

2025 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34～44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。

問題訂正

科目名：後期日程 理学部問題 (数学)

《訂正箇所》 6 ページ 第3問 3行目から

誤

a_{n+1} はその素因数分解が相異なる素数の積となる整数

正

a_{n+1} は1または素数または素因数分解が相異なる素数の積となる自然数

問題補足

科目名：後期日程 理学部問題 (物理)

答えを導く過程も含めて解答すること。
ただし、第1問、第2問（問2）、第3問（問3・問4・問7）
については、答えのみでもよい。

(余 白)

数 学 (数学科・物理学科)

第 1 問 (100点)

$k > 0$ とする. xy 平面上の直線 $y = kx + \frac{1}{k}$, x 軸, y 軸および直線 $x = 1$ で囲まれる部分を x 軸の周りに回転してできる立体図形を K とする. このとき次の問いに答えよ.

問1 K の体積を $V(k)$ とするとき, $V(k)$ を k の式で表せ.

問2 $V(k)$ の $k > 0$ の範囲での最小値とそのときの k の値を求めよ.

問3 K の表面積を $S(k)$ とするとき, 極限值

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{V(k)}{S(k)}$$

を求めよ. ただし K の表面積とは, xy 平面上の点を $O(0, 0)$, $A\left(0, \frac{1}{k}\right)$, $B(1, 0)$, $C\left(1, k + \frac{1}{k}\right)$ とおくとき, 線分 AC が x 軸の周りに回転してできる曲面の面積および線分 OA , 線分 BC が x 軸の周りに回転してできる 2 枚の円板の面積をあわせたものをいう.

(余 白)

数 学 (数学科)

第 2 問 (100点)

i を虚数単位とし, O は複素数平面の原点を表すとする. 3以上の整数 n に対して

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

とおき, 0 以上 $(n-1)$ 以下の整数 k に対して複素数 α^k の表す複素数平面上の点を A_k とする. ただし $\alpha^0 = 1$ とする. また, 複素数平面上の2点 X, Y に対して XY で線分 XY の長さを表すとする. このとき次の問いに答えよ.

問1 A_0A_k を k の式で表せ.

問2 直線 OA_0 上に実数 $x \geq 1$ が表す点 P をとる. このとき等式

$$PA_0 \times PA_1 \times \cdots \times PA_{n-1} = x^n - 1$$

が成り立つことを示せ.

問3 等式

$$n = \prod_{k=1}^{n-1} \left(2 \sin \frac{k\pi}{n} \right)$$

を示せ. ただし数列 $\{a_k\}$ に対して $\prod_{k=1}^{n-1} a_k = a_1 \times a_2 \times \cdots \times a_{n-1}$ とする.

(余 白)

数 学 (数学科)

第 3 問 (100点)

数列 $\{a_n\}$ は以下をみたすとする.

(i) $a_1 = 2$.

(ii) 整数 $n \geq 1$ に対して, a_{n+1} はその素因数分解が相異なる素数の積となる整数のうち, $a_{n+1} \geq a_n^2 - 1$ をみたす最小のもの.

このとき次の問いに答えよ.

問 1 a_2, a_3, a_4 を求めよ.

問 2 整数 $n \geq 1$ に対して $a_n \geq 2$ となることを示せ.

問 3 整数 $n \geq 2$ に対して $a_n > \prod_{k=1}^{n-1} a_k$ となることを示せ. ただし数列

$$\{a_k\} \text{ に対して } \prod_{k=1}^{n-1} a_k = a_1 \times a_2 \times \cdots \times a_{n-1} \text{ とする.}$$

問 4 任意の整数 $n \geq 2$ に対して, a_n を割り切る素数 p であって, $1 \leq m < n$ となるすべての整数 m に対して a_m を割り切らないものが存在することを示せ.

(余 白)

数 学 (数学科)

第 4 問 (100点)

i を虚数単位とする. $0, i, -i$ とは異なる複素数 z に対して, 複素数 w を

$$w = \frac{z+i}{iz+1}$$

によって定める. このとき次の問いに答えよ.

問1 w は $0, i, -i$ とは異なることを示せ.

問2 $|z| > 1$ であることと w の虚部が 0 より小さいことは同値であることを示せ.

問3 複素数 w_1, w_2, w_3, w_4 を

$$w_1 = w = \frac{z+i}{iz+1}, \quad w_2 = \frac{w_1+i}{iw_1+1}, \quad w_3 = \frac{w_2+i}{iw_2+1}, \quad w_4 = \frac{w_3+i}{iw_3+1}$$

によって定める. w_2, w_3, w_4 を z を用いて表せ.

問4 w_1, w_2, w_3, w_4 のいずれかは次の条件をみたすことを示せ.

絶対値が 1 以下, かつ虚部が 0 以上.

(余 白)

数 学 (数学科)

第 5 問 (100点)

区間 $[0, \pi]$ 上の連続関数 $f(x)$ は等式

$$f(x) = \int_0^{\pi} f(y) \cos(x - y) dy \quad (0 \leq x \leq \pi)$$

をみたすとする. このとき次の問いに答えよ.

問1 $f(x)$ は実数 A, B を用いて $f(x) = A \cos x + B \sin x$ の形に表されることを示せ.

問2 $f(x)$ は定数関数 0 であることを示せ.

次に, 区間 $[0, \pi]$ 上の連続関数 $g(x)$ は等式

$$g(x) = \int_0^{\pi} \{g(y)\}^2 \cos(x - y) dy \quad (0 \leq x \leq \pi)$$

をみたすとする. このとき次の問いに答えよ.

問3 $g(x)$ をすべて求めよ.

(余 白)

物 理 (物理学科)

第 1 問 (90点)

HさんとYさんが、ばねについて考察している。二人の会話と示されている図をもとに、アには適切な語句を、イ ~ オ、キ、ク、コには適切な数値または数式を、カには適切なグラフを、ケには適切な単位を、それぞれ解答欄に記入せよ。ただし、 の直後に{ }がある場合は、その中に列挙されている記号の中から必要なものを用いて答えること。

Hさん 「自然長 l のばね一本に対して、図1のような実験をしました。」

「水平でなめらかな台の上で、一端を固定したばねをゆっくり引いて、伸び d を測定したのです。図2は横軸に伸び d 、縦軸に引いた力の大きさ f を示したものです。」

Yさん 「見事に比例していますね。引く力とばねの弾性力とが釣り合っていることを考えると、これは ア の法則を表していますね。グラフが点Pで途切れていますが、これは？」

Hさん 「力の大きさが f_c を超えると伸びと力の大きさが比例しなくなるのです。わかりやすくするために、比例しない範囲のグラフは描いていません。」

Yさん 「なるほど。 $0 < f < f_c$ でのグラフの傾き $k = \frac{f}{d}$ がいわゆるばね定数ですね。」

Hさん 「はい。このようにばね定数は引く力の大きさと伸びから測定できます。ばね定数がわかっているならば、伸びを測定することで、引く力の大きさもわかります。」

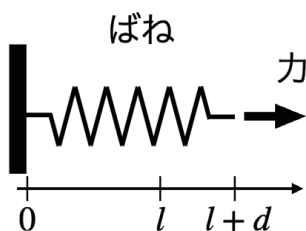


図 1

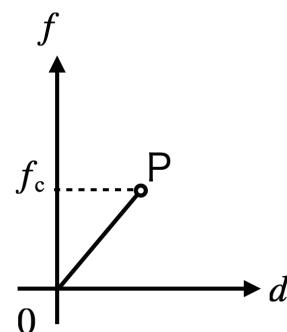


図 2

Yさん 「しかし、 P つまり f_c を超えてしまうとばねの伸びと力の大きさが比例しなくなりますね。大きさが f_c を越えるような力を測ることはできないのですか？」

Hさん 「図3を見て下さい。図1と同じばね定数 k のばねを M 本並列につなげています。これを M 重並列つなぎと呼びましょう。」

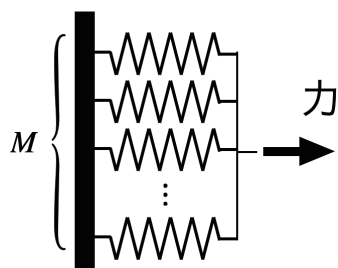


図3

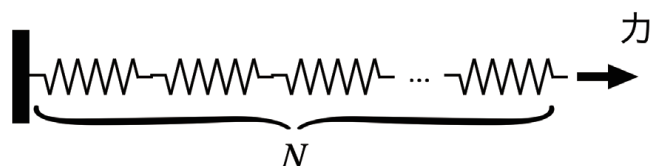


図4

Yさん 「同じばねを並列につなげ、図3のように引くとどのばねも伸びは同じになりますね。」

Hさん 「図3で全体を一つのばねとみなした場合のばね定数は $\{l, k, M\}$ となります。」

Yさん 「それぞれのばねの伸びと引く力の大きさが比例する範囲も図1のばねと同じだとすれば、全体としては f_c の 倍の大きさの力まで測定できるわけですか。」

Hさん 「はい。図4のように N 本直列につなげることも考えられます。 N 重直列つなぎですね。」

Yさん 「今度はそれぞれのばねにかかる力の大きさが同じになりますね。」

Hさん 「どのばねも図1と同じばねだとすると、全体を一つのばねとみなした場合のばね定数は $\{l, k, N\}$ です。」

Yさん 「これにはどのような利点があるのでしょうか？」

Hさん 「図1の場合と比較すると、同じ力でも伸びが 倍になります。つまり、力のわずかな違いを拡大して示すことができるのです。例えば $N = 2$ の場合、全体の伸びを d 、引いた力の大きさを f として図2のグラフに重ねて描くと のようになります。」

(つづく)

Yさん 「もし、ばね定数 k のばねを M 重並列につないだものをさらに N 重直列につないだ場合はどうなりますか？」

Hさん 「はい。その場合、全体を一つのばねとみなした場合のばね定数は $\boxed{\text{キ}}$ $\{l, k, M, N\}$ となるでしょう。」

Yさん 「なるほど。ところで、この結果は、ばねだけでなく別の物体、例えば金属の棒などにも当てはまるのでしょうか。」

Hさん 「金属の棒でも、引いた力の大きさと伸びが比例する範囲は、伸びが小さい範囲でありそうです。その比例定数をその棒のばね定数と考えることができます。」

Yさん 「さきほどのつないだばねに関する考察から、そのばね定数は棒の断面積や長さによって変わることが分かりますね。」

Hさん 「はい。そうです。断面積を M 倍にするというのは、ちょうど M 重並列つなぎに対応し、長さが N 倍というのは、 N 重直列つなぎに対応すると考えることができます。」

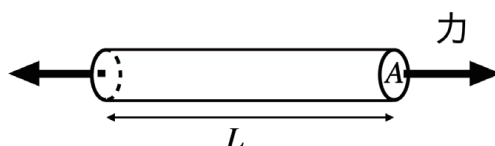


図 5

Yさん 「では、棒の素材そのものの性質を表す量として、次の量はどうでしょうか。図 5 を見て下さい。長さ L 、断面積 A の棒を大きさ F の力で引いたときの伸びが D だったとします。同じ素材で作られた単位長さで単位断面積の棒のばね定数を E とすると $E = \boxed{\text{ク}}$ $\{L, A, F, D\}$ となります。」

Hさん 「その E が素材で決まる量ということですね。その単位を国際単位系 (SI) で表すと ケ になります。具体的な値を測るために、さっそく実験してみましょう。」

— 数日後 —

Yさん 「断面積 $1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2$, 長さ 1.0 m , の鉄線を用意し, 大きさ $1.0 \times 10^2 \text{ N}$ の力で引いたところ $5.0 \times 10^{-4} \text{ m}$ だけ伸びました。この結果から計算すると鉄の E は ケ の単位では コ となります。」

Hさん 「他のいろいろな素材についても, あらかじめ E を測定しておけば, その素材で作られた棒を引いたときの力の大きさと伸びの関係を計算できるわけですね。」

Yさん 「伸びと力の大きさが比例する範囲なら問題なさそうです。次は素材の種類だけでなく, 温度などの条件も変えてみようと思っています。」

Hさん 「面白くなってきましたね。」

物 理 (物理学科)

第 2 問 (90点)

図1のように、真空中に電気量 q ($q > 0$) の点電荷を固定し、それを含むある平面内に、点電荷の位置が原点 O となるように x 軸と y 軸を定義する。 O から y 軸の正の向きに距離 d だけ離れた点を A とし、 O から x 軸の正の向きに d だけ離れた点を B とする。電気量 $-2q$ の点電荷を、 A から B まで、直線 AB に沿ってゆっくりと移動させた。以下では、クーロンの法則の比例定数を k_0 とし、電位の基準を無限遠点にとる。

問 1 電気量 $-2q$ の点電荷に対して電気力がした仕事を求めよ。

次に、図2のように B に移動させた電気量 $-2q$ の点電荷を B に固定する。 xy 平面上のある点 P の座標を (x, y) とする。

問 2 P における電位が 0 であるとき、 x と y が満たす式を書け。

問 3 問 2 で得られた式は、 xy 平面上の円を表す。円の中心の座標と半径を求めよ。

問 4 A における電場の x 成分と y 成分を求めよ。

図3のように、真空中に置かれた導体球 S_1 の表面に電気量 q の電荷を一様に与え、それを、内部に空洞があり電荷が与えられていない導体球 S_2 で囲った。 S_1 と S_2 の中心は一致しており、球の中心からの距離 r が $r \leq a$ の部分は S_1 の導体、 $a < r < b$ の部分は真空、 $b \leq r \leq c$ の部分は S_2 の導体、 $c < r$ の部分は真空である。このときに生じる電場について考える。ただし、静電誘導によって S_2 に現れる電荷は、 $r < b$ の電場に影響を与えないと考えてよい。

問 5 $r \leq a$, $a < r < b$, $b \leq r \leq c$, $c < r$ のそれぞれの範囲における電場の強さを求めよ。

問 6 $r \leq a$, $a < r < b$, $b \leq r \leq c$, $c < r$ のそれぞれの範囲における電位を求めよ。

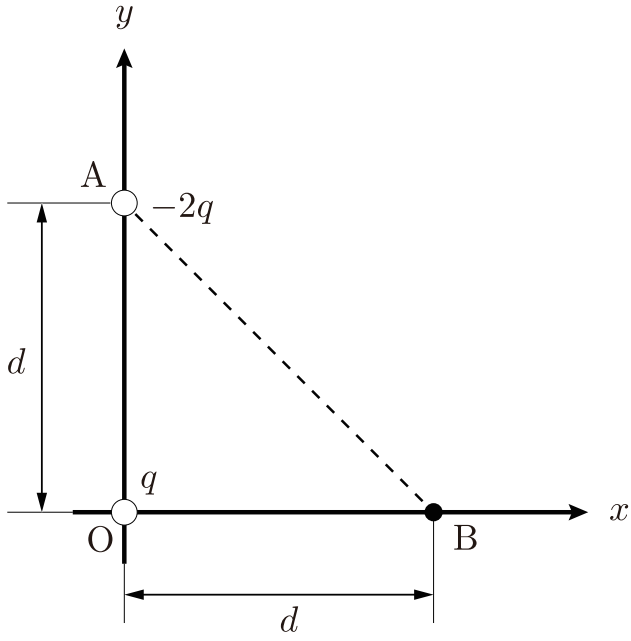


图 1

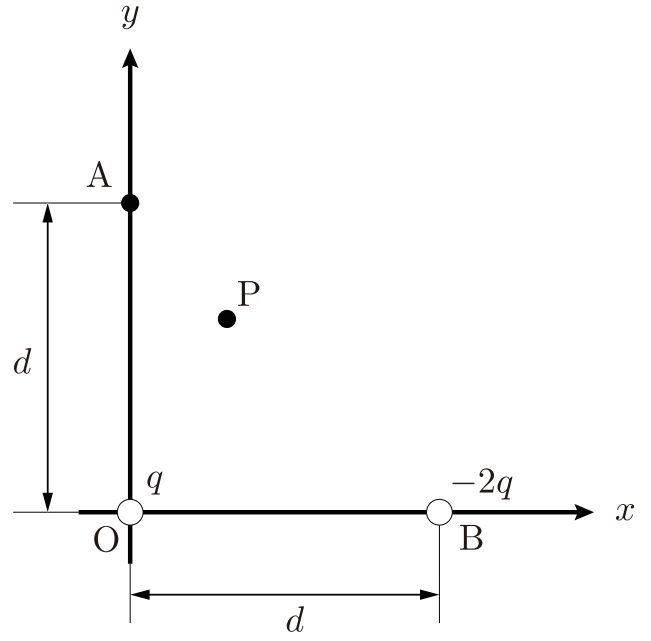


图 2

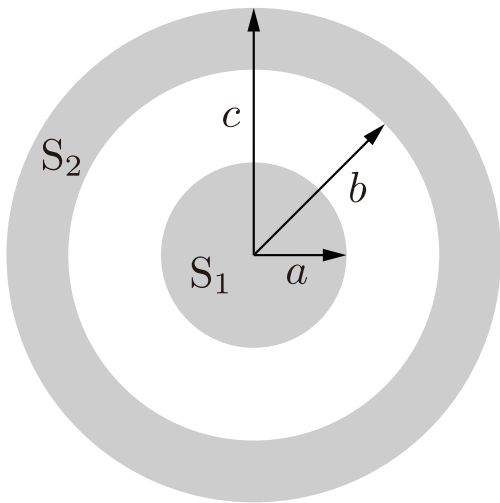


图 3

物 理 (物理学科)

第 3 問 (120点)

He^+ , Li^{2+} , Be^{3+} など, 1 個の原子核と 1 個の電子から構成されるイオンは, 原子核の電気量が原子番号 Z に依存して異なるが, その定常状態は水素原子と類似性がある. そのため, これらのイオンは「水素類似イオン」と呼ばれる. 水素類似イオンでは, 水素原子の場合と同様の方法で, 電子が異なる定常状態へ移るときに放出される光のスペクトルを求めることができる. これらのイオンについて以下の問いに答えよ. ただし, 電子の質量を m , 電気素量を e , 真空中でのクーロンの法則の比例定数を k_0 , プランク定数を h , 真空中の光の速さを c とする. また, 各問題文の後に () に囲まれた記号群がある場合は, その中から必要なものを用いて答えよ.

まずラザフォードの原子モデルにしたがって, 原子番号 Z の水素類似イオンにおける電子のエネルギーを考えよう. このモデルでは, 図 1 のように電荷 $+Ze$ の原子核の周りを, 電荷 $-e$ の電子が半径 r , 速さ v の等速円運動をしているものとする.

問 1 等速円運動する電子の運動方程式を書け. (Z, m, e, k_0, r, v)

問 2 電子の運動エネルギー K を求めよ. (Z, e, k_0, r)

問 3 原子核の電荷による電位の基準を無限遠点にとるとき, 電気力による電子の位置エネルギー U を書け. そして, 電子の全エネルギー $E = K + U$ を書け. (Z, e, k_0, r)

等速円運動する電子は電磁波を放出してエネルギーを次第に失うため, ラザフォードのモデルでは原子が安定して存在することを説明できない. ボーアは, 水素の線スペクトルに着目して, 量子数 n を用いて表される量子条件を満たす場合にのみ, 電子が電磁波を出さずに円運動をする状態 (定常状態) となる, という仮説を提唱した.

ここからはこのボーアの仮説にしたがって, 原子番号 Z の水素類似イオンにおける, 量子数が n の定常状態のエネルギー $E_n(Z)$ を求めよう. 以下では量子数が n の定常状態における電子の軌道半径を r , 速さを v とする.

問 4 軌道一周の長さがド・ブROI波長の n 倍に等しい, という量子条件を表す式は,

$$2\pi r = \boxed{\text{ア}}$$

である. $\boxed{\text{ア}}$ に当てはまる式を書け. (m, h, v, n)

問 5 問 1 の運動方程式と問 4 の量子条件から v を消去することにより, 定常状態での軌道半径 r を求めよ. (Z, m, e, k_0, h, n)

問 6 問 3 の E と問 5 の r から $E_n(Z)$ を求めよ. また, $E_n(Z)$ は, 量子数 n の水素原子のエネルギー $E_n(1)$ に対して何倍になっているか答えよ. (Z, m, e, k_0, h, n)

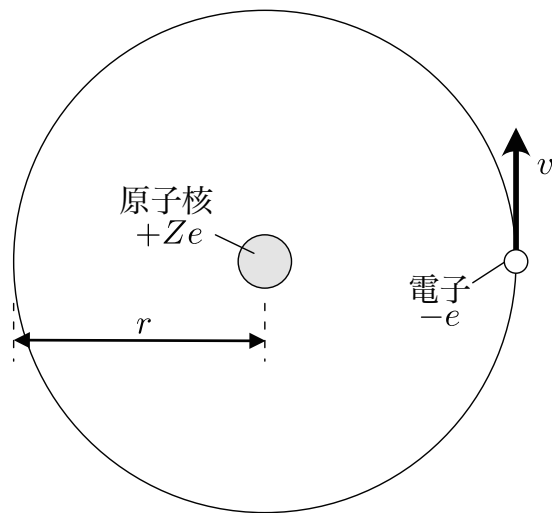


図 1

(つづく)

図2は、ある水素類似イオンにおいて、電子がある定常状態からより低いエネルギーの定常状態へと移る際に放出される光のスペクトルを計算し、波長が $0 \sim 25 \times 10^{-8} \text{ m}$ の範囲にある輝線を図示したものである。このスペクトルに関する以下の問いに答えよ。

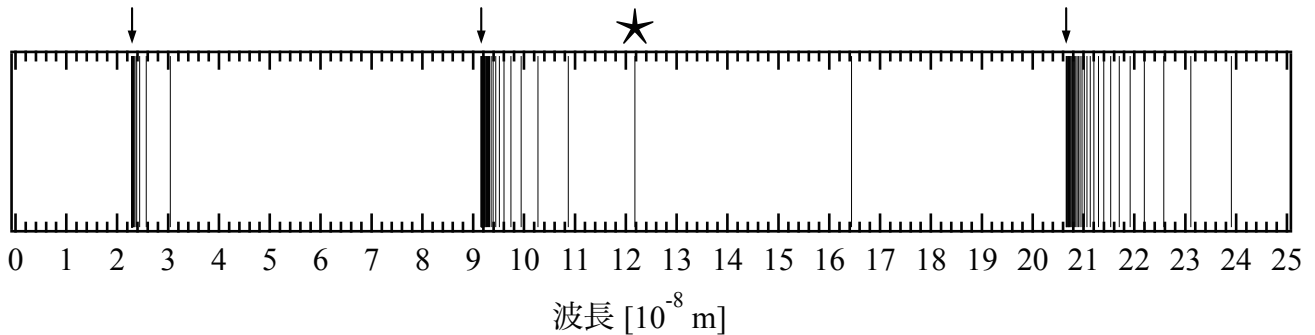


図2

問7 図2では、矢印で示したいくつかの特定の波長付近に輝線が密集している。この理由について説明した以下の文の空欄 イ \square に対応する式を求め、 Z 、 h 、 c および水素原子の基底状態のエネルギー $E_1(1)$ を用いて書け。また、ウ \square と エ \square に当てはまる式は、 n 、 n' のうち必要なものを用いて書け。

原子番号 Z の水素類似イオンが、量子数 n の準位から n' の準位へ移るときに放出される光の波長の逆数 $\frac{1}{\lambda}$ は、

$$\frac{1}{\lambda} = - \square \text{イ} \left(\frac{1}{n'^2} - \square \text{ウ} \right)$$

と表される。この式で準位 n' を固定して考えると、式の中の $\left(\frac{1}{n'^2} - \square \text{ウ} \right)$ の部分の値は、 n が大きくなると エ \square に近づき、 λ は一定値に近づいていく。そのため、輝線は n' の値で決まる特定の波長付近に密集して現れる。

問8 問7の結果を用いて、図2のスペクトルを持つイオンの Z の2乗 (Z^2) を計算し、元素名を答えよ。ただし、表に示した物理定数と、水素原子の基底状態のエネルギー $E_1(1)$ の値を用いてよい。

表

名称	記号	数値・単位
真空中の光の速さ	c	$3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$
プランク定数	h	$6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} = 4.14 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$
水素原子の基底状態のエネルギー	$E_1(1)$	-13.6 eV

問 9 図 2 の \star 印をつけた輝線は、量子数 $n = \text{オ}$ の定常状態から $n' = \text{カ}$ の定常状態へ移ったときに放出された光子に対応するものである。空欄 オ と カ に当てはまる数を、理由とともに答えよ。

英 語 (化学科)

第 1 問 (100点)

次の英文を読んで、問1～問5に答えよ。

① Boyle's law, ② the law of Charles and Gay-Lussac, and ③ Avogadro's law can be combined into a single equation,

$$pV = nRT$$

In this equation, p is the pressure acting on a given sample of gas, V is the volume occupied by the sample of gas, n is the number of moles of gas in the sample, that is, the total number of molecules divided by Avogadro's number, R is a quantity called the gas constant, and T is the absolute temperature. The gas constant R has a value depending on the units in which it is measured (that is, the units used for p , V , n , and T). If p is measured in atmospheres (atm), V in liters (L), n in moles (mol), and T in degrees Kelvin (K), the value of R is .

If the number of moles in a sample of gas, n , remains constant and the temperature T remains constant, the ideal-gas equation simplifies to

$$pV = \text{constant}$$

The value of the constant in this equation is nRT . This equation is seen to be just the equation expressing Boyle's law. Similarly, if the pressure p is constant and the number of moles in the sample of gas is constant, the ideal-gas equation simplifies to

$$V = \left(\frac{nR}{p}\right)T = \text{constant} \cdot T$$

This is the expression of the law of Charles and Gay-Lussac. The ideal-gas equation can also be written in the form

$$n = \frac{pV}{RT}$$

This equation states that the number of moles of any gas is equal to a product of quantities independent of the nature of the gas, but depending only on the pressure, volume, and temperature; accordingly equal volumes of all gases under the same conditions are stated by this equation to contain the same number of moles (molecules). This equation accordingly expresses Avogadro's law.

The value of the gas constant R is found experimentally by determining the volume occupied by one mole of an ideal gas at standard conditions. One mole of oxygen weights exactly 32 g, and the density of oxygen gas at standard conditions is found by experiment to

be 1.429 g/L. The quotient $32/1.429 = 22.4$ L is accordingly the volume occupied by one mole of gas (Avogadro's number of gas molecules) at standard conditions. The volume 22.4 liters is the volume of one mole of gas at standard conditions ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1 atm). The volume occupied by one mole of gas at standard conditions is seen from the ideal-gas equation to be just the product of R and the temperature $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ on the absolute scale.

^④ The density of a substance which is a gas under ordinary conditions is usually determined by the simple method of weighing a flask of known volume filled with the gas under known pressure, and then weighing the flask after it has been evacuated with a vacuum pump. If a sufficiently careful measurement of the density of a gas is made, under conditions such that the gas obeys the ideal-gas law, a good value for the molecular weight of the gas can be obtained, which can be used to find the atomic weight of one of the elements in the gas. The way to determine this ideal value of the density of a gas is to determine the density of the gas at lower and lower pressures, and to extrapolate to zero pressure—all gases approach the ideal-gas law in their behavior as the pressure becomes very low.

For example, it has been found that the observed densities of sulfur dioxide at very low pressures correspond to an ideal density of 2.85796 g/L at standard conditions. The product of this value of the density and the precise value of the molar volume, 22.4140 L per mole, is 64.058, which is the molecular weight of sulfur dioxide. The sulfur dioxide molecule contains two oxygen atoms, which weigh exactly 32 g, and one sulfur atom. The weight of the sulfur atom, in atomic weight units, is hence seen to be 32.058, from these measurements; this agrees well with the accepted value of the atomic weight of sulfur.

Real gases differ in their behavior from that represented by the ideal-gas equation for two reasons. First, the molecules have finite size, so that each molecule prevents others from making use of a part of the volume of the gas container. This causes the volume of a gas to be larger than that calculated for ideal behavior. Second, the molecules even when some distance apart do not move independently of one another, but attract one another slightly. This tends to cause the volume of a gas to be smaller than the calculated volume.

【出典：Linus Pauling, *COLLEGE CHEMISTRY: An Introductory Textbook of General Chemistry*, W. H. FREEMAN AND COMPANY, 1951. 一部改変】

(注) flask: フラスコ, vacuum pump: 真空ポンプ, extrapolate: 外挿する, real gas: 実在気体, finite: 有限の

問1 下線部①～③を本文の内容に沿って日本語で説明せよ。

問2

A

 に当てはまる数値と単位を，本文の内容に沿って答えよ。

問3 下線部④を決定するためにはどのような手順で実験を行えばよいか，日本語で答えよ。

問4 下線部⑤が成り立つにはどのような実験条件が必要か。また，その条件が必要となる2つの理由は何か。いずれも20字以内の日本語で答えよ。

問5 下線部⑥の値から硫黄の原子量を求める方法を，計算式や数値を記しながら日本語で説明せよ。

(余 白)

英 語 (化学科)

第 2 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：Nivaldo J. Tro, *Principles of Chemistry*, International Edition, Pearson Education Inc., 2010. 一部改変】

(注) deplete: 使う, 消費する

問1 , , に当てはまる適切な単語をそれぞれ本文中から選んで記せ。

問2 下線部①の *dynamic equilibrium* とは、どのような状態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3 下線部②の具体的な内容を、本文をふまえて日本語で説明せよ。

問4 式 [1] の反応に関する以下の問いに日本語で答えよ。

A mixture of 1.00 mole of $\text{H}_2(g)$ and 1.00 mole of $\text{I}_2(g)$ is placed in a 2.37-liter container held at a constant temperature. After equilibrium is attained, 1.60 moles of $\text{HI}(g)$ are found. Calculate the equilibrium constant (K) for the reaction at this temperature. Show your work.

問5 下線部③に *several different ways* とあるが、何をする方法のことかを日本語で記せ。また、その具体的な内容を本文にそって日本語で答えよ。

問6 平衡状態にある [2] の反応を考える。温度と体積を一定に保ったまま N_2O_4 の濃度を上げると反応はどの方向に進むか、その理由とともに30単語以内の英文で答えよ。

(余 白)

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

Benzene was first isolated by Michael Faraday in 1825. ^① Later, chemists determined that it had the molecular formula C_6H_6 . Further investigation of its chemical behavior showed that benzene was unlike other hydrocarbons in both structure and reactivity. Chemists proposed many structures for benzene. However, the facts didn't support any of the possibilities until August Kekulé proposed a ring structure in 1865. Some of the proposed structures, including Kekulé's, are shown in Figure 1. ^② The reaction of benzene with bromine in the presence of an iron catalyst eliminated most of the proposed structures. This reaction produced only one monobromo product and three distinct dibromo products (*ortho*, *meta*, and *para*). Kekulé reasoned that *ortho*-dibromobenzene existed in two forms that were in rapid equilibrium and couldn't be isolated (Figure 2). ^③ The ring structure with the rapidly moving double bonds explained many of the facts known about benzene at the time. ^④ However, as more information became available and as chemistry advanced, it became obvious that more was going on in this system than just rapidly interconverting structures. Chemists determined that only ^④ one benzene structure existed, not an equilibrium between two related structures.

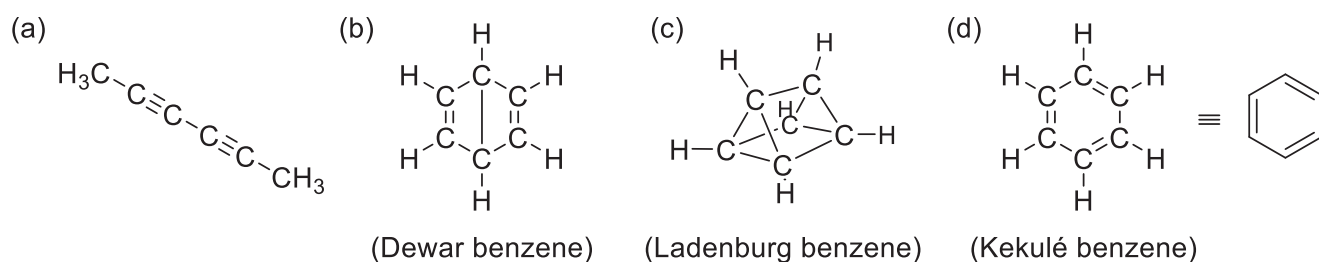


Figure 1. Some proposed structures of benzene.

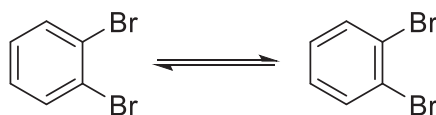


Figure 2. Kekulé's proposed structures for *ortho*-dibromobenzene.

The concept of resonance was developed to describe the electron structure of a molecule having delocalized bonding by writing all the possible Lewis structures of that molecule. The term delocalized bonding refers to a situation in which one or more bonding pairs of electrons are spread out over a number of atoms. The development of the concept of resonance came after

Kekulé had proposed the equilibrium structures for benzene. The presence of resonance explains why the carbon–carbon bonds in benzene are of A length and strength. The original Kekulé structures are, in reality, not equilibrium structures but contributing structures to the resonance hybrid. As contributing structures, they have no independent existence. The only form present is the hybrid. ^⑥ The two resonance forms are shown in Figure 3a, and the resonance hybrid is shown in Figure 3b. Notice the use of the double-headed arrow in Figure 3a. The presence of the double bonds in the resonance structures typically implies that benzene should react like an alkene in terms of addition reactions. However, benzene does not react like alkenes. The electrons are delocalized over the entire ring structure, not localized between two carbons. This contributes to the observed stability of benzene.

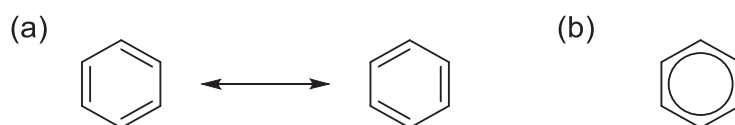


Figure 3. (a) The proposed resonance forms of benzene. (b) A representation of the resonance hybrid of benzene.

One way to investigate the stability of benzene is to compare the amount of heat produced by the reactions of benzene to similar compounds that are not aromatic. For example, a simple comparison of the enthalpy change of hydrogenation for a series of related compounds allows us to see the difference. Let us consider the hydrogenation of cyclohexene, 1,3-cyclohexadiene, and benzene, which make a suitable set because all three yield cyclohexane. The enthalpy change of hydrogenation of cyclohexene is about -120 kJ/mol. If the reaction of one double bond releases this amount of energy, then the reaction of two double bonds (1,3-cyclohexadiene) should release about twice this amount of energy. The classical, three double-bond benzene should release three times as much energy. The enthalpy change for 1,3-cyclohexadiene is -232 kJ/mol, which is close to the predicted value (-240 kJ/mol). However, the value for benzene, -208 kJ/mol, is far from the predicted value of -360 kJ/mol. The small value for benzene indicates that it is significantly more stable than a triene. ^⑦ This difference is a direct measure of the resonance energy.

【出典：John T. Moore and Richard H. Langley, *Organic Chemistry II For Dummies*, Wiley Publishing, Inc., 2010. 一部改変】

(注) resonance: 共鳴, delocalize: 非局在化する, spread out: ~を広げる,
contributing structure: 寄与構造, resonance hybrid: 共鳴混成体

問1 下線部①に関連して、炭素、水素、酸素からなる化合物10.8 mg を完全に燃焼させたところ、二酸化炭素30.8 mg と水7.2 mg を得た。また、この化合物の分子量を別に求めたところ216であった。この化合物の分子式を求めよ。なお、導出の過程も記すこと。

問2 下線部②に関する以下の問い(i), (ii)に答えよ。なお、構造式は図1で示されたものに倣って記すこと。

(i) 図1(a)に示す化合物に対して、臭素の色(赤褐色)が消えなくなるまで臭素を徐々に加え十分に反応させた。このとき得られる生成物の構造式を記せ。

(ii) 図1(c) Ladenburg benzene のジブロモ置換体($C_6H_4Br_2$)の構造異性体の構造式をすべて記せ。ただし、鏡像異性体がある場合は対になる組み合わせを明示すること。

問3 下線部③を日本語に訳せ。

問4 下線部④について、本文の内容に沿って日本語で説明せよ。

問5 下線部⑤に関して、プロピレン(プロペン)の電子式(ルイス構造式)を解答欄の例に倣って描け。

問6 下線部⑥について、解答欄に描かれている酢酸イオンの共鳴混成体を参考にして、酢酸イオンの2つの共鳴構造を解答欄に描け。

問7 下線部⑦について、文中の適切な数値を用いてベンゼンの共鳴エネルギー(芳香族安定化エネルギー)をkJ/mol単位で求めよ。

問8 空欄

A

 に入る適切な英単語を解答欄に記せ。

(余 白)

生 物 (生物学科)

第 1 問 (170点)

植物の成長に関する次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

生産者は、光合成などの代謝機能により有機物を生産する。一定面積内の生産者が一定期間内に生産した有機物の総量から (ア) 量を差し引いたものを (イ) 量という。生産された有機物の一部は (ウ) や消費者による (エ) によっても失われる。(イ) 量から (ウ) 量と (エ) 量を差し引いたものが、生産者の成長量となる。

植物は、自身が光合成によって生産した有機物を (ア) によって分解することで、生命活動に必要なエネルギーを得ていることから、(オ) 生物と呼ばれる。一方、動物は、植物など他の生物が生産した有機物を摂取しないと生きられないことから、(カ) 生物と呼ばれる。

植物の光合成は、おもに葉で行われる。そのため、^①植物は、葉を多くつけるほど光合成のエネルギー源である光を受けられる面積が広くなり、一定期間内につくる有機物の量が多くなる。しかし、^②葉が多くなると、下方についた葉は上方の葉に光をさえぎられる。このようにして、光合成が十分にできなくなった葉は、老化が始まる。葉の老化では、(キ) の分解が始まり、分解によって生じたアミノ酸は回収され、若い器官で再利用されたり、貯蔵器官に蓄えられたりする。また、(ク) も分解され、それが原因となって緑色が薄くなっていく。また、^③多くの植物は、1年のなかで決まった時期に花芽を形成する。花芽は成長して開花し、受精を経て種子を形成する。^④多くの種子は成熟後に活動を停止し、発芽まで休眠する。

問1 文章中の空欄 (ア) ~ (ク) に入る最も適切な語を答えよ。

問2 下線部①に関して、ある一年生草本の発芽後の日数と植物個体の乾燥重量の関係を図1に示す。この植物の成長速度が最も高い時期を図1の(A)～(D)から1つ選び、記号で答えよ。

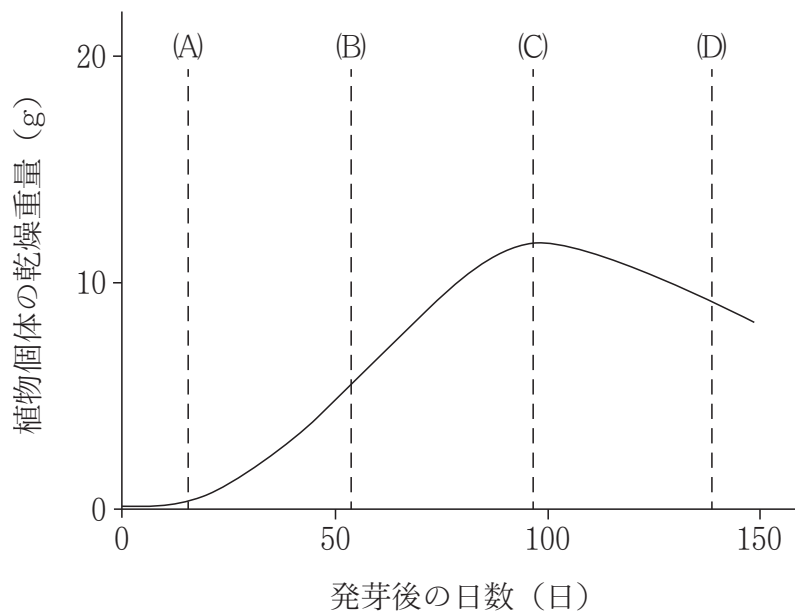


図1

問3 下線部②に関して、木本型、草本の広葉型およびイネ科型のいずれかの植物群集の生産構造図を図2のI～IIIに示す。(1)と(2)の問いに答えよ。

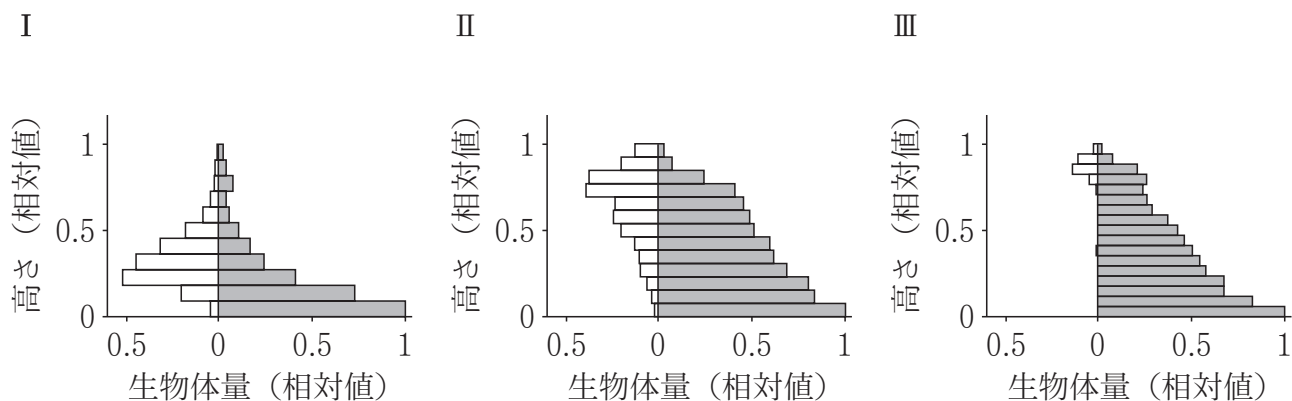


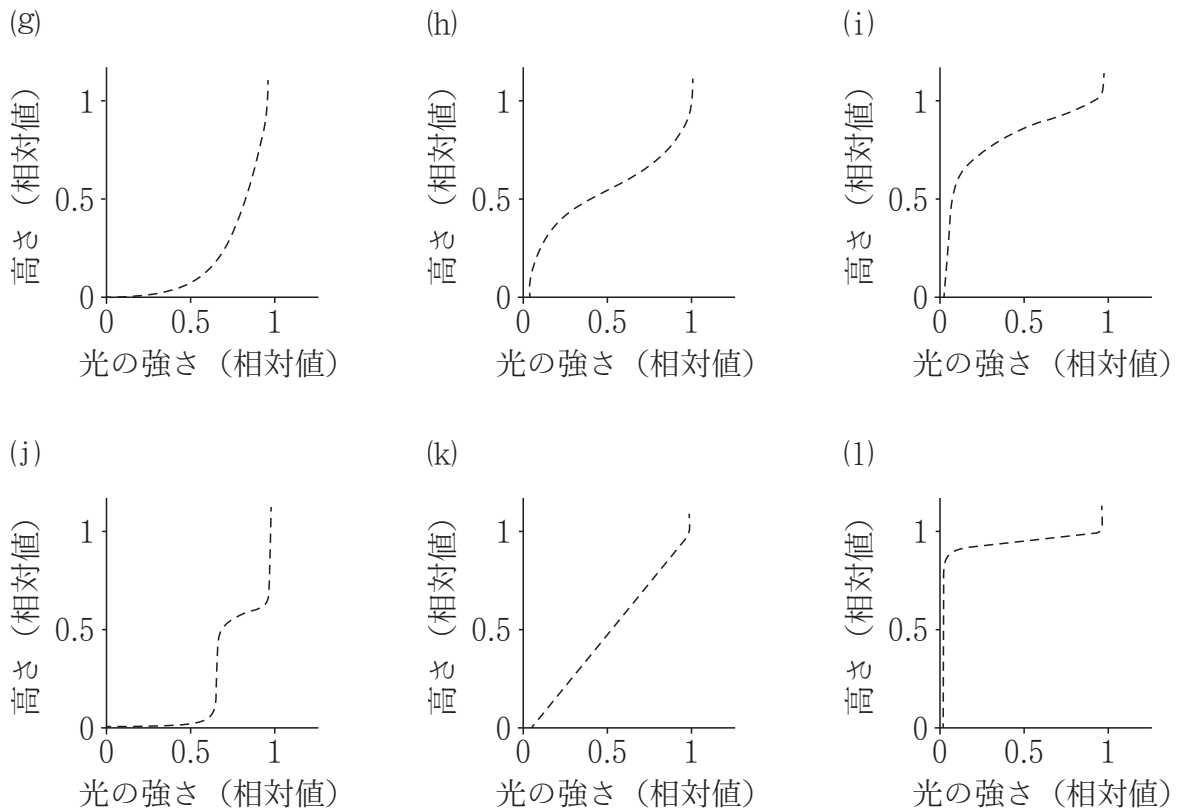
図2

□ は同化器官, ■ は非同化器官を表す. 3つの型の植物群集の高さ, 生物体量はそれぞれ異なるが, 縦軸は各型の植物群集の高さの最大値を1とした相対値, 横軸は各型の階層ごとの生物体量の中の最大値を1とした相対値である.

(1) 図2のI～IIIの型に当てはまる最も適切な組み合わせを以下の(a)～(f)から1つ選び記号で答え, 選んだ理由を説明せよ.

- | | | | |
|-----|--------|---------|----------|
| (a) | I 広葉型 | II イネ科型 | III 木本型 |
| (b) | I 広葉型 | II 木本型 | III イネ科型 |
| (c) | I イネ科型 | II 広葉型 | III 木本型 |
| (d) | I イネ科型 | II 木本型 | III 広葉型 |
| (e) | I 木本型 | II イネ科型 | III 広葉型 |
| (f) | I 木本型 | II 広葉型 | III イネ科型 |

(2) 図2のⅠ～Ⅲの生産構造図における植物群集内の高さとの光の強さの相対値との関係を表す図として、最も適切な図を以下の(g)～(l)からそれぞれ1つ選び、記号で答えよ。なお、図中での光の強さの相対値とは、同時刻に、群集の外の光をさえぎるものがない場所で測定した光の強さを1とした相対値である。



問4 下線部③に関して、(1)と(2)の問いに答えよ。

- (1) 連続した暗期の長さが一定以上になると花芽を形成する植物を何と呼ぶか答えよ。
- (2) 連続した暗期の長さの感知に関わり、赤色光を受容する光受容体の名称を答えよ。

問5 下線部④に関して、(1)と(2)の問いに答えよ。

- (1) 光を受けても発芽が促進されない種子を何と呼ぶか答えよ。
- (2) 種子の休眠の利点を45字以内で説明せよ。

問6 植物細胞と動物細胞の構成成分を表1に示す。数字は平均的な質量比である。(1)と(2)の問いに答えよ。

表1

構成成分	X	Y
水	75 %	67 %
タンパク質	2 %	15 %
脂質	1 %	13 %
炭水化物	20 %	1 %
その他	2 %	4 %

- (1) 表1のXとYは、植物細胞または動物細胞である。植物細胞はどちらか記号で答え、選んだ理由を60字以内で説明せよ。
- (2) タンパク質、脂質、炭水化物を構成する元素として最も適切な組み合わせを以下の(i)~(vi)から1つ選び、記号で答えよ。ただし、C、H、O、N、S、Pは元素記号を表す。

	タンパク質	脂質	炭水化物
(i)	C, H, O, N	C, H, O, P	C, H, O
(ii)	C, H, O, N, S	C, H, O	C, H, O
(iii)	C, H, O, S	C, H, O	C, H, O, P
(iv)	C, H, O, N, S	C, H, O, P	C, H, O
(v)	C, H, O, N	C, H, O, P	C, H, O, P
(vi)	C, H, O, N, S	C, H, O, P	C, H, O, S

(余 白)

生 物 (生物学科)

第 2 問 (170点)

昆虫の進化，個体群，系統に関する次の文章を読み，以下の問いに答えよ。

現生の動物の中で最も種数が多い昆虫は，^①古生代に出現し，多様化を始めた。特に繁栄している甲虫では，^{こうちゅう}翅の退化などにより^{はね}飛ぶ能力を失ったことが，陸上での異所的（ア）につながり，種多様化が進んだと考えられている。現代では，昆虫は都市部に適応することも知られており，（イ）による進化の例として，^②工業暗化などがある。昆虫は形態だけでなく，生態も多様化しているが，中でも，^③ミツバチのように同種の個体が密に集合したコロニーと呼ばれる集団を形成して生活する昆虫がいる。このような昆虫の集団では，親以外の個体が子の世話に関与すること，少なくとも親子二世代が共存すること， こと，などが特徴である。^④ミツバチなどの昆虫以外では，ハダカデバネズミやカイメン内に生息するテッポウエビも同じような集団生活をする。ミツバチのワーカー（働きバチ）が女王の子を世話する進化的理由については，^⑤半倍数性が関係していると考えられている。

問1 文章中の空欄（ア）と（イ）に入る最も適切な語を答えよ。

問2 文章中の空欄 に入る，ミツバチのような昆虫の集団の生殖における特徴の1つを文章で答えよ。

問3 下線部①の時代には，クックソニアなどの植物の陸上進出も起こった。その後，この時代に出現した植物のうち，胞子で繁殖する植物分類群は何か，出現した年代が古い順に答えよ。

問4 下線部②に関して、ガの1種オオシモフリエダシヤクの体色の遺伝的変異型である明色型と暗色型の標本を用いて野外実験を行った。工業化による大気汚染の影響で樹皮の色が黒くなった林（汚染林）と木の幹に白い地衣類が生えている林（非汚染林）の2か所の木について、枝の陰にならない幹と枝の陰になる幹に、明色型と暗色型のガの標本を、それぞれ50個ずつ付け、3日後に鳥に捕食された数を調べた。図1に結果を示す。(1)～(4)の問いに答えよ。

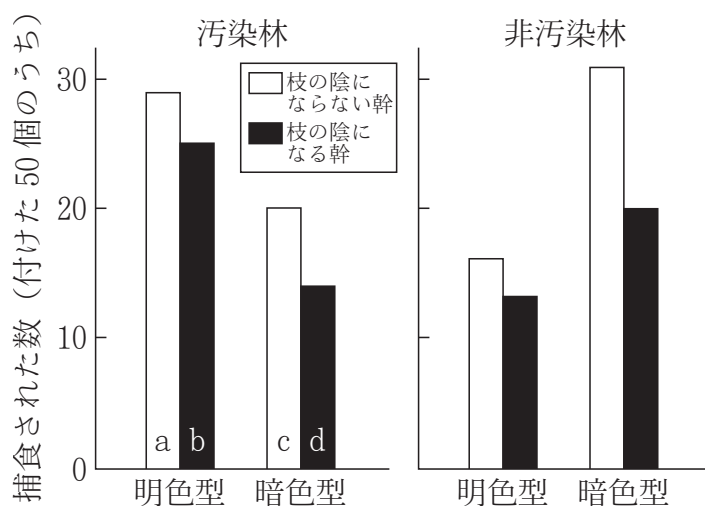


図1

- (1) 枝の陰にならない幹と枝の陰になる幹の関係のみに注目したとき、この幹の違いは鳥によるガの捕食にどのような影響を与えたか、結果を答えよ。
- (2) 汚染林では、明色型は暗色型よりも捕食された数が多かったが、それは図1のa～dの4つのバーのどの組み合わせを比較するとわかるのか、以下の(i)～(vi)からすべてを選び、記号で答えよ。
- (i) aとb (ii) aとc (iii) aとd (iv) bとc (v) bとd
(vi) cとd
- (3) 汚染林と非汚染林の樹皮の色とガの体色は、鳥によるガの捕食にどのような影響を与えたかを答え、また、その理由を説明せよ。
- (4) 汚染林では、明色型の割合が減り、暗色型の割合が増えたことが知られる。このしくみを説明せよ。

問5 下線部③のように生活する昆虫を何と呼ぶか答えよ。

問6 下線部④のミツバチ、ハダカデバネズミ、カイメン、テッポウエビの4つの動物に関して、^{さんはいよう}三胚葉動物、脱皮動物、恒温動物のそれぞれに当てはまる動物名をすべて答えよ。4つの動物名は繰り返し用いてよい。

問7 下線部⑤に関して、有性生殖を行う二倍体の動物の血縁度と半倍数性のミツバチの血縁度を考える。血縁度とは、ある個体どうしが遺伝的にどれだけ近縁かを確率で表したもので、血縁の無い個体間の血縁度は0、同じクローンに属する個体間の血縁度は1となる。ミツバチの家系図を図2に示す。半倍数性の場合、雌は二倍体(2n)、雄は一倍体(半数体, n)である。その雌雄から生まれた子は、受精卵が娘に、未受精卵が息子になる。(1)~(3)の問いに答えよ。

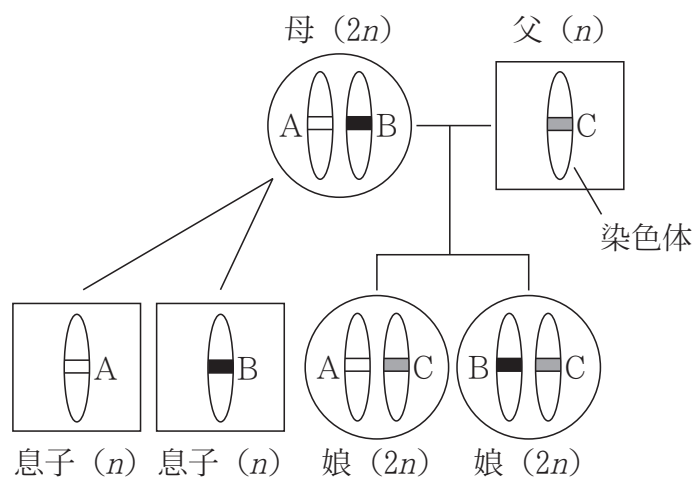


図2

○で囲まれた個体は雌，□で囲まれた個体は雄を表す。

A ~ C はある特定の遺伝子を表す。

(1) 自然界において、無性生殖で増殖しクローンをつくる動物名として適切なものを、以下の(A)~(F)からすべて選び、記号で答えよ。

- (A) ヒドラ (B) スズメ (C) トンボ (D) プラナリア
(E) ウニ (F) イカ

(2) 以下の血縁度の説明文に関して、空欄 ~ に当てはまる数値を答えよ。

二倍体の動物の場合、娘は母から半分、父から半分の遺伝子を引き継ぐ。そのため、母娘間の血縁度は0.5である。同じ両親を持つ姉妹においては、ある特定の遺伝子を姉が母を介して妹と共有する確率 と父を介して妹とその遺伝子を共有する確率 から、姉妹間の血縁度は となる。半倍数性のミツバチの場合、母娘間の血縁度は である。同じ両親を持つ姉妹においては、ある特定の遺伝子を姉が母を介して妹と共有する確率 と父を介して妹とその遺伝子を共有する確率 から、姉妹間の血縁度は となる。このような母娘間と姉妹間の血縁度の違いにより、ミツバチでは、ワーカーが女王の子を世話するように進化しやすかったと考えられている。

(3) 図2では、女王が1個体の雄と交配することを想定しているが、ニホンミツバチの場合は、女王が複数の雄と交配する。女王が交配する雄の数が増えると、コロニー全体における姉妹間、兄弟間の平均血縁度はどう変化するか、最も適切なものを以下の(X)~(Z)からそれぞれ1つ選び、記号で答えよ。

- (X) 大きくなる (Y) 小さくなる (Z) 変化しない

生 物 (生物学科)

第 3 問 (60点)

カエルの神経筋標本の神経に電気刺激を与えると運動ニューロンが興奮し、筋肉が収縮する。運動ニューロンからの興奮が筋繊維に伝えられた後、筋収縮がおこるしくみを以下の語をすべて用いて説明せよ。

筋小胞体

アクチンフィラメント

ミオシン頭部

Ca^{2+}

ATP