

生 物

1. 次の〔Ⅰ〕, 〔Ⅱ〕の文章を読み, 以下の問(1)~(5)に答えよ。

〔Ⅰ〕 多くの被子植物では, おしべのやくの中で花粉母細胞($2n$)が減数分裂することで, 4個の細胞(n)の集まった ができる。この4個の細胞はそれぞれが花粉となり, 成熟した花粉の中には2個の精細胞がつくられる。精細胞のうち1つは, 胚のう母細胞からつくられる配偶子である と融合して受精卵となり, もう一方の精細胞は中央細胞と融合して胚乳細胞となる。胚乳細胞の核相は である。

被子植物であるシロイヌナズナでは, 受精卵は一方向に伸長し, 非対称に分裂する。その後も細胞分裂が続くことで, 葉, 茎, 根といった器官ができる。植物ホルモンの1つであるオーキシンは, 茎の先端部で合成され, 根に向かって運ばれる。この方向性をもった輸送は とよばれる。このような遠距離の物質輸送に加え, 隣り合う細胞どうしも物質を交換することがある。たとえば, 細胞壁のところどころに空いた とよばれる穴を通して, 代謝産物や, 特定の mRNA やタンパク質を移動させる働きが知られている。

根の先端には幹細胞を含む があり, ここで活発な細胞分裂が行われることで, 根は成長を続ける。

問(1) ~ に適切な語句を記入せよ。

問(2) 下線部(a)について, 植物細胞は一般的に, オーキシンとジベレリンの作用によって一方向に細長く成長する。それぞれの植物ホルモンが細胞内にどのような変化を生じさせることで, 細胞の成長を促進するか, 説明せよ。

〔Ⅱ〕 植物の根は一般的に、細長い円柱状の形をしている。シロイヌナズナの根は特に単純な構造をしており、中央にある中心柱という組織を取り囲むように、それぞれ1細胞の厚さの層である、内皮、皮層、表皮という組織が存在する。図1は、野生型、x変異体、y変異体の根の横断面を示した模式図である。x変異体では、X遺伝子に変異が生じた結果、産生するXタンパク質の働きが失われ、皮層がつくられなくなった。y変異体では、Y遺伝子に変異が生じた結果、Yタンパク質の働きが失われ、x変異体と同様に皮層がつくられなくなった。

X遺伝子とY遺伝子の働きを詳しく調べるために、以下の実験1と2を行った。

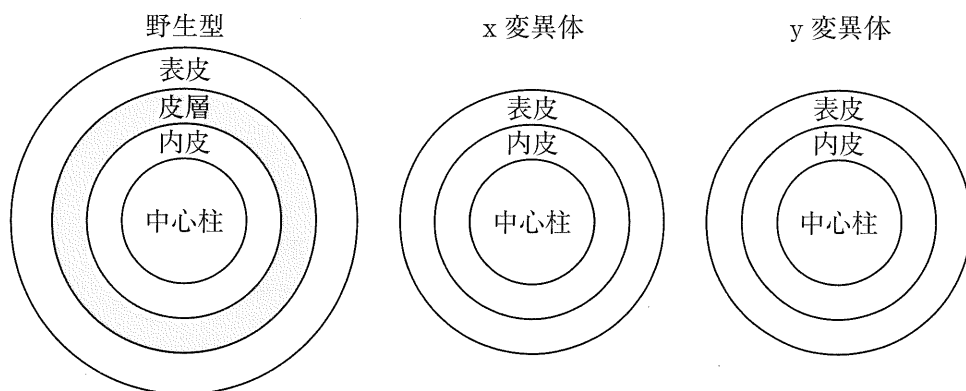
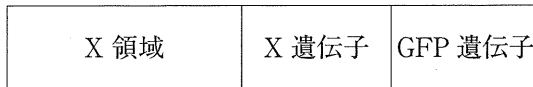


図1

実験1

X 遺伝子を転写させるのに必要十分な転写調節領域が見つかった。これを X 領域とよぶ。X 領域と X 遺伝子のあとに緑色蛍光タンパク質(GFP)の遺伝子をつなげ、X タンパク質と GFP タンパク質がつながったタンパク質(X-GFP タンパク質)をつくらせる人工遺伝子①を作製した(図2)。この人工遺伝子をもつプラスミドを野生型の植物に導入したトランスジェニック植物をつくったところ、中心柱と内皮の両方の組織が GFP の蛍光を発した。一方、X 領域と GFP 遺伝子をもつが、X 遺伝子を含まない人工遺伝子②をもつプラスミドも作製した(図2)。これを野生型の植物に導入したトランスジェニック植物では、中心柱のみが GFP の蛍光を発した。なお、これらのプラスミドには、遺伝子発現に必要なプロモーターなどの基本要素はすべてそろっており、X-GFP タンパク質は、X タンパク質と GFP タンパク質の本来の発現調節や働きを保持しているとする。また、トランスジェニック植物では、すべての細胞が人工遺伝子をもつとする。

人工遺伝子①



人工遺伝子②

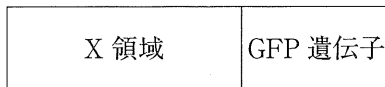


図2

問(3) 実験1の結果から、X 遺伝子は次の文章のような発現調節を受けると考えられる。 と に適切な組織の名称を記入せよ。

X 遺伝子は の細胞で転写される。X の mRNA あるいはタンパク質の一部は の細胞まで移動するが、1細胞分しか移動できないので、 よりも外側の組織には存在しない。

実験 2

Y 遺伝子を転写させるのに必要十分な転写調節領域(Y 領域)も見つかった。X タンパク質は、Y 領域に結合して転写を促進する調節タンパク質であることがわかった(図 3)。また、Y タンパク質は、細胞分裂を誘導する働きをもつが、細胞分裂の直後に分解されるものであった(図 4)。つまり、Y 遺伝子を転写した細胞は、一度だけ細胞分裂する。また、この細胞分裂で生じた細胞のうち、根の内側(中心柱がある方向)にできた細胞は元の性質を保つが、根の外側(表皮がある方向)にできた細胞は皮層の細胞に分化することもわかった。なお、X タンパク質は中心柱では Y 遺伝子の転写を促進しないこともわかった。

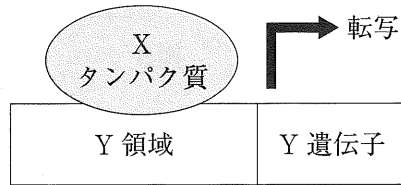


図 3

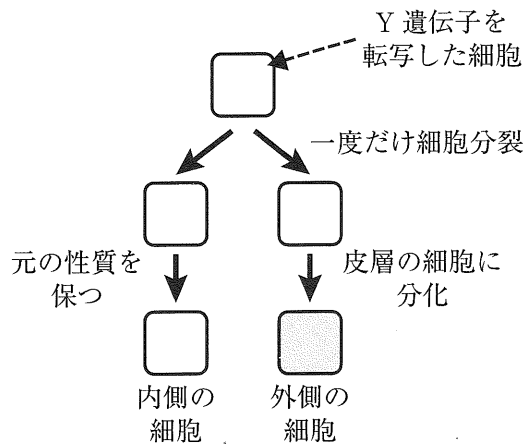


図 4

Y 領域に X 遺伝子をつないだ人工遺伝子③をもつプラスミドを作製した(図5)。
このプラスミドを野生型の植物に導入してトランスジェニック植物を作製する
 (b) と、1細胞分の層ではなく多数の細胞層をもつ皮層組織がつくられた(図6)。一
 方、人工遺伝子③をもつプラスミドを y 変異体に導入したトランスジェニック
 (c) 植物を作製すると、y 変異体と同様に、皮層をもたない根がつくられた。なお、
 すべての細胞がこの人工遺伝子をもつとし、組織の性質の違いといった、X 遺伝
 子や Y 遺伝子以外の影響は無視してよい。

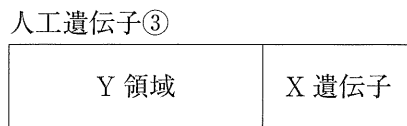


図5

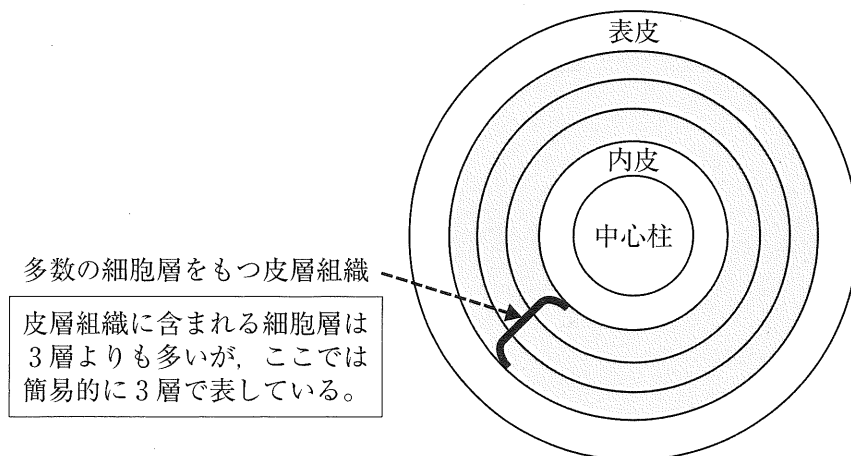


図6

問(4) 下線部(b)について、人工遺伝子③の働きで、どのようにして野生型では多数の細胞層をもつ皮層組織ができると考えられるか、説明せよ。

問(5) 下線部(c)について、人工遺伝子③は、なぜ y 変異体では皮層の増加を引き起こさないと考えられるか、説明せよ。

2 次の〔Ⅰ〕～〔Ⅲ〕の文章を読み、以下の問(1)～(8)に答えよ。

〔Ⅰ〕 眼球は、光の受容器である。ヒトの眼球はほぼ球形をしていて、その最外層の大部分は であり、これは眼球の前面では透明な に移行している。外界からの光は、 , , 水晶体, を通って網膜に達する。眼球に入る光の量は、虹彩こうさいの働きによって の直径が変化することによって調節される。網膜上に外界の光が鮮明に像を結ぶのは、水晶体の厚さが変化することによる。^(a) 網膜には、桿体細胞かんたいと錐体細胞すいたいの2種類の視細胞がある。^(b) 網膜において、視野の中心を担う部分は黄斑おうはんとよばれるが、さらにその中心部は、網膜が薄く少し凹くぼんでいるので中心窩ちゅうしんとよばれる。網膜の各部から伸びる視神経繊維は、^(c) 盲斑もうはんに集まって眼球の外に出る。

このような眼球の構造上の特性により、網膜上に結ばれる像は、外界を上下左右に反転させたものとなる。すなわち、視野の上半分は中心窩よりも下側の網膜に、下半分は中心窩よりも上側の網膜に投影される。また、視野の左半分は中心窩よりも右側の網膜に、右半分は中心窩よりも左側の網膜に投影される。

問(1) ～ に適切な語句を記入せよ。

問(2) 下線部(a)について、水晶体の厚さを変化させて焦点を調節するしくみについて説明した以下の文章について、 ~ に入れるべき語句として最も適切なものを、それぞれ選択肢より選び、その番号を記せ。

近くを見るときには、毛様体筋(毛様筋)が することにより、チン小帯の張力が し、水晶体の厚みが する。また、遠くを見るときには、毛様体筋が することにより、チン小帯の張力が し、水晶体の厚みが する。

, の選択肢

- ① 収縮
- ② 弛緩しかん

, , , の選択肢

- ③ 増加
- ④ 減少

問(3) 下線部(b)について、ヒトの2種類の視細胞のうち、桿体細胞よりも錐体細胞の特徴としてふさわしいものを、以下の①~⑤からすべて選べ。

- ① 光受容タンパク質としてロドプシンを含む。
- ② 暗いところでわずかな光に反応する。
- ③ 色覚に関与する。
- ④ 網膜の視野の中心を担う部分に多く存在する。
- ⑤ 網膜上のすべての視細胞のうち、数で高い割合を占める。

問(4) 下線部(c)について、一般に、網膜の盲斑の部分に入った光は感じる事ができない。その理由について説明せよ。

〔Ⅱ〕 ヒトにおいて、眼球から脳に至る視覚経路の概要は、図1に示すとおりである。視神経細胞の軸索は、網膜の盲斑から眼球を出て視神経となり、視交さししょうを通して視床の一部である外側膝状体がいそくしつじょうたいに至る。視交さでは、中心窩よりも耳側の視神経細胞から伸びた軸索は交差せずに同じ側の外側膝状体に至り、中心窩よりも鼻側の視神経細胞から伸びた軸索は交差して反対側の外側膝状体に至る。外側膝状体の神経細胞は、すべて同じ側の大脳皮質の一次視覚野に軸索を伸ばしている。

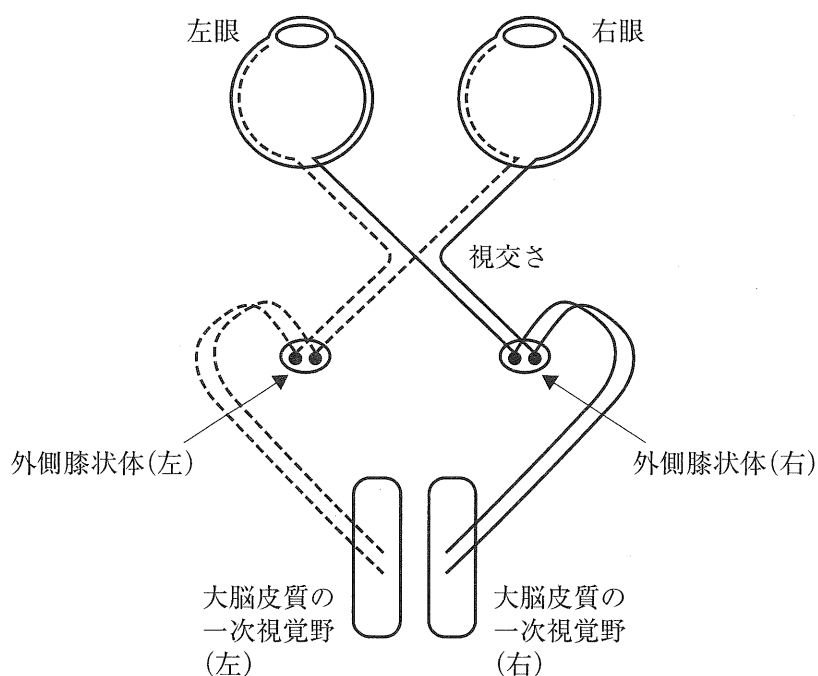
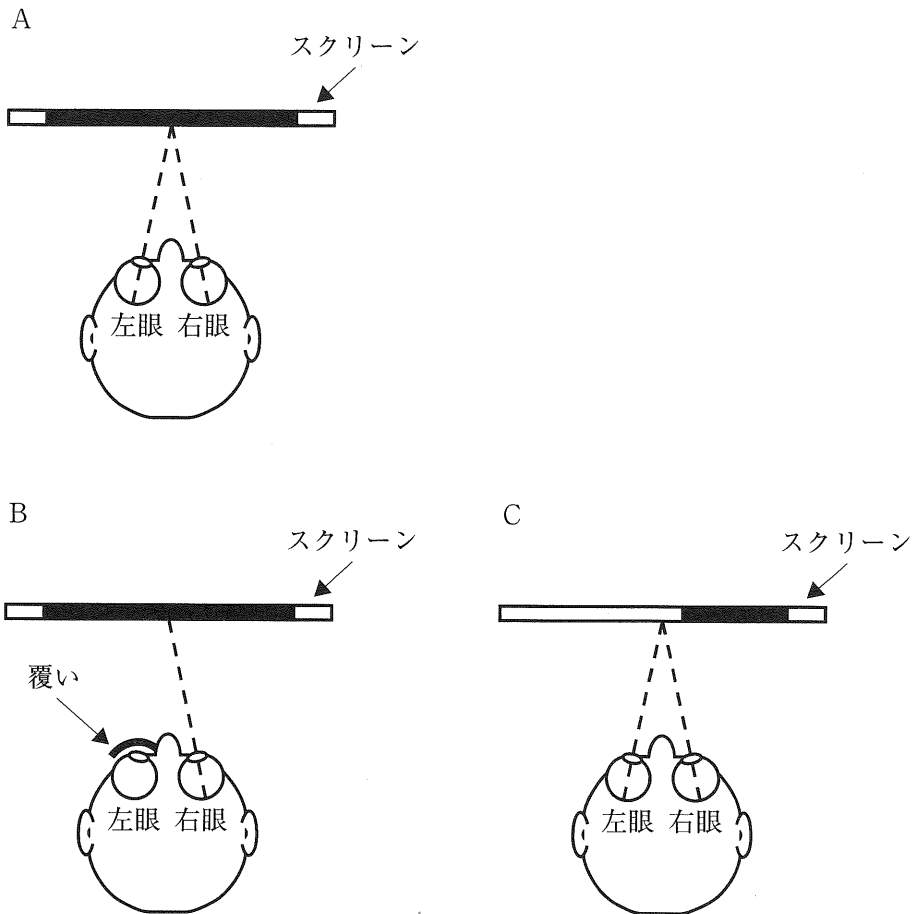


図1

視覚刺激に対する脳の反応を調べるために、磁気共鳴機能画像法^{*注1}を用いて脳活動を計測する実験を行った。薄暗い照明の下で、測定対象となるヒトに両眼でスクリーンの中央を見つめさせ、5ヘルツの閃光刺激^{*注2}を、スクリーンの広い範囲に一定の時間映した(図2 A)。その結果、閃光刺激を映しているときには、スクリーンになにも映していないときに比べて、左と右の大脳皮質の一次視覚野の神経活動が上昇していることが示された。

*注1 磁気共鳴機能画像法：磁気現象を用いた測定によって、生体を傷つけないよう、安全に脳活動を計測する方法の1つ。計測装置の中に測定対象となるヒトに入ってもらい、頭部を動かないように固定する。そのうえで、視覚刺激を映すためのスクリーンを目の前に設置する。

*注2 5ヘルツの閃光刺激：1秒間に5回繰り返される光の点滅。



スクリーンの黒の塗りつぶしは閃光刺激を映した範囲を，点線は視線の方向を示す。

図2

問(5) 左眼を覆って右眼だけでスクリーンの中心を見つめさせながら、スクリーンの広い範囲に閃光刺激を映すと(図2 B), 大脳皮質の一次視覚野の神経活動は、スクリーンになにも映していないときに比べてどうなると考えられるか。以下の①~④から最も適切なものを1つ選べ。

- ① 左と右の大脳皮質の一次視覚野が同様に活発に活動する。
- ② 主に右の大脳皮質の一次視覚野が活発に活動する。
- ③ 主に左の大脳皮質の一次視覚野が活発に活動する。
- ④ 左と右の大脳皮質の一次視覚野において同様に活動が低下する。

問(6) 両眼でスクリーンの中心を見つめさせながら、スクリーンの正中(スクリーン中心を通る垂直線)よりも少し右側からスクリーン右端近くまでの範囲に閃光刺激を映すと(図2 C), 大脳皮質の一次視覚野の神経活動は、スクリーンになにも映していないときに比べてどうなると考えられるか。以下の①~④から最も適切なものを1つ選べ。

- ① 左と右の大脳皮質の一次視覚野が同様に活発に活動する。
- ② 主に右の大脳皮質の一次視覚野が活発に活動する。
- ③ 主に左の大脳皮質の一次視覚野が活発に活動する。
- ④ 左と右の大脳皮質の一次視覚野において同様に活動が低下する。

〔Ⅲ〕 網膜における光受容のしくみを調べるため、薄暗い部屋のなかで、次のような実験を行った(図3)。ヒキガエルの眼球から網膜組織を摘出し、リンガー液^{*注3}で満たしたシャーレの中に入れた。顕微鏡で観察しながら、網膜組織中の桿体細胞の1つを選び、その外節部に記録電極を刺し込むとともに、リンガー液にもう1つの電極を入れて基準電極とし、それらを増幅器につないで、細胞の内外の電位差である膜電位を測定した。

*注3 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

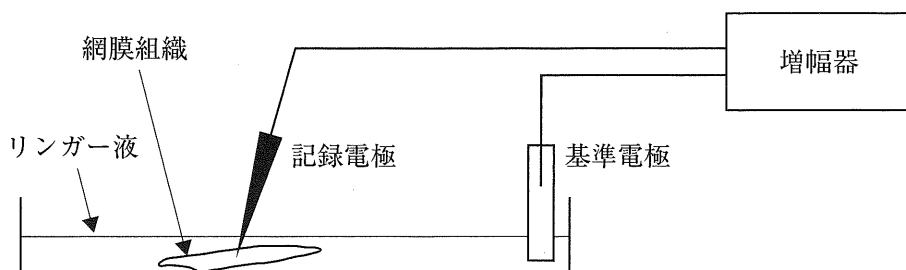
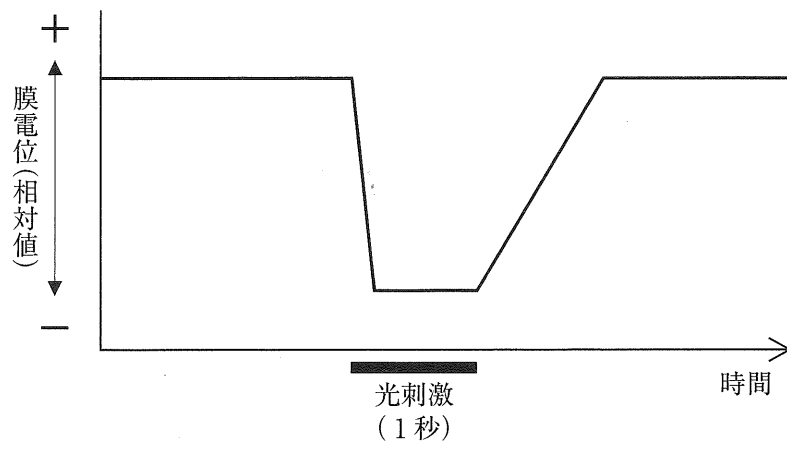


図3

薄暗い部屋のなかで、桿体細胞の膜電位の測定値は一定の値を示していたが、網膜組織に1秒間光を照射すると、図4 Aに示すように、膜電位は急激な変化を示した後、もとの値に戻った。次に、シャーレ内のリンガー液を、その組成のうちナトリウムイオン(Na^+)すべてを同じ1価の陽イオンであるリチウムイオン(Li^+)に置き換えた溶液に入れ替えた。しばらくすると、薄暗い部屋のなかでの膜電位は、先ほどよりも大幅に低い値で安定した。また、網膜組織に1秒間光を照射しても、膜電位に大きな変化は生じなかった(図4 B)。

A



B

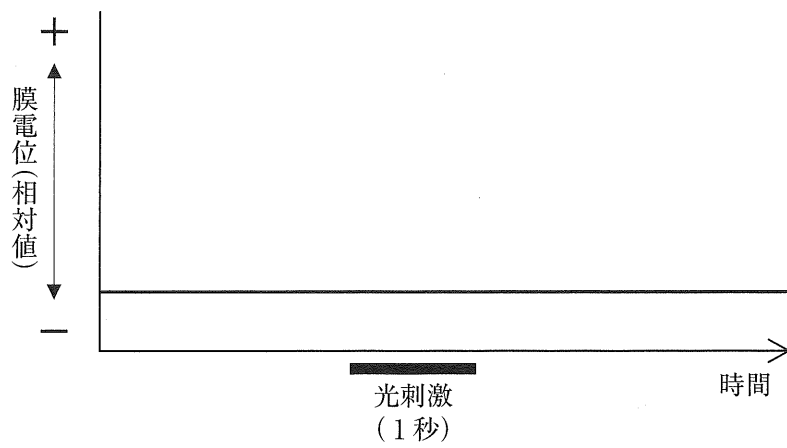


圖 4

問(7) この実験の結果から、生きたヒキガエルの網膜における、桿体細胞による光刺激の受容にかかわる現象として、どのようなことが生じていると推測されるか。以下の説明文の および に入れるべき語句として最も適切なもの1つを、それぞれ選択肢より選び、その番号を記せ。

暗い環境では、陽イオンチャンネルが , 膜電位が高い状態に保たれている。光刺激を受容すると、陽イオンチャンネルが , 膜電位が一時的に低い状態になる。この陽イオンチャンネルは、 Na^+ を通すが、 Li^+ は通さない。

の選択肢

- ① 閉じているので
- ② 開いており、 Na^+ が細胞外から細胞内に流入しているので
- ③ 開いており、 Na^+ が細胞内から細胞外に流出しているので

の選択肢

- ① 閉じるので
- ② 開き、 Na^+ が細胞外から細胞内に流入するので
- ③ 開き、 Na^+ が細胞内から細胞外に流出するので

問(8) 桿体細胞のシナプス部では、膜電位に応じた神経伝達物質の放出が行われていることが知られている。このことと、上記の実験の結果を踏まえると、生きたヒキガエルの網膜における桿体細胞からの神経伝達物質の放出量は、薄暗い部屋のなかでの膜電位が一定の値を示している状態から、一時的に光を照射したときに、どのように変化すると考えられるか、説明せよ。

3 次の〔I〕, 〔II〕の文章を読み, 以下の問(1)~(8)に答えよ。

〔I〕 ヒトは, 異物である微生物の侵入を阻止・排除する, 生体防御とよばれる多層的なしくみを備えている。異物の体内への侵入はまず, 体表で物理的・化学的な防御により防がれている。表皮の最外層を覆う角質層は, 死んだ表皮の細胞の層であり, 細菌やウイルスの侵入を防いでいる。

体表を突破して侵入した異物は, ^(a)さまざまな種類の白血球が連携しておこす免疫反応によって排除される。体内に細菌やウイルスなどの異物が侵入すると, これらの異物が共通してもつ特徴を認識する 免疫が, すみやかに始動する。好中球や は体内に侵入した細菌を認識し, 食作用とよばれる働きにより, 細胞内に取り込んで消化・分解する。 ^(b)スタインマンによって1973年に発見された大型星状細胞である も異物を取り込み, に移動して, 分解によって断片化した異物の一部を細胞表面に提示する。これは 提示とよばれる。提示された構造を認識するT細胞は活性化し, 増殖した後にヘルパーT細胞やキラーT細胞となって病原体の除去に働く。生体防御による病原体の除去が不十分であることは, 感染症の原因となる。

さまざまな動物が, 感染症の原因となる病原体を媒介する。^{せっそく}節足動物であるマダニは^{ほにゅうるい}哺乳類などの血液を栄養源とする。細菌R1とその近縁の細菌R2はどちらも, マダニが血液を吸う行動(吸血行動)のさいに, 哺乳類の血中に入り込むことがあり, その後, 血球細胞の食作用により細胞内に侵入し, 分解されるしくみから逃れることで, ^(c)細胞内で増殖する。

問(1) ~ に適切な語句を記入せよ。

問(2) 下線部(a)について, 表皮の角質層は気管の上皮組織よりも, ウイルスの侵入を防ぐのに優れている。その理由を説明せよ。

問(3) 下線部(b)について、細胞内に取り込まれた細菌を分解する、細胞小器官の名称を記せ。

問(4) 下線部(c)について、抗体は細胞内に侵入して増殖する細菌に細胞外で反応できるが、いったん細胞内に侵入した細菌の、細胞内での増殖を防ぐことはできない。その理由を説明せよ。

〔Ⅱ〕 マダニは、ある種の細菌が体内に存在しても、病気を生じることなく、それらを体内に保持し続ける。哺乳類の血球細胞に細菌 R1 または R2 が感染している場合、この動物の血液をマダニが吸うことによって、細菌 R1 または R2 がマダニの体内に入り込み、全身の組織の細胞内に広がる。この状態を「マダニが細菌を保有している」とよぶことにする。細菌 R1 と R2 は、マダニからマダニへと直接伝わることもある。この場合、細菌 R1 と R2 は、マダニの遺伝子とは独立に伝わる。

A, B, C の 3 地域に同種のマダニが生息しており、それぞれの群は他の群との交雑が全くないとする。それぞれの個体群を A 群, B 群, C 群とよぶ。各群の複数の個体を採取し、細菌 R1 および R2 を保有している個体数の割合(保有率)を測定すると、表 1 のようであった。

細菌 R1 や R2 と、マダニやヒトの関係を明らかにするために、実験 1 ～ 3 を行った。

表 1

個体群	細菌 R1 保有率	細菌 R2 保有率
A	100 %	0 %
B	0 %	100 %
C	0 %	0 %

実験 1

個体群 A~C からマダニを採取し、実験室内でオスとメスを交配し、その子世代の個体の細菌 R1 と R2 の保有率を測定すると、表 2 のようになった。

表 2

		子世代の細菌 R1 保有率		
		メス親の群		
		A	B	C
オス親の群	A	100 %	0 %	0 %
	B	100 %	0 %	0 %
	C	100 %	0 %	0 %

		子世代の細菌 R2 保有率		
		メス親の群		
		A	B	C
オス親の群	A	0 %	100 %	0 %
	B	0 %	100 %	0 %
	C	0 %	100 %	0 %

問(5) 表 1, 表 2 から, 細菌 R1, R2 がマダニの親世代から子世代へどのように伝わると考えられるか, 説明せよ。

実験 2

マダニに、細菌を含んだ血液を吸わせる。これを「細菌を摂取させる」とよぶことにする。細菌 R1 または R2 を摂取させると、一定の割合の個体に、細菌 R1 または R2 を保有させることができる。この時、摂取させた細菌 R1 と R2 はどちらも、全身の組織の細胞内に侵入する。A～C それぞれの群から採取したマダニのメスに、細菌 R1 または R2 を摂取させた後、どちらの細菌も保有していないオスと交配させて実験室内で飼育し、その子世代の個体の細菌 R1 と R2 の保有率を測定すると、表 3 のようになった。

表 3

		メス親の群					
		A		B		C	
		子世代の細菌保有率		子世代の細菌保有率		子世代の細菌保有率	
		R1	R2	R1	R2	R1	R2
メス親に 摂取させた 細菌	R1	100 %	0 %	74 %	100 %	74 %	0 %
	R2	100 %	4 %	0 %	100 %	0 %	54 %

問(6) 地域 B(マダニ B 群の生息域)でマダニに吸血され細菌 R2 に感染したウシの群れが、地域 A(マダニ A 群の生息域)、または地域 C(マダニ C 群の生息域)に移動したとする。このウシの血液中の細胞には、細菌 R2 が侵入している。地域 A または地域 C に住むヒトにとって、マダニを介して細菌 R2 に感染する可能性が高いのは、表 3 の結果から、どちらの地域と考えられるか、その地域の記号を記せ。また、その理由を説明せよ。ただし、どの地域においても、マダニがヒトやウシを吸血する確率は等しく、かつ、地域間でのヒトの移動はないものとする。

実験 3

マダニ、あるいはヒトの血球細胞を培養して、それぞれに細菌 R1 や R2 を侵入させる実験を行った。細菌 R1 や R2 を培地に加えると、これらの細菌はマダニ、あるいはヒトの血球細胞内に侵入する。培地に細菌を加えて、細菌を細胞内に 30 分間侵入させた後、培地を交換して、新たに細胞内に細菌が侵入することがないようにして、さらに培養を続けた。実験の期間中、マダニとヒトの血球細胞はどちらも増殖せず、細胞数は変化しなかった。

以下の 3 つの条件で実験を行った。

- ① 培養開始後 3 日目に細菌 R1 を細胞内に侵入させて、さらに培養を続ける。
- ② 培養開始後 3 日目に細菌 R2 を細胞内に侵入させて、さらに培養を続ける。
- ③ 培養を開始するときに細菌 R1 を細胞内に侵入させて 3 日間培養した後、細菌 R2 をさらに侵入させて培養を続ける。

培養開始直後(0 日目)から、細胞内の細菌 R1 および R2 の数を一定日数ごとに測定し、その結果を図 1 に示した。矢印の時点が、培養開始後 3 日目である。

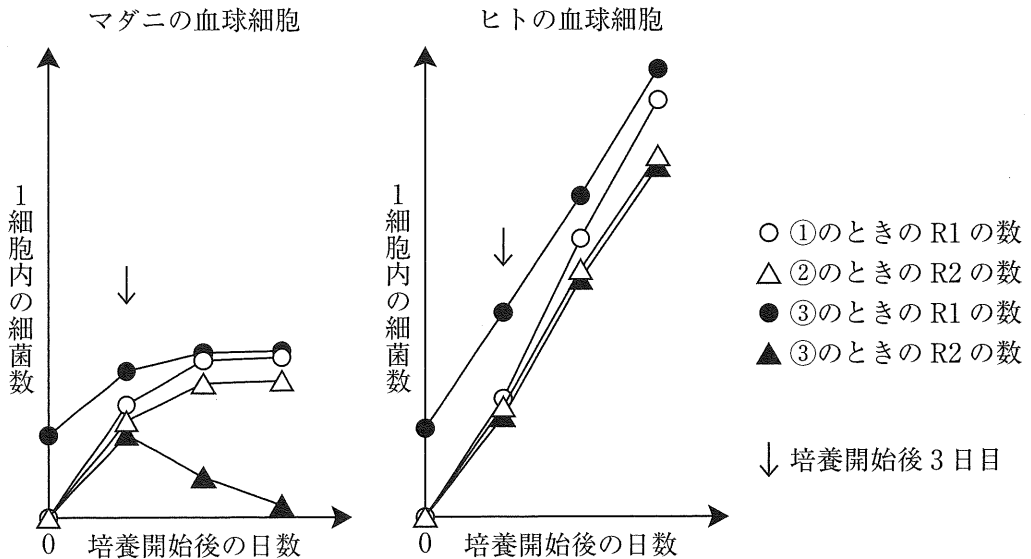


図 1

問(7) 細菌 R1 と R2 はどちらも、ヒトの体内で細胞に侵入したときに、ヒトの体内環境に悪影響を及ぼす。しかし、マダニの体内で細胞に侵入しても、マダニの体内環境を乱さない。図 1 の結果から、細菌の細胞内での増殖と、細菌 R1 や R2 が体内環境に悪影響を及ぼすかどうか、どのような関係があると考えられるか説明せよ。

問(8) 表 3 において、細菌 R2 を摂取させたメス親から生まれる子世代の細菌 R2 の保有率は、A 群と C 群で異なっていた。その原因を、図 1 の結果から考えて説明せよ。