

1 月 25 日 实施

理 科

医学部

# 物 理

I 以下の設問 A, B, C の文章を読み、空欄 1 ～ 15 にもっとも適切な式もしくは数値を記入せよ。

I - A

地球からの万有引力を受けて地球を周回する人工衛星 A について考える。地球を質量  $M$ 、半径  $R$  の球とみなす。A の質量は  $m$  とし、 $M$  に比べて十分小さい。また、地球以外の天体の影響はないものとする。万有引力定数を  $G$  とする。

空気抵抗や地表の構造物は無視できるとして、A が地球表面すれすれで円軌道を描いて周回するときの速さを  $v_1$  とする。 $v_1$  は第一宇宙速度と呼ばれている。地球が A に作用する万有引力の大きさは 1 となるので、 $v_1$  を用いて等速円運動の運動方程式を立てると

$$m \times \text{2} = \text{1}$$

となる。これより  $v_1 = \text{3}$  である。A が地球を周回する周期  $T_1$  は、 $G$ 、 $M$ 、 $R$  を用いて表すと  $T_1 = \text{4}$  である。

ここで、 $R = 6.4 \times 10^6 \text{ m}$ 、 $\frac{GM}{R^2} = 9.8 \text{ m/s}^2$  を代入すると、第一宇宙速度  $v_1$  は 5 km/s である。また、円運動の周期  $T_1$  は 6 分と求まる。ただし、5、6 は有効数字 2 桁で解答すること。 $\sqrt{2} = 1.41$  を利用してもよい。

(計算用紙)

# I - B

図1に人工衛星Aが地球を周回する楕円軌道を示す。Aはケプラーの法則に従って運動し、地球の中心である点Oを1つの焦点とする楕円軌道を描く。長軸上の点P、点QにおけるAの速さをそれぞれ $v_P$ 、 $v_Q$ とする。また、点Oから点Pまでの距離を $R$ 、点Oから点Qまでの距離を $r$ とする。ケプラーの第2法則（面積速度一定の法則）より、 $v_P$ 、 $v_Q$ の関係は

$$v_Q = \boxed{7} \times v_P$$

となる。この関係と力学的エネルギーの保存則より、 $v_P$  および  $v_Q$  は

$$v_P = \boxed{8} \times v_1, \quad v_Q = \boxed{9} \times v_1$$

となる。ただし、 $v_1 = \boxed{3}$  である。ケプラーの第3法則（公転周期の2乗と、楕円軌道の半長軸の3乗の比は惑星を問わず一定）をAに適用すると、Aが楕円軌道を周回する周期 $T_{PQ}$ は

$$T_{PQ} = \boxed{10} \times T_1$$

となる。ただし、 $T_1 = \boxed{4}$  である。

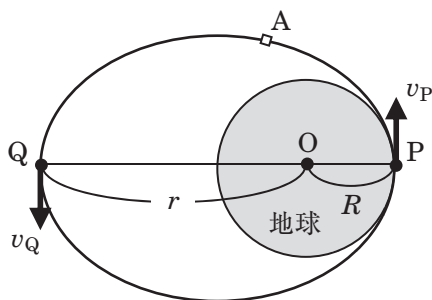


図1

(計算用紙)

I - C

図2に示すように、Aが楕円軌道で地球を周回している。点QにおいてAの進行方向とは逆方向に燃焼ガスを瞬間的に質量 $m_1$ だけ噴射した。噴射直後にAの速さは $v_Q$ から $\Delta v$ だけ増加した。噴射直後において、Aからみた燃焼ガスの相対的な速さを $V$ とする。これより、噴射前後の運動量の保存の式は

$$mv_Q = (m - m_1)(v_Q + \Delta v) + m_1 \times \left( \boxed{11} \right)$$

となる。したがって、 $m_1 = \boxed{12} \times m$ の関係がある。

燃焼ガスを噴射後、Aの軌道は、点Oを中心とする半径 $r$ の円軌道になった。このとき $\Delta v$ は、 $R$ 、 $r$ を用いて

$$\Delta v = \left( \boxed{13} \right) \times v_Q$$

となる。

Aが静止衛星となると、円軌道の半径 $r$ は、 $r \doteq 6.6R$ であることが知られている。簡単のため $r = 7R$ として概算すると、 $\Delta v = \boxed{14} \times v_Q$ となる。さらに $V = 2v_Q$ を仮定すると、噴射した燃焼ガスの質量は、噴射前の質量の $\boxed{15} \%$ になる。ただし、 $\boxed{14}$ ， $\boxed{15}$ は有効数字1桁で解答すること。

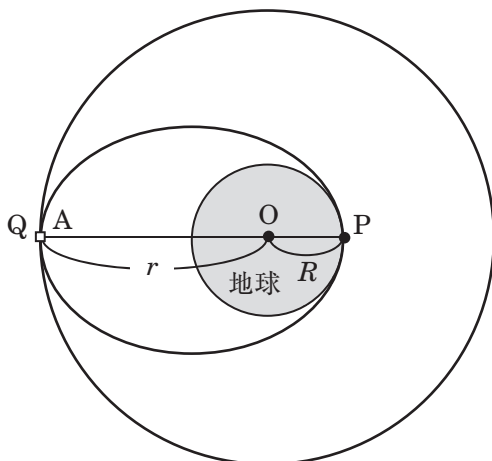


図2

(計算用紙)

Ⅱ 以下の文章を読み、空欄 1 ～ 13 に最も適切な式または数値を記入せよ。以下の数学的知識を応用してもよい。

三角関数の微小変化について、加法定理から

$$\Delta(\sin \omega t) = \sin\{\omega(t + \Delta t)\} - \sin \omega t = \sin \omega t \cos \omega \Delta t + \cos \omega t \sin \omega \Delta t - \sin \omega t$$

$$\Delta(\cos \omega t) = \cos\{\omega(t + \Delta t)\} - \cos \omega t = \cos \omega t \cos \omega \Delta t - \sin \omega t \sin \omega \Delta t - \cos \omega t$$

となる。 $\Delta t$  が十分小さいとき、 $\sin \omega \Delta t \doteq \omega \Delta t$ 、 $\cos \omega \Delta t \doteq 1$  と近似されるので、

$\Delta(\sin \omega t) \doteq \omega \Delta t \cos \omega t$ 、 $\Delta(\cos \omega t) \doteq -\omega \Delta t \sin \omega t$  が成立する。

## Ⅱ - A

直流発電の原理と回路への応用を考える。

図1は、水平面に置かれた直流発電装置（上から見下ろした図）と、それにつながった回路図を示している。発電装置は、長さ  $r$  [m] の質量の無視できる一様な導体棒 OA と、滑らかな表面をもち、点 O を中心とする円形の導体レールからできている。導体棒は点 A でレールに接しながら点 O を中心に回転する。力（大きさ  $F$  [N]）は点 A で円周方向に加えるものとする。レールの内側の円形領域には磁束密度  $B$  [T] の一様な磁場が紙面の下から上向きにかけられている。レールと点 O は、抵抗  $R$  [ $\Omega$ ] の2つの抵抗 R と電気容量  $C$  [F] のコンデンサー C からなる回路につながっている。導体棒、導体レール、導線、点 A の電気抵抗および装置のインダクタンスは無視でき、はじめコンデンサーに電荷は蓄えられていなかったものとする。

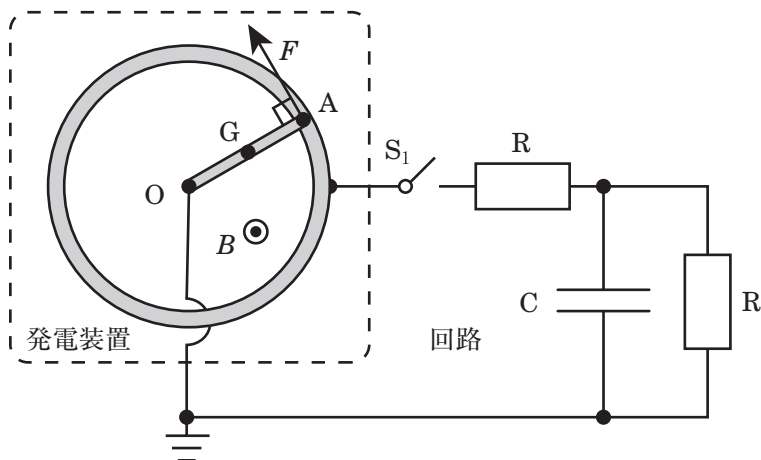


図1

スイッチ  $S_1$  を開いた状態で、点  $A$  が速さ  $v$  [m/s] の等速円運動になるように、导体棒  $OA$  を反時計回りに回転させた。このとき、 $OA$  が単位時間あたりに通過する面積は   $\times \pi r^2$  [m<sup>2</sup>/s] である。誘導起電力は  $OA$  が単位時間あたりに通過する磁束で決まり、点  $A$  の電位は  [V] となる。この  $S_1$  が開いた状態では、导体棒を回転させる力の大きさ  $F$  は  [N] である。

スイッチ  $S_1$  を閉じた後も  $F$  を調節することによって、点  $A$  を速さ  $v$  で等速円運動させることができた。 $S_1$  を閉じた直後、 $S_1$  を流れる電流の大きさは  [A] である。

速さ  $v$  を一定に保ちながら  $OA$  を回転させ、十分時間が経過した。そのとき  $S_1$  を流れる電流の大きさは  [A] となり、コンデンサーに蓄えられた電気量は  [C] である。電流の流れる导体棒  $OA$  が磁場から受ける力はその中点  $G$  にはたらくとみなせる。点  $O$  を中心とする力のモーメントのつり合いから、导体棒を回転させる力の大きさ  $F$  は  [N] となる。

## II - B

交流発電の原理と回路への応用を考える。

図2(a)は交流発電機（模式図）とそれにつながった回路図を示している。交流発電機は、導体からなる長方形コイル  $abcd$  でできており、長方形コイルは  $x$  軸を中心として回転する。点  $a, b, c, d$  は  $x$  軸から等距離にあり、長方形コイルの面積を  $S [\text{m}^2]$  とする。点  $E, F$ 、接点  $P, Q$  は  $x$  軸に近く、点  $E$  は接点  $P$  に、点  $F$  は接点  $Q$  にそれぞれ導体でつながっている。さらに接点  $P, Q$  は、抵抗  $R [\Omega]$  の抵抗  $R$ 、電気容量  $C [\text{F}]$  のコンデンサー  $C$ 、自己インダクタンス  $L [\text{H}]$  のコイル  $L$  からなる回路に接続している。

発電機を構成する導体および回路の導線の電気抵抗、接点の電気抵抗と摩擦は無視できるものとする。また、コイル  $L$  以外のインダクタンスも考慮しなくてよい。はじめコンデンサーに電荷は蓄えられてなく、回路のいずれの部分にも電流は流れていないものとする。

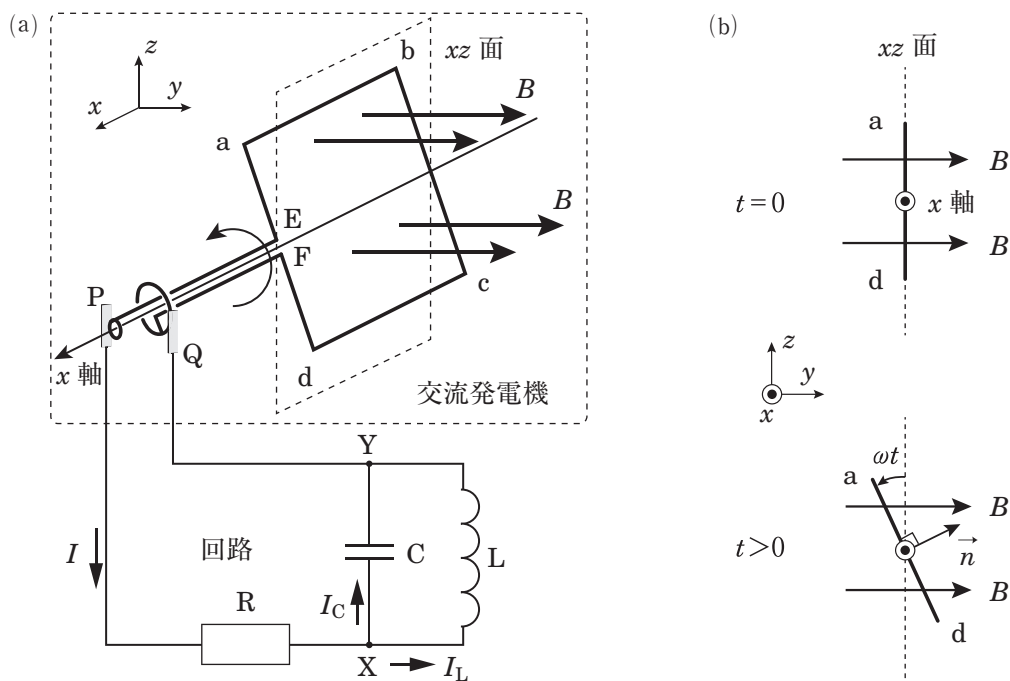


図 2

図 2(b)のように,  $y$  軸の正の向きに磁束密度  $B$  [T] の一様な磁場があるとしよう。時刻  $t=0$  で長方形コイルは  $xz$  面上にあり, 導体  $ab$  が  $z>0$ , 導体  $cd$  が  $z<0$  となっている。その後 ( $t\geq 0$ ), 接点  $P$ ,  $Q$  から見て反時計回りに角速度  $\omega$  [rad/s] で回転させた。

図 2(b)に示す長方形  $abcd$  に垂直なベクトル  $\vec{n}$  の向きを正とすると, 時間  $t\geq 0$  の関数として長方形  $abcd$  を貫く磁束は 8 [Wb] である。図 2(a)の電流  $I$  [A] を矢印の向きに流そうとする誘導起電力を正とすると, 点  $P$  と点  $Q$  の間に生じる誘導起電力  $V_{PQ}$  [V] は 9 [V] となる。

コンデンサーとコイルの両端  $XY$  間の電位差を  $V_{XY}$  [V] とする。図 2(a)の抵抗  $R$  に矢印の向きに電流  $I$  が流れると

$$V_{PQ} = RI + V_{XY}$$

が成り立つ。電位差  $V_{XY}$  の振幅を  $V_{LC}$  ( $>0$ ) [V], 位相差を  $\theta$  ( $0 \leq \theta < 2\pi$ ) として

$$V_{XY} = V_{LC} \sin(\omega t + \theta)$$

と仮定する。そのとき, コンデンサーとコイルに流れる電流をそれぞれ  $I_C$  [A] と  $I_L$  [A], その向きを図 2(a)のように定義する。電流  $I$  は  $I = I_C + I_L$  であるから

$$I = \left( \text{10} \right) \times V_{LC} \cos(\omega t + \theta)$$

となる。

長方形コイルの角速度  $\omega$  を変化させたところ, ある角速度  $\omega_0$  [rad/s] で電流  $I$  の大きさが常に 0 A の状態となった。このとき, 誘導起電力の周波数は  $C$  と  $L$  を用いて 11 [Hz] と表される。結果として, コイルとコンデンサーの両端  $XY$  間の電位差の振幅  $V_{LC}$  は,  $C$  と  $L$  を用いて 12 [V] となる。

電流  $I$  の大きさが常に 0 A の状態となっても, コンデンサーとコイルの回路には振動電流が流れ続けた。このとき, コンデンサー  $C$  に蓄えられる電場のエネルギーとコイル  $L$  に蓄えられる磁場のエネルギーの合計は,  $B$ ,  $S$ ,  $L$  を用いて 13 [J] である。

(計算用紙)

# 化 学

大問Ⅰ～Ⅲに答えよ。(問題は化11ページまでである)

化学の問題は次ページから始まる

- I 次の文章を読み、以下の設問(1)～(4)に答えよ。必要であれば次の値を使用し、数値は有効数字3桁で求めよ。ただし、原子量はH(水素)=1.00、炭素(C)=12.0、酸素(O)=16.0、ナトリウム(Na)=23.0、硫黄(S)=32.0、カリウム(K)=39.0、ヨウ素(I)=127とする。

シュウ酸と過マンガン酸カリウムの反応は、酸性条件では過マンガン酸イオンが( ① ) 剤として働くことによって、酸化還元反応が進行する。この酸化還元反応は、滴定に応用することができるが、酸性条件で行われるため、滴定液にはあらかじめ希硫酸を加えておく必要がある。滴定が進むと、過マンガン酸イオンの( ② ) 色が次第に消えていき、終点ではわずかにこの色が残ることで反応の完了を確認できる。また、酸化還元滴定の中でも、ヨウ素滴定は、酸化剤や還元剤の量を間接的に定量する方法として広く用いられる。ヨウ素滴定では、反応の終点を確認するためにデンプン水溶液が指示薬として用いられる。これは、酸性条件下でチオ硫酸イオンがヨウ素( $I_2$ )を( ③ ) してヨウ化物イオンに変化する反応により、ヨウ素デンプン反応で呈する( ④ ) 色が消失することを利用したものである。

(1) ①～④に当てはまる語句を書け。

(2) 0.0250 mol/L の過マンガン酸カリウム水溶液を用いて、酸性条件下でシュウ酸水溶液を滴定した。過マンガン酸カリウム水溶液 15.0 mL を滴下したところで終点に達した。ただし、シュウ酸は、酸性条件下で全て解離するものとする。

(ア) 酸性条件下におけるシュウ酸と過マンガン酸カリウムとの酸化還元反応を、イオン反応式で表せ。

(イ) 滴定に使用した過マンガン酸カリウム水溶液 15.0 mL に含まれる過マンガン酸イオンの物質量〔mol〕を求めよ。

(ウ) 滴定されるシュウ酸水溶液が 20.0 mL であったとき、このシュウ酸水溶液の濃度〔mol/L〕を求めよ。

- (3) 主成分が過酸化水素である市販のオキシドール 200 mL に、硫酸酸性の 1.00 mol/L のヨウ化カリウム水溶液 500 mL を加えた。この水溶液にデンプン水溶液を加えた後、1.25 mol/L のチオ硫酸ナトリウム水溶液で滴定したところ、終点にいたるまでに 320 mL を必要とした。
- (ア) 硫酸酸性下における過酸化水素とヨウ化物イオンの酸化還元反応をイオン反応式で示せ。
- (イ) 下線部 a のオキシドールに含まれる過酸化水素の質量パーセント濃度〔%〕を求めよ。ただし、オキシドールの密度は  $1.00 \text{ g/cm}^3$  とする。
- (4) 中和滴定において、扱う器具について正しいものをすべて答えよ。
- (ア) ビュレットは、純水で洗浄後、共洗いしてから使用する。
- (イ) 濃度を調べたい水溶液を入れる器具としてコニカルビーカーを使うときには、純水で洗浄後、ぬれたまま使用できる。
- (ウ) ホールピペットの内部は乾きにくいいため、加熱乾燥させてから使用する。
- (エ) ビュレットは、一定体積の溶液を正確にはかり取るための器具である。
- (オ) メスフラスコは、正確な濃度の溶液をつくるための器具である。
- (カ) (ア) ～ (オ) に正しい選択肢が一つもない。

(次ページへ続く)

Ⅱ 気体の反応に関する以下の文章を読み、設問(1)～(9)に答えよ。ただし、全ての気体は理想気体として取り扱うものとする。また、設問(7)、(8)において単位が無い場合は「無し」と答えよ。

ある気体物質 **A** は触媒の存在下で次のように分解して、気体物質 **B** と気体物質 **C** を生成する：



体積が一定の容器に気体 **A** のみを満たし、 $T_0$  [K] で静置したところ、容器内の圧力は  $P_0$  [Pa] となった。その後、体積が無視できるほど少量の触媒を容器に加えると、一定温度を保ったまま **A** の分解反応が始まった。反応中のある時刻における **A** の濃度を  $a$  [mol/L] とすると、そのときの **A** の分解速度  $v$  [mol/(L·s)] は、反応速度定数  $k$  [1/s] を用いて次のように表された：

$$v = ka$$

また、反応開始時の **A** の濃度を  $a_0$  [mol/L] とすると、反応開始から  $t$  秒後の濃度  $a$  は以下の式で与えられた：

$$a = a_0 e^{-kt}$$

ここで、 $e$  は自然対数の底である。

- (1) 「一定温度のもとで、混合気体の圧力は、各成分気体が単独で同じ体積を占めたときに示す圧力の総和に等しい」。この法則名を答えよ。
- (2) 反応開始から  $t$  秒後における気体 **A** の圧力を、 $P_0$  を用いて表せ。
- (3) 十分に時間が経過して **A** が完全に分解したとき、容器内の混合気体の圧力は  $P_0$  の何倍になるかを求めよ。

- (4) 反応開始から 60 秒後の容器内の**混合気体の圧力**が  $P_0$  の 2.0 倍であったとき、反応速度定数  $k$  [1/s] を求めよ。答えに対数が入る場合はそのままの形で記述してよいが、できるだけ簡単な形で示すこと。(例： $k=3\log_e 10$  または  $3\ln 10$  など)。
- (5) 容器内の**気体の圧力**  $P$  [Pa] を  $P=nP_0$  と表したとき、(4)の実験結果に基づき、 $t=0, 60, 180, \infty$ 秒における係数  $n$  の値を求め、解答欄の表とグラフを完成させよ。
- (6) 反応速度定数  $k$  [1/s] と絶対温度  $T$  [K] の間には、気体定数  $R$  [J/(K·mol)] および活性化エネルギー  $E_a$  [J/mol] を用いて、次の関係式が成り立つ：

$$k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$$

ここで、 $A$  は比例定数であり、この実験で行う温度範囲では一定とみなす。

測定温度を  $2T_0$  [K] にして、同様に **A** の分解反応を行ったところ、速度定数は  $T_0$  [K] のときの 10 倍になった。このとき、定数  $A$  を用いずに、活性化エネルギー  $E_a$  を気体定数  $R$  と温度  $T_0$  を用いた式で表せ。なお、答えに対数が入る場合はそのままの形で記述してよいが、できるだけ簡単な形で示すこと (例： $E_a=\log_e(3RT_0)$  または  $\ln(3RT_0)$  など)。

(次ページへ続く)

ある温度以上になると、**気体物質 A** の分解反応は可逆反応となり、次のように表された：



このとき、正反応は吸熱反応であった。一定温度  $T_1$  [K] のもとで、体積が一定の容器に**気体物質 A** のみを満たしたところ、反応はまだ始まらず、容器内の圧力は  $P_1$  [Pa] であった。ここに、体積が無視できるほど少量の触媒を加えると、一定温度を保ったまま反応が進行し、やがて  $T_1$  [K] で平衡状態（**状態①**）に達した。このとき、容器内の混合気体の圧力は  $P_1$  の 1.5 倍であった。

- (7) **状態①**における圧平衡定数  $K_p$  を、 $P_1$  を用いて表せ。また、単位もあわせて答えよ。
- (8) **状態①**における濃度平衡定数  $K_c$  を、 $K_p$  を用いて表せ。ただし、気体定数  $R$  の単位は  $[\text{Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol})]$  とし、 $K_c$  の単位もあわせて答えよ。
- (9) **状態①**に対して、以下の**操作 1 ～ 3**をそれぞれ個別に加えた。このとき、新たに達した平衡状態は、**状態①**と比べてどのように変化するか。次の選択肢（ア）～（キ）から正しいものをすべて選べ。

**操作 1**：温度一定で、**状態①**の容器の体積を半分に圧縮した。

**操作 2**：温度一定で、**状態①**の容器に不活性気体を加えた（体積は変えない）。

**操作 3**：**状態①**の容器内の温度を上げた。

- （ア）圧平衡定数が大きくなる。
- （イ）圧平衡定数が小さくなる。
- （ウ）平衡が左に偏る。
- （エ）平衡が右に偏る。
- （オ）容器内の **A** のモル分率が増加する。
- （カ）容器内の **A** のモル分率が減少する。
- （キ）（ア）～（カ）に正しい選択肢が一つもない。

(計算用紙)

(次ページへ続く)

Ⅲ 有機化合物に関する**実験 1**～**実験 5**の文章を読み、以下の設問(1)～(10)に答えよ。ただし、原子量は H(水素)=1.00, C(炭素)=12.0, O(酸素)=16.0, Cl(塩素)=35.5, Ca(カルシウム)=40.0, Cu(銅)=63.5, I(ヨウ素)=127.0 とする。また、気体はすべて理想気体として取り扱い、気体 1 mol の体積は、標準状態 (0℃,  $1.01 \times 10^5$  Pa) で 22.4 L とする。

**実験 1** グリセリンの 3 個のヒドロキシ基に、異なる有機化合物が脱水縮合で連結した有機化合物 A がある。377 mg の有機化合物 A を完全に燃焼させたところ、二酸化炭素 946 mg と水 351 mg を得た。

**実験 2** 377 mg の有機化合物 A の加水分解反応によってグリセリンから有機化合物を切り離し、枝分かれがない直鎖状の飽和脂肪酸 B と不飽和脂肪酸 C、および有機化合物 D を得た。得られた飽和脂肪酸 B と不飽和脂肪酸 C を分離した後に、それぞれ完全に燃焼させたところ、飽和脂肪酸 B からは二酸化炭素 352 mg を、不飽和脂肪酸 C からは二酸化炭素 396 mg を得た。不飽和脂肪酸 C に含まれる水素原子の数は飽和脂肪酸 B と同じであった。また、不飽和脂肪酸 C には三重結合は含まれていなかった。

**実験 3** 512 mg の飽和脂肪酸 B を含む水溶液中に塩化カルシウム 111 mg を加えたところで、飽和脂肪酸 B はすべて反応し難溶性の塩を生じた。

**実験 4** 560 mg の不飽和脂肪酸 C に水素を完全に付加させて飽和脂肪酸 E に変換した。

**実験 5** 90 mg の有機化合物 D をフェーリング液に加えて温めると、有機化合物 D はすべて反応して、沈殿する化合物 F を生じた。

- (1) 有機化合物 A に含まれる炭素の原子数は、酸素の原子数の何倍か。有効数字 2 桁で答えよ。
- (2) 飽和脂肪酸 B の分子式を答えよ。
- (3) 不飽和脂肪酸 C の分子式を答えよ。
- (4) 1.00 g の不飽和脂肪酸 C に付加できるヨウ素  $I_2$  の質量 [g] を、有効数字 3 桁で答えよ。
- (5) 実験 4 で必要な水素  $H_2$  の標準状態での体積 [mL] を、有効数字 3 桁で答えよ。

(次ページへ続く)

- (6) 飽和脂肪酸 E の名称を答えよ。
- (7) 有機化合物 D は、セルロースに酸を加えて長時間加熱し、加水分解することで得られる化合物と同じだった。このとき、有機化合物 D の名称を答えよ。なお、有機化合物 D の名称には、立体異性体に関する表記は入れなくてもよい。
- (8) 有機化合物 A において、有機化合物 D とグリセリンの間で形成されている結合の名称を答えよ。
- (9) 実験 5 で生じた化合物 F の組成式と質量 [mg] を答えよ。質量 [mg] は有効数字 3 桁で答えよ。
- (10) セルロースの説明として正しいものを、次の選択肢 (ア) ～ (カ) からすべて選べ。
- (ア) 水を加えて熱すると、のり状になる。
  - (イ) ヨウ素デンプン反応を示す。
  - (ウ) 人間はセルロースを消化するための酵素を持っていない。
  - (エ) 銅アンモニア溶液に溶かし、希硫酸中に押し出して繊維状に再生したものをビスコースレーヨンという。
  - (オ) 分子中に存在するヒドロキシ基がすべて硝酸エステル化されたものは火薬として用いられる。
  - (カ) (ア) ～ (オ) に正しい選択肢が一つもない。

(計算用紙)

化学の問題はここまで

# 生 物

解答は必ず別に配布する解答用紙に記入すること。

漢字の生物用語は、原則として正しい漢字を用いて解答すること。

I 次の文章を読んで下の問いに答えよ。

生物の体をつくる基本単位である細胞は様々な物質で構成されている。これらの中でも、核酸とタンパク質は生命活動に重要な役割を担っている。核酸の1種であるDNAは、糖（デオキシリボース）と塩基が結合してできる  に  が結合した  を基本単位とする分子である。DNAの  は、糖と  との間に形成される共有結合である  結合によって互いにつながり、長い鎖状構造を形成している。DNAに含まれる塩基には、  ,  ,  ,  の4種類がある。これらのうち、  と  はプリン塩基に分類され、  と  はピリミジン塩基に分類される。DNAは通常、2本の  鎖が互いに向かい合う二重らせん構造をとっており、塩基どうしが特定の組み合わせで相補的塩基対を形成する。すなわち、  は  と2つの水素結合、  は  と3つの水素結合で結合し、これらの結合によりDNAの安定性が保たれる。一方、タンパク質は、多数のアミノ酸がペプチド結合でつながったポリペプチドからなる。アミノ酸は炭素原子にアミノ基、カルボキシ基、水素原子、側鎖が結合した分子である。ポリペプチドは折りたたまれて らせん状の構造や並行に並んだシート状の構造をとり、さらに複雑な高次構造を形成する<sup>①</sup>ことで特定の働きを示すようになる。<sup>②</sup>

1900年代、遺伝を担う物質の候補としてDNAとタンパク質の二つが考えられていた。ハーシーとチェイスは、これらのうちどちらが遺伝物質かを確かめるため、バクテリオファージ（ファージ）を用いた実験を行った。ファージは、細菌に感染するウイルスで、タンパク質の殻の中にDNAが入った構造をしている。ファージは、細菌の表面に付着して遺伝物質を注入し、細菌の機能を利用して自己の複製物である子ファージを産生する。ファージが感染した細菌は最終的に破壊され、その際、多数の子ファージが放出される。ハーシーらは、タンパク質とDNAのそれぞれに特有の元素を利用し、タンパク質を放射性同位体  で、DNAを放射性同位体  で標識した親ファージをつくり実験に用いた。標識した親ファージを大腸菌に感染させ、子ファージの増殖がおこらない程度の短時間培養した後、培養液をミキサーで激しく攪拌した。<sup>③</sup>この培養液を、遠心分離により大腸菌の沈澱とファージを含む上清に分けた。<sup>④</sup>図は、上清

に含まれる ケ と コ の量について、実験に用いた親ファージに含まれていたそれぞれの総量を100%とした場合の相対量で表した結果である。この結果などから、遺伝物質の本体がDNAであることが明らかになった。

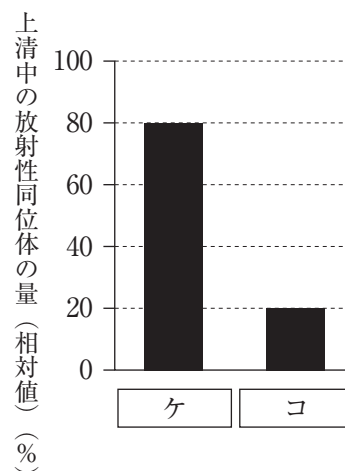


図. 上清に含まれていた放射性同位体の量

問1 文章中の ア ～ ク に入る最も適切な語句を、解答欄に記入せよ。

問2 ケ と コ に入る最も適切な放射性同位体を、次のa～eから選び記号で答えよ。

a.  $^3\text{H}$       b.  $^{14}\text{C}$       c.  $^{32}\text{P}$       d.  $^{35}\text{S}$       e.  $^{125}\text{I}$

問3 下線部①と②の構造をそれぞれ何というか。

問4 下線部③のミキサーによる攪拌は何のための操作か。30字以内で答えよ。

問5 下線部④の上清中には、遺伝物質をもつファージと遺伝物質を注入し終えた外殻とが含まれている。後者の、遺伝物質を注入し終えた外殻の量は、実験に用いた親ファージがもっていた外殻の総量のうちの何%か。整数で答えよ。

問 6  コ で標識した親ファージが感染した大腸菌を培養し，親ファージの100倍の数に増えた子ファージが生じた。実験は，すべての親ファージが大腸菌に感染する条件下で行われ，ファージに感染したすべての大腸菌から半保存的に複製されたゲノムをもつ子ファージを生じたものとして，以下の小問に答えよ。なお，DNA の組換えや分解は無視できるものとする。

- (1) 子ファージのうち，  コ の放射線が検出されたファージの割合は何%か。整数で答えよ。
- (2) 1つの親ファージに含まれていた  コ の量を100%としたとき，放射線が検出された1つの子ファージに含まれる  コ の量（相対値）は何%か。整数で答えよ。

〔余 白〕

## Ⅱ 次の文章を読んで下の問いに答えよ。

食事によって摂取されたでんぷんは、唾液や  に含まれるアミラーゼ、小腸の消化酵素である  によって分解されてグルコースになる。グルコースは、小腸で濃度勾配に逆らって上皮細胞内に輸送され、基底膜側の細胞膜から細胞外へ輸送されて血中へと移行する。血糖濃度上昇がすい臓のランゲルハンス島 B 細胞で感知されると、インスリンの合成と分泌が促進される。血中のグルコースは、ランゲルハンス島 B 細胞の細胞膜に存在する輸送体を介して細胞内に取り込まれると、解糖系で代謝されて  がつくられる過程で ATP が合成される。合成された ATP によって、カリウムの細胞膜透過性が変化して神経細胞と同じしくみで脱分極する。これにより、細胞内のカルシウムイオン濃度が上昇し、インスリンを含んだ小胞が細胞膜と融合して、インスリンが細胞外へ分泌される。

インスリンの合成過程では、まずランゲルハンス島 B 細胞の小胞体表面に付着した  で前駆体のプロインスリンが合成される。プロインスリンは、その分子内において、アミノ酸である  の間にジスルフィド結合が形成されたのち、プロテアーゼ X の働きによってインスリンと C ペプチドへと分解される。

インスリンが分泌されない場合や、十分に作用を発揮しないことにより、慢性的な高血糖になる糖代謝異常の状態を糖尿病という。1 型糖尿病では、何らかの原因によりランゲルハンス島 B 細胞が破壊され、インスリンが十分に分泌されないため、患者は治療のためにインスリンを注射する必要がある。また、最近では、細胞に備わっている自身の不要になったタンパク質や細胞小器官をアミノ酸に分解して再利用するしくみが、ランゲルハンス島 B 細胞の機能維持に重要な役割を果たしており、インスリンの合成や糖尿病の病態に関与すると考えられている。

問 1 文章中の  ～  に入る最も適切な語句を、解答欄に記入せよ。

問2 血糖濃度の調節に関わるホルモンについて、次のa～iの記述のうち正しいものの5つをすべて選び、記号を解答欄に記入せよ。

- a. アドレナリンはグルカゴンの分泌を抑制する
- b. アドレナリンは肝臓のグリコーゲン分解を促進する
- c. インスリンは肝臓のグリコーゲン合成を促進する
- d. インスリンは筋肉のグルコース取り込みを増加させる
- e. インスリンは脂肪組織の脂肪合成を抑制する
- f. グルカゴンは肝臓のグリコーゲン分解を促進する
- g. グルカゴンは筋肉からのグルコース分泌を促進する
- h. 糖質コルチコイドはタンパク質からのグルコース合成を促進する
- i. 交感神経活動の促進はインスリン分泌を増加させる

問3 下線部①について、グルコースが濃度勾配に逆らって小腸上皮細胞内に輸送されるしくみを75字以内で説明せよ。なお、元素記号や電荷の符号（数も含む）はそれぞれ1マスに記入してよい。例えば $\text{Ca}^{2+}$ は「Ca」「2+」を各1字分のマスに記し、合計2字分のマスに記してよい。

問4 下線部①と同じように、グルコースを濃度勾配に逆らって細胞内に輸送するしくみが存在する臓器名をひとつ答えよ。また、解答した臓器のどのような働きにそのしくみが関わっているか、25字以内で説明せよ。

問5 下線部②および下線部④のしくみをそれぞれ何というか。

問6 下線部③で、Cペプチドは、プロテアーゼXによるプロインスリンの分解によってインスリンと1：1の割合でつくられ、インスリンとともに血中に分泌される。インスリンを投与している糖尿病患者で血中のCペプチド濃度を測定することがある。この場合、血中Cペプチド濃度を知ることによって分かることを30字以内で説明せよ。

問7 下線部③に関連して、プロインスリンのジスルフィド結合の場所を調べる目的で、ランゲルハンス島B細胞から精製したプロインスリンとインスリンを用いて次の①～④の試料を準備した。これらを電気泳動し分子量の違いにより分離してタンパク質を検出したところ、図1の①～④の結果を得た。

- ① 何も処理していないプロインスリン
- ② プロテアーゼXと還元剤を加えて反応させたプロインスリン
- ③ 何も処理していないインスリン
- ④ 還元剤を加えて反応させたインスリン

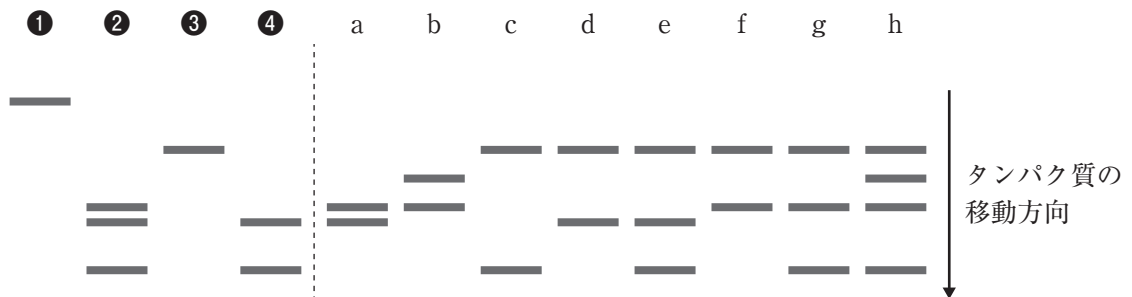


図1. 電気泳動によって分離したタンパク質の検出結果

なお、還元剤にはジスルフィド結合を切断する働きがある。また、タンパク質の電気泳動は、DNA と同様に、小さい分子ほど移動距離が長くなる。

図 2 はプロインスリンの模式図とプロテアーゼ X による切断部位を示している。P, Q, R の 3 つの領域の分子量はそれぞれ、およそ 3400, 3600, 2400 である。

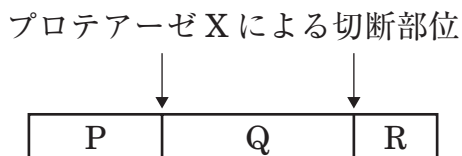


図 2. プロインスリンの構造

- (1) プロインスリンにプロテアーゼ X のみを加えて反応させた場合の電気泳動の結果は、図 1 の a ~ h のうちどれか。記号で答えよ。
- (2) 実験結果から考えられるジスルフィド結合の場所はどこにあるか。次の a ~ g の選択肢の中から 1 つ選び、記号で答えよ。
- a. P 領域と Q 領域の間
  - b. P 領域と R 領域の間
  - c. Q 領域と R 領域の間
  - d. P 領域と Q 領域の間, P 領域と R 領域の間
  - e. P 領域と Q 領域の間, Q 領域と R 領域の間
  - f. P 領域と R 領域の間, Q 領域と R 領域の間
  - g. P 領域と Q 領域の間, Q 領域と R 領域の間, P 領域と R 領域の間

### Ⅲ 次の文章を読んで下の問いに答えよ。

マラリアは、寄生虫であるマラリア原虫をもつハマダラカ（蚊）に刺されることで感染する。ヒトの体内に入った原虫はまず肝臓で増殖し、次に血液中の赤血球<sup>①</sup>に侵入する。そこで増殖した原虫が赤血球を次々と破壊し外に出てくるため、貧血や発熱<sup>②</sup>などの症状が引き起こされる。世界保健機関の報告によると、2023年の世界におけるマラリア感染者数は約2億6千万人、死者数は約60万人でこの約95%はアフリカ地域の人々である。

アフリカのマラリア流行地域でみられる鎌状赤血球貧血症はヘモグロビン遺伝子の一塩基置換<sup>③</sup>によって引き起こされる遺伝性疾患である。この変異型を両親から受け継いだ場合、赤血球が著しく壊れやすくなるため、重度の貧血を発症して死亡率が高くなる。一方、片方の親からのみ受け継いだ場合は軽度の貧血にとどまる。また、マラリア原虫が赤血球内で増殖しにくくなるため、マラリア流行地域では、この変異をもたない野生型よりも生存上有利になることが知られている。

マラリアに対するワクチン<sup>④</sup>は長年研究開発が行われており、2020年頃から流行地域で使用されはじめたが、当初に期待されたほど高い有効性は示されていない。その理由の1つは、ワクチンの抗原として用いられているマラリア原虫の表面タンパク質が変異を繰り返すためである。<sup>⑤</sup>

問1 下線部①に関する次の文章中の  ～  に入る適切な語句または数値を解答欄に記入せよ。

赤血球は、直径およそ   $\mu\text{m}$  の円板状をした無核の血球で、血液中の数は成人男性ではおよそ  個/ $\text{mm}^3$  である。赤血球は  で造られ、全身の血管をめぐる。古くなった赤血球は  と  で破壊され、その際にヘモグロビンの分解産物から  という色素を生じる。 は  で処理され、 の成分として十二指腸内に放出される。

問 2 下線部②の発熱の機序に関して、次の文章中の  ～  に入る適切な語句を解答欄に記入せよ。

食作用を示す  がマラリア原虫を認識し、これを細胞内に取り込むと同時に  を産生する。 は、脳の  にある体温調節中枢に働き、この中枢からの指令により産熱と保温が促され、体温が上昇する。

問 3 下線部③で起こる突然変異の種類を 2 つ挙げよ。また、それぞれどのような突然変異か、15 字以内で説明せよ。

問 4 マラリア原虫の感染の有無は赤血球を顕微鏡で観察することで分かる。血球の観察によく用いられるギムザ染色の手順は次の①～④のとおりである。

- ① 凝固を阻止した血液をスライドガラス上に薄く広げ乾燥させる。
- ② メタノールを数滴滴下し、30 秒静置する。
- ③ 余分なメタノールを振り落として血球試料を乾燥させる。
- ④ ギムザ液を滴下し、20 分染色したあと流水で液を洗い流し乾燥させる。

- (1) 手順①で用いられるような血液凝固防止剤の例をひとつ挙げよ。
- (2) 手順②の処理を何というか。
- (3) 手順③の処理の目的を 25 字以内で説明せよ。

問 5 下線部④に関する次の小問に答えよ。

- (1) 「ワクチン接種は  細胞を形成させることを意図している。」  
この文の空欄  に入る語句を解答欄に記入せよ。
- (2) 免疫が成立した人がマラリア原虫に感染すると、どのようなしくみの免疫反応が起こるか。25 字以内で記述せよ。

問 6 下線部⑤に関して、変異を繰り返すことがなぜワクチンの効果と関連するのか、50 字以内で説明せよ。