

2016年度 京都大学 前期 生物

I マウスの毛色の遺伝

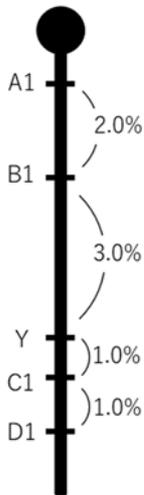
出題範囲	遺伝
難易度	★★★★☆
所要時間	18分
傾向と対策	京大の生物では頻出の、遺伝に関する分野からの出題である。計算を要する問題が3題あるが、問1、問2は基本的な問題でやさしい。一方、問3はやや難しいが、問2から首尾よく考えていけば解くことができる。唯一の論述問題である問6もやや難しいが、問5を踏まえて考えれば正解にたどり着くことができるので、ある程度時間をかけて正解したい。逆に、問2や問5を間違えると問3や問6も間違えてしまうため、やさしめの問題でミスをしたということも重要である。全体の難易度は例年並みであるが、時間的には少し余裕があるので、高得点を取りたい大問である。

解答

問1 (1)50% (2)67%

問2 A-B間：2.0% B-C間：4.0% C-D間：1.0%

問3



問4 欠失, 重複, 転座

問5 ア：B1 イ：C2 ウ：C1 エ：B2 オ：A2 カ：D2

問6 細胞分裂時に動原体に紡錘糸が結合し染色体が娘細胞に分配される。減数分裂の第一分裂時に逆位部分のマーカ一遺伝子間に乗換えが起こると、動原体を2つもつ染色体と動原体をもたない染色体が1つずつ生じる。動原体は紡錘糸と染色体をつなぎとめる役割をもつため、減数分裂の染色体分配が正常に行われず、配偶子が形成されないから。(156字)

解説

問 1 難易度：★★★★☆

親の表現型から子の表現型比を求める問題。基本的な問題であるから、必ず正解したい。

まず文章(A)を読んでみると、マウスの常染色体上の遺伝子 Y には突然変異によりマウスの毛色が黄色化する突然変異があるという。この突然変異遺伝子を Y- と表し、正常な遺伝子を Y+ と表すとしよう。遺伝子型が Y+Y+ のマウスは毛色が灰色、Y+Y- のマウスは毛色が黄色、Y-Y- のマウスは胎生致死を示す。これらを踏まえ問題 1 を解こう。

(1) 灰色マウスと黄色マウスの交配なので、親の遺伝子型の組み合わせは Y+Y+ × Y+Y- である。この交配による子の遺伝子型比は Y+Y+ : Y+Y- = 1 : 1 であるから、子の表現型比は灰色マウス : 黄色マウス = 1 : 1 である。したがって、毛色が黄色の産子の割合は

$$1/2 \times 100\% = 50\%$$

である。

(2) 黄色マウス同士の交配なので、親の遺伝子型の組み合わせは Y+Y- × Y+Y- である。この交配による子の遺伝子型比は Y+Y+ : Y+Y- : Y-Y- = 1 : 2 : 1 であるから、子の表現型比は灰色マウス : 黄色マウス : 胎生致死 = 1 : 2 : 1 である。ここで注意すべきなのは、求めるのは毛色が黄色の産子の割合であるから、胎生致死を示す子は除いたうちの黄色マウスの割合を調べなくてはならないということである。よって、毛色が黄色の産子の割合は

$$2/3 \times 100\% = 67\%$$

である。なお、有効数字が 2 桁であることに注意が必要である。

したがって、解答は(1)50%、(2)67%である。有効数字が 2 桁であることに注意が必要である。

問 2 難易度：★★★★☆

表 1-1 が少し見づらいなので注意が必要である。表 1-1 の遺伝子型と表現型ごとの集団に番号をつけ、一番下の段に乗換えが起こった位置を加えたのが次の表 A である。

表 A それぞれの遺伝子型と表現型を示すマウスの匹数と乗換えの位置

		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
遺伝子型	マーカー A	A2/A2	A2/A2	A2/A2	A2/A2	A1/A2	A1/A2	A1/A2	A1/A2
	マーカー B	B2/B2	B2/B2	B2/B2	B1/B2	B1/B2	B1/B2	B1/B2	B2/B2
	マーカー C	C2/C2	C2/C2	C1/C2	C1/C2	C1/C2	C2/C2	C2/C2	C2/C2
	マーカー D	D2/D2	D1/D2	D1/D2	D1/D2	D1/D2	D2/D2	D2/D2	D2/D2
表現型		灰色	灰色	黄色	黄色	黄色	黄色	灰色	灰色
匹数		90	2	2	3	96	2	4	1
乗換えの位置		なし	C-D 間	B-C 間	A-B 間	なし	B-C 間	B-C 間	A-B 間

ある遺伝子間の組換え価とは、その遺伝子の間で乗換えが起こり、遺伝子が組換えられている割合である。したがって、A-B間の組換え価はA-B間で乗換えが起こっている④、⑤の全体に占める割合であるから、A-B間の組換え価は

$$\{(\text{④の匹数})+(\text{⑤の匹数})\} \div (\text{全体の匹数}) \times 100\% = (3+1) \div 200 \times 100\% = 2.0\%$$

である。同様の計算により、B-C間の組換え価は4.0%、C-D間の組換え価は1.0%である。

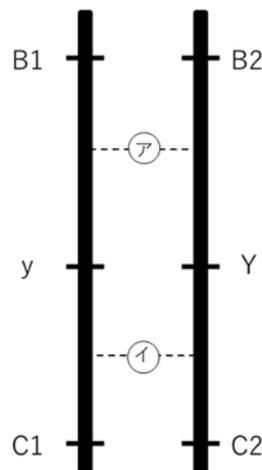
よって、解答はA-B間：2.0%、B-C間：4.0%、C-D間：1.0%である。

問3 難易度：★★★★☆

表1からマウス第2染色体の染色体地図を作る。染色体地図とは、染色体上の遺伝子の位置を模式的に示した図である。正確な染色体地図を得るには遺伝子間距離を調べる必要があるが、遺伝子間距離が大きいほど乗換えが起こりやすいため、遺伝子間距離は組換え価に比例する。そのため、組換え価を仮想的な遺伝子間距離とみなすこともある。このような方法で作成した染色体地図は遺伝学的地図とよばれる。

上述のとおり、染色体地図を調べるには組換え価を調べればよい。マーカー遺伝子間の距離は問2で調べたとおりである。あとはY遺伝子の遺伝子座を調べればよい。

突然変異したY遺伝子をヘテロにもつマウスは毛色が黄色化するのだから、Y遺伝子の遺伝子型は毛色からわかる。ここで表Aの⑥と⑦を見てみると、⑥と⑦のマウスのマーカー遺伝子の遺伝子型はまったく同じにもかかわらず表現型が異なっていることがわかる。このことから、B1とC1の間に突然変異型のY遺伝子が存在していると考えられる。したがって、遺伝子BとY、CとYの組換え価を調べればよいので、B-C間で乗換えが起こっている③、⑥、⑦に注目しよう。

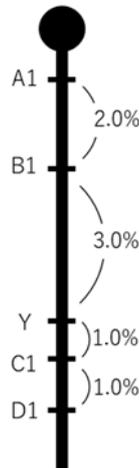


図A マーカー遺伝子B、Cと遺伝子Yの位置関係

表1の遺伝子型と表現型を見てわかるように、③と⑦は図Aの(ア)の位置で、⑥は(イ)の位置で乗換えが起こった染色体をもつ配偶子から生じたマウスである。したがって、BとYの組換え価は $\{(\text{③の匹数})+(\text{⑦の匹数})\} \div (\text{全体の匹数}) \times 100\%$ である。

数)} \div (\text{全体の匹数}) \times 100\% = (2+4) \div 200 \times 100\% = 3\% \text{であり, C と Y の組換え価は(⑥の匹数)} \div (\text{全体の匹数}) \times 100\% = 2 \div 200 \times 100\% = 1\% \text{である。これらの和は 4\%であり, 問 2 で求めた B-C 間の組換え価とも矛盾しない。}

以上より, 染色体地図は下図のようになる。



Y 遺伝子の遺伝子座を求めるところでつまずいてしまうかもしれないが, 表現型と遺伝子型の関係を意識できていれば解ける問題である。

問 4 難易度：★★★★☆

突然変異には, DNA の塩基配列レベルでの変異である**遺伝子突然変異**と, 染色体レベルでの変異である**染色体突然変異**が存在する。

遺伝子突然変異には, DNA のある塩基が別の塩基に変化する**置換**, DNA の中に塩基対が入る**挿入**, DNA の中の塩基対が欠ける**欠失**が存在する。置換が起こったときに置換が起こったトリプレットがコードするアミノ酸が別のアミノ酸へ変化する場合, この置換を**ミスセンス変異**という。置換が起こったトリプレットがコードするアミノ酸が変化しない場合, この置換を**サイレント変異**という。置換が起こったトリプレットが終止コドンにコードするようになった場合, この置換を**ナンセンス変異**という。3 の倍数ではない数のヌクレオチドの挿入や欠失によりその遺伝子の変異が起こった位置より下流の塩基のコドンの割り振りがずれてしまう場合, この変異を**フレームシフト変異**とよぶ。

一方で, 染色体突然変異にもいくつかの種類がある。生物は種によって, 染色体の基本数とよばれるゲノムを構成する染色体数が決まっている。通常の体細胞は基本数の 2 倍の染色体をもっていることが多い(**二倍体**) が, 基本数の 3 倍, 4 倍・・・の染色体をもっている個体も存在する。このように, 染色体数が基本数の整数倍となっていることを**倍数性**とよび, 倍数性を示す個体を**倍数体**とよぶ。また, 染色体数が基本数の整数倍よりも 1~数個多くなっていたり少なくなっていたりすることを**異数性**とよび, 異数性を示す個体を**異数体**とよぶ。倍数性

と異数性以外の染色体突然変異には、染色体の一部が欠ける**欠失**、染色体の一部が繰り返す**重複**、染色体の一部が逆転する**逆位**、染色体の一部が相同染色体以外的一部分と入れ替わる**転座**があり、これらは染色体の構造が変化するものである。

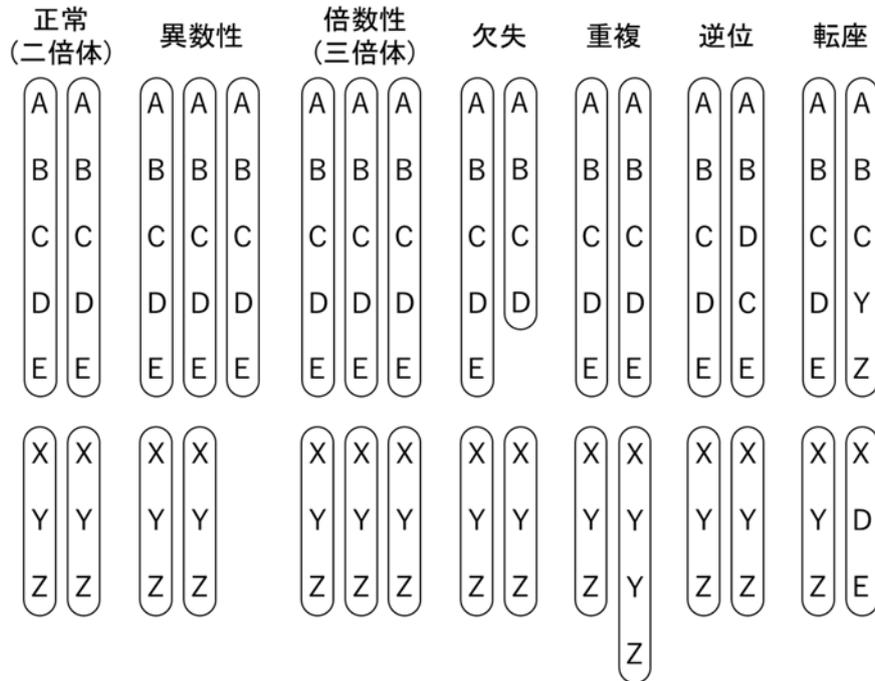


図 B 染色体突然変異

したがって、解答は、**欠失**、**重複**、**転座**である。

問 5 難易度：★★★★☆

A~C が逆位になった染色体をヘテロにもつマウスの減数分裂において、B-C 間で乗換えが起こったときに生じる染色体上にある遺伝子とその順番を答える問題。図 3 が与えられているので、図 3 の B-C 間で乗換えを起こしてそれぞれの染色体がどうなるかを見ればよい。

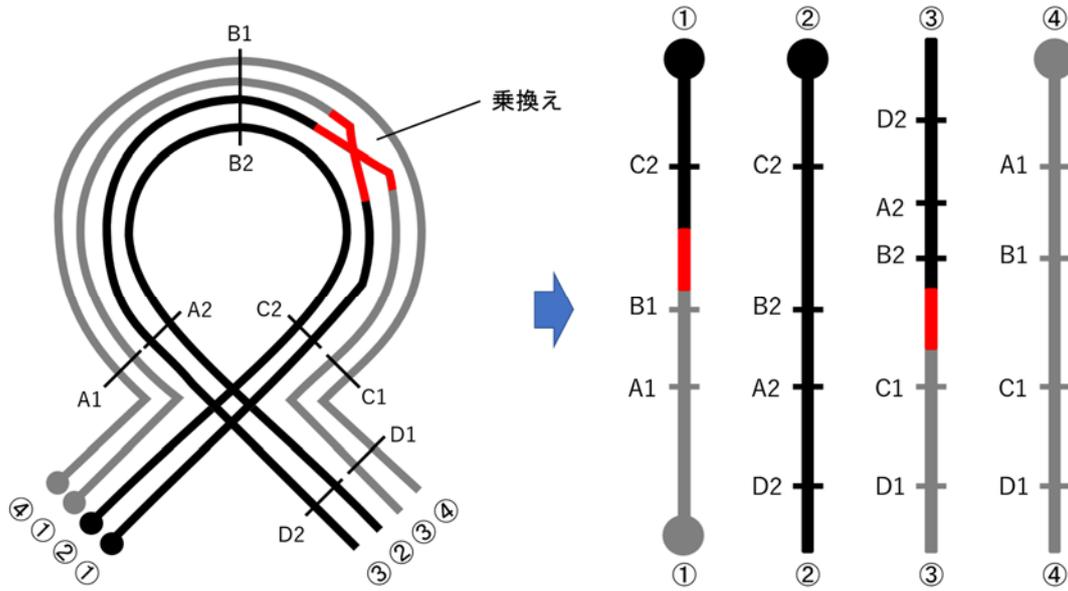


図 C 逆位になった相同染色体の乗換え

この図より，得られる染色体は，(動原体)－(C2)－(B1)－(A1)－(動原体)と(動原体)－(C2)－(B2)－(A2)－(D2)と(D2)－(A2)－(B2)－(C1)－(D1)と(動原体)－(A1)－(B1)－(C1)－(D1)の4種類である。

したがって解答は，ア：B1，イ：C2，ウ：C1，エ：B2，オ：A2，カ：D2である。

問6 難易度：★★★★☆

逆位部分で組換えを生じた産子が得られなかった理由を問われている。逆位部分とは次の図の斜線部分のことであるが，この部分で乗換えが起こると問5で見たとおり，動原体を二つもつ染色体と動原体を一つももたない染色体が生じる。

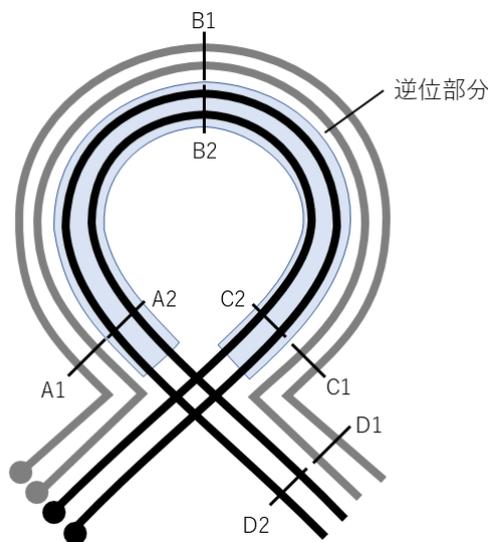


図 D 二価染色体における逆位部分

動原体とは、細胞分裂期に形成され、細胞分裂中期に紡錘糸が付着する構造である。動原体に付着した紡錘糸が染色体を細胞の両極に引っ張ることにより、染色体が娘細胞に等分される。

しかし、逆位部分の乗換えにより生じるものには、動原体を 2 つもつ染色体や動原体を 1 つももたない染色体がある。これにより、正常な染色体分配が起こらないため、逆位部分の組換えが生じた配偶子が作られず、そのような産子が得られなかったと考えられる。

したがって、解答は次のようになる。

解答例

細胞分裂時に動原体に紡錘糸が結合し染色体が娘細胞に分配される。減数分裂の第一分裂時に逆位部分のマーカ一遺伝子間に乗換えが起こると、動原体を 2 つもつ染色体と動原体をもたない染色体が 1 つずつ生じる。動原体は紡錘糸と染色体をつなぎとめる役割をもつため、減数分裂の染色体分配が正常に行われず、配偶子が形成されないから。(156 字)

(西川尚吾, 安藤さくら, 神戸朱琉)

2016 年度 京都大学 前期 生物

II サクラソウの花柱の形質と田島ヶ原における自然選択, 社会性昆虫の利他行動と繁殖のしくみ

出題範囲	進化, 遺伝
難易度	★★★★☆
所要時間	21分
傾向と対策	<p>遺伝や進化に関する大問である。進化や系統に関する分野は、しばしば京大でも出題されているので注意が必要である。今回の大問では、問1や問4は知識問題であり必ず正解したい。記述問題は問3, 問5, 問6(い)の3題で、これらの出来がこの大問の点数を大きく左右したと思われる。どの記述問題も簡単ではないが、問題文をしっかりと読み取れば手が出ないわけではない。そのため、全体の難易度としては標準程度である。このような問題で高得点を取るためには、記述問題の演習を繰り返し行うことが必要となる。</p>

解答

- 問1 収束進化 (収れん)
- 問2 (あ)Aa (い)aa
- 問3 花粉媒介者のいない環境により適応しているのは自家受粉のできる等花柱花をつけるサクラソウである。そのため等花柱花をもつようになる突然変異遺伝子の遺伝子頻度が増加し、田島ヶ原のサクラソウ集団が等花柱花をつけるようになるような進化が起こる。(117字)
- 問4 近交弱勢
- 問5 シロアリの巣内には女王と王とその子供たちという血縁関係がある。自ら子孫を残すよりも血縁関係のある個体を助けたほうが効率よく繁殖できる場合、王や女王を助け兄弟や姉妹を増やすことは、より多く自分の遺伝子を残すことに繋がるから。(111字)
- 問6 (あ)CC, DD
- (い)王の精子と女王の卵の受精により二倍体のワーカーが生じる。一方で、女王の単為生殖により副女王が生じる。この時、副女王は女王の相同染色体のうちの片方の染色体を2本受け継ぐことで二倍体となる。(93字)
- 問7 AA, AB, BB

解説

問1 難易度：★★★★☆

類似した環境下で異なる生物がよく似た形質をもつように独立に進化していく現象を**収束進化 (収れん)**という。この代表的な例としては、フクロモモンガとモモンガのような有袋類と真獣類 (有胎盤類) の例が挙げられ

る。それらは別の大陸で異なる系統から発生したにもかかわらず、とても似た特徴をもつ。ほかにも、昆虫の翅と鳥類の羽や脊椎動物の目と頭足類（イカやタコの仲間）の目などは、似た構造であるが発生起源は異なる器官である。このように、形態や機能が似ているが系統的な起源が異なるような器官を**相似器官**という。

収束進化と対になる概念に**適応放散**がある。適応放散とは単一の祖先から多様な形質の子孫が生じることをいう。例えば、哺乳類におけるヒトの腕、クジラの胸びれ、コウモリの翼は同じ発生起源をもつ。このように、形態や機能は異なっているが系統的に同じ起源をもつ器官を**相同器官**と呼ぶ。

したがって、解答は**収束進化（収れん）**である。

問2 難易度：★★★★☆

サクラソウには短花柱花のみをつける個体と長花柱花のみをつける個体が存在し、短花柱花と長花柱花の間でしか受粉が起こらない。その上、その交配により生じたサクラソウ集団の短花柱花と長花柱花の比は1:1である。また、花柱の長さの表現型は1つの遺伝子座で決定され、短花柱花を作る遺伝子Aは対立遺伝子aに対し優性である。以上のことが本文から与えられている。この時の短花柱花と長花柱花の遺伝子型を知りたい。

まず、花柱の長さの形質が1つの遺伝子によって決められ、短花柱花を作る遺伝子Aが対立遺伝子aに対して優性なのだから、短花柱花を作らない遺伝子型、すなわち長花柱花を作る遺伝子型はaaしか考えられない。それと交配させて次世代の表現型比が短花柱花:長花柱花=1:1になるような短花柱花の遺伝子型はAaである。AAという遺伝子型はどうかと思う人もいるかもしれないが、遺伝子型AAの短花柱個体がaaの長花柱個体と交配したときは子の表現型比が1:1にならないので不適切である。そもそも短花柱花と長花柱花間でしか受粉が起こらないことを考えると、遺伝型がAAである個体は生じえない。

したがって、解答は、**(あ)Aa, (い)aa**である。

問3 難易度：★★★★☆

自家受粉できる突然変異体である等花柱花が低頻度で存在すること、田島ヶ原で花粉媒介者であるマルハナバチが消失していることから、田島ヶ原で起こるサクラソウの進化を予測する。問題文にある表1を見れば一目瞭然であるが、田島ヶ原における等花柱花の結実率と花あたりの種子生産数は長花柱花と短花柱花に比べ圧倒的に多い。このことより、田島ヶ原の環境により適応的なのは等花柱花をつけるサクラソウであるといえる。したがって、田島ヶ原のサクラソウ集団はすべてのサクラソウが等花柱花をつけるようになるような進化が起こると考えられる。

ここで、生物がある環境での生存や繁殖に有利な遺伝的形質を備えていること、そのような形質をもつように変化すること、あるいはその遺伝的形質自体のことを**適応**という。より適応的な個体のほうがほかの個体よりも高確率で生存、繁殖することで、時間経過とともに環境に対して生物が適応する。これが**自然選択**である。適応という用語は常に進化や遺伝と関連した意味で用いられ、1個体の環境に対する変化は順応とよぶことが多いことに気を付けよう。

以上より、答えは次のようになる。

解答例

花粉媒介者のいない環境により適応しているのは自家受粉のできる等花柱花をつけるサクラソウである。そのため等花柱花をもつようになる突然変異遺伝子の遺伝子頻度が増加し、田島ヶ原のサクラソウ集団が等花柱花をつけるようになるような進化が起こる。(117 字)

問 4 難易度：★★☆☆☆

(A)、(B)に合計 4 つある に共通に入る単語を探すために、それぞれの空欄周辺の文脈を読み取ろう。(A)では、自家受粉による空欄アの影響を防ぐために長花柱花、短花柱花の自家不和合性が存在し、等花柱花が自家受粉による交配を続けた場合、 の影響の大きさにより集団の盛衰が決まるという文脈である。(B)では、近親交配による空欄アの影響によりそのシロアリの巣が衰退するという文脈である。これらより には、遺伝的に近いもの同士の交配によって起こり、集団を衰退させる要因となるものが入る。

これは、**近交弱勢**とよばれる。近交弱勢とは、劣性遺伝子として存在はするがヘテロ接合であるため表現型として現れてはいない有害遺伝子が近親交配によりホモ接合となって有害な形質が現れ、その系統の個体の生存や繁殖が不利になることである。近交弱勢の影響が強まると、個体群における死亡率が高まり、絶滅に至ることもある。

したがって、解答は**近交弱勢**である。

問 5 難易度：★★★★☆

シロアリの巣においてワーカーや兵隊が自分の子を残さず王や女王を助けて兄弟姉妹を増やすことの適応的意義を問う記述問題である。個体間の血縁関係の観点から考えるように設問文にあるので、巣の中の個体間の血縁関係に注意してみよう。

設問文中に「適応度」という語がある。**適応度**とは、生物が一生のうちでどれだけ子孫を残すことができるかを示す値である。よって、設問文中の「自らの適応度がゼロになる」とは、自分の子を残さないという意味である。

王と女王の有性生殖により生じる子はワーカーや兵隊となり、女王の単為生殖により副女王が生じる。このことを知っていれば簡単な問題ではあるが、知らない場合にはやや難しいはずである。次の問 6 で図 2 からヤマトシロアリの繁殖のしくみを考えるので、先に問 6 を解いた方がよいだろう。次の問題が前の問題のヒントになることもあるので、わからなければその問題にあまり固執しないようにしよう。

シロアリの巣の中にいるワーカーや兵隊はすべてその巣の女王や王の子である。そのため、巣の中の個体はすべて近縁である。ここで、個体が子孫を残す最大の目的は自分の遺伝子を残すことであると考えよう。ワーカーや兵隊が自分で生殖するよりも親である王と女王の生殖を助けた方が効率よく繁殖できる場合、自分自身の子孫を残すよりも効率的に自分の遺伝子を残すことができる。

このシロアリの例のような、自己の適応度を低下させ他個体の適応度を上昇させる行動を**利他行動**とよぶ。
以上より、解答は次のようになる。

解答例

シロアリの巣内には女王と王とその子供たちという血縁関係がある。自ら子孫を残すよりも血縁関係のある個体を助けたほうが効率よく繁殖できる場合、王や女王を助け兄弟や姉妹を増やすことは、より多く自分の遺伝子を残すことに繋がるから。(111 字)

問 6 難易度：★★★★☆

マイクロサテライトを含む DNA 領域の電気泳動の結果からシロアリの繁殖のしくみを考える問題である。

マイクロサテライトとは、問題文に書かれているとおり、ゲノム中で塩基配列が繰り返されている部分であり、その繰り返しは多様である。そのため、血縁がない個体同士のマイクロサテライトを含む DNA 領域の長さは異なっていると考えられる。これを踏まえて図 2 を見ると、①、②より A と B のバンドの DNA は王由来、C と D のバンドの DNA は女王由来であると考えられる。

(あ) 副女王の電気泳動からは C と D の DNA のどちらか一方しか見いだせない。問題文に「すべての個体の染色体が 42 本である」とあるから、副女王は二倍体である。よって副女王の遺伝子型は、CC または DD である。

(い) 図 2 のワーカーの DNA の電気泳動の結果をみると、ワーカーは王と女王からそれぞれ 1 つずつ遺伝子を受け継いでいることがわかる。これより、本文にある王と女王の有性生殖からワーカーが生まれるといえる。また、副女王は女王からのみ遺伝子を引き継ぐ。これは本文にある女王の単為生殖により生じる子が副女王になるためである。(あ)でも述べたが副女王も二倍体であるため、副女王は女王から相同染色体のうち的一方を 2 本受け継いでいるといえる

以上より、(あ)の解答は CC, DD であり、(い)の解答は次のようになる。

解答例

(い)王の精子と女王の卵の受精により二倍体のワーカーが生じる。一方で、女王の単為生殖により副女王が生じる。この時、副女王は女王の相同染色体のうち片方の染色体を 2 本受け継ぐことで二倍体となる。(93 字)

問 7 難易度：★★★★☆

問題文中に、王が死亡した場合は子の中から副王となる個体が出現するとある。ここでいう子とは、王から遺伝子を受け継いでいるワーカーであろう。すなわち、図 2 より考えられる副王の遺伝子型は AC, AD, BC, BD の 4 つである。これらの副王と遺伝子型が CD の女王から生まれる遺伝子型を調べればよい。副王の配偶子の遺伝子型は A, B, C, D のどれかであり、女王の配偶子の遺伝子型は C, D のいずれかであるから、副王と女王の有性生殖によって生じるワーカーの遺伝子型として考えられるのは、AC, AD, BC, BD, CC, CD, DD の 7 種類。よって、与えられている遺伝子型のうち、副王と女王から生まれるワーカーの遺伝子型として適切でない

ものは AA, AB, BB の 3 種類である。

以上より, 解答は AA, AB, BB である。

(西川尚吾, 神戸朱琉, 後藤暁彦)

2016 年度 京都大学 前期 生物

III C₃植物と C₄植物の光合成, 大脳各領域とその機能

出題範囲	光合成, 神経系, ニューロン
難易度	★★★★☆
所要時間	23分
傾向と対策	前半が光合成, 後半が脳を中心とした神経系に関する題材からの出題である。全体として記述量の多い大問であり, 特に問2や問8が厄介であった。問題文から解答のヒントとなる情報を見つけられるかがカギとなる。前半と後半のどちらにおいても, 発展的な知識が必要となる。京大の生物では深い知識とそれに基づいて考える能力の両方が要求される。この問題では光合成や脳について触れたので, 解説をよく読むだけでなく, 資料集などで調べたりもしながら理解を深めてほしい。

解答

- 問1 トウモロコシ, サトウキビ
- 問2 C₄植物は CO₂濃縮回路により, 気孔の開きを小さくしても CO₂の固定反応に十分な濃度の CO₂を確保できる。そのため, 気孔からの蒸散を抑えることができるから。(78字)
- 問3 C₃植物でも O₂の取り込みが起らなくなるような環境下では, CO₂濃縮回路による利益がなくなり, ATP消費というコストだけがかかってしまうから。(72字)
- 問4 (お)
- 問5 ア: 受容器 イ: 効果器 ウ: 中枢神経系 エ: 大脳髄質 オ: 連合野
- 問6 (1) 跳躍伝導
(2) 神経繊維は直径が大きいほど伝達速度が速くなる。ヤリイカの軸索は通常の神経繊維に比べきわめて太いため, 有髄神経繊維に劣らない伝達速度を示す。(69字)
- 問7 (い), (え), (お)
- 問8 右利きの人では, 右視野の情報は左脳に伝えられ左脳の言語中枢で処理されるが, 左視野の情報は右脳に伝えられたのちに脳梁を介して左脳の言語中枢に伝えられる。脳梁の機能が失われると, 右脳で受け取った左視野の文字情報を言語処理能力のある左脳に送ることができなくなるため。(120字)

解説

問1 難易度: ★★★★★

6つの植物の中から C₄植物を2つ選択する問題。

問題文中にもあるとおり C₄植物は CO₂を C₄化合物として固定してからカルビン・ベンソン回路に取り込むため, CO₂濃度を高く保ったまま効率の良い光合成を行うことが可能である。このような光合成の方式は, 高温・

乾燥条件で光合成をおこなう際に有利である。トウモロコシ、サトウキビは赤道直下の高温な地域が原産の代表的な C_4 植物である。 C_4 植物の特徴を知っていれば推測することもできるが、問われやすい内容であるため覚えておきたい。

したがって、解答はトウモロコシ、サトウキビである。

◆Check!!

CAM 植物

CAM 植物は、砂漠などの乾燥が激しい地域に生息している多肉植物や熱帯多雨林の着生植物など、常に水分の維持が問題となるような植物に多くみられる。乾燥の激しい地域では、気温の高い昼間に気孔を開くと、蒸散により多量の水分を失ってしまう。そのため、CAM 植物は、昼間は気孔を閉じて CO_2 の取り込みを行わない。その代わりに、涼しい夜に気孔を開いて CO_2 の取り込みを行うことで、水分の損失を抑制している。

詳しい反応は次のとおりである。CAM 植物は夜に気孔を開くことで CO_2 を取り込み、ホスホエノールピルビン酸カルボキシラーゼ (PEP カルボキシラーゼ) という酵素によってホスホエノールピルビン酸 (PEP) をカルボキシル化させてオキサロ酢酸とすることにより、 CO_2 を固定する。その後オキサロ酢酸をリンゴ酸へと変換し、そのリンゴ酸を十分な光の得られる昼間まで液胞に貯蔵する。昼間になるとリンゴ酸は CO_2 とピルビン酸に分解される。この時、 CO_2 が高い濃度を維持することができるため、ルビスコが CO_2 の固定を触媒することができ、カルビン・ベンソン回路へと CO_2 が供給される。

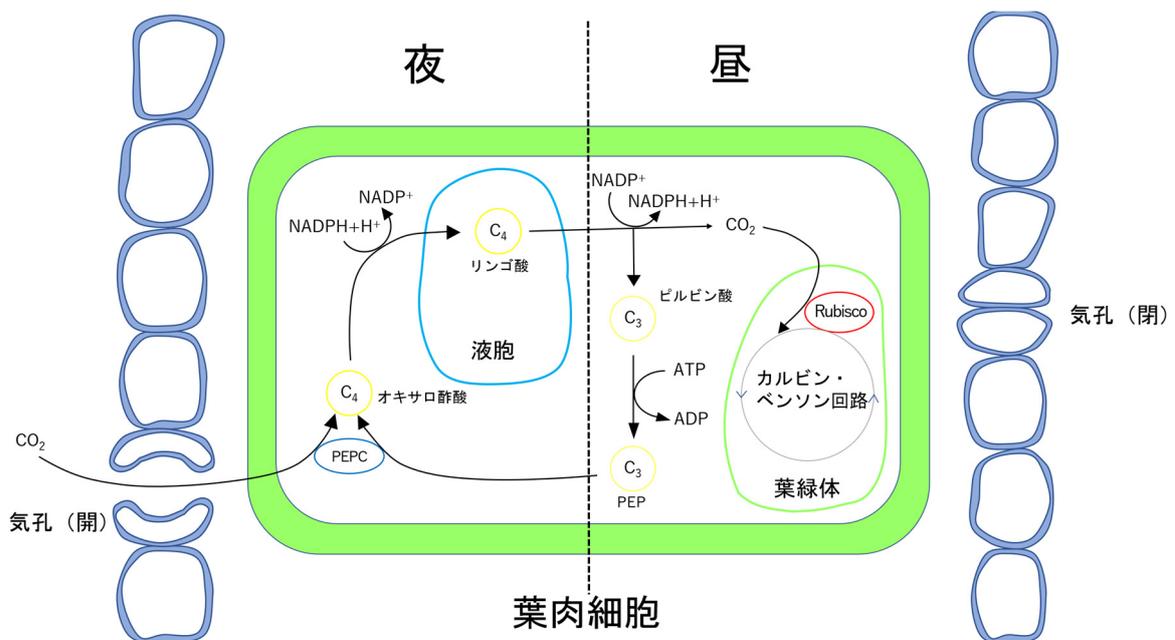


図 A CAM 植物の CO_2 固定

このように、CAM 植物は CO_2 の固定を「夜→昼」と時間的に分けることで、乾燥した環境に適応している。

CAM 植物の CAM とはベンケイソウ型有機酸代謝 (Crassulacean Acid Metabolism) の略である。CAM 植物のおもな例としては、CAM の由来となっているベンケイソウ科、サボテン科、トウダイグサ科、ラン科の着生植物、パイナップル科などが挙げられる。

問 2 難易度：★★★★☆

植物は光合成に必要な水分を根から、 CO_2 を気孔から取り込んでいる。植物は気孔を開くことで CO_2 を取り込むことができるが、蒸散作用により水分を失う。

文中でも述べられているとおり、 CO_2 をカルビン・ベンソン回路に取り込む酵素ルビスコは CO_2 濃度が十分でないときに代わりに回路中に O_2 を取り込んでしまう。 C_3 植物の場合ルビスコを十分な濃度の CO_2 にさらすためには気孔を大きく開く必要がある。一方、 C_4 植物は CO_2 濃縮回路をもっているため、気孔を小さく開けていても光合成に十分な量の CO_2 を確保することができる。気孔を開く度合いが少ないほど蒸散によって失われる水分量も減少するため、 C_4 植物は C_3 植物に比べて少ない水で生育可能となる。

以上をまとめた解答は以下のようになる。

解答例

C_4 植物は CO_2 濃縮回路により、気孔の開きを小さくしても CO_2 の固定反応に十分な濃度の CO_2 を確保できる。そのため、気孔からの蒸散を抑えることができるから。(78 字)

問 3 難易度：★★★★☆

解答は C_4 植物と C_3 植物の光合成の共通点、相違点についてよく理解している必要がある。

C_4 植物は CO_2 濃縮回路をはたらかせることでルビスコによる O_2 の取り込みを抑制し、高い光合成効率を実現している。図 1 中にも示されているとおり、濃縮回路でピルビン酸をホスホエノールピルビン酸に変換する際には ATP が消費される。高温や乾燥などの条件下では、濃縮回路で ATP を消費することによる損失よりも CO_2 を濃縮することによって得られる利益のほうが大きいため、 C_4 植物は生存に有利である。しかし、設問の「 C_3 植物でもルビスコによる O_2 の取り込み反応が起こらなくなる。」という条件下では、 CO_2 を濃縮することによって得られる利益はなくなるにもかかわらず、ATP は消費されることになる。そのため、ルビスコによる O_2 の取り込みが起こらないほど高濃度の CO_2 存在下では CO_2 濃縮回路をもたないほうが生存に有利となる。

以上より、解答は次のようになる。

解答例

C₃植物でも O₂の取り込みが起こらなくなるような環境下では、CO₂濃縮回路による利益がなくなり、ATP消費というコストだけがかかってしまうから。(72字)

問4 難易度：★★★★☆

問題文、問3が解答のためのヒントとなる。CO₂濃度ごとに場合分けして考えれば解答は難しくない。

まず、文中に登場する用語から確認していこう。光飽和点とは、それ以上光合成速度が増加しない光の強さである。また、CO₂固定速度は光合成速度として考えることができる。問4の条件では「光飽和点を超える光強度」とあることから、この場合の光合成速度の限定要因は光以外のものだとわかる。

図2中の大気中のCO₂濃度を基準としてCO₂濃度が低い場合、高い場合についてそれぞれ考える。

CO₂濃度が大気中よりも低い場合、C₃植物ではルビスコがO₂の取り込みを触媒しCO₂固定速度は低下する。一方、C₄植物ではATPを消費することでCO₂濃縮回路をはたらかせて光合成に十分な量のCO₂を取り込むことができるため、周辺のCO₂濃度が低い場合でも光合成速度、つまりCO₂固定速度は高い状態に維持される。そのため、CO₂固定速度はC₃植物<C₄植物となる。

CO₂濃度が大気中よりも極端に高い場合を考えると、問3で考えたとおりである。つまり、C₃植物ではルビスコによるO₂の取り込み反応が起こらなくなり効率よく光合成ができるようになるが、C₄植物はCO₂濃縮回路によりATPが消費され光合成効率が下がる。CO₂固定速度はC₃植物>C₄植物となる。

図2を見てみると、大気中のCO₂濃度前後でCO₂固定速度の大小が入れ替わっているグラフの組み合わせは(b)、(c)である。また、大気中のCO₂濃度の時はC₃<C₄となるので、解答はC₃植物に(b)、C₄植物に(c)を選択している(お)となる。

問5 難易度：★★★★☆

神経系に関する問題。

動物が外界からの刺激を受け取る器官を **ア** : **受容器** といい、眼や耳がこれにあたる。対して、筋肉など刺激に対する反応を担う器官を **イ** : **効果器** という。

脊椎動物ではほとんどの神経が脳と脊髄に集中しており、まとめて **ウ** : **中枢神経系** とよぶ。中枢神経系以外の神経はまとめて **末梢神経系** とよばれる。大脳は灰白色の **大脳皮質** と白色の **エ** : **大脳髄質** からなる。大脳皮質は **新皮質**、古皮質、原皮質に分けられ、新皮質のうち感覚に対応する領域は **感覚野**、それらの情報を統合・処理する領域は **オ** : **連合野** とよばれる。

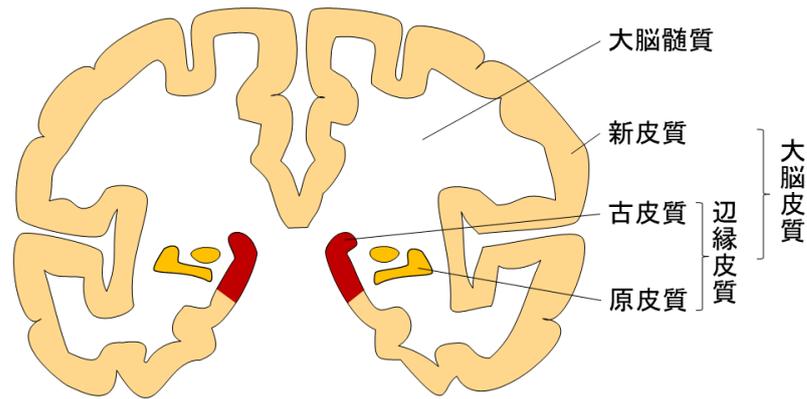


図 B 大脳の構造

したがって、解答は、ア：受容器，イ：効果器，ウ：中枢神経系，エ：大脳髄質，オ：連合野である。

問6 難易度：★★★★☆

(1) 有髄神経繊維にみられる伝導のしくみを**跳躍伝導**という。有髄神経繊維は末梢神経では**シュワン細胞**，中枢神経繊維では**オリゴデンドロサイト**が軸索に幾重にも巻きついてできる**髄鞘**とよばれる構造をもち，活動電位は髄鞘の切れ目である**ランビエ絞輪**を飛び飛びに伝わる。

したがって、解答は**跳躍電動**である。

(2) 神経繊維上の活動電位の伝達速度は神経繊維が太いほど大きい。ネコの有髄神経繊維は $15\mu\text{m}$ ，カニの無髄神経繊維は $30\mu\text{m}$ 程度であるが，ヤリイカは $500\mu\text{m}$ もの太さの巨大軸索をもつため，無髄神経繊維であっても有髄神経繊維同様の速い伝達速度を示す。

よって、解答は以下ようになる。

解答例

神経繊維は直径が大きいほど伝達速度が速くなる。ヤリイカの軸索は通常の神経繊維に比べきわめて太いため，有髄神経繊維に劣らない伝達速度を示す。(69 字)

問7 難易度：★★★★☆

大脳の領域ごとの機能に関する問題。この分野は教科書によっては扱いが軽く，出題も「正しいものを全て選べ」という形式であるため少し難しかっただろう。それぞれの選択肢を確認していこう。

(あ) 誤り。延髄で左右の神経が交差するため，右手の運動は左大脳半球運動野が，左手の運動は右大脳半球運動野が支配している。

(い) 正しい。「理解」に関する領域はウェルニッケ野，「発話」に関する領域はブローカ野とよばれ，ウェルニッケ野は聴覚野を困むように，ブローカ野は前頭葉に存在する。どちらも左右の偏りがあり，通常はどちらも左脳優位である。

(う) 誤り。古皮質, 原皮質などからなる辺縁皮質は本能や基本的な感情にもとづく行動にかかわる分野である。辺縁皮質は両生類から存在するが, ヒトを含む哺乳類で特に発達しているのは新皮質である。

(え) 正しい。大脳皮質の後端部には視覚野が存在し, 視覚をつかさどっている。左右の目で受け取った情報は約半数が視交叉で交差し, 右視野の情報は左の視覚野へ, 左視野の情報は右の視覚野へと送られる。

(お) 正しい。(あ)でも述べたように延髄で左右の神経が交差するため, 右手の感覚は左大脳半球感覚野が, 左手の感覚は右大脳半球感覚野が支配している。

よって, 解答は(い), (え), (お)。

問8 難易度: ★★★★★

視交叉と脳梁について知っておく必要がある。視神経は半分が交差しており, 右視野の情報は大脳左半球に, 左視野の情報は大脳右半球に伝えられる。脳梁は左右の大脳半球をつないでおり, 半球間の連絡を担っている。脳梁の機能が失われているとき, 右大脳半球に入った情報を左大脳半球に伝えて処理することができなくなる。

まず, 右視野で得た情報は左視覚野へ伝えられる。言語機能をつかさどる領域は左大脳半球にあるため, 右視野から伝えられた文字情報は問題なく処理することができる。一方, 左視野で得た情報は右視覚野へと伝えられる。脳梁の機能が失われているため, 左視野から右視覚野へと伝えられた情報を大脳左半球に伝えることができず, 左視野の情報を言語として認識できなくなる。

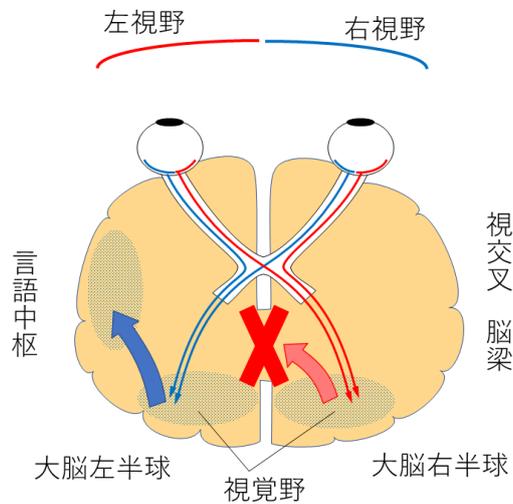


図 C 視覚情報の伝達

よって, 解答は以下のようなになる。

解答例

右利きの人では, 右視野の情報は左脳に伝えられ左脳の言語中枢で処理されるが, 左視野の情報は右脳に伝えられたのちに脳梁を介して左脳の言語中枢に伝えられる。脳梁の機能が失われると, 右脳で受け取った左視野の文字情報を言語処理能力のある左脳に送ることができなくなるため。(120字)

(後藤暁彦, 神戸朱琉, 安藤さくら)

2016年度 京都大学 前期 生物

IV 制限酵素地図の作成, mRNA と PCR 法, 分子モーター

出題範囲	DNA, バイオテクノロジー, 酵素
難易度	★★★★☆
所要時間	22分
傾向と対策	(A)では制限酵素, (B)ではおもに PCR 法, (C)では分子モーターについての出題であり, それぞれの部分で内容が異なるため, 手間取ってしまったかもしれない。知識問題である問3の答え「ポリ A 尾部」は知らなければ仕方がなく, 答えられなくても差はつかないだろう。それ以外では, 問4が難しいだけで, ほかの問題は平凡である印象を受ける。問5のような難易度は低いが配点は低くないであろう問題は必ず正解したい。全体の難易度としては標準程度で, 特に問1, 問2, 問4などは考える能力を養うのによい問題であるから, 解説をしっかりと理解して考え方を自分のものにしてほしい。

解答

問1 (う)

問2 (か)

問3 ア: ポリ A 尾部 (ポリ A テール, ポリ A 鎖) イ: 逆転写

問4 プライマーA: ATTCTG プライマーB: CTAATA

問5 (1) 120度

(2) ATP 濃度が $200 \mu\text{mol/L}$ のとき, 心棒の回転速度は 120 回転/秒である。分子モーターは 1 秒間に 360 個の ATP を分解すること, 1 回転が 360 度であることを踏まえると, ATP1 個あたりの心棒の回転角度は次。120 回転/秒 \times 360 度/回転 \div 360 = 120 度。(129 字)

問6 基質である ATP の濃度が十分に高くなると, 酵素である ATP アーゼのうち ATP アーゼと ATP の複合体を形成している割合は 1 に近づく。そのため, ATP 加水分解反応の反応速度は一定の値に近づき, そこで得られるエネルギーも一定の値に近づくから。(118 字)

解説

問1 難易度:★★★★☆

制限酵素によって切断されたプラスミド断片の長さから制限酵素がプラスミド上のどの部分を切断しているか考察する問題である。制限酵素がプラスミドをどのように切断するのか表した図を制限酵素地図という。

では, 電気泳動の結果から制限酵素がプラスミドをどのように切断していくのか推測していこう。問題を解く上でカギとなるのは, 制限酵素を単体で使用した場合と, ほかの制限酵素と組み合わせて使用した場合を比較していくことである。

制限酵素 *EcoRI*, *HindIII*, *PstI* をそれぞれ単体で使用すると, *EcoRI*, *HindIII* では 1 つ, *PstI* では 2 つの断

片ができる。

まず、*EcoRI* を単体で使用したときは 10kbp の断片のみできたが、*EcoRI*, *HindIII* を組み合わせて使用したときは 9.5kbp の断片と 0.5kbp の断片ができている。このことから考えると、*EcoRI*, *HindIII* の認識部位の位置関係は下図のようになることがわかる。

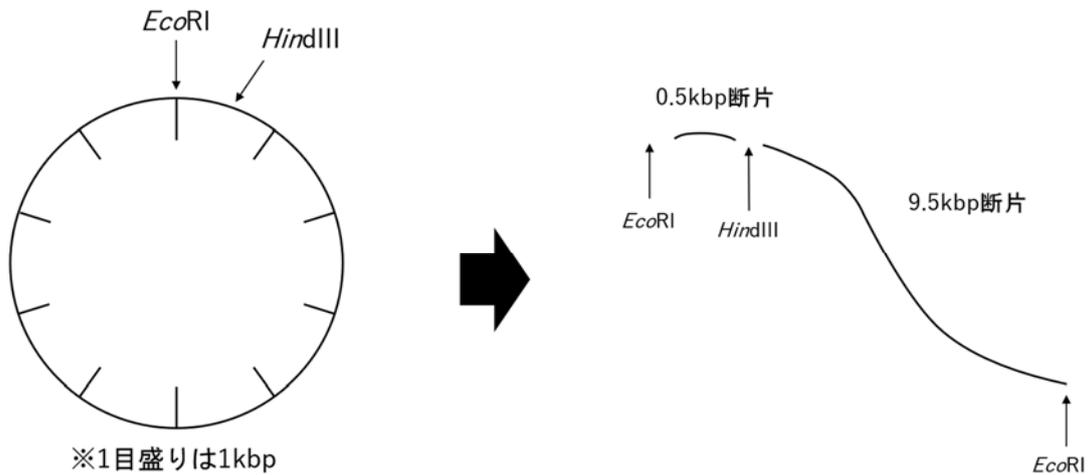


図 A *EcoRI* と *HindIII* の認識部位

また、*PstI* を単体で使用したときは、6kbp と 4kbp の 2 つの断片ができしたが、*PstI* と *HindIII* を組み合わせて使用したときは 6kbp, 3kbp, 1kbp の 3 つの断片ができている。このことに注目すると、*PstI* のみ使用したときに生じた 4kbp の断片が、*HindIII* によってさらに 3kbp と 1kbp の断片になることがわかり、*PstI*, *HindIII* による切断部分の位置関係は下図のようになることがわかる。

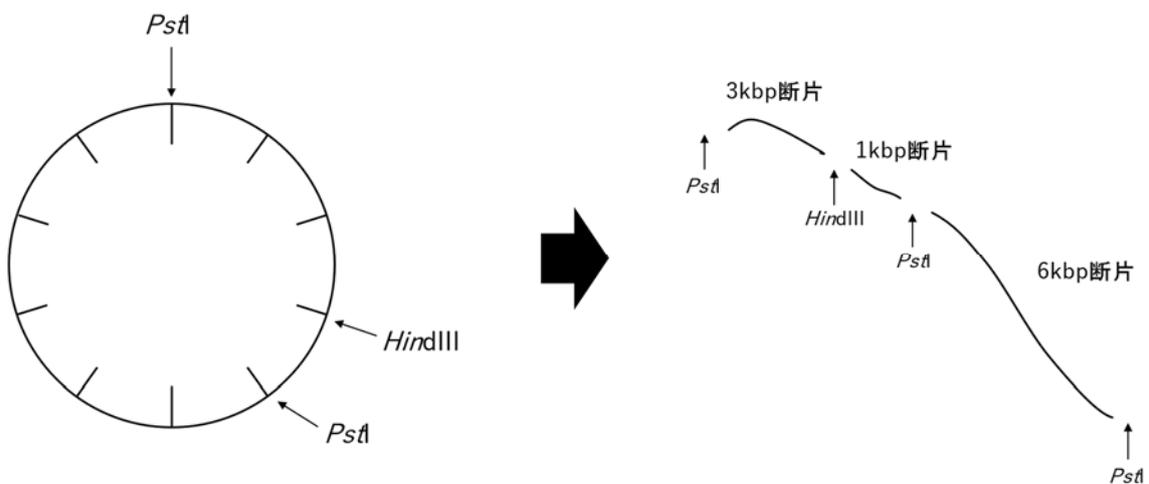


図 B *PstI* と *HindIII* の認識部位

この 2 つの図を組み合わせると、3 つの制限酵素が切断する部分の位置関係は下図の 2 通りが考えられる。

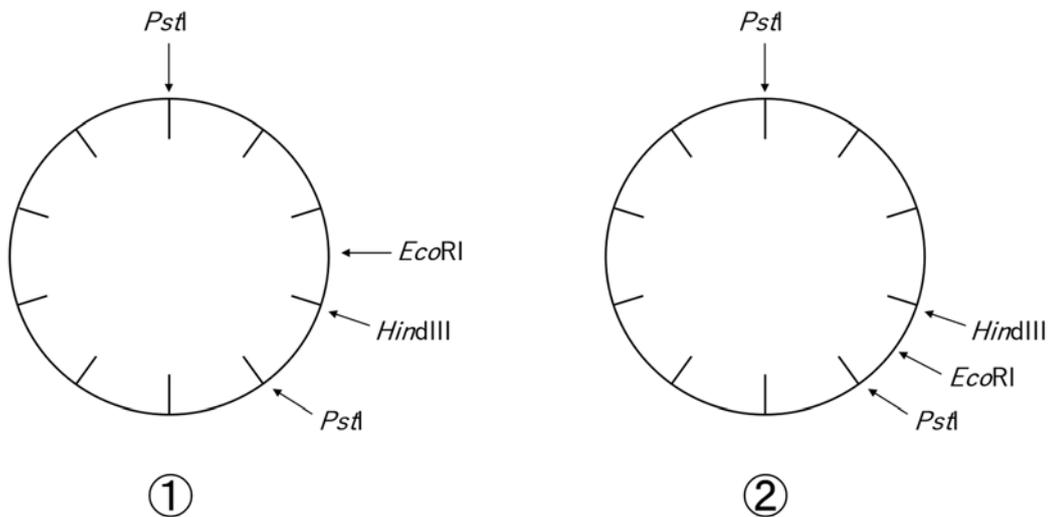


図 C *EcoRI* と *PstI* と *HindIII* の認識部位

ここで、最後に、*EcoRI* を単体で使用したときは、10kbp の断片のみできたが、*EcoRI* と *PstI* を組み合わせて使用したときは 6kbp、3.5kbp、0.5kbp の 3 つの断片ができていることに注目すると、*EcoRI* と *PstI* による切断部分の位置関係は上図の②となることがわかる。

以上より、解答は(う)。じっくりと検証していけば難しくない問題である。選択肢が 4 つしかないので、考え方が思いつかなければ 1 つひとつ検証していくのも手だろう。この問題は問 2 にもつながるので、絶対に落としたいくない。

問 2 難易度：★★★★☆

DNA 断片挿入後のプラスミドの制限酵素地図を考察する問題。

まず、図 2 に着目してみよう。*EcoRI* と *MfeI* で切断した DNA 断片の切断面は互いに相補的な塩基配列となっていることがわかるだろう。相補的な塩基どうしは水素結合を形成できるので、*MfeI* で切断した DNA 断片を *EcoRI* で切断したプラスミドに組み込むことができるのである。プラスミドと DNA 断片が結合された部分の DNA の塩基配列は下図のようになる。

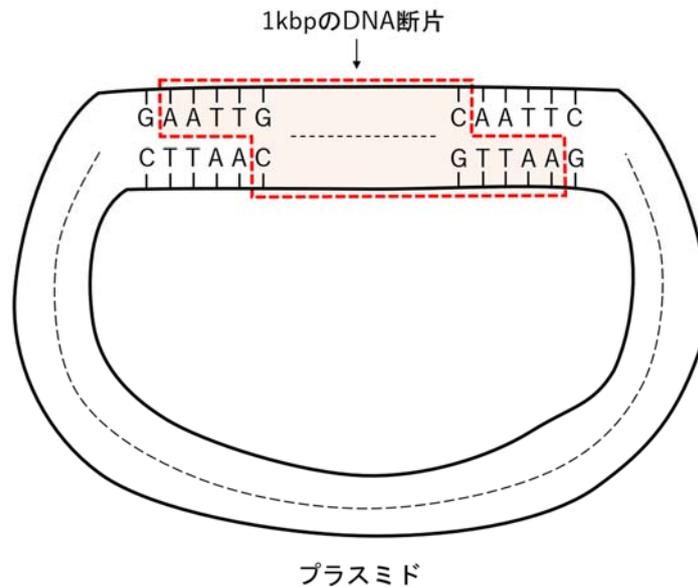


図 D プラスミドと DNA 断片の結合部分の塩基配列

ここで気をつけてほしいのは、プラスミドと DNA 断片を結合させた部分の塩基配列が *EcoRI* でも *MfeI* でも切断できないような塩基配列となっているということである。図 2 を見ると *EcoRI*, *MfeI* ともに切断面の塩基配列だけでなく、切断部分の両隣の塩基の配列も認識していることに注意してほしい。上の図 D を見ると、結合させた部分には *EcoRI*, *MfeI* が認識できる配列がない。したがって、結合させた部分は *EcoRI* でも *MfeI* でも切断されない。問題文から DNA 断片内には *EcoRI*, *HindIII*, *PstI* の認識部位は存在せず、元のプラスミドに *MfeI* 認識部位は存在しないので、制限酵素地図に *EcoRI*, *MfeI* は書かれないはずである。よって、答えはそれらが書かれていない(か), (こ), (さ)の3つに絞られる。

問 1 の(う)の制限酵素地図の *EcoRI* の部分に 1kbp の DNA 断片が加わるわけだから、*PstI* と *HindIII* の距離は 3kbp と 2kbp であることがわかる。

したがって、解答は(か)。*EcoRI*, *MfeI* が制限酵素地図から抜け落ちることに気づかなかった人も多いだろう。ただ、これも切断部分の付近の塩基配列をじっくりと考えればわかることである。比較的時間をかけられるので、しっかりと正解したい問題である。

問 3 難易度：★★★★☆

アにはポリ A 尾部（ポリ A テール，ポリ A 鎖）が入る。mRNA 前駆体の 3'末端は AAUAAA という塩基配列になっており、これをポリ A 付加シグナルという。この塩基配列をポリ A ポリメラーゼという酵素が認識すると、その酵素のはたらきにより mRNA 前駆体の 3'末端に 70~250 個のアデニンヌクレオチドが付け加えられる。このアデニンヌクレオチドの配列部分をポリ A 尾部といい、翻訳の開始に必要である。今回の問題ではチミンヌクレオチドが並ぶプライマーに相補的な配列の名称が求められているので、この語句が入ることがわか

る。

イには逆転写が入る。RNA を転写して DNA を合成することを**逆転写**という。この反応を触媒するのが**逆転写酵素**であり、mRNA に相補的な DNA (cDNA) を作る際に使われる。真核生物由来の DNA にはイントロンが含まれている。そのため、転写、スプライシングなどの過程を経て合成された mRNA から、逆転写酵素を用いてエクソンのみからなる cDNA を合成し、プラスミドに挿入する必要がある。

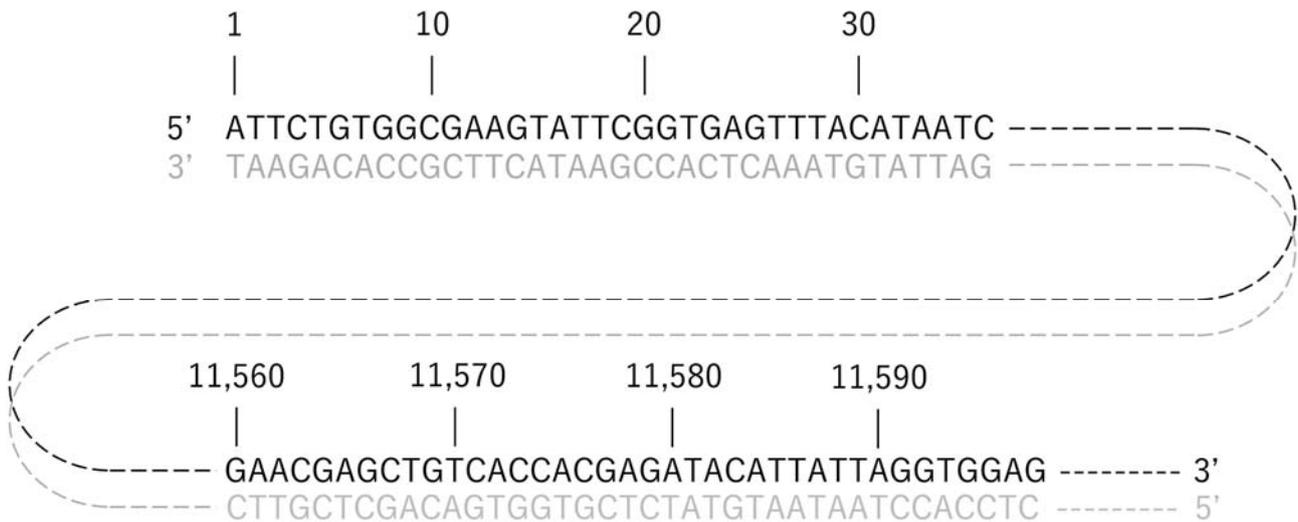
以上より、解答はア：ポリ A 尾部 (ポリ A テール, ポリ A 鎖), イ：逆転写。

ポリ A 付加は高校生物では発展的な内容で、教科書の発展や資料集を読みこんでいないと正答するのは難しいだろう。京都大学の問題ではこのように難しい語句を書かされることもあるので、資料集を見て細かい部分まで知識をつけていくのがよい。問題を解く上でも役に立つはずである。

問 4 難易度：★★★★★

PCR (ポリメラーゼ連鎖反応, Polymerase Chain Reaction) 法とは目的の DNA 断片を大量に作ることできる手法であり、短時間で簡単に DNA 断片を増幅できる。PCR 法ではプライマーという短い DNA 断片を使用するが、これが複製の起点となる。今回の問題では、このプライマーの塩基配列を考える。

まず、与えられた遺伝子の塩基配列の相補鎖を考えて 1 本鎖を 2 本鎖にしてみよう。2 本鎖にした DNA の配列は下図のようになる。



注) 番号は転写開始点を1番とする

図 E 与えられた配列の二本鎖

では、プライマーA から考えていこう。プライマーA は転写開始点から 21 塩基のプライマーである。転写開始点は 1 番の塩基なので、ここにプライマーA を結合させればいいことがわかる。そして、DNA の複製の方向

は 5'末端→3'末端なので、プライマーA を結合させるのは前ページの図 E の DNA の 2 本鎖のうち、下の鎖であることに注意しよう。よって、プライマーA の塩基配列は下図のようになる。

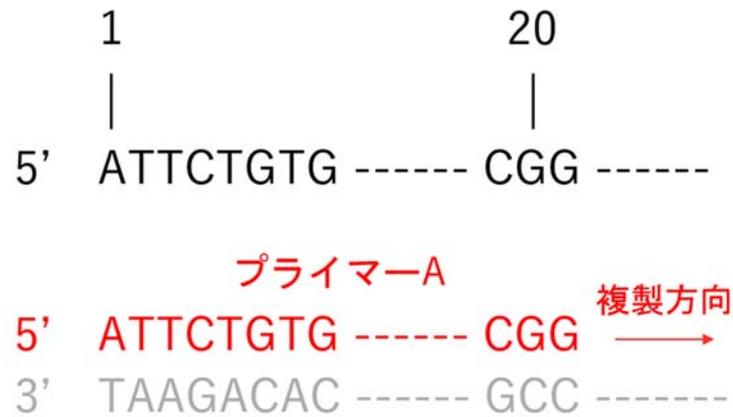


図 F プライマーA の塩基配列

次に、プライマーB を考えていこう。プライマーB は終止コドンの終わりまでの 21 塩基のプライマーである。なので、転写した際に終止コドンになる塩基の配列を探していこう。mRNA の終止コドンが UAA, UAG, UGA の 3 つであることは覚えている必要がある。

ここで、次の 2 つのことに注意しよう。1 つ目は、DNA の合成同様に RNA の合成も 5'→3' の方向に進むため、転写の鋳型となる DNA 鎖は下の鎖であるということ。2 つ目は、この真核細胞由来である遺伝子はイントロンを含んでいる可能性が高いので、塩基配列を 3 つずつ区切ってはいけないということである。

これを踏まえて図 Q を見ていこう。ちなみに、mRNA の終止コドンが上記の 3 つであるのだから、転写の鋳型鎖である下の鎖での終止コドンの配列は ATT, ATC, ACT の 3 つのどれか（上の鎖では TAA, TAG, TGA のどれか）である。この配列は 11589 番目～11591 番目の位置にある。

DNA の複製は 5'→3' の方向に進むため、プライマーB が結合するのは上の鎖である。よって、プライマーB の塩基配列は次のページの図 G のようになる。

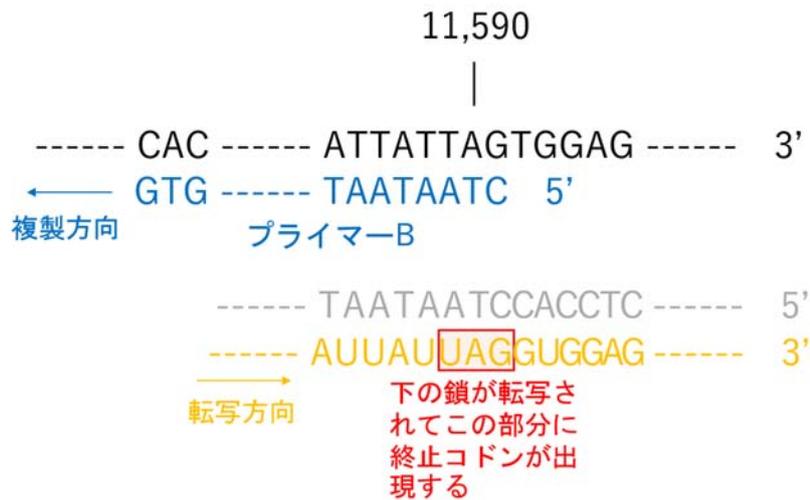


図 G プライマー-B の塩基配列

以上より、プライマーの 5'末端側からの塩基配列を考えると、解答は**プライマー-A : ATTCTG**、**プライマー-B : CTAATA**。プライマー-B を考える際の 2 つの注意点に気づくことができなければ、終止コドンとなる配列を決めることができない。そのため、プライマー-B の正解率は低いと予想される。ただし、プライマー-A はそれほど難しくないので確実に正解したい。

◆Check!!

PCR 法

前述したように、PCR 法を用いると増幅したい DNA 断片を大量に合成することができる。その原理を復習しておこう。

PCR を行う際の手順は以下のとおりである。

まず、試験管などの容器に増幅したい DNA と A, T, C, G の塩基をもったヌクレオチドと適したプライマー、DNA ポリメラーゼを十分量入れておく。そして、次の 3 工程を行う。

- ① 95°C に加熱して塩基間の水素結合を切り、DNA を一本鎖にする。(変性)
- ② 60°C 程度に冷やして、DNA の 3'末端にプライマーを結合させる。(アニーリング)
- ③ 72°C にし、DNA ポリメラーゼに DNA 合成をさせる。(伸長)

①～③を繰り返せば、目的の DNA が増幅していく。単純計算で n 回の繰り返して 2^n 個の DNA が得られる。

PCR 法で使用される DNA ポリメラーゼは、好熱細菌由来の熱安定性が高いものであるため、①の加熱で失活することがなく、PCR のサイクルの繰り返しに耐えることができる。

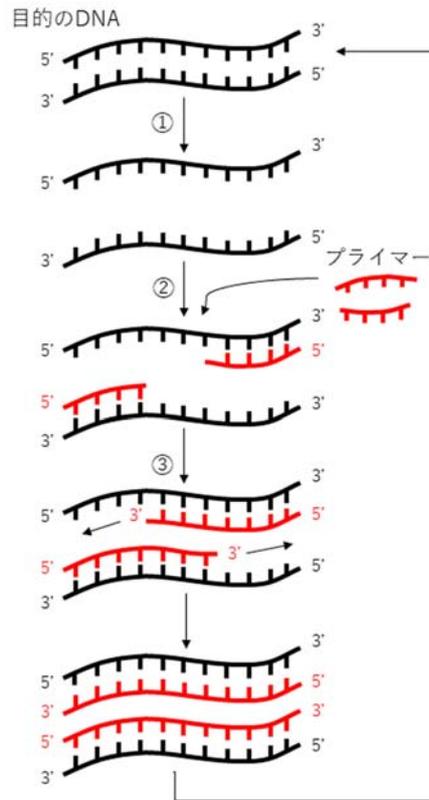


図 H PCR 法のしくみ

問 5 難易度：★★★★☆

図 4 より、ATP 濃度が $200 \mu\text{mol/L}$ のとき、心棒は 1 秒で 120 回転する。問題文より、分子モーターは 1 秒間あたり 360 個 ATP を加水分解するので、 $120 \text{ 回転/秒} \div 360/\text{秒} = 1/3 \text{ 回転}$ より、ATP 1 個の加水分解により心棒は $1/3$ 回転することがわかる。1 回転は 360 度なので、 $360 \text{ 度/回転} \times 1/3 \text{ 回転}$ より、ATP 1 個の加水分解により心棒は 120 度回転する。

以上より、(1)の解答は 120 度、(2)の解答は次のようになる。

解答例

ATP 濃度が $200 \mu\text{mol/L}$ のとき、心棒の回転速度は 120 回転/秒である。分子モーターは 1 秒間に 360 個の ATP を分解すること、1 回転が 360 度であることを踏まえると、ATP 1 個あたりの心棒の回転角度は次。120 回転/秒 \times 360 度/回転 \div 360 = 120 度。(129 字)

問 6 難易度：★★★★☆

ATP を ADP とリン酸に分解する酵素をまとめて、ATP アーゼと呼ぶ。ATP アーゼが酵素だという事に着目すると、図 4 のグラフは酵素の分野でしばしば見かける、縦軸に反応速度を、横軸に基質濃度をとったグラフに酷

似していることに気づくだろう。どこが似ているかという点、基質濃度が十分に小さいときは反応速度が基質濃度に比例するのに対し、基質濃度が十分に大きくなると反応速度が最大値に近づき変化しなくなるという点である。それを思い出せば、この問題でも同じことがいえるのではないかと気づくだろう。単位時間あたりに生成するエネルギーが大きくなるほど、分子モーターの心棒の回転速度が、大きくなると考えられる。

ATP 濃度がそれほど高くない場合、ATP 濃度が増加するにつれて ATP と結合している ATP アーゼの割合が上昇し、反応速度が大きくなる。一方、ATP 濃度が十分に大きくなると、ほとんどの ATP アーゼが ATP と結合してしまうため、ATP 濃度が増加しても反応速度はあまり変化しなくなる。ATP が加水分解されて生じるエネルギーは分子モーターの回転エネルギーに変換されるため、心棒の回転速度も一定の値に近づく。よって、心棒の回転速度もほとんど大きくなりなくなるのである。

以上の内容を「ATP アーゼと ATP の複合体」という語句を用いて説明すればよい。やや語句が長く使いにくいですが、解答例は次のとおり。

解答例

基質である ATP の濃度が十分に高くなると、酵素である ATP アーゼのうち ATP アーゼと ATP の複合体を形成している割合は 1 に近づく。そのため、ATP 加水分解反応の反応速度は一定の値に近づき、そこで得られるエネルギーも一定の値に近づくから。(118 字)

(熊井勇介, 神戸朱琉, 西川尚吾, 安藤さくら)