

2016 年度 九州大学 前期 生物

〔1〕 EGF 受容体と細胞内シグナル伝達

出題範囲	細胞, 内分泌系, 遺伝子, シグナル伝達, 生体物質
難易度	★★★★☆
所要時間	15 分
傾向と対策	シグナル伝達を中心テーマとした大問である。シグナル伝達自体は高校でしっかりと習わない範囲であるが, 問題文で必要な情報は与えられており, 遺伝子分野の知識があれば解くことができるようになってきている。シグナル伝達は入試生物でよくテーマとなる分野であるので, 似た問題を見たことがあったかもしれない。この大問では知識問題, 考察問題, 計算問題などバランスよく問われていて, 難易度も簡単なものから難しいものまである。また, 問題文の分量や記述の量は割と多く, 15 分という時間では短いと感じる人も多いだろう。そのため, 実力を測るにはよい問題であり, 15 分以内で高得点が取れた人は自信をもってもいいだろう。

解答

問 1. ア : (e) イ : (d) ウ : (c) エ : (c)

問 2. 解答例 1

EGF 受容体からのシグナルにより E の転写調節因子が活性化し, E の発現を促進する。一方, E の発現により生じるタンパク質は L の転写調節因子であり, それによって L の発現が促進される。(88 字)

解答例 2

EGF 受容体からのシグナルによって E の転写調節因子が活性化し E の発現が促進される。一方で, シグナルによって L の発現にかかわる転写調節因子が発現しそれにより L の発現が促進される。(88 字)

問 3. 正常型 : Phe-Gly-Leu-Ala-Lys-Leu-Leu-Gly

変異型 : Phe-Gly-Arg-Ala-Lys-Leu-Leu-Gly

問 4. 変異型 EGF 受容体は, EGF と結合しなくても 2 量体を形成するので, 常に細胞内領域で ATP と結合しているから。(54 字)

問 5. $3.3 \times 10^{-3} \mu\text{g}$

解説

問 1. 難易度 : ★★★★★

問題文の空欄に当てはまる語句を選ぶ問題。アから順に見ていこう。

ア 人体は約 60 兆個の細胞で構成されるといわれている (最近では, 約 37 兆個とする説が有力である)。よって, 解答は(e)。

イ ペプチド性ホルモンは, DNA の転写, 翻訳によりアミノ酸が組み合わさることで作られるホルモンである。ペプチド性ホルモンは親水性であるため, リン脂質二重層である細胞膜を通過できない。したがって, 解答は(d)。

ウ ステロイド性ホルモンは、コレステロールから合成されるホルモンである。具体例としては、糖質コルチコイド、鉱質コルチコイド、アンドロゲン（男性ホルモン）、エストロゲン（女性ホルモン）、プロゲステロン（黄体ホルモン）などが挙げられる。よって、解答は(c)。ちなみに、他の選択肢のドーパミン、アセチルコリン、セロトニンは神経伝達物質であり、アドレナリンはホルモンである。ドーパミンとセロトニンは脳の多くの場所で放出される神経伝達物質で、精神活動に大きく関与している。アセチルコリンはおもに副交感神経や運動神経で放出される。アドレナリンの機能については、Check!!で確認してほしい。

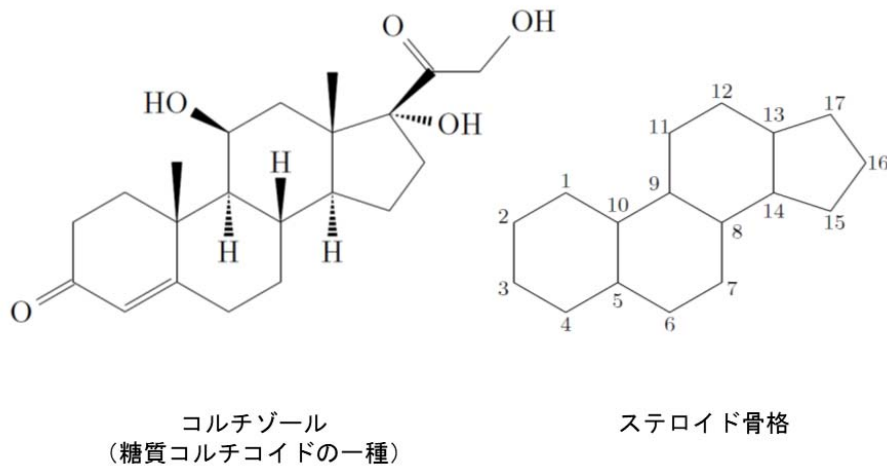


図 A コルチゾールとステロイド骨格

エ ステロイド性ホルモンは、ステロイド骨格という疎水性（脂溶性）の部分にヒドロキシ基（R-OH）やカルボニル基（R=O）といった親水性の官能基が付随した形をしている。そのため、ステロイド性ホルモンは両親媒性であり、疎水性の部分の存在により細胞膜を通過できる。よって、解答は(c)。

よって、解答は、ア：(e) イ：(d) ウ：(c) エ：(c)である。

エは(e)と間違ってしまった人が多いかもしれないが、やや難しいので仕方ないだろう。しかし、ア、イ、ウは確実に正解したい問題である。

◆Check!!

ホルモンまとめ

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を促進→血糖濃度の上昇	
		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* (雄性ホルモン)	・ 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 2. 難易度: ★★★★★

EGF 受容体からのシグナルにより発現する 2 つの遺伝子グループ E, L の発現誘導のしくみの違いを問う問題である。設問文の「転写調節因子の観点から」という言葉に注意して考えよう。

まずは, この 2 つのグループの相違点を確認しよう。1 つ目の相違点は, 発現が誘導されるタイミングである。

E の発現が先に誘導され、遅れて L の発現が誘導される。2 つ目の相違点は、細胞を EGF で刺激する際にタンパク質阻害酵素 C を加えておくという実験の結果である。E の発現は誘導されたのに対し、L の発現は誘導されなかった。

「実験結果に基づいて」と設問文にあるので、注目すべきは 2 つ目の相違点であるとわかる。タンパク質阻害酵素 C が加えられるということは、タンパク質合成が起きないということである。そのため実験の結果から、E の発現は EGF の刺激からタンパク質合成を経ずに誘導されるのに対し、L の発現は EGF の刺激からタンパク質合成を経て誘導されるということがわかる。

ここで、転写調節因子の観点から考え直してみよう。真核細胞において、転写が起こるには基本転写因子というタンパク質がプロモーターに結合し、プロモーターと RNA ポリメラーゼの結合を促進する必要がある。転写調節因子は転写調節領域という標的遺伝子の DNA 配列とは異なる部分の DNA 配列に結合し、転写を促進または抑制する。

実験で E の発現が起こっていることより、E の転写に必要な転写調節因子はもともと細胞内に存在していたとわかる。細胞内にあった転写調節因子が EGF 受容体からのシグナルにより活性化することで、E の発現が促進された。一方、L の発現が起こらなかったことより、L の発現に必要な転写調節因子が細胞内に存在していなかったと考えられる。したがって L の転写調節因子は EGF 受容体からのシグナルにより合成が促進されるタンパク質である。ここで下線部①に注目してみよう。遺伝子発現のパターンが「連鎖的に」誘導されて…という表現の仕方から、L の転写調節因子は E の発現により生じたタンパク質であると考えられる。このように考えれば、発現が誘導されるタイミングに相違が生じるのも納得できる。

以上を字数制限に気をつけながらまとめると、解答は次のようになる。

解答例 1

EGF 受容体からのシグナルにより E の転写調節因子が活性化し、E の発現を促進する。一方、E の発現により生じるタンパク質は L の転写調節因子であり、それによって L の発現が促進される。(88 字)

しかしながら、問題文中に L の転写調節因子が E の発現により生じたタンパク質であるとは書かれていないし、それが確実に正しいと読みとることもできない。したがって厳密なことをいうと、L の転写調節因子は EGF 受容体からのシグナルにより合成が促進されるタンパク質であることしかわからないので、以下の解答例も正解になる。

解答例 2

EGF 受容体からのシグナルによって E の転写調節因子が活性化し E の発現が促進される。一方で、シグナルによって L の発現にかかわる転写調節因子が発現しそれにより L の発現が促進される。(88 字)

問 3. 難易度：★★★★☆

mRNA の配列が与えられているので、左から順に遺伝暗号表を見ながら対応するタンパク質を書いていくだけである。誤って相補的な配列に対応するタンパク質を書いてしまったりしないように気を付けよう。

解答は次。

正常型：Phe-Gly-Leu-Ala-Lys-Leu-Leu-Gly

変異型：Phe-Gly-Arg-Ala-Lys-Leu-Leu-Gly

問 4. 難易度：★★★★☆

変異型 EGF 受容体が常に活性化されてしまう原因を問う問題。「図 1 を参考にして」とあるので図 1 の A と B を見てみると、変異型では EGF が結合していなくても EGF が結合した正常型と同じ状態になっている。すなわち、変異型 EGF 受容体では EGF の結合がなくても EGF の結合の次に引き起こされることが起きてしまう、と予測される。

ここで問題文の内容を確認しよう。問題文の第 3 段落の内容を整理すると、「①EGF 受容体の細胞外領域に EGF が結合→②EGF 受容体が 2 量体を形成→③EGF 受容体の細胞内領域に ATP が結合→④EGF 受容体自身のチロシンキナーゼが活性化→⑤EGF 受容体自身のチロシン残基が特異的にリン酸化→⑥EGF 受容体の活性化→⑦EGF 受容体の細胞内領域と相互作用する分子が活性化⇒シグナル伝達」という流れでシグナル伝達が起こることがわかる。

これを踏まえてもう一度図を見てみると、変異型 EGF 受容体は EGF が結合しなくても 2 量体を形成していることがわかり、これが答えとなる原因である。

したがって、解答は次。

解答例

変異型 EGF 受容体は、EGF と結合しなくても 2 量体を形成するので、常に細胞内領域で ATP と結合しているから。(54 字)

標準的な考察問題であるが、問題文を正確に読み取れたかがカギになるだろう。この問題文のように連続的にいろいろな現象が起こるときは、ただ問題文を読むだけでは二度手間になってしまう可能性が高い。最初に読むときに「EGF 結合→2 量体形成→ATP 結合→チロシンキナーゼ活性化→チロシン残基リン酸化→EGF 受容体活性化→相互作用する分子が活性化」などと簡単にメモを取ったり、問題文に線を引いたりするといいだろう。

問 5. 難易度：★★★★☆

比較的容易な計算問題である。計算問題を苦手とする人がいるかもしれないが、生物で要求される計算は大抵さほど難しくないので、練習をして克服しよう。

分子標的薬 G は 1 分子で変異型 EGF 受容体の 2 量体を不活性化できる。この時、 8×10^7 個の肺がん細胞 H

からなる細胞群（以後、肺がん H）の増殖を完全に阻害するために必要な分子標的薬 G の量を求める。すなわち、肺がん H に存在する EGF 受容体数をアボガドロ数で割って物質量を出し、分子標的薬 G の分子量をかければ答えが求まる。1 つの肺がん細胞 H は 5×10^4 個の変異型 EFG 受容体 2 量体を発現していること、肺がん H は 8×10^7 個の肺がん細胞 H からなることを踏まえれば、答えを求める計算は次のようになる。

$$\frac{5 \times 10^4 \times 8 \times 10^7}{6.0 \times 10^{23} / \text{mol}} \times 500 \text{g/mol} \cong 3.3 \times 10^{-9} \text{g} = \mathbf{3.3 \times 10^{-3} \mu\text{g}}$$

小数点以下第 2 位を四捨五入することや単位を μg にすることに気をつけよう。

（西川尚吾，安藤さくら，西浦佑香）

2016 年度 九州大学 前期 生物

〔2〕 脊索動物の個体発生と胚葉の分化

出題範囲	発生、動物の配偶子形成、減数分裂、バイオテクノロジー
難易度	★★★★☆
所要時間	18 分
傾向と対策	生殖、発生の分野からの出題である。問 1 や問 2 は基本的な知識問題である。問 3 も知識問題であるが、詳細な知識を求められている。問 4 は初期化についての知識を問う問題で、iPS 細胞の名前は知っていても、その作製方法まで知っている人は少なく、難問である。問 5 はやさしめの実験考察であるのに対し、問 6 は字数制限がやや難しい記述であった。他の大問や過去の問題と比較しても難易度は高く、時間がかかるだろう。このような大問で高得点を取るには資料集などで詳しい知識をインプットするだけでなく、問題演習を通して実験考察や論述の訓練をする必要がある。

解答

問 1. 〔ア〕卵割 〔イ〕等黄 〔ウ〕端黄 〔エ〕原口 〔オ〕原腸胚

問 2. (d)

問 3. (a), (c), (d)

問 4. 4 つの初期化遺伝子を別々のウイルスに導入し、ベクターをつくる。このウイルスベクターを加えて細胞を培養し、初期化遺伝子を導入することで、iPS 細胞を作製する。(78 字)

問 5. 〔ク〕外胚葉 〔ケ〕中胚葉

問 6. 灰色の部位は白色の部位の中胚葉への分化を誘導する。タンパク質 N は、灰色の部位が分泌する誘導物質、あるいは白色の部位の受容体に作用して、誘導を阻害するから。(77 字)

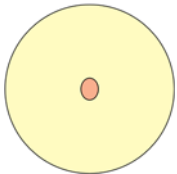
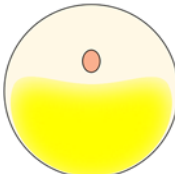
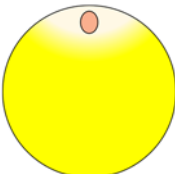
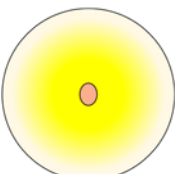
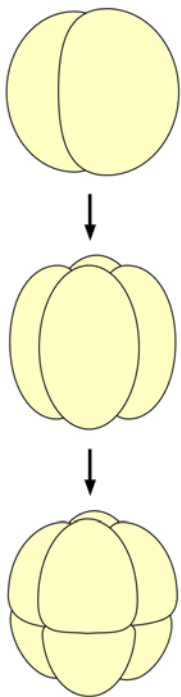
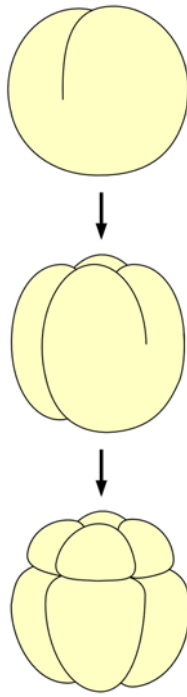
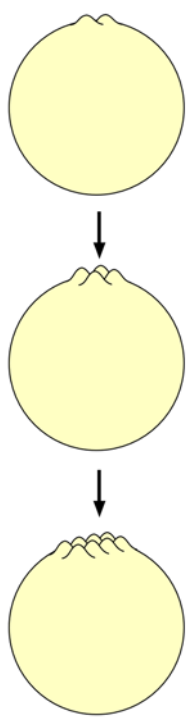
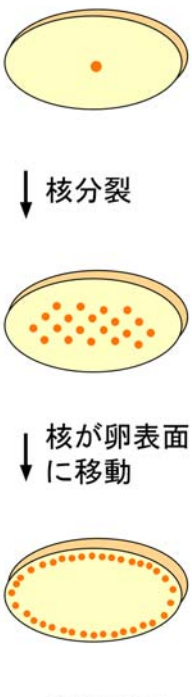
解説

問 1. 難易度：★★★★☆

発生の概略と卵の分類に関する知識問題である。まずは卵黄の分布による卵の分類とそれぞれの卵の発生過程の概略を確認しよう。

受精卵は細胞分裂や細胞の移動、分化などを経て成体となる。この過程を発生とよび、発生途中の個体を胚とよぶ。多くの動物の発生初期の胚では、短い間隔で細胞の成長を伴わない細胞分裂を行う。これを卵割とよび、卵割によって生じた細胞を割球とよぶ。卵に含まれる卵黄の量と分布によって、卵割の様式は異なる。どのように異なるかは、表 A で確認しよう。

表 A 動物の卵の分類と卵割

卵の種類	等黄卵	端黄卵		心黄卵
卵黄の量と分布	 卵黄は少なく 全体に一樣に分布	 卵黄は多く 植物極側に偏って分布	 卵黄は極めて多く 極端に偏って分布	 卵黄は多く 中心部に偏って分布
卵割の様式	全割		部分割	
	(第三卵割が) 等割	(第三卵割が) 不等割	盤割	表割
卵割の様子	 胞胚腔 胞胚期	 胞胚腔 胞胚期	 胞胚腔 胚盤 胞胚期	 核分裂 核が卵表面に移動 卵表面で細胞質分裂 胞胚期
動物の例	・ 棘皮動物 ・ 原索動物 ・ 哺乳類	・ 軟体動物 ・ 環形動物 ・ 両生類	・ 鳥類 ・ は虫類 ・ 魚類	・ 昆虫類 ・ 甲殻類 ・ クモ類

したがって、【ア】卵割、【イ】等黄、【ウ】端黄である。

次にカエルの胞胚期以降の発生をみていこう。カエルの発生では、胞胚期から発生が進むと、表面の一部が陥入し内部に胞胚腔とは別の空所が形成される。この空所は**原腸**とよばれ、胚表面の原腸の入り口は**原口**とよばれる。この時期の胚を**原腸胚**という。

したがって、【エ】原口、【オ】原腸胚である。

問 2. 難易度：★★★★☆

中胚葉、内胚葉から分化する器官や組織の組み合わせとして正しいものを選ぶ問題である。まずは、各胚葉から分化する器官や組織について確認しよう。

図 A は脊椎動物の神経胚後期の胚の断面図である。外胚葉組織としては**表皮**と**神経管**がある。表皮と神経管の間からは**神経冠細胞（神経堤細胞）**とよばれる細胞群が生じ、さまざまな場所に移動して、色素細胞や末梢神経などに分化する。中胚葉組織には**脊索**、**体節**、**腎節**、**側板**が存在する。脊索は形態形成において中心的な役割を果たした後に退化する。側板の中には**体腔**という空所がある。内胚葉から形成された腸管は、呼吸器官や消化管などになる。詳細については図 A で確認してほしい。

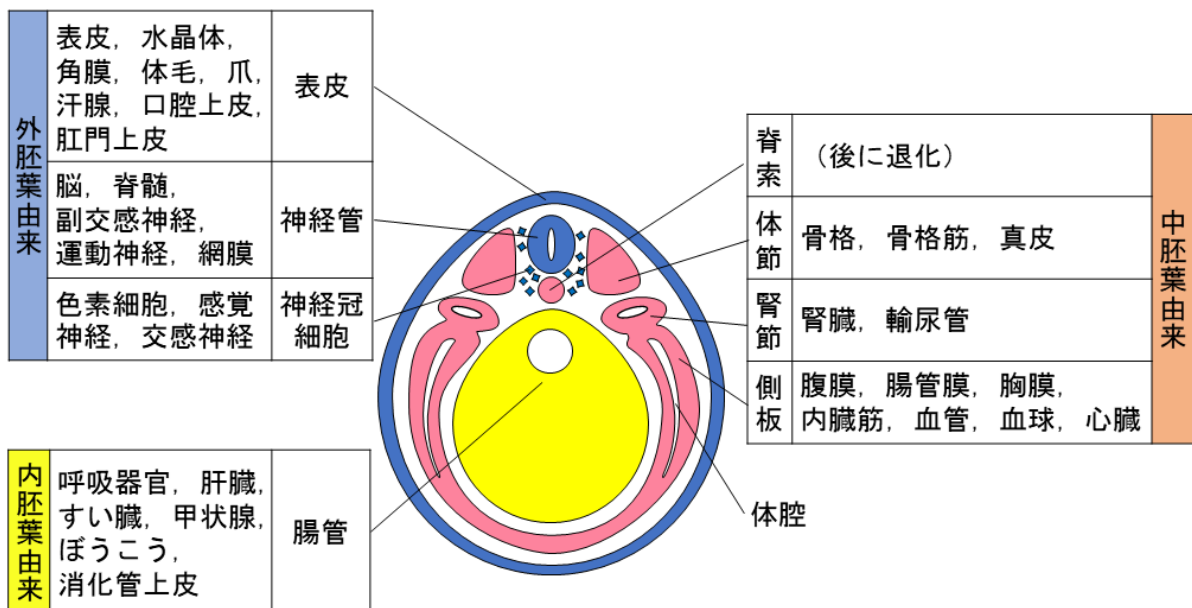


図 A 脊椎動物における各胚葉から器官・組織の分化

図 A より、解答は(d)である。

問 3. 難易度：★★★★☆

ヒトの減数分裂、配偶子形成に関する問題である。まずは、減数分裂と動物の配偶子形成について説明する。

【減数分裂】

減数分裂とは、配偶子を形成する過程で、染色体数を半減させる特別な細胞分裂のことである。減数分裂前の間期に染色体が複製され、それぞれの相同染色体で姉妹染色分体が密着し並んだ状態になる。減数分裂の第一分裂の前期になると相同染色体どうしが密着する。このことを**対合**という。対合によって形成される染色分体 4 本からなる染色体を**二価染色体**とよぶ。第一分裂の後期に二価染色体は対合面でそれぞれの相同染色体に分離する。第二分裂では姉妹染色分体が分離し、4 つの娘細胞に染色体が分配される。

ここでは簡単のために乗換えや組換えを考えていないが、実際には生物の多様性を考える上でとても重要であるので確認しておこう。**乗換え**とは、二価染色体において相同染色体間で染色体の一部が交換されることである。染色体の乗換えにより、遺伝子の組み合わせが変化する**組換え**が起こる。これによって、配偶子に分配される遺伝子の組み合わせは相同染色体の組み合わせの数よりも遥かに多様になる。

ちなみに、染色体とは DNA とタンパク質からなる構造のことであり、DNA 複製後の 1 つの染色体には 2 本の 2 本鎖 DNA が含まれており、このとき 1 本の 2 本鎖 DNA とタンパク質からなる構造を染色分体とよぶ。すなわち、染色分体は染色体を構成する構造であり、2 つの染色分体からなる染色体が分離してしまえば、それぞれを単に染色体とよぶ。

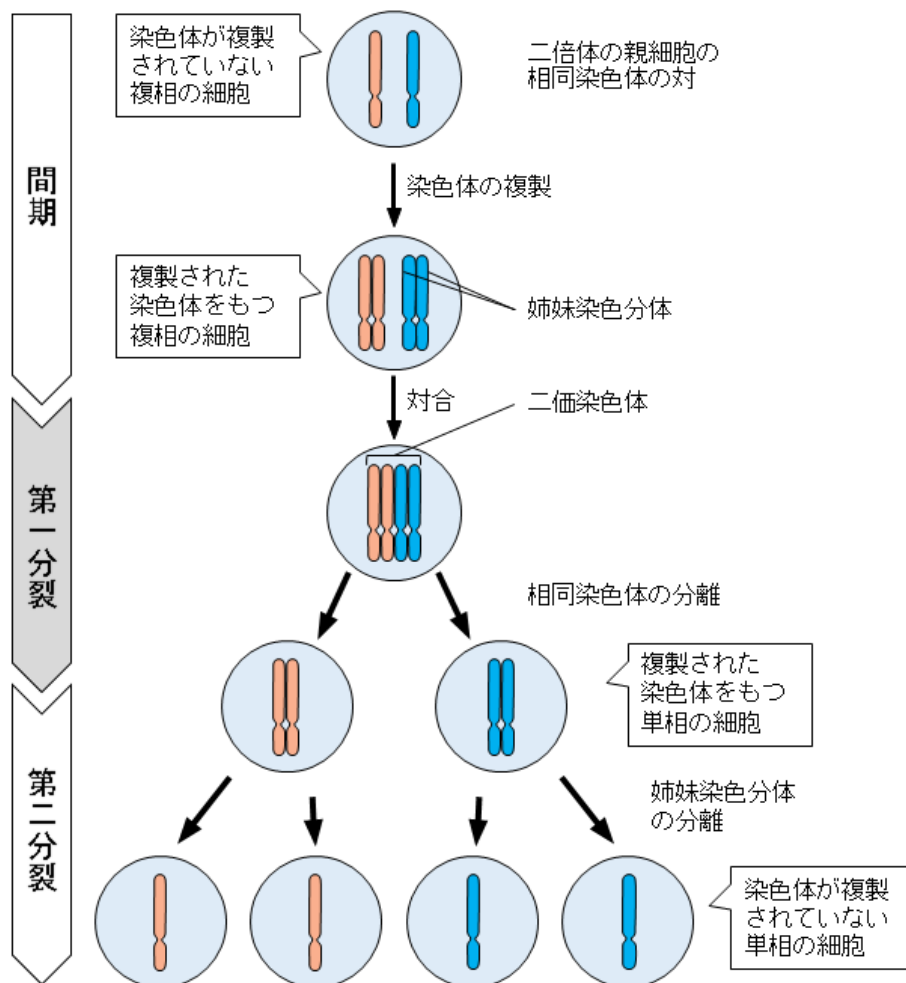


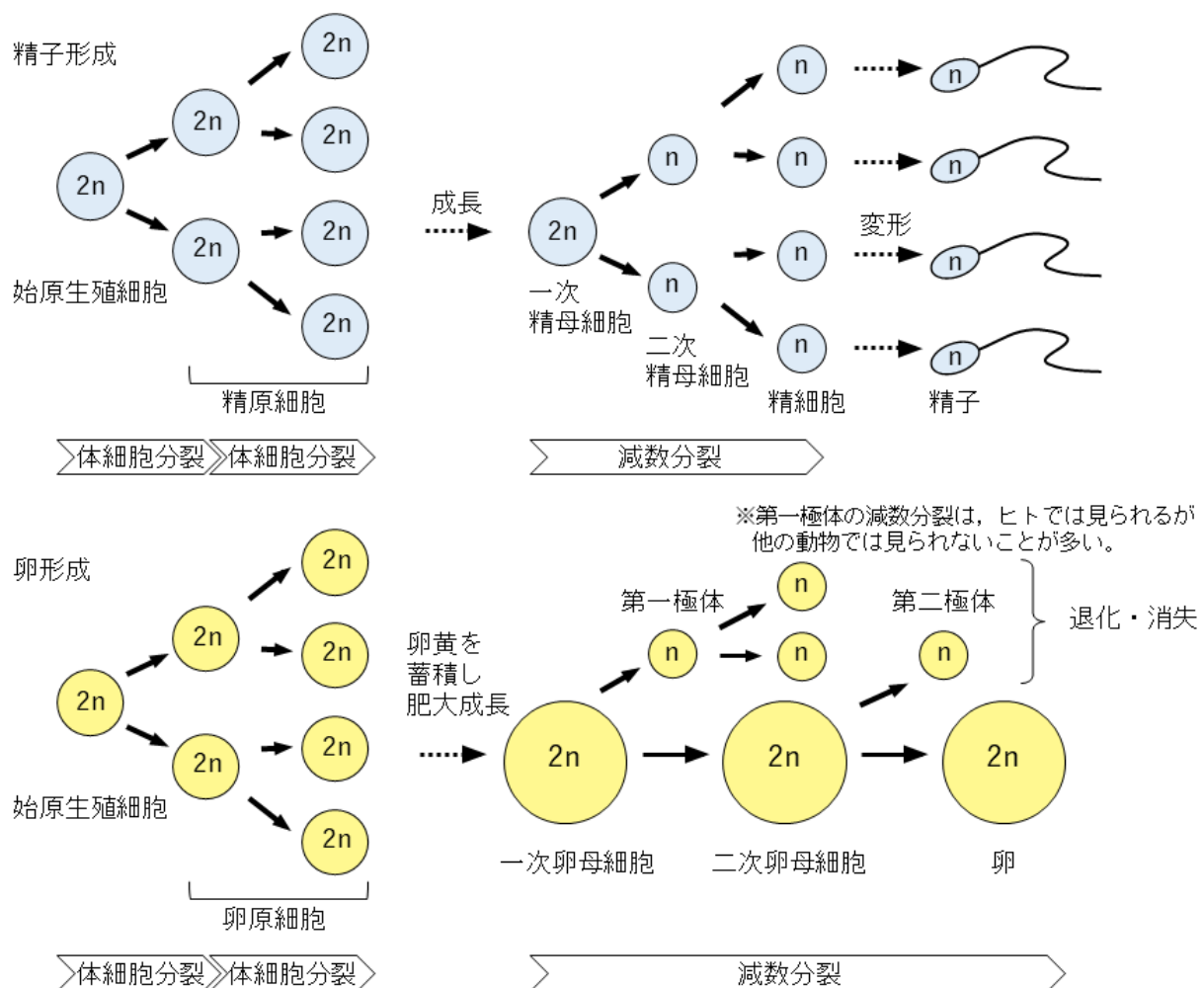
図 B 減数分裂の概略

【動物の配偶子形成】

始原生殖細胞は精子や卵のおおもととなる細胞で、発生の初期に出現し、未分化な生殖巣（生殖巣原基）へと移動し、その後**精原細胞**や**卵原細胞**となる。

精原細胞・卵原細胞は精巣内・卵巣内で体細胞分裂を繰り返し、増殖する。そのうちの一部が成長し、**一次精母細胞**・**一次卵母細胞**となる。一次精母細胞は減数分裂の第一分裂によって2つの**二次精母細胞**となり、第二分裂により4つの**精細胞**となる。その後精細胞は変形し、精子となる。したがって、1つの一次精母細胞から4つの精子が形成される。

一方、一次卵母細胞は減数分裂の第一分裂によって1つの**二次卵母細胞**と1つの**第一極体**となり、二次卵母細胞の第二分裂により1つの**卵**と1つの**第二極体**となる。卵形成における減数分裂は不等分裂であり、一方の細胞は非常に小さい。この小さな細胞は極体とよばれ、卵にはならず、やがて消失する。これによって卵は卵母細胞の細胞質の大部分を受け継ぐことができる。したがって、1つの一次卵母細胞から1つの卵が形成される。ちなみに、第一極体が第二分裂するかは動物の種類によって異なっており、ヒトでは分裂するが、ほかの多くの動物では分裂しない。



以上を踏まえて、選択肢を見ていこう。

- (a) 正しい。卵形成時の減数分裂で生じる極体は二次卵母細胞や卵に比べ極端に小さい。
- (b) 誤り。染色体の乗換えによって起こる遺伝子の組換えにより、配偶子のもつ遺伝子の組み合わせは相同染色体の分離の組み合わせの数 2^{23} よりも多様になる。
- (c) 正しい。DNA の複製は第一分裂前の間期に起こり、第一分裂と第二分裂の間には起こらない。
- (d) 正しい。
- (e) 誤り。ヒトの性決定様式は XY 型である。すなわち、男性は X 染色体と Y 染色体を 1 本ずつもっているのに対し、女性は X 染色体を 2 本もつ。そのため、精子には X 染色体をもつものと Y 染色体をもつものが存在し、前者が受精すると女性、後者が受精すると男性が生じる。この X 染色体と Y 染色体では、染色体の大きさも染色体上に存在する遺伝子も異なっている。ちなみに、X 染色体は約 1 億 6300 万塩基対からなり、Y 染色体は 5100 万塩基対からなる。したがって、精子の DNA 量は X 染色体と Y 染色体のどちらを受け継いだかによって異なる。

以上より、解答は(a), (c), (d)である。しっかりとした知識をもっていなくては正解できない問題である。特に(e)は試験などでは引っかけやすい選択肢であるので、注意が必要である。

問 4. 難易度：★★★★★

分化した細胞に再びさまざまな胚葉に分化する能力をもたせる方法を 1 つ挙げる問題であるが、さまざまな胚葉に分化する能力のことを**多能性**といい、分化した細胞に多能性をもたせることを**初期化**（リプログラミング）という。初期化された細胞として有名なものには **iPS 細胞**（人工多能性幹細胞）がある。そのため、この問題では iPS 細胞の作製方法を答えればよい。

iPS 細胞は次のように作製される。まず、初期化に必要な 4 つの遺伝子をそれぞれ別々のレトロウイルスに導入する。このウイルスベクターを培養液に加えて細胞を培養すると、それらの遺伝子が体細胞に導入される。これによって、体細胞は初期化され、多能性をもつ iPS 細胞になる。この説明だけではよく理解できない人も多いと思うので、以下でポイントごとに説明する。

【4 つの初期化遺伝子】

iPS 細胞が誕生する以前から、ES 細胞と体細胞を融合させることで初期化が起こることが知られていた。そのため、初期化に必要な遺伝子（初期化遺伝子）は ES 細胞で特異的に発現していると考えられた。山中伸弥教授らは ES 細胞に特異的に発現する遺伝子を調べ 24 個に絞り込んだ。その後、24 個の遺伝子のうち 1 つ以外を繊維芽細胞に導入し、初期化の有無を調べていった。これにより 4 つの初期化遺伝子が同定された。これらは山中ファクターとよばれている。

【レトロウイルスについて】

レトロウイルスとは、1 本鎖 RNA を遺伝物質としてもつウイルスである。レトロウイルスは**逆転写酵素**という酵素をもち、RNA を鋳型として DNA を合成する（**逆転写**）ことができる。逆転写によって生じたウイルス

DNA は宿主の染色体に組み込まれる。この DNA が転写されることによって、ウイルスのゲノムとなり、さらに翻訳されてウイルスを構成するタンパク質となることで、新たなレトロウイルスが生じる。

【ベクターの種類とウイルスベクター】

遺伝子組換えにおいて、目的の遺伝子を特定の細胞に運ぶ役割を担うものを**ベクター**とよぶ。ベクターとしてよく使われるのは、細菌のもつプラスミドやウイルスなどである。レトロウイルスもベクターとして用いられるが、これはレトロウイルスの逆転写とそれを宿主の DNA に組み込む性質による。

それぞれのベクターには特徴があり、目的に応じて使い分けられる。プラスミドは細菌などに遺伝子を運び込むときに使われることが多い。一方、レトロウイルスを用いるウイルスベクターは遺伝子治療などで多用される。

以上より、解答は次のようになる。

解答例

4 つの初期化遺伝子を別々のウイルスに導入し、ベクターをつくる。このウイルスベクターを加えて細胞を培養し、初期化遺伝子を導入することで、iPS 細胞を作製する。(78 字)

ちなみに、分化した細胞の核を除核した未受精卵に移植することでも核を初期化することができる。これによって生じた細胞を発生させると、クローン個体が生じる。この方法は設問文の「細胞に再び様々な胚葉に分化する能力をもたせる」という部分のニュアンスに反するような印象を受けたので、模範解答とはしない。ただ、初期化がヒストンのアセチル化や DNA のメチル化などのエピジェネティック（後生的）な修飾を消去、再構成することであることを考えれば、核移植による初期化も正解となるだろう。

同種のカエルの未受精卵の核に紫外線を照射して破壊する。その除核された未受精卵に、再びさまざまな胚葉に分化させたい細胞の核を移植する。(66 字)

◆Check!!

ES 細胞

人工的に作製される多能性をもつ幹細胞には、上述の iPS 細胞の他に **ES 細胞**（胚性幹細胞）がある。ここでは、ES 細胞の作製方法と再生医療への応用について確認しよう。

【ES 細胞の作製】

ヒトにおいて、受精卵は卵割を繰り返し受精から約 5 日後には胞胚に相当する**胚盤胞**となる。胚盤胞は外側の栄養外胚葉と内側の**内部細胞塊**からなる。胚盤胞が形成されて数日後に胚が着床すると、栄養外胚葉は胎盤に、内部細胞塊は胎児となる。

この内部細胞塊の細胞を取り出して培養することで、多分化能と分裂能をもつ細胞を選別した ES 細胞となる。

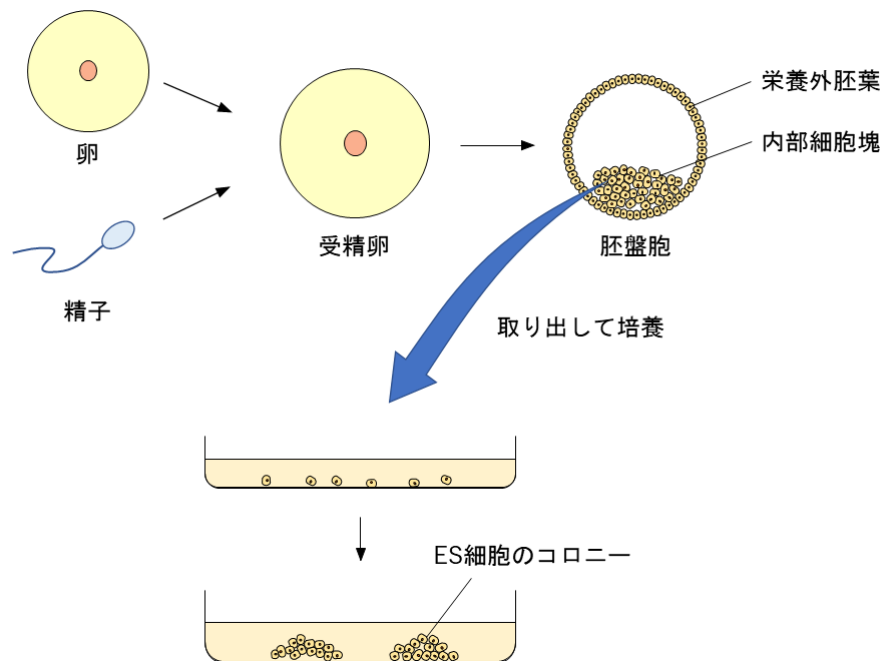


図 D ヒト ES 細胞の作製

【再生医療への応用】

ES 細胞や iPS 細胞、組織幹細胞をはじめとする幹細胞は再生医療への期待されており、研究が進められている。しかし、そこにはいくつかの問題点も存在する。

まずは拒絶反応の問題である。ES 細胞は他者の細胞であるため、ES 細胞から作った臓器などを患者に移植した場合、通常の臓器移植と同様に拒絶反応が起きてしまう。

ほかにはヒトの胚を用いることに対する倫理的問題である。ES 細胞の作製方法を見てわかるとおり、ヒトの ES 細胞を作るためにはヒトの胚を破壊する必要がある。これに対して倫理的問題を抱く人は少なくない。

この 2 つの問題を体細胞から作られる iPS 細胞は解決している。しかし、まだ研究の歴史が浅くいため初期化のしくみなどは解明されておらず、がん化の危険性が高いという課題を抱えている。

問 5. 難易度：★★★★☆

実験 1～3 の結果から、実験 4 の結果を予想する問題。実験 4 では、胞胚の A を含む一部を切り取り単独で培養し、B を含む一部を切り取って灰色の部位と接合し培養している。

実験 1 より、何も処理しない胚では A に位置する細胞は中胚葉に、B に位置する細胞は外胚葉に分化することがわかる。実験 1 と 2 より、胞胚の段階では中胚葉と外胚葉への分化はまだ決定されていないといえる。また、実験 3 において、A に位置する細胞も B に位置する細胞も外胚葉に分化しているので、中胚葉への分化は灰色の部位によって誘導されるとわかる。そのため実験 1, 2 では、灰色の部位に近い位置にあった細胞は中胚

葉へ分化し、遠い位置にあった細胞は外胚葉へ分化した。

以上を踏まえれば、実験 4 において、灰色の部位とは接着せずに培養されている A の部位の細胞は外胚葉に、灰色の部位と接着して培養されている B の部位の細胞は中胚葉に分化すると予想できる。

したがって、解答は、【ク】外胚葉、【ケ】中胚葉である。

問 6. 難易度：★★★★☆

実験 5 では、実験 1 と実験 4 の培養液にタンパク質 N を加えている。実験 1 では中胚葉の分化を阻害したのに対し、実験 4 では外胚葉の分化は阻害しなかった。このことから、タンパク質 N は中胚葉の分化を阻害すると考えられる。

問 5 の解説で述べたように、灰色の部位が中胚葉の分化を誘導することを踏まえると、タンパク質 N がこの誘導を阻害すると思いつくだろう。

また別の可能性として、タンパク質 N が中胚葉以外の組織への分化を促進するのではないかと考えることもできる。しかし、胞胚の段階では中胚葉、外胚葉への分化は決定されていない（実験 2）ため、実験 5 で実験 4 において外胚葉の分化が阻害されなかったのはおかしい。タンパク質 N が外胚葉への分化を促進すると考えても、実験 3 で誘導を受けない場合に外胚葉に分化しているため、外胚葉への誘導の作用が存在するとは考えにくい。したがって、この可能性は排除できる。（そもそも可能性は低いので、考えなくていい。）

「タンパク質 N は、灰色の部位が白色の部位を中胚葉に誘導する作用を阻害する」という内容を答えればよいのだが、これでは 80 字の字数制限に対して短すぎる。そのため、「灰色の部位が分泌する誘導物質、あるいは白色の部位の受容体に作用する」などの内容を加えるのがよいだろう。したがって、解答例は次。

解答例

灰色の部位は白色の部位の中胚葉への分化を誘導する。タンパク質 N は、灰色の部位が分泌する誘導物質、あるいは白色の部位の受容体に作用して、誘導を阻害するから。(77 字)

発想は普通の問題であるが、論述がやや難しい問題である。特に字数が短くなってしまうのは仕方ない。試験本番などでは、どうしても字数制限に適した解答が思いつかないのなら、短い解答でもとりあえず書いてしまっ、時間をかけ過ぎないほうがよいだろう。あとで時間が余ったら考え直すのがよい。

(西川尚吾, 西浦佑香, 安藤さくら)

2016 年度 九州大学 前期 生物

〔3〕 活動電位の発生機序と神経繊維束における伝導

出題範囲	ニューロン
難易度	★★★★☆
所要時間	13 分
傾向と対策	神経系をテーマとした問題である。神経系を含む動物の反応の分野は九州大では 2, 3 年に 1 度は必ず出題されており, しっかりと対策をする必要がある。とはいえ, 求められている知識は教科書レベルであり, ほかはすべて実験から考察する問題である。記述問題は 1 題のみであるが, なかなか手ごわい問題であるので手が出なかった人もいるかもしれない。また, 問 3 などは問題文をしっかりと読まなければ解けない問題であり, 基礎的な知識や科学的に考察する力だけでなく, 問題文を注意深く読む力も問われている。時間にはある程度余裕がある分, 考察に時間を割くことができるので, しっかりと解き切りたい大問である。

解答

- 問 1. 〔ア〕ナトリウム 〔イ〕カリウム 〔ウ〕ATP 〔エ〕静止電位 〔オ〕活動電位
- 問 2. 20m/秒
- 問 3. 〔カ〕(は) 〔キ〕(い) 〔ク〕(い)
- 問 4. (a)
- 問 5. 神経繊維束では, 数多くのニューロンが複雑な回路を形成しており, それぞれの経路で興奮の伝わる速度が異なるから。(54 字)

解説

問 1. 難易度: ★★★★★

ニューロンの膜電位についての知識問題である。まずは, 膜電位についての知識を整理しよう。

神経は情報伝達の役割を担っている。この神経を構成するのはニューロンという細胞で, 細胞膜を挟んだ電位差(膜電位)の変化という形で情報を伝える。この膜電位の変化を活動電位とよぶ。活動電位には 4 つの膜タンパク質がかかわっており, これらについて注意しながらニューロン内を活動電位が伝導する過程をみていこう。

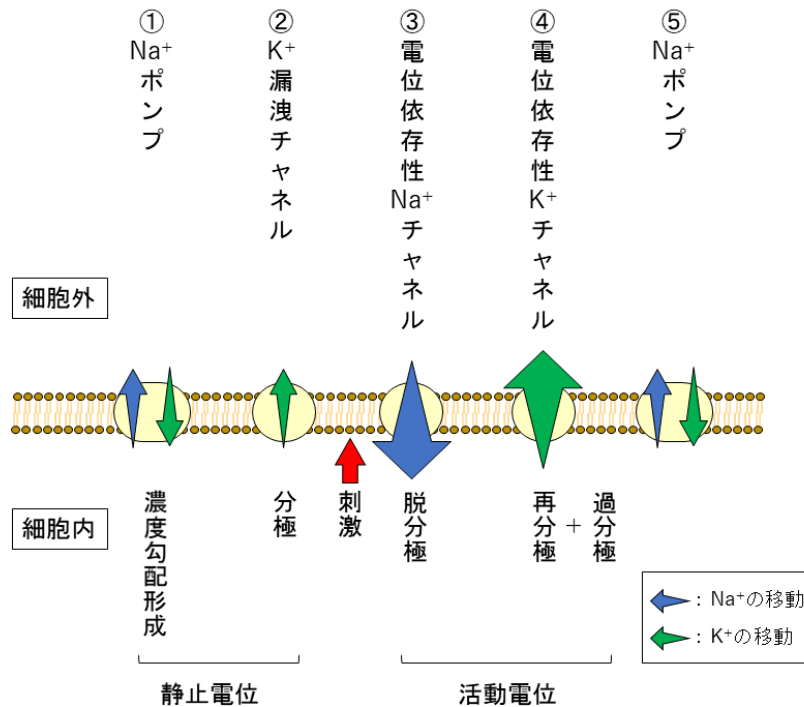


図 A 膜電位にかかわるタンパク質

ニューロンに刺激などが加えられる前の静止状態では、 Na^+ ポンプ（ナトリウムポンプ）と K^+ 漏洩チャネルという 2 つの膜タンパク質がはたらいている。 Na^+ ポンプは細胞内の Na^+ を細胞外へ、細胞外の K^+ を細胞内へ能動輸送している。これによって細胞内外の Na^+ と K^+ の濃度勾配が形成される。また、 K^+ 漏洩チャネルは K^+ の受動輸送を行っており、静止状態では Na^+ ポンプによって形成された K^+ の濃度勾配を打ち消す方向（細胞内から細胞外）に K^+ を受動輸送している。これによって、 Na^+ の濃度勾配のほうが K^+ の濃度勾配よりも大きくなって、細胞外のほうが細胞内よりも陽イオンが多くなる。そのため、細胞外の電位を基準としたときの細胞内の電位である膜電位は負となる。したがって静止状態では膜電位は負となり、これを**静止電位**とよぶ。また、静止電位が生じることを**分極**とよぶ。通常、ニューロンでは -60mV 程度の膜電位が生じている。

次に刺激が与えられた場合を考える。この時の刺激とは膜電位を変化させるような刺激のことである。その刺激が膜電位を上昇させ、その上昇した膜電位が閾値を超えたときに、電位依存性 Na^+ チャネルが開く。この時、電位依存性 Na^+ チャネルは Na^+ を受動輸送するため、細胞外の Na^+ が一気に細胞内に流入し、膜電位が急上昇する。これを**脱分極**という。通常、膜電位は脱分極により 40mV 程度まで上昇する。ある程度まで膜電位が上昇すると、電位依存性 Na^+ チャネルは閉じ、電位依存性 K^+ チャネルが開く。電位依存性 K^+ チャネルは K^+ を受動輸送するので、細胞内の K^+ が細胞外に一気に流出する。それにより、再び膜電位は静止電位付近まで急低下する。これを**再分極**という。静止電位付近まで低下しても電位依存性 K^+ チャネルは閉じず、静止電位よりも膜電位が低下する。これを**過分極**という。過分極したところで、ようやく電位依存性 K^+ チャネルが閉じ、 Na^+ ポンプと K^+ 漏洩チャネルにより静止電位に戻る。この一連の膜電位の変化を**活動電位**とよぶ。この活動電位は周りの電位依存性 Na^+ チャネルの刺激となるので、興奮が次々と伝わっていく。ちなみに、電位依存性 Na^+ チャネルは脱

分極の後に閉じると、一時的に不活性化される。これによって興奮が逆方向に伝わるのを防いでいる。この電位依存性 Na^+ チャンネルが不活性化されている時間を **不応期** とよぶ。

以上を踏まえて問題を見ると、解答は【ア】ナトリウム、【イ】カリウム、【ウ】ATP、【エ】静止電位、【オ】活動電位であるとわかるだろう。ひょっとすると、【オ】に興奮と書いた人がいるかもしれない。興奮とは、「感覚細胞や神経細胞などが電氣的に変化している状態」、すなわち今の神経細胞の例でいえば、「刺激によって膜電位が上昇し、細胞内外の電位が逆転している状態」である。そのため、一連の膜電位の変化を興奮とよぶのは不適当である。ちなみに、問2の問題文中に「興奮」とあることから、ここの解答が「興奮」ではないということはわかるはずである。

問2. 難易度：★★★★☆

神経の伝導速度を求める定番の計算問題。この問題自体はとても容易であるが、実験1の文中には引っかけやすいポイントがあり、ここを正しく読み取らなければ問3や問4で間違ってしまうかねない。それぞれの解説でも言及するが、問2の解説でも少し出てくるのでここで先に解説をする。

1つ目の注意すべきポイントは、オシロスコープには基準となる電極と、基準となる電極との電位差の変化を観測する電極が存在する点である。こちらはそれほど引っかけやすくないので、戸惑わなかった人が多いだろう。2つ目は、電極は神経の表面にあるということである。すなわち、オシロスコープでは神経の細胞外の電位の差を観測しているということである。それだけでなく、刺激装置もこの電極に刺激を与えるため、与える刺激の正負の反対の方向に膜電位が変化する。そのため、刺激装置のプラス極は過分極を、マイナス極は脱分極を引き起こすので、実際に興奮をもたらす刺激を与えるのは刺激装置のマイナス極のみである。このことを踏まえて、まずはこの問題を片付けよう。

刺激装置で刺激を与えてからオシロスコープの記録電極に刺激が届くまでには、①刺激を与えてから興奮が発生するまでの時間、②興奮が伝導する時間、③電極に刺激が届いてからオシロスコープが反応するまでの時間の3つの時間がかかる。③はほぼ無視できると考えられるが、無視してもしなくても変わらないので、①+③を y と置き、求める興奮伝導速度を x とおく。ここで、刺激装置のマイナス極は電極Bに取り付けられ、オシロスコープの電極はCとD、あるいはDとEに取り付けられている。オシロスコープのどちらか一方の電極まで興奮が伝わった時点で電位の変化がみられるので、それぞれの場合についてBC間、BD間を興奮が伝わった時間が設問で与えられていると考えてよい。以上のことより、以下の2つの等式が成り立つ。

$$\frac{20\text{mm}}{x} + y = 1.6 \text{ ミリ秒} \cdots \text{○}$$

$$\frac{40\text{mm}}{x} + y = 2.6 \text{ ミリ秒} \cdots \text{◎}$$

◎ー○とし計算すれば、 $x = 20\text{m/秒}$ とわかる。単位の変換には注意しよう。

今回は興奮が発生するまでの時間を考慮して計算したが、慣れてくれば「CD間(20mm)を興奮が伝わるの

に 2.6 ミリ秒－1.6 ミリ秒＝1.0 ミリ秒かかる」と考えて、

$$\frac{20\text{mm}}{2.6 \text{ ミリ秒} - 1.6 \text{ ミリ秒}} = 20\text{m/秒}$$

と簡単に求めることもできる。

問 3. 難易度：★★★★☆

問 2 の解説にもあるとおり、刺激装置の実際に興奮を発生させるのはマイナス極である。そのため、実験 2 で興奮が起こるのは電極 A の位置である。実験 1 では電極 B の位置で興奮が発生するため、実験 2 は実験 1 に比べオシロスコープの記録電極からの距離が遠くなっている。よって、電極 C の電位変化が現れはじめるまでの時間は長くなる。

また、活動電位の大きさは常に一定である。これは、**全か無かの法則**によるものである。全か無かの法則とは、「閾値以上の刺激には一定の大きさの反応を示し、閾値未満の刺激には全く反応しない」という法則であり、ニューロン（神経細胞）や筋繊維（筋細胞）で成り立つ。したがって、電位の変化量は同じである。ちなみに、刺激の強さは、細胞レベルでは反応の頻度、組織レベルでは反応している細胞の数に変換される。

問 2 の解説で述べたように、刺激装置のプラス極は過分極、マイナス極は脱分極をもたらす。したがって、電極 A に接する部分では脱分極、電極 B に接する部分では過分極が起こる。

以上より、解答は、〔力〕(は)、〔キ〕(い)、〔ク〕(い)である。

問 4. 難易度：★★★★☆

興奮が発生するとその場所から軸索の両方向に向かって興奮が伝わっていく。そのため、マイナス極が取り付けられた電極 E の位置から興奮が発生すると、まず電極 D に興奮が伝わり、その後電極 C に伝わる。問 2 で説明したとおり、電極は神経の外側に接しているので、興奮が発生すると電極の電位は低下する。オシロスコープの基準電極が取り付けられている電極 D の電位が下がり、測定する電極の電位は変化していないので、相対的に電位は上昇する。次に、電極 D の位置は静止電位に戻り、電極 C の位置で興奮が発生する。したがって、外側に接している電極 D の電位は低下し、測定する電位も低下する。

以上より、先に電位の上昇が起き、次に電位の低下が起きている図を選べばよいので、解答は(a)である。

問 5. 難易度：★★★★☆

実験 4 では、刺激電極とオシロスコープを一定以上遠ざけると複数の波形が観測されることがわかった。この問いではその理由が問われている。

まずは、複数の波形のピークが観察されるとはどういうことか考えよう。もちろん刺激装置からは実験 1 と同じ強度の刺激を 1 回のみ与えている。それにもかかわらず複数の波形がオシロスコープに現れたということは、神経繊維束を通る間に複数の波形に分かれたということである。

神経繊維束は無数のニューロンが集まったものである。ニューロンの長さはせいぜい数 mm～1cm 程度が一般的である（ヒトの脊髄中には数十 cm の長さのものもある）。そのため、神経繊維束では数多くのニューロンが束になっているだけでなく、複雑にシナプスで連絡し数多くの経路を有している。それぞれの経路によってシナプスの数が異なって、興奮の伝わる速度が異なることにより、複数の波形のピークが観察されるのだと考えられる。

したがって、神経繊維束がたくさんのニューロンからなること、複雑な回路が形成されさまざまな経路が存在すること、それぞれの経路で興奮の伝わる速度が異なること、を示せばよいだろう。字数制限が割と厳しいので手間取ってしまうかもしれないが、ポイントをうまくまとめて書きたいところである。解答例は次。

解答例

神経繊維束では、数多くのニューロンが複雑な回路を形成しており、それぞれの経路で興奮の伝わる速度が異なるから。(54 字)

◆Check!!

ニューロンと神経

神経の基本単位はニューロンである。ニューロンは図 B のように、核のある細胞体とそこから伸びた突起からなる。長く伸びた突起は軸索、短い突起を樹状突起という。軸索は神経鞘という膜によって覆われており、軸索と神経鞘をあわせて神経繊維とよび、この神経繊維が多く集まって束になったものを神経という。

神経鞘はおもにシュワン細胞からできており、神経鞘が何重にもなったものを髄鞘とよぶ。この髄鞘がある神経繊維は有髄神経繊維、ない神経は無髄神経繊維という。髄鞘はところどころ切れており、その切れ目をランビエ絞輪という。脊椎動物では多くの神経が有髄神経繊維となっているが、無脊椎動物の神経は無髄神経繊維からなる。

髄鞘は絶縁体であるため、有髄神経繊維では興奮がランビエ絞輪をとびとびに伝導する。これは跳躍伝導とよばれ、これにより有髄神経繊維の伝導速度は無髄神経繊維の伝導速度よりもはるかに大きくなっている。

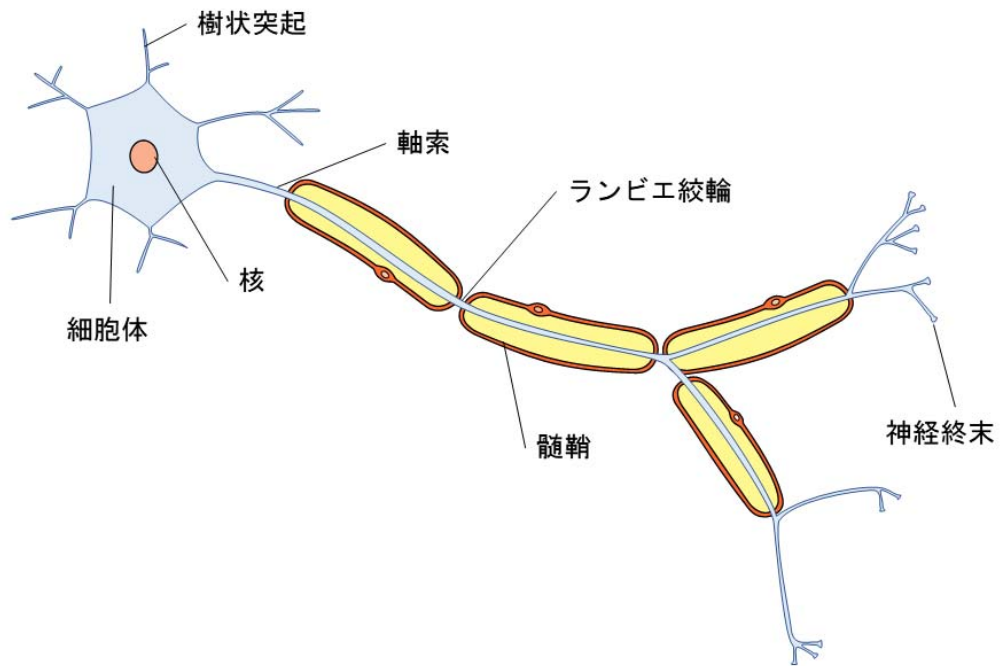


図 B 有髄神経繊維の構造

(西川尚吾, 安藤さくら, 神戸朱琉)

2016 年度 九州大学 前期 生物

〔4〕 種子の休眠と発芽，シロイヌナズナにおける花芽形成と ABC モデル

出題範囲	植物の発生，花芽形成，動物の形態形成，植物の形態形成
難易度	★★★★☆
所要時間	14 分
傾向と対策	植物生理をテーマとした問題である。植物に関する問題は，九州大学ではほぼ毎年出題されている。植物の分野は苦手，あるいは好きではないという受験生も多いかもしれないが，大学入試を突破するには必要なのでしっかりと対策をしよう。この大問は問 1 や問 4 のような知識問題，問 2 や問 3 のような考察問題，問 5 のような記述問題とバランスよく出題されている。時間はやや足りないと感じるかもしれないが，問 5 の記述問題をいかにスムーズに解けたかがカギとなるだろう。難易度は標準的で，高得点を取りたいところである。

解答

問 1. 〔ア〕 アブシシン酸 〔イ〕 ジベレリン 〔ウ〕 糊粉層 〔エ〕 *FT* 〔オ〕 ホメオティック

問 2. (e)

問 3. 現象：春化 記号：(c)

理由：休眠状態のときでなく発芽後に一定期間低温にさらすことで花芽形成が行われるため。(39 字)

問 4. (c), (d), (f)

問 5. 突然変異体：C クラス遺伝子

理由：A クラス遺伝子と C クラス遺伝子は拮抗的に発現しており，一方が発現する領域ではもう一方の発現は抑制される。そのため，C クラス遺伝子が領域 3, 4 で発現しなくなると，A クラス遺伝子が領域 1 ~4 のすべてで発現し，領域 1, 2, 3, 4 でそれぞれがく片，花弁，花弁，がく片が生じるため。(136 字)

解説

問 1. 難易度：★★★★☆

植物の発生と花芽形成に関する知識問題である。やや難しい知識を求める問題もあるが，一題ずつ見ていこう。
〔ア〕 本文にもあるとおり，休眠とは「水，酸素，適温に加えて他の環境要因が加わらないと発芽しないという環境適応能力」のことである。休眠することにより，生育に適さない時期を種子で過ごすことや，種子が遠くまで運ばれることが可能となる。休眠には大きく分けて 2 つのパターンがある。1 つ目は，種皮に固く覆われることにより水や酸素が胚に供給されず，胚発生が進行しないパターンである。2 つ目は，植物ホルモンなどの内的な要因により胚発生が停止しているパターンである。後者について，休眠を促進（発芽を抑制）する植物ホルモンとしてはアブシシン酸が知られている。

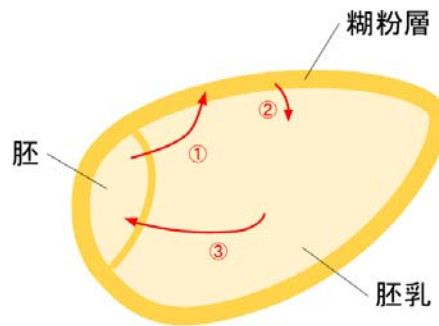


図 A イネやムギなどの種子の発芽

〔イ〕〔ウ〕 イネやムギなどの種子は図 A のような順序で休眠が打破される。①種子が吸水すると、胚はジベレリンを分泌し、糊粉層のアミラーゼ合成を活性化する。②糊粉層で合成されたアミラーゼは糊粉層から胚乳へ分泌され、胚乳中のデンプンを糖に分解する。③胚乳に生じた糖が胚に取り込まれ胚の栄養分となることで、発芽が進行する。

〔エ〕 この空欄には、低温を経験する前には発現が抑制されるが、低温を経験すると抑制が解除されて発現するようになる遺伝子の名前が入る。この遺伝子産物は花芽形成を促進することから、フロリゲン（花成ホルモン）であると考えられる。フロリゲンの正体は近年明らかになっており、シロイヌナズナでは FT タンパク質、イネでは Hd3a タンパク質であることがわかっている。また、これらは非常に類似していることが知られている。これらの遺伝子はそれぞれ *FT* 遺伝子、*Hd3a* 遺伝子というが、ここで問われているのは *FT* 遺伝子の方である。フロリゲンの正体については各教科書のコラムなどで記述されているが、空欄を埋める問題としては難しい。知らなくても仕方がないが、今後は教科書の隅から隅まで目を通すようにしよう。ちなみに、遺伝子名やタンパク質を記す場合、遺伝子名はイタリック、タンパク質名は立体で記すのが慣例である。

〔オ〕 生物の体の一部が別の部分に置き換わる突然変異をホメオティック突然変異といい、この原因となる遺伝子をホメオティック遺伝子という。具体例としては、ショウジョウバエで頭部に脚が生じるアンテナペディア突然変異、二重になった胸部に 2 対の翅が生じるバイソラックス突然変異などがある。

よって解答は、〔ア〕 アブシシン酸、〔イ〕 ジベレリン、〔ウ〕 糊粉層、〔エ〕 *FT*、〔オ〕 ホメオティックである。

問 2. 難易度：★★★★☆

設問文中にある図 2 の曲線は下の図のように大きく 3 カ所に分けられる。①では、種子に外部の水が物理的に浸み込むことにより、種子は吸水する。しかし、一定以上水が浸み込むと吸水は停止して水分含量の増加が緩やかになる。②は発芽のための準備期間であり、発芽に必要な酵素などが合成されたりする。その後、発芽の過程が始まると、種皮が破れることで吸水が盛んになり、③のように水分含量の増加速度が大きくなる。

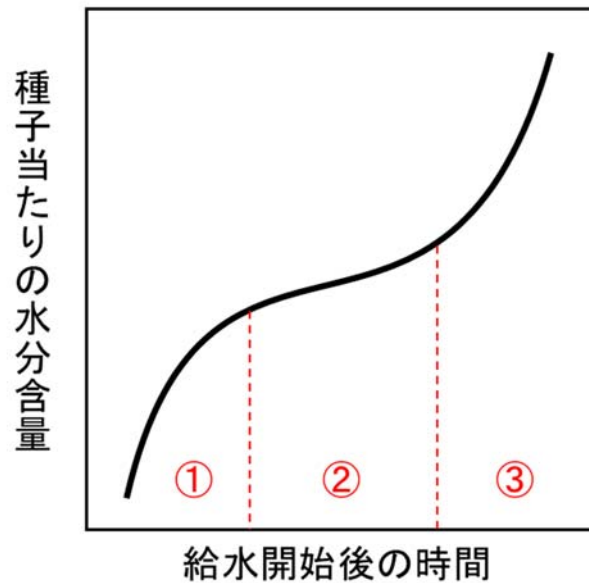


図 B 種子の発芽過程における吸水様式

休眠状態にある種子では、休眠状態にない種子同様に①の過程が起こる。しかし、②の過程の途中で発芽を停止しているため、その後は吸水をしなくなると考えられる。

したがって、解答は(e)。

問 3. 難易度：★★★★☆

「植物が一定期間低温にさらされることによって、花芽形成が誘導されること」を**春化**という。また、花芽形成を促すために植物を人工的に一定期間低温にさらすことを春化处理という。

問題文より、シロイヌナズナでは、低温を経験するまでは *FLC* 遺伝子が発現し、フロリゲンをコードする *FT* 遺伝子の発現を抑制している。低温を経験すると、*FLC* 遺伝子が発現不可能になり、*FT* 遺伝子が発現して花芽形成が起こる。これと同様な機構が秋まきコムギにも存在する。低温を経験する前には、コムギの花芽形成に関与する *VRN3* 遺伝子の発現が *VRN2* 遺伝子の発現によって抑制されている。低温を経験すると、*VRN2* 遺伝子の発現が抑制され *VRN3* 遺伝子が発現するようになり、花芽形成が起こる。

ここでは遺伝子名を出して説明したが、解答としては「発芽後に低温にさらされる必要がある」ことを示せばよい。

以上より、解答は、**現象：春化**、**記号：(c)**。理由は次。

解答例

理由： 休眠状態のときでなく発芽後に一定期間低温にさらすことで花芽形成が行われるため。(39 字)

問 4. 難易度：★★★★☆

正しい選択肢をすべて選ぶ問題。この手の問題はしっかりと知識が身についていないと解けないので、注意深

くそれぞれの選択肢を見ていこう。

- (a) 誤り。植物の花芽形成は光周性だけでなく、温度にも依存する。問3の解答である春化がその例である。
- (b) 誤り。*FT*遺伝子は葉で発現する。シロイヌナズナが長日条件を感知することで *FT* 遺伝子の発現が始まるということを考えれば、光が当たらない根で *FT* 遺伝子が発現することはないと推察できるだろう。
- (c) 正しい。*FT* タンパク質は葉で合成され、篩管を通して茎頂分裂組織に達し、花芽への分化を促進する。
- (d) 正しい。シロイヌナズナは長日植物であるので、限界暗期より短い連続暗期を感じ取ることで花芽の形成を行う。
- (e) 誤り。クロロフィルは光合成色素である。花芽形成に関与する光受容体としてはフィトクロムとクリプトクロムが挙げられる。
- (f) 正しい。イネにおける *Hd3a* タンパク質は、シロイヌナズナの *FT* タンパク質と同様に、日長による花芽形成にかかわることが知られている。

以上より、解答は(c), (d), (f)である。

◆Check!!

植物の光受容体

植物の光受容体としては**フィトクロム**、**フォトリロピン**、**クリプトクロム**の3つが知られている。それぞれの植物におけるはたらきを見ていこう。

【フィトクロム】

フィトクロムは赤色光や遠赤色光を吸収する光受容体である。フィトクロムは赤色光を吸収すると遠赤色光吸収型 (P_{FR} 型) へ、遠赤色光を吸収すると赤色光吸収型 (P_R 型) へと構造が可逆変化する。 P_{FR} 型が活性型であるのに対し、 P_R 型は不活性型である。 P_{FR} 型のフィトクロムは光発芽種子の発芽促進、短日植物における花芽形成の抑制、避陰反応などに関与する。避陰反応とは、植物が陰から抜け出そうとする反応であり、光合成に利用できる光が多いときは伸長成長せず、少ないときに伸長成長する。そのため、赤色光を吸収した活性型のフィトクロムは伸長成長を抑制するはたらきをもつ。

【フォトリロピン】

フォトリロピンは青色光を吸収する光受容体である。おもに、光屈性、気孔開口、葉緑体光定位運動などに関与する。葉緑体光定位運動とは、光が強いときは葉緑体が光の方向に対し平行に並び、光が弱いときは葉緑体が光の方向に対し垂直に並ぶように移動する運動のことである。

【クリプトクロム】

クリプトクロムも青色光を吸収する光受容体である。おもに、花芽形成の促進、伸長成長の抑制などに関与する。

問 5. 難易度：★★★★☆

この問題で出てきている花の形成に関するしくみは **ABC モデル** とよばれるものである。まずはこの ABC モデルについて確認しよう。

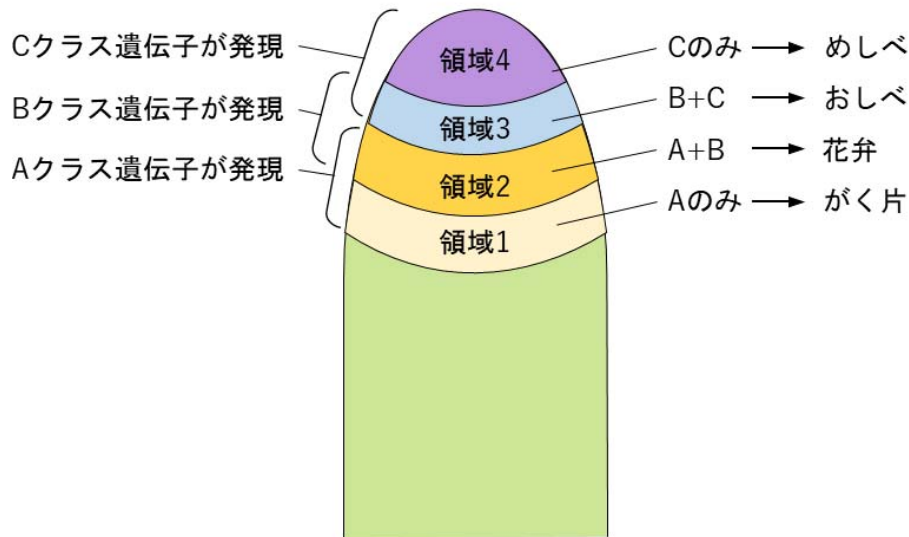


図 C ABC モデル

花は茎頂分裂組織が分化して形成される器官であり、花の形成には A クラス遺伝子、B クラス遺伝子、C クラス遺伝子の 3 つの遺伝子がはたらいている。A クラス遺伝子は茎頂分裂組織の外側の領域 1 と領域 2 で発現している。C クラス遺伝子は内側の領域 3 と領域 4 で発現している。A クラス遺伝子と C クラス遺伝子は拮抗的に発現するため、両遺伝子が同じ場所で発現することはない。拮抗的に発現するとは、一方が発現している場所ではもう一方の発現が抑制されているということである。B クラス遺伝子は領域 2 と領域 3 で発現し、B クラス遺伝子の遺伝子産物は A クラス遺伝子や C クラス遺伝子の遺伝子産物とともににはたらくことで、花器官の分化を促進する。上図のように、A クラス遺伝子のみが発現する領域 1 はがく片へ、A クラス遺伝子と B クラス遺伝子が発現する領域 2 は花弁へ、B クラス遺伝子と C クラス遺伝子が発現する領域 3 はおしべへ、C クラス遺伝子のみが発現する領域 4 はめしべへと分化する。この 3 つの遺伝子は、ホメオティック突然変異をもたらすホメオティック遺伝子である。

ここで、ホメオティック突然変異の 1 つであるという「八重咲き」品種について ABC モデルの観点から考えてみよう。「八重咲き」品種では、領域 1、4 にがく片が、領域 2、3 に花弁が生じる。正常な花器官が生じていない領域は領域 3 と領域 4 であり、領域 3、4 で C クラス遺伝子ではなく A クラス遺伝子が発現すれば八重咲きとなることがわかるだろう。これは、C クラス遺伝子が発現しなくなったことにより、C クラス遺伝子と拮抗的に発現する A クラス遺伝子が発現したためであると考えられる。

以上より、解答は**突然変異体：C クラス遺伝子**。理由は次のとおり。

解答例

理由：A クラス遺伝子と C クラス遺伝子は拮抗的に発現しており，一方が発現する領域ではもう一方の発現は抑制される。そのため，C クラス遺伝子が領域 3, 4 で発現なくなると，A クラス遺伝子が領域 1~4 のすべてで発現し，領域 1, 2, 3, 4 でそれぞれがく片，花弁，花弁，がく片が生じるため。(136 字)

(西川尚吾，後藤暁彦，安藤さくら)

2016 年度 九州大学 前期 生物

〔5〕 ある昆虫の個体群の変動と生命表

出題範囲	個体群
難易度	★☆☆☆☆
所要時間	12 分
傾向と対策	個体群をテーマとした大問である。このテーマの大問は 2, 3 年に 1 度出題されている。また、記述問題は 1 題もない。難しい問題もなく、やさしい大問であつただろう。時間もあまりかけずに解くことができたのではないだろうか。しかし、この大問は最後の〔5〕であり、〔1〕から順に解いた受験生は時間が足りず、解ききれなかったかもしれない。すべての大問を解ききることが理想ではあるが、受験では 1 点でも多く得点することが重要となる。先に全体を見て、確実に解けそうな大問や自分の得意分野が出題されている大問から解いていくのがよいだろう。

解答

問 1. 生命表

問 2. ア : 800 イ : 0.350 ウ : 1520

問 3. 1.05 個

問 4. (f)

問 5. (b)

問 6. 密度効果

問 7. (b), (c), (f)

解説

問 1. 難易度 : ★☆☆☆☆

表 1 のように、産まれた卵や子の数、生産された種子が成長するにつれてどれだけ生き残るかを示した表を**生命表**という。また、生命表をグラフにしたものを**生存曲線**という。

よって、解答は**生命表**である。

問 2. 難易度 : ★☆☆☆☆

表 1 の空欄に当てはまる数字を埋める問題。まずは生存数、生存率、死亡数、死亡率の関係を確かめておこう。問題文をまとめると次のようになる。

$$\text{生存率} = \frac{\text{ある段階に達した個体数}}{\text{卵が産まれた時点での個体数}}$$

$$\text{死亡数} = \text{ある段階に達した個体数} - \text{その次の段階に達した個体数}$$

$$\text{死亡率} = \frac{\text{死亡数}}{\text{その段階に達した個体数}}$$

これらを用いると、表 1 を埋めることができる。

まずはア。2 齢幼虫に達した個体数は 3600，その次の 3 齢幼虫に達した個体数は 2800 である。よって，2 番目の式を用いると，死亡数は $3600 - 2800 = 800$ である。

次はイ。卵が産まれた時点での個体数は 8000，3 齢幼虫に達した個体数は 2800 である。よって，1 番目の式を用いると，生存率は $2800 \div 8000 = 0.350$ である。他の生存率の値がすべて小数第 3 位まで書かれているので，0.35 ではなく 0.350 とすべきだろう。

最後にウ。5 齢幼虫の死亡数は 480，5 齢幼虫の生存数は 2000 である。よって，2 番目の式を用いると，6 齢幼虫の生存数は $2000 - 480 = 1520$ である。

問 3. 難易度：★★★★☆

卵が産まれた時点でのメス 1 個体あたりの次世代の卵の数を求める問題。

問題文より，メス：オス＝1：1 であるから，卵が産まれた時点でのメスの個体数は $8000 \div 2 = 4000$ である。一方，問題文より次世代の卵の数は 4200 である。したがって，卵が産まれた時点でのメス 1 個体あたりの次世代の卵の数は $4200 \div 4000 = 1.05$ である。

問 4. 難易度：★★★★☆

各発達段階での生存率やメス成虫あたりの産卵数が変化しないとすると，個体群の個体数は毎年同じ割合で変化すると考えられる。本文より， $8000 \rightarrow 4200$ と個体数が変化しているので，個体数は毎年前年の $4200 \div 8000 = 0.525$ 倍になると考えられる。

以上を踏まえると，解答は(f)である。

問 5. 難易度：★★★★☆

メス成虫あたりの産卵数が毎世代 80 である場合，表 1 の翌年の世代の卵の数は $560 \div 2 \times 80 = 22400$ となる。よって，個体群の個体数は毎年 $22400 \div 8000 = 2.8$ 倍になると考えられる。

これを踏まえると，解答は(b)である。

問 6. 難易度：★★★★☆

個体群密度が高くなると，種内競争が激しくなる。そのため，出生率の低下や死亡率の増加が起こる。このように個体群密度によって個体群を構成する個体の発育などが変化することを**密度効果**とよぶ。また，ある環境で生存できる最大の個体数を**環境収容力**という。

したがって，解答は**密度効果**である。

問 7. 難易度：★★★★☆

個体群に関して誤っている選択肢をすべて選ぶ問題。この手の問題は正確な知識が求められており、難しい場合も多い。選択肢を 1 つずつ丁寧に見ていこう。

(a) 正しい。生存曲線は下の図のように 3 つの型に大別される。①は幼齢時の死亡率が低く、老齢時の死亡率が高いパターンである（晩死型）。①のパターンでは、親などが子供を保護することにより子供の多くが生殖年齢まで生存できる場合が多い。そのため、1 回に産む子の数は少ない傾向にある。②は生涯にわたって死亡率があまり変化しないパターンである（平均型）。③は幼齢時の死亡率が高く、老齢時の死亡率が低いパターンである（早死型）。③のパターンでは、親などが子供を保護することがないため、生殖年齢まで生存できる個体は少ない場合が多い。そのため、1 回に産む子の数は多い傾向にある。この選択肢で問われているのは晩死型であり、上記のことから正しいとわかるだろう。

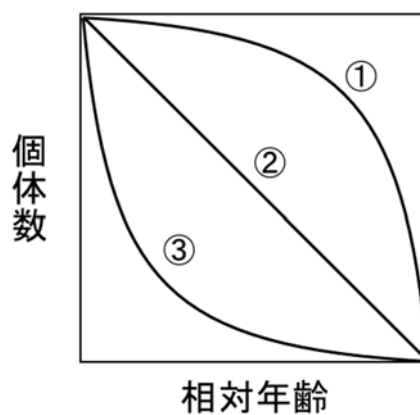


図 A 生存曲線の 3 つの型

- (b) 誤り。昆虫のなかでも **社会性昆虫** とよばれるシロアリやミツバチなどは、ワーカーとよばれる生殖能力をもたない個体が女王の産んだ姉妹の世話をする。これによって、生涯の早い時期での死亡率を下げている。
- (c) 誤り。水中を浮遊する生物であっても、多数の子を産出する動物は図 A の③のパターンであると考えられる。
- (d) 正しい。捕食者と被食者の関係は **被食者－捕食者相互関係** とよばれ、自然界で広くみられる種間関係である。
- (e) 正しい。捕食者が増加すると捕食者による被食者の被食量が増加するため被食者は減少し、捕食者が減少すると被食量が減少するため被食者は増加すると考えられる。
- (f) 誤り。個体群密度は個体の形態や行動などにも影響を及ぼすことが知られている。例えば、ワタリバツタの仲間は幼齢時の個体群密度によって形態や行動を変化させる。個体群密度が低い環境で育った個体は相対的に長い後肢をもって単独生活をする（**孤独相**）。一方、個体群密度が高い環境で育った個体は相対的に長い翅と短い後肢をもち、強い集合性を有するようになる（**群生相**）。このような個体群密度による形態や行動の変化を **相変**

異という。

したがって、解答は(b), (c), (f)である。

◆Check!!

年齢構成と年齢ピラミッド

個体群は、さまざまな年齢の個体から構成される。個体群における各年齢階級の個体数の分布を示したものを年齢構成とよぶ。年齢構成は年齢ピラミッドという図で示されることが多い。この年齢構成は3つの型に大別できる。

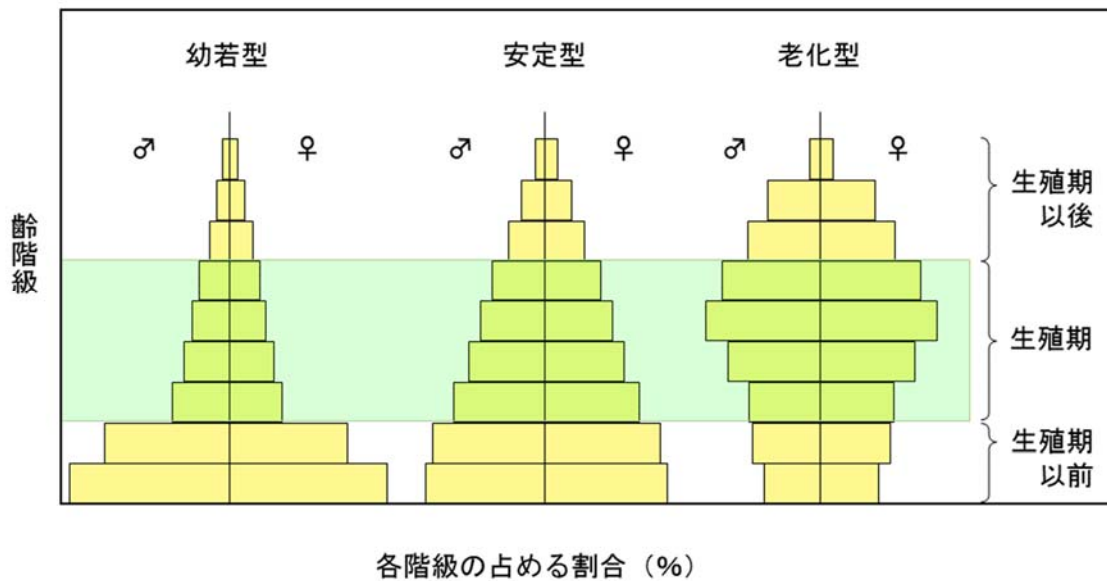


図 B 年齢ピラミッドの3つの型

出生率が高く、幼齢時の死亡率が高い個体群は、図 B の左のような裾の広いピラミッド型になる（幼若型）。この幼若型ほどは出生率が高くないが、死亡率が生涯を通じてほぼ一定であるような個体群は、図 B の真ん中のようなつりがね型になる（安定型）。安定型の状態から出生率が低下した個体群は図 B の右のようなつぼ型になる（老化型）。この老化型では、生殖期の世代の個体数よりも生殖期以前の世代の個体数の方が少ない。そのため、老化型の個体群では個体数が減少していくことが予測される。

（西川尚吾，後藤暁彦，安藤さくら）