

# 生 物

## 第 1 問

遺伝子の構造と発現に関する次の文章を読み、下の問 1～問 5 に答えよ。

生物に共通する特徴の 1 つに、「遺伝情報をもつ」ことがあげられる。生物は、遺伝情報を複製して子孫に伝達することにより種を維持するとともに、遺伝情報を発現して個体の生命活動を行う。

遺伝情報は遺伝子に担われており、その本体は DNA (デオキシリボ核酸) という化学物質である。DNA は核酸の一種であるが、核酸には DNA のほかに RNA (リボ核酸) もある。いずれの核酸も、ヌクレオチドがその構成単位である。ヌクレオチドは、( ア ) と糖と塩基からできている。DNA を構成する糖はデオキシリボースであり、RNA を構成する糖はリボースである。核酸を構成する塩基には、アデニン (A)、グアニン (G)、シトシン (C)、チミン (T)、ウラシル (U) の 5 種類がある。

核酸は、ヌクレオチドどうしが糖と ( ア ) の部分で多数つながったヌクレオチド鎖である。ヌクレオチドどうしの連結には ( ア ) -糖-( ア ) -糖という方向性があるので、ヌクレオチド鎖にも方向性があることになる。塩基は糖部分に結合している。

ヌクレオチド鎖には、通常、1 本鎖のものと 2 本鎖のものがある。生物の遺伝子は一般的に 2 本鎖 DNA であり、いわゆる二重らせん構造をしている。2 本鎖を形成するヌクレオチド鎖の方向性は互いに ( イ ) 向きであり、ヌクレオチド鎖どうしは塩基部分で ( ウ ) 結合によって結合している。この結合には法則性があり、常に特定の塩基どうしが結合する。塩基対形成におけるこの性質を、塩基の相補性とよぶ。

相補的な塩基対の形成は、遺伝子の複製において重要な役割をはたしている。複製に際し、2 本鎖 DNA は分かれて 2 本の 1 本鎖 DNA となり、それぞれが鋳型となって相補的な塩基配列をもつヌクレオチド鎖を合成することにより、同じ配列をもつ 2 本の 2 本鎖 DNA が形成される。この複製の方式を ( エ ) 的複製とよぶ。

。ウイルスも遺伝情報を持ち、それを複製して子孫を残す。ウイルスの遺伝子も核酸であるが、すべてのウイルスで2本鎖DNAが使われているというわけではなく、1本鎖DNAや1本鎖RNA、あるいは、2本鎖RNAのこともある。

一般的に、それぞれの生物は多数の遺伝子をもつが、すべての遺伝子が常に同じレベルで発現しているというわけではなく、個々の遺伝子の発現は状況に応じて増減する。これを遺伝子の調節的発現という。遺伝子の発現調節のしくみの理解は、大腸菌のラクトースオペロンの研究によって著しく深まった。大腸菌のラクトースオペロンには、ラクトースを基質とする3種類の酵素の遺伝子が含まれている。これらの3つの遺伝子は、オペロンの先端に位置する1つの(オ)からひとつながりのmRNAとして転写されるが、この転写はラクトースがあるときのみ起こる。この転写調節においては、*lacI*とよばれる調節遺伝子から作られる調節タンパク質とそれが結合するDNA領域が重要な役割をはたしている。この調節タンパク質を(カ)、それが結合するDNA領域を(キ)という。(キ)は、(オ)に近接して存在している。ラクトースがないとき、(カ)が(キ)に結合するので、(ク)の(オ)への結合が妨げられ、ラクトースオペロンの転写は起こらない。一方、ラクトースがあるときには、(カ)は(キ)に結合できず、ラクトースオペロンの転写が起こる。

問1 文中の(ア)～(ク)に最も適切な語句を入れよ。

問2 下線部aに関連して、相補的な塩基対の形成は、DNAとRNA、および、RNAとRNAの間でも起こり、遺伝子発現の過程において重要な役割をはたしている。それぞれ、遺伝子発現のどの段階でどのような役割をはたしているか。簡潔に説明せよ。

問3 下線部bのように、ウイルスは「遺伝情報をもつ」という生物に共通する特徴をもっているが、通常、生物とは見なされていない。その理由を簡潔に述べよ。

問4 下線部 c に関連して、4種のウイルスに含まれる核酸の塩基組成を調べたところ、表1のようであった。これらのウイルスの核酸のタイプは、①2本鎖DNA、②1本鎖DNA、③2本鎖RNA、④1本鎖RNAのいずれと考えられるか。適切なものを1つずつ選び、番号で答えよ。ただし、これらのウイルスの核酸のタイプは、すべて異なるものとする。

表1 各種のウイルスに含まれる核酸の塩基組成 (%)

	A	G	C	T	U
ウイルス1	21	21	29	29	0
ウイルス2	19	19	31	0	31
ウイルス3	30	20	20	30	0
ウイルス4	22	28	28	0	22

問5 下線部 d に関連して、ラクトースがなくてもラクトースオペロンが発現する大腸菌の突然変異体を多数分離したところ、大部分の突然変異が *lacI* 遺伝子のなかに位置づけられた。*lacI* 遺伝子の開始コドンから終止コドンまでの長さを1083塩基対として、次の(1)と(2)の間に答えよ。

(1) 分離された突然変異体のうち、1塩基の置換によりアミノ酸の置換をもたらす突然変異は、*lacI* 遺伝子の61から300塩基目までと601から930塩基目までの2つの領域に集中しており、その他の領域には見られなかった。1から60塩基目まで、301から600塩基目まで、および、931塩基目以降の領域にこのタイプの突然変異が見られなかったのはなぜか。考えられる理由を簡潔に説明せよ。

(2) 分離された突然変異体のなかには、*lacI* 遺伝子内に 1ヌクレオチドの挿入または 1ヌクレオチドの欠失が起こったものも多数存在していた。このタイプの突然変異は、(1)で述べた 1塩基の置換によりアミノ酸の置換をもたらす突然変異の分布から考えて、*lacI* 遺伝子内でどのように分布すると予想されるか。次の①から⑤のなかから最も可能性の高いものを 1つ選び、番号で答えよ。

- ① 61 から 300 塩基目までと 601 から 930 塩基目までの 2つの領域に分布しており、その他の領域には見られない。
- ② 1 から 60 塩基目まで、301 から 600 塩基目まで、および、931 塩基目以降の 3つの領域に分布しており、その他の領域には見られない。
- ③ 61 から 930 塩基目までの領域の全体にわたって分布し、1 から 60 塩基目までと 931 塩基目以降の領域には見られない。
- ④ 1 から 930 塩基目までの領域の全体にわたって分布し、931 塩基目以降の領域には見られない。
- ⑤ 931 塩基目以降の領域に集中して分布し、1 から 930 塩基目までの領域には見られない。

## 第2問

光合成に関する次の文章を読み、下の問1～問5に答えよ。

植物や藻類などの光合成は葉緑体で起こり、光エネルギーを利用して二酸化炭素と水から有機物と酸素を生成する。光合成色素に吸収された光エネルギーは、2種の光化学系へ移動し、そこで光化学反応が起こる。光化学系から放出された電子は、電子伝達系を移動し、NADPHが生じる。電子の移動に伴って $H^+$ が能動輸送され、生じた $H^+$ の濃度勾配を利用して、ATP合成酵素がADPとリン酸からATPを合成する。カルビン・ベンソン回路の酵素により、NADPHとATPを利用して二酸化炭素を固定する炭酸同化が行われ、有機化合物が合成される。細胞と単離したチラコイド膜の光強度と酸素発生速度の関係を明らかにする実験(実験1)と、熱処理が酸素発生へ与える影響を調べる実験(実験2)を行った。

実験1 単細胞の緑藻の細胞を緩衝液中で破碎し、遠心操作により葉緑体を分離した。細胞を破碎するとき葉緑体を包む膜(包膜)も壊れるので、単離した葉緑体画分には包膜が失われたチラコイド膜だけが含まれる。次に、細胞と単離したチラコイド膜のそれぞれの懸濁液を用い、通気しながら光照射したときの酸素発生速度を測定した。0.04%二酸化炭素を含む通常の大気を通気した条件下では、光強度を変えて細胞の酸素発生速度を測定すると、比較的弱い光照射下で発生速度が飽和した(図1のA)。しかし、二酸化炭素濃度を2%にして通気すると、光強度の増加に伴って酸素発生速度は増加し続け、より強い光照射下で飽和した(図1のB)。一方、単離したチラコイド膜では、0.04%(図1のC)と2%(図1のD)のいずれの二酸化炭素濃度においても、酸素の発生がほとんど検出されなかった。ところが、溶液に光化学系IIから電子を受け取るシュウ酸鉄(III)を加えると、通気の二酸化炭素濃度に関係なく光強度に依存した酸素の発生が測定された(図1のE)。

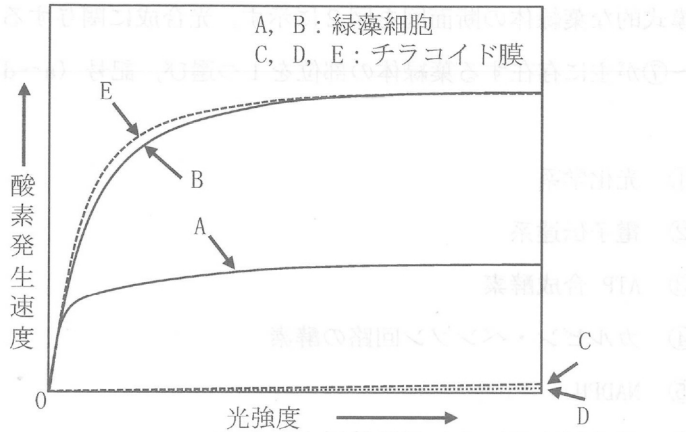


図1 光強度と酸素発生速度の関係

実験2 単細胞の緑藻の細胞と単離したチラコイド膜をそれぞれ溶液に懸濁し、60℃で10分間熱処理した。その後、細胞の生育最適温度(25℃)に戻し、2時間放置した。次に、細胞の場合は2%二酸化炭素存在下で、単離したチラコイド膜の場合はシュウ酸鉄(Ⅲ)存在下で、それぞれ十分に強い光のもとで酸素発生速度を測定した。得られた結果は表2のとおりである。ここでは熱処理前の活性を100とした。なお、熱処理後も細胞が生きていることは別の方法で確かめた。

表2 酸素発生速度に対する熱処理の影響

処理	酸素発生速度 (相対値)	
	細胞	チラコイド膜
熱処理前	100	100
↓		
熱処理直後	25	25
↓		
熱処理後 25℃で2時間放置後	80	15

問1 模式的な葉緑体の断面図を図2に示す。光合成に関与する成分である次の①～⑦が主に存在する葉緑体の部位を1つ選び、記号(a～d)で答えよ。

- ① 光化学系
- ② 電子伝達系
- ③ ATP 合成酵素
- ④ カルビン・ベンソン回路の酵素
- ⑤ NADPH
- ⑥ 電子伝達系により能動輸送された  $H^+$
- ⑦ クロロフィル

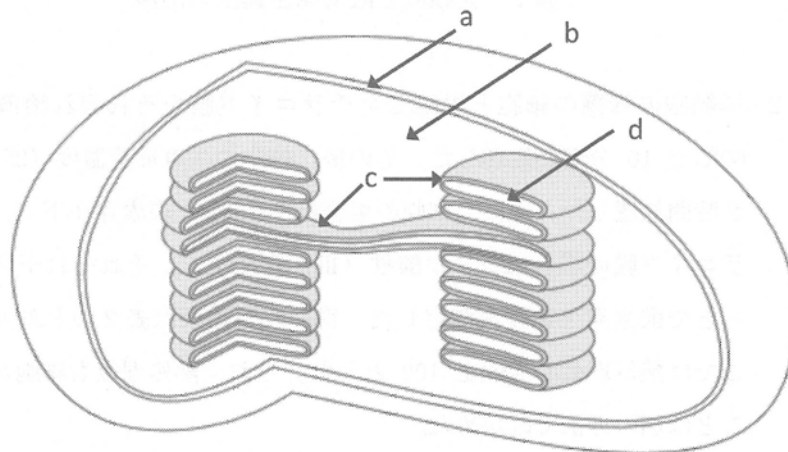


図2 葉緑体の断面図

問2 実験1において、単離したチラコイド膜では、ほとんど酸素の発生が検出されなかった(図1のCとD)。その理由を簡潔に述べよ。

問3 シュウ酸鉄(Ⅲ)を加えると二酸化炭素の濃度にかかわらず酸素の発生が検出された(図1のE)。その理由を簡潔に述べよ。

問4 実験2において、熱処理により細胞およびチラコイド膜の酸素発生速度が低下した理由を簡潔に述べよ。

### 第3問

動物の発生に関する次の文章を読み、下の問1～問4に答えよ。

有性生殖を行う動物は、a 減数分裂によって精子(精細胞)や卵などの一倍体( $n$ )の配偶子を産み出し、受精によって生じた二倍体( $2n$ )の接合子(受精卵)が分裂を繰り返すことによって、胚発生が進行する。

カエルやイモリでは、精子が卵の動物半球に進入して受精した後、卵の表層が内部の細胞質に対して約30度回転する。精子進入点の反対側の表層には灰色三日月環が出現する。b 灰色三日月環は将来背側になる領域であり、背側中胚葉から生じた原口背唇は形成体として神経誘導を行う。

一方、未受精卵の段階で体の軸がすでに決定されている生物もいる。キイロショウジョウバエでは、将来体の前端部になる卵の部位を前極といい、後端部になる部位を後極という。c 前極には、ピコイド遺伝子の mRNA が蓄えられており、翻訳されたタンパク質が前極から後極にかけて濃度勾配を形成している。この濃度の高い方から順に、体の先端部、頭部、胸部、腹部、尾部が形成される(図3)。

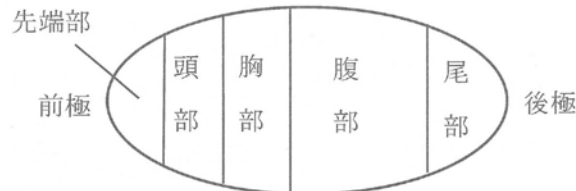


図3





問1 下線部 a に関連した次の文章の ( ア ) ~ ( エ ) にあてはまる適切な語句を記入せよ。

減数分裂の第一分裂において、複製した相同染色体は ( ア ) したのち、( イ ) を形成して赤道面に並ぶ。この過程で、( ウ ) が起きることに伴って、多様な遺伝組成をもつ配偶子が形成される。第一分裂で生じた染色体は、その後複製することなく第二分裂を行い、一倍体の配偶子が形成される。( エ ) 4 対の相同染色体をもつ細胞 ( $2n=8$ ) が ( ウ ) を起こすことなく配偶子を生み出した場合、配偶子の染色体の組み合わせは ( エ ) 通りある。

問2 下線部 b について、原口背唇によって誘導された神経管の前部は脳となり、両側に眼が形成される。眼の形成過程を 4 段階に分けて簡潔に説明せよ。なお、説明にあたっては下の語句を 1 回以上使い、用いた語句には下線を記せ。

【語句】表皮、角膜、網膜、水晶体、眼胞、眼杯

問3 下線部 c について、卵の後極に別の卵の前極から抜き取った細胞質を移植した場合、形成される移植胚の形態を図 3 にならって図示し、各部の名称を記せ。

問4 キイロシヨウジョウバエでは、卵の形成にあたり、将来の卵となる細胞に隣接した細胞(哺育細胞)で合成された細胞質成分が、卵へと輸送される。その後、卵の後極に局在する因子ナノスは、後極から前極にかけての濃度勾配を形成する。ナノスの活性をもたない受精卵(ナノス欠損卵)は腹部が欠損した胚を生じる。また、因子 X の活性をもたない受精卵(X 欠損卵)もナノス欠損卵と同様に腹部が欠損した胚を生じる。

これらの欠損卵を用いた移植実験において、X 欠損卵の哺育細胞の細胞質をナノス欠損卵の後極に移植すると正常な胚が生じる。この実験結果をもとに、腹部形成過程における因子 X の機能を推定して、100 字以内で説明せよ。

## 第4問

生物の分類に関する次の文章を読み、下の問1～問4に答えよ。

多くの生物の細胞構造や生命活動の詳細が明らかになるにつれ、分類の最高階層である「界」について、さまざまな考え方が唱えられるようになった。ホイットカーが提唱した「五界説」によれば、生物は5つの界にまとめられる。つまり、細菌類をまとめた(ア)界、ゾウリムシやアメーバなどの単細胞生物を含む(イ)界、菌界、植物界、そして(ウ)界である。

このような生物世界全体の分類に、タンパク質や核酸などの分子に残されている進化の痕跡を調べる分子系統学の手法を取り入れたのがウーズである。分子系統学では当初、タンパク質であるシトクロムcのアミノ酸配列を比較し、生物の分岐年代を推定していたが、その後、リボソームRNAなどの塩基配列が用いられるようになった。ウーズは、リボソームRNAの塩基配列によってすべての生物を結びつける系統樹を完成させた。この系統樹では「界」より上位の分類階層を(エ)と名づけ、生物を大きく(オ)、(カ)、(キ)というグループに分類している。この分類では、(ア)界の生物は(オ)と(カ)に大別され、(キ)は、(オ)よりも(カ)と近縁とされている。

一方、マーグリスが唱えた「共生説」によれば、(キ)の細胞にみとめられるミトコンドリアと葉緑体は細胞内共生によって生まれた細胞小器官であり、それらの起源は(オ)とされている。ミトコンドリアや葉緑体が核のDNAとは異なるDNAをもっていることも、これらの細胞小器官がかつて独立した生物であったことを示唆している。葉緑体を獲得した生物は、当初、藻類として水中で生活していたが、約4億年前に、その一部が陸上へ進出して環境に適応し、コケ植物などの陸上植物へと進化していった。

問1 文章中の（ア）～（キ）に適切な語句を入れよ。

問2 菌界と植物界の生物が有機物を得る方法の違いについて、100字以内で説明せよ。

問3 下線部 a に関連して、ミトコンドリアと葉緑体では、ミトコンドリアが先に獲得され、その後に葉緑体が獲得されたと考えられている。そのように考えられる理由を簡潔に述べよ。

問4 下線部 b に関連して、植物の陸上への進出を可能にした地球環境の変化について簡潔に述べよ。

