

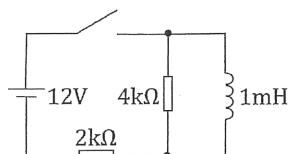
# 物 理

以下の各問題の解答はすべて解答欄に記入しなさい。選択肢問題以外は、特に指示のない限り解答の過程も簡潔に示しなさい。

**1** 以下の文章の ( ① ) から ( ⑫ ) に適切な数値または物理量を入れなさい。ただし、解答の過程は示さなくてよい。

- [1] 鉛直方向上向きの加速度で等加速度運動するエレベーターを考える。加速度の大きさは重力加速度の大きさの  $\frac{1}{3}$  倍とする。エレベーター内で静止している物体にはたらくみかけの重力の大きさは、その物体が地上で静止しているときにはたらく重力の大きさの ( ① ) 倍である。ある鉛直ばね振り子をエレベーター内で振動させたときの周期は、地上で振動させたときの周期の ( ② ) 倍である。ある単振り子をエレベーター内で微小振動させたときの周期は、地上で微小振動させたときの周期の ( ③ ) 倍である。

- [2] コイル、スイッチ、内部抵抗の無視できる直流電源、2 個の抵抗を使って図のような回路をつくった。スイッチを入れた直後、 $2\text{ k}\Omega$  の抵抗を流れる電流は ( ④ ) mA であり、コイルに生じる誘導起電力の大きさは ( ⑤ ) V である。スイッチを入れて十分時間が経過したとき、 $2\text{ k}\Omega$  の抵抗を流れる電流は ( ⑥ ) mA である。



- [3] 振動数がそれぞれ  $40\text{ Hz}$ 、 $42\text{ Hz}$  のおんさを同時に鳴らしたところ、うなりの周期が  $T$  であった。時間  $T$  の間の波の数は各々  $40T$  個、 $42T$  個であり、その差  $2T$  は波 ( ⑦ ) 個分なので、 $T =$  ( ⑧ ) s である。したがって、1 秒あたりのうなりの回数は ( ⑨ ) 回であることがわかる。

- [4] ある物質の性質を調べるため  $0.0^\circ\text{C}$  の固体  $100\text{ g}$  に毎秒  $20.0\text{ J}$  の熱を加え続けたところ、次の観察結果が得られ、この物質の融解熱は ( ⑩ )、蒸発熱は ( ⑪ )、液体の比熱は ( ⑫ ) であることがわかった。

観察結果

- ・物質の温度が  $5.0^\circ\text{C}$  に達するまで、物質の状態に変化はなかった。
- ・ $5.0^\circ\text{C}$  に達した後、630 秒間一定の温度を示し、この間に物質はすべて液体に変化した。
- ・その後、液体の温度は時間に対して一定の割合で上昇し、液体の温度が上昇し始めてから 900 秒後に  $80.0^\circ\text{C}$  に達した。この間に液体の質量は減少しなかった。
- ・ $80.0^\circ\text{C}$  に達した後、1970 秒間一定の温度を示し、この間に物質はすべて気体に変化した。



2 図1のように、滑らかで水平な床に質量  $M$  の台車が置かれている。床には段差があり、段差の上は滑らかな水平面となっている。台車の上面は粗く、上面の高さは段差の上の水平面の高さと同じである。質量  $m_0$  の小物体を段差の上の水平面に置き、速さ  $v_0$  で滑らせたところ、小物体は台車の上面を滑るようになり、同時に台車も動き出した。小物体が台車の上面に到達してから  $T_1$  だけ時間が経つと、台車と小物体の相対速度は 0 になった。その後、台車は壁に衝突しはね返ったが、小物体の床に対する速度の向きは変化しなかった。この衝突の直後より小物体は再び台車の上面を滑りだした。台車と小物体は互いに逆向きに運動し、両物体の相対速度は徐々に減少した。相対速度が 0 になると同時に両物体は床に対して静止した。この間、台車が段差に到達することはなかった。重力加速度の大きさを  $g$ 、小物体が台車の上面に到達した時刻を  $t=0$ 、台車が壁に衝突した時刻を  $t=T_2$  とする。図2は小物体の床に対する速さと時刻の関係を表したグラフである。

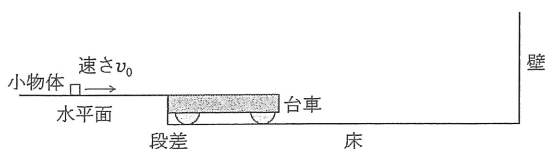


図 1

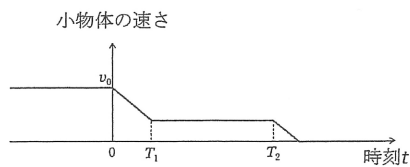


図 2

- [1] 小物体が段差の上の水平面を滑っているときの小物体の運動量の大きさを答えなさい。解答の過程は示さなくてよい。
- [2] 台車が壁に衝突するまでの間、台車と小物体に水平方向の外力ははたらかず全運動量は保存する。このことを用いて、台車が壁に衝突する直前の台車の床に対する速さを求めなさい。
- [3]  $0 < t < T_1$  のとき、小物体の床に対する加速度の大きさを求めなさい。
- [4] 台車の上面と小物体の間の動摩擦係数を求めなさい。
- [5] 台車が運動を開始してから壁に衝突するまでに、台車にはたらく動摩擦力が台車に与える仕事を求めなさい。ただし、小物体が台車の上面を滑っているとき小物体と台車の間に摩擦熱が生じ、力学的エネルギーは保存しないことに注意しなさい。
- [6] 台車が壁に衝突するまでの間に小物体が台車の上面を滑った距離（台車に対する移動距離）を求めなさい。
- [7] 台車が壁に衝突した後に、床に対して静止する時刻  $t$  を求めなさい。
- [8] 台車が壁に衝突した直後の台車の速さを求めなさい。

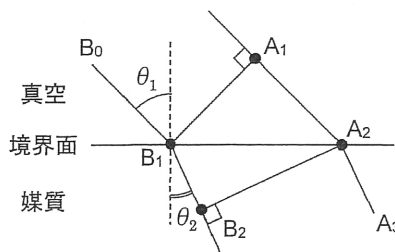


3 点電荷がつくる電場や電位に関して、以下の各問に答えなさい。ただし、すべての点電荷は動き出さないように位置が固定されているものとする。また、クーロンの法則の比例定数を  $k$  とし、電気量  $q$  および設問中の  $a$  は正の値であるとする。

- [1]  $xy$  平面上の点  $(a, 0)$  に電気量  $q$  の点電荷があり、点  $(-2a, 0)$  に電気量  $2q$  の点電荷があるとき、原点につくられる電場（電界）の向き（ $x$  軸の正の向きか負の向きか）と大きさを求めなさい。さらに原点における電位を求めなさい。ただし、無限遠を電位の基準とする。解答の過程は示さなくてよい。
- [2]  $xy$  平面上の点  $(a, 0)$ 、 $(-a, 0)$ 、 $(0, -a)$  に電気量  $q$  の点電荷がそれぞれあるとき、原点につくられる電場の大きさを求めなさい。
- [3] [2] の状態からさらに電気量  $q$  の別の点電荷を点  $(0, a)$  に置いた。この点電荷のもつ、静電気力による位置エネルギーを求めなさい。ただし、無限遠を位置エネルギーの基準とする。
- [4] 平面上の正六角形の各頂点に電気量  $q$  の点電荷があるとき、この正六角形に外接する円の中心につくられる電場の大きさを求めなさい。ただし、外接円の半径を  $r$  とする。
- [5] [4] の状態から正六角形の頂点の一つにある点電荷を取り去ったとき、この正六角形に外接する円の中心につくられる電場の大きさを求めなさい。
- [6] 平面上の正七角形の各頂点に電気量  $q$  の点電荷があるとき、この正七角形に外接する円の中心につくられる電場の大きさを求めなさい。ただし、外接円の半径を  $r$  とする。
- [7] [6] の状態から正七角形の頂点の一つにある点電荷を取り去ったとき、この正七角形に外接する円の中心につくられる電場の大きさを求めなさい。



4 図は真空から媒質へ光が進む様子を表した模式図である。光は  $A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow A_3$ 、あるいは  $B_0 \rightarrow B_1 \rightarrow B_2$  のように進む。線分  $A_1B_1$ 、線分  $A_2B_2$  は同じ位相の波面を表す。 $\theta_1$  は入射角、 $\theta_2$  は屈折角である。真空中の光の速さ、波長、振動数をそれぞれ  $c$ 、 $\lambda$ 、 $f$  とし、媒質中の光の速さ、波長、振動数をそれぞれ  $v$ 、 $\lambda'$ 、 $f'$  とする。また、媒質の屈折率を  $n$  とする。以下の各問に答えなさい。



[1] 次の文章の①～⑥にあてはまる式を答えなさい。解答の過程は示さなくてよい。

屈折率を  $c$ 、 $v$  を用いて表すと、 $n = ( \text{①} )$  である。また、 $\frac{A_1A_2}{B_1B_2}$  を  $c$ 、 $v$  を用いて表すと  $( \text{②} )$  である。ここで、 $\triangle A_2B_1A_1$  と  $\triangle A_2B_1B_2$  を考える。この二つの三角形の共通な辺  $A_2B_1$  を用いると、 $A_1A_2 = A_2B_1 \cdot \sin ( \text{③} )$ 、および  $B_1B_2 = A_2B_1 \cdot \sin ( \text{④} )$  と書ける。以上より、屈折率を角度を用いて表すと  $n = ( \text{⑤} )$  となる。これを屈折の法則という。屈折率を  $\lambda$ 、 $f$ 、 $\lambda'$ 、 $f'$  を用いて表すと  $n = ( \text{①} ) = ( \text{⑥} )$  であるが、 $\frac{A_1A_2}{B_1B_2} = \frac{\lambda}{\lambda'}$  であることを用いると、 $f = f'$  である。すなわち、光は真空から媒質へ進んでも、その振動数は変化しないことがわかる。

[2] 次の文章の⑦、⑧にあてはまる数値を答えなさい。また、⑨に当てはまる色を【選択肢】(a)～(f) から一つ選び、その記号を答えなさい。必要であれば表を参考にしてよい。

真空中で  $\lambda = 540 \text{ nm}$  の緑色の単色光が空気から水へ入射した。真空中の光の速さを  $3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$ 、空気の屈折率を 1.00、水の屈折率を 1.33 とする。水中での光の振動数は  $( \text{⑦} ) \text{ Hz}$  であり、波長は  $( \text{⑧} ) \text{ nm}$  である。ヒトの眼は光の振動数の値に対応して色を識別している。対応は表に示されたとおりである。真空中で波長  $540 \text{ nm}$  の緑色の光は、水中にいるヒトの眼では  $( \text{⑨} )$  色の光として認識される。

【選択肢】

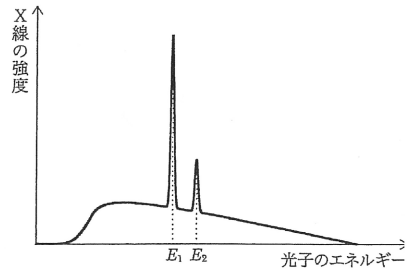
- (a) 紫
- (b) 青
- (c) 緑
- (d) 黄
- (e) 橙
- (f) 赤

表 真空中の光の振動数、波長、色の関係

振動数 [ $\times 10^{12} \text{ Hz}$ ]	波長 [nm]	色
699-789	380-429	紫
613-698	430-489	青
546-612	490-549	緑
509-545	550-589	黄
469-508	590-639	橙
384-468	640-770	赤



5 真空中において、はじめ静止した電子を電位差  $V$  で加速して金属に衝突させたところ、図のような光子のエネルギー分布をもつ X 線が発生した。鋭いピークをつくる光子のエネルギーは  $E_1$  および  $E_2$  ( $> E_1$ ) であった。電気素量を  $e$ 、プランク定数を  $h$ 、真空中の光速を  $c$ 、電子の静止エネルギーを  $M$  とする。ただし、数値を計算する場合には、 $V = 40 \text{ kV}$ 、 $E_1 = 17 \text{ keV}$ 、 $E_2 = 20 \text{ keV}$ 、 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、 $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ 、 $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ 、 $M = 0.5 \text{ MeV}$  として計算しなさい。なお、光子は電場の影響を受けないものとする。以下の各問に答えなさい。解答の過程は示さなくてよい。



- [ 1 ] 電子の質量を文字式で答えなさい。  
 [ 2 ] プランク定数の単位を  $\text{J}\cdot\text{s}$  から  $\text{eV}\cdot\text{s}$  に変換し、その数値を有効数字 2 けたで答えなさい。
- [ A ] 金属に衝突する直前の電子について以下の各問に答えなさい。  
 [ 3 ] 運動エネルギーを文字式で答えなさい。  
 [ 4 ] 運動量を文字式で答えなさい。  
 [ 5 ] 物質波 (ド・ブロイ波) の波長を文字式で答えなさい。  
 [ 6 ] 物質波の波長を有効数字 1 けたの数値で答えなさい。

[ B ] 次の文章を読み、発生した X 線について以下の各問に答えなさい。

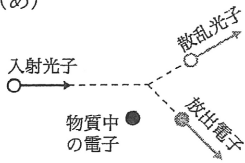
特性 X 線 (固有 X 線) は金属原子から放出される。その仕組みは、ボーアの水素原子模型で説明された水素原子のスペクトルの発生の仕組みと同じである。図中の特性 X 線は、量子数 2 の軌道にある電子が量子数 1 の軌道へ遷移したときに放出される光子、および量子数 3 の軌道にある電子が量子数 1 の軌道へ遷移したときに放出される光子に対応する。また、連続 X 線は主に制動放射という現象によって発生する。制動放射とは、原子に入射したエネルギーの高い電子が原子核のまわりの電場によって速度を変えた時に光子を放出する現象である。コンプトン効果も連続 X 線のエネルギー分布を形成する一つの要因である。

- [ 7 ] 下線部 (A) の光子の波長を文字式で答えなさい。  
 [ 8 ] 下線部 (A) の光子の運動量を文字式で答えなさい。  
 [ 9 ] 発生する X 線の最大振動数を有効数字 2 けたの数値で答えなさい。  
 [ 10 ] 【選択肢】 (あ) ~ (そ) の図から制動放射とコンプトン効果の模式図としてもっとも適切な図をそれぞれ選び、その記号を答えなさい。ただし、図の矢印の方向は粒子の進行方向を表す。また、破線は粒子の軌跡を表し、破線の交点は反跳粒子および放出粒子の発生点を表している。なお、散乱とは入射粒子の進行方向が変わること、反跳とは入射粒子との衝突によって物質中の粒子がはじき飛ばされること、放出とはなんらかの作用や現象によって新しい粒子が発生し飛び出すことを意味する。

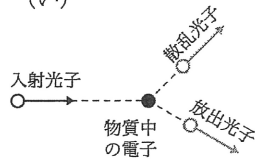


【選択肢】

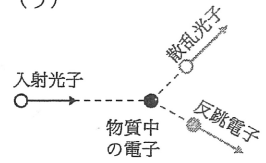
(あ)



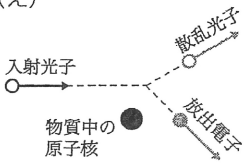
(い)



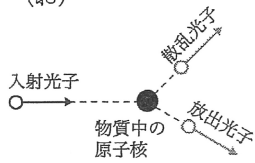
(う)



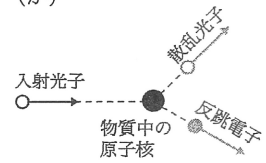
(え)



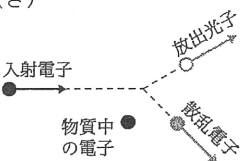
(お)



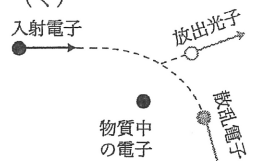
(か)



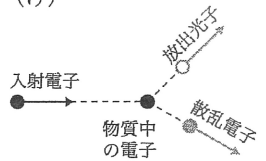
(き)



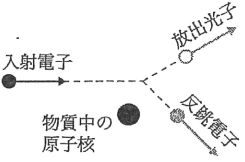
(く)



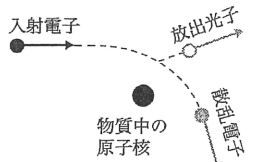
(け)



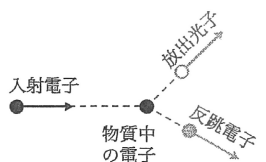
(こ)



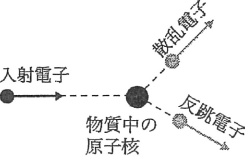
(さ)



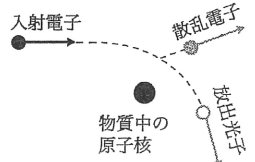
(し)



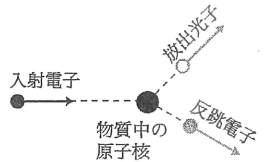
(す)



(せ)



(そ)



◇M3(807-28)

# 化 学

[注意] 必要があれば、次の値を用いよ。

定数  $e=2.72$      $\log_e 2=0.693$

原子量 H=1.00    C=12.0    O=16.0

1 以下の問いに答えよ。

[1] 水溶液中の過酸化水素  $\text{H}_2\text{O}_2$  の分解反応 ( $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ ) の速度は常温では小さいが、酸化マンガン(IV)  $\text{MnO}_2$  や鉄(III)イオン  $\text{Fe}^{3+}$  などの触媒が存在すると、常温でも分解反応の速度が大きくなる。

1)  $\text{H}_2\text{O}_2$  水溶液に塊状の  $\text{MnO}_2$  を加えたところ、 $\text{H}_2\text{O}_2$  の分解が促進された。用いる  $\text{H}_2\text{O}_2$  水溶液の濃度および加える  $\text{MnO}_2$  の質量を変えずに、 $\text{H}_2\text{O}_2$  の分解反応の速度をさらに大きくするにはどうすればよいか。その具体的な方法を2通り考案せよ。

2) ある濃度の  $\text{H}_2\text{O}_2$  水溶液をビーカーに注ぎ、これに触媒として  $\text{Fe}^{3+}$  の水溶液を少量加えて均一にしたところ、 $\text{H}_2\text{O}_2$  の分解が促進された。

縦軸を水溶液中の  $\text{H}_2\text{O}_2$  濃度  $[\text{H}_2\text{O}_2]$   $[\text{mol/L}]$ 、横軸を反応時間  $t$   $[\text{min}]$  とした  $[\text{H}_2\text{O}_2]$  の時間変化のグラフを描くと、任意の時刻  $t$  における  $\text{H}_2\text{O}_2$  の分解速度  $v$   $[\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{min})]$  は、その時刻における接線の傾きに相当する。反応速度定数  $k$  を用いると、 $\text{H}_2\text{O}_2$  の分解速度  $v$  は次の式1で表される。

$$v = -\frac{d[\text{H}_2\text{O}_2]}{dt} = k[\text{H}_2\text{O}_2]$$



Fe<sup>3+</sup>の水溶液を加え、水溶液を均一にした時刻を反応開始時刻  $t = 0$  とする。 $t = 0$  における  $[H_2O_2]$  を  $[H_2O_2]_0$  とすると、式 1 を変形した後に積分することで次の式 2 が得られる。

$$\log_e[H_2O_2] = -kt + \log_e[H_2O_2]_0 \quad (\text{式 2})$$

表 1 は、水溶液中の  $[H_2O_2]$  およびその自然対数の値をまとめたものである。有効数字は 2 桁とし、問い i) ~ iv) に答えよ。ただし、 $H_2O_2$  の分解反応により水溶液の温度は変化せず、加えた Fe<sup>3+</sup>の水溶液による全体の体積の変化は無視できるものとする。

時刻 $t$ [min]	5	10	15	20	25
$[H_2O_2]$ [mol/L]	$2.5 \times 10^{-1}$	$1.7 \times 10^{-1}$	$1.1 \times 10^{-1}$	$7.4 \times 10^{-2}$	$5.0 \times 10^{-2}$
$\log_e[H_2O_2]$	-1.4	-1.8	-2.2	-2.6	-3.0

表 1

- i) 表 1 の  $\log_e[H_2O_2]$  の値すべてを解答欄に打点し、 $t = 0$  からの  $\log_e[H_2O_2]$  の時間変化が読み取れるグラフを作成せよ。
- ii)  $H_2O_2$  の分解反応の速度定数  $k$  を求めよ。ただし、 $k$  の単位を必ず付記すること。
- iii)  $[H_2O_2]_0$  を求めよ。
- iv)  $[H_2O_2]$  が  $[H_2O_2]_0$  の半分になるまでにかかる時間 [min] を求めよ。

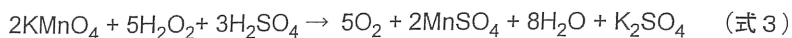




〔2〕  $\text{H}_2\text{O}_2$  は、反応する物質によって酸化剤にも還元剤にもなる。

1) 電子の授受に言及し、酸化剤および還元剤のはたらきをそれぞれ1行で説明せよ。

2) 硫酸酸性水溶液中における  $\text{H}_2\text{O}_2$  と過マンガン酸カリウム  $\text{KMnO}_4$  の反応を式3に示す。



i) 反応前と反応後のマンガン Mn 原子の酸化数をそれぞれ求めよ。

ii)  $\text{H}_2\text{O}_2$  は  $\text{KMnO}_4$  に対して酸化剤・還元剤のどちらとしてはたらくか。正しい選択肢を丸で囲め。また、このときの  $\text{H}_2\text{O}_2$  のはたらきを、電子  $e^-$  を含むイオン反応式で表せ。

iii) 濃度不明の  $\text{H}_2\text{O}_2$  水溶液 400 mL に、0.50 mol/L の  $\text{KMnO}_4$  水溶液を硫酸酸性条件下で加えていったところ、 $\text{H}_2\text{O}_2$  が完全に水と酸素に分解されるまでに 80 mL を必要とした。この  $\text{H}_2\text{O}_2$  水溶液のモル濃度 [mol/L] を有効数字2桁で求めよ。

3) 硫酸酸性水溶液中で  $\text{H}_2\text{O}_2$  とヨウ化カリウム KI を反応させると、ヨウ素  $\text{I}_2$  が生じ、水溶液が無色から褐色に変化する。

i) この反応を、式3にならい化学反応式で表せ。

ii)  $\text{H}_2\text{O}_2$  は KI に対して酸化剤・還元剤のどちらとしてはたらくか。正しい選択肢を丸で囲め。また、このときの  $\text{H}_2\text{O}_2$  のはたらきを、電子  $e^-$  を含むイオン反応式で表せ。



◇M3(807)

2 糖は分子中に複数のヒドロキシ基をもつ多価アルコールであり、カルボン酸と脱水縮合するとエステルになる。ある脂肪酸と二糖  $C_{12}H_{22}O_{11}$  のエステル（化合物 X）の構造を図 1 に示す。ただし、構造の一部は枠①で隠されている。化合物 X に関連する実験 1~4 を行った。

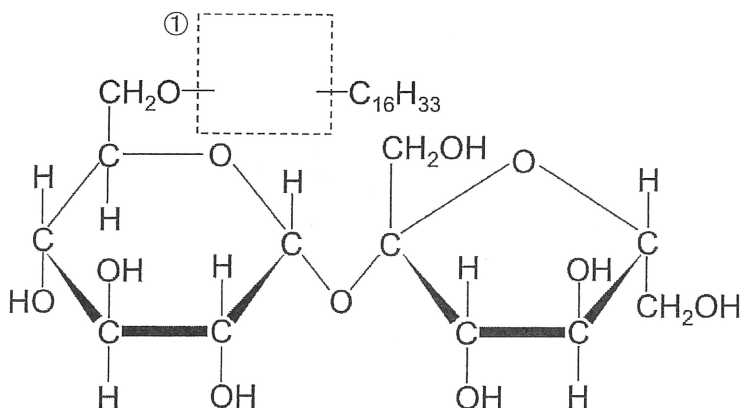


図 1 化合物 X

実験 1 <操作> 60.8 mg の化合物 X を完全燃焼させた。

<結果> 二酸化炭素 132 mg と水 50.4 mg のみが生じた。

実験 2 <操作> 化合物 X に水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱した。

<結果> 脂肪酸の塩と二糖が生じた。

実験 3 <操作> 実験 2 で得られた二糖にフェーリング液を加えて加熱した。

<結果> 反応は起こらなかった。

実験 4 <操作> 実験 2 で得られた二糖をグリコシド結合分解酵素と反応させた後、

フェーリング液を加えて加熱した。

<結果> 赤色沈殿が生じた。



[1] 実験 1 に関する問いに答えよ。

- 1) 化合物 X の分子量を有効数字 3 桁で求めよ。
- 2) 枠①で隠された部分の構造を描け。ただし、元素記号と価標を省略しないこと。

[2] 不斉炭素原子について、以下の問いに答えよ。

- 1) 不斉炭素原子の定義を 1 行で記せ。
- 2) 化合物 X がもつ不斉炭素原子の数を記せ。

[3] 実験 2 に関する問いに答えよ。

- 1) このとき起こった、水酸化ナトリウムによるエステルの加水分解反応の名称を 3 文字で記せ。
- 2) 得られた脂肪酸の塩を組成式で表せ。

[4] 実験 3 の結果を考察して、実験 4 に関する問いに答えよ。

1) 実験 4 で用いた酵素を【選択肢】から 1 つ選び、記号で記せ。

- 【選択肢】 (ア) アミラーゼ                      (イ) インベルターゼ                      (ウ) セルラーゼ  
(エ) トレハラーゼ                      (オ) プロテアーゼ                      (カ) マルターゼ

2) 水溶液中での糖の構造変換と官能基に言及して、実験 4 で赤色沈殿を生じた理由を 2 行以内で

説明せよ。



〔5〕透明な容器に水を加え、化合物 X を滴下して実験 5 を行った。

実験 5 <操作> 容器にふたをしてよく振り混ぜた後、側面から強い光線を当てて観察した。

<結果> 光の進路が明るく輝いて見えた。

1) 実験 5 の結果で、光の進路が明るく輝いて見える現象の名称を記せ。

2) 1) の現象が観察されたのは、化合物 X が特定の大きさの粒子を形成し、水溶液中に分散された

からである。その粒子の断面の模式図を描け。ただし、粒子を形成する化合物 X は 6 つ描き、

化合物 X は親水性部分を○、疎水性部分を  で表すものとする。さらに、この粒子の

構造の特徴を 2 行以内で説明せよ。



# 生物

1 次の文章を読んで下の質問に答えなさい。

臓器や組織などの光学顕微鏡による観察法に、ホルマリン等で固定された試料を薄く切った「切片」を用いる方法がある。多くの場合、作製される切片の厚さは、真核細胞の平均的な大きさよりも薄い  $3 \sim 5 \mu\text{m}$  程度で、これをスライドガラスに貼り付け、色素で染色して観察する (図 1)。

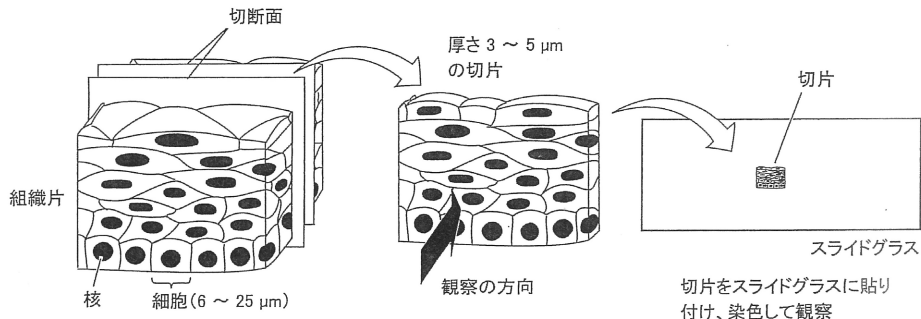
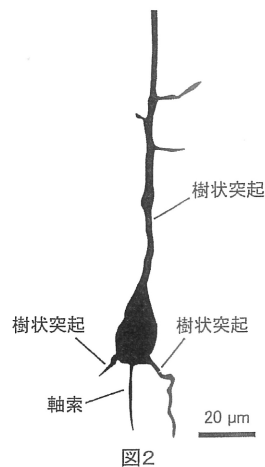


図 1

中枢神経系はニューロンとグリア細胞とから成る。ニューロンは長い軸索や樹状突起を有し、しかも中枢神経系では膨大な数の細胞が密集しているため、全部の細胞を染色すると細胞やその突起の境界の観察が困難になる。中枢神経系におけるニューロンの形態に関する分析は、カミッロ・ゴルジが考案した染色・観察法をサンティアゴ・ラモン・イ・カハールが応用したことで大幅に進歩した。この方法の要点は、第一に少数のニューロンがまばらに染色され、しかも染色されたニューロンでは突起の末端まで染色される点にある。要点の第二は、観察のために用意される切片が通常の場合よりも厚い ( $20 \sim 100 \mu\text{m}$ ) ことにある。図 2 はそのようにして観察されたニューロンのスケッチである。実際にはこの周囲にも別のニューロンの細胞体や突起が多く存在するが、それらは染色されていない。また、全体が黒く染色されるため内部は観察できないが、ニューロンの突起を追跡する上では威力を発揮する。



細胞を生きのまま標識して観察する方法に、蛍光タンパク質の遺伝子を導入し、それを発現させる方法がある。これに特殊な顕微鏡を組み合わせることで、対象を生きのまま表面から最大  $2 \text{ mm}$  程度の深度まで観察することが可能である。

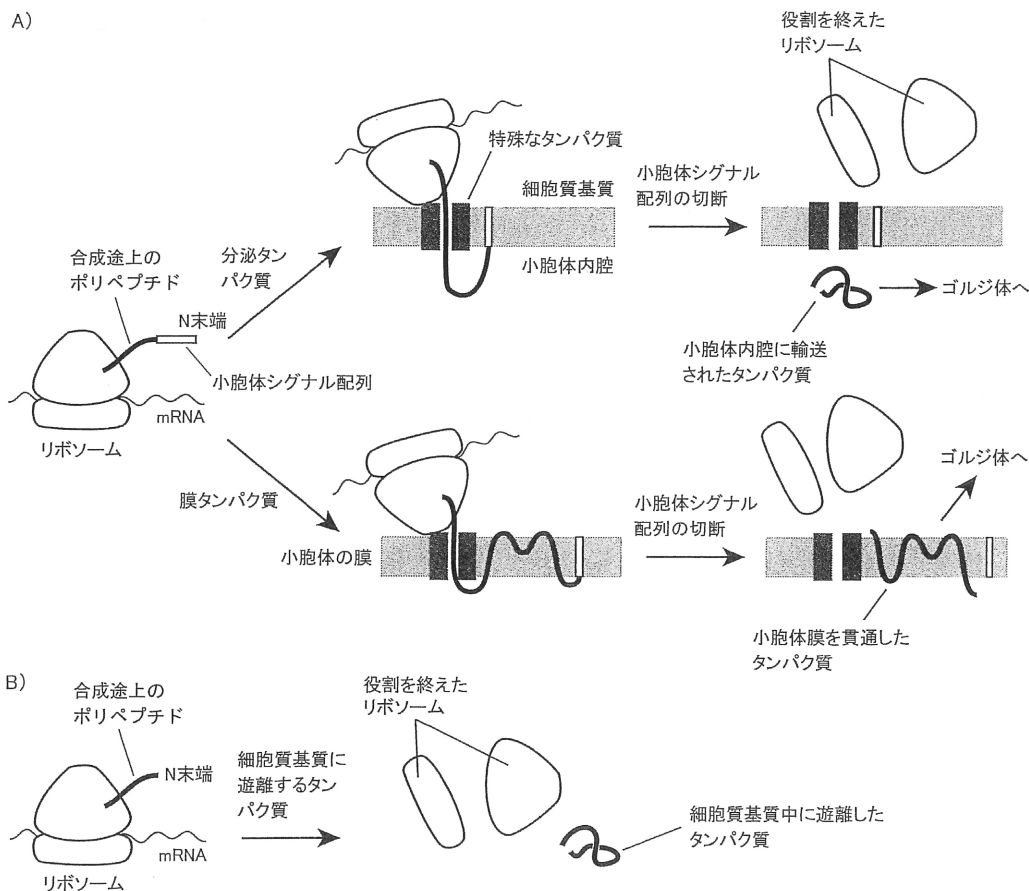
真核細胞では、翻訳はリボソームが細胞質基質に遊離した状態で始まる。この際、mRNA の  $5' \rightarrow 3'$  の方向 (開始コドン→終止コドンの方向) は、タンパク質における N 末端→C 末端の方向に一致している。

分泌されるタンパク質や細胞膜を貫通するタンパク質 (膜タンパク質) の翻訳では、まず N 末端側



に小胞体シグナル配列（シグナルペプチド）というペプチドが合成されてくる（図 3A）。すると、リボソームは小胞体膜上に結合し、合成途中のポリペプチドは小胞体の膜にある特殊なタンパク質により輸送されながら、翻訳が継続される。

分泌タンパク質では、小胞体シグナル配列が切断され、ポリペプチドは特殊なタンパク質によって輸送されて小胞体内腔に遊離する（図 3A 上段）。膜タンパク質の場合は、疎水性の高いアミノ酸配列が小胞体の膜に挿入されながら翻訳が進行する（図 3A 下段）。後述する AMPA 受容体を構成するポリペプチドでは、小胞体シグナル配列は切断され、翻訳が完了したポリペプチドは小胞体の膜に貫通した状態になる（図 3A 下段）。一方、細胞質基質中で働くタンパク質は小胞体シグナル配列を持たず、翻訳は一貫して細胞質基質に遊離した状態で進行する（図 3B）。



翻訳が完了した分泌タンパク質はゴルジ体に輸送され、そこで最終的な修飾を受け、ゴルジ体から分離する小胞（脂質二重層でできた袋状の構造）の内腔に入る。膜タンパク質は、膜を貫通した形を保ったままで膜ごとゴルジ体を経て小胞に輸送される。小胞は細胞膜と融合することで分泌タンパク質を細胞外に放出したり、膜タンパク質を細胞膜に配置したりする。

〔1〕下線部 a について、切片の厚さを、観察に必要な照明光が試料を透過できる範囲において、3



5  $\mu\text{m}$  より厚くして染色すると、観察像の解釈にどのような困難が生じると考えられるか、図 1 を参考にして 1 行で説明しなさい。

[2] 下線部 b について、下の問に答えなさい。

- 1) カハールが脳の試料から特に厚い切片を作製した理由を、図 2 を参考にして 1 行で説明しなさい。
- 2) カハールの方法によって、少数のニューロンが染色され、また染色されたニューロンでは細胞の隅々まで染色されることは、ニューロンの観察像を理解する上でどのように有利か、3 行以内で簡潔に説明しなさい。

[3] 下線部 c について、この過程を何というか。

[4] グルタミン酸は脳における代表的な興奮性の神経伝達物質である。興奮性シナプス後電位 (EPSP) の生成で最初に機能するのは、イオンチャネル型グルタミン酸受容体の AMPA 受容体である。AMPA 受容体は 4 つのポリペプチドで 1 つのチャネルを形成しており (図 4 左)、個々のポリペプチドは細胞膜の脂質二重層を 3 回完全に、また脂質二重層の内側の一層のみを 1 回貫通し、N 末端を細胞外に向けるように配置されている (図 4 右)。大脳における AMPA 受容体の動態を調べるために、マウスを用いて以下のような実験を行った。

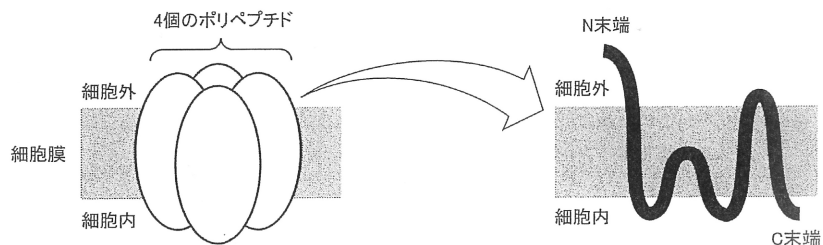


図 4

[実験 1] AMPA 受容体タンパク質の N 末端に、フルオリンという蛍光タンパク質を連結した人為的なタンパク質を発現させるため、それをコードする遺伝子を合成した。フルオリンは、細胞外液のような pH7 付近では緑色蛍光を発するが、小胞の内腔のような pH6 付近では蛍光を発しない。pH の変化に伴うフルオリンの蛍光変化は可逆的なものである。また合成されたタンパク質は小胞体やゴルジ体では蛍光を発しないことを確認してある。

[実験 2] 胎児期に、大脳的一次運動野のある領域において、実験 1 で用意した遺伝子を少数のニューロンにまばらに導入した。同時に、細胞質基質中に遊離状態で分布する赤色蛍光タンパク質の遺伝子も導入した。ニューロンに導入された遺伝子は、実験期間を通じて安定して発現していることが確認できた。なお、フルオリンを連結したことによって AMPA 受容体の機能に影響は無かった。出生後 70 日目に頭蓋骨に穴を明け、透明な素材で「窓」を設けた。この



窓から特殊な顕微鏡で脳表層の蛍光を観察すると、赤色蛍光タンパク質はニューロン中に一様に分布し、フルオリンの緑色蛍光は樹状突起のシナプス後膜（シナプスにおいて軸索末端と向き合う領域）の盛り上がった部分（スパイン）に局在しているのが分かった（図 5A）。この

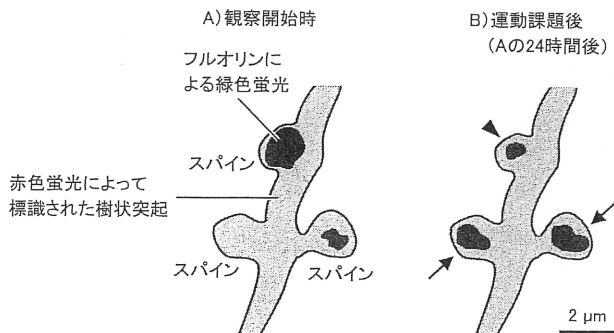


図 5

フルオリンの蛍光強度は、同じ樹状突起上でも運動を経て増加することもあれば（図 5B 矢印）、減少することもあった（図 5B 矢じり）。

- 1) AMPA 受容体やヘモグロビンなどのように、複数のポリペプチドから形成される高次構造を何というか、〇〇構造のように答えなさい。
- 2) フルオリンと AMPA 受容体を連結したポリペプチドを発現させるため、この実験において設計された遺伝子から転写される mRNA の構造として適切なものを下の①～③から選びなさい。①～③の選択肢では、本来の AMPA 受容体タンパク質遺伝子のうち、小胞体シグナル配列をコードする部分を除いたものを「成熟ペプチド」としている。

- ① 5'—フルオリン—小胞体シグナル配列—成熟ペプチド—3'
- ② 5'—小胞体シグナル配列—フルオリン—成熟ペプチド—3'
- ③ 5'—小胞体シグナル配列—成熟ペプチド—フルオリン—3'

- 3) 膜タンパク質である AMPA 受容体のポリペプチドは小胞の膜（脂質二重層）にどのように挿入されているか、ポリペプチドの N 末端が小胞の外側、内腔側のいずれにあるか答えなさい。小胞は細胞膜と融合することで膜タンパク質を細胞膜に配置することに留意すること。
- 4) AMPA 受容体を含む小胞の内腔は水素イオンポンプによってやや酸性に保たれている。水素イオンポンプが小胞内を酸性にする仕組みを説明しなさい。説明に際しては以下の語を必ず用い、用いた語に下線を付すこと。

語群：ATP 生体膜 濃度勾配

- 5) フルオリンの蛍光強度の増加は AMPA 受容体のどのような局在の変化を反映しているか。また、このことはそのシナプスにおける伝達の効率（グルタミン酸による EPSP の生じ易さ）にどのような変化をもたらすと考えられるか。それぞれ 1 行で述べなさい。





6) シナプス後膜において、AMPA 受容体を含む細胞膜が陥入し、細胞膜を離れて細胞内に小胞を形成することがある。形成された小胞内が酸性である場合、スパインのフルオロリンの蛍光強度はどのように変化するか。

2 次の文章を読んで下の質問に答えなさい。

骨格筋の筋細胞（筋繊維）は多数の核を持つ巨大な細胞であり、発生の過程で単核の筋芽細胞が複数融合して生じる。この細胞の内部には a 太いフィラメントと細いフィラメントから構成される筋原繊維の束が充満している。筋原繊維を顕微鏡で観察すると、b 明るく見える明帯と暗く見える暗帯が交互に配列しているのが確認できる。明帯の中央部には Z 膜、暗帯の中央部には H 帯（暗帯の中で比較的明るく見える領域）があり、ある Z 膜から隣の Z 膜までを（ア）という。

筋繊維には、筋収縮に用いる ATP を供給する仕組みが複数ある。筋繊維では常に（イ）により ADP とリン酸から ATP が合成されているが、ATP としては少量しか蓄えられず、ATP のリン酸の多くは（ウ）に受け渡されている。運動により ATP が消費され、筋繊維中の ATP 量が不足した後にもさらに筋収縮が続く場合、まず（ウ）リン酸から ADP へのリン酸の転移（ATP の合成）が促進され、さらに解糖や（イ）による ATP の供給が行われる。

解糖は、酸素の供給が不十分なときに、グリコーゲンあるいはグルコースから、乳酸を生成し ATP を得る反応である。（イ）は解糖系、クエン酸回路および電子伝達系の 3 つの反応過程から成る。解糖系によって生成したピルビン酸は、クエン酸回路を構成する酵素によって段階的に代謝される。この 2 つの反応により生じた電子は、電子伝達系の構成成分（複合体 I～IV など）に次々と受け渡され、これに伴って生じるエネルギーを利用して ATP が産生される。

[1] 文中の空欄（ア）～（ウ）に入る適切な語を答えなさい。

[2] 発生過程で骨格筋と同じ胚葉から分化する組織・臓器を下の①～⑧から全て選びなさい。

① 脳 ② 角膜 ③ 網膜 ④ 骨 ⑤ 肝臓 ⑥ 腎臓 ⑦ 肺 ⑧ 心筋

[3] 下線部 a の太いフィラメントおよび細いフィラメントの名称をそれぞれ答えなさい。

[4] 下線部 b について、下の問に答えなさい。

1) 図 6 に、明帯、暗帯、H 帯の範囲、および Z 膜の位置を示す。この場合の太いフィラメントおよび細いフィラメントの配置を模式的に描きなさい。それぞれのフィラメントは例のように明瞭に区別すること。



◇M3(807—40)

2) 顕微鏡で明帯が明るく、暗帯が暗く観察される理由を、1) を踏まえて 3 行以内で説明しなさい。

3) 1) で描いたフィラメントの配置が弛緩状態であった場合、収縮時に幅が狭くなるのはどれか、下の①～⑥から全て選びなさい。

- ① 明帯      ② 暗帯
- ③ H 帯     ④ Z 膜
- ⑤ 太いフィラメント
- ⑥ 細いフィラメント

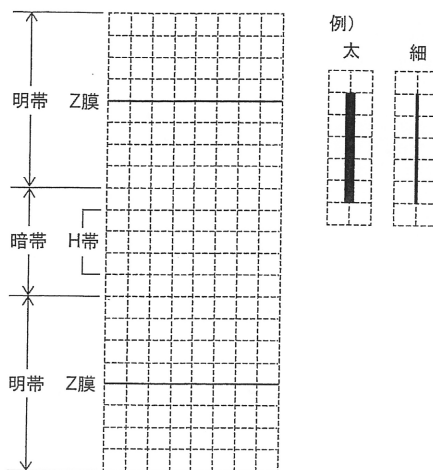


図6

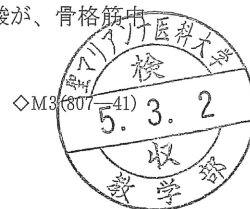
[5] 下の①～⑩から適切なものを選び、骨格筋の収縮に至る過程の順に並べなさい(例:① → ② → ③ …)。ただし、全ての選択肢を使用するとは限らない。

- ① 運動ニューロンからインスリンが放出され、筋細胞膜にある受容体に結合する。
- ② 運動ニューロンからアセチルコリンが放出され、筋細胞膜にある受容体に結合する。
- ③ トロポニンと  $\text{Na}^+$  が結合する。
- ④ 筋小胞体から細胞質基質へ  $\text{Na}^+$  が放出される。
- ⑤ トロポニンと  $\text{Ca}^{2+}$  が結合する。
- ⑥ 筋小胞体から細胞質基質へ  $\text{Ca}^{2+}$  が放出される。
- ⑦ 太いフィラメントと細いフィラメントが相互作用する。
- ⑧ 骨格筋が収縮する。
- ⑨ 細胞膜の興奮がミトコンドリアにより筋小胞体に伝わる。
- ⑩ 細胞膜の興奮が T 管により筋小胞体に伝わる。

[6] 下線部 c について、骨格筋細胞で産生された乳酸は、細胞膜に存在する輸送体 (トランスポーター) によって血液中へ放出される。運動強度を上昇させていくと、ある運動強度から血中乳酸濃度が急激に増加することが知られている。

骨格筋細胞の a クエン酸合成酵素 (CS) 活性や複合体IVタンパク質の量 (ミトコンドリア量と強い正の相関がある) の計測や電子顕微鏡による観察から、運動負荷はマウスにおいてミトコンドリア量の増加を引き起こすことが報告されている。なお、CS はアセチル CoA のアセチル基をオキサロ酢酸に付加し、クエン酸を合成する反応を触媒する。さらに、骨格筋細胞のミトコンドリアが多いと、持久運動の持続時間が伸びる (運動能力が上がる) ことも報告されており、運動負荷によるミトコンドリア量の増加は、運動能力の向上につながると考えられる。

そこで、ある一定以上の運動負荷によって血中に多く放出されるようになる乳酸が、骨格筋中



のミトコンドリア量に与える影響を調べた。

[実験] マウスを運動群と非運動群に分け、運動群には運動前に、ジクロロ酢酸（生理食塩水で希釈）あるいは生理食塩水を腹腔内投与した。また、運動群と同じ日に非運動群にもジクロロ酢酸あるいは生理食塩水を腹腔内投与した。ジクロロ酢酸は、運動前に投与することで運動中および運動後の筋肉内と血中の乳酸濃度を増加させないことが既に分かっている。運動負荷試験は4週間行い、その後、4群のマウスの腓腹筋（後肢の骨格筋）におけるCS活性および複合体IVタンパク質の量を計測した。運動負荷試験後のCS活性、及び複合体IVタンパク質の量は、運動群の計測値をそれぞれの非運動群の計測値で除した相対値で示した（図7）。その結果、CS活性および複合体IVタンパク質の量は、運動によって生理食塩水投与群の方がジクロロ酢酸投与群よりも増加していた。

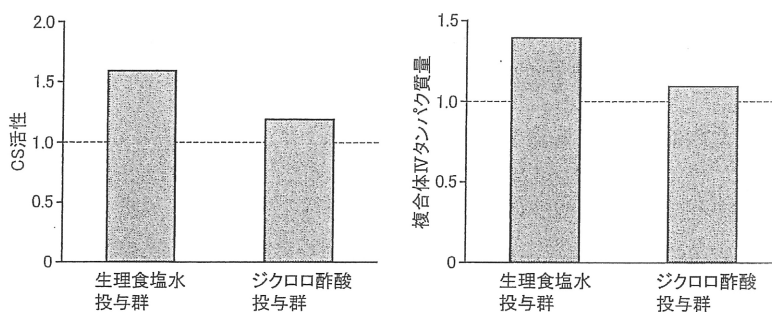


図7

- 1) 下線部 d について、これらの計測が骨格筋細胞中のミトコンドリア量の指標となり得る理由を CS や複合体IVの細胞内局在と関連づけて3行以内で説明しなさい。
- 2) 下線部 e について、ジクロロ酢酸を投与した群に対して、もう一方には生理食塩水のみを投与した理由を2行以内で説明しなさい。
- 3) 実験結果から、運動による血中乳酸濃度の上昇は骨格筋細胞内のミトコンドリア量にどう影響すると思われるか、4行以内で説明しなさい。

3

次の文章を読んで下の質問に答えなさい。

動物の個体が集まって一緒に移動したり採食したりする集団を群れという。群れをつくることには様々な利点がある一方、個体群密度が高まることによる不利益もある。

ハチやアリなどの昆虫には、母子や姉妹などの血縁関係にある多数の個体が集団で営巣するものがみられる。例えばセイヨウミツバチは、1個体の女王と、その女王が産んだ個体（血縁者）で集団（コロニー）を形成しており、女王は生殖（産卵）を専らとし、それ以外の個体は採食、巣づくり、育児、防衛などに分業して従事している。このように、集団生活における明確な分業がみられる昆虫



は、(ア)と呼ばれる。(ア)では、一夫一妻の種に加え、女王が多回交尾(複数の雄と交尾)する種が知られている。ハチの一種 *Vespula shidai* においては、女王蜂は春に営巣を開始し、順次働き蜂を増やしてコロニーを拡大し、秋に最盛期を迎える。そして晩秋から初冬にかけて新しい女王蜂と雄蜂の巣立ちが行われる。複数の雄との交尾を終えた女王蜂は越冬し、春に営巣を始める。女王蜂の多回交尾は、一夫一妻の種と比較してコロニー内の働き蜂間の血縁度を低下させる行動である。しかも多回交尾には、エネルギーの余分な損失や被食される危険性の増加などの不利益が報告されている。しかし、種によっては多回交尾が維持されていることから、一方でメリットもある行動であると考えられる。

[1] 文中の空欄 (ア) に適する語を答えなさい。

[2] 下線部 a について、下の質問に答えなさい。

- 1) 昆虫が属する分類学上の門の名称を答えなさい。
- 2) 昆虫の初期発生における卵割の特徴を説明しなさい。

[3] 下線部 b について、*Vespula shidai* (以後、単にハチとする) に対して病原性を示す菌類 *Beauveria bassiana* と、このハチとの関係について行われた研究の一部を以下に示す。

[実験 1] 野外で病原性菌類 *Beauveria bassiana* の菌糸に覆われているハチの死体を 2 個体採取し、それぞれからこの菌類を採取して別々に培養した (菌株 A および B とする)。それらから胞子を採取し、ごく微量の界面活性剤を含む水に同じ密度になるよう懸濁した。なお、界面活性剤は胞子を懸濁しやすくするために用いたものであり、ごく微量では孢子そのものに悪影響は与えないことが分かっている。

[実験 2] ある年の 7 月にハチの巣を 2 つ採取し (コロニー #1 及び #2 とする)、それぞれを木製の巣箱に収め、10 月まで働き蜂に同じ餌を採集させることによって飼育した。その後、働き蜂の幼

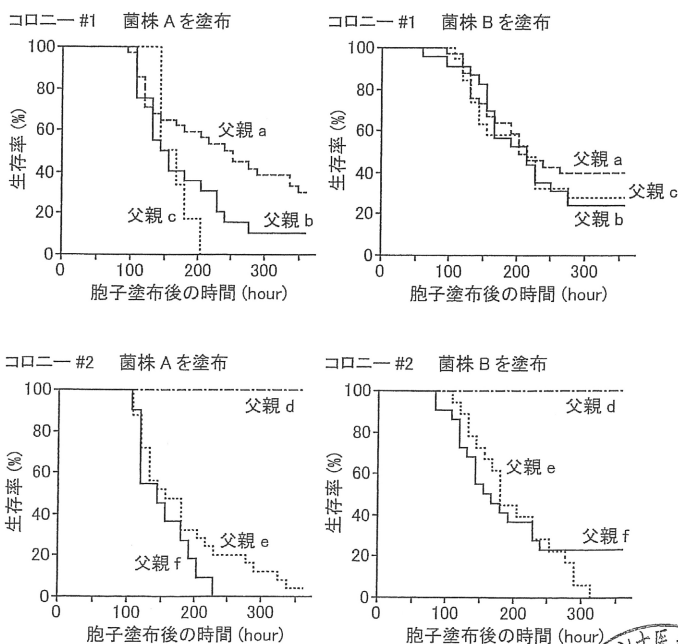


図8



虫と蛹が入った巣の一部（巣板）を別々の容器に移し、12時間毎に新たに羽化した働き蜂を採取し、それらに実験1で得られた胞子を塗布した。具体的には、働き蜂を胞子懸濁液に1個体ずつ1秒間浸漬し、余分な水分を濾紙で取り除いた。胞子塗布後は働き蜂を別々の容器で個別に飼育し、12時間毎に生死を確認した。死亡を確認した場合は、その個体の一部からDNAを抽出して遺伝子を解析し、同じ父親をもつ個体毎にまとめて生存率を算出した（図8）。例えば、コロニー #1 において菌株 A を塗布した父親 a の子供は、胞子を塗布してから徐々に死亡したが、全て死亡することではなく、生存率はおおよそ 30%であった。さらに、死亡した個体はそのまま容器中に別々に保存し、菌糸の有無を確認した。

- 1) *Vespula shidai* や *Beauveria bassiana* は、二名法という種の記載方法である。二名法において1番目 (*Vespula*, *Beauveria*) および2番目の語 (*shidai*, *bassiana*) は何を指すか、それぞれ漢字1字および2字を解答欄の空欄に記入しなさい。
- 2) 働き蜂の採取は、自然界でも巣の近傍で捕虫網などを用いれば容易に行うことができると考えられる。なぜ実験2のような手順を踏んで働き蜂を採取していると考えられるか、2行以内で説明しなさい。
- 3) 実験2ではどのような対照実験を行うのが良いか、1行で説明しなさい。
- 4) 実験2では、死んだ働き蜂はしばらくそのまま置いておき、菌糸の有無を確認している。なぜこのような確認が必要か、1行で説明しなさい。
- 5) 図8について、コロニー #1 を構成する個体の父親が c のみであったと仮定する。このとき、菌株 A がこのコロニーの巣に侵入すると、このコロニーにはどのようなことが起こる恐れがあるか、1行で説明しなさい。コロニーでは、多数の個体が近接して生活していることに留意すること。
- 6) このハチにおいて、女王が多回交尾を行うことにはどのようなメリットがあると考えられるか、2行以内で説明しなさい。

