

令和 6 年 度

理 科

問 題 冊 子

生 物

第 1 問 制限酵素に関する問 1、問 2 に答えよ。

問 1 以下の文章を読み、各問に答えよ。

多くの制限酵素は、DNA 中の 4～8 塩基からなる特定の配列を認識し、配列内の 1 カ所でヌクレオチド間の結合を切断する。この認識配列は、しばしば相補鎖の配列が互いに同じになる回文構造となっている。EcoR I という制限酵素の場合、GAATTC という配列を認識して G と A の間の結合を切断するため(図 1 A)、切断後の末端では一方の鎖が 1 本鎖の状態で突出した形となる(図 1 B)。また、切断により生じた DNA 末端は、(ア)により再びつなぎ合わせることが可能である。その際、2つの異なる酵素で切断した末端同士であっても、それぞれの末端で突出している 1 本鎖 DNA の塩基配列が相補的な関係であれば、その部分で 2 本鎖を形成し、その後(ア)によりつなぎ合わされる。

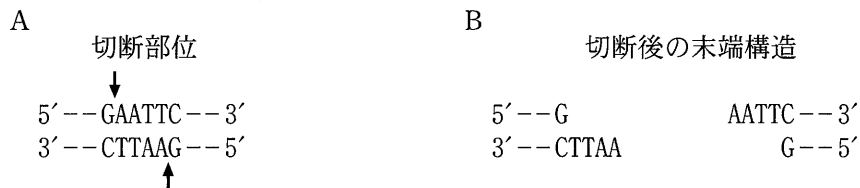


図 1

- (1) 文中の(ア)に入る酵素名を答えよ。
- (2) 下線部(a)に関して、DNA 上の各塩基がランダムに配置されていると仮定した場合、EcoR I の認識配列のような 6 塩基からなる塩基配列は何塩基対につき 1 つ現れると予想されるか答えよ。
- (3) 以下に様々な制限酵素の認識配列と切断部位を示した。これらの制限酵素により切断された DNA の末端構造を、図 1 B にならって図示せよ。

制限酵素名	認識配列と切断部位	制限酵素名	認識配列と切断部位
BamH I	5'--GGATCC--3' ↓	Bgl II	5'--AGATCT--3' ↓
Cla I	5'--ATCGAT--3' ↓	Spe I	5'--ACTAGT--3' ↓
Xba I	5'--TCTAGA--3' ↓		

(4) 下線部(b)に関して、(3)に挙げた制限酵素の中で、2つの異なる制限酵素で切断した末端同士であっても、つなぎ合わせる事が可能な制限酵素の組み合わせを全て答えよ。

問 2 以下の文章を読み、各問に答えよ。

緑色蛍光タンパク質(GFP)とアクチンタンパク質の融合タンパク質をヒトの細胞で発現させるために、この融合タンパク質の遺伝子を含むベクターを作製したい。ヒト細胞内で GFP 遺伝子を転写させるために設計されたベクター(GFP ベクター)が既に存在している。このベクターは GFP 遺伝子を含む全長 4,700 塩基対から成り、GFP 遺伝子の前方には細胞内で転写を開始するために必要な(イ)と呼ばれる領域が、後方には転写を終結するために必要な領域が存在している。また、GFP 遺伝子の終止コドンの直前には、他の遺伝子の挿入を容易にするために、様々な制限酵素の認識配列が人工的に挿入されている(図2)。制限酵素と問1で答えた酵素(ア)を用いて、この部位にアクチン遺伝子を挿入し、GFP 遺伝子とアクチン遺伝子の融合遺伝子を作製したい。図3に、使用するアクチン遺伝子を含む DNA 断片の配列を示す。ここで用いているアクチン遺伝子は全長 1,125 塩基対から成り、開始コドンの直前と終止コドンの直後に制限酵素により認識される配列が人工的に複数付加されている。なお、これら認識配列の一部も翻訳されるため、GFP タンパク質や融合タンパク質に余分なアミノ酸が数個付加されることになるが、これらはタンパク質の機能や細胞内における分布に影響を与えない。また、図2および図3にある制限酵素が認識する配列は、GFP ベクターやアクチン遺伝子の図に示した部位以外には存在しないものとする。

GFP 遺伝子

グルタミン酸 ロイシン チロシン リシン
 5' --- GAG CTA TAC AAA BamH I Xba I EcoR I Cla I Spe I 終止コドン
 --- 3'

注) GFP 遺伝子の部分については、各コドンに対応するアミノ酸が記されている。

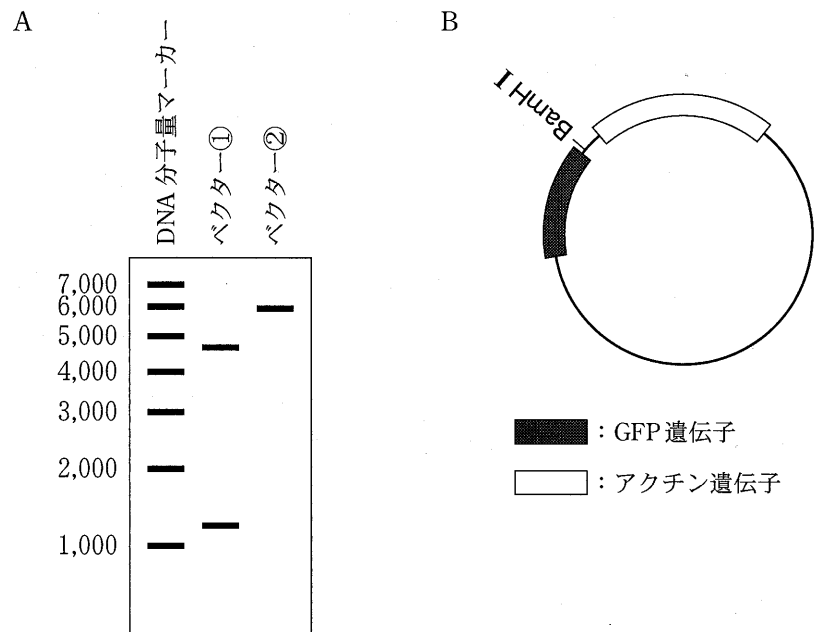
図 2

アクチン遺伝子
 5' - TTT Bgl II BamH I Xba I EcoR I ATG GAT GAT GAT ATC GCC GCG
 CTC GTC GTC GAC AAC GGC TCC GGC ATG TGC AAG GCC GGC TTC GCG GGC GAC GAT
 ----- 途中省略 -----
 CTG GCC TCG CTG TCC ACC TTC CAG CAG ATG TGG ATC AGC AAG CAG GAG TAT GAC
 GAG TCC GGC CCC TCC ATC GTG CAC CGC AAA TGC TTC TGA ATC GAT ACT AGT TGG - 3'
Cla I Spe I

注) ここで用いているアクチン遺伝子は mRNA を逆転写することで得ており(cDNA)、イントロンを含んでいない。アクチン遺伝子の開始コドン ATG および終止コドン TGA を太文字で示している。

図 3

- (1) 細胞内で遺伝子の転写を開始するために必要な領域である(イ)の名称と、そこに結合してヌクレオチド鎖の伸長を行う酵素の名称を答えよ。
- (2) アクチン遺伝子の DNA 断片と GFP ベクターのそれぞれを Xba I と Spe I の 2 種類の酵素で切断し、酵素(ア)を用いて両者をつなぎ合わせたところ、アクチン遺伝子断片が 1 つ挿入された構造の異なる 2 種類のベクター①およびベクター②が得られた。これらのベクターを Xba I と Cla I で切断し、生じた DNA 断片の塩基対の数を電気泳動法により調べた(図 4 A)。この結果から、ベクター①およびベクター②に Xba I と Cla I の認識配列があると考えられる場合は、その位置を回答欄にある図中に、図 4 B を参考に書き入れよ。



注) 電気泳動像の左端に、DNA 断片の塩基対の数を推定するために用いた DNA 分子量マーカーの塩基対の数を記している。また、電気泳動像におけるバンドの太さは DNA の存在量を反映していない。

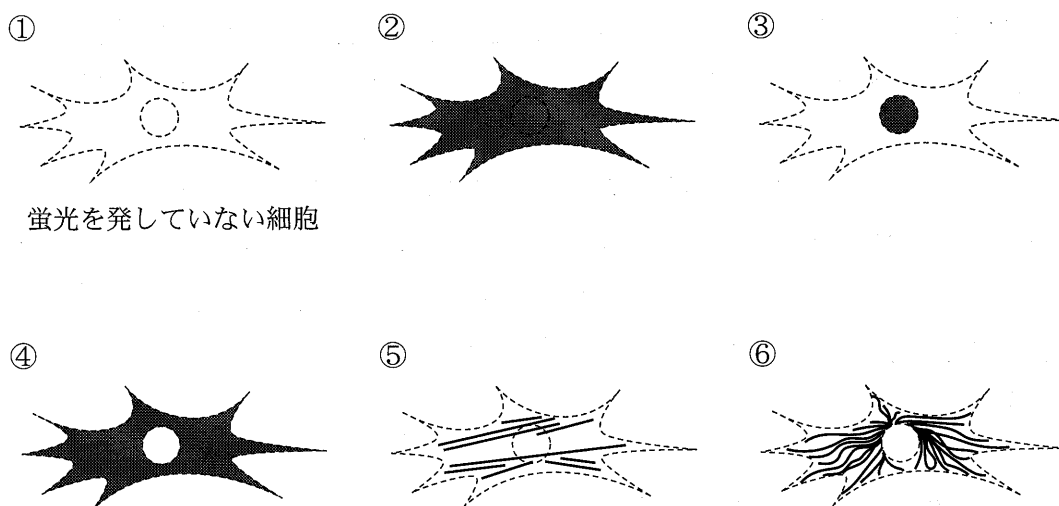
図 4

(3) 以下のⅠ～Ⅲに示した制限酵素の組み合わせで切断した GFP ベクターとアクチン遺伝子の DNA 断片を酵素(ア)を用いてつなぎ合わせることで、GFP 遺伝子の後方にアクチン遺伝子を挿入した。こうして作製したベクターをそれぞれヒト由来の細胞に導入したとき、翻訳されるタンパク質は細胞内のどの部位で蛍光を発すると考えられるか。以下の選択肢①～⑥の中から、最も適切と思われるものを1つずつ選び番号で答えるとともに、選んだ理由を述べよ。ただし、GFP タンパク質は、細胞質および核に均一に観察され、GFP とアクチンの融合タンパク質は、アクチンタンパク質が本来存在する部位と同じ位置に観察されるものとする。

Ⅰ— GFP ベクターを BamH I と Cla I、アクチン遺伝子の DNA 断片を BglII と Cla I で切断した。

Ⅱ— GFP ベクター、アクチン遺伝子の DNA 断片ともに、BamH I と Cla I で切断した。

Ⅲ— GFP ベクター、アクチン遺伝子の DNA 断片ともに、EcoR I と Cla I で切断した。



蛍光を発していない細胞

注) 細胞および核の輪郭を破線で示している。黒色で塗られた所が蛍光を発している部位である。

第2問 細胞膜に関する以下の文章を読み、各問に答えよ。

全ての細胞は細胞膜に包まれている。細胞膜は細胞内を外部環境と異なる状態に維持するだけでなく、必要に応じて特定の物質の出入りを調節している。細胞膜は(ア)二重層に様々な機能を有する(イ)が埋め込まれた構造をしている。この構造は小胞体などの細胞小器官を構成する膜にも共通で、これらの膜は(ウ)と総称される。細胞膜に埋め込まれた(イ)には、小型の分子やイオンの輸送を担うチャネル、ポンプ、輸送体などと呼ばれるものも含まれ、これらは細胞膜の選択的透過性を支える要素となっている。また、こういった細胞膜を挟んでの輸送の他に、細胞膜が陥入して物質が取り込まれる(エ)や、細胞内の小胞が細胞膜と融合して内容物が放出される(オ)という現象を通して細胞内外への輸送が行われることもある。

細胞膜を挟んで細胞の内外には電位差があり、静止状態での電位差を静止電位、興奮時における電位の変化を活動電位と呼ぶ。こういった電位は、細胞膜に埋め込まれたチャネルやポンプを介してナトリウムイオンやカリウムイオンなどが移動することにより形成される。ニューロンでは、細胞膜における活動電位の発生(興奮)を利用して情報が伝えられる。ニューロンが受け取った情報は、軸索を伝わって別の細胞へ伝達される。軸索においては興奮が細胞膜上の隣接部へ次から次に伝わって行く。軸索の末端部は情報を受け取る細胞の細胞膜の一部と狭い隙間を隔てて接合している。この接合部はシナプスと呼ばれ、ここで接している2枚の細胞膜のうち軸索側の膜はシナプス前膜、情報を受け取る細胞側の膜はシナプス後膜と呼ばれる。また、膜と膜の隙間はシナプス間隙と呼ばれる。興奮が軸索の末端部に到達すると電位依存性(カ)チャネルが開き、細胞外から(カ)イオンが細胞内に流入し、このイオンにより(オ)が引き起され、神経伝達物質がシナプス間隙へ放出される。この神経伝達物質がシナプス後膜にある受容体に結合することにより膜電位が変化し、興奮が伝達される。

問1 文中の(ア)~(カ)に入る適当な語句を答えよ。

問2 下線部(a)に関して、(1)酸素と、(2)水はそれぞれ細胞膜を挟んで主にどのような方法で輸送されるか、受動輸送と能動輸送のどちらであるかに触れつつ述べよ。

問3 下線部(b)に関する以下の問に答えよ。

- (1) 閾値を超える電位の変化を受けて活動電位が最大値に達する過程について、主として関わるチャネルとイオンの種類に触れつつ述べよ。
- (2) 活動電位が最大値に達した後に再び静止電位を回復する過程について、主として関わるチャネルとイオンの種類に触れつつ述べよ。

問 4 下線部(c)に関する以下の問に答えよ。

- (1) ニューロンの興奮は軸索を伝わっていくが途中で逆戻りはしない。その理由について、主として関わるチャネルの種類に触れつつ述べよ。
- (2) 次の文章の(キ)~(コ)に入る適当な語句を答えよ。

脊椎動物の多くの神経には(キ)と呼ばれる構造がある。これはシュワン細胞などが幾重にも巻き付いてできた絶縁体で、(キ)で覆われた軸索の領域では細胞膜が興奮しにくくなる。(キ)にはある間隔ごとに切れ目があり、この部分を(ク)と呼ぶ。(ク)で軸索の細胞膜が興奮すると、これにより生じる(ケ)と呼ばれる電流が隣の(ク)までの間を流れる。そのため、有髄神経では(キ)が無い神経より速く興奮が伝わる。このような興奮の伝わり方を(コ)と呼ぶ。

問 5 下線部(d)に関する以下の問に答えよ。(ア)~(カ)に入る語句を使用する際には対応する記号を代わりに用いても良い。

- (1) シナプス前膜には放出された神経伝達物質を細胞内へ取り込むための輸送体が存在する。この輸送体を阻害する薬剤の投与により神経伝達の増強が見込まれるのであるが、その理由を述べよ。
- (2) シナプス小胞には、神経伝達物質を小胞内へ取り込むための輸送体が存在する。この輸送体を阻害する薬剤の投与により神経伝達の抑制が見込まれるのであるが、その理由を述べよ。
- (3) 神経伝達物質と構造が似ているが、受容体を活性化しないといった特性をもつ薬剤が開発されている。こういった薬剤の投与により神経伝達の抑制が見込まれるのであるが、その理由を述べよ。

第3問 ホルモンに関する以下の文章を読み、各問に答えよ。

ホルモンは(ア)と呼ばれる器官から血液中へ分泌され、血液を介して特定の器官に作用するもので、自律神経系とともに体内環境の維持に働いている。(a) 一方で、汗を分泌する汗腺や、唾液を分泌する唾腺など、排出管を通じて直接身体の表面や消化管に分泌物を放出する器官は(イ)と呼ばれる。ホルモンの分泌調節の方法としては、血液中の物質濃度の変化を(ア)に存在する分泌細胞が直接感知して調節する場合や、自律神経系によって調節される場合、視床下部や脳下垂体から分泌されるホルモンによって調節される場合が知られている。(b) ホルモンが作用する器官は(ウ)器官と呼ばれ、そこにはそのホルモンの受容体をもつ細胞が存在する。ホルモンは受容体に結合することでその作用を発揮する。(c)

問1 文中の(ア)～(ウ)に入る適当な語句を答えよ。

問2 次に挙げるホルモン(1)～(5)はどこから分泌されるか。①～⑧より1つずつ選んで番号で答えよ。

- | | | |
|------------|------------|--------------|
| (1) インスリン | (2) グルカゴン | (3) 鉱質コルチコイド |
| (4) 成長ホルモン | (5) パラトルモン | |
-
- | | | |
|--------|----------|----------|
| ① 視床下部 | ② 脳下垂体前葉 | ③ 脳下垂体後葉 |
| ④ 副甲状腺 | ⑤ すい臓A細胞 | ⑥ すい臓B細胞 |
| ⑦ 副腎皮質 | ⑧ 副腎髄質 | |

問3 下線部(a)に関する以下の記述について、正しい場合は○印を、誤っている場合は正しい記述となるよう下線を付した語句に代わる語句を解答欄に記入せよ。

- (1) 中枢神経系は自律神経系と体性神経系に分けられる。
- (2) 自律神経系の働きを調節する中枢は中脳の視床下部にある。
- (3) 一般的に、自律神経系による調節はホルモンによるもの比べてより速やかに効果が現れる。
- (4) 視床下部で低血糖が感知されると、交感神経を介してアドレナリンの分泌が促進される。
- (5) 視床下部には形質細胞と呼ばれる細胞があり、この細胞がホルモンを分泌する。

問 4 下線部(b)のような調節の例として知られるチロキシンの分泌調節に関する以下の文を読み、各問に答えよ。

チロキシンは全身の様々な器官に作用して代謝を促進するホルモンであると同時に、視床下部や脳下垂体にも作用することで、甲状腺刺激ホルモン放出ホルモン(TRH)や甲状腺刺激ホルモン(TSH)の分泌を調節し、これにより血液中のチロキシン濃度が一定に保たれている。

- (1) 甲状腺を全て摘出した場合にその後の TRH と TSH それぞれの分泌量*は増加するか減少するかについて、理由とともに答えよ。
- (2) チロキシンを外部から投与した場合にその後の TRH、TSH、チロキシンそれぞれの分泌量*は増加するか減少するかについて、理由とともに答えよ。

*「分泌量」は各器官から分泌されるホルモンの量を指す。

問 5 下線部(c)に関する以下の文章を読み、各問に答えよ。

チロキシンは活性型甲状腺ホルモンへと変換された後、細胞内に存在する甲状腺ホルモン受容体に結合し、この受容体が直接特定の遺伝子の転写調節領域に結合して転写を活性化あるいは抑制することで作用を発揮する。ここで転写が活性化されるか抑制されるかは、遺伝子の種類により異なる。甲状腺ホルモン受容体の機能が損なわれると甲状腺ホルモン不応症と呼ばれる疾患を発症する。ある症例では受容体遺伝子の塩基配列の1カ所が他の塩基に入れ替わるといった遺伝子変異によりタンパク質を構成するアミノ酸の1つが変化し、これにより受容体のホルモンに対する結合力が弱まっていることが明らかになっている。

- (1) ある遺伝子の塩基の1つが入れ替わる変異を何と呼ぶか答えよ。
- (2) 甲状腺ホルモン受容体遺伝子に変異がないヒト由来の培養細胞において、培養液中の活性型甲状腺ホルモンの濃度と遺伝子Aの発現量の関係が図5のグラフの通りであるとき、上述のような遺伝子変異をホモ接合の状態でもち、甲状腺ホルモン不応症を発症しているヒト由来の培養細胞における両者の関係はどのようなグラフになると予想されるか。下の①～⑥のグラフから1つ選んで番号で答えるとともに、そのようなグラフになる理由を述べよ。

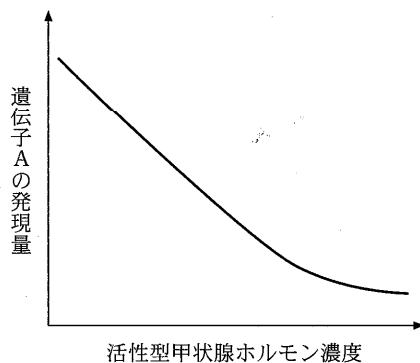
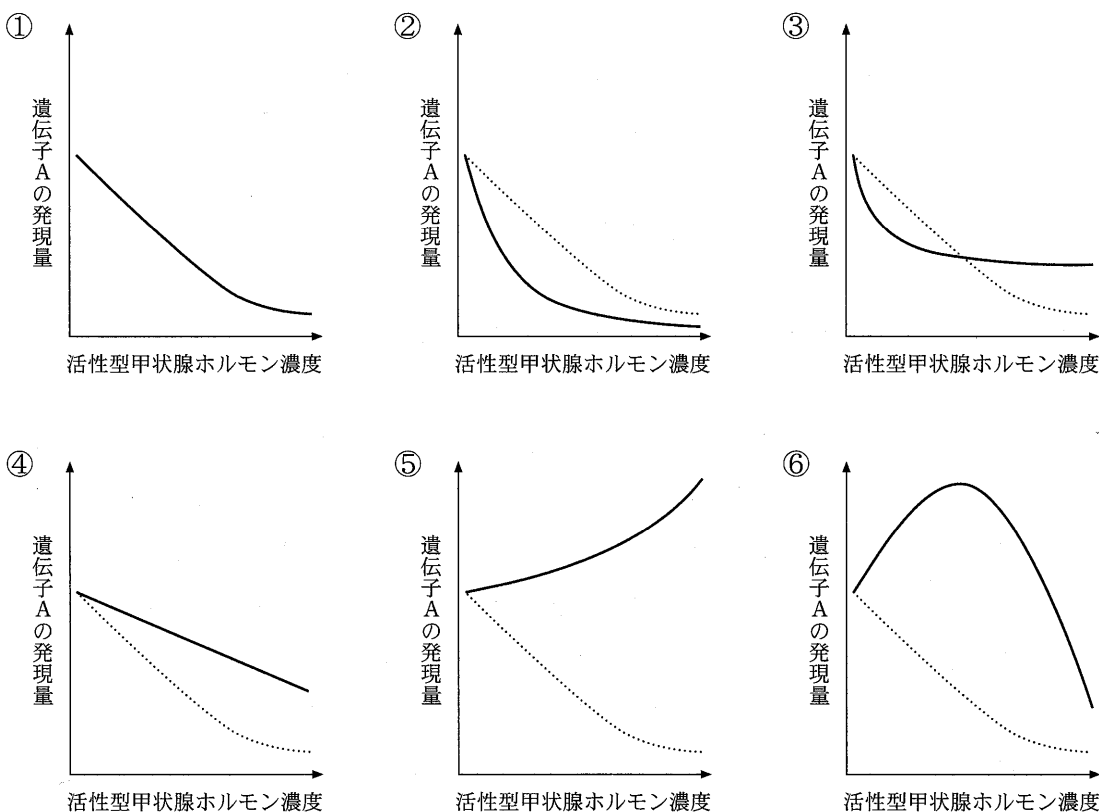


図 5



注：点線は図 5 のグラフを示す。

- (3) (2)で述べたような理由によりこの疾患を発症しているヒトの血液中のチロキシン濃度は、正常値より高いながらも一定に保たれている。この理由として考えられることを述べよ。
- (4) 甲状腺ホルモン受容体遺伝子の塩基配列の 1 カ所が変化するのではなく、この遺伝子の翻訳領域が完全に欠失した症例が知られており、この場合疾患は潜性(劣性)遺伝する。一方、塩基配列の 1 カ所が変化した既出の症例の場合は顕性(優性)遺伝する。このような違いが生じる理由として考えられることを述べよ。