

2015年度 京都大学 前期 生物

I 光合成と活性酸素, 制限酵素を用いた X 染色体の不活性化の解析

出題範囲	光合成, 遺伝子, バイオテクノロジー
難易度	★★★★☆
所要時間	23分
傾向と対策	(A)と(B)でまったく異なるテーマが扱われているが, どちらも深く考えなくてはならない問題ばかりである。(A)では, クロロフィル分解の不利な点や紅葉の意義を答える記述問題がある。一方(B)は, すべて選択問題ではあるが, 実験やその原理についてよく理解していなくては解答できない問題ばかりである。全体としてやや難しく時間もかかる問題であるが, 京大らしい良問である。京大を目指す受験生は1回解くだけでなく, 何度か解いてスラスラと解答を導けるようになることが望ましい。

解答

- 問1 ア : NADPH イ : 水素イオン (H^+) ウ : カルビン・ベンソン
- 問2 反応中心クロロフィルが励起状態から戻るときに水から電子を奪い, 酸素と水素イオンが発生する。
(45字)
- 問3 低温ストレス
- 問4 クロロフィルの量を下げると, ストレスが存在しない状況下でも光合成速度が低下するため。(42字)
- 問5 秋は光の強さは十分である一方で気温が低下するため, 還元力が過剰になりやすい。植物はクロロフィルを分解することにより電子伝達系による還元力の過剰な生成を抑制し, 生理的な機能を維持している。(93字)
- 問6 (g)
- 問7 (c)
- 問8 (e)
- 問9 (い), (お), (か), (き)

解説

問1 難易度 : ★★★★★

光合成に関する基本的な知識問題である。光合成の一連の反応は葉緑体の**チラコイド膜**上で起こる反応と**ストロマ**で起こる反応の2つに大別される。後者は**カルビン・ベンソン回路**とよばれ, に入るが, (A)で重要なのは前者の反応であるので, そちらに重点をおいて確認していこう。カルビン・ベンソン回路については下記のCheck!!で確認してほしい。

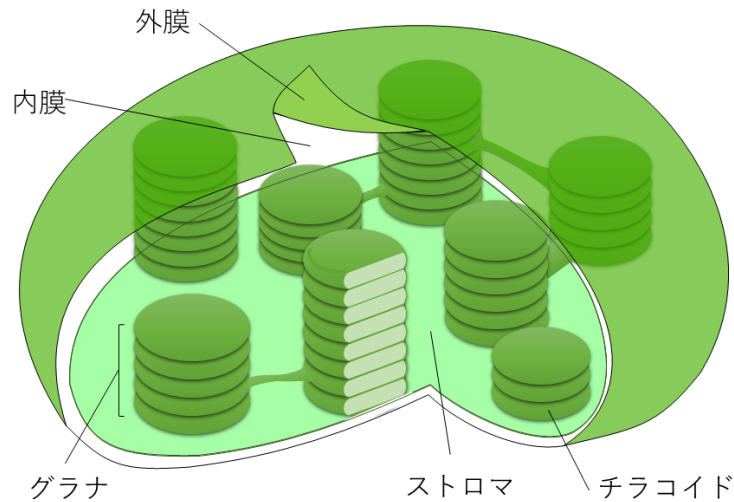
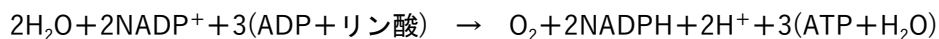


図 A 葉緑体の構造

チラコイド膜上には**光化学系 II**、**光化学系 I**というクロロフィルやカロテノイドなどの多数の光合成色素とさまざまなタンパク質からなる 2 つの複合体が存在し、それらの中心部(反応中心)にはクロロフィルが存在する。光化学系 II、光化学系 I で光合成色素が光エネルギーを吸収すると、反応中心クロロフィル a が活性化されて電子 (e^-) を放出する。この反応は**光化学反応**とよばれる。 e^- を放出し酸化されたクロロフィル a は酸化力が高まっており、 e^- を受け取りやすくなっている。光化学反応で e^- を放出した光化学系 II の反応中心クロロフィル a がチラコイド内の水を酸化することで、酸素と水素イオン (H^+) が生じる。光化学系 II で放出された e^- は**電子伝達系**という反応系により光化学系 I に移動する。このとき、光化学系 I の反応中心クロロフィル a は光化学反応により e^- を放出しており、電子伝達系を経て移動してきた e^- を受け取る。光化学系 I の光化学反応で放出された e^- は、ストロマでの NADPH を生じる反応に用いられる。

また、電子伝達系を e^- が移動するとき、ストロマ側からチラコイド内に H^+ が能動輸送される。この時にチラコイド内に輸送される H^+ と光化学系 II による水の分解により生じた H^+ で、チラコイド内の H^+ 濃度はストロマよりも高くなっている。チラコイド膜上には ATP 合成酵素が存在し、 H^+ の濃度勾配のエネルギーを用い、 H^+ が ATP 合成酵素内を通過してストロマに拡散する際に、ATP が合成される。この過程による ATP 合成は光エネルギーを用いて形成された H^+ の濃度勾配を利用しているため、**光リン酸化**とよばれる。これらの反応によって生じた ATP や NADPH は、次の過程であるカルビン・ベンソン回路で利用される。

チラコイド膜上の反応を式で表すと次のようになる。



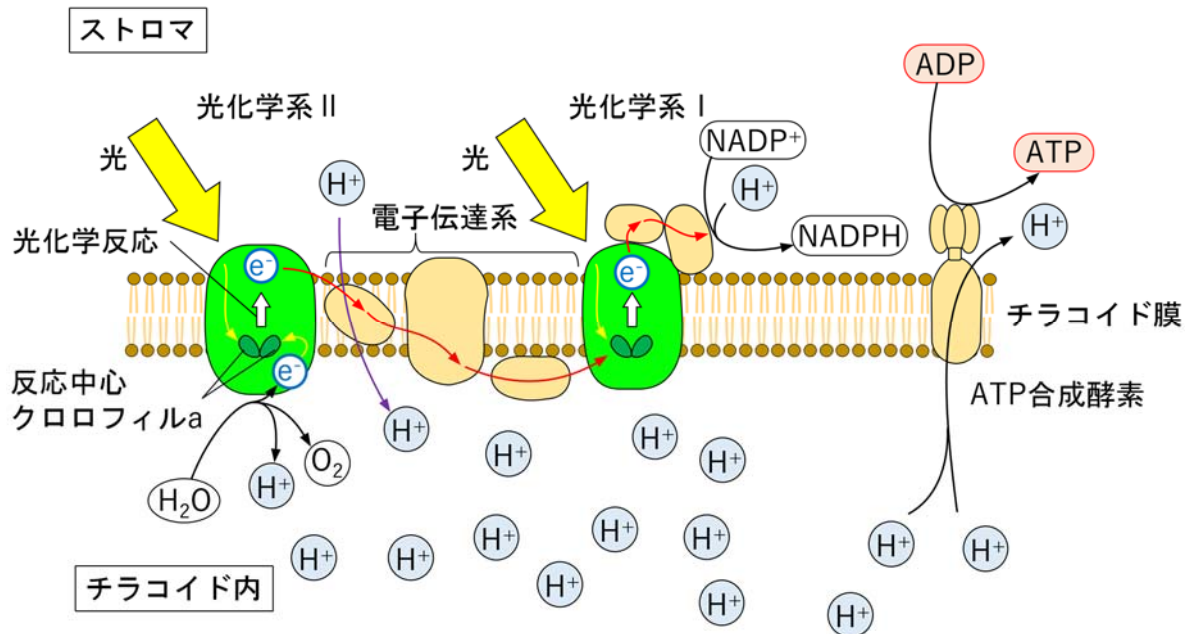


図 B チラコイド膜上の反応

以上が大まかなチラコイド膜上での反応に関する知識であり、下線を引いた部分から **ア** には NADPH, **イ** には水素イオン (H⁺), **ウ** にはカルビン・ベンソンが入るとわかる。ただ説明を読んで理解するだけでなく、何も見なくても自分で説明できるようにしよう。

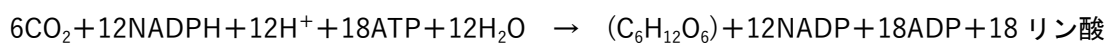
◆Check!!

カルビン・ベンソン回路とルビスコ

光合成の 2 つ目の過程は葉緑体の **ストロマ** で起こる反応で、**カルビン・ベンソン回路** (カルビン回路) とよばれる。カルビン・ベンソン回路では、チラコイド膜上で生じた ATP と NADPH を用いて二酸化炭素から有機物を合成する。

まず、**リブローズビスリン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ** (Rubisco, **ルビスコ**) という酵素のはたらきにより、五炭素化合物である **リブローズビスリン酸** (RuBP) と二酸化炭素が反応し、三炭素化合物である **ホスホグリセリン酸** (PGA) が生じる。その後、ATP や NADPH との反応などを通して三炭素化合物である **グリセルアルデヒドリン酸** (GAP) となる。このあと、炭素化合物は大きく分けて 2 つの経路へと分かれる。一方は、ATP との反応などを通して RuBP となり、再びルビスコによって触媒される反応へ戻る反応経路である。もう一方は、炭水化物などの有機物を合成する反応経路である。

カルビン・ベンソン回路から生じる有機物をグルコースに換算すると、次の反応式が得られる。



この式と問 1 の解説中にあるチラコイド膜上での過程の反応式をあわせて整理すると、次の光合成全体の反応式が得られる。

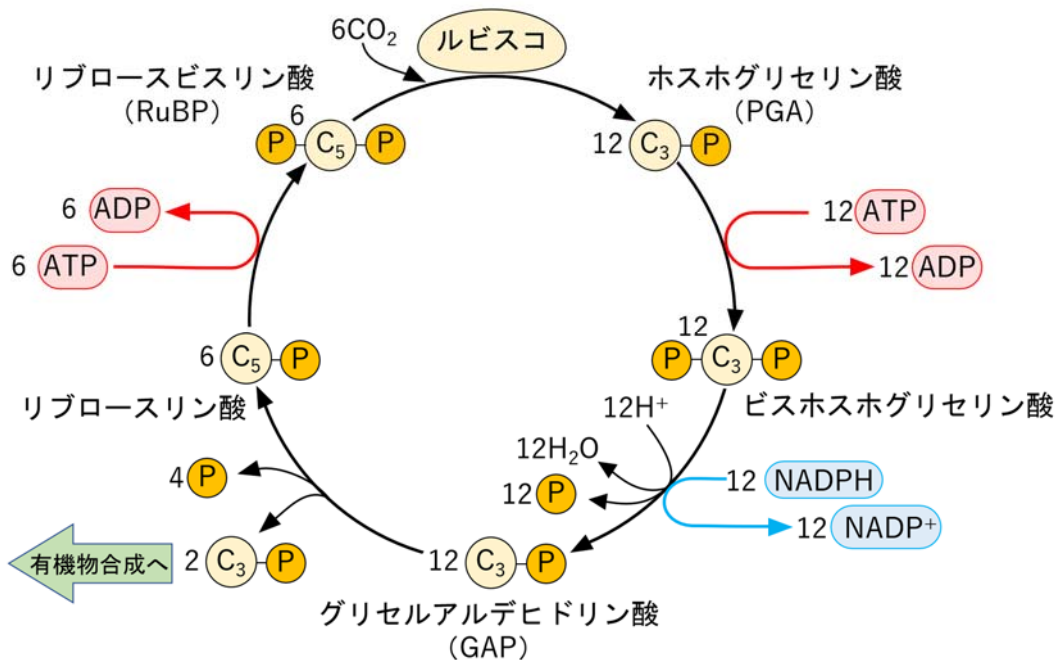
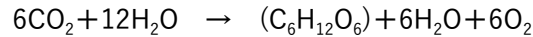


図 C カルビン・ベンソン回路

リブローズビスリン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼという名前からもわかるように、ルビスコは RuBP に二酸化炭素を付加する反応と酸素を付加する反応の両方を触媒する。RuBP に酸素が付加されるとホスホグリコール酸が生じる。ホスホグリコール酸はカルビン・ベンソン回路の阻害剤であるため、すみやかにグリコール酸となる。その後、ペルオキシソームやミトコンドリアでの一連の反応によりグリセリン酸となり、リン酸化されて PGA となってカルビン・ベンソン回路に戻る。この過程で、ルビスコによる反応とペルオキシソームにおける反応で酸素が消費され、ミトコンドリアにおける反応で二酸化炭素が発生する。そのため、この一連の反応は**光呼吸**とよばれている。

問 2 難易度：★★★★☆

光化学系 II のチラコイド内部で起こる反応を説明する問題である。問 1 の解説を読んでもらえば、水が酸素と水素イオンと電子に分解されるということがわかるだろう。ここで生じる酸素が大気中に蓄積し、現在の大気が形成されたのである。ただしこれだけでは少し短いので、反応中心クロロフィルの励起に触れて解答を作ったほうがよいだろう。

高校生物では習わない内容であるが、励起とは何か簡単に説明すると「原子や分子などが外部のエネルギーによってよりエネルギーの高い状態に変化すること」である。光化学系では光エネルギーにより光合成色素が励起する。この励起エネルギーが反応中心クロロフィルに集められると、反応中心クロロフィルは励起して電子を放

出する。この時、反応中心クロロフィルは励起しているわけだから、エネルギーが高くなっている。この反応中心クロロフィルがもとのエネルギーの低い状態に戻るときに、反応中心クロロフィルで放出されるエネルギーを用いて水の分解が起こる。

したがって、解答は次のようになる。

解答例

反応中心クロロフィルが励起状態から戻るときに水から電子を奪い、酸素と水素イオンが発生する。(45 字)

問 3 難易度：★★★★☆

光合成速度を決定する外的要因として最も重要だと考えられているものには、温度、光の強さ、二酸化炭素濃度の3つが挙げられる。ほかのさまざまな要因も関与するがあまり教科書的ではなくメカニズムも不明瞭であるので、前述の3つの要因から考えよう。以下で3つのうちの1つの要因について考えている場合、ほかの2つの要因は光合成に適切な量があることを前提として考えているので注意してほしい。

まずは温度について。光合成速度は温度によって図 D のように変化する。これは光合成が酵素反応であるためである。光合成に関与する酵素の中で最も重要だといえるのはルビスコ（リブローズビスリン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ, RubisCO）である。ルビスコは1分子のリブローズビスリン酸と1分子の二酸化炭素から2分子のホスホグリセリン酸が生じる二酸化炭素の固定反応を触媒する酵素である。そのため、二酸化炭素の固定反応速度は図 D の光合成速度と同じように変化すると考えてよい。問3の設問文にも「二酸化炭素の固定反応速度が低下し」とあるため、温度に関するストレスが解答となる。温度に関するストレスとしては高温ストレスと低温ストレスが考えられる。どちらでも光合成速度は最適温度下よりも低下する。しかし、図 D を見てわかるように最適温度は30℃程度であり、自然条件下ではそれよりも低い状態のほうが多いから、低温ストレスのほうが無難である。また、低温ストレスのほうが問5とのつながりもよい。

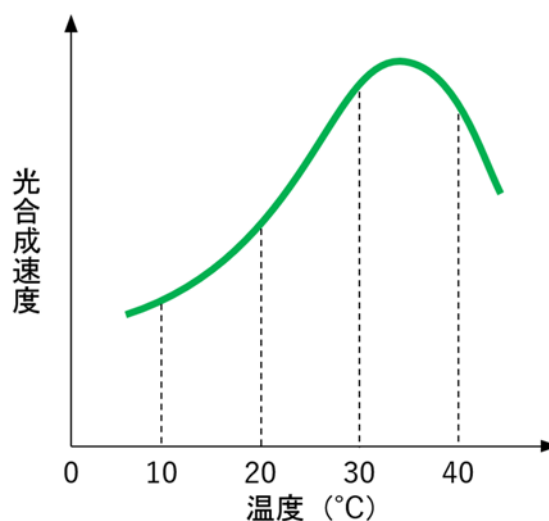


図 D 光の強さと二酸化炭素濃度が適切なときの温度による光合成速度の変化

次に光の強さについて。光が関与するのは光合成のうちチラコイド膜上で起こる反応である。そのため光の強さによって光化学反応の速度は変化するだろうが、二酸化炭素の固定反応速度は変わらないと考えられる。また、強光ストレス下では光呼吸が起こり、二酸化炭素の固定速度が低下するということを知っている人もいるかもしれない。しかし、強光ストレス下ではチラコイド膜上で反応により過剰な還元力が生じ、それによって光呼吸が起こる。この問3では「二酸化炭素の固定反応速度が低下し、活性酸素を生成する」状況を答えなくてはならず、強光ストレスによる反応では前後関係が逆である。したがって、解答としては適切ではない。

最後に二酸化炭素濃度について。自然環境下で大気中の二酸化炭素濃度が大きく変化するとは考えにくい。気孔中の二酸化炭素濃度さえ考えればよい。問題文に「乾燥ストレス下では、蒸散を防ぐために気孔が閉鎖し、葉緑体への二酸化炭素の供給量が低下する」とあるため、乾燥ストレスは二酸化炭素濃度のストレスである。したがって、解答とはならない。

以上より、解答は**低温ストレス**である。これは問5のヒントとなるため、なんとか正解したいところである。

問4 難易度：★★★★☆

活性酸素による葉緑体機能の阻害に対し、反応中心あたりのクロロフィルの量を下げるという機構の不利な点を答える問題。考えすぎてしまうことがなければさほど難しくはないだろう。

反応中心あたりのクロロフィルとは、1つの光化学系あたりのクロロフィル量ということである。光化学系にはクロロフィルなどの光合成色素が多数含まれていると前述したが、反応中心ではないクロロフィルは光エネルギーを吸収する役割があるため、そのクロロフィルの量が減れば光化学系で吸収する光エネルギーが減少する。そのため、過剰な還元力が生じるようなストレスが存在しないときでも光合成速度が低下してしまう。クロロフィルの数を減らす目的は葉緑体機能の阻害を抑制すること、すなわち光合成を正常に維持することであるから、クロロフィルを分解してしまうことは本末転倒である。そのようなストレスが強くなったときにクロロフィルを分解し、弱くなったときにクロロフィルを合成するのではかなりエネルギーの無駄になってしまう。したがって多くの植物はこの機構を多用しないのだと考えられる。

以上より、解答は次のようになる。

解答例

クロロフィルの量を下げると、ストレスが存在しない状況下でも光合成速度が低下するため。(42字)

問5 難易度：★★★★★

紅葉におけるクロロフィル分解の意義を答える問題。紅葉の話題は他のこれまでの設問にはなく、手掛かりがないようにも思われるが、問3がヒントとなっている。この問3と合わせて考えられたかがカギとなるだろう。

秋とはどのような季節だろうか。夏と冬の間であり、気温は次第に下がっていき、昼夜の寒暖差は大きくなる。また、秋雨が降り続くこともあるが、「天高く馬肥ゆる秋」というように澄み渡った青空となることが多い。

問3では低温ストレスが活性酸素の生成をもたらすと答えた。また解説では、光の強さも光合成に対して重要

であることも述べた。秋の注目すべき特徴は気温と光の強さである。

秋は気温が低下して酵素反応全般の反応速度が低下する一方で、植物は十分な量の光を得ることができる。このような状況下では、光合成のうちのチラコイド膜上で起こる反応がカルビン・ベンソン回路に比べて過剰になる。それによって還元力が過剰になってしまい、活性酸素が生じてしまう。そこで植物はクロロフィルを分解し紅葉することによって、過剰な還元力の生成を抑制し、生理的な機能を正常に保っている。

したがって、解答例は次。

解答例

秋は光の強さは十分である一方で気温が低下するため、還元力が過剰になりやすい。植物はクロロフィルを分解することにより電子伝達系による還元力の過剰な生成を抑制し、生理的な機能を維持している。(93 字)

問 6 難易度：★★☆☆☆

母親の DNA を制限酵素 *Msp*I で処理した場合の図 2 のバンドパターンを予測する問題である。問 6 以降の設定では問題文や図 1, 図 2 をしっかりと理解する必要があるので、慎重に見ていこう。

まず、*Msp*I は CCGG も CC^mGG も切断することができる。すなわち、X 染色体が不活性化されていてもされていなくても X 染色体の DNA は遺伝子 A のその配列で切断されるのである。

また、図 1 のように CCGG の配列は PCR プライマーに挟まれた領域に存在し、ここが制限酵素によって切断されると、PCR 法による DNA の増幅は起こらない。

母親の DNA を *Msp*I で処理すると、2 本の X 染色体は両方 CCGG か CC^mGG の配列で切断される。そのため、その DNA は PCR 法で増幅できず、PCR 産物を電気泳動してもバンドは現れない。

したがって、解答は(g)である。

問 7 難易度：★★★★☆

問 6 では *Msp*I で処理したのに対し、問 7 では *Hpa*II で処理している。*Hpa*II は CCGG のみを切断し、CC^mGG を切断することはできない。したがって、*Hpa*II 処理+PCR で増幅するのは不活性化された X 染色体の遺伝子 A 領域だけである。

母親の DNA を制限酵素処理しない場合 (図 2) において、分子量の大きいバンドと小さいバンドがある。これは、母親が繰り返し配列の長い遺伝子 A をもつ X 染色体と繰り返し配列の短い遺伝子 A をもつ X 染色体の 2 本の X 染色体をもつということである。問 7 の正解を導き出すには、母親の末梢血液の細胞でどちらの染色体が不活性化されているかを知る必要がある。そのためにはタンパク質 B の酵素活性がカギとなる。

今後説明しやすくするために、父親と母親の X 染色体 3 本を PCR 法で増幅したときのバンドの分子量順に X^大、X^中、X^小とよぶことにする。そのため性染色体の組み合わせは次の表のようになる。

表 A 父親, 母親, 母の弟, 兄, 姉の性染色体構成とタンパク質 B の酵素活性

	父親	母親	母の弟	兄	姉
性染色体	$X^{\text{中}}Y$	$X^{\text{大}}X^{\text{小}}$	$X^{\text{大}}Y$	$X^{\text{小}}Y$	$X^{\text{大}}X^{\text{中}}$
タンパク質 B の酵素活性	100%	50%	0%	100%	0%

問題では遺伝子 B の変異によりタンパク質 B の酵素活性を失う疾患について考えている。遺伝子 B は X 染色体上に存在している X 連鎖遺伝子であるから, X 染色体を 1 本しかもたない男性の性染色体と酵素活性を調べれば, それらの関係がみえてくるだろう。

父親, 母の弟, 兄の性染色体構成と酵素活性は表 A のとおりである。父親と兄は酵素活性が正常 (100%) であるのに対し, 母の弟では酵素活性が失われている。したがって, $X^{\text{大}}$ 上には変異型遺伝子 B (以下では b と表記) が存在し, $X^{\text{中}}$ と $X^{\text{小}}$ 上には正常な遺伝子 B (以下では単に B と表記) が存在する。

これを踏まえて, 問題の解答を考えよう。母親の染色体構成は $X^{\text{大}}X^{\text{小}}$ で, 遺伝子型は Bb である。問題文より, 女性の場合の X 連鎖遺伝子の変異による疾患は, 「この変異遺伝子をもつ X 染色体が活性化している細胞の割合により, ささまざまな程度で発症する」。母親のタンパク質 B の酵素活性は 50% であるから, $X^{\text{大}}$ と $X^{\text{小}}$ の活性化している割合はおよそ 50% ずつであると考えられる。

したがって, 母親の末梢血液の細胞のうち約半分は $X^{\text{大}}$ が不活性化されており, もう半分では $X^{\text{小}}$ が不活性化されている。よって, $Hpa\text{II} + \text{PCR}$ の処理をして電気泳動にかければ, 分子量が大きい位置と小さい位置にバンドが現れると考えられる。

以上より, 解答は(c)である。

問 8 難易度: ★★★★★

問 7 の母親の場合と同様に姉の場合を考える。

姉の性染色体構成は $X^{\text{大}}X^{\text{中}}$ であり, 酵素活性は 0% である。酵素活性が 0% であることより, 姉の末梢血液の細胞ではすべての細胞で, b が存在する $X^{\text{大}}$ が活性化しており, B が存在する $X^{\text{中}}$ は不活性化している。

不活性化された X 染色体の遺伝子 A 領域のみが増幅される (問 7 の解説の下線部参照) ことから, 分子量が中くらいの位置にバンドが現れると考えられる。

したがって, 解答は(e)である。

問 9 難易度: ★★★★★

妹の制限酵素処理をしない場合と $Hpa\text{II}$ で処理した場合のバンドパターンを考える。制限酵素処理をしない場合は X 染色体構成を答えるのとほとんど変わらない。 $Hpa\text{II}$ で処理した場合は問 7 や問 8 と同様に考えればよい。

①制限酵素処理をしなかった場合

娘は父親由来の X 染色体と母親由来の X 染色体を 1 本ずつもっている。父親の X 染色体は $X^{\text{中}}$ 、母親の X 染色体は $X^{\text{大}}$ と $X^{\text{小}}$ である。よって、妹の性染色体構成としてありうるのは $X^{\text{中}}X^{\text{大}}$ と $X^{\text{中}}X^{\text{小}}$ の 2 通りである。いずれの場合も B が存在する $X^{\text{中}}$ あるいは $X^{\text{小}}$ をもつため、妹のタンパク質 B の酵素活性が 100%であることに矛盾しない。

したがって、制限酵素処理をしなかった場合のバンドパターンは(a)か(b)である。

② *Hpa* II で処理をした場合

①が(a)であるか(b)であるかによって分けて考えよう。

i) ①が(a)である場合

妹の性染色体構成が $X^{\text{中}}X^{\text{大}}$ であるとき、タンパク質 B の酵素活性が 100%であるから、末梢血液のすべての細胞で $X^{\text{大}}$ が不活性化されているはずである (*b*が存在しているため)。

したがって、この時のバンドパターンは(d)となる。この場合の問 9 の選択肢は(i)である。

ii) ①が(b)である場合

この時、妹の性染色体構成は $X^{\text{中}}X^{\text{小}}$ であるが、どちらの X 染色体上にも B が存在している。そのため、X 染色体がどのような比率で不活性化されても、タンパク質 B の酵素活性は 100%となる。

したがって、すべての細胞で $X^{\text{中}}$ が不活性化される場合の(f)、すべての細胞で $X^{\text{小}}$ が不活性化される場合の(e)、母親の場合のように細胞によって不活性化される X 染色体が異なる場合の(b)のいずれのバンドパターンもあり得る。この場合の問 9 の選択肢はそれぞれ(き)、(か)、(お)である。

以上より、解答は、(い)、(お)、(か)、(き)である。場合分けして考えることが重要である。

(西川尚吾, 神戸朱琉, 後藤暁彦, 北川健斗)

2015年度 京都大学 前期 生物

II 生殖の様式，マウスの精子形成における遺伝子発現

出題範囲	生殖様式，減数分裂，遺伝
難易度	★★★★☆
所要時間	20分
傾向と対策	教科書に記述の少ない単為生殖に関する問2を除けば難問は多くなく，ほかの受験生に差をつけられないようにするためにも語句や数値を答える問題は間違えたくない。記述問題の解答がすぐに思いつかず時間がかかるようであれば，先に問5から問7を解いてから記述問題に戻るのもよいだろう。遺伝子の分離比や出現頻度についての問題は日頃から演習しておき，問題を見たらすぐに方針を立てて解くことができるようになっておきたい。

解答

問1 ア：無 イ：有 ウ：4C エ：2C オ： 2^{23} カ： 2^{46}

問2 無性生殖では，体細胞分裂によって新個体ができるため，親子のゲノムは同一である。単為生殖では，減数分裂を経てつくられた配偶子が単独で発生するケースが多く，その過程で相同染色体の分離や乗換えが起こるため，親子のゲノムは同一にならない場合が多い。(119字)

問3 目的の形質は複数の遺伝子によって決定され，優れた形質をもつ品種ではいくつかの遺伝子がヘテロ接合となっている。自家受粉したときに，ヘテロ接合となっている遺伝子がすべてヘテロ接合，あるいは優性遺伝子のホモ接合になった場合にしか優れた形質が現れないから。(123字)

問4 2つの配偶子が接合して生じた個体でももとの個体と同じ染色体数を維持するためには，配偶子の染色体数を半減させる必要があるため。(62字)

問5 (1)：(あ) (2)：(い)

問6 (1)12.5% (2)0.5%

問7 (1)7/16 (2)0% (3)100%

解説

問1 難易度：★★★★☆

簡単な計算と知識を要する問題である。

アには無，イには有が入る。生物には，問題文で触れられているゾウリムシや酵母のように有性生殖と無性生殖の両方を行うことができるものがある。これらの生物の多くは，生育している環境条件がよいときには無性生殖を行い，環境条件が悪化すると有性生殖に切り替えることが知られている。これは，無性生殖では有性生殖に比べはやく大量に子孫を残すことができる一方で，有性生殖では遺伝的に多様な子孫を残せるため環境が変化したときに適応して生き残る確率が高くなるからであると考えられている。

ウには $4C$ 、エには $2C$ が入る。有性生殖における減数分裂について見ていこう。減数分裂では、体細胞分裂のときと同様に分裂に先立って DNA が複製される。複製が完了したとき細胞の DNA 量はもとの 2 倍の $4C$ になっている。また、第一分裂が終了すると DNA の複製を行わずそのまま第二分裂が始まる。分裂中期にはまだ細胞質分裂は起こっていないため、細胞の DNA 量は第一分裂中期で $4C$ 、第二分裂中期で $2C$ である。

オには 2^{23} 、カには 2^{46} が入る。通常、ヒトの 1 個の体細胞には大きさと形が同じ相同染色体が 23 対あり、減数分裂によって相同染色体のどちらか 1 本、合計 23 本をもつ配偶子が形成される。よって、ひとりの親から形成される配偶子中の染色体の組み合わせは 2^{23} 通り。したがって、ふたりの親の配偶子が接合して生じた子の細胞の染色体の組み合わせは $2^{23} \times 2^{23} = 2^{46}$ 通り。

よって、解答は、ア：無、イ：有、ウ： $4C$ 、エ： $2C$ 、オ： 2^{23} 、カ： 2^{46} 。

問 2 難易度：★★★★☆

無性生殖と単為生殖のしくみの違いについての知識が問われている。無性生殖では、子は親の体細胞分裂によってつくられるため親とまったく同じゲノムをもつ。一方、単為生殖とは、雌が単独で子を産む生殖様式のことである。多くの場合において、減数分裂のよって生じた卵が受精することなく発生して、子が生じる。減数分裂では染色体数が半減し、相同染色体間で乗換えも起こるため、親子のゲノムは異なる場合が多くなる。

よって、解答例は以下のとおり。

解答例

無性生殖では、体細胞分裂によって新個体ができるため、親子のゲノムは同一である。単為生殖では、減数分裂を経てつくられた配偶子が単独で発生するケースが多く、その過程で相同染色体の分離や乗換えが起こるため、親子のゲノムは同一にならない場合が多い。(119 字)

特に単為生殖のしくみについてしっかり理解できているかがポイントとなる。単為生殖については教科書によって十分な説明がなされていない場合もあるので、資料集等も参考にしながら知識を固めておきたい。

問 3 難易度：★★★★☆

自家受粉によって異なる形質が現れたことから、この「ある優れた形質をもつ品種」は純系ではないことがわかる。また、この優れた形質が劣性形質であればこの劣性形質をもつ個体は劣性遺伝子のホモ接合体であり、自家受粉によって生じる子も必ず劣性遺伝子のホモ接合体となってすべてこの形質を現すはずである。ゆえにこの優れた性質が劣性形質ではない、つまり優性形質であることがわかる。

次に、この形質が 1 組の対立遺伝子によって決定されていると考えてみよう。「ある優れた形質をもつ品種」はこの対立遺伝子の優性遺伝子と劣性遺伝子をヘテロでもつから、自家受粉させると種子の $3/4$ はこの形質をもつようになる。しかしこれでは問題文の一部の種子でしか保たれなかったという記述に沿っていない。そこでこの形質が N 組 (N は自然数とする) のそれぞれ独立な対立遺伝子によって決定されているとすると、自家受

粉によって得られる種子のうちこの形質をもつのは全体の $(3/4)^N$ である。N=1 のときは先述のように不適當である。N=2 のときは優れた形質が保たれるのは全体の9/16であり N=3 以降はさらにその形質が保たれる割合は低くなっていくので、この優れた形質は 1 組ではなく複数組の対立遺伝子によって決定されていると考えるのが適當であろう。

よって、解答例は以下のとおり。

解答例

目的の形質は複数の遺伝子によって決定され、優れた形質をもつ品種ではいくつかの遺伝子がヘテロ接合となっている。自家受粉したときに、ヘテロ接合となっている遺伝子がすべてヘテロ接合、あるいは優性遺伝子のホモ接合になった場合にしか優れた形質が現れないから。(123 字)

問 4 難易度：★★★★☆

有性生殖を行う多くの生物では、核内の染色体の構成状態である核相が複相となっている。よって、複相である親と同じ核相の子をそれぞれの親の配偶子が接合することによって作るには、2 つの配偶子がそれぞれ単相でなければならない。ゆえに、複相の細胞から単相の配偶子を作り出すために染色体数を半減させる減数分裂が必要となる。

よって、解答例は以下のとおり。

解答例

2 つの配偶子が接合して生じた個体でももとの個体と同じ染色体数を維持するためには、配偶子の染色体数を半減させる必要があるため。(62 字)

問 5 難易度：★★★★☆

問題文より、正常な精子形成には正常な精原細胞と正常なセルトリ細胞の両方が必要であることがわかる。また、変異マウス系統 B は異常な精原細胞と正常なセルトリ細胞をもつことがわかる。

(1)変異マウス系統 A の不妊雄が精原細胞に機能異常を示す場合

設問文より、変異マウス系統 A のセルトリ細胞は正常である。よって、いずれのレシピエント精巣にも正常な精原細胞を移植することで精子形成が起こると考えられる。

よって、解答は(あ)。

(2)変異マウス系統 A の不妊雄がセルトリ細胞に機能異常を示す場合

(1)と同様に設問文より、変異マウス系統 A の精原細胞は正常である。よって、変異マウス系統 B の精巣に正常な精原細胞を移植すると精子形成が起こると考えられる。変異マウス系統 A のセルトリ細胞は異常であるため、どのような精原細胞を移植しても精子形成は起こらない。

よって、解答は(い)。

問 6 難易度：★★★★☆

(1)では遺伝子 D について考える必要はないが、ここでは(1)(2)を一気に考えるので遺伝子 D も含めて考えることにする。減数分裂時に組換えが起こったとしても F_1 世代の遺伝子型はすべて $CcDd$ となる。 F_1 世代の配偶子の遺伝子型は、減数分裂時に組換えが起こらない場合 CD または cd 、組換えが起こった場合 Cd または cD である。遺伝子 C 、 D 間の減数分裂時の組換え価は雌雄ともに 20% であるので、形成される配偶子の遺伝子型の分離比は $CD : Cd : cD : cd = 4 : 1 : 1 : 4$ となる。それを踏まえて考えると F_1 世代のマウスどうしを交配したときの次世代の遺伝子型の比は次の表ようになる。なお、遺伝子型の前に書かれている数字は Cd と cD を 1 としたときの相対的な出現頻度である。

表 A F_2 世代の遺伝子型の出現頻度

雄配偶子 \ 雌配偶子	$4CD$	$1Cd$	$1cD$	$4cd$
$4CD$	$16CCDD$	$4CCDd$	$4CcDD$	$16CcDd$
$1Cd$	$4CCDd$	$1CCdd$	$1CcDd$	$4Ccdd$
$1cD$	$4CcDD$	$1CcDd$	$1ccDD$	$4ccDd$
$4cd$	$16CcDd$	$4Ccdd$	$4ccDd$	$16ccdd$

(1) 表 A から、遺伝子型が cc となっているものの出現頻度は 25、全体は 100 である。雌雄は同頻度で出現するから、ある遺伝子型の雄の出現頻度はある遺伝子型全体での出現頻度の半分になるので、予想される出現頻度は

$$\frac{25}{100} \times \frac{1}{2} \times 100 = 12.5\%$$

となる。

(2) 同様に表 A から、遺伝子型が $ccDD$ となっているものの出現頻度は 1、全体は 100 であるので、このうち雄の予想される出現頻度は

$$\frac{1}{100} \times \frac{1}{2} \times 100 = 0.5\%$$

となる。

以上より、解答は、(1)12.5%、(2)0.5% である。問われているものが雄の出現頻度であることを見落として (1)25%、(2)1% と答えてしまうことがないようにしたい。

問 7 難易度：★★★★☆

系統 1 が少し煩雑に見えるかもしれないが、落ち着いて解き進めていけばそれほど難しくない。系統 2 と系統 3 についてはわかることを整理すれば計算せずに答えにたどり着くことができるので、正解したい。

【系統 1】

トランスジーン C を遺伝子 E 、その「対立遺伝子」を遺伝子 e とおいて考えてみよう。ここでいう「対立遺伝子」とは「トランスジーン C をもっていない」ということを示している。系統 1 の雄の遺伝子型は $CCEe$ 、変異マウス系統 A の雌の遺伝子型は $ccee$ と表せる。また、遺伝子 E は遺伝子 C が存在するのとは異なる常染色体に組み込まれたため、この 2 つの遺伝子は互いに独立である。問題文より減数分裂時の組換えは考慮しないものとするので、雄性配偶子の遺伝子型は $CE : Ce = 1 : 1$ となり雌性配偶子はすべて ce となるため、 F_1 世代の遺伝子型は $CcEe : Ccee = 1 : 1$ となる。 $CcEe$ の個体における配偶子の遺伝子型の分離比は $CE : Ce : cE : ce = 1 : 1 : 1 : 1$ 、 $Ccee$ の個体における配偶子の遺伝子型の分離比は $Ce : ce = 1 : 1$ となるから、配偶子の遺伝子型の分離比は $CE : Ce : cE : ce = 1 : 3 : 1 : 3$ となるので、問 6 と同じような下の表がかけらる。

表 B F_2 世代の遺伝子型の出現頻度

雄性配偶子 雌性配偶子	1CE	3Ce	1cE	3ce
1CE	1CCEE	3CCEe	1CcEE	3CcEe
3Ce	3CCEe	9CCee	3CcEe	9Ccee
1cE	1CcEE	3CcEe	1ccEE	3ccEe
3ce	3CcEe	9Ccee	3ccEe	9ccee

本問では遺伝子型 cc の雄のうちでの出現頻度を求めるので、表中の太線で囲まれた部分のみに注目して考えればよい。問題文より遺伝子型 cc となる場合はトランスジーン C をもつ場合のみに繁殖可能とあるので、 E をもつものの出現頻度は次。

$$\frac{1 + 3 + 3}{1 + 3 + 3 + 9} = \frac{7}{16}$$

よって、解答は $7/16$ 。

【系統 2】

減数分裂時の組換えは考慮しないので、野生型遺伝子 C が存在する染色体と同じ染色体にトランスジーン C が組み込まれた場合、トランスジーン C は常にその場所にあり、減数分裂でもう一方の相同染色体に移ることはない。ゆえに、変異型遺伝子 c が存在する染色体にトランスジーン C が移動することはないため、遺伝子型 cc の雄に繁殖可能な個体はいないと考えられる。

よって、解答は 0%。

【系統 3】

XY 型の性決定様式では、雄の Y 染色体はすべて雄親から受け継いだものになる。このため、系統 3 に由来する F_2 世代の雄はすべてトランスジーン C が組み込まれた Y 染色体をもつので、遺伝子型 cc の雄でもすべての個体で繁殖が可能である。

よって、解答は 100%。

以上より、問 7 の解答は、(1)7/16, (2)0%, (3)100%となる。

(安藤さくら, 西浦佑香, 西川尚吾, 北川健斗)

2015 年度 京都大学 前期 生物

III 血糖濃度の調節と筋肉の収縮のしくみ

出題範囲	神経系, 内分泌系, 排出系, ニューロン, 筋肉
難易度	★★★☆☆
所要時間	21 分
傾向と対策	前半部分では生物基礎の範囲が問われている。基本的なことばかりであり、語句を答えさせるだけの楽な問題が多いので、ここはすばやくかつ確実に得点したいところ。後半部分は、ニューロンや筋肉についての問題であった。記述問題が多く、またきちんと問題文を読み考えて解答する必要があったのでこちらは時間と労力を要する。前半はすぐに解答を完成させ、後半の記述問題の解答作成に時間をかけて、クオリティの高い文章を作ることで高得点が狙えるだろう。

解答

- 問1 ア：延髄 イ：アセチルコリン ウ：ノルアドレナリン エ：(間脳) 視床下部
- 問2 血糖濃度が高くなるとそれに伴い多くのグルコースが原尿へろ過されるが、その量が細尿管で再吸収できる量を上回ってしまっているため。(63 字)
- 問3 グルカゴン
- 問4 糖質コルチコイド
- 問5 オ：カルシウム カ：能動
- 問6 軸索末端まで興奮が伝導されると、カルシウムイオンチャネルが開き、カルシウムイオンが軸索内に流入する。すると軸索内のシナプス小胞がシナプス前膜と融合し、神経伝達物質はシナプス間隙に放出される。(95 字)
- 問7 (キ)：(う) (ク)：(い) (ケ)：(う) (コ)：(う)
- 問8 (1)カルシウムイオンと結合しトロポミオシンに作用することで、アクチンフィラメントとミオシンフィラメントの結合を可能にし、筋収縮を起こす。(66 字)
- (2)アクチンフィラメントのミオシンフィラメントとの結合部位を遮ることで結合を阻害する。その結果、収縮を妨げて、筋肉をし緩させている。(64 字)
- 問9 (1)1.6 μm 以下になると、ミオシンフィラメントがZ膜によって縮められるが、弾性によってそれに反発する力も生じる。その力はサルコメアが短くなればなるほど大きくなるから。(82 字)
- (2)ミオシン頭部とアクチンフィラメントの結合数が多いと張力もそれに伴い大きくなる。しかしCからDの領域においては、アクチンフィラメントはミオシン頭部が分布しないミオシンフィラメント中央部を移動しているため、結合数が変わらないから。(113 字)

解説**問 1 難易度：★★★★☆**

アには延髄が入る。脳は**大脳**、**間脳**、**中脳**、**小脳**、延髄の5つに大別される。また、間脳、中脳、橋、延髄を合わせて**脳幹**とよぶ。延髄は呼吸運動、心臓の拍動、だ液の分泌、せきやくしゃみなどをつかさどっている。

イは**アセチルコリン**、ウは**ノルアドレナリン**が入る。副交感神経から器官へは**神経伝達物質**としてアセチルコリンが分泌されている。副交感神経がはたらくと、心拍数が減少したり、血圧が下がったりする。交感神経の末端から器官へはノルアドレナリンが分泌されている。交感神経がはたらくと、心拍数が上昇したり、血圧が上がったりする。副交感神経と交感神経のどちらにおいてもニューロン間での伝達物質にはアセチルコリンが分泌されている。

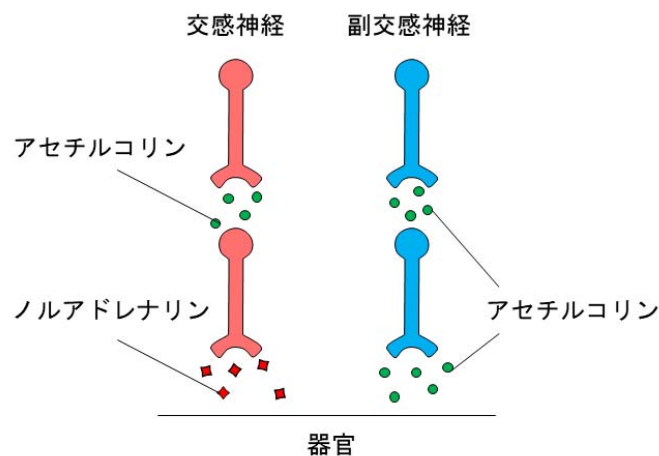


図 A 交感神経と副交感神経の神経伝達物質

エは(間脳)視床下部が入る。視床下部は間脳に存在している。視床下部は自律神経系と内分泌系の中枢で、恒常性の維持をつかさどる。

よって、解答はア：延髄、イ：アセチルコリン、ウ：ノルアドレナリン、エ：(間脳)視床下部である。

◆Check!!**脳の構造とはたらき**

問 1 では、脳の各部のはたらきを知らないと答えられない問題があった。ここで脳の構造とはたらきについてまとめておいたので、この問題を間違えてしまったり、この分野に自信がなかったりする人はじっくり確認してみよう。

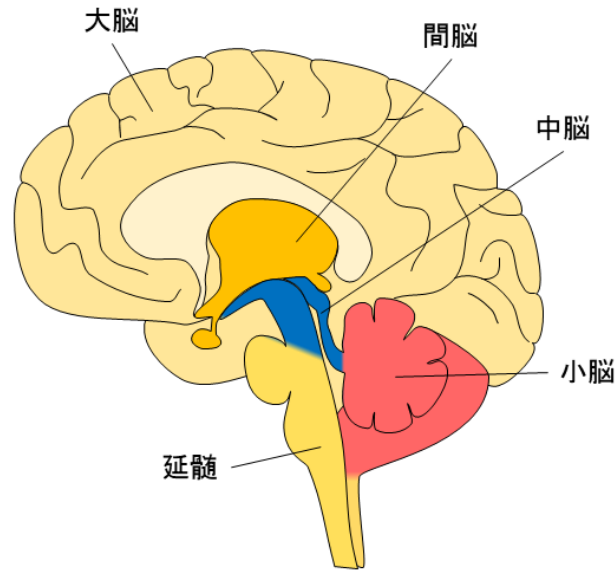


図 B 脳の分布

* 大脳

脳梁：右脳と左脳を連絡する。

大脳皮質（灰白質）：脳の外側で、ニューロンの細胞体が集まっているところ。大脳皮質は新皮質と辺縁皮質に分けられる。

大脳髓質（白質）：脳の内側で、ニューロンの軸索が集まっているところ。

新皮質と辺縁皮質

辺縁皮質：本能行動や欲求，感情をつかさどる。

新皮質：ヒトの大脳の中で非常に発達している部分。感覚野，運動野，連合野がある。

▷ 感覚野 視覚，聴覚，皮膚感覚など感覚の中枢。

▷ 運動野 体の各部分の随意運動の中枢。

▷ 連合野 言語，記憶，思考，意思，認知，理解など高度な精神活動の中枢。

* 間脳 視床と視床下部に分けられる。

視床：大脳へ入る感覚神経の中枢地点。

視床下部：自律神経と内分泌系の中枢。体内の恒常性の維持をつかさどる。

* 中脳

姿勢保持，眼球運動，瞳孔調節をつかさどる。

* 小脳

筋肉運動の調節や，体の平衡の制御を行う。

* 延髄

呼吸運動，血液循環を調節する中枢。せき，くしゃみの反射中枢。

問2 難易度：★★★★☆

まず，腎臓のはたらきについて確認しておこう。腎臓ではろ過と再吸収が行われる。ろ過とは，血液が糸球体でポーマンのうにこし出される現象のことをいい，ろ過されたあとの液体を原尿という。例えば分子量の大きいタンパク質はろ過されないで，原尿には含まれない。再吸収とは，その原尿が細尿管を流れる際に，原尿内の成分が細尿管を取り囲む毛細血管に吸収されることをいう。健康なヒトの腎臓では，ろ過されたグルコースはここで完全に再吸収される。

問題は，通常は排出されないグルコースが尿から排出される理由を答えるといったものである。まず確認したとおり，グルコースはろ過されたあと完全に再吸収されるために通常は尿中に含まれない。そのため，尿中にグルコースが含まれてしまうのは再吸収が完全に行われなからであることがわかる。

ではなぜ再吸収が十分に行われなからなのか。それは血糖濃度が異常に高いからである。グルコースはろ過によって取り除かれなから，原尿中に含まれるグルコース濃度は血しょう中に含まれる濃度のままである。よって血糖濃度が通常より高いとき，原尿内に含まれるグルコース濃度もそれに依って高い。再吸収には限界があり，その再吸収できる最高ラインを上回ってしまったためにすべてのグルコースを回収することができず，尿中にグルコースが含まれてしまったのである。

したがって，解答例は次のようになる。

解答例

血糖濃度が高くなるとそれに伴って多くのグルコースが原尿へろ過されるが，その量が細尿管で再吸収できる量を上回ってしまっているため。(63字)

問3 難易度：★★★★☆

問4 難易度：★★★★☆

血糖濃度を上げる作用があるホルモンはおもに3つある。

1 つ目は，グルカゴンである。グルカゴンはすい臓のランゲルハンス島 A 細胞から分泌されるホルモンである。グルカゴンは，肝臓においてグリコーゲンがグルコースに分解されるのを促進することで，血糖濃度の上昇を促す。

2 つ目は，糖質コルチコイドである。糖質コルチコイドは副腎皮質から分泌されるホルモンである。タンパク質からの糖生成（糖新生）を促進することで，血糖濃度の上昇を促す。

3 つ目は，アドレナリンである。アドレナリンは副腎髄質から分泌されるホルモンで，グルカゴン同様に，グリコーゲンの分解を促進し，血糖濃度の上昇を促す。

したがって、問3の解答は**グルカゴン**、問4の解答は**糖質コルチコイド**である。

ホルモンについては、覚えてしまったほうが手っ取り早いので、まだ覚えられていない人は下の Check!! を参考に暗記しよう。

◆Check!!

脊椎動物のホルモン

問3、4では血糖濃度を上昇させるホルモンについての問題が出た。これだけにかかわらず、センター試験および入試ではさまざまなホルモンについて問われる。まだ覚えられていない人は下の表Aを覚えてしまおう。

表A ホルモン

内分泌腺		ホルモン	機能
視床下部		各種放出ホルモン 各種放出抑制ホルモン	・脳下垂体前葉のホルモン分泌を調節
脳下垂体	前葉	成長ホルモン	・成長促進 ・グリコーゲンの分解促進→血糖濃度の上昇
		甲状腺刺激ホルモン	・甲状腺からのホルモン分泌促進
		副腎皮質刺激ホルモン	・副腎皮質からのホルモン分泌促進
		プロラクチン (黄体刺激ホルモン)	・乳腺の発達, 乳汁の分泌促進 ・黄体からのプロゲステロンの分泌促進
		ろ胞刺激ホルモン	・(卵巣) ろ胞の発育促進 ・(精巣) 精巣の発育, 精子の形成促進
		黄体形成ホルモン	・(卵巣) 排卵, 黄体形成の促進 ・(精巣) アンドロゲンの分泌促進
	後葉	バソプレシン (抗利尿ホルモン)	・腎臓の集合管での水の再吸収促進 ・血圧上昇
		オキシトシン	・子宮平滑筋の収縮 ・乳汁の分泌促進
甲状腺		チロキシン*	・代謝(特に呼吸などの異化作用)の促進
		カルシトニン	・血中カルシウムイオン濃度の低下
副甲状腺		パルトルモン (副甲状腺ホルモン)	・血中カルシウムイオン濃度の上昇
副腎	皮質	糖質コルチコイド*	・タンパク質からの糖生成(糖新生)を促進→血糖濃度の上昇

		髄質	鉱質コルチコイド*	・腎臓でのナトリウムイオンの再吸収とカリウムイオンの排出促進
		髄質	アドレナリン	・グリコーゲンの分解促進→血糖濃度の上昇 ・心拍数や血圧の上昇
すい臓のランゲルハンス島	A 細胞		グルカゴン	・グリコーゲンの分解促進→血糖濃度の上昇
	B 細胞		インスリン	・組織でのグルコースの取り込みと消費, 肝臓でのグリコーゲンの合成を促進→血糖濃度の低下
生殖腺	卵巣	ろ胞	エストロゲン* (ろ胞ホルモン)	・女性の二次性徴の発現 ・子宮内膜の肥厚
		黄体	プロゲステロン* (黄体ホルモン)	・妊娠の維持 ・排卵の抑制
	精巣		アンドロゲン* (男性ホルモン)	・男性の二次性徴の発現 ・精子の形成促進

□ ペプチドホルモン ■ ステロイドホルモン ▣ アミンホルモン

*脂溶性 (*が付していないものは水溶性)

問5 難易度：★★★★☆

筋収縮の過程を説明する仮説として滑り説がある。滑り説による筋収縮の過程を確認していこう。

運動神経から伝わってきた興奮が筋細胞（筋繊維）に伝わると、筋小胞体内のカルシウムイオンが細胞質基質へ放出される。そのカルシウムイオンがアクチンフィラメントとミオシン頭部との結合を可能にさせる。一方でミオシンは ATP を分解し放出されたエネルギーを利用し、ミオシン頭部の構造変化を起こして、アクチンフィラメントを手繰り寄せる。そしてアクチンフィラメントがサルコメア中央に滑り込み、筋収縮が起こる。カルシウムイオンは能動輸送によって筋小胞体へと取り込まれ、運動神経からの興奮がなくなるとカルシウムイオンの放出がとまるので、カルシウムイオン濃度は低くなる。そうして、ミオシンフィラメントはアクチンフィラメントから離れて筋肉は弛緩する。

したがって、解答は、オ：カルシウム、カ：能動である。

問6 難易度：★★★★☆

軸索末端まで興奮が伝わると、次のニューロンにその興奮を伝え、伝達が起こる。伝達において欠かせないのが神経伝達物質である。伝達のしくみをみていこう。

シナプスの軸索末端に活動電位が伝導すると、電位依存性のカルシウムイオンチャネルが開き、軸索末端内にカルシウムイオンが流入する。それに反応して軸索末端内にあったシナプス小胞が、軸索末端とシナプス間隙とが接する細胞膜と融合する。ちなみに、神経伝達物質を放出する側の細胞をシナプス前細胞、シナプス間隙が接するシナプス前細胞の細胞膜をシナプス前膜とよぶ。その結果、シナプス小胞内に含まれている神経伝達物質が

シナプス間隙に放出される。放出された神経伝達物質は興奮を受け取る側の細胞の細胞膜にあるリガンド依存性イオンチャネル（伝達物質依存性イオンチャネル）に結合し、チャネルの開閉を調節する。神経伝達物質を受け取る側の細胞をシナプス後細胞、シナプス間隙が接するシナプス後細胞の細胞膜をシナプス後膜とよぶ。いま述べたしくみは神経筋接合部だけではなく、ニューロン間のシナプス伝達のしくみとも同じである。

したがって、解答例は次のようになる。

解答例

軸索末端まで興奮が伝導されると、カルシウムイオンチャネルが開き、カルシウムイオンが軸索内に流入する。すると軸索内のシナプス小胞がシナプス前膜と融合し、神経伝達物質はシナプス間隙に放出される。（95 字）

問 7 難易度：★★★★☆

まず正常な神経筋について考えてみよう。運動神経の末端まで興奮が伝わると末端から神経伝達物質が分泌され、それが筋細胞の受容体に結合する。そうして筋細胞で興奮が生じると、興奮が筋小胞体に伝えられる。その結果、筋小胞体内のカルシウムイオンが細胞質基質へ放出され、筋肉が収縮する。したがって、神経を刺激すると神経筋接合部を経て筋肉が収縮するのに対し、筋肉を直接刺激すると神経筋接合部を経ずに筋肉が収縮する。

薬剤 X は神経筋接合部の神経伝達物質受容体のはたらきを阻害すると設問文中にある。すなわち、薬剤 X は神経から筋細胞への興奮の伝達を阻害する。一方で、薬剤 Y は筋細胞の筋小胞体からのカルシウムイオンの放出を阻害するとある。すなわち、薬剤 Y は情報伝達を筋小胞体で止めるということである。

したがって、次のような図が描ける。

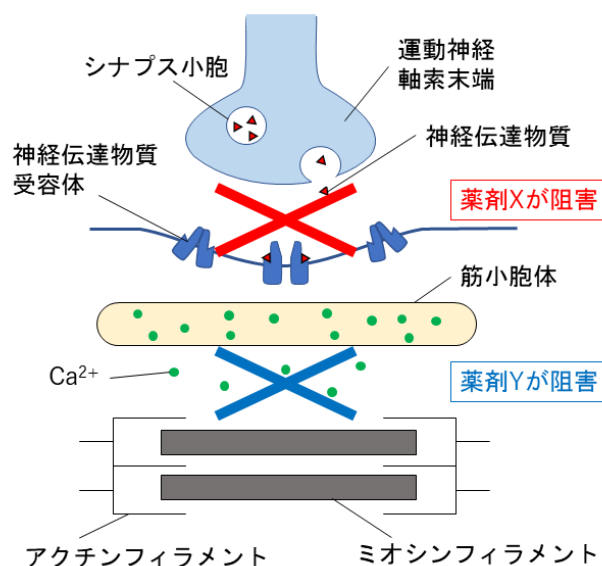


図 C 問 7 の実験の模式図

この図から、神経を刺激した場合、薬剤 X を使用すると神経から筋細胞へ興奮が伝達されないため、筋収縮は起こらない。薬剤 Y を使用するときにも筋小胞体で情報伝達が止まるので、筋収縮は起こらない。筋肉を刺激した場合、筋細胞からの過程で筋肉の収縮が起こるため、薬剤 X を使用しても、神経から筋細胞への興奮伝達を抑制するという薬剤 X による影響は受けず、筋収縮が起こる。薬剤 X によって伝達された興奮が大きくなるといったことは起こらないので収縮は大きくなることはなく、通常の収縮を行うと考えられる。薬剤 Y を使用すると、筋細胞内における筋収縮の過程が筋小胞体で止まるから、筋収縮は起こらない。

したがって、解答は、(キ):(う), (ク):(い), (ケ):(う), (コ):(う) である。どのような状況下で、またどのような条件で実験が行われているのかを、文章をきちんと読み知識と照らし合わせながら理解することが重要であった。

問 8 難易度：★★★★☆

問 5 の解説では省略したが、筋小胞体から放出されたカルシウムイオンがアクチンフィラメントとミオシン頭部との結合を可能にする過程を説明する。

し緩時でも ATP は存在しているのでミオシン頭部の構造変化を起こすことはできる。しかし、アクチンフィラメントとの結合はできない。それは、**トロポミオシン**というタンパク質がアクチンフィラメントとミオシン頭部とが結合する部位を覆っているからである。興奮が筋細胞に伝わることで筋小胞体から放出されたカルシウムイオンは、**トロポニン**というタンパク質に結合する。そうすると、トロポミオシンがアクチンフィラメントから離れ、ミオシンフィラメントとの結合部位が露出するようになる。そして、そこにミオシン頭部が結合し、ミオシンフィラメントがアクチンフィラメントを手繰り寄せることで、筋収縮が起こる。

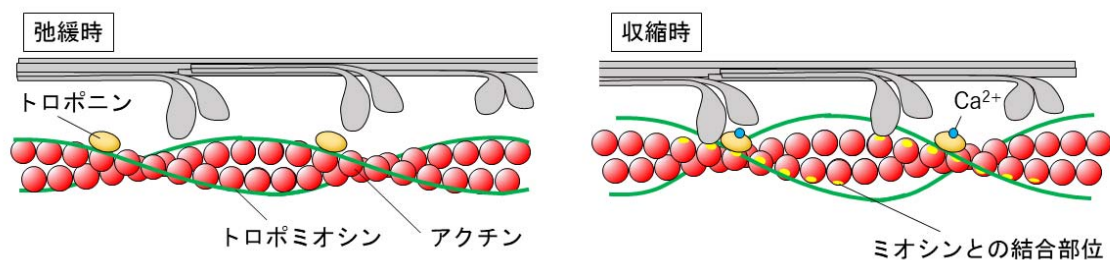


図 D トロポニンとトロポミオシン

したがって、解答は次のようになる。

解答例

- (1)カルシウムイオンと結合しトロポミオシンに作用することで、アクチンフィラメントとミオシンフィラメントの結合を可能にし、筋収縮を起こす。(66 字)
- (2)アクチンフィラメントのミオシンフィラメントとの結合部位を遮ることで結合を阻害する。その結果、収縮を妨げて、筋肉をし緩させている。(64 字)

問 9 難易度：★★★★☆

(1) 最初に E から D の領域について考える。これまでの問題で確認してきたとおり、アクチンフィラメントとミオシン頭部が結合し、ミオシン頭部がアクチンフィラメントを手繰り寄せることで筋収縮が行われる。図 1 よりこの領域においてサルコメアの長さが短くなればなるほど、ミオシン頭部とアクチンフィラメントの結合数は多くなることがわかる。また、図 2 のグラフより E から D にかけてサルコメアの長さが短くなるほど張力が大きくなっていることが読み取れることから、結合数が多ければ多いほど張力は大きくなるとわかる。

次に、C から B の領域について考えていこう。この領域では緩やかに張力が低下していつている。C のとき、サルコメアの長さは $2.0\mu\text{m}$ で、アクチンフィラメントどうしがちょうど接しているときであるとわかる。C から B にかけてアクチンフィラメントの重なる部分が多くなっていく。ここで問 9 の設問文に注目しよう。設問文には、「ミオシンフィラメントおよびアクチンフィラメントともに弾性をもつ。」と書いてある。すなわち、アクチンフィラメントどうしが重なると、アクチンフィラメントがもう 1 つのアクチンフィラメントに対し弾性力を及ぼしあうということである。アクチンフィラメントどうしが重なれば重なるほど、弾性力は大きくなっていく。すなわちサルコメアの長さが短くなればなるほど張力は減少するから、図 2 のグラフのようになる。

最後に、B から A の領域について考えよう。問題はサルコメアの長さが $1.6\mu\text{m}$ 以下になるとなぜ張力が急激に低下するのかである。B のとき、サルコメアの長さは $1.6\mu\text{m}$ であり、それはミオシンフィラメントの長さである。そのため、B から A の領域ではミオシンフィラメントが Z 膜によって縮められていることになる。ここで再び問 9 の設問文に注目しよう。設問文に「ミオシンフィラメントおよびアクチンフィラメントともに弾性をもつ。」と書いてある。すなわち、縮められる方向に力がはたらくと、ミオシンフィラメントによってもとに戻ろうとする力（弾性力）が Z 膜に及ぼされるということである。ミオシンフィラメントが縮められれば縮められるほど、弾性力は大きくなっていく。そのため、張力はサルコメアの長さが短くなればなるほど、小さくなっていく。アクチンフィラメントが及ぼす弾性力も張力が低下していく理由になるが、今回聞かれているのは C から B と比べて B から A の領域で急激に低下する理由なので、解答になるのはミオシンフィラメントによる弾性力である。

したがって、解答例は次のようになる。

解答例

1.6 μm 以下になると、ミオシンフィラメントが Z 膜によって縮められるが、弾性によってそれに反発する力も生じる。その力はサルコメアが短くなればなるほど大きくなるから。(82 字)

(2) 問題はサルコメア長が $2.0\sim 2.25\mu\text{m}$ のときになぜ張力が変化しないのかである。この問題の解答には「ミオシンフィラメント中央部」という語句を用いるように指示されているので、それに着目して考えていこう。図 1 を見てわかるとおり、ミオシンフィラメント中央部にはミオシン頭部が分布していない。そのため、2.25 μm の時にすべてのミオシン頭部がアクチンフィラメントと結合してから、2.0 μm になるまで結合数は変わらないとわかる。(1)で解説したとおり、ミオシン頭部とアクチンフィラメントの結合数で張力は変化するため、その

数が変わらなければ張力は変化しない。またその時、弾性力もはたらかないので、張力は C から D の領域で最大になりその値は変化しないと考えられる。

したがって、解答例は次のようになる。

解答例

ミオシン頭部とアクチンフィラメントの結合数が多いと張力もそれに伴い大きくなる。しかし C から D の領域においては、アクチンフィラメントはミオシン頭部が分布しないミオシンフィラメント中央部を移動しているため、結合数が変わらないから。(113 字)

教科書には載っていないが、問題文、設問文をしっかり読めば十分解ける考察問題だった。時間に追われて文を読み飛ばしたくなる気持ちもわかるが、生物の入試問題は問題文や設問文に重要なヒントが隠されていることが多いのでしっかり読んで見落とさないようにしましょう。

(西浦佑香, 大橋陽樹, 西川尚吾, 北川健斗)

2015 年度 京都大学 前期 生物

IV バイオームと個体群間の相互作用

出題範囲	バイオーム, 種間関係, 種内関係, 進化
難易度	★★★★☆
所要時間	20 分
傾向と対策	問 1 のベルクマンの法則は教科書であまり扱われていない内容であり, 問 7 の間接効果もあまり一般的な内容でないために正解するのが難しいかもしれない。問 3 のバイオームを答える問題や問 6 の空所補充は一般的な問題なので完答したい。問 4 の論述はグラフから情報を読み取って, 2 つの地域間で違いが生じた原因を考察する問題であったが, 高い考察力や論述力を要する。問 5 は自然選択のしくみを答えさせる問題であったが, 使う用語が指定されているので, それをヒントに文章を組み立てられるだろう。自然選択や変異など, 語句を知っているだけでなく, その意味も説明できるようにしておきたい。

解答

問 1 ア: ベルクマンの法則

イ: 動物の体では, 放熱は体表面積に, 発熱量は体重に比例する。体積は体長の 3 乗に, 体表面積は体長の 2 乗に比例するため, 大型になるほど体重あたりの体表面積が小さくなり熱の放散が抑えられるから。
(92 字)

問 2 個体群密度が高いと雄から雌への求愛行動の頻度が高くなる。このとき一夫多妻で多くの雌を独占するメリットより, それを維持するために他の雄を排除するコストが上回るので, 雄は他の雄が雌と交尾することを妨げない。よって, 雌が複数の雄と交尾するようになる。(122 字)

問 3 夏緑樹林

問 4 地域 B では個体群密度が地域 A より高く, 1983 年から 1984 年にかけての大量死があったときでも, ガマズミの小枝の長さを短く保つのに十分な高さの個体群密度が続き, ガマズミの小枝の先端が捕食され続けたので, 小枝の長さが短いままであった。個体群密度が低い地域 B では大量死後, ガマズミの被食が小さくなったため, 小枝が長くなった。(160 字)

問 5 トゲの長さ, 鋭さ, 硬さといった形質には遺伝的な変異がある。長く鋭く硬いトゲをもった個体は二ホンジカに捕食されにくく生存や繁殖に有利であったため, この表現型が選択され, 集団内に広がっていったと考えられる。(101 字)

問 6 (ウ)被食者-捕食者相互関係 (エ)寄生 (オ)片利共生 (カ)・(キ)シバ・ニホンジカ (順不同)

問 7 間接効果

解説**問1 難易度：★★★★☆**

恒温動物のうちで寒冷地にすむ種は一般に、温暖地にすむ同種や近縁種に比べて体が大きくなっている傾向がある。これを**ベルクマンの法則**という。失われる熱は体表面積に依存し、体表面積は体長の2乗に比例して大きくなる。一方、発熱量は体積に依存し、体積は体長の3乗に比例して大きくなる。よって、体が大きいほど、発熱量に対する放熱量が小さくなるので体温を維持しやすい。例としてクマを考えるとイメージしやすいだろう。北極周辺にすむホッキョクグマは体長 220cm から 270cm と大型だが、東南アジアにすむマレーグマになると体長 110cm から 140cm と小型になる。

非生物的環境の差異に対応して、恒温動物の形態が異なるという現象は、ほかにも知られている。寒冷地にすむ動物は、温暖な地域にすむ近縁の動物よりも耳や尾、四肢などの突起物が短かったり小さかったりする傾向がある。これを**アレンの法則**という。ベルクマンの法則と混同しやすいので気をつけよう。例として寒地のウサギの耳は短いですが、暖地では耳が長くなることが挙げられる。これは、寒地において表面積を小さくすることによって熱の放散を抑えるためである。

よって、アの解答は**ベルクマンの法則**、イの解答例は次のとおり。

解答例

イ：動物の体では、放熱は体表面積に、発熱量は体重に比例する。体積は体長の3乗に、体表面積は体長の2乗に比例するため、大型になるほど体重あたりの体表面積が小さくなり熱の放散が抑えられるから。(92字)

問2 難易度：★★★★☆

一夫多妻のしくみをとる場合、雄は縄張りを形成して雌を囲い込み、その雌がほかの雄と交尾することを防いでいる。しかし、個体群密度が高くなると縄張りの防衛にかかるコストが大きくなり、一夫多妻で多くの雌を独占できるというメリットを上回るため、縄張りを維持できなくなる。縄張りを維持できなくなると、雌を囲い込むことができなくなるため、自分と交尾した雌が自分以外の雄と交尾することを防げなくなる。その結果として、雌が複数の雄と交尾するようになる。このように種内関係は個体群密度によって大きな影響を受ける。

よって、解答例は次のとおり。

解答例

個体群密度が高いと雄から雌への求愛行動の頻度が高くなる。このとき一夫多妻で多くの雌を独占するメリットを、それを維持するために他の雄を排除するコストを上回るので、雄は他の雄が雌と交尾することを妨げない。よって、雌が複数の雄と交尾するようになる。(122字)

問3 難易度：★★★★☆

冷温帯気候は夏に温暖、冬に寒冷になる気候であり、典型的なバイオームは**夏緑樹林**である。ブナやカエデ、ナラのなかまが多い。本文中に「ブナの優占する」とあることからわかるだろう。一般的な問題であるので、

確実に正解したい。

以下の表に、バイオームと気候、代表的な植物をまとめてあるので確認してほしい。

表 A バイオームと気候、代表的な植物

バイオーム	気候	代表的な植物
針葉樹林	亜寒帯気候	トウヒ類, マツ類, モミ類, ツガ類
夏緑樹林	冷温帯気候	ブナ, カエデ類, ナラ類
照葉樹林	暖温帯気候	シイ類, カシ類, クスノキ, タブノキ, ツバキ
熱帯多雨林	熱帯気候	フタバガキ科, イチジク, マングローブ
硬葉樹林	地中海性気候	オリーブ, ゲッケイジュ, コルクガシ, ウバメガシ
雨緑樹林	モンスーン気候	チーク, コクタン

よって、解答は夏緑樹林である。

問 4 難易度：★★★★☆

地域 A はニホンジカの個体群密度が 1983 年以前から低く、ガマズミの小枝の長さは徐々に短くなっていたことが読み取れる。1983 年冬から 1984 年初春にかけてのニホンジカの大量死により、ニホンジカの個体群密度はさらに大幅に低下している。そして、ニホンジカによる摂食が大きく減少したことによって、ガマズミの小枝の長さが長くなったと考えられる。

地域 B のグラフからニホンジカの個体群密度が十分大きければ小枝の長さは 20mm に保たれることがわかる。地域 A において個体群密度が 50 頭/km² 前後のときすでに小枝の長さが 20mm になっているが、地域 B において 180 頭/km² 前後でも 20mm のまま変わらないことから、ニホンジカは 20mm 以下の小枝は食べないものと考えられる。地域 B で大量死によって個体群密度が一番減ったときでも 80 頭/km² 前後で、地域 A のグラフと比べるとかなり大きい。1984 年以降も小枝の長さが短いままであることから、大量死のあとも地域 B のニホンジカの個体群は、ガマズミの小枝の長さを短く保つだけの個体群密度の高さを維持していたと考えられる。

よって、解答例は次のとおり。

解答例

地域 B では個体群密度が地域 A より高く、1983 年から 1984 年にかけての大量死があったときでも、ガマズミの小枝の長さを短く保つのに十分な高さの個体群密度が続き、ガマズミの小枝の先端が捕食され続けたので、小枝の長さが短いままであった。個体群密度が低い地域 B では大量死後、ガマズミの被食が十分小さくなったため、小枝が長くなった。(160 字)

問5 難易度：★★★★☆

自然選択による進化のしくみを論述する問題である。

同種の個体間で生じる表現型の差を変異という。変異には、光や栄養条件などの環境要因が原因で起こる**環境変異**と、生殖細胞に突然変異が生じ子孫に遺伝する**遺伝的変異**がある。ダキバアザミのトゲの形質についてさまざまな変異が生じ、そのうち環境変異は遺伝しないため進化に寄与しないが、遺伝的変異は遺伝するため進化に寄与する。長く、鋭く、硬いトゲをもつ個体はニホンジカに摂食されにくいため生存や繁殖に有利であるから、この遺伝的特性が選択され集団内に広がっていくと考えられる。

よって、解答例は次のとおり。

解答例

トゲの長さ、鋭さ、硬さといった形質には**遺伝的な変異**がある。長く鋭く硬いトゲをもった個体はニホンジカに捕食されにくく生存や繁殖に有利であったため、この表現型が**選択**され、集団内に広がっていったと考えられる。(101字)

問6 難易度：★★★★☆

「トベラやガマズミなどのニホンジカが好む植物」という記述から、ニホンジカとトベラは**被食者-捕食者相互関係**にあることがわかる。

「ヤマビルやマダニなどの吸血性の動物」とあることから、ヤマビルはニホンジカの血を吸って生きていることが考えられる。ヤマビルはニホンジカの体表に付着して生活し、ニホンジカは一方的に不利益を被るので**寄生**の関係にある。

「ニホンザルが樹上で果実や葉を食べていると、ニホンジカが樹下に集まってきてニホンザルが落とした果実や葉を食べることも頻繁に観察される」という記述から、ニホンジカは自力では取れない樹上の果実や葉を食べることができるという利益を享受しているが、ニホンザルには不利益も利益もないことから**片利共生**の関係にあるといえる。

ニホンジカはシバをエサとすることで利益を得ている。また、「シバの種子は頻繁にニホンジカの糞の中に入れて運ばれる」とあるので、ニホンジカの存在によってシバは分布を広げられるという利益を得ている。このことから、ニホンジカとシバは**相利共生**の関係にあるといえる。

よって、解答は、(ウ)被食者-捕食者相互関係、(エ)寄生、(オ)片利共生、(カ)・(キ)シバ・ニホンジカ(順不同)。生物名を知らなくてもすべて本文中から読み取れるので確実に正解したい。

問7 難易度：★★★★☆

第三者の存在がある2種の生物の間に関係に与える影響を**間接効果**という。ニホンジカは植物を捕食するが、ヒトがニホンジカを捕獲して個体数を減少させれば、ニホンジカによる植物の捕食は抑えられるので、この場合ヒトが植物に間接的に影響を与えていることになる。

ある 1 つの種が食物連鎖を通じてほかの複数の生物種に間接効果をもたらす例として、**キーストーン種**がある。キーストーン種とは生態系内で食物連鎖の上位に位置し、ほかの生物の生活に大きな影響を与える種のことである。例としては、アラスカ沿岸のラッコや、潮間帯におけるヒトデが挙げられる。

以上より、解答は**間接効果**である。

(神戸朱琉, 大橋陽樹, 西川尚吾, 北川健斗)