

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。
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冊と答案用紙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5問ある。問題の内訳と選択解答の方法は以下の通りである。
  - 第1問～第4問：それぞれ、分子生物学、細胞生物学、生化学、遺伝学の筆記問題
  - 第5問：論述形式の問題で、生物化学、生物情報科学、動物学、植物学、人類学、進化・自然誌学分野の13の小問からなる。**第1問～第4問から、任意の2問を選んで解答せよ。**  
**また、第5問の13の小問から、任意の2つの小問を選択して解答せよ。**なお、第5問では同じ分野から2つの小問を選択しても良い。
5. **第1問～第4問から選択した2問と、第5問から選択した2つの小問の解答を、それぞれ答案用紙1枚ずつに分けて、合計4枚に記入すること。**
6. 各答案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. 第1問～第4問については、各答案用紙の問題番号欄に問題番号を一つだけ記入すること。第5問については、「5-X（Xは小問の問題番号）」のように記入すること。
8. 答案用紙の科目名の欄には、「専門科目」と記入すること。
9. 答案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、答案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. 答案用紙には、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. 解答しない場合でも答案用紙には受験番号、氏名、および問題番号を記入して提出すること。
12. 答案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]

次の文を読み、以下の問1～8に答えよ。

遺伝子の本体である DNA は mRNA に転写され ア に翻訳される。DNA と RNA の構成成分の違いの1つは糖 (sugar) の種類で、DNA は イ であるのに対し RNA では ウ である。

DNA の解析方法に、アガロースゲル電気泳動法 (agarose gel electrophoresis) がある。DNA は中性の緩衝液中で エ に帯電しており、ウェル (well) に入れられた DNA に電圧をかけると オ 極に移動する。その時、(a)分子ふるい効果 (molecular sieve effect) により、短い DNA 断片ほど早く移動するため、その長さにより分離することができる。ただし、DNA の形状によっても移動速度は影響を受ける。

大学院生の K さんは、大腸菌染色体のある領域の性質を調べるため、その染色体の一部を制限酵素 A で処理し、プラスミドベクター (plasmid vector) の制限酵素 A の切断部位に組み込み、大腸菌に導入して以下の実験を行った。

### [実験 I]

増殖が停止した定常期の大腸菌から、中性条件でプラスミド DNA を回収した。回収したプラスミド DNA を、処理しないもの、制限酵素 A で処理したもの、制限酵素 B で処理したもの、または制限酵素 A 及び B で同時に処理したものを、アガロースゲル電気泳動で解析し、泳動後の DNA を染色した。図1は染色後のゲルに見られた DNA 断片のバンドの模式図である。

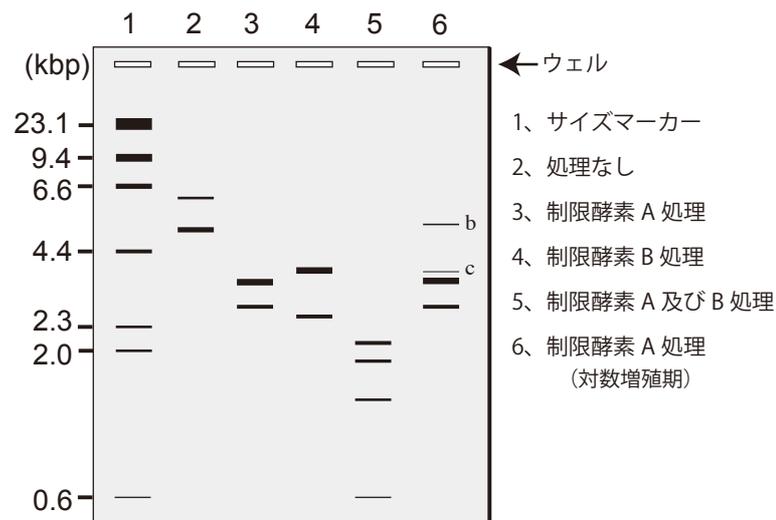


図1. 電気泳動後のゲルの模式図。ゲル上の数字はレーンの番号。各レーンの説明は図の右に示す。(kbp: kilo base pair、キロ塩基対)

[実験 II]

次に盛んに分裂している対数増殖期の大腸菌からプラスミド DNA を中性条件で回収し、制限酵素 A で処理して泳動パターンを調べた。その結果、定常期では見られなかった薄いバンドが 2 本現れた (図 1 レーン 6 の b と c)。これらが何であるか調べるため、バンドをアガロースゲルから抽出して電子顕微鏡で観察したところ、図 2 のような枝分かれした DNA が観察できた (図 2 の b と c)。さらにそれぞれの写真から幹と枝の長さを測定したところ図 2 の下の図 (b', c') のような結果になった。

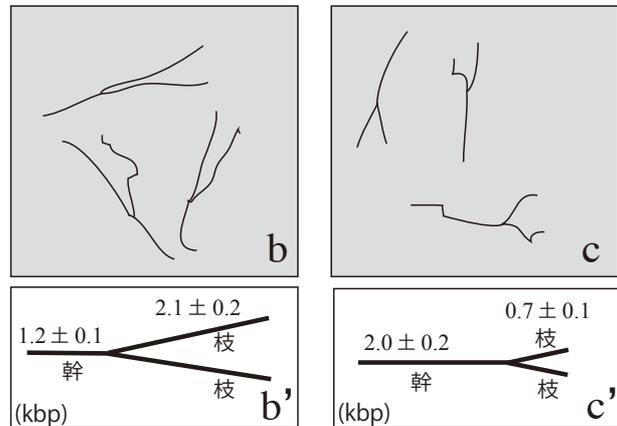


図 2. ゲルから抽出した DNA の電子顕微鏡像の模式図 (b, c)。幹と枝の長さの測定結果 (b', c')。±は標準誤差を示す。

問1.  ~  に入る最も適切な語を記せ。

問2. 下線部 (a) について。約 0.3 kbp と約 0.4 kbp の DNA 断片を電気泳動で分離しようとしたが、下の泳動条件では 2 本のバンドが近すぎて明瞭に分離できなかった。2 つの DNA 断片を分離するための泳動条件の変更点として最も適切なものを (カ) ~ (ケ) から 1 つ選べ。

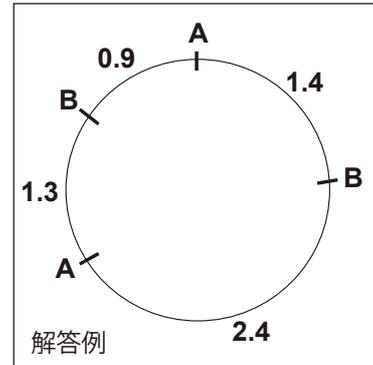
泳動条件：電極間の距離が 13 cm の泳動槽を使用。1%のアガロースゲル、電圧 100 V、泳動時間 10 分間、トリス-酢酸-EDTA 緩衝液 (TAE) を使用。

- (カ) アガロースの濃度を上げて、泳動時間を長くする。
- (キ) アガロースの濃度を下げて、泳動時間を長くする。
- (ク) アガロースの濃度を上げて、泳動時間を短くする。
- (ケ) アガロースの濃度を下げて、泳動時間を短くする。

問3. 実験 I について。回収したプラスミド DNA を制限酵素処理しないで泳動した場合、2 本のバンドが観察された (図 1、レーン 2)。これら 2 本のバンドに含まれる DNA の構造上の特徴を 3 行程度で説明せよ。

問 4. 実験 I について。2 種類の制限酵素 (A と B) のそれぞれの切断パターン (図 1、レーン 3、4)、および両方の制限酵素で同時に切断したパターン (図 1、レーン 5) から、このプラスミドの制限酵素地図を下の解答例にならって作成せよ。制限酵素認識部位間の距離 (kbp) も書き込むこと。ただし、バンドの位置から推定される DNA の長さは下の値を用いること。

くそれぞれバンドの位置から  
推定される DNA の長さ (kbp) >  
レーン 3 : 3.3、2.7  
レーン 4 : 3.5、2.5  
レーン 5 : 2.1、1.9、1.4、0.6



問 5. 実験 II のような増殖期の細胞に見られる DNA 複製で、リーディング鎖 (leading strand) とラギング鎖 (lagging strand) の特徴について、下の用語を全て用いて 4 行程度で説明せよ。それぞれの用語には下線を引くこと。

プライマー、5'→3'方向、3'→5'方向、岡崎フラグメント (Okazaki fragment)、  
DNA 合成酵素

問 6. 実験 II について。枝分かれ構造の DNA は、プラスミドに組み込まれた染色体 DNA の、どのような性質により生じたと推定されるか。次の (サ) ~ (セ) の中から最も適した説明を選べ。ただし、このプラスミドの複製は、プラスミド上の複製起点から特定の 1 方向のみに進行する。

- (サ) 組み込まれた DNA には特定の場所でプラスミドの複製を完全に阻害する性質がある。
- (シ) 組み込まれた DNA には不特定の場所でプラスミドの複製を完全に阻害する性質がある。
- (ス) 組み込まれた DNA には特定の場所でプラスミドの複製を一時的に阻害する性質がある。
- (セ) 組み込まれた DNA には不特定の場所でプラスミドの複製を一時的に阻害する性質がある。

- 問 7. 問 6 で解答したように推定した根拠を 3 行程度で述べよ。
- 問 8. プラスミドに組み込まれた染色体 DNA の配列を解析したところ、タンパク質に翻訳される領域が見つかった。そのタンパク質の機能を調べるための一般的な方法を 3 つ考案し、それぞれ 1 行程度で述べよ。

## [第2問]

次の文を読み、以下の問1～6に答えよ。

一般に、微生物から動植物までの細胞は外部からのシグナル (signal) を受け取って特定の応答をする。細胞間のシグナル伝達には、さまざまなリガンド (ligand) と受容体がかかわっている。例えば神経系においては、神経細胞で作られる低分子量の神経伝達物質が軸索終末から放出され、標的となる神経細胞に存在する神経伝達物質受容体を介してシグナルを伝える。この場合、シグナルは、シナプス (synapse) とよばれる部位で、局所的に、ミリ秒 (millisecond) 単位で素早く伝えられる。一方、神経細胞の中には、こうした低分子量の神経伝達物質以外に、ペプチド (peptide) 性リガンドを作るものもある。ペプチド性リガンドと低分子量神経伝達物質は、共に水溶性 (親水性) 分子である。細胞内で作られたこれらの分子を細胞外に放出するときには、(a) 真核生物に共通の過程が用いられる。一方で、ペプチド性リガンドと低分子量神経伝達物質は少し異なるしくみで細胞間および細胞内のシグナル伝達を行っている。ペプチド性リガンドが受容体に結合することで神経細胞に生じるゆっくりとした応答の性質を調べるために、以下の実験 I および実験 II を行った。

### [実験 I]

図 1 のような神経節 (多数の神経細胞が集まっていて、神経束の軸索がそれらの細胞にシナプス終末を作る構造) を、生理食塩水の入ったディッシュ (Petri dish) に入れて実験を行った。この神経節は大型の細胞 P と小型の細胞 Q よりなる。また、この神経節には、物質 X を含む軸索よりなる神経束 I と、物質 X を含む軸索および物質 Y を含む軸索よりなる神経束 II が、それぞれ細胞 P と細胞 Q にシナプス終末を形成している (図 1)。ただし、細胞 P と細胞 Q の間にはシナプス結合はないものとする。

まず、神経節の大型細胞 P において電位応答 (シナプス電位とよぶ) を記録した。(b) 神経束 I を 1 回電気刺激 (単発刺激) すると物質 X が放出され、速い興奮性シナプス電位 (FEP) の応答が引き起こされた (図 2A)。一方、(c) 神経束 II に高頻度刺激 (20Hz 程度) を 5 秒間加えると物質 X と物質 Y が放出され、ゆっくりとした電位 (LSEP) の応答のみが引き起こされた (図 2B)。次に、神経束 II に電気刺激を加える代わりに、神経細胞に作用することが知られている濃度の GnRH ペプチドを、記録している細胞 P の近傍に局所投与したところ、LSEP (図 2B) に似たような電位応答が見られた (図 2C)。

[実験 II]

次に、神経節の小型細胞 Q において電位応答を記録したところ、神経束 I を刺激しても何も応答はなかった。一方、神経束 II を単発刺激すると図 2A と同様の FEP が記録され、高頻度刺激すると図 2A の FEP と図 2B の LSEP が足し合わされたような応答が記録された。次に、LSEP 発生のおよびそのしくみを調べる目的で、細胞 P から記録をする時に (d) GDP と GTP の交換反応を阻害する薬物を電極の中に入れて細胞内に導入して記録したところ、神経束 II の高頻度刺激を行っても LSEP が見られなくなった。

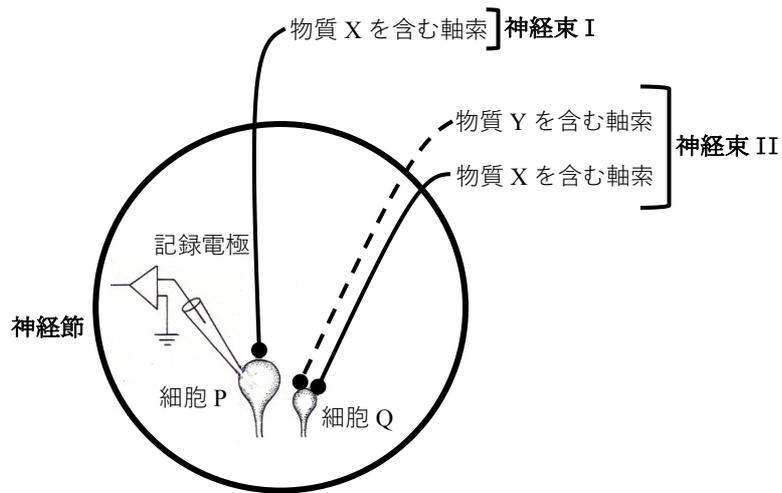


図 1. 神経節を構成する大型細胞 P と小型細胞 Q、およびそれらに入力する神経束 I (物質 X を含む軸索 (——) よりなる) と神経束 II (物質 X を含む軸索 (——) と、物質 Y を含む軸索 (-----) よりなる) の関係を示す模式図。●はシナプス終末を示す。ここでは、記録電極を用いて細胞 P からの電位応答を解析する実験を示している。

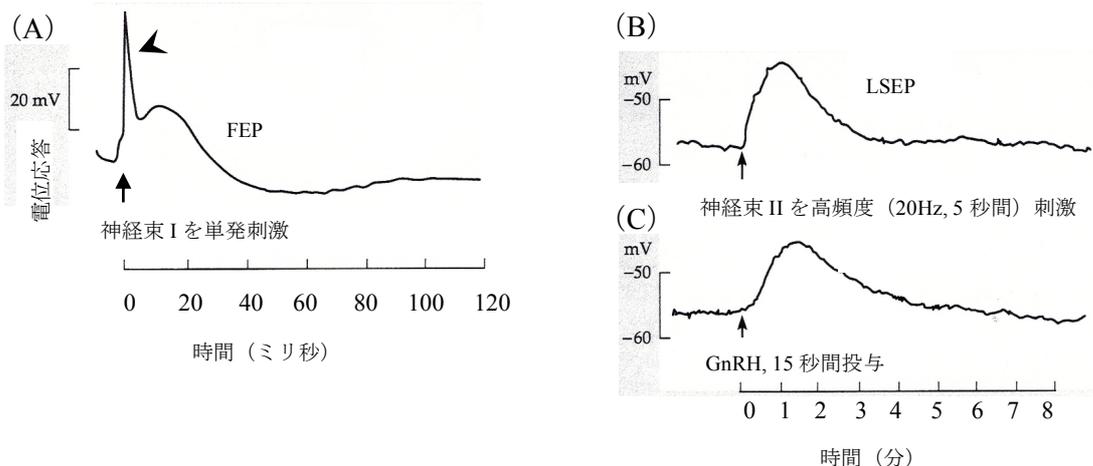


図 2. 神経節の大型細胞 P の電位応答の記録。(A) 神経束 I に↑の時点で単発刺激を行うと FEP が生じた。ここでは電位応答が十分に大きいため活動電位 (矢尻) も生じている。(B) 神経束 II に↑の時点で高頻度刺激を与えると LSEP が生じた。(C) 細胞 P の近傍に↑の時点でペプチド GnRH を局所投与すると、LSEP に似た遅いゆっくりとした電位応答が生じた。

問1. 下線部 (a) について。以下の小問 (1) ~ (3) に答えよ。

- (1) この過程は何とよばれるか、その名称を1語で答えよ。
- (2) (1)の過程は、あるイオンの細胞内濃度が上昇することが引き金となって起こることが知られている。このイオンは何か、1語で答えよ。また、そのイオンの細胞内濃度の時間的変動を計測する方法について、3行程度で述べよ。
- (3) (1)の過程により、細胞内で作られた水溶性の神経伝達物質やペプチド性リガンドが細胞外に放出される分子機構について、以下の用語を全て用いて4行程度で述べよ。それぞれの用語には下線を引くこと。

t-SNARE、v-SNARE、小胞膜、シナプス前終末の膜、センサー

問2. 下線部 (b) について。神経束 I の単発刺激で FEP が生じるしくみは、神経筋シナプスにおける興奮性シナプス電位発生と同じと考えられている。神経束 I の単発刺激で放出された物質 X は何と考えられるか、その名称を答えよ。また、この電位が生じるしくみについて、3行程度で述べよ。

問3. 下線部 (c) について。物質 Y の候補としては GnRH が考えられるが、実験 I の結果だけでは、そのように結論するには不十分である。下線部 (c) の実験に加えて、より強い実験的証拠を得るための実験を複数考案し、合わせて3行程度で述べよ。

問4. 細胞 P と細胞 Q のそれぞれにおける物質 X の受容体 (X-R とよぶ) と物質 Y の受容体 (Y-R) の発現の有無について、1行程度で述べよ。

問5. 下線部 (d) について。この実験結果から、Y-R はどのような種類の受容体であると考えられるか、その一般的な名称を1語で答えよ。また、この受容体活性化の下流にある細胞内シグナル伝達の一般的なしくみについて、5行程度で説明せよ。

問6. 問4で答えた受容体の発現と実験 I および II の全てを参考にして、物質 X と物質 Y がそれらの受容体に応答を引き起こす経路の相違点について考察し、4行程度で述べよ。

## 草稿用紙

[第3問]

次の文1と文2を読み、以下の問1～8に答えよ。

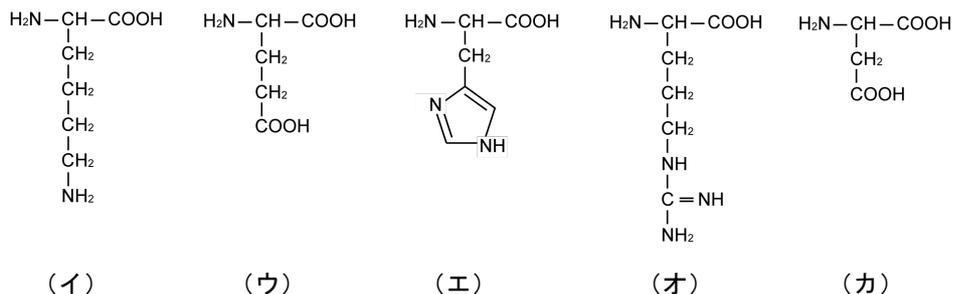
<文1>

タンパク質を構成するアミノ酸は、 $\alpha$ 炭素と呼ばれる炭素原子に、アミノ基、カルボキシ基、水素原子、側鎖が結合した構造をもつ。タンパク質に含まれるアミノ酸は、 $\alpha$ 炭素に結合した側鎖の種類によって分類される。アミノ酸の化学的性質やその並びと数の違いにより、タンパク質は多様な性質をもつ。アミノ酸は、側鎖の違いによって極性アミノ酸と非極性アミノ酸に大別されるが、非極性アミノ酸はタンパク質分子の内側に集まる傾向にあるため、タンパク質の折りたたみに重要な役割を果たす。このような非極性アミノ酸の中でも、トリプトファン (tryptophan)、フェニルアラニン (phenylalanine)、ア は、芳香族アミノ酸として知られている。一方で極性アミノ酸である <sup>(a)</sup> アスパラギン酸 (aspartic acid)、グルタミン酸 (glutamic acid)、ヒスチジン (histidine)、リシン (lysine)、アルギニン (arginine) の5種類は側鎖が水溶液中でイオン化する。そのため、これらのアミノ酸を含むタンパク質は部分的に電荷を持ち、全体として酸性、中性、塩基性のいずれかとなる。このタンパク質分子がもつ電荷は水溶液の pH によって変化するため、<sup>(b)</sup> それぞれのタンパク質には、見かけ上の電荷がゼロになる固有の pH が存在する。多くのタンパク質は他の分子と結合することで機能を発揮するが、タンパク質が結合する物質は、イオン、小分子、巨大分子などさまざまである。<sup>(c)</sup> タンパク質とそれらの物質との結合は、水素結合、イオン結合、疎水結合など、および、それらの組み合わせによって形成されており、それによって親和性が確保されている。

問1. ア に入る最も適切なアミノ酸の名称を日本語もしくは英語で記せ。

問2. 下線部 (a) について。以下の (イ) ~ (カ) のアミノ酸が、これらの5種類のいずれに対応するのか答えよ。

(解答例 (サ) トリプトファン)



問3. 下線部 (b) について。このようなタンパク質に固有の pH の名称を答えよ。

問4. 下線部 (c) について。DNA に結合するタンパク質において、DNA に直接結合するアミノ酸が別のアミノ酸に置換された場合、DNA との結合に影響がでる場合がある。その理由について、水素結合とイオン結合のいずれか 1 つを取り上げて 3 行程度で答えよ。

<文 2>

電気泳動法 (electrophoresis) は、電場中ではタンパク質が、電荷の総和、分子の大きさ、形状に応じた速度で移動する性質を利用した分析法である。タンパク質の電気泳動法として、ドデシル硫酸ナトリウム (sodium dodecyl sulfate : SDS)

(図 1) を利用した SDS ポリアクリルアミドゲル電気泳動法 (SDS polyacrylamide gel electrophoresis : SDS-PAGE) がある。SDS-PAGE は、高度に架橋されたポリアクリルアミドゲルの中でタンパク質を電気泳動する分析方法である。(d) タンパク質を SDS と混合し加熱することで SDS をタンパク質に結合させる。さらに、(e) 多量体や複合体を形成しているタンパク質について、2-メルカプトエタノール (2-mercaptoethanol) (図 2) を加えることで、はじめて個々の構成タンパク質の分析が可能になる場合がある。(f) SDS-PAGE では、多くの場合、同一の大きさのタンパク質はほとんど同じ速度で泳動されるため、個々のタンパク質を分子量の違いによって分析することができる。また、(g) 水に溶けないタンパク質の分析も可能なため、膜タンパク質や巨大な分子複合体の一部を構成するタンパク質の分析にも利用できる。

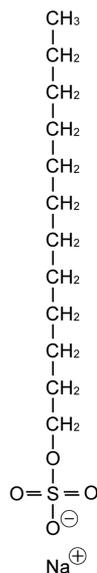


図 1. ドデシル硫酸ナトリウム (SDS) の構造式。

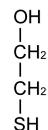
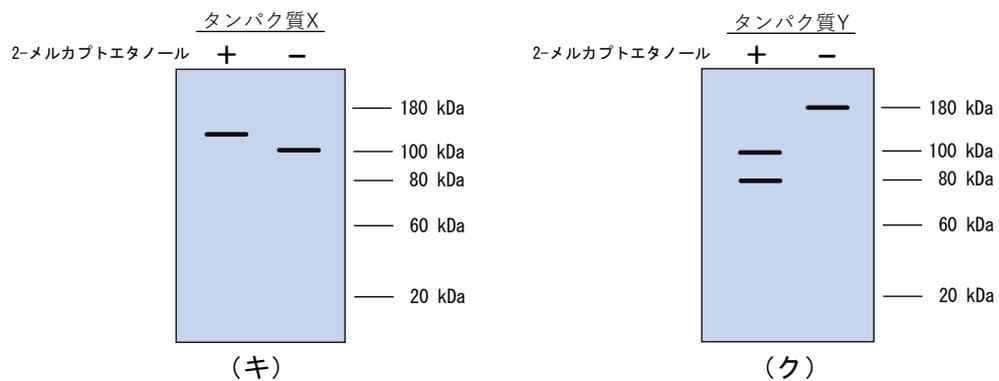


図 2. 2-メルカプトエタノールの構造式。

問5. 下線部 (d) について。SDS とタンパク質を混合し加熱することで、電気泳動法により、タンパク質の分子量に応じた分離が可能になる。その理由を 2 行程度で答えよ。

問6. 下線部 (e) について。異なるタンパク質 X と Y について、2-メルカプトエタノールで処理して、あるいは処理せずに SDS-PAGE を行い、クーマシーブリリアントブルー色素 (coomassie brilliant blue) で染色した。その結果、以下の (キ) および (ク) に示す電気泳動像を得た。2-メルカプトエタノール処理の有無によって、(キ) および (ク) のような電気泳動パターンの変化が生じた理由を、それぞれについて 3 行程度で答えよ。



問7. 下線部 (f) について。単一のポリペプチド鎖からなる、ほぼ同一の分子量であることが確認されているタンパク質 Z とタンパク質 W について、2-メルカプトエタノールの存在下で SDS-PAGE によって分析した。その結果、この場合には、タンパク質 Z の泳動速度がタンパク質 W の泳動速度に比べて遅いことがわかった。考えられる理由の 1 つを 3 行程度で答えよ。

問8. 下線部 (g) について。水に溶けないタンパク質の分析も可能な理由について、タンパク質の親水性の領域および疎水性の領域を考慮して 2 行程度で答えよ。

草稿用紙

## [第4問]

次の文1と文2を読み、以下の問1～8に答えよ。

<文1>

ゲノム上を転移しゲノムに変動をもたらす因子として、“動く DNA”トランスポゾン (transposon) が知られている。トランスポゾンは、原核生物や真核生物などさまざまな生物種で見出され、その転移様式から2種類に大別されている。一つは、トランスポゾン自身が特定の遺伝子座 (locus) から切り出され他の場所に挿入される (a) DNA 型トランスポゾン、もう一つは、RNA を中間体とする (b) レトロトランスポゾン (retrotransposon) である。

DNA 型トランスポゾンは  方式で転移する。多くの DNA 型トランスポゾンの両端には  反復配列が存在し、これはトランスポゾンの転移に必須な配列である。DNA 型トランスポゾンが転移する場合には、トランスポゾンが正確に切り出される場合と、不正確に切り出される場合とがある。後者の場合、染色体上に塩基の挿入や  などの変異が生じることがある。このような変異をトランスポゾンの  とする。新たな染色体位置にトランスポゾンが挿入されると、その両側に  反復配列が形成される。これは、挿入に際して二本鎖の DNA に非対称な位置に  が生じ、数塩基の一本鎖領域が形成されるため、この部分が修復されたことに起因している。

トランスポゾンが頻繁に転移すると生物にとって致命的になるので、通常その転移は、(c) DNA のメチル化などの仕組みによって抑制されている。一方、ノーベル賞受賞者の  の研究によって解明されたトウモロコシの粒の斑入り現象のように、トランスポゾンの転移は生物のさまざまな形質に影響を与える場合がある。また、ショウジョウバエの  のように、トランスポゾンは遺伝子導入のベクターとして用いられることもある。

問1.  ～  に入る最も適切な用語を、下記から選んで答えよ。

Ac 因子、Ds 因子、P 因子、認識部位、逆位、同方向 (順方向)、欠失、転座、増幅、二重鎖切断、消化、触媒、タンデム (tandem)、ニック (nick)、ビードル (Beedle)、マクリントック (McClintock)、メセルソン (Meselson)、フットプリント (footprint)、ゲルシフト (gel shift)、コピー・アンド・ペースト (copy-and-paste)、カット・アンド・ペースト (cut-and-paste)

問 2. 下線部 (a) について。DNA 型トランスポゾンの転移反応に関わる酵素の名称を 1 つ記せ。

問 3. 下線部 (b) について。レトロトランスポゾンの転移反応に関わる酵素の名称を 1 つ記せ。

問 4. 下線部 (c) について。一般に、5'-CG-3' 配列内のシトシンがメチル化を受ける場合が多い。このことを考慮し、細胞分裂を繰り返してもメチル化が安定的に維持される仕組みについて、以下の用語を全て用いて、5 行程度で答えよ。それぞれの用語には下線を引くこと。

CG、シトシン、DNA 複製、新生鎖、ヘミメチル (hemimethyl)、  
DNA メチル基転移酵素 (DNA methyltransferase)、メチル基

(次のページに続く)

<文 2>

ある植物は一つの個体に多数の花を生じ、その花（花卉）は、紫色、白色、斑入りの3つの表現型を示す。この花の色は、3つの対立遺伝子（アレル、allele） $M$ 、 $m1$ 、 $m2$ によって決定されている。遺伝子型  $MM$  をもつ系統は紫色の花を、 $m1m1$  をもつ系統は白色の花を、 $m2m2$  をもつ系統は主に斑入りの花を生じる。 $M$  は野生型の遺伝子であり、色素合成を触媒する酵素（CHS）をコードしているが、(d)  $m1$  ではその機能は完全に喪失している。一方、 $m2$  では、コード領域の配列は  $M$  と同じであるが、プロモーター領域にトランスポゾンが挿入されており、この挿入により遺伝子の転写が完全に抑制されている。

CHS は紫色の色素を合成する鍵酵素であり、この植物では CHS をコードする遺伝子にパラログ（paralog）は存在しない。斑入りとは、色素合成ができない白い細胞からなる領域と合成された色素により紫色に呈色する細胞からなる領域が斑状に存在することを言う。なお、このトランスポゾンは、正確に、ある程度の頻度で切り出されるが、不正確には切り出されないものとする。

これらの系統を用いて以下の実験 I～III を行った。

[実験 I]

$MM$  系統と  $m1m1$  系統を交配したところ、得られた F1 個体は紫色の花のみを生じた。この F1 個体を自家受粉させて、F2 の表現型を調べた。

[実験 II]

$m2m2$  系統の自家受粉によって得られた次世代を個体ごとに観察した結果、2つのタイプ（P と Q）に分けられることが判明した。(e) タイプ P の個体では、その個体内のほとんどの花は斑入りであったが、頻度は低いものの完全に白や紫の花も生じていた。また、斑入りの花には、紫の領域が大きい花やその領域がごく小さい花など、さまざまな模様が存在した。タイプ Q の個体は紫色の花のみを生じており、この個体の出現頻度は極めて低かった。タイプ Q の個体を自家受粉し、次世代を調べたところ、すべての個体が紫色の花のみを生じた。

[実験 III]

$m1m1$  系統と  $m2m2$  系統を交配して F1 個体を得た。さらに、得られた F1 個体の自家受粉により、F2 個体を得た。

問 5. 下線部 (d) について。遺伝子の機能が完全に喪失する場合には、どのような変異が存在するか。その例を 1 行程度で説明せよ。

問 6. 実験 I について。F2 では、どのような花をもつ個体が、どのような分離比で出現すると推定されるか。紫花個体：白花個体=1:0 のように答えよ。

問 7. 実験 II について。以下の小問 (1) ~ (3) に答えよ。なお、多数の細胞からなる花弁は、花弁の原基細胞が細胞分裂を繰り返すことにより形成される。

- (1) タイプ P の個体において、斑入りの花はどのような仕組みで生じるのか。花弁における細胞分裂を考慮しながら、5 行程度で説明せよ。
- (2) タイプ P の個体において、紫の領域が大きかったり、小さかったりするのとはどのような原因が考えられるか。3 行程度で説明せよ。
- (3) タイプ Q のような紫色の花のみをもつ個体が生じる現象は、なんと呼ばれているか。その名称を記せ。また、タイプ Q の個体は、どのように生じたと考えられるか。3 行程度で説明せよ。

問 8. 実験 III について。以下の小問 (1) および (2) に答えよ。なお、解答する際には、実験 II の下線部 (e) の記述を参考にすること。また、白い花のみを生じる個体を「タイプ R の個体」とする。

- (1) F1 個体には、P、Q、R のうち、どのタイプの個体が出現すると推定されるか。理由とともに、3 行程度で答えよ。
- (2) F2 には、どのタイプの個体が、どのような割合で出現すると推定されるか。F1 個体のタイプごとに、理由とともに、4 行程度で答えよ。

[第5問]

【小問1】（生物化学分野）

DNA シーケンシング（塩基配列決定法）について、以下の（1）および（2）に答えよ。説明に図を用いても構わないが、行数にはカウントしない。

- (1) ジデオキシ法（サンガー法；Sanger's method）と呼ばれる塩基配列決定法の原理について、以下の全ての用語を用い、5行程度で説明せよ。それぞれの用語には下線を引くこと。

電気泳動法、デオキシヌクレオチド3リン酸（dNTP）、  
標識、ジデオキシヌクレオチド3リン酸（ddNTP）

- (2) ジデオキシ法以外の塩基配列決定法を1つ挙げ、その原理について5行程度で説明せよ。

【小問 2】（生物化学分野）

ある 2 倍体のモデル動物において、遺伝子 X をモルフォリノ法（注）により機能阻害したところ、発生異常が生じた。一方、この遺伝子内に短い欠失をもつホモ接合変異体を作製したところ、そのような発生異常は生じなかった。この欠失変異により、タンパク質の読み枠のアミノ末端近くに終止コドンが生じていた。以下の（1）および（2）に答えよ。

（注）モルフォリノ法

標的 mRNA の塩基配列に相補的な塩基配列をもつモルフォリノオリゴ（モルフォリン環をもち、分解されにくいオリゴヌクレオチド）を受精卵に注入し、標的 mRNA にハイブリダイズさせることにより、その機能を阻害する方法。

- （1） 2 倍体のモデル動物において、ホモ接合欠失変異体を作製するためには、どのような方法があるか。作製方法を 1 つ挙げ、6 行程度で手順を述べよ。
- （2） なぜ、モルフォリノ法による機能阻害では発生が異常になり、欠失変異体では発生が正常だったのか。考えられる原因を 1 つ挙げ、その可能性を検証する方法とともに、6 行程度で具体的に述べよ。

【小問 3】（生物情報科学分野）

ヒト培養細胞である HeLa 細胞に RNA ウイルスが感染すると、遺伝子発現パターンが大きく変動してインターフェロンが誘導され、生体防御機構がはたらく。この現象に関する以下の (1) と (2) について、下記の用語を用いて答えよ。それぞれの用語には下線を引くこと。なお、全ての用語は (1) か (2) のいずれかで必ず 1 回以上用いること。説明に図を用いても構わないが、行数にはカウントしない。

- (1) RNA ウイルスの感染により発現が変動した遺伝子群を網羅的に同定する実験的方法について、3 行程度で述べよ。
- (2) (1) で得られた結果をもとに、RNA ウイルスの感染により発現が変動した遺伝子群の機能を推定したい。また、それらの遺伝子発現を制御するシグナル伝達経路を推定したい。そのためのデータ解析方法について、それぞれ 4 行程度で解説せよ。

トランスクリプトーム (transcriptome)、転写因子、パスウェイ解析、  
RNA シークエンシング (RNA-Sequencing)、  
参照ゲノム配列 (reference genome sequence)、  
遺伝子オントロジー解析 (Gene Ontology analysis)

【小問 4】（動物学分野）

マウスの発生過程では、胚盤胞のうち内部細胞塊と呼ばれる一部の細胞群から胚が形成される。内部細胞塊の細胞群からさまざまな器官原基が構築される過程では、その他の脊椎動物と類似したプロセスを経て発生が進行する。以下の（1）および（2）に答えよ。

- (1) 内部細胞塊の細胞群からさまざまな器官原基が構築される過程について、以下の全ての用語を用いて、8行程度で説明せよ。それぞれの用語には下線を引くこと。

外胚葉、肝臓、骨格筋、色素細胞、消化管、神経管、神経堤細胞、脊索、体節、中胚葉、内胚葉、脳

- (2) 前後軸に沿って分節的な構造をとる脊椎骨の発生には、Hox クラスタ一遺伝子群が関わる。Hox クラスタ一遺伝子群のゲノム中の遺伝子配置と発現様式の関係、および Hox クラスタ一遺伝子群の脊椎骨発生における役割について、あわせて5行程度で答えよ。

【小問 5】（動物学分野）

多くのペプチドホルモンは、前駆体タンパク質の翻訳後修飾を経て成熟ホルモンへと構造変換される。以下の（1）～（3）に答えよ。説明に図を用いても構わないが、行数にはカウントしない。

- (1) 脳下垂体ホルモン前駆体であるプロオピオメラノコルチン（Pro-opiomelanocortin; POMC）を例にとり、翻訳後修飾の過程、および成熟ホルモンの生理作用について、以下の用語を全て用いて 8 行程度で述べよ。それぞれの用語には下線を引くこと。

前葉、中葉、シグナルペプチド、塩基性アミノ酸対、コルチコイド (Corticoid)、前駆体タンパク質転換酵素 (Pro-protein convertase)、アミド化、体色変化

- (2) POMC から翻訳後修飾を経て成熟ホルモンが産生されることには、どのような意義があると考えられるか。3 行程度で述べよ。
- (3) POMC 以外のホルモンの名称を一つ挙げ、その翻訳後修飾の過程と、考えられる意義について、3 行程度で述べよ。

【小問 6】（動物学分野）

ある動物において細胞骨格の挙動に関わる分子を探索したところ、機能未知の低分子量 G タンパク質 X が見つかった。タンパク質 X の細胞内局在を調べるために、タンパク質 X 遺伝子の 3'末端側に GFP 遺伝子をつないで作成した融合タンパク質を、その動物由来の培養細胞に発現させたところ、GFP の蛍光は細胞質全体に観察された。一方、GFP 遺伝子をタンパク質 X 遺伝子の 5'末端側につないだ場合、GFP の蛍光は細胞膜で観察された。そこで、タンパク質 X のアミノ酸配列を詳細に調べた結果、カルボキシ末端に CLLL というプレニル化配列をもつことがわかった。以下の (1) ~ (3) に答えよ。

- (1) タンパク質のプレニル化の過程について、3 行程度で説明せよ。
- (2) タンパク質 X 遺伝子の 3'末端側と 5'末端側に GFP 遺伝子をつないだ場合、GFP の蛍光が観察された細胞内の場所が異なったことについて、どのような理由が考えられるか。4 行程度で述べよ。
- (3) GFP 遺伝子をタンパク質 X 遺伝子の 5'末端側につないだ融合タンパク質を発現させる場合、発現用コンストラクトの設計において留意すべき点を 2 つ挙げ、あわせて 5 行程度で説明せよ。

【小問 7】（植物学分野）

植物ホルモンのオーキシシンについて、以下の (1) および (2) に答えよ。

- (1) 根においてオーキシシンは根端に向けて輸送される。この時、オーキシシンの輸送はどのようになされるか。以下の用語を全て用いて 4 行程度で説明せよ。それぞれの用語には下線を引くこと。

輸送体、PIN、細胞内局在、極性

- (2) オーキシシン応答遺伝子の発現制御は一般にどのような分子機構でなされているか。ARF、Aux/IAA、TIR1 についてはそれぞれの役割を概説しながら、以下の全ての用語を用いて、7 行程度で説明せよ。それぞれの用語には下線を引くこと。

ARF (AUXIN RESPONSE FACTOR)、  
Aux/IAA (AUXIN/INDOLE-3-ACETIC ACID)、  
TIR1 (TRANSPORT INHIBITOR RESPONSE1)、  
ユビキチン、  
プロテアソーム

【小問 8】（植物学分野）

ミトコンドリアに取り込まれたピルビン酸はピルビン酸デヒドロゲナーゼ複合体によって脱炭酸され、アセチル CoA となる。このアセチル CoA を起点とするミトコンドリアにおける ATP 合成の過程を以下の用語を全て用いて 15 行程度で述べよ。それぞれの用語には下線を引くこと。

アセチル CoA、ATP 合成酵素、NADH、NADH 脱水素酵素複合体、  
クエン酸回路、酸素分子、シトクロム *c*、シトクロム *c*還元酵素複合体、  
シトクロム *c*酸化酵素複合体、電子伝達系、内膜、プロトン勾配、  
膜間領域 (内腔)、マトリクス、ユビキノ

【小問 9】（植物学分野）

世界の自然植生と農地に関する以下の（1）～（3）に答えよ。

- （1）世界の自然植生は、年平均気温と降水量の両者によって決定される。したがって、温帯であれば森林の成立に十分な降水量であっても、熱帯では森林を成立させるには不足し、草原を成立させるにとどまる場合が多い。この理由を考察し、3行程度で述べよ。
- （2）熱帯多雨林の土壌は、温帯や冷温帯域に比べて、有機物量が少なく貧栄養である。この理由を1行で述べよ。また、熱帯多雨林を伐採すると土壌はさらに貧栄養化し、河川や湖沼は富栄養化する。この理由を考察し、3行程度で述べよ。
- （3）乾燥地で農業を行うと塩害をまねきやすい。エジプトやメソポタミアなどの古代文明の衰退も塩害が原因とされる。乾燥地における農業が塩害をまねきやすい理由を考察し、3行程度で述べよ。

【小問 10】（人類学分野）

ヒトの集団 A、B、C から 50 人ずつ無作為抽出し、各個体についてゲノムワイドに数十万個の単塩基多型（SNP: single nucleotide polymorphism）の遺伝子型を決定した。その遺伝子型データをもとに、「集団 A と B の各祖先集団が 1:1 の比で混血し、誕生した集団の子孫集団が、集団 C である」という仮説を検証したい。適切な解析手法（もしくは解析プログラム）を 1 つ挙げ、その名称を記し、概要を 5 行程度で説明せよ。また、この仮説が正しい場合に期待される結果について、5 行程度で説明せよ。説明に図を用いても構わないが、行数にはカウントしない。

【小問 11】（人類学分野）

初期人類が直立二足歩行を獲得するに至った要因を説明する学説について、10 行程度で説明せよ。ただし、15 行を超えてはならない。

【小問 12】（人類学分野）

狭鼻猿類に属するオナガザル科（Cercopithecidae）は、コロブス亜科（Colobinae）とオナガザル亜科（Cercopithecinae）から構成されている。まず、オナガザル科全体の特徴を、広鼻猿類と比較して 5 行程度で述べよ。次に、コロブス亜科とオナガザル亜科の差異を、食性の点から 5 行程度で論ぜよ。説明に図を用いても構わないが、行数にはカウントしない。

【小問 13】（進化・自然誌学分野）

以下の（1）～（3）に答えよ。

- （1）「側系統群」（paraphyletic group）とは何か。2 行程度で説明せよ。
- （2）伝統的に使われていた高次分類群（綱 class 以上）で、側系統群であることが後に判明した具体例を 1 つ挙げよ。また、その側系統群を構成する分類群を、それらに最も近縁な分類群、外群とともに系統樹上に図示して、側系統であることを示せ。
- （3）側系統群を分類群として認めることのメリットとデメリットを、合わせて 6 行程度で述べよ。