

# 日本生物学オリンピック 2015

## 予選問題

2015 年 7 月 19 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 20 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 26)までの 26 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 3～5 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) 培養細胞の細胞数を調べるため、図 1 に示す血球計算盤をもちいて、培養液中の細胞数の測定を行うことにした。血球計算盤は、スライドガラスに似たガラスの板である。中央部に水を垂らし、カバーガラスをのせると、計算室とよばれる深さ 0.1 mm の凹部に水が充満する。これを光学顕微鏡で観察すると、さまざまな大きさの区画が観察できる (図 2)。

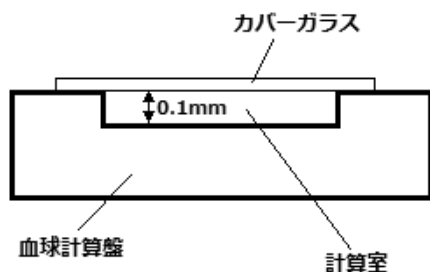


図 1 血球計算盤

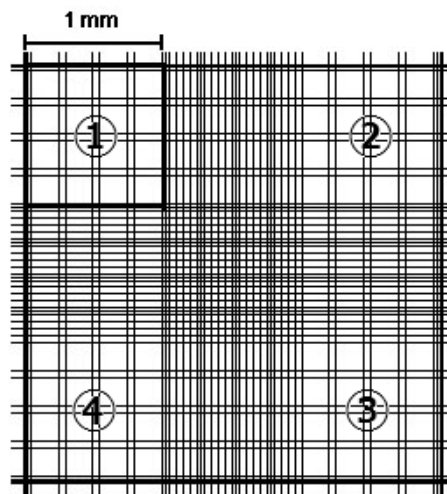


図 2 光学顕微鏡で見た図

培養した細胞が浮遊する細胞懸濁液を 10 倍に希釈したものを、マイクロピペットでこの血球計算盤の計算室に充満させ、カバーガラスをのせて光学顕微鏡で観察した。血球計算盤の①～④の 4 区画 (1 つの区画は 1 mm × 1 mm) の細胞数を測定した結果が表 1 である。

表 1 : 各区画の細胞数

区画	①	②	③	④	合計
細胞数	37	40	42	41	160

この結果から、細胞懸濁液 1 mL 中の培養細胞の数はいくつか。A～L から選べ。(3 点)

- A.  $4 \times 10^3$     B.  $4 \times 10^4$     C.  $4 \times 10^5$     D.  $4 \times 10^6$     E.  $4 \times 10^7$     F.  $4 \times 10^8$   
 G.  $1.6 \times 10^4$     H.  $1.6 \times 10^5$     I.  $1.6 \times 10^6$     J.  $1.6 \times 10^7$     K.  $1.6 \times 10^8$     L.  $1.6 \times 10^9$

問2) 生物が呼吸により放出する  $\text{CO}_2$  と吸収する  $\text{O}_2$  との量比 ( $\text{CO}_2/\text{O}_2$ ) を呼吸商 (RQ) とよぶ。気体は分子種によらず、一定の圧力と温度の下では、同じ体積に含まれる分子数は等しい。そのため、一定の圧力と温度の下で  $\text{CO}_2$  と  $\text{O}_2$  との体積比を測定すれば、RQ が求められる。

ヒトが代謝基質としてグルコース (ブドウ糖,  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) のみを食して完全に代謝したとする。この場合、解糖系、クエン酸回路、電子伝達系 (酸化リン酸化を含む) を経ることで、グルコース 1 分子は 6 分子の二酸化炭素と 6 分子の水になる。このとき、6 分子の酸素分子を消費するので、 $\text{RQ}=1$  となる。代謝基質が異なると、消費される  $\text{O}_2$  と放出される  $\text{CO}_2$  の比は異なることが予想されるので、RQ を調べることで食生活を推量することができる。

以下の (1) ~ (3) の間に関して、正しい答えの組合せを A ~ L から選べ。(4 点)

(1) グルコースの代謝において酸素を消費する過程はどれか。

(ア) 解糖系                      (イ) クエン酸回路                      (ウ) 電子伝達系

(2) グルコースの代謝において二酸化炭素が発生する過程はどれか。

(エ) 解糖系                      (オ) クエン酸回路                      (カ) 電子伝達系

(3) 糖、アルコール、脂肪酸それぞれを代謝基質とした場合の RQ を、グルコース、エタノール ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ )、リノール酸 ( $\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_2$ ) を選んで比較した。RQ を大きい順に並べると、以下のどれになるか。

(キ) リノール酸 > グルコース > エタノール

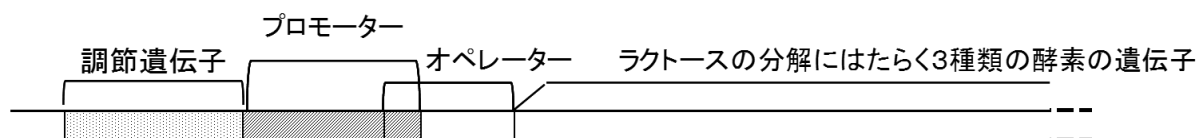
(ク) グルコース > リノール酸 > エタノール

(ケ) グルコース > エタノール > リノール酸

(コ) リノール酸 > エタノール > グルコース

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
(1)	ア	ア	ア	ア	イ	イ	イ	イ	ウ	ウ	ウ	ウ
(2)	エ	オ	カ	カ	エ	エ	オ	カ	エ	オ	オ	カ
(3)	キ	ク	ケ	コ	キ	ク	ケ	コ	キ	ク	ケ	コ

問 3) 大腸菌において、ラクトースの分解にはたらく 3 種類の酵素（以下、ラクトース分解酵素とよぶ）の遺伝子は、培地中にラクトースがあるときは転写されるが、ラクトースがないときは転写されない。この転写の制御には、図が示しているように、ラクトース分解酵素遺伝子上流の、調節遺伝子、オペレーター、プロモーターとよばれる領域が関わっている。



大腸菌のラクトースの代謝が異常である突然変異株ア、イ、ウがみつかった。アでは、ラクトース分解酵素の遺伝子に異常はないにもかかわらず、ラクトースの培地で育ててもラクトース分解酵素が合成されなかった。一方、イとウでは、ラクトースがない培地でもラクトース分解酵素が合成された。イとウについてさらに調べるために、野生型の大腸菌から、調節遺伝子、プロモーター、オペレーターの領域を含む DNA 断片を抽出し、イとウの突然変異株に導入した。その結果、イではラクトースを含まない培地でのラクトース分解酵素の合成はみられなくなったが、ウではラクトースを含まない培地でのラクトース分解酵素の合成はそのまま続いた。

以上の実験結果より、突然変異株ア、イ、ウにおいて突然変異が起きたのはラクトース分解酵素を制御する領域のどの部分だと考えられるか。もっとも適切な組合せを A～F から選べ。(4 点)

	突然変異株ア	突然変異株イ	突然変異株ウ
A	調節遺伝子	プロモーター	オペレーター
B	調節遺伝子	オペレーター	プロモーター
C	プロモーター	調節遺伝子	オペレーター
D	プロモーター	オペレーター	調節遺伝子
E	オペレーター	調節遺伝子	プロモーター
F	オペレーター	プロモーター	調節遺伝子

問 4) 通常は、食中毒を引き起こす病原菌は、ある程度のまとまった数を摂取しない限り発症しない。ここでは、架空の話として、病原性細菌による食中毒事件を考える。

架空の病原性細菌 Vader は、10 万個を超える数を一度に摂取すると食中毒を発症するが、それ以下の数であれば摂取しても発症しない。レストラン「スターウォーズ」で食中毒事件が発生した。スープストックに病原菌 Vader が混入しているのに気が付いたので廃棄する予定だったのに重大な手違いが発生し、このスープストックが、午後 0 時に新鮮な 1,000 mL のブイヨンスープに数滴混じってしまった。後の調査により、この時混入した Vader は約 1,000 個と推定される。このブイヨンスープを 100 mL ずつ客に提供したところ、午後 8 時以前に摂取した客は発症しなかったが、午後 9 時以降に摂取した客から食中毒が発生し、「スターウォーズ」は営業停止処分となった。

ブイヨンスープに混入した Vader はただちに分裂増殖を開始し、客はブイヨンスープを残らず飲み干したとすると、Vader の世代時間は何分になるか。もっとも近い時間を A～L から選べ。ただし、世代時間とは菌の数が 2 倍になるのに必要な時間であり、Vader は客に提供されるまで同じ速度で分裂増殖を継続したものとする。(3 点)

- A. 5 分    B. 10 分    C. 15 分    D. 20 分    E. 25 分    F. 30 分  
G. 40 分    H. 50 分    I. 60 分    J. 70 分    K. 80 分    L. 90 分

問5) ベクターとして使われる pSPL3 プラスミドは 6031 塩基対数 (bp) からなり、図 1 のように制限酵素 *EcoRI* で切断される配列が 1 か所、制限酵素 *HindIII* で切断される配列が 2 か所、制限酵素 *XmnI* で切断される配列が 1 か所ある。図 1 の中の制限酵素名の前にある数字は、その制限酵素で切断される位置をある基準点から時計回りにかぞえた塩基対数である。

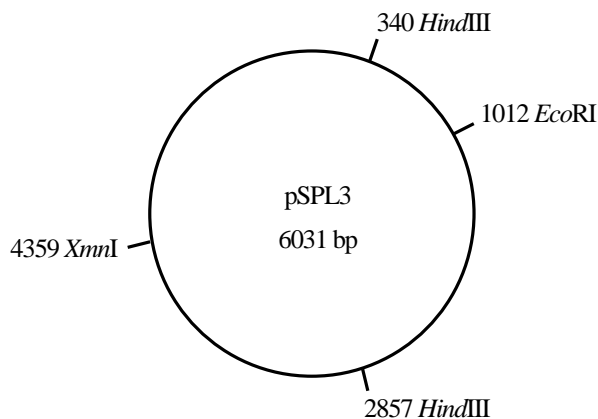


図 1

図 2 は、このプラスミドをいろいろな制限酵素の組合せで切断した後、電気泳動した結果を模式的に示したものである。左端と右端のレーン M は、マーカーとよばれる、塩基対数のわかっている DNA を電気泳動したものである。それぞれの塩基対数は右端に記入してある。また、レーン R は、プラスミドを切断せずに電気泳動したもので、DNA が環状で高次構造の影響を受けるため、複雑なバンドパターンを示している。

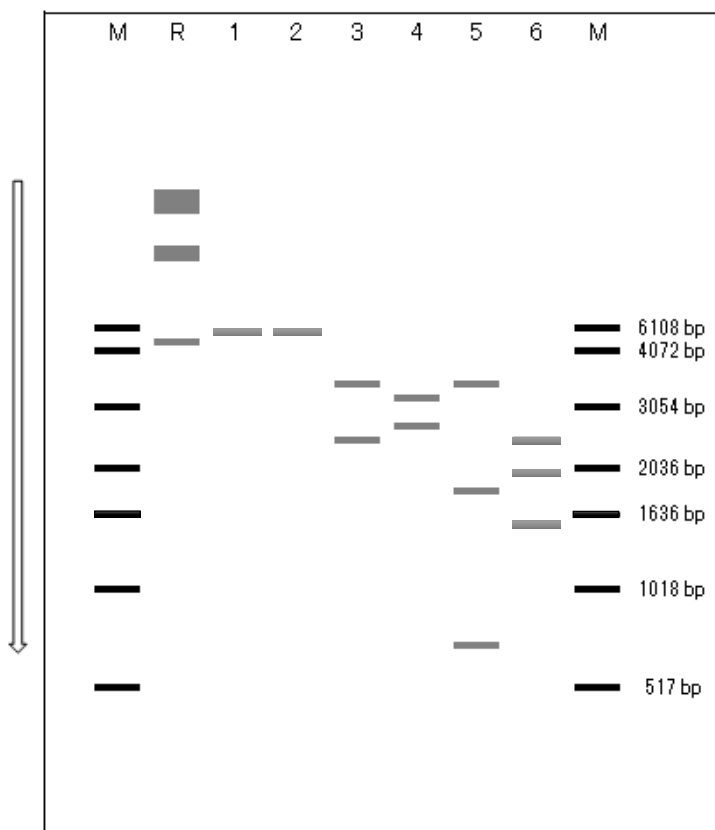


図 2 (坂本尚昭著, 「走れ DNA!」より改変)

①～⑥に示した各レーンの結果ともちいた制限酵素の関係のうち、正しいものの組合せを A～I から選べ。(3 点)

- ① レーン 1 : *EcoRI* で切断                      ② レーン 2 : *HindIII* で切断                      ③ レーン 3 : *XmnI* で切断  
 ④ レーン 4 : *HindIII* と *EcoRI* で切断      ⑤ レーン 5 : *EcoRI* と *XmnI* で切断      ⑥ レーン 6 : *HindIII* と *XmnI* で切断

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

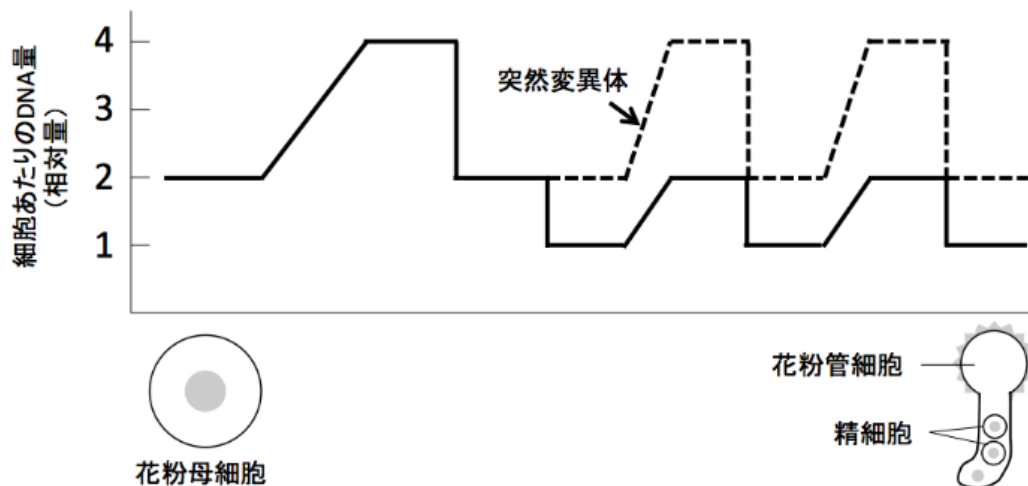
問 6) 減数分裂の第一分裂または第二分裂で、ある染色体の不分離が起こると、染色体が 1 本多い配偶子ができ、それが正常な配偶子と受精すると、相同染色体が 3 本のトリソミーの個体が生じる。トリソミーの個体とその両親において多型性を示す遺伝子のタイプ（対立遺伝子）を知ることによって、トリソミーの起源を知ることができる。

いま、トリソミーとなった常染色体の動原体（セントロメア）に近接する、ある遺伝子座において、両親の遺伝子型が、母では  $a/b$  のヘテロ接合、父では  $c/c$  のホモ接合であったとする。そのトリソミーの子どもの遺伝子型が  $a/a/c$ 、 $a/b/c$  あるいは  $b/c/c$  であったとき、染色体の不分離は両親のどちら側で起こったと考えられるか。また、それは第一分裂のときか、それとも第二分裂のときか。正しい答えの組合せを A～L から選べ。なお、ここで注目した遺伝子座と動原体の間で組換えは起きなかったとする。（4 点）

- ① 母側の第一分裂      ② 父側の第一分裂      ③ 母側の第二分裂      ④ 父側の第二分裂  
⑤ 母側の第一または第二分裂      ⑥ 父側の第一または第二分裂

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
$a/a/c$	①	①	①	①	③	③	③	③	⑤	⑤	⑤	⑤
$a/b/c$	③	③	⑤	⑤	①	①	⑤	⑤	①	①	③	③
$b/c/c$	②	④	②	⑥	④	⑥	②	④	②	⑥	④	⑥

問 7) 図は、被子植物における花粉母細胞から精細胞ができる過程での、1つの細胞あたりの DNA の相対量を示したものである。花粉形成が異常になる突然変異体を選抜して DNA 量を測定したところ、破線の部分が正常型と異なっていた。突然変異体で起きている異常について、正しい記述を A～H から選べ。（3 点）



- A. 減数分裂の第一分裂がスキップされるため、二倍体の精細胞ができる。  
B. 減数分裂の第一分裂がスキップされるため、四倍体の精細胞ができる。  
C. 減数分裂の第一分裂と第二分裂の間に DNA 複製が起こり、二倍体の精細胞ができる。  
D. 減数分裂の第二分裂がスキップされるため、二倍体の精細胞ができる。  
E. 減数分裂の第二分裂がスキップされるため、四倍体の精細胞ができる。  
F. 減数分裂の第二分裂と減数分裂後の第 1 回目の細胞分裂の間に異常な DNA 複製が起こり、二倍体の精細胞ができる。  
G. 減数分裂後の第 1 回目の細胞分裂が異常になり、花粉管（栄養）細胞と雄原細胞が分化できない。  
H. 減数分裂後の第 2 回目の細胞分裂が異常になり、花粉管（栄養）細胞と雄原細胞が分化できない。

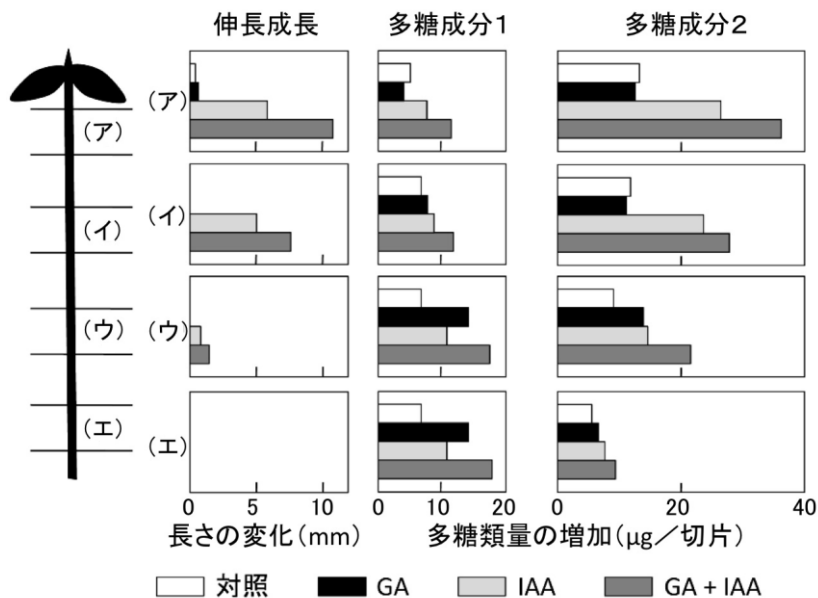
問 8) モデル植物（シロイヌナズナやキンギョソウ）の突然変異体の研究から、花の形態形成には3つのクラスの遺伝子が関わっていることが示された。野生型の花の領域を器官と対応づけて(ア)～(エ)の4つに分け、この3つのクラスの突然変異体において、(ア)～(エ)のそれぞれに相当する領域で観察された花器官の形態の変化を示したのが次の表である。これらの実験に基づき、クラスⅠの遺伝子はがく片と花弁への分化に、クラスⅡの遺伝子は花弁と雄ずいへの分化に、クラスⅢの遺伝子は雄ずいと心皮への分化に関与していることが導かれた。またその後の研究で、クラスⅢの遺伝子は花器官形成の終了にも関与していることが明らかにされた。[注：心皮は雌ずいを構成する器官]

	領域(ア)	領域(イ)	領域(ウ)	領域(エ)
クラスⅠ遺伝子の突然変異体	雄ずい	心皮	雄ずい	心皮
クラスⅡ遺伝子の突然変異体	心皮	心皮	がく片	がく片
クラスⅢ遺伝子の突然変異体	花弁	がく片など	花弁	がく片

野生型の個体において、各領域で観察される花の器官はどれか。A～Hから選べ。(4点)

	領域(ア)	領域(イ)	領域(ウ)	領域(エ)
A	花弁	がく片	雄ずい	心皮
B	花弁	心皮	雄ずい	がく片
C	心皮	花弁	雄ずい	がく片
D	心皮	雄ずい	花弁	がく片
E	心皮	雄ずい	がく片	花弁
F	雄ずい	がく片	花弁	心皮
G	雄ずい	心皮	花弁	がく片
H	雄ずい	心皮	がく片	花弁

問 9) 植物の若い組織から老化した部分までのホルモンに対する感受性試験を、アズキを使って行った。明所で育てたアズキの上胚軸の異なる4か所から10mmの長さの切片(ア)～(エ)をとり、ジベレリン(GA, 0.1mM)、オーキシシン(IAA, 0.1mM)、または両者を添加したスクロース緩衝液にそれぞれ浮かべ、25℃で20時間置いた後に伸長を測定し、2つの細胞壁成分(多糖成分1と多糖成分2)を分画して定量した。その結果を下図に示す。このとき、記述①～⑧のうち、実験結果から読み取れるものはどれか。正しい組合せをA～Lから選べ。(4点)



図：アズキ上胚軸の伸長成長と細胞壁成分の合成に及ぼす植物ホルモンの影響

- ① 古い組織ほど、オーキシシンに反応して伸長する。
- ② 若い組織ほど、オーキシシンに反応して伸長する。
- ③ ジベレリンは、オーキシシンによる伸長をさらに促進する。
- ④ ジベレリンは、上胚軸の伸長に全く関与しない。
- ⑤ 若い組織では、伸長が大きいほど細胞壁多糖類の合成も盛んである。
- ⑥ 古い組織では、細胞壁多糖類の合成はほとんど起こっていない。
- ⑦ 植物ホルモンによる細胞壁多糖類の合成は、常に若い組織ほど活発である。
- ⑧ 植物ホルモンによって制御されるある種の細胞壁多糖類の合成は、必ずしも伸長成長と相関していない。

- A. ①③⑤⑦   B. ①③⑤⑧   C. ①③⑥⑦   D. ①④⑤⑧   E. ①④⑥⑦   F. ①④⑥⑧  
 G. ②③⑤⑦   H. ②③⑤⑧   I. ②③⑥⑧   J. ②④⑤⑦   K. ②④⑥⑦   L. ②④⑥⑧

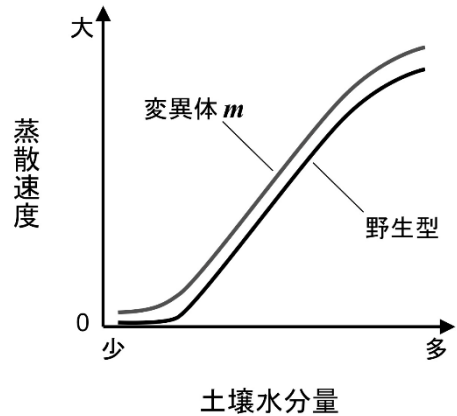


問 10) ある植物で、乾燥時にしおれやすい変異体 *m* がみつかった。この植物の野生型と変異体 *m* を十分な水を含む土壌で育てた後、給水量を調節して土壌水分量を変化させ、さまざまな土壌水分条件における葉全体からの蒸散速度を測定した(図)。

この図の結果から、変異体 *m* が野生型にくらべてしおれやすい原因として、どのようなことが考えられるか。単一の原因によるとした場合、考えられる原因としてもっとも適当なものを A～G から選べ。(4 点)

変異体 *m* では、

- A. 野生型にくらべて、気孔が多い。
- B. 野生型にくらべて、気孔が大きい。
- C. 孔辺細胞がアブシシン酸に応答しない。
- D. アブシシン酸がつくられない。
- E. 葉の表皮のクチクラが不完全である。
- F. 野生型にくらべて、茎の道管が細い。
- G. 野生型にくらべて、茎の道管の数が少ない。



図：野生型と変異体 *m* における土壌水分条件と蒸散速度との関係

問 11) 植物は、その生育している土壌中で適切な菌類と接したとき、菌根を形成することがある。菌根共同体では、菌根の菌糸が栄養塩吸収のために大きな表面積を提供する。これにより、菌根を形成した植物の成長を促進することになる。逆に、別の環境にいた種子を適切な菌がない土壌に植えると、菌根が形成されず、リン酸などの栄養失調を示すことがある。

ヨーロッパからアメリカに侵入したガーリックマスタード (*Alliaria petiolate*) は、土壌に放出する化学成分を介して、土着の植物とアーバスキュラー菌根菌が菌根を形成することを妨げる。そのためアメリカでは、この外来植物は他の植物の生育を抑制することで自らの繁殖域を拡大した。

北アメリカ産のサトウカエデ (*Acer saccharum*) の苗木をもちいて、ガーリックマスタードの影響を調べる実験を行った。サトウカエデが自生する地域で、ガーリックマスタードが侵入した場所と侵入していない場所から土壌を採取し、それぞれ2つに分けて、一方には高圧蒸気による滅菌処理を施した。これら各土壌にサトウカエデの苗木を植えて、その後の成長を観察した。なお、実験で使用した土壌はいずれもリン酸など栄養塩類を十分に含んでいた。また、ガーリックマスタードが侵入していない場所から採取した土壌を滅菌しないでもちいた場合には、サトウカエデの苗木がアーバスキュラー菌根菌と菌根を形成したことを確認した。

この実験に関する次の記述のうち、正しいものを過不足なく含む組合せを A～H から選べ。(3 点)

- ① ガーリックマスタードが侵入した場所の土壌を滅菌しないでもちいると、侵入していない場所の土壌を滅菌しないでもちいたときに比べて、苗木の生育が抑制される。
- ② ガーリックマスタードが侵入していない場所の土壌を滅菌してもちいると、同じ場所の土壌を滅菌しないでもちいたときに比べて、苗木の生育が抑制される。
- ③ ガーリックマスタードが侵入した場所の土壌を滅菌してもちいると、侵入していない場所の土壌を滅菌しないでもちいたときに比べて、苗木の生育が抑制される。

- A. なし    B. ①    C. ②    D. ③    E. ①②    F. ①③    G. ②③    H. ①②③

問 12) 細胞の膜電位は、細胞膜の外側を基準 (0V) として細胞膜の内側の電位をあらわしたものである。細胞膜上には常に開いている K チャネル (漏洩 K チャネル) がある。細胞質中のカリウムイオン ( $K^+$ ) 濃度は細胞外にくらべて高く保たれているので、 $K^+$ は拡散によって細胞外に流失しようとする。しかし、細胞膜を自由に通れないイオンの細胞内外の濃度差などにより、細胞内は細胞外にくらべて負に帯電しているので、 $K^+$ は細胞内に流入しようとする。流失量と流入量が釣り合ったところで平衡状態となる。こうして生じた膜電位は静止電位とよばれ、ネルンストの式に  $K^+$ 濃度をもちいて、次の式であたえられる。

$$V(\text{mV}) = 61.5 \log_{10} (C_{K_o}/C_{K_i})$$

ここで、 $C_{K_o}$  は  $K^+$ の細胞外濃度であり、 $C_{K_i}$  は  $K^+$ の細胞内濃度である。(注 :  $\log_{10} 100=2$ ,  $\log_{10} 10=1$ ,  $\log_{10} 1=0$ ,  $\log_{10} 0.1=-1$ ,  $\log_{10} 0.01=-2$ )

ところで、細胞膜上には、静止状態では閉じており、閾値以上の電位刺激によって一時的にごく短時間開く電位依存性 Na チャネルが多数ある。閾値以上の電位刺激があたえられると、この電位依存性 Na チャネルが一斉に開く (興奮)。このような状態で移動する  $Na^+$ の量は、 $K^+$ や他のイオンがさまざまなチャネルを通して移動する量にくらべて非常に大きい。そのため、 $Na^+$ 濃度に強く依存した膜電位が生じることになる。これは活動電位とよばれ、1 ミリ秒以下のパルスとして観察される。ここでは、この興奮時の膜電位もネルンストの式から近似的に決まると考える。

表 : ラットの細胞内外におけるイオン濃度 (mM)

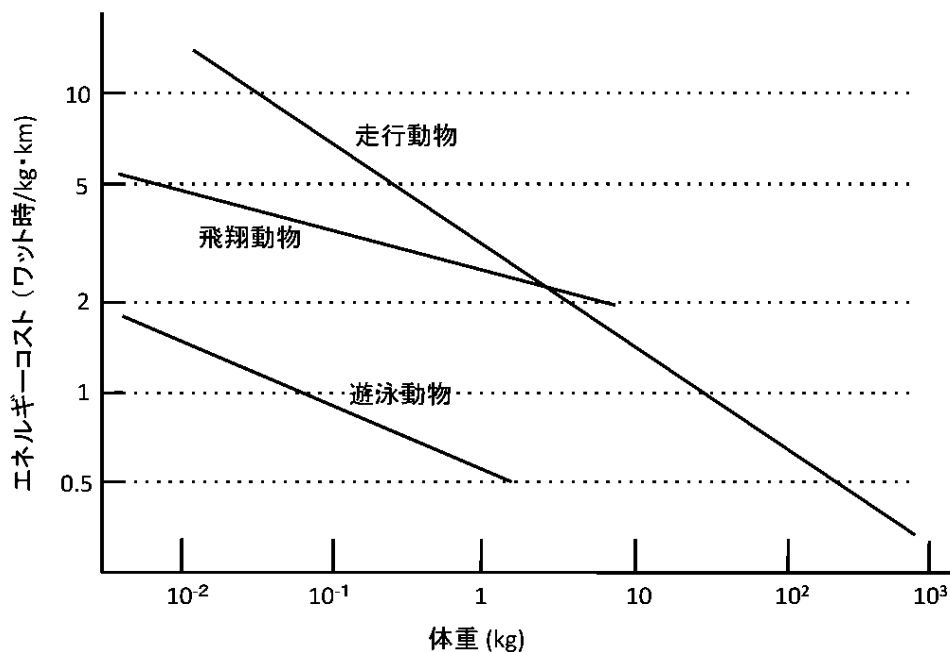
	$Na^+$	$K^+$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$
ラット細胞外 (血漿)	145	9.6	3.6	1.9
ラット筋細胞内	12	155	0	31

次の記述のうち、正しいものの組合せを A~L から選べ。なお、 $Ca^{2+}$ や  $Mg^{2+}$ の移動は無視できるとする。(5 点)

- ① 静止状態の細胞では、膜電位は正の値を示し、それは 61.5 mV より低い。
- ② 静止状態の細胞では、膜電位は正の値を示し、それは 61.5 mV より高い。
- ③ 静止状態の細胞では、膜電位は負の値を示し、それは -61.5 mV より低い。
- ④ 静止状態の細胞では、膜電位は負の値を示し、それは -61.5 mV より高い。
- ⑤ 活動電位は -123 mV に達する。
- ⑥ 活動電位は +123 mV に達する。
- ⑦ 活動電位はほぼ  $Na^+$ の細胞内外の濃度差によって決まるので一定の値になる。
- ⑧ 活動電位は刺激の強さによって異なる。

- A. ①⑤    B. ①⑥    C. ①⑦    D. ②⑥    E. ②⑦    F. ②⑧  
 G. ③⑤    H. ③⑦    I. ③⑧    J. ④⑤    K. ④⑥    L. ④⑧

問 13) 次の図は、多くの遊泳動物（魚類）、飛翔動物（鳥類）、走行動物（哺乳類）について、トップスピードで移動したときの最低エネルギーコスト（体重 1 kg あたり、移動距離 1 km あたりのワット時。縦軸、対数目盛）を、その体重（横軸、対数目盛）に対して示したものである。記述①～⑤について、正しいものの組合せを A～J から選べ。（4 点）

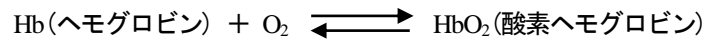


(図は Greenwald, C. H. (1977)より改変)

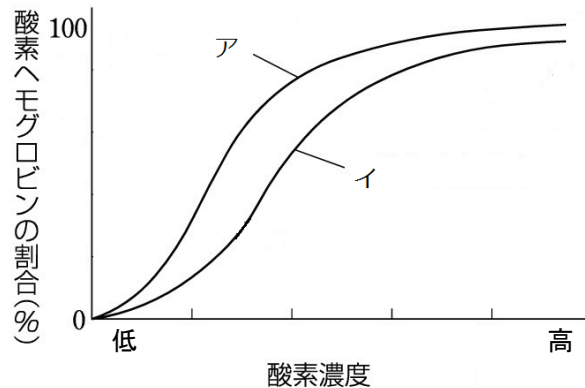
- ① 体重がおおよそ 1 kg 以下の同じ体重の動物であれば、移動に要するエネルギーコストは走行動物、飛翔動物、遊泳動物の順に小さくなる。
- ② 移動方法が同じグループの動物では、体重の軽い動物ほど体重あたりのエネルギーコストは高い。
- ③ 走行動物では、同じ距離を移動するのに、体重の重い動物の方が個体あたりの総エネルギーは少ない。
- ④ 体重が 10 kg を超える大型鳥類は、移動するのに飛翔より走行の方がエネルギーコストは低いと推測できる。
- ⑤ 遊泳動物では、体重が 100 倍になるとエネルギーコストはおおよそ 1/10 になる。

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

問 14) 脊椎動物の赤血球中に含まれるヘモグロビンは、酸素と結合・解離を行うことで、組織に酸素を運搬している。



酸素濃度の高い肺胞では大部分のヘモグロビンが酸素と結合して酸素ヘモグロビンとなり、酸素濃度の低い組織では酸素を離しやすく、ヘモグロビンにもどり、組織に酸素を供給する。この結合・解離の割合は、酸素濃度以外にもさまざまな要因の影響を受けることがわかっている。また異なる動物種間のヘモグロビンや母体と胎児のヘモグロビンの間でも、酸素と結合する割合は異なる。次の図は、ある2つの試料における酸素ヘモグロビンの割合と酸素濃度の関係を、例として示したものである。



2つの試料あるいは条件間で酸素ヘモグロビン—酸素濃度曲線を比較したときに、図に例示したように、曲線がより左上方に膨らむ方をア、もう一方をイとする。ヘモグロビンが酸素と結合・解離することの生理的必要性を考えると、次の記述のうち、正しい相対的関係を述べているものはどれか。正しい記述の組合せを A～J から選べ。(5 点)

- ① 同じヘモグロビンについて、二酸化炭素分圧の高い条件と低い条件とで比較すると、高い条件がア、低い条件がイとなる。
- ② 同じヘモグロビンについて、温度が高い条件と低い条件とで比較すると、高い条件がア、低い条件がイとなる。
- ③ 同じヘモグロビンについて、pH が高い条件と低い条件とで比較すると、高い条件がア、低い条件がイとなる。
- ④ 同じ条件で、高地に生息する哺乳類のヘモグロビンと低地に生息するその近縁種のヘモグロビンとを比較すると、高地に生息する種の方がア、低地に生息する種の方がイとなる。
- ⑤ 同じ条件で、母体のヘモグロビンと胎児のヘモグロビンとを比較すると、母体の方がア、胎児の方がイとなる。

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

問 15) ある高校の生物部では、下図の＋と●印をもちいて、視野中に見えない部分（盲斑もしくは盲点とよばれる）があるか、あるならばどのようなものを調べる実験をすることで、ヒトの眼の構造を考えてみた。実験を行う際には、図と眼の距離を変えてみるように注意し、次の4つの結果をえた。



〔実験結果〕

1. 左眼を隠して右眼で＋印を見ると、ある特定の距離から見たときに●印は消えた。
2. 左眼を隠して右眼で●印と見ると、＋印は消えなかった。
3. 右眼を隠して左眼で＋印を見ると、●印は消えなかった。
4. 右眼を隠して左眼で●印を見ると、ある特定の距離から見たときに＋印は消えた。

次の記述のうち、実験結果からヒトの眼について推論できるものはどれか。それらを過不足なく含む組合せを A～H から選べ。（4 点）

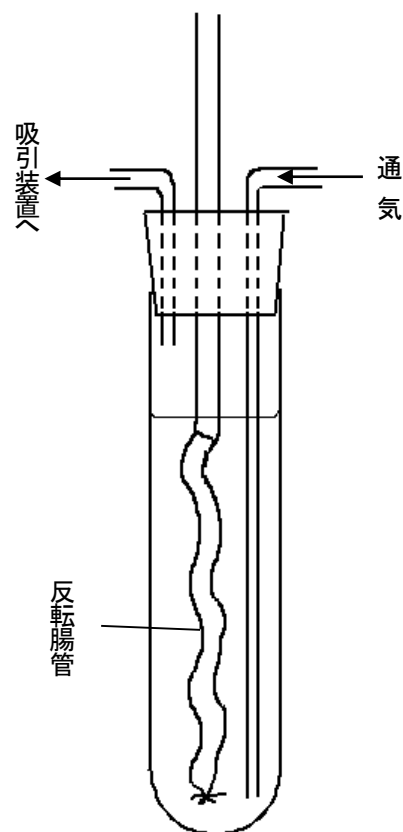
- ① 視細胞の分布は、網膜上で均一ではない。
- ② 右眼は、注視している像が投影される網膜の部分より鼻側に盲斑がある。
- ③ 左眼は、注視している像が投影される網膜の部分より耳側に盲斑がある。

A. なし    B. ①    C. ②    D. ③    E. ①②    F. ①③    G. ②③    H. ①②③

問 16) 腸管の性質を調べるために、ある両生類の腸管の一部を取り出し、腸管の内側と外側を逆にした「反転腸管」をもちいて実験を行った。右図のように、0.01%の生理的グルコース溶液を満たした大型試験管に、3本のガラス管を通したゴム栓をした。ガラス管のうち1本に片側を縛った反転腸管を接続し、その反転腸管内にも同じ0.01%の生理的グルコース溶液を満たした。他の2本のガラス管は通気用である。0.01%生理的グルコース溶液とは、腸管の生理機能を維持できるように、いくつかの塩類を溶かした溶液で、グルコースの濃度が0.01%になるように調整したものである。

下の表はこの結果である。グルコースの濃度は、濃度に応じて発光する試薬を加えたときの発色の強さで測定し、+が多いほど濃度が高いことを示している。アは通気した状態で30分経過したときの結果であり、イはアより10分長く40分経過したときの結果である。ウは通気せずに30分経過したときの結果である。

	通気の 有無	時間 (分)	反転腸管の内部のグル コース濃度（漿膜側）	反転腸管の外部のグル コース濃度（粘膜側）
ア	有	30	+++	++
イ	有	40	++++	++
ウ	無	30	++	++



この実験結果から推測できることを正しく組み合わせたものをA～Iから選べ。

なお、この動物は腸管の一部を取り出した後、腸管等を縫合し、通常の生活をしている。(4点)

反転腸管の内部から外部へのグルコース移動は

- ① 受動輸送である      ② 能動輸送である      ③ この実験からはわからない

反転腸管の外部から内部へのグルコース移動は

- ④ 受動輸送である      ⑤ 能動輸送である      ⑥ この実験からはわからない

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

問 17) 日本固有種のタナゴは、近年個体数が減少し、絶滅が危惧されている。ある沼に生息するタナゴの個体数を知るため、次のような調査を計画した。

- (1) タナゴを捕獲する(1回目)。捕獲したタナゴは、沼にもどさず、生簀(いけす)で飼育する。
- (2) 数日後、1回目と同じ条件で、タナゴを捕獲する(2回目)。捕獲したタナゴは、1回目とは別の生簀(いけす)で飼育する。
- (3) 1回目と2回目で捕獲したタナゴの個体数をかぞえる。
- (4) 捕獲したタナゴは、すべて沼にもどす。

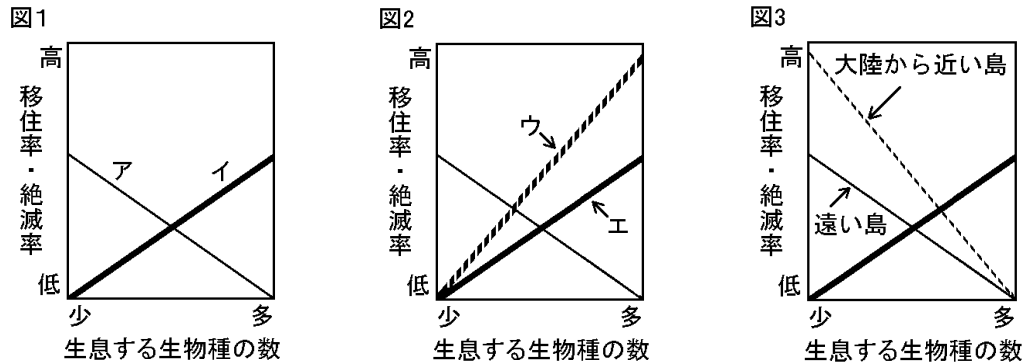
1回目と2回目で捕獲率に違いがないと仮定したとき、以下の文章の( )の中にはいる数式や語句として正しい組合せをA~Hから選べ。(4点)

この沼に生息するタナゴの個体数を $N$ 、1回目の調査で捕獲した個体数を $m$ 、2回目の調査で捕獲した個体数を $n$ とすると、(ア)が成り立つ。したがって、知りたい個体数は、 $\hat{N} =$  (イ) で推定できる。しかし、もし2回目の捕獲率が1回目より低い場合、(イ)は個体数を(ウ)評価してしまう危険性がある。

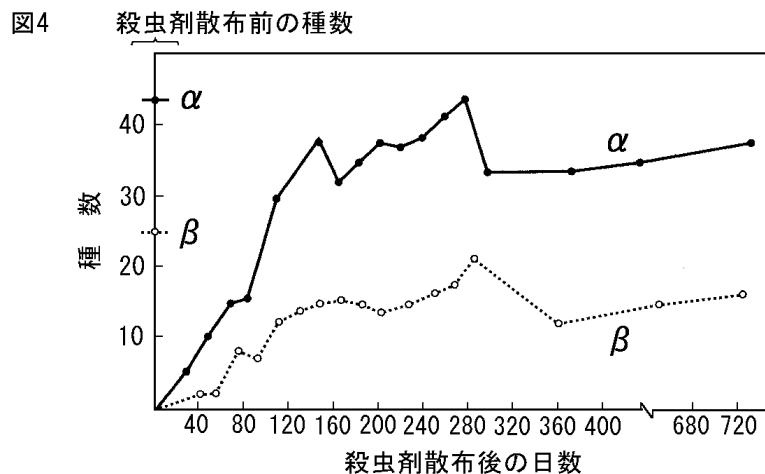
	ア	イ	ウ
A	$\frac{m}{N} = \frac{n}{N-1}$	$\frac{m}{m-n}$	過小
B	$\frac{m}{N} = \frac{n}{N-1}$	$\frac{m}{m-n}$	過大
C	$\frac{m}{N} = \frac{n}{N-m}$	$\frac{m^2}{m-n}$	過小
D	$\frac{m}{N} = \frac{n}{N-m}$	$\frac{m^2}{m-n}$	過大
E	$\frac{m}{N} = \frac{n}{N-m-1}$	$\frac{m(m+1)}{m-n}$	過小
F	$\frac{m}{N} = \frac{n}{N-m-1}$	$\frac{m(m+1)}{m-n}$	過大
G	$\frac{m}{N-1} = \frac{n}{N-2}$	$\frac{2m-n}{m-n}$	過小
H	$\frac{m}{N-1} = \frac{n}{N-2}$	$\frac{2m-n}{m-n}$	過大

問 18) 大陸から離れた島に生息する生物種の多様性について、次のようなモデルが提案されている。

島の生物種の多様性は、大陸から移住する種の移住率（時間あたりの移住種数）とすでに定着した種の絶滅率（時間あたりの絶滅種数）のバランスで決まる。移住率は、島に生物がまったく存在していないときにもっとも高く、生息する種数が増加するにつれて低下する。それぞれの種はさまざまな理由で絶滅する可能性があるが、種間競争などの影響で、絶滅率は種数が増えるにつれて増加する。生物種の多様性つまり生息する生物種の数、移住率と絶滅率が等しくなったときに平衡状態となる。図では、移住率の線と絶滅率の線が交差する点が、その島における平衡状態の種数を示す（図 1）。また、種数はその島の大きさや大陸からの距離が近いかわりに大きな影響を受ける（図 2、図 3）。



このモデルを検証するために、小さな島（ $\alpha$  と  $\beta$ ）において殺虫剤を散布して、節足動物を絶滅させ、その後の種数の戻り具合を調査する実験が行われた。その結果、移住率（定着の初速度）は大陸からの距離に影響されること、種数は移住率と絶滅率の動的な平衡で決まることが支持された（図 4）。



（図は、日本生態学会編『生態学入門』：東京化学同人より改変）

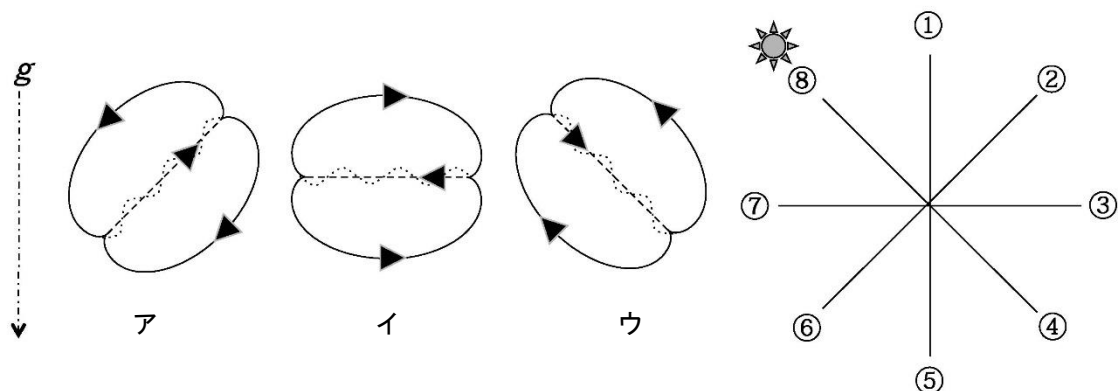
次の記述について、正しいものの組合せを A～H から選べ。（5 点）

- ① アは移住率、イは絶滅率を示す。
- ② アは絶滅率、イは移住率を示す。
- ③ ウは大きい島、エは小さい島である。
- ④ ウは小さい島、エは大きい島である。
- ⑤  $\alpha$  は大陸から遠い島、 $\beta$  は大陸から近い島である。
- ⑥  $\alpha$  は大陸から近い島、 $\beta$  は大陸から遠い島である。

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



問 19) セイヨウミツバチは、巣を作って集団で生活をしている。蜂蜜のもととなる花の蜜は、外勤バチとよばれる働きバチによって採集される。外勤バチの一部のハチは、餌（蜜）探し行動を行う。この餌探しのミツバチは、蜜のある花を見つけると巣に戻り、花の方向と距離を、他の餌を運ぶ役割の外勤バチにダンスすることで伝える。一般に、ダンスは巣の中に鉛直に配置している巣板上で行われ、8の字が描かれる。下図ア～ウの破線で示した所を移動する際だけ腹部を振動させる。



餌場の方向は、下図の破線と鉛直上方とがなす角度によって伝えられる。つまり、餌を見つけたミツバチは巣板上で、図の  $g$  の一点破線の矢印方向とは反対向きの、鉛直上方を太陽の方位に見立てて腹部を振動させながら移動し、花の方向を示すのである。鉛直上方に対して  $\theta$  だけ傾いた方向に腹部を振動させながら移動すれば、太陽の方位から  $\theta$  だけずれた方位に餌場があることが伝えられる。 $\theta$  と  $\theta'$  は、ほぼ同じ角度である。一方、巣から餌場までの距離は、ミツバチの腹部の振動の間隔（腹部の振動と停止を繰り返す時間）の違いで示される。蜜を見つけたミツバチのダンスの後を、花の蜜を集める仕事をするミツバチが追うことで、これらの情報が伝わる。

上図左のア、イ、ウのダンスの後を追いかけた他の外勤バチは、それぞれ上図右の①～⑧のどの方向へ飛翔したか。もっとも適切な組合せを A～L から選べ。(3 点)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
ア	①	②	②	③	③	④	⑤	⑥	⑥	⑦	⑦	⑧
イ	⑥	⑤	⑦	②	⑧	①	②	②	③	④	⑥	⑤
ウ	③	③	④	⑦	⑤	⑥	⑦	④	⑧	①	③	②

問 20) ある二倍体植物の自然集団において、成長した個体の遺伝的な多様性を調べた。1つの遺伝子座を調べたところ、2つの対立遺伝子  $A_1$  と  $A_2$  が存在し、3つの遺伝子型  $A_1A_1$ 、 $A_1A_2$ 、 $A_2A_2$  の頻度は同じ（すなわち  $1/3=0.33$ ）であり、ハーディ・ワインベルグ平衡にはないことが示された。また、これは数年間にわたって異なる世代を調べても同じであった。そこでこの現象を説明するために2つの仮説が提案された。

以下の文章の（ ）内に入る数値や語句の組合せを A～H から選べ。（4 点）

仮説 1：この植物は他家受粉するが、3つの遺伝子型の個体の生存率が異なっている。ホモ接合体である遺伝子型  $A_1A_1$  と遺伝子型  $A_2A_2$  の生存率を 1 とした場合、ヘテロ接合体である遺伝子型  $A_1A_2$  の生存率は（ ア ）である。

仮説 2：この植物では3つの遺伝子型の個体の生存率は同じである。しかし、自家受粉する場合と他家受粉する場合があり、自家受粉する場合と他家受粉する場合の割合は（ イ ）である。

この仮説を確かめるために、他の遺伝子座での対立遺伝子の頻度と遺伝子型の頻度を調べたところ、他の遺伝子座はすべてハーディ・ワインベルグ平衡にあることがわかった。このことは、2つの仮説のなかで（ ウ ）を支持する。

	ア	イ	ウ
A	0.33	1:1	仮説 1
B	0.33	1:1	仮説 2
C	0.33	2:1	仮説 1
D	0.33	2:1	仮説 2
E	0.5	1:1	仮説 1
F	0.5	1:1	仮説 2
G	0.5	2:1	仮説 1
H	0.5	2:1	仮説 2

問 21) ヒトでは、メンデル遺伝をする多くの突然変異形質が知られている。単一遺伝子の異常によって起こる単一遺伝子病も、メンデル遺伝をする。単一遺伝子病の遺伝様式は、常染色体に原因遺伝子がある常染色体優性と常染色体劣性、および X 染色体に原因遺伝子がある伴性（X 連鎖）優性と伴性（X 連鎖）劣性の4種類に分けられる。

ある単一遺伝子病が非常にまれな頻度で起き、発病要件を満たす遺伝子型であれば必ず発病する場合、次の記述のうち、常染色体優性と伴性（X 連鎖）優性に該当するものはどれか。正しい組合せを A～L から選べ。（4 点）

- ① 発病した男性の娘が発病する確率は 50% である。
- ② 発病者の弟や妹が発病する確率は 25% である。
- ③ 発病者はほとんどすべて男性である。
- ④ 男女とも発病するが、女性の方が多い。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
常染色体優性	①	①	①	②	②	②	③	③	③	④	④	④
伴性（X 連鎖）優性	②	③	④	①	③	④	①	②	④	①	②	③

問 22) T.H. モーガン（モルガン）が発見したキイロショウジョウバエの白眼変異遺伝子（*w*）は、X 染色体上にあつて伴性遺伝をすることが明らかになり、その後の多くの研究にもちいられてきた。キイロショウジョウバエの第 2 染色体にある茶色眼の遺伝子（*bw*）と朱色眼の遺伝子（*cn*）は、それぞれ朱色と茶色の色素を作る酵素の突然変異であり、*bwbw* と *cn cn* の二重劣性ホモ接合体の眼色は白色である。

*w* 遺伝子の純系と *bw cn* の純系を別々の瓶で飼育していたところ、飼育瓶のラベルがはがれて、両者の区別がつかなくなってしまった。2 本の飼育瓶を（ア）、（イ）としたとき、次の①～③のうち、1 回の交配実験でどちらの瓶がどちらの系統かを明らかにできる交配はどれか。該当するものを過不足なく含む組合せを A～H から選べ。（4 点）

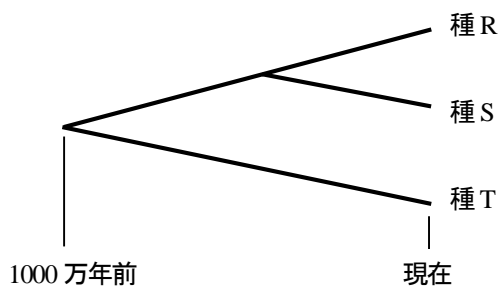
- ① （ア）の雌と（イ）の雄を交配する。  
 ② 野生型の雌と（ア）の雄を交配する。  
 ③ （ア）の雌と野生型の雄を交配する。

A. なし    B. ①    C. ②    D. ③    E. ①②    F. ①③    G. ②③    H. ①②③

問 23) 3 種の脊椎動物（種 R、種 S、種 T）から採取したミトコンドリア DNA の塩基配列を決定し、塩基配列間の置換数を推定した。表はその結果である。また、これらの系統関係は、図に示しているように、種 R と種 S は近縁であり、この 2 種と種 T は 1000 万年前に分岐したことがわかっている。

表：DNA 塩基配列間の 1 塩基部位あたりの置換数

	種 S	種 T
種 R	0.096	0.24
種 S		0.24



図：3 種の脊椎動物の系統樹

次の文章は、進化速度は一定であると仮定したとき、これらの結果から導き出された結論である。（ ）内に入る数値の組合せを A～L から選べ。（3 点）

これらの塩基配列の進化速度（1 年あたり 1 塩基部位あたりの置換数）は（ ア ）であり、種 R と種 S は（ イ ）万年前に分岐したと推定される。

- ①  $4.8 \times 10^{-9}$     ②  $9.6 \times 10^{-9}$     ③  $1.2 \times 10^{-8}$     ④  $2.4 \times 10^{-8}$     ⑤ 96    ⑥ 240    ⑦ 400

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

問 24) 2つの遺伝子（遺伝子 R と遺伝子 S）について、ヒトとラットの DNA 塩基配列を比較し、2 種間の進化的距離（1 塩基部位あたりの置換数）を推定した。表 1 は、塩基がコドンのどの位置にあるかを区別して推定した進化的距離である。

次の文章の（ ）内にはいるものとして、正しい組合せを A～L から選べ。（4 点）

表 1：ヒトとラット間の進化的距離

コドン内の塩基の位置	遺伝子 R	遺伝子 S
1 番目	0.18	0.04
2 番目	0.22	0.01
3 番目	0.91	0.55

表 2：コドン表

UUU フェニルアラニン	UCU セリン	UAU チロシン	UGU システイン
UUC フェニルアラニン	UCC セリン	UAC チロシン	UGC システイン
UUA ロイシン	UCA セリン	UAA 終止	UGA 終止
UUG ロイシン	UCG セリン	UAG 終止	UGG トリプトファン
CUU ロイシン	CCU プロリン	CAU ヒスチジン	CGU アルギニン
CUC ロイシン	CCC プロリン	CAC ヒスチジン	CGC アルギニン
CUA ロイシン	CCA プロリン	CAA グルタミン	CGA アルギニン
CUG ロイシン	CCG プロリン	CAG グルタミン	CGG アルギニン
AUU イソロイシン	ACUトレオニン	AAU アスパラギン	AGU セリン
AUC イソロイシン	ACCトレオニン	AAC アスパラギン	AGC セリン
AUA イソロイシン	ACAトレオニン	AAA リシン	AGA アルギニン
AUG メチオニン	ACGトレオニン	AAG リシン	AGG アルギニン
GUU バリン	GCU アラニン	GAU アスパラギン酸	GGU グリシン
GUC バリン	GCC アラニン	GAC アスパラギン酸	GGC グリシン
GUA バリン	GCA アラニン	GAA グルタミン酸	GGA グリシン
GUG バリン	GCG アラニン	GAG グルタミン酸	GGG グリシン

表 2 から明らかなように、コドンの（ ア ）番目の塩基が変化すると（終止コドンを見れば）必ずアミノ酸も変化する。一方、塩基が変化してもアミノ酸は変化しないことがもっとも多いのは、コドンの（ イ ）番目の塩基である。アミノ酸が変化すると適応度も変化すると仮定した場合、有害な変異を排除しようとする自然選択（純化選択）がより強くはたしているのは、遺伝子（ ウ ）の方であると考えられる。

	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	2	2	3	3	1	1	3	3	1	1	2	2
ウ	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S

問 25) 二倍体のショウジョウバエでは、X 染色体の本数によって性が決まり、Y 染色体の有無は生存や性決定に関係しない。つまり、X 染色体が 1 本であればオスに、2 本あればメスになり、さらに、X 染色体が 0 本や 3 本以上のショウジョウバエは生きられない。ここで、2 本の X 染色体が融合してできた付着 X 染色体（以下 XX と表記）と 1 本の Y 染色体をもつ XX/Y のメスでは、減数分裂のときに必ず XX と Y は分離し、XX はそのまま形を変えずに受け継がれることが知られている。このような XX/Y のメスを X/Y のオスと交配した。

次の記述のうち、この交配の説明として適切なものはどれか。正しい組合せを A～L から選べ。（3 点）

- ① 生まれる子供の性比は、オス：メス＝1：2 となる。
- ② 生まれる子供の性比は、オス：メス＝2：1 となる。
- ③ 生まれる子供の性比は、オス：メス＝1：1 となる。
- ④ オスの子供の X 染色体はオス親由来、Y 染色体はメス親由来である。
- ⑤ オスの子供の X 染色体はメス親由来、Y 染色体はオス親由来である。
- ⑥ オスの子供の X 染色体と Y 染色体はともにメス親由来である。
- ⑦ オスの子供の X 染色体と Y 染色体はともにオス親由来である。

- A. ①④    B. ①⑤    C. ①⑥    D. ①⑦    E. ②④    F. ②⑤  
G. ②⑥    H. ②⑦    I. ③④    J. ③⑤    K. ③⑥    L. ③⑦

問 26) すべての生物を 3 つのグループに分ける 3 ドメイン説が一般に受け入れられている。3 つのグループとは、アーキア（古細菌）、バクテリア（真正細菌）、真核生物である。この 3 つのグループの系統関係を考える時に、まず、図 1 のような系統樹を考える。この系統樹には全生物の共通の祖先（系統樹の根にあたる）が示されていない（無根系統樹という）。この系統樹に根をつけることは、全生物の共通の祖先からどのような順番で各グループが分かれていったかを考えることであり、根のつけ方には図 2 の a～c の 3 つの場合がある。たとえば、図 2 の a の根をつけると、図 3 のような有根系統樹となる。図 3 の黒丸は全生物の共通の祖先である。ここで、共通の祖先に核が存在したと仮定すると、図 4 のように「核の消失」が 2 回起こったことになる。しかし、共通の祖先に核がなかったと仮定すると、「核の獲得」が 1 回起こったことになる。系統樹作成法の 1 つである最節約法では、より変化の回数が少ない系統樹の方が真の系統樹に近いものと考えられる。

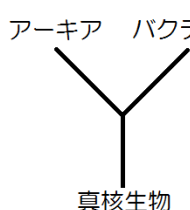


図 1

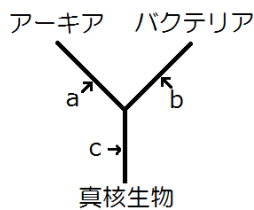


図 2

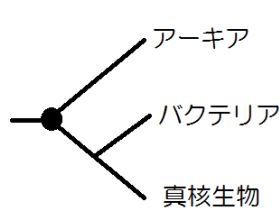


図 3

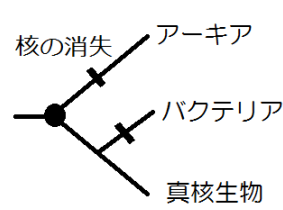


図 4

根の位置を図 2 の b と c に設定して同様に 2 つの有根系統樹を作り、それぞれの場合について祖先生物に核がある場合と核がない場合を考えると、核の有無の変化の異なる 4 つの系統樹ができる。この 4 つの系統樹の中に、核にかかわる変化（獲得または消失）が 1 回だけ起こったと仮定すれば説明できる系統樹（最小の変化の回数が 1 の系統樹）は、いくつあるか。また、一般に支持されている根の位置は、a～c のどれか。正しい組合せを A～L から選べ。（5 点）

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
最小の変化の回数が 1 の系統樹の数	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4
一般に支持されている根の位置	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c