

令和 2 年度

前期日程

理 科 問 題

〔注 意〕

1. 問題冊子及び解答用冊子は、試験開始の合図があるまで開いてはいけない。
2. 問題冊子は、物理、化学、生物の順序で1冊にまとめている。

問題は $\left\{ \begin{array}{ll} \text{物理} & 2 \text{ ページから } 14 \text{ ページ} \\ \text{化学} & 15 \text{ ページから } 25 \text{ ページ} \\ \text{生物} & 26 \text{ ページから } 44 \text{ ページ} \end{array} \right\}$ にある。

ページの脱落があれば直ちに申し出ること。

3. 解答用紙は、物理3枚、化学4枚、生物4枚が一緒に折り込まれている。受験する科目の解答用紙をミシン目に従って切り離すこと。
4. 受験番号は、受験する科目の解答用紙の受験番号欄(1枚につき2か所)に1枚ずつ正確に記入すること。
5. 解答は、1ページの「理科の解答についての注意」の指示に従い、解答用紙の指定されたところに記入すること。
6. 問題冊子の余白は、適宜下書きに使用してもよい。
7. 配付した解答用紙は持ち帰ってはいけない。
8. 問題冊子は持ち帰ること。

令和2年度個別学力検査等

問題訂正

【 前期日程 理科（化学） 】

問題冊子 22ページ 上から 2行目

(誤)「・・・，空欄ア，イにあてはまる数値を有効数字3桁で答えよ。・・・」

(正)「・・・，空欄ア，イにあてはまる数値を答えよ。・・・」

「理科の解答についての注意」

理学部志願者

- 数学科，化学科，生物科学科生物科学コースを志望する者は，物理，化学，生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。
- 物理学科を志望する者は，物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。
- 生物科学科生命理学コースを志望する者は，物理と化学の2科目を解答すること。

医学部医学科・医学部保健学科(放射線技術科学専攻・検査技術科学専攻)・歯学部・薬学部志願者

物理，化学，生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。

医学部保健学科(看護学専攻)志願者

物理，化学，生物の3科目のうちから1科目を選んで解答すること。

工学部・基礎工学部志願者

物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。

物 理 問 題

（解答はすべて物理解答用紙に記入すること）

- 〔1〕 図1のような、斜面と半径 R の円周、および水平な面からなるトラック（運動の経路）がある。このトラック上の小物体（質量 m とする）の一連の運動を考えよう。点 A から円周を經由して点 E までトラックは滑らかであり、摩擦は無視できる。点 E から右側の水平面上では摩擦力が働き、小物体と水平面の間の動摩擦係数を μ とする。重力加速度を g とし、空気抵抗は無視できるとする。

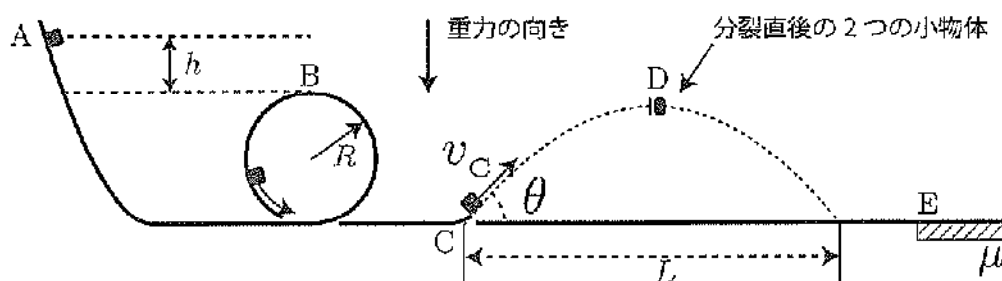


図 1

- I. 小物体を点 A から静かに放したところ、小物体はトラックに沿って運動し、円周内側から離れずに点 B を通過して、点 C まで運動した。点 B は円周の最高点であり、点 A との高さの差を h ($h > 0$) とする。

問 1 点 B での小物体の速度の大きさ v_B を、 g 、 h を用いて表せ。

問 2 小物体が円周から離れることなく円周に沿って運動するために必要な h の最小値 h_0 を、 R を用いて表せ。

- II. 図1のように、小物体は点 C で滑らかに運動の向きを変え、速度の大きさ v_C 、角度 θ ($0^\circ < \theta < 90^\circ$) で飛び出した。図1の点 C からの点線は、小物体がそのまま運動をつづけた場合の軌跡であり、この軌跡が水平面と再び交わる点の点 C からの距離を L とする。

小物体が最高点 D に達したとき、内部に仕込まれていたバネによって、小物体は突然 2 つの小物体に瞬時に分裂した。分裂後の小物体の質量は、それぞれ $\frac{1}{4}m$ と $\frac{3}{4}m$ であった。以後、軽い小物体、重い小物体と呼ぶ。軽い小物体の速度は分裂直後に 0 になった。また、分裂前にバネは圧縮されていて、このバネに蓄えられていた力学的エネルギーは、すべて、2 つの小物体の運動エネルギーに変換されたとする。バネの質量と長さは十分に小さく無視できる。

問 3 分裂後の 2 つの小物体が、それぞれ水平面に落下するまでの落下時間に関する以下の記述のうち、正しいものを (あ)～(お) から 1 つ選んで、解答欄に記入せよ。

- (あ) 落下時間はどちらも等しい。
- (い) 軽い小物体の落下時間は、重い小物体の落下時間の 3 倍である。
- (う) 重い小物体の落下時間は、軽い小物体の落下時間の 3 倍である。
- (え) 軽い小物体の落下時間は、重い小物体の落下時間の $\sqrt{3}$ 倍である。
- (お) 重い小物体の落下時間は、軽い小物体の落下時間の $\sqrt{3}$ 倍である。

問 4 重い小物体の分裂直後の速度の大きさ v_D を、 v_C 、 θ を用いて表せ。

問 5 軽い小物体が水平面に落下した点の、点 C からの距離を、 L を用いて表せ。

問 6 重い小物体が水平面に落下した点の、点 C からの距離を、 L を用いて表せ。

Ⅲ. 重い小物体が水平面に落下した直後、その速度の鉛直成分は 0 になり、速度の水平成分は落下直前の値を保った。その後、重い小物体は滑らかな水平面上を運動し、時刻 $t = 0$ に点 E を通過し、水平面から摩擦力を受けて減速し、時刻 $t = t_S$ に静止した。

問 7 静止した時刻 t_S を、 v_C 、 θ 、 μ 、 g を用いて表せ。

問 8 時刻 t ($0 \leq t \leq t_g$) における、重い小物体の点 B からの距離を x とする。時刻 t を、 v_c , θ , μ , g , x を用いて表せ。

IV. 分裂してできた 2 つの小物体のうち、軽い小物体は水平面に落下後、水平面上で静止した。また重い小物体は III. に示したような運動をして静止した。

問 9 点 A で静かに小物体を放したときから分裂後の 2 つの小物体が両方とも静止するまでに失われた、全ての力学的エネルギーの合計を、 m , g , h , R , θ を用いて表せ。

(計算用余白)

〔2〕 コンデンサー、コイル、抵抗、ダイオード、スイッチ、起電力 E の直流電源などからなる電気回路を考える。回路中の導線やスイッチの電気抵抗は十分に小さいとする。コンデンサーは平行平板コンデンサーであり、極板間は、最初、真空とする。

I. 図 1 のような電気回路がある。コンデンサー 1, 2, 3 の静電容量を、それぞれ C_1 , C_2 , C_3 とする。最初、コンデンサーの電荷は全て 0 で、スイッチは全て開いていた。

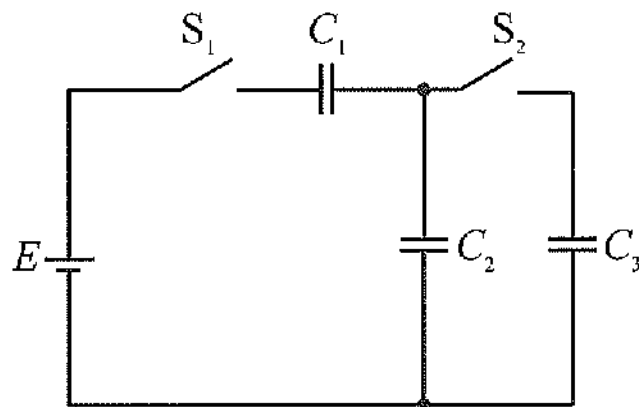


図 1

問 1 まず、スイッチ S_1 を閉じた。十分に時間が経った後、コンデンサー 2 の極板間の電位差が V_1 になった。 V_1 を、 E , C_1 , C_2 を用いて表せ。

問 2 次に、スイッチ S_1 を開いて、スイッチ S_2 を閉じた。十分に時間が経った後、コンデンサー 2 の極板間の電位差が V_2 になった。 V_2 を、 E , C_1 , C_2 , C_3 を用いて表せ。

問 3 その後、スイッチ S_2 を閉じたままスイッチ S_1 を閉じた。十分に時間が経った後、コンデンサー 2 の極板間の電位差が V_3 になった。 V_3 を、 E , C_1 , C_2 , C_3 を用いて表せ。

問 4 この状態で、コンデンサー 3 の極板間を、比誘電率 ϵ_r の誘電体で満たした。十分に時間が経った後、コンデンサー 2 の極板間の電位差が、コンデンサー 1 の極板間の電位差の 2 倍になった。このときの比誘電率 ϵ_r を、 C_1 、 C_2 、 C_3 を用いて表せ。

Ⅱ. 次に、図 2 の電気回路について考える。コンデンサーの静電容量を C 、コイルの自己インダクタンスを L 、抵抗の抵抗値を R とする。ダイオード D は、順方向に電流が流れるとき電圧降下はなく抵抗は無視でき、逆方向には電流が流れないとする。最初にスイッチ S_4 を開いたままスイッチ S_3 を閉じ、十分に時間が経った後、スイッチ S_3 を開き、その後スイッチ S_4 を閉じた。

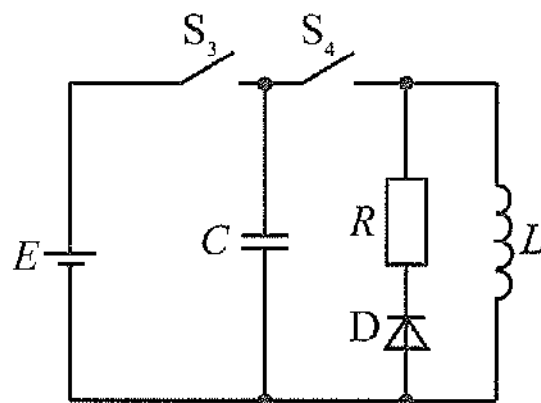


図 2

問 5 コイルに流れる電流は時間とともに変化した。電流の大きさの最大値 I_0 を、 E 、 C 、 L を用いて表せ。

問 6 コイルは単位長さ当たりの巻き数が n のソレノイドであった。このソレノイドコイルの内部における磁場の大きさの最大値 H_0 を、 n 、 I_0 を用いて表せ。

問 7 スwitch S_4 を閉じた時刻を $t=0$ とする。ダイオード D があるために、時刻 $t=0$ の後で磁場の大きさが最大になるまでの間は、この電気回路

はコンデンサーとコイルのみで構成されていると考えてよい。磁場の大きさが最大になる時刻 t_0 を、 L 、 C を用いて表せ。

- 問 8 コイルの電流の大きさが最大になった瞬間に、スイッチ S_4 を開いた。この後は、ダイオード D があるために、電流は抵抗に流れた。時刻 t_0 の微小時間 Δt 後には、電流の大きさが I_0 から $I_0 + \Delta I$ に変化した。 $\frac{\Delta I}{I_0 \Delta t}$ を、 L と R で表せ。

- 問 9 時刻 t_0 ($t \leq t_0$) までとその後 ($t > t_0$) の両方について、コイルに流れる電流の大きさの時間変化を表すものとして最も適切なグラフの概形を、図 3 中の (あ) ~ (う) と (え) ~ (か) からそれぞれ選び、解答欄 (a), (b) に記入せよ。

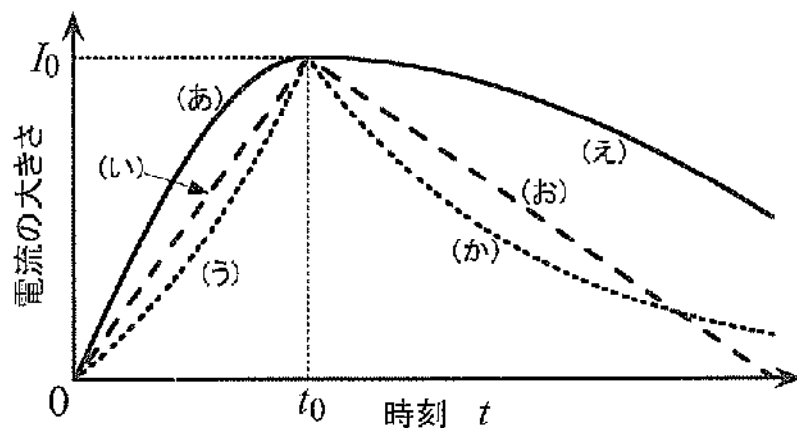


図 3

(計算用余白)

〔3〕以下のAとBの両方の問題に解答せよ。なおAとBは独立した内容の問題である。

A. なめらかに上下に動くピストン（質量と厚みは無視できる）がついた円筒状の容器内に、単原子分子の理想気体が1 mol 封入されている（図1）。この容器とピストンは熱を伝えない。容器内に、気体に熱を加えたり気体から熱を奪ったりできる熱制御装置が組み込まれている。熱制御装置の体積は無視できるほど小さく、かつピストンの運動を邪魔しないとする。図1のように z 軸を取り、 $z=0$ を容器の底面とする。はじめにピストンは $z=L$ の位置に静止しており、容器内の気体の圧力と温度は、それぞれ p_0 、 T_0 であった（図2の状態A）。容器外の気体の圧力は常に p_0 で一定である。気体定数を R とする。また、単原子分子の理想気体の圧力を p 、体積を V としたとき、断熱変化においては、 pV^γ は一定に保たれる。なお、 γ （ガンマ）は定数である。

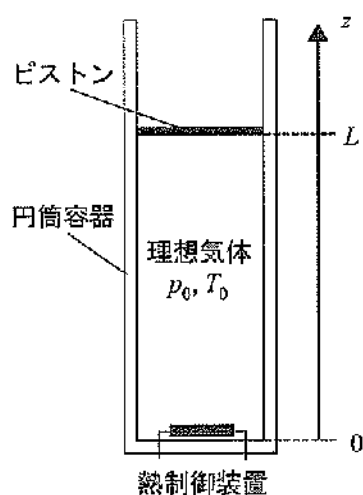


図1

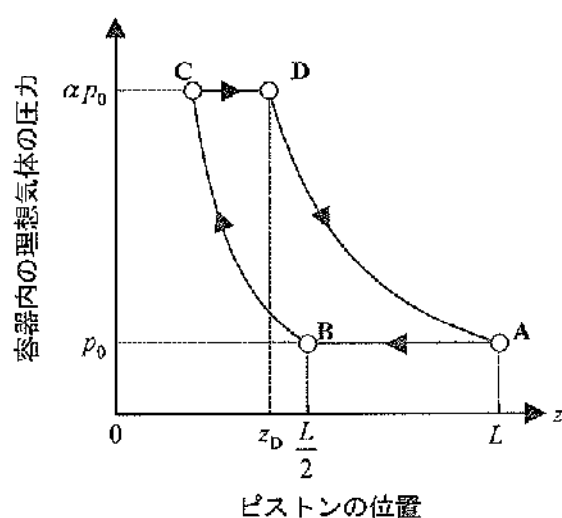


図2

問 1 ピストンが自由に動く状態で熱制御装置をある時間作動させると、ピストンがゆっくり動いて $z = \frac{L}{2}$ の位置で停止した (図 2 の状態 **B**)。状態 **B** における容器内の気体の温度 T_B を、 T_0 を用いて表せ。

問 2 過程 $A \rightarrow B$ において、容器内の気体に加えられた熱量 Q_1 (気体が吸熱した場合を正、放熱した場合を負とする) を、 R , T_0 を用いて表せ。

問 3 次に状態 **B** からピストンに徐々に力を加え、容器内の気体の圧力が αp_0 ($\alpha > 1$) になるまで、ゆっくりと断熱変化させた (図 2 の状態 **C**)。状態 **C** における容器内の気体の温度 T_C を、 T_0 , α , γ を用いて表せ。

状態 **C** から、容器内の気体の圧力が αp_0 に保たれるようにピストンに外力を加えたまま、熱制御装置を作動させ、ピストンの位置が z_0 に達した時点で熱制御装置を停止した (図 2 の状態 **D**)。さらに、状態 **D** から容器内の気体の圧力が p_0 となるまで、ピストンに加える外力を徐々に緩めながらゆっくり断熱変化させると、ピストンの位置が $z = L$ となり、状態 **A** に戻った。

問 4 過程 $C \rightarrow D \rightarrow A$ が実現するような z_0 を、 α , γ , L を用いて表せ。

問 5 過程 $C \rightarrow D$ において、容器内の気体に加えられた熱量 Q_2 (気体が吸熱した場合を正、放熱した場合を負とする) を、 R , T_0 , α , γ を用いて表せ。

問 6 この $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ のサイクルを用いた熱機関の熱効率 e を、 α , γ を用いて表せ。ただし e は、容器内の気体が熱制御装置から吸収した熱量に対する、気体が外部にした仕事の割合である。

問 7 $e \geq \frac{1}{2}$ を達成するために必要となる α の最小値 $\alpha_{\min}$ を求めよ。ただし、単原子分子の理想気体においては、 $\gamma = \frac{5}{3}$ であることを用いよ。解答には根号が残っていてもよい。

B. 光速が慣性系の選び方によらないことを明らかにしたマイケルソン・モーリーの実験や、近年の重力波の観測は、互いに直交する2つの長い経路を通った光の干渉を用いて行われた。次の簡略化したモデルを用いて、光の干渉について考えよう。

図3に示すように、レーザー光源から出る光を、ハーフミラー（半透鏡）Hを用いて経路Xと経路Yの2つに分けた後、鏡で反射させ、Hによって、同じ面Fに集めた。ハーフミラーは、光の一部を透過し、残りを反射する鏡である。経路Yを通った光を面Fに垂直に入射させ（入射角 0° ）、経路Xを通った光を十分に小さな入射角 θ で入射させた。その結果、2つの光が作る干渉縞が、面Fで観測された（図4）。レーザー光の経路は、指定がない限り、真空である。レーザー光の真空中での波長を λ とする。また、経路Xの途中には、長さ L の透明な容器Aが置かれていて、この容器内も最初は真空である。なお、レーザー光源に戻る光や面Fで反射する光は考えなくてよい。ハーフミラーHの厚みも無視してよい。レーザー光源は十分に幅の広い平面波を発生するものであり、面F付近で干渉を考える際も、平面波として取り扱ってよい。

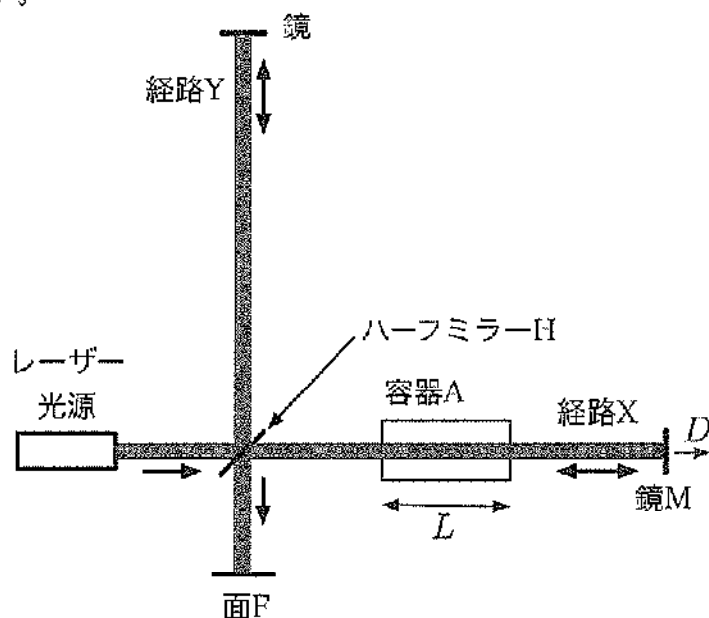


図3

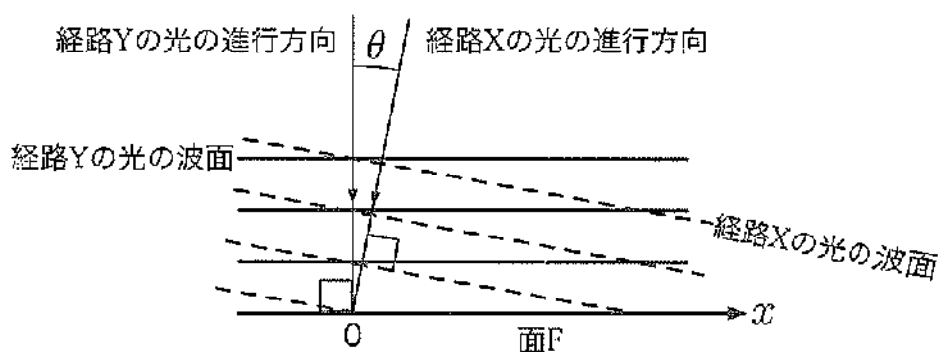


図 4

問 8 ある時刻に面 F に入射する波面の様子を拡大したところ、図 4 のようであった。なお図 4 では、 θ が誇張して大きく描かれている。面 F 上に図 4 のように x 軸をとる。経路 X を通り $x = 0$ に入射する光について、レーザー光源から測った光路長を ℓ とする。経路 X を通り面 F 上の任意の位置 x に入射する光の光路長を求めよ。ただし同じ波面上では、光源からの光路長は一定であるとせよ。

問 9 面 F に作られた干渉縞の間隔（明線の間隔）を求めよ。

問 10 干渉縞を観察しながら、経路 X の光を反射させる鏡 M を、ゆっくりと図 3 中の右方向に微小距離 D 動かした。その結果、経路 X を通る光の光路長は $2D$ だけ伸び、干渉縞は x 軸に沿って Δx_1 だけ動いた。 Δx_1 を符号も含めて答えよ。

問 11 干渉縞を観察しながら、容器 A に微小量のガスをゆっくりと入れ、容器 A 内の光の屈折率を $(1 + \alpha)$ とした。ただし α は正で十分に小さい。ガスを入れたことによって、干渉縞は x 軸に沿ってさらに Δx_2 動いた。 Δx_2 を符号も含めて答えよ。ただし、ガスを入れたことによる経路の変化は無視してよい。

問 12 光は電磁波の一種であり、その電場は正弦波で表すことができる。経路 X から面 F に入射する光の電場を E_X 、同じく経路 Y から入射する

光の電場を E_Y とする。 $x = 0$ において、 E_X , E_Y とも同じ向きで、 $E_0 \sin \omega t$ の時間変化をしていた。 t は時刻である。 ω は光の波の角振動数であり、振動数 f , 周期 T と、 $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ の関係にある。なお ω は 0 でない定数である。

2 つの光の干渉によって面 F 上に発生した干渉縞の明るさは x の関数であり、「2 つの光の電場の和の 2 乗の時間平均（十分に長い時間にわたる平均）」に比例する。この電場の和の 2 乗、すなわち $(E_X + E_Y)^2$ の時間平均 $I(x)$ を求めよ。なお、0 でない定数 a に対し、 $\sin at$ や $\cos at$ の時間平均は 0 だが、 $\sin^2 at$ や $\cos^2 at$ の時間平均は $\frac{1}{2}$ であることを用いてよい。

化 学 問 題

(解答はすべて化学解答用紙に記入すること)

【注意】

1. 必要があれば次の数値を用いよ。

Hの原子量 = 1.0

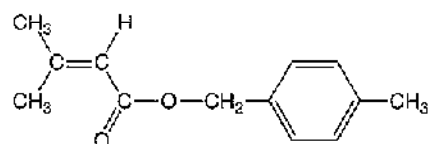
Cの原子量 = 12.0

Nの原子量 = 14.0

Oの原子量 = 16.0

2. 特にことわらない限り、構造式は以下の例にならって示すこと。

(例)



3. 体積の単位記号 L は、リットルを表す。

4. 文字制限のある解答は、下を示す例にならって書くこと。

(例)

α	—	グ	ル	コ	—	ス	を	5	.	0	×	1	0	-	²	g	/	L	の
N	a	N	O	₃	水	溶	液	に	溶	か	し	た	。						

〔1〕 以下の文章を読み、問1～問6に答えよ。

【1】

ハロゲン化水素(HF, HCl, HBr, HI)の沸点は、ア<イ<ウ<エの順に
高い。ハロゲン化水素の水溶液のうちフッ化水素酸のみが弱酸であるが、皮膚
に付着すると体内に侵入しやすく、重大な害を引き起こす。その害は、カルボ
ン酸のカルシウム塩を用いて処置することで抑制することができる。

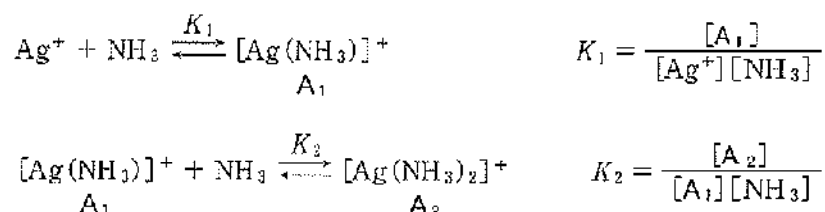
問1 下線部①のア～エにあてはまるハロゲン化水素を記せ。

問2 下線部①のようになる理由を50字以内で記せ。

問3 下線部②に関して、カルボン酸のカルシウム塩が有効である理由を40字
以内で記せ。

【Ⅲ】

アンモニア水溶液中における、 Ag^+ 、 $[\text{Ag}(\text{NH}_3)]^+$ 、 $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ の 3 種類のイオンの平衡状態を考える。なお、 $[\text{Ag}(\text{NH}_3)]^+$ を A_1 、 $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ を A_2 と表記することとする。



ここで K_1 、 K_2 はそれぞれの反応の平衡定数であり、 $[\text{X}]$ は物質 X の濃度を表す。なお、水溶液中の NH_4^+ および NH_3 の濃度の和は、銀イオンおよびアンモニアを含む銀の錯イオンの濃度の総和 $A_T (= [\text{Ag}^+] + [\text{A}_1] + [\text{A}_2])$ に比べはるかに大きく、アンモニウムイオンおよびアンモニアの濃度の総和 N_T に関して以下の近似が成り立つものとする。

$$N_T = [\text{NH}_4^+] + [\text{NH}_3] + [\text{A}_1] + 2[\text{A}_2] \approx [\text{NH}_4^+] + [\text{NH}_3]$$

問 4 溶液の pH を大きくすると $[\text{Ag}^+]$ は小さくなる。その理由を 50 字以内で記せ。

問 5 平衡状態における $[\text{Ag}^+]$ を、 K_1 、 K_2 、 A_T 、および $[\text{NH}_3]$ を用いて表せ。

問 6 平衡状態において $[\text{A}_1]$ と $[\text{A}_2]$ が等しくなる時の水素イオン濃度 $[\text{H}^+]$ を、 K_1 、 K_2 、 N_T 、水のイオン積 K_W 、およびアンモニアの電離定数 K_b のうち必要なものを用いて表せ。

〔2〕 以下の文章を読み、問1～問5に答えよ。

窒素酸化物である NO_2 と N_2O_4 は、気体状態において両者の平衡混合物(以下 $\text{NO}_2\text{-N}_2\text{O}_4$ と表す)として存在する。その熱化学方程式は次のように表される。



この化学平衡を調べるために、質量 w [g] の $\text{NO}_2\text{-N}_2\text{O}_4$ を容器に封入し、温度 T [K] と圧力 P [Pa] の関係のグラフを作成した。容器内の気体の温度は任意の値に設定可能である。また、可動ピストンにより容器の容積を変更することができ、ピストンは反応が平衡状態に達するのに要する時間よりも速く操作できる。ここで NO_2 と N_2O_4 は、それぞれ理想気体として扱えるものとする。気体定数を $R = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ 、 N_2O_4 のモル質量を $M = 92.0 \text{ g/mol}$ とする。

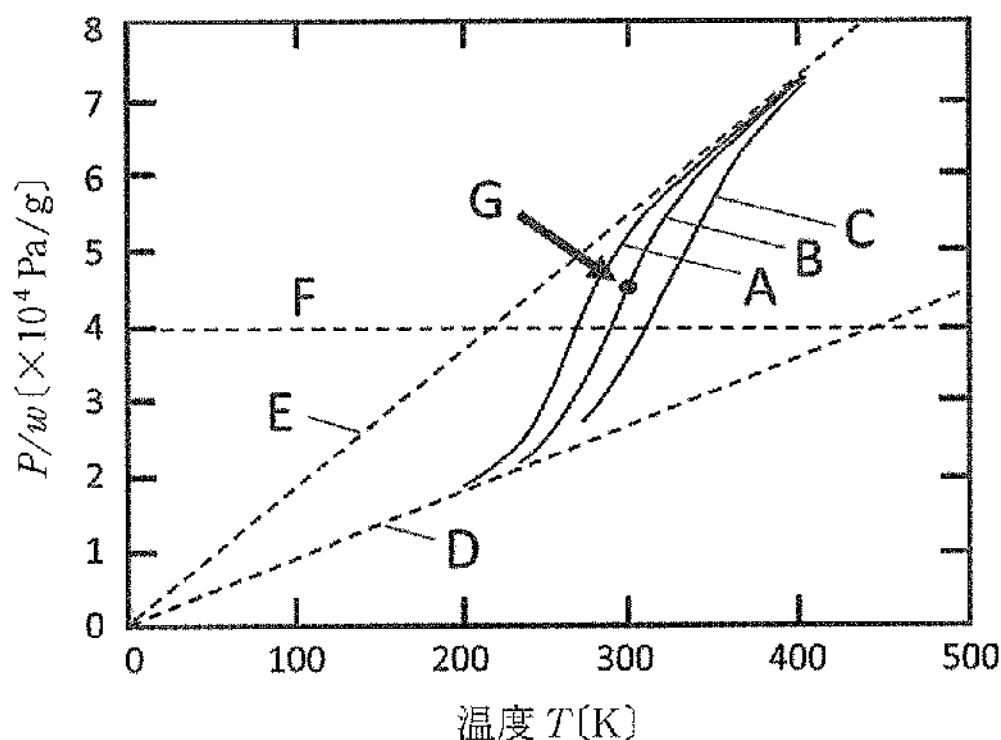


図1 P/w と温度 T の関係

実験 1

容積 1.0 L に設定した容器に $\text{NO}_2\text{-N}_2\text{O}_4$ を w (g) 封入し、圧力を質量で割った値 P/w (Pa/g) を縦軸、温度 T (K) を横軸にプロットした。ここで、用いる $\text{NO}_2\text{-N}_2\text{O}_4$ の封入量を w_A , w_B , w_C と変えて、異なる 3 つの実験 A, B, C を行い、図 1 に示した曲線 A, B, C をそれぞれ得た。これらの曲線が $P/w = 4.0 \times 10^4$ Pa/g を示す破線 F を横切る温度は、曲線 $A < B < C$ の順に高くなり、各交点における N_2O_4 の分圧に対する NO_2 の分圧の比の大小関係は a であった。また、これらの曲線は低温側では原点を通る直線 D に、高温側では原点を通る直線 E にそれぞれ漸近した。ここで、直線 E の傾きは b Pa/(g·K) である。

問 1 $\text{NO}_2\text{-N}_2\text{O}_4$ の封入量 w_A , w_B , w_C および a における分圧比の大小関係の正しい組み合わせを、下の表の①～④から選び番号で答えよ。

番号	封入量 w (mg)			各交点における分圧比の大小関係
	w_A	w_B	w_C	
①	9.2	92	920	曲線 $A < B < C$
②	9.2	92	920	曲線 $C < B < A$
③	920	92	9.2	曲線 $A < B < C$
④	920	92	9.2	曲線 $C < B < A$

問 2 下線部のようになる理由を 100 字以内で答えよ。

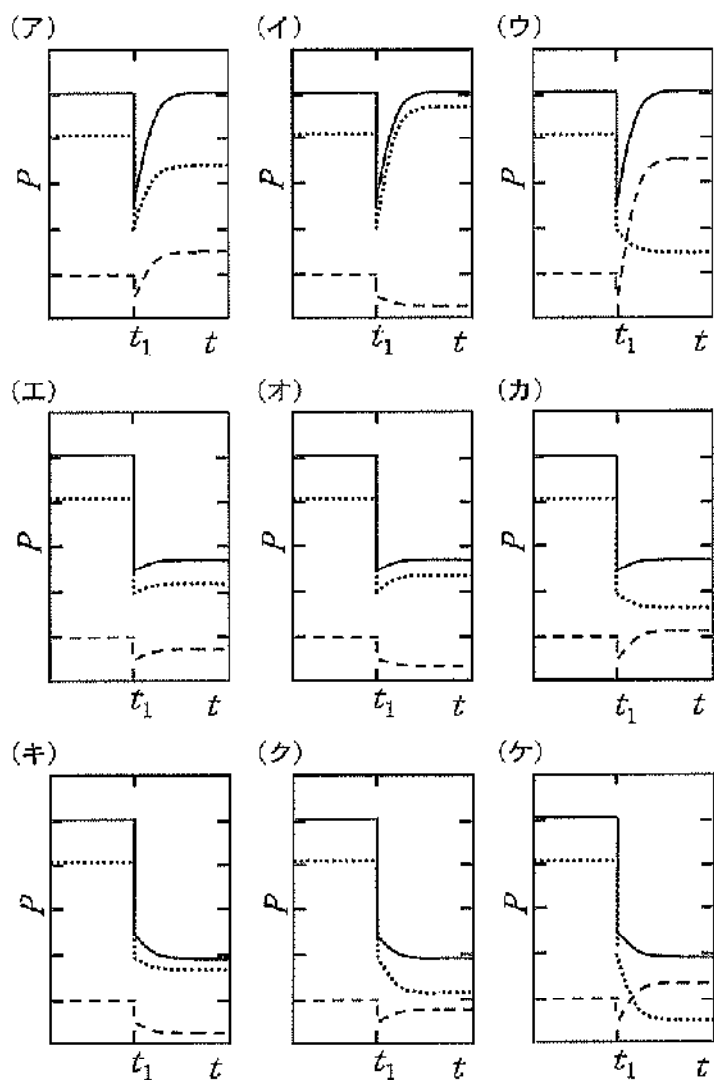
問 3 b に入る適切な値を有効数字 2 桁で求めよ。

問 4 NO_2 と N_2O_4 の平衡において、 N_2O_4 の解離度を α と定義する。仮に、 N_2O_4 が解離していない場合は $\alpha = 0$ 、全ての N_2O_4 が解離して NO_2 となったときは $\alpha = 1$ である。点 G ($T = 300$ K, $P/w = 4.53 \times 10^4$ Pa/g) における解離度 α を有効数字 2 桁で求めよ。解答欄には、計算過程も示せ。

実験 2

図 1 に示した曲線 B 上の点 G において、容器内の気体温度を 300 K に維持した状態で時刻 t_1 に素早くピストンを操作して容積を 1.0 L から 2.0 L に変化させた。

問 5 時刻 t_1 の前後において、全圧、 NO_2 の分圧、 N_2O_4 の分圧の時間変化をそれぞれ実線(—)、点線(⋯⋯)、破線(---)でプロットした。3 つの圧力の変化の様子を正しく示したものを (ア) ~ (ケ) から選べ。



〔3〕 以下の文章を読み、問1～問5に答えよ。

分子式 C_5H_8 で表される炭化水素の構造異性体を、二重結合を2つ含むもの(グループA)、二重結合を1つだけ含むもの(グループB)、二重結合を含まないもの(グループC)の3つのグループに分類した。それぞれのグループに属する化合物のうち、いくつかの構造式を図1に示した。

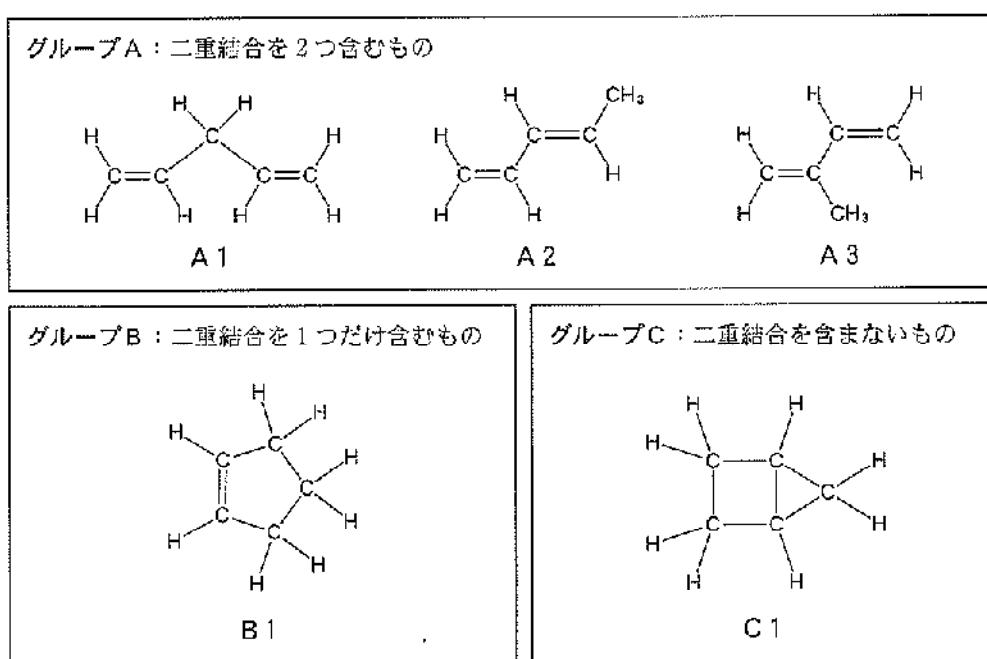


図1 分子式 C_5H_8 で表される化合物の分類
(それぞれのグループに属する化合物を全て示しているわけではない)

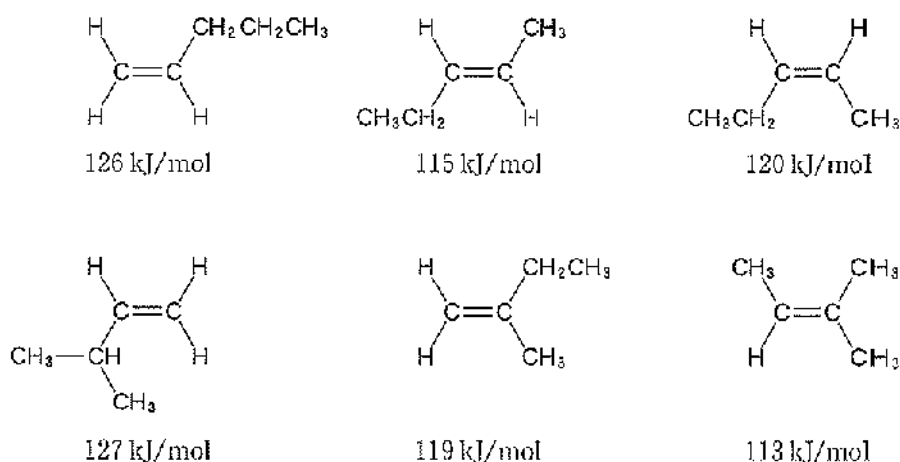


図2 5つの炭素からなる鎖状アルケン1 molに水素を付加したときに発生する熱量

問1 以下の文章について、下線部①に示した選択肢の中から適切なものを選ぶとともに、空欄ア、イにあてはまる数値を有効数字3桁で答えよ。なお、熱量の計算には、図2に示した水素化熱(アルケン1 molに対して水素を付加させたときに発生する熱量)の値を用いよ。

炭素原子のつながり方が同じであるアルケンの異性体間の相対的な安定性は、水素化熱を比較することにより理解できる。例えば、図2に示した水素化熱の値から、1-ペンテンとトランス-2-ペンテンでは、(1-ペンテンの方が安定である/トランス-2-ペンテンの方が安定である/安定性に差はない)①ことがわかる。グループAに属するA1は1-ペンテンと構造の類似した二重結合を2つ含むので、その水素化熱は $126 \times 2 = 252$ kJ/molと見積もられる。この値は実測値253 kJ/molとほぼ同じ値である。一方、A2の水素化熱は、A2に含まれるそれぞれの二重結合と最も構造の類似した2つのアルケンの水素化熱の値の和により(ア) kJ/molと見積もられる。しかし、A2の水素化熱の実測値は223 kJ/molであり、アの値とは大きく異なる。これは、A2の二重結合を形成する電子の一部が2つの特定の炭素原子上に局在化するのではなく、二重結合に関与する4つの炭素原子上のすべてに非局在化することにより安定化されているためである。A3の水素化熱を同様に計算し、実測値229 kJ/molとの差を求めることで、A3は二重結合上の電子の非局在化により(イ) kJ/mol安定化していると見積もられる。

問 2 A1 を 5 つの炭素からなる 2 価アルコールの脱水反応により合成したい。
A1 を選択的に得るために最も適切と考えられる 2 価アルコールの構造式を
答えよ。

問 3 B1 を水素化して生成するシクロペンタンと、それよりも 1 つ炭素数が多いシクロヘキサンの持つひずみについて考える。ある原子の二つの結合のなす角度を結合角という。結合角がメタンの結合角である 109.5° からずれることにより生じるひずみのことを角ひずみといい、その角度のずれが大きくなるほど角ひずみが大きくなる。正五角形、正六角形の一つの角度がそれぞれ 108° 、 120° であることをもとにすると(図 3)、シクロヘキサンはシクロペンタンよりも角ひずみが大きいと予想される。しかし実際には、シクロヘキサンは角ひずみをほとんど持たない。この理由を 40 字程度で記せ。

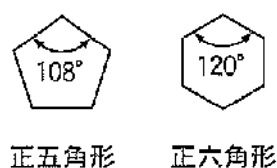
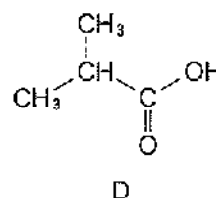


図 3

問 4 B1 以外でグループ B に属する化合物を水素化したときに生成する分子式 C_5H_{10} の化合物は 4 種類ある。それぞれの構造式を答えよ。ただし、互いに立体異性体の関係にある化合物は 1 種類の化合物とみなし、水素化の条件下では炭素—炭素単結合の開裂は起こらないものとする。

問 5 グループ C に属する化合物 C2 に硫酸水銀(II)を触媒として水を反応させた。そこで得られた化合物にヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えて温めると、黄色沈殿が生じるとともに、カルボン酸 D のナトリウム塩が生成した。化合物 C2 の構造式を答えよ。



〔4〕 以下の文章を読み、問1～問7に答えよ。

【1】

分子式が $C_{18}H_{16}O_4$ である化合物 A を酸性条件下でおだやかに加水分解したところ、3種類の化合物(B, C, D)が得られた。BとCは同じ分子式をもち、ともにベンゼン環を含んでいた。また、Dは水溶性の化合物であり、その組成式は CHO (原子数の比 $C:H:O = 1:1:1$) であった。これらの化合物を用いて以下の実験を行った。

実験(a) 化合物 B (108 mg) を完全燃焼させると、308 mg の二酸化炭素と 72 mg の水が得られた。

実験(b) 化合物 B を塩化鉄(Ⅲ)水溶液と反応させると、青色を呈した。一方、化合物 C を塩化鉄(Ⅲ)水溶液に加えても、呈色しなかった。

実験(c) 化合物 B を過マンガン酸カリウム水溶液で酸化すると、サリチル酸が得られた。

実験(d) 化合物 D (116 mg) を $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ に加熱すると、18 mg の水が発生するとともに五員環構造を含む化合物 E が 98 mg 得られた。

問 1 化合物 B と C の構造式を書け。

問 2 加水分解後に B と C は混合物として得られる。B と C を分液漏斗を使って確実に分離するには水層に何を加えればよいか、物質名を答えよ。

問 3 化合物 D と E の構造式を書け。

問 4 化合物 A の構造式を書け。

【Ⅱ】

デンプンやセルロースは、分子式が $(C_6H_{10}O_5)_n$ で表される天然高分子化合物である。

デンプン水溶液にヨウ素溶液を加えると青～青紫色に呈色する。そこにアミラーゼを加えて 35℃ に保つと、時間の経過とともに褐色を経て次第に薄い色^①へと変化していく。

一方、セルロースに希酸を加えて長時間熱すると、加水分解されてグルコースになる。また、セルロースに少量の濃硫酸存在下で無水酢酸を反応させて、全てのヒドロキシ基をアセチル化した後におだやかに加水分解すると、ジアセチルセルロースが得られる。^②ジアセチルセルロースをアセトンに溶かして紡糸したものは、アセテート繊維として利用されている。

問 5 下線部①について、アミラーゼの役割やデンプンの特徴的な分子構造を考慮して、色が薄くなる理由を 30 字程度で記せ。

問 6 セルロースを構成するグルコース単位の分子構造を、各置換基の立体的な配置がわかるように記せ。

問 7 下線部②の操作で、123 g のジアセチルセルロースを得るためには、無水酢酸 $(CH_3CO)_2O$ が何グラム必要であるか、答えよ。ただし、用いたセルロースの各ヒドロキシ基と無水酢酸は 1 : 1 の比で完全に反応するものとする。

生 物 問 題

(解答はすべて生物解答用紙に記入すること)

【注意】

字数制限のある解答においては、ひらがな、カタカナ、漢字、アルファベット、数字、句読点等の符号等、全ての文字を一つのマスに一つ記入すること。

〔 1 〕 以下の文章【A】～【C】を読み、問 1 ～問 7 に答えよ。

【A】

ウイルスは、それ単体では増殖することができず、宿主となる細胞に感染し、その感染細胞内で細胞の機構を利用することで増殖する構造物(微生物)である。ウイルスには、DNA に遺伝情報を持つ DNA ウイルスと、RNA に遺伝情報を持つ RNA ウイルスがある。RNA ウイルスの一種であるレトロウイルスは、ウイルスの増殖過程①で、宿主ゲノムに自身の遺伝情報を挿入する。

ある生物にウイルスが感染したときに、その生物のゲノムにとりこまれたウイルス由来の遺伝情報が次世代に引き継がれ、進化の過程で消失せず、その生物集団に固定されることがある。この現象をウイルス配列の「内在化」②という。

問 1 下線部①について、レトロウイルスが持つ特徴的な酵素がある。その酵素の特徴についての以下の文中の空欄に、それぞれ「DNA」、「RNA」、「タンパク質」のいずれかを埋めよ。

その酵素は、(1)を鋳型として、(2)を合成する。

問 2 下線部②の現象がヒトで起こるためには、ウイルスは少なくともある特徴を持った細胞に感染する必要がある。次の中から、そのような細胞を 1 つ選べ。

神経細胞、 シュワン細胞、 グリア細胞、 視細胞、 味細胞、
筋細胞、 卵原細胞、 赤血球、 ヘルパー T 細胞、 樹状細胞、
好中球、 細尿管細胞、 小腸上皮細胞、 血管内皮細胞

【B】

遺伝情報の変化が生物の生存に有利な影響を与えるとき、その変化した遺伝配列は自然選択によりその生物集団に広まっていく。その状態が十分長期間続くことで、その集団すべてがその配列を持つようになる。

図1は架空の生物スイタイヌ、ミノオイヌ、マチカネイヌ、ナニワイヌの系統樹である。スイタイヌ、ミノオイヌの祖先が分岐する前に(図1の矢印)、ある祖先ウイルスVの配列の一部がスイタイヌ、ミノオイヌの共通祖先のゲノムに内在化したとする。

別のウイルスWは、感染力が強く、感染した生物の寿命を短縮させる。現在、マチカネイヌとナニワイヌではウイルスWの感染が蔓延し、絶滅寸前である。一方、スイタイヌとミノオイヌではウイルスWの感染は一例も起こっておらず、今年からWが変異したウイルスW'が感染し、流行している。

単純化のために、4種のイヌ間で、内在化したウイルスV由来配列(内在性v配列)以外にウイルス感染に関与する遺伝情報の差異はなく、地理的隔離は生じなかったものとする。また、ウイルスV、W、W'は互いに影響を与えないものとする。

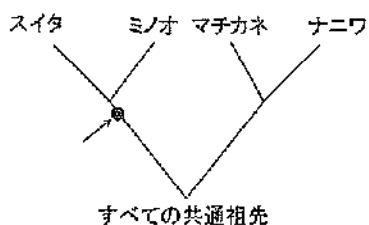


図1 4種のイヌの系統樹

(スイタ：スイタイヌ、ミノオ：ミノオイヌ、
マチカネ：マチカネイヌ、ナニワ：ナニワイヌ)

問 3 ゲノムに内在性 ν 配列を持つ現在の生物が、その配列を持つことで獲得していると考えられる形質を「ウイルス W」という語句を用いて 20 字以内で答えよ。

問 4 ウイルス W' とウイルス W とを比べたとき、ウイルス W' が獲得したと考えられる形質を、「内在性 ν 配列の影響」という語句を用いて 25 字以内で答えよ。

【C】

生物進化の過程を類推するために、相同なタンパク質のアミノ酸配列を比較した分子系統樹を用いる。表1は、4種の生物(ヒト, X, Y, Z)間における架空のタンパク質Hのアミノ酸配列を比較し、生物間で異なるアミノ酸の数を示したものである。図2は、この情報をもとに描いたタンパク質Hの分子系統樹である(枝の長さは必ずしも正確ではない)。ただし、これらの生物において、タンパク質Hは同じ働きを持ち、その進化速度は一定であるとする。また、これらの生物間で地理的隔離は生じなかったものとする。

	ヒト	X	Y	Z
ヒト	0	31	64	8
X		0	40	25
Y			0	55
Z				0

表1 タンパク質Hのアミノ酸置換数

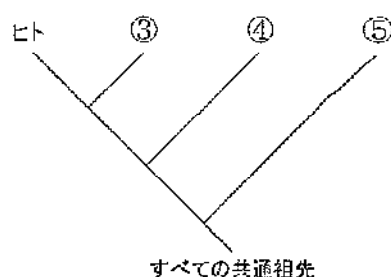


図2 タンパク質Hの分子系統樹

問5 系統樹における生物③, ④, ⑤は、それぞれ生物X, Y, Zのいずれであるか最も可能性が高いものを答えよ。

問6 ヒトと生物④の祖先が分岐した年代を1.3億年前とした時、ヒトと生物⑤の祖先が分岐した年代を答えよ。ただし、年代は表1のアミノ酸置換数を最も説明できるものを採択し、有効数字は3桁とする。

問7 生物③では、ヒトとの分岐後にタンパク質Hを指定する遺伝子hの重複が起こり、タンパク質H'を指定する遺伝子h'が形成された。ヒトのタンパク質Hと生物③のタンパク質H'を比較すると、40箇所のアミノ酸置換があった。なぜ、生物③のタンパク質HとH'で、ヒトのタンパク質Hとのアミノ酸置換数に差があるのか60字以内で説明せよ。

〔2〕 以下の文章【A】と【B】を読み、問1～問5に答えよ。

【A】

ニューロンは、軸索を介して他のニューロンとの間にシナプスを形成して、情報伝達を行う。シナプスでは、神経伝達物質により次の細胞へ一方向性の情報伝達が行われ、神経伝達物質を送る側の細胞をシナプス前細胞、受け取る側の細胞をシナプス後細胞という。興奮性シナプスは、シナプス伝達によって興奮性シナプス後電位を発生させ、活動電位の発生に関与する。抑制性シナプスは、抑制性シナプス後電位を発生させ、活動電位の発生を抑える働きをする。興奮性シナプスを形成するシナプス前細胞を興奮性ニューロン、抑制性シナプスを形成するシナプス前細胞を抑制性ニューロンとよぶ。

図1に4つの神経細胞からなるシナプス結合の例を示す。N1の神経細胞を刺激したところ、N4の神経細胞では、図2Aに示すような興奮性シナプス後電位が観察された。また、N2の神経細胞を刺激したところ、N4の神経細胞では、図2Bに示すような抑制性シナプス後電位が観察された。さらに、N1とN3の神経細胞を同時に刺激したところ、N4の神経細胞では、図2Cに示すような活動電位が観察された。N1、N2およびN3の神経細胞に与えた刺激の強さは同じであり、また、N4の神経細胞では、同じ時刻にシナプス後電位が発生するものとする。

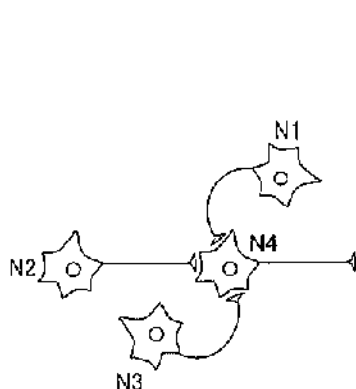


図1

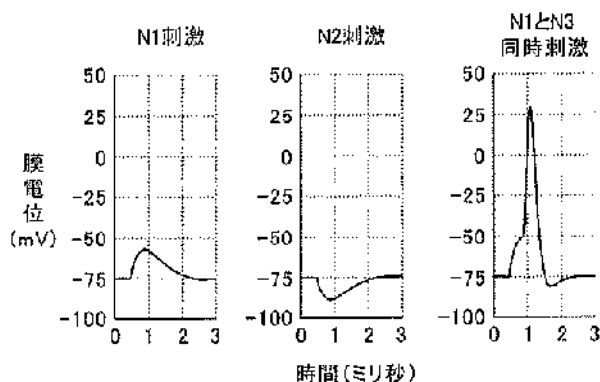


図2A

図2B

図2C

問 1 N1、N2 および N3 の 3 つの神経細胞を同時に刺激したところ、N4 の神経細胞では活動電位は発生しなかった。この理由を 40 字以内で述べよ。

問 2 N1 および N2 の神経細胞を同時に刺激したところ、N4 の神経細胞ではシナプス後電位はほとんど観察されなかった。問 1 の結果をふまえ、N3 の神経細胞を刺激した際、N4 の神経細胞ではどのような膜電位の変化が観察されると考えられるか。解答用紙のグラフに実線で記入せよ。

中枢神経系(脳・脊髄)では、興奮性ニューロンと抑制性ニューロンとが組み合わさり、複雑な神経回路を形成して多様な情報処理を担っている。興奮性と抑制性のシナプス結合をもつ神経回路の例を図3Aと図3Bに示す。図3Aのすべてのニューロンと図3BのI4以外のニューロンは、同一の興奮性ニューロンとする。図3BのI4の神経細胞は抑制性ニューロンである。ここでは、神経細胞の活動電位の発生パターンについて見るため、一つの興奮性ニューロンによるシナプス後電位で活動電位が生じるものとする。また抑制性ニューロンにより、シナプス後細胞での活動電位の発生が一定時間抑制されるものとする。

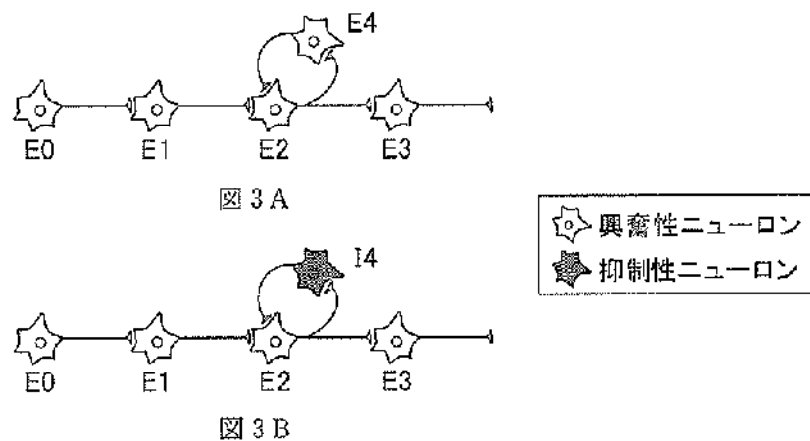


図3Aおよび図3Bの神経回路では、あるニューロンに活動電位が発生してから次のニューロンに活動電位が発生するまでの時間をすべて一定時間 t とする。E0の神経細胞で時間0から $2t$ ごとに活動電位が発生した場合、E1の神経細胞の活動電位の発生パターンは図4の縦軸実線のように表される。

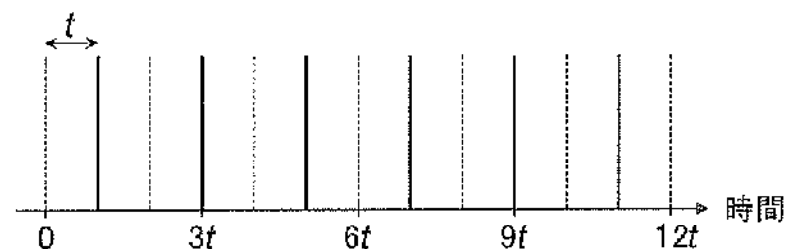


図4

問 3 神経細胞が図 3 A のような神経回路を形成しているとき、E 0 の神経細胞で時間 0 から $3t$ ごとに活動電位が発生した場合、E 3 の神経細胞の活動電位の発生パターンについて、図 4 の表示例を参考に解答用紙のグラフに実線で記入せよ。

問 4 抑制性シナプス後電位は、活動電位の発生を $2t$ 時間打ち消すものとする。神経細胞が図 3 B のような神経回路を形成しているとき、E 0 の神経細胞で時間 0 から $3t$ ごとに活動電位が発生した場合、E 2 の神経細胞の活動電位の発生パターンについて、図 4 の表示例を参考に解答用紙のグラフに実線で記入せよ。

【B】

図5に4つの興奮性ニューロンからなる神経回路を示す。A点で刺激を加えると、B点では25.5ミリ秒後に刺激を受容し、C点では23.5ミリ秒後に刺激を受容した。

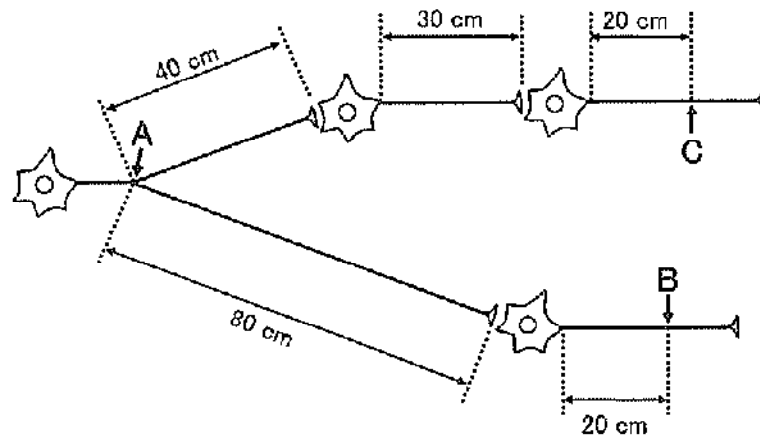


図 5

問 5 各神経細胞で興奮が軸索を伝導する速度、および神経細胞間で興奮がシナプスを介して隣接する神経細胞の細胞体に伝えられて興奮するまでの時間はそれぞれ同じであると仮定し、(ア)興奮が軸索を伝導する速度(メートル/秒)と、(イ)興奮がシナプスを介して隣接する神経細胞の細胞体に伝えられて興奮するまでの時間(ミリ秒)を求めよ。

〔3〕 以下の文章【A】～【C】を読み、問1～問3に答えよ。

【A】

外来遺伝子を組み入れた動物をトランスジェニック動物とよぶ。通常は外来遺伝子を発現させるために図1のように、転写調節配列とプロモーターを含めた領域(以下プロモーター領域とする)、発現させたい遺伝子、そして、ポリA付加シグナル(注：真核生物において成熟 mRNA を生産するために必要な配列)をつなげた外来 DNA 断片を染色体に挿入する。挿入されるゲノムの位置は制御できないが、世代を超えて安定に存在させることが可能で、細胞すべてに外来 DNA 断片が挿入された動物を得ることができる。また、プロモーター領域を変えることにより、同じ外来遺伝子を発現させる細胞や発現の時期を変化させることもできる。ここでは外来 DNA 断片の挿入時には、常染色体上に一ヶ所のみ挿入されるものとする。

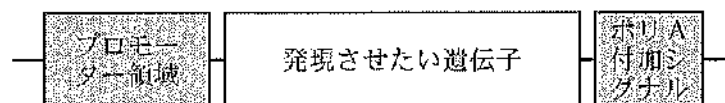


図1

マウスの毛色の形質はメンデル遺伝形式に従い、黒毛[B]が優性(対立遺伝子Bとする)、白毛[b]が劣性(対立遺伝子b)の表現型であるとする。今回黒毛マウスの純系系統(遺伝子型BB)を元に、オワンクラゲの緑色蛍光タンパク質遺伝子gfpを発現させるトランスジェニックマウスを作製した。まず、ロドプシンという視細胞にのみ発現する遺伝子のプロモーター領域とgfpをつなげた図2のようなDNA断片が挿入されたトランスジェニックマウスを2系統(マウスX、マウスYとする)作製した。ここでは、マウスX、Yにおける挿入されたDNA断片をそれぞれ対立遺伝子G₁、G₂とし、それらを持たないものを対立遺伝子g₁、g₂とする。つまり、マウスXの遺伝子型はG₁g₁BB、マウスYの遺伝子型はG₂g₂BBとなる。これらのマウスは両眼に緑の蛍光を持っていた。

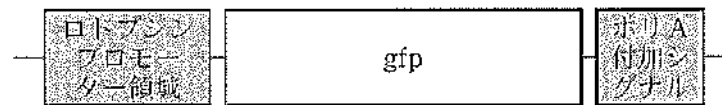


図 2

マウス X, マウス Y をそれぞれ, 白毛のマウス (遺伝子型 bb) と交配した。得られた黒毛で眼に蛍光がある子を用いて, X の子は X の子と, Y の子は Y の子と交配したところ, 得られた次世代の子の出生比は次の通りであった。^①

X の子同士の交配

眼に蛍光があり黒毛 : 眼に蛍光があり白毛 : 眼に蛍光がなく黒毛 :

眼に蛍光がなく白毛 = 9 : 3 : 3 : 1

Y の子同士の交配

眼に蛍光があり黒毛 : 眼に蛍光があり白毛 : 眼に蛍光がなく黒毛 :

眼に蛍光がなく白毛 = 22 : 5 : 5 : 4

問 1 下線①のマウスについて, X の子と Y の子を交配した場合に予想される以下の出生比を求めよ。

眼に蛍光があり黒毛 : 眼に蛍光があり白毛 : 眼に蛍光がなく黒毛 :

眼に蛍光がなく白毛

【B】

次に、図2のDNA断片からプロモーター領域をなくしたDNA断片(図3)を作製し、同様に黒毛のマウスをもとにこのDNA断片がゲノム上に挿入されたトランスジェニックマウスを複数系統作製した。多くのマウス系統では全身のどの器官、どの組織においても蛍光は認められなかった。^②しかし、一部のマウス系統においては体全体や体の一部の器官、組織に蛍光が認められたが、その蛍光を示す器官、組織はマウス系統によって異なっていた。

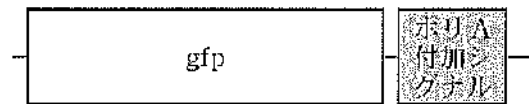


図3

問2 下線②について、なぜ一部のマウス系統に蛍光を認め、また、そのパターンが異なるのか、最も考えられる理由を50字以内で説明せよ。

【C】

下線②で蛍光を持つ系統のうち、脳に蛍光を持ち黒毛のマウスZを1系統選出^③した。これを白毛のマウスと交配し得られた黒毛で脳に蛍光がある子(遺伝子型は G_3g_3Bb とする)同士を交配したところ、得られた次世代の子の出生比は次の通りであった。

脳に蛍光があり黒毛：脳に蛍光があり白毛：脳に蛍光がなく黒毛：

脳に蛍光がなく白毛 = 6 : 2 : 3 : 1

問3 下線③のマウスをマウスZの子孫で脳に蛍光があり白毛のマウスと交配した場合に予想される以下の出生比を求めよ。

脳に蛍光があり黒毛：脳に蛍光があり白毛：脳に蛍光がなく黒毛：

脳に蛍光がなく白毛

〔４〕 以下の文章を読み、問１～問４に答えよ。

リンは生体構成成分として利用されるのみならず、核酸合成やエネルギー代謝、細胞内の情報伝達など、様々な生命活動に重要な役割を担っている。そのため、リンを全身の細胞や組織へ供給する血しょうではリンの濃度が厳密に制御されている。血しょう中のリンは、ほとんどがリン酸イオンとして存在し、その濃度はヒトで約 4 mg/100 mL、マウスで約 5 mg/100 mL とほぼ一定である。

血しょう中のリン酸イオン濃度の恒常性維持に最も重要な臓器は腎臓である。腎臓の細尿管(腎細管)では、グルコースや無機塩類などが体液の状態に応じて必要な量だけ再吸収されるが、リン酸イオンも同様である。リン酸イオンは、毛細血管からボーマンのうの中にその全てがこし出された後、細尿管細胞によって原尿から細胞内へと取り込まれ、毛細血管の血しょう中に回収される。

ホルモン X は、血しょう中のリン酸イオン濃度によってその分泌量が変動するホルモンであり、血しょう中のリン酸イオン濃度の恒常性維持にはたらく。このホルモン X の標的細胞は腎臓の細尿管細胞のみである。ホルモン X が血しょう中のリン酸イオン濃度を調節するしくみを調べるために、以下の実験を行った。

【実験 1】

ホルモン X を産生する内分泌腺を外科的に切除することにより、ホルモン X を枯渇させたマウスを作製した。このマウスを用いて、生理食塩水とインスリンを投与するグループ、ホルモン X とインスリンを投与するグループの 2 つに分けて実験を行った。インスリンは原尿にこし出されるが、細尿管で再吸収されない物質である。それぞれのグループのマウスの血しょうおよび尿を、投与 2 時間後から 1 時間だけ採取し、インスリンとリン酸イオンの濃度を測定したところ、表 1 の結果が得られた。

成 分	質量パーセント濃度(%)			
	生理食塩水を投与したマウス		ホルモン X を投与したマウス	
	血しょう	尿	血しょう	尿
リン酸イオン	0.006	0.1	0.005	0.2
イヌリン	0.01	1.3	0.01	1.3

表 1

問 1 生理食塩水およびホルモン X を投与したマウスでは、1 時間で 0.1 mL の尿が生成されるとする。それぞれのマウスにおいて、投与 2 時間後から 1 時間で再吸収されたリン酸イオンの量[mg]をそれぞれ答えよ。ただし、マウスの血しょうおよび尿におけるインスリンおよびリン酸イオンの質量パーセント濃度は 1 時間変化せず、血しょうと尿の重量はいずれの実験グループにおいても 1 mL = 1000 mg とする。

ホルモンXは、細尿管の細胞膜に存在する受容体Yに結合することでその機能を発揮し、受容体Yに結合するホルモンはホルモンXのみである。受容体Yは400アミノ酸で構成されるタンパク質であり、その塩基配列とアミノ酸配列の一部を図1に示す。

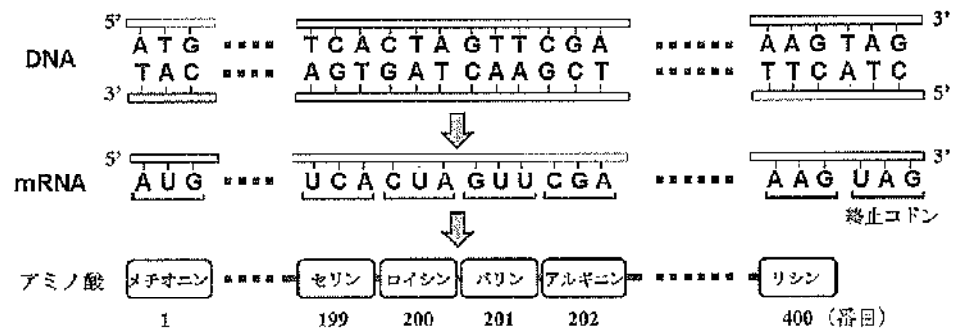


図1

ホルモンXの作用を図2に示す。ホルモンXが受容体Yに結合すると、受容体Yの立体構造が変化し、細胞内の情報伝達を行う物質であるタンパク質Zが活性化される。活性化したタンパク質Zは、細尿管側の細胞膜に存在するリン酸イオン輸送体に結合し、細尿管細胞内に取り込むリン酸イオンの量を調節する。細尿管側のリン酸イオン輸送体はホルモンXでのみ制御を受ける。

細尿管細胞内に取り込まれたリン酸イオンは、その全てが毛細血管側の輸送タンパク質を介して毛細血管に回収される。細尿管側のリン酸輸送体と異なり、毛細血管側の輸送タンパク質はホルモンX、受容体Yおよびタンパク質Zの制御を受けない。

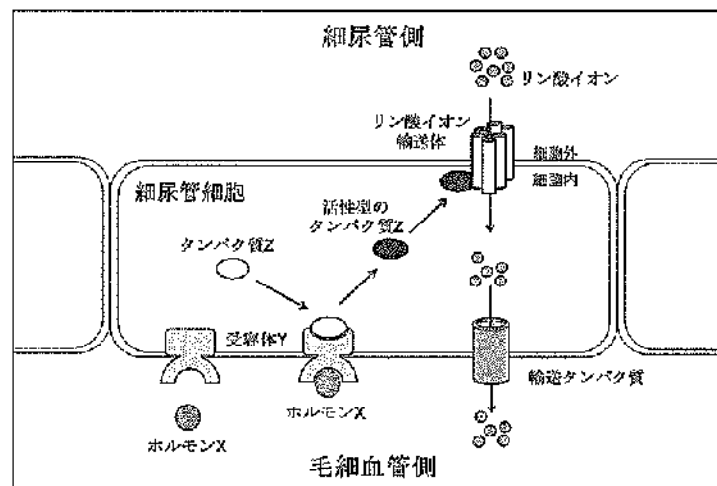


図 2

受容体 Y 遺伝子だけにホモ接合の遺伝子変異をもつ 2 種類のマウス(変異型 Ya および変異型 Yb)がいる。これらのマウスでは、血しょう中のリン酸イオン濃度が異常値となることがわかっている。遺伝子変異により血しょう中のリン酸イオン濃度に異常が引き起こされるしくみを明らかにするために、以下の実験を行った。

【実験 2】

変異型 Ya および変異型 Yb の受容体 Y 遺伝子の塩基配列を調べた。その結果、いずれのマウスも 200 番目のアミノ酸であるロイシンを指定する DNA 塩基配列にホモ接合の変異を有しており、変異型 Ya では CTA の C が欠失、変異型 Yb では CTA が CGA に変異していた。

【実験 3】

正常型、変異型 Ya および変異型 Yb の受容体 Y タンパク質の存在部位、量およびホルモン X との結合能を調べた。その結果、全ての遺伝子型で受容体 Y は細胞膜に存在し、その量(分子の数)に差は見られず、またホルモン X への結合能もすべて同程度であった。

【実験 4】

正常型、変異型 Ya および変異型 Yb のマウスから採取した細尿管細胞を、同じ量のリン酸イオンを含む培養液を用いて培養した。ホルモン X の存在下および非存在下で 24 時間培養した後、細尿管細胞内に取り込まれたリン酸イオンの量を計測したところ、図 3 の結果が得られた。なお、この実験では細尿管細胞内に取り込まれたリン酸イオンは細尿管細胞外へ排出されないものとする。

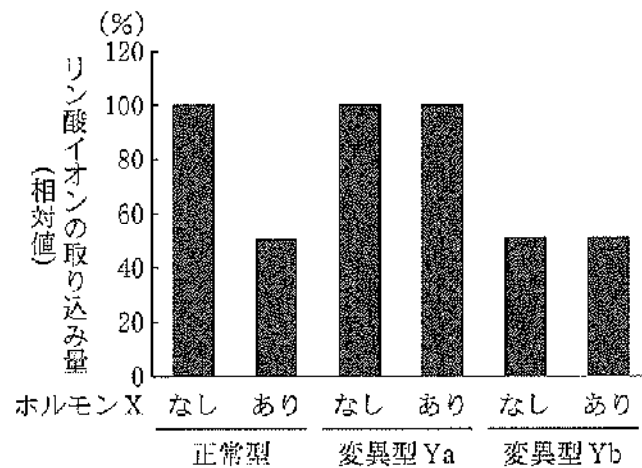


図 3 正常型細尿管細胞においてホルモン X が存在しない時の取り込み量を 100 % とした時の相対値で示す。

問 2 変異型 Yb のマウスでは、受容体 Y のはたらきにどのような変化が起きているか。実験 2 ～ 4 から考察し、「ホルモン X」「タンパク質 Z」という語句を用いて、その仕組みを 90 字以内で答えよ。

問 3 実験 1 ～ 4 の結果から考察して、ホルモン X は血しょう中のリン酸イオン濃度をどのように調節していると考えられるか。「細尿管細胞」という語句を用いて 75 字以内で答えよ。

問 4 実験 1 ～ 4 の結果から考察して、変異型 Ya および変異型 Yb のマウスにおける血しょう中のリン酸イオン濃度は、どのように変化していると考えられるか。受容体 Y 遺伝子が正常型のマウスにおける血しょう中のリン酸イオン濃度よりも「高い」または「低い」で答えよ。ただし、血しょう中のリン酸イオン濃度を調節するホルモンはホルモン X のみであり、マウスにホルモン X は投与しないものとする。