

物 理 (その1)

第1問

図のように、なめらかで水平な床の上に直角三角形の形をした台を置く。台の直角になっている角には軽くてなめらかな滑車を取り付けてある。以下では、滑車も含めて単に“台”ということにする。

軽くて丈夫なひも的一端におもり P をその他端におもり Q をとりつけ、ひもを滑車にかけて、おもり P、Q を斜面にのせる。また、ひもは常に台の斜面と平行になっているものとする。台の図中での左右の斜面は共になめらかである。

おもり P の質量を m_1 、おもり Q の質量を m_2 、台の質量を M 、重力加速度の大きさを g とする。台の図中左側の傾斜角を θ (ただし、 $0 < \theta < 45^\circ$) とする。

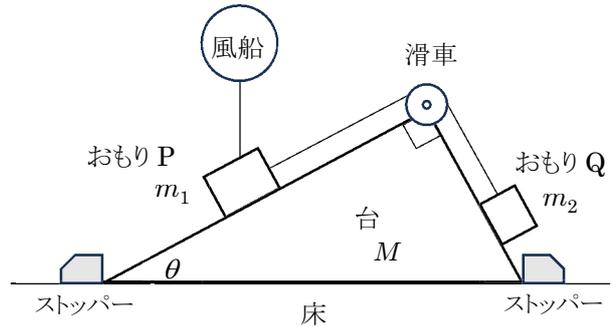


図1-1

[A] はじめ、台の左右にストッパーを設けて、台が床に対して滑らないようにする。

この状態で、おもり P に風船を軽い糸でとりつけて風船に働く浮力の大きさを調節し、おもり P、Q が斜面に接した状態で全体を静止させた。ここで、おもり P と風船をつなぐ糸は鉛直になっているとする。

- 問1 おもり P と Q を結ぶひもの張力の大きさを求めよ。
 問2 おもり P と風船を結ぶ糸の張力の大きさを求めよ。
 問3 おもり P が斜面から受ける垂直抗力の大きさを求めよ。
 問4 台が床から受ける垂直抗力の大きさを求めよ。

続いて、おもり P から風船を取り外し、おもり P と Q を静かにはなすとおもり P が斜面を下り始めた。このとき、

- 問5 m_1 は m_2 の何倍より大きいか答えよ。
 問6 おもり P と Q を結ぶひもの張力の大きさを求めよ。
 問7 おもり P の加速度の大きさを求めよ。

物 理 (その2)

[B] つぎに、台の両端に設置したストッパーを取り除いて、おもりと台の全体を静止させた後、静かにはなすと台とおもりが動き出した(図1-2)。おもり P の最初の斜面上の位置を点 A とする。点 B は斜面に沿って点 A から距離 L だけ下にある斜面上の点である。

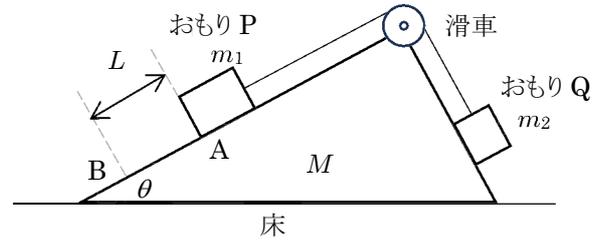


図1-2

問8 おもり P が点 A から斜面をすべって点 B に達する間に、台の重心が床に対して移動する距離を求め、さらに図中の左右どちら向きに動くか解答欄に「左向き」または「右向き」で答えよ。求める過程・考え方が分かるように説明を記述すること。

おもり P が斜面を下りている間における、斜面から見たおもり P の加速度の大きさを α 、床に対する台の加速度の大きさを β 、ひもの張力の大きさを T 、おもり P と台との間の垂直抗力の大きさを N_P 、おもり Q と台との間の垂直抗力の大きさを N_Q として、以下の問いに答えよ。

問9 おもり P が接する斜面から見た、おもり P の斜面方向の運動方程式を立てよ。

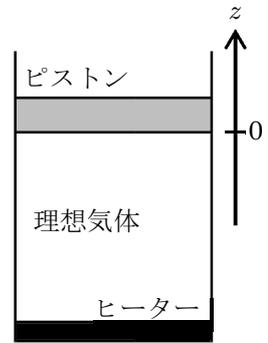
問10 おもり Q が接する斜面から見た、おもり Q の斜面方向の運動方程式を立てよ。

問11 床に対する台の水平方向の運動方程式を立てよ。

物 理 (その3)

第2問

図のように鉛直に立ったシリンダー内に質量 M のピストンで理想気体が封じられている。シリンダーとピストンは断熱材でできており、内部にヒーターが取り付けられている。ただし、ヒーターの熱容量は無視できるとする。ピストンは水平を保ちながらシリンダー内をなめらかに動くとする。最初、ピストンがつりあって静止した状態でシリンダー内の気体の圧力、体積、絶対温度はそれぞれ P_0 、 V_0 、 T_0 であった。図のように鉛直上向きを正として z 軸を取り、最初のピストンの位置を $z=0$ とする。シリンダーの断面積を S 、大気圧を P_A 、重力加速度の大きさを g とする。



まず、ピストンに鉛直上向きの外力を加え、力のつり合いを保ちながらゆっくりとピストンを引き上げた。その間、気体の温度が一定のままになるようにヒーターで熱を加えた。ピストンの位置が $z=h_1$ になったところでヒーターを停止しピストンを止めると、気体の圧力は P_1 になった。

- 問1 ピストンが $z=0$ から $z=h_1$ へ動く間に大気圧と重力がピストンにした仕事をそれぞれ求めよ。
- 問2 気体の内部エネルギーの増加量を求めよ。
- 問3 ピストンが $z=0$ から $z=h_1$ へ動く間に外力がピストンにした仕事を W としたとき、ヒーターで気体に与えた熱量を W 、 M 、 P_A 、 h_1 、 S 、 g で表せ。
- 問4 P_1 を P_0 、 V_0 、 S 、 h_1 で表せ。
- 問5 ピストンが $z=h_1$ にあるときの外力の大きさを P_0 、 V_0 、 S 、 h_1 で表せ。

つぎに、ヒーターを停止したまま、ピストンに働く力のつりあいを保ちながら外力の大きさを徐々に小さくするとピストンがゆっくりと動いた。外力の大きさが 0 になるとピストンは $z=h_2$ の位置で静止し、気体の絶対温度は T_2 になった。

- 問6 ピストンが $z=h_1$ から $z=h_2$ へ動く間に外力がピストンにした仕事を W' とする。 W' の正負について、選択肢 { (ア) 正、 (イ) 負、 (ウ) どちらともいえない } の中から正しいものを選び記号で答えよ。また、このときの気体の内部エネルギーの増加量を W' 、 M 、 P_A 、 h_1 、 h_2 、 S 、 g で表せ。

- 問7 比熱比を γ として、 h_2 と T_2 を V_0 、 T_0 、 S 、 h_1 、 γ のうち必要な記号を用いて表せ。
ただし、断熱変化における圧力と体積の関係 $(\text{圧力}) \times (\text{体積})^\gamma = (\text{一定})$ を用いてよい。

物 理 (その4)

第3問

最初、音源 A、観測者、音源 B が図のような順で直線上に並んで静止している。音源 A と音源 B はともに図中の左右に向けて振動数と音の大きさが等しい音波を同位相で発生する。音の減衰は無視でき、互いの音は互いの音源によって反射、吸収されることなく通過する。音源 A と音源 B が発生する音の振動数を f とし、音速を V とする。



まず、観測者が音源 B に向かって速さ v で走り始めた。

問1 観測者が観測する1秒あたりのうなりの回数を求めよ。

続いて、音源 B が速さ v_B で音源 A から離れる向きに走り始めた。このとき、観測者は音源 A と音源 B の間を走行中であった。

問2 観測者が観測する1秒あたりのうなりの回数を求めよ。

問3 音源 B がある速さのとき、うなりが聞こえなくなる。うなりが聞こえなくなるときの v_B を v と V で表せ。

さらに、音源 B が静止し音源 B へ向かって走行中の観測者も静止すると、音が全く聞こえなくなった。そこから音源 B に向かってゆっくり移動すると音が聞こえ始め、ある距離進むと聞こえる音の大きさが最大になった。さらに進むと再び音が小さくなり、聞こえなくなった。この音の大きさの変化は観測者が音源 B に達するまで繰り返し生じた。

問4 観測者が静止した地点からゆっくり移動して最初に音の大きさが最大になった地点までの距離を求めよ。

そして、観測者が音源 B を通過すると音が聞こえなくなった。

問5 音源 A と音源 B の間の距離を f 、 V 、 n ($n=1, 2, 3, \dots$) を用いて表せ。

物 理 (その5)

第4問

真空中に、右図(図4-1)のような2本の平行な金属レールと直線導線と導体棒 PQ でつくれた装置を考える。

点 O を原点として水平面上に xy 軸をとり、鉛直上向きに z 軸をとる。2本の平行なレールは xy 平面上で、一方が x 軸と重なり、もう一方のレールが $y=L$ になるように設置されている。直線導線は yz 平面上 $z=-h$ ($h>0$) の位置に y 軸と平行にあり、十分に長いものとする。この直線導線に流れる電流の大きさを I とする(以降、直線電流 I と呼ぶことにする)。導体棒 PQ には一定の大きさ i の電流が直線電流 I と同じ向きに流れているとする。導体棒 PQ の質量を M 、真空の透磁率を μ_0 、円周率を π 、重力加速度の大きさを g とする。導体棒 PQ は y 軸(および直線電流 I) に対して常に平行を保ったまま、なめらかに動くものとする。また、直線電流 I がつくる磁場以外の磁場の影響は無視できるものとする。

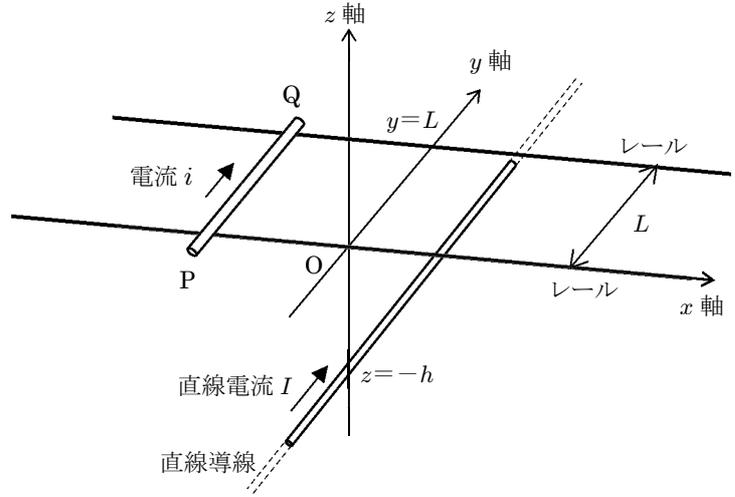


図4-1

問1 直線電流 I が、点 O につくる磁束密度の大きさを答えよ。

導体棒 PQ をレールの上に置き、 $x=A$ ($A>0$) の位置で静かに手をはなす。図4-2は横から(y 軸方向に)見た図である。

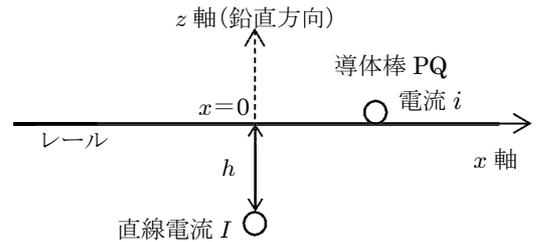


図4-2

問2 導体棒 PQ の x 座標が x のとき、導体棒 PQ が直線電流 I のつくる磁場から受ける力の大きさを求めよ。

問3 導体棒 PQ の x 座標が x のとき、導体棒 PQ がレールから受ける垂直抗力の大きさを求めよ。

問4 x 軸正の向きを力の正の向きにとり、導体棒 PQ の加速度を α として、導体棒 PQ の x 軸方向の運動方程式を立てよ。

問5 $A \ll h$ のとき、導体棒 PQ は単振動をする。この周期を求めよ。

物 理 (その6)

つぎに、直線電流 I と導体棒 PQ の位置を上下逆にする(図4-3)。図4-3は横から(y 軸方向に)見た図であり、図中の下向きが鉛直下向きである。

導体棒 PQ をレールの下側に接するように置き静かに手をはなす場合を考える。静かに手をはなす位置が点 O に近いとき、導体棒 PQ はレールに接した状態で運動を始めたが、手をはなす位置が $x > 2h$ にあるときにはレールから離れて落下した。

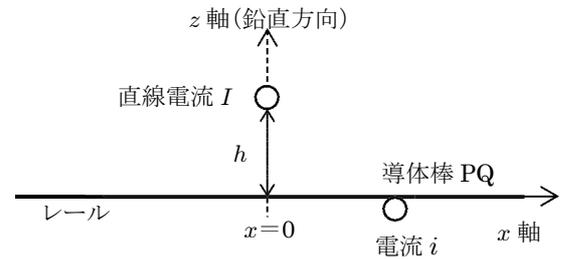


図4-3

問6 直線電流 I の大きさを求めよ。

問7 直線電流 I の大きさを前問で求めた大きさにする。導体棒 PQ の x 座標が x のとき、レールから受ける垂直抗力の大きさ $N_{PQ}(x)$ を x, M, h, g を用いて表し、さらに $-2h \leq x \leq 2h$ の範囲で、横軸を x にとって $N_{PQ}(x)$ のグラフの概形を描け。

化 学 (その1)

必要ならば、アボガドロ定数 $N_A=6.0 \times 10^{23}/\text{mol}$, $H=1.00$, $C=12.0$, $N=14.0$, $O=16.0$, $\text{Cu}=63.5$ の原子量, ファラデー定数 $F=9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$, 標準状態における気体のモル体積 22.4 L/mol を用いよ。

第1問 次の文章を読んで、以下の問い(問1～5)に答えよ。

原子、分子、イオンなどの粒子が規則正しく配列した構造をもつ固体を結晶という。結晶中の規則的な粒子の配列構造を結晶格子といい、結晶格子中の最小の繰り返し単位を単位格子という。一方、固体を構成する粒子の配列に規則性がみられず、無秩序なものを一般に(ア)といい、結晶とは性質が異なる。

原子どうしが金属結合で引きあい、規則正しく配列してできる結晶を金属結晶という。金属結晶の特徴として、金属光沢とよばれる特有の輝きがある。これは、(イ)のはたらきによって、外部からの光がよく反射されるためである。多くの金属結晶の結晶格子は、体心立方格子、面心立方格子、六方最密構造のいずれかの構造をとる。例えば、金属ナトリウムの結晶格子の構造は(ウ)であり、その単位格子に含まれるナトリウム原子の数は(エ)個である。

一方、イオン結合により形成された結晶をイオン結晶とよぶ。イオン結晶では、陽イオンと陰イオンが交互に規則正しく立体的に配列している。陽イオンAと陰イオンBからなるイオン結晶Cは、図1に示すような単位格子をとる。この単位格子では、陽イオンAが面心立方格子の位置に配列する。陰イオンBは、この単位格子を8等分してできる立方体のそれぞれの中心部に1個ずつ配列する。このイオン結晶Cの単位格子の一辺の長さを測定すると、 $6.2 \times 10^{-8} \text{ cm}$ であった。

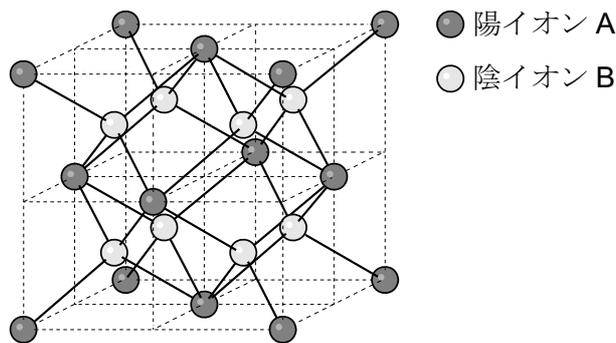


図1

化 学 (その2)

問1 (ア) ~ (エ) に適切な語句または数値を入れよ。

問2 イオン結晶 C の単位格子中に含まれる陽イオン A の数と、陽イオン A の配位数を答えよ。

問3 イオン結晶 C の組成式を A_xB_y (x と y は整数) の形で示せ。

問4 イオン結晶 C の単位格子において、陽イオン A と陰イオン B の間の結合距離は何 cm となるか。有効数字2桁で答えよ。ただし、陽イオン A と陰イオン B の間の結合距離は陽イオン A の中心と陰イオン B の中心との間の距離とし、必要に応じて、 $\sqrt{3} = 1.7$ の値を用いよ。

問5 イオン結晶 C の密度が 4.9 g/cm^3 であるとき、イオン結晶 C の式量はいくらか。小数点以下を四捨五入して整数で答えよ。ただし、 $(6.2)^3 = 238$ とする。

化 学 (その3)

第2問 次の文章を読んで、以下の問い(問1～4)に答えよ。

水素と酸素を化学反応させて、電気エネルギーとして取り出す発電装置を燃料電池という。図2に示すような水素—酸素系燃料電池は、その電極としては白金触媒を含む多孔質の炭素板などが使用され、2枚の電極に仕切られた容器に電解液(リン酸水溶液)が入っている。正極と負極にはそれぞれ気体の酸素と水素が供給され、反応後は水(水蒸気)と未反応の水素と酸素が排出される。燃料電池はとくに自動車の動力源として、近年開発が進められている。

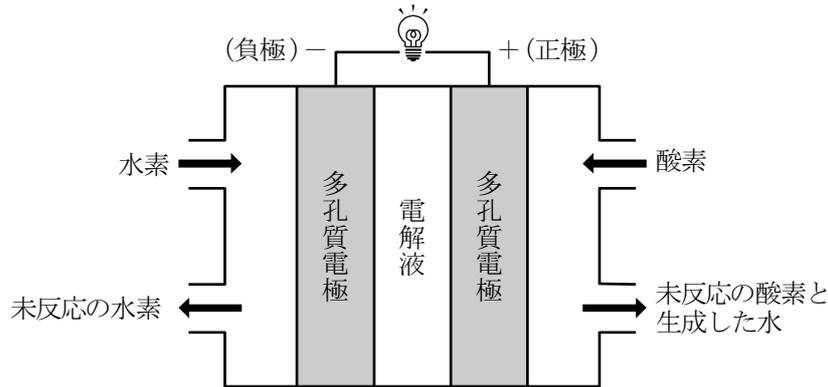


図2

- 問1 この電池の正極と負極で起こる反応を、それぞれ電子 e^- を含む反応式で記せ。
- 問2 1時間放電したところ、水が 3.60g 生成した。放電した電気量は何 C か。数値は、有効数字3桁で答えよ。
- 問3 水素を完全燃焼させることによって発生する化学エネルギーに対する電気エネルギーの比率を、エネルギー変換効率[%] という。問2の放電中における平均電圧が 0.500 V であるとして、この電池のエネルギー変換効率[%] はいくらか。数値は、有効数字3桁で答えよ。ただし、発生した電気エネルギー[J] は、放電した電気量[C] と電圧[V] との積で求められることを利用せよ。また、水素 1 mol が完全燃焼したときの燃焼エンタルピーを、 -286 kJ/mol とする。
- 問4 この燃料電池に供給する酸素源として空気を使用し、取り出した電流で硫酸銅(II)水溶液を電気分解したところ、銅が 12.7 g 析出した。この燃料電池に必要な空気の体積は標準状態で何 L か。数値は、有効数字3桁で答えよ。ただし、酸素は空気中の体積割合の 20.0 % とする。

化 学 (その4)

第3問 次の文章を読んで、以下の問い(問1～4)に答えよ。

中和滴定に用いる指示薬は、それ自身が弱酸や弱塩基であり、水溶液中で異なった色を示す分子とイオンが電離平衡の状態になっている。弱酸である指示薬を HA とすると、指示薬の分子 HA と指示薬のイオン A^- はそれぞれ特有の色をもつ。指示薬 HA の電離平衡の式と電離定数 K_a は次のようになる。



一般に指示薬では、色をもつ HA または A^- の濃度が、他方の濃度の 10 倍を超えるとその色を観察することができる。すなわち、 $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} < 0.1$ ならば HA の色が、 $\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} > 10$ ならば A^- の色が観察できる。よって、指示薬 HA の色の変化を観察できる範囲は、 $0.1 \leq \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \leq 10$ となるときであり、このときの pH の範囲を指示薬の変色域という。

問1 $\text{p}K_a = -\log_{10}K_a$ としたとき、指示薬の変色域を $\text{p}K_a$ を用いて表せ。

問2 指示薬 X は HA と表すことができる分子で、電離定数は $K_a = 8.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ である。指示薬 X の変色域を小数第1位までの数値で答えよ。ただし、 $\log_{10}2 = 0.30$ とする。

問3 問2の指示薬 X を使って中和点を知ることができるものを、次の①、②、③、・・・からすべて選び、番号で答えよ。

- ① 酢酸水溶液を 0.1 mol/L アンモニア水で滴定する。
- ② アンモニア水を 0.1 mol/L 塩酸で滴定する。
- ③ 希塩酸を 0.1 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液で滴定する。
- ④ 水酸化ナトリウム水溶液を 0.1 mol/L 酢酸水溶液で滴定する。

問4 中和滴定では指示薬を多量に用いてはならない。指示薬が HA で表すことができる分子である場合について、その理由を「電離」という語句を含めて 30 字以内で答えよ。

化 学 (その5)

第4問 a ~ eの化合物Xと化合物Yの組み合わせに関する以下の問い(問1 ~ 3)にもつとも適するものを, ①, ②, ③・・・から選び, 番号で答えよ。

問1 付加反応のみによる重合で高分子が生成する組み合わせはどれか。

	化合物X	化合物Y
a	アクリロニトリル	1,3-ブタジエン
b	アジピン酸	ヘキサメチレンジアミン
c	エチレングリコール	テレフタル酸
d	<i>p</i> -ジビニルベンゼン	スチレン
e	フェノール	ホルムアルデヒド

- ① a ② b ③ c ④ d ⑤ e
 ⑥ aとb ⑦ aとc ⑧ aとd ⑨ aとe ⑩ bとc
 ⑪ bとd ⑫ bとe ⑬ cとd ⑭ cとe ⑮ dとe

問2 同族体でない組み合わせはどれか。

	化合物X	化合物Y
a	アセトアルデヒド	ホルムアルデヒド
b	エタノール	1-プロパノール
c	エタン	ドデカン
d	オレイン酸	ステアリン酸
e	シクロペンタン	1-ペンチン

- ① a ② b ③ c ④ d ⑤ e
 ⑥ aとb ⑦ aとc ⑧ aとd ⑨ aとe ⑩ bとc
 ⑪ bとd ⑫ bとe ⑬ cとd ⑭ cとe ⑮ dとe

問3 ともに不斉炭素原子をもつ組み合わせはどれか。

	化合物X	化合物Y
a	アラニン	3-メチル-1-ブテン
b	クメン	イソプレン
c	グリセリン	乳酸
d	グルコース	2-ブタノール
e	3-ブロモペンタン	2-メチルブタン

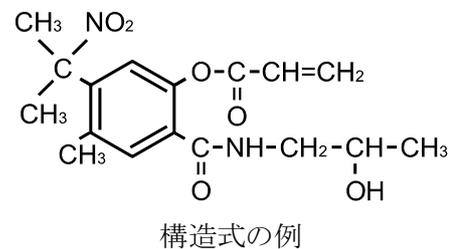
- ① a ② b ③ c ④ d ⑤ e
 ⑥ aとb ⑦ aとc ⑧ aとd ⑨ aとe ⑩ bとc
 ⑪ bとd ⑫ bとe ⑬ cとd ⑭ cとe ⑮ dとe

化 学 (その6)

第5問 次の文章を読んで、以下の問い(問1～3)に答えよ。

分子式 $C_{16}H_{14}O_4$ で示される化合物 A に 0.1 mol/L 塩酸を加えて反応させると、化合物 B, C, D の3種類の化合物が得られた。このうち化合物 B はキシレンを過マンガン酸カリウム水溶液で酸化させたときに生じる物質と同じであった。化合物 B を加熱することで、化合物 E と水分子が生じた。化合物 D は不飽和結合をもたなかった。化合物 A を 0.1 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液存在下で加熱した場合には化合物 D, F, G が生じた。化合物 G はベンゼンスルホン酸ナトリウムをアルカリ融解することでも得られた。化合物 C に臭素を十分反応させると化合物 H が生じた。

問1 化合物 D, E, H の構造を構造式の例にならって答えよ。



問2 化合物 C, F, G のうち、分液操作で水とジエチルエーテルを使用した場合、エーテル層に分配して抽出される化合物はどれか。すべてあげよ。

問3 以下のア～オの性質のうち、化合物 C, D にもっとも適するものを、①, ②, ③・・・から選び、番号で答えよ。

- ア 濃い溶液は皮膚をおかす。
- イ 金属ナトリウムと反応して水素を発生する。
- ウ 任意の比率で水と混ざりあう。
- エ 塩化鉄(Ⅲ)水溶液を加えると、紫色を呈する。
- オ 適切な濃度で水溶液は殺菌作用を示す。

- ① C のみにあてはまる
- ② D のみにあてはまる
- ③ 両方ともにあてはまる
- ④ 両方ともにあてはまらない

化 学 (その7)

第6問 直鎖状のペプチド X に関する実験 1～10 の記述を読んで、以下の問い(問 1～6)に答えよ。なお、下記にはペプチド X を構成するアミノ酸の情報を示す。

アミノ酸	略称	分子量
グリシン	Gly	75
グルタミン酸	Glu	147
システイン	Cys	121
チロシン	Tyr	181
リシン	Lys	146

- 実験 1** ペプチド X のアミノ酸組成を調べると、2 個のグリシン、2 個のシステイン、1 個のグルタミン酸、1 個のチロシン、1 個のリシンで構成されていることがわかった。
- 実験 2** ペプチド X の末端のアミノ酸を調べると、アミノ基側の末端はグリシンであった。
- 実験 3** ペプチド X を含む水溶液に、リシンのカルボキシ基側のペプチド結合を切断する酵素 Lys-C を加えると、アミノ酸 3 個からなるトリペプチド A とアミノ酸 4 個からなるテトラペプチド B が生成した。
- 実験 4** ペプチド X を含む水溶液に、グルタミン酸のカルボキシ基側のペプチド結合を切断する酵素 Glu-C を加えると、アミノ酸 2 個からなるジペプチド C とアミノ酸 5 個からなるペンタペプチド D が生成した。
- 実験 5** ペプチド X を酸化すると、ペプチド X 分子内でジスルフィド結合が形成され、ペプチド Y に変化した。
- 実験 6** このペプチド Y に、酵素 Glu-C および酵素 Lys-C を反応させると、ペプチド Y からジペプチド E が遊離した。
- 実験 7** トリペプチド A を含む水溶液に、濃い水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱した後、さらに酢酸鉛(II)水溶液を加えると黒色沈殿ができた。他のペプチド B, C, D のいずれかの 1 つのみを含む水溶液についても、同様の操作を行うとすべての溶液で黒色沈殿ができた。
- 実験 8** テトラペプチド B もしくはペンタペプチド D を含む水溶液に、濃硝酸を加えて熱すると呈色し、さらにアンモニア水を加えると色が変化した。一方、トリペプチド A もしくはジペプチド C を含む水溶液ではこの呈色はみられなかった。

化 学 (その8)

実験9 トリペプチドAとテトラペプチドBをpH = 8の水溶液に溶解し、陽イオン交換樹脂を詰めたカラムに流すと、一方が樹脂に結合せず溶出するため、2つのペプチドを分離することができた。

実験10 質量分析を行うと、ジペプチドCとペンタペプチドDの分子量はそれぞれ178と598であることがわかった。

問1 **実験8**の呈色反応を何というか。また、アンモニア水を加えたとき、どんな色が観察されるか。

問2 ペプチド水溶液に水酸化ナトリウム水溶液と少量の硫酸銅(II)水溶液を加えると、赤紫色に呈色する。この反応を何というか。また、この反応で赤紫色に発色するペプチドはA~Eのどれか。すべて選び、A~Eのアルファベットで答えよ。

問3 **実験9**で陽イオン交換樹脂に結合するのは、トリペプチドAとテトラペプチドBのどちらのペプチドか。また、結合したペプチドを溶出させる方法を10字以内で記せ。

問4 ペンタペプチドDのアミノ酸配列はどのような配列であるか。アミノ基末端側から略称を使い、配列を記せ。

例 : Glu - Cys - Gly - Tyr - Lys

問5 ペプチドYの分子量はいくらか。

問6 ペプチドXのみが溶解している水溶液中の窒素量を測定したところ、1Lあたり1.12gの窒素原子を含んでいた。何gのペプチドXが1Lに溶解しているか。有効数字3桁で答えよ。

生 物 (その1)

第1問 真核生物の転写制御に関する次の文を読み、以下の各問いに答えよ。

真核生物において遺伝子の転写は複雑に制御されている。真核生物の DNA は塩基性タンパク質であるヒストンに巻きついてヌクレオソームを形成し、さらに折りたたまれてクロマチンを形成する。⁽¹⁾ DNAのプロモーターに複数のタンパク質が結合し、そこに RNA ポリメラーゼがやってきて、⁽²⁾ 転写が開始される。クロマチンが凝縮していると RNA ポリメラーゼはプロモーターに結合しづらく、転写は抑制される。転写を促進するためにはクロマチンをゆるめる必要があり、その過程には⁽³⁾ ヒストンのメチル基修飾やアセチル基修飾が深く関与している。このように、クロマチンの高次構造の変化は転写制御の重要なしくみの1つである。

転写因子も転写制御に重要なはたらきを担っている。転写調節領域に結合した転写因子により、転写は促進されたり抑制されたりする。1つの遺伝子が複数の転写因子に制御されたり、1つの転写因子が複数の遺伝子の転写を制御したりする。

転写がこのような多段階の制御を受けることで、多細胞生物の細胞では、同じ遺伝情報を持ちながら⁽⁴⁾ 組織ごとに遺伝子発現のしかたが異なる。⁽⁵⁾ 転写因子の遺伝子に突然変異が起こると遺伝子の転写制御が乱れ、⁽⁶⁾ 細胞のがん化につながることがある。

問1 下線部(1)について、プロモーターに RNA ポリメラーゼが結合するきっかけをつくるこれら複数のタンパク質を何とよぶか、名称を記せ。

生 物 (その2)

問2 下線部(2)について,

i) 次の①～⑥から適当なものをすべて選び, 番号で記せ。

- ① 転写中の RNA ポリメラーゼは終止コドンに対応する配列を認識して, 鋳型鎖から離れる。
- ② DNA の 2 本鎖のうち, どちらが鋳型鎖になるかは遺伝子ごとに異なる。
- ③ RNA ポリメラーゼは転写にプライマーを必要としない。
- ④ 転写調節領域はプロモーターから離れた DNA 上に存在することがある。
- ⑤ 転写調節領域は各遺伝子に対して 1 つずつ存在する。
- ⑥ 転写された mRNA 前駆体は核外でキャップ構造とポリ A テールが付加される。

ii) アンチセンス鎖の塩基配列が 5'- TGGCACTAA -3' の場合, 転写された RNA の配列はどうなるか, 5' 側から記せ。

問3 下線部(3)について,

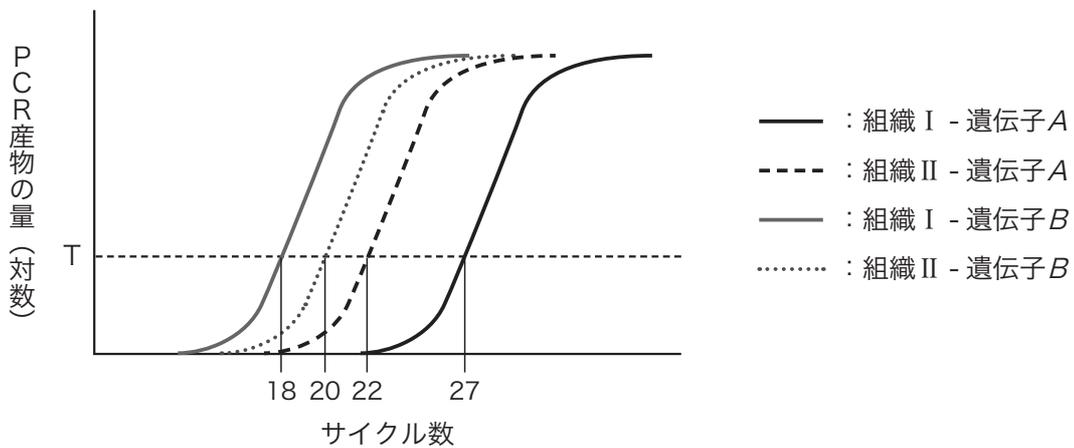
i) 塩基性タンパク質のヒストンにアセチル基が付加することで, ヒストンの正電荷が減少してクロマチン構造がゆるむ。ヒストンの正電荷が減少するとクロマチン構造がゆるむのはどうしてか, 簡潔に記せ。

ii) ヒストンのメチル基修飾やアセチル基修飾などによる転写の制御は, 個体の形質変化にも関与する。例えば一卵性双生児は同じゲノムをもつが, 体格や健康状態が同じになるとは限らない。このように, DNA の塩基配列の変化を伴わずに遺伝子発現が調節される現象およびその研究分野を何とよぶか, 名称を記せ。

生 物 (その3)

問4 下線部(4)について、マウスの組織Iと組織IIにおける遺伝子Aの転写量(mRNAの量)を比較するために以下の実験を行った。転写量の基準として、どちらの組織においても細胞あたりの転写量が同じである遺伝子BのmRNAを用いた。まず、採取した組織Iと組織IIからそれぞれ全mRNAを抽出し、これらのmRNAをもとにcDNAを合成した。次に、cDNAを鋳型として遺伝子Aと遺伝子Bのそれぞれの一部をPCR反応で増幅した。各PCR産物をサイクルごとに定量し、その値が一定量(T)になるまでのサイクル数を比較することでmRNAの定量を行った(図1)。ただし、遺伝子Aと遺伝子BのPCR産物の長さは同じである。また、図1は縦軸が対数の片対数グラフである。

図1



- i) 遺伝子Bのように、細胞の種類に関わりなく常に発現している遺伝子を何とよぶか、名称を記せ。
- ii) 遺伝子BのPCR産物の量がTになったのは、組織Iでは18サイクル目、組織IIでは20サイクル目であった。採取した組織Iに含まれていた細胞数は、採取した組織IIに含まれていた細胞数の何倍か。次の①～⑦から最も適当なものを1つ選び、番号で記せ。

- ① 1/8倍 ② 1/4倍 ③ 1/2倍 ④ 1倍
⑤ 2倍 ⑥ 4倍 ⑦ 8倍

生 物 (その4)

iii) 遺伝子 A の PCR 産物の量が T になったのは、組織 I では 27 サイクル目、組織 II では 22 サイクル目であった。遺伝子 A について、組織 II における細胞あたりの転写量は組織 I における細胞あたりの転写量の何倍か、整数で記せ。

問5 遺伝子発現はホルモンにより調節されることもある。糖質コルチコイドによる調節のしくみについて、次の ①～⑧ から適当なものをすべて選び、その過程を例にならって順に記せ。

例：⑩ → ⑫ → ⑪ → ⑨

- ① 糖質コルチコイドが細胞内にある受容体に結合する。
- ② 糖質コルチコイドが細胞膜にある受容体に結合する。
- ③ 糖質コルチコイドが細胞膜の脂質二重層を通過して細胞内に入る。
- ④ 糖質コルチコイドが直接 DNA に結合し、転写因子としてはたらく。
- ⑤ 糖質コルチコイドが細胞膜にあるチャネルを通過して細胞内に入る。
- ⑥ 活性化された G タンパク質が転写因子としてはたらく。
- ⑦ 受容体と結合した糖質コルチコイド複合体が G タンパク質を活性化する。
- ⑧ 受容体と結合した糖質コルチコイド複合体が転写因子としてはたらく。

問6 下線部 (5) について、ある遺伝子 C の遺伝子産物 C は、4 量体 ($4C$) を形成したときのみ転写因子として機能する。 C は 4 量体形成に必要な領域と転写制御に必要な領域をもつ。遺伝子 C の変異型である C' の遺伝子産物 C' は、4 量体形成に必要な領域は正常であるが、転写制御に必要な領域は変異して機能をもたない。この変異型遺伝子 C' と正常型遺伝子 C をヘテロにもつ細胞でつくられる 4 量体のうち、機能するもの ($4C$) の割合は何%か。数値は四捨五入して小数第 2 位まで記せ。ただし、この細胞において変異型 C' と正常型 C のタンパク質の量は同じものとする。

生 物 (その5)

問7 下線部(6)について、ある正常細胞で転写因子の遺伝子 D 、 E 、 F 、 G はほとんど転写されていないが、それががん化した細胞では遺伝子 D の転写量が著しく増加し、その影響下にある遺伝子 $E \sim G$ の転写量も増加していた。遺伝子 W 、 X 、 Y 、 Z は正常細胞で一定量の転写がみられたが、このがん細胞では転写因子 $D \sim G$ の影響を受け、その転写量は遺伝子 W と X は増加し、 Y は減少、 Z に変化はみられなかった(表1)。このがん細胞に対し、RNA干渉を用いて転写因子 $D \sim G$ の量を減少させたところ、遺伝子 $W \sim Z$ の転写量は表1のようになった。これらの結果から、遺伝子 $E \sim G$ 、 $W \sim Z$ の転写量は転写因子 D により図2のように調節されていることがわかった。

図2の(ア)～(キ)に入る遺伝子を記せ。ただし、(ア)～(ウ)は $E \sim G$ のいずれか、(エ)～(キ)は $W \sim Z$ のいずれかである。また、転写因子 $E \sim G$ は互いの転写に影響せず、遺伝子 D の転写にも影響しない。さらに、遺伝子 $W \sim Z$ の転写は、転写因子 $D \sim G$ 以外の影響を受けない。

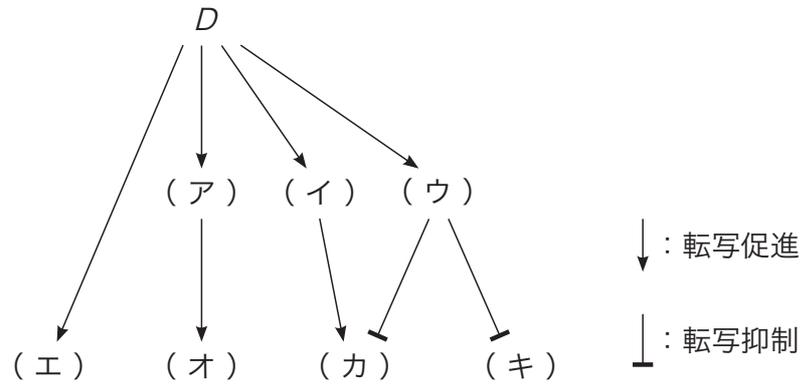
表1

細胞	RNA干渉	W	X	Y	Z
正常細胞	なし	++	++	++	++
がん細胞	なし	+++	+++	+	++
がん細胞	D をRNA干渉	++	++	++	++
	E をRNA干渉	++	+++	+	++
	F をRNA干渉	+++	+++	+	+
	G をRNA干渉	+++	+++	++	+++

(+ の数は転写量を表す)

生 物 (その6)

図2



生 物 (その7)

第2問 糖尿病に関する次の文を読み、以下の各問いに答えよ。

I型糖尿病患者Aさんの例

小学5年生のAさんは、家族でキャンプに行った際に夜尿(おねしょ)で寝袋をぬらしてしまった。小学校に入学した頃から夜尿をすることはなかったので、両親は少し心配になり、Aさんの日常生活を振り返ってみた。すると、トイレに行く回数が非常に多く、頻回に水を飲むようになっていた。また、⁽¹⁾以前に比べて異常なほど食欲があり、食事量が増えたにも関わらず、やせてきてズボンがゆるくなっていた。両親はこれらの症状が糖尿病でみられることを知っていたため、キャンプから帰宅後に受診させ、I型糖尿病であることが判明した。それ以来、Aさんは⁽²⁾インスリン注射器セットを携帯することになった。

II型糖尿病患者Bさんの例

若い頃からお酒と甘いお菓子が大好きだった自営業のBさんは、現在55才で身長160cm、体重92kg(肥満体型)である。最近、からだのだるさや頻尿に悩まされていたため病院で検査してもらったところ、II型糖尿病であることが判明した。

問1 腎臓と尿の生成について、

- i) 次の文の(ア)～(カ)に入るものはどれか。下の①～⑨から最も適当なものをそれぞれ1つずつ選び、番号で記せ。

腹部の大動脈から(ア)を通過して腎臓へと供給された血液は(イ)から(ウ)にろ過されて原尿となり、水は(エ)と集合管で再吸収される。集合管を通過した尿は(オ)から(カ)を通過してぼうこうにためられる。

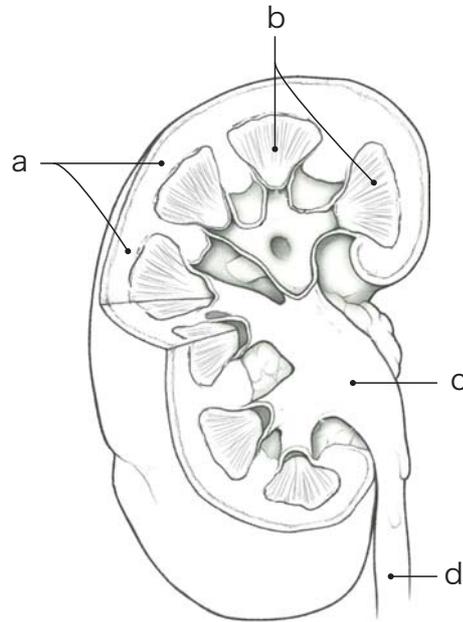
- | | | |
|-------|-------|----------|
| ① 細尿管 | ② 輸尿管 | ③ ボーマンのう |
| ④ 糸球体 | ⑤ 腎動脈 | ⑥ 腎静脈 |
| ⑦ 腎う | ⑧ 皮質 | ⑨ 髓質 |

- ii) i)の(イ)と(ウ)を合わせて何とよぶか、名称を記せ。

生 物 (その8)

iii) 腎臓の構造を図3に示す。図3の a ~ d が示す部分は何か。下の ① ~ ⑨ から最も適当なものをそれぞれ1つずつ選び、番号で記せ。

図3



- | | | |
|-------|-------|----------|
| ① 細尿管 | ② 輸尿管 | ③ ボーマンのう |
| ④ 糸球体 | ⑤ 腎動脈 | ⑥ 腎静脈 |
| ⑦ 腎う | ⑧ 皮質 | ⑨ 髓質 |

iv) ぼうこうにはたらきかけて排尿を促進する神経はどれか。次の ① ~ ④ から最も適当なものを1つ選び、番号で記せ。

- | | | | |
|--------|--------|--------|---------|
| ① 感覚神経 | ② 運動神経 | ③ 交感神経 | ④ 副交感神経 |
|--------|--------|--------|---------|

生 物 (その9)

問2 下線部(1)について、食事量が多いにも関わらず、Aさんがやせたのはどうしてか、簡潔に記せ。

問3 下線部(2)について、

i) インスリンのはたらきとして、次の①～⑤から適当なものを2つ選び、番号で記せ。

- ① 肝臓でのグリコーゲンの分解を促す。
- ② 肝臓でのグリコーゲンの合成を促す。
- ③ 骨格筋へのグルコースの取り込みを促す。
- ④ 血しょう中でグルコースを分解してATPを産生する。
- ⑤ 脂肪細胞での脂肪の分解を促す。

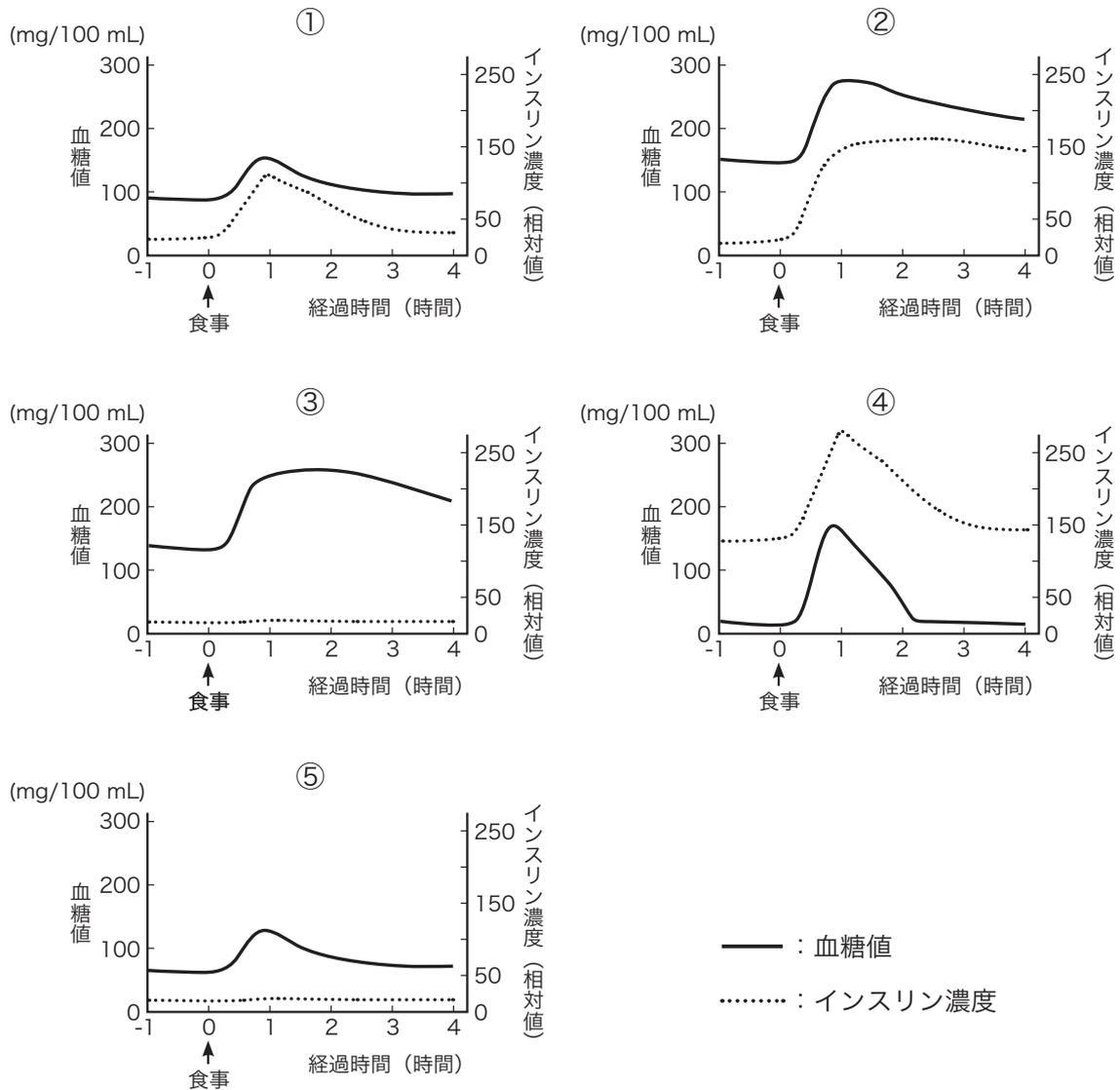
ii) 小春日和のある日、あなたはAさんを連れてサイクリングに出かけることになった。途中のパン屋で食事する予定だったので、その前の休憩時にAさんはいつもどおりインスリンを注射したが、パン屋が臨時休業だったため少し離れたレストランまで足を伸ばすことになった。ほどなく、Aさんはひどく汗をかき始めた後で意識がもうろうとして動けなくなってしまった。一番近い病院までは10 kmほどある。Aさんのカバンの中には予備のインスリン注射器セット、ラムネ菓子(グルコースが多く含まれている)、水、タオルが入っている。このとき、あなたがとる行動として最も適当なものはどれか。次の①～⑤から1つ選び、番号で記せ。

- ① 周囲の人に協力してもらい、かついで病院へ運ぶ。
- ② 予備のインスリン注射を打つ。
- ③ ラムネ菓子を食べさせる。
- ④ タオルを水でぬらしてからだを冷やす。
- ⑤ タオルで汗をふき、木陰でからだを休ませる。

生 物 (その10)

問4 治療前のAさんとBさんについて、食事前1時間から食事後4時間までの血糖濃度(血糖値)と血中インスリン濃度の時間変化を調べたところ、それぞれ異なる結果を得た。AさんとBさんの測定結果はそれぞれどれか、最も適当なものを図4の①～⑤から1つずつ選び、番号で記せ。ただし、測定前10時間は何も食べていない。

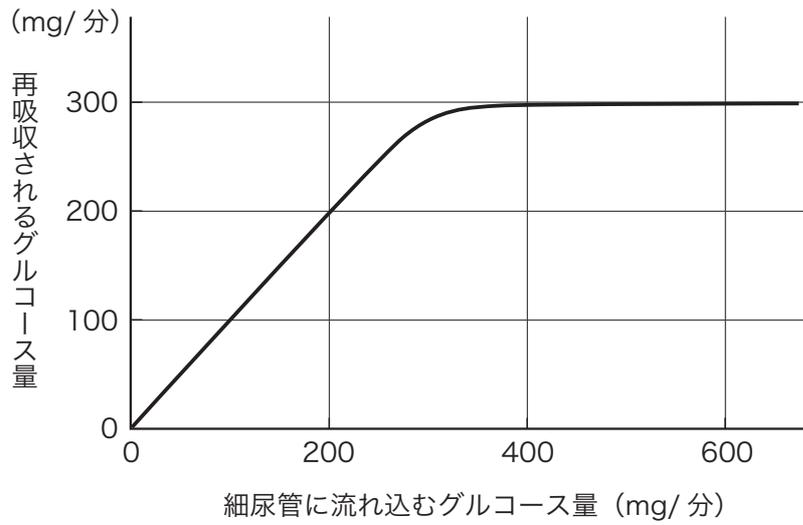
図4



生 物 (その11)

問5 1分間に細尿管に流れ込むグルコース量と細尿管で再吸収されるグルコース量
の関係を図5に示す。1分間に細尿管に流れ込むグルコース量と細尿管で再吸収
されずに排出されるグルコース量の関係はどうか、解答欄の図に実線で描け。

図5



生 物 (その12)

第3問 性と生殖に関する次の文を読み、以下の各問いに答えよ。

生物が新しい個体を生み出す過程を生殖とよぶ。配偶子をつくらずに親のからだの一部から新しい個体を生じる生殖法を (1) 無性生殖とよぶ。一方、雌雄2種類の配偶子が合体することにより、新しい個体生まれることを有性生殖とよぶ。(2) 有性生殖では配偶子をつくる際に減数分裂を伴う。(3) この過程で配偶子の多様性が生みだされる。(4) 有性生殖を行う動物の多くは雌雄が別個体(雌雄異体)だが、(5) 1つの個体が雌と雄の両方の生殖器官をもち(雌雄同体)、卵と精子をつくりだす動物もいる。

問1 下線部(1)について、ヒドラとジャガイモはどのような方法の無性生殖をするか、それぞれ名称を記せ。

問2 下線部(2)について、減数分裂の過程の一部を図6と図7に示す。

図6

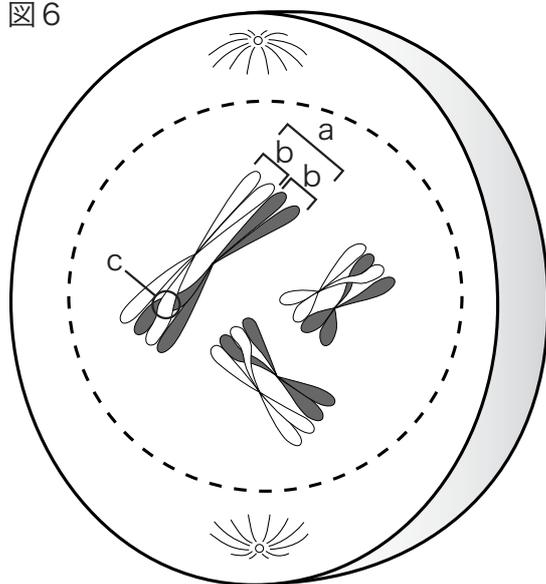
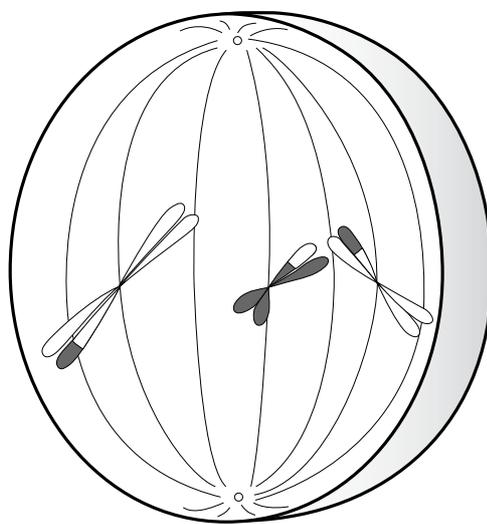


図7



生 物 (その13)

i) 図6と図7は減数分裂の過程のどの時期にあたるか。次の①～⑧から最も適当なものをそれぞれ1つずつ選び、番号で記せ。

- | | |
|----------|----------|
| ① 第一分裂前期 | ② 第一分裂中期 |
| ③ 第一分裂後期 | ④ 第一分裂終期 |
| ⑤ 第二分裂前期 | ⑥ 第二分裂中期 |
| ⑦ 第二分裂後期 | ⑧ 第二分裂終期 |

ii) 図6において、aは2つのbが対合して形成される。aとbをそれぞれ何とよぶか、名称を記せ。

iii) 図6のcで示した部位を何とよぶか、名称を記せ。

問3 下線部(3)について、減数分裂で多様性が生みだされるしくみを2つ簡潔に記せ。

生 物 (その14)

問4 下線部(4)について、雌雄異体の性は、配偶子をもつ性染色体の組み合わせにより受精時に決まることが多い。カイコガは性染色体としてZとWの2種類をもつ。

i) 性決定様式がZW型である生物を、次の①～④からすべて選び、番号で記せ。

① ニワトリ

② キイロショウジョウバエ

③ トノサマバッタ

④ ミノガ

ii) カイコガの雌と雄の性染色体の組み合わせをそれぞれ記せ。

iii) カイコガには油をしみこませた紙のように皮膚が透ける変異体(油蚕)がある。この変異は単一遺伝子によることがわかっている。油蚕の雌を正常蚕の雄と交配したところ、得られたF₁は雌雄ともにすべて正常蚕であった。F₁どうしを交配して得られたF₂の雌の分離比は正常蚕：油蚕＝1：1で、雄はすべて正常蚕であった。油蚕の原因遺伝子について、次の①～⑤から適当なものをすべて選び、番号で記せ。

① 顕性(優性)である。

② 潜性(劣性)である。

③ 常染色体上にある。

④ Z染色体上にある。

⑤ W染色体上にある。

問5 下線部(5)について、カタツムリのミスジマイマイは雌雄同体であるが自家受精ができない。雌雄同体であることが、ミスジマイマイの繁殖にとってどのような利点があるか、簡潔に記せ。