

平成 27 年 度 入 学 試 験 問 題

生物科学専攻 専門科目

[注意事項]

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いてはならない。この冊子は、表紙および草稿用紙 4 頁を含めて合計 29 頁からなる。
2. 解答には、必ず黒色鉛筆（または黒色シャープペンシル）を使用すること。

[以下、特に重要]

3. 問題冊子 1 冊と解答用紙 4 枚が配られているか確かめること。過不足がある場合は挙手して監督者に知らせること。
4. 問題は全部で 11 問ある。問題の内訳は以下の通りである。
 - 第 1 問～第 4 問：分子生物学・細胞生物学・生化学・遺伝学の問題
 - 第 5 問～第 7 問：生物化学・生物情報科学分野の問題
 - 第 8 問～第 11 問：動物学・植物学・人類学分野の問題これら 11 問の中から任意の 4 問を選択して解答せよ。
5. 選択した 4 問の解答を解答用紙 1 枚ずつに分けて記入すること。
6. 各解答用紙の所定欄に受験番号および氏名を必ず記入すること。
7. 各解答用紙の問題番号欄に問題番号をひとつだけ記入すること。なお、第 9 問～第 11 問にはそれぞれ複数の選択問題が含まれている。これらの問を選んだ場合には、解答用紙の自由記入欄にいずれの選択問題を選択したかを明記し、全体を 1 枚の解答用紙に収めて解答せよ。
8. 各解答用紙の右上部のボックスには何も記入しないこと。
9. 解答用紙の裏面も使用する場合は、表面にその旨明示すること。ただし、解答用紙は上部区切り線で綴じられるので、区切り線より上部は使用しないこと。
10. 解答用紙には、解答に関係のない文字、記号、符号などを記入してはならない。
11. 解答できない場合でも解答用紙には受験番号、氏名、および問題番号を記入して提出すること。
12. 解答用紙を草稿用紙として絶対使用しないこと。草稿用紙は問題冊子にあるが切り離さないで用いること。また問題冊子の余白は自由に使ってよい。
13. 試験時間は 2 時間 30 分である。原則として試験終了時間まで席を離れることは許さない。

この問題冊子は試験終了後に回収する。以下の欄に受験番号と氏名を記入すること。

受験番号		氏名	
------	--	----	--

[第1問]

次の文1と文2を読み、以下の問1~7に答えよ。

<文1>

タンパク質のアミノ酸配列の情報は DNA にコードされており、DNA を鋳型として転写された mRNA からタンパク質が翻訳される。mRNA 上のタンパク質コード領域において、連続した 塩基の配列 (コドン) それぞれが、タンパク質のアミノ酸 1 個に対応する。多くの真核生物の核遺伝子の場合、 種類のコドンが、全部で 種類のアミノ酸をコードする。つまり (a) 多くのアミノ酸がそれぞれ複数のコドンにより重複してコードされる。

真核生物において、遺伝子の発現は必要に応じて様々な段階で調節されている。多くの場合、遺伝子発現に大きく影響を及ぼすのは、(b) DNA から RNA への転写である。転写の調節には、基本転写因子と呼ばれる一群のタンパク質とともに、これらの活性を正や負に制御する様々な因子が関与する。さらに転写調節に加えて、(c) 転写後のタンパク質合成までの過程も制御されている。

問 1. ~ に入る適切な数字を記せ。

問 2. 下線部 (a) について。下記の文章を読んで、 と に入る適切な語を記せ。

あるコドンの 1 塩基が置換しても同じアミノ酸をコードする場合、その置換を 置換と呼ぶ。相同なタンパク質をコードする遺伝子群の mRNA 配列を比較すると、 置換の方が非 置換より分子進化速度が い場合が多い。

問 3. 下線部 (b) について。DNA から転写される RNA には、タンパク質をコードするもの (mRNA) と、そうでないもの (非コード RNA) に大別される。

- (1) 真核生物の RNA ポリメラーゼ 3 種類のうち、mRNA を転写するものの名称を答えよ。
- (2) 真核生物の mRNA の 5'末端および 3'末端にある特徴的な構造の名称を記し、それぞれの構造の役割を 2 行程度で簡潔に説明せよ。
- (3) 非コード RNA の例を 3 つ挙げ、それぞれ 2 行程度で特徴と機能を簡潔に説明せよ。

問 4. 下線部 (c) について。この過程において制御の対象となりうる段階を、3 つあげよ。

<文 2>

マウスの遺伝子 *A* の転写調節に関与する候補因子として、3 種類のタンパク質 B、C、D が既に同定されている。そこで、マウス由来の培養細胞を用いて遺伝子 *A* の転写調節機構を調べるため、タンパク質 B、C、D をそれぞれ恒常的に発現させるためのプラスミドを構築した。また、遺伝子 *A* の上流配列 3 kbp を単離し、レポーター遺伝子 *E* を含む発現ベクターに組み込んだ。これらを用いて培養細胞におけるレポーター発現アッセイを行ったところ、図 1 の結果が得られた。この結果より、タンパク質 B と C は遺伝子 *A* の転写を カ する因子であり、キ 的に作用すると考えられる。(d) タンパク質 B あるいは C と遺伝子 *A* の上流配列 3 kbp との相互作用を調べたところ、B は単独でこの上流配列に直接結合し、C は単独では結合しないことが明らかになった。

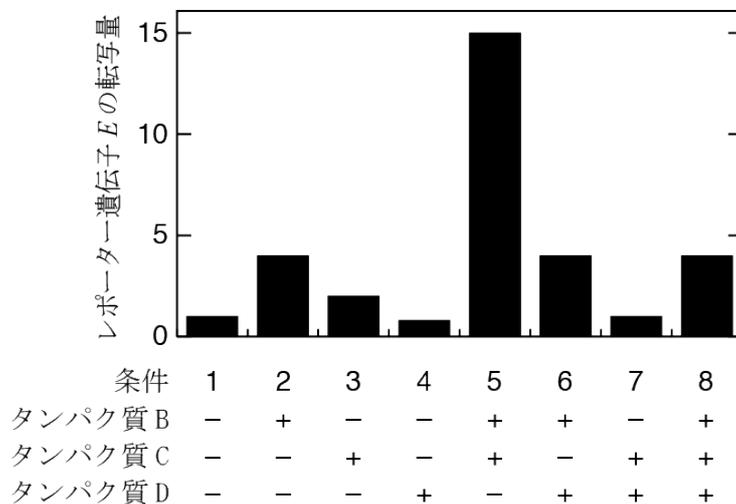


図 1. マウス培養細胞を用いたレポーター発現アッセイ。条件 1~8 においてタンパク質 B、C、D をそれぞれ共発現させた時の、レポーター遺伝子 *E* の転写量を定量し、条件 1 での転写量を 1 として相対値を示した。

問 5. カ と キ に入る適切な語句をそれぞれ記せ。

問 6. 下線部 (d) について。

- (1) 遺伝子の上流配列に、あるタンパク質が塩基配列特異的に結合するかどうかを調べるためには、どのような実験を行えばよいか。実験方法を 1 つあげ、3 行程度で記せ。
- (2) 遺伝子 *A* の転写調節におけるタンパク質 C の作用機構としてどのような可能性が考えられるか。これを検証するための実験とともに、4 行程度で記せ。

問 7. 図 1 の実験結果から、遺伝子 *A* の転写調節におけるタンパク質 D の作用機構としてどのような可能性が考えられるか。これを検証するための実験とともに、4 行程度で記せ。

[第2問]

次の文を読み、以下の問1～6に答えよ。

細胞骨格繊維は、微小管、**ア**、および**イ**に大別される。微小管と**ア**は、^(a)極性を持つが、**イ**は極性を持たない。微小管は、 α チューブリンと β チューブリンの**ウ**が規則正しく重合して形成される。微小管の末端では、チューブリンが付加して伸長する時期と解離して短縮する時期が切り替わることが知られている。この微小管の動的な性質は、細胞内では細胞周期や細胞の形態変化に伴って制御されている。例えば、間期の細胞と比較すると、有糸分裂期の細胞の微小管は、長さが**エ**、動的な性質が**オ**している。

このような制御を担うと考えられる微小管結合タンパク質 X (以後、タンパク質 X と呼ぶ) について、その機能を調べる以下の実験を実施した。

<実験 I> タンパク質 X を N 末端領域と C 末端領域の 2 つの部分断片に分けて合成し、それぞれを精製した。次に、グアノシン三リン酸 (GTP、終濃度 1 mM) を含む緩衝液中で、精製したチューブリンを 35°C で 30 分間インキュベートした。その後、タンパク質 X の N 末端部分と C 末端部分の両方を加え、この溶液を遠心 (100,000 x g、35°C、30 分) して上清と沈殿を別々に回収した。この上清および沈殿を SDS ポリアクリルアミドゲル電気泳動にかけた後、チューブリンとタンパク質 X をウエスタンブロットによって検出した (図 1 のレーン 1 および 2)。さらに、^(b)同様の実験を 4°C で実施した (図 1 のレーン 3 および 4)。また、35°C の実験条件において、チューブリンを加えずに同様の実験を実施した (図 1 のレーン 5 および 6)。他方、35°C の実験条件において、タンパク質 X を加えずに同様の実験を実施した (図 1 のレーン 7 および 8)。

<実験 II> GTP を含む緩衝液中で、精製したチューブリンと全長のタンパク質 X を 4°C でインキュベートし、この混合液からタンパク質 X を免疫沈降した。免疫沈降産物に対して抗チューブリン抗体を用いてウエスタンブロットしたところ、チューブリンは検出されなかった。

<実験 III> 動物由来の培養細胞 (間期の細胞) を固定し、抗チューブリン抗体を用いて免疫染色すると、図 2A のような免疫染色像が得られた。一方、細胞を固定する前にノコダゾール (チューブリンの重合阻害剤) を含む培地中で短時間処理して、同様に免疫染色すると図 2B のようになった。また、この培養細胞にタンパク質 X を発現させ、同様にノコダゾール処理すると図 2C のような免疫染色像が得られた。

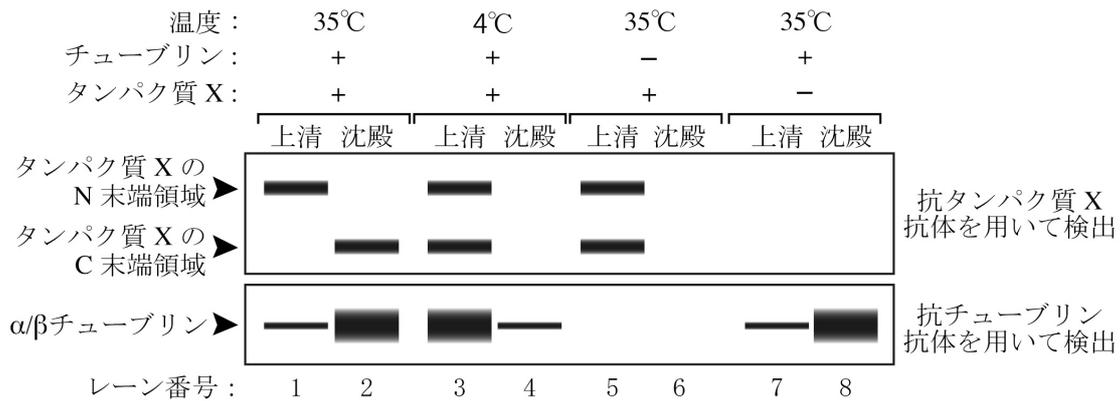


図1 抗タンパク質 X 抗体および抗チューブリン抗体を用いたウエスタンブロットの結果

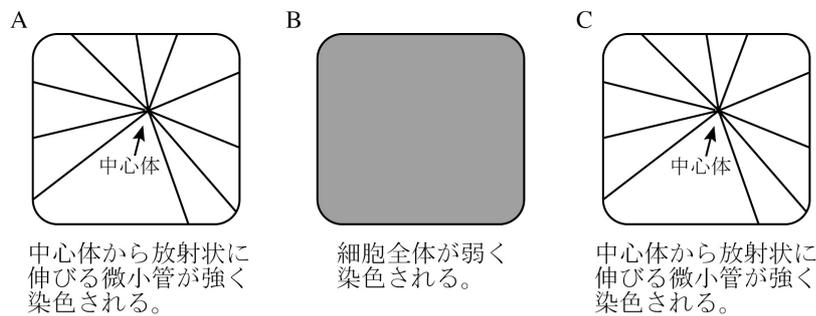


図2 抗チューブリン抗体による動物由来細胞の免疫染色像

問 1. ア～オに入る語句を以下から選択して答えよ。

コラーゲン、中間径フィラメント、アクチンフィラメント、
 フィブロネクチン、ヘテロ二量体、ヘテロ三量体、長く、短く、
 増大、減弱

問 2. 下線部 (a) について。微小管の極性はどのような構造上の特徴にもとづいて生じるか。3 行程度で記せ。

問 3. 下線部 (b) について。チューブリンを 4°C でインキュベートした場合と、35°C でインキュベートした場合とを比較して、チューブリンの状態はどのようなになっていると考えられるか。2 行程度で記せ。

問 4. 実験 I および実験 II の結果から、タンパク質 X の N 末端部分と C 末端部分の性質について、どのようなことが考えられるか。3 行程度で記せ。

問 5. 実験 III について。タンパク質 X の微小管に対する作用として、どのようなことが予想されるか。1 行程度で記せ。

問 6. 有糸分裂期の細胞では、タンパク質 X は微小管に結合しない。このことを調べる実験を 1 つ考案し、3 行程度で記せ。

[第3問]

次の文1と文2を読み、以下の問1～7に答えよ。

<文1>

2011年のノーベル生理学・医学賞は自然免疫の研究に対して授与されたが、自然免疫の研究の端緒は1980年代の昆虫の生体防御機構の研究にまで遡ることができる。表1は、1980年代初頭に、体表に傷をつけて（したがって、感染の可能性が増した）、ある種の昆虫の体液から大腸菌に対する抗菌作用（細菌の増殖を抑制する活性）を指標に抗菌ペプチドが精製された際の、精製の過程をまとめたものである。図1には精製された抗菌ペプチドの一次構造を、アミノ酸の三文字表記で示す。

表1 抗菌ペプチドの精製のまとめ

精製の過程	全タンパク質量 (mg)	(a)比活性 (unit/mg)	活性の回収率 (%)
体液	18,000	0.75	100
(b)CM-セルロース	156	82	97
セファデックス G-50	8.2	850	51
CM-セルロース	1.1	5500	45
ヒドロキシアパタイト	0.07	27000	14

(Okada and Natori, 1983 より改変)

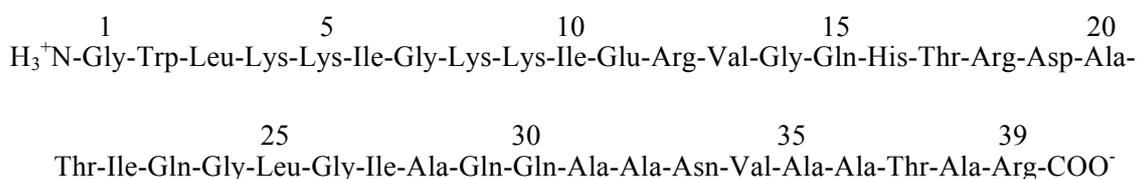


図1 抗菌ペプチドの一次構造 アミノ酸配列の上の数字は、N末端からの位置を示す。

問1. 表1の下線部(a)について。各段階の試料の比活性を調べるためのタンパク質量定量では、簡便な280nmの吸光度の測定ではなく、ローリー(Lowry)法などが用いられる。前者に比べて後者が優れる点を5行程度で述べよ。

- 問 2. 表 1 の下線部 (b) について。CM (カルボキシメチル) -セルロースは陽イオン交換樹脂である。陽イオン交換クロマトグラフィーの原理を 5 行程度で述べよ。
- 問 3. この昆虫 1 匹当たりの体液量が 50 μL 、体液のタンパク質濃度が 10% (w/v) として、体表に傷をつけたこの昆虫 1 匹の体液中に含まれる抗菌ペプチドの量を、表 1 に基づいて有効数字 3 桁で示せ。なお最終精製標品の純度は 90%で、この昆虫の体液には 1 種類の抗菌ペプチドしか存在しないものとする。
- 問 4. 図 1 の抗菌ペプチドの一次構造を見ると、N 末端側 (19 番目のアミノ酸まで) は+の電荷をもつアミノ酸が比較的多く、C 末端側 (20 番目から 39 番目まで) には疎水的なアミノ酸が比較的多い。N 末端側の+の電荷をもつアミノ酸と C 末端側の疎水的なアミノ酸を全て取り上げ、それぞれ三文字表記で示せ。

<文 2>

精製した抗菌ペプチドを大腸菌培養液に添加したところ、次の結果が得られた。

- A. 大腸菌の生存率は、数分で無処理に比べて数%に減少した。
- B. 走査型電子顕微鏡による観察では、抗菌ペプチドを作用させても菌体の形状は、大きくは損壊していなかった。
- C. ATP 合成が大幅に低下し、大腸菌内 ATP 濃度は数分で無処理の約 10%に低下した。
- D. 大腸菌へのプロリン (proline) の取り込みは生体膜の膜電位に依存するが、このプロリンの取り込みが、ほぼ完全に抑制された。
- E. 大腸菌内の K^+ が数分で大腸菌外に漏出した。
- F. 呼吸 (電子伝達と、その結果生じる酸素消費) は大きな影響を受けず、大腸菌の酸素消費量は、大腸菌が増殖能を失った後でも無処理と有意な差はなかった。
- 問 5. 結果 D から、抗菌ペプチドを作用させることで、大腸菌の膜電位はどのように変化したと推察されるか。1 行で述べよ。
- 問 6. この抗菌ペプチドは大腸菌の細胞膜に障害を与えることで抗菌作用をもつと考えられる。結果 B~F から考えて、どのような障害か考察し、その障害により上記の結果がどのように説明されるか、合わせて 5 行程度で述べよ。なお、この抗菌ペプチドは酸化的リン酸化に関わるタンパク質とは相互作用しないものとする。
- 問 7. 図 1 の抗菌ペプチドの一次構造を参照して、この抗菌ペプチドが問 6 で解答したような細胞膜障害性をもつ理由を 4 行程度で述べよ。

[第4問]

次の文を読み、以下の問1～6に答えよ。

モデル生物を用いた順遺伝学の研究は、何らかの表現型の違いを見つけ、交配実験などによりその遺伝様式を明らかにすることから始まる。表現型の違いをもたらしているのが核の遺伝子であれば、次に行うのはふつう ^(a) DNA 多型を利用した染色体マッピングである。マッピングによって染色体上の位置を特定したら、当該領域の DNA の塩基配列を調べて原因遺伝子の候補を探し出す。最終的には ^(b) その候補遺伝子の変異が表現型の原因になっていることを確かめて、原因遺伝子の決定に至る。

あるモデル植物を用いて行われた花の形質に関する実験を例に、遺伝様式の解析から染色体マッピングまでの流れを示そう。この植物の系統 A と系統 B (両系統とも純系) は、ともに正常な形質の花 (正常花) をつけるが、A と B を交配すると、その後代で異常な形質の花 (異常花) をつける個体が現れることがあった。そこで、雌しべ親 (母親) と花粉親 (父親) の組合せに注意して交配実験を行ったところ、図 1 に示すように、A を父親、B を母親としたときに、F2 世代で約 1/4 の個体が異常花となった。父母の入れ替え (正逆交配) で表現型の現れ方が変わるとき、一般には伴性遺伝 (sex-linked inheritance) や ^(c) ゲノム刷り込み (genomic imprinting) の関与の可能性もあるが、この場合は ^(d) 細胞質の遺伝子と核の遺伝子の相互作用によるものと考えられた。次にこの核の遺伝子について、A と B の間の DNA 多型をマーカーとして染色体マッピングを行うため、A を父親、B を母親とした交配の F2 世代から、異常花の個体を選んで DNA を抽出し、^(e) 各個体について、多数の DNA 多型マーカーの遺伝子型を調べた。その結果に基づき、異常花に関わる核遺伝子の染色体上の位置を推定した。

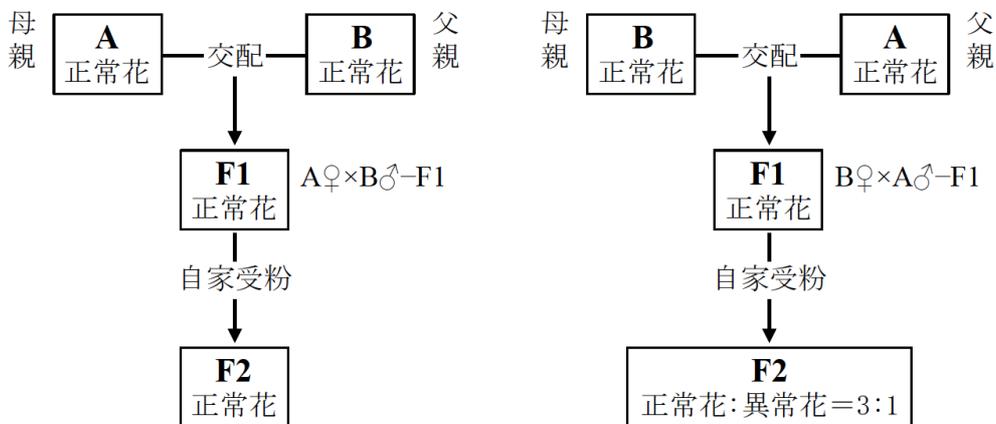


図1 系統 A と系統 B の正逆交配と F1・F2 世代における花の表現型

問 1. 下線部 (a) について。TGTGTG \cdots のように、ごく短い配列が繰り返す単純反復配列（マイクロサテライト）では、繰り返しの数に種内変異がよく見られ、DNA 多型マーカーとして、染色体マッピングに多用される。単純反復配列の繰り返し数に変異が生じるのは、どのような仕組みによるか。2 行程度で説明せよ。

問 2. 下線部 (b) について。優性（dominant）突然変異体の原因遺伝子の候補を、染色体マッピングと塩基配列解析によって見出したとする。この遺伝子の変異が表現型の原因であることを確かめる方法を、2 行程度で述べよ。

問 3. 下線部 (c) について。この交配実験の結果には、ゲノム刷り込みではうまく説明できない点がいくつかある。そのうちの 1 つをあげ、説明できない理由を 3 行程度で述べよ。

問 4. 下線部 (d) について。この細胞質の遺伝子と核の遺伝子の相互作用による遺伝様式に基づいて、様々な交配でどのように表現型が現れるかを予測し、次の表 1 の ~ に入る適切な分離比を記せ。なお、この植物の細胞質遺伝は、母性遺伝である。

表 1 様々な交配の次世代における花の表現型の分離比（正常花：異常花）

		父 親			
		A	B	A♀×B♂-F1*	B♀×A♂-F1**
母 親	A	1 : 0	1 : 0	<input type="text" value="ア"/>	<input type="text" value="イ"/>
	B	1 : 0	1 : 0	<input type="text" value="ウ"/>	<input type="text" value="エ"/>
	A♀×B♂-F1*	<input type="text" value="オ"/>	<input type="text" value="カ"/>	1 : 0	<input type="text" value="キ"/>
	B♀×A♂-F1**	<input type="text" value="ク"/>	<input type="text" value="ケ"/>	<input type="text" value="コ"/>	3 : 1

*A を母親、B を父親とする交配の F1。 **A を父親、B を母親とする交配の F1。

問 5. 下線部 (e) について。DNA 多型マーカー M の遺伝子型を、系統 A のタイプのホモ接合なら AA 、B のタイプのホモ接合なら BB 、ヘテロ接合なら AB と書く。異常花に関わる核遺伝子と M が組換え率 r で連鎖しているとき、異常花個体における M の遺伝子型の分離比はどうか。 r を用いた式で示せ。

問 6. 異常花に関わる細胞質の遺伝子の候補を探し出すには、どのような解析をしたらよいか。2 行程度で述べよ。

[第5問]

次の文を読み、以下の問1～5に答えよ。

分裂酵母の野生株を変異原処理することにより、25°C（非制限温度）では増殖し、36°C（制限温度）では増殖しない突然変異株 X が得られた。この変異株の細胞の DNA 量には異常が見られず、(a) 制限温度では細胞周期の G2 期に止まっていた。野生株と変異株 X のゲノムシーケンスを行ったところ、変異株 X の染色体上の離れた位置にコードされた 2 つの遺伝子 *cdc2*（サイクリン依存性キナーゼをコード）および *cdc13*（サイクリンをコード）に、新規のミスセンス変異を見出した。いずれの遺伝子も、機能が完全に欠損すると、細胞は細胞周期を G2 期に停止する。変異株 X の 36°C における表現型には、*cdc2* 遺伝子と *cdc13* 遺伝子の、いずれかあるいは両方の変異が寄与している可能性が強く疑われた。
(b) そこで、遺伝学的手法によりこの可能性を検証した。その結果、変異株 X の表現型は *cdc13* の変異のみによるものであることが明らかになった。

さらに、この *cdc13* 変異の性質を調べるために、以下の生化学的な実験を行った。まずはじめに、(c) 薬剤を使って分裂期に止めた野生株および変異株 X を一定期間 36°C で培養して、それらの細胞の抽出液を調製し、SDS ポリアクリルアミドゲル電気泳動法によって分離し、ウエスタンブロットによりタンパク質の発現量を比較した。その結果、変異株 X では Cdc2 および Cdc13 のタンパク質の発現量は正常であることが判明した。さらに、野生株と変異株 X の細胞抽出液から調製した Cdc2 免疫沈降物を、SDS ポリアクリルアミドゲル電気泳動法およびウエスタンブロットによって解析したところ、両株由来の免疫沈降物に Cdc2 とともに Cdc13 のタンパク質が等量検出された。同様に調製した細胞の抽出液から Cdc2 に対する抗体を用いて免疫沈降をし、その免疫沈降物と Cdc2 の標的タンパク質を用いて (d) リン酸化反応を行った。(e) その結果、変異株 X の細胞抽出液から調製した Cdc2 免疫沈降物のリン酸化活性は野生株と比較して低下していることがわかった。

問 1. 下線部 (a) について。変異株 X は、培養温度を制限温度まで上げると細胞が大きくなった。その理由を以下の語句を用いて 2～3 行で説明せよ。
(細胞周期、栄養)

問 2. 下線部 (b) について。この検証実験を既存の *cdc2* 変異株および *cdc13* 変異株を用いて行った。その実験方法を 3～5 行で具体的に述べよ。ただし、酵母株の間では、非制限温度において接合、胞子形成ができるものとする。

問3. 下線部 (c) について。細胞を分裂期に停止させた理由を述べよ。

問4. 下線部 (d) について。このリン酸化反応ではリン酸基はどのような化合物から転移されるか。この化合物の名称と化学構造を記せ。

問5. 下線部 (e) について。*cdc13* の変異により、なぜ Cdc2 免疫沈降物のリン酸化活性が低下したか。その理由を 2~3 行で述べよ。

[第6問]

次の文を読み、以下の問1～5に答えよ。

ピルビン酸は、ATP生成を含むさまざまな物質の代謝経路に位置する分子である。解糖によって、1分子のグルコースから 分子のピルビン酸が生成し、この過程で正味 分子のATPが生成する。ピルビン酸は に変換されてクエン酸回路に供される。

真核細胞では、解糖は細胞質ゾルで行われ、クエン酸回路はミトコンドリアマトリックスに存在する。そのため、細胞質ゾルで生成したピルビン酸はミトコンドリア膜を通過する必要がある。(a) 小分子であるピルビン酸はミトコンドリア外膜を容易に通過できるが、内膜の通過にはピルビン酸特異的な輸送体の作用が必要である。この分子はミトコンドリアピルビン酸輸送体 (mitochondrial pyruvate carrier ; 以下、MPC) と呼ばれ、1970年代から研究されており、MPCに対する (b) さまざまな阻害剤 (MPC阻害剤) も開発された (図1)。MPCを構成する分子については長らく不明であったが、2012年に2種類の類似した膜貫通タンパク質 (MPCタンパク質、100～200アミノ酸残基) が提案された。このMPCタンパク質が欠損すると、ピルビン酸のミトコンドリアへの取込みが損なわれることが示された。さらに、(c) MPCタンパク質をコードするマウスcDNAをある種の乳酸菌で発現させるとピルビン酸の取込みが上昇し、この取込みがMPC阻害剤で阻害されること (図2)、また、(d) MPCタンパク質をコードする遺伝子の1つに変異をもつショウジョウバエ (MPC変異体) では、アスパラギン酸、グルタミン酸、プロリンの存在量が減少すること (図3A) や、ショ糖のみを栄養源とした培地で飼育したときに生存日数が減少すること (図3B) も報告されている。

問1. と に入る数字と に入る物質名をそれぞれ記せ。

問2. 下線部 (a) について。小分子がミトコンドリア外膜を通過する仕組みを1～2行で説明せよ。

問3. 下線部 (b) について。図1に示した結果から、阻害剤AおよびBの阻害様式についてわかることを合わせて2～3行程度で述べよ。ただし、この輸送はミカエリス・メンテンの式に従うものとする。

問 4. 下線部 (c) について。

- (1) この実験では、マウス cDNA を乳酸菌の発現ベクターに組込む際に、コドンの最適化という操作を加えている。コドンの最適化は何を目的として行うのか、また、コドンの最適化ではどのような操作を cDNA に加えるのかを合わせて 5 行程度で説明せよ。
- (2) (1) で述べたコドンの最適化の対象とならないコドンがある。それらのコドンにコードされるアミノ酸を 2 つあげ、最適化の対象とならない理由を 1 行で述べよ。
- (3) 図 2 において、MPC を発現させて阻害剤を作用させた菌 (レーン 3) の方が、cDNA が挿入されていない空ベクターを導入した菌 (レーン 1) よりも、ピルビン酸の取込み速度が有意に小さい。その理由としてどのような可能性があるか、1 つ考えて 1 行で述べよ。

問 5. 下線部 (d) について。

- (1) 図 3A の結果において、ショ糖のみを栄養源とした培地で飼育した MPC 変異体で 3 種類のアミノ酸の存在量が減少している理由を考え、2 行程度で説明せよ。
- (2) 図 3B の結果から、MPC 変異体を通常培地 (ショ糖、コーンミール、酵母を栄養源として含む) で飼育したときにはクエン酸回路はある程度働いていると予想される。このとき、どのような物質を用いてクエン酸回路を動かしていると考えられるか。1~2 行程度で述べよ。

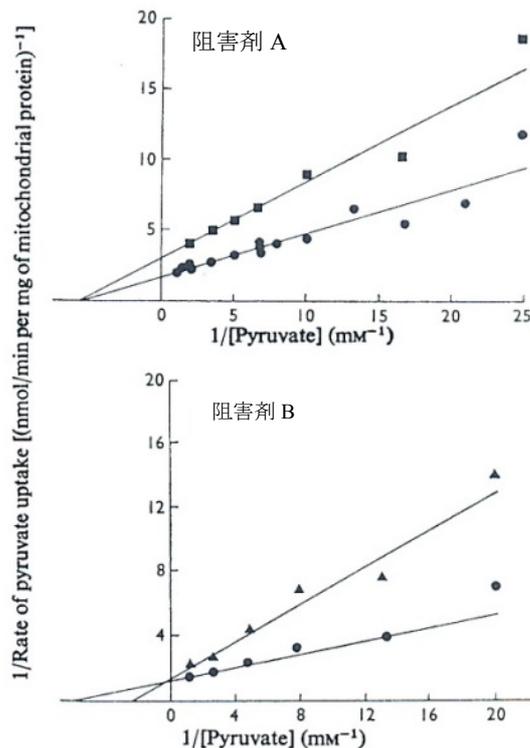


図 1. ミトコンドリアのピルビン酸の取込みに対する阻害剤 A (上) と阻害剤 B (下) の効果。横軸をピルビン酸濃度の逆数、縦軸を取込み速度の逆数にとったラインウィーバー・バーク (二重逆数) プロット。●; 阻害剤なし、■および▲; 阻害剤存在下。(Halestrap, 1975 より改変)

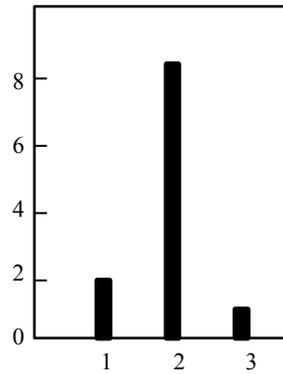


図 2. マウス MPC を発現させた乳酸菌 (*Lactococcus lactis*) におけるピルビン酸の取込み。レーン 1 は cDNA が挿入されていない空ベクターを導入した菌 (対照)、レーン 2 は MPC 導入菌、レーン 3 は MPC 導入菌 (レーン 2 と同じ) に MPC 阻害剤を作用させた菌の結果。縦軸はピルビン酸取込み速度 (pmol/min)。(Herzig *et al.*, 2012 より改変)

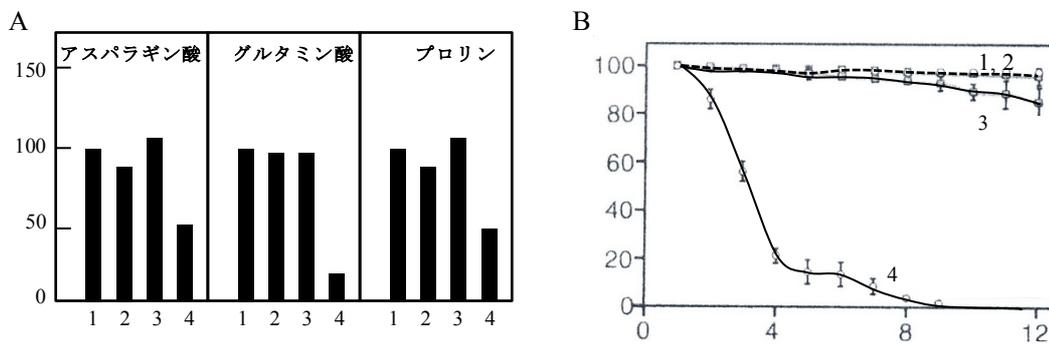


図 3. ショウジョウバエにおけるアミノ酸の存在量 (A) と生存曲線 (B)。羽化して 4~9 日目の野生型と MPC 変異体のショウジョウバエ (いずれも雄) を、シヨ糖、コーンミール、酵母を含む通常培地とシヨ糖のみを含む培地 (シヨ糖培地) に移して飼育した。(A) 野生型と MPC 変異体 (新しい培地に移して 2 日後) に含まれる 3 種類のアミノ酸の量を、野生型の通常培地 (レーン 1) を 100 としたときの相対値で示した。(B) 縦軸は新しい培地に移した後の生存率 (%)、横軸は飼育日数。曲線 1 と 2 はほぼ重なっているのに注意。1 は野生型の通常培地、2 は野生型のシヨ糖培地、3 は MPC 変異体の通常培地、4 は MPC 変異体のシヨ糖培地の結果を示す。(Bricker *et al.*, 2012 より改変)

[第7問]

次の文および擬似コードを読み、以下の問1~4に答えよ。

それぞれの長さが n および m である2つのDNA配列 \mathbf{v} および \mathbf{w} が以下のように与えられたとする。

$$\mathbf{v} = v_1v_2v_3 \dots v_n$$

$$\mathbf{w} = w_1w_2w_3 \dots w_m$$

(ただし、 $v_i, w_j \in \{A, C, G, T\}$)

このとき、 \mathbf{v} と \mathbf{w} のグローバルアラインメント (大域アラインメント) のスコアを求めるアルゴリズムは、以下の擬似コードで表すことができる。

Algorithm GlobalAlignment(\mathbf{v}, \mathbf{w})

1: $s_{0,0} \leftarrow 0$

2: **for** $i = 1$ to n **do**

3: $s_{i,0} \leftarrow s_{i-1,0} - \sigma$

4: **end for**

5: **for** $j = 1$ to m **do**

6: $s_{0,j} \leftarrow s_{0,j-1} - \sigma$

7: **end for**

8: **for** $i = 1$ to n **do**

9: **for** $j = 1$ to m **do**

10: $s_{i,j} \leftarrow \max \left\{ \begin{array}{l} \boxed{\text{A}} \\ \boxed{\text{B}} \\ \boxed{\text{C}} \end{array} \right.$

11: **end for**

12: **end for**

13: **return** $\boxed{\text{D}}$

なお、スコア行列は以下のように与えられているものとする。

$$\delta(A, A) = 5 \quad \delta(A, C) = -3 \quad \delta(A, G) = -2 \quad \delta(A, T) = -3$$

$$\delta(C, A) = -3 \quad \delta(C, C) = 5 \quad \delta(C, G) = -3 \quad \delta(C, T) = -2$$

$$\delta(G, A) = -2 \quad \delta(G, C) = -3 \quad \delta(G, G) = 5 \quad \delta(G, T) = -3$$

$$\delta(T, A) = -3 \quad \delta(T, C) = -2 \quad \delta(T, G) = -3 \quad \delta(T, T) = 5$$

- 問 1. 擬似コード中の σ は何を意味するか、1 行で説明せよ。
- 問 2. スコア行列は DNA の 1 塩基置換についてどのような性質を仮定しているか、「プリン塩基」「ピリミジン塩基」の 2 つの言葉を使って 2 行程度で定性的に述べよ。
- 問 3. 擬似コード中の ~ を埋め、擬似コードを完成させよ。
なお、 ~ は順不同である。
- 問 4. グローバルアラインメントでは配列全体がアラインメントされるのに対して、ローカルアラインメント（局所アラインメント）では部分的に類似する領域のみがアラインメントされる。3 行目、6 行目、10 行目、13 行目を変更することで、この擬似コードをローカルアラインメントのスコアを求める擬似コードに変えることができる。それぞれの行をどのように変更すればよいか、説明せよ。

[第8問]

動物に関する次の文1と文2を読み、以下の問1～5に答えよ。

<文1>

脊椎動物の初期発生の特徴の1つとして、体軸形成とパターン形成を行なうオーガナイザー (organizer) の存在があげられる。両生類では、原腸胚の原口背唇部 (dorsal blastopore lip) がオーガナイザー活性をもち、この領域からオーガナイザー因子 (organizer factor) が分泌され、神経や中胚葉の背腹軸に沿ったパターンが誘導される。

問1. 未分化な動物極組織 (animal cap) に試験管内でオーガナイザー因子を作用させると、神経組織が誘導される。その際に誘導される神経組織は頭部の性質をもっている。この事実をもとに、中枢神経の前後軸に沿ったパターン形成のメカニズムの仮説を立て、両生類胚を用いてそれを検証する実験を考案せよ。考案した実験を予想される結果とともに、5行程度で述べよ。

問2. 発生中の神経管の内腔に面した細胞層には神経幹細胞 (neural stem cell) が存在し、さまざまな神経細胞やグリア細胞を生み出す。多様な細胞種が継続して神経幹細胞より生み出される基本的なメカニズムについて、以下のキーワードをすべて用いて5行程度で説明せよ。

キーワード： 非対称分裂、転写因子、分化、ニッチ (niche)

<文2>

哺乳類と鳥類では、体温は一定範囲内に保持されており、通常この温度は環境温度より高いが、正常体温より約6°C上昇すると致死となる。このことからわかるように、体温調節は生物にとって重要な機能である。^(a) 体と環境の間で行われる熱交換は、伝導、放射、蒸発によっている。 陸生の種だけでなく水生の種においても同様である。アザラシやクジラなどのヒレや尾は、脂肪層がなく断熱性に乏しい。これらの部位では、^(b) 内部の特別な仕組み(対向流(counter current)とよばれる) によって過剰な熱損失が防がれている。

問3. 体温は、熱産生と熱放散の双方向調節によって一定に保持される。温度情報を受け取る部位(センサー、受容器ともよばれる)は、体のさまざまな場所に存在する。その存在場所を2つ以上あげよ。また、そのようにさまざまな場所に存在することは体温調節においてどのような意義をもつと考えられるか。3行程度で述べよ。

問 4. 環境温度が一定の範囲内にあるときには、基礎代謝によって産生される熱量が、体表などから失われる熱量を補っている。しかし、この範囲を超えて環境温度が低温、または高温になると、体温を保持するための調節が行われる。低温下、および高温下におかれた場合に行われる主な調節について、下線部 (a) の 3 つの要素を参考にして、5 行程度で述べよ。

問 5. 下線部 (b) について。この機構の原理を図示し、3 行程度で説明せよ。

[第9問]

植物に関する以下の問に答えよ。選択問題 I~VI の 6 問題から 4 問題を選び、答えよ。

[選択問題 I]

植物の細胞は細胞壁をもつ。細胞壁の構造と構築に関する以下の問 1~2 に答えよ。

問 1. 真正双子葉植物に一般的な細胞壁の構造とその構築過程とを、次の 6 つの語をすべて用いて 4 行以内で説明せよ。

〈語群：架橋、ゴルジ体、細胞膜、セルロース、ペクチン、ヘミセルロース〉

問 2. 細胞壁の最内層に形成されるセルロース微繊維の配向は、細胞の伸長方向とどのような関係にあるか。また、その配向はどのような仕組みにより決定されると考えられているか。3 行以内で説明せよ。

[選択問題 II]

細胞内運動に関する次の文を読み、以下の問 3~4 に答えよ。

細胞内では、さまざまな細胞小器官が活発に動き回っており、その運動には細胞骨格系とモータータンパク質が重要な役割を果たしている。脊椎動物では、放射状に広がる微小管とその上を運動するキネシンとダイニンが長距離運動を担い、アクチン繊維とその上を運動するミオシンが近距離運動を担うと考えられている。一方、植物では、細胞小器官の運動における微小管の役割は小さく、アクチン繊維とミオシンが、その主役を担っている。しかし、37 個ものクラスを擁するミオシンスーパーファミリーの中で、植物細胞の中ではたらく分子種は限られており、シロイヌナズナの場合には、クラス XI ミオシンとクラス VIII ミオシンだけが機能している。

問 3. ミオシンに関する以下の記述の中から正しいものを 1 つ選べ。

- (1) 動物細胞に比べて植物細胞内の細胞小器官の運動性は小さい。それは主たる運動を担うミオシンの運動速度が、キネシン、ダイニンなどの微小管モータータンパク質の運動速度に比べて小さいためである。
- (2) 植物ミオシンの一部は原形質流動を担っており、その運動速度は動物ミオシンに比べてはるかに大きい。
- (3) 植物ミオシンの一部は原形質連絡 (plasmodesma) に局在し、細胞間の高速度な物質輸送を担っている。

問 4. 細胞小器官の運動をライブイメージングで観察すると、その動きは決して単純ではないことが分かる。シロイヌナズナに存在する 2 つのクラスのミオシンで、複雑な運動をどのように説明することができるか。自由に推論し、5 行程度で述べよ。

[選択問題 III]

ある植物 P の葉で作られる化合物 X について、以下の問 5 に答えよ。

問 5. 動物がこの化合物 X を摂取すると死ぬ。植物 P は化合物 X を作るにもかかわらず、なぜ死なないのだろうか。考えられる可能性を 3 つあげ、それぞれを 2 行以内で記せ。

[選択問題 IV]

ABC モデルでは、花の発生機構が、3 つのクラス (A、B、C) に分類された遺伝子の作用として説明される。ABC モデルに関連する以下の問 6 に答えよ。

問 6. シロイヌナズナのクラス C 遺伝子 *AGAMOUS* (AG) は、野生型においてどのような機能を果たしているか。AG がもつ 4 つの機能のそれぞれについて、その機能と関連する遺伝子名をあげながら、2 行以内で説明せよ。

[選択問題 V]

葉の形態形成に関する以下の問 7 に答えよ。

問 7. シロイヌナズナの HD-ZipIII 遺伝子群の一つ *PHABULOSA* は、葉の向軸側 (表側) のアイデンティティを制御している。いま、葉の表側でも裏側でも *PHABULOSA* がはたらき、葉が全面的に向軸側の性質をもつ変異体を得られ、その原因遺伝子は *PHABULOSA* 自身であったとする。この変異型 *PHABULOSA* 遺伝子を、シロイヌナズナ野生株の葉の表側のみで発現させた場合、その表現型として期待されることを、理由とともに 3 行程度で記せ。

[選択問題 VI]

植物のリン応答に関する以下の問 8~10 に答えよ。

問 8. 陸上植物のうち約 80% の植物種は菌根菌と共生することにより低リン環境に適応している。陸上植物が菌根菌と共生することにより土壤中のリンを吸収する仕組みを、3 行程度で説明せよ。

問9. 低リン環境に対する陸上植物の一次代謝系の応答例を1つあげ、2行程度で説明せよ。

問10. 土壌のリン濃度が非常に低い地域では、菌根菌と共生しない植物種が優占している。そのような植物種の特徴と、優占している理由について、合わせて4行程度で述べよ。

[第 10 問]

自然人類学に関する以下の問に答えよ。選択問題 I～IV の 4 問題から 2 問題を選び、答えよ。

[選択問題 I]

類人猿の上肢に関する次の文を読み、問 1～2 に答えよ。

チンパンジーの上肢とゴリラの上肢は形態的によく似るが、ヒトの上肢は異なっている。これはしばしば懸垂運動やナックル歩行との関連より議論されてきた。しかしながら、非コード領域を用いた遺伝距離のデータは、ヒトとチンパンジーそれぞれが、ゴリラに対してより、お互いに近縁であることを示している。

問 1. ゴリラ・チンパンジー・ヒトの上肢の形態構造の異同について説明せよ。

問 2. 遺伝距離データと矛盾しないような、上肢の形態進化のシナリオを 2 つ記せ。

[選択問題 II]

selective sweep に関する以下の問 3～5 に答えよ。

問 3. selective sweep とはどのような現象か。

問 4. ヒトにおいて selective sweep が観察される遺伝子領域にはどのようなものがあるか。

問 5. 人類の活動によって生じる selective sweep と同様の現象が、動植物において観察される代表的な例にはどのようなものがあるか。

[選択問題 III]

DNA を用いた研究立案に関する以下の問 6 に答えよ。

問 6. DNA を解析することで霊長類の社会構造を調べたい。下記の用語（複数可）を参考にし、研究を考案せよ。具体的に「何が問題で、どのように調べるのか」、「予想される困難さ、さらなる問題」も含め記せ。

Mate-system, Dispersal, Paternity, STR, Mitochondria DNA, Y-chromosome, Hybridization

[選択問題 IV]

個体群に関する次の文を読み、以下の問 7～9 に答えよ。

ある動物の個体群について考える。この個体群の雌は、年に一度の繁殖期に出産する。生まれた個体のうち翌年の繁殖期まで生き残ったものは齢 1 になり、以降、 i 回目の繁殖期まで生き残った個体は、齢 i になる。齢 1 の雌は雌あたり 0.7 個体の娘を産み、齢 2 およびそれより高齢の雌は毎年雌あたり 0.1 個体の娘を産む。ただし、生まれた娘のうち齢 1 に至る前に死亡するものは、この数に含まれていない。また、ある雌が翌年の繁殖期まで生存する確率は、齢 1 の雌では 80%、齢 2 およびそれより高齢の雌では 50%である。

問 7. ある年の繁殖期には、齢 1 の雌が 90 個体、齢 2 およびそれより高齢の雌が 10 個体存在した。翌年の繁殖期に存在する雌の総数を、計算式とともに答えよ。

問 8. 出生率と生存率に変化がない場合、この個体群は、長期的にはどのような状態になると考えられるか。理由とともに答えよ。

問 9. この個体群の雌において齢 1 の雌が占める割合は、長期的には一定の値に収束する。この値を求め、計算式とともに答えよ。

[第 11 問]

系統分類に関する以下の問に答えよ。必須問題（問 1～4）に加え、選択問題 I（問 5～6）または選択問題 II（問 7～10）から一方を選び、答えよ。

[必須問題]

次の文を読み、以下の問 1～4 に答えよ。

生物は細胞の基本的な構造の差異から、 生物と 生物に分類される。 生物は 1970 年代にリボゾーム RNA の塩基配列に基づき 細菌と 細菌に大別された。 生物の起源に関しては 説で説明される。 説によれば、 細菌が のオルガネラの起源になったと考えられる。生物の大分類としては 1969 年の ^(a) ホイッタカー (Whittaker) の 5 界説 が有名である。2005 年以降、 生物は 6 または 5 個のスーパーグループ (supergroup) に分類されるという見解が一般的になった。^(b) スーパーグループの分類は、分子系統解析の結果および生物の生活環における単細胞の時期等の表現形質に基づいている。

なお、以下が Adl *et al.* (2005) のスーパーグループである。

Amoebozoa, Opisthokonta, Archaeplastida, Chromalveolata, Rhizaria, Excavata

問 1. ～ に入る適切な語を記せ。

問 2. 説の根拠として、 生物の細胞における DNA の分布があげられる。それはどのようなものか、緑藻クラミドモナス (*Chlamydomonas reinhardtii*) を例にして 1 行程度で説明せよ。

問 3. 下線部 (a) について。ヒト (*Homo sapiens*) はホイッタカーの説に基づくどどのように大分類されるか、理由とともに 1 行程度で述べよ。

問 4. 下線部 (b) について。スーパーグループの分類体系では、ミドリムシ (*Euglena gracilis*) は Excavata に分類される。ミドリムシの核ゲノムの遺伝子を系統解析すると、様々なスーパーグループ由来の遺伝子が検出される。これらの由来の中で最も多いものは当然 Excavata と予想される。2 番目に多い由来のスーパーグループは何と予想されるか、理由とともに 3 行程度で述べよ。

[選択問題 I]

動物に関する以下の問 5～6 に答えよ。

問 5. 脊椎動物ではデボン紀を境に肉鰭類のみが高度に陸棲適応を遂げたと言われる。初期の肉鰭類（ユーステノプテロン類やシーラカンス類）の機能形態学的特徴に着目し、なぜ肉鰭類が陸棲に移行し得たかを、他の系統群と比較しながら 5 行以内で論ぜよ。

問 6. 有羊膜卵の構造を図示せよ。その構造を獲得したことで、脊椎動物はどのような環境適応を示すこととなったか、3 行程度で述べよ。

[選択問題 II]

植物に関する次の文を読み、以下の問 7～10 に答えよ。

植物の分類体系はリンネからクロンキストまで多くの分類学者によって提唱されてきたが、それらはみな形態情報を基礎とするものであった。しかし 1998 年に分子系統解析にもとづく APG 分類体系が発表され、新たな時代を迎えている。APG 分類体系の基本的な考え方の一つは、 は 群でなければならないということである。 群とは単一の と、その全ての を含む群と定義される。APG 分類体系においては、従来の単子葉植物に相当する は認められるが、双子葉植物に相当する は認められない。

問 7. APG の A はどのような用語を省略したものか、その用語を答えよ。また、その用語の意味を 2 行以内で説明せよ。

問 8. ～ に入る適切な語を記せ。

問 9. アサガオ、イネ、クラミドモナス、シロイヌナズナ、タバコ、ヒメツリガネゴケ、ミヤコグサのうち、APG 分類体系に含まれない（内群ではない）ものはどれか、全て記せ。

問 10. 問 9 にあげた植物名のうち、以下の有用作物と同じ科に所属するものはどれか。対応する 4 組の植物名、作物名と科名をそれぞれ線で結んで記せ（例：ヤマザクラ — リンゴ — バラ科）。

作物名：サツマイモ、大豆、トマト、ワサビ

科名： アブラナ科、ナス科、ヒルガオ科、マメ科