

# 2018年度 東京大学 前期 生物

## 第1問 選択的スプライシング

出題範囲	遺伝子, 核酸
難易度	★★☆☆☆
所要時間	23分
傾向と対策	問題文が2つあり, それぞれに設問が4つある, 例年どおりの問題構成である。本大学の場合, 問題文は長いが答える内容は必ず知っているという良問が毎年出題される。今年度の場合には小問FやGが該当するだろう。問題文から要点をつかむ練習をしておきたい。また, 小問A, B, Cなどは類題を解いたことがある人もいるだろう。このような問題には時間をかけすぎないようにしたい。一方で記述問題はAのみであったので比較的時間に余裕があったのではないかな。

### 解答

- I
- A DNAの2本鎖が開裂されると, 基本転写因子とRNAポリメラーゼが転写される片方のDNA鎖のプロモーターに結合する。RNAポリメラーゼはDNA鎖の塩基と相補的な塩基をもつヌクレオチドを付加し, RNAを5'→3'へ伸長させる。(111字)
- B 16種類
- C エキソン9dの81~83塩基目(エキソン9dの84~86塩基目でも可)
- D a-③, b-⑤, c-⑥, d-⑧, e-⑩
- II
- E 9
- F チミン
- G ATGCATGCAT(1番目と10番目, 2番目と9番目, 3番目と8番目, 4番目と7番目, 5番目と6番目が相補的な塩基である塩基配列なら可)
- H (あ)g-6, h-4  
(い)8:6:7  
(う)(1), (5)

### 解説

- I
- A 難易度: ★★☆☆☆

真核生物における転写, 翻訳のメカニズムは必ず説明できるようにしよう。まず, 本問で用いる用語の意味を確認しておこう。「基本転写因子」とは真核生物の転写のときにのみはたらくタンパク質で, 転写が開始される

際に RNA ポリメラーゼとともにプロモーターに結合する。「プロモーター」は遺伝子の転写開始部位の近くに存在する DNA 上の領域で、転写の開始に関与する。「RNA ポリメラーゼ」はヌクレオチドを付加して DNA の塩基配列と相補的な塩基配列を持つ RNA を合成する酵素である。このような記述問題では、あたえられた用語を正しい意味で使えることが正答の前提となる。自分の言葉で説明できるようになっておこう。また、解答に用いるほかの語句も使い方を確認しておこう。「片方の DNA 鎖」はセンス鎖かアンチセンス鎖のどちらかの意味で使うと考えられる。どちらの意味で使ってもよい。解答例ではアンチセンス鎖の意味で用いた。ちなみに DNA の 2 本鎖のうち、どちらが転写されるか、つまりどちらのヌクレオチド鎖がアンチセンス鎖になるかは遺伝子ごとに異なる。次に、「5'→3'」は RNA ポリメラーゼがヌクレオチドを付加していく方向であると考えられる。DNA の複製を行う DNA ポリメラーゼの場合と同じく、RNA ポリメラーゼは既存の mRNA のリボースの 3 番目の炭素に次のヌクレオチドのリン酸を結合させる。このため、mRNA の伸長には方向性が生じる。また、DNA の複製にかかわる DNA ポリメラーゼとは異なり、ヌクレオチド付加の開始にプライマーを必要としない。解答ではこれらのことを踏まえ、RNA ポリメラーゼが結合する、ヌクレオチド鎖を伸長するので 2 段階に分けて書くのがいいだろう。

以上のことから、解答例は次のとおり。

#### 解答例

DNA の 2 本鎖が開裂されると、基本転写因子と RNA ポリメラーゼが転写される片方の DNA 鎖のプロモーターに結合する。RNA ポリメラーゼは DNA 鎖の塩基と相補的な塩基をもつヌクレオチドを付加し、RNA を 5'→3' へ伸長させる。(111 字)

#### ◆Check!!

#### タンパク質合成までの流れ

##### 1. 転写（核内で行われる）

DNA に RNA ポリメラーゼが結合し、一方のヌクレオチド鎖を鋳型にして RNA (mRNA 前駆体) が合成される。

##### 2. mRNA 前駆体の修飾（核内で行われる）

- ・ **スプライシング**：mRNA 前駆体からイントロン部分が除かれ、エキソン部分だけが連結される。
- ・ **キャップの付加**：転写された RNA の 5'末端に 3 つのリン酸とメチル基のついたグアノシン（キャップ）が結合する。
- ・ **ポリ A 尾部の付加**：転写された RNA の 3'末端に 200 個に及ぶ連続した AMP が付加される。

##### 3. 翻訳（リボソームで行われる）

リボソーム上で tRNA が mRNA の **コドン** と相補的に結合する。運ばれたアミノ酸どうしは **ペプチド結合** によって結合され、ポリペプチドとなる。

#### 4. 修飾（小胞体・ゴルジ体で行われる）

リボソームで合成されたポリペプチドは小胞体やゴルジ体で正しい立体構造の形成や糖鎖などの付加が行われ、適切な機能をもつタンパク質となる。

### B 難易度：★★★★☆

問題文にもあるように、スプライシング時に mRNA 前駆体からイントロン部分だけでなく一部のエクソンも取り除かれることで 1 種類の mRNA 前駆体から 2 種類以上の mRNA がつくられる。つまり、1 つの遺伝子から複数種類のタンパク質が合成されることになる。このようなスプライシングを選択的スプライシングという。

ここでは 2 通りの解き方を挙げる。まず、mRNA 前駆体から合成される mRNA は、エクソン 2~5 の 4 つの領域がそれぞれ使用されるかスキップされるかの 2 通りであるので、組み合わせは  $2^4=16$  通りとなる。また、エクソンの 4 つの領域のうちいくつ使われるかということに着目すると、0 個のときは  ${}_4C_0$ 、1 個のときは  ${}_4C_1$ 、2 個のときは  ${}_4C_2$ 、3 個のときは  ${}_4C_3$ 、4 個のときは  ${}_4C_4$  となり、それぞれのエクソンの並べ方は 1 通りに定まるので、 ${}_4C_0+{}_4C_1+{}_4C_2+{}_4C_3+{}_4C_4=16$  となる。すべて書き出すと、1-6, 1-2-6, 1-3-6, 1-4-6, 1-5-6, 1-2-3-6, 1-2-4-6, 1-2-5-6, 1-3-4-6, 1-3-5-6, 1-4-5-6, 1-2-3-4-6, 1-2-3-5-6, 1-2-4-5-6, 1-3-4-5-6, 1-2-3-4-5-6 である。

よって、解答は **16 種類**。

### C 難易度：★★★★☆

図 1-1 より、平滑筋で発現するエクソンは 1a-2a-3-4-5-6b-7-8-9d である。そしてこの問題は、3 つの塩基で 1 つのアミノ酸を指定することがわかれば解ける問題である。計算ミスをしないう慎重にやらなければならない。この問題にはおもに 2 つの解き方がある。 $\alpha$ -トロポミオシンタンパク質のアミノ酸数を塩基数に換算して開始コドンから塩基を数える方法と、翻訳される部分のエクソンの塩基数をアミノ酸数に換算してから 284 個のアミノ酸を数える方法である。前者は最後部の処理は簡単であるが、扱う数字は大きくなる。一方後者は、扱う数字は小さくなるが、最後にアミノ酸数を塩基数に換算しなければならず、より慎重にならなければならない。以下、両方の方法を示す。

まず、 $\alpha$ -トロポミオシンタンパク質のアミノ酸数を塩基数に換算して開始コドンから塩基を数える方法である。284×3=852 であるからエクソン 1a の 192 番目から 852 塩基を数える。エクソン 1a に翻訳される塩基は  $305-(192-1)=114$  あり、エクソン 8 までの塩基をすべて足すと  $114+126+134+118+71+76+63+70=772$  であり、 $852-772=80$  であるからエクソン 9d には 80 塩基含まれる。よって終止コドンはエクソン 9d の 81~83 塩基目にある。

次に翻訳される部分のエクソンの塩基数をアミノ酸数に換算してから 284 個のアミノ酸を数える方法である。まず、エクソン 1a に翻訳される塩基は 114 あるから、 $114\div 3=38$  個のアミノ酸を指定する。同様にエクソン 2a では  $126\div 3=42$  個のアミノ酸を指定する。エクソン 3 の 134 塩基は 3 で割り切ることができないが、エキ

ソン 4 の 118 塩基とあわせると割り切れて、 $(134+118) \div 3 = 84$  個のアミノ酸を指定する。さらにエクソン 5 とエクソン 6b も組み合わせて  $(71+76) \div 3 = 49$  個、エクソン 7 では  $63 \div 3 = 21$  個である。ここまでのアミノ酸は  $38+42+84+49+21 = 234$  個である。次のエクソン 8 は  $70 \div 3 = 23$  あまり 1 であるから、エクソン 8 まで含めると  $234+23 = 257$  個である。よって 284 番目のアミノ酸はエクソン 9d に含まれると考えられる。 $284 - 257 = 27$  であるからエクソン 8 の最後の 1 塩基からの 3 つ組で指定されるアミノ酸は 27 個である。 $27 \times 3 = 81$  であるからエクソン 8 の最後の 1 塩基分を引いてエクソン 9d の 80 番目まで翻訳される塩基である。よって終止コドンの位置はエクソン 9d の 81~83 塩基目である。

しかし多くの場合開始コドンによって指定されたメチオニンはタンパク質の合成過程で切り離されるため、 $\alpha$ -トロポミオシンタンパク質のポリペプチド鎖には開始コドンで指定されたメチオニンは含まれていないと考えることもできるだろう。その場合上記の結果からアミノ酸 1 つ分、つまり、3 塩基ずつれるため終始コドンの位置はエクソン 9d の 84~86 塩基目になる。

よって、解答は**エクソン 9d の 81~83 塩基目 (エクソン 9d の 84~86 塩基目でも可)**。

#### D 難易度：★★★★☆

空欄 a のように塩基配列を答える際には、どの核酸のどの部分の塩基配列があたえられて何を答えるのかを注意しなければならない。例えば、DNA か RNA か、DNA ならセンス鎖かアンチセンス鎖か、RNA なら mRNA か tRNA か、などである。今回は空欄 a を含む文の前文に *SMN1*mRNA 前駆体の領域 A の塩基配列があたえられている。また、図 1-2 にあるように、*SMN1* 遺伝子では C である部分が *SMN2* 遺伝子では T になっているため、*SMN1*mRNA 前駆体において C である部分が *SMN2*mRNA 前駆体では U になっている。よって解答では領域 A の C を U に置換すればよい。領域 A の塩基配列は CAGACAA であり、C は 2 カ所にあるが、このうち選択肢にあるのは 1 つ目の C を U に置換した UAGACAA である。答えるのは RNA の配列であるため、DNA 上の塩基の置換のように C を T に置換してはならない。

次に空欄 b について。タンパク質 Y は *SMN1*mRNA 前駆体の領域 A に結合し、*SMN1*mRNA 前駆体のスプライシングによってつくられる *SMN1*mRNA はエクソン 7 を使用していることから、タンパク質 Y が mRNA 前駆体に結合するとエクソン 7 が使用されることがわかる。一方で、タンパク質 Y が結合できない塩基配列をもつ *SMN2*mRNA 前駆体からは *SMN2*mRNA がつくられ、約 9 割の *SMN2*mRNA がエクソン 7 を使用していない。よってタンパク質 Y が mRNA に結合しなければエクソン 7 はスキップされると分かる。これらのことから、タンパク質 Y には、スプライシングの際にエクソン 7 が使用されることを促進するはたらきがあるといえる。実験結果を自分の言葉で表せられるとよりわかりやすくなるだろう。

次に空欄 c~e について。問題文より、脊髄性筋萎縮症の原因は *SMN1* 遺伝子の欠損であり、これは *SMN1* 遺伝子からつくられるタンパク質がないということである。このことから、その治療法は全長型 SMN タンパク質を生成できるようにすることである、ということが導けるであろう。一方で、*SMN2* 遺伝子からも約 1 割ではあるが *SMN1* 遺伝子からつくられるものと同じ全長型 SMN タンパク質が合成される。このことから、人工

的な核酸分子を用いた治療は SMN2mRNA 前駆体にはたらきかけ、*SMN1* 遺伝子からつくられるものと同じ全長型 SMN タンパク質を生成するものと推測できよう。すなわち、人工核酸分子 X は エキソン 7 を使用させる はたらきをもつ。また問題文より、人工核酸分子は領域 B の塩基配列と結合し、タンパク質 Z の領域 B への結合を阻害する。よって、タンパク質 Z が領域 B に結合しなければエキソン 7 を使用すると考えられる。逆に、タンパク質 Z が領域 B に結合するとエキソン 7 が スキップされる。

以上のことより、解答は、a-③、b-⑤、c-⑥、d-⑧、e-⑩である。

## II

### E 難易度：★★★★☆

ゲノムの全塩基対数がおおよそ 30 億であることを暗記していれば即座に解答できるが、そうでなくともいくつかの情報をもとに求めることができる。答えるのはオーダーだけであるから、オーダーさえ正しければ正確な数字を覚えていなくてもほとんど影響はない。その一例として、2 塩基間の距離と 1 つの細胞に含まれる DNA の全長が挙げられる。2 塩基間の距離は 0.34nm であり、1 つの体細胞に含まれる DNA の全長はおおよそ 2m (より詳しくいえば 1.8m だが、どちらで計算しても解答に影響しない) である。逆に本問の解答と 2 塩基間の距離を用いて 1 細胞あたりの DNA の全長を求めたことがある人もいないだろうか。本問で求めるのは核相 n の細胞 (生殖細胞など) の全 DNA の塩基対数であるから、全長は体細胞の半分でおおよそ 1m である。また、 $1\text{m}=10^3\text{mm}=10^6\mu\text{m}=10^9\text{nm}$  である。よってゲノムの全塩基対数は  $1 \times 10^9 \div 0.34 \div 3 \times 10^9$  となる。

以上より、解答は 9 である。

### F 難易度：★★★★☆

mRNA 前駆体から成熟した mRNA がつくられる際の mRNA プロセッシングとよばれる過程では、スプライシングのほか、ポリ A 配列 (ポリ A 尾部ともいう) の付加とキャップの付加がおこなわれる。ポリ A 配列は効率のよい翻訳に、キャップはリボソームが mRNA と結合するのに必要であるとされている。そして設問文にあるようにポリ A 配列に結合する DNA 鎖を用いることで mRNA を濃縮することができる。設問文は 3 文あり、おそらくほとんどの人が初めて目にする話題ではあるが、結局のところ問われていることは「アデニンに相補的に結合する DNA の塩基は何か」である。よってチミンであるから、mRNA の濃縮にはポリチミンを用いればよい。本問は解答を知っていることを前提とせず、設問文から何を答えるべきかを見つけ出す力を試す、極めて東京大学らしい問題である。3 文にわたる設問文に戸惑わないようにしたい。

よって、解答はチミンである。

### G 難易度：★★★★☆

1 つの配列と同じ配列が同じ位置に現れる場合、一方の配列を 5'→3'に読んだものが他方を 5'→3'に読んだものと同じになる必要がある。さらに 2 つの配列は相補的である。よって以下の手順で解答すればよい。まず 5

つの塩基を並べる。この5つの塩基は何の制約もなく決められる。次に5番目の塩基と相補的な塩基を6番目に並べる。同様にして、4番目の塩基と相補的な塩基を7番目に、3番目の塩基と相補的な塩基を8番目に、2番目の塩基と相補的な塩基を9番目に、1番目の塩基と相補的な塩基を10番目に並べる。この10塩基の配列と相補的な配列を考えれば、一方の配列を5'→3'に読んだものが他方を5'→3'に読んだものと同じになっていることがわかる。ちなみに制限酵素によって認識される塩基配列もこのような構造になっていることが多い。

以上より、解答例は以下のとおり。

### 解答例

ATGCATGCAT (1番目と10番目, 2番目と9番目, 3番目と8番目, 4番目と7番目, 5番目と6番目が相補的な塩基である塩基配列なら可)

### H 難易度：★★★★☆

(あ) まず、表1-2中のエクソン内にマッピングされたリード配列の数の合計を確認する。リード配列は mRNA に対してランダムに切断されるので、リード配列の数が多いということは mRNA の分子数が多いことを意味する。しかし、それぞれの遺伝子のエクソンの塩基数が異なるので単純に比較することはできない。そこでエクソンの1塩基あたりのリード配列の数で比べる。すなわちエクソン内にマッピングされたリード配列の数の合計をエクソンの塩基数の合計で割る。すると、遺伝子1は4.5、遺伝子2は0.0625、遺伝子3は3.33、遺伝子4は0.06、遺伝子5は4.67、遺伝子6は5となる。よってエクソンの1塩基あたりのリード配列の数は mRNA の分子数に比例するので、最も値の大きい遺伝子6の mRNA の分子数が最も多く、最も値の小さい遺伝子4の mRNA の分子数が最も少ないということになる。

以上より、解答は、g-6, h-4である。

(い) (あ)と同様にエクソンの1塩基あたりのリード配列の数を求めればよい。するとエクソン1は21、エクソン2は6、エクソン3は8、エクソン4は21となる。また前述のように、エクソンの1塩基あたりのリード配列の数は mRNA の分子数に比例する。よって  $x+y+z+w : x+y : x+z = 21 : 8 : 6$  と表せられる。ここで、本問では  $x=0$  であるから  $y+z+w : y : z = 21 : 8 : 6$  となり、これを解いて  $y : z : w = 8 : 6 : 7$  となる。

よって、解答は、8 : 6 : 7である。

(う) (い)より、 $x+y+z+w : x+y : x+z = 21 : 8 : 6$  が成立する。また  $x+y+z+w = 21k$  (…①),  $x+y = 8k$  (…②),  $x+z = 6k$  (…③) ( $x, y, z, w$  は0以上の整数で同時にすべて0になることはない。また、 $k=0$  のとき  $x=y=z=w=0$  となり不適。よって  $k$  は0より大きい整数) とおける。まず、 $y = z + 2k$  (…④) であり、 $z < y$  (…⑤) が求まる。次に、 $0 \leq x \leq 6k$  (…⑥),  $0 \leq z \leq 6k$  (…⑦), であり、また、②と⑥より  $2k \leq y \leq 8k$  (…⑧) が成立する。さらに①と⑧より  $13k \leq x+z+w \leq 19k$  が成り立ち、辺々から③を引いて  $7k \leq w \leq 13k$  (…⑨) となる。⑥と⑨より  $x < w$  (…⑩), ⑦と⑨より  $z < w$  が成立し、⑤と⑩の辺々を足して  $x+z < y+w$  が成立する。⑥と⑧より  $x$  と  $y$  の

大小は定まらず、同様に⑧と⑨より  $y$  と  $w$  の大小も定まらない。よって、(2), (3), (4), (6)は常に成り立ち、(1), (5)は成り立たない可能性がある。

よって、解答は、(1), (5)である。

(桑田向陽, 高井万葉, 西浦佑香, 石川諒)

# 2018 年度東京大学 前期 生物

## 第 2 問 タスマニアデビルの悪性腫瘍

出題範囲	ニューロン, バイオテクノロジー
難易度	★★★★☆
所要時間	得意: 25 分 ふう: 30 分 苦手: 35 分
傾向と対策	<p>知らないといけない設問もあったが, 多くの問題が落ち着いて解けば正しく解答できるものである。ただ, 時間が足りないので素早く問題設定を把握して考察につなげる必要がある。東京大学の過去問を 1 題 25 分前後で解く練習を繰り返すことで, 速く問題を把握し記述する力をつけていこう。また, この大問のように最後の設問が簡単であることが東京大学の生物にはよくあるので見落とさずに得点できるよう, 過去問を解くときから意識しておきたい。</p>

### 解答

- A 有袋類はかつて世界各地に生息していたが, 真獣類の繁栄に伴ってほとんどが絶滅した。オーストラリア地域はほかの地域と海で隔てられてきたため真獣類が進出することはなく競争が起きず, 有袋類がほかの地域に移り住むこともなかったから。(111 字)
- B イーDNA ポリメラーゼ, 好熱菌 (好熱細菌, 好熱性細菌) ウー逆転写酵素, レトロウイルス
- C 1ーオリゴデンドロサイト (オリゴデンドログリア) 2ー軸索 3ー髄鞘 4ー有髄 5ーランビエ絞輪  
6ー跳躍伝導 7ー無髄 8ー大きい
- D 個体 2, 個体 4
- E (2), (5)
- F 薬剤 Y で処理すると遺伝子 X の mRNA 量は正常な細胞と同程度に増えるので, 悪性腫瘍では遺伝子 X やその転写調節にかかわる部分へのヒストンの結合が強く, 転写が抑制されていると考えられる。(90 字)
- G (1), (5)
- H (3), (4)
- I 正常なマウスの皮膚の細胞には MHC 分子が存在しており, 移植先のマウスはそれを非自己と認識して拒絶反応をする。しかし, 遺伝子 X ノックアウトマウスはタンパク質 X を合成できず MHC 分子を細胞膜上に提示できないので, 移植先のマウスに非自己であると認識されず生着した。(129 字)
- J (2), (3), (5)

### 解説

#### A 難易度: ★★★★★

おもに哺乳類は有袋類と真獣類に区分できる。

有袋類のほとんどの種は育児嚢とよばれる袋をもち, その中で授乳を行う。タスマニアデビルやコアラ, カン



ガルー、ウォンバットなどが挙げられる。中生代には世界中に分布していたが、現在ではほとんどの種がオーストラリア地域に生息している。

真獣類の特徴は複雑な胎盤をもっていて妊娠期間が長いことである。ゾウやヒト、クジラなどが挙げられる。真獣類は 6000 万年～1 億年前に爆発的な進化によって多様化したと考えられている。

この問題では、有袋類の多くの種が現在はオーストラリア地域に生息している理由をまとめる。①有袋類はもともと世界各地に生息していたこと、②ほかの地域では真獣類との競争によりほとんどの有袋類が絶滅したこと、③オーストラリア大陸はほかの地域から隔てられてきたため、真獣類との競争がなく有袋類がほかの地域に移り住むこともなかったこと、という 3 点をおさえて下の解答例のようにまとめる。

### 解答例

有袋類はかつて世界各地に生息していたが、真獣類の繁栄に伴ってほとんどが絶滅した。オーストラリア地域はほかの地域と海で隔てられてきたため真獣類が進出することはなく競争が起きず、有袋類がほかの地域に移り住むこともなかったから。(111 字)

### B 難易度：★★★★☆

実験操作に使われる酵素を問う問題である。下線部のみに注目するのではなくその前後の文も見て、それぞれの実験に必要な酵素は何なのかということを考えるとよい。

PCR 法は、特定の DNA 領域が多量に必要な場合に、その領域を増幅する方法である。DNA ポリメラーゼとよばれる酵素が鋳型 DNA に結合し、プライマーの末端に塩基をつけ足していくことで DNA を複製する。PCR 法では温度を上下させることで反応の段階を進める。その中で 2 本鎖 DNA の間の水素結合を切り 1 本鎖 DNA に分ける際には、DNA 溶液を約 95°C にする。そのため高温状況で失活してしまう酵素を DNA の複製に繰り返し使うことはできず、DNA ポリメラーゼは耐熱性である必要がある。そのような耐熱性の DNA ポリメラーゼは好熱菌（好熱細菌、好熱性細菌）を由来としている。

下線部 (ウ) は mRNA から DNA を合成する操作である。RNA から DNA を合成できるのは逆転写酵素で、逆転写酵素をもつ RNA ウイルスはレトロウイルスとよばれる。今回は実験のために逆転写酵素を利用しているが、レトロウイルスは本来、寄主細胞に感染して自らの RNA を細胞の DNA に組み込むときに逆転写酵素を用いる。

したがって解答は、**イーDNA ポリメラーゼ、好熱菌（好熱細菌、好熱性細菌）、ウー逆転写酵素、レトロウイルス**である。

### C 難易度：★★★★☆

ニューロン（神経細胞）に関する知識を問う問題である。ほとんどが基本的な単語なので Check!! を見て、解答できなかった場合はニューロンの部分の名称や役割を確認しておこう。ただし、1 のオリゴデンドロサイト（オリゴデンドログリア）は解答が難しかったかもしれない。オリゴデンドロサイト（オリゴデンドログリア）は、中枢神経系において介在ニューロンを覆って髄鞘を形成しているグリア細胞の 1 種である。グリア細胞とはニュー

ーロンのはたらきを助ける支持細胞のことである。

解答は、1-オリゴデンドロサイト（オリゴデンドログリア）、2-軸索、3-髄鞘、4-有髄、5-ランビエ絞輪、6-跳躍伝導、7-無髄、8-大きいである。

#### ◆Check!!

#### 有髄神経繊維の構造

ニューロン（神経細胞）は、電気的な信号を高速で伝えることができる特殊な細胞である。生物体内では普通、電気的な刺激は下の図左上の細胞体側から、右下の神経終末側に伝えられる。細胞体からは、ほかのニューロンから信号を受け取るはたらきをもつ樹状突起と、信号を神経終末に伝えるはたらきをもつ軸索が伸びている。脊椎動物の軸索は神経鞘によって包まれていて、末梢神経においてはシュワン細胞が、中枢神経においてはオリゴデンドロサイト（オリゴデンドログリア）が髄鞘とよばれる構造を形成している。髄鞘をもつ神経繊維を有髄神経繊維、もたないものを無髄神経繊維とよぶ。

髄鞘が途切れている部分はランビエ絞輪とよばれる。髄鞘は絶縁体としてはたらき、興奮がランビエ絞輪をとびとびに伝わる跳躍伝導という現象が起こる。そのため有髄神経繊維は無髄神経繊維に比べ、はるかに速く信号を伝導することができる。

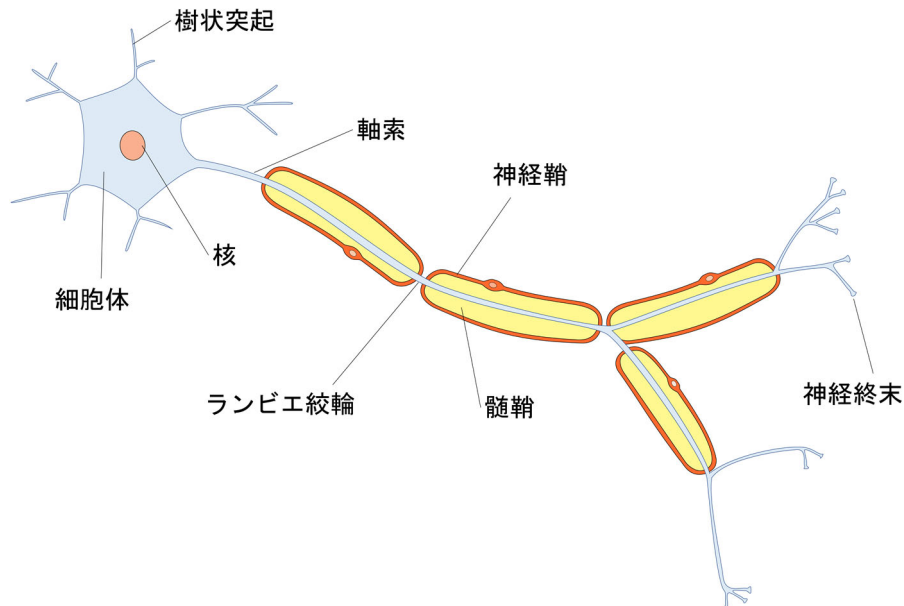


図 有髄神経繊維の構造

#### D 難易度：★★★★☆

実験1の問題文中にあるように、マイクロサテライトとはゲノム上に存在する数塩基の繰り返しからなる反復

配列であり、遺伝子マーカーとして用いられる。マイクロサテライトの繰り返し回数は世代を経ても変化しないので、親子鑑定に利用される。ある個体があるつがいの子であるか鑑定を行うときには、3 個体のマイクロサテライトの繰り返し回数を調べる。例えばあるマイクロサテライトについて、つがいの雄個体の繰り返し回数が a 回と b 回、雌個体の繰り返し回数が c 回と d 回であったとする。染色体は相同染色体と対になっているので、あるマイクロサテライトは 1 個体に 2 カ所ある。子は両親から半分ずつ染色体を受け継ぐので、マイクロサテライトの繰り返し回数は親がもっていた染色体のマイクロサテライトの繰り返し回数と同じになる。例えば、個体の繰り返し回数が a 回と c 回であれば、そのつがいの子であるとほぼ断言できる。逆に繰り返し回数が a 回と e 回などであった場合はそのつがいの子ではないとわかる。

この問題は電気泳動の図を読み取ってマイクロサテライトによる親子鑑定を行うものである。電気泳動によってできたバンドの位置はその個体もっているマイクロサテライトを含む領域の長さを表している。個体 7 と 8 がつがいであるので、個体 7、8 がもっているマイクロサテライトと同じ長さのマイクロサテライトしかもたない個体が個体 7、8 の子供であるといえる。個体 1~4 については正常細胞の電気泳動結果と腫瘍細胞の電気泳動結果があるが、腫瘍細胞は他の個体から伝染したものである可能性が高いので、正常細胞だけに注目すればよい。個体 7、8 のバンドの位置と別の位置にはバンドがない個体は個体 2 と 4 である。

したがって解答は、**個体 2、個体 4** である。

#### E 難易度：★★★★☆

(1) 問題文中の実験 1 に記述があるように、正常細胞が悪性腫瘍化した場合にもこのマイクロサテライトの繰り返し回数は変化しない。そのため、この選択肢にあるように個体 1~4 の悪性腫瘍がそれぞれの正常細胞から発生したものであったとしたら、悪性腫瘍のマイクロサテライトは正常細胞のマイクロサテライトと一致するはずである。しかし図 2-2 を見ると、それぞれの個体の正常細胞と悪性腫瘍のマイクロサテライトが完全には一致していない。それぞれの個体の腫瘍細胞がその個体の正常細胞から発生したのではないとわかるため、この選択肢は不適當である。

(2) マイクロサテライトの電気泳動によってバンドは 1 個体につき 2 種類しか出ておらず、これだけの情報から個体 1 と 2 が兄弟姉妹であると判断はできないが、兄弟姉妹である可能性はある。個体 1 と 2 の正常細胞のマイクロサテライトのバンドの位置は合計で 4 種類であり、2 個体が兄弟姉妹である場合にはこの 4 種類の長さのマイクロサテライトは両親のマイクロサテライトを合わせたものと一致する。その 4 種類の中に個体 1 と 2 の悪性腫瘍のマイクロサテライトが含まれている。そのため個体 1 と 2 の悪性腫瘍は、親の正常細胞が腫瘍化して伝染したものである可能性がある。したがってこの選択肢の内容が正しい可能性がある。

(3) (2)と同様に個体 3 と 4 が兄弟姉妹であると判断はできないが、兄弟姉妹である可能性はある。しかし、個体 3 と 4 の悪性腫瘍のマイクロサテライトは 2 個体のもつマイクロサテライトのいずれとも異なる。そのためこれらの悪性腫瘍が、親の正常細胞から発達し伝染したものである可能性はない。したがってこの選択肢は不適當である。

(4) (1)の解説の中でもふれたように、ある個体の正常細胞から発生した悪性腫瘍は正常細胞と同じマイクロサテライトをもつ。図 2-2 を見ると正常細胞のマイクロサテライトと悪性腫瘍のマイクロサテライトが完全に一致している個体はない。つまりどの個体の悪性腫瘍も自身の正常細胞を由来としていないのだ。よってこの選択肢は不相当である。

(5) (4)の解説の中で述べた考え方で、個体 1~8 の電気泳動図を見る。悪性腫瘍のマイクロサテライトと一致するマイクロサテライトの正常細胞をもつ個体はこの中にはいない。そのためこの選択肢の内容は可能性があるというだけではなく、正しいと断言できる。

したがって解答は、(2), (5)である。

#### F 難易度：★★★★☆

薬剤 Y はヒストンの DNA への結合を阻害する作用をもっている。図 2-3 右のとき、すなわち薬剤 Y を作用させてヒストンと DNA の結合が弱くなったときは正常な細胞と腫瘍細胞の中の遺伝子 X の mRNA 量が同程度である。一方で図 2-3 左を見ると、正常細胞に比べて腫瘍細胞では、遺伝子 X の mRNA 量が極端に少ないことがわかる。すなわち、薬剤 Y で処理されていない腫瘍細胞は DNA とヒストンの結合が強すぎるため、DNA がほとんど転写されず、遺伝子 X の mRNA 量が少なくなったのだと考えられる。ここで注意したいのは、遺伝子 X の転写に必要な DNA 領域は遺伝子 X そのものの DNA だけではなくその転写調節にかかわる DNA も含むということである。

以上を踏まえて、次の解答例のようにまとめる。

#### 解答例

薬剤 Y で処理すると遺伝子 X の mRNA 量は正常な細胞と同程度に増えるので、悪性腫瘍では遺伝子 X やその転写調節にかかわる部分へのヒストンの結合が強く、転写が抑制されていると考えられる。(90 字)

#### G 難易度：★★★★☆

はじめに MHC(主要組織適合性複合体)について確認しておく。MHC (主要組織適合性複合体)とは細胞膜上にあるタンパク質で自己の細胞であることを示す目印としての役割を担っている。MHC 分子には非常に多くの型があり、他の個体の MHC 分子とは一致しない。異なる個体の組織を移植すると、その細胞が非自己として認識され T 細胞による攻撃を受ける。そのため異なる個体の組織は生着しない場合が多い。

図 2-4 左を見ると、ノックアウトマウスは MHC の mRNA を正常マウスと同程度生産していることがわかる。しかし図 2-4 右からわかるように、ノックアウトマウスは細胞膜上にほとんど MHC タンパク質をもたない。すなわち、ノックアウトマウスは MHC の転写はできるのに細胞膜上に MHC タンパク質を提示することはできないのである。この原因としては、遺伝子 X を失っていることで MHC の翻訳ができない可能性や翻訳ができて MHC タンパク質を細胞膜上に輸送できない可能性が考えられる。逆にいえば、遺伝子 X は MHC の転写には必要ではなく MHC の翻訳に必要な可能性や MHC の細胞膜への輸送を制御する可能性がある。よって選択肢

の(2), (3), (4)は解釈として適切である。

今回の実験でノックアウトマウスは、遺伝子 X が変異しているだけであり、遺伝子 X 以外の DNA 領域は変化していない。そのため染色体上での遺伝子 X と MHC 遺伝子の位置関係を読み取ることはできず、選択肢の(1)は解釈として不適切である。下線部(オ)にノックアウトマウスの皮膚を別系統のマウスに移植しても拒絶されなかったという記述があるが、それはノックアウトマウスの細胞膜上に MHC タンパク質がほとんど存在しなかったからであり、遺伝子 X が MHC の遺伝子再編成を制御したからだと考えすることはできない。よって選択肢の(5)は不適切な解釈である。

この設問では不適切な選択肢を 2 つ選ぶので、解答は(1), (5)である。

#### H 難易度：★★★★☆

はじめに設問 F, H で遺伝子 X について考察したことを確認する。タスマニアデビルの悪性腫瘍細胞では遺伝子 X が転写されていないが、薬剤 Y が作用すると転写されるようになる。また遺伝子 X は、MHC の mRNA がタンパク質に翻訳され、細胞膜上に輸送される過程にかかわっている。これらを踏まえて選択肢を 1 つずつ検討していく。

- (1) 遺伝子 X ノックアウトマウスはそもそも遺伝子 X をもっていないため、薬剤 Y で処理したからといって遺伝子 X が発現することはない。よって不適切である。
- (2) はじめに確認したように、遺伝子 X がかわるのは MHC の翻訳から輸送までの過程の一部であり、MHC の転写には関係しない。タスマニアデビルの悪性腫瘍において遺伝子 X が転写されないが、それとは無関係に MHC の転写は行われる。よって不適切である。
- (3) タスマニアデビルの悪性腫瘍では遺伝子 X が発現しないため、MHC タンパク質が細胞膜上にほとんど現れない。よって適切である。
- (4) 悪性腫瘍細胞を薬剤 Y で処理すると遺伝子 X が発現する。そのため、MHC の mRNA が翻訳され、細胞膜上に MHC タンパク質が現れるようになる。よって適切である。
- (5) 遺伝子 X ノックアウトマウスはそもそも遺伝子 X をもっていないため、薬剤 Y で処理したからといってタンパク質 X は生成されることはなく MHC が細胞膜上にほとんど現れないため、別系統のマウスに拒絶されることはない。よって不適切。

したがって解答は、(3), (4)である。

#### I 難易度：★★★★☆

系統が異なるマウスはそれぞれ異なる MHC 分子をもっている。そのため、正常なマウスの皮膚を別系統のマウスに移植すると、移植先のマウスは MHC 分子が自らのものとは異なることから皮膚が非自己であると認識する。そのため拒絶反応が起こり、皮膚は生着しない。

しかし遺伝子 X ノックアウトマウスの皮膚には MHC 分子が存在しないので、移植先のマウスは非自己である

と認識することができず、拒絶反応が起こらない。

正常マウスの皮膚が拒絶される理由と遺伝子 X ノックアウトマウスの皮膚が拒絶されない理由を中心にまとめるとよい。解答は3行程度とあるので、遺伝子 X ノックアウトマウスの細胞が、細胞膜上に MHC を提示することができない理由などについても記述するとよい。

#### 解答例

正常なマウスの皮膚の細胞には MHC 分子が存在しており、移植先のマウスはそれを非自己と認識して拒絶反応をする。しかし、遺伝子 X ノックアウトマウスはタンパク質 X を合成できず MHC 分子を細胞膜上に提示できないので、移植先のマウスに非自己であると認識されず生着した。(129字)

#### J 難易度：★★★★☆

この問題ではタスマニアデビルが悪性腫瘍で絶滅しないために有利にはたらく形質の変化を選択肢の中から選ぶのだが、選択肢(1)~(3)ではタスマニアデビルの争いについて、選択肢(4)~(6)では免疫について述べられている。

選択肢(1)~(3)について検討する。まず問題文より、タスマニアデビルどうしの争いと悪性腫瘍の関係を確認する。タスマニアデビルどうしが争うことで、顔や首などに傷ができる。そういった首の傷口の周囲に悪性腫瘍が生じ、発症から数カ月間で死に至る。つまりタスマニアデビルが激しく争うことは、悪性腫瘍による死を招いているのだ。ということは、タスマニアデビルが相手の顔や首にあまり傷をつけないような争い方をすれば、悪性腫瘍による死を減らすことができる。選択肢(2)の攻撃性が低く、穏やかな性格といった形質や、(3)の儀式化された示威行動といった形質はこれに当てはまる。

次に選択肢(4)~(6)について検討する。悪性腫瘍とは体細胞の一部が無秩序・無制限に増殖したもののことであり、リンパ管や血管を通してほかの場所に転移する。細胞分裂をうまく調整できないことで発生する病であり、病原菌やウイルスを原因とする病気ではない。そのため(4)にあるように病原体の認識能力が高まったり、(6)にあるようにウイルスに対して抗体を産生する能力が高まったりしたとしても、タスマニアデビルの悪性腫瘍は減らない。この問題ではタスマニアデビルが悪性腫瘍によって絶滅しないために有利な形質の変化を選択するので、(4)、(6)は不適切である。一方でナチュラルキラー細胞（NK細胞）はがんなどの腫瘍細胞やウイルスに感染した細胞を攻撃するはたらきをもっており、(5)にあるようにナチュラルキラー細胞（NK細胞）による異物の排除能力が高まると悪性腫瘍をより抑制することができる。よって(5)は適切な選択肢である。

したがって解答は、(2)、(3)、(5)である。

(高井万葉, 伊藤大賀, 能美怜奈, 神戸朱琉)

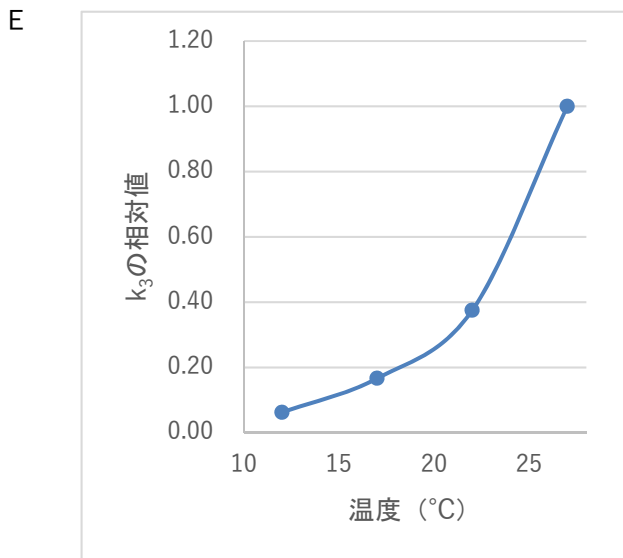
## 2018年度 東京大学 前期 生物

## 第3問 春化、フィトクロムと温度の関係

出題範囲	植物の環境応答, 植物ホルモン
難易度	★★★★★
所要時間	得意: 27分 ふう: 31分 苦手: 35分
傾向と対策	東京大学では毎年のように出題されている植物の環境応答についての問題である。この大問で出題されたものに限らず, 植物の環境応答や植物ホルモンなどで不安な知識があったらもう一度教科書等を読んで確認しておこう。この大問は実験を考案する問題や実験で得られたデータを処理してグラフを書く問題など見慣れない問題が多く, 解きづらさを感じた人も少なくないと思う。しかしこうした形式の問題は今後も出てくると考えられるため, しっかりと復習して解き方を習得しておこう。

## 解答

- I
- A (1)○ (2)× (3)○ (4)× (5)?
- B 春化処理をした株 A としていない株 B を用意し, 接ぎ木して適温・長日条件で栽培する。株 B に花芽形成がある場合, 春化で産生する能力のみ獲得されたといえる。株 B に花芽形成がない場合, 春化処理をしていない株 C と葉を除いて春化処理をした株 D を用意する。接ぎ木し, 適温・長日条件で栽培して株 D に花芽形成があれば春化で受容し応答する能力のみ獲得され, なければ両方の能力が獲得されたといえる。(187 字)
- C (5)
- II
- D (4)



F (3)

G **解答例 1**

同じ場所で温度が上昇するときそこにいる植物の受け取る光が多くなると考えられる。そのとき光合成速度が上昇してできた余剰な光合成産物を茎や葉柄の伸長成長に費やした場合、光をめぐる競争で優位に立つことができ生存に有利であったから。(113字)

**解答例 2**

高温になったとき伸長を促進すると植物体の表面積が増え、蒸散量が増えて植物体の温度の上昇を抑えることができ、高温によって死滅することが少なくなり生存に有利であったから。(83字)

**解説**

I

A **難易度：★★★★☆**

実験結果から考察する問題である。それぞれの記述を図の対応する部分と比べながら読めば解答を導けるだろう。特に解答が×になる記述は反例を見つければよいのだから相対的に簡単である。解答が×になる記述を間違えたのならどこが誤りなのかしっかりと確認しよう。

(1) ②の葉を見ればよい。②の葉から再生した植物体は低温・短日条件を経験していないにもかかわらず花芽形成があった。これは②の葉で成立した春化が細胞分裂を経て再生した植物体にも継承されたからである。

よって、解答は○である。

(2) 葉柄の端を切除して培養した葉を見ればよい。葉柄を切除せずに培養して再生した植物体では花芽形成があったことから、植物体の一部で春化は成立している。しかし葉柄を切除して培養して再生した植物体では花芽形成がなくなることから、春化が植物体全体には伝播していないことがわかる。

よって、解答は×である。

(3) 葉柄の端を切除して培養した葉を見ればよい。この葉は、低温・短日条件を経験した葉から低温処理中に分裂していた細胞を切除したものである。この時花芽形成がないことから、春化の成立には分裂している細胞が低温に曝露されることが必要であるとわかる。

よって、解答は○である。

(4) ②の葉を見ればよい。②の葉から再生した植物体は、脱分化のあと低温・短日条件を経験していないにもかかわらず花芽形成がある。これは脱分化前に成立した春化が脱分化を経ても継承されたからである。

よって、解答は×である。

(5) この実験では低温処理を行うときすべて短日条件で行っている。また、春化が成立するまでにどの位の時間がかかったのかも書かれていない。これらのことから(5)の記述についてその真偽を実験結果から判断することはできない。

よって、解答は?である。



**B 難易度：★★★★★**

適当な実験を考案する問題である。花芽形成ではたらく**花成ホルモン**（**フロリゲン**）は、葉で合成された後師管を通して**茎頂分裂組織**に移動して花芽の形成を促進する。この知識を前提として接ぎ木実験を考える。

まずは花成ホルモンを受容し応答する能力（以下受容する能力）の獲得について考える。春化が成立していない個体と成立している個体の両方に花成ホルモンが供給されるような実験を行えばよい。具体的には、適温・短日条件で栽培した個体（個体 A）に低温・短日条件で栽培した個体（個体 B）を接ぎ木して適温・長日条件で栽培する。両方の個体に花芽形成があった場合受容する能力は春化で獲得されるものではないとわかる。このとき花成ホルモンを産生する能力（以下産生する能力）が春化で獲得されるものでないと仮定すると産生する能力、受容する能力の両方が春化と無関係に獲得され、春化しなくても花芽形成が起こることになるため適さない。よって両方の個体に花芽形成があった場合産生する能力のみ獲得されたとわかる。一方個体 B のみに花芽形成があった場合春化で受容する能力が獲得されているとわかるが産生する能力について判断することはできない。

次に個体 B のみに花芽形成があった場合について考える。受容する能力が獲得されていることは確定しているため、春化で産生する能力を獲得するかを調べればよい。そのために春化が成立していない個体に花成ホルモンがあるかを調べる。具体的には、適温・短日条件で栽培した個体（個体 C）に葉を全て除いて低温・短日条件で栽培した個体（個体 D）を接ぎ木する。個体 D は春化しているため受容する能力は獲得されているが、春化処理の前に葉を全て除いてあるため花成ホルモンを産生することはできない。よって長日条件で栽培した後に個体 D に花芽形成があった場合花成ホルモンは春化処理をしていない個体 C から運ばれてきたということであり、つまり産生する能力は春化によって獲得されるものではないとわかる。一方で個体 D に花芽形成がなかった場合個体 C は産生する能力をもっていないということであり、産生する能力は春化によって獲得されているとわかる。よって個体 D に花芽形成があれば春化で受容する能力のみ獲得されており、花芽形成がなければ春化で産生する能力、受容し応答する能力の両方が獲得されているとわかる。

よって、解答例は以下のとおり。

**解答例**

春化処理をした株 A としていない株 B を用意し、接ぎ木して適温・長日条件で栽培する。株 B に花芽形成がある場合、春化で産生する能力のみ獲得されたと見える。株 B に花芽形成がない場合、春化処理をしていない株 C と葉を除いて春化処理をした株 D を用意する。接ぎ木し、適温・長日条件で栽培して株 D に花芽形成があれば春化で受容し応答する能力のみ獲得され、なければ両方の能力が獲得されたと見える。(187 字)

**C 難易度：★★☆☆☆**

生物全般の知識を問う問題である。

まず問題文の下線部(ウ)から、クロマチン構造が変化して *FLC* の発現が抑制されるとわかる。次にそれぞれの選択肢を見ていこう。

(1) **オペロン**についての説明である。ラクトースオペロンでは**リプレッサー**が**オペレーター**に結合することで

RNA ポリメラーゼがプロモーターに近づけなくなり、遺伝子発現が抑制される。クロマチン構造は変化していないため、*FLC*の抑制とはしくみが異なる。

(2) パスツール効果についての説明である。酵母では呼吸によってつくられた過剰な ATP が負のフィードバック調節によって解糖系の初期段階ではたらく酵素の活性を抑えることでアルコール発酵が抑えられる。遺伝子の発現が抑制されているわけではないため、*FLC*の抑制とはしくみが異なる。

(3) オーキシンのはたらきについての記述である。受精して種子が形成されると種子でオーキシンがつけられ、このオーキシンのはたらきで果実の肥大成長が促進される。そのため、種子が取り除かれるとオーキシンが不足して果実が成長しなくなる。クロマチン構造は関与しておらず、*FLC*の抑制とはしくみが異なる。

(4) 母性効果遺伝子についての記述である。ショウジョウバエの発生過程では卵の前方にビコイド遺伝子の mRNA が、後方にナノス遺伝子の mRNA が局在することで胚の前後軸を決定する。

(5) X 染色体の不活性化についての記述である。性決定が XY 型である生物では、雌が雄の 2 倍の X 染色体をもっている。雄と雌で同様に X 染色体上の遺伝子を発現させると雌では雄の 2 倍の生成物ができてしまう。それを避けるために、雌の個体では細胞ごとにどちらかの X 染色体が強く凝縮しており、RNA ポリメラーゼがプロモーターに近づけなくなることで転写ができなくなる。よって、*FLC*の抑制と同様のしくみである。

X 染色体の不活性化は教科書に書かれていないが、この知識は入試でたまに要求される。知らなかった人はこれを機に覚えよう。

(6) ハーディ・ワインベルグの法則についての記述である。

- ①集団が十分に大きく 遺伝的浮動 の影響が小さい
- ②交配がランダムに行われる
- ③突然変異がおこらない
- ④個体の移出や移入がない
- ⑤個体間で生存力や繁殖力に差がなく、自然選択 がはたらかない

以上の 5 つの条件を満たす集団内の対立遺伝子の 遺伝子頻度 は世代を経ても変化しないという法則をハーディ・ワインベルグの法則という。A, B, O の対立遺伝子の遺伝子頻度が世代を経てもほとんど変わらなければそれぞれの血液型のヒトの割合もほぼ一定になる。

以上より、解答は(5)である。

## II

### D 難易度：★★★★☆

実験結果に基づく考察問題である。

フィトクロム完全欠損変異体ではフィトクロムがはたらいていない。このとき暗所では野生型と同様の伸長をし、明所では野生型で見られる伸長抑制がはたらかなくなっている。よってフィトクロムのはたらきは明所における伸長成長の抑制であると推測できる。また明所では Pr (赤色光吸収型) が赤色光を吸収して Pfr (遠赤色光

吸収型)になるため、明所ではたらくのは Pfr である。以上のことから、Pfr が伸長成長を抑制している。

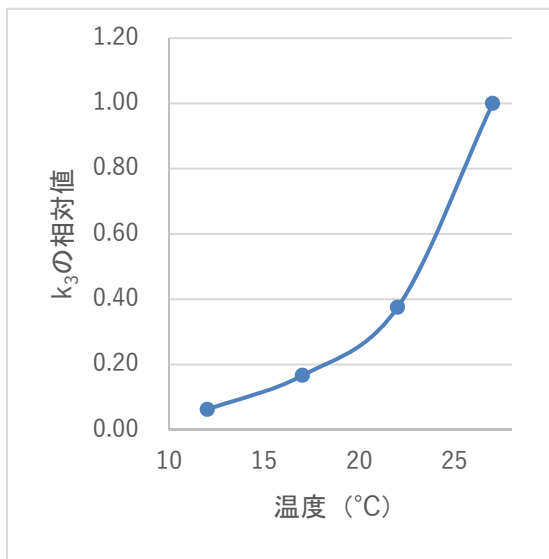
よって、解答は(4)である。

### E 難易度：★★★★☆

実験結果をまとめる問題である。

この実験では赤色光が照射されているため、遠赤色光による反応は考えなくてよい。問題文の図 3-4 の全フイトクロムに占める Pfr の割合は時間経過によって一定の値に収束していくが、このとき Pr と Pfr が平衡状態にあり  $v_1$  と  $v_3$  の値が等しくなる。つまり  $k_1[\text{Pr}] = k_3[\text{Pfr}]$  となり、両辺を  $[\text{Pfr}]$  で割って  $k_3 = k_1[\text{Pr}]/[\text{Pfr}] \cdots \textcircled{1}$  となる。問題文の図 3-4 の全フイトクロムに占める Pfr の割合は  $[\text{Pfr}]$  であり、 $[\text{Pr}]$  の値は  $[\text{Pr}] = 1 - [\text{Pfr}]$  で求まる。 $k_1$  は温度に依存せず一定であるため、これらを  $\textcircled{1}$  の式に代入すれば  $k_3$  の相対値が得られる。27°C、22°C、17°C、12°C のとき  $[\text{Pfr}]$  の値はそれぞれ 0.2、0.4、0.6、0.8 であるから、 $k_3$  の値は 27°C のとき  $4.00k_1$ 、22°C のとき  $1.50k_1$ 、17°C のとき  $0.67k_1$ 、12°C のとき  $0.25k_1$  となる。

よって、相対値は 27°C のとき 1.00、22°C のとき 0.38、17°C のとき 0.17、12°C のとき 0.06 となる。これらの点をプロットし、なめらかな曲線で結ぶとグラフが得られる。よって、解答は以下のとおり。



### F 難易度：★★★★☆

まずは問題文下線部(オ)の実験で  $[\text{Pfr}]$  の値を求める式を考える。Pr と Pfr の平衡を表す式は  $k_1[\text{Pr}] = k_3[\text{Pfr}]$  であり、 $[\text{Pr}] + [\text{Pfr}] = 1$  であるから  $[\text{Pfr}] = k_1 / (k_1 + k_3) \cdots \textcircled{1}$  と求まる。次に設問文に書かれている実験で  $[\text{Pfr}]$  の値を求める式を考える。問題文下線部(オ)の実験と設問文で書かれている実験との違いは遠赤色光の有無である。遠赤色光を照射した場合、Pfr が遠赤色光を吸収して Pr になる反応が起こるようになり、平衡に達したとき  $v_1 = v_2 + v_3$  が成り立つ。よって Pr と Pfr の平衡を表す式は  $k_1[\text{Pr}] = (k_2 + k_3)[\text{Pfr}]$  となるから同様に  $[\text{Pfr}] = k_1 / (k_1 + k_2 + k_3) \cdots \textcircled{2}$  と求まる。

温度が上昇すると  $k_3$  値は上昇するため②の式より Pfr の割合は低くなる。また①と②の式を比較すると②では分母に占める  $k_3$  の値の割合が低くなっていることから、問題文下線部(オ)の実験と比べて温度の影響は弱くなる。

よって、解答は(3)である。

#### G 難易度：★★★★☆

設問文に「自然選択によって進化したとする」と書かれていることから、高温で伸長が促進される性質が生存や繁殖に有利になる理由を考えればよい。植物の周りの環境が高温になる条件を考えると、季節が変化して冬から春、夏になる場合や、森林内でギャップ更新がおきて日当たりがよくなる場合などが考えられる。このとき植物はより多くの光を受け取ることができるようになり、光合成速度が上昇してより多くの光合成産物がつくられるようになる。この時できた余剰な光合成産物を伸長成長に使う種と肥大成長に使う種がいた場合、伸長成長に使う種の方が高い位置に葉をつけることができるため光をめぐる競争で優位に立つことができる。結果、生存に有利であるため自然選択によって伸長成長に使う種が生き残ったと考えることができる。

設問文に「自由な発想で」と書かれていることから、これ以外にも合理的な理由であれば何でもよい。

よって、解答例は以下のとおり。

##### 解答例 1

同じ場所で温度が上昇するときそこにいる植物の受け取る光が多くなると考えられる。そのとき光合成速度が上昇してできた余剰な光合成産物を茎や葉柄の伸長成長に費やした場合、光をめぐる競争で優位に立つことができ生存に有利であったから。(113字)

##### 解答例 2

高温になったとき伸長を促進すると植物体の表面積が増え、蒸散量が増えて植物体の温度の上昇を抑えることができ、高温によって死滅することが少なくなり生存に有利であったから。(83字)

#### ◆Check!!

##### フィトクロム

フィトクロムのはたらきには花芽形成、光発芽などがある。フィトクロムには遠赤色光吸収型の Pfr と赤色光吸収型の Pr があり、Pfr が遠赤色光を吸収すると Pr に、Pr が赤色光を吸収すると Pfr になり、赤色光も遠赤色光もない暗所では Pr になる。花芽形成は日長の変化をフィトクロムや青色光受容体のクリプトクロムの変化によって暗期の長さを感じて引き起こされる。光発芽では Pfr がジベレリンの合成を促進することで種子の休眠が解除される。

ここでは光発芽について掘り下げていこうと思う。光発芽種子にはレタス、タバコなどがある。Pfr

が光発芽を促進するという事は、すなわち光発芽種子は相対的に赤色光が多いところで発芽し、遠赤色光が多いところや暗所では発芽しないということである。暗所で発芽しないのは地中深くにある時に発芽した種子が光を受け取れずに死滅したため、暗所で発芽しないよう進化したからであると考えられる。光発芽種子は一般に種子が小さく、栄養をあまり蓄えていない。そのため発芽後すぐに光合成行える場所で発芽することが重要なのである。では相対的に遠赤色光が多いところとはどのような場所だろうか。結論から言うと、林床など上に葉が生い茂っている所である。葉に含まれるクロロフィルは赤色光をよく吸収し、遠赤色光はほとんど吸収しない。よって葉が生い茂っている場所では赤色光は吸収され、吸収されない遠赤色光が相対的に多く地面に届く。遠赤色光は光合成に使われないためこのような環境で発芽しても死滅する。

逆に光によって発芽が抑制される暗発芽種子というものもある。暗発芽種子にはカボチャ、ケイトウなどがあり、これらの種子は比較的大きく栄養分が蓄えられている。そのためすぐに光合成をできることはあまり重要ではなく、それよりも水の確保が生死を分ける。光が当たり乾燥しやすい地表付近では発芽を抑制され、光が当たらず乾燥しにくい地中で発芽が促進されるよう進化してきたと考えられる。

(石川諒, 大橋陽樹, 能美怜奈, 桑田向陽)