

2022年度

理科問題

(物理・化学・生物・地学)

物理：2～7ページ	解答用紙4枚
化学：8～19ページ	解答用紙4枚
生物：20～33ページ	解答用紙4枚
地学：34～41ページ	解答用紙3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 **現代システム科学域の受験者は**、「物理」・「化学」・「生物」・「地学」のうちから1科目を選択し、解答すること。
- 8 **理学部の受験者は**、次により解答すること。なお、第2・3志望がある場合、志望する学科についても確認すること。
 - (1) **数学科・生物学科・地球学科・生物化学科**を志望する者は「物理」・「化学」・「生物」・「地学」のうちから2科目を選択し、解答すること。
 - (2) **物理学科**を志望する者（第3志望までを含む）は、「物理」とその他に「化学」・「生物」・「地学」のうちから1科目を選択し、計2科目を解答すること。
 - (3) **化学科**を志望する者（第3志望までを含む）は、「物理」・「化学」の計2科目を解答すること。
- 9 **工学部の受験者は**、「物理」・「化学」の計2科目を解答すること。
- 10 **農学部・獣医学部・医学部医学科の受験者は**、「物理」・「化学」・「生物」のうちから2科目を選択し、解答すること。
- 11 **生活科学部食栄養学科の受験者は**、「物理」・「化学」・「生物」のうちから1科目を選択し、解答すること。
- 12 問題冊子の余白は下書きに使用してもよい。
- 13 問題冊子及び選択しなかった科目の解答用紙は持ち帰ること。

(余 白)

物 理

第 1 問 (35点)

図1のように、天井に取り付けられたなめらかに回転する軽い滑車Pに糸をかけて、一端に質量 m の小球Aをつけ、もう一端を一定の力で引いた。以下では、糸は軽くて伸び縮みせず、小球の運動は鉛直方向のみであり、鉛直上向きを正とする。また、空気抵抗は無視し、重力加速度の大きさを g とする。以下の問いに答えよ。

軽い糸が一端において物体を引く力の大きさは、他端において糸にはたらいっている力の大きさに等しいと考えてよい。

問1 一定の力の大きさは $2mg$ であったとする。Aの加速度を求めよ。

次に、図2のように、Aと質量 $2m$ の小球Bを糸でつないでPにかけ、時刻 $t = 0$ で小球全てを同時に静かにはなした。A、Bを引く糸の力の大きさを S 、Aの加速度を a とする。

問2 AとBそれぞれの運動方程式を書け。

問3 Aの変位が h になる時刻と、そのときのAの運動エネルギーを求めよ。

今度は、図3のように、AとBを糸でつないでなめらかに回転する軽い滑車Qにかけ、このQと質量 $3m$ の小球Cを糸でつないでPにかけて、小球全てを同時に静かにはなした。A、Bを引く糸の力の大きさを S_1 とし、Q、Cを引く糸の力の大きさを S_2 とする。また、A、B、Cの加速度をそれぞれ a_A 、 a_B 、 a_C とする。

問4 A、B、Cそれぞれの運動方程式を書け。

問5 Qから見たAとBの加速度は、大きさが等しく向きが逆である。このことから得られる a_A 、 a_B 、 a_C の間の関係式を書け。

Qには鉛直下向きで大きさ $2S_1$ の力と鉛直上向きで大きさ S_2 の力がはたらいっている。Qが軽い場合には $2S_1 = S_2$ の関係式が成り立つとしてよい。

問6 a_C を g を用いて表せ。

問7 Cの変位が h' になるときのA、B、Cの重心の変位を求めよ。

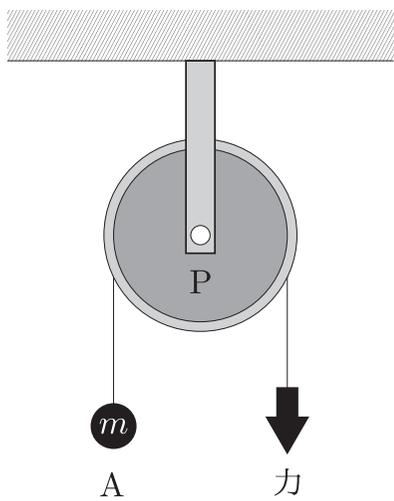


图 1

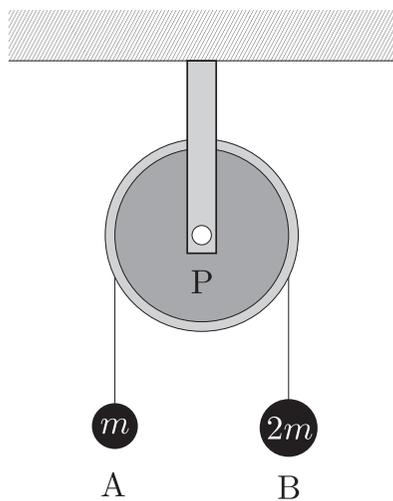


图 2

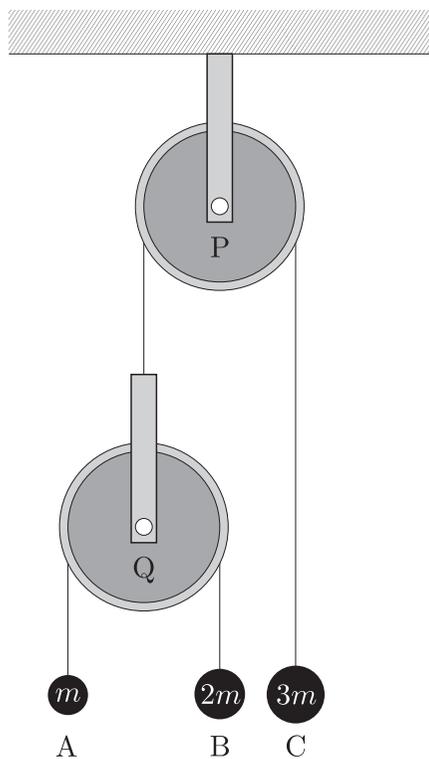


图 3

物 理

第 2 問 (35点)

図のように、自己インダクタンス L のコイル L 、電気容量 C のコンデンサー C 、可変抵抗 R_x 、抵抗値 r の抵抗 r 、起電力 E の直流電源 E 、スイッチ S_L 、 S_C 、 S_R 、 S_E からなる回路がある。 R_x と r 以外の電気抵抗は無視できるとする。最初の状態では、全てのスイッチが開いており、 C には電荷が蓄えられておらず、 R_x の抵抗値は R に設定されている。以下の問いに答えよ。

はじめに、 S_L と S_E を閉じた。

問 1 スwitchを閉じた直後に回路に流れる電流の強さ、点 a に対する点 b の電位、および点 b に対する点 c の電位をそれぞれ求めよ。

問 2 その後、電流は増加するが、その増加率はしだいに小さくなる。十分に時間が経過した後、回路に流れている電流の強さと L に蓄えられているエネルギーを求めよ。

次に、 S_C を閉じると同時に S_E を開いた。すると、 L と C に一定の周期で向きが変わる電流が流れ続ける、電気振動という現象が起こった。このとき、 L にかかる電圧の最大値と C にかかる電圧の最大値は等しく、 L を流れる電流の最大値と C を流れる電流の最大値も等しい。

問 3 この電気振動の固有周波数を求めよ。

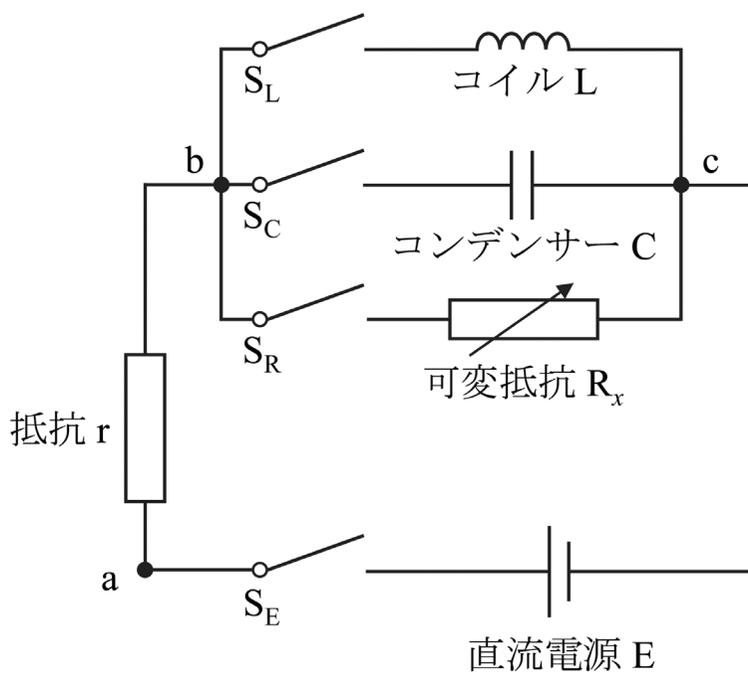
問 4 L にかかる電圧の最大値を C 、 L 、 E 、 r のうち必要なものを用いて表せ。

今度は、最初の状態から S_E と S_R を閉じた場合を考える。

問 5 R_x での消費電力を求めよ。

問 6 R_x の抵抗値を R から変化させると、ある値で R_x での消費電力が最大となった。このときの R_x の抵抗値と最大消費電力を求めよ。必要であれば、以下の相加・相乗平均の不等式を用いよ。

$$p \geq 0, q \geq 0 \text{ のとき, } \frac{p+q}{2} \geq \sqrt{pq} \text{ (等号が成立するのは } p=q \text{ のとき).}$$



図

物 理

第 3 問 (30点)

図1のように、両端が固定された長さ l の弦が水平に張られており、弦の下には水を入れた管が鉛直に立てられている。この弦の中央をはじき、弦の基本振動により音波を生じさせる。その状態で、図2のように、水面を管口 A から徐々に下げていくと、B の位置ではじめて管の中の気柱が音波と共鳴し、C の位置で2度目の共鳴をした。A の位置から B の位置までの距離を d_1 、A の位置から C の位置までの距離を d_2 、弦を伝わる波の速さを V とする。開口端補正を一定として、以下の問いに答えよ。

問 1 弦を伝わる波の波長を求めよ。

問 2 音波の伝わる速さと開口端補正を求めよ。

さらに水面を下げていくと、3度目の共鳴が起こった。

問 3 このときの水面の位置を管口からの距離で表せ。

水面をさらに下げたところ、共鳴は起こらないまま管の下端に達した。そこで、図3のように、下端を開いて開管にすると共鳴した。

問 4 管の全長を求めよ。

その後、弦を張る力を変えないようにしながら弦の長さを短くしていくと、共鳴しなくなり、ある長さ l' のときにふたたび共鳴した。

問 5 l' を l を用いて表せ。ただし、弦の振動は基本振動とする。

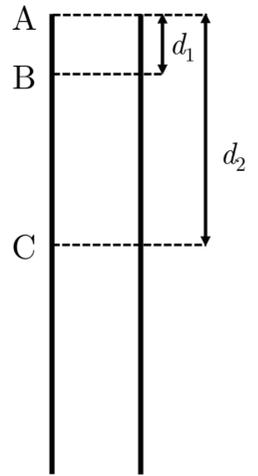
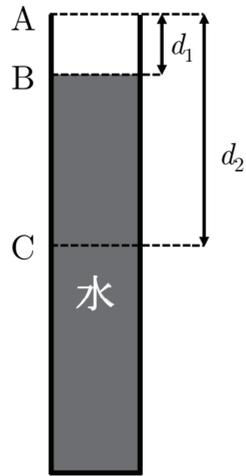
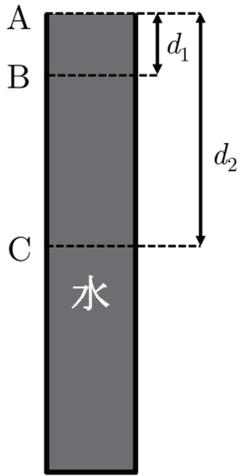
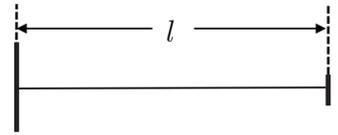
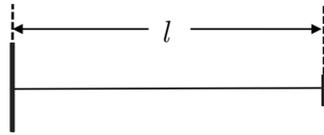
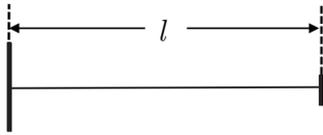


图 1

图 2

图 3

化 学

第 1 問～第 3 問において、必要であれば次の原子量を用いよ。

H = 1.0, C = 12.0, O = 16.0, S = 32.0

第 1 問 (34点)

次の問 1 と問 2 に答えよ。

問 1 次の図は元素の周期表の一部を示している。次の (1) と (2) の問いに答えよ。

族	1	2	…	13	14	15	16	17	18	族
周期										周期
1	(あ)								(い)	1
2	(う)	(え)		(お)	(か)	(き)	(く)	(け)	(こ)	2
3	(さ)	(し)		(す)	(せ)	(そ)	(た)	(ち)	(つ)	3
4	(て)	(と)	…							4

(1) 次の (i)～(v) の記述に当てはまる元素をそれぞれ図中の記号 (あ)～(と) から 1 つ 選び、元素記号とともに記せ。

(i) ある元素の単体は水と激しく反応する。この反応で得られた水溶液を用いて炎色反応を観察すると赤色を呈する。

(ii) ある元素の単体には淡黄色と赤褐色の同素体があり、淡黄色の単体は空気中で自然発火する。

(iii) ある元素の単体は常温の水と容易に反応し水素を発生する。この元素の無水塩化物は乾燥剤に用いられる。

(iv) ある元素の単体は単原子分子であり，空気に1%程度含まれている．

(v) ある元素の単体は二原子分子で常温常圧において黄緑色の気体であり，酸化剤としてはたらく．

(2) 図中の元素（た）に関する次の文章を読み，以下の(i)～(v)の問いに答えよ．

元素（た）の単体を空气中で燃焼させると ア が生成し，さらに触媒を用いて ア を空气中の酸素と反応させると イ が生成する．① 得られた イ を水と反応させると硫酸が得られるが，工業的には イ を濃硫酸に吸収させて ウ とし，これを希硫酸と混合して濃硫酸とする．また，② ア が硫化水素と反応すると元素（た）の単体が得られる．

(i) ア ～ ウ に当てはまる物質名を記せ．

(ii) 下線部①の反応を工業的に行うときに用いられる触媒の物質名を記せ．

(iii) 下線部②の反応の反応式を記せ．

(iv) 質量パーセント濃度 98.0%の濃硫酸（密度 1.83 g/mL）を用いて 2.00 mol/L の希硫酸を 250 mL つくるとき，必要な濃硫酸の体積 [mL] を小数第一位まで答えよ．

(v) 硫化水素および硫酸中の（た）の原子の酸化数をそれぞれ答えよ．

問2 次の文章を読み、(1)～(6)の問いに答えよ。

金属の多くは金属元素の原子が結合してできた結晶であり、自由電子をもつために変形しても結合が切れにくいという特徴をもつ。金や白金のような貴金属を除き、多くの金属は空気中の酸素によって酸化され、“さび”を生じることによって徐々に金属としての性質を失う。鉄は湿った空気中で徐々に酸化され、さびを生じる。

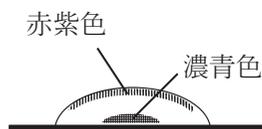
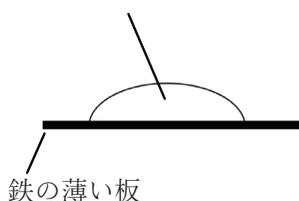
アルミニウムは鉄よりもイオン化傾向が大きい元素であるが、空気中では鉄のように内部まで酸化されることはない。アルミニウムの原料はボーキサイトと呼ばれる鉱石で、酸化アルミニウム Al_2O_3 が主成分であるが、酸化鉄(Ⅲ) Fe_2O_3 も多く含まれている。酸化アルミニウムの精製方法として知られるバイヤー法では、ボーキサイトをいったん濃水酸化ナトリウム水溶液に加熱して溶かし、不溶物をろ過して除く。ろ液を冷却し、沈殿した水酸化アルミニウムを加熱脱水することにより、純度の高い酸化アルミニウムが得られる。酸化アルミニウムを溶融塩とし、炭素電極を用いて電気分解を行うことにより、金属アルミニウムが製造される。

(1) 下線部①に関して、たたいて面状に薄く広げられる金属の性質を何というか。

(2) 下線部②に関して、鉄がさびる様子を表した次の文章を読み、以下の問い(i)と(ii)に答えよ。

下図のように、ヘキサシアニド鉄(Ⅲ)酸カリウムをフェノールフタレイン液が少量含まれる塩化ナトリウム水溶液に溶かし、その液滴をよく磨いた鉄の薄い板の上にのせた。しばらくすると、中心部付近の底が濃青色になり、水の表面付近が赤紫色に呈色した。やがて、液滴の中から赤さびと呼ばれる鉄の酸化物が現れ、徐々にその量が増えていった。

ヘキサシアニド鉄(Ⅲ)酸カリウム
とフェノールフタレイン液を含む
塩化ナトリウム水溶液の液滴



- (i) 濃青色になったことから、鉄の板の表面では次の反応が起こっていると考えられる。電子 e^- を含むイオン反応式を完成させよ。



- (ii) 溶液が赤紫色になった部分では次の反応が起こっていると考えられる。電子 e^- を含むイオン反応式を完成させよ。



- (3) 下線部③に関して、金属表面に生じた酸化物が緻密な膜を作ると、内部が酸化から保護される。このような状態を何というか。
- (4) 下線部④に関して、酸化アルミニウムが溶解する反応を化学反応式で記せ。
- (5) 下線部④で得られたアルミニウム化合物の塩基性水溶液（鉄化合物は除かれているものとする）を用いて電気分解すると、陰極ではどのような反応が起こるか。電子 e^- を含むイオン反応式を記せ。
- (6) 下線部⑤に関して、酸化アルミニウムの熔融塩電解では陽極で酸化物イオンが炭素電極と反応する。生成する気体が一酸化炭素のみであるとした場合、1.0 mol のアルミニウムを得るのに必要な炭素の物質質量 [mol] を答えよ。

化学

第 2 問 (30点)

次の問 1 と問 2 に答えよ。

問 1 次の文章を読み、(1) と (2) の問いに答えよ。必要であれば次の値を用いよ。

$$\text{気体定数 } R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$$

電気陰性度に差がある 2 原子間の共有結合の場合、 対が一方の原子に偏ることにより結合にが生じる。たとえば二酸化炭素 CO_2 では、分子内の 2 つの炭素-酸素結合にはがあるが、それらは互いに正反対の方向を向いているので打ち消しあう。また、水素 H_2 のように同じ原子間の共有結合にはは生じない。

分子間にはたらく弱い引力を分子間力という。分子のの有無によらず、すべての分子間にはたらく分子間力をという。気体を冷却すると液体や固体になるのは、分子間力がはたらいているためである。純物質の状態は、温度と圧力によって決まる。二酸化炭素の状態図を下に示す。二酸化炭素の固体すなわちドライアイスは、大気圧では①液体を経ずに気体になる。これは、状態図中の点の圧力が大気圧より高いため、大気圧程度の一定圧力のもとで温度を上げるとき、状態が存在できる温度範囲がないことによる。

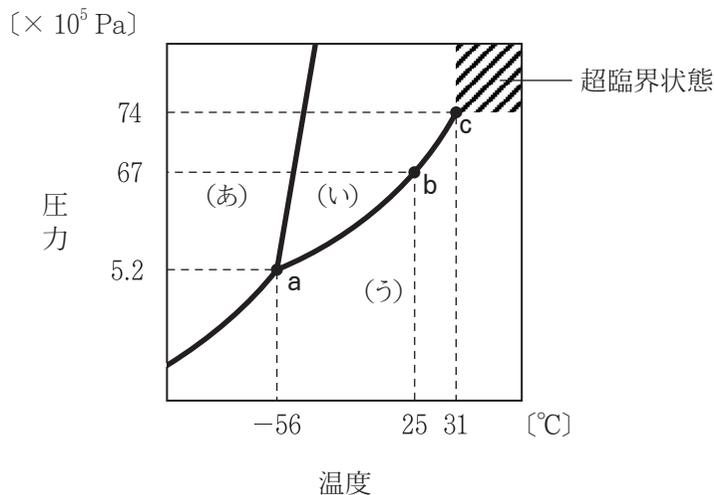


図 二酸化炭素の状態図 (状態図の特徴を強調して示してある.)

- (1) ～ にそれぞれ当てはまる最も適切な語句を記せ。
- (2) 二酸化炭素の状態図に関する次の (i) ～ (v) の問いに答えよ。
- (i) 図中の状態 (あ) ～ (う) はそれぞれ物質の三態のうちどれを示すか，答えよ。
- (ii) 下線部①の状態変化の名称を答えよ。
- (iii) に当てはまるものを図中の点 a ～ c から選び，記号で答えよ。またその点の名称を答えよ。
- (iv) に当てはまるものを図中の状態 (あ) ～ (う) から選び，記号で答えよ。
- (v) 容積 8.3 L の真空容器の中にドライアイス 44 g を入れ 27℃ に保ったところ，状態変化がおこり，その後容器内の気体の圧力は一定になった。この圧力の値 [Pa] を有効数字 2 桁で答えよ。ただし，気体は理想気体としてふるまうものとする。

問2 次の文章を読み、(1)～(4)の問いに答えよ。気体はすべて理想気体としてふるまうものとする。

気体の水素 H_2 とヨウ素 I_2 を容積一定の容器中で混合し、ある一定の温度で放置すると、その一部が反応してヨウ化水素 HI になる。この反応は発熱反応である。一方、ヨウ化水素 HI のみを同様の温度にして放置すると、その一部は分解して水素 H_2 とヨウ素 I_2 になる。すなわち、



という反応は、正反応と逆反応が同時に進行する 反応である。平衡状態にある 反応では、温度などの条件を変化させると、その影響を打ち消す方向に反応が進行して新しい平衡状態に達する。これを の原理という。

一般に、化学反応は活性化状態を経て進み、活性化エネルギーが大きいほど反応速度は なる。また、反応物の濃度が高いほど反応速度は なる。

(1) 文章中の ～ に当てはまる最も適当な語句を記せ。

(2) 平衡状態における水素 H_2 、ヨウ素 I_2 、ヨウ化水素 HI のモル濃度を、それぞれ $[\text{H}_2]$ 、 $[\text{I}_2]$ 、 $[\text{HI}]$ とすると、平衡定数 K は次式で表される。

$$K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]}$$

容積一定の密閉容器に水素 H_2 2.16 mol とヨウ素 I_2 1.62 mol を入れて加熱し、一定温度に保ったところ、反応が平衡状態に達して水素 H_2 が 0.72 mol となった。この温度における平衡定数はいくらか。有効数字2桁で答えよ。

(3) 最初に水素 H_2 3.00 mol とヨウ素 I_2 2.25 mol を (2) の問いと同じ密閉容器に入れて、同じ温度で反応が平衡に達した。このとき生成するヨウ化水素 HI の物質質量 [mol] を求めよ。有効数字2桁で答えよ。

(4) 図の曲線 X は、文章中の反応におけるヨウ化水素 HI の生成量の時間変化を表している。温度を上げたときのヨウ化水素 HI の生成量の時間変化を示す曲線はどれか、図の (a)～(d) より選び、記号で答えよ。

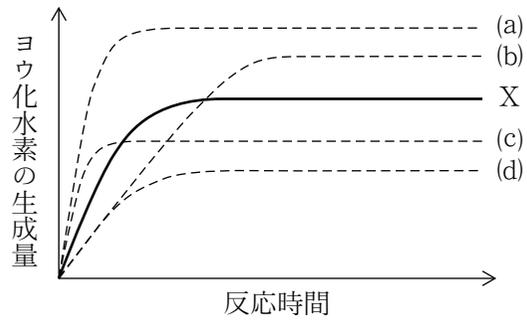
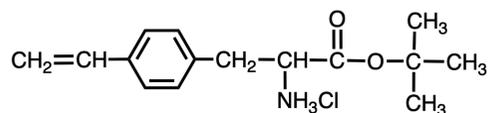


図 ヨウ化水素 HI の生成量と反応時間との関係

化 学

第 3 問 (36点)

次の問 1 と問 2 に答えよ。ただし、構造式は下の例にならって記せ。



問 1 次の実験手順を読み、(1)～(6)の問いに答えよ。

実験手順

<準備する試薬と器具>

[試薬] アニリン，ジエチルエーテル，

1.0 mol/L 亜硝酸ナトリウム (NaNO_2) 水溶液，

2.0 mol/L 塩酸 (HCl)，

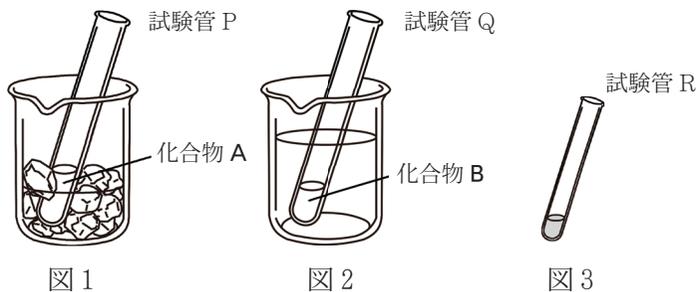
6.0 mol/L 水酸化ナトリウム (NaOH) 水溶液，

0.10 mol/L 塩化鉄 (Ⅲ) (FeCl_3) 水溶液

[器具] 試験管 P，Q (外径 18 mm) 各 1 本，

試験管 R (外径 10 mm) 1 本，

100 mL ビーカー 2 個，2 mL 駒込ピペット



<実験操作>

I 試験管 P に ① アニリン 0.4 mL を入れ，塩酸 (HCl) 6 mL を加えて溶かした。

II ビーカーに氷を入れ，② 操作 I の試験管 P を浸して冷やし，亜硝酸ナトリウム (NaNO_2) 水溶液 5 mL を加え，低温 (5°C 以下) で反応させると，化合物 A が生成した。 化合物 A が入った試験管 P を低温 (5°C 以下) に保った (図 1)。

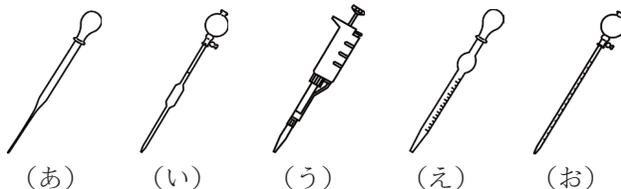
Ⅲ 操作Ⅱで得られた 化合物 A を含む水溶液 6 mL を別の試験管 Q に取り分け、熱湯の入ったビーカーに入れて温めると、気体が発生した。気体の発生が収まったら熱湯から取り出し、冷水で冷やし、化合物 B を得た (図 2)。

Ⅳ 操作Ⅲの試験管 Q に ジエチルエーテル 4 mL を加えてよく振り混ぜ、静置すると、2 層に分かれた。水層を取り除き、化合物 B のジエチルエーテル溶液のみを試験管 Q に残した。

Ⅴ 操作Ⅳで得られた化合物 B のジエチルエーテル溶液を駒込ピペットで試験管 R に少量とり分け、塩化鉄 (Ⅲ) (FeCl₃) 水溶液 1 mL を加えると紫色に呈色した (図 3)。

Ⅵ 操作Ⅳの 試験管 Q に残した化合物 B のジエチルエーテル溶液に水酸化ナトリウム (NaOH) 水溶液 3 mL を加えて振り混ぜた後、操作Ⅱの試験管 P に残った化合物 A の水溶液を加え、振り混ぜると、黄赤色の化合物 C が得られた。

- (1) 操作Ⅰ～Ⅲにある下線部①～③の反応を化学反応式で記せ。ただし、有機化合物 (化合物 A, B を含む) については、その構造がわかるように構造式を用いよ。
- (2) 操作Ⅱで化合物 A が入った試験管 P を低温 (5 °C 以下) に保った理由を簡潔に記せ。
- (3) 操作Ⅳの下線部④に関して、エーテル層は上層または下層のどちらか答えよ。また、そのように判断した理由を簡潔に記せ。
- (4) 操作Ⅴで用いる駒込ピペットを器具の特徴を示した図の (あ) ～ (お) から選び記号で答えよ。ただし、実物との大きさの比はそれぞれ異なる。



- (5) 操作Ⅴにある下線部⑤の呈色反応により検出できる物質または化合物を次の (か) ～ (さ) から一つ選び記号で答えよ。
- (か) カルボン酸 (き) アミノ酸 (く) アルコール
(け) 芳香族アミン (こ) フェノール類 (さ) アルデヒド

(6) 操作VIにある下線部⑥および⑦の反応を化学反応式で記せ。ただし、有機化合物（化合物A～Cを含む）については、その構造がわかるように構造式を用いよ。

問2 次の文章を読み、(1)～(5)の問いに答えよ。

ジカルボン酸A, B, Cの分子式はいずれも $C_4H_4O_4$ である。AとBは、それぞれ触媒の存在下で水素 H_2 と反応して同じジカルボン酸D（分子式 $C_4H_6O_4$ ）を与えた。Aを加熱すると脱水反応が進行し、化合物E（分子式 $C_4H_2O_3$ ）が得られた。Eは、金属酸化物を触媒として高温でベンゼン C_6H_6 を酸化することによっても得られる。Eは高温で水 H_2O と反応して、不斉炭素原子を1個もつ化合物F（分子式 $C_4H_6O_5$ ）を与えた。

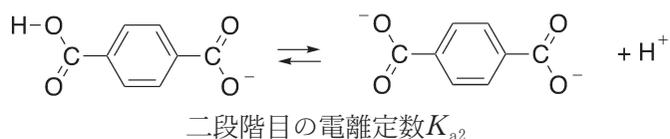
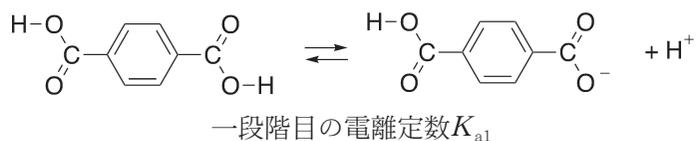
(1) 次の文章を読み、とに当てはまる最も適切な語句を記せ。

下線部①の実験結果から、AとBは異性体の関係にあることがわかる。また、分子式が同じであることから、CはAおよびBと異性体の関係にあることもわかる。

(2) 次の文章を読み、～に当てはまる最も適切な語句を記せ。

下線部②の実験結果から、Aでは結合をつくっている2つの炭素原子それぞれに結合した2つの基が近い位置にあることがわかる。一般に、カルボン酸は分子間で水素結合を形成し、液体あるいは固体状態で二量体として存在するが、Aでは分子間だけでなく、でも水素結合を形成している。

ジカルボン酸は水に溶けると、二段階で電離する。たとえば、テレフタル酸では次のように表すことができる。



ジカルボン酸 **A** と **B** について、25 °C での電離定数 K_{a1} と K_{a2} を下の表にまとめた。 **A** の一段階目の電離は、 **B** の一段階目の電離と比べて起こり ことがわかる。

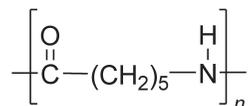
	A	B
一段階目の電離定数 K_{a1} [mol/L]	1.3×10^{-2}	5.4×10^{-4}
二段階目の電離定数 K_{a2} [mol/L]	5.9×10^{-7}	3.5×10^{-5}

(3) 化合物 **C**, **D**, **F** の構造式を記せ。ただし、不斉炭素原子まわりの立体的な配置については省略せよ。

(4) 下線部③の反応を表す次の化学反応式について、係数 x , y , z に当てはまる自然数を記せ。



(5) 化合物 **E** とエチレングリコールを反応させると、不飽和ポリエステル的一种であるポリマー **G** が得られた。ポリマー **G** の構造式を下の例にならって記せ。



生 物

第 1 問 (25点)

遺伝子とタンパク質に関する次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

ある微生物は、グルコース、ビタミン、無機塩類のみを含む培地（最少培地）で生育することができる（以下、これを W 株と呼ぶ）。W 株に紫外線を照射したところ、最少培地では生育できないが、最少培地にアミノ酸Ⅰ～Ⅲのうちのいずれか1つを加えた培地であれば生育できる X 株、Y 株、Z 株が得られた（表1）。これら3つの株の、生育にアミノ酸を必要とする形質（アミノ酸要求性）は、次の世代以降にも引き継がれることを確認した。W 株は、アミノ酸Ⅳを出発物質として、図1の経路でアミノ酸Ⅰ～Ⅲのすべてを合成することができる。しかし、X～Z 株では、図1の反応 A～C のうち、いずれか1つが進まないために、アミノ酸要求性が現れていることがわかった。

表1

培地番号	培地の構成	各株の培養実験の結果			
		W 株	X 株	Y 株	Z 株
①	最少培地	○	×	×	×
②	最少培地+アミノ酸Ⅰ	○	○	○	○
③	最少培地+アミノ酸Ⅱ	○	×	×	○
④	最少培地+アミノ酸Ⅲ	○	×	○	○

○は生育できる、×は生育できない、を示す。



図1 W 株のアミノ酸合成経路

(ア)～(ウ)には、アミノ酸Ⅰ～Ⅲのいずれかが1つずつ入る。

問1 X～Z 株のうち、反応 A が進まない株は、表1のどの培地であれば生育可能か。当てはまる培地を①～④からすべて選び、培地番号で答えよ。

問2 アミノ酸 I を指定する mRNA のコドンは 4 通りある。これら 4 つのコドンの 3 番目の塩基すべてについて、その名称を片仮名で答えよ。

問3 X 株の形質について、当てはまる可能性があるものを、次の(a)~(f)からすべて選び、記号で答えよ。

- (a) アミノ酸 I を細胞内に取り込むために必要なタンパク質が合成できない。
- (b) アミノ酸 I をタンパク質の合成に利用できない。
- (c) アミノ酸 I の合成に必要なタンパク質が合成できない。
- (d) アミノ酸 I と結合する tRNA が合成できない。
- (e) アミノ酸 I の合成に必要な遺伝子が転写できない。
- (f) アミノ酸 I の合成に必要な遺伝子を複製するための DNA ポリメラーゼを持たない。

問4 X ~ Z 株のうち、反応 B が進まない株はどれか答えよ。

問5 図 1 の (ア) ~ (ウ) にはそれぞれ、アミノ酸 I ~ III のうちのどれが当てはまるか答えよ。

問6 下線部に関して、紫外線の照射により、タンパク質の変性や RNA の損傷などの変化も起こることがある。しかし、X ~ Z 株のアミノ酸要求性は、タンパク質や RNA の変化ではなく、DNA の一部が変化したために現れたと考えられる。このように考えられる理由を 60 字以内（句読点を含む）で説明せよ。

問7 反応 B が進まない株では、反応 B を触媒する酵素 B の活性が低く、W 株の酵素 B に比べて、同じタンパク質量あたりの活性が 100 分の 1 以下であった。紫外線照射により変化したのは DNA であるにもかかわらず、タンパク質である酵素 B の活性が低下した理由を推測し、次の語句をすべて用いて、80 字以内（句読点を含む）で説明せよ。

アミノ酸配列 酵素 B 紫外線の照射 DNA の塩基配列 立体構造

生 物

第 2 問 (25点)

植物の成長と環境応答に関する以下の問いに答えよ。

問 1 離層に関する次の文章を読み、(1)~(3)の問いに答えよ。

バラの花弁の基部には、葉柄の基部のように離層が形成され、離層の細胞壁が分解されることにより花弁の脱離が起こる。離層の細胞壁成分を分解する酵素 G の遺伝子の転写は、調節タンパク質 A と B によって調節される。花弁脱離の調節における、植物ホルモンであるエチレンとオーキシンのはたらきを調べるために、以下の実験を行った。バラの花をエチレンの入った容器に密閉し、あるいは花弁基部にオーキシンを投与し、離層付近の細胞における調節タンパク質 A、B の遺伝子の mRNA 濃度を測定した。その結果、図 1 が得られた。さらに、調節タンパク質 A か B のいずれか一方の合成を抑制する処理を行い、離層付近の細胞において酵素 G の遺伝子の mRNA 濃度を調べた。その結果、図 2 が得られた。ただし、タンパク質の濃度は mRNA の濃度に比例するものとする。

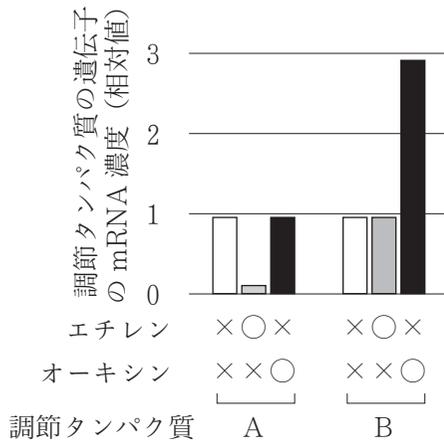


図 1

○は投与あり，×は投与なし，を示す。

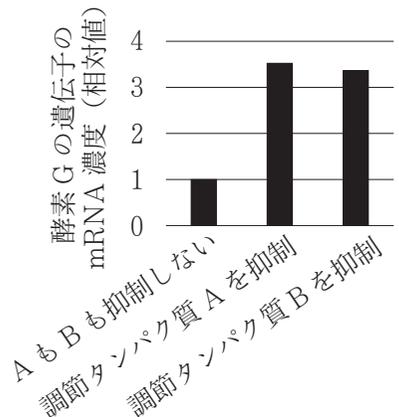


図 2

(1) エチレンとオーキシンは、それぞれ調節タンパク質 A と B の遺伝子の mRNA 濃度をどのように調節するか、最も適切なものを、次の(a)～(c)から 1 つ選び、記号で答えよ。

- (a) 上げる (b) 下げる (c) 影響を与えない

(2) 調節タンパク質 A と B は、それぞれ酵素 G の遺伝子の mRNA 濃度をどのように調節するか、最も適切なものを、次の(a)～(c)から 1 つ選び、記号で答えよ。

- (a) 上げる (b) 下げる (c) 影響を与えない

(3) エチレンは、花卉の脱離をどのように調節していると考えられるか。次の語句をすべて用いて、70 字以内（句読点を含む）で説明せよ。

調節タンパク質 酵素G mRNA

問 2 乾燥に対する応答に関する次の文章を読み、(1)と(2)の問いに答えよ。

植物は、蒸散による水の損失を防ぐために気孔を閉じる。気孔の開閉は孔辺細胞の膨圧の変化によって起こる。乾燥状態におかれると、葉で植物ホルモンの 1 つである ①アブシシン酸 が合成され、②孔辺細胞の形状が変化し、気孔が閉じて蒸散が抑えられる。

(1) 下線部①に関して、乾燥条件下で気孔を閉じさせること以外で、アブシシン酸のはたらきは何か。最も適切なものを、次の(a)～(d)から 1 つ選び、記号で答えよ。

- (a) 発芽を抑制する。
(b) 種子が発芽する時アミラーゼの合成を誘導する。
(c) 側芽の成長を促進する。
(d) 花芽の形成を促進する。

(2) 下線部②に関して、気孔が閉じる時、孔辺細胞の形状に変化が起こる原因は何か。最も適切なものを、次の(a)～(d)から1つ選び、記号で答えよ。

- (a) 細胞分裂が起こる。 (b) 細胞から水が流出する。
 (c) 細胞に水が流入する。 (d) 細胞壁の分解が起こる。

問3 果実の成長に関する次の文章を読み、(1)～(3)の問いに答えよ。

植物ホルモンのオーキシシンとジベレリンは、果実の成長を調節することが知られている。受粉していないトマトの花にオーキシシンやジベレリンの溶液を与えることで、種子のない果実を成長させることができる。この現象を調べるために次の実験を行った。受粉していないトマトの花からおしべを除去し、子房にオーキシシン溶液、ジベレリン溶液、ジベレリン合成阻害剤溶液を図3の実験番号①～⑤の組み合わせで与えた。10日後に果実の重さを測定した。その結果、図3が得られた。ただし、ジベレリン合成阻害剤はジベレリンの合成を阻害するだけで、他の反応には影響しないものとする。

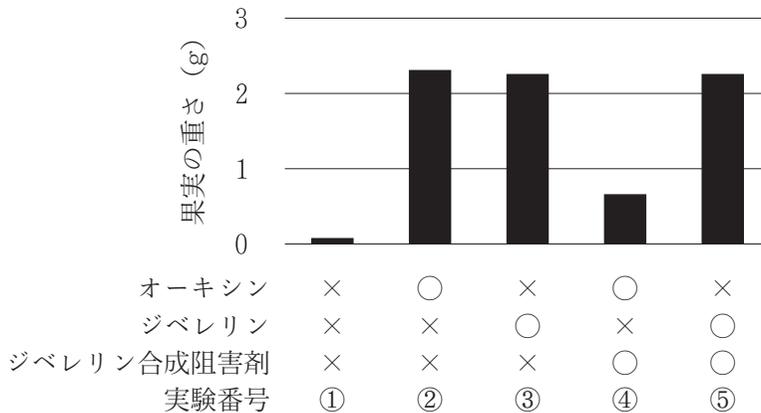


図3

○は投与あり、×は投与なし、を示す。

(1) 実験番号①, ②, ④の比較から推定されることを, 次の(a)~(d)からすべて選び, 記号で答えよ.

- (a) 子房に与えたオーキシンによって子房内でのオーキシン合成が促進される.
- (b) ジベレリン合成阻害剤によって子房に与えたオーキシンによる果実の成長が抑制される.
- (c) 子房に与えたオーキシンによって子房内でのジベレリン合成が抑制される.
- (d) 子房に与えたオーキシンによって子房内でのジベレリン合成が促進される.

(2) 実験番号①, ③, ⑤の比較から推定されることを, 次の(a)~(d)からすべて選び, 記号で答えよ.

- (a) 子房に与えたジベレリンと子房内でのジベレリン合成がともに果実の成長に必要なである.
- (b) 子房に与えたジベレリンは果実の成長を促進する.
- (c) ジベレリン合成を阻害しても子房に与えたジベレリンにより果実は成長する.
- (d) 子房に与えたジベレリンは果実の成長を抑制する.

(3) 図3から, オーキシンによる果実の成長の調節には, ジベレリンが関係していることがわかるが, 果実の成長に対するオーキシンだけの効果は, どの実験間の比較から推定できるか. ①~⑤から2つ選び, 実験番号で答えよ.

生 物

第 3 問 (25点)

神経系の構成と情報の処理に関する次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

脊椎動物の神経系は、^①脳と^②脊髄からなる（ア）と、（ア）とからだの各部位との間をつなぐ（イ）に分けられる。脳や脊髄は、受容器で受け取った情報の処理および統合を行う。（イ）は、体性神経系と（ウ）から構成される。体性神経系は、^③受容器で受け取った情報を伝える感覚神経と筋肉などの運動器官に指令を伝える運動神経からなる。（ウ）は交感神経と副交感神経からなり、筋肉や内臓のはたらきを制御することで恒常性の調節を行う。

問1 文章中の空欄（ア）～（ウ）に入る最も適切な語句を答えよ。

問2 下線部①に関して、ヒトの脳において、間脳、中脳、小脳、延髄はそれぞれどのような機能を担うか、最も適切な説明を、次の(a)～(e)から1つ選び、記号で答えよ。

- (a) 呼吸運動，血液循環（心臓拍動や血管収縮）を制御する。
- (b) 姿勢保持，眼球運動，瞳孔反射を制御する。
- (c) 内臓のはたらき，体温，血糖濃度，摂食，睡眠を制御する。
- (d) 筋肉運動，からだの平衡を制御する。
- (e) 感覚の統合，記憶や思考を行う。

問3 下線部②に関して、(1)と(2)の問いに答えよ。

- (1) 図1はヒトの脊髄の断面、および神経細胞を模式的に表したものである。黒丸は神経細胞の細胞体、黒太線は神経繊維を示し、神経繊維上の点a、点b、点c、および点dで膜電位変化を記録した。図1中の点Xを刺激し活動電位を発生させたとき、活動電位が記録されると考えられる部位をa～dからすべて選び、記号で答えよ。

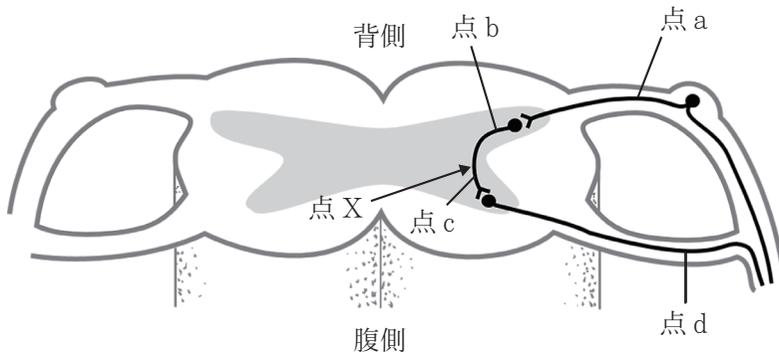


図1

- (2) ヒトの脊髄の白質には、^{すいしょう}髄鞘をもつ有髄神経繊維が多く見られる。有髄神経繊維の興奮の伝導速度は、髄鞘をもたない無髄神経繊維に比べて速い。有髄神経繊維が興奮をすみやかに伝導できるしくみを60字以内（句読点を含む）で説明せよ。

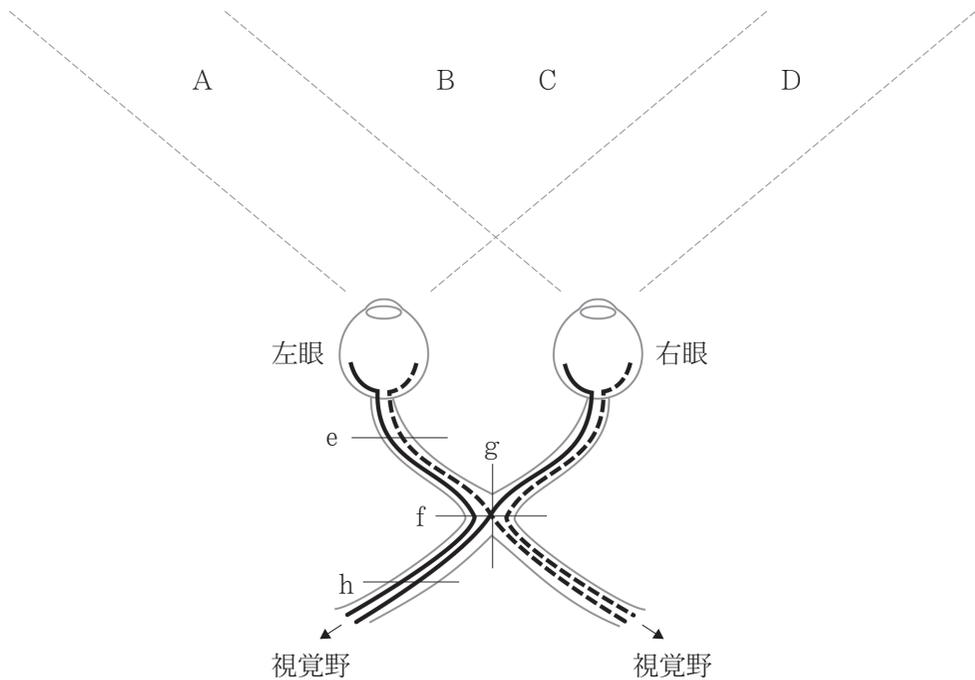
問4 下線部③に関して、(1)と(2)の問いに答えよ。

- (1) ヒトでは、音の高低は、内耳にあるうずまき管のはたらきによって区別される。音の高低は、うずまき管でどのように区別されているのか、次の3つの語句をすべて用いて、100字以内（句読点を含む）で説明せよ。

基底膜 聴細胞 聴神経

(2) 図2は、ある霊長類の前に掲示されているA～Dの文字、および両眼の網膜からの視覚情報を伝える経路を示す。両眼から文字のある方向へ向けてのびる灰色の点線（-----）は、それぞれの眼で見える範囲を示す。例えば、左眼からはA、B、Cの文字は見えるが、Dは見えない。

図2のe～hで視神経が損傷を受けて、それぞれの線と交差する経路で情報伝達ができなくなった場合、この個体に見えなくなると考えられる文字をすべて答えよ。ただし、両眼の眼球は正面を向いたままで動かさないものとする。また、網膜に届く光は凸レンズである水晶体を通るため、網膜では左右が反転する。



太実線：両眼の左側の網膜からの経路

太点線：両眼の右側の網膜からの経路

図 2

(余 白)

生 物

第 4 問 (25点)

生物の分類と生態に関する次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

生物学では、形態的・生態的に異なる、多様な分類群の生物が研究対象として用いられる。他の生物にも共通する普遍的な現象を説明するために使われる生物は、モデル生物^①と呼ばれ、特定の種が広く研究に用いられている。一方、生物の多様性に注目した研究では、さまざまな生物が用いられる。生態学における個体間関係の研究では、移動能力があり、行動の観察が可能な動物が幅広く用いられる。例えば、群れ^②の研究では、小型の魚類やライオンなどの哺乳類が、順位制^③の研究では、ニワトリなどの鳥類やハチなどの昆虫類が研究対象となる。

問1 下線部①に関して、モデル生物の系統分類上の特徴を表1に示した。表1の(ア)～(オ)に入る生物名として最も適切なものを、次の(a)～(h)からそれぞれ1つ選び、記号で答えよ。

- (a) ショウジョウバエ (b) アフリカツメガエル (c) ヤリイカ
(d) 大腸菌 (e) シアノバクテリア (f) シロイヌナズナ
(g) ゾウリムシ (h) マウス

表1

モデル生物名	核膜をもつ	多細胞生物である	細胞壁をもつ	光合成を行う	脊椎をもつ	羊膜*をもつ	脱皮する
(ア)	○	○	○	○	×	×	×
(イ)	○	○	×	×	○	○	×
(ウ)	○	○	×	×	×	×	○
(エ)	×	×	○	○	×	×	×
(オ)	○	×	×	×	×	×	×

○は該当する、×は該当しない、を示す。*^{はい}胚発生時に形成される、胚と羊水を包む膜。

問2 下線部②に関して、ある小型の魚類では、捕食者の攻撃で同種の個体が傷つくと、捕食者の存在が確認できなくても、傷ついた個体の皮膚から出た体液を感知した他の個体の行動が変化する。また、餌の匂いを感知した個体の行動も変化する。この魚の未成熟個体を水槽に10個体入れ、餌の抽出液（以下、餌の匂い）、同種の傷ついた皮膚の抽出液（以下、傷抽出液）、餌の匂いと傷抽出液の混合液（餌の匂い+傷抽出液）、何も入れていない水を水槽に加える4つの操作を行い、群れの大きさを調べたところ、図1の結果が得られた。この結果について、次の(1)~(3)の問いに答えよ。なお、群れの大きさは、個体間の距離をもとに決定した。どの個体も互いに近接していなかった場合は群れの大きさが1、全個体が近くで一緒に泳いでいた場合は、群れの大きさが10となる。

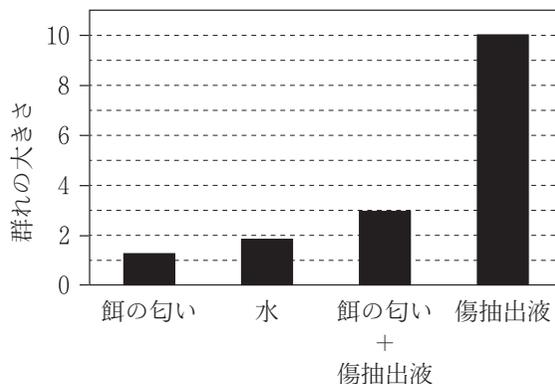


図1

- (1) この実験の傷抽出液のようなはたらきをする、個体間で情報を伝達する物質は何と呼ばれるか、名称を答えよ。
- (2) 図1の結果から、捕食者の攻撃で傷ついた同種個体がいる時といない時のそれぞれについて、この魚が餌を食べる時の群れの大きさを整数で答えよ。
- (3) 図1の結果から、この魚が未成熟な時に群れることの利益としてどのようなことが考えられるか、適切なものを、次の(a)~(f)からすべて選び、記号で答えよ。

(a) 捕食者を発見する率の増大	(b) 摂食効率の増大
(c) 繁殖機会の増加	(d) 生活環境の汚染防止
(e) 被食リスクの減少	(f) 病気のまん延防止

問3 下線部③に関して、カラスの順位を調べた。お互い出会ったことのない14羽から2羽を選び、飼育ケージで対面させ、くちばしで相手をつつく攻撃行動、および、逃避や降参音声を発するなどの服従行動から、勝敗を決定した。14羽の総当たりについて、同じ2羽の組み合わせを5回対戦させ、勝敗数にもとづいて順位を決定したところ、表2の結果が得られた。これらの結果に関して、(1)～(3)の問いに答えよ。

表2

個体	年齢	性別	勝った数	負けた数	順位
A	10	メス	0	65	14
B	10	メス	38	24	6
C	10	オス	63	0	1
D	10	メス	23	40	9
E	8	メス	17	43	10
F	8	メス	13	51	12
G	5	オス	37	21	5
H	4	メス	7	56	13
I	3	メス	28	34	8
J	2	オス	49	16	4
K	2	オス	55	10	3
L	2	オス	35	30	7
M	2	メス	16	46	11
N	2	オス	60	5	2

引き分けの場合は、勝った数にも負けた数にも入れていない。

(1) 表2のカラスの年齢と順位、および、性別と順位の関係を考察した次の文のうち、適切なものを、次の(a)～(f)から2つ選び、記号で答えよ。

- (a) 年齢の高い個体ほど、順位が高い傾向があるため、年齢と順位には関係がある。
- (b) 年齢の高い個体ほど、順位が低い傾向があるため、年齢と順位には関係がある。
- (c) 高年齢、低年齢の個体ともに、高い順位、低い順位のどちらにも見られることから、年齢と順位には関係があるとは言えない。
- (d) オスのほとんどがメスよりも順位が高いことから、性別と順位には関係がある。
- (e) メスのほとんどがオスよりも順位が高いことから、性別と順位には関係がある。
- (f) メス、オスともに、高い順位、低い順位のどちらにも見られることから、性別と順位には関係があるとは言えない。

(2) 順位制には、「独裁型」と「直線型」がある。独裁型では、1 個体だけが強く、他の個体間には明瞭な優劣関係が見られない。直線型では、どの個体も自分より順位の低い個体には勝ち、順位の高い個体には負けるため、全ての個体間に明瞭な優劣関係が見られる。表 2 から、カラスの順位制は、独裁型と直線型のどちらと考えられるか答えよ。また、そう考えられる理由を 45 字以内（句読点を含む）で説明せよ。

(3) 一方の個体が全勝した組み合わせについて、5 回の対戦で、負けた個体が服従行動をするまでに受けた攻撃回数を調べたところ、図 2 の結果が得られた。また、別の組み合わせでは、ある相手に負けた個体でも、次の相手が初対面の場合、すぐに服従行動をせず、勝敗が決まるまで攻撃を続けた。これらの結果から導かれる考察として適切なものを、次の(a)~(e)からすべて選び、記号で答えよ。

- (a) カラスは、前回負けたことを記憶している。
- (b) カラスは、対戦したことがある相手かどうかを記憶している。
- (c) カラスは、毎回の対戦ごとにお互いの強さを査定している。
- (d) カラスの服従行動は、慣れの一例とみなすことができる。
- (e) カラスの服従行動には、^{けが}怪我などのリスクを避ける役割がある。

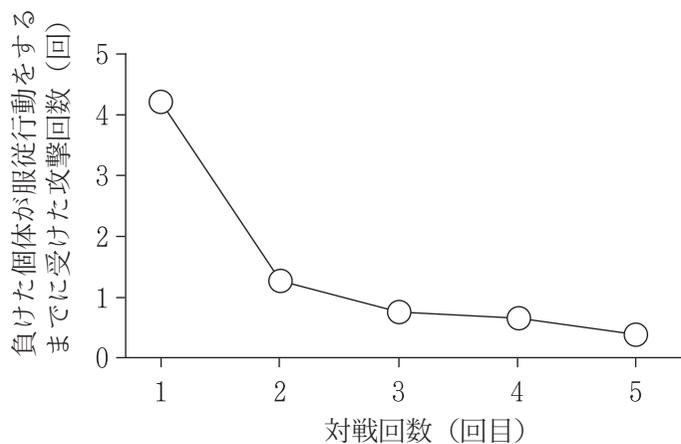


図 2

地 学

第 1 問 (35点)

次の文章を読み、問1から問5に答えよ。

図1はある地域における作成中の地質図であり、地点FとF'を通る断層fより西側の地層分布のみが描かれている。図中の破線は10m間隔の格子線である。太い実線は地層の境界線あるいは断層線であり、細い実線は10mごとの地形等高線である。ただし、標高60mの地形等高線は、地層の境界線と重なるため、太い実線で示されている。

図1の地域には、A層、B層、C層、D層の地層が分布し、地層の逆転はない。この地域にはその他の地層は存在しない。また、断層f以外の断層は存在しない。B層とC層、C層とD層はそれぞれ整合関係にあり、A層とB層、A層とC層、A層とD層はそれぞれ不整合関係にある。各地層の境界面および断層面は平面であり、それぞれの面の走向・傾斜は図1の地域内では変化しない。B層、C層、D層は断層fによって鉛直方向にのみずれている。ずれの大きさは同じであり、一定である。A層は断層fによってずれていない。地点PではC層とD層の境界面がみられた。地点QではB層とC層の境界面がみられた。

A層は礫岩^{れき}からなる。この礫岩に含まれる礫の多くは、① 斑状組織^{はんじょう}をもち、SiO₂量が約72質量%の火山岩である。B層は② 砂岩からなる。C層は泥岩からなる。D層は砂岩からなる。

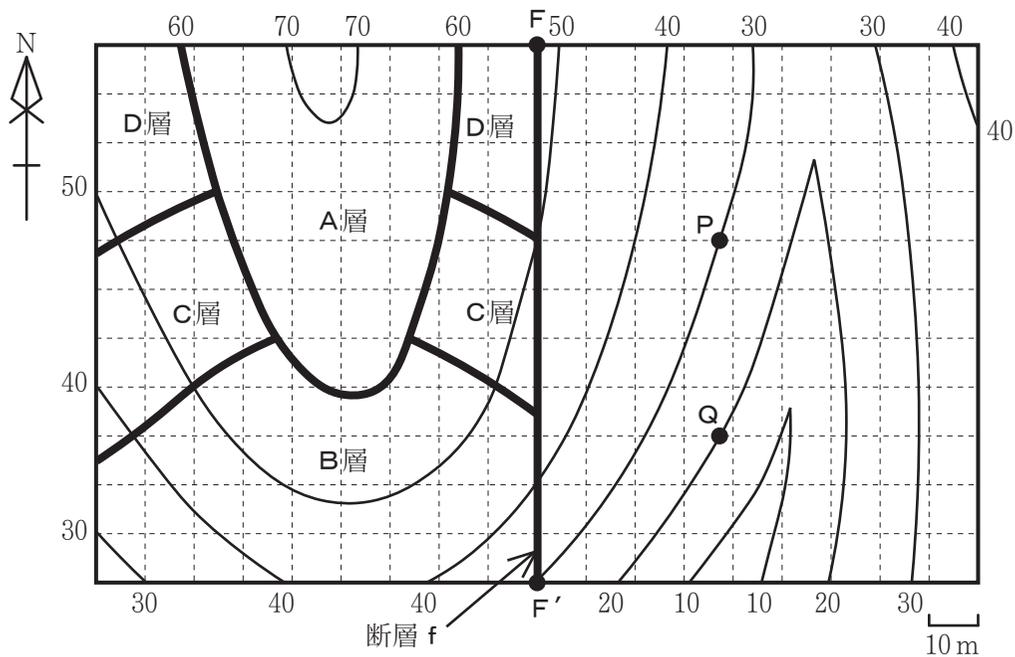


図1 ある地域の作成中の地質図

図中の破線は 10 m 間隔の格子線である。
 太い実線は地層の境界線あるいは断層線である。
 細い実線は地形等高線である。数字は等高線の標高を示し、
 単位は m である。

- 問1 C層とD層の境界面の走向を答えよ。
- 問2 断層 f によって切られた地層は、断層 f のどちら側（東側または西側）が何 m 相対的に上昇しているかを答えよ。
- 問3 解答用紙の図上に、断層 f より東側の地域の地質図を描け。西側の地域と同様に、地層の境界線を実線で引き、地層の分布域に地層名を記入せよ。なお、A層は断層 f より東側の地域には存在しないことがわかっている。

問4 下線部①に関して、次の(1)と(2)の問いに答えよ。

(1) この火山岩の名称として最も適切なものを、次の(ア)～(カ)の中から1つ選び、記号で答えよ。

- (ア) 花こう岩 (イ) 玄武岩 (ウ) 流紋岩 (エ) 斑れい岩
(オ) 安山岩 (カ) 閃緑岩^{せんりょく}

(2) 斑状組織を次の語をすべて用いて説明せよ。

斑晶 石基 マグマ ガラス

問5 下線部②に関して、砂岩を構成する粒子の粒径(直径)として最も適切なものを、次の(ア)～(オ)の中から1つ選び、記号で答えよ。

- (ア) $\frac{1}{32}$ mm \sim $\frac{1}{16}$ mm (イ) $\frac{1}{16}$ mm \sim 2 mm (ウ) 2 mm \sim 4 mm
(エ) 4 mm \sim 6 mm (オ) 6 mm \sim 8 mm

(余 白)

地 学

第 2 問 (35点)

次の文章を読み、問1から問5に答えよ。

海溝は、海洋プレートが大陸プレートに沈みこんでいる場所であり、沈みこみ境界にみられる大地形である。①沈みこみ境界では、地震や火山の活発な活動がみられる。図1に、大陸～日本列島（東北日本）～太平洋の鉛直断面の震源分布を示す。

海溝より大陸側では、日本列島のような（ア）とよばれる地形ができています。（ア）においては、火山が海溝と平行に帯状に分布している。海溝から火山の分布域までの間には、火山がない地域があり、火山が出現しはじめる海溝寄りの境界を（イ）とよぶ。（イ）の付近では火山の分布密度が高く、噴出量が多いことから、直下の地球内部において、②マグマが発生していると考えられている。マグマは液体であり、周囲の岩石より密度が低いので浮力によって移動しやすく、③地下数 km のところまで上昇したのち停滞し、マグマだまりをつくる。マグマは地表に噴出して火山を形成する。

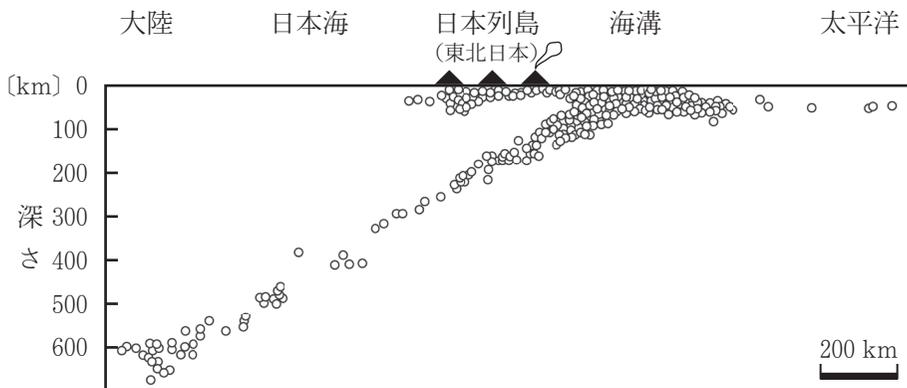


図1 大陸～日本列島（東北日本）～太平洋の鉛直断面の震源分布
○は地震の震源，▲は火山を示す。

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 下線部①に関連して、沈みこみ境界以外で地震や火山の活発な活動がみられるプレート境界の名称と、そこでみられる地形を1つ答えよ。

問3 図1に関連して、次の(1)と(2)の問いに答えよ。

- (1) 図1にみられる、大陸側に向かって傾斜する深い領域の震源分布面の名称を答えよ。
- (2) 深さ H [km] を震源とする地震が発生したとき、地表の地点Aにおいて、初期微動継続時間 T [s] が観測された。このときの地点Aから震央までの距離 L [km] を求める式を示せ。大森公式を用い、式を求めた過程も示せ。ただし、大森公式の比例係数 k [km/s] は一定とし、震源から観測点まで変化しないものとする。

問4 下線部②に関して、マグマの発生において沈みこみ境界の水 (H_2O) がもたらす役割を説明せよ。

問5 下線部③に関連して、次の(1)と(2)の問いに答えよ。

- (1) マグマだまりにおいて、マグマの分化をもたらす作用を3つ答えよ。また、それぞれを説明せよ。
- (2) 図1の日本列島から海溝でみられる地殻熱流量の特徴を、次の語をすべて用いて100字以内で説明せよ。

太平洋プレート 火山

地 学

第 3 問 (30点)

次の文章を読み、問1から問6に答えよ。

地球表層の水の (ア) %以上が海洋に存在している。塩分は海水1 kgに含まれる塩類の質量 [g] で示され、単位は‰ (千分率) を用いる。海水には様々な塩類が溶けており、塩類の組成比では、(イ) が最も多く、次いで (ウ) が多い。塩類の組成比はどこでも一定であるが、① 塩分は海洋の場所によって変化する。 外洋域では、塩分は (エ) ‰の範囲にある。

② 海洋表層には、ほぼ一定の方向に流れている水平方向の海水の流れである海流が存在する。 海流の向きや強さは、海上を吹く風や地球の自転などに影響を受ける。北太平洋や北大西洋などの各海域には、亜熱帯高圧帯のまわりを吹く貿易風や偏西風によって、表層に (オ) 回りの巨大な循環 (亜熱帯循環系) が形成されている。黒潮やメキシコ湾流は、巨大な循環の (カ) 側に位置し、低緯度から中緯度に向かう強い流れとなっている。

一方、③ 海洋表層から深部に向かう鉛直方向の海水の流れは、深層循環とよばれる地球規模の大循環を形成する。 この海水の流れは海流に比べるときわめて遅い。表層から沈み込んだ海水が深層を巡ってからわき上がり、もとの場所に戻るには (キ) 年かかると見積もられている。

問1 文章中の空欄 (ア) に入る最も適切な数値を、次の (a) ~ (d) の中から1つ選び、記号で答えよ。

- (a) 55 (b) 62 (c) 72 (d) 97

問2 文章中の空欄 (イ), (ウ), (オ), (カ) に入る最も適切な語を答えよ。

問3 文章中の空欄（エ）と（キ）に入る最も適切な数値の範囲を，次の(a)～(g)の中から1つ選び，記号で答えよ.

- (a) 13～28 (b) 33～38 (c) 43～58 (d) 100～250
(e) 500～1000 (f) 1000～2000 (g) 15000～20000

問4 下線部①に関連して，亜熱帯高圧帯と熱帯収束帯で表層付近の塩分に違いが生じる理由を，次の語をすべて用いて説明せよ.

降水量 蒸発量 ハドレー循環

問5 下線部②に関連して，海流が地球の熱輸送にはたす役割を，次の語をすべて用いて130字以内で説明せよ.

低緯度 高緯度 太陽放射 地球放射

問6 下線部③に関して，北大西洋北部の高緯度地域で海水の沈み込みが生じる理由を説明せよ.