

生 物

1 次の文章を読み、以下の問(1)~(3)に答えよ。

多細胞生物である動物の体が機能するためには、体を構成する多くの細胞が協調的に働くことが不可欠である。動物の体を構成する細胞どうしの情報伝達は、このような協調的な働きに重要な役割をはたしている。細胞が体の他の細胞に情報を送るとき、情報を発信する細胞の周囲に位置する細胞だけでなく、体内の遠くのある細胞へも情報を素早く送ることが必要とされる。体内の離れた場所へ情報を送る手段は複数存在する。1つは情報を担う物質を細胞内で輸送し、^(a)その細胞に隣接した細胞に届けるというやり方である。また、血液などを通じて情報物質を遠く離れた細胞に届けるというやり方もある。その他の手段として、他の細胞に情報を送ることに特化した細胞である、神経細胞を使って情報を伝える^(b)というやり方もある。

問(1) 下線部(a)について、次の文章内の ～ に適切な語句を記せ。

細胞内で物質を輸送する方法は、エネルギーを利用しない方法と、エネルギーを利用する方法に分けられる。一般的に、物質はその濃度が高い側から低い側へ移動する性質がある。このように、エネルギーを消費せずに物質が濃度勾配に従って分散し、移動することを という。エネルギーを消費して、より素早く物質を移動させる方法の1つとして細胞骨格に沿った能動輸送がある。細胞骨格の1つである は、そのマイナス端が核のそばに存在する細胞小器官の1つである に位置し、そこから細胞の辺縁へプラス端を伸ばす。エネルギー物質として を使用してプラス端側へ移動するモータータンパク質である は、物質や小胞などを細胞の辺縁へ素早く運ぶことができる。一般的にエネルギー消費なしに隣の細胞に物質を送ることはできないが、隣り合う細胞どうしのコネクソンが形成する細胞間結合である 結合を通じ、イオンや小分子などは行き来できる。

問(2) 下線部 (b) について、次の文章を読み、以下の (i)~(v) に答えよ。

神経細胞は細長い突起である軸索^{じくさく}をもつことが特徴で、それを通じて迅速に情報を伝えることができる。軸索は次に情報を伝える細胞と接触する必要があるため、神経細胞は細胞全体のサイズが大きくなる場合がある。現在生息している動物において最もサイズの大きな細胞は、シロナガスクジラの運動制御にかかわる中枢神経系の神経細胞と考えられる。この細胞は脳から尾部の脊髄までにわたって軸索をのばし、最大級の個体でその長さはおおよそ 30 m にもなると推測される。

(i) 30.0 m の軸索をもつこの細胞の軸索内を、能動輸送によって物質を輸送する速度が $2.00 \mu\text{m}/\text{秒}$ であるとする。この場合、脳にある細胞体から、尾部にある軸索の先端まで物質を輸送するのに必要な日数を、有効数字 3 桁で記せ。

(ii) 30.0 m の軸索をもつこの細胞の軸索を、活動電位が伝導する速度が $120 \text{ m}/\text{秒}$ であるとする。この場合、脳にある細胞体から、尾部にある軸索の先端まで情報が伝わるのに必要な秒数を、有効数字 3 桁で記せ。

(iii) 仮に、脳から尾部まで、30.0 m の軸索をもつこの細胞と同じ長さの銅線を用意し、そこに電流を流す実験を行うとする。以下の①～④から最も適切な記述を1つ選び、その番号を記せ。

- ① この細胞の軸索が有髓神経纖維ゆうずいしんけいせんいであった場合、電気ケーブルを電流が伝わる速さと、軸索中を活動電位が伝わる速さはほぼ等しい。
- ② 電気ケーブル中を伝わる電流は距離に応じて減衰するが、生体の軸索中を伝わる活動電位の振幅は、長い距離でも減衰せずに伝わる。
- ③ 無髓神経纖維むずいしんけいせんいと有髓神経纖維で活動電位が伝わる速さに違いはない。
- ④ 軸索は細いほど活動電流が生じやすく、活動電位の伝導速度が上がる。

(iv) 活動電位は発生した場所の近位の細胞膜を興奮させることで伝導するが、興奮が軸索の途中で逆に進み、発生した場所に戻ることはない。これはなぜか、理由を4行以内で説明せよ。

- (v) 細胞体で発生した活動電位が t 秒間に X m 進み、図1の矢印の場所に位置した。この細胞において図2のように、軸索の2ヶ所で同時に活動電位が発生したとする。この場合 t 秒後の活動電位が位置する場所として最も適しているものを図2の①~④から1つ選び、その番号を記せ。

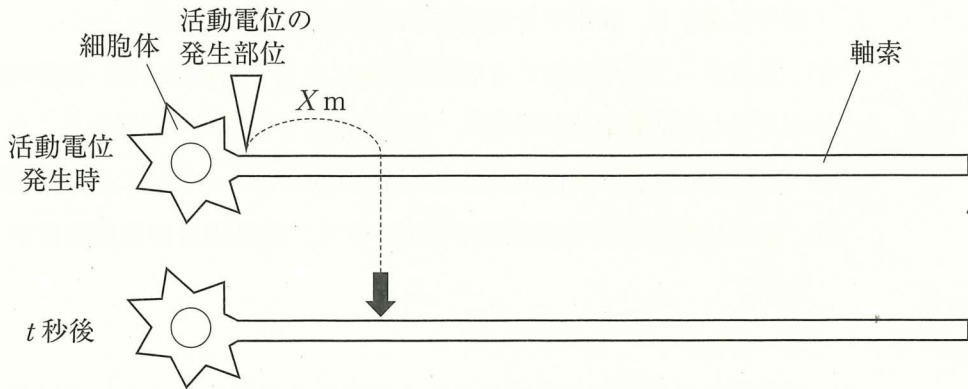


図1

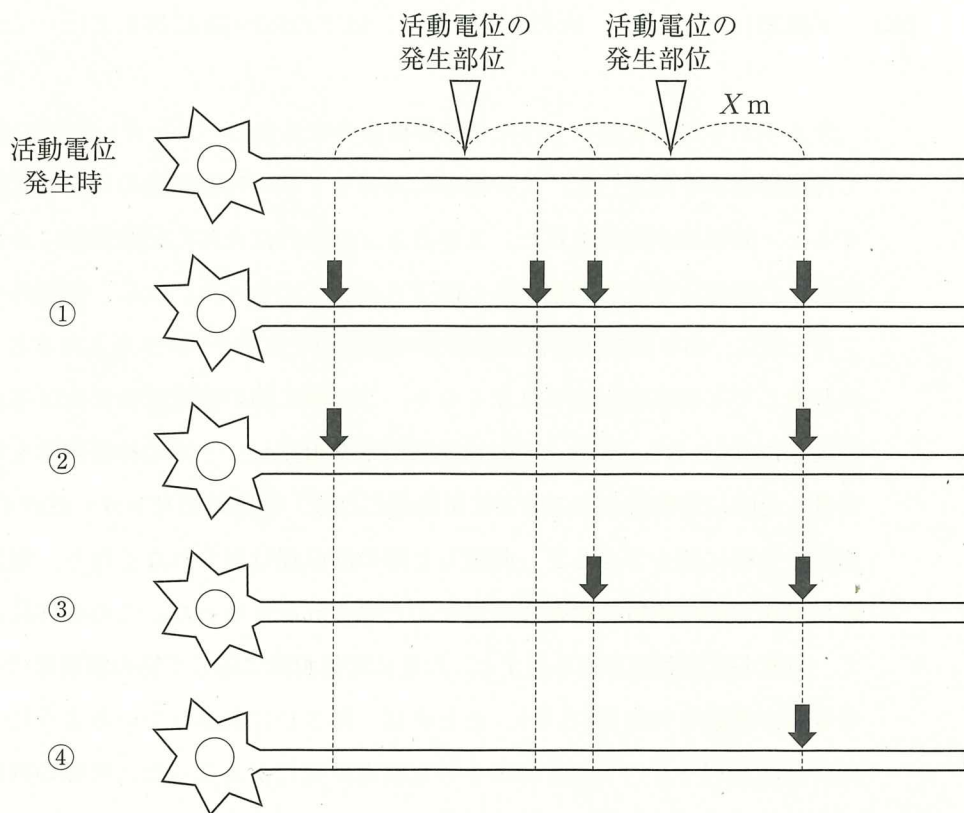


図 2

問(3) 下線部(b)について、次の文章を読み、以下の(i)~(iii)に答えよ。

カエルから運動神経をつけたまま骨格筋を取り出し、リンガー液^{*注}に浸して神経筋標本を用意した。この標本において1本の神経繊維のみを電気刺激すると、筋収縮が観察された。このとき、細胞内に入れた記録電極によって骨格筋の膜電位変化を観察すると図3 Aのようになった。次に、細胞外のリンガー液に、ある神経伝達物質受容体の阻害剤であるクラレーを入れると、電気刺激しても筋収縮が見られなくなり、この際に筋の膜電位の変化は完全に消失した(図3 B)。次に、別の神経筋標本を用意し、1本の神経繊維を電気刺激した際に筋収縮がおこることを確認した後、細胞外のリンガー液の Ca^{2+} 濃度を大幅に減少させると、刺激した際の筋収縮は見られなくなり、電気刺激に対する筋の膜電位の変化もほとんど見られなくなった。この条件において、何度も電気刺激を繰り返すと、たまに電気刺激に応じて筋の膜電位の小さな変化が観察された(図3 C)。たとえば、図3 Dに表されているように、4回の刺激を行うと、2回目のみ小さな膜電位変化がおこった。同様の刺激実験を多数回行い、膜電位の変化の振幅とその頻度をグラフにすると、図4のようになり、微小な電位変化の振幅は特定の値の整数倍である傾向があった。

*注 リンガー液：体液(細胞外液)と同様のイオン組成・浸透圧をもつ人工の溶液

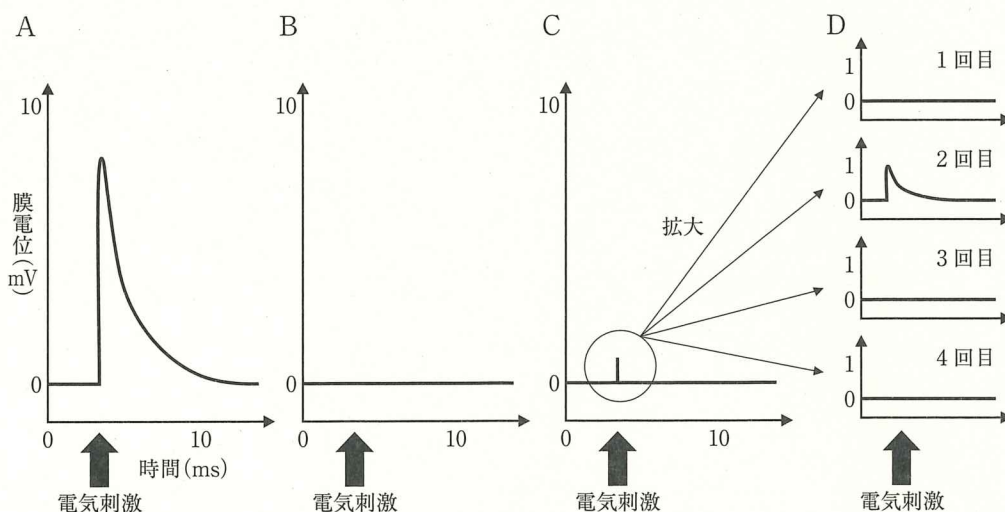


図3

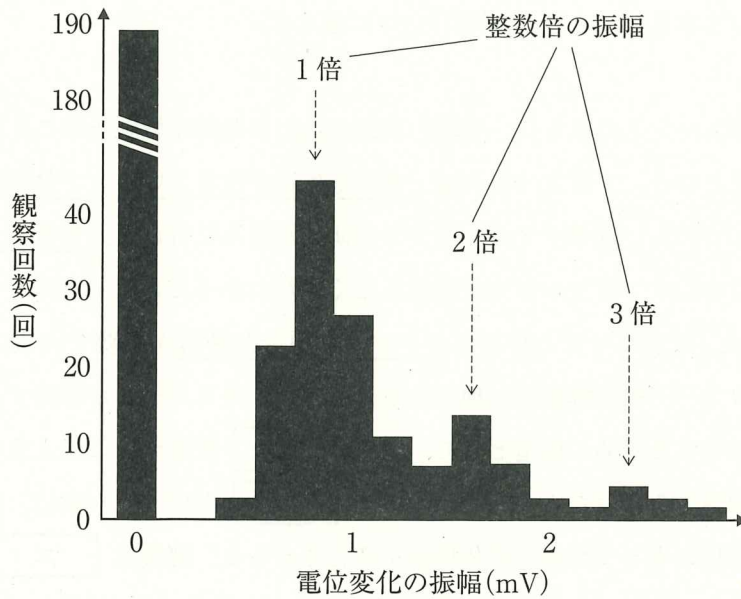


図 4

- (i) 文章中の阻害剤クラーレは、どの神経伝達物質の受容体に作用すると考えられるか記せ。
- (ii) 細胞外のリンガー液の Ca^{2+} 濃度を減少させた際に、電気刺激に対する筋の膜電位の変化がほとんど見られなくなったのはなぜか、理由を 3 行以内で記せ。
- (iii) 図 3 C, 3 D や、図 4 で観察された微小な電位変化は何を表し、振幅が整数倍で観察されたのはなぜか、5 行以内で説明せよ。

2 次の文章を読み、以下の問(1)~(7)に答えよ。

アポトーシスのように、管理・調節された自発的な細胞死のことを 細胞死という。アポトーシスは、多細胞生物が生きていく上で欠かせない役割を果たしている。近年、アポトーシスの研究が盛んに行われ、アポトーシスの特徴だけでなく、アポトーシスが起きるしくみがわかってきた。アポトーシスを起こすには、カスパーゼと呼ばれるタンパク質分解酵素が必要であることがわかった。カスパーゼは酵素の一種であることから、カスパーゼが作用する特異的な基質と結合するための構造として、活性 をもつ。このような、酵素が特定の物質のみにはたらきかける性質を という。一般に、高温や強いアルカリ性のもとで酵素の立体構造を変化させると、酵素は することから、カスパーゼの立体構造を変化させればアポトーシスは起きなくなると考えられる。このような立体構造の変化によってタンパク質本来の性質が失われる現象をタンパク質の という。

アポトーシスを起こした細胞は、マクロファージなどの食作用をもつ細胞に取りこまれ消化・分解される。このしくみは、細菌などの病原体やがん細胞を非自己として認識して排除する自然免疫のしくみに似ている。また、病原体が感染した細胞はアポトーシスを起こすことがある。このように、アポトーシスは病原体に感染した場合の免疫応答にも役立っている。一方で、アポトーシスのはたらきの異常は、さまざまな病気の原因になることもわかってきた。

問(1) ~ に適切な語句を記せ。

問(2) 下線部(a)について、アポトーシスは動物の発生において重要な役割を果たしている。発生の過程でアポトーシスが起きている具体例を1つ記せ。

問(3) 下線部(b)の例として適切なものを、次の①～⑤から2つ選び、その番号を記せ。

- ① 細胞膜の破裂
- ② 減数分裂
- ③ 原形質分離
- ④ DNAの断片化
- ⑤ 染色体の凝集

問(4) 下線部(c)について、消化酵素の中で、タンパク質の分解に関わる酵素の名称を2つ記せ。

問(5) 下線部(d)について、マクロファージが食作用によって細菌を取りのぞくしくみについて、「受容体」と「炎症」というキーワードを用いて4行以内で記せ。

問(6) 下線部(e)について、病原体に感染した細胞がアポトーシスを起こす利点について、適切なものを、次の①～⑤から2つ選び、その番号を記せ。

- ① 細胞内に感染したウイルスにもアポトーシスを起こす。
- ② 周囲の細胞が感染するのを防ぐ。
- ③ T細胞受容体を不活性化する。
- ④ 病原体の増殖を止める。
- ⑤ 免疫グロブリンを分解する。

問(7) 下線部(f)に関して、次の文章を読み、以下の(i)~(iii)に答えよ。

アポトーシスは、必要のない細胞を除去するだけでなく、がん細胞のような有害な細胞を除去するしくみでもある。何らかの理由でアポトーシスのはたらきが弱まると、有害な細胞を十分に除去できなくなる可能性がある。逆に、アポトーシスのはたらきが強くなりすぎると、必要な細胞にアポトーシスが起きてしまう可能性もある。したがって、アポトーシスのはたらきは常に正しく管理される必要がある。

私たちの身の回りには、アポトーシスを引き起こす化合物(アポトーシス誘導剤)がたくさん存在するが、それぞれの化合物に対する感受性(アポトーシスの起こしやすさ)は、細胞の種類によって異なる。また、がん細胞はアポトーシス誘導剤に対する感受性が低い(アポトーシスを起こしにくい)場合が多い。そこで、正常な細胞と5種類のがん細胞について、アポトーシス誘導剤に対する感受性を調べた。人工的にアポトーシスを起こすことができる化合物 X と化合物 Y をそれぞれの細胞に投与し、アポトーシスを起こした細胞の割合を測定し、その結果を図1と図2にグラフで示した。ただし、化合物の濃度は同じとする。

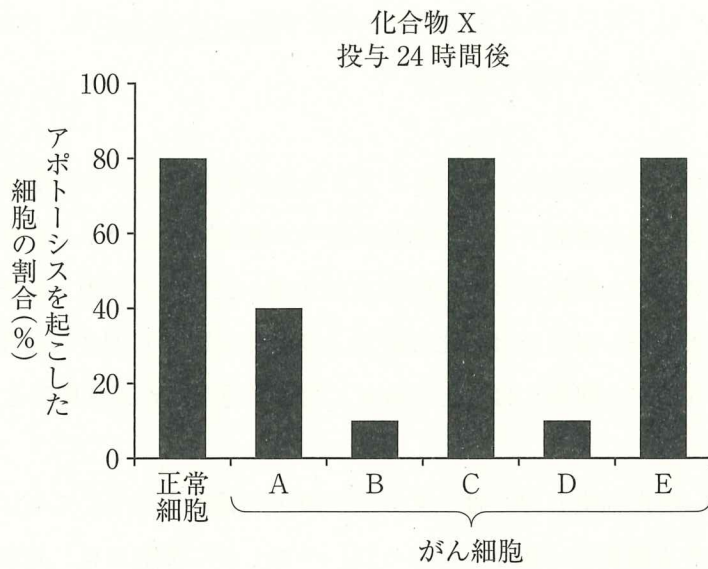


図 1

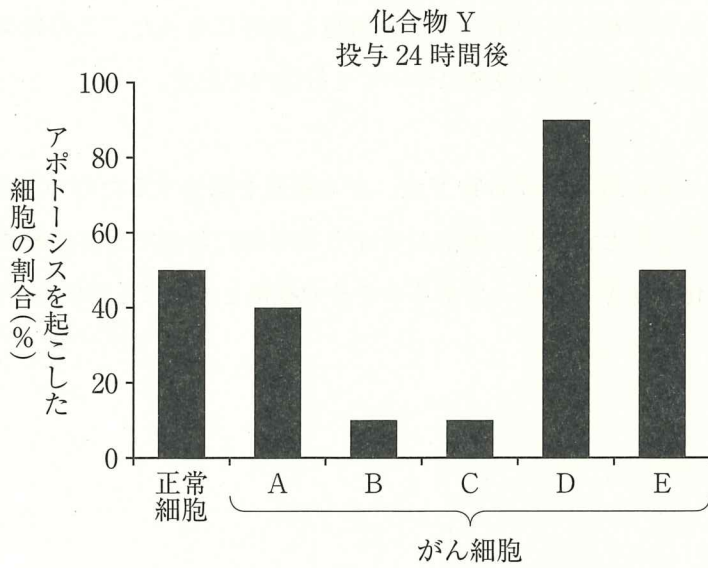


図 2

(i) 以下に示された実験結果の考察で誤っているものを、次の①～⑤から1つ選び、その番号を記せ。

- ① 正常細胞は、化合物 Y よりも化合物 X に対する感受性が高い。
- ② がん細胞 A は正常細胞に比べ、化合物 X に対する感受性が低い。
- ③ がん細胞 E はがん細胞 A に比べ、化合物 X に対する感受性が低い。
- ④ がん細胞 D は、化合物 Y よりも化合物 X に対する感受性が低い。
- ⑤ がん細胞 C は、化合物 X に対する感受性が正常細胞と同等である。

(ii) がん細胞 B は、投与する化合物 X の濃度を高くしても、化合物 X に対する感受性は変化しなかった。一方、がん細胞 B は、遺伝子 Z のはたらきが弱まっていることがわかっている。そこで、遺伝子 Z のはたらきを回復させる薬剤と一緒に化合物 X をがん細胞 B に投与すると、アポトーシスの起こしやすさが正常細胞と同等になった。この結果から考えられる、遺伝子 Z の役割について4行以内で記せ。

(iii) 化合物 X と化合物 Y が、がん細胞を除去するための治療薬であると仮定したとき、がん細胞 D をより効率的に除去できる治療薬は化合物 X と化合物 Y のどちらであるかをその根拠とともに4行以内で記せ。

3 次の文章を読み、以下の問(1)~(7)に答えよ。

植物を食物としている昆虫(植食性昆虫)は植物との間で、食う(昆虫)－食われ^(a)る(植物)という相互作用を通じて、互いの進化に影響を及ぼしながら進化してきた。植物では昆虫に食べられることを避けるために、トゲや硬さなどの物理的な防御機構や毒物質の生産などの化学的な防御機構が進化してきた。植食性昆虫では植物のもつ物理的または化学的防御に対抗するために、口器の形状や解毒機構などが進化してきた。すなわち、植物では植食性昆虫による被害から身を守るための防御機構が、植食性昆虫では植物の防御機構を克服するための適応機構が相互に進化してきた。その結果、植食性昆虫が食物として利用できる植物種は、一般的に、昆虫種ごとに決まったある限られた範囲になったと考えられる。^(c)

植食性昆虫が食物となる植物を適切にみつけだす際に重要な役割をするのが、視覚、嗅覚、味覚、触覚である。動物において、光や音、化学物質などの外界からの刺激を受け取る器官を とよぶ。 には、それぞれの刺激を敏感に感知する特殊化した感覚細胞がある。 で受け取った情報を統合処理するのが で、 から筋肉などの へと情報が伝えられて、刺激に対する反応が生じる。情報は、 → → へと、電気信号などのかたちで を伝わっていく。

問(1) ~ に適切な語句を記せ。

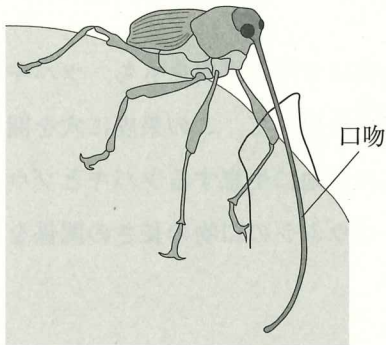
問(2) 下線部(a)のように、異なる生物種が互いに生存や繁殖などで影響を及ぼし合いながら進化していく現象を何とよぶか記せ。

問(3) 下線部(b)に関して、次の文章を読み、以下の(i)と(ii)に答えよ。

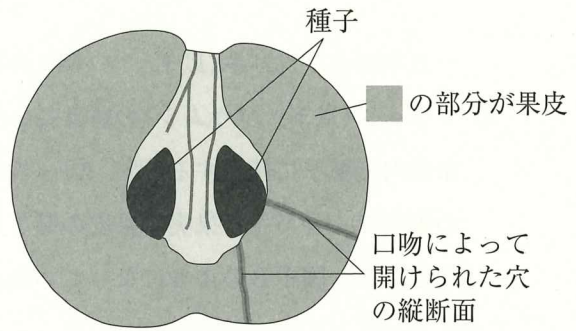
日本のヤブツバキ(以下、ツバキ)の果実は分厚い果皮をもち、ツバキシギゾウムシ(以下、ゾウムシ)の雌は長い^{こうふん}口吻を用いて、この果皮に穴を開けて果実内の種子に産卵する(図1 A)。日本の各地に生息するツバキとゾウムシの集団で、ツバキの果実の果皮の厚さとゾウムシの口吻の長さの関係を調べたところ、図1 Bのようになっていた。

- (i) 図1 Bのグラフから、ツバキの果実の果皮の厚さとゾウムシの口吻の長さにはどのような関係性があるといえるか記せ。
- (ii) ツバキの果実の果皮の厚さとゾウムシの口吻の長さは、なぜ、図1 Bのような関係になったと考えられるか。ゾウムシが口吻を長くすることで、また、ツバキが果皮を厚くすることで、ゾウムシとツバキのそれぞれが得られる利益と払うコスト(損失)との関係から8行以内で記せ。

A



タバキの果実に口吻で
穴を開けるゾウムシ



被害果実を縦に切った断面

B

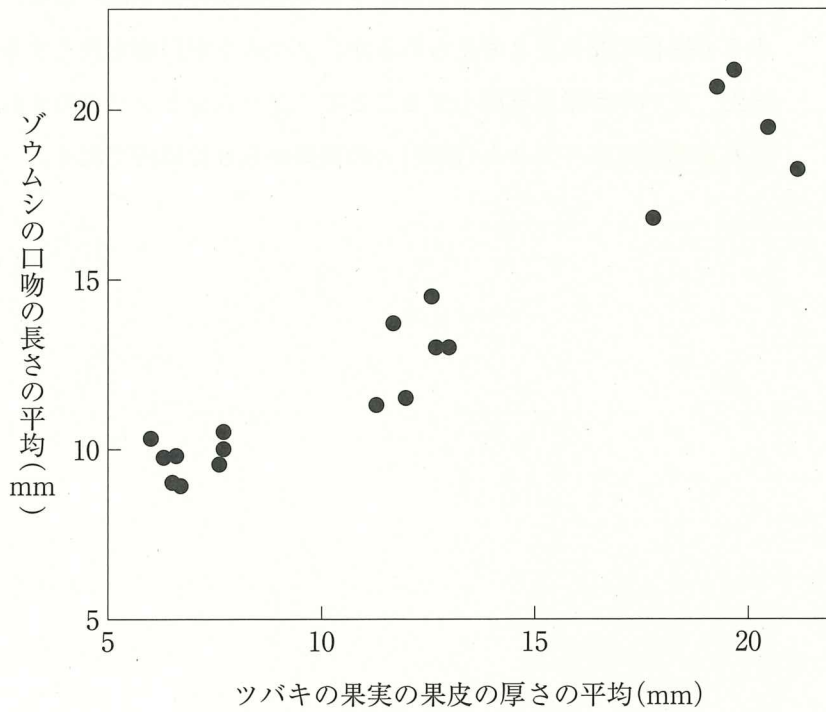


図 1

問(4) 下線部(c)に関連して、植食性昆虫にとって、他の昆虫種が食物として利用できない植物種を利用することの利点として考えられることを2行以内で記せ。

問(5) 下線部(d)に関して、次の文章を読み、以下の(i)~(iii)に答えよ。

モンシロチョウは雌雄とも、ヒトには同じように見えるが、モンシロチョウの雄は雌雄を簡単に識別できる。そこで、モンシロチョウを用いた以下の実験を行い、1~6のことがわかった。なお、1~5はキャベツ畑において実験を行った。

1. 飛んでいる雄がわかるように、モンシロチョウの雌と雄の標本を翅の裏側が見えるように置いたところ、雄は雌の標本にだけ集まった。
2. 雌の胴体と翅を切り離し、別々に置いたところ、雄は翅にだけ集まった。翅は裏側が見えるように置いていた。
3. 胴体から切り離した雌と雄の翅を、無色透明のラップフィルムで密封して匂いを遮断して置いたところ、雄は雌の翅にだけ集まった。また、違う形に切り取った雌の翅にも雄は集まった。
4. 雄の後翅(後ろの翅)の裏面に雌の後翅を裏側が見えるように貼り付けて飛ばしたところ、雄は雌の後翅を貼り付けた雄に集まってきた。
5. 300 nm 以上の光を適度に反射する白色の紙を後翅の形に切って、雄に見えるように置いたところ、雄はこの後翅の形に切った紙切れに集まってきた。
6. 赤外線だけを通すフィルターをレンズに付けたカメラで、雌と雄の翅の写真を撮ったところ、雌雄どちらの翅も赤外線を同じように反射していることがわかった。

(i) 上記2と4の実験結果から、雄による雌雄の識別についてわかることを記せ。

(ii) 上記3の実験結果から、(i)に加えて、雄による雌雄の識別についてわかることを2つ記せ。

- (iii) 上記1～6の実験結果から、雄のモンシロチョウは、雌雄をどのように識別していると考えられるか、ヒトとモンシロチョウの眼の適刺激の違いを考慮して5行以内で記せ。

問(6) 下線部(e)について、次の文章を読み、以下の(i)～(iii)に答えよ。

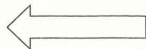
嗅覚は昆虫が自分の食物を探するときだけでなく、異性を探するときにも重要な役割をしていることが多い。配偶行動にはたらく化学物質で、同種の異性から放出される物質を性フェロモンという。また、性フェロモンのように、動物に特定の行動を引き起こさせる外界からの刺激を という。雌のカイコガに対する雄のカイコガの行動を観察したところ、図2のような行動が観察された。雄のカイコガは、ジグザグターンや回転、直進歩行をみせながら、雌のカイコガに近づいた。^(g)雄のカイコガが雌のカイコガに近づくときにみられる羽ばたきや歩行などのパターン化された運動を パターンとよぶ。また、図2にみられるように、刺激源に対して一定の方向に移動する行動を という。 パターンは 発生器とよばれる神経回路により生じる。雄のカイコガは性フェロモンを触角上にある毛状感覚子とよばれる感覚毛で受容する。この毛状感覚子の側面には多くの小孔がある。^(h)

- (i) ～ に適切な語句を記せ。
- (ii) 雌のカイコガに近づくときに、なぜ、雄は下線部(g)のような行動をみせるのか5行以内で記せ。
- (iii) 下線部(h)で、この毛状感覚子に多くの小孔がある理由として考えられることを3行以内で記せ。

スタート地点



風の流れる方向



雌



図 2

問(7) 下線部(f)について、次の文章を読み、以下の(i)と(ii)に答えよ。

ある植食性昆虫が味物質を受容する感覚毛に、単一化合物からなる味物質 X を作用させて神経応答を調べたところ、図 3 の電位の記録がとれた。

- (i) 味物質 X の濃度を高くして、同一の感覚毛で神経応答を調べた場合、どのような電位の記録がとれるか、図 4 の①～⑥の中から最も適切なものを 1 つ選び、その番号を記せ。ただし、濃度を高くすることによるこの感覚毛の障害や味物質 X の受容に対する障害はないものとし、また、この感覚毛において味物質 X に応答する細胞は 1 個とする。
- (ii) 味物質 X の濃度を低くして、同一の感覚毛で神経応答を調べた場合、どのような電位の記録がとれるか、図 4 の①～⑥の中から考えられるものをすべて選び、その番号を記せ。

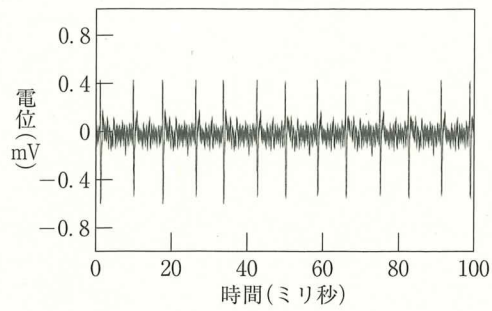


図 3

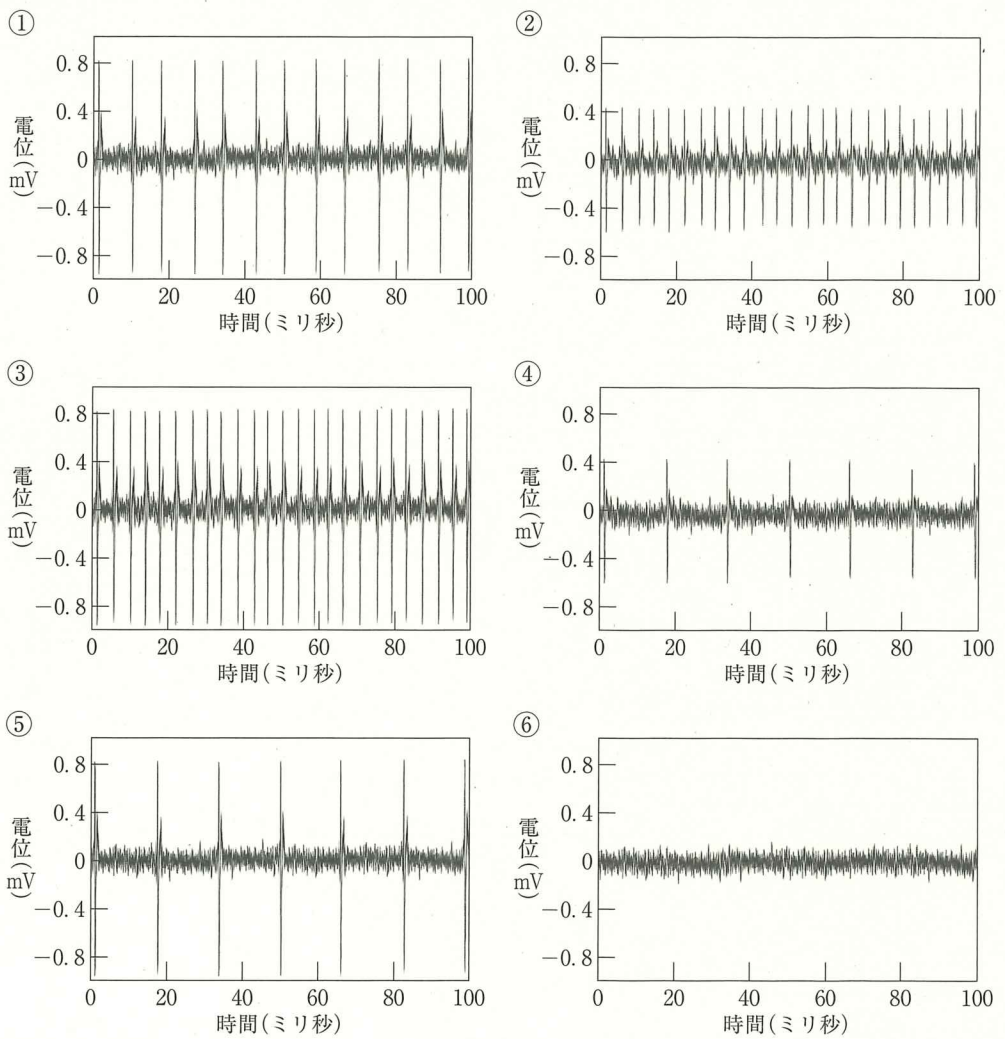


図 4