

〔「物理基礎・物理」「化学基礎・化学」「生物基礎・生物」〕

(時間：2 出題科目で 120 分)

注 意 事 項

- 1 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
- 2 出題科目、ページ及び選択方法は、下表のとおりです。

出 題 科 目	ページ	選 択 方 法
「物理基礎・物理」	1 ～ 3	左の 3 出題科目のうちから、あらかじめ届け出た 2 出題科目について解答しなさい。
「化学基礎・化学」	4 ～ 6	
「生物基礎・生物」	7 ～ 9	

- 3 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、手を挙げて監督者に知らせなさい。
- 4 解答は、すべて解答用紙の所定の欄に記入しなさい。
- 5 字数制限のある設問では、指示がない限り句読点や英数字も 1 字につき解答欄 1 マスを使い解答しなさい。
- 6 問題冊子の余白は、計算等に用いて構いません。
- 7 試験終了後、解答用紙のみを回収します。

物理基礎・物理

〔1〕 次の文章を読み、空欄 ア , イ を適切に埋め、下の問い(問1～5)に簡潔な説明を付けて答えよ。

図1のように、直線の水平なレール上をなめらかに動くことができる質量 m_A の力学台車Aの上に質量 m_B の物体Bを乗せ、Bに軽くて伸びない糸を取り付けた。糸をBに取り付けた点を通りレールに平行な直線を ℓ とする。

糸を持ち ℓ に沿って右向きに大きさ T の張力で引いた。A、Bの加速度の大きさをそれぞれ a_A 、 a_B とし、AとBの間にはたらく摩擦力の大きさを f とすると、A、Bについての ℓ に沿った方向の運動方程式はそれぞれ ア , イ と表される。ただし、BがAに対して動くときは、BはAの上面からはみ出ることではなく、向きを変えずに ℓ に沿って平行に移動するものとする。

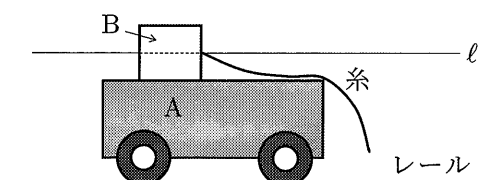


図1

AとBの間の静止摩擦係数を μ 、動摩擦係数を μ' 、重力加速度の大きさを g とし、糸は ℓ を含む鉛直面内にあるとして、次の一連の運動について考えよう。

はじめ、 $T = T_1$ で引いたところ、BはAに対しては動かずAとBは一体となって運動した。

問1 $T = T_1$ で引いたとき、 f を m_A 、 m_B 、 T_1 を用いて表せ。

その後、 $T = T_2$ で引いたところBはAに対しても動き出した。BがAに対して動き出してからAに対するBの相対速度の大きさが v に達するまでの間に、BはAに対して距離 s だけ動いていた(図2)。

問2 $T = T_2$ で引いたとき、 a_A および a_B を g 、 m_A 、 m_B 、 T_2 、 μ' から必要なものを用いてそれぞれ表せ。

問3 $T = T_2$ で引いたとき、 T_2 を g 、 m_A 、 m_B 、 s 、 v 、 μ' を用いて表せ。

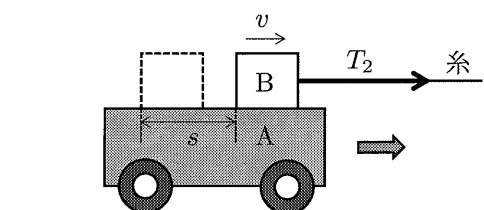


図2

次に、一旦AとBを静止させた後、図3のように、 ℓ と糸のなす角を θ に保ちながら大きさ T' の張力で引いた。

問4 BがAから受ける垂直抗力の大きさ N を g 、 m_B 、 T' 、 θ を用いて表せ。

問5 AとBが一体となって運動する場合に、AとBに与えることのできる加速度の大きさ a の最大値 α を g 、 m_A 、 m_B 、 θ 、 μ を用いて表せ。

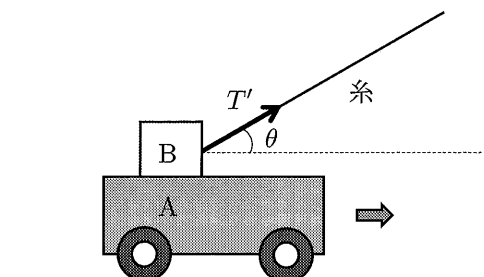


図3

〔2〕 次の文章を読み、空欄 ア ～ キ を適切に埋め、下の問い(問1～3)に簡潔な説明を付けて答えよ。ただし、キ には語句を入れよ。

電場(電界)中の電子は電場による力を受けると真空においては電場と逆方向に等加速度運動する。しかし、導体内の自由電子は熱運動する陽イオンなどに衝突するため等加速度運動を続けることができない。ここでは導体内の自由電子の運動と導体の電気抵抗について考察する。ただし、自由電子の電気量は電気素量 e を用いて $-e$ と表し、質量は m とする。なお、状況を単純化するために以下を仮定する。

- 衝突が起きてから次の衝突までは自由電子は電場による力を受けて等加速度運動する。衝突が起きてから次の衝突までの平均時間を衝突時間と呼び、 τ で表す。
- 衝突直後の自由電子の速度の平均は 0 m/s とする。よって、磁場がかけられていなければ、自由電子の運動は電場の方向を正とし、この方向に沿った1次元に限られる。

導体内の電場 E により自由電子が受ける力は e と E を用いて $(-1) \times$ ア と表される。負の符号は力が電場と逆方向であることを意味する。時刻 t における一つの自由電子の速度を $v(t)$ とする。微小時間 Δt 後($\Delta t < \tau$ とする)のこの自由電子の運動を考え

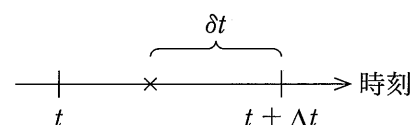


図1

る。 Δt の間に衝突する場合、 t から $t + \Delta t$ の間のどの時点で衝突するか予測することはできないが、図1の×印で示す $t + \Delta t - \delta t$ で衝突したとする。その場合、自由電子は衝突の直後から δt の間、電場による力で加速される。したがって、この自由電子の $t + \Delta t$ での運動量は $(-1) \times$ ア $\times \delta t$ である。一方、 Δt の間に衝突しない自由電子の $t + \Delta t$ での運動量は、 e , m , $v(t)$, E , Δt を用いて イ と表される。単位時間に衝突する回数の平均は $\frac{1}{\tau}$ なので、 Δt の間に衝突する確率は $\frac{\Delta t}{\tau}$ 、衝突しない確率は $(1 - \frac{\Delta t}{\tau})$ でそれぞれ与えられるとする。したがって $t + \Delta t$ での自由電子の運動量の平均は $mv(t + \Delta t) = \frac{\Delta t}{\tau} \times (-$ ア $\times \delta t) + (1 - \frac{\Delta t}{\tau}) \times$ イ と期待できる。この式を $m \frac{v(t + \Delta t) - v(t)}{\Delta t} =$ ウ $+$ エ $\times \Delta t +$ オ $\times \delta t$ と書き直す。ただし、ウ, エ, オ は e , m , $v(t)$, E , τ から必要なものを用いてそれぞれ表される。 Δt が短い極限では $\frac{v(t + \Delta t) - v(t)}{\Delta t}$ は加速度と考えてよいのでこれを a と表す。また、このとき エ と オ を含む項は非常に小さくなり無視できるとして式から除くと下線部(a)の式は $ma =$ ウ となる。これは自由電子の運動方程式を表している。この運動方程式は空気抵抗がはたらく物体の落下運動の運動方程式と同じ形であり、 τ を含む項が抵抗力に相当する。したがって、電場をかけてから τ に比べじゅうぶん長い時間が経過すると自由電子は e , m , E , τ を用いて カ と表される一定の速度になり、電場と逆方向に等速度運動することがわかる。ここまではある一つの自由電子に着目して考えてきたが、この考えを導体内のすべての自由電子に適用するならば、この導体に流れる電流は一定であると考えることができる。この一定の電流を定常電流と呼ぶ。

単位体積中の自由電子の数が n 、長さ ℓ 、断面積が d^2 の直方体の導体を、図2のように、面Xとx軸が、面Yとy軸がそれぞれ垂直になるように設置した。XX'間に電圧 V_0 をかけたところ、X→X'の方向に定常電流 I_0 ($I_0 > 0 \text{ A}$) が流れた。このときXX'間の抵抗は R であった。また、導体内にできる電場 E_0 は一様であるとする。この導体内での自由電子の衝突時間を τ_0 とし、定常電流が流れているときの自由電子の平均の速度を v_0 とする。単位断面積あたりの電流を電流密度と呼び、 j_0 で表す。オームの法則が成り立つならば j_0 と E_0 は比例関係にある。 $\rho = \frac{E_0}{j_0}$ で与えられる ρ は抵抗率と呼ばれ、物質の種類ごとの電流の流れにくさを表す量である。

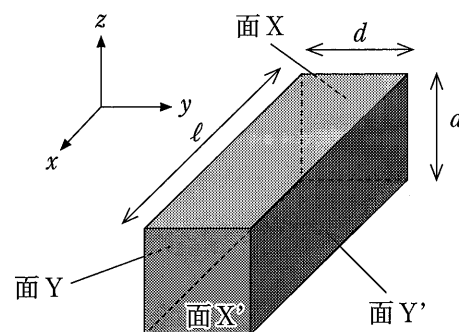


図2

問1 下線部(b)を示せ。また、 R を d , ℓ , ρ を用いて表せ。

問2 j_0 を e , n , v_0 を用いて表せ。また、 ρ を e , m , n , τ_0 を用いて表せ。

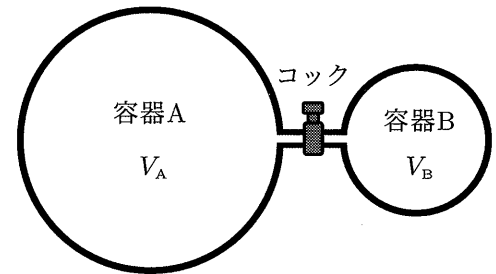
XX'間に電圧 V_0 をかけたまま z 軸正の方向に磁束密度 B ($B > 0 \text{ T}$) の一様な磁場(磁界)をかけた。しばらくすると、Yに対するY'の電位は V_y になり、YY'間に一様な電場が生じ、また、 x 軸方向に流れる定常電流は磁場をかけない場合と同じになった。これらの結果は次のように考えることができる。磁場をかけたことにより自由電子は キ を受けるため、電子の運動の方向が曲げられ y 軸方向に自由電子の偏りができ、その結果YY'間に電位差が生じる。やがてその y 軸方向の電場により自由電子が受ける力が キ とつり合うと自由電子は x 軸と平行に直進するようになる。したがって、定常状態ではYY'間に電位差が生じ、また、 x 軸方向にのみ定常電流が流れる。

問3 下線部(c)のことから、 V_y を d , e , ℓ , m , B , V_0 , τ_0 を用いて表せ。

〔3〕 次の文章を読み、空欄 ア ～ ウ を適切に埋め、下の問い(問1～4)に答えよ。ただし、問3と問4には簡潔な説明を付けよ。

図のように、容積が V_A の容器Aと容積が V_B の容器Bがコックのついた細管で接続されている。容器Aと容器Bの熱膨張、および細管の容積は無視できるものとする。なお、これらの容器には容器内の気体の温度を個別に調整できる機能が付いている。

はじめ、コックは閉じられていて、容器Aには圧力 p_0 、絶対温度 T_0 、定積モル比熱 C_A の理想気体 G_A が、容器Bには圧力 p_0 、絶対温度 T_0 、定積モル比熱 C_B の理想気体 G_B が閉じ込められていた。 G_A 、 G_B の物質質量 n_A 、 n_B は p_0 、 T_0 、 V_A 、 V_B 、および気体定数 R から必要なものを用いて、それぞれ $n_A = \text{ア}$ 、 $n_B = \text{イ}$ と表される。この状態から以下の一連の操作を行った。なお、理想気体の状態方程式は、酸素やヘリウムといった気体の種類にはよらず、また複数種類の混合気体であっても単一の理想気体と同様に成り立つ。



操作1：コックを閉じた状態で、 G_A の絶対温度は T_0 のまま、 G_B の絶対温度を $T_1 = 3T_0$ に保った。このときの G_B の圧力は $p_1 = \text{ウ} \times p_0$ であった。

操作2：装置全体を断熱材で覆い G_A と G_B に対する外部との熱の出入りを遮断した。その後、コックを開いてじゅうぶんな時間が経過するまでおいた。このときの混合気体の絶対温度は T_2 、圧力は p_2 であった。

操作3：断熱材を取り外し、コックは開けた状態で、容器A中の混合気体の絶対温度を T_3 、容器B中の混合気体の絶対温度を T_3' に保った。このときの混合気体の圧力は p_3 であった。

問1 操作1において、 G_B の絶対温度が T_0 から $3T_0$ に変化したことにより増加した G_B の内部エネルギー ΔU を p_0 、 C_B 、 R 、 V_B を用いて表せ。

問2 操作1終了後、つまり、 G_A の絶対温度が T_0 、 G_B の絶対温度が $T_1 = 3T_0$ のとき、 G_B の二乗平均速度 $\sqrt{v_B^2}$ は、 G_A の二乗平均速度 $\sqrt{v_A^2}$ の何倍か。ただし、 G_A のモル質量(1 mol 当たりの質量) M_A は、 G_B のモル質量 M_B の8倍であるとする。

問3 T_2 を C_A 、 C_B 、 T_0 、 V_A 、 V_B を用いて表せ。また、 p_2 を p_0 、 C_A 、 C_B 、 V_A 、 V_B を用いて表せ。

問4 p_3 を p_0 、 T_0 、 T_3 、 T_3' 、 V_A 、 V_B を用いて表せ。

化学基礎・化学

必要があれば、原子量は次の値を用いること。H 1.0, C 12, O 16, S 32, Fe 56, Cu 64, Zn 65
計算は有効数字2桁で求めよ。

〔1〕 次の文章を読んで、後の問い(問1～5)に答えよ。

金属A～Fは、ナトリウム、鉄、銅、亜鉛、銀、白金のいずれかである。これらの金属について、実験結果(1)～(9)を得た。

【実験結果】

- (1) Aは、常温の水と激しく反応して水素を発生したが、他の金属は反応しなかった。
- (2) BとCは、いずれも希硫酸と反応して水素を発生した。
- (3) DとEは、いずれも希硫酸には溶解しなかったが、硝酸には溶解した。
- (4) Fは、希硫酸や硝酸には溶解しなかったが、王水(濃硝酸と濃塩酸を体積比1:3で混合した溶液)には溶解した。
- (5) Cの板の表面にBをめっきしたものはトタンであり、Cの板の表面にスズをめっきしたものはブリキである。トタンとブリキの表面に傷をつけて内部のCを露出させ、そのまま長期間放置した。トタンと比べて、ブリキの内部のCの方がさびていた。
- (6) Eのイオンを含む水溶液にDの板を入れたところ、Eの金属樹が生じた。無色であった水溶液にも色がついた。
- (7) 希硫酸にBの板とDの板を離して入れ、導線で結んだところ、Bが負極、Dが正極となる電池となった。
- (8) BとDからなる合金10.0gを酸化力のある酸で完全に溶かし、酸性の水溶液とした。この水溶液に硫化水素を十分に通じたところ、純粋な化合物として9.6gの黒色沈殿が得られた。
- (9) 両極にFを用いて、硫酸銅(Ⅱ)水溶液を電気分解した。ある時間10^{アンペア} Aの電流を通じたところ、陰極では6.4gの金属が析出し、陽極では気体が発生した。

問1 実験結果から、A～Fに該当する金属の元素記号を答えよ。

問2 実験結果(6)について、Eの金属樹が生じた後、水溶液は何色になったか。理由を含めて説明せよ。また、説明にはイオン反応式を用いること。

問3 実験結果(7)について、両極で起きる反応を、電子 e^- を含むイオン反応式でそれぞれ記せ。

問4 実験結果(8)について、この合金中のBとDの質量比(B:D)を最も簡単な整数比で示せ。

問5 実験結果(9)について、次の問い(i)～(iii)に答えよ。ただし、ファラデー定数 $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ とする。

- (i) 両極で起きる反応を、電子 e^- を含むイオン反応式でそれぞれ記せ。
- (ii) 電流を流していた時間は何分間か。
- (iii) 陽極で発生する気体は標準状態(0℃, $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$)で何Lか。

〔2〕 次の文章を読んで、後の問い(問1～6)に答えよ。

コロイドとは、コロイド粒子が均一に分散している状態をいう。また、コロイド粒子を均一に分散させている物質を分散媒、コロイド粒子として分散している物質を分散質という。分散媒が液体のとき、特にコロイド溶液という。流動性を失って固まった状態を **ア** といい、さらに、乾燥させたものを **イ** という。セッケンなどの界面活性剤を水に溶かすと、ある濃度以上で多数の分子が集合したコロイド粒子を形成する。このような粒子の集合体を **ウ** という。コロイド溶液は様々な性質を示すが、その中の一つにチンダル現象が知られている。また、水酸化鉄(Ⅲ)などの疎水コロイドに少量の電解質水溶液を加えると、容易に沈澱が生じる。この現象を凝析といい、負電荷をもつ粘土のコロイド粒子を含む河川の泥水の浄化などに利用されている。

問1 文章中の **ア** ～ **ウ** に、適切な語句を記入せよ。

問2 下線部(a)の直径(D と表記する)について、最も適当な直径の範囲を次の①～④のうちから一つ選び、数字で答えよ。

- ① $10^{-15} \text{ m} \leq D < 10^{-12} \text{ m}$ ② $10^{-12} \text{ m} \leq D < 10^{-9} \text{ m}$ ③ $10^{-9} \text{ m} \leq D < 10^{-6} \text{ m}$ ④ $10^{-6} \text{ m} \leq D < 10^{-3} \text{ m}$

問3 下線部(b)について、次に示す①～④の分散質と分散媒は、固体、液体、気体のどれか。それぞれの組み合わせを解答欄に記入せよ。

- ① 煙 ② 色ガラス ③ セッケンの泡 ④ 牛乳

問4 下線部(c)の性質について、正しいものを次の①～⑤のうちからすべて選び、数字で答えよ。

- ① 親水コロイド粒子はその表面に多数の水分子が水和するため、多量の電解質を加えても沈殿を生じない。
② コロイド粒子は半透膜を通過できないので、それより小さい分子やイオンなどの溶質をコロイド溶液から分離できる。
③ コロイド溶液中のコロイド粒子は、分散媒の分子の衝突を受けて、ゆれ動きながら不規則に運動している。
④ 水酸化鉄(Ⅲ)のコロイド溶液に電極を浸して直流電圧をかけると、そのコロイド粒子は陽極側に移動する。
⑤ 墨汁は炭素のコロイド溶液に、親水コロイドの膠を加えて、凝集を抑えている。

問5 下線部(d)はどのような現象か。それが起こる理由も説明せよ。

問6 下線部(e)について、次の①～⑤の電解質を同じ濃度で河川の泥水に加えた際、最も有効な電解質を一つ選び、数字で答えよ。また、その理由を説明せよ。

- ① 炭酸水素ナトリウム ② 塩化マグネシウム ③ 塩化カルシウム
④ 硫酸ナトリウム ⑤ 硫酸アルミニウム

〔3〕 次の文章Ⅰ～Ⅲを読んで、後の問い(問1～5)に答えよ。

Ⅰ グルコースのような単糖はヘミアセタール構造をとりやすく、ヘミアセタール構造の炭素原子に結合したヒドロキシ基-OH と同一あるいは異なる単糖分子の-OH 基との分子間で脱水縮合し、エーテル結合を形成する。この結合を **ア** という。多糖は、 **ア** により多数の単糖が縮合重合した化合物であり、動植物中に存在する。植物体内で光合成によってつくられるものをデンプン、動物の肝臓や筋肉に含まれるものを動物デンプンまたは **イ** と呼ぶ。いずれも分子式は重合度を n とすると(あ)と表される。

Ⅱ デンプンの分子は、 α -グルコース約6分子で1回転するらせん構造を形成しており、その形状は分子内の-OH 基どうしで水素結合によって保持されている。デンプンには、 α -グルコースが1位と4位の炭素原子で脱水縮合し、1-4結合を形成した鎖状構造をもつ **ウ** と、1-4結合以外に1-6結合を含む枝分かれ構造をもつアミロペクチンがある。デンプンの水溶液にヨウ素ヨウ化カリウム水溶液(ヨウ素溶液)を加えると、青～青紫色に呈色するヨウ素デンプン反応を示す。デンプンを酵素アミラーゼで加水分解すると、デンプンより分子量が小さい多糖の **エ** やマルトースを生成する。マルトースの水溶液にフェーリング液を加えて加熱すると、(い)の赤色沈殿が生じる。一方、植物の細胞壁の主成分となるセルロースは^(b) β -グルコースが縮合重合した多糖であるが、ヨウ素デンプン反応を示さず、^(c)丈夫な繊維をつくる構造をもっている。

問1 文章中の **ア** ～ **エ** に適切な語句を、(あ)と(い)に該当する分子式をそれぞれ書け。

問2 下線部(a)が起こる理由を説明せよ。

問3 下線部(b)に関して、還元性を示さない糖類を次の①～⑤のうちからすべて選び、数字で答えよ。

- ① スクロース ② フルクトース ③ セロビオース ④ トレハロース ⑤ ガラクトース

問4 下線部(c)に関して、セルロースが丈夫な繊維をつくる理由を、セルロースの構造上の特徴と関連させて説明せよ。

Ⅲ 分子量 2.43×10^5 のアミロペクチン A の-OH 基のすべてをメトキシ基-OCH₃に化学変換(実験1)した後に、希硫酸ですべての **ア** を加水分解(実験2)すると、 α -グルコースの-OH 基が部分的に-OCH₃基に変換された3種の生成物 B, C, D が得られた(図1)。3種の生成物の中では、生成物 B の分子量が最も大きく、次いで、生成物 C, 生成物 D の順であった。なお、この加水分解では、-OCH₃基は反応しないものとする。

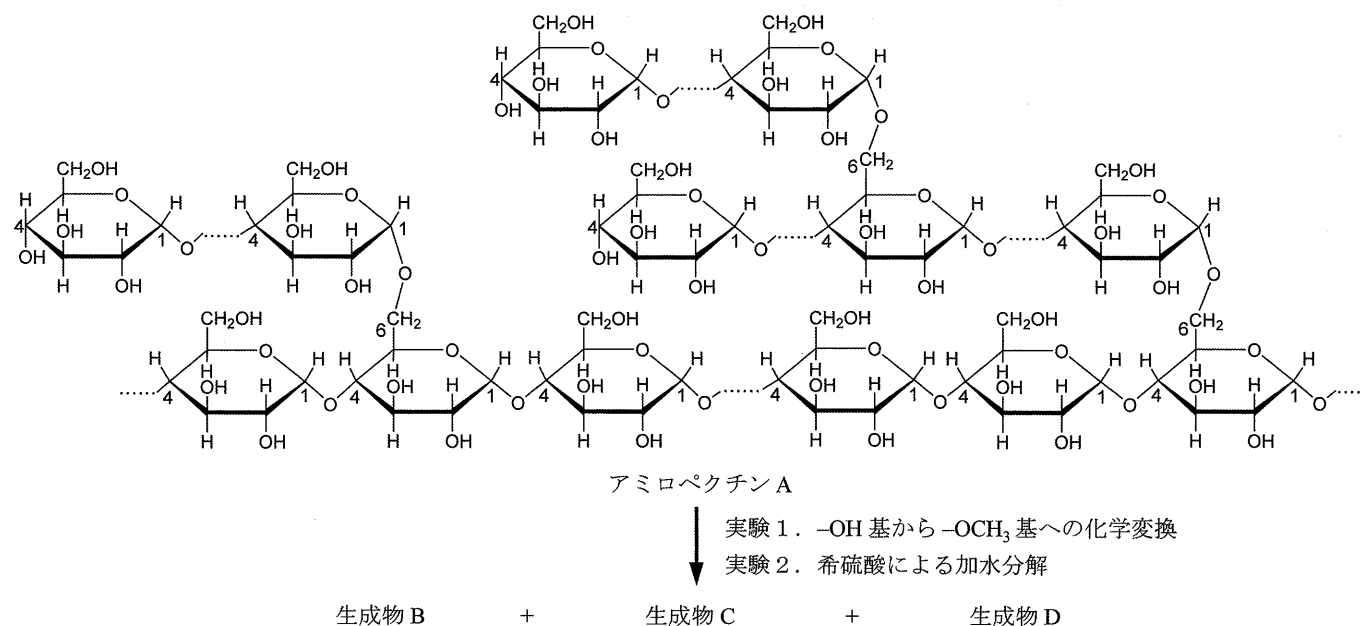


図1 アミロペクチン A の構造と加水分解後の生成物

問5 次の問い(i)～(iv)に答えよ。ただし、アミロペクチン A の分子量は大きいので、図1のアミロペクチン A の最下段の鎖の両端から生成する加水分解生成物を考慮する必要はない。

(i) アミロペクチン A を構成する α -グルコース単位の個数を求めよ。

(ii) α -グルコースの-OH 基が部分的に-OCH₃基に変換された生成物 B, C, D の構造式をそれぞれ示せ。なお、構造式は図1にならって示せ。

(iii) 2.916 g のアミロペクチン A を用いたとき、生成物 B が 0.2124 g, 生成物 C が 3.5964 g, 生成物 D が 0.1872 g 得られた。このアミロペクチン A では、何個の α -グルコース単位ごとに1個の枝分かれ構造が存在するか。

(iv) 1分子のアミロペクチン A に存在する枝分かれ構造の個数を求めよ。

生物基礎・生物

〔1〕 次の文章を読み、下の問い(問1～6)に答えよ。

生物が世代を重ねるうちに生じた DNA の塩基配列の変化は、その DNA の情報をもとに作られるタンパク質のアミノ酸配列に影響を及ぼす。この分子進化の速度は遺伝子やタンパク質の種類によって異なる。ここで、リゾチームの進化について考える。ヒトの場合、リゾチームは ア や鼻汁等に含まれ、細菌による感染を防いでいる。ヒトのゲノムには、リゾチームに類似した遺伝子が少なくとも8つ存在し、リゾチーム遺伝子ファミリーを形成する。その1つである α -ラクトアルブミンは、グルコースとガラクトースからの イ の合成に関与し、進化の過程でリゾチームとは異なる機能を獲得した。このようなリゾチーム遺伝子ファミリーは ウ のような大規模な突然変異によって生じたと考えられる。

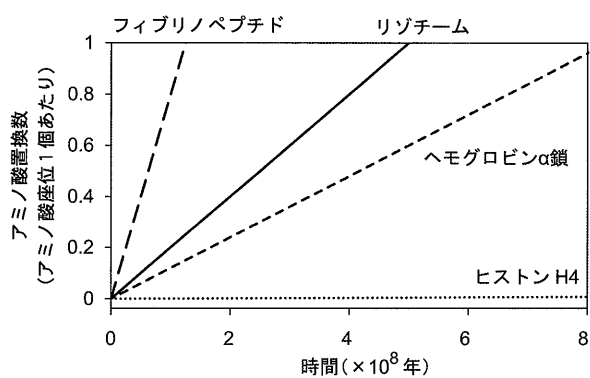


図1

表1 アミノ酸置換数

	ウシ	カモノハシ	ヒト
カモノハシ	60		
ヒト	30	62	
ワラビー	61	69	55

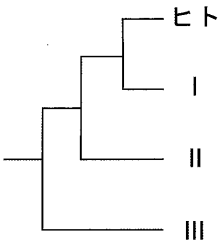


図2

- 問1 文中の ア ～ ウ に適切な語句を記せ。
- 問2 下線部①について、遺伝子のエクソン部分に塩基置換が生じた際には、(i)タンパク質のアミノ酸配列が変化する場合、(ii)タンパク質のアミノ酸配列には変化がない場合がある。それぞれの名称を答えよ。また、(i)と(ii)のどちらの進化速度が速いか、理由とともに説明せよ。
- 問3 下線部②について、図1に示すヒストンH4およびフィブリノペプチド(血液凝固の際、フィブリノーゲンから切り取られるペプチド断片)のアミノ酸置換速度の違いを両者の機能の観点から説明せよ。
- 問4 下線部③について、リゾチームの機能について述べた次の選択肢から正しいものを1つ選べ。
1. 多糖類のセルロースやペクチンからなる細胞壁を分解する
 2. 抗生物質として細胞の増殖を阻害する
 3. 多糖類とタンパク質の複合体であるペプチドグリカンからなる細胞壁の多糖類を切断する
 4. 細胞表面に抗原提示された物質を認識する
 5. 細胞膜に穴をあけ、破壊する
- 問5 下線部④について、アミノ酸123個からなる α -ラクトアルブミンのアミノ酸配列を4種の動物種ウシ、カモノハシ、ヒトおよびワラビーで比較し、互いに異なるアミノ酸の数を調べた(表1)。図2は表1の結果から平均距離法によって作成した分子系統樹である。ただし、同一の祖先から分岐した生物群の分子進化の速度は一定であるとする。
- (1) 図2のⅠ～Ⅲに入る動物名を答えよ。
 - (2) ヒトとカモノハシが共通祖先から分岐したのは何年前と推定されるか、ウシ、カモノハシ、ヒト、ワラビー間のアミノ酸置換数の平均から計算し、有効数字3桁で求めよ。なお、ヒトとウシは9000万年前に分岐したものとする。
 - (3) アミノ酸置換速度を1年あたり、アミノ酸座位1個あたりの値として有効数字3桁で求めよ。
 - (4) 図1のリゾチーム(L)、ヘモグロビン α 鎖(H)および(3)で求めた α -ラクトアルブミン(A)のアミノ酸置換速度を比較したとき、大小関係として最も適切なものを1つ選べ。
1. $L < H < A$, 2. $L < A < H$, 3. $H < A < L$, 4. $H < L < A$, 5. $A < H < L$, 6. $A < L < H$
- 問6 大腸菌に感染するT₂ファージもリゾチーム遺伝子を有している。T₂ファージは大腸菌に付着すると、DNAのみを大腸菌内に侵入させる。感染した大腸菌内では、ファージのDNAとタンパク質が合成され、多数の子ファージが作られ、他の大腸菌へと感染を広げる。このようなファージの増殖においてリゾチームが必要な理由を説明せよ。なお、ファージ内にはリゾチームは含まれていないとする。

〔2〕 次の文章を読み、下の問い(問1～3)に答えよ。

DNA が複製される際には、まず元になる二重らせん構造がほどけて鋳型鎖となり、各々に相補的な配列を有する新生鎖が合成される。このような複製方式を **ア** 複製と呼ぶ。大腸菌などの原核生物の場合、DNA は環状であり、1カ所の複製起点から複製は両方向に進む。新生鎖が合成される際には、まず短い RNA プライマーが合成される。次にプライマーの **イ** 末端側に、鋳型の塩基と相補的な塩基をもつヌクレオチドが **ウ** の働きによって結合される。ヌクレオチド鎖の合成は **エ** 末端から **オ** 末端の方向に進むが、DNA の2本鎖は互いに逆方向になっているため、DNA がほどこれる方向と新生鎖の合成の方向が一致するのは一方の鎖だけである。この新生鎖を **カ** という。もう一方の鎖は DNA がほどこれる方向と逆方向に合成され、ラギング鎖と呼ばれる。一方、真核生物の場合、DNA は線状であり、多くの複製起点から複製が始まることで速やかな複製を可能としている。複製の基本的な分子機構は原核生物と真核生物で共通であるが、線状の DNA をもつ真核生物の場合、末端部分を完全に複製できないという問題が生じる。

問1 文中の **ア** ～ **カ** に適切な語句または番号を入れよ。なお、同じ語句または番号を繰り返し用いても良い。

問2 下線部①の新生鎖複製を解明するために行われた以下の実験について、下の問い(1)～(5)に答えよ。

[実験1] 大腸菌株を放射性同位体 ^{14}C を含む培地で 37°C で数世代培養した。この株を放射性同位体 ^3H チミジン*を含む培地に移し、 20°C で10秒間培養してDNAを標識した(パルス操作)。大腸菌からDNAを抽出し、アルカリ溶液中で1本鎖にした。このDNAをショ糖密度勾配遠心法でDNAのサイズによって分離し、分画ごとの放射活性 (^3H と ^{14}C の放射性同位元素を含むDNAの量)を調べた(図1左)。

*チミジン：塩基としてチミンを含むデオキシリボヌクレオシド

[実験2] [実験1]と同様に大腸菌株にパルス操作を行った後、この株を標識していないチミジンを含む培地に移し、さらに 20°C で60分間培養した。その後、[実験1]と同様にDNAを抽出し、DNAのサイズによって分離して放射活性を調べた(図1右)

[実験3] DNAリガーゼを欠損した大腸菌株と正常な大腸菌株に対して、 20°C で ^3H チミジンのパルス操作を20秒あるいは60秒行った。その後、それぞれのDNAを抽出し、DNAのサイズによって分離して ^3H の放射活性を調べた(図2)。

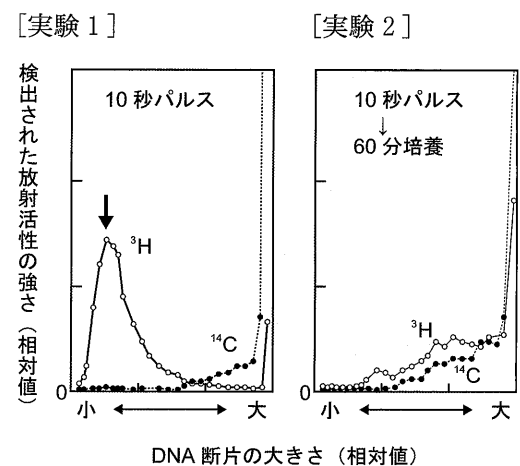


図1

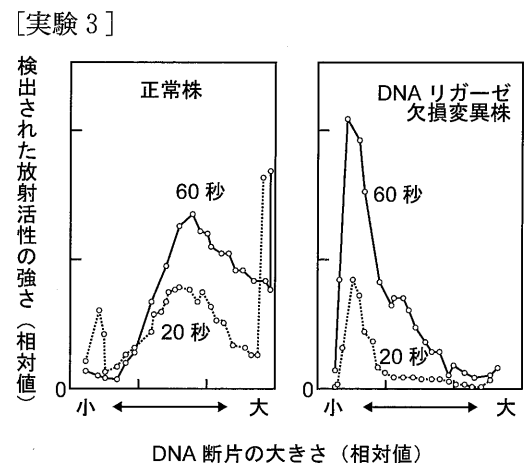


図2

- (1) 本実験でアデニンやグアニン、シトシンを含むヌクレオシドではなくチミンを含むチミジンを用いたのはなぜか、その理由を考察せよ。
- (2) [実験1]において、 ^{14}C で標識されたDNA断片の大きさが ^3H と比べて大きいのはなぜか、その理由を考察せよ。
- (3) [実験1]において観測された ^3H のピーク(矢印)に最も多く含まれるのはどのようなDNAか、述べよ。また、このピークが[実験2]では見られないのはなぜか、その理由を考察せよ。
- (4) [実験3]の結果からラギング鎖の新生鎖複製においてDNAリガーゼの果たす役割について考察せよ。
- (5) 本実験でパルス操作の際に、培養温度を 20°C に下げたのはなぜか、その理由を考察せよ。

問3 下線部②について以下の問いに答えよ。

- (1) 真核生物のDNA末端には特定の塩基配列の繰り返し構造が見られ、細胞分裂のたびに短くなることが知られている。この配列の名称を記せ。
- (2) この配列が細胞分裂のたびに短くなる理由として最も適切なものを次の選択肢から1つ選べ。
 1. RNAポリメラーゼが末端のプロモーター領域を認識できないため
 2. DNAリガーゼがDNAとRNAプライマーの間では作用できないため
 3. RNAプライマーが取り除かれた後、DNAで置き換えることができないため
 4. DNAヘリカーゼがDNAの1本鎖に作用できないため
 5. イントロンがスプライシングによって除かれるため

〔3〕 次の文章を読み、下の問い(問1～7)に答えよ。

神経細胞の内側と外側および体液では、様々なイオンの濃度が著しく異なる(表1)。神経細胞が興奮していない状態(静止状態)では、 K^+ が ア を通って神経細胞の イ 側から ウ 側へ受動的に移動する。 K^+ の移動は無制限に続くわけではなく、ある時点で安定化する。その結果、細胞内の電位は、細胞外を基準(0V)とすると、 X くらいになる(静止電位)。したがって、静止電位の形成には K^+ が重要な役割を果たしている。一方、 Na^+ や Cl^- の濃度差は、静止電位の形成にほとんど関与しない。図1は、神経細胞Aに、神経伝達物質としてグルタミン酸をもつ神経細胞Bと、 γ アミノ酪酸(GABA)を持つ神経細胞Cがシナプス結合している様子を模式的に示している。神経細胞Bが神経終末からグルタミン酸を放出し、グルタミン酸が神経細胞Aの受容体に作用すると、神経細胞Aには図2のような膜電位の変化が生じる。この電位がある値(閾値)に達すると、神経細胞Aは活動電位を発生する。一方、神経細胞Cの神経終末からGABAが放出され、神経細胞Aの受容体に作用すると、 Cl^- チャンネルが開く。

表1

イオン	(a)	(b)	(c)
陽イオン			
ナトリウムイオン(Na^+)	145	10	150
カリウムイオン(K^+)	5	140	5
カルシウムイオン(Ca^{2+})	2	0.0002	3
陰イオン			
塩化物イオン(Cl^-)	115	15	110
有機物イオン	0	50	18

(単位: mmol/L)

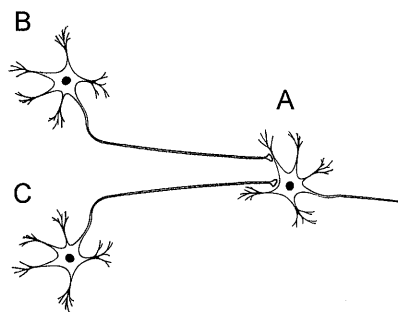


図1

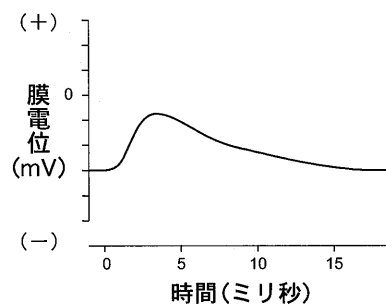


図2

問1 (1) 表1において、神経細胞内のイオン組成に最も近いものを(a)～(c)から1つ選べ。

(2) 下線部①について、神経細胞内外の Na^+ と K^+ の濃度差を維持する膜タンパク質の名称を答えよ。

問2 (1) 下線部②の ア ～ ウ に適切な語句を入れよ。

(2) 下線部②について、 K^+ の移動は何によって引き起こされるか。次の選択肢から最も適当なものを選べ。

1. K^+ の濃度差によって生じる浸透圧、
2. K^+ の濃度差による拡散
3. 陽イオンと陰イオンによる電気的な力(クーロン力)、
4. ATPによるエネルギー

問3 (1) 下線部③の X に入る適切な値を(a)～(f)から1つ選べ。

(a) +700 mV, (b) +70 mV, (c) +7 mV, (d) -7 mV, (e) -70 mV, (f) -700 mV

(2) 実験的に細胞外の K^+ 濃度を変えると、静止電位はどのように変化するか。

図3の(a)～(f)から、適切なものを選べ。ただし、横軸は、細胞外液の K^+ 濃度を、縦軸は細胞外を基準にした時の細胞内の電位を示す。

問4 下線部④について、 Na^+ や Cl^- の濃度差が静止電位の形成にほとんど関与しない理由を説明せよ。

問5 (1) 下線部⑤について、グルタミン酸放出の引き金になっているイオンは何か、答えよ。

(2) 下線部⑥について、神経細胞Aに脱分極を引き起こすイオンは何か、答えよ。

問6 (1) 下線部⑦について、活動電位の大きさに関する次の選択肢から正しいものを1つ選び、その理由を説明せよ。

1. 活動電位の大きさは、神経細胞の大きさに依存する
2. 活動電位の大きさは、その神経細胞がもつイオンチャンネルの数に依存する
3. 活動電位の大きさは、受容体に結合する神経伝達物質(グルタミン酸)の量に依存する
4. 活動電位の大きさは、どの神経細胞でも、ほぼ一定である

(2) 図4に、オシロスコープで表示した活動電位を示す。横軸(時間軸)の1目盛りとして、正しいものを(a)～(g)から1つ選べ。

(a) 0.1 ミリ秒, (b) 0.5 ミリ秒, (c) 2 ミリ秒, (d) 5 ミリ秒, (e) 0.01 秒, (f) 0.02 秒, (g) 0.2 秒

問7 下線部⑧の現象が起こった時に膜電位はどのような変化を示すか。図2に示した脱分極の電位変化を参考に、解答欄(1)に図示せよ。また、実験的に細胞外の Cl^- の濃度を低下させた後に下線部⑧の現象が起こると、どのような電位変化を示すか。解答欄(1)の図との違いが分かるように、解答欄(2)に図示せよ。

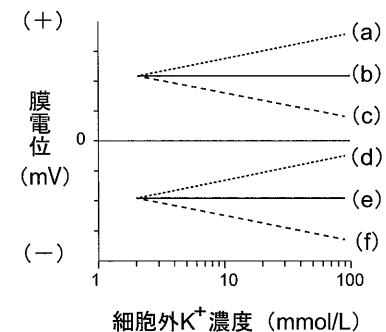


図3

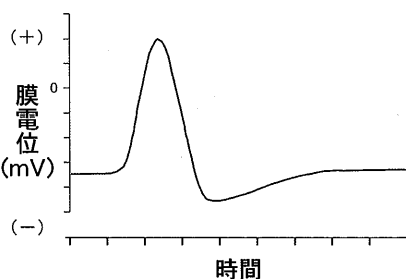


図4