日本生物学オリンピック

# 生物チャレンジ２０１０
# 第一次試験　問題

２０１０年7月１８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 24 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 37)までの 37 問です。**問題はすべて、それぞれ最も適切な解答を選択肢の中から一つずつ選び、記号で答えてください。**
6　配点は、一問あたり２点または３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。
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 | ● Ⓑ Ⓒ Ⓓ Ⓔ Ⓕ Ⓖ Ⓗ Ⓘ Ⓙ |
| 2 | Ⓐ Ⓑ Ⓒ Ⓓ Ⓔ Ⓕ Ⓖ Ⓗ Ⓘ Ⓙ |
| 3 | Ⓐ Ⓑ Ⓒ Ⓓ Ⓔ Ⓕ Ⓖ Ⓗ Ⓘ Ⓙ |

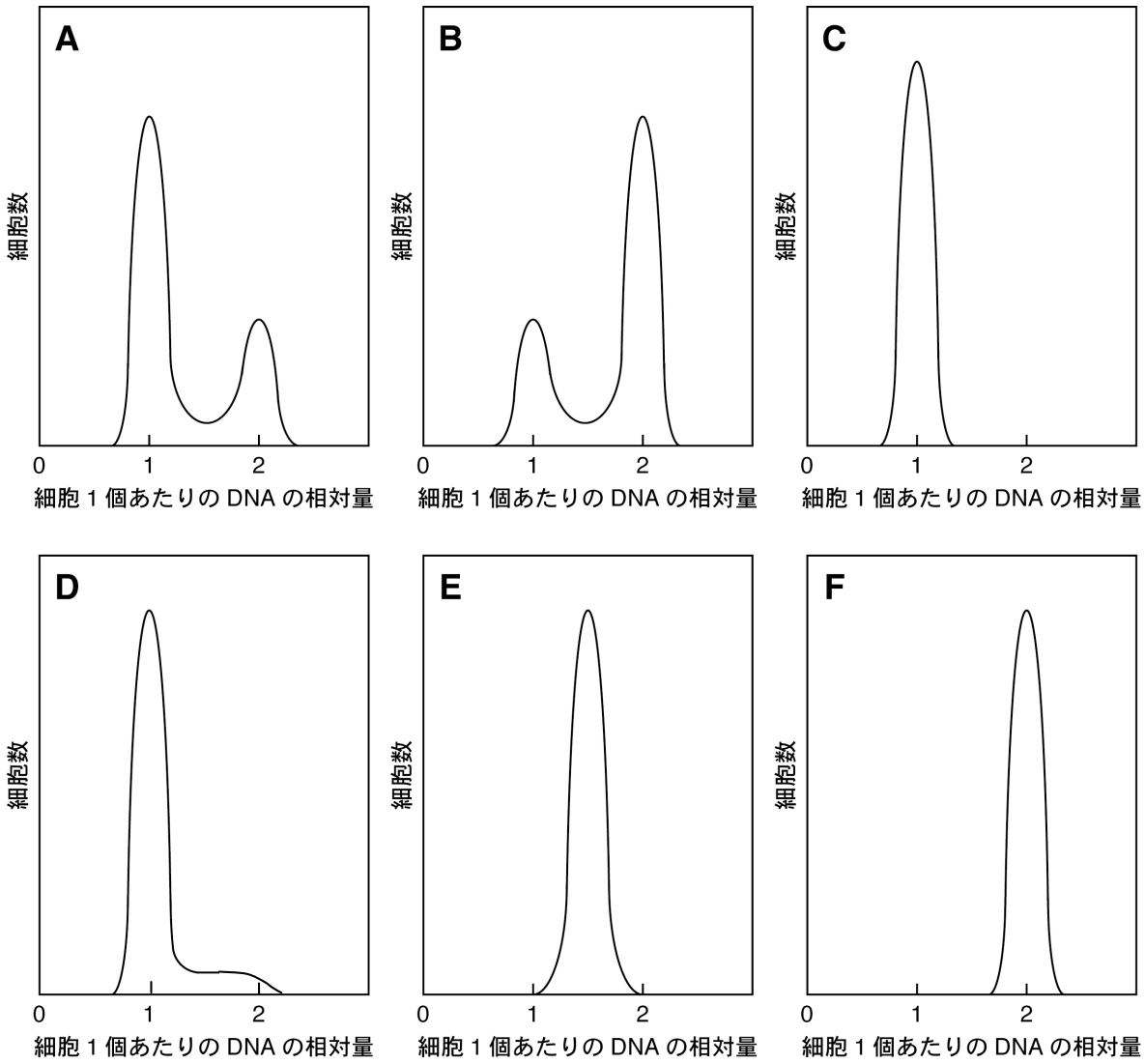
8　この問題冊子の余白等は適宜利用してもかまいませんが、どのページも切り離してはいけません。
9　試験終了後、この問題冊子は持ち帰ってください。
10　正解と解説は、JBO のホームページ http://www.jbo-info.jp/ で公開いたします。

**国際生物学オリンピック日本委員会** JBO Japan Biology Olympiad

問 1〜2）増殖しているヒトの培養細胞（HeLa 細胞）をフローサイトメーターという分析機にかけ，個々の細胞の DNA 量を測定した。図の A は，その結果を細胞 1 個あたりの DNA の相対量と細胞数の関係として，グラフで表したものである。HeLa 細胞を通常の条件で培養すると，細胞周期の位相はそろわないが，細胞周期の長さは約 16 時間と一定している（どの細胞の細胞周期も約 16 時間で 1 回転する）。

問 1）アフィディコリンという薬剤は DNA ポリメラーゼを阻害する。HeLa 細胞を培養している培地に，アフィディコリンを 24 時間加えて細胞に作用させた場合，細胞 1 個あたりの DNA の相対量と細胞数との関係はどのようになると考えられるか。図の A〜F から最も適切なものを選べ。（2 点）

問 2）ビンブラスチンという薬剤を細胞に作用させると，細胞内の紡錘体は赤道面に染色体が並んだ状態のままで維持される。培地にビンブラスチンを 24 時間加えて細胞に作用させた場合，細胞 1 個あたりの DNA の相対量と細胞数との関係はどのようになると考えられるか。図の A〜F から最も適切なものを選べ。（2 点）

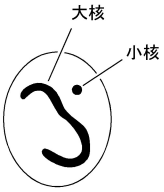
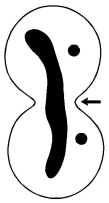


問 3〜4）ユープロテスはゾウリムシに近縁の原生生物（繊毛虫下毛類）である。繊毛虫類の特徴は，通常の栄養増殖に関与する大核と，生殖時にのみ活動する小核という２種類の核をもつことである。ユープロテスの核を酢酸オルセインで染色したところ，表１に示すような４通りの染色パターン（タイプ①〜④）を示した。これらはそれぞれ，細胞周期の４つの異なる時期に対応している。

タイプ①の細胞では，大核に加えて，小核が１個存在していた。タイプ②では，細胞の中央部にくびれ（矢印）が生じており，小核は２個存在していた。タイプ③では，小核は１個で，大核の中には帯状の染色が薄い構造が出現していた。この構造には，放射性同位元素でラベルしたチミジンが取り込まれることが知られている。タイプ④の細胞は，タイプ①やタイプ③よりかなり細胞が大きく，とくにタイプ①に比べると２倍近い大きさだった。また，大核は太く短くなっており，小核は１個だった。

ランダムに 500 個の細胞を観察したところ，表１に示すような出現頻度でそれぞれのタイプの細胞が観察された。

表１　核を染色したユープロテスのスケッチと各ステージの細胞の出現頻度

| | タイプ① | タイプ② | タイプ③ | タイプ④ |
|---|---|---|---|---|
| 細胞の外形と核の形状 |  |  | | |
| 観察された細胞数 | 291 | 24 | 139 | 46 |

問 3）タイプ①〜④の細胞は，それぞれ大核に関する細胞周期のどの時期にいると考えられるか。正しい組合せを A〜J から選べ。(2 点)

| | $G_1$ 期 | S 期 | $G_2$ 期 | M 期 |
|---|---|---|---|---|
| A | ① | ② | ④ | ③ |
| B | ① | ③ | ④ | ② |
| C | ② | ① | ④ | ③ |
| D | ② | ④ | ① | ③ |
| E | ③ | ① | ② | ④ |
| F | ③ | ② | ① | ④ |
| G | ③ | ④ | ① | ② |
| H | ④ | ② | ① | ③ |
| I | ④ | ③ | ① | ② |
| J | ④ | ③ | ② | ① |

($G_1$ 期：DNA 合成準備期，S 期：DNA 合成期，$G_2$ 期：分裂準備期，M 期：分裂期)

問 4）タイプ③の細胞において，帯状構造は大核の両端にまず形成され，それが一定の速度で中央部に向かって移動する。２個の帯状構造は最終的に大核の中央部で出会い，その後消失する。形成されてから消失するまでに要する時間が約５時間であるとすると，このユープロテスの細胞周期が一巡するのに要する時間はどのくらいであると考えられるか。最も適当なものを A〜J から選べ。なお，この細胞集団は細胞周期に関してランダムになっているとする。(2 点)

A．5 時間　B．7 時間　C．9 時間　D．12 時間　E．15 時間
F．18 時間　G．21 時間　H．24 時間　I．27 時間　J．30 時間

問 5）植物細胞では，細胞膜を挟んで pH が大きく異なっている。細胞膜の内側の細胞質基質では，pH はおよそ 7 と中性域にあるが，細胞膜の外側の細胞壁や細胞間隙では，pH は 5 前後と弱酸性を示す。細胞内でも液胞は弱酸性で，pH は 5.5 くらいである。この区画による pH の違いは，区画間の物質の移動に大きく影響することがある。

低分子化合物αは，ベンゼン環とカルボキシル基をもち，親油性ではあるが，水にもある程度溶ける。水溶液中でαは解離して弱酸性を示し，その平衡定数 $K_a$ は $10^{-5.2}$ である。αの化学式を（カルボキシル基以外の部分をまとめて R として）RCOOH で，濃度を［　］で表すと，以下のようになる。

$$\mathrm{RCOOH} \leftrightarrow \mathrm{RCOO^-} + \mathrm{H^+}$$

$$K_a = \frac{[\mathrm{RCOO^-}][\mathrm{H^+}]}{[\mathrm{RCOOH}]} = 10^{-5.2}$$

αの希薄水溶液をごく少量，植物の組織片に与えて十分な時間が経ったとき，大部分のαはどこにどのような形で存在すると考えられるか。次の記述 A〜F から，最も適当なものを選べ。ただし，植物細胞は，αを輸送するトランスポーターやチャンネル，αを代謝する酵素を一切もたないものとする。また，植物組織各区画の pH は，微量のαの投与ではほとんど変動しないものとする。(3 点)

A．細胞壁や細胞間隙に RCOOH として存在する。
B．細胞壁や細胞間隙に $\mathrm{RCOO^-}$ として存在する。
C．細胞質基質に RCOOH として存在する。
D．細胞質基質に $\mathrm{RCOO^-}$ として存在する。
E．液胞に RCOOH として存在する。
F．液胞に $\mathrm{RCOO^-}$ として存在する。

問 6）大腸菌の遺伝子 *U* は，翻訳開始点から翻訳終結点までの長さが 1,200 塩基対である。一般にタンパク質を加水分解して得られるアミノ酸の平均分子量は 130 程度とされる。水の分子量が 18 であることも考慮すると，遺伝子 *U* から生産されるタンパク質の分子量はどれくらいと見積もられるか。A〜J から最も適切なものを選べ。（3 点）

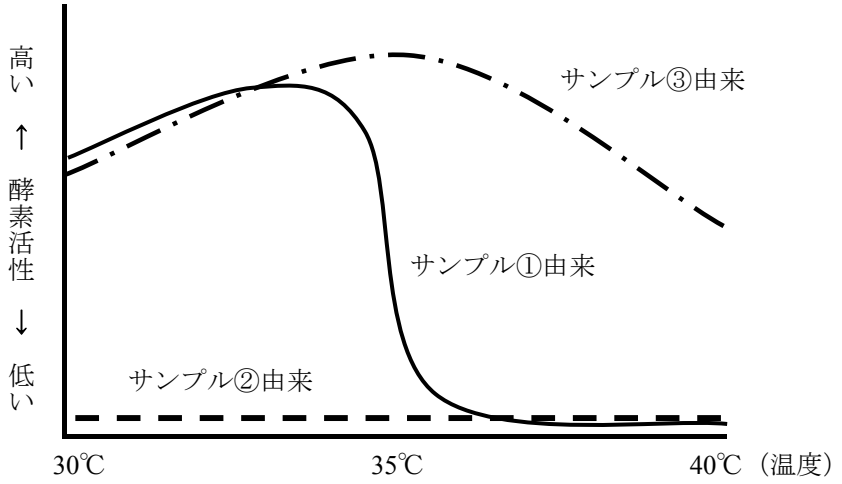
A．$2.2\times10^4$　B．$2.6\times10^4$　C．$4.5\times10^4$　D．$5.2\times10^4$　E．$6.7\times10^4$
F．$7.8\times10^4$　G．$1.3\times10^5$　H．$1.6\times10^5$　I．$4.0\times10^5$　J．$4.7\times10^5$

問 7〜8）平均体温が 37℃のある恒温動物の体毛の色を調べた。野生種の体毛は黒色であったが，この他に全身が白色の個体（アルビノ種）と四肢（手足）の先端部の体毛だけが黒色で他の部分は白色の個体が存在した。体毛の色がどのように決まっているか明らかにするために，色素を作る酵素の遺伝子と，その遺伝子から作られる酵素の性質を調べた（実験１〜３）。

**実験１**：それぞれの個体から得られた色素を作る酵素の遺伝子サンプル①〜③の塩基配列を解析した。［結果］サンプル①とサンプル②では２ヵ所，サンプル①とサンプル③では１ヵ所，そしてサンプル②とサンプル③では１ヵ所で塩基配列が異なっていた。

**実験２**：サンプル①〜③の DNA を遺伝子発現用のプラスミドに別々に組み込んだ。そして，この３種類のプラスミドをそれぞれ別々に大腸菌に導入して，菌体内に酵素を作らせた。生産された酵素を大腸菌から精製し，分子量を調べた。［結果］サンプル①とサンプル③に由来する酵素の分子量は，ほとんど同じであったが，サンプル②に由来する酵素の分子量だけが明らかに，サンプル①とサンプル③に由来するものより小さかった。

**実験３**：サンプル①〜③に由来する酵素の精製品を用いて，試験管内で温度と酵素活性の関係を調べた。［結果］下図に示す。




図：温度と酵素活性の関係

問 7）実験１〜３の結果から，サンプル①〜③はそれぞれどの個体のものであると考えられるか。正しい組合せを A〜F から選べ。(2 点)

| | サンプル① | サンプル② | サンプル③ |
|---|---|---|---|
| A | 野生種 | アルビノ種 | 四肢先端部だけ黒色 |
| B | 野生種 | 四肢先端部だけ黒色 | アルビノ種 |
| C | アルビノ種 | 野生種 | 四肢先端部だけ黒色 |
| D | アルビノ種 | 四肢先端部だけ黒色 | 野生種 |
| E | 四肢先端部だけ黒色 | 野生種 | アルビノ種 |
| F | 四肢先端部だけ黒色 | アルビノ種 | 野生種 |

問 8）次の(a)～(c)の記述は，遺伝子に起きた突然変異について説明したものである。この中には，実験１と実験２より，アルビノ種の色素を作る酵素をコードする遺伝子に起きた可能性が考えられるものと，可能性が考えられないものがある。可能性が考えられる説明をすべて選んだものは，A～G のどれか。ただし，突然変異によりアミノ酸が変化した場合でも，酵素タンパク質が合成後に切断されるようなことはないものとする。(2 点)

(a) 遺伝子の塩基配列の１ヵ所で１つの塩基が別の塩基に置き換わったため，その塩基を含むコドンが指定するアミノ酸１つだけが別のアミノ酸に変わってしまった。
(b) 遺伝子の塩基配列の１ヵ所で１つの塩基が別の塩基に置き換わったため，その塩基を含むコドンがアミノ酸を指定しない停止コドンに変わってしまった。
(c) 遺伝子の塩基配列の１ヵ所で１つのヌクレオチドが欠失したため，その塩基を含むコドン以降の塩基配列の読み枠がすべてずれ，アミノ酸配列が大きく変わってしまった。

A. (a)　　B. (b)　　C. (c)　　D. (a) (b)　　E. (a) (c)　　F. (b) (c)　　G. (a) (b) (c)

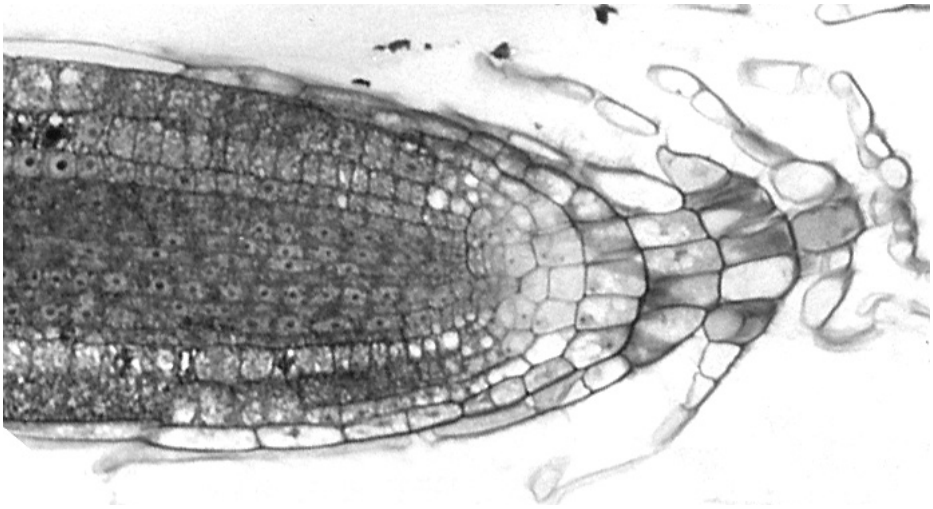
問 9）野生型の大腸菌に有効な 3 種類の抗生物質 P，Q，R がある。P，Q，R のうち１つは，細胞壁の新規合成を阻害する。もう１つは，リボソームに結合して翻訳時のコドンの誤訳を引き起こし，異常なタンパク質を生産する。さらにもう１つは，リボソームに可逆的に結合して tRNA からアミノ酸を受けとるのを阻止し，タンパク質の合成を停止させる。すべての抗生物質に感受性を示す大腸菌の菌株をもちいて，次の実験を行った。

**実験１**：栄養豊富な培養液で増殖中の大腸菌に抗生物質 P，Q，R のうち１種類を与えてしばらく培養したところ，P を与えた場合は多くが破裂していたが，Q と R を与えた場合には形態の変化は観察されなかった。
**実験２**：Q または R を与えた大腸菌の菌体をろ過によって集め，それぞれ抗生物質を含まない新鮮な培地に移したところ，Q を与えた大腸菌はすみやかに増殖を再開したが，R を与えた大腸菌はほとんどが増殖する能力を失っていた。

この実験結果から抗生物質 P，Q，R の作用機構として考えられる正しい組合せは A～F のどれか。
(3 点)

| | 細胞壁の新規合成阻害 | コドンの誤訳 | タンパク質の合成阻止 |
|---|---|---|---|
| A | P | Q | R |
| B | P | R | Q |
| C | Q | P | R |
| D | Q | R | P |
| E | R | P | Q |
| F | R | Q | P |

問 10）下の顕微鏡写真は，ある被子植物の器官（の一部）の縦断面を示したものである。どのような部位か。A〜F から選べ。なお，写真の向きは，実際に生育している植物体での器官の向きと同じとは限らない。（3 点）



A．胚の子葉　　B．根の先端　　C．茎の先端
D．葉の先端　　E．雄しべの葯　　F．雌しべの柱頭

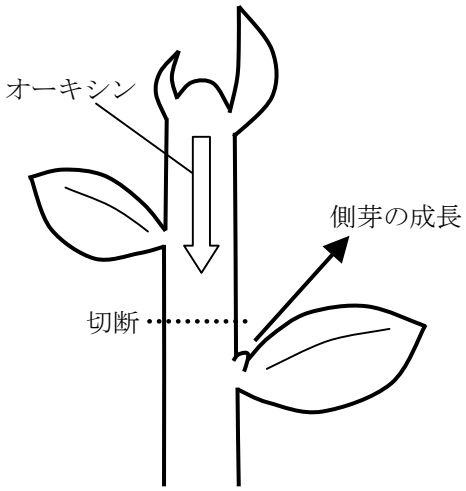
問 11）種子の発芽に際しては，種子の中でつくられるジベレリンが重要な役割を果たしている。発芽に適した条件の下で，オオムギなどの穀類の種子を吸水させると，胚のジベレリン合成が高まる。胚で合成されたジベレリンは，胚乳を取り巻く糊粉層にはたらきかけて，デンプン分解酵素の発現を誘導する。デンプン分解酵素は胚乳に分泌され，胚乳のデンプンを分解してグルコースにする。胚はこのグルコースを利用して成長し，発芽に至る。

一方，アブシシン酸は，種子の発芽に対して阻害的にはたらく。穀類の種子の吸水時にアブシシン酸で処理したときには，胚乳のデンプンの分解が起きないこともわかっている。

ある生物クラブでは，アブシシン酸のこの作用が，ジベレリン合成の抑制によるのか，それより後の段階の抑制によるのかを知りたいと思い，いろいろな条件でオオムギの種子を処理し，胚乳のデンプン分解の有無を調べてみることにした。次の A〜F に示す条件のうち，この生物クラブの目的にとって有用な情報を与えるものはどれか。（3 点）

A．胚を取り除いたオオムギ種子を，アブシシン酸だけを含む水に浸す。
B．胚を取り除いたオオムギ種子を，ジベレリンとアブシシン酸の両方を含む水に浸す。
C．糊粉層を取り除いたオオムギ種子を，アブシシン酸だけを含む水に浸す。
D．糊粉層を取り除いたオオムギ種子を，ジベレリンとアブシシン酸の両方を含む水に浸す。
E．胚と糊粉層を取り除いたオオムギ種子を，アブシシン酸だけを含む水に浸す。
F．胚と糊粉層を取り除いたオオムギ種子を，ジベレリンとアブシシン酸の両方を含む水に浸す。

問 12）頂芽が活発に成長している植物において，葉のすぐ上で茎を切断して上部を切除すると，数時間後には葉の付け根でそれまで成長を停止していた側芽が成長を開始する。頂芽優勢と呼ばれるこの現象には，頂芽で合成されて根に向かって茎の中を極性移動するオーキシンが関わっている。




頂芽優勢が植物ホルモンによってどのように制御されているか明らかにするため，次の実験を行った。

**実験１**：茎を切断して数時間すると，残された側芽の近くの茎の内部においてサイトカイニンの合成が起こり，それが側芽に移動した。
**実験２**：実験１において茎の切断面にオーキシンを与えると，サイトカイニンの合成が起きなかった。
**実験３**：茎を切断していない無傷の植物の側芽にサイトカイニンを与えると，側芽の成長が観察された。

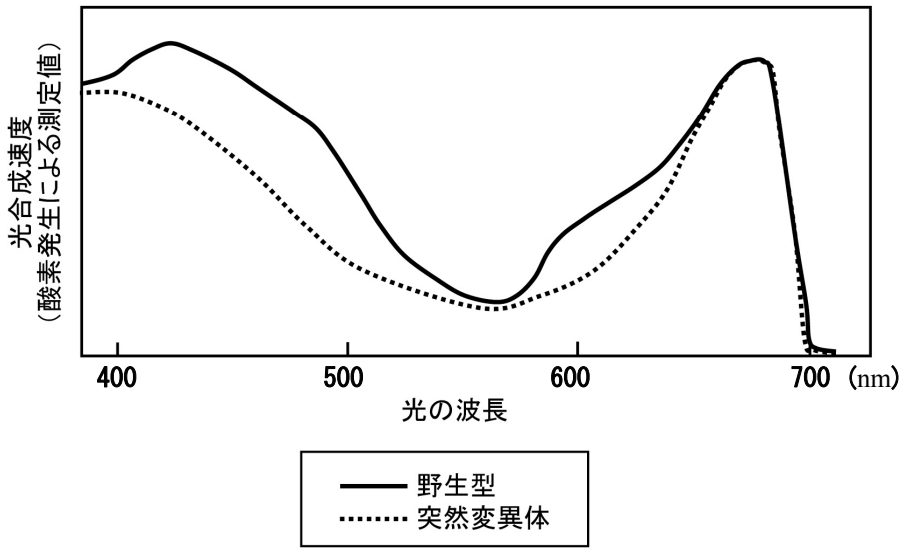
この実験結果から推定される「頂芽優勢にかかわるオーキシンとサイトカイニンの働き」を正しく選んでいる組合せを A〜I から選べ。(3 点)

① 茎を切断すると，数時間後にオーキシンが側芽へ移動し，側芽の成長を促進する。
② 茎を切断すると，数時間後にオーキシンが側芽の近くの茎に含まれなくなる。
③ 茎を切断すると，数時間後にオーキシンが側芽の近くの茎に多くなる。
④ サイトカイニンの合成はオーキシンの存在によって抑制される。
⑤ サイトカイニンの合成はオーキシンの存在によって促進される。
⑥ オーキシンの合成はサイトカイニンの存在によって抑制される。
⑦ オーキシンの合成はサイトカイニンの存在によって促進される。

A. ①⑤　B. ①⑥　C. ①⑦　D. ②④　E. ②⑥
F. ②⑦　G. ③⑤　H. ③⑥　I. ③⑦

問 13）緑色植物の葉緑体は光合成の場である。葉緑体には，クロロフィル *a*，クロロフィル *b* およびカロチノイドの３種類の色素があり，それぞれ特有の波長の光を吸収している。光合成反応において，吸収された光エネルギーは ATP と NADPH の化学エネルギーに変換され，この化学エネルギーによって二酸化炭素は糖に変換される。ある突然変異体の葉緑体に特定の光の波長を照射し，酸素発生に基づいて光合成速度を推定した。この光合成速度を波長に対してプロットし，野生型と比較した。その結果，図に示したように，短い波長の光で突然変異体の光合成速度が野生型よりも抑制されていた。突然変異体の葉緑体内部で，野生型と異なっているのはどの点か。最も適当なものを A〜F から選べ。(3 点)

A. ルビスコ（RuBP カルボキシラーゼ）の活性
B. PEP カルボキシラーゼの活性
C. クロロフィル *a* の量
D. クロロフィル *b* の量
E. 葉緑体あたりの DNA の量
F. 葉緑体あたりのグラナの割合




問 14）被子植物の配偶子形成において，雌性配偶子の卵細胞ができる過程では，大胞子母細胞から減数分裂により４つの大胞子ができる。このうち１つの大胞子だけが生き残り，残りの３つの大胞子は消滅する。このように減数分裂によって生じる４つの娘細胞から１つしか配偶子に寄与することのできない配偶子形成を，A〜G から選べ。(3 点)

A. ユリの雄性配偶子（精細胞）形成
B. マツの雌性配偶子（卵細胞）形成
C. マツの雄性配偶子（精細胞）形成
D. ゼンマイの雌性配偶子（卵細胞）形成
E. ゼンマイの雄性配偶子（精子）形成
F. スギゴケの雌性配偶子（卵細胞）形成
G. スギゴケの雄性配偶子（精子）形成

問 15）ある時点での生物の個体数（$N_t$）は，次の時点での個体数（$N_{t+1}$）と一定の関係をもっていることが多い。図１の曲線は，３種類の生物（①～③）において，その関係性を示したものである。また点線で示した直線 X は，$N_{t+1} = N_t$ に相当する。いま，初期の個体数（$N_1$）が矢印の値から出発した場合，生物①～③の個体数の時間的変動は，それぞれ図のア～エのどの様式に該当すると考えられるか。最も適当な組合せを A～H から選べ。ただし，ア～エの縦軸の縮尺は任意である。(3 点）

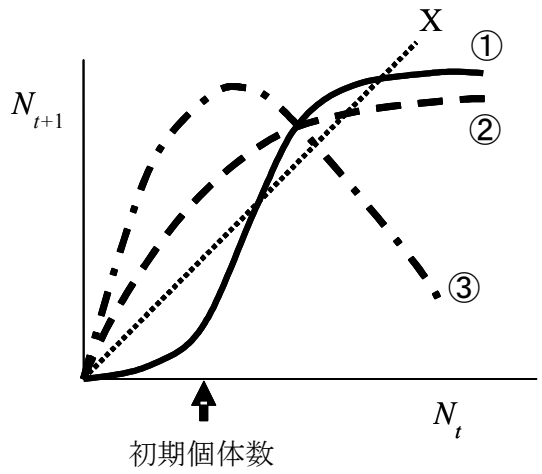
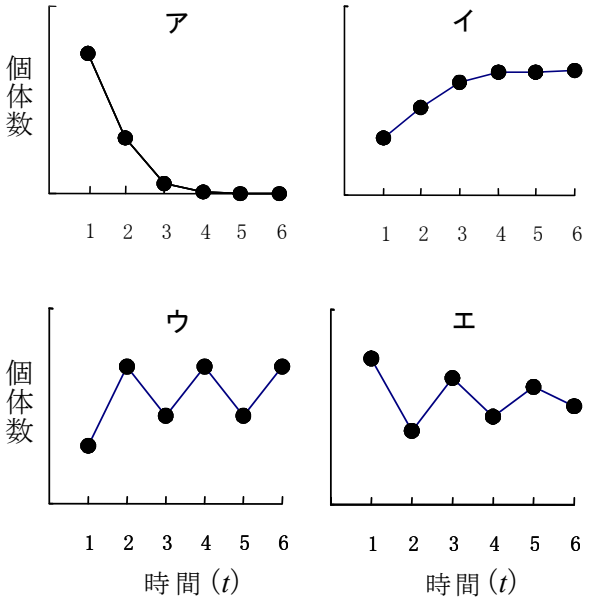



図１：個体数の関係性




| | ① | ② | ③ |
|---|---|---|---|
| A | ア | イ | イ |
| B | ア | イ | ウ |
| C | ア | ウ | イ |
| D | ア | ウ | ウ |
| E | エ | イ | イ |
| F | エ | イ | ウ |
| G | エ | ウ | イ |
| H | エ | ウ | ウ |

問 16）多くの植物群落では群落の上部と下部で光環境が異なっている。ある２つの草本植物の群落で，光環境と葉のつき方を調べた。図１は，群落の高さと相対光強度の関係を示したものである。相対光強度は，最上部で測定した値を１としたときの値である。図２は，群落の高さと葉面積指数の関係を示したものである。葉面積指数は，その高さの層に含まれる葉面積を土地の面積で割った値である。葉面積指数＝１とは，土地面積と同じ面積の葉がその層に含まれていることを意味する。アとイの群落の特徴について述べた①～⑥の記述について，正しいものの組合せを A～H から選べ。(3 点)

図１

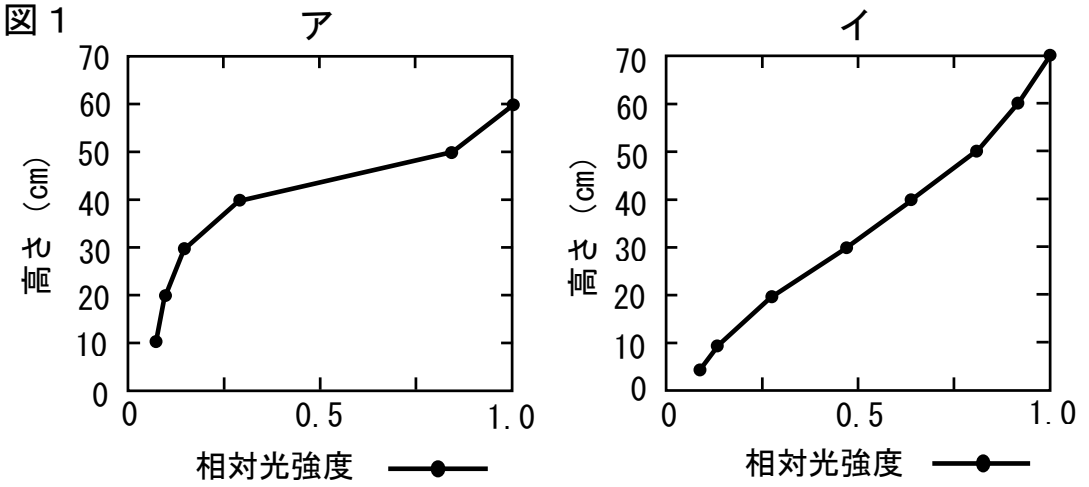
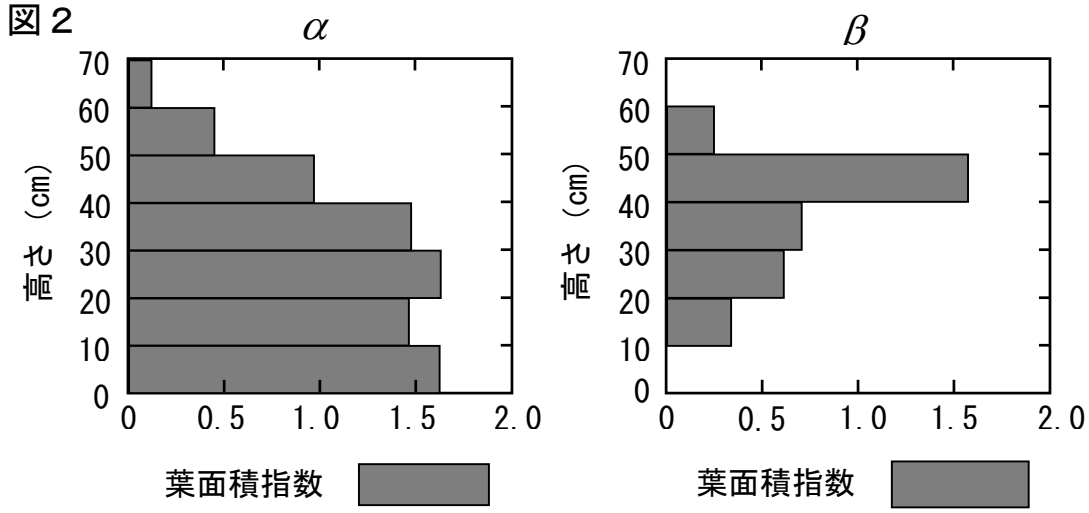



図２




① アの群落の高さと葉面積指数の関係を示すグラフはαである。

② アの群落の高さと葉面積指数の関係を示すグラフはβである。

③ アは葉がほぼ垂直に立ち上がり単位面積あたりの光吸収の効率は悪いが，群落全体の受光量は大きい。

④ イは葉がほぼ垂直に立ち上がり単位面積あたりの光吸収の効率は悪いが，群落全体の受光量は大きい。

⑤ 植物体全体に対して葉の重さの占める割合はアのほうが大きい。

⑥ 植物体全体に対して葉の重さの占める割合はイのほうが大きい。

A. ①③⑤　　B. ①③⑥　　C. ①④⑤　　D. ①④⑥

E. ②③⑤　　F. ②③⑥　　G. ②④⑤　　H. ②④⑥

問 17〜18）植物には，害を与える昆虫や菌類などに対して，防御物質を生産することで身を守っているものがある。このような植物による防御作用を化学的防御と呼ぶ。一方，植物に害を与える生物（以下では植食者と呼ぶ）を捕食する生物（以下では天敵と呼ぶ）が，植物を間接的に害虫から防御している場合もある。植物の化学的防御は防御物質を合成するためコストがかかり，また天敵に対しても害を与える可能性もある。そのため化学的防御が植物にとってトータルで有利か不利かは，化学的防御によるコストと利益，また天敵による間接的な利益などの要因を考えなければならない。化学的防御に関係する量を次のように定義する。

- 化学的防御物質を生産しない個体の種子生産量を s とする。
- 化学的防御物質を生産すると，種子生産量は c だけ減少するとする［c：化学的防御のコスト］。
- 植食者がいる場合に化学的防御を行わないと，植食者が植物に与える害によって，種子生産量は d だけ減少するとする。
- 植食者がいる場合に化学的防御を行うと，化学的防御により植食者がダメージを受けるため，植食者による種子生産量の減少は q だけ抑えられて $d-q$ になるとする［q：化学的防御の利益］。
- 植食者も天敵もいる場合に化学的防御を行わないと，天敵が植食者に与える害によって，植食者による種子生産量の減少は e だけ抑えられて $d-e$ になるとする［e:化学的防御を行わないときの天敵による間接的利益］。
- 植食者も天敵もいる場合に化学的防御を行うと，化学的防御により天敵もダメージを受けるため，天敵による間接的利益は f だけ減少して $e-f$ になるとする［$e-f$：化学的防御を行うときの天敵による間接的利益］。

問 17）植食者がいて天敵がいない場合に，化学的防御をする植物個体の割合が増加する条件は A〜F のどれか。（2 点）

A. $d>q$　　B. $d<q$　　C. $q<c$　　D. $q>c$　　E. $d-q>c$　　F. $d-q<c$

問 18）植食者も天敵もいる場合に，化学的防御をする植物個体の割合が増加する条件は A〜F のどれか。（2 点）

A. $q<c+f$　　B. $q>c+f$　　C. $s<d-e$　　D. $s>d-e$　　E. $d>e-f$　　F. $d<e-f$

問 19～20）次の文章は，神経伝達物質と海馬の新生ニューロンの産生能の変化の関係を調べるために，マウスをもちいて行った実験について述べたものである。

マウスのニューロンは，誕生後，細胞分裂をしない。しかし，大脳の海馬では神経幹細胞の分裂により，誕生後も新しくニューロンが生まれている。さらに，副交感神経や運動神経にも見られる神経伝達物質である［１］が，海馬のニューロンの増殖を促進することが確かめられている。

一方，回し車などで運動すると，海馬での神経伝達物質［１］の放出が増えることが知られている。このこととニューロン新生との関係を調べるために，下の３群のマウスで分裂している神経細胞の数を計測した。その結果，運動が［１］を介してニューロン新生を引き起こすことがわかった。

| | 分裂している神経幹細胞の数（１匹あたりの平均値） |
|---|---|
| Ⅰ　薬剤の投与はせず，回し車のある環境で飼育する | ７２０ |
| Ⅱ　薬剤の投与はせず，回し車のない環境で飼育する | ２９８ |
| Ⅲ　［　　２　　］ | １７８ |

問 19）空欄[１]に当てはまる語句は A～F のどれか。(2 点)

A.　インスリン　　B.　グリコーゲン　　C.　ノルアドレナリン
D.　コラーゲン　　E.　アセチルコリン　　F.　パラトルモン

問 20）下線部の結論が導かれたことを踏まえると，空欄[２]で行われた処理は A～F のどれであったと考えられるか。(3 点)

A. 神経伝達物質を投与し，回し車のある環境で飼育する
B. 神経伝達物質を投与し，回し車のない環境で飼育する
C. 神経伝達物質の作用促進剤を投与し，回し車のある環境で飼育する
D. 神経伝達物質の作用促進剤を投与し，回し車のない環境で飼育する
E. 神経伝達物質の作用阻害剤を投与し，回し車のある環境で飼育する
F. 神経伝達物質の作用阻害剤を投与し，回し車のない環境で飼育する

問 21）次の文章は，腫瘍壊死因子 TNF(tumor necrosis factor)-αに関する実験について説明したものである。

TNF は，主にマクロファージが産生する物質で，血液中に分泌される。脂肪細胞も TNF-αを産生し，糖尿病との関係が注目されている。今，ヒト TNF-αの DNA を導入した細胞を，ヌードマウスの皮下に移植した（ヌードマウスは胸腺を欠くマウスで，移植した細胞に対して拒絶反応を示さない)。細胞移植 28 日目の血中ヒト TNF-αの濃度は次の通りであった。対照群は，ヒト TNF-αの DNA を導入していない細胞を移植した。

移植群：0.5〜3.8 ナノグラム／ｍＬ
対照群：検出限界以下

また，この間，移植群，対照群とも体重は増加し，両群に意味のある差は見られなかった。細胞移植 28 日目に空腹時血糖値を測定したが，両群に意味のある差は見られなかった。一方，空腹時血中インスリン濃度は，移植群の方が，対照群よりも明らかに高かった。

さらに，口から糖を与えて，その後の血糖値と血中インスリン濃度を測定した。血糖値は両群で意味のある差は見られなかったが，血中インスリン濃度は，移植群の方が高い値を示した。

（ア）〜（ク）は，TNF-αの作用に関する記述である。この中で，この実験結果を説明できるものはどれか。正しい組合せを A〜H から選べ。(3 点）

（ア） TNF-αは，血中インスリン濃度を上昇させると同時に，インスリンの作用を促進する。
（イ） TNF-αは，血中インスリン濃度を低下させると同時に，インスリンの作用を促進する。
（ウ） TNF-αは，血中インスリン濃度を上昇させると同時に，インスリンの作用を阻害する。
（エ） TNF-αは，血中インスリン濃度を低下させると同時に，インスリンの作用を阻害する。
（オ） TNF-αは，血中インスリン濃度を上昇させる一方で，インスリンとは独立に血糖値を上昇させる。
（カ） TNF-αは，血中インスリン濃度を低下させる一方で，インスリンとは独立に血糖値を上昇させる。
（キ） TNF-αは，血中インスリン濃度を上昇させる一方で，インスリンとは独立に血糖値を低下させる。
（ク） TNF-αは，血中インスリン濃度を低下させる一方で，インスリンとは独立に血糖値を低下させる。

A.（ア）（オ）　B.（ア）（キ）　C.（イ）（カ）　D.（イ）（ク）
E.（ウ）（オ）　F.（ウ）（キ）　G.（エ）（カ）　H.（エ）（ク）

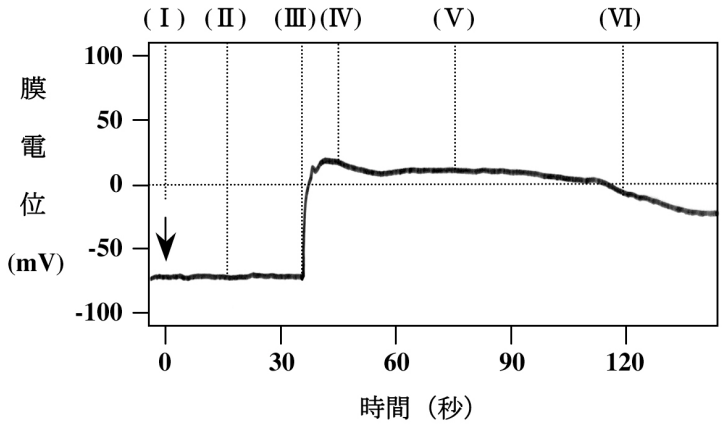
問 22～23）受精のメカニズムを調べるため，ウニを材料に次の実験を行った。

**実験１**：海水で満たした皿にウニの卵をいれ，そこに精子液を滴下した。この時の精子の数は，最初の精子が卵に到達した 10 秒後には次の精子が卵に到達する程の数であった。２時間後に観察すると，正常に発生していた。

**実験２**：受精する前の卵に電極を刺し，細胞膜をはさんで細胞の内側と外側の電位の差（膜電位）を調べたところ，細胞の内側が外側に対して-70mV であった。ここで実験１と同じ条件で精子液を卵が入った皿に滴下し，その後の膜電位の変化を経時的に測定したところ，図の実線のような結果を得た。

**実験３**：受精する前の卵の膜電位を人工的に+5mV に保ち，実験１と同じ条件で精子液をかけたところ，卵は受精しなかった。

**実験４**：実験２と同様に膜電位を測定しながら精子液を加えた。膜電位がプラスに変化した直後に人工的に膜電位を-20mV に変化させたところ，10 秒後に２番目の精子が卵内に入るところが確認できた。その後，この卵は異常な細胞分裂を始めた。




図：精子液を加えてからのウニ卵の膜電位変化
矢印は，精子液を皿に滴下した時を示している。

問 22）精子が卵と受精した瞬間は，図中の（Ⅰ）～（Ⅵ）のどこか。A～F から選べ。(3 点)

A.（Ⅰ）　B.（Ⅱ）　C.（Ⅲ）　D.（Ⅳ）　E.（Ⅴ）　F.（Ⅵ）

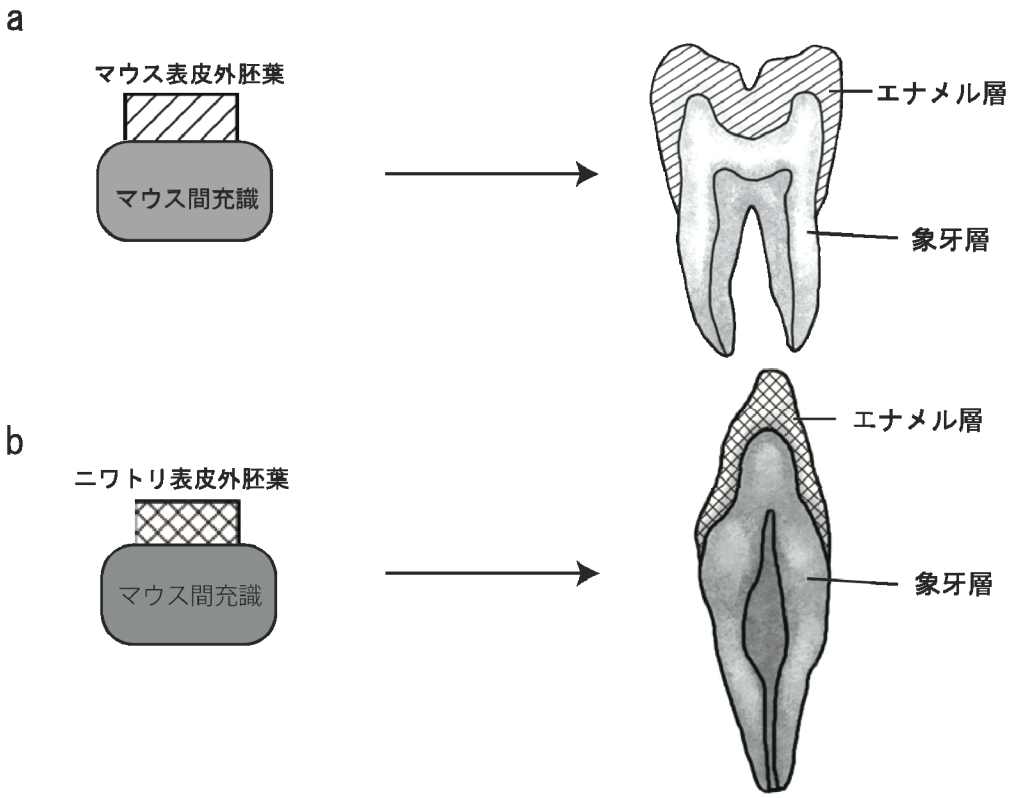
問 23）この実験結果から導かれる推論として，最も適当なものは A～E のどれか。(3 点)

A. 卵は，膜電位を変化させて，侵入する精子の数を制御している。
B. ウニでは，複数の精子が卵に入ることにより，正常な発生を開始する。
C. 受精後に膜電位を変化させると，受精膜はできない。
D. 受精が成立するためには，卵の膜電位が-70mV ぐらいでなければならない。
E. 実験１と同じ条件でウニ卵が入った皿に精子液を滴下すると，10 秒で最初の精子が卵に到達する。

問 24）歯は，エナメル層を形成する表皮外胚葉と，象牙層を形成する間充織細胞の相互作用によって，形成される（図 a)。鳥類は，約 8000 万年前に歯を失ったと考えられているが，歯を形成する能力の一部を痕跡的に残していることが，次のような実験からわかった。

**実験**：マウスの臼歯を形成する領域の間充織細胞と，ニワトリの口の表皮外胚葉細胞を組み合わせて培養すると，エナメル層と象牙層をもった歯が形成された（図 b)。また，歯の形は，マウスの臼歯よりもむしろ，始祖鳥の歯の特徴と類似していた。

①～⑥の記述のうちで，この実験から考えられることとして正しい組合せは A～H のどれか。(3 点）




① 鳥類が歯を失ったのは，間充織細胞の性質が変化したためであると推測できる。
② 鳥類が歯を失ったのは，表皮外胚葉細胞の性質が変化したためであると推測できる。
③ 図 b の組合せ実験で，エナメル層がニワトリの細胞により形成されていることを確認する必要がある。
④ 図 b の組合せ実験で，象牙層がマウスの細胞により形成されていることを確認する必要がある。
⑤ ニワトリの口の表皮外胚葉細胞を一度間充識細胞から分離した後，もう一度ニワトリの間充織細胞と組み合わせる実験を，対照実験の１つとして行う必要がある。
⑥ 始祖鳥の表皮外胚葉をマウスの間充織細胞を組み合わせるという仮想的な実験を考えると，正常な象牙層が形成されないと予測される。

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

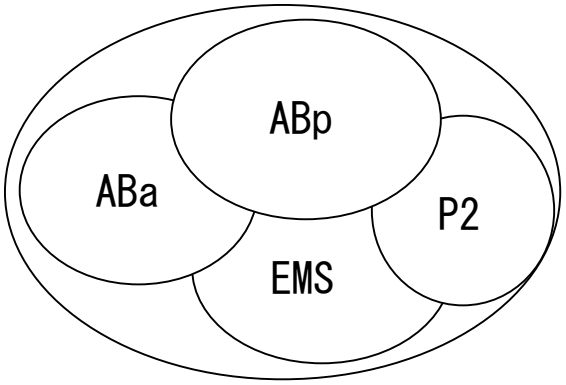
問 25）線虫 *Caenorhabditis elegans* は，胚の体が透明であること，成体（成虫）の細胞数が少ないことなどから，発生生物学の研究に用いられている。図は４細胞期の胚の模式図である。胚の４個の細胞は記号で区別されている。この動物に関する１～３の記述について，下線部の正誤を正しく組み合わせているものを，A～H から選べ。(3 点)

**記述１**：受精直後から RNA ポリメラーゼ II を阻害すると，26 細胞期までは正常に発生するが，その後発生が異常になる。このことは 26 細胞期以後の発生には新たな遺伝子発現を必要とすることを示している。

**記述２**：P2 細胞が２回分裂して生じる P4 細胞にある蛍光タンパク質を注入してこの胚を飼育すると，すべての生殖細胞は蛍光を発するようになった。またこのとき，生殖細胞以外の細胞は蛍光を発しなかった。この結果は P4 細胞の子孫はすべて生殖細胞となり，生殖細胞は P4 細胞の子孫のみから生じることを示している。

**記述３**：消化管の細胞は EMS 細胞のみから生じる。EMS 細胞を他の細胞から分離して培養すると消化管細胞が生じない。EMS 細胞を AB 細胞（ABa または ABp）のみと接触させて発生させると，やはり消化管細胞は生じないが，P2 細胞と接触させて発生させると，消化管細胞へと分化した。この結果は，EMS 細胞の消化管細胞への分化が，AB 細胞によって阻害されていることを示している。

| | 記述１ | 記述２ | 記述３ |
|---|---|---|---|
| A | 正 | 正 | 正 |
| B | 正 | 正 | 誤 |
| C | 正 | 誤 | 正 |
| D | 正 | 誤 | 誤 |
| E | 誤 | 正 | 正 |
| F | 誤 | 正 | 誤 |
| G | 誤 | 誤 | 正 |
| H | 誤 | 誤 | 誤 |




図：４細胞期胚の模式図

問 26）アフリカツメガエルの初期発生では，最初の 12 回の細胞分裂は全ての割球で同調的に起こる。中期胞胚期におこる 13 回目の細胞分裂以降は同調性が崩れ，割球間で細胞分裂の時期がずれるようになる。また，このときに初めて転写（RNA 合成）が活性化され，細胞が運動性を獲得するようになる。このような現象を，中期胞胚遷移と呼ぶ。胚がどのようにして，中期胞胚遷移を行う時期を計っているかを調べるために，次の実験を行った。

**実験１**：受精卵を，転写を阻害する薬剤を加えた培養液の中で発生させても，最初の 12 回の卵割は同調的に起こり，13 回目からから細胞分裂の時期がずれるようになった。なお，RNA の転写が阻害されていることは実験的に確かめた。

**実験２**：アクチンの重合阻害剤を用いて（すなわち DNA 複製と核分裂は進行するが，細胞質分裂は起こらないようにして）発生させたものと，対照として正常に発生させたもので，転写が活性化さ

れる時期を比べたところ，両者はほぼ同じ時期に転写の活性化が見られた。

**実験３**：下図のように卵を結搾して，核のある半分で２回の細胞分裂を進行させ，その次の細胞分裂の時に，反対側の細胞質に核が入るように分裂させ，片側は２回細胞分裂が遅れた状態で，発生を進行させた。このような胚では，分裂の速く進んだ側では，11 回目の分裂のあと，細胞分裂の時期が割球ごとにずれた。その一方で，分裂が２回遅れた側では，さらに２回の同調的な細胞分裂を行った後，割球ごとに細胞分裂のタイミングがずれるようになった。

**この実験結果から，胚が中期胞胚遷移を行うタイミングを計っている機構として推測できることとして正しいものを A〜E から選べ。(3 点)**

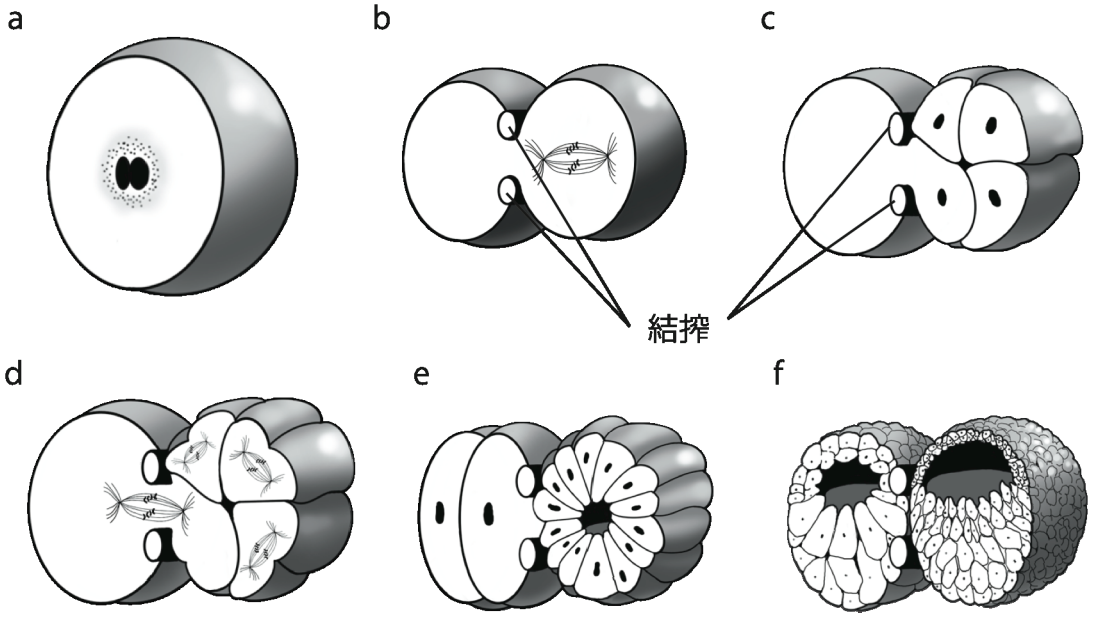
A. 胚は，受精後の核分裂を行った回数を，何らかの方法で数えており，12 回に達したところで，中期胞胚遷移を行う。

B. 胚は，受精後の DNA 複製を行った回数を，何らかの方法で数えており，12 回に達したところで，中期胞胚遷移を行う。

C. 胚は，受精後の細胞質分裂を行った回数を，何らかの方法で数えており，12 回に達したところで，中期胞胚遷移を行う。

D. 胚は，ある細胞質因子に対する DNA 量の比を何らかの方法で計測しており，その比が一定値を超えたときに，中期胞胚遷移を行う。

E. 胚は，転写（RNA 合成）を始めるタイミングを，12 回の細胞分裂を行った後と決めており，転写が始まることで，中期胞胚遷移が引き起こされる。




図：a → f の順に発生は進んでいく。c から d にかけての右側の半分で２度の細胞分裂が進行した状態で，左側に核の一方が取り込まれるように分裂させる。

問 27〜28）大部分の魚は眼を持っており，魚の行動にとって視覚は重要な役割を果たす。スズメダイ科の１種 a は日本では本州中部以南の波の荒い岩礁域に生息し，非常に攻撃的な性質をもつ。この種は，同種だけでなく他種の魚にたいしても種類によっては激しく攻撃を加える魚である。a は１年中なわばりを形成し，エサである藻類が付着した岩礁に 3〜7㎡の安定したなわばりをもつ。なわばりには多くの種類の魚が侵入するが，その中には攻撃されて追い出される魚種と，攻撃されずなわばり内への侵入と滞在を許可される魚種があり，これらの区別を視覚によって行っている。

問 27）図１は a のなわばりに進入した中でも代表的な 10 種類の魚をスケッチしたものである。これらのうち I のグループはほとんど攻撃を受けなかったもの，II はときどき攻撃されたもの，III のグループは常に攻撃を受けて追い出されたものである。下の『　』内の文章は，図１から考えられる a が攻撃対象とする魚の指標および a の行動について述べたものである。空欄ア〜ウに当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを A〜H から選べ。(2 点)

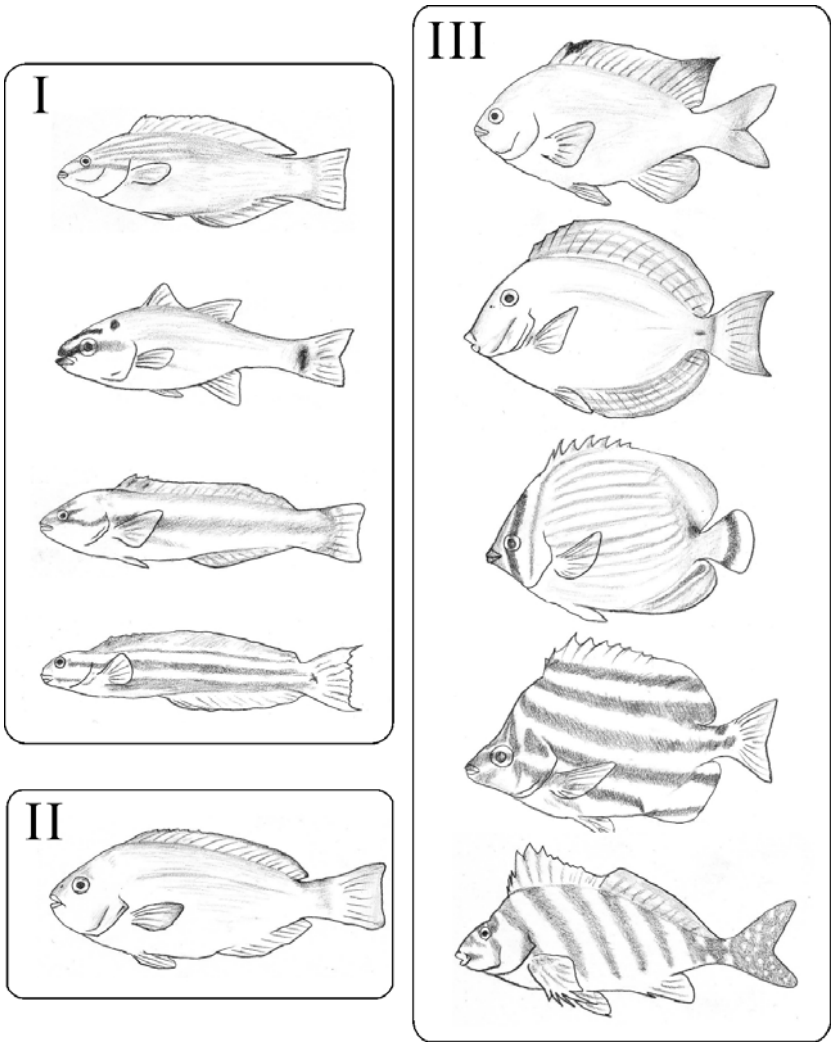



図１（幸田正典；セダカスズメダイの種間なわばり―何が魚を攻撃に駆りたてるか，
アニマ　1981 年 8 月号　P42-47，平凡社　より改変）

『図１より，a は体長に対する体高の割合（体高比）が［　ア　］魚を攻撃することがわかる。このことから，本種の攻撃行動の［　イ　］を考えると，ある閾値よりも［　ア　］魚の体高比が［　ウ　］となり，攻撃行動が起こると考えられる。』

| | ア | イ | ウ |
|---|---|---|---|
| A | 小さい | 至近要因 | 信号刺激 |
| B | 小さい | 至近要因 | 条件刺激 |
| C | 小さい | 究極要因 | 信号刺激 |
| D | 小さい | 究極要因 | 条件刺激 |
| E | 大きい | 至近要因 | 信号刺激 |
| F | 大きい | 至近要因 | 条件刺激 |
| G | 大きい | 究極要因 | 信号刺激 |
| H | 大きい | 究極要因 | 条件刺激 |

**問 28）a と同じ生息域を持つ 95 種の魚の食性と体高比の関係を調べたところ，図２の結果が得られた。グラフ内の点線は，野外観察により攻撃を受けるかどうかの境界となる体高比＝32 を示している。また，矢印で示した白丸は本種の食性と体高比を示す。図１と図２の結果から本種の攻撃行動の意味を考えた記述として最も適切なものを A～G から選べ。（3 点）**

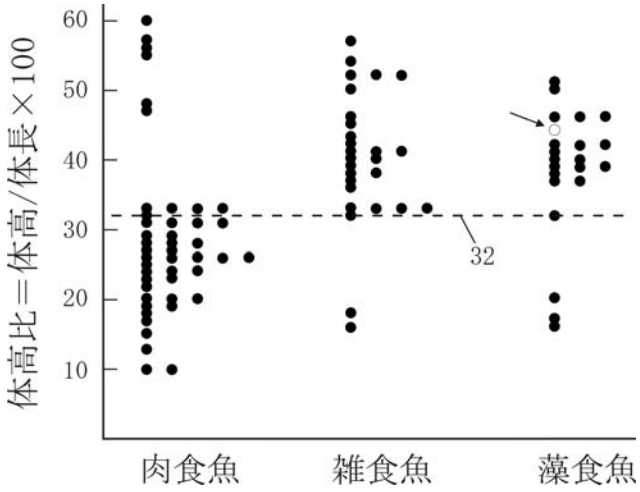



図２（幸田正典；セダカスズメダイの種間なわばり―何が魚を攻撃に駆りたてるか，
アニマ　1981 年 8 月号　P42-47，平凡社　より改変）

A. a の攻撃行動は，本種が肉食魚から食べられないようにするために効果的に機能している。
B. a の攻撃行動は，本種が雑食魚と藻食魚に生殖相手を奪われないようメスを確保する上で効果的に機能している。
C. a の攻撃行動は，本種が肉食魚に生殖相手を奪われないようメスを確保する上で効果的に機能している。
D. a の攻撃行動は，本種が雑食魚と藻食魚から餌を奪われないよう食物資源を確保する上で効果的に機能している。
E. a の攻撃行動は，本種が肉食魚から餌資源を奪われないよう食物資源を確保する上で効果的に機能している。
F. a の攻撃行動は，本種が雑食魚と藻食魚と餌を共有するために効果的に機能している。
G. a の攻撃行動は，本種が肉食魚と餌を共有するために効果的に機能している。

問 29）ある巻貝の殻が右巻きか左巻きかは，*D*（右巻き）と *d*（左巻き）という対立遺伝子で決まり，*D* は *d* に対して優性である。この遺伝では，個々の巻貝の表現型がその個体の遺伝子型ではなく，母親の遺伝子型で決まる。たとえば，左巻きホモ接合体（*d*/*d*）の雌と右巻きホモ接合体（*D*/*D*）の雄の交配で生まれた子（$F_1$）は，*D*/*d* という遺伝子型をもつが，その表現型は母親の遺伝子型（*d*/*d*）で決まるため，左巻きとなる。この $F_1$ どうしを交配して生まれた $F_2$，および $F_2$ どうしを交配して生まれた $F_3$ の表現型は，どうなるか。A〜H から選べ。（3 点）

A. $F_2$ は（右巻き）:（左巻き）が３：１，$F_3$ も（右巻き）:（左巻き）が３：１の比になる。
B. $F_2$ は（右巻き）:（左巻き）が３：１，$F_3$ は（右巻き）:（左巻き）が５：３の比になる。
C. $F_2$ はすべて左巻き，$F_3$ はすべて右巻きになる。
D. $F_2$ はすべて左巻き，$F_3$ は（右巻き）:（左巻き）が３：１の比になる。
E. $F_2$ はすべて左巻き，$F_3$ は（右巻き）:（左巻き）が５：３の比になる。
F. $F_2$ も $F_3$ も，すべて右巻きになる。
G. $F_2$ はすべて右巻き，$F_3$ は（右巻き）:（左巻き）が３：１の比になる。
H. $F_2$ はすべて右巻き，$F_3$ は（右巻き）:（左巻き）が５：３の比になる。

問 30）ショウジョウバエの白色眼と小翅はいずれも X 染色体上の劣性突然変異である。白色眼の純系の雌に小翅の純系の雄を交配して得られた $F_1$ における雌雄別の表現型は（イ）および（ロ）であった。また，$F_1$ どうしの交配から生じた $F_2$ 世代について，表現型別に個体数を数えたところ，表１と表２に示したような結果が得られた。

表１　$F_1$ の結果

| | 雌 | 雄 |
|---|---|---|
| 表現型 | （イ） | （ロ） |

表２　$F_2$ の結果

| 表現型 | 雌の個体数 | 雄の個体数 |
|---|---|---|
| 白色眼 | 87 | 62 |
| 野生型 | 115 | 33 |
| （ハ） | 0 | 27 |
| （ニ） | 0 | 78 |

（イ）〜（ニ）に該当する表現型の組合せとして正しいものはどれか。A〜H から選べ。（3 点）

| | （イ） | （ロ） | （ハ） | （ニ） |
|---|---|---|---|---|
| A | 白色眼 | 野生型 | 小翅 | 小翅・白色眼 |
| B | 白色眼 | 野生型 | 小翅・白色眼 | 小翅 |
| C | 野生型 | 白色眼 | 小翅 | 小翅・白色眼 |
| D | 野生型 | 白色眼 | 小翅・白色眼 | 小翅 |
| E | 野生型 | 白色眼・小翅 | 小翅 | 小翅・白色眼 |
| F | 野生型 | 白色眼・小翅 | 小翅・白色眼 | 小翅 |
| G | 野生型 | 野生型 | 小翅 | 小翅・白色眼 |
| H | 野生型 | 野生型 | 小翅・白色眼 | 小翅 |

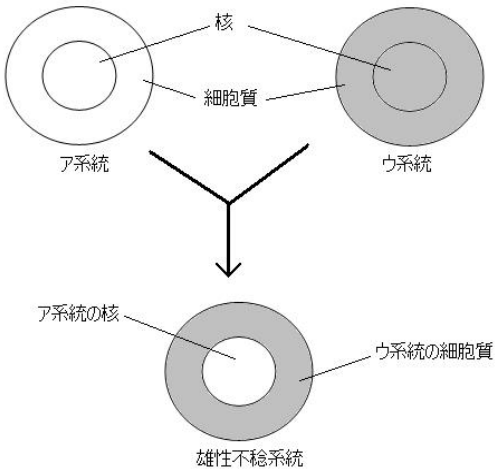
問 31～32）２つの系統間の交配で得られた雑種第１代が両親のいずれの系統よりも優れた形質を示す現象が知られている。穀類では収量の増加がみられることが多く，これを利用したものにイネのハイブリッド品種がある。ハイブリッド品種は従来の品種とは大きく異なる特徴をもつ。各問に答えよ。

問 31）仮にイネの染色体数を 2n = 8（実際には 2n = 24）とし，ある系統（ア系統）のもつ染色体を $A_1A_1B_1B_1C_1C_1D_1D_1$，もう１つの系統（イ系統）の染色体を $A_2A_2B_2B_2C_2C_2D_2D_2$ とすると，$F_1$ では染色体構成はすべて $A_1A_2B_1B_2C_1C_2D_1D_2$ となり，均一の集団となる。しかし，$F_2$ では，相同染色体間に組換えが起きないとしても，$F_1$ と同じ染色体構成を持つものは（　①　）となってしまう。このため，$F_2$ を翌年使用することはできず，栽培者はハイブリッド品種の種子を毎年購入しなくてはならない。

文中の（　①　）にあてはまる数値を A～H から選べ。(3 点)

A. $\frac{1}{2}$　　B. $\frac{1}{4}$　　C. $\frac{1}{8}$　　D. $\frac{1}{12}$　　E. $\frac{1}{16}$　　F. $\frac{1}{18}$　　G. $\frac{1}{24}$　　H. $\frac{1}{36}$

問 32）次に問題になるのは $F_1$ の種子を多量に安定的に得る方法である。ふつう雑種を得るには片方の系統のおしべをすべて取り除き自家受精を防ぐ必要があるが，イネでその操作を手作業で行うことは現実的に不可能である。そのため，おしべに花粉ができない性質（雄性不稔）を利用する。その１つが細胞質に雄性不稔遺伝子をもち核に雄性不稔回復遺伝子をもたない場合に生じる細胞質雄性不稔を利用したものである。




イネにはもともと雄性不稔遺伝子も雄性不稔回復遺伝子ももたない系統（図のア系統）と雄性不稔遺伝子と雄性不稔回復遺伝子を両方もつ系統（図のウ系統）がある。これらの系統はともにおしべに花粉ができ自家受精するため，各々の系統は簡単に維持できる。

このようなア系統とウ系統からウ系統の細胞質とア系統の核をもち細胞質雄性不稔を示す系統を作るのであるが，そのための交配としてふさわしいものはどれか。A～F から選べ。(3 点)

A. ア系統のめしべにウ系統の花粉をつけ雑種を得る。次にこの雑種のめしべにウ系統の花粉をつけ雑種を得る。この操作を 10 世代ほど繰り返す。
B. ア系統のめしべにウ系統の花粉をつけ雑種を得る。次にア系統のめしべにこの雑種の花粉をつけ雑種を得る。この操作を 10 世代ほど繰り返す。
C. ウ系統のめしべにア系統の花粉をつけ雑種を得る。次にこの雑種のめしべにア系統の花粉をつけ雑種を得る。この操作を 10 世代ほど繰り返す。
D. ウ系統のめしべにア系統の花粉をつけ雑種を得る。次にウ系統のめしべにこの雑種の花粉をつけ雑種を得る。この操作を 10 世代ほど繰り返す。
E. ア系統のめしべにウ系統の花粉をつけ雑種を得る。次にこの雑種同士の交配により雑種を得る。この操作を 10 世代ほど繰り返す。
F. ウ系統のめしべにア系統の花粉をつけ雑種を得る。次にこの雑種同士の交配により雑種を得る。この操作を 10 世代ほど繰り返す。

問 33～34）ある地域に住んでいる住民の ABO 式血液型を調べたところ，次の結果をえた。

① 住民の 16%は O 型であった。
② 母親が AB 型，父親が A 型である両親の間に生まれた子の 20%は B 型であった。

ハーディ・ワインベルグ平衡が成り立っていると仮定して，各問に答えよ。

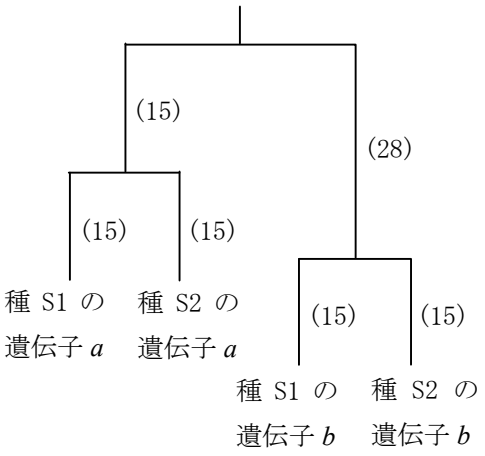
問 33）O 遺伝子の頻度を A～J から選べ。(3 点)

A. 4%　B. 8%　C. 12%　D. 16%　E. 20%
F. 24%　G. 28%　H. 32%　I. 36%　J. 40%

問 34）A 遺伝子の頻度を A～J から選べ。(2 点)

A. 5%　B. 10%　C. 15%　D. 20%　E. 25%
F. 30%　G. 35%　H. 40%　I. 45%　J. 50%

問 35）遺伝子 *a* と遺伝子 *b* は，祖先遺伝子の重複により生じた遺伝子である。重複した遺伝子は，一方が元来の機能を保持していると，もう一方は新たな機能をもつ遺伝子に進化することができる。あるいは，機能をもたない偽遺伝子になることもある。種 S1 と種 S2 のゲノムを調べたところ，ともに遺伝子 *a* と遺伝子 *b* をもっていた。図はこれらの遺伝子が指定するタンパク質のアミノ酸配列に基づいて作成した系統樹である。( )内の数字はその枝に生じたアミノ酸置換数を示している。①～④は遺伝子 *a* と遺伝子 *b* に関する仮説である。これらのうちで図の系統樹と矛盾しない仮説をすべて挙げるとどうなるか。A～I から選べ。(3 点)




① 遺伝子 *a* と遺伝子 *b* が重複により生じたのは，種 S1 と種 S2 が分岐した後である。
② 遺伝子 *a* は，偽遺伝子になった。
③ 遺伝子 *b* は，偽遺伝子になった。
④ 遺伝子 *b* は，遺伝子 *a* とは異なる機能を獲得した。

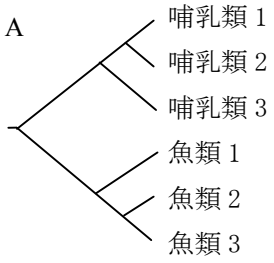
A. ①　B. ②　C. ③　D. ④　E. ①②　F. ①③　G. ①④　H. ②④　I. ①②④

問 36）自然選択がはたらいていると，アミノ酸置換速度は一定であるとはかぎらない。自然選択がはたらいているある遺伝子が指定するタンパク質のアミノ酸配列を 6 種の動物（哺乳類 1，哺乳類 2，哺乳類 3，魚類 1，魚類 2，魚類 3）について調べたところ，種間のアミノ酸置換数は表のとおりであった。

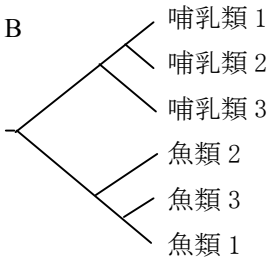
| | 哺乳類 2 | 哺乳類 3 | 魚類 1 | 魚類 2 | 魚類 3 |
|---|---|---|---|---|---|
| 哺乳類 1 | 4 | 5 | 14 | 14 | 18 |
| 哺乳類 2 | | 5 | 14 | 14 | 18 |
| 哺乳類 3 | | | 13 | 13 | 17 |
| 魚類 1 | | | | 4 | 8 |
| 魚類 2 | | | | | 6 |

この 6 種の系統関係を表している系統樹を A〜I から選べ。（3 点）

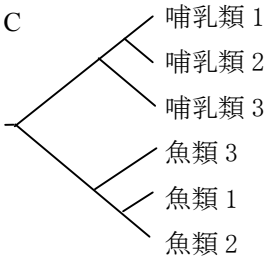
A



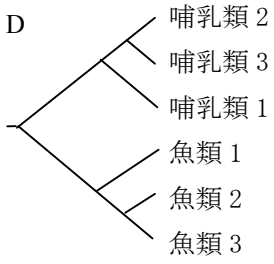

B



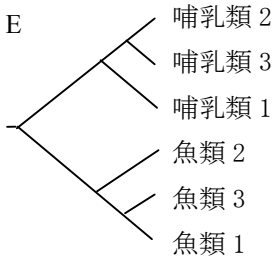

C



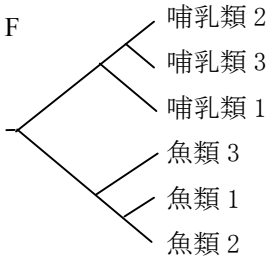

D



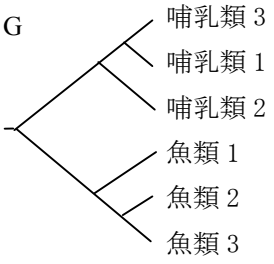

E



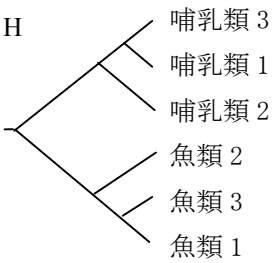

F



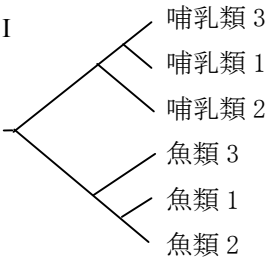

G




H

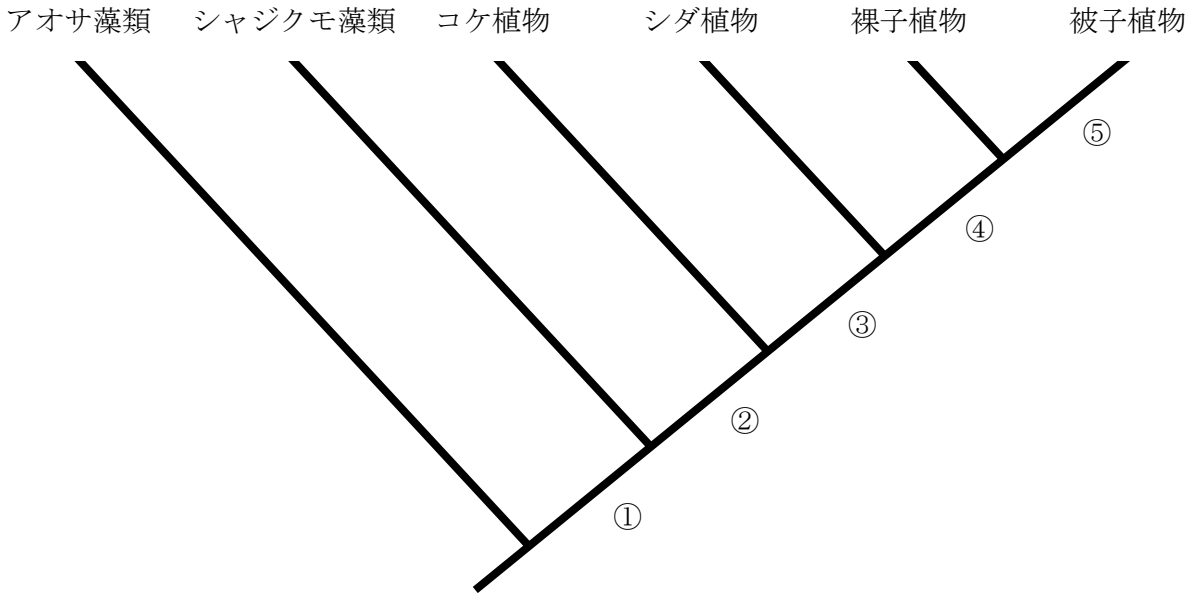



I



問 37）海で誕生した生物のなかには陸上に進出して繁栄したものが多く，緑色植物もその典型の１つと言える。緑色植物が陸上に移行する際や，陸上に定着する過程では，陸上環境への適応進化として一連の形質変化が起きたと考えられている。次のア～オはそうした変化の例である。これらの変化は，緑色植物の系統樹のどの段階で生じたか。ア～オと図の①～⑤を対応づけた選択肢 A～H から，正しいものを選べ。（3 点）

ア．雌性配偶子が他の細胞で保護されるようになった。
イ．雄性配偶子から鞭毛が完全に失われた。
ウ．種子を形成するようになった。
エ．気孔を形成するようになった。
オ．リグニン化した通道組織を発達させた。




| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
|---|---|---|---|---|---|
| A | ア | イ | ウ | オ | エ |
| B | ア | イ | オ | ウ | エ |
| C | ア | エ | ウ | オ | イ |
| D | ア | エ | オ | ウ | イ |
| E | イ | ア | ウ | オ | エ |
| F | イ | ア | オ | ウ | エ |
| G | イ | エ | ウ | オ | ア |
| H | イ | エ | オ | ウ | ア |