

2015 年度 東北大学 前期 生物

1 自律神経と循環器系

出題範囲	神経系, 循環系
難易度	★★★★☆
所要時間	23 分
傾向と対策	自律神経系に関する基本的な知識問題と, 循環系に関する図を読み取る問題で構成されている。問(5)から問(8)はグラフを正確に読み取らなければ正解できない問題である。逆にグラフをすぐに理解できれば, どの問題もすぐに解ける。これらの問題のうち何問正解できるかが点数を分けるだろう。時間にはある程度余裕があるので, 落ち着いて考えることが重要であった。東北大学の生物では図や表を読み取る問題が頻出であり, 日頃から類題を多く解き練習を重ねる必要がある。

解答

問(1) ア：自律 イ：交感 ウ：ノルアドレナリン エ：副交感 オ：アセチルコリン カ：延髄 キ：中
ク：洞房

問(2) ①, ④

問(3) ケ：⑤ コ：⑦ サ：④ シ：① ス：⑨ セ：③

問(4) ②

問(5) 房室弁も大動脈弁も閉じている。(15 字)

問(6) D

大動脈弁は左心室から血液の流出が止まると閉じ, 図 2 の中では, D で左心室の体積が最小になり血液の流出が止まるから。(56 字)

問(7) B

大動脈の血圧は大動脈内の血液量に比例し, 大動脈内の血液量が最も少なくなるのは左心室から大動脈に向けて血液が流入する直前であるから。(64 字)

問(8) 4900mL

解説

問(1) 難易度：★★★★☆

呼吸や心臓の拍動, 消化液の分泌といったはたらきは, **自律神経系**によって制御されている。自律神経系は**交感神経**と**副交感神経**の 2 種類に分類され, 交感神経は脊髄から, 副交感神経は中脳, 延髄, 仙髄から伸びている。交感神経と副交感神経では末端から分泌される神経伝達物質が異なっており, 交感神経では**ノルアドレナリン**,

副交感神経では**アセチルコリン**である。

心臓の拍動は**洞房結節**によって開始される。洞房結節で発生した興奮は房室結節を経由してプルキンエ繊維に伝わり、心臓を拍動させる。洞房結節は自律的に興奮するので、心臓をからだから取り出して神経から切り離しても心臓は拍動を続ける。これを**心臓の自動性**という。

したがって、解答は、ア：自律，イ：交感，ウ：ノルアドレナリン，エ：副交感，オ：アセチルコリン，カ：延髄，キ：中，ク：洞房である。

問(2) 難易度：★★★★☆

交感神経のはたらきを問う問題である。

- ① 口腔内への粘性の高いだ液の分泌は交感神経のはたらきによるものであるので適切である。
- ② 気管支の収縮は副交感神経のはたらきによるものなので不適切である。
- ③ 胃のぜん動運動の促進は副交感神経のはたらきによるものなので不適切である。
- ④ すい臓からのすい液分泌の抑制は交感神経のはたらきによるものなので適切である。
- ⑤ 排尿の促進は副交感神経のはたらきによるものなので不適切である。

よって、解答は、①、④となる。

◆ Check!!

自律神経系のはたらき

表 A 自律神経系のおもなはたらき

組織・器官	交感神経の作用	副交感神経の作用
瞳孔	拡張	収縮
だ液	促進（粘液性）	促進（消化性）
気管・気管支	拡張	収縮
心臓	拍動促進	拍動抑制
血管	収縮	し緩
消化器官	抑制	促進
ランゲルハンス島	グルカゴン分泌	インスリン分泌
ぼうこう収縮筋	し緩	収縮
ぼうこう括約筋	収縮	し緩
立毛筋	収縮	——

交感神経と副交感神経の各器官に対する作用を表 A に示す。交感神経は基本的に各器官のはたらきを促進し、副交感神経は抑制するが、消化器官やぼうこう収縮筋は例外である。例外が覚えにくい場合は、

「交感神経は餌を追いかけるときや敵から逃走するときにはたらき、副交感神経は休息するときにはたらく」と覚えよう。例えば、敵に追われている際にはできるだけ排泄などをせずに逃走することに集中したほうがよい。したがって、ぼうこうの容積を決めるぼうこう収縮筋は弛緩し、ぼうこうの容積を大きくする。生物学的に正しいかどうかはさておき、このように理屈をつけて覚えると覚えやすいので実践してみよう。

問(3) 難易度：★★★★☆

心臓の構造と血液の経路に関する問題である。大静脈から右心房に入った血液は、右心室、肺動脈を經由して、肺に至る。肺では酸素や二酸化炭素の交換が行われ、酸素を多く取り込んだ血液は肺静脈から左心房、左心室に入り、左心室から大動脈を経て全身に送られる。左心室は全身に血液を送る必要があるため、心臓で最も厚い筋肉をもつ。

解答は、ケ：⑤ コ：⑦ サ：④ シ：① ス：⑨ セ：③となる。心臓の構造と血液の流れについては図 A で示しているので、しっかりと覚えよう。

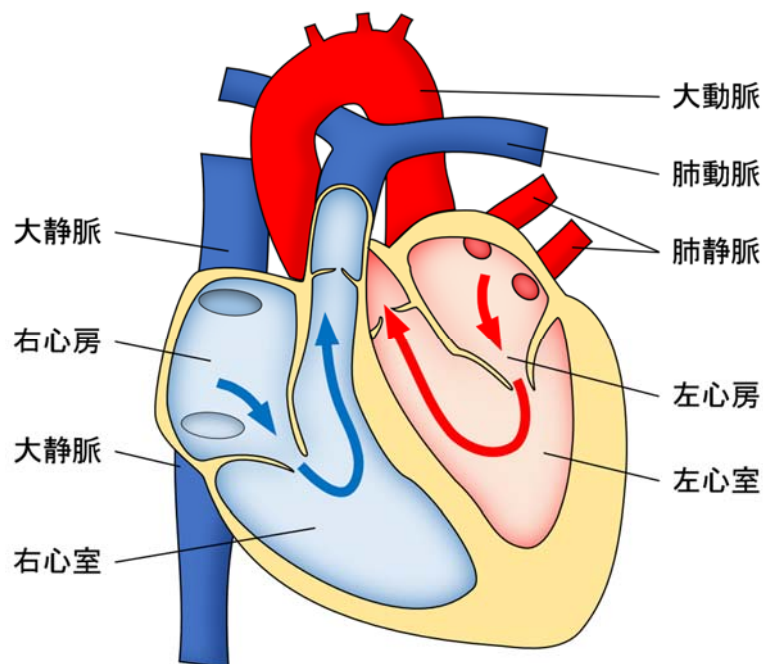


図 A 心臓の構造と血液の流れ

問(4) 難易度：★★★★☆

大静脈から心臓に入った血液は全身で酸素を放出し二酸化炭素を回収した血液なので、酸素が少なく二酸化炭素が多い血液である。このような血液を静脈血とよぶ。心臓に入った静脈血は肺動脈を経て肺に送られる。肺では気体の交換が行われ、血液は酸素が多く二酸化炭素が少ない動脈血となる。肺で気体の交換を終えた血液は肺

静脈を経由して心臓に戻され、全身に送られる。肺では、肺動脈を通る血液は静脈血、肺静脈を通る血液は動脈血となり、血管の名前と流れている血液の種類が一致しない。問(3)にある図 A をしっかり確認してほしい。

したがって、解答は②である。

問(5) 難易度：★★★★☆

図を正確に読み取らなければ正解できない難しい問題である。

まず、E から A の変化および B から D の変化について説明する。この間では左心室の容積が変化しているが、左心室の容積は左心室内の血液量を示していると考えられる。したがって E から A の変化は房室弁が開いて左心室内の血液量が増加するようすを、B から D の変化は大動脈弁が開いて左心室内の血液量が減少するようすをそれぞれ示している。

問題となっているのは D から E での房室弁と大動脈弁の状態である。D から E の変化では左心室の内圧は下がっているが左心室の容積に変化はなく、左心室内の血液量は変化しない。つまり、D から E の変化では左心室に血液が流入することも左心室から血液が流出することもない。[II]の問題文に、「房室弁は左心室に血液が流入する際に開く弁であり、大動脈弁は左心室から血液が流出する際に開く弁である」とあるので、左心室の血液量が変化しない D から E の変化ではどちらの弁も開いていないことがわかる。

D から E の変化は左心室の周りの心筋が弛緩することによって左心室の内圧が下がっていくようすを示している。左心室から大動脈に血液が流れている B から D の間、房室弁は閉じているが大動脈弁は開いている。D で大動脈への血液の流出が終了したことで大動脈弁も閉じ、左心室の周りの心筋もし弛緩ははじめ左心室の内圧が減少する。左心室の内圧が左心房の内圧を下回ると房室弁が開き左心室に血液が流入しはじめる。これが E である。

以上より、解答例は以下のとおり。

解答例

房室弁も大動脈弁も閉じている。(15 字)

問(6) 難易度：★★★★☆

問(6)も問(5)同様、図を正確に読み取らなければ正解できない難しい問題である。問(5)の解説で説明したように大動脈弁は左心室から大動脈への血液の流出が終了する際に閉じる。大動脈への血液の流出が終了するのは左心室の容積の減少が止まる点、すなわち D である。

したがって、解答は D となる。理由の解答例は以下のとおり。

解答例

大動脈弁は左心室から血液の流出が止まると閉じ、図 2 の中では、D で左心室の体積が最小になり血液の流出が止まるから。(56 字)

問(7) 難易度：★★★★★

血圧は血管の容積と血管内に存在する血液量によって変化する。自律神経系による血圧調節では血管を収縮、し緩らせることで血管の容積を変化させて血圧を調整している。

この問題では自律神経系がかかわっておらず、血管の容積が変化するとは考えにくいので、大動脈内の血液量について考えればよい。血圧が低いということは血管内の血液量が少ないことを示している。心臓に近接する大動脈の血液は左心室から大動脈に向けて流れ込んだものであり、血液量が最も少なくなるのは左心室から大動脈に向けて血液が流れ込む直前であると考えられる。したがって、解答は B となり理由の解答例は以下のようになる。

解答例

大動脈の血圧は大動脈内の血液量に比例し、大動脈内の血液量が最も少なくなるのは左心室から大動脈に向けて血液が流入する直前であるから。(64 字)

問(8) 難易度：★★☆☆☆

[II]の問題文より、図 2 で A から 1 周して A に戻ってくるまでが 1 回の心臓の拍動における左心室のようすを示していることがわかる。図 2 における左心室の容積の変化に注目すると、B では 100mL であり、その後左心室から大動脈に血液が送られ、D では 30mL となる。問(5)の解説にあるように左心室の容積は左心室内に存在する血液量を示しているので、1 回の拍動によって心臓から送り出された血液の量は $100 - 30 = 70\text{mL}$ となる。

1 回の拍動によって 70mL の血液が心臓から送り出され、心臓は 1 分間に 70 回拍動するので、1 分間に心臓から送り出される血液量は $70 \times 70 = 4900\text{mL}$ となる。

よって、解答は 4900mL である。

(北川健斗，安藤さくら，西川尚吾)

2015 年度 東北大学 前期 生物

2 遺伝情報の複製，転写，翻訳

出題範囲	遺伝子
難易度	★★★★☆
所要時間	25 分
傾向と対策	遺伝情報がどのように発現するかということがテーマとなった大問。問題数が多く，全体的に記述量も多い。しかし，教科書をしっかりと理解していれば正解できる問題がほとんどで，素早く解答できたかがカギとなった。問(4) の(iii)は高校までの知識では完璧な解答をつくるのは難しいが，自由な発想で考えることができれば，解答にたどり着けたらう。記述問題では「素早く解答すること」と「正確で論理的な解答を書くこと」の2つが必要となるが，両方を同時に訓練することは難しい。制限時間を設けて解いたあと，再考して解答をつくってみるなど，工夫して問題演習をするように心掛けよう。

解答

問(1)

- (i) $1 : 0 : 2^n - 1$
- (ii) $0 : 1 : 2^{n-1} - 1$

問(2)

- (i) B
- (ii) B
- (iii) (b), (c)

リーディング鎖では複製開始点，ラギング鎖では複製開始点以外の複数の位置で，その位置の配列に相補的な RNA プライマーが合成されるから。(66 字)

問(3)

- (i) (B)
- (ii) C
- (iii) RNA ポリメラーゼ
- (iv) リボソーム
- (v) B

リボソームは mRNA の 5'末端から翻訳を開始するので，mRNA の 3'末端側のポリペプチドのほうが 5'末端側よりも合成が進んでおり，合成されたポリペプチド鎖が長くなるから。(85 字)

- (vi) X

(vii) 核内で転写が行われ、mRNA が細胞質に出てから翻訳が行われるから。(33 字)

問(4)

(i) スプライシング

(ii) 転写された mRNA 前駆体がスプライシングを受けるとき、取り除かれるエキソンの違いによって、異なるエキソンの組み合わせをもった複数の mRNA がつくられる。(76 字)

(iii) イントロンでの一塩基置換により、エキソンの配列も取り除かれたり、イントロンの配列も残ったりしたことで、mRNA の本来よりも 3'末端側の位置に終止コドンが現れてしまったから。(86 字)

解説

問(1) 難易度：★★★★☆

(i) 保存的複製とは、複製後に新しくつくられたヌクレオチド鎖どうしと古いヌクレオチド鎖どうしが二本鎖 DNA となるような複製方式のことである。そのため、DNA の複製が保存的複製によって起こる場合、一方の娘細胞の二本鎖 DNA はどちらの鎖も母細胞由来であるが、もう一方の娘細胞の二本鎖 DNA はどちらの鎖も新しくつくられたものである。

これを踏まえて問(1)の実験を見てみると、保存的複製では中間の重さの DNA は生じないということがわかるだろう。n 回目の複製後の軽い DNA の量を直接求めようとすると手こずるので、簡単に求められる重い DNA の量を全体の DNA 量から引く方針で考えていこう。分裂のたびに DNA 量は 2 倍ずつ増えていくから、最初の重い DNA の量を 1 とすると、n 回目の複製後の全体の DNA の量は 2^n となる。新しくつくられる DNA 鎖はすべて ^{14}N のみを含むため、重い DNA の量は最初の量から変化しないから、n 回目の複製後の量も 1 である。中間の重さの DNA は生じないから、n 回目の複製後の軽い DNA の量は全体から重い DNA の量を引けば算出できるので、 $2^n - 1$ とわかる。

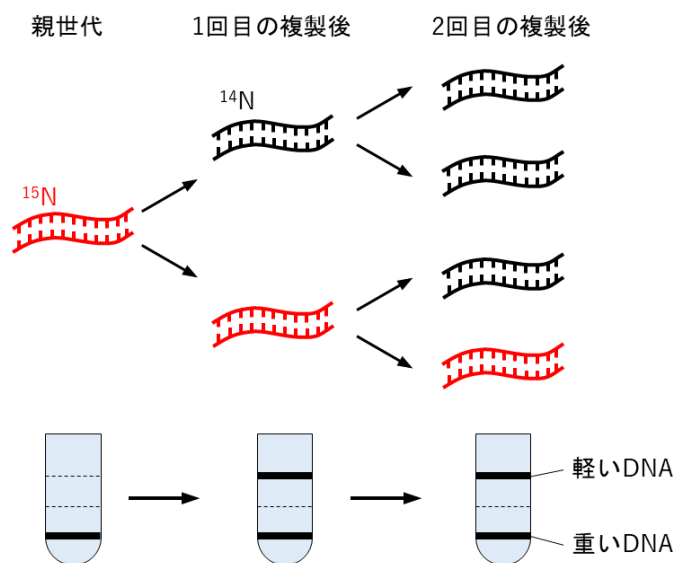


図 A 保存的複製

よって、解答は $1 : 0 : 2^n - 1$ 。

いきなり n 回目の複製後の DNA 量を考えるのが難しければ、数回分自分で手を動かして考えてみると、中間の重さの DNA が存在せず、重い DNA の量が変わらないことがわかるだろう。

(ii) **半保存的複製**とは、古い二本鎖 DNA の片方の鎖が鋳型となり、それぞれに新しい一本鎖がつくられる複製様式のことである。そのため、1 回の分裂で生じる 2 つの娘細胞がもつ DNA は、双方とも二本鎖のうち片方の鎖が母細胞由来で、もう一方の鎖が新しいヌクレオチド鎖である。この娘細胞の DNA は中間の重さになる。よって、最初の重い DNA の量を 1 とすると、1 回目の複製後の中間の重さの DNA 量は 2 となる。2 回目の複製では、中間の重さの DNA の軽いほうの鎖からは軽い DNA ができ、重いほうの鎖からは中間の重さの DNA ができる。よって、中間の重さの DNA 量が 2、軽い DNA の量が 2 となる。以降の複製でも、中間の重さの DNA 量は変わらず、軽い DNA の量だけがが増えていく。 n 回目の分裂後の全体の DNA 量は 2^n であるから、そこから中間の重さの DNA 量を引いて、軽い DNA の量は $2^n - 2$ となる。比率を簡単な数値になおすと、重い DNA : 中間の重さの DNA : 軽い DNA = $0 : 1 : 2^{n-1} - 1$ となる。

よって、解答は $0 : 1 : 2^{n-1} - 1$ 。

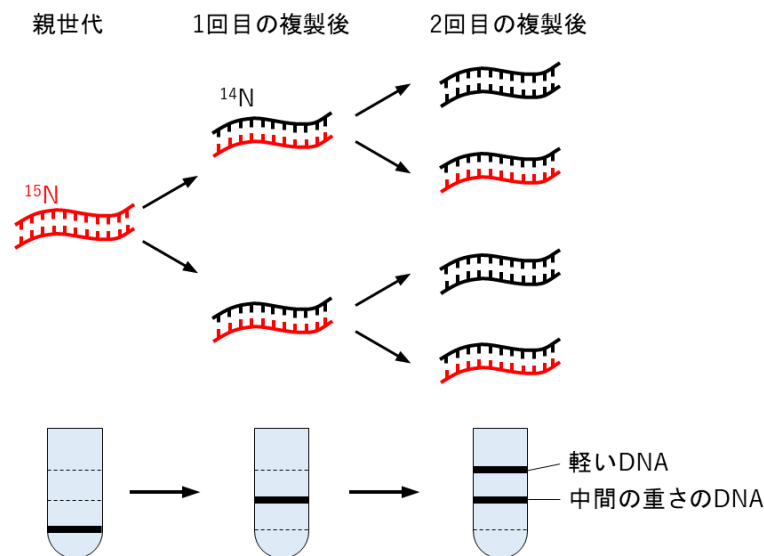


図 B 半保存的複製

問(2) 難易度：★★★★☆

(i) DNA の合成は $5' \rightarrow 3'$ 方向に進むが、複製は複製開始点の両側へと進行する。そのため、一方の鎖では DNA 合成の方向と複製の方向が一致して連続的に DNA 合成が起こるが、もう一方の鎖ではそれらが一致せず、不連続に DNA の合成が起こる。連続的に複製が起こるほうの鎖を **リーディング鎖**、不連続に複製が起こるほうの鎖を **ラギング鎖** とよぶ。

領域 1 においては、複製の進行方向は図 1 の右から左である。A 鎖の相補鎖は右から $5' \rightarrow 3'$ となるので、A 鎖

は連続的に複製されるリーディング鎖とわかる。B 鎖の相補鎖は左から 5'→3'となるので、DNA 合成の方向が複製の進行方向と逆向きである。よって、不連続に複製され、その断片が DNA リガーゼによってつなぎ合わされる。したがって、B 鎖はラギング鎖とわかる。

よって、解答は B。

(ii) 領域 1 とは反対に、領域 2 では複製の進行方向は図 1 の左から右である。A 鎖の相補鎖は右から 5'→3'となるので、不連続的に複製されるラギング鎖とわかる。B 鎖の相補鎖は左から 5'→3'となるので、B 鎖は連続的に複製されるリーディング鎖とわかる。

よって、解答は B。

(iii) DNA 合成が開始されるには、鋳型 DNA に相補的な RNA プライマーが結合する必要がある。RNA プライマーが結合した位置から DNA が合成される。そのため、DNA の複製が連続的に起こるリーディング鎖では、複製開始点のみに RNA プライマーが結合する。一方、複製が不連続に起こるラギング鎖では、それぞれの DNA 合成開始点に RNA プライマーが結合するので、複製開始点には RNA プライマーは結合せず、鋳型鎖の複製開始点から少し 3'側に順次 RNA プライマーが結合していく。

図 1 でリーディング鎖となるのは、A 鎖の左側と B 鎖の右側であり、ラギング鎖となるのは A 鎖の右側と B 鎖の左側である。B 鎖の各選択肢の配列を見てみると、どの配列も RNA プライマーと相補的ではないことがわかる。よって、A 鎖の選択肢である(a), (b), (c)についてのみ考えればよい。

まずリーディング鎖を考えると、複製開始点であり 5'－GACU－3'に相補的な配列をもつ(b)の位置で合成される可能性がある。次にラギング鎖を考えると、複製開始点ではない途中の場所であり 5'－GACU－3'に相補的な配列をもつ(c)の位置で合成される可能性がある。

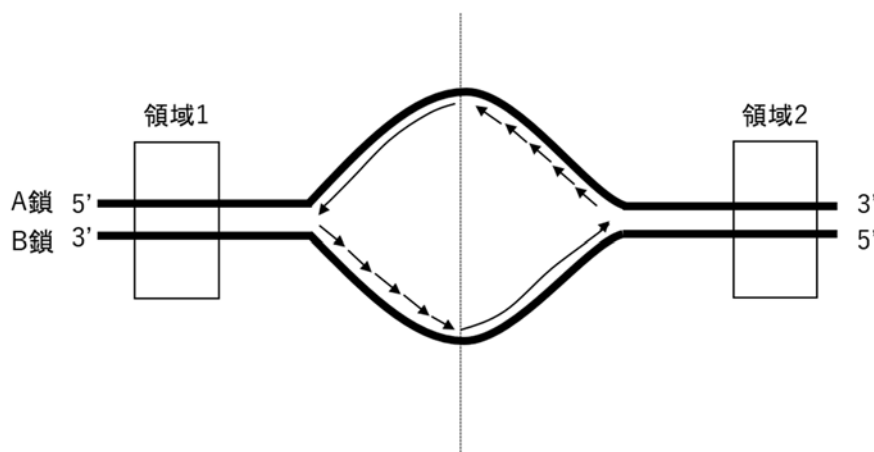


図 C DNA 複製開始点付近の構造

よって、解答は、(b), (c)。理由の解答例は以下のとおり。

解答例

リーディング鎖では複製開始点，ラギング鎖では複製開始点以外の複数の位置で，その位置の配列に相補的な RNA プライマーが合成されるから。(66 字)

問(3) 難易度：★★★★☆

(i) 図 2 において右側の mRNA が短く，左側の mRNA は長くなっている。転写が進むほど mRNA が長くなるから，右側のほうが転写開始点に近いということがわかる。したがって，B の方向に転写が進んでいることがいえる。

よって，解答は B。

(ii) RNA の合成も DNA の合成と同様に 5'→3'方向に行われる。そのため，鋳型である DNA 鎖における転写の方向性は 3'→5'方向である。また，(i)より転写の方向は図 2 において(B)の方向であることがわかっているから，C 鎖が鋳型鎖になっていると考えられる。

よって，解答は C。

(iii) mRNA の末端部分にある E は mRNA を合成する酵素である。したがって，RNA ポリメラーゼであると考えられる。

よって，解答は RNA ポリメラーゼ。

(iv) F は mRNA に結合しており，mRNA の塩基配列をタンパク質のアミノ酸配列へと翻訳している。したがって，リボソームであると考えられる。

よって，解答はリボソーム。

(v) 図 D のように複数のリボソームが mRNA に結合して，翻訳が行われる。翻訳は mRNA の 5'末端から進行するので，3'末端側のポリペプチド鎖が長くなるはずである。したがって，3'末端側のポリペプチドが長くなっている，B が正しい図である。

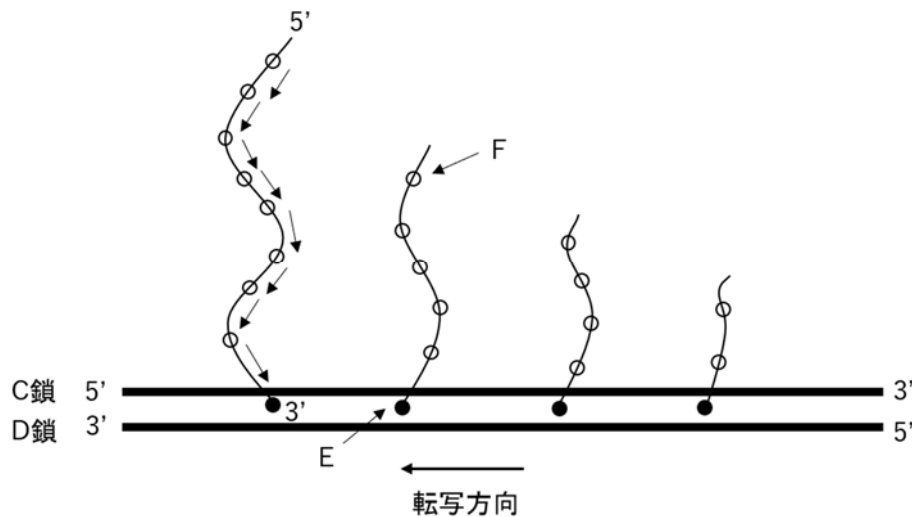


図 D 原核生物における転写と翻訳

また、mRNA における翻訳の方向性を知らなくても、次のように考えることで正しい図を選ぶことができる。

(i) で合成途中の mRNA が短いほうから長いほうに向かって転写が起こっていると考えたと同様に、ここでも合成途中のポリペプチドが短いほうから長いほうへ向かって翻訳が起こっていると考えることができる。もし図 A のようにタンパク質合成が起こっていたとすると、それぞれの mRNA の一番上にあるリボソームはもうすぐ翻訳を完了してしまう。しかし、それでは各 mRNA から合成されるポリペプチドの長さがバラバラになってしまい、明らかにおかしい。図 B のように翻訳が mRNA の合成方向に向かって進行すれば、すべての mRNA から同じタンパク質が合成され、問題なく遺伝子の発現が起こる。

よって、解答は B。理由は次のようになる。

解答例

リボソームは mRNA の 5' 末端から翻訳を開始するので、mRNA の 3' 末端側のポリペプチドのほうが 5' 末端側よりも合成が進んでおり、合成されたポリペプチド鎖が長くなるから。(85 字)

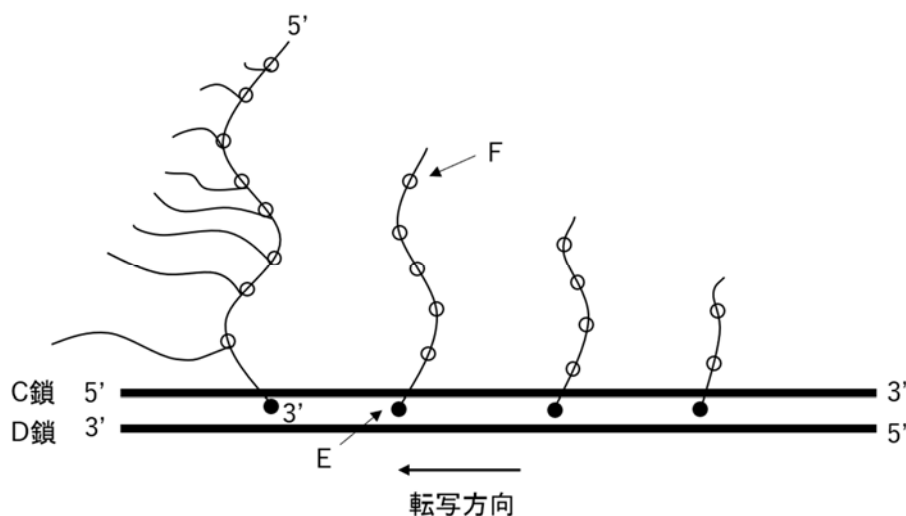


図 E 原核生物における転写と翻訳

(vi) タンパク質合成の際、前のアミノ酸のカルボキシル基と次のアミノ酸のアミノ基でペプチド結合を形成するので、アミノ末端（N 末端）→カルボキシル末端（C 末端）方向に進行する。よって、翻訳開始点のアミノ酸のアミノ基はペプチド結合されずに残る。図 3 の B を見ると、最初に翻訳されたのは X であるからアミノ末端は X であるとわかる。

よって、解答は X。

(vii) 原核生物では核は存在しないが、真核生物では核内に DNA が存在し、核内で転写されて mRNA 前駆体となる。スプライシングを受け mRNA となったあと、核膜孔を通して細胞質に出るとリボソームが mRNA に結合して翻訳が起こる。このように、真核生物では転写、翻訳が時間的および空間的に分けられているため、同時進行はしない。

解答例は以下のとおり。

解答例

核内で転写が行われ、mRNA が細胞質に出てから翻訳が行われるから。(33 字)

問(4) 難易度：★★★★☆

(i) 真核生物の遺伝子には、アミノ酸を指定する配列領域であるエクソンと、アミノ酸を指定しない配列領域であるイントロンが混在している。DNA から転写された mRNA 前駆体にはエクソンとイントロンの両方が含まれているため、イントロンを取り除く操作（**スプライシング**）を経て完成した mRNA になる。

よって、解答は**スプライシング**。

(ii) 真核生物において、転写された mRNA 前駆体から mRNA がつくられる際、スプライシングによって取り除かれる部分の違いによって、1 つの遺伝子から異なる mRNA ができる場合がある。このしくみを**選択的スプライシング**という。このしくみによって、生成されるタンパク質の種類の豊富さがもたらされている。

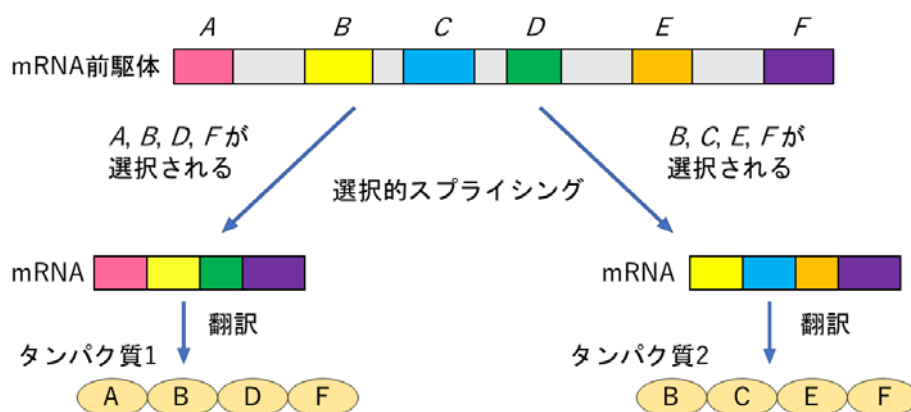


図 F 選択的スプライシング

解答例

転写された mRNA 前駆体がスプライシングを受けるとき、取り除かれるエキソンの違いによって、異なるエキソンの組み合わせをもった複数の mRNA がつくられる。(76 字)

(iii) エキソン以外の領域に起こった一塩基置換によってカルボキシル末端側が短いタンパク質が合成された理由を答える問題。(i), (ii)がスプライシングに関する問題であった流れから、スプライシングの異常により短いタンパク質が生じたと考えるのが自然であろう。しかし、スプライシングの詳しいしくみは高校生物の範囲外であるから、受験生は知らなくて当然である。そのため、この先の解答を導き出すのはとても難しい。

まずは、エキソン以外の領域のどこに起こった置換でスプライシングの異常が起こったのだろうか。「この置換によりスプライシングが異常になること」、「スプライシングがイントロンとエキソンをもつ mRNA 前駆体からイントロンを取り除くしくみであること」の 2 つを踏まえれば、イントロンであるというのはすぐに推測できる。よって、「イントロンでの塩基置換→スプライシングの異常→カルボキシル末端側の短いタンパク質」という流れがわかる。

しかし、先述のとおり、イントロンでの塩基置換によるスプライシングの異常がどのようなものであるかを判断することは難しい。なので、カルボキシル末端側の短いタンパク質ができるようなスプライシングの異常がどのようなものか考えよう。タンパク質の翻訳は mRNA の開始コドンから終止コドンまで起こる。カルボキシル末端側は mRNA の終始コドン側に対応する。そのため、タンパク質のカルボキシル末端側が短いタンパク質が生じるのは、本来の mRNA のうしろの部分が翻訳されなかったときである。これはスプライシングの異常により終止コドンが生じたためであると考えられる。

スプライシングの異常としては「エキソンの配列も取り除かれる」というパターンと「イントロンの配列も残る」というパターン、あるいはその両方が起こるパターンが考えられる。どの場合においても、読み枠がずれたり本来読まれない配列が読まれたりすることで、終止コドンが現れる可能性はある。

終止コドンは UAA, UAG, UGA の 3 種類あり、これは 64 種類あるコドンの約 1/21 である。よって、ランダムな塩基配列なら約 21 回に 1 回終止コドンが読まれて翻訳が停止するのである。これを踏まえれば、スプライシングの異常により終止コドンが現れ、カルボキシル末端側の短いタンパク質が生じたと考えて問題ないだろう。

したがって、解答例は次のとおり。

解答例

イントロンでの一塩基置換により、エキソンの配列も取り除かれたり、イントロンの配列も残ったりしたことで、mRNA の本来よりも 3'末端側の位置に終止コドンが現れてしまったから。(86 字)

(神戸朱琉, 西川尚吾, 北川健斗)

2015 年度 東北大学 前期 生物

3 植物の受精，組換え

出題範囲	植物の受精，減数分裂，遺伝，組換え
難易度	★★★★☆
所要時間	20 分
傾向と対策	植物の受精，組換えといったテーマからの出題である。[Ⅰ] の問(4)までは基本的な知識をしっかりと覚えていれば解ける問題であるが，問(5)では知らなくても仕方ないような知識が問われている。一方，[Ⅱ] は煩雑に見えるが，実際にはとても簡単である。この大問で差がつくのは [Ⅰ] の問(2)のような自分の中で知識を比較したり総合したりする必要のある記述問題であり，このような知識論述はしばしば出題される。用語などを覚えるときは，単に一問一答に解答するだけでなく，用語と用語のつながりや現象を意識して学習するのがよいだろう。

解答

問(1) ア：雄原細胞 イ：花粉管細胞 ウ：精細胞 エ：卵細胞 オ：助細胞 カ：反足細胞 キ：重複受精

問(2) ・減数分裂によってできる娘細胞の染色体数は母細胞の染色体数の半分となる。(35 字)

・分裂中に二価染色体が形成され，相同染色体がそれぞれ別の細胞に分配される。(36 字)

・DNA の合成ののち，細胞分裂が連続して 2 回起こる。(25 字)

・染色体の乗換えによる遺伝子の組換えが起こる。(22 字)

などのうちから 3 つ

問(3) (b)24 本 (c)48 本 (d)18 本

問(4) A：8 個 B：1 個

問(5) ・裸子植物は重複受精をしないため，胚乳は雄性配偶子の遺伝子をもたない。(34 字)

・裸子植物では 1 つの胚のうに 2 つの卵細胞ができる。(24 字)

問(6) ExEyFxGyGxGyHxHyIxly, EyEyFyFyGyGyHyHylyly

問(7) ExEyFyFy, EyEyFxGy

問(8) FGEIH, HIEGF のいずれか

解説

問(1) 難易度：★★★★☆

被子植物の配偶子形成と受精に関する問題である。

被子植物のおしべの先端にある^{やく}葯では花粉母細胞が減数分裂し，花粉四分子が形成される。その後，不均等な分裂によって **ア**：雄原細胞が **イ**：花粉管細胞の内部にでき，花粉が形成される。

一方、子房の内部では**胚のう母細胞**が減数分裂し 4 つの細胞となるが、このうち 3 つは退化する。残った 1 つのみが成長し、3 回核分裂したのちに細胞質分裂して、胚のうとなる。1 つの胚のうには 1 つの **エ** : **卵細胞**が存在し、その両脇に 1 つずつ **オ** : **助細胞**が存在する。卵細胞の反対側には 3 つの **カ** : **反足細胞**が存在し、胚のうの中央には中央細胞が存在する。中央細胞は**極核**を 2 つ含むので核相は $n+n$ であり、ほかの細胞の核相は n である。

花粉がめしべの柱頭に付着すると、花粉からめしべの内部に向けて**花粉管**が伸長し始める。花粉管内では雄原細胞が分裂し、2 つの **ウ** : **精細胞**となる。花粉管が胚のうに到達すると、2 つの精細胞のうち 1 つは卵細胞と、もう 1 つは中央細胞とそれぞれ受精する。受精した卵細胞は**胚**に、中央細胞は**胚乳**にそれぞれ成長し種子を形成する。このように 2 つの精細胞によって卵細胞と中央細胞が受精する様式を **キ** : **重複受精**とよぶ。重複受精は被子植物に特有のものである。

被子植物の生殖細胞の形成から受精までの過程は非常に複雑である。図 A と図 B を見てよく覚えておこう。

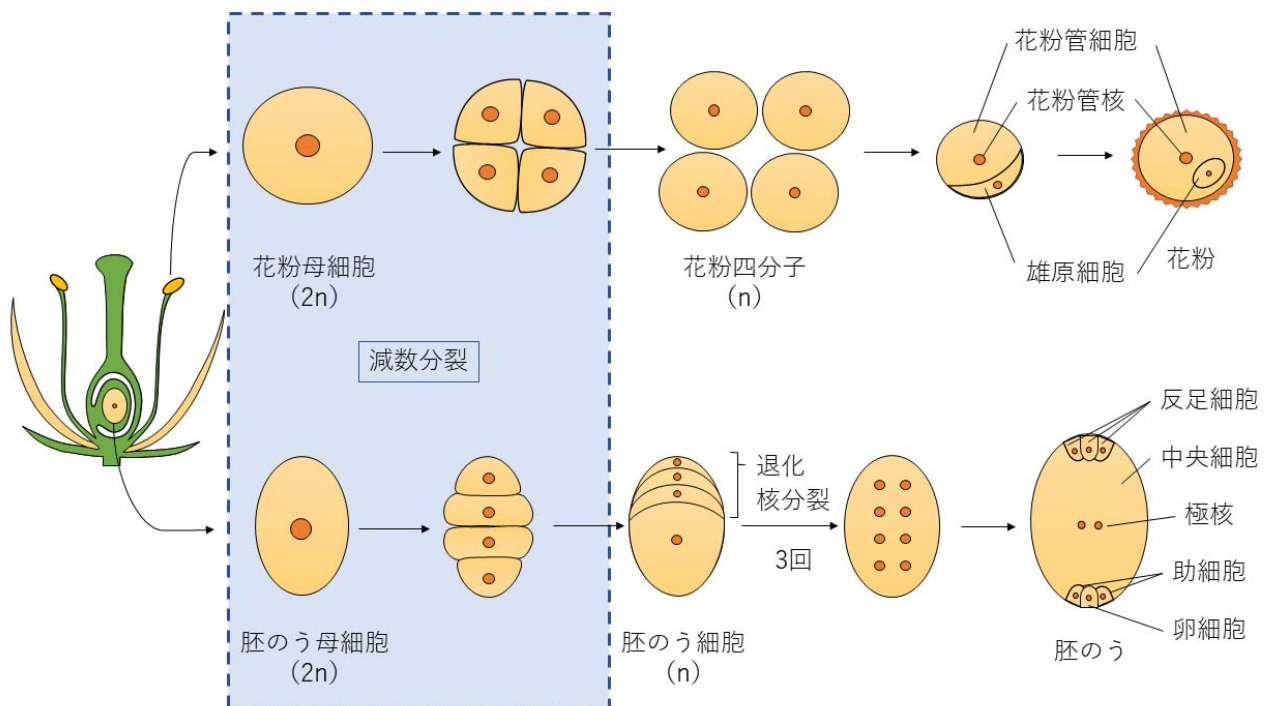


図 A 被子植物の配偶子形成

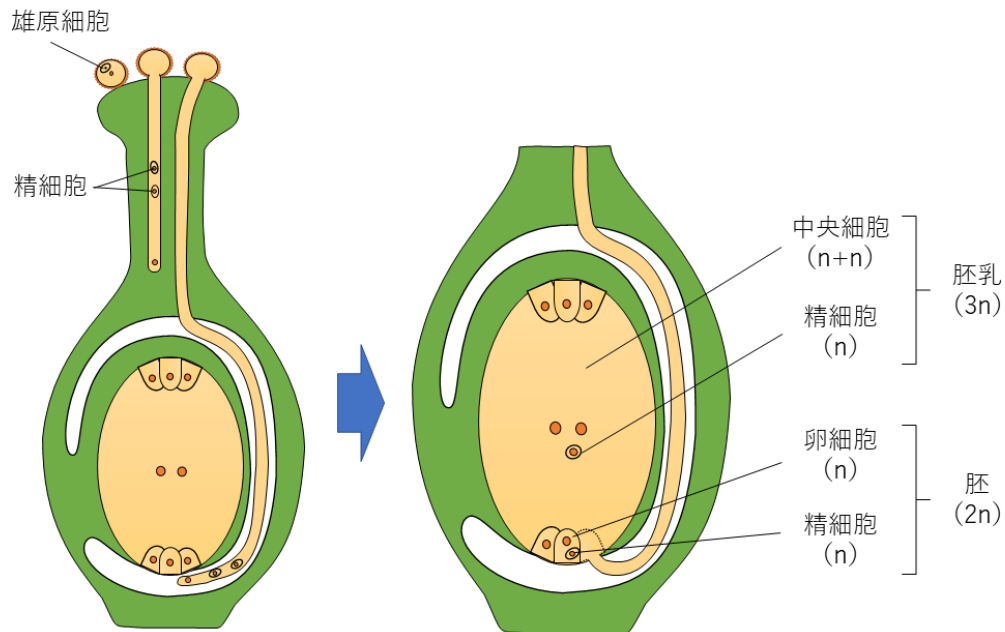


図 B 重復受精

以上より、解答は、ア：雄原細胞，イ：花粉管細胞，ウ：精細胞，エ：卵細胞，オ：助細胞，カ：反足細胞，キ：重復受精である。

問(2) 難易度：★★★★☆

減数分裂には、体細胞分裂と異なる点がいくつかある。まず、減数分裂では DNA の合成が起こったあとに 2 回の細胞分裂が連続して起こる。その結果、1 つの母細胞から 4 つの娘細胞ができ、1 つの娘細胞に含まれる染色体数は母細胞の半数となる（ただし、性決定様式が XO 型や ZO 型の生物では半数にはならない）。

また、第一分裂の前期には相同染色体が**対合し二価染色体**を形成する。二価染色体を形成した相同染色体は対合面で分離し、それぞれ別の細胞に配分される。さらに、二価染色体が形成される際には相同染色体の間で染色体の**乗換え**が起こり、遺伝子の組み合わせが変わることがある。この現象は**組換え**とよばれ、減数分裂の特徴の 1 つである。

よって、解答例は以下のとおり。

解答例

- ・ 減数分裂によってできる娘細胞の染色体数は母細胞の染色体数の半分となる。(35 字)
- ・ 分裂中に二価染色体が形成され、相同染色体がそれぞれ別の細胞に分配される。(36 字)
- ・ DNA の合成ののち、細胞分裂が連続して 2 回起こる。(25 字)
- ・ 染色体の乗換えによる遺伝子の組換えが起こる。(22 字)

などのうちから 3 つ

減数分裂の過程は複雑で覚えにくいかもしれないが、頻出の分野なので図 C を見てしっかりと理解しよう。

また、このような複数の解答を求める問題で「DNA の合成ののち、細胞分裂が 2 回起こる」と「1 つの母細胞から 4 つの娘細胞ができる」といったほぼ同内容の解答を別の解答とすると減点の対象となる可能性がある。解答を書いたあとには、同内容の解答を別の解答として扱っていないか十分に見直そう。

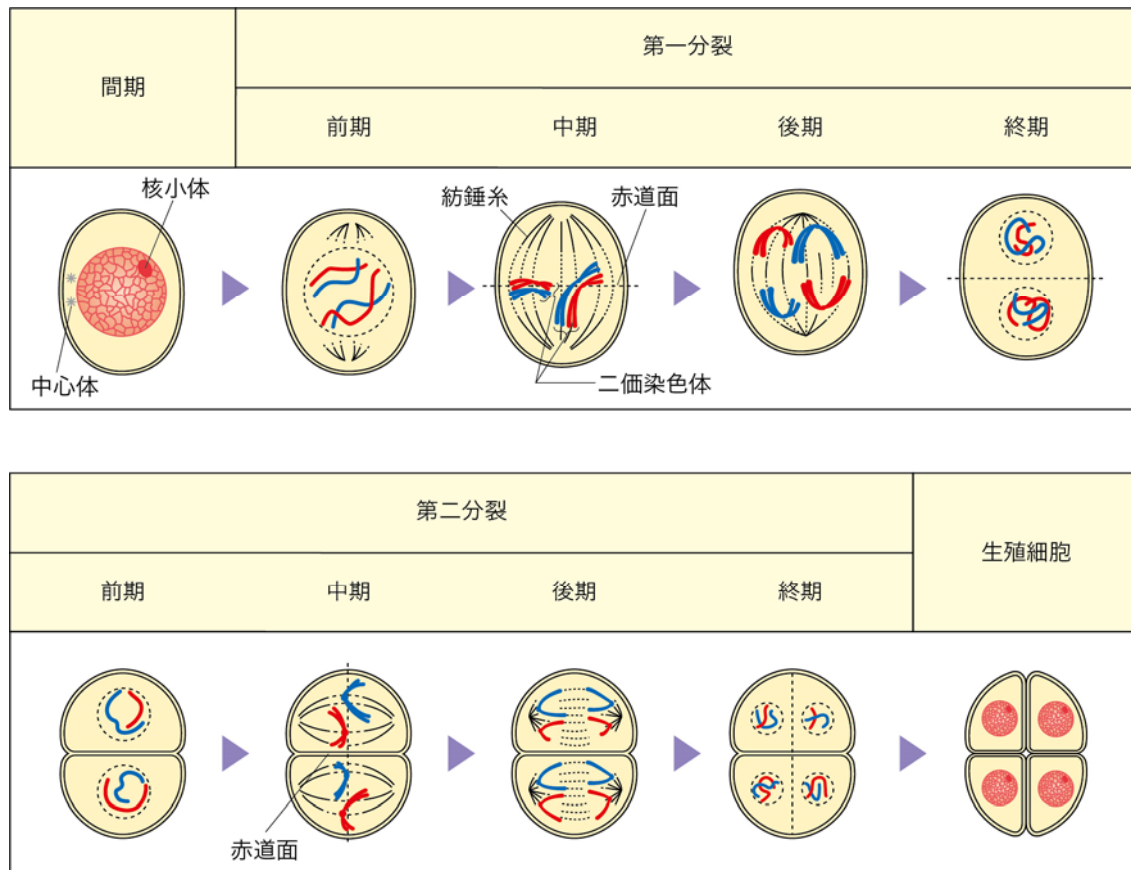


図 C 減数分裂の過程

◆Check!!

無性生殖と有性生殖

減数分裂に関連して、**無性生殖**と**有性生殖**について説明する。

無性生殖では減数分裂を行わず、体細胞分裂によってできた細胞から新個体が生まれる。無性生殖の形式として、**分裂**、**出芽**、**栄養生殖**が挙げられる。分裂はゾウリムシなどの単細胞生物やプラナリアにみられ、体が 2 つに分かれて個体数を増やす。ヒドラや酵母などにみられる出芽では体の一部が膨らみ成長することで増殖する。ジャガイモやオニユリなどにみられる栄養生殖では植物の根や枝の一部から新たな個体が発生する。

有性生殖では減数分裂を行って配偶子を形成し、配偶子の接合によって新個体がつくられる。問(1)

にあるような被子植物の受精や動物の受精はこれに当たる。

無性生殖では、減数分裂や配偶子の合体が行われなため、効率的に生殖を行うことが可能であるが、無性生殖によって発生する新個体は親の個体とまったく同じ遺伝子をもつクローンであり、子孫の遺伝的多様性は低く、環境の変化に適応できる個体が生まれる可能性は低くなる。一方、有性生殖は減数分裂や配偶子の合体を行うコストはかかるものの、配偶子の合体により子孫の遺伝的多様性が高まるため環境の変化に適応できる個体が生まれる可能性が高くなる。

また、減数分裂による配偶子の形成は行われるが受精が起こらない単為生殖という生殖様式がある。単為生殖を行う生物の例として、ミジンコが挙げられる。ミジンコは環境が増殖に適しているときは雌が卵をつくり、受精することなくそのまま個体が発生する単為生殖を行うが、環境が悪化すると卵から雌と雄が生まれ有性生殖を行う。有性生殖によってつくられる卵は、増殖に適する環境になるまで水底にとどまっている休眠卵となる。このように、ミジンコは生殖様式を変更することによって環境の変化に適応している。

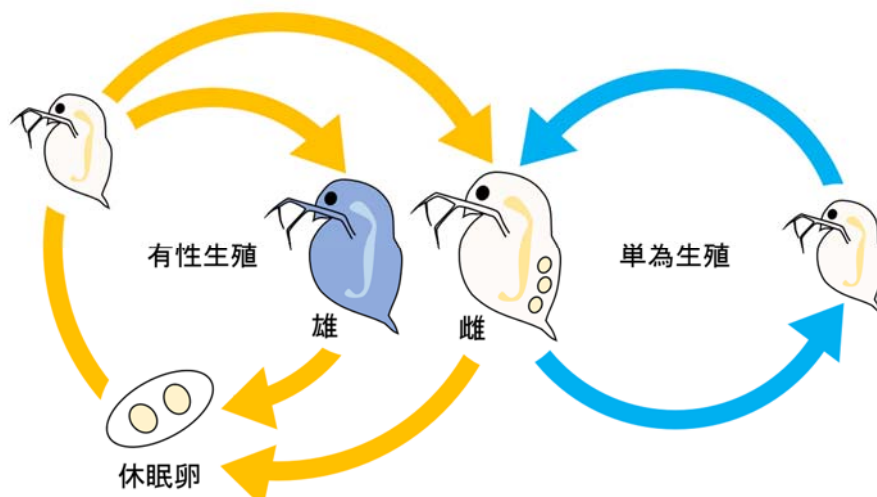


図 D ミジンコの生活環

問(3) 難易度：★★★★☆

(b)は花粉四分子、(c)は成熟した胚のう、(d)は胚乳の細胞であり、これらに含まれる染色体の総数について答えよという問題である。染色体の本数を答えるためにはそれぞれに含まれる核の数と核相について理解しなければならない。

(b)の花粉四分子は花粉母細胞が減数分裂することによってできる。したがって、花粉母細胞の核相を $2n$ ($=12$) とすると花粉四分子の核相は n ($=6$) となる。花粉四分子は4つの細胞から構成されているので、含まれる核の数は4つであり染色体の総数は24本となる。

(c)の成熟した胚のうは問(1)の解説で説明されているとおり、胚のう母細胞の減数分裂によってできた娘細胞

のうち 1 つが核分裂を 3 回繰り返すことでつくられる。したがって、含まれる核の数は 8 個であり核相は $n (= 6)$ なので、含まれる染色体の総数は **48 本**である。

(d)の胚乳の細胞は胚乳の中央細胞と精細胞が合体してできた細胞が由来となっている。中央細胞の核相は $n + n (= 6 + 6)$ 、精細胞の核相は $n (= 6)$ なので、胚乳の細胞に含まれる染色体の本数は **18 本**となる。

わからなかった人は再度図 B を確認しよう。

したがって、解答は、(b)24 本、(c)48 本、(d)18 本である。

問(4) 難易度：★★★★☆

問(1)の解説にあるように、1 つの花粉母細胞からは 4 つの花粉が形成され、1 つの花粉あたり 2 つの精細胞がつくられる。2 つの精細胞はどちらも配偶子として機能するので、1 つの花粉母細胞からできる配偶子は **8 個**である。

一方、1 つの胚のう母細胞からは 1 つの胚のうができる。胚のうに含まれる細胞のうち配偶子として機能する細胞は卵細胞だけなので、1 つの胚のう母細胞からできる配偶子は **1 個**である。

よって、解答は、A : 8 個、B : 1 個である。

問(5) 難易度：★★★★☆

被子植物と裸子植物の配偶子形成や受精様式にはいくらか異なる点がある。配偶子形成においては、被子植物の胚のうに含まれる卵細胞は 1 つであるが、裸子植物の胚のうに含まれる卵細胞は 2 つである点で異なる。また、受精様式の大きな違いは、被子植物は卵細胞と中央細胞が受精する重複受精が起こるが、裸子植物では卵細胞のみが受精し重複受精が起こらないことである。そのため、裸子植物の胚乳は胚のう細胞由来である。

したがって、解答例は以下ようになる。

解答例

- ・裸子植物は重複受精をしないため、胚乳は雄性配偶子の遺伝子をもたない。(34 字)
- ・裸子植物では 1 つの胚のうに 2 つの卵細胞ができる。(24 字)

これらの内容はとても細かい知識であり、掲載されていない教科書もある。重複受精が被子植物特有のしくみであることから、「重複受精をしない」という内容程度は書けていてほしいが、解答できなくても仕方ないだろう。本番では、解答できなかったとしても気にせず前進すればよい。

問(6) 難易度：★★★★☆

非常に簡単な遺伝の問題である。まず、[Ⅱ]の問題文中の情報を以下に整理する。

- ① ミヤコグサは自家受粉を繰り返すことで純系化することが可能であり、 x 系統と y 系統がつけられた。
- ② 同じ染色体上に E, F, G, H, I の遺伝子が連鎖している。

- ③ 系統 x の遺伝子型は $ExExFxGxGxHxHxIxIx$ 、系統 y の遺伝子型は $EyEyFyFyGyGyHyHyIyIy$ と表される。
- ④ F_1 は x 系統と y 系統を掛け合わせてつくられた。
- ⑤ 表 1 で F_1 と y 系統を掛け合わせてつくられた個体において、それぞれの遺伝子で組換えが起こったと判断された個体数が示されている。

以上の 5 つが[Ⅱ]の問題文中の重要な情報である。問(6)から問(8)までの問題はこの情報をもとに解いていく。

問(6)は、組換えがまったく起こらないと仮定した場合に F_1 と y 系統を掛け合わせてできる後代個体の遺伝子型を示せという問題である。

まず F_1 は $ExExFxGxGxHxHxIxIx$ (系統 x) と $EyEyFyFyGyGyHyHyIyIy$ (系統 y) を掛け合わせたものであり、遺伝子型は $ExEyFxGyGyHxHyIxIy$ となる。E, F, G, H, I の遺伝子は連鎖しているので、この個体がもつ 2 つの染色体の遺伝子型は系統 x 由来の $ExFxGxHxIx$ と系統 y 由来の $EyFyGyHyIy$ である。組換えがまったく起こらないと仮定すると、 $ExEyFxGyGyHxHyIxIy$ (F_1) が形成する配偶子の遺伝子型は $ExFxGxHxIx$ と $EyFyGyHyIy$ のみとなり、 F_1 と y 系統を掛け合わせると、 $ExEyFxGyGyHxHyIxIy$, $EyEyFyFyGyGyHyHyIyIy$ という遺伝子型の個体ができると考えられる。

したがって、解答は、 $ExEyFxGyGyHxHyIxIy$, $EyEyFyFyGyGyHyHyIyIy$ となる。情報量が多く面倒に感じるかもしれないが、集中して問題文を読み解答にたどり着こう。

問(7) 難易度：★★★★☆

$ExEyFxGy$ (F_1) において E 遺伝子と F 遺伝子の間で組換えが起こると、 $EyFx$ と $ExFy$ という遺伝子型の配偶子ができる。したがって、 F_1 と y 系統を掛け合わせた個体で E 遺伝子と F 遺伝子の間で組換えが起こったと判断できる個体の遺伝子型は $ExEyFyFy$, $EyEyFxGy$ である。

よって、解答は以下のとおり。

$ExEyFyFy$, $EyEyFxGy$

問(8) 難易度：★★★★☆

染色体上の遺伝子間の距離は組換えが起こる頻度と相関しているということをヒントに問題を解いていく。

表 1 において最も組換えが起こった数が多く、最も離れていると考えられるのは遺伝子 F と遺伝子 H であり、遺伝子 F と遺伝子 H が最も外側に存在する遺伝子であることがわかる。同様に、最も組換えが起こった数が少なく、最も近いと考えられるのは遺伝子 E と遺伝子 G であり、遺伝子 E と遺伝子 G は必ず隣接している必要がある。

遺伝子 F は遺伝子の順序のうち一番外側に存在するので、遺伝子 F からの距離を比較することで遺伝子の順序を把握することができると考えられる。遺伝子 F と他の遺伝子の間で起こった組換えの数を比較すると、遺伝子 F と遺伝子 I 間における組換えの数が、遺伝子 F と遺伝子 H 間における組換えの数に次いで多い。したがって遺伝子 I は遺伝子 H の隣にあると考えられる。同様に、遺伝子 H と他の遺伝子の間で起こった組換えの数を

比較すると、遺伝子 H と遺伝子 G 間における組換えの数が、遺伝子 H と遺伝子 F 間における組換えの数に次いで多いので遺伝子 G は遺伝子 F の隣にあると考えられる。

以上のことをまとめると、遺伝子の順序は FGEIH（HIEGF）であると考えられる。

よって、解答は、FGEIH, HIEGF のいずれか。

（北川健斗，安藤さくら，神戸朱琉，西川尚吾）