 被験者 D の腎臓において、グルコースの再吸収量は毎分何 mg か答えよ。また、求める過程も示せ。なお、尿の生成量は毎分 2 mL とする。

問題 3 次の文章を読み、問1～問7に答えよ。(50点)

カエルの卵は、植物極側に卵黄が多く含まれる(ア)卵である。精子が卵の動物極側に進入すると、精子の中心体のはたらきによって、卵細胞の表面に近い部分が、その下の細胞質に対して約 30° 回転する。この回転によって精子の進入点とは反対側の卵の表面に、周辺とは色の異なる(イ)ができる。このとき、母性因子として植物極側に局在しているディシェベルドと呼ばれるタンパク質も(イ)の部分に移動する。一方、 β カテニンの mRNA は、母性因子として卵全体に貯えられており、これが翻訳されることによって卵全体で β カテニンがつくられる。 β カテニンはある種の酵素によって分解されるが、ディシェベルドの作用により(イ)の側で高く、反対側で低くなるような濃度勾配を形成する⁽¹⁾。卵割が進むと、それぞれの細胞において β カテニンは核に移動して調節タンパク質としてはたらき、背側に特徴的なさまざまな遺伝子の発現を引き起こす。すなわち、カエルの背腹軸は、精子の進入位置によって決まることになる。前後軸は、おおよそ(A)と(B)を結ぶ軸に一致するので、左右軸もともに決まる。

アフリカツメガエルの胞胚の植物極側には、VegT と呼ばれる調節タンパク質が局在しており、 β カテニンとともに、中胚葉誘導を起こすノーダルと呼ばれる分泌タンパク質の遺伝子の発現を促進する⁽²⁾。原腸胚期に入ると、(イ)のあった場所の植物極寄りにできた(ウ)から、胚表面の細胞が胚の内部に入り込むが、(ウ)の動物極側の細胞は、胚の内部に入るとすぐに動物極寄りに折り返して、胚の表面を裏打ちする⁽³⁾。すると、植物極側から胚の内部に入った細胞層との間に空間ができ、これが原腸となる。原腸形成が進むと、胚の細胞は、外胚葉、中胚葉、内胚葉の3つの胚葉に区別される⁽⁴⁾。

神経胚期に入ると、胚の背部の外胚葉から分化した神経板は、やがて神経管を形成し、外胚葉から分化する表皮になる部分と切り離される。これは、表皮になる部分と神経板では、異なる種類の細胞接着分子である(エ)がつくられていて、同じ種類の(エ)どうしが結合することによる。このとき、神経管と表皮の境目から(オ)と呼ばれる細胞群が生じ、胚の内部に遊走する⁽⁵⁾。

問 1 (ア)～(オ)にあてはまる適切な語句を答えよ。

問 2 (A)および(B)にあてはまる適切な語句を、本文中から抜き出して答えよ。

問 3 下線部(1)の濃度勾配は、ディシェベルドのどのような作用によって形成されるか、1行で答えよ。

問 4 下線部(2)に関連して、次の問に答えよ。

- (a) 中胚葉誘導とはどのような現象か、2行以内で説明せよ。
- (b) ノーダルは胞胚において将来内胚葉に分化する領域に分布するが、背側と腹側でどちらの濃度が高いか、その理由とともに1行で答えよ。

問 5 下線部(3)に関連して、次の問に答えよ。

- (a) (ウ)の動物極側にあり、神経誘導を引き起こす形成体としてののはたらしきをもつ部分はどこか、名称を答えよ。
- (b) (a)で答えた部分は、神経胚においてはおもに何という組織に分化しているか、名称を1つ答えよ。
- (c) (a)の形成体はノギンやコーディンと呼ばれるタンパク質を分泌するが、これらのタンパク質は、胞胚全体に均一に存在するBMPと呼ばれるタンパク質に結合する。将来外胚葉に分化する領域の細胞には、BMPの受容体が存在するが、この受容体にBMPが結合した細胞は表皮に分化する。形成体が分泌するノギンやコーディンによって、動物極側の細胞から神経組織が誘導されるしくみを、2行以内で説明せよ。

問 6 下線部(4)に関連して、次の問に答えよ。

- (a) 図5は、原腸胚後期の胚の、動物極と植物極を通る正中面の模式図である。中胚葉に相当する部分を黒く塗りつぶせ。

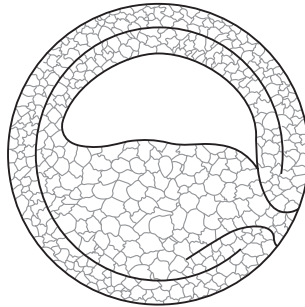


図5

- (b) 中胚葉から分化するものを、次の選択肢①～⑥の中からすべて選び、記号で答えよ。

[選択肢]

- ① 脊髄 ② 心臓 ③ 肝臓 ④ 腎臓 ⑤ 肺
⑥ 骨格筋

問 7 下線部(5)に関連して、次の問に答えよ。

- (a) (オ)が表皮や神経管から遊離することから、(オ)における(エ)の発現はどのようになっていると考えられるか、1行で答えよ。
- (b) (オ)は後にどのような器官あるいは細胞に分化するか、1つ答えよ。

問題 4 次の文章を読み、問1～問8に答えよ。(50点)

生物群集では、異なる生物種の個体群がお互いに関係し合いながら生活しており、このような生物の関係を種間の相互作用⁽¹⁾という。生物群集において、ある種が生活空間、食物連鎖、活動時間などのなかで占める地位を(ア)という。(ア)の重なりが大きい種間では激しい競争を生じ、一方の種が他方の種を駆逐する競争的排除が生じることがある⁽²⁾。一方、競争関係にある種にそれらを捕食する種が加わると共存する場合もある。例えば、岩礁潮間帯の生物群集で、捕食者であるヒトデを実験的に取り除いたところ、この生物群集の種類が15から8に減ったことが観察された。従って、捕食者のヒトデが存在することによって、同じ岩礁を生活場所とする多くの種が共存できるようになっていたと考えられる⁽³⁾。この実験におけるヒトデのように、ある生物群集のバランスを保つのに重要な役割を果たす上位の捕食者を(イ)という。また、本来競争関係にある種間であっても、(ア)が変化して生活空間や食物が重ならなくなり、それらの種が共存できるようになる場合がある。このうち、生活空間を変えることで共存していることを(ウ)、食物を変えることで共存していることを(エ)という。さらに、中規模のかく乱が一定の頻度⁽⁴⁾で起こることが生物群集内に多数の種を共存させるという考えもある。

生物の多様性は人類の文明の発展とともに急速に失われており、世界的に大きな問題となっている。生物多様性を減少させる原因はさまざまである。例えば、人間の活動により生息地の分断や縮小が進むと個体群内の個体数が低下し、血縁が近い個体どうしの近親交配⁽⁵⁾が起こるようになる。近親交配の状態が続くと、産子数や産まれてくる子の生存率の低下をまねくことがある⁽⁶⁾。この現象を(オ)という。また、人間の活動によって、本来の生息場所から他の場所に移されて、そこに定着した生物を(カ)という。(カ)の中には、移入先で分布を広げて在来生物の激減や絶滅を引き起こすなど、その土地の生物多様性に大きな影響を与えるものがある⁽⁷⁾。

問 1 (ア)～(カ)にあてはまる適切な語句を答えよ。

問 2 下線部(1)に関連して、2種の生物の個体群の相互関係を表3に示す。

表3 2種の生物の個体群の相互関係

生物種 A の 個体群	生物種 B の 個体群	相互関係	具体的な例
—	—	競争	(サ)
(キ)	+	被食者—捕食者相互関係	(シ)
—	+	(ケ)	(ス)
0	+	(コ)	(セ)
(ク)	+	相利共生	(ソ)
0	0	中立	(タ)

利益を+, 不利益を-, どちらでもない場合を0で示す。

- (a) (キ)および(ク)にあてはまる適切な符号(利益は+, 不利益は-, どちらでもない場合は0)を答えよ。
- (b) (ケ)および(コ)にあてはまる適切な相互関係の名称を, 表3の相互関係に書かれているもの以外で答えよ。
- (c) (サ)～(タ)にあてはまる適切な例を次の選択肢①～⑥の中から選び, 記号で答えよ。

[選択肢]

- ① マメ科植物と根粒菌
- ② ヒトとマラリア病原虫
- ③ ライオンとハイエナ
- ④ 大型魚類とコバンザメ
- ⑤ シマウマとキリン
- ⑥ ウサギとキツネ

問 3 下線部(2)に関連して、以下の問に答えよ。

ゾウリムシ X, ゾウリムシ Y, ゾウリムシ Z を別々の容器で単独で飼育すると、それぞれ図 6 のような成長曲線を描いて増殖した。

- (a) 単独飼育と同じ条件で、ゾウリムシ X とゾウリムシ Y を同じ容器内で混合飼育すると、激しい競争が生じた。ゾウリムシ X とゾウリムシ Y はどちらも細菌を食物として摂取するが、ゾウリムシ Y はゾウリムシ X よりも小型で、細菌をより効率よく摂食することができる。このときの成長曲線として最も適切なものを、図 7 の A ~ F の中から 1 つ選び、記号で答えよ。ただし、実線はゾウリムシ X, 点線はゾウリムシ Y の成長曲線を示す。
- (b) 単独飼育と同じ条件で、ゾウリムシ X とゾウリムシ Z を同じ容器内で混合飼育すると、弱い競争が生じた。ゾウリムシ X は細菌を、ゾウリムシ Z は酵母を食物として摂取する。このときの成長曲線として最も適切なものを、図 7 の A ~ F の中から 1 つ選び、記号で答えよ。ただし、実線はゾウリムシ X, 点線はゾウリムシ Z の成長曲線を示す。

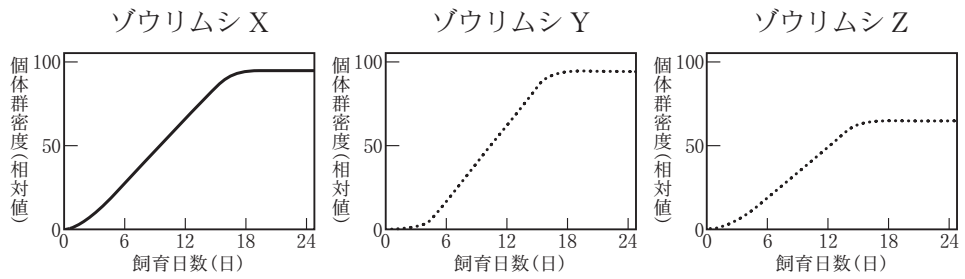


図6 単独飼育したときの成長曲線

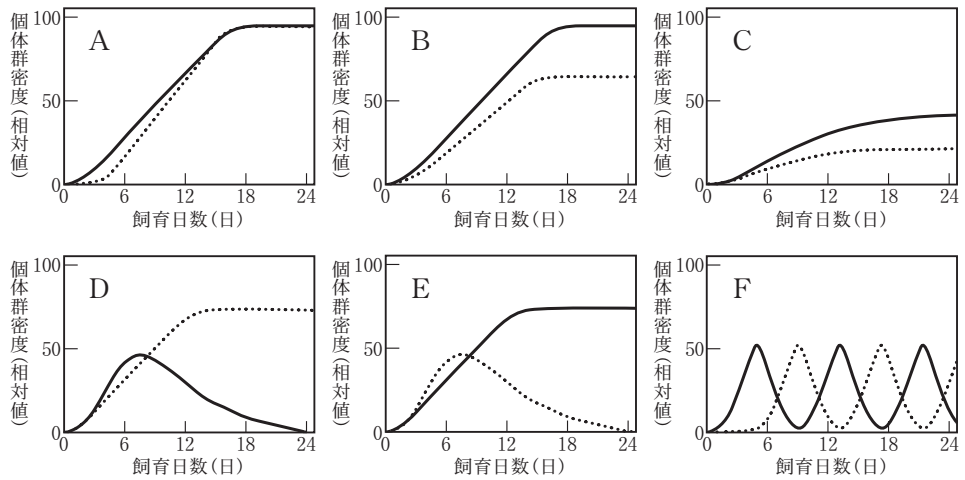


図7 混合飼育したときの成長曲線

問 4 下線部(3)に関連して、この岩礁潮間帯において、ヒトデの存在が多くの生物種の共存を可能にしているしくみについて、2行以内で説明せよ。

問 5 下線部(4)に関連して、以下の問に答えよ。

- (a) ここでいう「かく乱」とはどのようなものか、例をあげて1行で説明せよ。
- (b) 中規模のかく乱により多数の種が共存できるしくみについて、例をあげながら3行以内で説明せよ。

問 6 下線部(5)にあるように、個体群内の個体数が低下することで最初に減少する多様性はどれか、次の選択肢①～③の中から1つ選び、記号で答えよ。

[選択肢]

- ① 生態系の多様性
- ② 種の多様性
- ③ 遺伝子の多様性

問 7 下線部(6)に関連して、なぜそのような現象が起こるのか、2行以内で説明せよ。

問 8 下線部(7)に関連して、(カ)が在来生物の激減や絶滅を引き起こすしくみについて、「在来生物との競争」と「在来生物の捕食」以外で1つあげよ。

