

2015年度 センター試験 本試験 生物

第1問 代謝, DNA

出題範囲	タンパク質・光合成・窒素同化・遺伝子発現・DNA
難易度	★★★★☆☆
所要時間	8分
傾向と対策	第1問のAは生命現象と物質に関する問題ということで幅広い分野から出題されており、Bは遺伝子の分野から出題されている。Aではやや細かい知識が要求され、Bの問5でも計算力や高度な思考力が要求される問題構成となっているので、高得点を取るのは比較的難しいと言える。迷いすぎて時間を空費しないように注意しよう。

A

問1 1 正解は⑤

難易度 ★★★★★☆☆

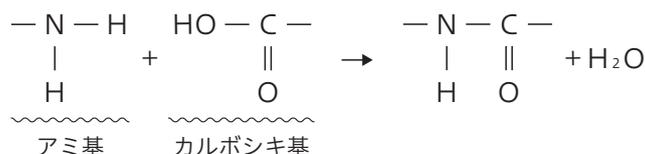
解説

選択肢を順に確認していけばよい。

① 誤 タンパク質は加熱や極端な pH, 重金属の存在などによって**変性**し、**失活**する（はたらきを失う）ことがある。これは立体構造（＝二次構造, 三次構造）が崩れることによる。しかし、アミノ酸の結合順序（＝一次構造）は変化しない。

ちなみにアミノ酸の配列すなわち**ポリペプチド**を一次構造、ポリペプチドが**水素結合**によって湾曲した立体構造を二次構造、局所的な二次構造をもつタンパク質分子の全体を三次構造、複数のタンパク質分子それぞれがサブユニットとして集合したタンパク質複合体を四次構造という。二次構造には**αヘリックス**（らせん状の構造）や**βシート**（ジグザグ状の構造）がある。二次構造が**水素結合**によってつくられる一方、三次構造は**水素結合**のほかにも**ジスルフィド結合**（S-S 結合）やイオン結合などさまざまな要因によってつくられる。三次構造内部にはいくつかのドメイン（異なる機能をもつ領域）が存在する。

② 誤 アミノ基（ $-\text{NH}_2$ ）とカルボキシ基（ $-\text{COOH}$ ）は脱水縮合して**ペプチド結合**をつくる。よって、除かれるのは二酸化炭素分子ではなく、水分子である。

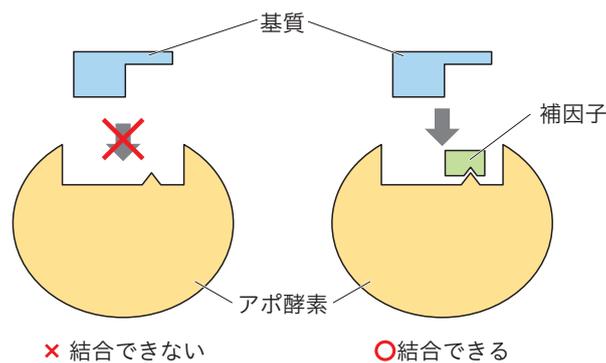


- ③ 誤 **ジスルフィド結合**は異なる**ポリペプチド**（ポリペプチド鎖と同義）間で形成されることもある。これは四次構造の形成に関わる。ジスルフィド結合が2つのアミノ酸中の硫黄分子の間に形成されることから、異なるポリペプチドの間で形成されない理由がないだろうと類推できる。
- ④ 誤 立体構造が変化することによってタンパク質の機能が調節されることはある。例えば、**ヘモグロビン**は4つのサブユニットからなるが、1つのサブユニットに酸素が結合すると全体の立体構造が変化し、残り3つのサブユニットの酸素結合性が高まる。

これを知らなくても、立体構造の変化によってタンパク質の機能が変化することから、立体構造を変化させることでタンパク質の機能を変化させ調節することができるのではないかと考えられる。

- ⑤ 正 タンパク質にはその機能を果たすために金属イオンを必要とするものがある。

例えば、**ホロ酵素**は**アポ酵素**に非タンパク質性分子である**補因子**が結合することで機能を果たすようになる酵素である。補因子は**補酵素**や金属イオンである。補酵素は酵素ではない低分子有機物であるということに注意しよう。細胞接着に関わるタンパク質であるカドヘリンがカルシウムイオンを必要としていることを知っているとなお良いだろう。カドヘリンの名前がcalcium（カルシウム）とadhere（接着する）からきていることから覚えやすい。



ホロ酵素のイメージ

なおヘモグロビンは鉄を含み「その機能に金属イオンが必要なタンパク質」のようであるが、正確には違う。ヘモグロビンの1つのサブユニットはポリペプチドであるグロビンと鉄原子を含むヘムという低分子有機物からなる。酸素との結合に関わるのはヘムである。すなわちヘモグロビンはその構造に鉄原子を内包しているから酸素と結合できるのであり、酸素との結合に鉄イオンを必要としているわけではない。鉄イオンの非存在下でもヘモグロビンは酸素と結合できるのである。今回は選択式問題であり勘違いしていても答えは合ってしまうが、答えが合っているからといって解説を読まないで勘違いした知識を訂正できないまま放置してしまうことになる。できれば解説はすべて読み、自分の思考過程や知識が正しかったかどうか確かめてほしい。

以上より、正解は⑤。

◆ Check!!

タンパク質

生体を構成するタンパク質にはいくつかの特有の性質がある。それらの性質はセンター試験でも頻出であるので、しっかりと覚えておこう。

タンパク質についての基礎知識

- ・タンパク質はアミノ酸が**ペプチド結合**で多数結合した**ポリペプチド**を基本とする。
- ・アミノ酸のアミノ基とカルボキシ基が脱水縮合してペプチド結合をつくる。
- ・アミノ酸のアミノ基，カルボキシ基以外の部分を**側鎖**といい，その側鎖は疎水・親水性や酸・塩基性などの性質をもつ。また，硫黄原子やベンゼン環の有無によっても性質が異なる。その性質はポリペプチドの立体構造に大きな影響を及ぼす。
- ・**水素結合**は C=O と N-H 間に形成される。**ジスルフィド結合 (S-S 結合)** はシステインの硫黄原子間に形成される。

問われやすい知識

- ・アミノ酸 20 種類のうち，成人のヒトの必須アミノ酸（体内では十分な量をつくることのできないため，食物から接種しなければならないアミノ酸）は 9 種類。
- ・ポリペプチドを折りたたんで立体構造をつくるタンパク質（**シャペロン**）が存在する。
- ・タンパク質の機能分類（あくまで人間主観の機能であり，客観的な分類ではない。）

分類	具体例
構造タンパク質	ケラチン，コラーゲン， ヒストン ， カドヘリン
酵素	アミラーゼ ，カタラーゼ
貯蔵タンパク質	卵アルブミン，カゼイン
輸送タンパク質	ヘモグロビン ，イオンチャネル
モータータンパク質	アクチン ， ミオシン ， キネシン ， ダイニン
ホルモン	インスリン ， アドレナリン
受容体	インスリン受容体，アドレナリン受容体
防御タンパク質	免疫グロブリン

問2 2 正解は①

難易度 ★☆☆☆☆

解説

エには NADPH が入る。光エネルギーを受けた**光化学系 II**のクロロフィルから放出される電子は、**光化学系 I**で **NADPH**の合成に使われる。 $(\text{NADP}^+ + \text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{NADPH})$

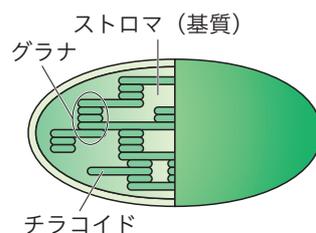
オには H^+ 、カには ATP が入る。**チラコイド**内で水分子 (H_2O) が分解されて生じるのは酸素と水素イオン (H^+) である。光化学系 II でクロロフィルから放出された電子が光化学系 I に伝達される過程でストロマからチラコイド内へと H^+ が輸送されること、チラコイド内に蓄積された H^+ は濃度勾配に従いチラコイド膜上の **ATP 合成酵素**を通して膜外に流出することからもオに H^+ が入ることは明らかである。またこのとき ATP が合成される。

以上より、正解は①。紛らわしい選択肢もないどころか、選択肢のうち水分子が分解されて生じる物質は H^+ だけであるなど、消去法でも容易に正解することができる問題である。

◆ Check!!

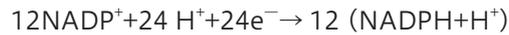
光合成

光合成は葉緑体で行われる。葉緑体の内部では**チラコイド**という袋状の構造が積み重なって**グラナ**という層構造をとっている。葉緑体内でチラコイドの外の部分（基質部分）を**ストロマ**という。チラコイドとストロマではそれぞれ別の反応が起こっている。



葉緑体の構造

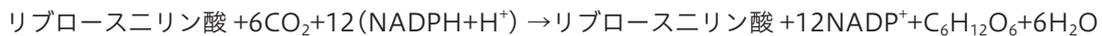
チラコイド膜上には**光化学系 I**と**光化学系 II**が存在する。光化学系 I, II には光を吸収する光合成色素が存在する。光合成色素にはクロロフィル a やクロロフィル b, カロテンやキサントフィルといった種類がある。まず光エネルギーが光化学系 II で受け取られ、クロロフィルが活性化して電子が放出される。このとき、クロロフィルが失った電子は水の分解によって補われる。放出された電子はいくつかのチラコイド膜上の電子伝達系（ミトコンドリアの電子伝達系とは構成物質が異なる）を経由して光化学系 I に移動する。光化学系 I では光エネルギーが受け取られ、クロロフィルからチラコイド外に電子が放出されて **NADP⁺** と H^+ から **NADPH** がつくられるのに利用される。この反応は次の化学反応式で表される。



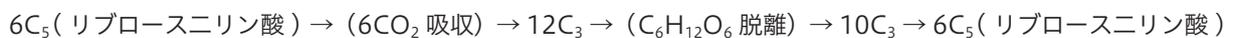
光化学系Ⅰでは、電子を放出し酸化されたクロロフィルは光化学系Ⅱのクロロフィル由来の電子によって還元される。光化学系Ⅱでは、電子を放出し酸化されたクロロフィルはチラコイド内での水の分解で生じた電子によって還元される。水は分解されて水素イオンと酸素となる ($12\text{H}_2\text{O} \rightarrow 24\text{H}^+ + 6\text{O}_2 + 24\text{e}^-$)。

水の分解によって生じた酸素は排出され、水素イオンはチラコイド内外に**濃度勾配**を形成する。さらに光化学系Ⅱのクロロフィルから放出された電子がいくつかのチラコイド膜上の電子伝達物質を移動する際にチラコイド外から水素イオンが内部に流入する。濃度勾配に従って水素イオンがチラコイド外に流出するとき、**ATP 合成酵素**を通るので ATP が合成される。流出した水素イオンは光化学系Ⅰで NADPH がつくられるのに利用される。このようなチラコイドにおける光エネルギーを利用した ATP 合成を**光リン酸化**という。

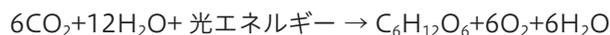
一方、ストロマでは**ルビスコ**という酵素によって CO_2 が**リブローズニリン酸** (RuBP) に取り込まれ、**ホスホグリセリン酸** (PGA) となる。ホスホグリセリン酸は ATP によるリン酸化、NADPH と H^+ による水素付加を経て、リブローズニリン酸、**グルコース**、水を生じる。この反応は次の反応式で表される。



ストロマで起こる反応をまとめて**カルビン・ベンソン回路**という。カルビン・ベンソン回路の主生成物の炭素数は以下のように推移する



総合すると、葉緑体での光合成は



のように表される。

問 3 3 正解は④

難易度 ★★★☆☆

解説

- ① 誤 **窒素固定細菌**は土壌中にも存在し、植物との共生なしに**窒素固定**を行っている。窒素固定細菌の中でマメ科植物と共生関係をもつようになったのが**根粒菌**である。根粒菌はマメ科植物の根の根粒に共生しており、栄養分の提供を受ける代わりに窒素固定産物であるアンモニウムイオン (NH_4^{+}) を提供している。このような双方に利益があるような共生関係を**双利共生**という。
- ② 誤 窒素固定細菌は空気中の窒素からアンモニウムイオンをつくり出す。窒素化合物から別の窒素化合物をつくるわけではない。窒素固定は**ニトロゲナーゼ**という酵素のはたらきで行われる。窒素固定をする生物は原

核生物であり、次の表の通りである。

窒素固定細菌	代表例	備考
好気性細菌	アゾトバクター	
	根粒菌	マメ科植物と共生
嫌気性細菌	クロストリジウム	
	紅色硫黄細菌・緑色硫黄細菌	光合成も行う
シアノバクテリア	ネンジュモ	

- ③ 誤 **亜硝酸菌**はアンモニウムイオン (NH_4^{+}) を酸化して亜硝酸イオン (NO_2^{-}) にし、**硝酸菌**は亜硝酸イオンを酸化して硝酸イオン (NO_3^{-}) にする。硝酸菌や亜硝酸菌のもつアンモニウムイオンを酸化していくはたらきを**硝化作用**という。

亜硝酸菌と硝酸菌のはたらきによって引き起こる化学反応は次のように表される。

種別	化学反応
亜硝酸菌	$2\text{NH}_4^{+} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2^{-} + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^{+}$
硝酸菌	$2\text{NO}_2^{-} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_3^{-}$

よって**硝酸菌**や**亜硝酸菌**のはたらきでアンモニウムイオンが生じることはない。

また植物が根から取り込むのは主に硝酸イオンであり、アンモニウムイオンを取り込むことはあまりない。これはアンモニウムイオンが毒性をもつためである。アンモニアがヒトの血中に 0.005% 含まれると昏睡状態に陥るともいわれている。ヒトの肝臓には代謝によって生じたアンモニアを弱毒（ほぼ無害）な**尿素**に変える**オルニチン回路**という代謝経路がある。尿素は血中に 4% 含まれても問題ない。尿素よりさらに無毒な**尿酸**を排出する動物もいる。尿酸は水に溶けないため白い結晶として排出される。よく鳥に上から落とされる白い物体は実はふんではなく、ヒトでいうおしっこに近いのである。

次の表でさまざまな生物の窒素排出物の組成を確認しておこう。

動物名	種類	生活場所	窒素排出物とその割合 (%)		
			アンモニア	尿素	尿酸
イカ	軟体動物	水中	67	1.7	2.1
フナ	硬骨魚類	水中	73.3	9.9	0
カエル (幼生)	両生類	水中	75	10	0
カエル (成体)	両生類	陸上	3.2	91.4	0
ヘビ	は虫類	陸上	8.7	0	89
ニワトリ	鳥類	陸上	3.4	10	87
ヒト	哺乳類	陸上	4.8	86.9	0.65

なお、植物は取り込んだ硝酸イオンを硝酸還元酵素、亜硝酸還元酵素で還元していき、アンモニウムイオンにしてから**窒素同化**を行う。

- ④ 正 植物の窒素同化では、**グルタミン合成酵素**によって**グルタミン酸**とアンモニウムイオンから**グルタミン**を合成する。さらに**グルタミン酸合成酵素**によって**ケトグルタル酸**とグルタミンからグルタミン酸 2 分子を合成する。グルタミン酸にアミノ基転移酵素が作用することで有機酸からアミノ酸を合成できる。
- ⑤ 誤 動物はタンパク質を消化してアミノ酸として体内に取り込み、**ポリペプチド**にして再利用する。

以上より、正解は④。①は窒素固定細菌が根粒菌以外にもいることを知っていれば却下できるだろう。②、③、④は窒素循環における物質の流れを正確に把握しておけば②、③が誤りで④が正しいことがわかる。用語の意味を正確に把握しよう。

B

問 4 正解は⑧

難易度 ★☆☆☆☆

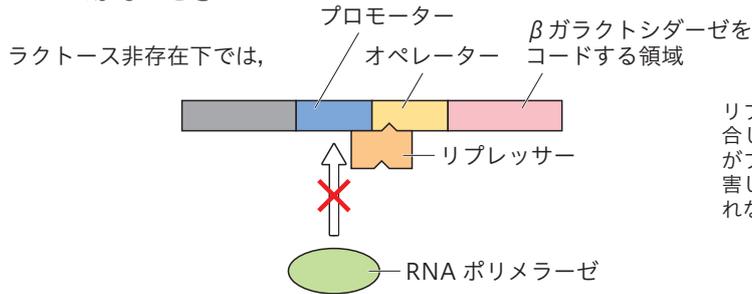
解説

大腸菌は代謝に**グルコース**を利用するが、グルコースの非存在下ではグルコースとガラクトースからなる二糖類である**ラクトース**を分解し、得られたグルコースを代謝に利用する。ラクトースを分解するためには β ガラクトシダーゼという酵素を合成する必要がある。その合成にはコストがかかるため、あくまで利用できるグルコースが存在しないときの非常手段であり、グルコース存在下では β ガラクトシダーゼは合成されない。グルコース非存在下でかつラクトースが存在するときに β ガラクトシダーゼを合成するような調節を可能にしているのがラクトース**オペロン**である。

にはグルコース、にはオペレーターが入る。ラクトースオペロンにおいて、グルコースの存在下では**リプレッサー**が**オペレーター**に結合しており、**RNA ポリメラーゼ**が**プロモーター**に結合するのが阻害されるので β ガラクトシダーゼ遺伝子の転写が抑制される。

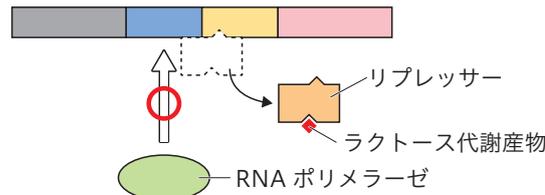
また、にはラクトース、には結合部位から離れる、が入る。グルコースがなくなりラクトースだけが存在するようになると、ラクトース代謝産物と**リプレッサー**が結合して、**リプレッサー**が**オペレーター**と結合しなくなる。すると**RNA ポリメラーゼ**が**プロモーター**に結合するようになり β ガラクトシダーゼ遺伝子が転写される（次図参照）。

グルコースがないとき



リプレッサーがオペレーターに結合しており、RNA ポリメラーゼがプロモーターに結合するのを阻害しているため、遺伝子は転写されない

ラクトース存在下では、



ラクトースがリプレッサーに結合することでオペレーターから離れるので、RNA ポリメラーゼがプロモーターに結合できるようになり、遺伝子は転写される

ラクトースオペロンの転写調節メカニズム

以上より、解答は⑧である。ラクトースオペロンは遺伝子発現の調節の理解においてとても重要な概念なので必ず押さえておこう。

重要語句

➤ オペロン

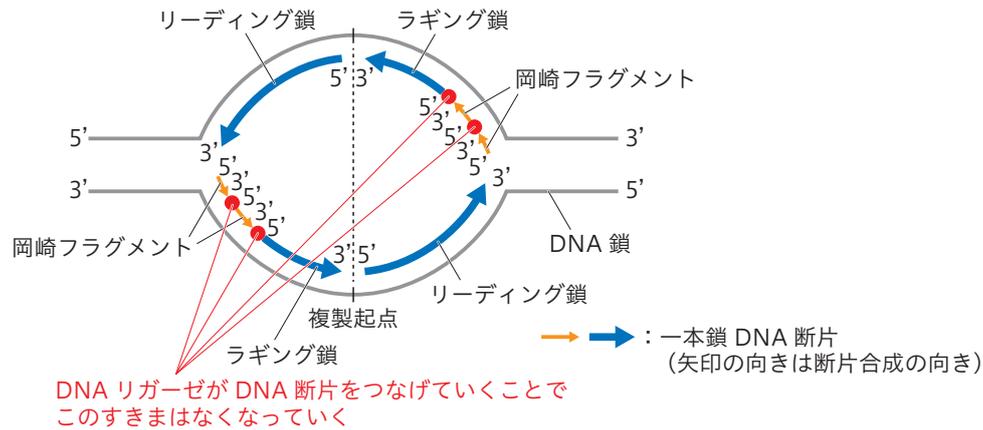
1つの調節遺伝子、プロモーター、オペレーターによって共通の制御を受けるいくつかの遺伝子をまとめた遺伝子群の単位のこと。

問5 正解は②

難易度 ★★★★★

解説

DNA が複製されるときは複製起点からみて 5' と 3' の両側に向かって二本鎖がほどけていく。二本鎖をほどいていくのは **DNA ヘリカーゼ** という酵素である。また **DNA ポリメラーゼ** による DNA 鎖の伸長は 5' → 3' の一方向にしか進まない。ある複製起点から DNA を複製するとき、その複製起点からみて 3' 側へは連続的に新しい DNA 鎖が合成されていく一方、5' 側から複製起点方向に合成されるような DNA 鎖は「二本鎖がある程度ほどけていくたびに 3' 方向に新しく DNA 鎖を複製して断片をつくり、断片同士を後で結合して 1 つの DNA 鎖にする」という過程を経て合成される不連続な複製 DNA 鎖である。連続的に合成された複製 DNA 鎖を **リーディング鎖**、もう一方の不連続的に合成される複製 DNA 鎖を **ラギング鎖** という。ラギング鎖になる前の断片を **岡崎フラグメント**、岡崎フラグメント同士を結合させる酵素を **DNA リガーゼ** という（次図参照）。



DNA 複製のメカニズム

大腸菌などの原核生物の環状 DNA (**プラスミド**) の複製において 5' 方向に二本鎖をほどく DNA ヘリカーゼと 3' 方向に二本鎖をほどく DNA ヘリカーゼは複製起点から同時かつ等速で二本鎖をほどいていき、リーディング鎖とラギング鎖は等速で伸長する。そのため複製終点はちょうど複製起点の反対側である。

今回の問題では DNA 合成酵素 (DNA ポリメラーゼ) は 1 秒間に 1500 **ヌクレオチド** (塩基) の速度で合成する。1 回の複製が終了するのにかかる時間はリーディング鎖が複製起点から複製終点まで (= プラスミドの半周分) 伸長するのにかかる時間である。

よって

$$450 \text{ 万 (ヌクレオチド)} \div 2 \text{ (半周分なので)} \div 1500 \text{ (ヌクレオチド / 秒)} = 1500 \text{ (秒)} = 25 \text{ (分)}$$

以上より正解は②。

(制作：熊井勇介，西川尚吾)

2015年度 センター試験 本試験 生物

第2問 トレニアとホヤの生殖，ショウジョウバエの発生

出題範囲	発生・遺伝
難易度	★★★★☆
所要時間	8分
傾向と対策	第2問のAでは生物の発生，Bでは両生類の発生および遺伝に関する問題が出題された。Aは実験の考察問題であり，問題Bには遺伝の考察問題が組み込まれているので，比較的時間を取られるような問題構成である。Bでは難易度の高い問題もあるので，考察問題が苦手な人にとっては得点しにくかったと思われる。

A

問1 正解は⑥

難易度 ★☆☆☆☆

解説

選択肢を順に確認していけばよい。

- ① 誤 **助細胞**と**反足細胞**は受精しないので，そのDNAが次の世代へ伝わることはない。受精するのは卵細胞と**中央細胞**だけであり，次世代に伝わるのは卵細胞のDNAだけである。卵細胞が胚になることさえ覚えていればすぐに判断できる。
- ② 誤 動物の精子は受精に必要な物質の入った**先体**と核を含む頭部，鞭毛のある尾部，尾部の鞭毛を動かすエネルギーを生産するための**ミトコンドリア**と鞭毛の基点である**中心体**を含む中片部からなる。**ゴルジ体**は先体の形成に関わるが，鞭毛の基部を取り囲むということはない。鞭毛と，鞭毛運動のエネルギー生産のためのミトコンドリアはセットで覚えよう。
- ③ 誤 被子植物の卵細胞は卵黄をもたない。動物の卵に貯蔵される卵黄には受精後の発生のための栄養が蓄えられており，被子植物では胚乳または子葉がそのはたらきを担う。植物の卵細胞に卵黄がある，などという聞いたこともないような選択肢はまず誤りである。
- ④ 誤 **花粉四分子**を構成する細胞が体細胞分裂することで**花粉管細胞**と**雄原細胞**とができる。花粉管細胞が分裂して雄原細胞ができるわけではないことに注意しよう。雄原細胞が花粉管細胞に包まれていること，雄原細胞がさらに分裂して精細胞になることなどから迷ってしまうかもしれない。何が分裂して何になるのか，それぞれの名前とそれが変化する時系列は正確に覚えよう。
- ⑤ 誤 **精原細胞**が体細胞分裂して**一次精母細胞**になり，一次精母細胞が減数分裂の第一分裂で**二次精母細胞**になり，減数分裂の第二分裂で**精細胞**になる。精細胞は変形して精子となる。配偶子が減数分裂でつくられることからすぐ判断できるだろう。精原細胞と精細胞を混同しないように注意しよう。

⑥ 正 花粉母細胞は減数分裂して花粉四分子になる。

以上より、正解は⑥。配偶子形成は用語が多く紛らわしい。正確に記憶するよう努めよう。DNA 量と染色体数（核相）の変化もあわせて覚えよう。

◆ Check!!

被子植物の配偶子形成と発生

被子植物の配偶子形成は独特でさまざまな過程を経るため覚えにくい、センターでは必ず出るといっていいほど頻出の分野である。何度も読み返し、自分で説明できるくらいまで覚えることが大事である。

被子植物の配偶子形成

被子植物では雄しべで花粉が、雌しべで胚のうがつくられる。雄しべでは花粉母細胞（核相 $2n$ ）が減数分裂し花粉四分子（核相 n ）になる。花粉四分子は成熟する過程で1度だけ体細胞分裂し、2つの細胞からなる花粉になる。1つの花粉を構成する2つの細胞のうち大きいほうが花粉管細胞（核相 n ）、花粉管細胞に包まれている小さい細胞が雄原細胞（核相 n ）である。雌しべでは胚のう母細胞（核相 $2n$ ）が減数分裂し胚のう細胞（核相 n ）になる。1つの胚のう母細胞が減数分裂すると4つの細胞ができるが、そのうち3つは退化してなくなり、残った1つだけが胚のう細胞となる。胚のう細胞は成熟する過程で3回核分裂し、8つの核をもつ胚のうになる。胚のうがもつどの核も核相は n である。胚のうの8つの核はそれぞれ1つの卵細胞、2つの助細胞、3つの反足細胞に1つずつ、1つの中央細胞に2つ含まれる。すなわち胚のうは卵細胞1つ、助細胞2つ、反足細胞3つ、中央細胞1つからなり、卵細胞・助細胞・反足細胞は核を1つずつ、中央細胞は核を2つもつので胚のうは合計8つの核をもつ。なお、中央細胞の2つの核を極核という。

花粉が柱頭につくと受粉が起こる。花粉から花粉管が伸び、花柱を通して胚のうに到着する。雄原細胞は花粉管内を通り胚のうに移動する間に体細胞分裂を行い2つの精細胞（核相 n ）となる。胚のうの中にはこの2つの精細胞が侵入し、片方の精細胞は卵細胞と受精、もう片方の精細胞は中央細胞の2つの極核と受精する。これによって胚のう内には受精卵（核相 $2n$ ）と胚乳（核相 $3n$ ）ができる。このような受精形式を重複受精という。

核相の変化

以下で核相の変化をしっかりと覚えてほしい。

↑花粉管細胞 (n)

花粉母細胞 ($2n$) → 花粉四分子 (n) → 雄原細胞 (n) → 精細胞 (n)

胚のう母細胞 ($2n$) → 胚のう細胞 (n) → 卵細胞 (n), 助細胞 (n), 反足細胞 (n), 中央細胞 ($n + n$)

卵細胞 (n) + 精細胞 (n) → 受精卵 ($2n$)

中央細胞($n + n$) + 精細胞(n) → 胚乳($3n$)

被子植物の発生

重複受精後、受精卵は体細胞分裂をくり返し**胚柄**と**胚球**になる。胚球はさらに体細胞分裂をくり返し**子葉**、**幼芽**、**胚軸**、**幼根**からなる**胚**になる。胚乳には発芽に必要な養分が蓄えられるが、胚乳のない（胚乳が退化する）無胚乳種子を形成する植物も数多く存在する。無胚乳種子では、発芽に必要な養分は子葉に蓄えられる。

問 2 2 正解は③ 3 正解は①

難易度 ★★★☆☆

解説

まず比較実験において重要な点を紹介しよう。以下の2点を押さえることが非常に重要となるので覚えておきたい。

- ・必ず対照実験（ある条件に対する効果を調べるために、それ以外の条件を同じにして行う実験のこと）をする。これをしないとそもそも実験環境が実験に適しているかどうかさえわからないこともある。
- ・実験結果を比較するときは、必ずただ1つの条件のみが異なる実験結果同士を比較する。

それでは、これらを踏まえて2つの実験を見ていこう。

実験 1

胚のうの種類	死滅させた細胞	花粉管の誘引	実験記号
未受精の胚のう	なし	あり	A
	卵細胞	あり	B
	中央細胞	あり	C
	助細胞 1 個	あり	D
	助細胞 2 個	なし	E
受精後の胚のう	なし	なし	F

わかりやすくするために上表のように各実験に A ~ F の記号を振ろう。

実験 A が対照実験なので、実験 A を基点に比較していく。

実験の結果からわかることは次の通りである。

- ・実験 A と実験 B の比較により、卵細胞の生死は花粉管の誘引に関係がないことがわかる。
- ・実験 A と実験 C の比較により、中央細胞の生死は花粉管の誘引に関係がないことがわかる。
- ・実験 A と実験 D、実験 E の比較により、助細胞が1つ死んでいても花粉管の誘引に支障はないが、助細胞が2つとも死んでいると花粉管が誘引されないことがわかる。言い換えると、花粉管の誘引には助細胞が最低1

つは必要である。

- ・実験 A と実験 F の比較により、受精すると胚のうは花粉管の誘引能力を失うことがわかる。

ここから「受精後の胚のうからは助細胞が2つとも失われているために花粉管を誘引できないのではないか」という仮説を立てることができる。

以上より、実験 1 から得られる考察について正しく述べた選択肢は③であると考えられる。ただし、この実験では反足細胞の影響が調べられていないことや、受精後に助細胞以外の細胞の性質が変化していないか調べられていないことから、厳密にはこの実験のみから「花粉管の誘引に必要な細胞は助細胞でありその誘引活性は受精後に失われる」という結論を出すことはできない。反足細胞も花粉管の誘引に必要な可能性や、受精後も助細胞は誘引活性を維持しているが受精卵が忌避活性をもつようになる可能性を否定できないからである。反足細胞も死滅させる実験や受精後の胚のうの各細胞を死滅させる実験、より直接的なものとしては助細胞を2つとも死滅させた未受精の胚のうに受精後の胚のうから取り出した助細胞を移植する実験が必要である。

実験 2

実験に用いた細胞の組み合わせ	精子の誘引	実験記号
テスト細胞, 未受精の卵細胞	あり	A
ろ胞細胞, 未受精の卵細胞	あり	B
テスト細胞, ろ胞細胞	なし	C
テスト細胞, ろ胞細胞, 受精した卵細胞	なし	D

今回、対照実験は問題文中に書かれている。テスト細胞とろ胞細胞に囲まれた未受精の卵細胞は精子を誘引する、というのがそれである。実験の比較からわかることは次の通りである。

- ・対照実験と実験 A の比較により、ろ胞細胞の有無は精子の誘引に関係ないことがわかる。
- ・対照実験と実験 B の比較によりテスト細胞の有無は精子の誘引に関係ないことがわかる。
- ・対照実験と実験 C の比較により未受精の卵細胞は精子の誘引に必要であることがわかる。
- ・対照実験と実験 D、加えて実験 C の比較により受精した卵細胞は精子の誘引活性を失っていることがわかる。

以上より、実験 2 から得られる考察について正しく述べた選択肢は①であると考えられる。必要な知識は少なく、問題文と図、表のみ見れば答えを導ける。実験考察は頻出であるので、実験結果を理論的に比較していく練習をしておこう。

B

問 3 4 正解は⑧

難易度 ★☆☆☆☆

解説

教科書で詳しく発生様式が述べられている動物はウニとカエルであるが、イモリの発生を同じ両生類であるカエルの発生と同様に考えることができるというのは想像に難くないだろう。同系統の生物が同様の発生をするというのは「個体発生は系統発生をくり返す」というヘッケルの反復説にも通じるところがある。**フォークト**が**原基分布図（予定運命図）**を明らかにするために用いたのがイモリであり、**スーパーマン**が**予定運命**の決定時期を調べたり**形成体**を発見したりするのに用いたのもイモリであることまで思い出せるとよいだろう。

精子は動物極側から卵に侵入する。動物極側は色素粒が多く色が黒く見える。受精後、卵の表層は精子侵入点側に 30° 回転する。これを**表層回転**という。表層回転によって、精子侵入点の向かい側に、もともと色素粒が多く黒かった場所に色素粒が少なく白っぽい表層がのっている、灰色の三日月形の部分が現れる。この部分を**灰色三日月環**という。

第一卵割は動物極、植物極、精子侵入点付近を通り、**灰色三日月環**を二分するように起こる。第二卵割は動物極、植物極を通り第一卵割と垂直に起こる。第三卵割は第一卵割とも第二卵割とも垂直に、赤道面よりも動物極寄りに起こる。これは植物極側には**卵黄**が多いためである。第一卵割後を 2 細胞期、第二卵割後を 4 細胞期、第三卵割後を 8 細胞期とよぶ。これ以降は複数の卵割が同時に起こる。

卵割が進んでいくと内部の動物極寄りに**卵割腔**という空間ができる。この頃の胚を**桑実胚**といい、時期を**桑実胚期**とよぶ。

さらに卵割が進むにつれて割球が小さくなり、胚表面はなめらかになり、卵割腔は**胞胚腔**とよばれるようになる。この頃の胚を**胞胚**といい、時期を**胞胚期**とよぶ。

その後、灰色三日月環のあった場所の少し植物極側に**原口**が形成される。原口ができてからの胚を**原腸胚**とよぶ。原口部では表面の割球細胞が内部に入り込むように細長く変形している。やがて原口は陥入し**原腸**を形成する。原腸が拡大するにつれて胞胚腔は押しやられ、やがて消滅する。原腸の先端は将来口になり、原口は肛門となる。胚は予定運命ごとに表面を覆う**外胚葉**、原口から原腸沿いに伸びる**中胚葉**、胚内部の**内胚葉**に分かれる。原腸胚後期の原口の付近には一部内胚葉がはみ出しているような場所があり、卵黄栓という。原口ができてから原腸が陥入し終わるまでが**原腸胚期**である。

原腸胚期が終わると**神経胚期**になり、胚は**神経胚**とよばれるようになる。神経胚の背側の外胚葉に**神経板**ができる。神経板は神経しゅうに縁どられ、中心には胚の前後方向に神経溝が伸びている。神経しゅうは盛り上がって両端がつながり表皮となり、その内側で神経板はまるまって**神経管**になる。神経管は将来脳や脊髄といった**中枢神経系**になる。また背側の中胚葉では**脊索**が形成される。

やがて尾が伸び始めると胚は**尾芽胚**とよばれるようになる。**尾芽胚期**には臓器形成が完了し、やがてふ化する。

このような組織や器官の**分化**には**誘導**が関わっている。最初に起こる誘導は胞胚期における**中胚葉誘導**である。予定内胚葉は予定外胚葉から予定中胚葉が分化するのを誘導する。原口より少し動物極側の中胚葉に**原口背唇部**という部分がある。原口背唇部は原腸陥入とともに内部に入り込み、**脊索**に分化する。脊索は接する外胚葉から神経管を誘導する。これを**神経誘導**という。脊索はやがて退化する。原口背唇部のように隣接する別の組織を誘導するはたらきをもつ領域を**形成体**という。神経誘導によってできた神経管は前端が**脳**に分化し、残りの部分は

脊髄に分化する。神経管からは神経冠細胞とよばれる細胞群が生じ、胚内部に広がり感覚神経や交感神経を形成する。脳の前端には**眼胞**とよばれるふくらみができ、眼胞の先端はくぼんで**眼杯**になる。尾芽胚期になると眼杯は表皮から**水晶体**を誘導し、自身は**網膜**となる。さらに水晶体は表皮から**角膜**を誘導する。

すなわち、本問で取り上げられている6つを出現する順に並び替えると、

灰色三日月環（受精後の表層回転で形成される）→ 卵割腔（桑実胚期）→ 脊索（神経胚初期）→ 神経管（神経胚後期）→ 水晶体（尾芽胚期）→ 角膜（尾芽胚期に水晶体によって誘導される）

というようになる。

以上より、正解は⑧。灰色三日月環の形成は卵割が始まる前で卵割腔の形成は卵割が始まった後であること、脊索が神経管を誘導すること、水晶体が角膜を誘導することを知っていれば解答が導き出せる。発生分野では時系列順の発生の進行、そして何が何を何に誘導するのかを正確に覚える必要がある。

関連語句

➤ 予定運命

胚のそれぞれの部分が将来どのような組織や器官に分化するのかということ。

➤ 原基分布図

ドイツのフォークトによって考案された胚の各部分の予定運命を記した図。予定運命図ともいう。

◆ Check!!

各胚葉の分化

各胚葉はさまざまな組織や器官に分化する。細かくて覚えにくいですが、頻出であるのでしっかりと以下の表を暗記しておくようにしたい。種が異なっても各胚葉から分化する組織や器官はほぼ同じであることが知られている。

原腸胚中期	神経胚後期	尾芽胚後期
外胚葉	表皮	表皮, 外分泌腺, 水晶体 , 角膜
	神経管	脳, 脊髄, 網膜 , 運動神経, 副交感神経
	神経冠細胞	感覚神経, 交感神経
中胚葉	脊索	退化する
	体節	骨格, 骨格筋, 真皮
	腎節	腎臓
	側板	心臓, 血管, 血球, 内臓筋
内胚葉		肺, 気管, 消化管内壁, 肝臓, すい臓, ぼうこう

問 4 5 正解は③

難易度 ★★★☆☆

解説

ショウジョウバエの卵は内部に卵黄が多い**心黄卵**である。最初、卵割は起こらず核分裂のみが起こり、内部で核が増える。核は徐々に表層に移動して並んでいき、あるタイミングで一斉に表層の核すべてが細胞膜で仕切られる。また後端には極細胞ができ、後に**始原生殖細胞**になる。内部の卵黄を表層の細胞が取り囲んでいる状態が**胞胚期**である。その後**原腸**が陥入して**原腸胚期**になる。そして体節構造ができる。

ショウジョウバエの前後軸を決定するのは母親由来の mRNA から翻訳されたタンパク質の**濃度勾配**である。このような母親由来の発生調節遺伝子を**母性効果遺伝子**という。母親の体内で卵が形成されるとき、卵の前端には**ビコイド遺伝子**の、後端には**ナノス遺伝子**の mRNA が蓄積される。翻訳されたビコイドとナノスは濃度勾配を形成するため、ビコイドとナノスの濃度によって**予定運命**が1通りに決定できる。また背腹軸を決定するのはドーサルタンパク質である。体節を分ける遺伝子は、はたらく順番に、ギャップ遺伝子、ペア・ルール遺伝子、セグメント・ポラリティ遺伝子である。これらの遺伝子は徐々に細かく体節を分け、最終的に 14 個の体節が形成される。体節ごとの分化を制御しているのが**ホメオティック遺伝子**である。

ホメオティック遺伝子に変異があると、ある体節が別の体節の予定運命に従って分化してしまうことがある。例えばホメオティック遺伝子の一種であるアンテナペディア遺伝子が頭部で発現すると触角の代わりに脚が形成され、バイソラックス遺伝子に変異があると翅が 4 枚できる。ホメオティック遺伝子は脊椎動物などでも見つっており、しかもショウジョウバエのものと塩基配列が類似している。

前端に蓄えられる mRNA の量を半分にすると、タンパク質 X の濃度勾配は急になり、頭部と胸部の境界になるようなタンパク質 X の濃度が生じる位置は前端に動く。同様に前端に蓄えられる mRNA の量を 2 倍にすると、タンパク質 X の濃度勾配は緩やかになり、頭部と胸部の境界になるようなタンパク質 X の濃度が生じる位置は後端に動く。

したがって正解は③。ショウジョウバエの前後方向の分化が**母性効果遺伝子**から翻訳されたタンパク質の濃度勾配によるものであると知っていれば簡単であるが、知らない受験生も多かったのではないだろうか。

問 5 6 正解は⑧

難易度 ★★★★★

解説

ヘテロ接合体同士を交雑すると、(野生型) : (ヘテロ接合体) : (異常な対立遺伝子のホモ接合体) = 1 : 2 : 1 の比率で次世代が得られる。ちなみに、この世代を F1 と置くと F1 はヘテロ接合体の母親から生まれているので蓄えられる mRNA の量は半分であり、頭部が小さくなる。F1 のメスと異常な対立遺伝子のホモ接合体のオスを交配したとき、次世代 F2 の原腸胚の形態は母親である F1 のメスの遺伝子型のみによって決まる。よって、正常 : 異常 = 1 : 3 である。

以上より正解は⑧。母性効果遺伝子の特性上、次世代の表現型は母親の遺伝子型で決定されることを理解していれば正しい答えが導き出せる。F2の表現型を調べるなどして時間をロスするのは避けたい。原腸胚の表現型が問われているので、原腸胚期以降に致死する個体も数えることに注意する。このパターンの遺伝には慣れていない受験生が多く難しかったと思われる。

ちなみに、F2の遺伝子型と表現型は以下のようになる。

母親 (存在比) \ 父親	異常な対立遺伝子のホモ接合体
野生型 (1)	ヘテロ接合体のみ 見た目は正常に発生
ヘテロ接合体 (2)	ヘテロ接合体 : 異常な対立遺伝子のホモ接合体 = 1 : 1 頭部の小さい異常個体が発生
異常な対立遺伝子のホモ接合体 (1)	異常な対立遺伝子のホモ接合体のみ 原腸胚期のあとしばらくして致死

ふ化した個体は正常 : 異常 = 1 : 2 となる。

(制作 : 熊井勇介, 西川尚吾)

2015年度 センター試験 本試験 生物

第3問 筋肉の収縮，トウモロコシのオーキシンに対する応答

出題範囲	筋肉・植物ホルモン
難易度	★★★☆☆
所要時間	6分
傾向と対策	第3問の問題Aでは筋収縮が，Bでは植物ホルモンが取り上げられている。生物の環境応答というくりではあるが，一見まったく違う分野からの出題であるので，戸惑った人も多いかもしれない。パッと切り替えて問題を解くようにすることが大事である。問題の難易度はすべて標準程度であるから，焦らずに集中して解くようにしたい。広い分野の知識を試されるので，自分に知識が定着しているか確認する良い機会である。

A

問1 正解は⑤

難易度 ★★★☆☆

解説

脊椎動物の筋肉には運動に関わる**骨格筋**，心臓を動かす**心筋**，内臓のぜん動に関わる**内臓筋**の3種類がある。これらは**サルコメア（筋節）**の有無，意識して動かせるかどうか，1つの細胞内の核の数によって分類される。サルコメアのある筋肉を**横紋筋**，サルコメアのない筋肉を**平滑筋**という。横紋筋では**アクチンフィラメント**と**ミオシンフィラメント**が規則正しく整列しておりサルコメアが縞模様として確認できるのに対し，平滑筋ではサルコメアはみられない。また，意識して動かせる筋肉を**随意筋**，無意識に動く筋肉を**不随意筋**という。次の表でその違いを確認してほしい。

筋肉の種類	サルコメアの有無による分類	随意による分類	核の数	そのほかの特徴
骨格筋	横紋筋	随意筋	多核	収縮は速く，力は強いが，疲れやすい
心筋	横紋筋	不随意筋	単核	疲労がたまりにくく，生涯収縮・弛緩を続ける
内臓筋	平滑筋	不随意筋	単核	収縮は遅く，力は弱い，疲れにくい

筋繊維（筋細胞）とよばれる細長い細胞が束となったものを筋繊維束といい，筋繊維束が束となって骨格筋が形成される。筋繊維のなかには**筋原繊維**という細胞内構造がいくつか束となって存在し，筋収縮を引き起こしている。

筋原繊維は**アクチンフィラメント**，**ミオシンフィラメント**，**Z膜**からなる。アクチンフィラメントとミオシンフィラメントはそれぞれアクチンとミオシンというタンパク質が多数重合したものである。1つのミオシンフィラメントは2つのアクチンフィラメントに挟まれており，それぞれが先端の一部で重なっている。筋原繊維では，

細いアクチンフィラメントしかないため色の薄い**明帯**と太いミオシンフィラメントがあるため色の濃い**暗帯**が交互に並んでおり、アクチンフィラメントの中央にあるZ膜によって分けられるサルコメアは両端の明帯と中央の暗帯からなる。このサルコメアがたくさん連なったものが筋原繊維である。

筋繊維と**運動神経**は**シナプス**を形成している。運動神経末端からアセチルコリンが分泌され筋繊維の細胞膜上の受容体に結合すると、電気的興奮がT管を通して**筋小胞体**に伝わり、筋小胞体からカルシウムイオンが放出される。放出されたカルシウムイオンはトロポミオシンに結合しているトロポニンに結合する。トロポミオシンはアクチンフィラメントとミオシンフィラメントが結合するのを阻害しているが、カルシウムイオンがトロポニンに結合するとトロポミオシンのはたらきは阻害され、アクチンフィラメントとミオシンフィラメントは結合できるようになる。ミオシン頭部はATPを分解してADPにすることでエネルギーを得、頭部の構造を変化させてアクチンフィラメントと結合し手繰り寄せ、再び離れる。このようにしてアクチンフィラメントはミオシンフィラメント上を滑り、筋収縮が起こる（滑り説）。したがって、明帯は短くなるが暗帯の長さは一定である。

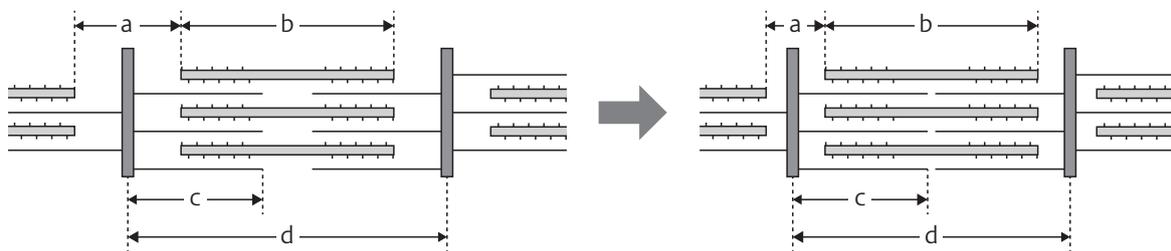
以上より、正解は ア に筋繊維, イ に筋原繊維, ウ に Ca^{2+} , エ にアクチン, オ にミオシンを選択している⑤。筋繊維と筋原繊維を混同しないように気をつけよう。細胞骨格であるアクチンフィラメントを含む筋原繊維や細胞小器官である筋小胞体, ミトコンドリア, 多数の核を内包している筋繊維は筋細胞ともよばれる細胞である。

問 2 2 正解は⑥

難易度 ★☆☆☆☆

解説

筋収縮時には**アクチンフィラメント**が**ミオシンフィラメント**上を滑る。アクチンフィラメントやミオシンフィラメントそのものが短くなるわけではなく、滑り込みによって重複部分が大きくなるのである。したがって短くなるのは**ミオシンフィラメント**間の距離である a, **筋節**の長さである d のみである。



筋収縮に伴う筋節の構造変化

以上より、正解は⑥。筋収縮の仕組みさえ覚えていれば容易に正答できる。

問 3 3 正解は②

難易度 ★★★☆☆

解説

選択肢を順に確認していけばよい。

- ① 誤 「**運動神経**からの刺激」が運動神経からの**アセチルコリン**の分泌である。アセチルコリンが神経伝達物質であることから即刻却下できる選択肢であろう。
- ② 正 **ミオシン**頭部は ATP と結合し加水分解して ADP にすることでエネルギーを得、頭部の構造を変化させて**アクチンフィラメント**と結合し手繰り寄せ、再び離れる。このようにしてアクチンフィラメントは**ミオシンフィラメント**上を滑り、筋収縮が起こる。
- ③ 誤 収縮期にトロポニンと結合していた Ca^{2+} は弛緩期に入ると徐々に**筋小胞体**に回収されていき、 Ca^{2+} を離したトロポニンが増え、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阻害するようになったトロポミオシンが増える。したがって細胞質基質の Ca^{2+} 濃度は減少する。
- ④ 誤 弛緩期にはトロポミオシンが再びアクチンとミオシンの結合を阻害するようになる。
- ⑤ 誤 **単収縮**中に受けた刺激も筋収縮に反映され、**不完全強縮**や**完全強縮**が起こる。

以上より、正解は②。筋収縮の仕組みについて正確に理解していれば正答できる。用語と時系列を正確に覚えよう。

重要語句

➤単収縮

骨格筋が運動神経による興奮の伝達を 1 回だけ受けたときの筋収縮。

➤不完全強縮

ある程度間隔をあけて連続して興奮が伝達された際に、単収縮が重なり、ピークを複数もつが全体としては単収縮よりも大きな 1 つの収縮に見えるような筋収縮。

➤完全強縮

ほとんど間隔を空けずに連続して興奮が伝達された際に起こる、1 つの大きなピークをもつ筋収縮。人体の骨格筋で一般に見られる筋収縮は完全強縮によるものが多い。

B

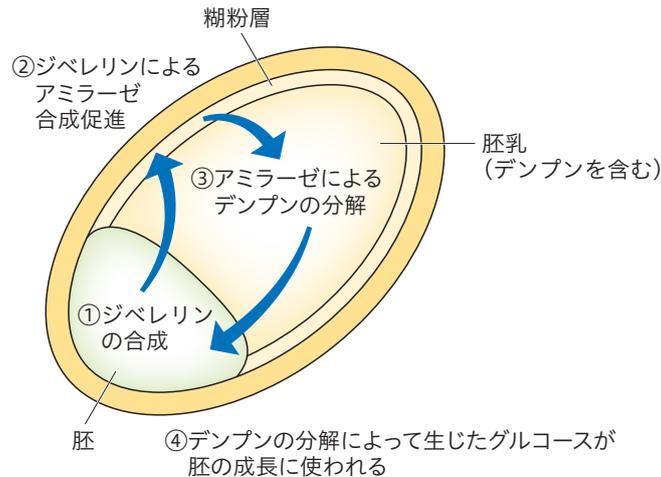
問 4 4 正解は②

難易度 ★★★☆☆

解説

植物ホルモンである**ジベレリン**は種子の休眠を打破し発芽を促進するはたらきをもつ。ジベレリンの合成は胚で行われる。ジベレリンは**糊粉層**^{こふんそう}という部位にある細胞に作用しアミラーゼ遺伝子を発現させる。合成された**アミラーゼ**は分泌され、糊粉層に包まれた胚乳に大量に含まれているデンプンを分解し、グルコースが生産され

る。生産されたグルコースは胚の成長に利用される。一方で、**アブシジン酸**とよばれる植物ホルモンはジベレリンのはたらきを抑制し種子の休眠を維持するはたらきをもつ。



種子休眠打破のメカニズム

ちなみに、ジベレリンはイネの草丈が異常に高くなりひ弱で収量が悪い株になる感染症を引き起こす馬鹿苗病菌から、黒沢英一によって発見された。またジベレリンは未受粉の子房を成長させ実を結ばせる（**単為結実**させる）はたらきももつため、種無しブドウの作製にも用いられる。

以上より、正解は キ に糊粉層、ク にアミラーゼ、ケ にデンプンを選択している②。ケ の分解産物を利用して胚が成長することからも、ケ にデンプンが入るのはすぐにわかるだろう。

デンプンの分解産物であるグルコースは種子の発芽時にとってとても重要な呼吸基質である。またデンプン分解酵素であるアミラーゼとともに、デンプンが構造によって**アミロース**と**アミロペクチン**に分類されることも覚えておこう。ちなみに外れ選択肢の**トリプシン**はタンパク質分解酵素であり、弱塩基性条件下で活性が高くなる。

問 5 5 ・ 6 正解は②・⑤（順不同）

難易度 ★★☆☆☆

解説

まず図 4 を見てみよう。コとサの比較から、**オーキシン**は、

仮説 a：重力に従って移動する

仮説 b：f → e の方向に移動する

のどちらかの傾向をもつという仮説が立てられる。コとシの比較から、仮説 a は誤りであり仮説 b が正しいことがわかる。仮説 b がスの結果も説明できることも忘れずに確かめよう。

次に図 5 を見てみよう。シにおける**オーキシン**の移動速度は、オーキシンが f から e まで 6mm 移動するのに 1 時間かかっていることから、6mm/時であることがわかる。

以上より、正解は②と⑤である。図 5 の見方に気を付けよう。

◆ Check!!

オーキシン

オーキシンは主に植物の組織の伸長成長に関わる植物ホルモンである。オーキシンは総称であり、植物が合成する天然のオーキシンである**インドール酢酸** (IAA)，人工的に合成されるナフタレン酢酸や2,4-Dなどが含まれる。

オーキシン濃度が0から最適濃度まで上がるにつれて植物の組織の伸長成長は促進されていくが、最適濃度よりも高くなると伸長成長の促進は弱まり、最終的には伸長成長が抑制されるようになる。この最適濃度は植物の組織によって異なる。一般に、オーキシンは頂芽で合成され、最適濃度は高い順に茎、芽、根である。

オーキシンの植物内での分布は植物の成長の調節に大きな役割を果たしている。例えば、幼葉鞘の**光屈性**はオーキシンによって調節されている。光の当たらない側でオーキシン濃度が高くなることによって、光の当たらない側の成長がより促進され、**正の光屈性**が生じる。これらはダーウィン父子、ボイセン・イエンセン、パール、ウェントらの研究によって突き止められた。

また、芽ばえの**重力屈性**もオーキシンによって調節されている。植物の伸長方向に対して垂直な重力を感知し、茎を横切る方向にオーキシンを輸送する機構が存在する。具体的には、芽ばえの芽と根が重力の方向と垂直に伸びたとき、オーキシンは重力方向に移動し茎の重力方向側に局在するようになる。前述したように植物の組織のオーキシン感受性はそれぞれ異なり、最適濃度がそれぞれ存在する。オーキシンの最適濃度が高い順に茎、芽、根となっている。茎では重力方向側のオーキシン濃度が高くなって最適濃度に近づき、成長は促進され、茎は**負の重力屈性**を示す。根では重力方向側のオーキシン濃度が高くなって最適濃度を超えてゆき、成長は抑制され、根は**正の重力屈性**を示す。

これらの伸長方向に対して垂直な移動のほかにも、芽で合成されたオーキシンは重力の方向に関わらず根の方向にのみ輸送されるという伸長方向に対して平行な移動特性もある。このような方向性の定まった物質の移動を**極性移動**といい、オーキシンのさまざまな極性移動には輸送タンパク質が関わっているとされている。

それ以外にも、頂芽で合成されたオーキシンが側芽の成長を抑制する**頂芽優勢**という特性もある。またオーキシンは**サイトカイニン**と協働して植物組織を**脱分化**させて**カルス**を形成したり逆にカルスを分化させたりといったような、細胞の分化にも大きな役割を果たしている。

(制作：熊井勇介，西川尚吾)

2015年度 センター試験 本試験 生物

第4問 個体群の大きさと生存曲線、異なるハナバチの種間関係

出題範囲	個体群・生物群集・種間関係
難易度	★★☆☆☆
所要時間	8分
傾向と対策	第4問のAでは個体群と生存に関する基礎的な問題、Bでは個体群同士の関係に関する問題が出題されている。Aの問1などは用語を知ってさえいれば即答できる問題で、問2、3も問題集や教科書に必ず載っている基礎的な問題なので確実に取りたい。Bは、題材は見慣れない生物かもしれないが、落ち着いて問題文を読んで情報を拾っていけば確実に得点できる問題なので焦らず解答しよう。

A

問1 正解は③

難易度 ★☆☆☆☆

解説

「最終収量一定の法則」という用語を知っていれば、すぐに正答の③を選べるはずである。最終収量一定の法則とは、「ある一定の領域内では植物が十分に成長した後では、植物の個体群全体の総重量は、最初に蒔いた種子の密度に関係なくほぼ一定になる」という法則である。

極端な低密度や高密度がこの仮定から省かれているのは、まず低密度の場合でもいくら資源（水や根を伸ばすスペースなど）が与えられても各個体が成長できる限界が存在するため（例えば人間でもいくら食べても身長が10メートルを超す人や体重が1トン以上ある人はいない）、極端な低密度では個体群全体の最終的な収量は小さくなるためである。逆に、極端な高密度でも種子をまくとそもそも1個体あたりの資源が小さすぎて、個体が十分に成長できないまま共倒れしてしまうためである。そういうわけで、極端な低密度や高密度の場合は省かれている。

◆ Check!!

最終収量一定の法則の要因

メカニズムとしては、高密度の個体群ではすぐ近くの個体と競争が起こり、成長の悪かった個体が間引かれることが挙げられる。しかし、結局のところ一番は、単純に一定の面積内で得られる資源が一定に制限されていることに起因する。ある一定の領域で得られる太陽光や無機塩類などが個体群密度に依存せず一定なので、個体群全体として成長に回せる資源も個体群密度に関わらず一定である。だから、個体群密度が低いほど1個体あたりの重量は大きくなる。なぜなら、低密度のほうが使える資源の制限が少ないからである（周りの個体とぶつからずに葉を広げてより多くの太陽光を受け取れるし、無機塩類も単純に割り算すればより多くの量が1個体に割り当てられることがわかる）。

◆ コラム

ロジスティック成長モデル

個体群密度に依存する効果（**密度効果**）は動物でも起こる。最も広く知られているのはロジスティック成長モデルとよばれる個体群の成長のモデルだ。このモデルでは、ある一定の領域でのある生物種の個体数 N の時間依存は以下のような式で表される。

$$\frac{dN}{dt} = r_{\max} N \frac{K - N}{K}$$

ここで定数 K はその環境が支えきれ最大の個体数（環境収容力）、 r_{\max} は1個体あたりの最大の増殖率を示す。このモデルでは、個体数が増えるにしたがって個体数に対する増加率 $\frac{1}{N} \frac{dN}{dt} = r_{\max} \frac{K - N}{K}$ は小さくなる。つまり、密度が大きいほど増殖しにくくなることがわかる。実際の生物ではこの減少はさまざまな要因によって起こる。例えば、アズキゾウムシでは個体群密度が増すほど卵が踏みつけられやすくなり、ふ化率が低下することで増殖率が低下すると考えられている。

問 2 正解は⑧

難易度 ★★☆☆☆

解説

ウ～カの各記述について正誤を確認すればよい。

ウ 誤 a 型の成長曲線では、多くの個体が比較的長く生きていることがわかる。水生脊椎動物や魚類は大量に

産卵してその卵を放置するために、多くの個体が若いうちに捕食などによって死んでしまい、生殖年齢に達する個体数は少なく、この型には当てはまらない。

エ 誤 生存個体数の目盛が対数目盛であることに注意する。縦軸が対数目盛の片対数グラフ上での直線は増加(減少)率が一定である。b型は直線なので死亡率は一定だが死亡数は一定ではない。

オ 正 c型では、2 齢になるまでに個体数が 100 分の 1 以下にまで減少していることがわかる。多くの個体が生殖年齢に達することができない状況で、自分の血統を残すためには卵や子を相当数産む必要があるため、産卵数や産子数は非常に多いことがわかる（もし少なければ、高い死亡率から生殖可能年齢に達するまでにその個体の子はすべて死に、絶滅してしまうだろう）。

カ 正 年齢が低く、幼い時期というのは一番外敵や病害に弱い時期である。そのため、この時期の親の保護の有無は死亡率に大きく影響する。事実、親が子を授乳含め保護する哺乳類では a 型、先述の水生無脊椎動物や魚類では c 型になっている。

以上より、正解はオ、カを選択している⑧。図から読み取れることと教科書に書いてある知識をうまく組み合わせながら、選択肢を着実に確認することが大切である。

重要語句

➤生存曲線

生命表（ある生物種の年齢別の生存パターンをまとめた表）のデータをプロットしたもの。曲線の形によって大きく 3 パターンに分けられる。

	特徴	当てはまる生物
晩死型	少数の卵や子を産み、親の保護が手厚い。 若い時期の死亡率が低い (前問図 1 の a 型)	ヒトや大型哺乳類
平均型	中間型。年齢に関わらず死亡率一定 (前問図 1 の b 型)	トカゲなどのは虫類、ヒドラ
早死型	極めて多くの卵や子を産み、親の保護が ほぼない。若い時期の死亡率が高い (前問図 1 の c 型)	水生無脊椎動物（アサリやシオマネキなど）、 魚類のほとんど

両生類は平均型と早死型の中間で、陸生に近い種ほど平均型に近づく。

複合型の生物も存在する。例えば鳥類ではひなの時期の死亡率が高く、最初は早死型を示すが、親になると死亡率はほぼ一定になり平均型になる。また、カニのような無脊椎動物の一部では、生存曲線が階段状になることがある。これは脱皮のときに死亡率が上がり、それ以外の外骨格の硬い期間は死亡率が低くなるためである。昆虫はさまざまな型のものが存在する。

問 3 3 正解は④

難易度 ★★★☆☆

解説

生存曲線の各タイプは死亡率に特徴をもつということを押さえていけば、年齢が1つ上がるごとの死亡率の変化を確かめていけばよいことがわかる。

種 X

どの年齢層においても1つ年を取るごとの死亡率がおおよそ50%であることがわかる。よって、死亡率一定から平均型 (b 型) だとわかる。

種 Y

4 歳ぐらいまでの死亡率が20%以下で推移していて非常に低く、7→8 歳での死亡率が極めて高いので、若いころの死亡率が低い晩死型 (a 型) だとわかる。

以上より、正解は種 X を b 型、種 Y を a 型としている④である。知識がまったくなくても図や文章から読み取れることだけで正解できる。こういう問題は落としたいくない。

B

問 4 4 正解は④

難易度 ★★☆☆☆

解説

2 つの実験からわかることを整理してみる。

実験 1

エゾエンゴサクの1 個体について、^{とうみつ}盗蜜された花の割合とコマルハナバチが訪れた花の数には負の相関がある。つまり、コマルハナバチは盗蜜された花を避けていることがわかる。

実験 2

コマルハナバチとセイヨウオオマルハナバチ両方がいる場所のエゾエンゴサクの結実率はコマルハナバチだけがいる場所に比べ低い。

これらを元に選択肢を吟味していく。

まず選択肢の文の前半部分だが、これは実験 1 の結果からコマルハナバチは盗蜜されている花を避けるので③と④以外は誤答だとわかる。次に後半部分を見ると、セイヨウオオマルハナバチの存在による結実率の変化について書かれている。ここは実験 2 の結果よりセイヨウオオマルハナバチの存在は結実率を低下させるのがわかるので、正解は④ということがわかる。本問のような知識がまったくなくても少し考えればわかるこうした実験考察問題はできれば落としたいくない。

ちなみに、この問題で登場したセイヨウオオマルハナバチはもともと農作物の受粉作業のためにもち込まれて

いたが、野生化したものが在来種のマルハナバチ類を駆逐している。また、受粉をコマルハナバチなどに依存するエゾエンゴサクのような植物を減少させるという生態系への悪影響が深刻になったために、現在では国の特定外来生物に指定されており、主な定着地である北海道では継続的な監視と定期的な防除活動が行われている。このような在来種と外来種の競争はテーマとしてよく出題されるので、頭に入れておくとよいだろう。よく話題にあがる代表例としては、オオクチバス、フィリマングース、タイワンザルなどがある。興味があるならば、「日本の侵略的外来種ワースト 100」などを調べておくとよいだろう。

問 5 5 正解は⑦

難易度 ★★☆☆☆

解説

1 つずつ空欄を確認していけばよい。

- ク 直後の「蜜を吸われやすく」に注目する。蜜は花筒の一番奥に存在するので、当然花筒は短いほうが蜜を吸われやすい。
- ケ 花粉がどのような過程で昆虫の体に付着するかを考える。花筒の長い虫媒花では、昆虫が花筒の奥の蜜を吸おうと花筒の奥に顔を突っ込むことでそれより手前にあるやくに昆虫の体がぶつかり、その結果花粉が付着する。ところが花筒が短いと昆虫は口吻を伸ばすだけで花に触れることなく蜜を吸える。よって、花粉は付着しにくくなるはずである。
- コ 花粉が昆虫に付着しにくいので昆虫に花粉を運んでもらえる確率は低くなり当然繁殖においては不利である。
- サ 昆虫にとって口吻は長いほうが有利で、植物にとっても花筒は長いほうが有利なので、おそらく時間とともにそれぞれ長くなる方向に進化が進むだろう。このように異種間の相互作用によって異種が互いに進化していくことを**共進化**とよぶ。

ちなみに誤答の**収束進化**とは、系統的に遠縁な種が同じような環境下で同じような機能がそれぞれ独立して進化することを指す。収束進化の例としては、オーストラリアにのみ生息する有袋類はしばしば真獣類と類似した適応をもつ（フクロモモンガ〔有袋類〕－ムササビ〔真獣類〕など）。

以上より正解は⑦である。空欄に入る語を間違えていた場合、どこかで矛盾が生じるはずなので、解けたと思ったら一度完成した文を見直してみるとよい。

(制作：熊井勇介，西川尚吾)

2015年度 センター試験 本試験 生物

第5問 植物の進化, マイマイの突然変異

出題範囲	★★★★☆
難易度	進化・系統分類
所要時間	8分
傾向と対策	第5問のAでは進化の歴史, Bでは進化の仕組みについて出題された。Aでは地球史レベルでの進化の歴史や植物の系統分類学的な知識が問われ, そのあたりをしっかりと記憶しておかないと, 答えるのは難しい問題になっている。特に問1は生物の歴史に関する広範な知識が必要で, 正解できた人は少ないと思われる。Bでも問5は無脊椎動物の系統分類という受験生が慣れていないと思われる分野からの出題で難しい。一方, 問3, 4は問題文の情報からだけで解答を導き出せる比較的易しい問題なので, 自分の知識で解ける問題かどうか見極めることが重要である。

A

問1 1 2 正解は②・⑨ (順不同)

難易度 ★★★★★☆

解説

まず, 大まかな生物の歴史を復習していこう。

地質時代	年代	主な出来事
先カンブリア時代	冥王代	46億年前～ ・地球の誕生〔46億年前〕
	始生代	40(38)億年前～ ・原始的な生物の出現〔40億年前〕 ・生物の炭化物の痕跡〔38億年前〕 ・最古の細胞化石〔35億年前〕 ・シアノバクテリアの出現と繁栄 →ストロマトライト, 縞状鉄鉱層の形成〔30～20億年前〕
	原生代	25億年前～ ・最古の真核生物化石〔21億年前〕 ・エディアカラ生物群〔6～5.5億年前〕(現生のクラゲのような軟らかく扁平な体をした生物) ・藻類の出現

古生代	カンブリア紀	5.4 億年前～	<ul style="list-style-type: none"> ・ カンブリア紀の大爆発 ・ バージェス動物群 (三葉虫, 脊索動物など) (5 億年前) ・ チェンジャン動物群 (魚類 (無顎類) など) (5 億年前) ・ 藻類の繁栄 → オゾン層の形成
	オルドビス紀	4.9 億年前～	<ul style="list-style-type: none"> ・ 顎をもつ魚類の出現 ・ 植物の陸上進出 ・ フデিশ, 三葉虫の繁栄 (← 示準化石として利用可能) ・ 末期に大量絶滅が起こり, 三葉虫が衰退
	シルル紀	4.4 億年前～	<ul style="list-style-type: none"> ・ 最古の陸生の植物体化石 (クックソニア) ・ 維管束植物の出現 (リニアなど, シダ植物の祖先) ・ 昆虫類の出現 (動物の陸上進出) (4.2 億年前)
	デボン紀	4.2 億年前～	<ul style="list-style-type: none"> ・ 大型のシダ植物出現 ・ 裸子植物の出現 ・ 両生類の出現 (イクチオステガなど) (3.6 億年前) ・ 末期に大量絶滅
	石炭紀	3.6 億年前～	<ul style="list-style-type: none"> ・ シダ植物 (ロボク, リンボク, フウインボク) の大森林 ・ 両生類の繁栄 ・ は虫類の出現 (3.5 億年前)
	ペルム紀 (二畳紀)	3.0 億年前～	<ul style="list-style-type: none"> ・ は虫類が発展, 放散 ・ 末期に最大の大量絶滅 (海洋生物種のうち最大 96% が絶滅)
中生代	三畳紀 (トリアス紀)	2.5 億年前～	<ul style="list-style-type: none"> ・ 哺乳類の出現 ・ 末期に大量絶滅 (のちの恐竜の発展につながる)
	ジュラ紀	2.0 億年前～	<ul style="list-style-type: none"> ・ 裸子植物の繁栄 ・ は虫類 (恐竜など) の繁栄 ・ アンモナイト類の繁栄 (← 示準化石として利用可能) ・ 鳥類の出現
	白亜紀	1.4 億年前～	<ul style="list-style-type: none"> ・ 被子植物の出現 ・ 末期に大量絶滅 (恐竜類, アンモナイト類が完全に絶滅)
新生代	古第三紀	6600 万年前～	<ul style="list-style-type: none"> ・ 被子植物の繁栄 ・ 哺乳類の多様化と繁栄
	新第三紀	2300 万年前～	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人類の出現 (700 万年前)
	第四紀	260 万年前～	<ul style="list-style-type: none"> ・ 草本植物の発達と草原の拡大 ・ ヒト (ホモ・サピエンス) の誕生 (20 万年前)

以上を踏まえて選択肢の検討をしていく。

- ① 誤 脊椎動物の陸上進出は両生類の出現したデボン紀, 植物の陸上進出はオルドビス紀である。
- ② **正** アンモナイト類は中生代末に絶滅した (年表の通り)。
- ③ 誤 エディアカラ生物群は古生代より前の原生代の生物群である。
- ④ 誤 哺乳類の出現は中生代三畳紀である。
- ⑤ 誤 クックソニアは維管束をもたない。クックソニアではなくリニアであれば正解である。

- ⑥ 誤 クックソニアは種子をつけない。種子をつけるのは裸子植物以降である。
- ⑦ 誤 硬骨魚類は古生代に出現した。
- ⑧ 誤 軟骨魚類は古生代に出現した。
- ⑨ 正 木生シダ類の繁栄は石炭紀で、これはは虫類の出現時期と同じである。

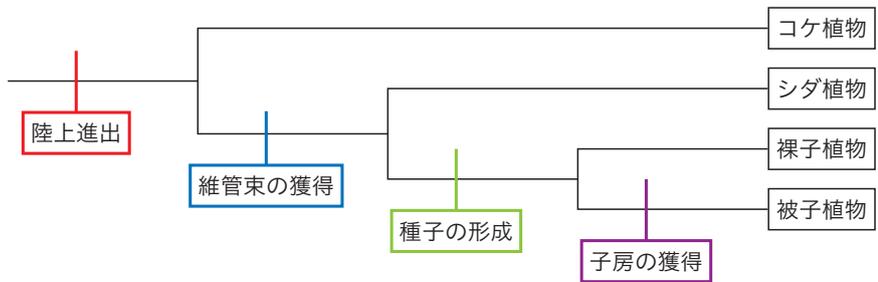
以上より、正解は②、⑨。進化の歴史が頭に入っていないと難しい。表を丸暗記するよりも、例えば植物や脊椎動物など、テーマごとに注目して流れをつかむほうが頭に入りやすいかもしれない。

問2 2 正解は②

難易度 ★★★★★☆

解説

まず、陸上植物の系統樹を確認しよう。



次にそれぞれの植物の特徴を簡単に述べる。

	維管束をもつ	種子をつくる	子房をもつ
コケ植物	×	×	×
シダ植物	○	×	×
裸子植物	○	○	×
被子植物	○	○	○

以上を踏まえて選択肢を検討する。

- ① 誤 コケ植物は維管束をもたない。
- ② 正 シャジクモ藻類は陸上植物に最も近縁だとされる藻類である。
- ③ 誤 被子植物では**重複受精**が行われ、受精するまでは胚乳が発達しない。これにより、受精しなかった分の胚乳は成長しないので限られた栄養を効率的に使えるようになった。
- ④ 誤 イチョウは裸子植物で、裸子植物は子房をもたない。
- ⑤ 誤 ヒカゲノカズラ類はシダ植物に分類され、種子を形成しない。
- ⑥ 誤 シダ植物は維管束をもち、根・茎・葉がそれぞれ分化している。

以上より、正解は②。②と⑤の選択肢の正誤判断がやや難しい。本番では一か八かでどちらかを選択するしかないような問題である。このような問題に時間をかけすぎないようにしよう。

重要語句

➤重複受精

被子植物の花粉は柱頭につくと花粉管を伸ばし、その中で雄原細胞が細胞分裂して2つの精核が生じる。そのうち1つの精核が卵核 (n) と融合し、受精卵の核 (2n) となる。もう1つの精核は中央細胞の2個の極核 (n) と融合して胚乳核 (3n) となる。ほぼ同時期に2カ所で核が融合することから、重複受精とよばれる。

B

問3 3 正解は①

難易度 ★☆☆☆☆

解説

問題文から読み取れる条件を整理する。

- ・ある種のマイマイは普通右巻き、突然変異で左巻き
- ・交尾は右巻き同士、左巻き同士それぞれでしか成功しない（生殖的隔離）
- ・天敵のヘビは右巻きのみを食べることができる

ここで、「集団として定着する」とは左巻きマイマイが何世代にもわたって安定して存在するようになることなので、左巻きマイマイが交尾に成功して次世代を残し続けることが必要条件である。これを踏まえて選択肢を見ていく。

- ① 正 左巻きマイマイは左巻きマイマイとしか交尾できないので子孫を残すためには左巻きマイマイが同世代に複数存在する必要がある。
- ② 誤 右巻きマイマイが減っても左巻きマイマイが増えるわけではない。左巻きマイマイの交尾が成功する確率は左巻きマイマイの生息数にだけ依存する。
- ③ 誤 突然変異で右巻きマイマイが発生しても左巻きマイマイが増えるわけではない。
- ④ 誤 右巻きマイマイの移動が妨げられても左巻きマイマイの交尾が成功する確率は変わらない。
- ⑤ 誤 左巻きマイマイの移動が制限されると同じ左巻きマイマイを探せる範囲が減るので交尾が成功する確率は下がる。

よって正解は①である。問題文を読めば確実にわかるタイプの問題なのでしっかりと正解したい。

問 4 4 正解は⑦

難易度 ★★☆☆☆

解説

問 3 の続きの設問である。追加された条件としては、

- ・ 右巻きと左巻きがともに集団として定着した。
- ・ ナメクジが侵入，数年間大発生しその結果，ヘビがナメクジを食べるようになった。
- ・ ヘビはナメクジとマイマイの両方がいるときはナメクジを選択的に捕食する。
- ・ ナメクジ，左巻き，右巻きのそれぞれの間に資源競争はない。

以上のことから，それぞれの個体数の変動について調べていけばよい。

- ・ ナメクジの大発生前後での右巻きマイマイの個体数

ナメクジや各マイマイが資源競争をしていないのでナメクジの増加自体によるマイマイの生息数への影響はない。しかしながら，ナメクジがいる環境下ではヘビは選択的にナメクジを食べるので右巻きマイマイの被食量は減るはずである。よって，右巻きマイマイの個体数は**増加する**はずである。

- ・ ナメクジの駆除の前後での右巻きマイマイの個体数

ナメクジの駆除自体によるマイマイの生息数への影響は先程と同様でない。一方で，ナメクジがいなくなったのでヘビは再び右巻きマイマイのみを捕食するようになる。よって，右巻きマイマイの被食量が増えるので個体数は**減少する**はずである。

- ・ ナメクジの駆除の前後での左巻きマイマイの個体数

ナメクジの個体数や右巻きマイマイの個体数の増減そのものに左巻きマイマイの個体数が影響されないのは先程と同じである。さらに，左巻きマイマイをヘビは捕食できないので左巻きマイマイの被食量はナメクジ駆除前後で0のまま変わらない。よって，左巻きマイマイの個体数はナメクジ駆除前後で**変化しない**はずである。

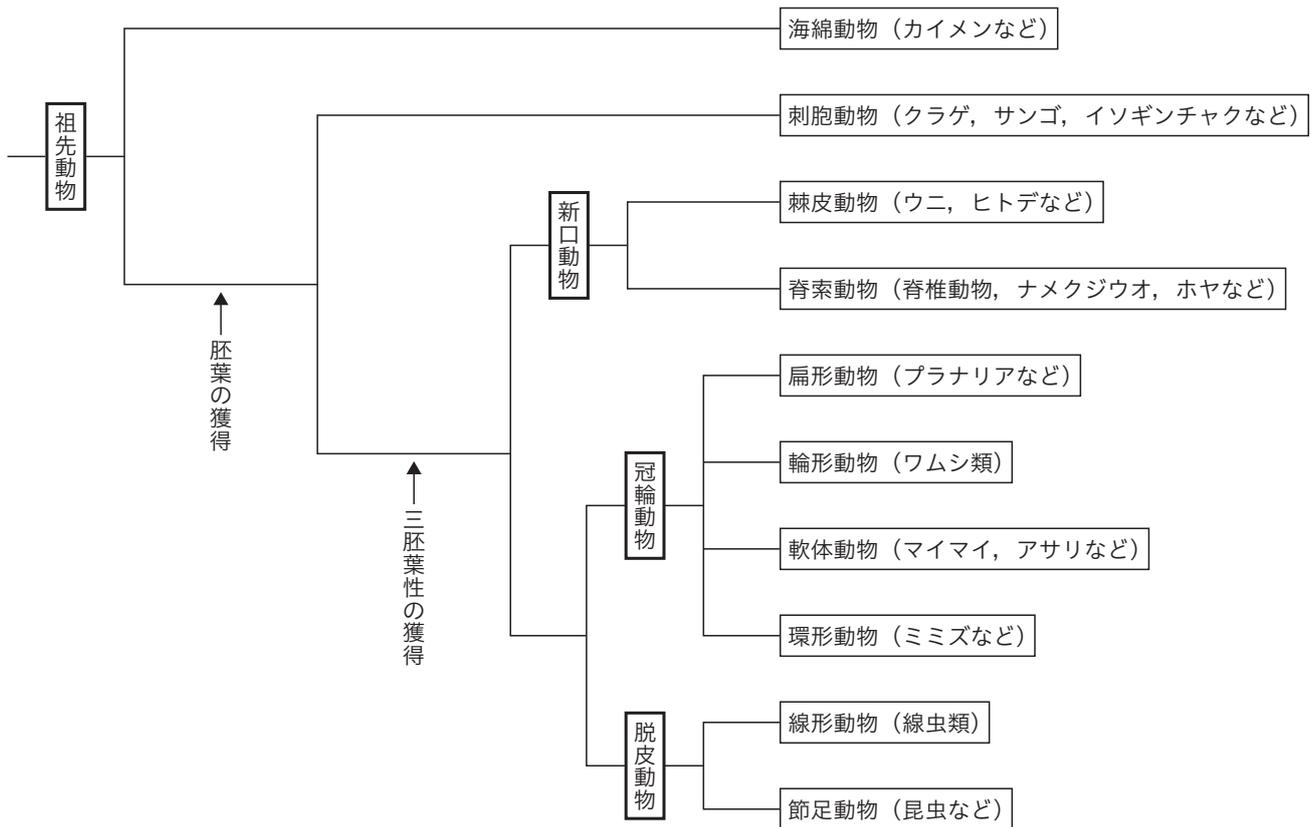
以上より正解は⑦である。少し難しいかもしれないが関係を理解して落とさないようにしたい。

問 5 5 正解は④

難易度 ★★★★★

解説

以下に分子的データ（各生物のゲノムのデータ比較）に基づく系統樹を掲げておく。



前の図を見ながら、

- ・マイマイ → 軟体動物
- ・カイメン → 海綿動物
- ・イソギンチャク → 刺胞動物
- ・ヘビ → 脊索動物
- ・ザリガニ → 節足動物
- ・ヒトデ → 棘皮動物
- ・ミミズ → 環形動物
- ・センチュウ → 線形動物

の対応が取れれば、

- a. カイメン
- b. イソギンチャク
- c. ヘビ
- d. マイマイ
- e. ザリガニ

となり、正解は d を選択している④だとわかる。知っていればすぐに解ける問題ではあるが、要求されている知識が多くなかなか難しいと思う。センターで満点を狙うならこの程度の問題が出題されることも踏まえ対策をとるべきだろう。

ちなみに、マイマイ、カイメン、イソギンチャク、ヘビ、ザリガニは次の写真のような動物である。



マイマイ



カイメン



イソギンチャク



ヘビ



ザリガニ

問題に出てきた生物で知らないものが出てきたらぜひインターネットや図鑑を利用して調べるようにしてほしい。名前だけを覚えるほどつまらない勉強はない。その生物の姿を一目でも見れば、例えば生物の分類などに対する理解はさらに深まるだろう。

(制作：熊井勇介，西川尚吾)

2015年度 センター試験 本試験 生物

第6問 ヒト－ブタ間の異種間臓器移植

出題範囲	免疫・遺伝子発現・バイオテクノロジー
難易度	★★★★☆
所要時間	5分
傾向と対策	第6問は臓器移植をテーマに免疫、転写調節、バイオテクノロジーの幅広い分野から出題されている。しかしどの設問もそこまで深い知識は要求されていない。問1、問2はすべて教科書レベルの問題で、問題集でも典型的な問題としてしばしば取り上げられる題材である。問3については昨今話題のiPS細胞についての問題である。ニュースでもよく臓器移植への応用といったことは取り上げられているので、社会や時事問題に目を向けていれば確実に正解できる問題だろう。

A

問1 正解は④

難易度 ★★★★★

解説

選択肢を順に確認する。

- ① 誤 可変部、定常部はL鎖・H鎖両方に存在する。
- ② 誤 ワクチンには通常不活化した病原体が用いられる。免疫グロブリンを産生するのはワクチンを接種した患者自身である。不活化した病原体に対して獲得免疫反応が起こることで、記憶B細胞や記憶キラーT細胞による**免疫記憶**が形成され、次に病原体が侵入したときに迅速に対処できる（**二次応答**）。
- ③ 誤 **リンパ球**にはT細胞やB細胞などが含まれる。**抗原提示**とは、細胞が細胞内の抗原となるタンパク質を細胞表面に提示することである。高校生物ではもっぱら、**樹状細胞**（樹状細胞が主だがマクロファージも行う）が食作用で取り込んだ異物の一部を細胞表面に提示し、ヘルパーT細胞に抗原として認識させることを指す。ヘルパーT細胞は抗原提示を受けて抗原を認識すると、B細胞やキラーT細胞に指令を出す。

ちなみに、リンパ球のうちB細胞は抗原提示を行う。B細胞は樹状細胞からの抗原提示を受けたヘルパーT細胞のはたらきにより活性化するが、この過程においてB細胞は抗原提示を行う。B細胞は自身が産生する抗体と同じ構造をもつ受容体をもっている。この受容体に抗原となる異物が結合すると、B細胞は異物を取り込み、その断片を細胞表面に提示する（抗原提示）。抗原提示を行ったB細胞およびそれと同じ抗原を樹状細胞の抗原提示によって認識したヘルパーT細胞が出会うと、ヘルパーT細胞からB細胞を活性化する物質が分泌され、B細胞が活性化する。

このようにリンパ球のうちB細胞は抗原提示を行うが、すべてのリンパ球が抗原提示を行うわけではないので、この選択肢は誤りとしてよいだろう。

- ④ 正 リンパ球はすべて骨髄の幹細胞に由来する。その一部が胸腺へ移動し、成熟すると T 細胞になる。骨髄に残ったものは B 細胞へと分化する。
- ⑤ 誤 細胞性免疫，体液性免疫はともに獲得免疫である。

以上から確実に正しい④を選べばよいだろう。

重要語句

➤免疫

病原体などの異物の体内への侵入を防いだり，侵入してきた異物を非自己と認識して排除する機構。

➤自然免疫

生まれながらにして備わっている免疫機構。不特定の異物に対して非特異的にはたらくが，素早くはたらく機構である。

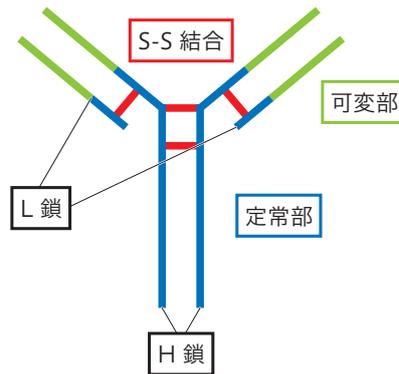
➤獲得免疫

生後，体内に異物が侵入することによって獲得される免疫機構。反応自体は遅いが，特定の異物に対して特異的にはたらく機構である。

◆ Check!!

抗体の構造とはたらき

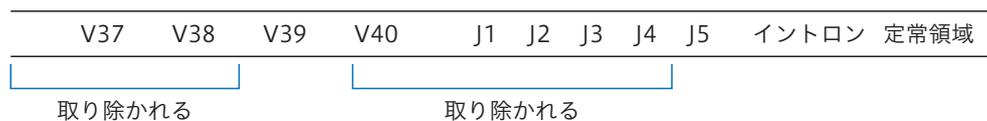
抗体の構造は **H 鎖**（重鎖, heavy chain）と **L 鎖**（軽鎖, light chain）が2本ずつ、S-S 結合（ジスルフィド結合）で結合された Y 字型の構造である。H 鎖、L 鎖それぞれの基部は**定常部**、先端部は**可変部**で、可変部の先端の抗原結合部位と抗原が特異的に結合する。可変部のペプチドと立体構造は抗体によって異っており、さまざまな抗原に対応している。



抗体の構造

抗体の多様性は B 細胞の特殊な遺伝子の再編成によって保たれる。L 鎖の遺伝子領域には V, J 領域, H 鎖の遺伝子領域には V, D, J 領域とよばれる 2 種ないし 3 種の遺伝子領域が存在し、各遺伝子領域内には何種かの遺伝子断片が含まれている。B 細胞が分化するときには、無作為に各領域から遺伝子断片が1つずつ選ばれ、その間の配列が取り除かれる。L 鎖の例を下に示す。

未分化な B 細胞の DNA



分化した B 細胞の DNA



問2 正解は⑦ 正解は③

難易度 ★★☆☆☆

解説

真核生物では遺伝子発現の制御は遺伝子領域から上流側に離れた転写調節領域で行われる。この領域の特定配列に転写調節因子が結合する。さらに、結合した転写調節因子が遺伝子領域に接近し、**基本転写因子**と結合する。その結果、プロモーターに RNA ポリメラーゼと複数の基本転写因子が組み合わさった転写複合体が形成され、転写が開始される。

この問題で必要な DNA 領域は上流側から、転写調節領域、プロモーター、遺伝子本体である。よって、解答は が⑦、 が③である。

◆ Check!!

オペロン

問2では真核生物の遺伝子発現について確認した。この Check!! で原核生物の遺伝子発現についても確認しよう。

原核生物では、関連する機能をもつ複数の遺伝子が連続して存在している。この転写単位を**オペロン**という。オペロンを構成している遺伝子は、1つのプロモーターを起点とした同一の調節領域によって調節タンパク質による転写調節を受ける。

オペロンの例としてはラクトースオペロンがある。ラクトースオペロンは、グルコース欠乏時に細胞がラクトースをエネルギー源とするためにラクトース分解酵素を分泌する経路のオペロンである。ラクトースオペロンは、ラクトース分解酵素 (β ガラクトシターゼ)などをコードしている3つの構造遺伝子からなる。

ラクトース非存在下では、ラクトースオペロンの上流にある調節遺伝子がコードする**リプレッサー (抑制因子)**によって、構造遺伝子の発現は抑制されている (**負の調節**)。リプレッサーはオペレーターに特異的・強力に結合して RNA ポリメラーゼがプロモーターに結合することを妨げ、転写を抑制する。一方、グルコース非存在かつラクトース存在下では、構造遺伝子発現を促進する方向にはたらく。これはリプレッサーにラクトースの代謝産物が結合することで、リプレッサーがオペレーターから離れるためである。

今回紹介したラクトースオペロンの例はリプレッサーによる負の調節であるが、オペロンには**活性化因子**による**正の調節**を行うものも存在する。

問3 4 正解は③

難易度 ★★★★★

解説

この問題において、第三の方法として挙げられているのは移植先の人から細胞を取り出し、臓器をつくるということだ。取り出す細胞としては**多能性**がなければならないことに注意しよう。

選択肢のうち①と④～⑥はすでに分化した細胞である。よって不適當。⑦は未受精卵なので核相がnで臓器に分化することができないため、不適當。②と⑧は受精卵およびそれからつくられたものであって移植先の人自身の細胞ではない。仮に、移植すれば拒絶反応が起こるだろう。よって不適當。

以上より、残った③が正解である。

関連語句**➤多能性**

機能の異なる多種類の細胞に分化できる能力、性質。

➤幹細胞

無制限な増殖や一定の範囲の細胞への分化が可能な細胞。

➤ES細胞（胚性幹細胞）

哺乳類の胚盤胞の内部細胞塊から作成された、あらゆる細胞に分化できる多能性をもった細胞。受精後の胚を用いることに倫理的な問題がある。

➤iPS細胞（人工多能性幹細胞）

2007年に京都大学の山中伸弥教授のグループが発表。体細胞に数種類の遺伝子を導入することによって多能性を得た細胞。これからの再生医療への応用が期待されている。

（制作：熊井勇介，西川尚吾）

2015年度 センター試験 本試験 生物

第7問 植物の系統推定

出題範囲	バイオテクノロジー・系統分類・細胞
難易度	★★★★☆☆
所要時間	5分
傾向と対策	生物の系統推定の実験に関する問題である。同じ選択問題の第6問とは対照的にこの問題の問1, 問2では単純な知識よりも思考能力を問われている。特に問1はDNAの配列の仕方について複雑な思考が必要で少し難しめの問題である。一方, 問3は極めて基礎的な知識問題で完全なサーベイス問題であるので, 落とさないように気をつけたい。

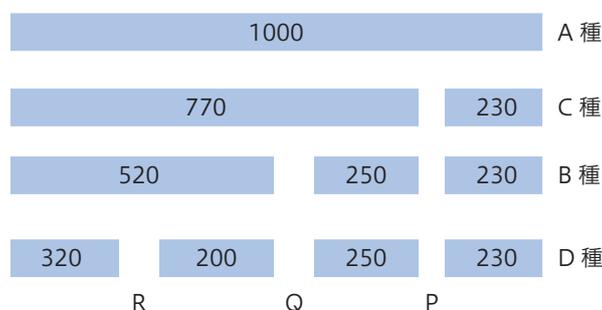
A

問1 正解は⑤

難易度 ★★★★★☆

解説

DNA断片の数が少ない種から順に見ていくと, この4種のDNAの関係が一例として以下のようになっていることに気付く。



4種のDNAの関係(一例)

なお, 切断箇所をP, Q, Rでラベリングした。このほかにもいろいろな図が考えられるが, 230bpの断片は必ず外側にあること (C種の存在から切断点Q, Rは770bp断片の内部に存在するため) と, 320bpと200bpの断片は必ず隣り合うこと (520bp断片を切断して320bp断片と200bp断片になるため) がわかる。よってこの2つの条件を満たしていないイとキの図は誤っている。

以上より, 正解は⑤。それなりに複雑な思考が必要で少し難易度の高い問題である。DNA断片の図を描いて落ち着いて整理しよう。

問 2 2 正解は②

難易度 ★★★☆☆

解説

突然変異が起こり DNA の塩基配列が書き換わる確率は極めて低いので、遺伝的変化の最も少ない系統樹が観察事実から最も強く支持される系統樹である。A～D の切断箇所を見比べることにより、少なくとも3回の突然変異が起きたことがわかる。さらに、A - (P 出現) → C - (Q 出現) → B - (R 出現) → D, あるいはその逆の D - (R 消失) → B - (Q 消失) → C(P 消失) → A という分岐過程のみが最も少ない3回の突然変異での種分化を説明できる。このどちらかの過程をうまく説明する系統樹は②のみである。この手の問題では、遺伝子に変化が起こった時期を系統図に書き入れて個数を比べると単純作業になる。

問 3 3 正解は①

難易度 ★☆☆☆☆

解説

共生説に関する知識問題である。葉緑体になったのは光合成のできるシアノバクテリア、ミトコンドリアになったのは呼吸を行う好気性細菌なので正解は①である。絶対に落としたい基礎問題である。

重要語句

➤細胞内共生説

原核生物から真核生物へと進化する過程において好気性の原核生物と光合成をする原核細胞を取り込みそれぞれミトコンドリアと葉緑体に進化したとする説。

この説が支持される根拠としては、第1に、ミトコンドリアと葉緑体は内膜系のほかの細胞小器官が一重膜であるのとは違い、異質な二重膜をもつこと。第2に、ミトコンドリアと葉緑体は独自のリボソームと環状 DNA をもつこと。この DNA は実際に自身のいくつかのタンパク質をコードする遺伝子をもっている。第3に、ミトコンドリアと葉緑体は細胞内で成長と増殖を行うある程度独立した器官であること。これらの証拠が、ミトコンドリアや葉緑体がもとは別の細胞だったことを強く支持している。

(制作：熊井勇介，西川尚吾)