

2017年度 東京大学 前期 生物

第1問 RNA干渉, 突然変異

出題範囲	遺伝, 遺伝子, DNA, 遺伝子発現, 免疫, 循環系
難易度	★★★★☆
所要時間	25分
傾向と対策	標準的な難易度の問題である。実験が多く問題文が長いため、素早く確実に読解する力が要求されている。設問でも選択式や穴埋め式が多く、こちらでも素早く読み取る力が要求されている。そのため記述量は例年に比べかなり少ない。難しい選択問題や難しい語句を問うてくる空欄補充問題は、部分点ももらえないため考えても時間の無駄となることが多い。かける時間に見合う得点が得られないと判断した場合は撤退する心持ちや、その判断力を鍛えるのも大事である。

解答

- I
- A リボソームと mRNA が結合し, mRNA 上のコドンと相補的なアンチコドンをもつ tRNA が mRNA に結合する。mRNA のコドンが指定する順に tRNA に結合しているアミノ酸が次々とペプチド結合していくことでタンパク質ができる。 (110字)
- B (a) Ⓐ, Ⓒ, Ⓔ (b) Ⓔ, Ⓐ, Ⓒ, Ⓔ
- C (3)
- D 1-② 2-⑭ 3-⑩ 4-⑫ 5-① 6-⑭ 7-⑤
- II
- A 1/16
- B 8-適応(獲得) 9-HIV(ヒト免疫不全ウイルス) 10-自然 11-マクロファージ(好中球, 樹状細胞でも可) 12-毛細血管 13-閉鎖 14-組織液 15-開放
- C (1), (5)
- D (4)

解説

- I
- A **難易度: ★★★★★**
- Ⓚとは遺伝情報が RNA からタンパク質に変換される過程, つまり mRNA の情報がタンパク質のアミノ酸配列に変換される**翻訳**の過程を指している。したがって, 解答では翻訳の過程を説明すればよい。
- 翻訳では, はじめに mRNA とリボソームが複合体を形成する。リボソームとはタンパク質と RNA (この RNA

は mRNA とは別のものであり、**rRNA** とよばれている) からなる細胞内の構造である。mRNA 上には 3 つの塩基の組み合わせからなる**コドン**とよばれる遺伝暗号が存在する。塩基は A, T, G, C の 4 種類が存在するので 3 つの塩基の組み合わせであるコドンは 64 種類の暗号を示すことができる。リボソームでは mRNA 上のコドンに相補的な塩基の組み合わせをもつ **tRNA** が mRNA に結合する。tRNA にはアンチコドンごとに特定の**アミノ酸**が結合しており、リボソームで mRNA のコドンに対応したアミノ酸が順々に**ペプチド結合**していく。

このような過程によって RNA の塩基配列の情報がタンパク質のアミノ酸配列の情報に変換される。この問題は非常に基礎的なので必ず満点をとれるような解答を書きたいところである。

よって、解答例は次のとおり。

解答例

リボソームと mRNA が結合し、mRNA 上のコドンと相補的なアンチコドンをもつ tRNA が mRNA に結合する。mRNA のコドンが指定する順に tRNA に結合しているアミノ酸が次々とペプチド結合していくことでタンパク質ができる。(110 字)

B 難易度：★★★★☆

(a) フランクリン・クリックが 1956 年に記したセントラルドグマに関するメモについての問題である。設問文にもあるように、現在ではセントラルドグマは「遺伝情報は DNA→RNA→タンパク質の順に伝わる」という概念を示しているが、クリックのメモには「3 つの要素から成り立つ原理。セントラルドグマとは『情報が一度タンパク質分子になってしまえば、そこから再び出て行くことはない』ということ。」とあったようである。問題は「1956 年にクリックが考えていたセントラルドグマで存在しないとされた情報の経路を図 1-1 から選べ」というものである。

問題を解くために、クリックが 1956 年当時に考えていたセントラルドグマと現在のセントラルドグマの概念の違いを考えてみよう。クリックのメモの最初の 1 文にある「3 つの要素」とは DNA, RNA, タンパク質を指しており、これは現在のセントラルドグマの概念と同じである。一方、2 文目の「情報がタンパク質になってしまえばそこから情報が再び出て行くことはない」という内容は現在のセントラルドグマの概念と大きく異なっている。先ほども説明したとおり、現在のセントラルドグマの概念は「DNA→RNA→タンパク質」という配列情報の流れを示しているが、クリックのメモにあるセントラルドグマの概念では DNA からタンパク質に至るまでの情報の流れは示されていない。クリックのメモにあるセントラルドグマの概念を簡単に言い換えるとすると「タンパク質から配列情報がほかの情報に置き換わることはない」という内容になる。したがって、タンパク質から情報が伝わっている過程を示している選択肢を選べばよい。

よって、解答は②, ④, ⑤である。

(b) 図 1-1 に示されている情報の流れの中で、自然界で確認されていないものを選べという問題である。多くの生物において細胞分裂の際には DNA から DNA が複製され、遺伝子が発現する際には転写や翻訳の過程で DNA

から RNA, RNA からタンパク質と配列情報が伝わっていく。したがって②, ④, ⑥を選択してはいけない。

また, RNA ウイルスとよばれるウイルスの仲間はゲノムとして RNA をもっており, 自らのゲノムから RNA や DNA を合成する能力をもつ。特に, RNA から DNA を合成する過程は逆転写とよばれる。したがって, ⑦や⑧も選択してはいけない。

よって, 解答は③, ⑤, ⑨, ⑩である。RNA ウイルスなどはかなり細かい知識になるので解答できなくても気にすることなく前進しよう。

C 難易度：★★★★☆

〔文 1〕の問題文に書いてある RNA 干渉のしくみを図で表してみよう（下の図 A を見る前に自分でやってみてほしい）。

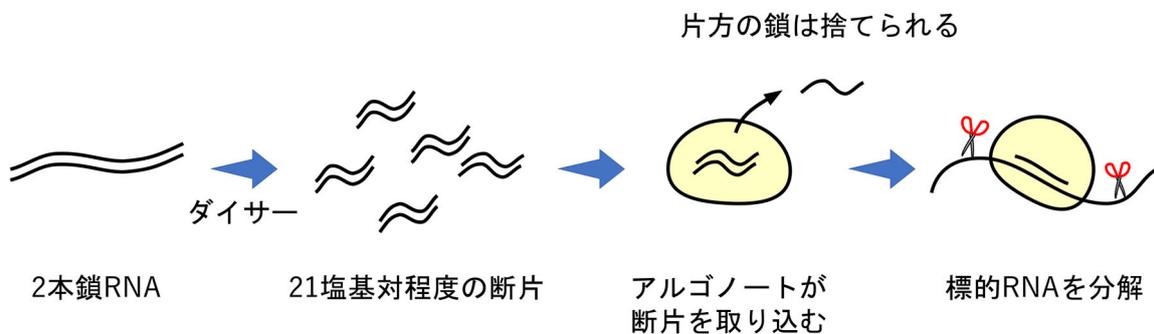


図 A RNA 干渉のしくみ

実験 1 では野生型ハエと RNA 干渉にかかわるタンパク質 X および Y の機能が欠失している x 変異体ハエ, y 変異体ハエに一本鎖 RNA をゲノムとしてもつ F ウイルスまたは大腸菌を感染させ, ハエの生存率とハエの体内における 21 塩基程度の短い RNA 鎖の有無を調べている。それぞれの病原体に感染したときのハエの生存率を示している図 1-2 を見ると, 大腸菌に感染した場合には野生型ハエと変異体ハエで生存率に差はないが, F ウイルスの場合は変異体ハエの生存率が野生型ハエに比べて明らかに低かった。変異体ハエは RNA 干渉にかかわるタンパク質の機能が欠失しているため, 「ハエにおける F ウイルスに対する生体防御に RNA 干渉がかかわっており, 変異体ハエでは RNA 干渉が機能せず F ウイルスを制御できなかった」という推論ができるだろう。大腸菌を感染させた場合の実験結果から, RNA 干渉に異常があることによって免疫系全体が機能しなくなったという仮説は否定できる。

表 1-1 には感染 2 日後のハエの体内に 21 塩基程度の短い RNA 鎖があったかが示されている。F ウイルスに感染した場合, 野生型ハエや x 変異体ハエには F ウイルス由来の短い RNA 鎖が存在するが, y 変異体ハエには存在しなかった。この結果から, x 変異体ハエではダイサーは機能しており F ウイルス由来の二本鎖 RNA が分解されているが, y 変異体ハエではダイサーが機能していないことがわかる。したがって, y 変異体ハエで機能が欠失しているタンパク質 Y はダイサーである可能性が高い。

問題は、タンパク質 X とタンパク質 Y はそれぞれ何かというものである。実験結果からタンパク質 Y はダイサーである可能性が高いので、解答となり得る選択肢は(3)か(5)となる。(3)のようにタンパク質 X がアルゴノートである場合、 x 変異体ハエでダイサーが機能しているにもかかわらず RNA 干渉による生体防御が機能していないことに矛盾しない。一方、(5)ではタンパク質 X は B2 とされているが、このタンパク質は実験 2 で紹介されるウイルス特有のタンパク質であり野生型ハエには存在しないタンパク質である。

よって、解答は(3)である。

解答するうえで図 A は非常に大切である。文章で書かれてあることは理解しにくいですが、図にまとめることによって目で見ればすぐにわかるようになる。文章が難しいと思ったときにはぜひ図をつくってみてほしい。

D 難易度：★★★★☆

実験 2 の結果について考察する。実験 2 ではウイルス特有の B2 というタンパク質の機能を欠失させた F ウイルスを用いた感染実験が行われている。B2 機能欠失ウイルスは野生型ハエではほとんど増殖することができなかったが、変異体ハエでは通常のウイルスと同程度に増殖した。この結果と、ハエの F ウイルスに対する生体防御では RNA 干渉が大きな役割をもつことから、「B2 は野生型ハエにおける RNA 干渉を抑制し、ハエの生体防御の機能を低下させる」という推論ができる。また、野生型ハエで B2 を強制的に発現させると一本鎖 RNA をゲノムとしてもつウイルスに感染しやすくなったという実験結果もこの仮説を支持している。

実験 1 や実験 2 から「ハエにおける一本鎖 RNA をゲノムとしてもつウイルスに対する生体防御には RNA 干渉がかかわっている」、「ウイルス特有のタンパク質である B2 は RNA 干渉を抑制する」ということがわかっているが、「なぜ一本鎖 RNA をゲノムとしてもつウイルスの RNA が RNA 干渉によって切断されるか？」について考えよう。RNA 干渉は二本鎖 RNA に対して起こる現象なので一本鎖 RNA であるウイルスの RNA だけでは作用することができない。したがって、ウイルスのゲノムである一本鎖 RNA から RNA が合成される過程が存在することが予想される。この過程で生まれた二本鎖 RNA がダイサーによって分解され、RNA 干渉が起こると考えられる。

よって、解答は 1-②, 2-⑭, 3-⑩, 4-⑫, 5-①, 6-⑭, 7-⑤である。

II

A 難易度：★★★★☆

図 1-3 から変異マウスの遺伝様式を推察せよという問題である。

問題文から、変異マウスは近交系を飼育する過程で生じた突然変異体であるとされている。つまり、表現型 B や C のマウスはある突然変異をもっており、それによって白血球における T 細胞の割合が元の近交系と異なっていると考えられる。

図 1-3 について考察していこう。家系図内に性別が示されている。雌雄別に表現型 A, B, C の出現頻度に大きな差はないので、突然変異は常染色体に存在する遺伝子で起こったと考えられる。

一番上にある表現型 B の雄マウスと表現型 C の雌マウスの世代を P 世代とよび、P の次の世代を F_1 、その次の世代を F_2 、その次の世代を F_3 とそれぞれよぶことにする。

F_2 世代の交配では、表現型 A のマウスどうしの交配では子孫はすべて表現型 A、表現型 C のマウスどうしの交配では子孫はすべて表現型 C となっている。ある同じ形質をもつ個体どうしの交配によって生まれる次世代のすべての個体が親と同じ形質をもつ現象はホモ接合体どうしの交配でみられ、表現型 A のマウスと表現型 C のマウスはホモ接合体といえる。

次に F_1 世代の交配に注目してみる。表現型 B のマウスどうしの交配によって表現型 A, B, C のマウスができています。この交配で表現型 A のマウスが生まれたことから、表現型 B のマウスは突然変異をもつ染色体と突然変異をもたない染色体をもつことがわかる。また、表現型 C のマウスが表現型 B にかかわっている突然変異と表現型 C にかかわっている突然変異は同一であることがわかる。

ここまでの考察から、遺伝様式は「突然変異を起こした遺伝子と元の近交系がもつ遺伝子による不完全優性」とおおよその予測がつくと思われる。元の近交系がもつ遺伝子を A 、突然変異を起こした遺伝子を a とおいて P 世代の交配や F_1 世代の交配を考えてみよう。P 世代の交配では Aa と aa の交配であり、 F_1 には表現型 B のマウスと表現型 C のマウスが 1 : 1 の割合で出現すると予想され、この予想は実際の F_1 の表現型の比と一致している。また、 F_1 世代の交配では Aa どうしの交配であり、 F_2 の表現型の比は $A : B : C = 1 : 2 : 1$ となると予測される。 F_2 の表現型は $A : B : C = 6 : 12 : 6$ となっており、予測と一致する。

これらのことから、「突然変異を起こした遺伝子と元の近交系がもつ遺伝子による不完全優性」によって表現型が決定されると考えられる。

問題の親の雄マウスは AA と aa の子で、遺伝子型は Aa である。雌マウスは AA と Aa の子で、遺伝子型は 1 : 1 の割合で AA と Aa である。したがって、生まれる子マウスの遺伝子型の比は以下の表のようになる。

表 生まれる子マウスの遺伝子型の比

	AA	Aa
Aa	$AA : Aa = 2 : 2$	$AA : Aa : aa = 1 : 2 : 1$

表から、生まれる子マウスの遺伝子型の比は $AA : Aa : aa = 3 : 4 : 1$ となる。表の表記では、雌マウスのそれぞれの遺伝子型 AA と Aa から生まれる子が同数になるように比を調整してある。

生まれる子マウスの遺伝子型の比から表現型の比は、 $A : B : C = 3 : 4 : 1$ となる。突然変異は常染色体にあると考えられるので、表現型 C をもつ個体のうちの半数が雌であると考えられる。

よって、解答は $1/16$ である。

B 難易度：★★★★☆

T 細胞や免疫系、循環系についての空欄補充問題である。まず、T 細胞にはヘルパー T 細胞とキラー T 細胞が

存在する。ヘルパーT細胞は**適応免疫（獲得免疫）**の中心的な存在であり、細胞性免疫にかかわるキラーT細胞を活性化するのはたつきや体液性免疫にかかわるB細胞を分化・増殖させるのはたつきをもつ。このように、T細胞は適応免疫において非常に重要だが、HIV（ヒト免疫不全ウイルス）はT細胞に感染し破壊する。T細胞が破壊されると体液性免疫と細胞性免疫の両方の機能が低下し、感染者の免疫機能が低下する。HIVに感染し、ある水準まで免疫機能が低下するとAIDS（後天性免疫不全症候群）を発症し、健康であれば感染しないような感染症に感染するなどの症状が出る。

ヒトにおける生体防御として適応免疫を紹介したが、自然免疫も重要な生体防御のしくみの1つである。適応免疫では免疫細胞は特定の抗原に反応し排除しようとするが、自然免疫では体内に侵入した異物を非特異的に排除する。自然免疫にはマクロファージ、好中球、樹状細胞といった細胞が関連しており、これらの細胞が体内に侵入した異物を食作用によって細胞に取り込み、分解する。脊椎動物は適応免疫と自然免疫の両方を持ち、無脊椎動物は自然免疫しかもっていない。

脊椎動物と無脊椎動物では免疫系だけでなく、循環系も異なっている。循環系をもつ多くの無脊椎動物は動脈系と静脈系が毛細血管でつながっていない**開放血管系**をもつ。それに対して一部の無脊椎動物と脊椎動物は動脈系と静脈系が毛細血管でつながっている**閉鎖血管系**をもつ。閉鎖血管系では血管内を流れるのは血液、細胞間に存在する体液は組織液、リンパ管を流れるのはリンパ液と明確に区別することができるが、開放血管系ではこれらの体液を区別することはできない。

よって、解答は 8—適応（獲得）、9—HIV（ヒト免疫不全ウイルス）、10—自然、11—マクロファージ（好中球、樹状細胞でも可）、12—毛細血管、13—閉鎖、14—組織液、15—開放である。

簡単な空欄補充なので必ず全問正解したい。

◆Check!!

適応免疫（獲得免疫）

解説でも紹介したとおり、適応免疫（獲得免疫）には体液性免疫と細胞性免疫が存在する。それぞれ詳しく説明する（図B）。

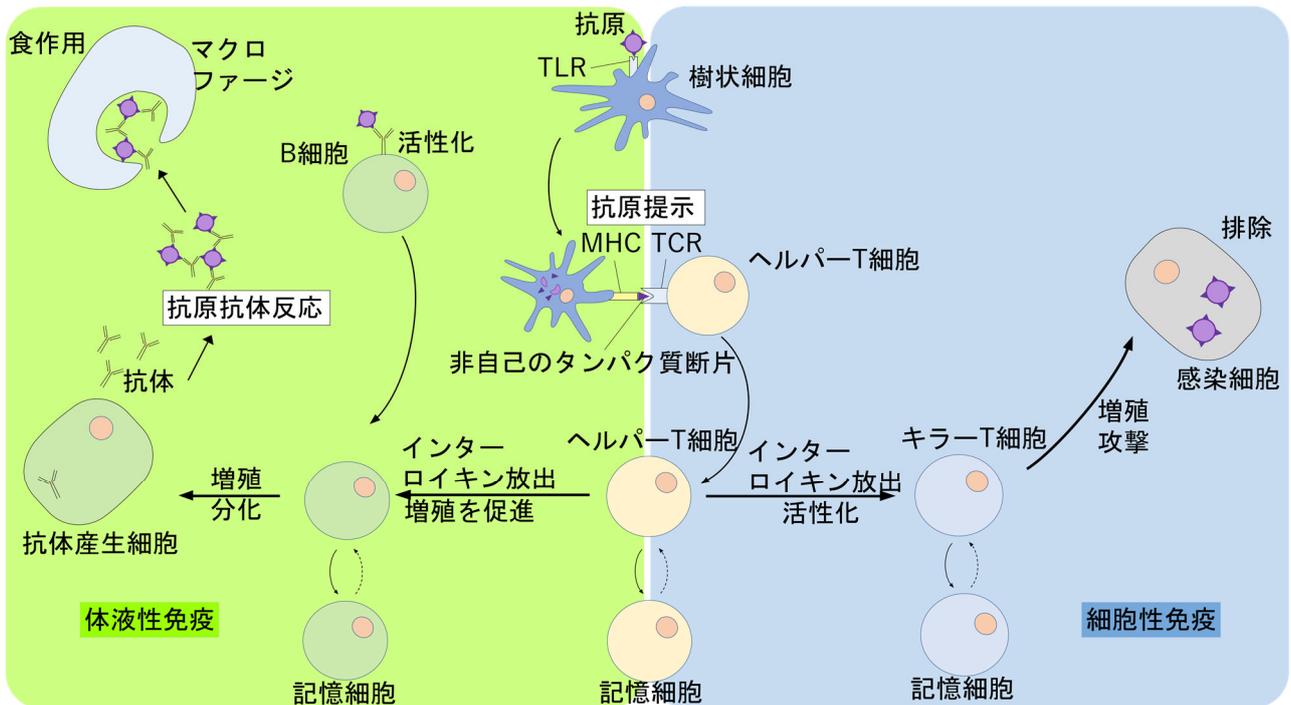


図 B 適応免疫 (獲得免疫)

体液性免疫の中心はヘルパーT細胞とB細胞である。体内に侵入したウイルスや細菌は、マクロファージや樹状細胞の食作用によって分解される。マクロファージや樹状細胞は分解したウイルスや細菌の一部を抗原としてヘルパーT細胞に提示する。抗原提示を受けたヘルパーT細胞はインターロイキンを分泌し、抗原に対応する抗体を産生できるB細胞を増殖させる。増殖したB細胞は抗体産生細胞と記憶細胞に分化する。抗体産生細胞は抗体を大量に産生し、抗原抗体反応によって侵入したウイルスや細菌を排除するのに役立つ。記憶細胞は侵入したウイルスや細菌と同じ抗原をもつ異物が再度体内に侵入してきた際に素早く抗体を産生し、異物を排除する反応にかかわる。

細胞性免疫にはT細胞が大きくかかわっている。体液性免疫と同様にマクロファージや樹状細胞から抗原提示を受けたヘルパーT細胞は、抗原に対応するキラーT細胞を活性化させる。細胞がウイルスに感染すると、MHC分子とともにウイルスの抗原が細胞膜上に提示される。キラーT細胞は細胞膜上の抗原を認識し、ウイルスに感染した細胞を破壊することでウイルスの感染の拡大を防いでいる。B細胞と同様にT細胞の一部は記憶細胞に分化し、次のウイルス感染に備えている。

適応免疫では、一度ウイルスや細菌が侵入すると記憶細胞ができるので、同じ抗原が再度侵入した場合には1度目の免疫反応よりも速やかに強い免疫反応が起こる。1度目の免疫反応を一次応答、2度目以降の速やかで強い免疫反応を二次応答とよぶ。感染症に対するワクチン療法では、ワクチン接種により病原体の抗原に対応するB細胞やT細胞の記憶細胞をつくり、病原体に感染した際に二次応答によって速やかに病原体を排除することで病気の発症を防いでいる。

C 難易度：★★★★☆

実験 3 の背景と考察に関する問題である。それぞれの選択肢について検討する。

- (1) 血球はすべて造血幹細胞からでき、T 細胞も例外ではない。したがって適切である。ちなみに T 細胞は胸腺で分化・増殖し、英語で胸腺を表す thymus の頭文字 T から名前がつけられた。
- (2) T 細胞では遺伝子の再構成が起こっており、その細胞に独自の T 細胞抗原受容体の遺伝子しかもっていない。そのため、T 細胞の核を用いて作成されたクローンマウスでは核のドナーである T 細胞の抗原受容体しか発現しないので、不適切である。
- (3) 表現型 C では明らかに T 細胞が少ない。II の B の解説でも説明したとおり、T 細胞は獲得免疫において非常に重要であり、T 細胞が少ない表現型 C のマウスで正常に細胞性免疫が機能し抗体がつくられるとは考えにくい。したがって、不適切である。
- (4), (5) 実験 3 では表現型 B, C のマウスの骨髄を表現型 A のマウスに移植すると白血球における T 細胞の割合は表現型 A のマウスと同程度になったが、表現型 A のマウスの骨髄を表現型 B, C のマウスに移植すると白血球は少なくなった。この結果から、表現型 B, C のマウスでは、骨髄ではなく T 細胞が分化・増殖し成熟する過程、つまり胸腺に問題があると考えられる。したがって、(4)は不適切であり、(5)は適切である。

よって、解答は (1), (5)である。

D 難易度：★★★★☆

実験 4 の結果の解釈に関する問題である。それぞれの選択肢について検討する。

実験 4 では遺伝子 Z をノックアウトしたマウスを作成しているが、ノックアウトマウスの白血球における T 細胞の割合は表現型 A のマウスと同程度であったことから、タンパク質 Z そのものは白血球における T 細胞の割合に影響を及ぼさないか別のタンパク質が機能を肩代わりするという仮説が立てられる。したがって、(1)と(3)は適切である。また、(2)のような「変異によってタンパク質 Z の構造が変化し別のタンパク質のはたらきを妨げた」という解釈はタンパク質 Z の本来の機能に言及しておらず、実験 4 とは矛盾しない。

一方、(4)の「表現型 C では変異によってタンパク質 Z が発現しなくなり、白血球における T 細胞の割合が減った」という解釈は実験 4 で遺伝子 Z をノックアウトしたマウスの白血球における T 細胞の割合が正常だったことに矛盾する。

よって、解答は(4)である。

(北川健斗, 神戸朱琉, 西川尚吾, 大橋陽樹)

2017 年度 東京大学 前期 生物

第 2 問 植物の呼吸と光合成，つる植物の適応

出題範囲	光合成，呼吸，植物の環境応答
難易度	★★★★☆
所要時間	27 分
傾向と対策	I は光合成に関する考察問題であるが，II ではつる植物を軸に植物に関する広い分野から出題されている。全体として問題数や記述量は少ないものの，難しい選択問題や知らなくても仕方がないような知識問題があり，難易度は高い。本番でわからない問題が続いてしまった場合でも，パニックに陥らずに，現実的なレベルの問題で確実に正解することが大切である。この大問でいえば，I-A，II-D，II-F，II-G などが正解できていれば十分である。例年に比べて難易度が高い大問であり，難しい問題に時間をかけすぎないようにしてほしい。

解答

- I
- A (6)
- B (6)
- II
- A 光受容体：クリプトクロム，フィトクロムの中から 1 つ
植物ホルモン：オーキシン，ジベレリン，ブラシノステロイドの中から 2 つ
- B (1)
- C 巻きひげブドウ，ヤブガラシ，キュウリ，エンドウ，ツタなどの中から 1 つ
茎全体アサガオ，フジなどの中から 1 つ
- D 葉の様子から Z は双子葉植物である。双子葉植物の茎では維管束は環状に配列しているが，葉では主脈から網目状に広がっている。巻きひげの断面図では 1 つの維管束が特に太く，左右対称に配列していることより，Z の巻きひげは葉が特殊化したものであるとわかる。(121 字)
- E (5)
- F 茎が回旋運動時に支柱との接触刺激を感知すると，回旋運動の方向へと屈曲が起こり，茎が支柱に巻きつく。(49 字)
- G f と g でつる性の獲得が起き，j でつる性の喪失が起きた。(27 字)
f と h と k でつる性の獲得が起きた。(17 字)

解説

I

A 難易度：★★★★☆

光合成や呼吸の反応を考えることで、3つのエネルギーの大小関係を求める。設問文がやや長いので、注意して読んでいこう。

まず、 α 、 β について。NADPHの分解により生じた電子を受けて H_2O が生じるという自発反応で発生するエネルギーが α である。一方、ATPが分解してADPが生じるという自発反応で発生するエネルギーが β である。これらの自発反応とは逆の反応が起こるとき、エネルギーは吸収されるが、 α 、 β よりも大きいエネルギーが必要となる。なぜならば、これらの反応が起こるときには活性化エネルギーが必要となるからである。ATPを例として考えよう。ADPからATPが合成されるとき、 β よりも大きなエネルギー（活性化エネルギー）が必要となる。しかし、ここでATPに蓄えられたエネルギーは β のみである。活性化エネルギーと β の差の分のエネルギーは失われてしまうため、反応では必ずエネルギーのロスが起こる。

設問文であたえられている光合成や呼吸における反応は次の3つである。それぞれの反応からどのようなエネルギーの大小関係がわかるか考えよう。

①「2分子の H_2O から始まる電子伝達に伴い、3分子程度のATPが合成される」

この反応は光合成の電子伝達における反応を示しているが、 α や β とは関係がない。 α はあくまでもNADPHが NADP^+ になるときに生じるエネルギーであり、ATPの合成は電子伝達時の H^+ の輸送によって起こる。電子伝達の最後に生成されるNADPHに蓄えられた還元力はカルビン・ベンソン回路で用いられる。よって、この文は読み飛ばしてしまってもよい。

②「1分子のグルコースの合成に相当する反応に、12分子のNADPHと18分子のATPが使われる」

1分子のグルコース中に蓄えられているエネルギーを γ としよう。すると、1分子のグルコースの合成に12分子のNADPHと18分子のATPが用いられるので、NADPH12分子とATP18分子に蓄えられているエネルギーは γ よりも大きいはずである。よって、「 $\gamma < 12\alpha + 18\beta$ 」となる。

③「1分子のグルコースを基質とする呼吸により、最大38分子のATPが合成される」

②と同様に考えると、グルコース1分子に蓄えられているエネルギー γ はATP38分子中に蓄えられているエネルギーよりも大きいはずである。よって、「 $38\beta < \gamma$ 」となる。

②と③より、「 $38\beta < 12\alpha + 18\beta$ 」とわかる。あとは光エネルギーとの大小関係がわかればよい。1分子のグルコースの合成に必要な12分子のNADPHと18分子のATPはチラコイド膜上における一連の反応で合成されるが、この一連の反応のエネルギー源は光である。もちろんこの一連の反応においてもエネルギーのロスは起こるので、「光エネルギー $> 12\alpha + 18\beta$ 」であるとわかる。

全体として、「光合成で光エネルギーをもとに糖を合成し、呼吸でその糖を分解してATPを合成する」という流れを意識するとわかりやすい。光エネルギーは光合成を開始するのに必要なエネルギー、 $12\alpha + 18\beta$ は光合成で1分子のグルコースを合成するのに必要なエネルギー、 38β は呼吸で1分子のグルコースを分解して得られるエネルギーを表している。反応では必ずエネルギーロスが起こるので、「 $38\beta < 12\alpha + 18\beta$ 」が成り立つと

いえる。

よって、解答は(6)である。

B 難易度：★★★★★

光合成と呼吸に関する知識から単細胞緑藻の気体交換がどのように行われるかを推測する問題である。実は「単細胞緑藻」というところがポイントになっているので、単細胞緑藻になったつもりで考えてみよう。

単細胞緑藻は明るいときに光合成と呼吸を、暗いときに呼吸のみを行う。両方を同時にしている明るいときよりも、一方しかしていない暗いときのほうが考えやすいので、まずは暗条件から考える。培養液中の $^{16}\text{O}_2$ と $^{18}\text{O}_2$ の濃度を測定しているということを念頭におこう。

【暗条件下】

暗条件下では、呼吸は行われるが光合成は行われない。そのため、呼吸に必要な O_2 は細胞外から取り込まれるので、細胞外である培養液中の O_2 濃度は減少する。この時、単細胞緑藻は $^{18}\text{O}_2$ であろうと $^{16}\text{O}_2$ であろうと関係なく呼吸に用いるので、培養液中の $^{16}\text{O}_2$ と $^{18}\text{O}_2$ の濃度はどちらも低下する。

よって、解答は(5)か(6)のどちらかである。

【明条件下】

明条件下では、単細胞藻類は光合成も呼吸も行う。光合成では二酸化炭素を吸収して酸素を放出する。設問文に「測定開始時点では与えた $^{18}\text{O}_2$ 以外に ^{18}O を含む物質は培養液中に存在しない」とある。光合成で生じる O_2 は水の分解によるので、単細胞藻類の光合成で放出される酸素は $^{16}\text{O}_2$ である。そのため、光合成のみが起こった場合、培養液中の $^{16}\text{O}_2$ 濃度は上昇する。

光合成と同時に呼吸が行われるが、この時に呼吸で使われる O_2 はどちらであろうか。光合成速度と呼吸速度では光合成速度のほうが大きい。そのため、単細胞藻類の細胞内には光合成で生じた $^{16}\text{O}_2$ が十分に存在しており、呼吸には $^{16}\text{O}_2$ が使われると考えられるだろう。このことは根などの光合成を行わない細胞をもつ高等植物ではいえないが、酸素濃度の低い水中に生息している単細胞藻類でならいうことができる。よって、明条件下では培養液中の $^{16}\text{O}_2$ 濃度は増加するが、 $^{18}\text{O}_2$ 濃度は変化しない。

よって、解答は(6)である。呼吸と光合成を同時に行っているときに、単細胞緑藻が細胞内の O_2 を使って呼吸を行っているということがわからなければ正答できない難しい問題である。本番では、自信をもって答えられないような選択問題に時間をかけすぎないようにしよう。

II

A 難易度：★★★★☆

茎の伸長を抑制する光受容体はクリプトクロムとフィトクロムである。クリプトクロムは青色光を受容して植物の胚軸や茎の伸長を抑制する光受容体である。フィトクロムは赤色光を受容すると種子の発芽を促進し、遠赤色光を受容すると種子の発芽を抑制する光受容体として必ず覚えておこう。このフィトクロムは植物の伸長調節

にもかかわることがわかっている。フィトクロムが赤色光を受容した場合は伸長が抑制され、遠赤色光を受容すると茎の伸長が促進される。赤色光は植物体に吸収されやすいのに対し、遠赤色光は植物体を透過しやすいことが知られている。すなわち、赤色光が多い環境は上部を覆い隠す植物が少なく生育に適した環境、遠赤色光が多い環境は上部を覆い隠す植物が多く生育に適さない環境である。したがって、赤色光の多い環境ではフィトクロムは発芽を促進、伸長を抑制するのに対し、遠赤色光の多い環境では発芽を抑制、伸長を促進するのである。フィトクロムはその赤色光と遠赤色光クリプトクロムやフィトクロムによる伸長成長の調節については、記述のない教科書もあるので、答えられなかった人もいるだろう。ちなみに、このほかの植物の光受容体としては**フォトリポピン**がある。フォトリポピンは青色光を受容して、光屈性や気孔開口などを引き起こす。

茎の伸長を促進する植物ホルモンには、**オーキシン**、**ジベレリン**、**ブラシノステロイド**がある。オーキシンは細胞壁を緩めることで細胞の吸水を促進し、伸長を促進する。ジベレリンやブラシノステロイドは細胞壁のセルロース繊維を横方向に配列させることで、細胞の縦方向の伸長を促進する。ちなみに、オーキシンは高濃度になると、かえって伸長を抑制するということに注意しよう。

よって、解答は、**光受容体：クリプトクロム、フィトクロムの中から1つ、植物ホルモン：オーキシン、ジベレリン、ブラシノステロイドの中から2つ**選択すればよい。

B 難易度：★★★★☆

つる植物 Y が 2 つの戦略のどちらかをとったときの、自立性植物 X との伸長速度の違いを予測する。I-A や I-B と同様にやや長い設問文を正確に読み取らなくてはならないので、落ち着いて考えていこう。

まず、自立性植物 X とつる植物 Y の茎の長さ・重量比（今後は L/W とよぶ）について。 L/W の値はより茎が細いほど大きくなる。Y の L/W は X の L/W の 4 倍であるが、これは「X と Y が茎に同じ量の物質を分配すると、Y のほうが 4 倍長く伸びる」ということである。このことを踏まえ、それぞれの戦略について考えていこう。

戦略①では、Y の茎への物質分配を X の $1/4$ にし、葉への物質分配を X の 2 倍にする。X と Y の最初に分配する有機物の量が同じであるとすると、X と Y は同じだけ茎を伸ばす。さらに、Y は X が新たにつける葉の量の 2 倍の量の葉をつけると考えられる。すると、Y は X よりも多くの有機物を生産できるようになり、より茎を伸ばし、より多くの葉をつける。これを繰り返すと、X と Y の茎の伸長速度比は指数関数的に増加すると考えられる。選択肢のグラフを見てみると、(1)、(3)、(5)で r_Y/r_X が指数関数的に上昇している。

戦略②では、Y の物質分配は X と同じである。そのため、最初に分配する有機物量が同じであるとすると、Y は X の 4 倍茎を伸ばし、同じ量の葉をつける。すると、そのあとの物質生産も X と Y で同じなので、Y は X の 4 倍茎を伸ばし、同じ量の葉をつける。したがって、Y の茎の伸長速度は X の茎の伸長速度の 4 倍を維持すると考えられる。選択肢のグラフを見てみると、 r_Y/r_X が 4 で一定となっているのは(1)のみである。

よって、解答は(1)である。選択肢のグラフの縦軸が対数目盛になっていることに注意しよう。東大の生物にはしばしば片対数グラフが登場するので、扱い方については各自理解しておくとういだろう。

C 難易度：★★★★☆

巻きひげで支柱に絡みつく植物と巻きひげをもたず茎全体で支柱に巻きつく植物の例を 1 つずつ挙げる。植物に関心をもっていれば知っているだろうが、教科書に載っているような知識ではないので知らなくても仕方がない。身の回りの生物や生命現象に興味をもってると、生物の勉強がより面白く感じられるだろう。

巻きひげで支柱に絡みつく植物の例としては、ブドウ、ヤブガラシ、キュウリ、エンドウ、ツタなどが挙げられる。巻きひげをもたず茎全体で巻きつく植物の例としては、アサガオ、フジなどが挙げられる。つる性をもつ植物はほかにもたくさんあるので、興味がある人は自分で調べてみたり、受験勉強の息抜きも兼ねて植物園に行ってみたりするとよいだろう。

D 難易度：★★★★☆

図 2-2 から、植物 Z の巻きひげは茎と葉のどちらが特殊化したものなのかを考える。図 2-2 からは Z の葉の外観と横断面がわかるが、参考にできそうなのは横断面の木部と師部の分布であろう。

植物の維管束についての知識をまとめよう。維管束について高校では学習しないかもしれないが、小学校や中学校で必ず習うので、当然知っているはずである。双子葉植物と単子葉植物の維管束の特徴について、以下の表で確認しよう。

表 双子葉植物と単子葉植物の維管束

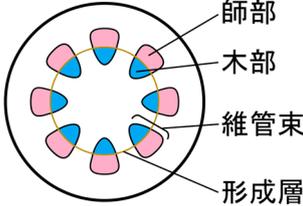
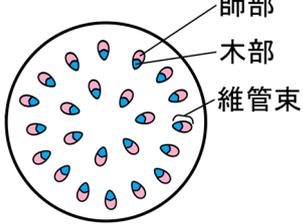
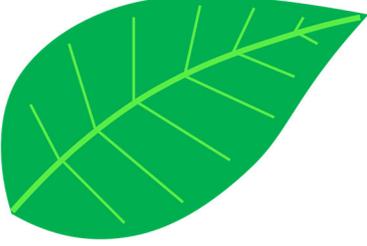
	双子葉植物	単子葉植物
茎の維管束	 <ul style="list-style-type: none"> ・環状に配列する。 ・形成層が存在する。 	 <ul style="list-style-type: none"> ・散在する。 ・形成層は存在しない。
葉の維管束	 <p>網状脈</p>	 <p>平行脈</p>

図 2-2 の葉の外観から、植物 Z は双子葉植物であるといえる。双子葉植物の茎の維管束は環状に配列しており、それらの維管束の太さは等しい。維管束の木部は内側に、師部は外側に存在している。一方、葉の維管束で

は中央の太い主脈から細い維管束が分岐して網目状になっており、おおよそ左右対称になっている。維管束の木部は表面に、師部は裏面に存在している。

次に巻きひげの断面図を見ると、下方中央に太い維管束が存在し、上部に細い維管束が2つ左右対称に存在している。そのため、巻きひげは葉が特殊化したものであるといえる。

よって、解答例は次のとおり。

解答例

葉の様子から Z は双子葉植物である。双子葉植物の茎では維管束は環状に配列しているが、葉では主脈から網目状に広がっている。巻きひげの断面図では1つの維管束が特に太く、左右対称に配列していることより、Zの巻きひげは葉が特殊化したものであるとわかる。(121字)

◆Check!!

被子植物の分類

地球上には数百万種ともいわれる生物が生息している。この果てしない数の生物を網羅的に理解することは極めて困難であり、生物を理解するためにはそれを分類する必要がある。生物を分類するときには似た特徴を共有する生物を同じグループにしなくてはならない。また、すべての生物は単一の共通祖先に由来すると考えられており、その進化の道筋を系統とよぶ。進化論が定着して以降、系統にもとづいて進化的な類縁関係を反映した系統分類が重要であると考えられている。この系統分類を表現するには系統樹が用いられる。ただし、過去にさかのぼって生物の進化の歴史を垣間見することは不可能であるため、系統分類にはさまざまなデータが利用される。現在でこそ DNA の遺伝情報が用いられることが多いが、DNA の塩基配列を調べることができなかつた時代には形態という情報が極めて重要であった。しかし、収束進化(収れん)という現象が知られているように、形態が類似していることは必ずしも系統的に近縁であることを示しているとは限らない。その例として、以下では被子植物の分類を見ていこう(図 A)。

被子植物はその子葉の枚数によって単子葉植物と双子葉植物に分類される。しかし、DNA の解析によって推定される系統分類はこれと一致しない。現生の被子植物の中で最初に分岐したと考えられている植物はアムボレラとよばれる植物である。そのあとに、スイレン類やシキミ類やモクレン類が分岐した。これらのグループの植物は、被子植物の中で初期に分岐したという意味で基部被子植物とよばれ、双子葉植物の特徴をもつ。基部被子植物以外の被子植物の共通祖先から単子葉植物が分岐した。基部被子植物以外の双子葉植物は真正双子葉植物とよばれ、基部被子植物よりも単子葉植物と近縁である。

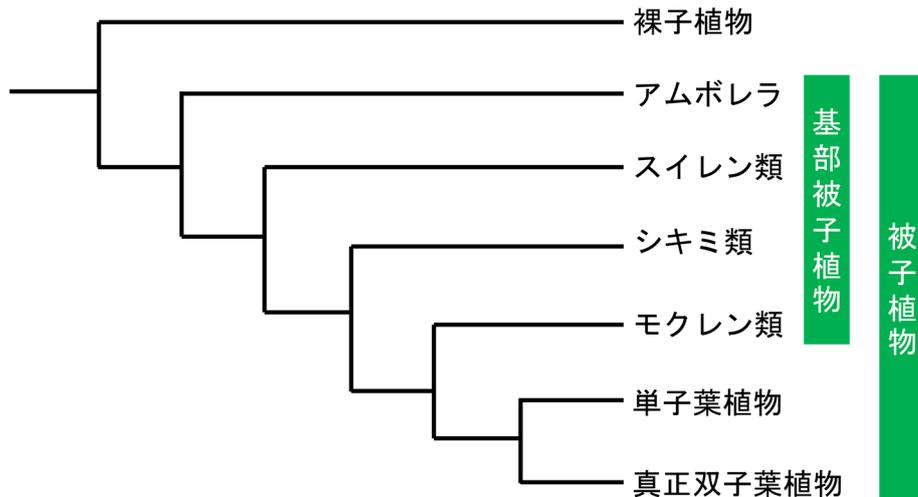


図 A 被子植物の系統関係

このように、形態による分類が DNA 解析による系統分類と異なることは多い。しかし、DNA 解析による類縁関係の推定も用いる DNA の領域や解析手法によって結果が変わることがあり、どの系統樹も系統関係を正確に表しているとは言い切れないということである。重要なのは、系統樹を見るときに、それが何をもとに作成されたものであるかを確認することである。

E 難易度：★★★★★

つる植物の回旋運動に重力屈性が関与するという仮説に関して、つる植物の重力屈性と基本的な茎の重力屈性でどのように違っている必要があるかを考える。それぞれの選択肢について細かく考えれば考えるほどよくわからなくなってしまうので、各選択肢については解説しない。

設問文より、茎の重力屈性の基本は「茎は重力に対して鉛直上方向に向かおうとする一定の強さの負の重力屈性を示し、重力と茎がなす角度を伸長域で感知し、ずれがわずかでもあるとすみやかに屈曲する」である。重力屈性によって植物は重力に対して鉛直上向きに伸びる。

つる植物が回旋運動しているときに、どのように屈曲が起こっているかを考えよう。次の図 B はその回旋運動を上から見たときの様子である。この図から、屈曲が基本的な重力屈性の方向と垂直の方向に起こるといえることがわかる。これは円運動が 1/4 周期進んでから屈曲が起こるといえる。

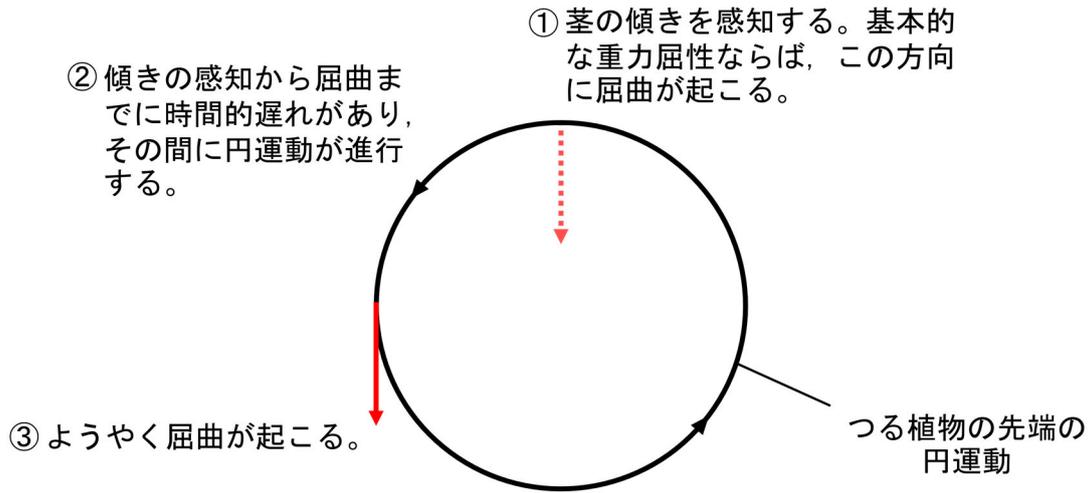


図 B つる植物の回旋運動を上から見たときの様子

よって、解答は(5)である。回旋運動がどのように始まるかを考えると難しいので、回旋運動中のことを考えるようにするか、設問文にある「往復運動」という1次元の運動で考えるかのどちらかのアプローチがよいだろう。

F 難易度：★★★★☆

つる植物の茎が支柱に巻きつくときの屈曲反応について考える。これが接触屈性による場合と接触傾性による場合の2パターンのうち、後者のパターンでの説明を答える。

まずは接触屈性で屈曲反応を説明してみよう。つる植物の茎が支柱に接触したとき、つる植物は支柱に巻きつくように屈曲する(図C)。ここでは、接触刺激の方向に屈曲が起こっているので、「正の接触屈性である」ということができる。

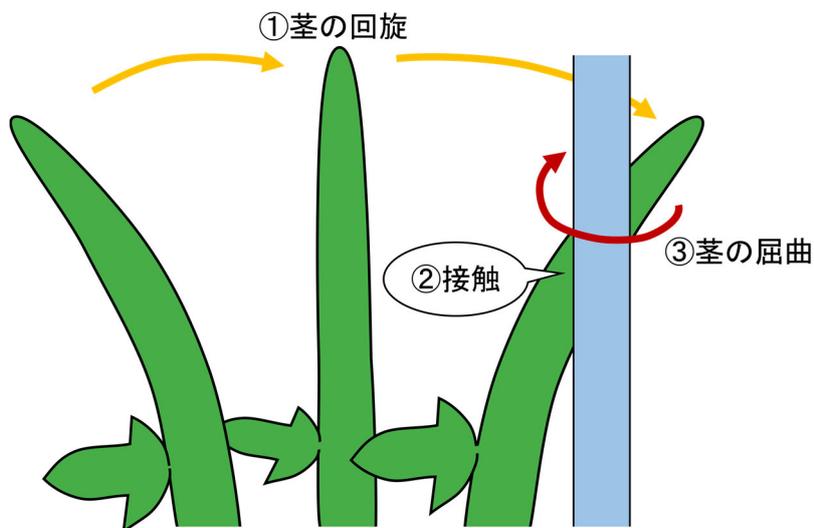


図 C つる植物の茎の屈曲反応の方向

それでは、接触傾性の場合を考えよう。回旋運動をしている場合、接触刺激は必ず回旋運動している方向から起こる。茎が支柱に接触したときに回旋運動の方向に屈曲すれば、茎は支柱に巻きつくことができる。よって、「回旋運動と同じ方向に屈曲するという接触傾性がある」といえる。

よって、解答例は次のとおり。

解答例

茎が回旋運動時に支柱との接触刺激を感知すると、回旋運動の方向へと屈曲が起こり、茎が支柱に巻きつく。(49字)

G 難易度：★★★★☆

植物のあるグループでつる性の獲得と喪失がどのように起こったのかを考える。祖先種がつる性でないことから、つる性のあるものに注目して、「つる性をもつ種が生じるまでに必ずつる性の獲得が起きている」ということがわかれば、さほど難しくはないだろう。

つる性をもつのは、種4、種5、種7の3種である。この3種では種5と種7が最も近縁である。したがって、①種4、種5、種7の共通祖先でつる性の獲得が起きたパターン、②種5と種7の共通祖先と種4でつる性の獲得が起きたパターン、③種4、種5、種7のそれぞれでつる性の獲得が起きたパターンの3つが考えられる。

①の場合、図2-3のaでつる性の獲得が起きたと考えられる。すると、種2、種3、種6がつる性をもたないことより、これらがつる性を喪失している。この時、c、e、jの3カ所でこのつる性の喪失が起こったか、bとjでつる性の喪失が起こってfでつる性の再獲得が起こったかのどちらかである。よって、「aでつる性の獲得が起き、c、e、jでつる性の喪失が起こった」、「a、fでつる性の獲得が起き、b、jでつる性の喪失が起こった」という2つの形質変化のパターンが考えられる。どちらにおいても4回の形質変化が起こっている。

②の場合、fとgでつる性の獲得が起きたと考えられる。すると、種6がつる性をもたないことより、jでつる性の喪失が起こっている。よって、形質変化のパターンは「fとgでつる性の獲得が起き、jでつる性の喪失が起きた」である。この時、3回の形質変化が起こっている。

③の場合、f、h、kでつる性の獲得が起きたと考えられる。この時、つる性の喪失は起きていない。よって、形質変化のパターンは「f、h、kでつる性の獲得が起きた」である。この時、3回の形質変化が起こっている。

形質変化が最小となる形質変化の起き方を答えるので、②と③の場合の形質変化のパターンが正解となる。これほどまで慎重に考えなくても正解できるが、一方の解答だけで満足してしまわないように注意しよう。

よって、解答例は次のとおり。

解答例

fとgでつる性の獲得が起き、jでつる性の喪失が起きた。(27字)

fとhとkでつる性の獲得が起きた。(17字)

(西川尚吾, 北川健斗, 石川諒, 大橋陽樹)

2017 年度 東京大学 前期 生物

第 3 問 鱗を主食にする魚の口の曲がりと採餌成功率の関係

出題範囲	進化, 種間関係, 個体群
難易度	★★☆☆☆
所要時間	22 分
傾向と対策	2017 年度の問題の中で最も解きやすい大問だろう。I ではかなり基本的な知識を問われるだけなので確実に点数を確保したい。II は考察が必要な問題ではあるが, いずれの問題も単純な考察問題である。入試ではこのような問題で落ち着いて確実に点数を稼ぐことが重要である。ほかの大問との兼ね合いで時間がなくなってしまうことのないよう, 難しい問題はすぐに飛ばすか, 簡単な問題から解くようにするか, 工夫をしてほしい。第 3 問に簡単な問題を配置しているのは, 全体を見て要領よく問題をこなしていく力を要求しているのだろう。

解答

- I
- A 1-⑪, 2-⑩, 3-⑤, 4-⑦
- B (1)-③, (2)-②, (3)-④, (4)-⑤, (5)-①, (6)-②
- II
- A 種 A, 種 B とともに同種が周辺にいた場合の採餌成功率は単独で襲い掛かった場合と同程度だが, 別種が周辺にいた場合の採餌成功率はそれよりも高くなった。(71 字)
- B 襲い方が異なる種 A と B の 2 種がいるとき, 種 C は両方警戒する必要がある, 単独や同種しかいない場合と比較して, それぞれに対する警戒が弱まるため。(70 字)
- C (1), (5)
- D (2), (6)
- E 口が左に曲がった個体
理由: 口が左に曲がった個体を配偶相手に選ぶことで, 子は少数派である口が左に曲がった個体になる。少数派は採餌成功率が高いため, 子の生存に有利になる。(70 字)
- F (4)

解説

- I
- A 難易度: ★☆☆☆☆
- 1 には**適応放散**が入る。[文 1] にも書いてあるとおり, 適応放散とは生物が共通の祖先からさまざまな環境に適応して形態や機能を変化させ, 多くの種に分化することを指す。適応放散が起こった結果, 今現在, 地球

上には数えきれないほどの生物種が存在している。

2には**共進化**が入る。アングレカム・セスキペダレというランは、がくや花弁から突出した細長い管のような構造である“距”の長さがとても長い。距の奥には蜜が存在しており、これを吸うためにキサントパンズメガというガは長い口器をもつように自然選択によって進化した。また、ランとしては蜜のみを吸われて送粉をしてくれないと繁殖に影響が出るため、ガの体にうまく花粉が付着するように距の長さを伸ばす方向に進化していった。このように、複数の生物間で影響を及ぼしあいながら進化することを共進化という。

3には**生態的地位**、4には**競争的排除**が入る。生態的地位は**ニッチ**ともよばれ、ある種の生活空間や食物などのさまざまな資源の要素やそれをどのように利用するのかをいう。同じ場所で同じ食物を餌として生息している2種の生物がいた場合、生活空間や餌の取りあいが行われることは容易に想像できるだろう。このように生態的地位が近いものどうしでは、種間競争が起こる。種間競争の結果、強い種によって弱い種が駆逐されることを競争的排除という。

よって、解答は、1-⑪、2-⑩、3-⑤、4-⑦である。教科書に載っている基本的な語句であるうえ、選択肢から選べばいいだけなので、必ず完答したい。

◆Check!!

収束進化

Aで適応放散について触れた。適応放散と一緒に取り上げられることが多い収束進化について確認していこう。

収束進化とは、系統が異なる、すなわち個別に進化してきた生物が、似た形質をもつようになることを指す。これは同じような環境に適応するよう、同じような自然選択を受けてきた結果であると考えられている。

例としては、フクロモモンガとモモンガが挙げられる。フクロモモンガはオーストラリア大陸に生息、モモンガはユーラシア大陸や北アメリカ大陸に生息している。フクロモモンガとモモンガはどちらも前肢と後肢の間に膜状に発達した皮膚が存在し、外見的に似た特徴をもっている。しかし、フクロモモンガは有袋類、モモンガは真獣類であり、フクロモモンガはモモンガよりもほかの有袋類であるカンガルーなどと非常に近縁である。フクロモモンガとモモンガは、それぞれの環境に適応した結果、偶然似た形質をもつようになったのである。このような類似性は相似とよばれる。

B 難易度：★★★★☆

2 種の生物間での相互作用を表 A にまとめた。

表 A 2 種間の相互作用

		生物 2 にとって		
		利益	不利益	どちらでもない
生物 1 にとって	利益	相利共生	寄生	片利共生
	不利益	寄生	競争	偏害 (片害)
	どちらでもない	片利共生	偏害 (片害)	中立

- (1) 片利共生は、片方のみ利益を受けて、もう片方は利益も不利益も受けないといった関係のことである。例としてはコバンザメと大型生物が挙げられる。コバンザメはサメやクジラといった大型の生物に付着することで外敵から身を守ったり、移動の際の労力を削減したりして利益を受けているが、大型の生物には利益も不利益もない。
- (2) 寄生は、片方は利益を受けて、もう片方は不利益を被るといった関係のことである。寄生者の例にはダニやヒルが挙げられる。寄生される生物は宿主という。
- (3) 競争は、食物や生息場所といった資源をめぐる争う関係である。ほかの種の存在により、資源の利用が制約されるために起こる。競争の結果、競争的排除が起こって弱い種が淘汰されたり、強い種であっても競争によって死んだりする。これらのことから、競争は双方が不利益を被るものであると見なせる。
- (4) 中立はお互いに利益も不利益も生まない関係のことである。キリンとシマウマは餌としている植物も異なり、一方が他方を捕食するようなこともない。互いに特に影響をあたえずに共生している。
- (5) 相利共生は双方が利益を受け取ることができる関係のことを指す。生物例としては、マメ科植物と根粒菌が挙げられる。マメ科植物は根粒菌が提供する窒素化合物を利用し、根粒菌はマメ科植物が提供する炭水化物を利用している。
- (6) 捕食は、捕食者にとっては被食者を捕らえて食物とし体に取り込む行為なので利益があり、被食者にとっては命、または体の一部を奪われているのだから明らかに不利益である。

よって、解答は、(1)－③、(2)－②、(3)－④、(4)－⑤、(5)－①、(6)－②である。

問題文中の表に唯一書かれている偏害についても説明しておこう。偏害は片害とも書き、片方は不利益を被り、もう片方は利益も不利益も受けない関係のことである。例としてはアオカビと細菌が挙げられる。アオカビはペニシリンという抗生物質を分泌するので、細菌はアオカビの周辺には生息できずアオカビの存在によって不利益を被っている。アオカビにとって細菌の存在は利益も不利益もない。

II

A 難易度：★★★★☆

〔文 2〕の下線部(ア)までの内容と図 3-1 から読み取れることを整理しよう。種 C の鱗を主食とする 2 種の魚、種 A と種 B がおり、それらはそれぞれ異なる襲い方をする。種 C は種 A または種 B の接近を常に警戒しているために、単独で襲い掛かった場合の餌成功率は 20% 程度である。図 3-1 を見ると、種 A の採餌において周辺に種 A がいた場合の採餌成功率は単独の場合とあまり変わらないが、種 B がいた場合は 30% 程度に増加している。種 B の採餌においては、周辺に種 B がいた場合の採餌成功率は単独の場合と変わらないが、種 A がいた場合は高くなっており、40% を超える。問題は採餌成功率が状況に応じてどう異なっているか、その傾向を答えさせるものである。「傾向」という語句が使われているところから、種 A は…で種 B は…というふうに個々で述べるのではなく、種 A と種 B の結果をあわせて答えたほうがいだろう。そのため、同種がいた場合は単独と変わらず、別種がいた場合は高い採餌成功率を示すことを述べればよい。

よって、解答例は次のとおり。

解答例

種 A、種 B とともに同種が周辺にいた場合の採餌成功率は単独で襲い掛かった場合と同程度だが、別種が周辺にいた場合の採餌成功率はそれよりも高くなった。(71 字)

B 難易度：★★★★☆

A で答えた傾向が現れた理由を答えさせる問題である。「種 C の行動面から…」とヒントが設問文にあてられているので、この観点から考えていこう。

種 C は、種 A と種 B の接近を常に警戒している。しかしながら、問題文にあるとおり種 A と種 B は襲い方が異なる。種 A は底沿いに忍び寄り、遠くから突進する一方で、種 B は至近距離からいきなり襲い掛かるため、種 C は種 A のみがいる場合は遠くを警戒し、種 B のみがいる場合は近くを警戒するだろう。種 A が襲い掛かったとき、種 A が単独でいる場合も周辺に種 A が存在している場合も、種 C は遠くを警戒しているため採餌成功率は同程度になる。しかし、種 B が存在している場合は、種 C は遠くと近くの両方を警戒しなければならず、結果的にそれぞれへの警戒度は低くなってしまふ。それによって種 C による遠くへの警戒が、単独の場合と周辺に種 A のみがいる場合と比較して弱くなっているため、採餌成功率が高まる。種 B が襲い掛かったときも同様で、周辺に種 A がいた場合は、単独の場合と周辺に種 B がいた場合と比較して、近くへの警戒が弱まっているため採餌成功率は高くなる。

よって、解答例は次のとおり。

解答例

襲い方が異なる種 A と B の 2 種がいるとき、種 C は両方警戒する必要があるため、単独や同種しかいない場合と比較して、それぞれに対する警戒が弱まるため。(70 字)

C 難易度：★★★★☆

下線部(イ)に、単一の遺伝子座にある対立遺伝子に支配される左曲がり劣性のメンデル遺伝をすと考えられたと書かれてある。したがって、右に曲げる優性遺伝子を A 、左に曲げる劣性遺伝子を a とすると、口が右に曲がった（以降右曲がりと表記）個体の遺伝子型には AA と Aa があり、口が左に曲がった（以降左曲がりと表記）個体の遺伝子型には aa があることがわかる。本問では、親はどちらも右曲がり個体なので、遺伝子型は AA か Aa である。したがって親の遺伝子型の組み合わせは $AA \times AA$ 、 $AA \times Aa$ 、 $Aa \times Aa$ の 3 通りがある。

【 $AA \times AA$ のとき】

表 B より、生まれる子の遺伝子型はすべて AA になるので、すべて右曲がり個体となる。

表 B $AA \times AA$ のときの子の遺伝子型

	A	A
A	AA	AA
A	AA	AA

【 $AA \times Aa$ のとき】

表 C より、生まれる子の遺伝子型は AA か Aa になるが、表現型はどちらも右曲がりなので、すべて右曲がり個体となる。

表 C $AA \times Aa$ のときの子の遺伝子型

	A	A
A	AA	AA
a	Aa	Aa

【 $Aa \times Aa$ のとき】

表 D より、生まれる子の遺伝子型は AA 、 Aa 、 aa になり、表現型は AA と Aa が右曲がり、 aa が左曲がりである。したがって子の比率は、右曲がり：左曲がり = 3 : 1 となる。

表 D $Aa \times Aa$ のときの子の遺伝子型

	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

したがって子の比率は、右曲がり：左曲がり=1：0 または右曲がり：左曲がり=3：1 である。

よって、解答は、(1), (5)である。

D 難易度：★★★★☆

図 3-3 を見て、図のような結果が得られた理由を考える問題である。

まず、図 3-3 の左パネルから見ていこう。左曲がり個体が多数派を占めた年は、種 C の左体側に見られたはぎ取り痕数が多く、対する右体側は左体側と比べて少なくなっている。右曲がり個体は種 C の左側の鱗を、左曲がり個体は種 C の右側の鱗をはぎ取っているのだから、左曲がり個体が多数派を占めた年は右曲がり個体の採餌成功率が高く、左曲がり個体の採餌成功率が低くなっていることが読み取れる。

次に、図 3-3 の右パネルを見ていこう。右曲がり個体が多数派を占めた年は、種 C の右体側に見られたはぎ取り痕数が多く、対する左体側は右体側と比べて少なくなっている。すなわち、右曲がり個体が多数派を占めた年は左曲がり個体の採餌成功率が高く、右曲がり個体の採餌成功率が低くなっていることが読み取れる。

したがって、左パネル、右パネルともに多数派の採餌成功率は低く、少数派の採餌成功率は高くなっていることが読み取れるから、(4)~(6)の中では(6)が正しい。では、(1)~(3)について考えていこう。

(1) 種 C が防御を左右均等に配分した場合、採餌成功率は左右で等しくなるので、はぎ取られた回数は襲撃回数に依存する。そのため、多数派によってはぎ取られた回数が少数派よりも多くなると考えられる。よって、得られた結果と違うので正しくない。

(2) 種 C が種 A の多数派からの襲撃に対する防御に専念した場合、種 A の多数派の採餌成功率は少数派と比較して低くなると考えられる。よって、得られた結果と同じになるので正しい。

(3) 種 C が種 A の少数派からの襲撃に対する防御に専念した場合、種 A の少数派の採餌成功率は多数派と比較して低くなると考えられる。よってこの記述は正しくない。

よって、解答は、(2), (6)である。

右曲がり個体は種 C の左側の鱗を、左曲がり個体は種 C の右側の鱗をはぎ取っている。焦って逆だと思って考えなければ、これもそこまで難しい問題ではない。

E 難易度：★★★★☆

II-D で解説したとおり、種 C は多数派からの襲撃に対する防御に専念しているため、少数派の採餌成功率は高い。生存において、餌を得るという行為は重要であり、採餌成功率が高い個体のほうが生存に有利であるといえる。したがって、子は少数派と同じ形質をもつことで生存に有利になる。

右曲がり個体の数が左曲がり個体の数を大きく上回っているということは、少数派が左曲がりであるので、子は左曲がりの形質をもつことで生存に有利になる。右に曲げる優性遺伝子を A 、左に曲げる劣性遺伝子を a とすると、左曲がり個体である親の遺伝子型は aa とおくことができる。

【配偶相手が右曲がり個体】

配偶相手の遺伝子型には AA と Aa の 2 通りあるので、2 通りとも考える。

配偶相手の遺伝子型が AA の場合、表 E より、子の表現型はすべて右曲がりになる。

表 E 配偶相手の遺伝子型が AA の場合の子の遺伝子型

	A	A
a	Aa	Aa
a	Aa	Aa

配偶相手の遺伝子型が Aa の場合、表 F より、子の表現型は右曲がりと左曲がり半数ずつ現れると考えられる。

表 F 配偶相手の遺伝子型が Aa の場合の子の遺伝子型

	A	a
a	Aa	aa
a	Aa	aa

【配偶相手が左曲がり個体】

配偶相手の遺伝子型には aa しかなく、表 G より、子の表現型はすべて左曲がりとなる。

表 G 配偶相手の遺伝子型が aa の場合の子の遺伝子型

	a	a
a	aa	aa
a	aa	aa

したがって、左曲がりの子が生まれる確率が最も高いのは、左曲がり個体を配偶相手として選んだときである。よって、解答は口が左に曲がった個体。理由の解答例は次のとおり。

解答例

理由：口が左に曲がった個体を配偶相手に選ぶことで、子は少数派である口が左に曲がった個体になる。少数派は採餌成功率が高いため、子の生存に有利になる。(70 字)

F 難易度：★★★★☆

種 A および種 B の左曲がり個体の割合はどちらも 50% を中心とする数年周期の振動を示し、その振動は同調

していた。この振動がどういうものであるかを考える。例えば左曲がり少数派である状況から考え始めると、左曲がりの口をもつ個体は採餌成功率が高く、それに応じて繁殖成功率も高くなる。繁殖成功率が高くなるということは、次世代で占める左曲がりの割合が高くなるということである。そうすると、種 C は右曲がりから、多数派となった左曲がりの魚への防御に専念するようになる。したがって左曲がりの採餌成功率は低下し、右曲がりの採餌成功率は上がる。そして、右曲がりの繁殖成功率が上がり、右曲がりの個体の割合が増加して…というように個体の割合が変化していく。このようにして振動が起きている。これを踏まえて選択肢を 1 つひとつ考えていこう。

(1) 種 C は湖にいる種 A および種 B の口の曲がりの割合をみて防御に専念する側を決めているのか、もしくは鱗をはぎ取られた割合によって防御に専念する側を決めるようになるのかはわからない。前者の場合だと子が採餌するまでの時間は関係しない。後者の場合、子が採餌を開始し襲撃を受ける回数に変化が生じてから防御に専念する側が変わっていく。防御に専念する側が採餌成功率に影響を与えるのは明らかであるので、子が採餌を開始するまでの時間が振動周期に影響を及ぼすと考えられる。実際、周期は数年単位なので子が採餌を開始するまでの時間が周期に影響を及ぼしていると考えるのが妥当であろう。この選択肢が正しいかどうかは判断できないが、不適切であるとも判断できない。

(2) 今まで述べてきたとおり、種 A や種 B の個体の割合の変化に種 C の警戒が大きくかかわっているのだから、この記述は適切である。

(3) 種 C は多数派からの襲撃に対する防御を強めている。種 A の個体数が種 B と比べてはるかに多い場合、種 A と種 B をあわせて考えた全体の集団における左曲がり個体の割合と、種 A におけるその割合は同一であると見なせる。したがって、種 A における口が左に曲がった個体の割合に応じて防御のやり方を変えるというこの記述は不適切ではない。

(4) 仮に種 A の多数派が左曲がりであったとする。その場合、種 C は左曲がり個体からの襲撃に対する防御を強めるので、左曲がり個体の採餌成功率は低くなる。種 B にも左曲がり個体と右曲がり個体がいるのだから、種 B の中でも左曲がり個体の採餌成功率は低く、右曲がり個体は高くなる。したがって、種 A における左曲がり個体の割合は種 B の採餌成功率を左右するので、この記述は不適切である。

不適切なものを選ぶ問題なので、解答は(4)である。

(西浦佑香, 後藤暁彦, 神戸朱琉, 大橋陽樹)