

2025年度 医学部 一般選抜 問題訂正

教科・科目	ページ	設問	誤	→	正
理科 (物理)	p.5	Ⅱ	2行目 「ゼロとして考慮せずに答えよ。」	→	「ゼロとして無視して答えよ。」

2025年度

慶應義塾大学入学試験問題

医 学 部

理 科

注意事項

1. 受験番号と氏名は解答用紙の所定の記入欄にそれぞれ記入してください。
2. 受験番号は各科目ごとに2か所の所定欄の枠の中に1字1字記入してください。
3. 解答は、必ず解答用紙の所定の欄に記入してください。
4. この問題冊子の余白および2, 3ページは計算および下書きに自由に用いてください。
5. この問題冊子の総ページ数は32ページです。試験開始の合図とともにすべてのページが揃っているかどうか確認してください。ページの脱落や重複があったら直ちに監督者に申し出てください。
6. この問題冊子は、試験終了後に持ち帰ってください。

— 下書き計算用 —

— 下書き計算用 —

物 理

解答は解答用紙の所定の欄に記入すること。

I

問1 図1のように水平右向きに x 軸を、鉛直上向きに y 軸をとり、原点 O から x 軸に対して角度 θ ($0 < \theta < 90^\circ$) の方向に質量 m の小球を速さ v_0 で打ち出す。重力加速度は鉛直下向きで大きさを g とし、小球と床との間の鉛直方向の反発係数を e とする ($0 < e < 1$)。空気抵抗は無視する。小球を打ち出す時刻を $t = 0$ 、 n 回目に床に衝突する時刻を t_n (n は正の整数)、 n 回目の衝突直後の小球の速度を $\vec{v}_n = (v_{nx}, v_{ny})$ とする。必要なら以下の公式を用いよ。

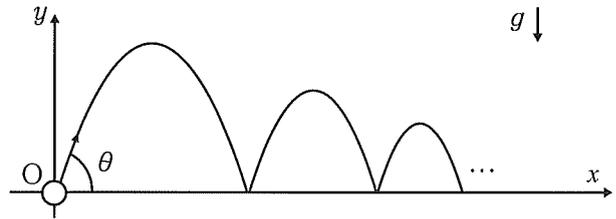


図1

$$1 + e + e^2 + \dots + e^{n-1} = \frac{1 - e^n}{1 - e}$$

および、

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 - e^n}{1 - e} = \frac{1}{1 - e}$$

- (a) 小球を打ち出してから最初に床に衝突するまでに、小球が水平方向に最も遠くまで進む角度 θ を答えよ。
- (b) t_1 と \vec{v}_1 を m, v_0, θ, g, e のうち必要なものを用いて答えよ。
- (c) t_n と \vec{v}_n を m, v_0, θ, g, e, n のうち必要なものを用いて答えよ。
- (d) 小球を打ち出してから n が無限大のときの衝突時刻 $t_{n \rightarrow \infty}$ までに、小球が水平方向に進む距離を m, v_0, θ, g, e のうち必要なものを用いて答えよ。

問2 (e) 放射能の強さを表す単位であるベクレル [Bq]、人体などが受ける放射線の量 (吸収線量) を表す単位であるグレイ [Gy] について、それぞれの定義を簡潔に述べよ。

(f) 放射線の人体への影響の評価には、放射能の強さ (単位は Bq) や吸収線量 (単位は Gy) ではなく、等価線量 (単位は Sv) や実効線量 (単位は Sv) が用いられる理由を簡潔に述べよ。

II

真空および空気の透磁率を μ_0 とし、数値で答える場合には $\mu_0 = 1.3 \times 10^{-6} \text{ N/A}^2$ を用いよ。地磁気は 24 A/m 程度（東京）であるが、ゼロとして考慮せずに答えよ。 t を時間、 $f(t)$ を時間の関数とするとき、微小時間 Δt の間の $f(t)$ の微小変化を $\Delta f(t)$ のように表記する。 ω を角周波数とし、必要なら以下を用いよ。

$$\frac{\Delta \sin \omega t}{\Delta t} = \omega \cos \omega t, \quad \frac{\Delta \sin^2 \omega t}{\Delta t} = \omega \sin 2\omega t, \quad \frac{\Delta \sin^3 \omega t}{\Delta t} = 3\omega \cos \omega t \sin^2 \omega t$$

問1 (a) 以下の①～⑥の物質を常磁性体、強磁性体、反磁性体に分類し、番号で答えよ。

① 鉄 ② 銅 ③ アルミニウム ④ コバルトおよびニッケル ⑤ 水 ⑥ 空気

(b) 磁気量の単位を、国際単位系 (SI) の基本単位のうち、kg, m, A, s を用いて答えよ。

(c) 円筒の半径 r と比較して円筒の長さ L が十分に長いソレノイドの単位長さあたりの巻き数を n 、ソレノイドを流れる電流の大きさを I とする。ソレノイド内部（両端付近を除く）における磁場の強さを、 r, L, n, I のうち必要なものを用いて答えよ。

(d) 巻き数 N のコイルを貫く磁束を $\Phi(t)$ とする。このコイルに電磁誘導により生じる誘導起電力の大きさを $N, \Phi(t), \Delta \Phi(t), t, \Delta t$ のうち必要なものを用いて答えよ。

生命活動に伴い人間の心臓周囲に生じる磁場の大きさは 10^{-6} A/m 程度である。体外でこの磁場を計測する装置を考えよう。導体や半導体を流れる電流に対して垂直に磁場をかけると、電流と磁場の両方に垂直な方向に起電力が生じる。この現象を ア というが、感度が悪くこの用途には使用できない。ここでは、コイルを回転させる（問3）、または強磁性体の磁化特性を利用する（問4）計測方法について考察する。以後、計測対象の磁場を H_0 とし、その大きさと向きは時間変化せず空間的に均一であるとする。数値で答える場合には $H_0 = 1.0 \times 10^{-6} \text{ A/m}$ を用いよ。

問2 (e) ア にあてはまる適切な語句を答えよ。

以下では、各方式における計測条件と H_0 を検出する際の信号電圧の関係を求める。

問3 コイルを回転させる磁場計測法の解析。

- (f) 図1のような辺の長さ h の1回巻き正方形コイルを、一様な静磁場 H_0 中で、磁場と直交する方向にコイルの回転軸をとり、周波数 f で回転させたときの誘導起電力（端子 Y を基準とした端子 X の電圧） V_{XY} の大きさ $|V_{XY}|$ を μ_0, h, H_0, f, t を用いて答えよ。ただし、磁場とコイル面の成す角 θ は $t = 0$ において $\theta = 0$ であるとする。参考までに、図1の XY 端子方向から回転軸に垂直な面を見たコイルを図2に示す。

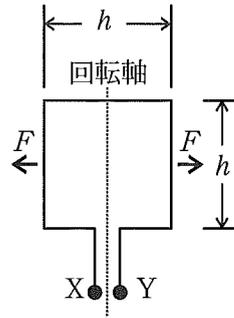


図1

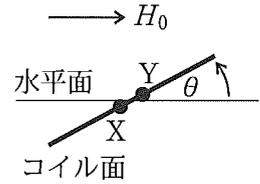


図2

- (g) $h = 0.10 \text{ m}$ のとき、 V_{XY} の実効値が 1.0 nV となる f を有効数字1桁で答えよ。 1.0 nV は現実的な計測で測定可能な最小電圧の目安である。
- (h) コイルを成す導線の一边 ($h = 0.10 \text{ m}$) あたりの質量を 0.010 g とする。 V_{XY} の実効値が 1.0 nV のとき、回転軸と平行な2つの辺それぞれに作用する遠心力の大きさ（図1の F ）を有効数字1桁で答えよ。
- (i) この計測方法による心臓近辺の磁場計測の実現可能性について考察せよ。

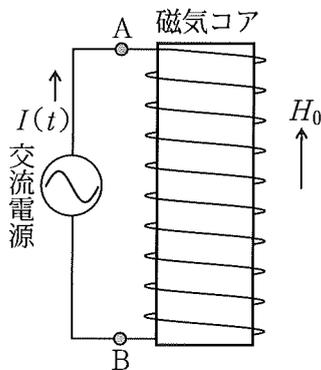


図3

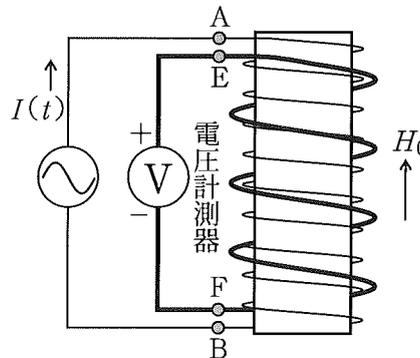


図4(a)

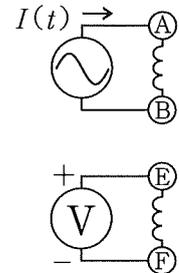


図4(b)

問4 強磁性体の磁化特性を利用する磁場計測法の解析。

以下では、強磁性体内部の磁場 H と磁束密度 B の関係として、 $B = aH - bH^3$ を仮定する（ただし $a > 0, b > 0$ ）。この強磁性体を十分に細長い円柱（底面積 S 、長さ L ）に加工し（磁気コアと呼ぶ）、磁気コアの周囲にコイルを単位長さあたり n 回巻いてソレノイドを作成する。このソレノイドを計測対象磁場 H_0 と平行に置き、ソレノイドに電流を流す（図3）。電流により磁気コア内に生じる磁場 (H_{cur}) は問1(c) で生じる磁場と同じであるが、計測対象磁場 H_0 が加わるので、ソレノイド内の磁場は、図3の H_0 と同じ方向に、 $H_0 + H_{\text{cur}}$ となる。 ω を角周波数とし、ソレノイドに流す交流電流を $I(t) = I_0 \sin \omega t$ 、 H_{cur} を $H_{\text{cur}} = H_1 \sin \omega t$ とおく。

(j) H_1 を I_0, n, S, L, ω, t の中から必要なものを用いて答えよ。

(k) 図3のコイルの上から別なコイルを N 回巻き (N は全体の巻き数), 図4(a)のように電圧計測器 (内部抵抗は十分に大きい) を接続する。このとき N 回巻きコイルに電磁誘導により生じる誘導起電力 (端子 F を基準とした端子 E の電圧) V_{EF} の大きさ $|V_{EF}|$ は,

$$|V_{EF}| = \left| \boxed{\text{イ}} \sin(2\omega t) + \cos(\omega t) \left\{ \boxed{\text{ウ}} \sin^2(\omega t) + \boxed{\text{エ}} \right\} \right|$$

となる。 $\boxed{\text{イ}}, \boxed{\text{ウ}}, \boxed{\text{エ}}$ にあてはまる適切な式を, $a, b, H_0, H_1, N, S, L, \omega$ のうち必要なものを用いて答えよ。

(l) H_0 を計測するためには V_{EF} の中で H_0 に比例しない項 (不要信号) を消去する必要がある。図5のように図4(a)で用いた磁気コアおよびコイルからなる検出器2組を相互に磁氣的に結合しないようにして (異なる検出器のコイル間の相互インダクタンスが無視できる), 計測対象の磁場 H_0 と平行に置く。これらのコイルを交流電源 (解答欄の矢印の向きを正として電流 $I(t) = I_0 \sin \omega t$ が流れる) と電圧計測器に適切に接続すると, H_0 に比例した信号電圧を損なうことなく不要信号の除去ができる。解答欄の結線図は一部分結線してあるので不足部分を補うようにして適切な結線を描け。ただし, 配線が交差しないように描くこと。結線図の例として, 図4(a)は図4(b)のようになる。

(m) (l) において, 不要信号の消去後における電圧計測器の電圧の実効値を $a, b, H_0, H_1, N, S, L, \omega$ のうち必要なものを用いて答えよ。

(n) $H_1^2 = \frac{a}{3b}$ のとき, (m) で答えた実効値を有効数字1桁で答えよ。ただし, $\omega = 1.0 \times 10^5 \text{ rad/s}, N = 100, a = 1.0 \times 10^4 \mu_0, S = 1.0 \times 10^{-8} \text{ m}^2$ とする。

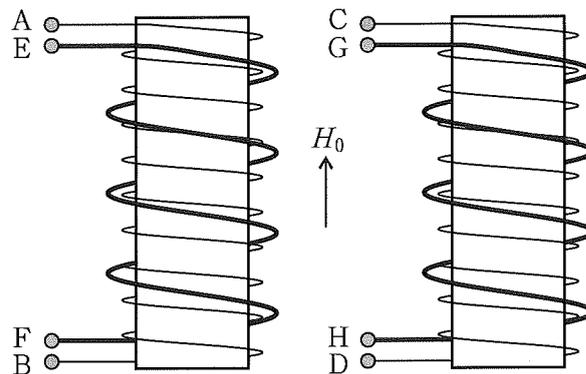


図5

図5 端子を A, B としたコイルおよび端子を C, D としたコイルは図4(a)で交流電源に接続されているコイルと同じ, 端子を E, F としたコイルおよび端子を G, H としたコイルは図4(a)で電圧計測器に接続されているコイルと同じである。

III

気体定数を R とし、数値で答える場合には $R = 8.3 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ を用いて以下の間に答えよ。

問1 水を入れて長時間一定温度を保った密閉容器内において液体の水と水蒸気が共存している場合、液体から気体に飛び出す水分子の数と気体から液体に戻る水分子の数が拮抗しており、これを気液平衡と言う。気液平衡にある水蒸気の圧力を飽和水蒸気圧と言い、図1に示すように温度によって定まる。容器内の水蒸気の圧力が飽和水蒸気圧より低い場合、液体の水は存在せず、全て水蒸気になる。水蒸気は理想気体の状態方程式に従うものとし、液体の水の体積は無視する。

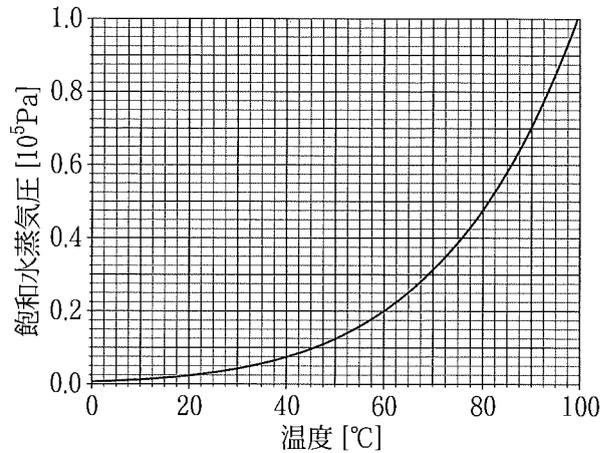


図1 飽和水蒸気圧の温度依存性。

物質量が $1.0 \times 10^{-4} \text{ mol}$ の水を体積 10 cm^3 の密閉容器に入れた。

(a) 温度を 80°C として十分待った後の水蒸気の圧力と物質量を有効数字2桁で答えよ。

(b) 温度を 40°C として十分待った後の水蒸気の圧力と物質量を有効数字2桁で答えよ。

問2 理想気体の断熱変化において、圧力 p と体積 V との間にはポワソンの法則 ($pV^\gamma = \text{一定}$) が成り立つ。ここで、 γ は比熱比である。ポワソンの法則は圧力 p と温度 T との間関係式 ($p^A T^\gamma = \text{一定}$) としても表せる。これを用いると、理想気体が圧力 p 、温度 T の状態から圧力 $p + \Delta p$ 、温度 $T + \Delta T$ の状態に微小な断熱変化をする場合、 Δp と ΔT が微小量であるとして微小量の2次以上の項を全て無視すると、 $\Delta T = B \frac{T}{p} \Delta p$ の関係が成り立つ。

(c) A, B にあてはまる適切な式を γ を用いて答えよ。必要なら、 y を実数として、 x の大きさが1と比較して十分に小さいときに成立する関係式 $(1+x)^\gamma \doteq 1 + \gamma x$ を用いよ。

問3 大気圧の高度変化と空気塊の上昇に伴う温度変化に関する以下の間に答えよ。

大気および空気は平均分子量 M の理想気体として扱えるものとする。鉛直上向きを正として高度 h を定義し、高度 h における大気の圧力、温度、密度をそれぞれ p, T, ρ とする。重力加速度は鉛直下向きで大きさを g とする。

大気圧の高度変化を計算する。図2に示すように、大気中に薄く(厚さは微小量 Δh)、水平方向に広がる仮想大気層を考える。高度 h における大気圧を p 、高度 $h + \Delta h$ における大気圧を $p + \Delta p$ とする。静止している大気では、仮想大気層に作用する圧力と重力の合力はゼロである。このことを用いると、 $\Delta p = -C\Delta h$ と表すことができる。ここで、仮想大気層内の密度は高度とともに変化するが、 Δh 内での変化は微小で無視でき、 Δh 内で密度は一定値 ρ であるとする。

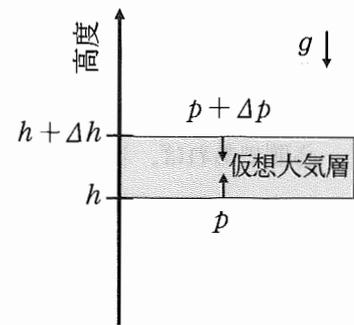


図2

(d) C を g , ρ を用いて答えよ。

(e) 理想気体の状態方程式を用いて書き換えることで、 C を M , p , T , g , R を用いて答えよ。

風などの影響で大気中を高度 h から $h + \Delta h$ までゆっくりと上昇する空気塊の上昇に伴う温度変化を計算する。図3に示すように、上昇前に高度 h にある空気塊の圧力 p と温度 T は周囲の大気と等しい。空気塊が高度 $h + \Delta h$ まで上昇した結果、空気塊の圧力は $p + \Delta p$ 、温度は $T + \Delta T$ になったとする。上昇は十分ゆっくりとし、空気塊の圧力は常に同じ高度の大気圧と等しいとみなす。一方、温度については、空気は熱を伝えにくいので上昇する過程は断熱変化とみなすことができ、問2の関係式が成立する。

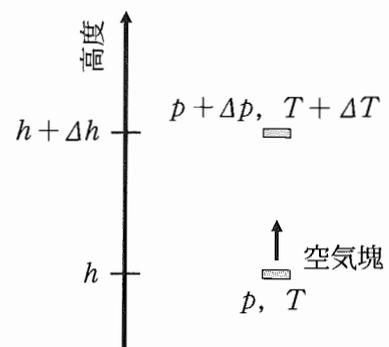


図3

(f) 空気塊がゆっくりと Δh 上昇するときの温度変化 ΔT を $\Delta T = -D\Delta h$ と表す。 D を M , g , R , B を用いて答えよ。

(g) $B = 0.29$, $g = 10 \text{ m/s}^2$, $M = 29$, $\Delta h = 1.0 \times 10^2 \text{ m}$ のとき、 ΔT を有効数字2桁で答えよ。

上記(f)では大気中をゆっくりと上昇する空気塊の温度変化を計算した。一方で、大気の温度も高度に依存して変わる。その高度依存性は太陽光による加熱や地球の熱放射など様々な要因によって決まるため、高度 h と $h + \Delta h$ の大気間の温度差 $\overline{\Delta T}$ は(f)の ΔT と一般に異なる。

(h) 風などの影響で大気中を高度 h から $h + \Delta h$ までゆっくりと上昇した空気塊が、その後自重により元の高度に向かって下降するためには、高度 $h + \Delta h$ で空気塊に働く大気の圧力と重力の合力が下向きでなければならない。この合力が下向きになるために、 ΔT と $\overline{\Delta T}$ の間に成り立つべき大小関係を導出の過程を説明して答えよ。

以下では、空気塊が水蒸気を含有する場合を考える。ただし、水蒸気の有無に関わらず平均分子量は大気も空気塊も M とみなす。

(i) 空気塊がゆっくりと Δh 上昇する際に水蒸気の一部が液体の水になる(水滴が生じる)場合と、水滴が生じない場合について、両者の D の大小関係を理由をつけて答えよ。

化学

解答は解答用紙の所定の欄に記入すること。

必要であれば、次の値を用いよ：

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

気体定数 $R = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol})$.

原子量としては次の値を用いよ：

H, 1.00 ; C, 12.0 ; N, 14.0 ; O, 16.0 ; Na, 23.0 ; S, 32.1 ; Cl, 35.5 ; K, 39.1 ; Fe, 55.9 ; Cu, 63.6.

I 化合物 A ~ K について記載した以下の文を読み、設問に答えよ。ただし、構造異性体については安定性の考慮はせず、理論的に可能な構造を考えればよい。なお、ケトーエノール互変異性が考えられる場合は、いずれか一方のみ記せ。また、すべての反応は完全に進行し、分離や精製についても完全に行われたものとする。

- ① A, B は芳香族化合物である。
- ② A は炭化水素で、1 mol の A を完全燃焼するのに、酸素 10.5 mol を必要とした。
- ③ A はベンゼン環を 1 個有するが、それ以外の環構造や多重結合を持たない。
- ④ A を混酸でニトロ化したところ、トリニトロ体は生成しなかった。
- ⑤ A に過マンガン酸カリウムを加えて加熱すると C が生成した。C の異性体 D を加熱すると、水 1 分子が取れて E が生成した。
- ⑥ B に金属ナトリウムを加えても水素は発生しなかった。
- ⑦ B は炭素、水素、酸素のみからなる化合物で、17.3 mg の B を完全に燃焼させると 48.4 mg の二酸化炭素と 8.10 mg の水が得られた。
- ⑧ A, B の混合物に水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱後、冷却してジエチルエーテルを加え、分液漏斗に入れて振り混ぜて有機層 1 と水層 1 に分離した。(a) 水層 1 に二酸化炭素を十分に吹き込み、ジエチルエーテルを加え、分液漏斗に入れて振り混ぜて有機層 2 と水層 2 に分離した。有機層 2、水層 2 から得られたものはそれぞれ F, D であった。
- ⑨ F を酸化すると G が得られた。
- ⑩ (b) G に無水酢酸と少量の濃硫酸を作用させると酢酸エステル H が得られ、G にメタノールと
(c) 少量の濃硫酸を作用させるとエステル化が起こり、I が得られた。I はサリチル酸メチル
であった。
- ⑪ (d) アニリンの希塩酸溶液を氷冷しながら、亜硝酸ナトリウム水溶液を加えると J が得られた。
(e) F を水酸化ナトリウム水溶液に溶かして J と反応させると、K が得られた。

1. A の炭素数を m 、水素数を n とし、以下の順で構造式を求めよ。
 - (1) ② の条件から n を m で表せ。
 - (2) ③ の条件から n を m で表せ。
 - (3) A の分子式を求めよ。
 - (4) ④ の条件から A として可能な構造式をすべて描け。その中で、⑤ の条件から A として考えられる構造式を○で囲め。

2. ⑩ について、以下の設問に答えよ。
 - (1) 下線部 (b) の反応式を書け。ただし、有機化合物は構造式で示せ。
 - (2) 下線部 (c) の濃硫酸の役割を何というか。適切な用語で答えよ。
 - (3) G, H, I について答えよ。
 - (i) 塩化鉄(Ⅲ)水溶液を加えると呈色するものには○を、呈色しないものには×を解答欄に記せ。
 - (ii) 炭酸水素ナトリウム水溶液に溶解するものには○を、溶解しないものには×を解答欄に記せ。

3. B の組成式、分子式、構造式を求めよ。

4. ⑪ について、以下の設問に答えよ。ただし、有機化合物は構造式で示せ。
 - (1) 下線部 (d) について答えよ。
 - (i) 反応式を書け。
 - (ii) 氷冷する理由について反応式を交えて説明せよ。
 - (2) 下線部 (e) の反応式を書け。

5. ⑧ について、以下の設問に答えよ。
 - (1) 有機層 1 について答えよ。
 - (i) 有機層 1 に抽出される化合物名を記せ。
 - (ii) 有機層 1 の成分を分離するには、どのようにすればよいか。その操作法の名称とその原理を簡潔に説明せよ。
 - (2) 下線部 (a) の操作により、F と D が分離できる理由について構造式を用いて説明せよ。

— 下書き計算用 —

— 下書き計算用 —

II 次の文を読み、問いに答えよ。

エネルギー源の多様化やクリーンエネルギーの進展のため、我が国では2017年に水素基本戦略を策定した。現在の工業的な水素製造は、石油製造所や製鉄所で副次的に行われているが、将来的には、水酸化ナトリウム製造工程での生成が期待されている。水酸化ナトリウムは、^(a)塩化ナトリウムを原料とする電気分解（電解ソーダ法）で製造され、この過程で副産物として^(b)水素が生成する。水素は燃焼させても二酸化炭素を発生しないため環境負荷が小さく、燃料電池にも利用できる。一方で、水素は爆発性が高く、大量輸送方法は確立していない。このため、水素を高圧や低温で運ぶ方法のほかに、他の物質に変換して遠隔地へ送るなどの方法が想定されている。例えば、^(c)アンモニアは標準大気圧下 -33°C で液化すると、体積が約 $1/800$ に減少する。そのため、^(d)アンモニアは有望な水素担体と考えられている。

1. 下線部（a）の塩化ナトリウム水溶液の電気分解の概念図を図1に示す。A極には炭素を、B極には鉄を用いると、A極側からは気体（ア）、B極側からは気体（イ）が発生する。

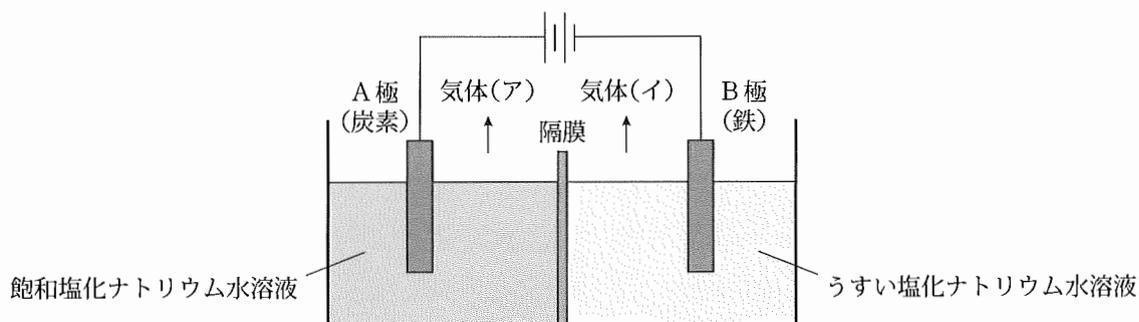


図1 塩化ナトリウム水溶液の電気分解の概念図

- (1) A極とB極で起こる化学変化を電子 e^- を含むイオン反応式で書け。また、それぞれの電極から発生する気体の名称を書け。
- (2) A極で発生する気体を臭化カリウム水溶液に通したときの反応式を書け。反応しない場合には解答欄に×を書け。
- (3) B極で発生する気体の構成原子には安定同位体が存在する。この安定同位体をすべて書け。ただし、陽子数と質量数を含めた元素記号で示せ。
- (4) A極、B極の電極物質の代わりとして、次にあげる組み合わせの中から水酸化ナトリウム生成に適するものをすべて選べ。
- | | |
|----------------|---------------|
| ① A極：炭素， B極：炭素 | ② A極：炭素， B極：銅 |
| ③ A極：鉄， B極：炭素 | ④ A極：鉄， B極：銅 |
| ⑤ A極：銅， B極：炭素 | ⑥ A極：銅， B極：鉄 |
- (5) 図1の隔膜はイオンだけを透過させる膜である。この隔膜について、水酸化ナトリウムの製造効率が最もよい官能基を含む材質を図2の中から選び記号で答えよ。また、その理由を簡潔に書け。

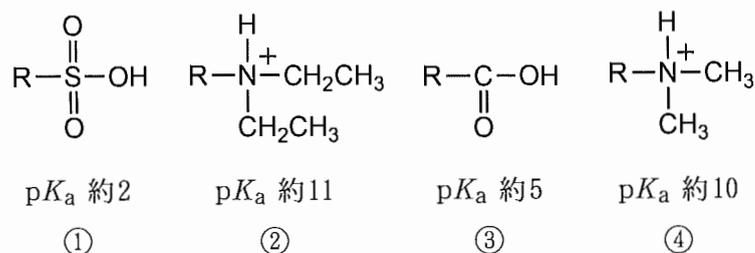


図2 隔膜の材質

図中の R は炭化水素骨格を示す。

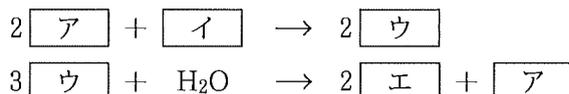
K_a は酸の電離定数で、おおよその目安を示す。 $pK_a = -\log_{10} K_a$ である。

2. 下線部 (b) について、50.0 A の電流を 8 時間 2 分 30 秒流した場合、発生する水素の標準状態 (0℃, 1.013×10^5 Pa) における体積 (単位: m^3) を求めよ。導出過程も簡潔に記せ。ただし、この電気分解は電流効率 100% で行われるものとする。
3. 下線部 (c) について、水素およびアンモニアの沸点は、それぞれ -253°C と -33°C であり、水素に比べてアンモニアの沸点はかなり高い。その主な理由を二つあげよ。
4. 下線部 (d) について、アンモニアから水素を取り出すための研究開発が進んでいる。その一つとして、アンモニアを分解して混合気体から水素を分離する方法がある。ここでは、下記の反応式とエンタルピー変化 ΔH をもとに、アンモニアを効率よく分解するにはどのような操作を行えばよいか答えよ。また、その理由を簡潔に述べよ。



Ⅲ 次の文を読み、問いに答えよ。なお、気体は理想気体として扱うものとする。

1670年頃、イギリスのメーオーは、空気に関して次の実験を行った。図3に示すように、水槽Aに逆さに立てたガラス容器Bの中に、1本の棒Cが取り付けられている。Cには希硝酸が十分に入ったつぼDがついてあり、鉄片の束EがDのすぐ上に糸でぶら下げられている。その糸の端FはCをまたいでBの口をくぐらせ、Aの外で固定してある。まず、Bの口をAの水面下9 cm 位まで沈め、外気とB中の空気とをつないでいたガラス管Gを取り外し、Bの内と外の水面の高さが合う位置でBを固定した。次に、Bの外側の水をくみ出して、内側の水面を外側の水面より約5 cm 高くした。Bに手を触れていると中の空気が温まるので、冷めてからBの内側の最初の水面の高さ h_0 がわかるように印をつけた。これを初期状態とよぶことにする。Fをゆるめて^(a)EをD中の希硝酸に浸けると、さかんに気体が発生してB内の水位が押し下げられた。約20分反応させて内側の水面が約5 cm 下がったら、Fを引っ張ってDからEを引き上げた。すると、まもなく内側の水面が上昇をはじめ、2時間以内に初めの水位 h_0 を越えて水が上がってきた。なぜなら、反応によって発生したアは水に溶けないが、空気中のイによってウに変わり、水に溶けたからである。その主な反応式は次のとおりである。



ここで、ウはオの気体である。最終的に水面はさらに約5 cm 上昇し、^(b)初期状態のとき空気によって満たされていたB内の容積の約1/5が水で占められた。さて、内側の水面が上昇しなくなったら、その水面の高さ h に再び印をつけてEを希硝酸に浸した。そして、水面が約9 cm 下降後、EをDから引き上げた。そうすると、^(c)水面が上昇してくるが、前に比べてその速度は遅く、上昇は3 cm 程度で止まり、 h までは達しなかった。この一連の操作をもう1回行っても結果は同じであった。

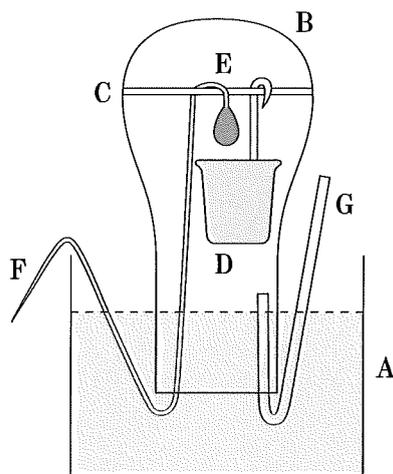


図3 メーオーの実験装置

A：水槽 B：ガラス容器 C：棒 D：希硝酸の入ったつぼ
E：鉄片の束 F：糸の端 G：ガラス管

1. 空欄 **ア** ~ **エ** に適切な化学式を記せ。また、**オ** に当てはまるものを次の中から
選び、番号で答えよ。

- ① 刺激臭のある黄緑色 ② 刺激臭のある赤褐色 ③ 刺激臭のある無色
④ 特異臭のある淡青色 ⑤ 腐乱臭のある無色 ⑥ 無色無臭

2. 下線部 (a) について、以下の設問に答えよ。

(1) このときに起こる反応を化学式で示せ。なお、この反応で **ア** 以外に硝酸鉄 (II) と
水が生じる。

(2) 鉄と希硝酸の代わりに使用したとき、同様な実験結果が得られる組み合わせを次の中から
一つ選べ。なお、糸は耐酸性があると仮定する。

- ① 鉄と希塩酸 ② 鉄と希硫酸 ③ 鉄と濃硝酸 ④ 銅と希塩酸
⑤ 銅と希硝酸 ⑥ 銅と希硫酸 ⑦ 銅と濃硝酸

3. 下線部 (b) について、空気によって満たされていた **B** 内の容積の約 1/5 が水で占められる
理由を述べよ。

4. 下線部 (c) について、水面が上昇する理由を簡潔に述べよ。

5. この実験で 1 回目に硝酸に浸したときに反応した鉄の質量 (単位: g) を有効数字 2 桁で答えよ。
導出過程も示せ。ただし、**B** に初めに入っていた空気の体積は 750 cm^3 とし、**イ** は空気の 1/5
の体積を占め、過不足なく反応した結果、**ア** がすべて **ウ** に変化したとする。また、室温
は 27°C とし、**B** 内の気体の圧力は内外の水面の高さの違いによらず、 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ と近似せよ。

— 下書き計算用 —

生物

解答は解答用紙の所定の欄に記入すること。

I 次の文章を読み、問いに答えなさい。

(A) 多細胞生物のからだでは、細胞どうしが結合したり、細胞が分泌した細胞外基質を利用して結合したりしている。動物の細胞では、そのような結合のために、さまざまな接着タンパク質や細胞骨格の分子が働いている。Ca²⁺を必要とする細胞間接着タンパク質として [ア] が組織特異的に存在し、同じ種類の [ア] を持つ細胞どうしが結合する。[ア] が細胞膜内側の円盤状の構造と結合し、さらに細胞内の中間径フィラメントと結びついて、細胞どうしをつなぐ構造は [イ] とよばれる。細胞と細胞外基質の間では、[ウ] とよばれる接着タンパク質が重要な働きをしている。

微生物は単細胞生物という一般的イメージがあるが、実際には他の生物と密接に関係を持つものや、同種の細胞どうしが結合して生活するものも多い。光合成を行うシアノバクテリアの仲間にも、細胞どうしが結合するものが知られている。

地面などで見られる (1) イシクラゲとよばれる生物は、見かけはキクラゲに似ており食用にされることもあるが、キクラゲとは全く異なる生物で、シアノバクテリア類のネンジュモ (図1) の集合体である。この生物は、光合成を行う細胞(栄養細胞)が多数結合して繊維状の構造となる。ネンジュモの仲間(以下、ネンジュモと総称する)では、環境中の窒素栄養が不足すると、繊維内の所々にやや大型の異型細胞が生じ、そこで窒素固定が行われる。窒素固定を行う酵素であるニトロゲナーゼの活性は酸素により失われるため、(2) 異型細胞は栄養細胞とは大きく異なった性質を持つように分化している。

問1 文中の [ア] ~ [ウ] に適切な語を入れよ。

問2 下線部(1)に関連し、ネンジュモとキクラゲの根本的な違いを説明し(問2-1)、また、(a) ネンジュモ、(b) キクラゲ、(c) ミズクラゲともっとも系統的に近いものを、それぞれ1つずつ下の選択肢から選んで数字で答えよ(問2-2)。

①酵母 ②ショウジョウバエ ③ヒドラ ④マウス ⑤大腸菌 ⑥オオカナダモ ⑦ミドリムシ

問3 下線部(2)に関連し、異型細胞では光化学系IIを欠くことが知られている。その状態にどんな利点があるかを考え、説明せよ。

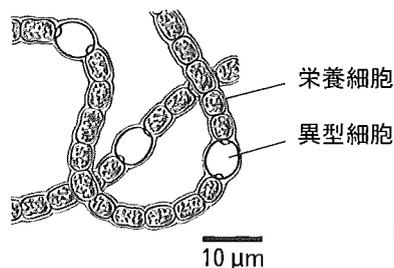


図1 ネンジュモ

(Bonner JT (1998) *Integr Biol* 1:27-36より改変)

(B) ネンジュモでは、窒素栄養の無い環境において、異型細胞が空気中の窒素を体内に取り入れ、これを還元して **エ** に変え、それが窒素同化のために使われる。窒素と同時に流入するはずの酸素は、おそらく窒素固定の際に生じる水素の酸化や、呼吸基質の酸化によって消費され、ニトロゲナーゼを阻害しない程度に制御されていると考えられる。ところで、異型細胞の細胞壁の外側には厚い被膜があり、空気が容易に侵入できないようになっている。それでは、異型細胞はどのようにして窒素や糖を得ているのだろうか。また栄養細胞はどのようにして窒素栄養を得るのだろうか。

ネンジュモの細胞中に実験的に小さな蛍光分子Xを取り込ませて、繊維全体を蛍光標識することができる。蛍光標識したネンジュモ繊維の中の1つの細胞に、強いレーザー光線を1~2秒間照射すると、その細胞内のXは蛍光が失われ褪色する(図2)。レーザー照射後の各細胞の蛍光強度を測定した結果が図3である。ネンジュモ細胞間の隔壁には、(3) 細胞どうしをつなぐ微細な管状構造があり、それを構成するタンパク質をノックアウトした変異体の微細構造の観察や、変異体への図2 bと同様のレーザー照射実験の結果を、それぞれ図4と図5に示す。

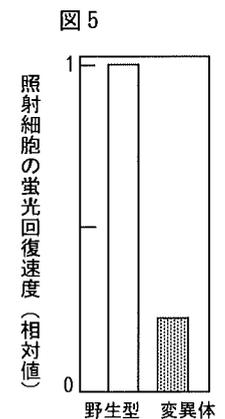
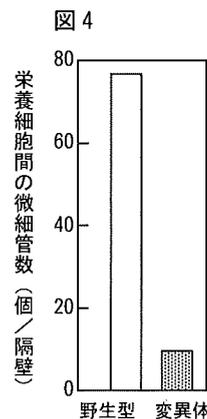
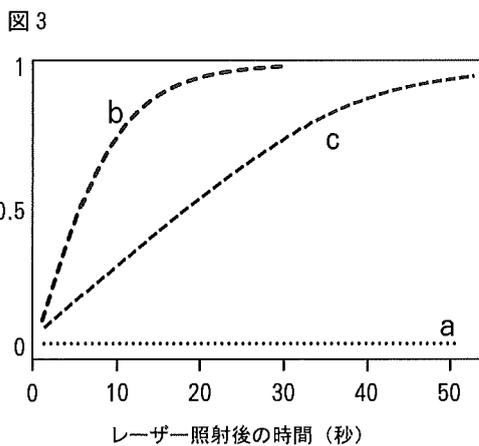
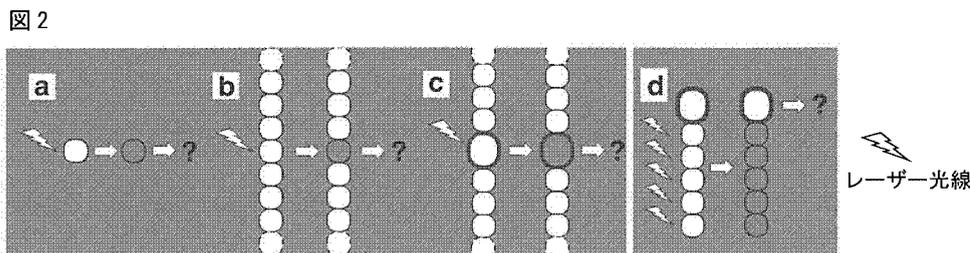


図2 レーザー照射の位置 図3 レーザー照射された細胞の照射後の蛍光強度
a 単細胞のネンジュモに照射； b 1つの栄養細胞に照射； c 異型細胞に照射； d 異型細胞以外のすべての細胞に照射

図4~図5 微細管構成タンパク質ノックアウト実験 (EMBO J 27:1299-1308, 2008を参考に作図)

問4 空欄 にふさわしい分子名を入れよ。

問5 ネンジュモの栄養細胞どうし、あるいは異型細胞と栄養細胞の間での物質交換について、
図3～図5から読み取れることを説明せよ。

問6 末端に異型細胞がある短いネンジュモ繊維（図2 d）で、異型細胞以外のすべての栄養細胞
をレーザー照射した場合、異型細胞の蛍光強度はどのようになるか予想して、解答欄の図3
と同様なグラフ中に実線で描け。

問7 下線部（3）と似た構造が動物の細胞間でも知られている。その名称を答えよ。

（C）ユレモも繊維状のシアノバクテリアであるが、窒素栄養欠乏下においても、ネンジュモの
ような異型細胞を形成しない。ユレモでは、⁽⁴⁾ 生物時計によって、1日周期の明暗サイクルで
反応系が制御され、同一細胞内で、光合成と窒素固定が時間をずらして行われている。このような
ユレモの1種で、図2 bと同様な1つの栄養細胞へのレーザー照射実験を行ったところ、⁽⁵⁾ 照射
細胞の蛍光回復はみられなかった。

ユレモとネンジュモは繊維状シアノバクテリアであるが、多細胞のあり方は異なっている。光合
成と窒素固定を両立させ、繊維状にならず単細胞として生きるシアノバクテリアも多く、多細胞と
なる方が生存に有利となる条件も多様であるらしい。なぜユレモは多細胞になっているのだろう。
⁽⁶⁾ 単細胞から多細胞への進化について考えることは、多細胞である私たちのからだの構造を理解
するためにも興味深い。

問8 下線部（4）のような1日周期の現象を一般に何とよぶか。

問9 下線部（5）の理由を説明せよ。

問10 下線部（6）を調べるための対象として、シアノバクテリアや細胞性粘菌など、いくつか
の生物が研究されている。動物が多細胞となった起源を調べるうえで興味を持たれる生物と
して、（1）もっとも原始的と考えられる多細胞の動物と、（2）それに関連の深い単細胞生物を、
下の選択肢からそれぞれ1つ選んで記号で答えよ。

- | | | |
|-------------|------------|---------------|
| (a) プラナリア | (b) ユウレイボヤ | (c) ヤコウチュウ |
| (d) カイメン | (e) アメーバ | (f) エリベンモウチュウ |
| (g) イソギンチャク | (h) ゾウリムシ | (i) クラミドモナス |

— 下書き計算用 —

II 次の文章を読み、問いに答えなさい。

(A) 病原体や異物が体内に侵入すると、マクロファージや **ア** が病原体や異物を取り込んで **イ** に移動し、取り込んだ分子を小分子に断片化して **ウ** 分子上にのせて、 **エ** に抗原提示する。活性化した **エ** は B 細胞を活性化し、B 細胞は **オ** に分化して抗体を産生する。一方で、抗原提示を経ないで生成される免疫グロブリン M (IgM) 抗体が血清中に多数存在していることが知られており、それらは自然抗体と呼ばれる。自然抗体の中には、細胞表面の糖鎖構造やアポトーシスに陥った細胞を認識するものが含まれる。

1900年にランドシュタイナーは、あるヒトの血清に他のヒトの赤血球を混合すると ⁽¹⁾ 赤血球が凝集する場合と凝集しない場合がある ことから、ABO 式血液型を発見した。その後の研究により、この凝集反応における凝集原 (抗原) は赤血球上に発現する糖鎖であり、ABO 式血液型を規定する ABO 遺伝子は糖鎖に糖を付加する機能を持つタンパク質 (糖転移酵素) をコードしていることが明らかにされた。また、血清中に含まれる凝集素 (抗体) はこれらの糖鎖抗原を認識する IgM 抗体であり、自然抗体の一種である。

ここで、血液型が A 型、B 型、O 型のヒトが持つ対立遺伝子を順に A 型、B 型、O 型遺伝子とし、それぞれの遺伝子がコードしているタンパク質を順に A 型、B 型、O 型タンパク質とする。図 1 の通り、⁽²⁾ A 型タンパク質は、基本形である H 型糖鎖に GalNAc (N-アセチルガラクトサミン) を付加して A 型糖鎖を生成する糖転移酵素活性を持ち、B 型タンパク質は、H 型糖鎖に Gal (ガラクトース) を付加して B 型糖鎖を生成する糖転移酵素活性を持つ。一方で、⁽³⁾ O 型タンパク質は糖転移酵素としての活性を持たないため、O 型のヒトは基本形の H 型糖鎖を発現している。異なる血液型を生じる機序を明らかにするためヒト ABO 遺伝子の遺伝子配列を決定したところ、A 型、B 型、O 型遺伝子では、図 2 および図 3 に示すエクソン領域のみに塩基配列の違いが見られた。

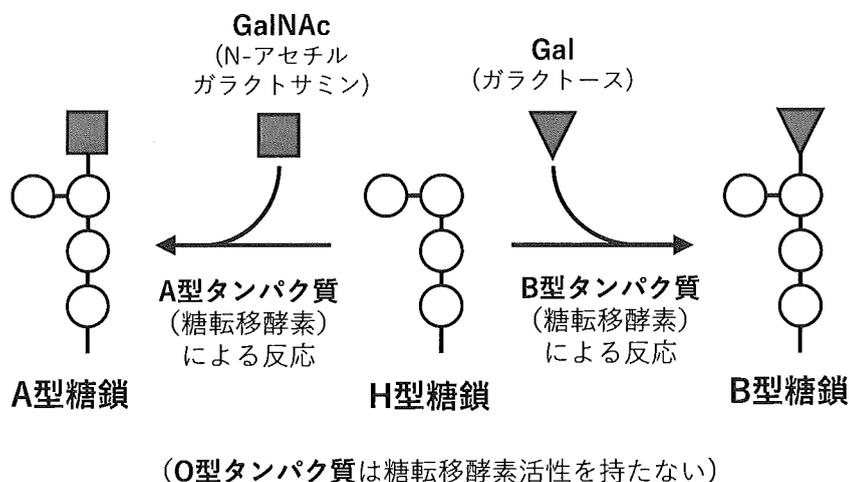


図 1 A 型、B 型タンパク質による糖転移反応

A 型遺伝子

481 CGCGTGACGCTGGGGACCGGTCGGCAGCTGTCAGTGCTGGAGGTG**CGC**GCCTACAAGCGC 540
541 TGGCAGGACGTGTCCATGCGCCGCATGGAGATGATCAGTGACTTCTGCGAGCGGCGCTTC 600
601 CTCAGCGAGGTGGATTACCTGGTGTGCGTGGACGTGGACATGGAGTTCCGCGACCACGTG 660
661 GCGTGGAGATCCTGACTCCGCTGTTTCGGCACCC**GGC**TTCTACGGAAGCAGC 720
721 CGGGAGGCCTTACCTACGAGCGCCGCCCCAGTCCCAGGCCTACATCCCCAAGGACGAG 780
781 GGCGATTTCTACTAC**CTG**GGG**GGG**TTCTTCGGGGGGTTCGGTGCAAGAGGTGCAGCGGCTC 840

B 型遺伝子

481 CGCGTGACGCTGGGGACCGGTCGGCAGCTGTCAGTGCTGGAGGTG**GGC**GCCTACAAGCGC 540
541 TGGCAGGACGTGTCCATGCGCCGCATGGAGATGATCAGTGACTTCTGCGAGCGGCGCTTC 600
601 CTCAGCGAGGTGGATTACCTGGTGTGCGTGGACGTGGACATGGAGTTCCGCGACCACGTG 660
661 GCGTGGAGATCCTGACTCCGCTGTTTCGGCACCC**AGC**TTCTACGGAAGCAGC 720
721 CGGGAGGCCTTACCTACGAGCGCCGCCCCAGTCCCAGGCCTACATCCCCAAGGACGAG 780
781 GGCGATTTCTACTAC**ATG**GGG**GCG**TTCTTCGGGGGGTTCGGTGCAAGAGGTGCAGCGGCTC 840

図2 ヒトのA型遺伝子とB型遺伝子のうち塩基配列の異なる領域

(ヒト ABO 遺伝子の481番目から840番目の塩基配列)

- ・配列の異なる塩基を含むコドン4か所を**太字下線**で示す。
- ・コドンの読み枠は各行の先頭から始まる。
- ・ここに示す塩基配列は全てエクソン領域に含まれている。
- ・左側および右側の数字は、各行の先頭および最後の塩基番号を示す。

A 型・B 型遺伝子

241 AGGAAGGATGTCCTCGTG**GTTG**ACCCCTTGGCTGGCTCCCATTGTCTGGGAGGGCACATTC 300
301 AACATCGACATCCTCAACGAGCAGTTCAGGCTCCAGAACACCACCATTGGGTAACTGTG 360

一塩基欠失
↓

O 型遺伝子

241 AGGAAGGATGTCCTCGTG**G** ACCCCTTGGCTGGCTCCCATTGTCTGGGAGGGCACATTC 300
301 AACATCGACATCCTCAACGAGCAGTTCAGGCTCCAGAACACCACCATTGGGTAACTGTG 360

図3 ヒトのA型・B型遺伝子と比較してO型遺伝子で塩基配列が異なる領域

(ヒト ABO 遺伝子の241番目から360番目の塩基配列)

- ・配列の異なる塩基を含むコドンを**太字下線**で示す。
- ・コドンの読み枠は各行の先頭から始まる。
- ・ここに示す塩基配列は全てエクソン領域に含まれている。
- ・左側および右側の数字は、各行の先頭および最後の塩基番号を示す。

表1 遺伝暗号表 (コドン表)

		2 番目の塩基					
		U	C	A	G		
1 番目の塩基	U	UUU フェニルアラニン	UCU	UAU チロシン	UGU システイン	U	3 番目の塩基
		UUC	UCC セリン	UAC	UGC	C	
		UUA ロイシン	UCA	UAA 終止コドン	UGA 終止コドン	A	
		UUG	UCG	UAG	UGG トリプトファン	G	
	C	CUU	CCU	CAU ヒスチジン	CGU	U	
		CUC	CCC	CAC	CGC	C	
		CUA	CCA	CAA グルタミン	CGA	A	
		CUG	CCG	CAG	CGG	G	
	A	AUU	ACU	AAU アスパラギン	AGU セリン	U	
		AUC	ACC	AAC	AGC	C	
		AUA	ACA	AAA リシン	AGA	A	
		AUG メチオニン/開始コドン	ACG	AAG	AGG	G	
	G	GUU	GCU	GAU アスパラギン酸	GGU	U	
		GUC	GCC	GAC	GGC	C	
		GUA	GCA	GAA グルタミン酸	GGA	A	
		GUG	GCG	GAG	GGG	G	

問1 , , に入る適切な細胞名および, , に入る適切な語句を答えよ。細胞名は, マクロファージ, B細胞, 抗体産生細胞以外で答えよ。

問2 多種多様な抗体が抗体遺伝子の組み換えによって生じることを証明した業績により, 1987年のノーベル生理学・医学賞を受賞した科学者の名前を答えよ。

問3 下線部(1)に関して, B型あるいはO型のヒトの血清によりA型のヒトの赤血球が凝集する理由を簡潔に図解せよ。必要に応じて説明を加えても良い。ただし, 次の点に注意すること。

- ・IgM抗体は血清中において, 定常部の末端を向かい合わせにして5量体を形成している。
- ・赤血球は類円形で示し, 抗体は軽鎖と重鎖を区別して描くこと。赤血球と抗体の大きさの違いは考慮しなくて良い。

問4 下線部(2)に関して, A型タンパク質とB型タンパク質の基質特異性の違いがどのように生じているのか図2からわかることを考察せよ。解答には次の語句を含めること。必要に応じて表1の遺伝暗号表(コドン表)を用いること。

(語句: 塩基, アミノ酸, 構造)

問5 下線部(3)に関して, O型タンパク質が糖転移酵素活性を持たない理由を図3の結果をもとにして述べよ。必要に応じて表1の遺伝暗号表(コドン表)を用いること。

(B) A型タンパク質とB型タンパク質が異なる糖転移反応をどのように触媒しているのか検討するために、それぞれのタンパク質を用いて酵素反応速度を測定した。A型タンパク質とB型タンパク質が触媒する反応には、転移される糖と、転移を受けるH型糖鎖の2つの基質が存在する。ここで、適切な量のH型糖鎖の存在下において、最大反応速度(V_{max})の1/2を与えるGalNAcあるいはGalの濃度を K_A とし、適切な量のGalNAcあるいはGalの存在下において、最大反応速度(V_{max})の1/2を与えるH型糖鎖の濃度を K_B とする。すなわち、 K_A や K_B の値が小さいことは、酵素に対する基質の親和性が ことを意味する。 V_{max} は酵素濃度により変化するため、 V_{max} を酵素濃度で補正した値を k_{cat} (酵素1分子当たりの反応回転数を示し、値が高いほど酵素1分子当たりの反応速度が速い)とすると、それぞれの値は表の通りであった。

表2 GalNAcあるいはGalを基質として用いた際の、
A型タンパク質、B型タンパク質の K_A , K_B , k_{cat} の値

	GalNAc			Gal		
	K_A ($\mu\text{mol/L}$)	K_B ($\mu\text{mol/L}$)	k_{cat} (s^{-1})	K_A ($\mu\text{mol/L}$)	K_B ($\mu\text{mol/L}$)	k_{cat} (s^{-1})
A型タンパク質	13	15	4.9	6.3	23	0.020
B型タンパク質	285	281	0.3	34	54	6.5

問6 に入る適切な語句を答えよ。

問7-1 表2の結果から、A型タンパク質が特異的にA型糖鎖を生成する機序について考察せよ。

問7-2 表2の結果から、B型タンパク質が特異的にB型糖鎖を生成する機序について考察せよ。

— 下書き計算用 —

Ⅲ 次の文章を読み、問いに答えなさい。

(A) ⁽¹⁾ 単細胞生物であるアメーバは、形の変化や細胞小器官の移動など活発な運動が見られ、細胞を変形させて仮足をのぼして移動する ⁽²⁾ アメーバ運動をしている。一方、植物細胞は、に囲まれているため細胞が大きく変形したり、移動することはできないが、植物の細胞内では小粒が一定方向に移動している。このような現象は原形質流動とよばれる。原形質流動は藻類から高等植物にまでみられる活発な細胞内物質輸送であり、細胞小器官に結合したミオシンが細胞骨格である フィラメントの上を運動することにより発生する。原形質流動は植物で普遍的に発生している現象であり、その速度は1 μm /秒から70 μm /秒と種や細胞によりさまざまである。流動の原動力となるミオシンは、⁽³⁾ エネルギーを使って運動する分子で、その頭部は「生体のエネルギーの通貨」と呼ばれる を加水分解する酵素としての機能を持つ。の加水分解で得られたエネルギーにより、ミオシンは フィラメント上をあたかも人が歩くように運動する。その フィラメントは、核膜と連結し細胞内で大きな膜表面積を持つ と共にネットワーク状に張り巡らされている。近年、タバコ培養細胞から精製したミオシンの電子顕微鏡観察により、タバコのミオシンは動物において膜輸送を担う別のミオシン分子とよく似た形態をもつことが示された。また、試験管内における運動速度の測定から、タバコのミオシンの運動速度は5 μm /秒と示され、これは高等植物において一般的に生じている原形質流動の速度と一致し、この速度は動物のミオシンの運動速度より10倍も速いことがわかっている。

問1 ～に当てはまる語句を答えよ。

問2 下線部(1)に該当しない生物をつぎの①～⑤のうちから1つ選び数字で答えよ。

- ① クロレラ ② ミドリムシ ③ ボルボックス ④ 大腸菌 ⑤ ゾウリムシ

問3 下線部(2)のアメーバ運動をするヒトの細胞で、適切なものをつぎの①～⑤のうちから2つ選び数字で答えよ。

- ① 赤血球 ② 白血球 ③ 筋細胞 ④ 精子 ⑤ がん細胞

問4 下線部(3)の、エネルギーを使って細胞骨格上を運動する分子を総称してなんというか。

問5 の重合阻害剤であるサイトカラシンを入れると原形質流動はどうなると考えられるか、理由とともに答えよ。

(B) 植物は、水中に生息するシャジクモ藻類との共通祖先から進化してきたと考えられており、シャジクモの原形質流動速度は植物と比べて速いことが知られている。植物における原形質流動の速度の意義を明らかにするため次の実験を行った。

<実験1>

ミオシンはモーター領域、ネック領域、テイル領域から構成されているが(図1 a)、運動速度を決定するのはおもにモーター領域である。そこで、原形質流動の主たる駆動力として機能するシロイヌナズナのみオシンのモーター領域を、高速型であるシャジクモのみオシン、あるいは低速型であるヒトのみオシンのモーター領域と分子生物学的な手法により置換し、高速型のみオシン、あるいは低速型のみオシンを作製した(図1 b, c, d)。

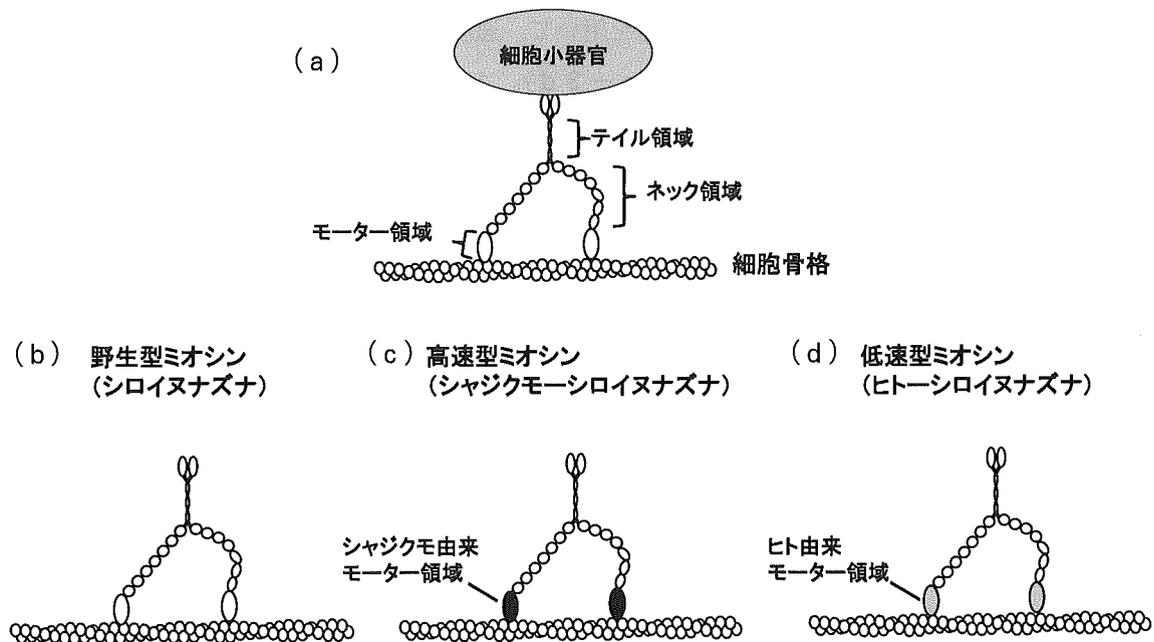


図1 ミオシンの構造と速度改変型ミオシン

<結果1>

試験管内においてこれら速度改変型ミオシンの運動速度を測定したところ、野生型ミオシン(シロイヌナズナ)、高速型ミオシン(シャジクモ-シロイヌナズナ)、低速型ミオシン(ヒト-シロイヌナズナ)の運動速度は、図2のようになった。

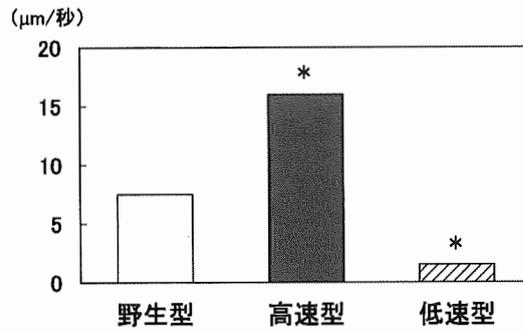


図2 ミオシンの運動速度

*：野生型に対して統計的に有意な差があることを示す

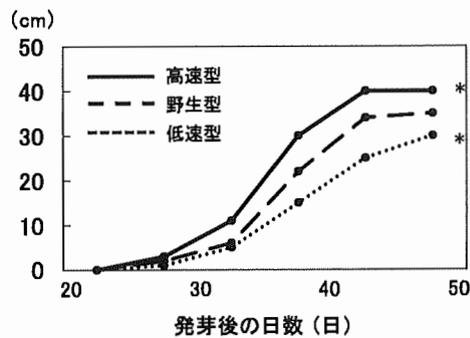
Developmental Cell, 27, 345-352 (2013) より改変

<実験2>

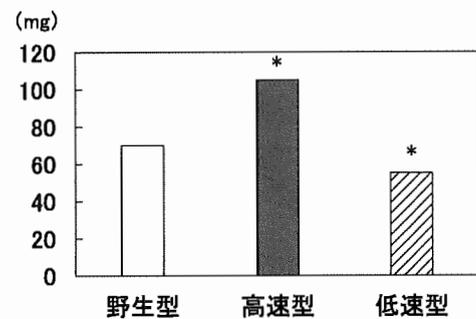
速度改変型ミオシンの植物への影響をみるため、野生型ミオシン、高速型ミオシン、低速型ミオシン遺伝子を、それぞれ (4) ミオシンの遺伝子が存在しないミオシンノックアウト細胞に遺伝子を導入して形質転換した。この細胞を用いて、速度改変型ミオシンの植物成長への影響を観察したところ、<結果2>を得た (図3 a-3 d)。さらに、植物の大きさの違いが何に起因するかを明らかにするため、第1本葉 (発芽直後に出る子葉の次にでる葉) の葉肉細胞および葉柄表皮細胞を測定したところ、<結果3>を得た (図4 a-4 c)。

<結果2>

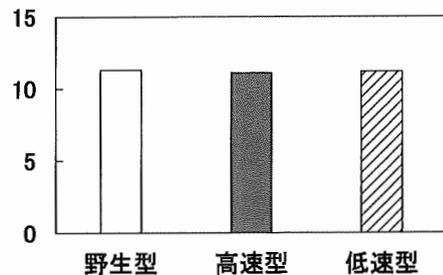
(a) 植物の高さ



(b) 植物の乾燥重量



(c) 葉の総数



(d) 葉の面積

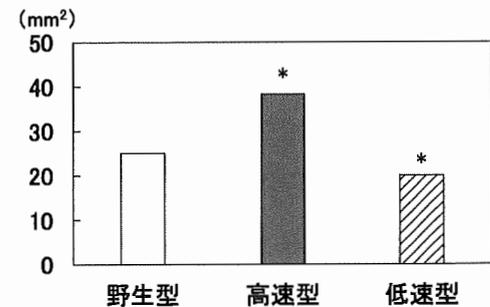


図3 速度改変型ミオシンの植物成長への影響

*：野生型に対して統計的に有意な差があることを示す

Developmental Cell, 27, 345-352 (2013) より改変

<結果 3 >

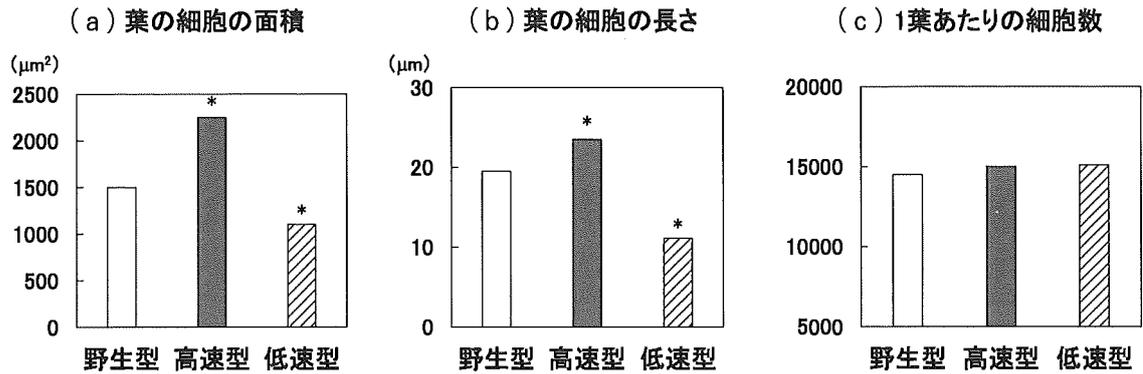


図 4 第一本葉の細胞の観察

*：野生型に対して統計的に有意な差があることを示す

Developmental Cell, 27, 345-352 (2013) より改変

問 6 下線部 (4) の「ミオシンの遺伝子が存在しないミオシンノックアウト細胞」を用いる理由を答えよ。

問 7 図 3, 図 4 から, 速度改変型ミオシンを導入した植物にみられる植物体の大きさの変化が, 形質転換によって起こるどのような結果に由来するか読み取り, 簡潔に答えなさい。

問 8 陸上植物であるシロイヌナズナは, 高速型のミオシンを持たずに進化したと考えられる。実験 1, 2 の結果より, シロイヌナズナが陸上で植物体を大きくする方法はどのようなものが考えられるか。水中と陸上の環境の差を考慮して, 類推できることをその利点とともに簡潔に述べなさい。

WEB公開にあたり下記出典を追記しました。

Cytoplasmic Streaming Velocity as a Plant Size Determinant.
Developmental Cell, vol. 27, no. 3, 2013

