

令和4(2022)年度入学者選抜個別(第2次)学力検査問題

理 科

注 意 事 項

1. 監督者の指示があるまで、この冊子を開いてはいけません。
2. この冊子は、全部で37ページあり、第1～3ページは下書用紙です。下書用紙は切り離してはいけません。
3. 解答用紙は、問題冊子と別に印刷されているので、誤らないように注意しなさい。
4. 解答は、必ず解答用紙の指定された欄内に記入しなさい。点線より右側には何も記入しないこと。
5. 入学志願票に選択を記載した2科目について解答しなさい。選択していない科目について解答しても無効です。
6. 各解答用紙には、受験番号欄が2か所ずつあります。それぞれ記入を忘れないこと。
7. 解答用紙は、記入の有無にかかわらず、机上に置き、持ち帰ってはいけません。この冊子は持ち帰りなさい。
8. 落丁または印刷の不鮮明な箇所があれば申し出なさい。

下 書 用 紙 (切り取ってはいけない)

下 書 用 紙 (切り取ってはいけない)

下 書 用 紙 (切り取ってはいけない)

物 理

(注) 医学科の受験生は問 1 から問 8 までを, 歯学科および保健衛生学科(検査技術学専攻)の受験生は問 1 から問 6 までを解答せよ。

1 大きさが無視できる人工衛星を地球の地表面近くで水平方向に速さ v_0 で打ち出すと, 地表すれすれで地球の半径 R の円軌道を描いて周回する。この速度 v_0 を第一宇宙速度という。また第二宇宙速度 v' を超えると, 人工衛星は地球から無限遠方まで飛び去ることができる。地表での重力加速度の大きさを g とし, 以下の問題に答えよ。ここで, 地球を真球とし, 地表の構造物や空気抵抗, 地球の自転と公転の影響は無視できるとする。また, 地球と人工衛星の間に働く万有引力のみを考え, 万有引力による位置エネルギーの基準(位置エネルギー 0)は無限遠とする。

問 1 第一宇宙速度 v_0 およびその周期 T_0 を, R, g を用いて表せ。

問 2 第二宇宙速度 v' を, R, g を用いて表せ。

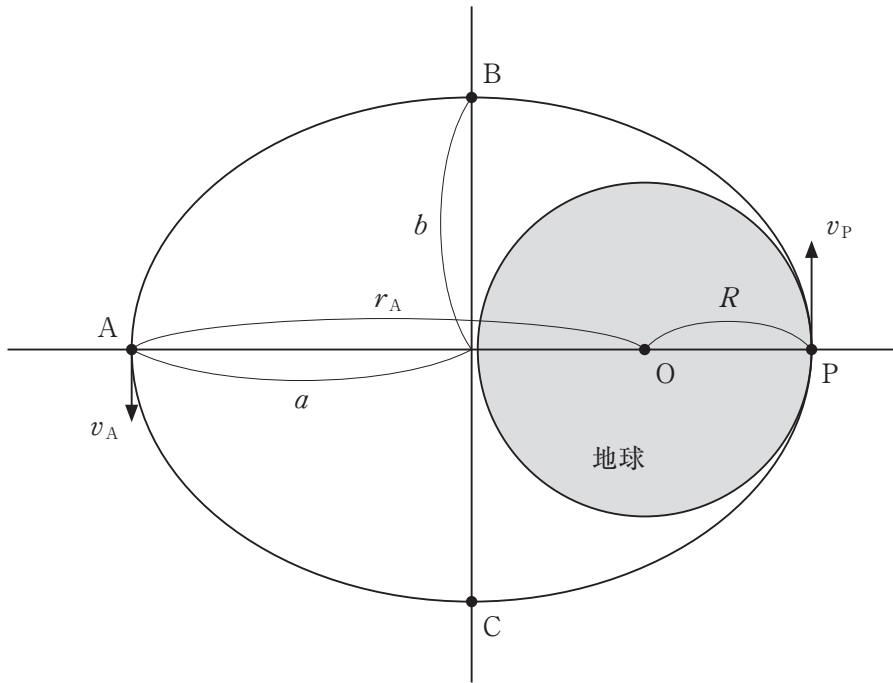


図 1

質量 $m + \Delta m$ の人工衛星が地表すれすれで反時計回りに半径 R の円軌道を周回している。この人工衛星が図 1 の点 P に来た時、人工衛星から質量 Δm の物体を後方に放出した。放出直後、人工衛星の速度は v_P となり、質量 Δm の物体の速度はゼロとなった。その後、人工衛星は、図 1 の長軸半径 a 、短軸半径 b の楕円軌道を周回した。この楕円軌道の焦点の一つは地球の中心 O に一致している。点 A は楕円軌道上で O から最も遠い点であり、線分 $\overline{OA} = r_A$ 、点 A を通過するときの人工衛星の速さを v_A とすると、ケプラーの第 2 法則(面積速度一定の法則)から

$$Rv_P = r_A v_A$$

が成り立つ。

問 3 v_P を m , Δm , v_0 を用いて表せ。

問 4 人工衛星が質量 Δm の物体を放出するときに使われたエネルギー ΔE を,
 m , Δm , v_0 を用いて表せ。

問 5 人工衛星が図 1 の楕円軌道上を周回するとき,

$$v_P = \sqrt{2gR} \times \boxed{\quad (1) \quad}$$

$$v_A = \sqrt{2gR} \times \boxed{\quad (2) \quad}$$

と書くことができる。空欄(1), (2)のそれぞれに入る式を, R , r_A を用いて表せ。

問 6 楕円軌道の周期を T とするとき, $\frac{T}{T_0}$ を, R , r_A を用いて表せ。

問 7 人工衛星の力学的エネルギーを, R , g , m , r_A を用いて表せ。

問 8 ケプラーの第 2 法則からわかるように, 楕円軌道では点 P に近いほど人工衛星が速く運動し, 点 A に近いほど遅く運動する。図 1 のように, 楕円の短軸と楕円軌道の交差する点を点 B, 点 C とすると, 人工衛星が点 B から点 C に達するまでの時間 T_1 と点 C から点 B に達するまでの時間 T_2 は異なる。

$$T_1 = 2T_2$$

となる楕円軌道の短軸半径 b を, a を用いて表せ。ただし楕円の性質から, 線分 $\overline{OB} = \overline{OC} = a$ である。また必要であれば, 図 1 の楕円の面積は πab と表されることを用いよ。

(注) 医学科の受験生は問 1 から問 2(6)までを、歯学科および保健衛生学科(検査技術学専攻)の受験生は問 1 から問 2(4)までを解答せよ。

2

問 1 図 1 のように、電場と磁場中を運動する質量 m 、電荷 $q (> 0)$ の荷電粒子を考える。荷電粒子は真空中を運動し、その大きさと重力の影響は無視できるとする。紙面 (xy 平面) に垂直で裏から表に向かう磁束密度の大きさが一定で B_0 の一様な磁場がかかった領域 I ($y > 0$) と、 $+y$ 方向に向いた強さが一定で E の一様な電場がかかった領域 II ($y < 0$) がある。座標 $(0, -d)$ の点 Q_1 に静止していた荷電粒子を静かに放すと、 y 軸上を加速しながら進み、原点 O から領域 I に入射した。以下の問題に答えよ。

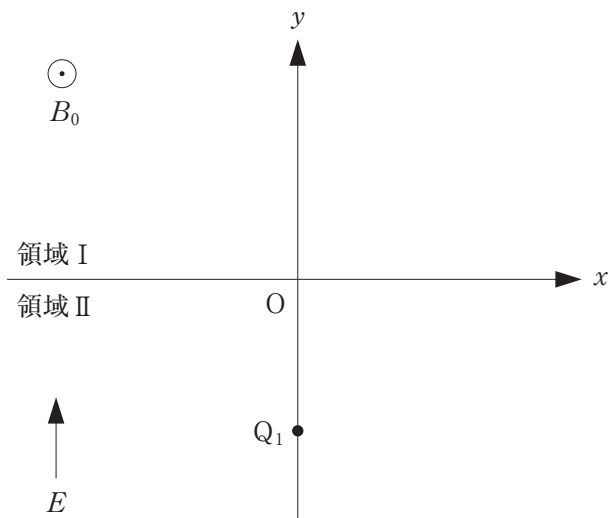


図 1

- (1) 荷電粒子が原点 O に到達した時の速さを E , d , m , q のうち必要なものを用いて表せ。
- (2) その後、領域 I 内で円運動し点 Q_2 より再び領域 II に入射した。点 Q_2 の座標を B_0 , E , d , m , q のうち必要なものを用いて表せ。

- (3) 荷電粒子が点 Q_1 から点 Q_2 に到達するまでにかかる時間を, B_0, E, d, m, q のうち必要なものを用いて表せ。
- (4) 荷電粒子が点 Q_1 から点 Q_2 に到達するまでに電場と磁場が荷電粒子にする仕事の合計を, B_0, E, d, m, q のうち必要なものを用いて表せ。
- (5) α 粒子(α 線の粒子)と β 粒子(β 線の粒子)を考える。まず α 粒子を原点 O より $+y$ 方向に速さ v_α で領域 I へ入射したところ, 領域 I で半径 r_α の円運動となった。次に β 粒子を原点 O より $+y$ 方向に速さ v_β で領域 I へ入射したところ, 領域 I で半径 r_β の円運動となった。 α 粒子の質量 m_α と β 粒子の質量 m_β の比 m_α/m_β を, $B_0, e, r_\alpha, r_\beta, v_\alpha, v_\beta$ のうち必要なものを用いて表せ。なお, 電気素量を e とし, α 粒子と β 粒子の大きさは無視できるとする。

次に図2のように, 質量 m , 電荷 $q(>0)$ の荷電粒子が, 原点 O より x 軸の負の向きから角度 $\theta(0 < \theta < \frac{\pi}{2})$ の方向に速さ v_0 で領域 I へ入射した。その後, 領域 I 内で円運動し点 Q_3 より再び領域 II に入射した。

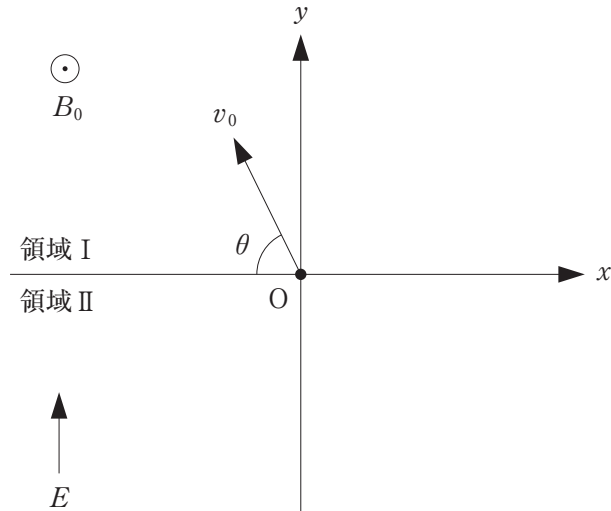


図 2

- (6) 原点 O から点 Q_3 までの荷電粒子の軌跡を図示せよ。また、円運動の中心と点 Q_3 の座標を、 B_0, m, q, v_0, θ のうち必要なものを用いて表せ。
- (7) 荷電粒子が原点 O から点 Q_3 に到達にするまでの時間を、 B_0, m, q, v_0, θ のうち必要なものを用いて表せ。

問 2 図3のように、電場と磁場中を運動する質量 m 、電荷 $q (> 0)$ の荷電粒子を考える。荷電粒子は真空中を運動し、その大きさと重力の影響は無視できるとする。紙面 (xy 平面) に垂直な方向に磁束密度の大きさが一定で $B = B_0$ の一様な磁場がかかった領域 1 ($y > d$)、領域 2 ($y < 0$) と、 y 軸に平行で強さが E で一定の一様な電場がかかっている領域 3 ($0 < y < d$) がある。原点 O で静止していた荷電粒子を静かに放すと、領域 3 の $+y$ 方向に向いた電場によって加速され、点 P_1 から領域 1 に入射した。荷電粒子は領域 1 で円運動した後、点 P_1' より領域 3 に入射し、強さが E のまま向きが逆転した一様な電場により $-y$ 方向に加速され、点 P_2 から領域 2 に入射した。以後、粒子は円運動(領域 2)、加速(領域 3)、円運動(領域 1)、加速(領域 3)…を繰り返し、円運動の半径は徐々に大きくなっていく。以下の問題に答えよ。

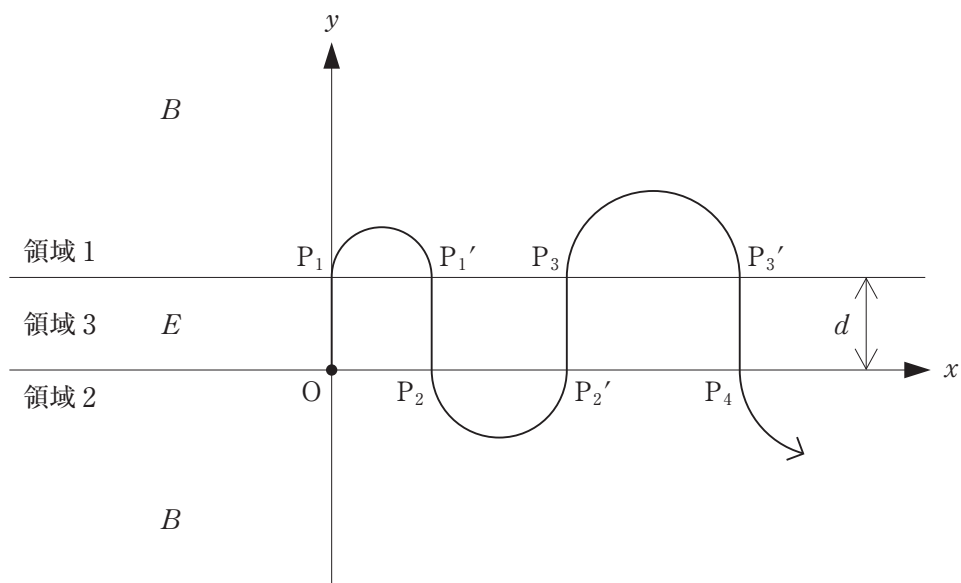


図 3

- (1) 領域 1 および領域 2 の磁場の向きは、それぞれ紙面の「表から裏」, 「裏から表」のいずれか答えよ。

- (2) 荷電粒子が原点 O から P_3' に到達するまでの間、運動エネルギーはどう変化するか。グラフの横軸を原点 O から荷電粒子が運動した軌跡の長さとして図示せよ。なお、解答用紙のグラフの横軸にはあらかじめ点 $P_1, P_1', P_2, P_2', P_3, P_3'$ が記入してある。

荷電粒子は領域 3 を n 回目 ($n = 1, 2, \dots$) に通過直後、領域 1 または領域 2 に入射して円運動する。この円運動の半径を r_n 、円運動している時間を t_n とする。

- (3) r_n を、 B_0, E, d, m, n, q のうち必要なものを用いて表せ。
(4) t_n を、 B_0, E, d, m, n, q のうち必要なものを用いて表せ。

荷電粒子が領域 3 を n 回通過した後、円運動の半径がいつも r_n から変わらないようにしたい。そのためには荷電粒子が領域 3 を $n + N$ 回目 ($N = 1, 2, \dots$) に通過直後、入射した領域 1 あるいは領域 2 の磁束密度の大きさを $B_{n,N}$ としなければならない。この時、 $n + N$ 回目の円運動をする時間は $t_{n,N}$ となる。

- (5) $B_{n,N}$ を、 B_0, N, n を用いて表せ。
(6) $\frac{t_{n,N}}{t_n}$ を、 N, n を用いて表せ。

化 学

必要のある場合には次の数値を用いよ。

原子量：H = 1.0 C = 12.0 N = 14.0 O = 16.0 Na = 23.0

S = 32.1 Ti = 47.9 Cl = 35.5 K = 39.1 Ca = 40.1

Fe = 55.8 Br = 79.9 I = 126.9

気体定数： $R = 8.31 \times 10^3 \frac{\text{Pa} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$

アボガドロ定数： $6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$

ファラデー定数： $F = 9.65 \times 10^4 \text{C/mol}$

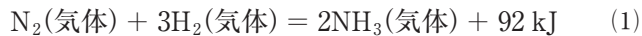
対数： $\log_{10} 2 = 0.30$ $\log_{10} 3 = 0.48$ $\log_{10} 7 = 0.85$

$\log_e 10 = 2.30$ (e = 2.718)

数値を計算して答える場合は、結果のみではなく途中の計算式も書き、計算式には必ず簡単な説明文または式と式をつなぐ文をつけよ。

1 次の文を読み下の問に答えよ。なお、気体はすべて理想気体としてふるまうものとする。

窒素は、地殻中には硝酸塩やアンモニウム塩として存在し、大気中には単体の窒素として体積比で約 78 % 含まれる。単体の窒素は、常温では反応性が乏しく安定であり、工業的には窒素と水素からアンモニアを直接合成し、肥料や薬品の原料など様々な用途で利用している。窒素と水素からアンモニアを合成する反応は可逆反応であり、熱化学方程式は式(1)で表される。



ルシャトリエの原理に基づくと、アンモニアの生成率を高めるためには、**ア** の条件にすることが望ましい。工業的には、アンモニアを効率的に大量生産するために、触媒を用いて、温度 400~600 °C、圧力 $2 \times 10^7 \sim 5 \times 10^7 \text{ Pa}$ の条件で合成が行われている。

硝酸は、工業的にはアンモニアを原料として次のように製造される。アンモニ

アを空気と混合し、白金触媒を用いて約 800℃ に加熱して酸化物を生成する。冷却後、さらに酸化させた後に水と反応させて硝酸が合成される。この合成法は 法と呼ばれる。硝酸は強酸として働くほか、強い酸化剤としても働く。銅や銀を酸化して溶かし、濃硝酸では主に が、希硝酸では主に が発生する。一方、鉄やアルミニウムは濃硝酸には溶けず、 と呼ばれる状態になる。

工場や自動車からの排ガス中には、物質の燃焼に伴い、空気中や燃料中の窒素が酸素と化合して発生した窒素酸化物 NO_x が含まれる。 NO_x はそのまま放出すると大気汚染の原因となるため、触媒を用いて選択的にアンモニアによって還元し、無害化する方法(アンモニア選択接触還元法)がある。この方法では排ガス中 にアンモニアを注入し、高温の反応器内に据え付けられた二酸化チタン TiO_2 を主成分とする触媒上で NO_x を還元させる。このとき、酸素も反応に関与し、窒素と水(水蒸気)に変換される。

窒素は動植物の体内にはタンパク質や核酸などの化合物として存在しており、生命活動に欠かせない元素の1つでもある。ヒトは食事から摂取したタンパク質 を体内でアミノ酸に分解し、体を構成するタンパク質の合成やエネルギー源などとして利用しており、食品に含まれるタンパク質は脂質、炭水化物(糖類)とともに と呼ばれる。

問 1 ~ の空欄に当てはまる適切な語句または化合物名を答えよ。

問 2 下線部(a)について、反応容器の容積と温度を保ちながら、物質質量比 1 : 3 の窒素と水素を反応させたところ、初め $2.0 \times 10^7 \text{ Pa}$ であった全圧が $1.4 \times 10^7 \text{ Pa}$ になり、平衡に達した。気体は気体の状態方程式に従うものとする。

- (1) 平衡時におけるアンモニアの分圧およびアンモニア生成の圧平衡定数 K_p を有効数字 2 桁で求めよ。
- (2) アンモニア生成の平衡定数(濃度平衡定数) K_c を圧平衡定数 K_p 、気体定数 R 、および絶対温度 T を用いて表せ。

問 3 ア に当てはまる語句を次の①～④から選び、その番号を記せ。

- ① 低温・低圧 ② 低温・高圧 ③ 高温・低圧 ④ 高温・高圧

問 4 アンモニアを効率的に生産するために、下線部(b)のような条件で行われている理由を述べよ。

問 5 アンモニア選択接触還元法に関する以下の問に答えよ。

- (1) 二酸化窒素を下線部(c)で示したアンモニア選択接触還元法によって処理したときの反応式を示せ。
- (2) 1.0×10^5 Pa, 327°C の条件で、排ガス 100 L をアンモニア選択接触還元法で処理した。この排ガスには二酸化窒素が体積比で 60 ppm 含まれているとすると、排ガス 100 L に含まれる二酸化窒素をすべて無害化するのに必要なアンモニアの質量を有効数字 2 桁で求めよ。なお、ppm は 100 万分の 1 の割合を示している。

問 6 下線部(d)について、食品中のタンパク質の含有量は、一般的にタンパク質に一定量含まれる窒素の含有量から算出される。窒素の含有量を測定する方法の 1 つとしてケルダール法がある。ある食品について、以下に示すようにケルダール法によって窒素含有量を測定した。ある食品 1.0 g を濃硫酸とともに加熱し、含有する窒素をすべて硫酸アンモニウムとした。これに過剰量の水酸化ナトリウム水溶液を加えて蒸留し、発生した気体を 0.20 mol/L 希硫酸 20 mL に完全に吸収させた。この水溶液に残った硫酸を 0.20 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液で中和滴定したところ、15 mL を要した。以下の問に答えよ。

- (1) 硫酸アンモニウムに水酸化ナトリウムを加えて加熱し、気体を発生させた反応の反応式を示せ。
- (2) この食品中に含まれるタンパク質の質量パーセントを有効数字 2 桁で求めよ。ただし、この食品中のタンパク質の窒素含有率(質量パーセント)は 17 % とし、窒素はすべてタンパク質に由来したとする。

2 次の文を読み下の問に答えよ。

尿は腎臓で作られる液体であり、生体の様々な老廃物を含んでいる。尿に含まれる成分を検査することにより、腎臓の病気だけでなく身体の様々な異常を発見することができる。血液の検査と異なり、採取する際に痛みを伴わないため、尿の検査は健常人の中から病気をもった人を見つけるふるい分け検査として非常に有効である。病気によって尿中に出現する(あるいは消失する)特定の成分をおおまかに検出することを尿定性検査といい、その方法の一つとして、尿試験紙法がある。尿試験紙法は試薬が塗布された紙(試験紙)に尿を滴下し、その試薬の色調の変化を見る試験である。特殊な装置がなくても目で試験紙を見るだけで、検査することができる。図2-1のように、長方形の紙の上に四角状に区切りがあり、それぞれの検査項目によって異なる試薬が塗布されている。この試験紙に尿を滴下すると、それぞれの試薬の色調が変化し、判定時間後に判定表(図2-2)に記載された色調と比較することで各成分の量を判定する。

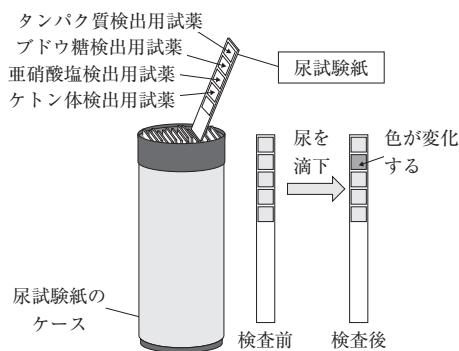


図2-1 尿試験紙を用いた検査(例)

検査項目	判定時間	判定の解釈					
		(-)	(±)	(1+)	(2+)	(3+)	(4+)
タンパク質	直後	□	■	■	■	■	■
			15	30	100	300	1000 mg/dL
ブドウ糖	50 秒	□	■	■	■	■	■
			50	100	250	500	2000 mg/dL
亜硝酸塩	30 秒	□	■	■	(弱陽性) (強陽性)		
			0.1	0.3	mg/dL		
ケトン体	30 秒	□	■	■	■		
				10	30	80	mg/dL

図2-2 尿試験紙判定表(dL = 10⁻¹ L)

尿中タンパク質の測定を試薬として、プロモフェノールブルー(BPB)などが用いられる。BPBはpH指示薬として知られており、pH 3.0以下であると黄色、pH 4.6以上であると紫色を示す。BPBに加えて、タンパク質検査用の試薬には緩衝剤が含まれており、試薬に尿が接するとその部分がpH 3.0程度の酸性になる。このとき、尿中にタンパク質が存在すると、尿中に出現するほとんどのタン

パク質の等電点は3.0よりも高いために、尿中のタンパク質を構成するアミノ酸の(a)基は(b)の電荷を有するようになる。この官能基とBPBが反応し紫色に変化する。したがって、溶液中のタンパク質の濃度が高いと試験紙の紫色の色調が強くなる。その色の濃さを判定表(図2-2)と見比べて、±(15 mg/dL), 1+(30 mg/dL), 2+(100 mg/dL), 3+(300 mg/dL), 4+(1000 mg/dL)などのように尿中のおおよそのタンパク質濃度を判定する。

尿中のブドウ糖(グルコース)が試薬と反応すると、図2-3のような化学反応が起こる。つまり、尿中にグルコースが一定濃度以上存在すると、試験紙が青色に変化し、タンパク質と同様にして尿中のおおよそのグルコース濃度を判定できる。

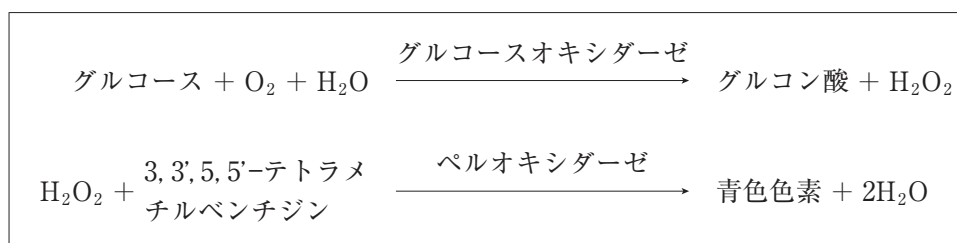


図2-3 尿中グルコースと試薬との反応

膀胱炎などの原因となる尿路(尿が通る管)の感染症では、尿中の細菌によってタンパク質由来の硝酸塩が(c)され、亜硝酸塩が生成される。したがって、尿中の亜硝酸塩の存在は尿路感染症の診断に有効である。

ケトン体とは、脂肪酸の代謝産物であり、アセト酢酸, 3-ヒドロキシ酪酸, 化合物 X の総称である。尿中ケトン体測定用の試薬はニトロプルシドナトリウム($\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}]$)が用いられる。これはケトン体の中のアセト酢酸や X とニトロプルシドナトリウムが塩基性条件下で赤色の錯イオンを形成するという原理に基づいている。図2-4のように、アルカリ溶液中では X は電離して水素イオンを生じ、 Y^- となる。この状態でニトロプルシドイオンと Y^- が反応すると錯イオン I が形成されついで錯イオン II となり、最終的にペンタシアニドアクア鉄(II)酸イオン $[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{H}_2\text{O}]^{3-}$ と X のイソニトロソ体となる。この錯イオン

I, 錯イオンⅡが赤色を呈するため, 尿試験紙を用いて尿中のアセト酢酸や X であるケトン体の測定が可能である。

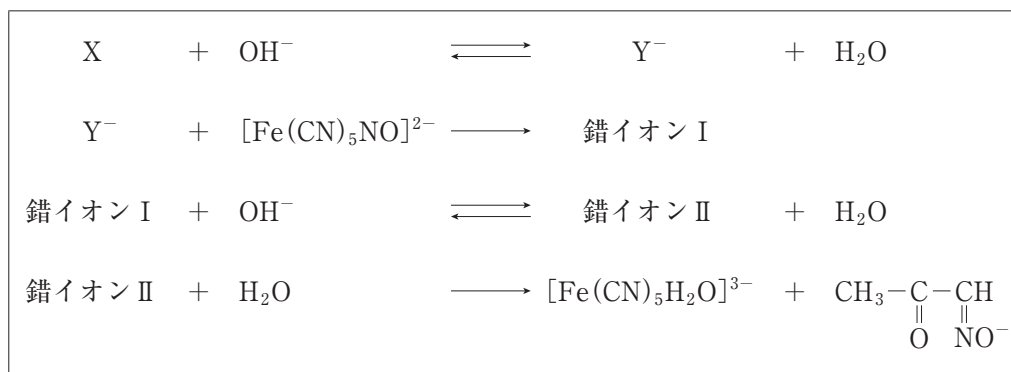


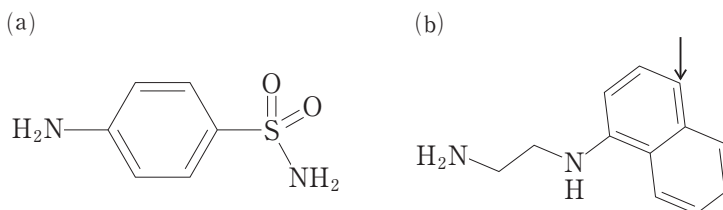
図2-4 化合物 X とニトロプルシドイオンとの反応

問 1 空欄 a, b, c に当てはまる適切な語句を書け。

問 2 尿を採取した後に長時間放置すると, 細菌によって尿中の尿素が分解されることがある。このように放置した尿のタンパク質を試験紙法で検出しようとするとき実際の濃度とは異なる値を示すことがある。判定結果は, 実際のタンパク質濃度より高く判定されるか, 低く判定されるか, 理由とともに書き。なお, 尿中の実際のタンパク質の濃度は変わらないものとする。

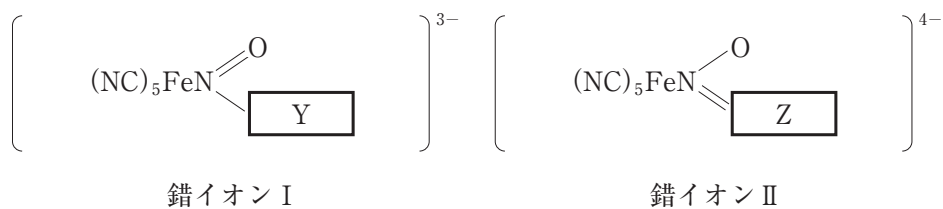
問 3 サプリメントなどで摂取するビタミン C (アスコルビン酸) (分子量 176) は過酸化水素と 1 : 1 の物質比で反応することが知られている。ビタミン C を摂取した後の患者の尿中のグルコースを尿試験紙法で測定した。その尿中には 280 mg/dL のグルコースが含まれており, さらにビタミン C が 176 mg/dL 混入していたとすると, この尿の尿試験紙法によるグルコースの定性判定 (−~4+) の結果はどのようなになるか。理由とともに書き。

問 4 尿中亜硝酸塩の検査に使われる試薬として下記の二つの化合物(a), (b)が用いられる。まず、化合物(a)が亜硝酸塩由来の亜硝酸イオンと反応し、生成した化合物が化合物(b)と反応して、最終的な生成物は着色した。化合物(b)が関与する反応名を示し、最終生成物の構造式を書け。ただし、反応の際、化合物(b)は下図の矢印(↓)の箇所が置換されるものとする。



問 5 X は酢酸カルシウムを熱分解することによっても生成される。X の名称および酢酸カルシウム熱分解の反応式を書け。

問 6 X とニトロプルシドナトリウムの反応に関して、錯イオン I および錯イオン II は下に示すような構造式をとる。構造式の Y, Z の部分を完成せよ。



3 次の文を読み下の問に答えよ。

生体内で起こる化学反応の多くは有機化合物が反応物であり、体温程度の温度で速やかに反応が進行する。これは「酵素」と呼ばれるタンパク質の触媒作用による。酵素は反応を起こす特定の分子構造をもつが、この部分を活性部位(または活性中心)という(図3-1参照)。一つの酵素は、特定の化学反応にのみ触媒作用を示す。したがって、多様な化学反応に対応するために、生体内には多数の酵素が存在する。

酵素が働きかける物質を基質といい、特定の基質にだけ作用する性質を酵素の(a)という。働きが活発になる条件は酵素によって異なり、触媒作用が最大になる温度のことを(b)、触媒作用が最大になる pH のことを(c)という。

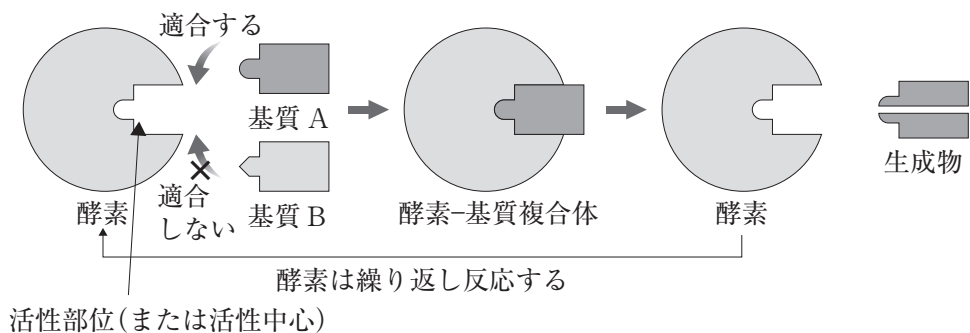
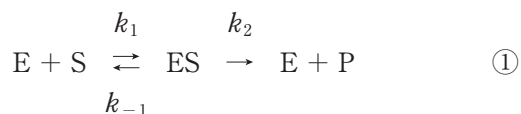


図3-1 酵素反応の模式図

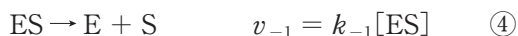
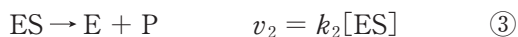
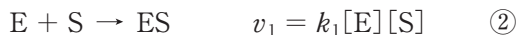
酵素反応の進行中は、一時的に酵素と基質が結合した酵素-基質複合体ができる。反応速度は、できた酵素-基質複合体の濃度に比例する。したがって、基質の濃度が大きくなると、酵素-基質複合体がつくられやすくなり、反応速度は増す。基質の濃度がさらに大きくなると、酵素-基質複合体の濃度は酵素の濃度に近づくが、酵素の濃度(上限値)をこえることはできず、反応速度も上限値(最大反応速度)に近づく。

酵素が触媒として働く生体内の化学反応では酵素(E)は、基質(S)と結合して

酵素-基質複合体(ES)となり、反応生成物(P)を生じるが、ESがEとSに分解する反応も起こる。これらの反応とそれぞれの反応速度式は、次のようになる。



酵素反応 反応速度式



k_1 , k_2 , k_{-1} は、それぞれの反応の反応速度定数であり、 $[E]$, $[S]$, $[ES]$ は、酵素、基質、酵素-基質複合体の濃度を表す。

ESが分解する反応速度式 v_3 は、反応③と④が関与するので、反応速度定数を用いて次のようになる。

$$v_3 = (\quad d \quad) \quad \text{⑤}$$

酵素反応の多くの場合、ESの生成と分解はつりあい状態にあり、ESの濃度は変化せず一定とみなすことができる。このような条件で、反応生成物Pができる反応速度 v_2 を考察してみよう。ESの生成と分解は、つりあい状態にあるとき、 $v_1 = v_3$ であるから

$$k_1[E][S] = (\quad d \quad) \quad \text{⑥}$$

となる。ここで、全酵素濃度を $[E]_t$ (一定)とおく。全酵素濃度は、遊離の酵素の濃度と酵素-基質複合体の濃度の和であるので、

$$[E]_t = [E] + [ES] \quad \text{⑦}$$

である。式⑦を式⑥に代入して、 $[ES]$ を $[E]_t$ を用いて表すと、

$$[ES] = (\quad e \quad)$$

ただし、 $K_m = \frac{k_2 + k_{-1}}{k_1}$ とすると、

$$[ES] = (\quad f \quad)$$

となる。したがって、反応速度は、

$$v_2 = \frac{k_2[E]_t[S]}{[S] + K_m} \quad \text{⑧}$$

となる。

ある酵素 E が基質 S の加水分解反応に関与する酵素反応について、以下の実験を行った。様々な濃度の S に一定濃度の E を加えて、37℃ で反応を行った。その実験結果を表 3-1 に記す。基質の濃度は mmol/L、反応速度は mmol/min の単位で求めた。

表 3-1 基質 S の加水分解実験の結果

	反応前の S の濃度 [S] (mmol/L)	反応速度 v_2 (mmol/min)
反応液 1	0.083	0.0010
反応液 2	0.167	0.0018
反応液 3	0.417	0.0036
反応液 4	0.833	0.0053
反応液 5	1.667	0.0069
反応液 6	4.167	0.0085

問 1 a, b, c に当てはまる適切な語句を記せ。

問 2 d, e, f に当てはまる適切な文字式を記せ。ただし, d には反応速度定数を用いて記すこと。

問 3 基質濃度 $[S]$ が大きく, $[S] \gg K_m$ の場合, 式⑧において, $[S] + K_m \doteq [S]$ とみなせるので, 以下の式⑨が成り立つ。

$$v_2 = k_2[E]_t \quad \text{⑨}$$

このときの v_2 は最大反応速度と考えられるので, $V_{\max} = k_2[E]_t$ となる。最大反応速度を V_{\max} とすると, 式⑧と⑨から, $v_2 = \frac{V_{\max}}{2}$ のときの $[S]$ を求めよ。

問 4 表 3-1 の結果を用いて, 縦軸が反応速度, 横軸が基質濃度のグラフを作成せよ。プロットした点と点の間は実線の曲線で結べ。

このグラフから K_m を求めるのは難しい。その理由を説明せよ。

問 5 基質濃度を $[S]$, 反応速度を v_2 , 最大反応速度を V_{\max} とすると, 式⑧の逆数および式⑨から, 以下の式⑩が成り立つ。

$$\frac{1}{v_2} = \frac{K_m}{V_{\max}[S]} + \frac{1}{V_{\max}} \quad \text{⑩}$$

式⑩と表 3-2 の逆数を用いて, 縦軸を $1/v_2$, 横軸を $1/[S]$ としてプロットを直線で結ぶと図 3-2 の二重逆数プロットが得られた。図 3-2 から, V_{\max} と K_m を求めよ。

表 3-2 表 3-1 の実験データ値の逆数

$1/[S]$	値	$1/v_2$	値
1/0.083	12	1/0.0010	1000
1/0.167	6.0	1/0.0018	550
1/0.417	2.4	1/0.0036	280
1/0.833	1.2	1/0.0053	190
1/1.667	0.6	1/0.0069	145
1/4.167	0.24	1/0.0085	118

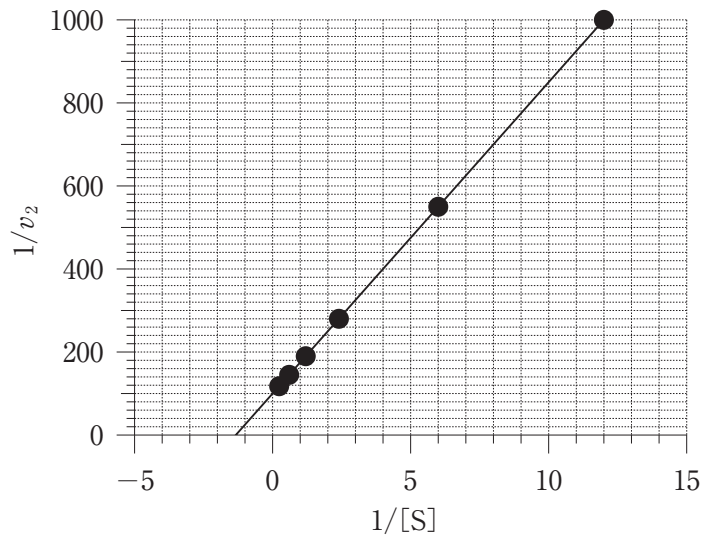


図 3-2 二重逆数プロット

問 6 酵素反応の場合，本来の基質ではなく，それと似た分子構造をもつ複合体を形成してしまうと，本来の基質とは結合できなくなる。このような物質を酵素阻害剤という。

上述した酵素実験の続きで，酵素阻害剤(I)をあらかじめ添加することにより，酵素の一部が酵素-酵素阻害剤の複合体(EI)になった。この阻害剤は，基質が結合した酵素-基質複合体に対しては直接的な影響を与えない。つまり，以下の化学平衡だけを考慮することになる。

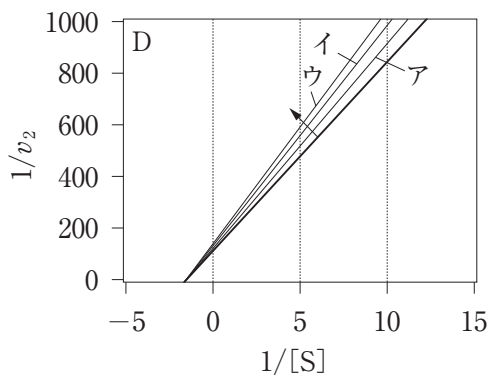
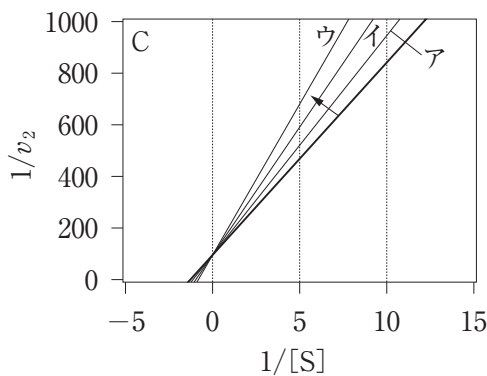
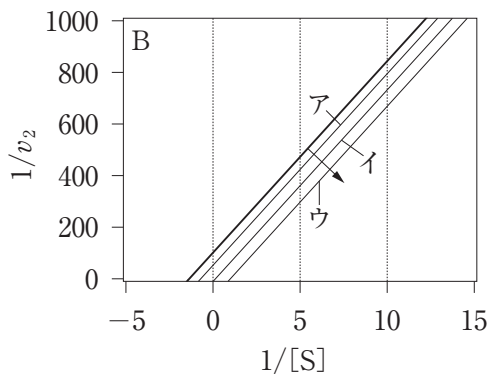
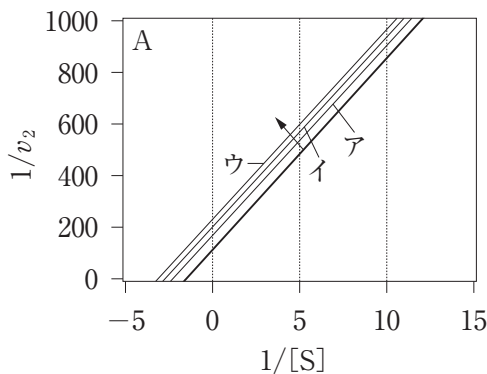


ここで酵素-阻害剤の解離反応の平衡定数を K_I とした。

酵素阻害剤(I)を添加した場合、式⑩は式⑪のように阻害剤の濃度[I]を用いて表される。

$$\frac{1}{v_2} = \frac{K_m}{V_{\max}[S]} \left(1 + \frac{[I]}{K_I} \right) + \frac{1}{V_{\max}} \quad \text{⑪}$$

阻害剤の濃度をア, イ, ウの順番で上げていくと, 図3-2で記した直線はどのように変わるか。下図のA~Dの中から正しいものを一つ選べ。また, 正しい理由を説明せよ。



生 物

1

ヒトの肝臓は横隔膜の下に位置し、暗赤色な臓器である。また、消化器系に属する最も大きな臓器で、その重さは成人で1.2～2.0 kgである。肝臓は、ほかの臓器とは異なり、動脈（肝動脈）と静脈（肝静脈）のほかに、消化管、^{すい}膵臓、^ひ脾臓から出る静脈が^{a)}合流した門脈（肝門脈）とつながっている。肝臓の主なはたらきとして、尿素の合成、^{b)}グリコーゲンの合成と分解、^{c)}さまざまなタンパク質の合成と分解、^{d)}胆汁の生成、解毒作用などが知られている。胆汁は肝臓でつくられ、いったん^{e)}胆嚢に蓄積された後、胆管を^{のう}通って十二指腸に分泌されている。

病気によって肝臓の機能が著しく損なわれると、他人の肝臓を移植する場合がある。しかし、移植した肝臓は拒絶反応によって生着しないことがある。この主な原因は患者と臓器提供者の間で主要組織適合遺伝子複合体（MHC）^{f)}が異なることである。現在、人工多能性幹細胞（iPS細胞）^{g)}から肝細胞を作製し、肝臓を再生する研究が行われている。

問題 1 下線 a) ～ g) に関連する次の問題に答えよ。

a) 次の問いに答えよ。

- 1) 動脈と静脈の構造の一般的な違いを2つ答えよ。
- 2) 肝動脈、肝静脈、肝門脈の中で最も尿素濃度の高い血液が流れているのはどれか、答えよ。
- 3) ラットを用いて肝門脈の血液が肝臓を経由しないで下大静脈に流れるような手術をした。その結果、脳に障害が起こって昏睡状態になった。その理由を答えよ。
- 4) 脾臓のはたらきを1つ答えよ。

b) 鳥類では尿素の代わりに尿酸を排出する。尿酸を排出物とすることは鳥類が飛ぶうえで都合が良いと考えられている。どのような点で都合が良いと考えられるか、答えよ。ただし、尿素は水溶性で、尿酸は非水溶性であるという化学的性質に基づいて答えること。

c) グリコーゲンがグルコースから合成される。次の問いに答えよ。

1) グルコースは細胞外から細胞内に移動することができる。そのしくみを答えよ。

2) 血糖値が異常に高くなるとグルコースが尿中に検出される。どの部位で何が起こった結果なのか、答えよ。

d) 次の問いに答えよ。

1) mRNA の塩基配列からタンパク質のアミノ酸配列を決めることができるが、タンパク質のアミノ酸配列から mRNA の塩基配列を特定することはできない。その理由を答えよ。

2) 肝細胞内に主に存在し、分泌されないタンパク質の血液中濃度を測定することによって、肝臓の状態を推定することができる。その理由を答えよ。

3) 肝臓で合成されるタンパク質の1つであるプロトロンビンはトロンビンの前駆体である。トロンビンのはたらきを答えよ。

e) 胆汁は小腸において脂肪の消化・吸収を促進するが、これ以外の胆汁のはたらきを答えよ。

f) MHC の違いを認識し，拒絶反応が起こるまでの過程を答えよ。ただし，次の用語を全て用いること。また，同じ用語を複数回用いてもよい。

[用語] 抗体，キラー T 細胞，ヘルパー T 細胞，B 細胞

g) 患者由来の iPS 細胞から機能に異常がある肝細胞を作製した。この細胞はどのような研究において有用であると考えられるか，答えよ。

生物は周りの環境から様々な情報を受け取り、長い時間をかけて環境に適応する能力を進化させてきた。その1つが季節適応で、例えば温帯域^{a)}に生息する昆虫には、生存に厳しい冬に休眠し、繁殖に都合の良い夏に速やかに成長するものがある。哺乳類と比べてライフサイクルが比較的短い昆虫には1年間に世代を何回か繰り返すものもある。年に一世代のライフサイクルを示すものを一化性、年2回ライフサイクルを繰り返すものを二化性と呼ぶ。一化性の昆虫にはカブトムシ、二化性の昆虫にはニカメイガ、アメリカシロヒトリ^{b)}などがある。

バッタ目に属するタンボコオロギも初夏と秋に成虫が現れる二化性の昆虫で、^{c)}春に孵化した幼虫は夏の間には速やかに成長して秋に羽化するが、秋以降に孵化した幼虫は休眠して越冬し、翌年の初夏に羽化する。これまでの研究から、幼虫発育のこれら2つのタイプは、幼虫時に経験した日長（日照時間の長さ）により決定することがわかっている。例えば温度25℃の飼育環境で、長日条件下では、孵化した後に幼虫は7～8回の脱皮^{d)}を経てほとんどの個体が孵化後50～60日で成虫になる。しかし短日条件下では、9回以上の脱皮を繰り返してゆっくりと成長し、半数の個体が羽化するまでに120日以上を要する。幼虫の発育で前者のタイプを長日型、後者を短日型と呼ぶ。^①さらなる研究で、飼育環境の温度を30℃にして長日条件下または短日条件下で飼育し、孵化から羽化までの日数および脱皮回数について調べた。その結果、羽化までの発育期間は長日と短日のいずれの条件でも、25℃飼育の場合と比べて大幅に短縮されることがわかった。ただし脱皮回数については、長日条件下では7～8回、短日条件下では9回以上であり、25℃で飼育した幼虫と違いはなかった。これらの結果から、成虫までの脱皮回数は日長により制御され、成虫までの発育期間（成長速度）は温度に影響を受けることが示唆された。

昆虫の成長速度の制御にはインスリン/TOR(target of rapamycin)シグナル伝達系^{e)}がかかわることが、キイロショウジョウバエ^{f)}を用いた研究で示唆されている。インスリン/TORシグナル伝達系では、インスリン様ペプチドがその受容体であるインスリン受容体(InR)に結合し、TORなどの様々な分子を活性化し、細胞や組織の成長を促すはたらきがある。タンボコオロギにおいてもこのシ

グナル伝達系が幼虫発育の促進に関わるのかどうかを、RNAi (RNA 干渉) 法によるインスリン受容体遺伝子 (*Inr*) の阻害実験により検証した。対照群ではサンゴ由来の遺伝子である *DsRed2* の RNAi を投与した。その結果、長日と短日^{g)} いずれの条件でも実験群では幼虫の体重が対照群と比較して減少し、長日条件では幼虫期間の有意な延長もみられた。ただし脱皮回数への影響は見られなかった。すなわち InR の発現抑制は、羽化までの脱皮回数には影響しないが、成長速度を有意に低下させることが明らかになった。

問題 1 下線部 a) ~ g) に関連する次の問題に答えよ。

- a) 日本の温帯域にあるバイオームには照葉樹林や夏緑樹林などがある。これらを構成する樹種には何があるか、それぞれ代表的なものを以下の植物から全て選べ。

ブナ コルクガシ タブノキ ソテツ コナラ カラマツ
スタジイ トドマツ オリーブ カエデ トウヒ モミ
クスノキ ユーカリ

- b) アメリカシロヒトリは外来生物である。外来生物は一挙に増えてしまうことがあるが、どのような場合に一挙に増えることが起こると考えられるか、答えよ。

- c) 分類の階層において、「目」の上位の階層と下位の階層を何と呼ぶか、それぞれ答えよ。ただし「上」「下」「亜」は使わない。

- d) 次の動物のうち脱皮動物に属するものはどれか、全て選べ。

ワムシ ヒザラガイ カイチュウ プラナリア ミジンコ
ミミズ ダニ

e) ヒトにおいて、インスリンは血糖値を下げるホルモンとして知られているが、逆に血糖値を上げるホルモンには何があるか、主なものを4つ挙げよ。またそれらの内分泌腺の名称をそれぞれ答えよ。

f) ショウジョウバエの幼虫の唾腺細胞には唾腺染色体と呼ばれる巨大な染色体が存在する。唾腺染色体では他の場所に比べて膨らんでいる部分（パフ）がみられる。パフが膨らんで見える理由を答えよ。また、発生の段階において染色体上のパフの位置が変わるが、これはどのようなことを意味するのか、答えよ。

g) ある島のサンゴ礁においてサンゴの種数と生きたサンゴの被度を調査したところ、次のグラフのような結果となった。被度とは海底面に占める生きたサンゴの割合を示す。このサンゴ礁では、サンゴ礁の北側斜面（▲）は強い波浪によりサンゴ礁が破壊されることが多く、南側斜面（○）は波浪の被害が少ない。次の問いに答えよ。

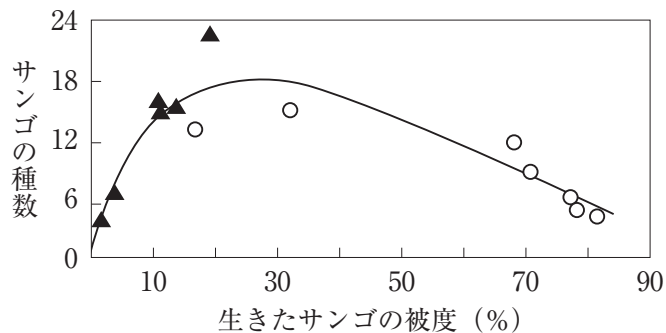


図1 サンゴの被度と種数の関係

1) 波浪の影響を多く受け、生きたサンゴの被度が低い場所と、波浪の影響をほとんど受けず、生きたサンゴの被度が高い場所ではともに種数が少ない。どうしてそのような結果になったのか、それぞれ理由を答えよ。

2) サンゴの白化現象は地球温暖化に伴う海水温の上昇が原因の1つであるが、海水温の上昇によりどのようにして白化現象が起こるのか、そのしくみを答えよ。

問題2 下線部①について、次の問題に答えよ。

成虫までの脱皮回数を指標とし、タンボコオロギの発育タイプ（長日型、短日型）が幼虫のどの時期に決定されるのかを次の実験により調べた。孵化したばかりの1齢幼虫を4グループ用意し、孵化直後から長日条件で飼育後、それぞれ2齢、3齢、4齢、5齢幼虫に脱皮した直後に飼育環境を短日条件に切り替え、その後は短日条件で飼育した。それぞれのグループの幼虫（各100匹）が成虫になるまでに脱皮した回数とその個体数を調べ、その結果を表1に示す。次の問いに答えよ。

表1 短日条件に切り替えるタイミングと成虫になるまでの脱皮回数

脱皮回数*	短日条件に切り替えるタイミング			
	2 齢幼虫	3 齢幼虫	4 齢幼虫	5 齢幼虫
7 回	0	92	98	100
8 回	0	8	2	0
9 回	0	0	0	0
10 回	0	0	0	0
11 回	0	0	0	0
12 回	45	0	0	0
13 回	40	0	0	0
14 回	15	0	0	0

*：孵化してから成虫になるまでの脱皮回数

- 1) 表1の脱皮回数を参考にし、タンボコオロギの発育タイプがどの時期に決定するのかがわかるようなグラフを描け。
- 2) タンボコオロギの発育タイプの決定について実験結果からわかることを答えよ。

2018年米国ボストンで開催された地球深部の生命を探る国際会議では、様々な微生物の報告が相次ぎ、海と陸（地表）に続き、第3の生物圏が存在することが分かり、にわかに注目されるようになった。深さ1,000メートルを超える海底からさらに2,000メートル以上掘り進んだ地下には、生息数は少ないものの微生物が存在し、種類が判明したものの中にはメタン生成菌^{a)}が存在していた。陸地においても地下の探索がなされており、例えば南アフリカの金鉱脈の地下2,000メートルを越えた地点で微生物が発見されている。金鉱脈には亀裂が多く、隙間に溜まったわずかな水の中に微生物が生き残っていたのだ。これらの微生物は細菌が中心だが、その種類は数万種以上であると考えられている。地下深部には酸素はほとんどなく、有機物などの栄養源も乏しい極めて過酷な環境で、どうやって生きているのかは最大の謎である。そのような環境下では、微生物は1千年から1万年に1度しか分裂できない^{b)}と考えられている。このような特殊な環境に研究者がひきつけられるのは、生命が存在する条件とは何かという根源的な課題を解決するために格好の材料になるからである。

地下にわずかでも水が残っていれば、生命が生き残れるなら、地球外でも生命が存在する可能性が考えられる。火星は35億年ほど前までは地球と同じように豊富な水があり、生命が誕生していてもおかしくない環境だったと考えられている。2021年に火星に着陸したアメリカの探査機「パーシビアランス」は、ジェゼロクレーターと呼ばれるかつて水が溜まり、湖になっていたと考えられる場所に着陸した。パーシビアランスは自力で走行できるローバー（探査車）タイプであり、様々な場所を探索し、探査機内に搭載した分析装置で生命の痕跡^{c)}を見つける計画である。火星で生命の痕跡が見つければ、広い宇宙の多くの星に生命が存在する期待が膨らむ。

アポロ11号でアームストロング船長が月に足を踏み入れてから50年あまりが経ち、今では月探索の目的は変わってきている。それは月には大量の水が存在するかもしれないからである。水は生命誕生に必要なだけでなく、電気分解するとエネルギー源になる酸素^{d)}と水素を作り出せる。このため、十分な水が確保できるなら、火星より遠い天体に向かう基地としての月の利用価値が高まる。現在、

多くの国が月着陸を目指し、水探索の競争が始まっている。

話を地球に戻そう。約 46 億年の歴史を持つ地球に生命が誕生したのは、およそ 38 億年前と考えられている。生命の誕生には、すでに述べてきたように「水」、すなわち豊富なミネラルを含む環境である「海」の存在が不可欠であった。最初は細菌類のような単細胞生物であり、およそ 10 億年前には多細胞生物が生まれ、次第に複雑な生物が誕生した。約 5.4 億年前以降の地層からは、それ以前に比べ多種多様な無脊椎動物が出現した。^{e)} 一方、およそ 5 億年前に出現した脊椎動物の祖先は、オーム貝などの頭足類による捕食から逃れるために、^{ひれ}鰭や筋肉を発達させていった。シルル紀になると、^{がく}無顎類の中から顎を持つ原始的な魚類^①が現れ、デボン紀になると、軟骨魚類や現生の魚類の多くが属する硬骨魚類が出現した。中には現在もほぼ当時のままの姿を残していると言われているシーラカンスなども存在する。

やがて魚類は、栄養豊富な海から汽水域へと生息域を拡大し、中には淡水にも適応できるような種も現れ、ついには上陸に成功するようになる。^{f)} この陸への適応には多くの困難が待ち受けていた。すなわち水域から陸地への環境変化に適応するためには、少なくとも重力^{g)}や呼吸^{h)}、浸透圧の変化に対して、対処する手段を獲得する必要があった。

問題 1 下線 a) ~ h) に関連する次の問題に答えよ。

- a) リボソーム RNA の塩基配列を基に分子系統樹を描くと、生物は 3 つのドメインに分かれる。メタン生成菌が属するドメインを答えよ。
- b) 1 千年から 1 万年に 1 度しか分裂できないのはなぜか、考えを述べよ。
- c) 地球上ではグリーンランドの約 38 億年前の地層から生命の痕跡が発見されているが、それは何か答えよ。
- d) 地球上において、最初に水を分解して酸素を発生した生物だといわれているものは何か、答えよ。

- e) このような現象は何と呼ばれているか答えよ。
- f) 最初に上陸したのは植物であり，最古の化石としてシルル紀の地層から見つかった陸上植物の名前を答えよ。
- g) 重力に耐えるためには，四肢の発達を含め骨格の発達が重要である。骨に貯蔵されている主なミネラルを2つ答えよ。また，水生動物においては，周りに豊富に存在した生体反応にとって重要なあるミネラルが，陸生動物になると不足しがちになる。そのミネラル不足から身を守るために発達したと考えられる内分泌器官を1つ答えよ。
- h) 魚類における^{えら}鰓と心臓，哺乳類における肺と心臓の関係が分かるように，解答欄の□をつなぐ血管を書き入れよ。解答欄の□は，それぞれ鰓，肺，心臓をあらわしている。また，心臓内を領域に分け，それぞれの名称を書き入れるとともに，全体の血液の流れを矢印を用いて描け。

問題2 下線①魚類に関連する次の問題に答えよ。

1) 下記の図2は、細菌、植物以外に、魚類、鳥類、哺乳類に属する動物で、これまで分かっているゲノムサイズの分布（幅）を示したものである。魚類は①～③のどれか答えよ。またそう考えた理由についても述べよ。

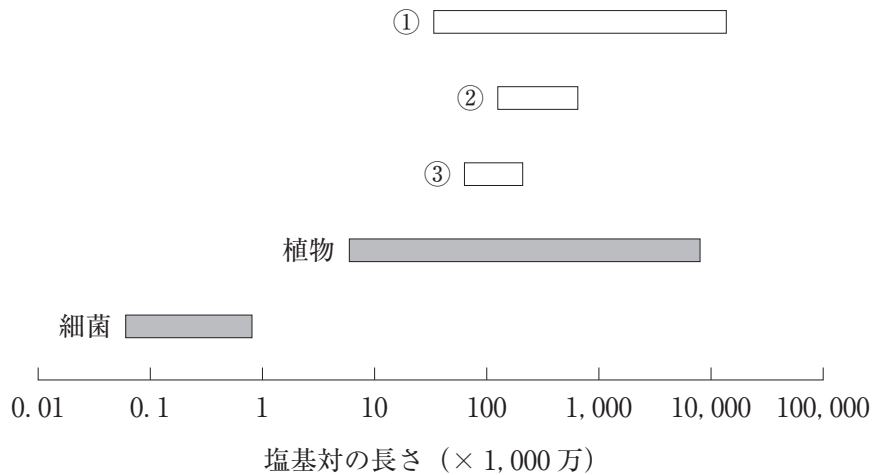


図2 細菌、植物と魚類、鳥類、哺乳類のゲノムサイズの分布

2) あきら君は、学習記憶に関する論文の中に、「魚類を含む多くの動物は、新たな物体に遭遇すると、探索行動すなわち周囲の状況を積極的に調査する行動を示し、新奇な物体に対して興味を示す」という文言を見つけたので、自らキンギョを使って実験をすることにした。

あきら君が立てた下記の実験計画において、いくつか適切でない（不十分な）部分がある。重要だと考えられる問題点を3つ選び、その理由と共に、より良い方法を考えて書け。

<実験計画>

あきら君は、昨日キンギョの専門店で購入した元気なキンギョを10匹用意して、早速実験に取り掛かった。実験は、まず30 cm × 30 cm × 30 cm の水槽に青色の丸い物体を2つ用意して水中に図3のように配置して5分間学習させた。もしもこの青色の物体を覚えているとすると、翌日（試験日）、片方だけ黄色の丸い物体に代えた時に、黄色の物体に近づくだらうと考えた。また、その論文の中ではエストラジオールという脂溶性のホルモンには、記憶の増強作用があるということが書かれていたので、その点についても確かめることにした。青色の物体を5分間学習させた後、実験群（5匹）は、DMSO という有機溶媒に溶かしたエストラジオールを麻醉下で腹腔内に投与して、翌日の記憶のスコアを調べ、何もしない対照群（5匹）の記憶のスコアと比較した。

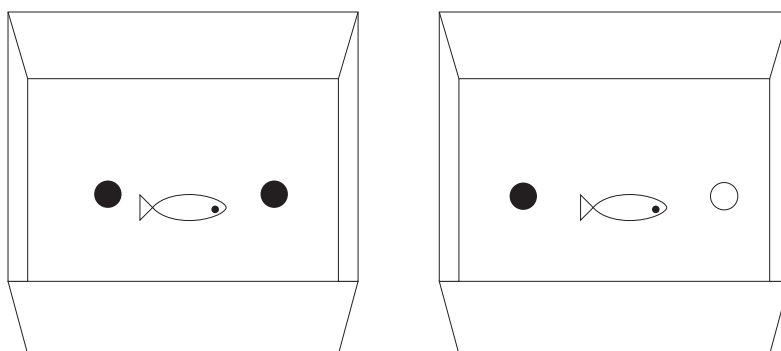


図3 学習日（左）と試験日（右）の物体（●青色と○黄色）の配置

