

# 日本生物学オリンピック 2016

## 予選問題

2016 年 7 月 17 日（日） 13:30～15:00

試験時間 90 分間

### 注意事項

- 1 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
- 2 問題は、この冊子の 1 ページから 16 ページまでです。
- 3 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁、試験解答用紙（マークシート用紙）の汚れ等に気づいた場合は、手を挙げて監督者に知らせてください。
- 4 試験解答用紙の所定の欄に、学校名、学年、氏名と受験番号を記入し、受験番号は、数字にもマークしてください。
- 5 問題数は、問 1)～問 22)までの 22 問です。問題はすべて、それぞれもっとも適切な解答を選択肢の中から 1 つだけ選び、記号で答えてください。
- 6 配点は、1 問あたり 4～5 点で、各設問の末尾に示してあります。合計で 100 点満点です。正解でない解答の中には、部分点（配点の 3/10）が与えられるものがあります。
- 7 解答は、試験解答用紙の問題番号に対応した解答欄の選択肢にマークしてください。たとえば、問 1) の問題に対して A と解答する場合は、次の（例）のように解答欄の A にマークしてください。複数の選択肢にマークされている場合は 0 点となります。

(例)

問	解 答 欄
1	<input checked="" type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D <input type="radio"/> E <input type="radio"/> F <input type="radio"/> G <input type="radio"/> H <input type="radio"/> I <input type="radio"/> J <input type="radio"/> K <input type="radio"/> L
2	<input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D <input type="radio"/> E <input type="radio"/> F <input type="radio"/> G <input type="radio"/> H <input type="radio"/> I <input type="radio"/> J <input type="radio"/> K <input type="radio"/> L
3	<input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D <input type="radio"/> E <input type="radio"/> F <input type="radio"/> G <input type="radio"/> H <input type="radio"/> I <input type="radio"/> J <input type="radio"/> K <input type="radio"/> L

- 8 この問題冊子の余白等は適宜利用してもかまいませんが、どのページも切り離してはいけません。
- 9 試験終了後、この問題冊子は持ち帰ってください。
- 10 正解と解説は、JBO ウェブページ <http://www.jbo-info.jp/> で公開します。

問 1) 多くの生物の細胞内では、DNA はさまざまな化学修飾を受けている。その 1 つに CpG サイト\*でのシトシン塩基のメチル化がある。シトシンはメチル化によって 5-メチルシトシンになるが、この 5-メチルシトシンはさらに脱アミノ化を受け、チミンへと変わることがある。この一連の変化では、シトシンが DNA の正常な構成要素であるチミンになるため、損傷を受けた部分を正常な状態に戻す修復機構は効率よく機能することができない。

[注//CpG サイト\*：シトシン (C) をもつヌクレオチドの 3'側にグアニン (G) をもつヌクレオチドが並んでいる部分。p はヌクレオシドを結ぶリン酸基を示す。]

上記のような DNA の化学変化を示す生物では、シトシンからチミンへの変異が頻繁に観察されと考えられる。ここで、シトシンからチミンへの変異とともに、どのような型の変異が頻繁に生じると考えられるか。考えられる変異を A ~L から選べ。(4 点)

- A. アデニンからグアニンへの変異
- B. アデニンからシトシンへの変異
- C. アデニンからチミンへの変異
- D. シトシンからアデニンへの変異
- E. シトシンからグアニンへの変異
- F. 他の型の変異の頻度に変化はない
- G. グアニンからアデニンへの変異
- H. グアニンからシトシンへの変異
- I. グアニンからチミンへの変異
- J. チミンからアデニンへの変異
- K. チミンからシトシンへの変異
- L. チミンからグアニンへの変異

問 2) ある真核生物ゲノム中のタンパク質をコードする遺伝子を調べたところ、遺伝子数は 24000、遺伝子の大きさの平均は 12000 塩基対、遺伝子あたりの平均エキソン数は 8.0、エキソンの大きさの平均は 200 塩基対であった。また、5'非翻訳領域と 3'非翻訳領域の大きさの平均は、それぞれ、50 塩基対と 250 塩基対であった。この生物のゲノム全体の大きさは  $1.2 \times 10^9$  塩基対である。

ゲノム全体のうち、タンパク質のアミノ酸配列をコードする DNA の割合は何パーセントか。もっとも適当なものを A ~L から選べ。なお、1 つの遺伝子の範囲は、転写される領域の最初のエキソンの 5'端から最後のエキソンの 3'端までとする。また、遺伝子が重なりあって存在することはないと仮定する。(4 点)

- |          |         |        |          |         |        |
|----------|---------|--------|----------|---------|--------|
| A. 0.13% | B. 1.3% | C. 13% | D. 0.24% | E. 2.4% | F. 24% |
| G. 0.26% | H. 2.6% | I. 26% | J. 0.32% | K. 3.2% | L. 32% |

問3) 大腸菌のラクトース代謝には、ラクトースオペロンという仕組みが関与している。ラクトースオペロンは、「リプレッサー遺伝子」、「プロモーターとオペレーターからなる調節領域」および「ラクトース代謝に関わる3つの遺伝子」で構成されている。

ラクトースオペロンでは、細胞中にラクトースがないと、リプレッサー遺伝子は3つの遺伝子上流にあるオペレーターに結合し、3つの遺伝子のメッセンジャーRNA (mRNA) の合成は抑制される。大腸菌の細胞内にラクトースがあると、リプレッサーはオペレーターに結合できなくなり、mRNA の合成が始まる。このような仕組みで誘導されて起きる転写を「誘導性転写」とよぶ。

一方、リプレッサー遺伝子  $i^+$  の劣性突然変異  $i^-$  では、リプレッサーが生産できず、誘導物質であるラクトースがあってもなくても mRNA が合成されるようになる。このように、条件によらず常に行われる転写は「構成的転写」とよばれる。大腸菌ではさらにオペレーターの野生型 ( $o^+$ ) に対する優性突然変異としてラクトースがなくても mRNA の合成を行う構成的突然変異  $o^c$  が発見された。

大腸菌では接合によって DNA 断片を導入することで、ラクトース代謝遺伝子を2つもつ部分的二倍体を作成し、その発現が誘導的であるかまたは構成的であるかを知ることができる。以下の部分二倍体のうち、構成的な遺伝子発現を行うものはどれか。正しい組合せを A~L から選べ。(4 点)

- ①  $i^+ o^+ / i^+ o^+$       ②  $i^- o^+ / i^+ o^+$       ③  $i^- o^+ / i^- o^+$   
 ④  $i^+ o^c / i^+ o^+$       ⑤  $i^+ o^c / i^+ o^c$       ⑥  $i^- o^c / i^- o^+$

- A. ①②③④⑤    B. ②③④⑤⑥    C. ①②③④    D. ②③④⑤    E. ③④⑤⑥  
 F. ①②③    G. ②③④    H. ③④⑤    I. ④⑤⑥    J. ①②    K. ③④    L. ⑤⑥

問4) ある遺伝子 X を人為的に欠失させたマウスをかけ合わせてえられた個体を調べたところ、遺伝子 X 欠失マウスのヘテロ接合体は正常に発生したが、ホモ接合体は胎児の段階で死んでしまい(胎生致死)、生まれることはなかった。そこで、発生の早い時期の胎児を調べたところ、遺伝子 X 欠失のホモ接合体の胎児では、心臓の形成が初期段階で停止し、正常に発生していないことがわかった。そのため血液が十分に流れずに胎生致死となることが判明した。

そこで次に、遺伝子 X の機能を明らかにするために、遺伝子 X 欠失ホモ接合体の胎児の心臓の形成過程で発現が変化する遺伝子の有無を解析した。その結果、遺伝子 Y は、正常な胎児の心臓では発現しないにもかかわらず、遺伝子 X 欠失ホモ接合体の胎児の心臓では高発現していることが見出された。その後解析を続け、遺伝子 X は心臓の形成に異常をもたらす遺伝子 Y の発現を抑制することで心臓の正常な形成に寄与していることが明らかになった。

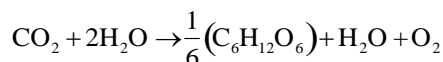
この結論は、次の実験のうちどの実験を行うことでえられたか。正しい組合せを A~J から選べ。なお、トランスジェニックマウスとは、遺伝子操作したマウスのことを指す。(4 点)

- ① 遺伝子 Y を欠失したホモ接合体マウスを作製した。  
 ② 遺伝子 X と遺伝子 Y の両方を欠失したホモ接合体マウスを作製した。  
 ③ 遺伝子 X を心臓で高発現するトランスジェニックマウスを作製した。  
 ④ 遺伝子 Y を心臓で高発現するトランスジェニックマウスを作製した。  
 ⑤ 遺伝子 X をホモで欠失し、さらに遺伝子 Y を心臓で高発現するトランスジェニックマウスを作製した。  
 ⑥ 遺伝子 Y をホモで欠失し、さらに遺伝子 X を心臓で高発現するトランスジェニックマウスを作製した。

- A. ①    B. ②    C. ①③    D. ①④    E. ①⑤    F. ①⑥    G. ②③    H. ②④    I. ②⑤    J. ②⑥

問 5) 光合成では、光化学系の電子伝達系を通して  $\text{H}_2\text{O}$  から  $\text{NADP}^+$  に電子が渡り、 $\text{O}_2$  と  $\text{NADPH}$  が生じるとともに、このときにチラコイド内腔とストロマの間に形成される  $\text{H}^+$  勾配のエネルギーにより、 $\text{ADP}$  と無機リン酸から  $\text{ATP}$  が合成される。通常は 2 分子の  $\text{H}_2\text{O}$  から 2 分子の  $\text{NADPH}$  を生じる電子伝達で、おおよそ 3 分子程度の  $\text{ATP}$  が合成される。

こうしてつくられた  $\text{NADPH}$  と  $\text{ATP}$  は、カルビン・ベンソン回路において、 $\text{CO}_2$  を固定して糖を生成するのに使われる。1 分子の  $\text{CO}_2$  から糖をつくる際には、2 分子の  $\text{NADPH}$  と 3 分子の  $\text{ATP}$  が消費される。したがって、2 分子の  $\text{NADPH}$  を生じる電子伝達でちょうど 3 分子の  $\text{ATP}$  が合成されるとき、つまり  $\text{NADPH} : \text{ATP} = 2 : 3$  のときには、これらが過不足なく 1 分子の  $\text{CO}_2$  の固定～糖生成に使われることになるので、炭酸固定を含めた光合成全体の反応式は単純に、

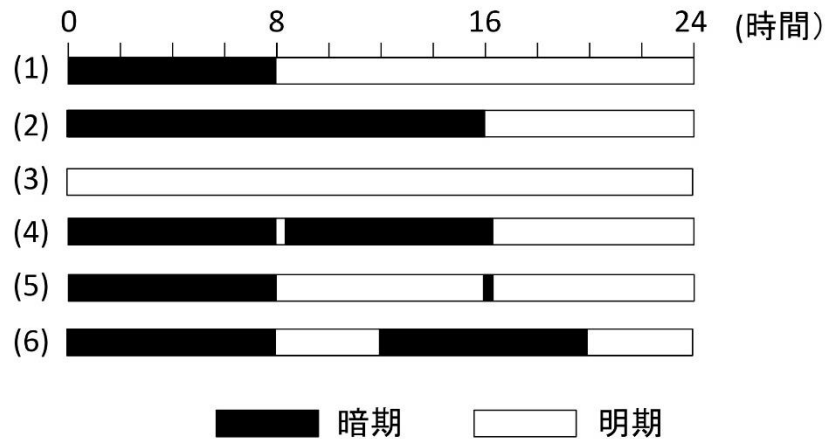


と表せる。なお、この反応式では、炭酸固定でできる化合物をグルコースに換算し、 $(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)$  で示している。また、電子伝達において電子供与体となる  $\text{H}_2\text{O}$  を、他の反応での  $\text{H}_2\text{O}$  の出入りとは区別して、左辺に示している。

電子伝達と  $\text{ATP}$  合成の量比は固定的ではなく、膜内外の状況によって変わり、そのときには光合成全体の反応の収支も変わってくる。もし電子伝達過程での生成比が  $\text{NADPH} : \text{ATP} = 1 : 1$  であったなら、光合成全体の反応式はどうなるか。もっとも適当な反応式を A～F から選べ。(4 点)

- A.  $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{ADP} + \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow \frac{1}{6}(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) + 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + \text{ATP}$
- B.  $\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} + \text{ADP} + \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow \frac{1}{6}(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) + \text{H}_2\text{O} + \frac{3}{2}\text{O}_2 + \text{ATP}$
- C.  $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{NADPH} + \text{H}^+ \rightarrow \frac{1}{6}(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) + 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + \text{NADP}^+$
- D.  $\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} + \text{NADPH} + \text{H}^+ \rightarrow \frac{1}{6}(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) + \text{H}_2\text{O} + \frac{3}{2}\text{O}_2 + \text{NADP}^+$
- E.  $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{NADP}^+ \rightarrow \frac{1}{6}(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) + 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + \text{NADPH} + \text{H}^+$
- F.  $\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} + \text{NADP}^+ \rightarrow \frac{1}{6}(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) + \text{H}_2\text{O} + \frac{3}{2}\text{O}_2 + \text{NADPH} + \text{H}^+$

問 6) 人工気象器をもちいて、1 日の日長条件のみが異なる実験処理区(1)～(6)を下図のように設定し、各処理区で植物 X と植物 Y を育てて、花芽形成の有無を調べた。植物 X は処理区(1)で花芽を形成したが、処理区(2)では花芽を形成しなかった。一方、植物 Y は処理区(2)では花芽を形成したが、処理区(1)では花芽を形成しなかった。花芽形成が日長条件によって大きな影響を受ける植物は多く、植物 X や植物 Y もその典型といえる。



処理区(1)、(2)における日長条件の影響の受け方からすれば、処理区(3)～(6)の中で、植物 X および植物 Y が花芽を形成したのはどの処理区と考えられるか。植物 X と植物 Y のそれぞれについて、花芽を形成した処理区を選び、その組合せを A～H から選べ。(4 点)

	A	B	C	D	E	F	G	H
植物 X	(3)	(3) (4)	(3) (5)	(3) (6)	(3) (4) (5)	(3) (4) (6)	(3) (5) (6)	(3) (4) (5) (6)
植物 Y	(4) (5) (6)	(5) (6)	(4) (6)	(4) (5)	(6)	(5)	(4)	なし

問 7) イネは水田作、コムギは畑作という栽培環境の違いからも推測できるように、イネとコムギでは嫌気条件下での発芽率に違いがみられる。イネとコムギの発芽時の反応をくらべると、図 1 に示すように空気中の酸素濃度の上昇にともなう酸素吸収量の変化にはあまり差がみられないが、発芽率 (図 2)、胚の発芽後の成長率 (図 3)、二酸化炭素放出率 (図 4) の変化には大きな違いが認められる。このとき、イネの反応を示すグラフの正しい組合せを A~H から選べ。(4 点)

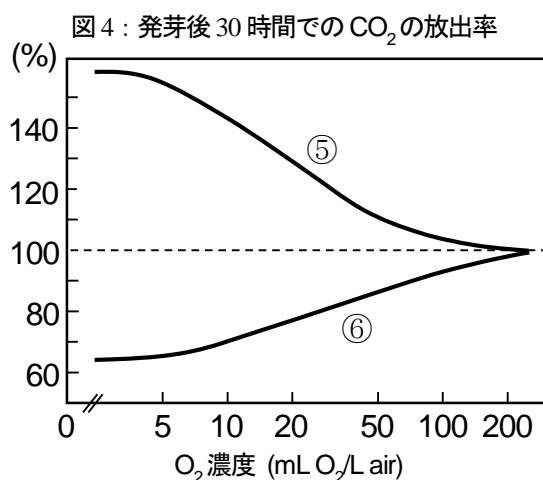
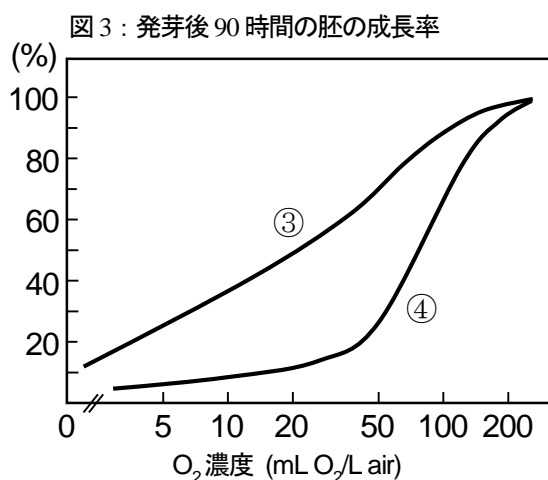
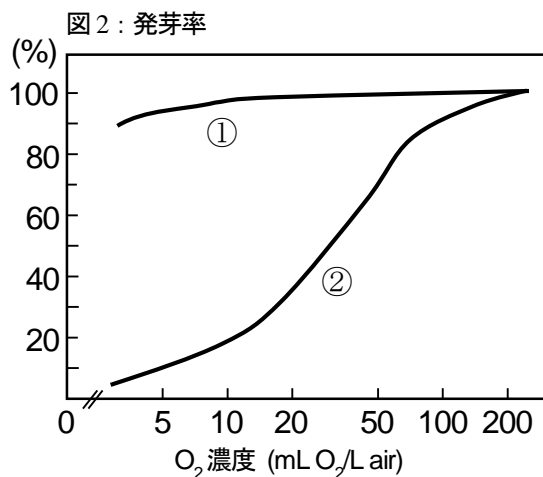
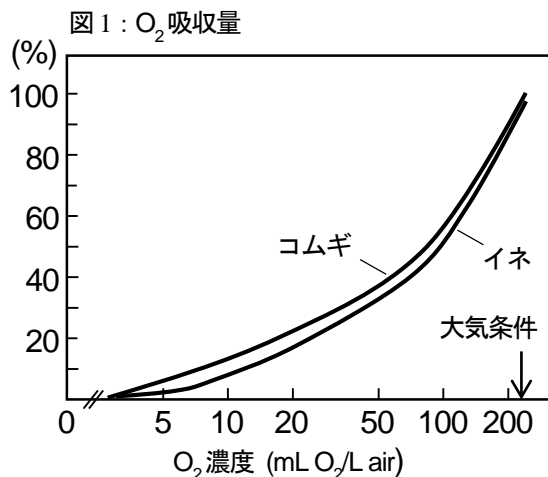
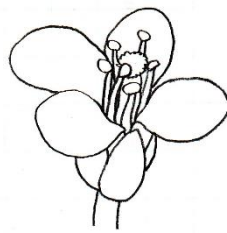


図 : イネとコムギの嫌気条件下での反応 (大気条件の場合を 100%とした相対値で表す)

- A. ①③⑤    B. ①③⑥    C. ①④⑤    D. ①④⑥    E. ②③⑤    F. ②③⑥    G. ②④⑤    H. ②④⑥

問 8) 一般に、被子植物の花が発生する際には、花芽分裂組織が4つの同心円状の領域に分かれ、このうちもっとも外側の領域（領域1）にがく片、次の領域（領域2）に花弁、3番目の領域（領域3）に雄しべ、もっとも内側の領域（領域4）に雌しべのもととなる心皮が形成される。ABCモデルでは、「花芽分裂組織のどの領域にどの器官を形成するかは、領域1と2ではたらくAクラス、領域2と3ではたらくBクラス、領域3と4ではたらくCクラス、という3つのクラスの遺伝子が決定する」と説明される。

モデル植物のシロイヌナズナの場合、完成した正常な花は、4枚のがく片、4枚の花弁、6本の雄しべ、2枚の心皮が合着してできた1本の雌しべからなる。シロイヌナズナのある突然変異体 $x$ の花を開いて観察したところ、形態から判断する限り、がく片が8枚あり、花弁と雄しべがなかった。また、雌しべが異常に太く、さらに雌しべに近接して部分的に合着した糸状の構造物があった。この変異体 $x$ の花の異常は、ABCモデルに基づくと、どのように考えられるか。次の考察のうち、 $x$ の花の説明として適当なものの組合せをA～Hから選べ。（5点）



野生型

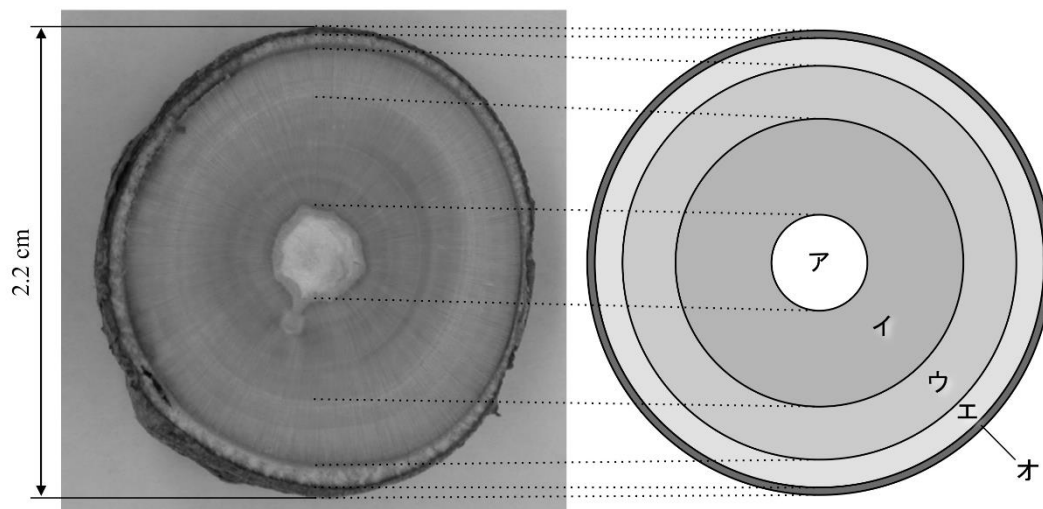


変異体 $x$

- ① 領域1に生じるがく片の数が増えている。
- ② 領域2に花弁の代わりにがく片が生じている。
- ③ 領域3に心皮が生じて、領域4から生じた心皮に重なっている。
- ④ 領域4に生じる心皮が増えている。
- ⑤ 糸状の構造物は、不完全ながく片である。
- ⑥ 糸状の構造物は、不完全な心皮である。

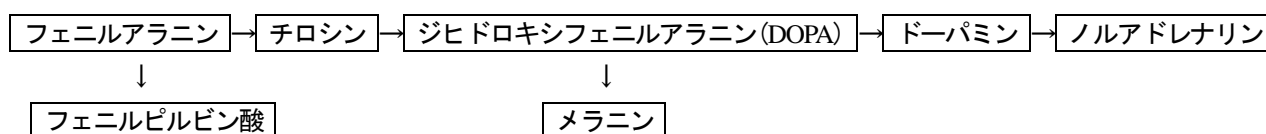
- A. ①③⑤    B. ①③⑥    C. ①④⑤    D. ①④⑥    E. ②③⑤    F. ②③⑥    G. ②④⑤    H. ②④⑥

問 9) 次の写真は、春先に常緑広葉樹のユズリハから、数年以上の成長を経ていると思われる枝を切り取って、その断面を撮影したものである。この断面において、肥大成長をもたらす細胞分裂が起きるのは、主としてどの領域か。もっとも適当なものを A～I から選べ。(4 点)



- A. アの全域    B. アとイの境界領域    C. イの全域    D. イとウの境界領域    E. ウの全域  
F. ウとエの境界領域    G. エの全域    H. エとオの境界領域    I. オの全域

問 10) ヒトの代謝異常にはさまざまなものが知られている。フェニルケトン尿症はその代表的なものの 1 つである。フェニルアラニンには下記のような代謝経路でいろいろな物質へと変化するが、その経路の酵素や補酵素の欠損・欠乏によってフェニルアラニンやフェニルピルビン酸（およびフェニルピルビン酸の代謝物）が蓄積し、これが尿中に排泄される。この結果引き起こされる病気がフェニルケトン尿症である。フェニルケトン尿症に関連した次の文のうち、誤っているものはどれか。適当な組合せを A～L から選べ。(4 点)



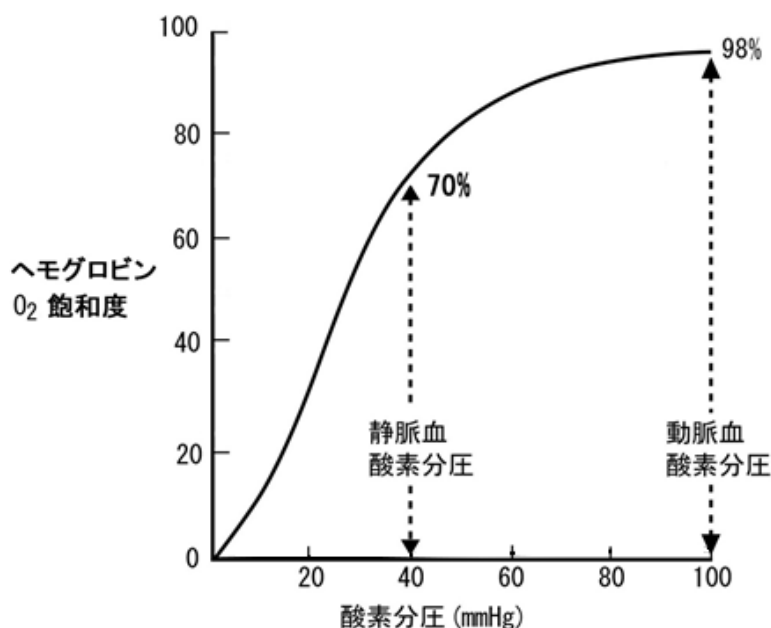
- ① フェニルアラニンをチロシンに変換する酵素がないとフェニルケトン尿症になる。
- ② フェニルケトン尿症の患者は、皮膚や髪の色が薄いことがある。
- ③ この経路に関わる酵素を経口摂取することで、症状が改善することがある。
- ④ この経路に関わる補酵素を経口摂取することで、症状が改善することがある。
- ⑤ フェニルアラニンは必須アミノ酸であるが、フェニルケトン尿症の患者はフェニルアラニンを一切摂取してはいけない。
- ⑥ フェニルケトン尿症の患者は、神経機能に異常が起こることがある。
- ⑦ 遺伝病であるフェニルケトン尿症の治療として、遺伝子治療が有効であると考えられている。

- A. ①②    B. ①③    C. ①④    D. ②④    E. ②⑥    F. ②⑦  
G. ③⑤    H. ③⑦    I. ④⑤    J. ④⑥    K. ⑤⑥    L. ⑤⑦



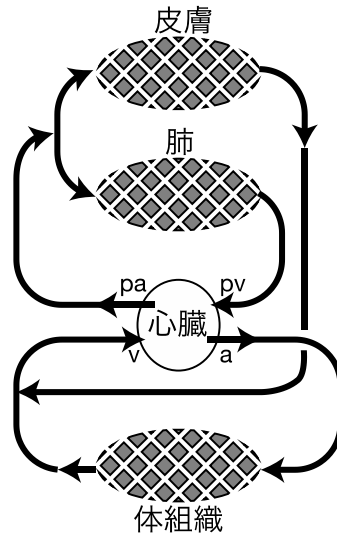
問 11) 酸素スプレーは純度 95%以上の酸素を含むスプレーで、スポーツ時や気分転換などに手軽に酸素補給ができるとされている。ヒトのヘモグロビンの酸素解離曲線(下図)を参考に、酸素スプレーの効果について考察した以下の文中の(イ)、(ロ)、(ハ)にあてはまる数字と語句の組合せとして正しいものを A~J から選べ。なお、二酸化炭素分圧の影響および物理的に血液中に溶解する酸素量は考慮しなくてよい。(5 点)

ヘモグロビン 1 g は最大で酸素 1.4 mL と結合する。成人男性の血液 100 mL 中にはヘモグロビンが 16 g 含まれるので、安静時、動脈血(酸素分圧 100 mmHg)のヘモグロビンに結合している酸素量は、グラフより血液 100 mL あたり (イ) mL になる。したがって、末梢(静脈血の酸素分圧 40 mmHg)における酸素の放出量は、グラフより血液 100 mL あたり (ロ) mL と求められる。いま、安静時に酸素スプレーをもちいたことにより肺に高純度の酸素が満たされ、動脈血中の酸素濃度が 2 倍の 200 mmHg になり、ヘモグロビンの飽和度はほぼ 100%に上昇すると仮定する。ここで、末梢における酸素濃度は変化がないとすると、末梢での放出酸素量は (ハ) ことがわかる。

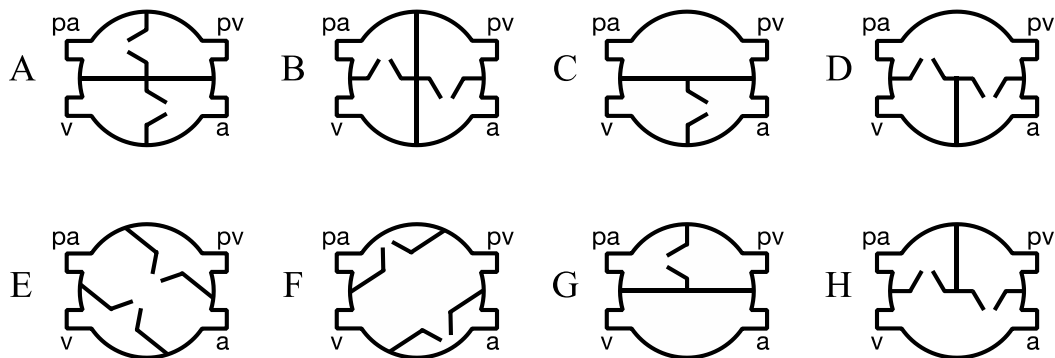


	(イ)	(ロ)	(ハ)
A	22.0	15.7	大幅に増え、安静時の酸素スプレーは効果的である
B	22.0	15.7	あまり増えず、安静時には酸素スプレーは効果が少ない
C	22.0	6.3	大幅に増え、安静時の酸素スプレーは効果的である
D	22.0	6.3	あまり増えず、安静時には酸素スプレーは効果が少ない
E	22.4	15.7	大幅に増え、安静時の酸素スプレーは効果的である
F	22.4	15.7	あまり増えず、安静時には酸素スプレーは効果が少ない
G	22.4	6.3	大幅に増え、安静時の酸素スプレーは効果的である
H	22.4	6.3	あまり増えず、安静時には酸素スプレーは効果が少ない
I	上記以外	上記以外	大幅に増え、安静時の酸素スプレーは効果的である
J	上記以外	上記以外	あまり増えず、安静時には酸素スプレーは効果が少ない

問 12) 図は無尾両生類（カエル）の血液循環系を模式的に示したものである。白い円が心臓を、網目をかけた楕円は毛細血管を示している。この動物では、心臓から送り出される血液は肺循環系と体循環系に分かれており、肺循環系はさらに肺動脈と皮膚動脈に分岐している。このうち肺へ向かった血流は肺静脈として心臓に戻ってくるが、皮膚に向かった血流は体循環系の静脈に合流して心臓に戻る。動物が水中にある時、役に立たなくなる肺への血流は抑制されるが、皮膚への血流は維持され、皮膚から水中の酸素を取り入れることができる。

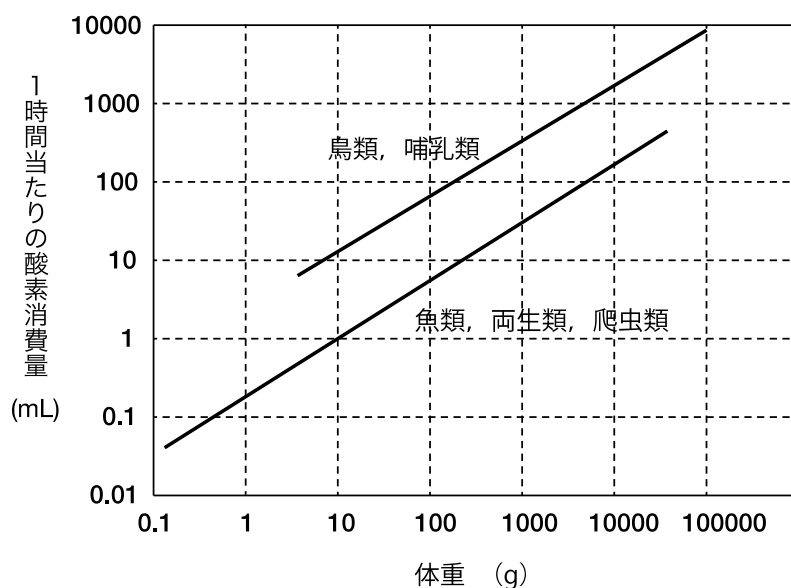


このような循環系をもつカエルの心臓内の構造はどのようなものだろうか。もっとも適当な構造を選択図 A～H から選べ。ただし、心臓に出入りする4つの大血管（大動脈 a、大静脈 v、肺動脈 pa、肺静脈 pv）は、略号で示し、上図と選択図で対応している。選択図では、実際の心臓の上下左右は無視し、相対的な位置関係を模式的に示している。（5点）



は心臓内の弁を表し、
 
 の方向にのみ血液が流れる。

問 13) 動物の代謝量は、身体が大きくなるほど増大する。図は、脊椎動物の安静にしているときの代謝量（基礎代謝量という）を酸素消費量で測定して、体重との関係を調べた結果の概要を示したものである。なお、代謝量は体温によっても変動するが、この図ではそれぞれの動物の代謝量の温度依存性を調べて、体温が37℃のときの値に換算して示している。



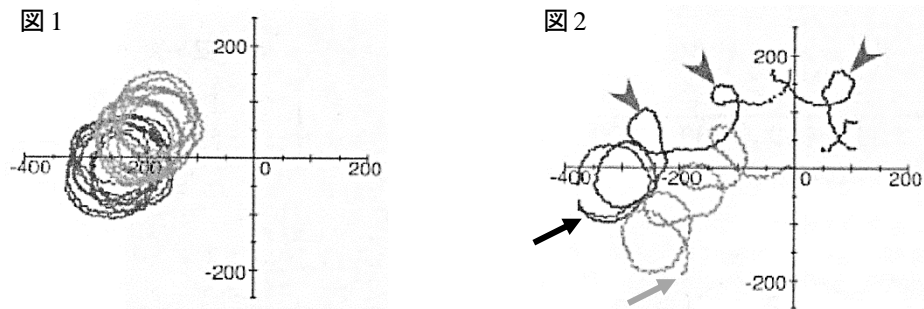
この結果および鳥類・哺乳類と魚類・両生類・爬虫類の特徴の違いからどのようなことが考えられるか。もっとも適切な組合せを A～L から選べ。(5 点)

- ① 体重が 10 倍になると代謝量も 10 倍に増える。つまり、体重あたりのエネルギー消費量は体の大きさによらず一定である。
- ② 体重が 10 倍になると代謝量は 10 倍以上に増える。つまり、大きな動物の方が体重あたりのエネルギー消費量は多い。
- ③ 体重が 10 倍になっても代謝量は 10 倍までは増えない。つまり、大きな動物の方が体重あたりのエネルギー消費量は少ない。
- ④ 鳥類・哺乳類は、同じ体重の魚類・両生類・爬虫類にくらべておよそ 10 倍のエネルギーを食物から摂取する必要がある。
- ⑤ この図からは鳥類・哺乳類と魚類・両生類・爬虫類の間に体重あたりの摂取エネルギーに差があるかどうかはわからない。
- ⑥ 一般的に、外気温が低くなるにつれて、鳥類・哺乳類と魚類・両生類・爬虫類の代謝量の差は大きくなる。
- ⑦ 一般的に、外気温が低くなるにつれて、鳥類・哺乳類と魚類・両生類・爬虫類の代謝量の差は小さくなる。

- A. ①④⑥    B. ①⑤⑥    C. ②④⑥    D. ②⑤⑥    E. ③④⑥    F. ③⑤⑥  
 G. ①④⑦    H. ①⑤⑦    I. ②④⑦    J. ②⑤⑦    K. ③④⑦    L. ③⑤⑦

問 14) 一般的に精子は鞭毛の運動によって遊泳する。ある種の動物では、卵から放出される精子誘引物質によって鞭毛運動が調節され、それによって精子が卵へ誘引されることが知られている。ホヤもそのような動物の1つであることが実験で明らかになった。

活性化して遊泳するホヤの精子を画像記録し、精子頭部の軌跡を表したものが下図である。図1には普通の海水中での軌跡が2例示されており、ほぼ同じ位置で円を描いて泳いでいることがわかる。図2は座標の原点の位置に未受精卵を置いた場合で、やはり2例が示されている。ここで3つの矢尻は遊泳方向の鋭い転換が起こっている位置を示している。いずれの条件下でも精子の遊泳速度（軌跡に沿った遊泳速度）はほぼ一定であった。



図：ホヤ精子の遊泳軌跡。図1：普通の海水中での頭部の軌跡。図2：座標の原点に未受精卵がある場合の頭部の軌跡。記録開始点は矢印で、鋭く方向転換をする位置は矢尻で示してある。

この実験結果から推測されることとして妥当と考えられるものをA～Gから選べ。なお、精子誘引物質は、精子の遊泳などにより濃度勾配が乱されることはなく、卵から拡散によって均等に広がるものとする。(5点)

- A. 遊泳している精子が卵から離れると誘引物質の濃度が低下するので、それを感知して遊泳速度が落ち、卵の方向に遊泳方向を転換させると考えられる。
- B. 精子は誘引物質の濃度が一定の値になると遊泳方向が鋭く曲がる仕組みをもっている。
- C. 遊泳している精子が卵から離れ始めてから、鋭い方向転換が起こるまでに時間がかかるのは、誘引物質の濃度が減少していくことを感知するためにはある程度距離を進む必要があるからである。
- D. 卵から採取した誘引物質を均一になるように希釈した溶液中では、誘引物質の濃度に反比例して精子は図1の軌跡よりも小さい半径で遊泳すると考えられる。
- E. 矢尻で示された場所で誘引物質の大きな濃度変化が起こっており、そこで遊泳方向の転換が起こっていると考えられる。
- F. 卵がある場合、精子は誘引物質の濃度勾配にそってほぼ直線的に卵に向かうようになる。
- G. 精子は誘引物質の濃度が高くなることを感知すると遊泳方向を鋭く曲げることで卵に近づいていくと考えられる。

問 15) 水槽に一定量の培地を入れて、2 種類の原生生物（以下、生物 X、生物 Y とよぶ）を培養した。それぞれの種を単独で培養し、個体群密度（細胞密度）の変化を調べたところ、暗黒の下では図 1 のように、適度の照明の下では図 2 のようになった。次に、これらの 2 種類の生物を混合し、適度な照明下で培養したところ、図 3 のような結果がえられた。

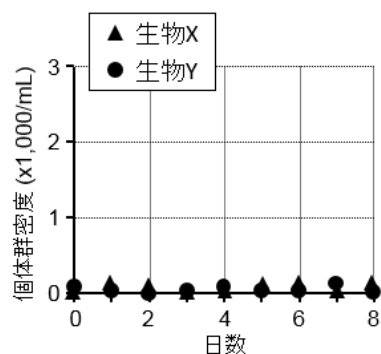


図 1：単独で培養（暗黒化）

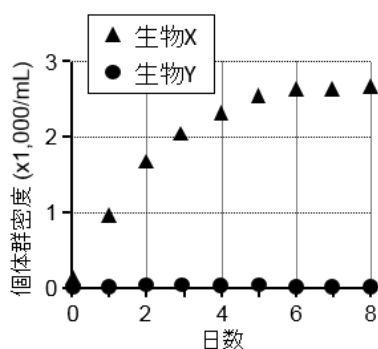


図 2：単独で培養（照明下）

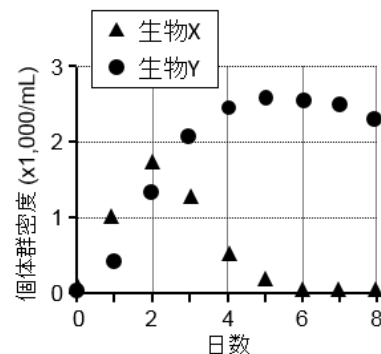


図 3：混合して培養（照明下）

次の記述の中で、この結果に対する考察として適当なものの組合せを A～L から選べ。（5 点）

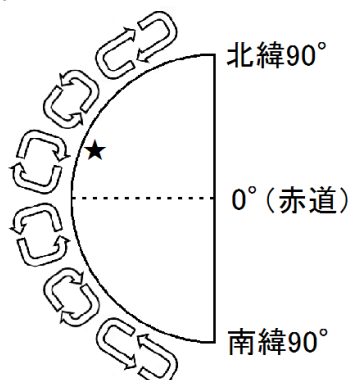
- ① 生物 X と生物 Y は競争者として同じ資源を利用している。
- ② 生物 X と生物 Y は共生者としてお互いを利用している。
- ③ 生物 X は生物 Y を捕食する捕食者である。
- ④ 生物 Y は生物 X を捕食する捕食者である。
- ⑤ 生物 X は光合成を行う生物である。
- ⑥ 生物 Y は光合成を行う生物である。
- ⑦ 光は生物 Y に対して致死作用がある。

- A. ①⑤    B. ①⑥    C. ①⑦    D. ②⑤    E. ②⑥    F. ②⑦  
 G. ③⑤    H. ③⑥    I. ③⑦    J. ④⑤    K. ④⑥    L. ④⑦

問 16) 陸上のバイオームの分布は、おもにその地域の気温と降水量によって決定される。地球規模の大気の大循環は太陽エネルギーが駆動力となっておきる。地表が受け取る太陽エネルギーは、緯度によって異なり、これが大気循環と降水量に影響を与える。

図は、地球の自転の効果などにより形成される大気循環の基本的なモデルである。グラフ(ア)～(ウ)は異なるバイオームが成立する3地点の気候の特徴を示したものである。これらの図とグラフに関する次の記述の中から正しいものを選択し、その組合せをA～Iから選べ。(5点)

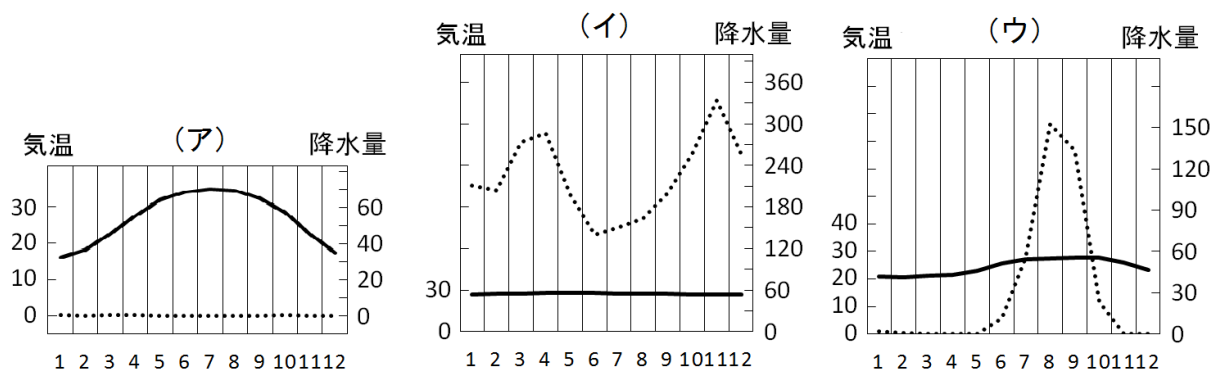
図



グラフ

— 月平均気温平年値 (°C)

.... 月平均降水量平年値 (mm)



- ① 図の★印の緯度にもっとも近い地点の気候を示すグラフは(ア)である。
- ② 図の★印の緯度にもっとも近い地点の気候を示すグラフは(イ)である。
- ③ 図の★印の緯度にもっとも近い地点の気候を示すグラフは(ウ)である。
- ④ バイオームがサバンナである地点の気候を示すグラフは(ア)である。
- ⑤ バイオームがサバンナである地点の気候を示すグラフは(イ)である。
- ⑥ バイオームがサバンナである地点の気候を示すグラフは(ウ)である。

A. ①④    B. ①⑤    C. ①⑥    D. ②④    E. ②⑤    F. ②⑥    G. ③④    H. ③⑤    I. ③⑥

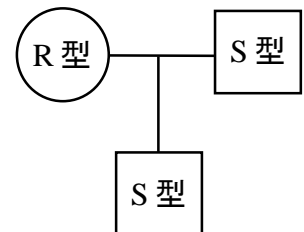
問 17) 鳥が人間に対して見せる行動の中には「刷り込み」が原因になっているものがある。以下の記述の中で、「刷り込み」が原因と考えられるものの組合せを A～J から選べ。(4 点)

- ① 巣に近づいた人間を親鳥が攻撃する。
- ② ある鳥は、ごみ集積所に集められた袋の中から食べ物が入った袋だけを見つける。
- ③ 人工繁殖したひなが飼育員についてまわる。
- ④ 野鳥保護区の成鳥がボランティア活動を行っている人間に求愛行動を示す。
- ⑤ 湖に飛来した渡り鳥に餌やりを続けていると、近づくだけで渡り鳥は集まるようになる。

- A. ①②    B. ①③    C. ①④    D. ①⑤    E. ②③  
F. ②④    G. ②⑤    H. ③④    I. ③⑤    J. ④⑤

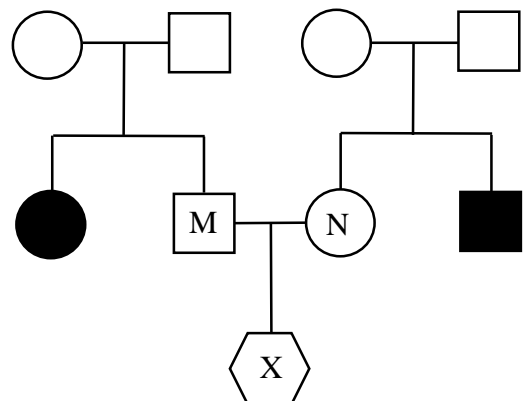
問 18) ヒトのある形質には、2つの表現型(R型とS型)がある。ある家族の表現型を調べたところ、図のように、母親はR型、父親はS型、息子はS型であった。この表現型が1つの遺伝子座の対立遺伝子によって決定されるとき、可能性のある遺伝様式の組合せを A～J から選べ。(5 点)

- ① この遺伝子座は常染色体上にあり、R型は優性形質、S型は劣性形質である。
- ② この遺伝子座は常染色体上にあり、S型は優性形質、R型は劣性形質である。
- ③ この遺伝子座はX染色体上にあり、R型は優性形質、S型は劣性形質である。
- ④ この遺伝子座はX染色体上にあり、S型は優性形質、R型は劣性形質である。
- ⑤ この遺伝子座はミトコンドリアゲノムにある。



- A. ①②③    B. ①②④    C. ①②⑤    D. ①③④    E. ①③⑤  
F. ①④⑤    G. ②③④    H. ②③⑤    I. ②④⑤    J. ③④⑤

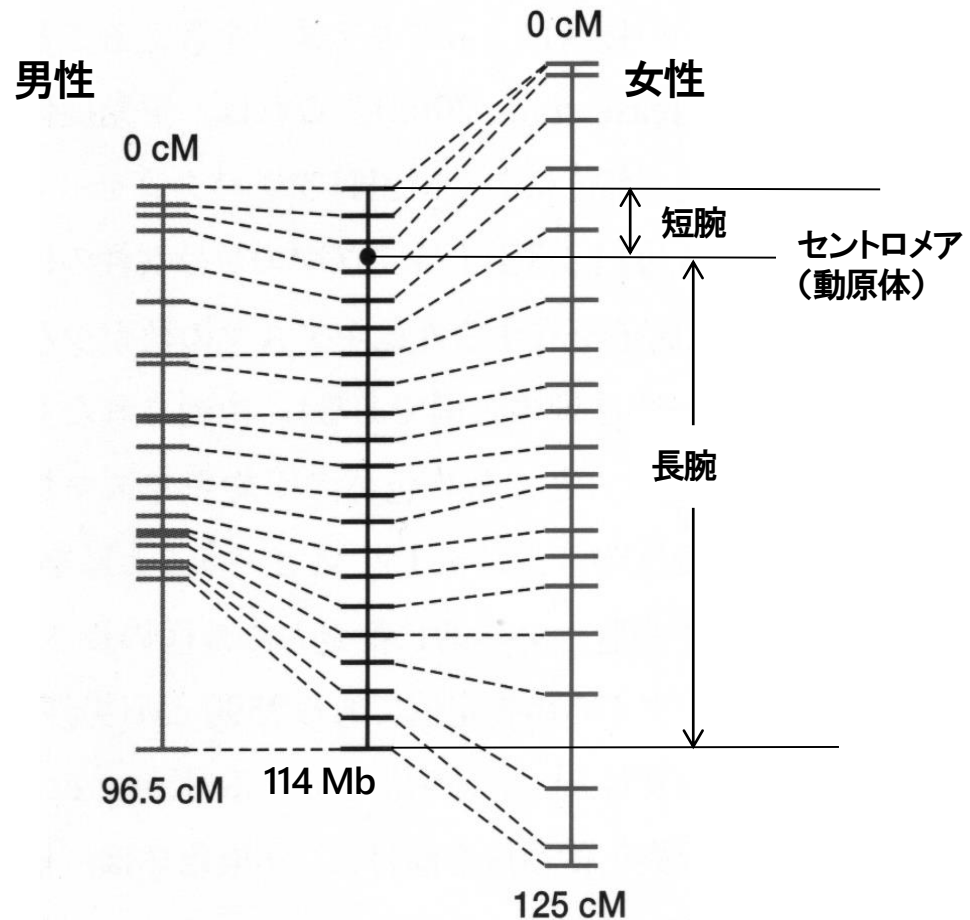
問 19) ある男性 M には、常染色体劣性遺伝の遺伝病 Q を発症している妹が一人いるが、男性本人は健康であり、病気は有していない。この男性は健康な女性 N と結婚したが、N にも遺伝病 Q を発症している弟がいる。M と N の両親は全員健康であり、病気は有していない。M と N は血縁関係が全くなく、新たな突然変異は起こらないと仮定して、M と N が結婚して生まれた子(図中の X)が遺伝病 Q を発症する確率を求め、その値を A～L から選べ。(5 点)



図：家系図(●と■は発病者)

- A. 1/36    B. 1/16    C. 1/9    D. 1/4    E. 1/3    F. 4/9  
G. 1/2    H. 9/16    I. 2/3    J. 25/36    K. 3/4    L. 5/6

問 20) 図はヒトの 13 番染色体の遺伝学的地図（連鎖地図）（左側と右側）である。遺伝学的地図とは、減数分裂での組換え頻度を基に cM（センチモルガン）を単位として作成した染色体地図である。男性の減数分裂での遺伝学的地図を左側に、女性の減数分裂での遺伝学的地図を右側に示してある。図の中央部に、13 番染色体の全長にわたって遺伝的マーカーの位置を目盛状に示し、それぞれのマーカーが遺伝学的地図上ではどの位置に相当するかが点線で示されている。



図：左側と右側はヒト 13 番染色体における遺伝学的地図（連鎖地図）である。中央部に 13 番染色体全長にある遺伝的マーカーの位置を示す。13 番染色体全長のサイズ（塩基配列数）は 114 Mb である（1 Mb は  $10^6$  塩基対）。(Strachan, T. and Read, A. P. (2004) より改変)

遺伝学的地図に関わる次の記述について正しいものを選択し、その組合せを A～H から選べ。(5 点)

- ① 減数分裂での組換え（乗換え）は、第 1 分裂でおこる。
- ② 減数分裂での組換え（乗換え）は、第 1 分裂でも第 2 分裂でもおこる。
- ③ 13 番染色体の実際の長さは、女性でも男性でも変わらない。
- ④ 同じ 13 番染色体であっても、女性ではその実際の長さは男性より大きい。
- ⑤ 13 番染色体の減数分裂での組換え頻度は、女性の方が男性より高い。
- ⑥ 13 番染色体の減数分裂での組換え頻度は、女性の方が男性より低い。

A. ①③⑤    B. ①③⑥    C. ①④⑤    D. ①④⑥    E. ②③⑤    F. ②③⑥    G. ②④⑤    H. ②④⑥



問 21) キイロショウジョウバエの常染色体上にある遺伝子座  $U$  には、2つの対立遺伝子 ( $U$  と  $u$ ) が存在する。表のように、遺伝子型  $UU$  のハエは生存できず、生存率は0である。また、遺伝子型  $Uu$  の表現型は  $U1$  であり、遺伝子型  $uu$  の表現型は  $U2$  である。

遺伝子型	$UU$	$Uu$	$uu$
表現型	生存せず	$U1$	$U2$
生存率	0	1	$W$

5000 匹ほどのハエを常時飼育できる集団飼育箱でキイロショウジョウバエを飼育し、ハエの表現型を数年にわたり調べたところ、表現型  $U1$  の成虫と表現型  $U2$  の成虫は常にほぼ同数であった。表現型  $U1$  の生存率を 1、表現型  $U2$  の生存率を  $W$  としたとき、任意交配を仮定して、 $W$  の近似値（小数第 3 位を四捨五入した値）を求め、その値を A～L から選べ。（5 点）

- A. 0.17    B. 0.20    C. 0.25    D. 0.33    E. 0.40    F. 0.50  
 G. 0.60    H. 0.67    I. 0.75    J. 0.80    K. 0.83    L. 1.00

問 22) 次の表は、ある近縁な生物 3 種（種 I、種 II、種 III）および祖先種のある領域の DNA 配列を決定し、配列間に違いがあった 4 つのサイトで見られた塩基を示したものである。なお、祖先種の DNA 配列（祖先配列）はいろいろな情報をもとに決定したものであり、ここでは正しいものと仮定する。

	塩基に違いがあったサイト			
	1	2	3	4
種 I の配列	A	G	A	C
種 II の配列	G	T	A	T
種 III の配列	G	T	G	C
祖先配列	A	G	G	T

系統樹作成法の 1 つである最節約法は、考えられるすべての系統樹の中から必要とされる（形質や塩基の）変化の回数がもっとも少ないものを選択する方法である。

次の記述は、このデータに基づいて最節約法で系統樹を作成した結果について述べたものである。（ア）と（イ）にあてはまる語句と数字の正しい組合せを A～L から選べ。（5 点）

生物 3 種（種 I、種 II、種 III）の中で（ア）がもっとも近縁であり、最小限の塩基変化は（イ）回である。

- ① 種 I と種 II    ② 種 I と種 III    ③ 種 II と種 III    ④ 4    ⑤ 5    ⑥ 6    ⑦ 7

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
ア	①	①	①	①	②	②	②	②	③	③	③	③
イ	④	⑤	⑥	⑦	④	⑤	⑥	⑦	④	⑤	⑥	⑦