

2024 年度

理 学 部 問 題

(数学・物理・英語・生物)

数 学 科：数学 2～11ページ 解答用紙 5 枚
物 理 学 科：数学 2 ページ・物理 12～21ページ 解答用紙 数学 1 枚・物理 4 枚
化 学 科：英語 22～33ページ 解答用紙 3 枚
生 物 学 科：生物 34～42ページ 解答用紙 5 枚

注 意 事 項

- 1 問題冊子は、監督者が「解答始め」の指示をするまで開かないこと。
- 2 問題冊子や解答用紙に脱落のあった場合には申し出ること。
- 3 解答用紙の各ページ所定欄に、それぞれ受験番号（最後のページは、左右 2 箇所）、氏名を必ず記入すること。なお、解答用紙（物理学科の数学解答用紙を除く）は上部で接着してあるので、はがさず解答すること。
- 4 解答は、すべて解答用紙の所定欄に記入すること。
- 5 解答以外のことを書いたときは、該当箇所の解答を無効とすることがある。
- 6 解答用紙の裏面は計算等に使用してもよいが、採点はしない。
- 7 **数学科の受験者**は、「数学の第 1 問から第 5 問」までを解答すること。
- 8 **物理学科の受験者**は、「数学の第 1 問」と「物理」を解答すること。
- 9 **化学科の受験者**は、「英語」を解答すること。
- 10 **生物学科の受験者**は、「生物」を解答すること。
- 11 問題冊子の余白は下書きに使用してもよい。
- 12 問題冊子は持ち帰ること。

※著作権の都合により公開していない部分は、来学して閲覧が可能です。

問題訂正

科目名：後期日程 理学部問題 (英語)

《訂正箇所》 27ページ 第2問 Table 2

《訂正箇所》 27ページ 第2問 Table 2	
誤	$\text{Cu}^+, \text{Ag}^+, \text{Au}^+, \text{Hg}^{2+}, \text{Pd}^{2+}, \text{Pt}^{3+}$
正	$\text{Cu}^+, \text{Ag}^+, \text{Au}^+, \text{Hg}^{2+}, \text{Pd}^{2+}, \text{Pt}^{2+}$

(余 白)

数 学 (数学科・物理学科)

第 1 問 (100点)

\log を自然対数, e をその底とする. 次の問いに答えよ.

問 1 定積分 $\int_0^{\sqrt{3}} \log(1+x^2) dx$ を求めよ.

問 2 等式

$$\int_{-\sqrt{3}}^{\sqrt{3}} \frac{\log(1+x^2)}{1+e^x} dx = \int_{-\sqrt{3}}^{\sqrt{3}} \frac{e^x \log(1+x^2)}{1+e^x} dx$$

が成り立つことを示せ.

問 3 定積分 $\int_{-\sqrt{3}}^{\sqrt{3}} \frac{\log(1+x^2)}{1+e^x} dx$ を求めよ.

(余 白)

数 学 (数学科)

第 2 問 (100点)

i を虚数単位とする. 複素数

$$\alpha = \cos \frac{2\pi}{15} + i \sin \frac{2\pi}{15}$$

を考える. 次の問いに答えよ.

問1 α^5 を計算せよ.

問2 $1 + \alpha^3 + \alpha^6 + \alpha^9 + \alpha^{12} = 0$ を示せ.

問3 $(1 - \alpha)(1 - \alpha^4) + (1 - \alpha^7)(1 - \alpha^{13})$ を計算せよ.

(余 白)

数 学 (数学科)

第 3 問 (100点)

さいころを投げて、最初、数直線の原点にあった点 P の位置を、出た目の数だけ正の方向に進める。以降、移動した位置でさいころを投げてこの操作を繰り返す。 n を自然数として、さいころを n 回投げるとき、1 回目から n 回目までのいずれかで点 P が座標 n の点にとまる確率を p_n とおく。このとき、次の問いに答えよ。

問1 p_2 および p_3 を求めよ。

問2 p_4 を求めよ。

問3 p_n が最大となる n と、そのときの p_n を求めよ。

(余 白)

数 学 (数学科)

第 4 問 (100点)

負でない整数 m, n に対して

$$J_{m,n} = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^m x \sin^n x dx$$

とおく. ただし, $\cos^0 x = \sin^0 x = 1$ と定める. 次の問いに答えよ.

問 1 $J_{m,n} = J_{n,m}$ を示せ.

問 2 $m \geq 2$ のとき, $J_{m,n} = \frac{m-1}{m+n} J_{m-2,n}$ を示せ.

問 3 整数 N と奇数 p, q を用いて $J_{2024,4} = 2^N \cdot \frac{q}{p} \cdot \pi$ と表すとき, N を求めよ.

(余 白)

数 学 (数学科)

第 5 問 (100点)

区間 $0 \leq x \leq 1$ で連続な関数 $f(x)$ に対して数列 $\{a_n\}$ を

$$a_n = \left\{1 + \frac{1}{n}f\left(\frac{1}{n}\right)\right\} \left\{1 + \frac{1}{n}f\left(\frac{2}{n}\right)\right\} \cdots \left\{1 + \frac{1}{n}f\left(\frac{n}{n}\right)\right\} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

により定める. 次の問いに答えよ.

問1 $t \geq 0$ に対して $t - \frac{1}{2}t^2 \leq \log(1+t) \leq t$ を示せ. ただし, \log は自然対数とする.

問2 $f(x) = x$ のとき, 極限 $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n$ を求めよ.

問3 $f(x) = \tan \frac{\pi x}{4}$ のとき, 極限 $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n$ を求めよ.

(余 白)

物 理 (物理学科)

第 1 問 (100点)

ロケットの打ち上げ速度や、人工衛星の周期、静止衛星の軌道半径がどの程度の大きさかを具体的に考えてみよう。まず、地球が公転や自転をせずに静止しているものとし、このときの地表での重力加速度の大きさを g 、万有引力定数を G 、地球の質量を M 、地球を半径 R の球とする。また、ロケットを質量 m の物体とみなし、自らは加速せず、質量も途中で変化しないものとする。地球の大気空気抵抗は無視できるものとし、以下の問いに答えよ。なお、問 2 以外は導出過程も含めて答えよ。

問 1 g を M , R , G を用いて表せ。

問 2 地表からロケットを速さ V で鉛直方向に打ち上げる。打ち上げた瞬間のロケットの力学的エネルギーを m , g , V , R を用いて表せ。なお、地球の万有引力による位置エネルギーの基準点は無限遠にとるものとする。

問 3 打ち上げたロケットが地球の中心から距離 r だけ離れた場所での速さ v を g , V , r , R を用いて表せ。

問 4 ロケットが地球の重力をふりきって無限遠まで飛ぶことのできる最小の初速度の大きさ (第 2 宇宙速度) を、単位を km/s として有効数字 2 桁で表せ。なお、数値計算では $R \doteq 6.4 \times 10^6 \text{ m}$, $g \doteq 10 \text{ m/s}^2$, $\sqrt{2} \doteq 1.4$ という近似値を用いよ。

次に、地球が角速度 ω [rad/s] で自転し、その自転軸と赤道面は地球の中心で直交しているものとする。

問 5 地表の物体には地球の自転による遠心力がはたらくことを考慮し、赤道を基準とする緯度 θ [rad] の地表において地球の中心方向にはたらく加速度の大きさを g , R , ω , θ を用いて表せ。

問 6 2023 年 4 月，欧州宇宙機関は木星の衛星エウロパやガニメデなどを調査するため，探査機を搭載したロケットを図のギアナ宇宙センターから打ち上げた．ヨーロッパから離れたこのような場所から打ち上げる利点は何か，問 5 で求めた式を用いて説明せよ．



図 NASA earth observatory からの地図

(出典：<https://earthobservatory.nasa.gov/> 2023 年から一部改変)

問 7 人工衛星が地表から高さ H で地球の中心をまわる等速円運動をするとき，その速さと周期を g ， H ， R を用いて表せ．

問 8 人工衛星として高さ 400 km にある宇宙ステーションを考える．問 7 の結果を用いて，宇宙ステーションの周期を分の単位で有効数字 2 桁で表せ．なお，数値計算では $R \doteq 6.4 \times 10^6$ m， $g \doteq 10$ m/s²， $\pi \times (17)^{\frac{3}{2}} \doteq 220$ という近似値を用いよ．

問 9 赤道の上空で静止して見える人工衛星を静止衛星とよぶ．静止衛星の地球の中心からの距離は，地球の半径の何倍かを有効数字 2 桁で表せ．なお，地球の自転周期は 24 時間とし，数値計算では $R \doteq 6.4 \times 10^6$ m， $g \doteq 10$ m/s²， $\left(\frac{2}{\pi}\right)^{\frac{2}{3}} \doteq 0.74$ という近似値を用いよ．

物 理 (物理学科)

第 2 問 (100点)

導体に、時間的に変化しない一様な電場および磁場を加えた場合の電流とホール効果について、ミクロな立場から考える。図1のように直方体の導体が置かれている。座標軸を導体の各辺に平行にとり、導体の x , y , z 軸方向の長さをそれぞれ l , d , h とする。導体内には質量 m , 電荷 q を持つ荷電粒子（電流の担い手となるキャリア）が粒子数密度 n （単位体積当たりのキャリアの数）で存在しているものとし、 n は時間的に変わらないものとする。今、図1のように、導体の x 方向の正の向きに電場が一様となるように、 x 軸に直交する導体の2つの側面の間に電位差 V ($V > 0$) を与える。

荷電粒子は、導体内を運動するとき導体内に存在する原子と衝突するため、速度 \vec{v} に逆向きで速さ v に比例した大きさ $k v$ の抵抗力、すなわち $-k\vec{v}$ を受ける。ここで、 k は抵抗力の比例定数である。以下の問いに導出過程も含めて答えよ。

問 1 荷電粒子の加速度の x 成分を a_x , 速度の x 成分を v_x として、荷電粒子にはたらく抵抗力を考え、荷電粒子に対する x 方向の運動方程式を書け。

十分に時間が経過すると x 方向の電流が一定になる。

問 2 このときの電流の大きさを求めよ。

問 3 導体の抵抗 R と、抵抗率 ρ を求めよ。

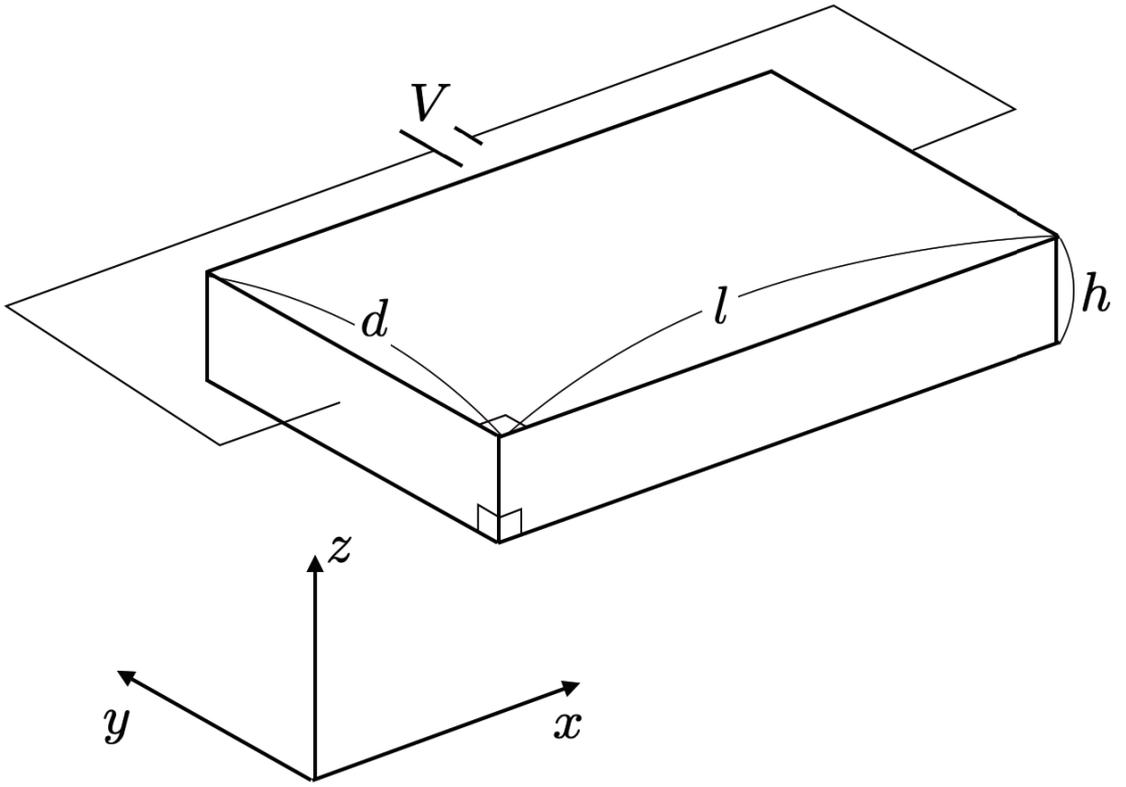


図 1

(つづく)

このように電位差 V のもとで x 方向に一定の電流が流れている状況下で、次に、図 2 に示されているように、 z 軸の正の向きに磁束密度の大きさが B の、時間的に変化しない一様な磁場を加える。このとき、導体内では電場の y 成分 E_y が現れる。電場の x 成分は、図 1 の状況における値から変化しないものとする。

問 4 電場の y 成分 E_y が現れる理由を述べよ。また、荷電粒子が正の電荷 q ($q > 0$) をもつとき、 E_y は正となるか、負となるか、理由を含めて答えよ。さらに、荷電粒子が負の電荷 q ($q < 0$) をもつとき、 E_y は正となるか、負となるか、理由を含めて答えよ。

問 5 荷電粒子の加速度の x , y 成分をそれぞれ a_x , a_y とし、速度の x , y 成分をそれぞれを v_x , v_y とする。荷電粒子にはたらく抵抗力を考え、荷電粒子に対する x 方向, y 方向の運動方程式をそれぞれ書け。

十分に時間が経過すると y 方向には電流が流れず、 x 方向にだけ一定の電流 I_x が流れるようになる。以下では、電荷 q を正 ($q > 0$) とする。

問 6 このとき問 5 で求めた運動方程式を用いて E_y を求めよ。さらにこれを用いて、 y 方向の両側面の間を生じた電位差 V_H (ホール電圧) と、 x 方向に流れる電流 I_x との関係式を示せ。解答では必ず理由を述べること。

問 7 x 方向に一定の電流が流れている導体内で、電場の y 成分の大きさは電場の x 成分の大きさの何倍かを求めよ。

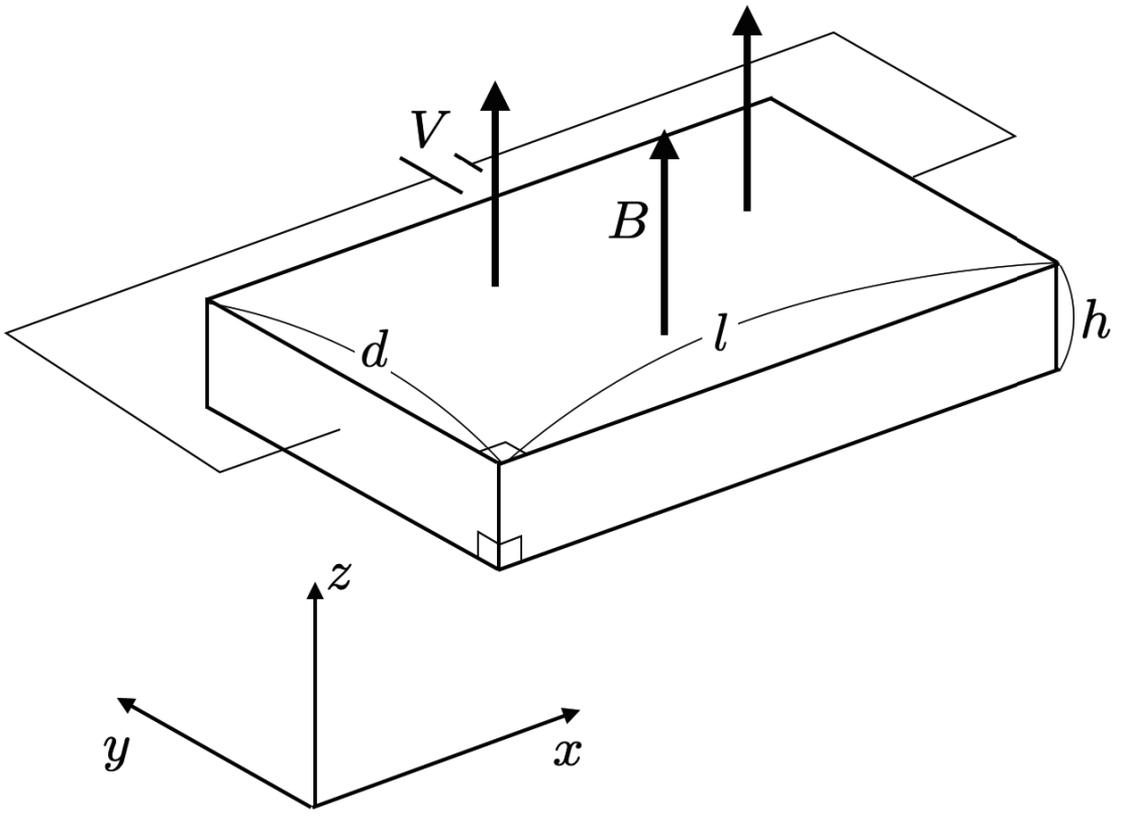


图 2

物 理 (物理学科)

第 3 問 (100点)

光は波としての性質をもつが、同時に粒子(光子)としての性質ももっている。物質に波長 λ の X 線を当てると、X 線は様々な方向に散乱されるが、散乱された X 線の一部は、元の波長 λ から変化する。これは、X 線が粒子としての性質ももっており、散乱の過程で物質中の電子にエネルギーや運動量を受け渡すためであると考えられる。このコンプトン効果と呼ばれる散乱現象について考察してみよう。図 1 に示すように、直交する x 軸と y 軸をとる。波長 λ の X 線が x 軸に沿って入射し、原点 O において静止していた電子と衝突した後、角度 ϕ の方向に散乱された。衝突の後、X 線の波長は λ' へと変化した。このとき、静止していた電子は、速さ v で角度 α の方向にはね飛ばされた。ここで、散乱は全て x 軸と y 軸を含む平面内で起こるものとする。また、プランク定数を h 、光速を c 、電子の質量を m とする。以下の問いに、問 1 以外は導出過程も含めて答えよ。

問 1 波長 λ の X 線の光子 1 個のもつエネルギーと運動量を答えよ。

問 2 波長 1.0×10^{-10} m の光子 1 個のもつエネルギーは何 eV であるか、有効数字 2 桁で表せ。ここでプランク定数を $h = 6.6 \times 10^{-34}$ J·s、光速を $c = 3.0 \times 10^8$ m/s、電気素量を 1.6×10^{-19} C とする。問 3 以降ではこれらの数値を代入する必要はない。

問 3 衝突の前後でのエネルギー保存則の関係式を書け。

問 4 衝突の前後での、 x 方向、 y 方向それぞれの運動量保存則の関係式を書け。

問 5 2 つの方向の運動量保存則の関係式から $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$ に注意して α を消去し、 v^2 を λ 、 λ' 、 m 、 h 、 ϕ を用いて表せ。

問 6 問 3 のエネルギー保存則と問 5 の結果を組み合わせ、 v を消去し、散乱の前後での波長の変化 $\lambda' - \lambda$ を m 、 c 、 h 、 ϕ を用いて表せ。ここで、 λ と λ' の差は小さいので、 $\frac{\lambda'}{\lambda} + \frac{\lambda}{\lambda'} \doteq 2$ の近似が成り立つものとする。

問 7 問 6 の結果を用いて、散乱の角度 ϕ が増大した場合、散乱後の波長 λ' の値はどのように変化するか説明せよ。ただし、角度 ϕ の範囲は、 $0 < \phi \leq \pi$ とする。

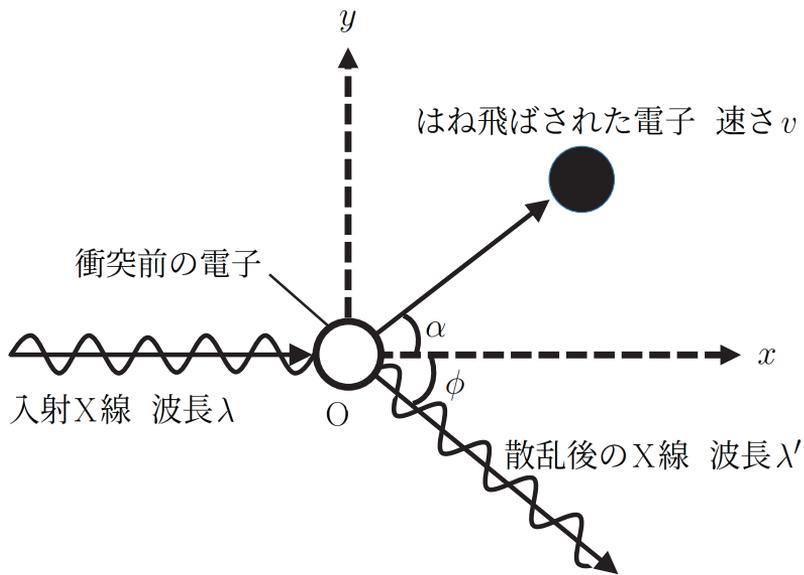


図 1

(つづく)

次に光の波動性に注目し、波長 λ の X 線が結晶に入射する場合を考える。図 2 のように、結晶では、規則正しく並んだ原子を含む互いに平行で等間隔な面（格子面）があり、その間隔を d とする。結晶の格子面と入射 X 線のなす角度を 0 から増加させていくと、隣り合う格子面からの反射 X 線の干渉が起こり、ある角度 β で最初の強い反射が見られた。

問 8 d , β , λ の間に成り立つ関係式を求めよ。

問 9 入射 X 線の波長が λ から $\lambda + \Delta\lambda$ にわずかに変化したとき、強い反射の見られる角度も β から $\beta + \Delta\beta$ に変化した。このとき $\Delta\beta$ は $\Delta\beta = \boxed{\text{ア}} \times \Delta\lambda$ と書ける。この $\boxed{\text{ア}}$ に入る式を d と λ を用いて表せ。ここで、 $\Delta\beta$ は小さいので、 $\sin \Delta\beta \cong \Delta\beta$, $\cos \Delta\beta \cong 1$ の近似が成り立つものとする。

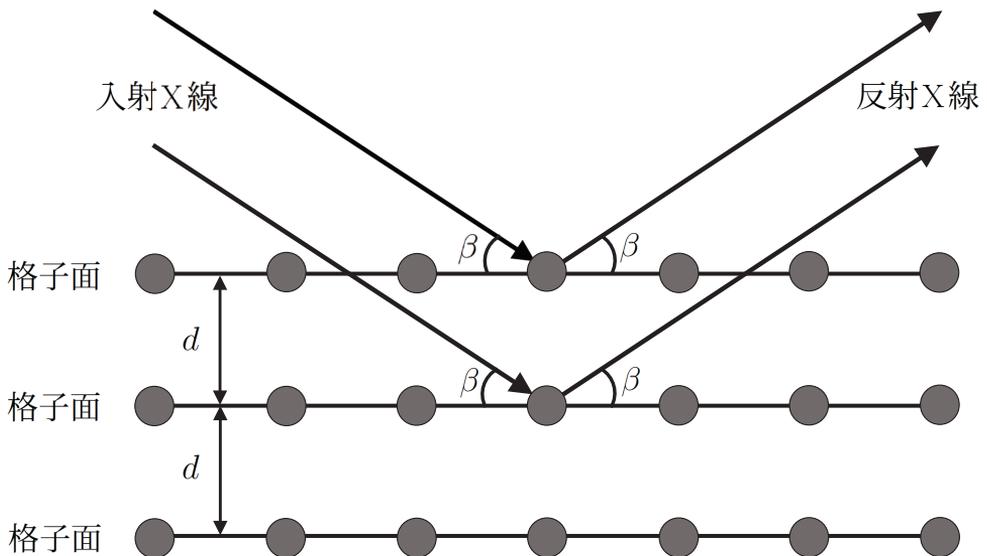


図 2

(余 白)

英 語 (化学科)

第 1 問 (100点)

次の英文を読んで、問1～問6に答えよ。

著作権の都合により、公開しません。

著作権の都合により、公開しません。

【出典：J. McMurry, D. S. Ballantine, C. A. Hoeger, V. E. Peterson, S. Madsen. *Fundamentals of General, Organic, and Biological CHEMISTRY*, Eighth Edition. Pearson Education, Inc. 2017. 一部改変】

(注) covalent bonds: 共有結合, potential energy: ポテンシャルエネルギー, kinetic energy: 運動エネルギー, abbreviation: 略語

問1 下線部①を日本語に訳せ。

問2 下線部②を日本語に訳せ。

問3 下線部③, ④について, それぞれの言葉に対応する日本語訳を記せ。

問4 下線部⑤の法則について, その意味を15単語以内の英文で説明せよ。

問5 下線部⑥を日本語に訳せ。

問6 に当てはまる数字を, 符号も含めて答えよ。なお, 解答用紙には計算の過程を明示すること。ただし, 必要であれば以下の結合エネルギーを使用せよ。

C-O: 358 kJ/mol, C=O: 745 kJ/mol, O-H: 467 kJ/mol, O=O: 498 kJ/mol

(余 白)

英 語 (化学科)

第 2 問 (100点)

次の英文を読んで、問1～問7に答えよ。

著作権の都合により、公開しません。

著作権の都合により、公開しません。

【出典：C. E. Housecroft, A. G. Sharpe, *Inorganic Chemistry*, Fourth Edition. Pearson Education Limited, 2012. 一部改変】

(注) ligand: 配位子, Lewis acid: ルイス酸 (電子対を受け取るもの), Lewis base: ルイス塩基 (電子対を与えるもの), equilibria: equilibrium (平衡) の複数形, halides: ハロゲン化物, s- and p-block cations: 第1-2族および第13-18族に属する元素のカチオン, early d-block metal: およそ3から7族の遷移金属, lanthanoid: ランタノイド, actinoid: アクチノイド, late d-block metal: およそ8族から11族の遷移金属, tellurium, polonium and thallium: テルル, ポロニウムおよびタリウム, O- and N-donors: 酸素上および窒素上の非共有電子対を用いて金属に配位する電子供与体, generalization: 一般化, Pearson: ピアソン (アメリカ人化学者の名前), hard: 硬い, soft: 軟らかい, complex: 錯塩, polarizabilities: 分極率, monocation: 1価の陽イオン, covalent: 共有結合の, transuranium element: ウランよりも原子番号の大きい元素, isotopes: 同位体, complexation reactions: 錯塩形成反応, electronegativities: 電気陰性度, qualitatively: 定性的に

問1 本文中で最も“軟らかい酸”として紹介されているイオンは何か，イオン式で答えよ。

問2 下線部①の **Similar patterns** の内容を100字以内の日本語で説明せよ。

問3 下線部②を日本語に訳せ。

問4 下線部③の **Such ligands**とは，どのような特徴を有する配位子のことを意味しているのか，本文の内容にそって日本語で説明せよ。

問5 下線部④に **Note the relationships** とあるが，配位子の分類とその供与性原子の電気陰性度の間には，どのような傾向があるか。50字以内の日本語で説明せよ。

電気陰性度

H: 2.20, C: 2.55, N: 3.04, P: 2.19, O: 3.44, S: 2.58,

F: 3.98, Cl: 3.16, Br: 2.96, I: 2.66

問6 下線部⑤の **the strength of the bonds between donor and acceptor** には，カチオンと供与性原子の4つの要素が寄与する。これらの要素を本文の内容にそって日本語で答えよ。

問7 下記の配位子交換反応により $[M(L)_6]^{2+}$ を合成する計画である。 M^{2+} が軟らかい酸の場合、HSAB 則に基づくと L が(i)~(iv)のいずれの配位子であれば $[M(L)_6]^{2+}$ の合成が期待できるか。当てはまるものをすべて選び(i)~(iv)の記号で答えよ。



(i) PR_3

(ii) H_2O

(iii) CO

(iv) SR_2

英 語 (化学科)

第 3 問 (100点)

次の英文を読んで、問1～問8に答えよ。必要であれば、次の原子量を用いよ。

H = 1.0, C = 12.0, O = 16.0

著作権の都合により、公開しません。

著作権の都合により、公開しません。

【出典：J. McMurry. *Organic Chemistry*, Ninth Edition. Cengage Learning, 2016. 一部改変】

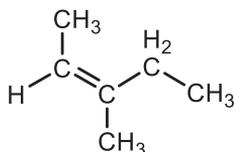
(注) catalyst: 触媒, hydrogenate: 水素付加する, 水素化する, reduce: 還元する, inert: 不活性な, heterogeneous: 不均一な, homogenous: 均一な, syn: シン (アンチとは逆の意を表す), vigorous: 激しい, semisolid: 半固体の, glycerol: グリセリン, isomerization: 異性化, digest: 消化する, coronary: 心臓の

問1 下線部①のように、ある反応に対して適切な触媒を用いると、反応速度が増大する。なぜ反応速度が増大するのか、日本語で説明せよ。

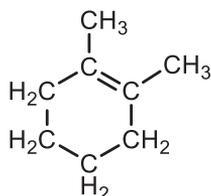
問2 下線部②を日本語に訳せ。

問3 下線部③の現象を実験的に確認するためには、下の(a)~(d)の中のどのアルケンへの水素付加物の構造を調べるのが適切であるか。一つ選び、記号で答えよ。

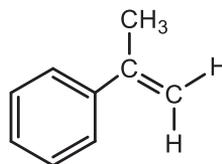
(a)



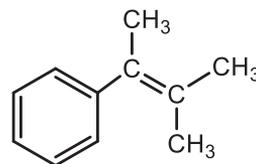
(b)



(c)



(d)



問4 下線部④の反応に関して、ベンゼン環に水素付加が起きない理由を日本語で説明せよ。

問5 下線部⑤において、油脂100 g に付加するヨウ素 I_2 (分子量254) の質量を g 単位で表した数値をヨウ素価と呼び、油脂に含まれる炭素原子間二重結合 (C=C 結合) の数を知る目安とされる。ある油脂の分子量は884、ヨウ素価は172であった。この油脂1分子中に存在する C=C 結合の数を求めよ。なお、解答用紙には計算の過程を明示すること。

問6 ペンテン (C_5H_{10}) のうち、下線部⑥と同様のシス形であるものを構造式ですべて記せ。なお、構造式は式(1)で示されたものになって記すこと。

問7 構成脂肪酸がシス形の不飽和脂肪酸のみである植物油を原料にした場合であっても、下線部⑦でトランス形の不飽和脂肪酸が遊離されるのはなぜか。本文の内容に沿って日本語で説明せよ。

問8 本文の内容に関連する次の英文を読み、リンドラー触媒の長所を日本語で説明せよ。

著作権の都合により、公開しません。

【出典：J. McMurry. *Organic Chemistry*, Ninth Edition. Cengage Learning, 2016. 一部改変】

(注) intermediate: 中間体 (出発物質から最終生成物に至る中間の物質を指す), Lindlar: リンドラー (開発者の名前), precipitate: 沈殿させる, lead: 鉛

生 物 (生物学科)

第 1 問 (170点)

呼吸と光合成に関する次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

ミトコンドリアの内膜には、電子を受け渡すタンパク質複合体 (I~IV) が埋め込まれ、これらの複合体が呼吸に関する電子伝達系を構成している。解糖系やクエン酸回路で生じた NADH と FADH_2 は電子 (e^-) と水素イオン (H^+) を放出する。 e^- は、図1に示すように、タンパク質複合体の間を次々に受け渡される。それと連動して、 H^+ がミトコンドリアの (ア) から内膜を横断して (イ) に輸送され、(イ) の H^+ の濃度が上昇した結果、ATP が合成される。最終的に e^- と H^+ は、 O_2 と結合して H_2O となる。ミトコンドリアにおける電子伝達系のしくみの解明には、酸素の消費を止める電子伝達系の阻害剤を用いた研究が貢献した。^①

一方、葉緑体は光合成を行う細胞小器官である。 光合成と呼吸は、ともに電子伝達系が関与する ATP 合成反応を含み、そのしくみは基本的に同じである。^②

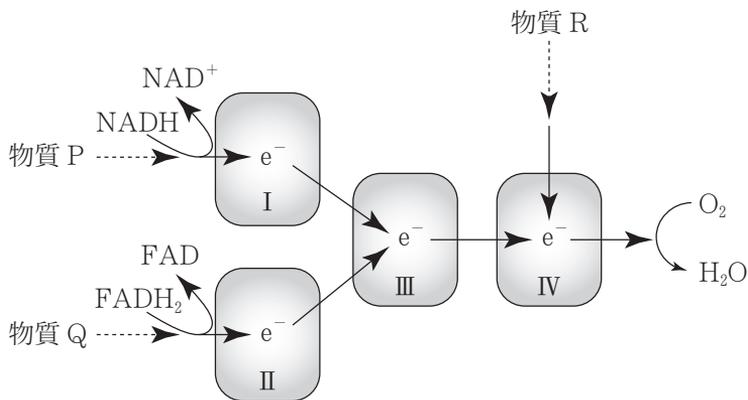
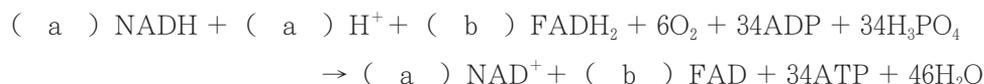


図1 ミトコンドリア内膜のタンパク質複合体における e^- の流れ
I, II, III, IVはそれぞれ異なる種類のタンパク質複合体を示す。
ただし、 H^+ についての記載は省略した。

問1 文章中の空欄 (ア) と (イ) に入る適切な語句を答えよ。

問2 ミトコンドリアの電子伝達系における ATP 生産は、グルコース 1 分子あたり、以下の反応式のように表すことができる。(1)と(2)に答えよ。

反応式



(1) 上記の反応式の空欄 (a) と (b) に入る適切な数字を答えよ。

(2) 上記の反応式を使って、FADH₂ 1 分子あたりにつくられる ATP の分子の数を答えよ。ただし、NADH 1 分子あたり 3 分子の ATP がつくられるものとする。

問3 下線部①と図1に関して、ミトコンドリア、ADP およびリン酸を含む懸濁液 A、物質 P、物質 Q、物質 R、阻害剤 X、阻害剤 Y、阻害剤 Z を準備した。次の実験 1 と実験 2 により、阻害剤 X、阻害剤 Y がミトコンドリアでの酸素消費を止めるかを確認した。ただし、1 種類の阻害剤は、1 種類のタンパク質複合体でのみ e⁻ の流れを止めるものとする。

実験 1

準備した懸濁液 A に物質 P を加えると、酸素消費が始まった。その後、タンパク質複合体 I で e⁻ の流れを止める阻害剤 X を加えると、酸素消費は止まったが、物質 R を加えると酸素消費が再開した。

実験 2

準備した懸濁液 A に物質 Q を加えると、酸素消費が始まった。その後、タンパク質複合体 II で e⁻ の流れを止める阻害剤 Y を加えると、酸素消費は止まったが、物質 R を加えると酸素消費が再開した。

阻害剤 Z はタンパク質複合体 III で e⁻ の流れを止める。このことを証明するためにはどのような実験を行い、どのような結果が得られればよいか、以下の語句をすべて使って述べよ。

懸濁液 A 物質 P 物質 Q 物質 R 阻害剤 Z

問4 下線部②に関して、(1)~(4)に答えよ。

(1) 光合成を行っている植物細胞の葉緑体では、特定の部位に H^+ が蓄積する。葉緑体における H^+ の蓄積部位を答えよ。

(2) 光合成の速度は、光の強さ、温度および二酸化炭素の影響を受ける。図2は、ある植物において、二酸化炭素が十分にあるとき、異なる温度における、光の強さと光合成速度の関係を示したグラフである。光の強さが A および B のときの、温度と光合成速度の関係をグラフとして表せ。

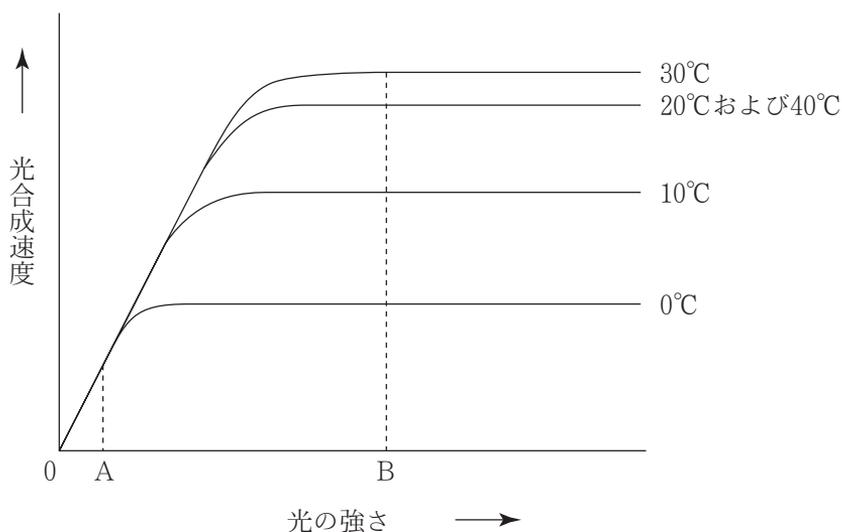


図2 各温度における光の強さと光合成速度の関係

- (3) カルビンとベンソンらは、炭素の放射性同位体である ^{14}C を含む二酸化炭素 ($^{14}\text{CO}_2$) を用いて、以下の実験を行った。

緑藻の培養液に光を当てながら、 $^{14}\text{CO}_2$ を与えた。次に、一定時間ごとに光合成の反応を止めて、緑藻から光合成産物を抽出した。さらに、抽出した光合成産物を分析して、炭素3個からなる C3 化合物、炭素6個からなる C6 化合物および炭素12個からなるスクロースに、 ^{14}C がどれくらい取り込まれたかを調べた。その結果を図3に示す。C3 化合物についての結果を示す曲線を図3の(i)~(iii)の中から選び、記号を答えよ。また、選んだ理由を説明せよ。

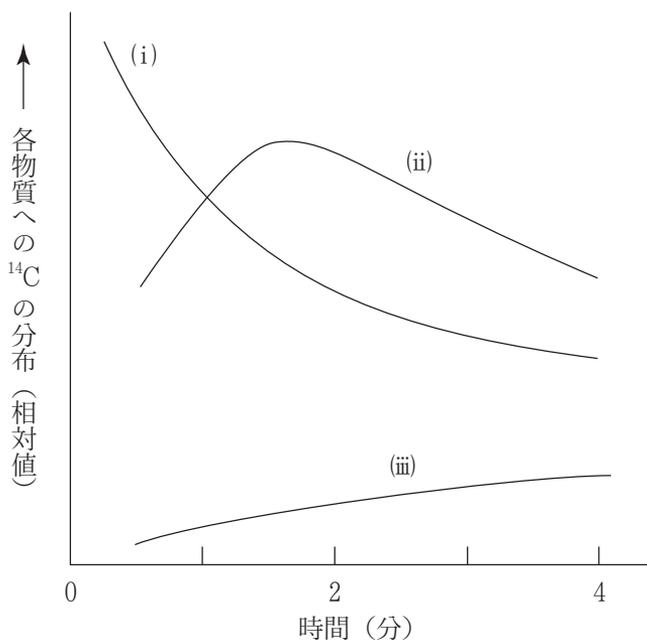


図3 光合成産物に取り込まれた ^{14}C の経時変化

- (4) 植物細胞が光合成を行っているとき、葉緑体のストロマにおける NADPH は、カルビン・ベンソン回路の進行によって消費されても枯渇しない。この理由を説明せよ。

生 物 (生物学科)

第 2 問 (170点)

神経系と学習に関する次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

神経系は、ニューロンとそれを支持する (ア) から構成される。ニューロンは細長く伸びた繊維状の軸索を持ち、信号を離れたところまで伝える。軸索を伝わる活動電位が神経終末まで伝導すると、電位依存性カルシウムチャネルが開き、 Ca^{2+} が神経終末内に流入する。神経終末での Ca^{2+} 濃度上昇により、シナプス小胞が (イ) に融合し、シナプス小胞内の神経伝達物質が (ウ) に放出される。シナプス後膜には、神経伝達物質を結合する受容体が存在する。受容体が神経伝達物質を受け取ると、シナプス後細胞には ①興奮性シナプス後電位 (EPSP) あるいは抑制性シナプス後電位 (IPSP) と呼ばれる膜電位変化が生じ、情報が伝達される。

アメフラシの学習には、シナプスにおける伝達効率の変化が関与することが知られている。アメフラシは背中のえらに続く水管から海水を出し入れして呼吸をしており、水管に接触刺激を与えると、えら引っ込め反射が起きる。しかし、何回も水管への接触刺激を行うと、えら引っ込め反射は起きなくなる。この変化は ②慣れ とよばれる学習のひとつである。慣れを起こしたアメフラシの尾部に電気刺激を与えた後、水管に接触刺激を与えると、えら引っ込め反射が再び起きるようになる。これを ③脱慣れ という。

2つの異なる出来事の関連性を学習することを連合学習という。連合学習は多くの動物で見られ、ミツバチにも見られる。ミツバチは砂糖水を好み、少量の砂糖水を触角につけると、④口吻を伸ばして砂糖水を飲もうとする。 これを吻伸展反応という。ある匂いを嗅がせて報酬として砂糖水を与えることを繰り返すと、匂いを嗅がせただけで吻伸展反応を示すようになる。これは、④匂いと報酬の間の連合学習が成立したことを示している。

問1 文章中の空欄（ア）～（ウ）に入る適切な語句を答えよ。

問2 下線部①に関して、興奮性シナプス後電位（EPSP）および抑制性シナプス後電位（IPSP）が起こるとき、ニューロン内に流入するイオンとして最も適切なものの名称を答えよ。また、それぞれの膜電位の変化をグラフに描け。

問3 下線部②に関して、アメフラシが慣れを起こすのは、水管の感覚ニューロンの神経終末から放出される神経伝達物質の量が減少するためである。この神経伝達物質の放出量の減少は、水管の感覚ニューロンの神経終末におけるどのような変化により生じるのか。変化を2つ答えよ。

問4 下線部③に関して、脱慣れは、慣れが起こる際に変化が生じた水管の感覚ニューロンの神経終末にさらなる変化が起こることによって生じる。脱慣れが起きるしくみを以下の語句すべてを用いて説明せよ。なお、それぞれの語句を繰り返し用いてもよい。

介在ニューロン 感覚ニューロン 神経伝達物質 Ca^{2+} の流入
シナプス後細胞

問5 下線部④に関して、次の文章を読み、(1)~(2)の問いに答えよ。

ミツバチを使って、匂いと報酬の連合学習実験を行った。ミツバチが感知できる匂い物質としてリモネン (L) とオイゲノール (E) を用いた。報酬として砂糖水を用いた。20匹のミツバチそれぞれに対して、図のAに示すように、Lを4秒間嗅がせ、匂いを提示して3秒後から砂糖水を3秒間与えた。この時、匂いだけを与えている最初の3秒間に口吻を伸ばすかどうかを調べた(学習テスト)。Lを嗅がせてから12分後にEを4秒間嗅がせた。なお、Eの提示後には砂糖水を与えなかった。Eを提示するときも最初の3秒間に口吻を伸ばすかどうかを調べた。この後、LとEの順序は各回ごとに代入替えて、同様の試行を合計5回行い(図のB)、吻伸展反応の有無を調べた。その結果をまとめると、表のようになった。

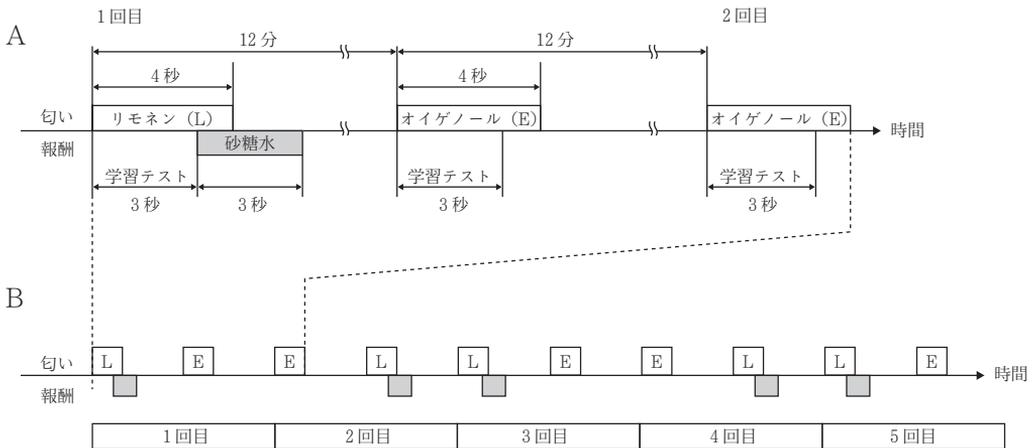


図 実験の概略

AはBの一部を拡大したものであり、Bにおける灰色の四角は砂糖水を与えていることを示す。

表 実験結果

試行 個体 No.	1回目		2回目		3回目		4回目		5回目	
	L	E	E	L	L	E	E	L	L	E
1	-	-	-	○	○	-	○	○	○	○
2	-	-	-	○	○	-	-	○	○	-
3	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-
5	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-
6	○	○	○	○	○	○	-	○	○	-
7	-	-	-	-	○	-	-	○	○	-
8	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-
9	-	-	-	○	○	-	-	○	○	-
10	-	-	-	○	○	-	-	○	○	-
11	-	-	-	○	○	-	-	○	○	-
12	-	-	-	○	○	-	-	○	○	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-
15	-	-	-	○	○	-	-	○	○	-
16	-	-	-	○	○	-	○	○	○	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	○	○	○	○	-	○	○	○	○
19	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-
20	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-

「○」は吻伸展反応が起こったことを、「-」は起こらなかったことを示す。

- (1) 表の実験結果をもとに、試行回数と吻伸展反応を示した個体数の関係を、リモネン (L) とオイゲノール (E) の違いが分かるようにグラフとして表せ。
- (2) 本実験結果のみでは、リモネン (L) の匂いと砂糖水の間に関連学習が成立したと結論するには不十分である。関連学習が成立したと結論するために、他にどのような実験を行い、どのような結果が得られればよいか、述べよ。

生 物 (生物学科)

第 3 問 (60点)

生物の DNA の複製は、「半保存的複製」とよばれる方法によって行われる。半保存的複製を説明せよ。また、それを証明したメセルソンとスタールの実験を説明せよ。