後 期 日 程

2026 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 6 枚
物理学科：数学 2 ページ・物理12〜23ページ　解答用紙 数学 1 枚・物理 5 枚
化 学 科：英語24〜33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いたり裏返したりしないこと．

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．

本試験問題の一部あるいは全部について，いかなる方法においても複写・複製など，著作権法上で規定された権利を侵害する行為を行うことは禁じられています．

問 題 訂 正

科目名：後期日程　　理学部問題　　(数学)

《訂正箇所》８ページ　第４問　３行目	
誤	次の問いに答えよ.
正	次の問いに答えよ．ただし $x^0 = 1$ とする．

《訂正箇所》10 ページ　第５問　問２　３行目	
誤	を示せ.
正	を示せ．ただし $c^0 = 1$ とする．

科目名：後期日程　　理学部問題　　(英語)

《訂正箇所》25 ページ　第１問　（注）	
誤	biosphere: 生物圏，thermodynamic: 熱力学的な，crystallite: 微結晶，結晶子，stoichiometry: 化学量論，catalysis: 触媒作用，decomposition: 分解，pollutant: 汚染物質，manipulate: 取り扱う，collision: 衝突
正	biosphere: 生物圏，~~thermodynamic: 熱力学的な，~~crystallite: 微結晶，結晶子，stoichiometry: 化学量論，catalysis: 触媒作用，~~decomposition: 分解，pollutant: 汚染物質，~~manipulate: 取り扱う，collision: 衝突

（余　　白）

数　　学（数学科・物理学科）

第 1 問（100点）

H, h は正の実数であり，$H < 1$ とする．xy 平面上の 4 点を

$$\mathrm{A}(-H-h, 0),\ \mathrm{B}(-H, 1),\ \mathrm{C}(H, 1),\ \mathrm{D}(H+h, 0)$$

と定める．線分 AB, BC, CD をつないだ折れ線を x 軸の周りに 1 回転させてできる立体の表面積を S とする．次の問いに答えよ．

問 1　S を H と h の式で表せ．

問 2　線分 AB および線分 CD が原点 $(0, 0)$ を中心とする半径 1 の円に接するとき，H を h の式で表せ．

問 3　問 2 の状況において，h を動かしたときの S の最小値を求めよ．

問 4　α を実数とする．問 2 の状況において $h \to \infty$ とするとき $\dfrac{S}{h^{\alpha}}$ が 0 でない実数に収束するような α の値と，その α に対する極限値 $\displaystyle\lim_{h\to\infty} \frac{S}{h^{\alpha}}$ を求めよ．

（余　　白）

数　　学（数学科）

第 2 問（100点）

n を 2 以上の整数とする．1 から n までの相異なる番号が 1 つずつ書かれた n 枚のカードをよく混ぜて横一列に並べる．$i = 1, \cdots\cdots, n$ に対し，左から i 番目のカードの番号を X_i とする．以後，i と j は1 から n までの整数のうち相異なるものとする．次の問いに答えよ．

問 1　$X_i = i$ という事象と $X_j = j$ という事象は独立かどうかを判定せよ．

問 2　$X_i = i$ かつ $X_j = j$ となる確率を求めよ．

問 3　$X_i = i$ または $X_j = j$ となる確率を求めよ．

問 4　$n \geqq 3$ とし，k を 1 から n までの整数のうち i とも j とも異なるものとする．$X_i = i$ または $X_j = j$ または $X_k = k$ となる確率を求めよ．

（余　　白）

数　　学（数学科）

第 3 問（100点）

正の整数 m に対して

$$f(m) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{m}{n(n+m)}$$

とおく．次の問いに答えよ．

問 1　n を正の整数とし，x, y を実数とする．$0 < x \leqq y$ であるとき

$$\frac{x}{n(n+x)} \leqq \frac{y}{n(n+y)}$$

が成り立つことを示せ．

問 2　無限級数 $\displaystyle\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n(n+1)}$ は収束することを示し，その和を求めよ．

問 3　すべての正の整数 m に対して，無限級数 $\displaystyle\sum_{n=1}^{\infty} \frac{m}{n(n+m)}$ は収束し，

$$f(m+1) = f(m) + \frac{1}{m+1}$$

が成り立つことを示せ．

問 4　すべての正の整数 N に対して，

$$\sum_{n=1}^{N} \frac{1}{n(2n+5)} \leqq \frac{11}{30}$$

が成り立つことを示せ．

（余　　白）

数　　学（数学科）

第 4 問（100点）

n を正の整数，$a_0, a_1, \cdots\cdots, a_n$ を正の実数とし，

$$f(x) = a_n x^n - \sum_{k=0}^{n-1} a_k x^k$$

とおく．次の問いに答えよ．

問 1　　方程式 $f(x) = 0$ は正の実数解をちょうど 1 個もつことを示せ．

問 2　　正の実数 b が $f(b) \geqq 0$ をみたすとき，$k = 1, \cdots\cdots, n$ に対し $f^{(k)}(b) \geqq 0$ であることを示せ．

問 3　　方程式 $f(x) = 0$ の正の実数解を $x = \alpha$ とすると，

$$\alpha \geqq \frac{a_{n-1}}{n a_n}$$

であることを示せ．

（余　　白）

数　　学（数学科）

第 5 問（100点）

n を正の整数とする．次の問いに答えよ．

問 1　　方程式 $z^{2n} + z^n + 1 = 0$ のすべての解を極形式を用いて表せ．

問 2　　M を正の整数とし，c を 1 でない複素数とする．

$$\sum_{k=0}^{M-1} c^k = \frac{1 - c^M}{1 - c}$$

を示せ．

問 3　　問 1 で求めたすべての解を $z_1, \cdots\cdots, z_N$ とおく．ただし，これらに重複はないものとする．p を整数としたとき

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N} (z_k)^p$$

を求めよ．

（余　　白）

物　　理（物理学科）

第　1　問（100点）

点 A から質量 m の小さなボールを初速度 0 で自由落下させる．点 A の真下には，図 1 のように水平面と角度 α をなして，なめらかな表面を持つ板が斜めに固定されている．距離 h だけ自由落下したボールは，板面上の点 O で板と弾性衝突し，水平面に対して角度 θ の方向にはね返った．重力加速度の大きさを g とし，空気の抵抗は無視できるものとして，以下の問いに答えよ．問 1，問 2 の解答については，その導出過程を書かなくてもよい．

問 1　板と衝突する直前のボールの速さ v_0 はいくらか．

問 2　角度 θ を，α を用いて表せ．

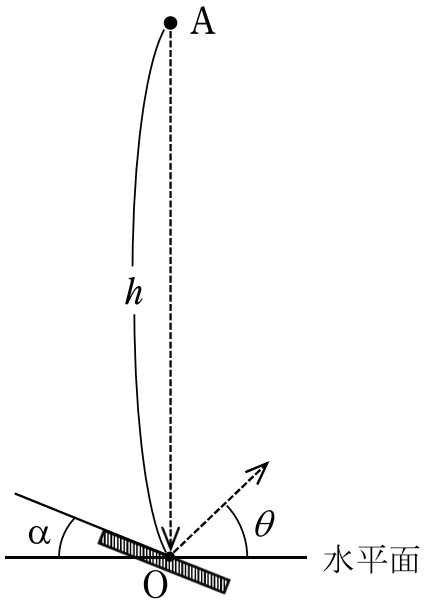


図 1

図 2 のように，ボールが板と衝突した点 O を原点とし，鉛直上向きを y 軸に，衝突して飛び出したボールの速度の水平成分の向きを x 軸にとる．原点 O から x 軸方向に距離 L だけ離れた位置には，なめらかな側面を持つ壁が x 軸に垂直に固定されており，原点 O を通る水平面内には，なめらかな表面を持つ床がある．原点 O で板と衝突してはね返ったボールは放物運動して壁の側面上の点 B に衝突し，反発係数 e_B ではね返った後，床面上の点 C に落下した．ボールは xy 平面内で運動するものとし，原点 O で板に衝突する瞬間を時刻 $t = 0$ とする．以下の問いに答えよ．問 3 から問 8 の解答には，その導出過程も記すこと．

問 3　ボールが点 B で壁に衝突する時刻を，v_0，L，θ を用いて表せ．

問 4　点 B の床からの高さを，g，v_0，L，θ を用いて表せ．

問 5　ボールが点 C に落下する時刻を，g，v_0，θ を用いて表せ．

問 6　点 C の原点 O からの距離を，g，v_0，L，θ，e_{B} を用いて表せ．

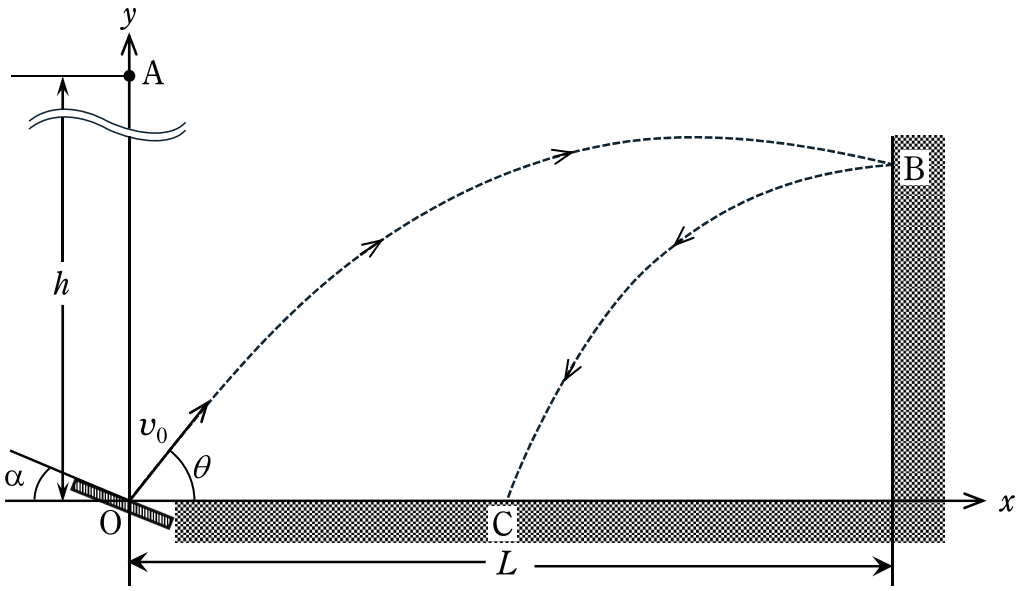


図 2

(つづく)

点 C に落下し床と衝突したボールは，反発係数 e_{C} ではね返り，図 3 のように再び放物運動して原点 O に戻った．

問 7　ボールが原点 O に戻るためには，$\sin\theta\cos\theta$ ＝ [ア] の関係が成り立つ必要がある．[ア] に入る適切な式を，g，v_0，L，e_{B}，e_{C} を用いて表せ．

問 8　原点 O に戻ってきたときのボールの運動エネルギー T と，床を基準にした点 A におけるボールの位置エネルギー U との比 $\dfrac{T}{U}$ を，θ，e_{B}，e_{C} を用いて表せ．

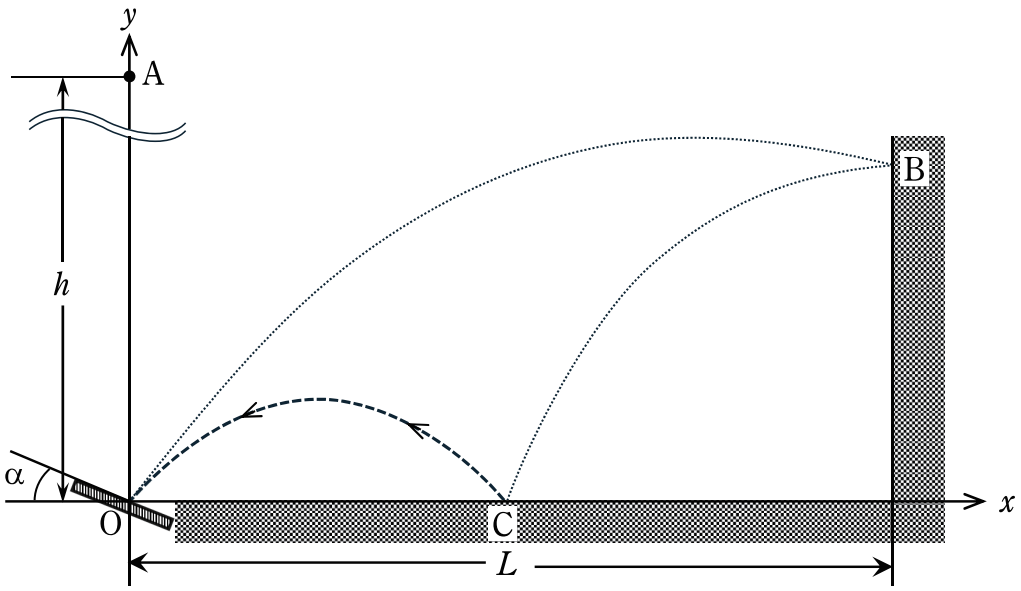


図 3

（余　　白）

物　　理（物理学科）

第 2 問（100点）

抵抗，コンデンサー，コイルに交流電源を接続したときの電圧と電流の関係，およびそれらを組み合わせたときの回路全体の特性を求める．以下の問いでは，図の回路に示された矢印の向きを電流の正の向きとし，この向きに電流を流そうとする電圧を正とする．電源の内部抵抗は無視できるものとする．以下の問いに答えよ．解答にはその導出過程も記すこと．

以下の問いでは，必要に応じて，微小な $\omega\Delta t$ に対して，次の近似式が成り立つことを用いてもよい．

$$\sin(\omega(t+\Delta t)) \fallingdotseq \sin\omega t + \omega\Delta t\cos\omega t$$

問 1　図 1(ア) のように抵抗値 R の抵抗に電源を接続し，$V = V_0\sin\omega t$ の交流電圧を加える．V_0 は V の最大値である．このとき，抵抗に流れる電流 I_{R} を R，ω，t，V_0 を用いて表せ．

問 2　図 1(イ) のように電気容量 C のコンデンサーに電源を接続し，$V = V_0\sin\omega t$ の交流電圧を加える．V_0 は V の最大値である．時刻 t にコンデンサーに蓄えられている電荷を Q とし，微小時間 Δt 経過したときに電荷が $Q + \Delta Q$ に変化すると，コンデンサーを流れる電流 I_{C} は，$\dfrac{\Delta Q}{\Delta t}$ で求められる．このことから，I_{C} を C，ω，t，V_0 を用いて表せ．また，この結果から，電流 I_{C} の位相は電圧 V に対して $\dfrac{\pi}{2}$ だけ進んでいることを示せ．

問 3　図 1(ウ) のように自己インダクタンス L のコイルに電源を接続し，交流電圧 V を加えたとき，$I = I_0\sin\omega t$ の電流が流れた．I_0 は I の最大値である．コイルに流れる電流 I の時間変化により，コイルには自己誘導による起電力 V_{L} が生じる．また，キルヒホッフの第 2 法則から，$V_{\mathrm{L}} + V = 0$ となる．このことから，交流電圧 V を L，ω，t，I_0 を用いて表せ．また，この結果から，電流 I の位相は電圧 V に対して $\dfrac{\pi}{2}$ だけ遅れていることを示せ．

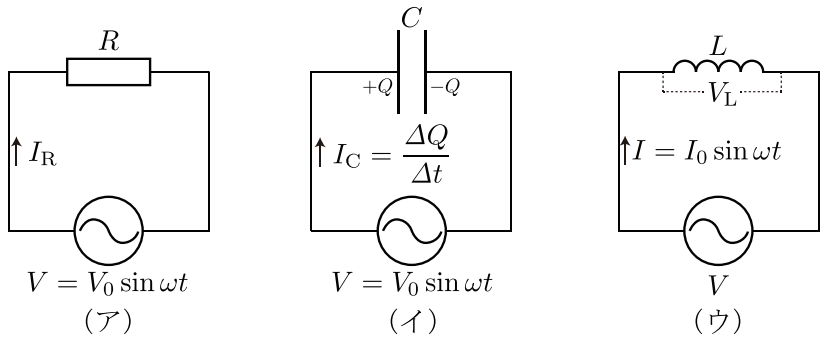

R
I_{R}
$V = V_0 \sin \omega t$
（ア）
C
+Q
−Q
$I_{\mathrm{C}} = \dfrac{\Delta Q}{\Delta t}$
$V = V_0 \sin \omega t$
（イ）
L
V_{L}
$I = I_0 \sin \omega t$
V
（ウ）

図 1

（つづく）

次に，図 2 に示すように，抵抗値 R の抵抗，電気容量 C のコンデンサー，自己インダクタンス L のコイルを直列に接続した．

以下の問題では，次の三角関数の公式を用いてもよい．

$$A\sin\theta + B\cos\theta = \sqrt{A^2+B^2}\,\sin(\theta+\alpha)$$

$$\text{ただし，}\quad \tan\alpha = \frac{B}{A},\quad \cos\alpha = \frac{A}{\sqrt{A^2+B^2}}$$

問 4　この回路全体に交流電圧 V を加えたところ，電流 $I = I_0\sin\omega t$ が流れた．I_0 は I の最大値である．抵抗，コンデンサー，コイルのそれぞれに加わる電圧を求め，回路全体に加わる交流電圧 V を求めることにより，この回路全体のインピーダンス Z_1 を R，C，L，ω を用いて表せ．また，電流 I に対する電圧 V の位相差を ϕ としたとき，$\tan\phi$ を R，C，L，ω を用いて表せ．また，$\cos\phi$ を R，Z_1 を用いて表せ．

問 5　この回路における消費電力の時間平均を，交流電圧 V と電流 I のそれぞれの実効値 V_{e}，I_{e}，および位相差 ϕ を用いて表せ．ここで $\sin^2\omega t$ の時間平均は $\dfrac{1}{2}$ であることを使ってよい．

問 6　交流電圧 V の最大値を一定にして，交流電圧の角周波数 ω を変化させると，電流の最大値 I_0 が変化する．I_0 の値が最大となるときの角周波数（共振角周波数）ω_{res} を L，C を用いて表せ．

図 3 に示すように，抵抗値 R の抵抗，電気容量 C のコンデンサー，自己インダクタンス L のコイルを並列に接続した．

問 7　この回路全体に交流電圧 $V = V_0\sin\omega t$ を加えたとき，抵抗，コンデンサー，コイルを流れる電流をそれぞれ求め，電源を流れる電流 I を求めることにより，この回路全体のインピーダンス Z_2 を R，C，L，ω を用いて表せ．V_0 は V の最大値である．

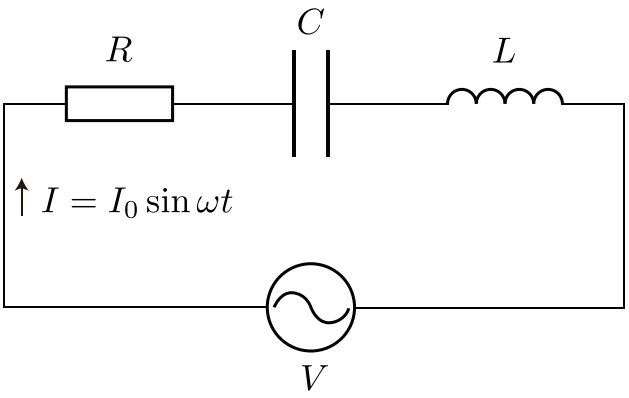


図 2

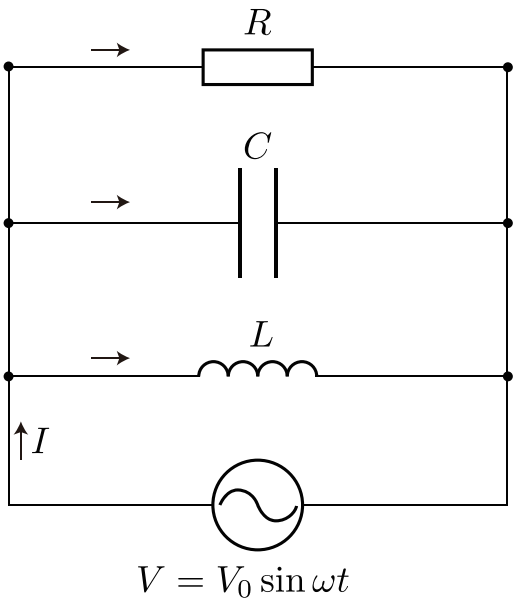


図 3

物　　理（物理学科）

第 3 問（100点）

図 1 のように，水平な底面をもつ容器の中に，スクリーン S，光を通さない薄い壁 W，点光源 G が設置してある．スクリーン S は鉛直な平面であり，その下端は底面まで届いている．壁 W は S に平行な平面で，S から距離 l だけ離れており，その下端は底面から距離 d だけ上にある．点光源 G は底面上にある．G を通り S に垂直な直線上で W の真下にある点を O とし，線分 OG の長さを x とする．容器に水を満たし，G から単色光を全方向に放射すると，S 上に W の影ができた．その後，容器からゆっくりと水を抜いていった場合に，OG を含む鉛直面内で，S にできる W の影の下端の位置がどう変化するかを求めよう．空気の絶対屈折率を 1，水の絶対屈折率を n とする．壁の下端における回折の効果は無視できるものとする．また，常に水面は水平であり，壁 W および容器の底面に到達した光は全て吸収されるものとする．以下の問いに答えよ．問 1 から問 7 まで，および問 9 の解答については，その導出過程も記すこと．問 8 については，問題文の指示に従うこと．また，問題文の末尾に { } 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．

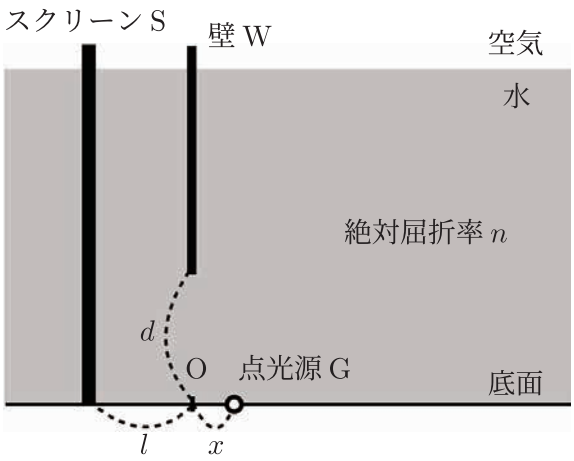


図 1

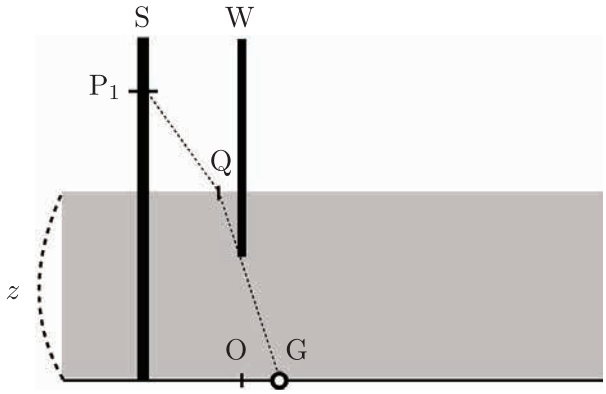


図 2

図 2 のように，底面から測った水面の高さが z $(z > d)$ のとき，G から放射された光のうち，ちょうど W の下端を通る光は水面上の点 Q で屈折し，空気中を通過して S 上の点 P_1 に到達する．P_1 が W の影の下端になる．

問 1　点 Q での光の入射角を θ_1 とする．$\tan\theta_1$ を求めよ．$\{d,\ x\}$

問 2　点 Q と壁 W との距離を求めよ．$\{d,\ x,\ z\}$

以下，問 4 までは水面での光の入射角と屈折角がいずれも十分小さいとし，小さい角度 θ に対する近似式

$$\sin\theta \fallingdotseq \tan\theta \qquad (*)$$

を用いて答えよ．

問 3　水面から測ったP_1 の高さ y_1 を求めよ．$\{d,\ l,\ n,\ x,\ z\}$

容器から水をさらに抜いた結果，水面は W の下端と同じ高さになった．このときの W の影の下端を P_2 とする．

問 4　水面から測ったP_2 の高さ y_2 を求めよ．$\{d,\ l,\ n,\ x\}$

（つづく）

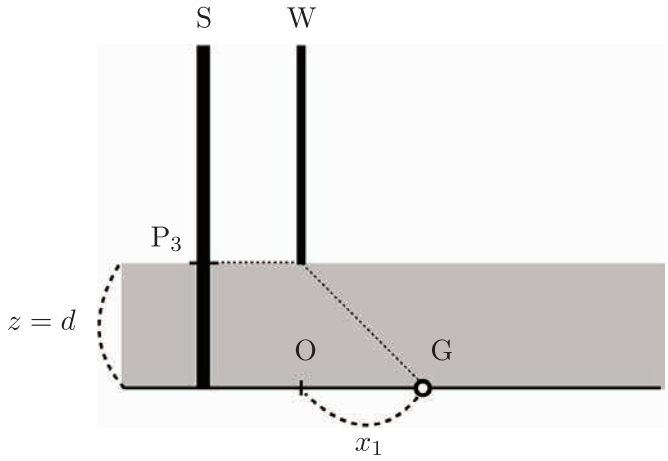


図 3

前問の状態から，水面の高さを変えずに点光源 G を容器の底にそって壁 W から徐々に遠ざけていくと，図 3 のように，線分 OG の長さが x_1 のとき，初めて W の影の下端 P_3 が水面と同じ高さになった．以下の問いには，近似式 $(*)$ を用いずに答えよ．

問 5　x_1 を求めよ．$\{d,\ n\}$

以下，問 7 までは真空中の光の速さを $3.0\times10^{8}\,\mathrm{m/s}$，単色光の水中での波長を $4.5\times10^{-7}\,\mathrm{m}$，$d = 9.0\times10^{-2}\,\mathrm{m}$，$x_1 = 1.0\times10^{-1}\,\mathrm{m}$ とし，必要であれば $\sqrt{181} \fallingdotseq 13$ を用いよ．

問 6　絶対屈折率 n と水中での光の速さ v をそれぞれ有効数字 2 桁で求めよ．

問 7　この光が空気中を進むときの波長 λ_0 と振動数 f_0 をそれぞれ有効数字 2 桁で求めよ．

図 3 の状態から，G を O からわずかに遠ざけた．

問 8　W の影の下端の位置はどうなるか．選択肢 X の①～④の中から適切なものを選び，記号で答えよ．この問題の解答に導出過程を書く必要はないが，選択した理由を記すこと．

選択肢 X:

① G を遠ざける前よりも上がる
② G を遠ざける前よりも下がる
③ G を遠ざける前と変わらない
④ それ以外

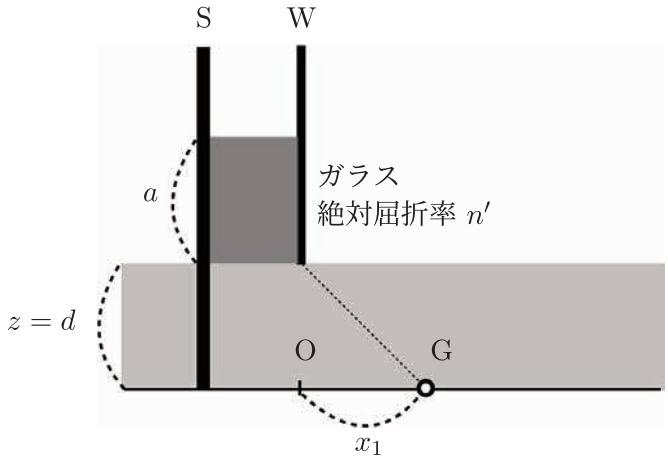


図 4

図 3 の状態で，W と S の間に厚さ a，絶対屈折率 n' $(n' > n)$ の直方体の透明なガラスを隙間なくはさんだ．このとき，水面とガラスの下面は図 4 のように $z = d$ で隙間なく接した．G から放射された光は水面とガラスの下面の境界で屈折し，ガラス中を通過した．

問 9　W の影の下端の水面から測った高さ y_4 を求めよ．必要であれば a の大きさによって場合分けすること．$\{a,\ d,\ l,\ n,\ n'\}$

英　　語（化学科）

第　1　問（100点）

次の英文を読んで，問１～問７に答えよ。なお，文中の専門用語や難しい語（句）の対訳を英文後の（注）に示しているので適宜参照すること。

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：T. L. Brown, H. E. LeMay, Jr., B. E. Bursten, C. J. Murphy, P. M. Woodward, M. W. Stoltzfus. *Chemistry: The Central Science*, 13th Edition, Pearson Education, Inc. 2015. 並びにD. W. Ball. *Physical Chemistry*, 2nd Edition, Cengage Learning. 2015. 並びにB. Wilk, R. Pelka, W. Arabczyk. *J. Phys. Chem. C* 2017, *121*, 8548. 並びにM. Kitano, *et al.*, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2018, *57*, 2648. 一部改変】

（注） biosphere: 生物圏，thermodynamic: 熱力学的な，crystallite: 微結晶，結晶子，stoichiometry: 化学量論，catalysis: 触媒作用，decomposition: 分解，pollutant: 汚染物質，manipulate: 取り扱う，collision: 衝突

問1　窒素分子，アンモニア分子の電子式を例にならって記せ。また，分子の形として適切なものを，次の選択肢の中からそれぞれ選び，記号を記せ。

＜例＞水分子　

＜選択肢＞

(a)　折れ線形　　(b)　直線形　　(c)　正四面体形　(d)　三角錐形　　(e)　正八面体形

問2　下線部①について，［　A　］に入る適切な化学反応式を記せ。

問3　下線部②について，以下の問い(i)(ii)に答えよ。

(i)　iron-based catalysts の主成分である化合物の組成式を記せ。

(ii)　Al_2O_3 と CaO，および K_2O の役割についてそれぞれ40字以内の日本語で簡潔に説明せよ。

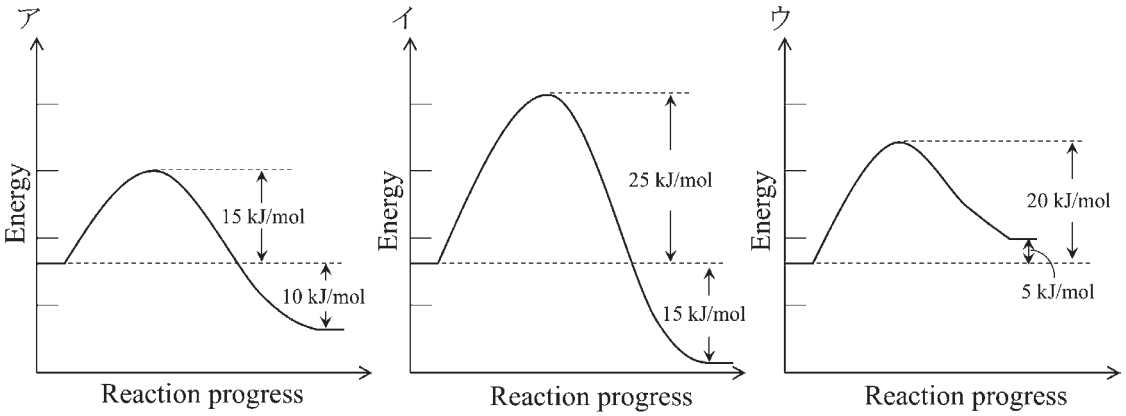
問4　N_2，H_2，NH_3 の各分圧を P_{N_2}，P_{H_2}，P_{NH_3} とする。式［1］の反応における圧平衡定数を P_{N_2}，P_{H_2}，P_{NH_3} を用いて示せ。また，下線部③の理由を圧平衡の観点から説明せよ。ただし，反応中に温度は変化しないものとする。

問5　下線部④を日本語に訳せ。

問6　下線部⑤について，*homogeneous catalysis* と *heterogeneous catalysis* とはどのようなものか，本文の内容に沿ってそれぞれ20字以内の日本語で簡潔に説明せよ。

問７　式［２］に関する以下の問いに答えよ。

Consider a series of reactions（ア，イ，ウ）having the following energy profiles. Rank the reaction rates from slowest to fastest assuming that they have nearly the same value for the frequency factor A.



英　　語（化学科）

第　2　問（100点）

次の英文を読んで，問１～問５に答えよ。なお，文中の専門用語や難しい語（句）の対訳を英文後の（注）に示しているので適宜参照すること。

著作権の都合により、公開しません。

【出典：Wilson’s chemistry. https://issr.edu.kh/science/Webpage/Lab_Techniques/Edexcel%20Practical%20Chemistry%20-%20Halesowen/Edexcel2009/buffer_solutions.htm, 並びに K. Watanabe, M. Miyamoto, Y. Imai. *Jpn. J. Physiol*. 2001, *51*, 671. 一部改変】

（注）　acetic acid: 酢酸，equilibrium: 平衡，tissue: 組織，adequately: 適切に

問 1　空欄(a)にあてはまる適切な法則・原理を以下の(ア)～(カ)の中から一つ選び，記号で答えよ。

(ア) Raoult's law　(イ) van't Hoff's law　(ウ) Le Chatelier's principle
(エ) Henry's law　(オ) Gay-Lussac's law　(カ) Avogadro's law

問 2　下線部①，②を表すイオン反応式を記せ。

問 3　下線部③，④を表すイオン反応式を記せ。

問 4　下線部⑤を日本語に訳せ。

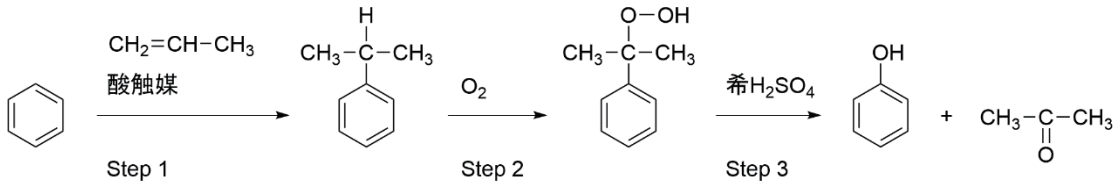
問 5　下線部⑥で述べられている緩衝作用をイオン反応式を用いて日本語で説明せよ。

英　　語（化学科）

第 3 問（100点）

次の英文を読んで，問１～問７に答えよ。なお，文中の専門用語や難しい語（句）の対訳を英文後の（注）に示しているので適宜参照すること。

①Cumene（isopropylbenzene）is the precursor of ②phenol and acetone. It results from the acid-catalyzed alkylation of benzene with propylene（Step 1 in Scheme 1）. Both liquid and gas phase alkylations are possible. Various acid catalysts can be used. The conventional process, gas phase alkylation, is still the most popular, with $AlCl_3$ or H_3PO_4 catalyst at 200–350 ℃ and 1–1.5×10^6 Pa. ③The molar ratio of benzene to propylene is 10:1. Selectivity to cumene is 92–94% based on propylene, and an excess of benzene is used to depress the formation of di- and tri-isopropylbenzenes.



Scheme 1.

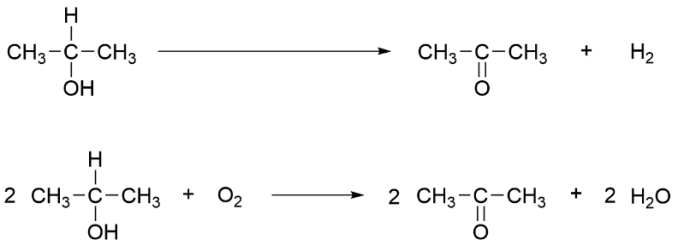
Solid acid catalysts, such as ④zeolite catalysts, were introduced in the early 1990s and their use has grown rapidly. They offer several advantages over $AlCl_3$ or H_3PO_4. They are able to bring about the alkylation at lower temperatures and pressures, and reduce the formation of polyalkylbenzenes. In addition, the higher selectivity allows the ratio of benzene to propylene to be reduced from 10:1 to 5:1. This doubles the capacity of an existing cumene reactor with virtually no additional capital expenditure, although downstream separation capacity inevitably must be increased. In addition to the savings on operating and capital costs, zeolite catalysts can be regenerated by the burning off of deposits of high molecular weight hydrocarbons. This eliminates the disposal problems associated with $AlCl_3$ and H_3PO_4. ⑤The cumene processes may also incorporate a transalkylation reactor to convert any di- and tri-isopropylbenzene to cumene by the reaction with benzene.

Virtually all cumene is converted to phenol and acetone. This is the classic two-for-one reaction in which two products are manufactured in one plant. Cumene reacts with oxygen from the air in the presence of aqueous alkali at 130 ℃ and a pH of 6–8 to give cumene hydroperoxide at about 25 mass percent concentration（Step 2 in Scheme 1）. An emulsifying agent is often added to facilitate contact between the cumene and aqueous phases. Sodium carbonate is added to maintain the pH.

Surplus cumene is distilled off for recycle. The concentrated cumene hydroperoxide（75–85 mass percent concentration）is cleaved to phenol and acetone without further purification by treatment with 10% sulfuric acid at about 50 ℃ in the liquid phase（Step 3 in Scheme 1）.

The cumene/phenol process is the major source of acetone. This two-for-one reaction suffers from the same problem as all such reactions in that it is seldom that the marketplace requires both products in the ratio in which they are produced. Historically, there has been a shortfall of acetone, and it would have been uneconomic to satisfy acetone demand by the accumulation of unsaleable phenol. Hence an alternative route to acetone was required.

The alternative route already existed. Propylene was hydrated to isopropanol. This had a number of uses, primarily as a solvent, but some of it was dehydrogenated or air-oxidized to acetone（Scheme 2）.



Scheme 2.

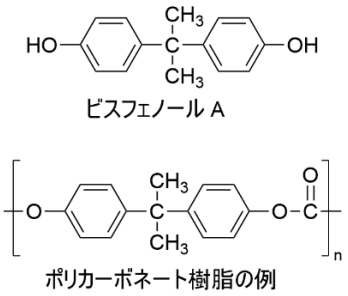


Figure 1.

During the 1980s, acetone from isopropanol accounted on average for about 8% of acetone production in the United States. By 1990 this had fallen to 4.5%. It disappeared completely in the late 1990s because more phenol was needed for bisphenol A and polycarbonate resins, and less acetone for solvent use. A Japanese chemical company has developed a process in which what is now a surplus ⑥acetone is hydrogenated to isopropanol. This in turn is dehydrated to propylene for recycle to the cumene alkylation unit. The company has the ability to turn this unit on or off depending on the market conditions for acetone.

【出典：H. A. Wittcoff, B. G. Reuben, J. S. Plotkin. *Industrial Organic Chemicals*, Third Edition. John Wiley & Sons Inc., 2012. 一部改変】

（注） precursor: 前駆体，molar ratio: 物質量比，depress: 弱める，zeolite: ゼオライト（多孔性の結晶性アルミノケイ酸塩），capital expenditure: 設備投資，operating and capital costs: 運転および資本コスト，transalkylation: トランスアルキル化（アルキル基移動反応），downstream separation capacity:（製造工程の）下流での分離能力，mass percent concentration: 質量パーセント濃度，emulsifying agent: 乳化剤，surplus: 余剰の，bisphenol A: ビスフェノールA（Figure 1 参照），polycarbonate resins: ポリカーボネート樹脂（Figure 1 参照）

問1　下線部①について，クメンの構造異性体のうち，ベンゼン環を一つ含むものの構造式をすべて記せ。なお，構造式はスキーム1で示されたものにならって記すこと。

問2　下線部②について，フェノールの水溶液に臭素水を十分に加えると，化合物Xの白色沈殿が生じる。化合物Xの構造式を記せ。

問3　下線部③において，プロピレンに対し，過剰量のベンゼンを用いる理由を日本語で簡潔に説明せよ。

問4　下線部④に関して，ゼオライトのような固体酸触媒を使うことによる（1）運転および資本コストに関する利点，ならびに（2）廃棄物処分に関する利点を日本語で述べよ。

問5　下線部⑤を日本語に訳せ。

問6　1980年代のアメリカでは，スキーム2の反応によりアセトンが製造されていた。しかし1990年代後半には，この方法は使われなくなった。その理由を本文の内容に沿って日本語で簡潔に述べよ。

問7　下線部⑥の記述を化学反応式で表せ。

（余　　白）

生　　物（生物学科）

第 1 問（170点）

細胞と発生に関する次の文章を読み，以下の問いに答えよ．

生物は細胞から構成されている．1665 年，イギリスの物理学者（　ア　）は顕微鏡下でコルクの断片にたくさんの小部屋が存在することに気づき，その小部屋を細胞と名づけた．その後，1838 年にドイツの（　イ　）が植物について，1839 年に同じくドイツの（　ウ　）が動物について，細胞を生物の基本単位とする細胞説を唱えた．

細胞は分裂によって増殖する．細胞分裂のくりかえしに伴う周期的な過程を（　エ　）という．（　エ　）は，①分裂期（M 期）と間期に分けられ，間期はさらに②G_1 期，S 期，G_2 期の 3 つの時期に分けられる．

有性生殖を行う生物は（　オ　）の形成とその接合によって新たな細胞をつくる．動物では，大型で運動性の無い（　オ　）を卵と呼ぶ．卵の大きさは動物によってさまざまで，③ヒトの卵とイモリの卵の直径を比べるとおよそ 20 倍もの違いがあり，④イモリの卵とニワトリの卵の直径はさらに 10 倍以上の違いがある．発生初期の細胞分裂は（　カ　）と呼ばれる．⑤受精卵は，受精後 1 回目の細胞分裂で 2 細胞期の胚（はい）に，2 回目の細胞分裂で 4 細胞期の胚になり，分裂をくりかえすことによって細胞の数を急速に増やしていく．

問 1　文章中の空欄（　ア　）～（　ウ　）に入る最も適切な人名を以下から選べ．

シュワン	シュペーマン	シュライデン	ラントシュタイナー
フック	クリック	レーウェンフック	マクリントック

問 2　文章中の空欄（　エ　）～（　カ　）に入る最も適切な語を答えよ．

問 3　下線部①に関して，分裂期（M 期）に起こる核の変化を，前期，中期，後期，終期の 4 つの時期に分けて述べよ．

問 4　下線部②に関して，G_1 期，S 期，G_2 期にかけて起こる核の DNA 量の相対的な変化を解答用紙に折れ線グラフで描け．

問5　下線部③に関して，(1)〜(4)に答えよ．

(1)　体重 70 kg のヒトの成体を構成する細胞の数は約 37 兆個とされている．仮にヒトの成体の細胞をすべて同じ大きさの球形としたときに，細胞の直径として最も近い値を以下から選べ．

1.5 μm　　15 μm　　150 μm　　1.5 mm

(2)　ヒトの卵の直径は(1)で求めた値の何倍にあたるか，最も近いものを以下から選べ．

2 倍　　10 倍　　50 倍　　100 倍

(3)　仮にヒトの成体のすべての細胞が受精卵から同じ回数の細胞分裂を経ているとすれば，37 兆個の細胞が生み出されるのに何回の分裂を経る必要があるか，最も近い回数を以下から選べ．

30 回　　45 回　　60 回　　90 回

(4)　1672 年，オランダのグラーフによってウサギの卵巣から「卵」が発見された．その大きさはイモリの卵と同等であったが，現在では，ウサギの卵の大きさはヒトの卵と同等であることが分かっている．グラーフが「卵」と考えたものは卵そのものではなく，卵の形成に関連した構造物であった．どのような構造物か説明せよ．

問6　下線部④に関して，ニワトリの卵はイモリの卵よりもはるかに大きいのに，初期の細胞分裂の観察はイモリに比べると容易ではない．容易ではない理由を 3 つ述べよ．

問7　下線部⑤に関して，イモリの胚を用いて行った以下の実験1および実験2の説明を読み，(1)～(5)に答えよ．

実験1

発生の開始時刻をそろえた胚を多数用意し，適当な時間に胚を3つ選び，ばらばらにほぐして細胞の数を調べた．結果を図1に示す．グラフの横軸は2細胞期からの時間，縦軸は細胞の数，1つの点は1つの胚の観察から得られた値である．

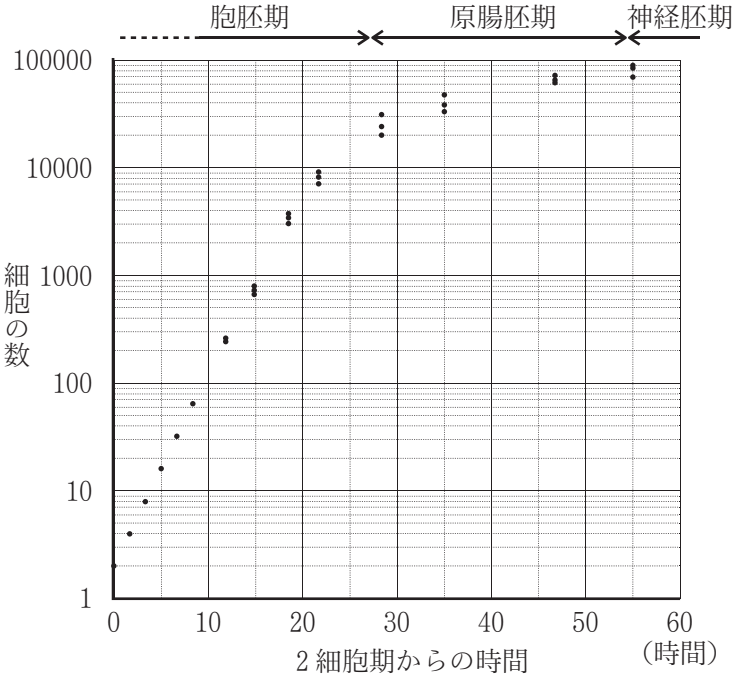


図1

実験2

胚における細胞の分裂を観察し続け，各細胞が受精後のある回から次の回の分裂まですごした時間を計測し，時間の長さとそのばらつきの程度を調べた．以下，受精卵を第1世代の細胞，n-1回目からn回目の細胞分裂までの細胞を第n世代の細胞と呼ぶことにする．例として，第4世代の細胞は1つの胚で8個観察でき，第4世代をすごした時間はすべての細胞で90～100分で，ばらつきはほとんど無かった．第4世代の細胞の結果を図2に示す．グラフの横軸は細胞がすごした時間を10分刻みで表したもの，縦軸は各時間に対応する細胞がどれだけ見られたかを百分率で示したものである．

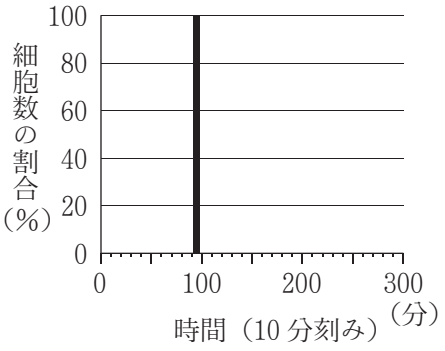


図2

(1)　実験1について，2細胞期から10時間たったイモリの胚は何個の細胞から構成されるか，最も近い個数を以下から選べ．

100個　　500個　　1000個　　1500個

⑵　2 細胞期から 10 時間たったイモリの胚は主に第何世代の細胞から構成されるか，答えよ．

⑶　図 3 の A ～ F はいずれも図 2 と同様に，横軸に細胞がすごした時間を，縦軸に各時間に対応する細胞数の割合を示したグラフである．実験 2 について，第 10 世代と第 13 世代の細胞の結果として最も適当なものを，図 3 の A ～ F からそれぞれ 1 つ選び，記号で答えよ．

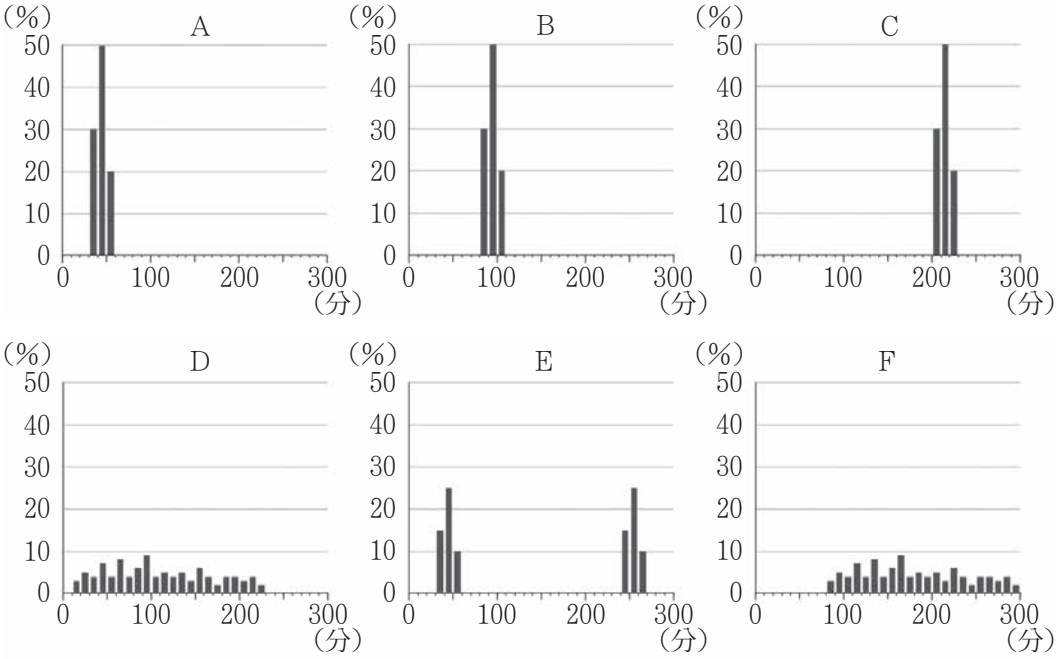


図 3

⑷　実験 2 について，第 10 世代の細胞と第 13 世代の細胞との間で，どのような変化が起きていると考えられるか，以下の語をすべて用いて説明せよ．

G_1 期　　S 期　　G_2 期　　M 期

⑸　イモリの胚は不透明なので，胚の表面から見えない内部に存在する細胞が発生の進行とともに増える．細胞数が約 1 万個の時期と，約 5 万個の時期とに分けて，胚の内部の構造を説明せよ．

生　　物（生物学科）

第　2　問（170点）

生物群集に関する次の文章を読み，以下の問いに答えよ．

ある地域に生息する同種の個体のまとまりを個体群といい，さらに相互にかかわり合いながら生息する異なる種の個体群の集まりを生物群集という．

1つの生物群集内の種間には被食―捕食という関係が見られ，こうした関係がつながっていることを食物連鎖という．食物連鎖では，光合成によって有機物を作る植物を（　ア　），（　ア　）を食べる草食動物を（　イ　），（　イ　）を食べる肉食動物を（　ウ　）という．食物連鎖のうち，生きている植物から始まる食物連鎖を（　エ　）連鎖，植物の落葉・落枝や動物の遺骸から始まる食物連鎖を（　オ　）連鎖という．

実際の生態系においては，被食―捕食関係が1対1であることは少なく，食物連鎖は多様で複雑な構造をしている．それらをひとまとめにしたものを①食物網と呼ぶ．食物網を構成する生物はその食物連鎖上の位置によっていくつかの栄養段階にまとめられる．栄養段階の最下位である（　ア　）から順に，個体数や生物量，エネルギー量などの指標を積み上げて示した図を②生態ピラミッドという．ピラミッドの形は，指標および生態系によって上下が逆転することもある．

時間に対する個体群の個体数の変化について，資源の制約がある環境で，生物種1種を飼育した場合の個体数の変化をグラフに表すと，（　カ　）字状の曲線となり，最終的には一定の個体数となる．このように，ある環境条件で維持できる上限の個体数を（　キ　）という．被食―捕食関係にある生物が同時に存在する環境では，③それぞれの個体群の個体数が互いに周期的な増減を繰り返す例がある．

問1　文章中の空欄（　ア　）～（　キ　）に入る最も適切な語を答えよ．

問2　下線部①に関して，ある生物群集における食物網の構造や複雑性は，その生物群集の安定性を決める要因である．食物連鎖の構成種の種数が少なく単純な食物網をもつ生物群集より，構成種の種数がより多く複雑な食物網をもつ生物群集の方が，群集全体の個体数は一定水準で推移し急激な増減がないとされる．その理由を1つ述べよ．

問3　下線部②に関して，以下の(1)と(2)に答えよ．

(1)　以下の（ア）と（イ）の記述から考えられる典型的な生態ピラミッドの形を図1 (i)〜(iv)の中からそれぞれ1つ選択せよ．

（ア）　ブナ原生林に生息する生物群集について，各栄養段階の生物の個体密度に基づくピラミッドの形

（イ）　ススキ草原に生息する生物群集について，各栄養段階の生物量に基づくピラミッドの形

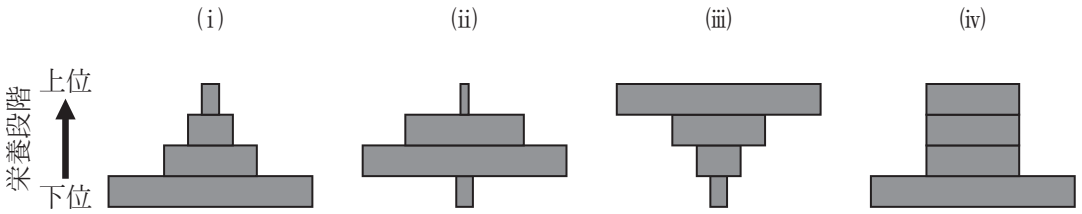


図1

(2)　生物群集内の各栄養段階のエネルギー量のうち，次の段階で利用される量の割合をエネルギー効率と呼ぶ．エネルギー効率がすべての段階で10 %であると仮定し，次の問いに答えよ．

（ア）　ある生物群集で最下位の栄養段階に取り込まれる1日当たりのエネルギー量が10,000 J/m^2であるとする．栄養段階が最下位から3段階進んだとき，取り込まれるエネルギーは1日当たり何J/m^2か．

（イ）　食物連鎖の栄養段階は3〜4段階であることが多い．エネルギー効率の観点からその理由を説明せよ．

問4　下線部③に関して，次の文章を読み，以下の(1)〜(5)に答えよ．

カナダの森林に生息するカンジキウサギとオオヤマネコの個体数は，図2で示されているように約10年周期で変動することが知られている．カンジキウサギは，ヤナギ属などの植物の小枝を食べる．オオヤマネコはカンジキウサギを主な餌とするため，カンジキウサギと同じ周期で個体数が変動する．

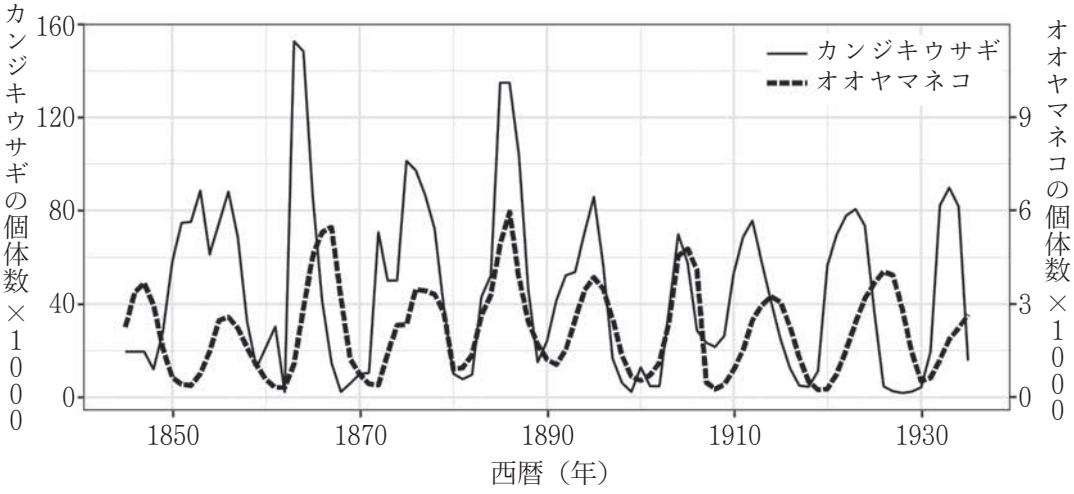


図2

(1)　日本の在来生物で，オオヤマネコと分類学上同じ目に含まれる生物種を以下から4つ選択せよ．

アカギツネ	アマミノクロウサギ	アライグマ	エゾリス
ツシマヤマネコ	ニホンイタチ	ニホンカモシカ	ニホンザル
ツキノワグマ	トガリネズミ	ハクビシン	

(2)　カンジキウサギの個体数が増加するにつれて，餌となる植物の生物量は減少していくが，カンジキウサギの個体数が激減した年の翌年から，餌植物の生物量は緩やかに回復する．このとき，オオヤマネコが餌植物に与える影響を表す最も適切な語を答えよ．

⑶　この地域のカンジキウサギの個体数が周期的に変動する要因として，研究者は以下の 4 つの仮説を考えた．これらの仮説を検証するため，表 1 に示す実験・分析を行い，それぞれ結果を得た．続く（ア）～（ウ）の問いに答えよ．

仮説 1．餌となる植物が周期的に不足するため，個体数が周期的に変動する．
仮説 2．餌植物の毒性成分が周期的に変動するため，個体数が周期的に変動する．
仮説 3．捕食者の個体数が周期的に変動するため，個体数が周期的に変動する．
仮説 4．餌と捕食者の複合要因の結果である．つまり，仮説 1 及び 3 の両方が同時に関与している．

表 1

記号	実験・分析内容	結果
A	カンジキウサギが生息する場所の一角（100 ha）に捕食者を除去するための電気柵を設けて，対照区と比較した．	電気柵内のカンジキウサギの個体数は，対照区の 2 倍に増加した．個体数がピークに達した後，個体数の減少速度は緩やかになった．周期性そのものは消えなかった．
B	カンジキウサギに人工的に常時餌を与え，対照区と比較した．	カンジキウサギの個体数は，対照区の 3 倍に増加したが，その後減少し，周期的な個体数の変動が続いた．
C	餌となる植物中の毒性成分（フェノールやレジンなど）を毎年測定した．	カンジキウサギの個体数が，増加，ピーク，減少のサイクルをたどる間，餌となる植物の毒性成分は常に減少した．
D	捕食者を除去するための電気柵と人工的に餌を与えることを同時に行い，対照区と比較した．	カンジキウサギの個体数は，対照区の最大 11 倍に増加し，その後長期間にわたってその個体数を維持した．

（ア）　実験 A，B，D で用いられた対照区とは対照実験で用いる区画のことである．一般に対照実験はどのような意義があるか，簡潔に述べよ．
（イ）　仮説 1 ～ 4 の検証に対応する実験を，上記の実験 A ～ D の中から選び，記号を答えよ．
（ウ）　これらの結果を総合的に考えたとき，最も支持される仮説はどれか，上記の仮説 1 ～ 4 の中から選び，番号を答えよ．

(4) カンジキウサギとオオヤマネコが生息する地域のうち，エリマキライチョウも同所的に生息する地域がある．エリマキライチョウの単位面積当たりの個体数は，カンジキウサギと比較して少ない．オオヤマネコは，エリマキライチョウをカンジキウサギの代替の餌としている．図3は，これら3種が同所的に生息する場所におけるカンジキウサギ，オオヤマネコ，エリマキライチョウの個体数の12年間の変化を示している．エリマキライチョウの個体数はカンジキウサギとほぼ同調するが，その理由を述べよ．

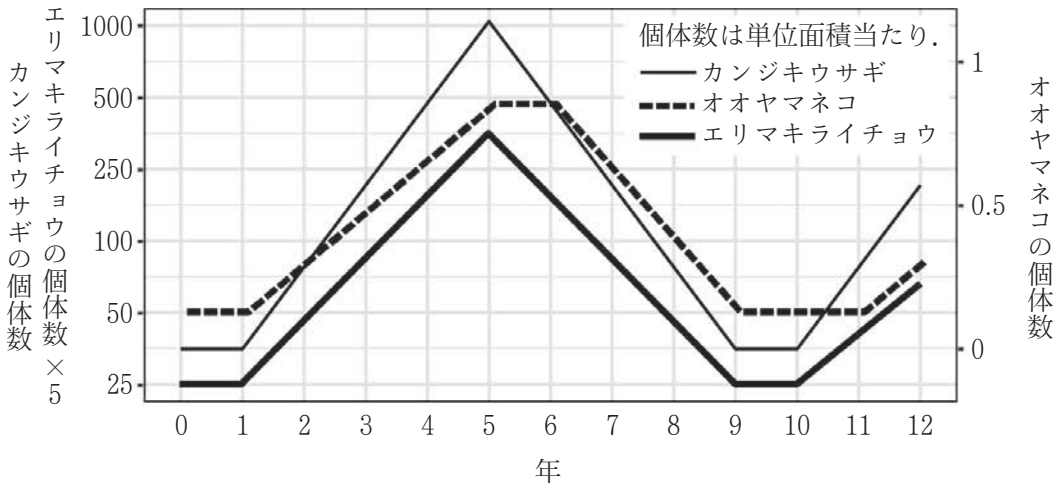


図3

(5) カナダの森林は，気候変動の影響により1990年代頃から(i)積雪の減少，(ii)山火事の増加，が顕著となり，森林生態系に深刻な変化が生じていることが報告されている．(i)，(ii)による森林生態系の変化がカンジキウサギの個体数にどのような影響を与えるか，それぞれ因果関係も含めて考察せよ．

（余　　白）

生　　物（生物学科）

第 3 問（60点）

問1　タンパク質は異なった側鎖を持つ20種類のアミノ酸から構成される．アミノ酸はその側鎖の性質から酸性，塩基性，親水性，疎水性，などに特徴づけられる．それぞれの特徴を持つアミノ酸の名称を2つずつ答えよ．

問2　(1)酵素の基質特異性，(2)酵素の競争的阻害，(3)酵素の非競争的阻害，(4)タンパク質のアロステリック効果，について酵素や基質などを示す模式図を描いてそれぞれ説明せよ．