

# 生 物

(4 問題 100 点)

## 生物問題 I

次の文を読み、問1～問4に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。

現在知られている最古の化石は細菌類で、約35億年前の地層から発見されている。したがって、最初の生物は、現生の細菌類に似た単細胞性の原核生物であろうと考えられている。約15億年前までの地層から発見される化石は全て原核生物であり、生物の歴史の大半は原核生物の時代であった。

しかし、この約20億年の間にも生物の代謝系は進化した。最初の生物は海に溶けこんでいた有機物を取り入れ、**ア**のような代謝過程で不完全に分解する従属栄養によって生きていた。次に、太陽の光エネルギーを利用し、水素または**イ**を還元剤として二酸化炭素や硝酸から有機物を合成する**ウ**が現れた。さらに、約30億年前の地層からは**エ**のなかまが見つかっており、この時点で水を分解して利用し、酸素を放出するタイプの光合成を行う生物が現れたと推定されている。**エ**の出現によって約20億年ほど前から大気中に酸素が蓄積し始めた。さらに大気中の酸素を利用して細胞内で有機物を二酸化炭素と水に完全に分解してしまう**オ**も出現した。

今から15億年ほど前に真核生物が現れたことが化石から推定されている。真核生物の大きな特徴は、核が膜で包まれ、DNAはタンパク質と結合して**カ**を形成していること、**キ**という細胞小器官をもっていることである。さらに植物では**ク**という細胞小器官ももっている。現在では、これらの細胞小器官は細胞内共生によって生じたとする仮説<sup>①</sup>が有力である。**キ**は**オ**が、**ク**は**エ**が真核細胞の祖先となるアメーバ状の細胞の中に共生することによって生じたと考えられている。真核細胞における**キ**の獲得は、大気中の酸素の増加への適応と考えられる。その後、真核生物では有性生殖をおこなうようになり、さらに、約10億年前には多細胞生物が生じた。

生命の誕生から長い間、生物は全て水中で生活していたが、古生代の中頃に最初の陸上植物が出現した。約4億年前の地層から化石が見つかったリニア類は、原始的なシダ植物と考えられ、これらは **ケ** をもつことから、陸上生活に適応していたと考えられている。陸上植物では、その後、種子植物が出現し、より乾燥した環境に生活の場をひろげた。植物の上陸に続いて<sup>②</sup>動物も陸上に進出し、<sup>③</sup>めざましい進化を遂げた。

問1 文中の **ア** ～ **ケ** に適切な語句を入れよ。

問2 下線部①の仮説を支持すると考えられている事実を2つあげ、解答欄(コ)、(サ)に記入せよ。


問3 下線部②について、種子植物における受精と胚発生の過程が、シダ植物に比べて、より乾燥した環境に適応していると考えられる理由を述べよ。

問4 下線部③に関連して、デボン期の魚類には、水から出て生活するのに必要な構造をすでに獲得している種類が数多く存在していた。陸上生活をする上で不可欠となるデボン期の魚類の器官2つを解答欄(シ)、(セ)に、その役割を解答欄(ス)、(ソ)にそれぞれ記入せよ。

## 生物問題 II

次の文を読み、問1～問5に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。

成人ではすべての血液細胞は骨髄でつくられる。血液細胞は大きく赤血球、白血球および血小板に分けられる。赤血球は酸素を運び、白血球は外界から侵入する微生物から生体を守っている。これらの血液細胞はすべて造血幹細胞が増殖・分化してつくられる。

花子（女性）は、数か月前より疲れやすいことに気がつき、病院で精密検査を受けた。その結果、ある血液の病気が想定された。そこで、検査の一環としてグルコース-6-リン酸脱水素酵素（G6PD）の型について調べた\*。その結果、花子のすべての種類の血液細胞は大多数がa型であった。一方、同じ検査を花子と家族の皮ふ細胞でおこなったところ、 図1の家系図に示すように、花子はa型とb型の両方を発現していた。a型とb型の両方の遺伝子をもつ健康な女性の血液では、それぞれの遺伝子を発現する細胞がほぼ半数ずつ混じっている。したがって、この検査の結果は花子の血液細胞に異常があることを示した。

花子はこの病気の治療のため骨髄移植をうけることになった。骨髄移植の際には、ヒト白血球抗原の型が完全に一致することが望ましい。ヒト白血球抗原の型は、常染色体に存在する4つの遺伝子座（遺伝子が占める染色体上の位置）の対立遺伝子の組み合わせにより決まる。それぞれの遺伝子座には20から40種類の対立遺伝子が存在し、各々の対立遺伝子の頻度に著しいかたよりはない。また、この4つの遺伝子座は互いに強く連鎖しており、遺伝子座間での組換えの頻度はきわめて低い。

\*注) この酵素の型は細胞集団にかたよりのあるかないかの指標となるだけであり、この病気の直接の原因とは関係がない。

花子と兄の太郎のヒト白血球抗原の型が一致し、太郎の骨髄細胞が花子に移植された。骨髄移植では、放射線によってもともとの造血幹細胞を除いたのちに、正常の骨髄細胞を注入する。一般に他人の臓器を移植すると、細胞性免疫の担い手である **ア** が、 **イ** 反応をおこすことがある。この **イ** 反応を抑えるために、免疫抑制剤が用いられる。骨髄移植は無事終わり、花子は完全に治った。今では、花子の大多数の血液細胞の G 6 PD は **ウ** 型になっている。

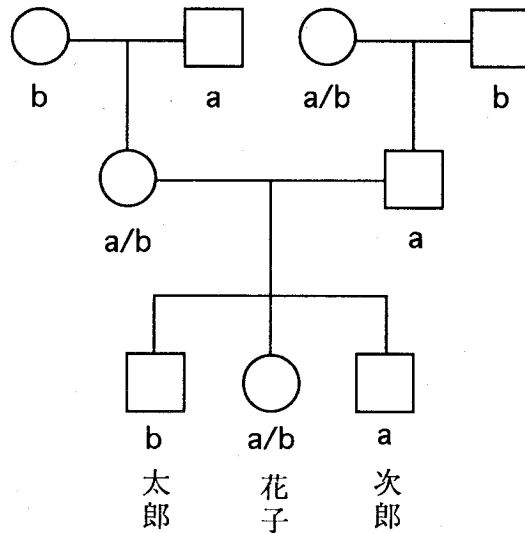


図1 花子と家族の皮ふ細胞の G 6 PD の型

G 6 PD の遺伝子座は 1 つであり、 a 型と b 型の対立遺伝子が存在し、すべての体細胞で発現している。 a, b, a/b はそれぞれ a 型, b 型, a 型と b 型の両方を発現することを表わす。また、 O は女性を、 □ は男性を表わす。なお、ここでの a 型, b 型, a/b 型は ABO 式血液型とは異なるものである。

問1 上の文の **ア** ~ **ウ** に最も適切な語句を入れよ。

問2 G 6 PD 遺伝子の遺伝様式を何と呼ぶか。

**問3** X染色体上の遺伝子発現の調節のため、女性の細胞では2本のX染色体のうち1本が必ず不活性化状態になり、遺伝子の発現が抑えられることが知られている。不活化されるX染色体の選択は個体発生の初期におこり、各組織に分化していく前駆細胞集団内において無作為におこる。結果として、成人女性の体細胞ではX染色体のどちらかが不活化されているので、各臓器・組織でモザイク状になっている。

このことを参考にして、下線部①のように、花子のすべての種類の血液細胞の大多数がa型である理由に関して、どの細胞にどのような変化がおこり、こうなったと考えられるか簡潔に述べよ。ただし、**図1**の家系の家族でこの病気は花子だけに発見された。

**問4** 親子間ではヒト白血球抗原の型はほとんど一致しない。その理由を説明せよ。

**問5** 一般的に兄弟間においてヒト白血球抗原の型が一致する確率をもとめ解答欄(エ)に記入し、その理由を解答欄(オ)に記入せよ。

### 生物問題 III

次の文(A)、(B)を読み、問1～問4に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。

(A) 植物が太陽エネルギーを用いて大気中の炭素から合成した有機物の一部は、植物を直接にえさとする植食性動物や、さらにこの動物を食べる肉食性動物の生命活動を支えるエネルギーとして消費されながら、生食連鎖（植物生体を出発点とし、生きている生物を直接に食う食物連鎖）の流れをたどる。一方、植物が合成した有機物の一部は、枯れ葉や枯れ枝などとして地表に堆積し、動物の遺体や排出物とともに、微生物などが分解する腐食連鎖に取り込まれる。このように、生物群集を構成するそれぞれの栄養段階をつなぐ食物連鎖は、生食連鎖と腐食連鎖から成っている。図1は、これらの関係を模式的に示したものである。

ある照葉樹林では、総生産量の70%が生産者自身の(ア)として消費されていた。また、1ヘクタール\*あたりの1年間の(イ)は60 kg、同じく枯死量は10800 kg、現存量の増加量（成長量）は3540 kgであった。この森林で1年間に生産者自身の(ア)として消費された有機物の量は、1ヘクタールあたり  kg、純生産量は  kgであり、この純生産量のうち植食性動物に摂取される量は  %である。また、この森林で腐食連鎖に流れる有機物の量は、生食連鎖に流れる有機物の量の  倍である。

\*注) 1ヘクタール = 10000 m<sup>2</sup>

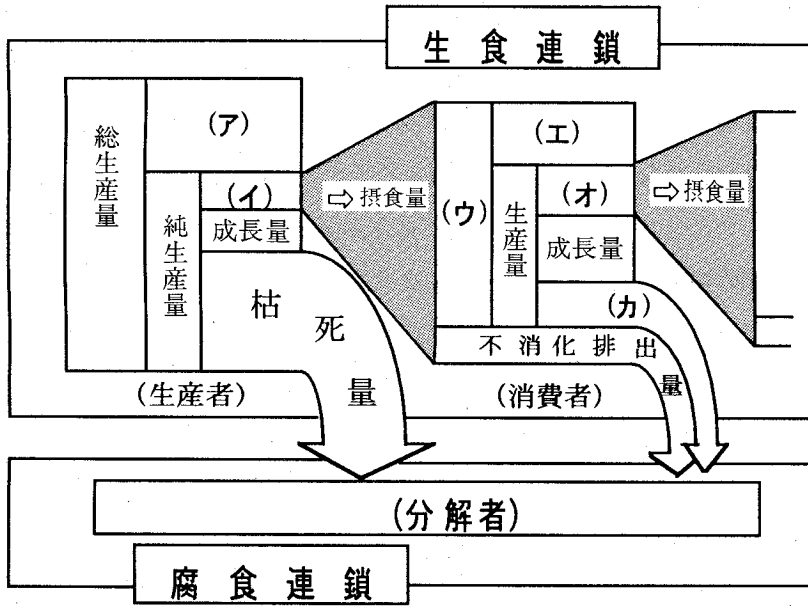


図1

問1 図1の(ア)～(カ)に入れるべき適切な語句を下の語群より選べ。ただし、同じ語句を何回選んでもよい。また、図1の(ア)、(イ)は(A)の文中の(ア)、(イ)と対応している。ただし、図1の中のわくの面積は実際の値とは異なる。

語群：

総生産量，純生産量，光合成量，呼吸量，成長量  
被食量，同化量，死亡量，捕食量，現存量

問2 図1を参考にして、文中の  ～  に適切な数値を入れ、文章を完成せよ。

(答えに小数を含む場合は、答えを四捨五入して小数点以下第1位まで記せ)

(B) 文(A)で述べたように、食物連鎖は生食連鎖と腐食連鎖から成るが、腐食連鎖については生食連鎖ほど研究が進んでいない。その原因の一つは、腐食連鎖を構成する生物の間の有機物の流れを調べるのが困難な点にある。このような難点を克服するため、比較的単純な生態系である砂漠で行われた腐食連鎖の研究を取りあげてみよう。実験にあたっては、砂漠に生える低木の落葉を詰めた網袋（リターバッグ）を土壌中に埋めておいた。そこに生息する微生物はもちろん、ダニや線虫のような小型の土壌動物も、このリターバッグの網目を通して自由に中の落葉に到達できる。複数のリターバッグを2群に分け、一方は節足動物にだけ有効な殺虫剤で処理をし（殺虫剤処理群）、他方は殺虫剤の処理はしなかった（非処理群）。このようにして、20日間土壌中に放置した後の落葉の分解率（重量の減少率）と、線虫、捕食性ダニ、細菌の密度を示したのが表1である。

表 1

	殺虫剤処理群	非処理群
落葉の分解率 (%)	8.2	23.3
線虫の密度*	9.3	1.2
捕食性ダニの密度*	0.0	4.7
細菌の密度*	$1.6 \times 10^6$	$1.0 \times 10^7$

\*注) 線虫とダニの密度は落葉 1g 当たりの生息数、細菌の密度は落葉 1g 当たりの菌数である。

問3 表1の結果を腐食連鎖の観点から説明すると図2のようになると考えられる。[サ] ~ [ス] に線虫, 捕食性ダニ, 細菌のいずれかを入れ, 図2を完成せよ。この図では, 矢印の方向へ腐食連鎖が進むものとする。

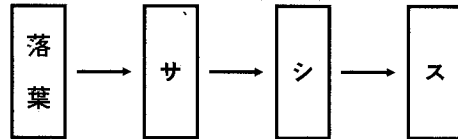


図2

問4 この砂漠の実験において, 殺虫剤処理によって落葉の分解率が小さくなった理由を, 図2で完成させた腐食連鎖にもとづき説明せよ。

## 生物問題 IV

次の文を読み、問1～問5に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。

ワトソンとクリックは、1953年に **ア** 構造をもつDNAの分子模型を発表した。この分子模型は、それまでに他の研究者達によって報告されていたDNAについて<sup>①</sup>の研究成果をふまえたものであり、DNAの遺伝子としての機能をうまく説明できるものであった。これによって、遺伝子を実体のある分子としてあつかえるようになり、分子生物学が急速に発展するきっかけとなった。

DNAの塩基配列として保存されている遺伝情報は、**イ**の働きによって伝令RNAに転写される。伝令RNAは核内から細胞質に移動して **ウ** と結合する。一方、細胞質には、それぞれ決まったアミノ酸と結合した運搬RNAが存在し、アミノ酸を **ウ** へ運んでくる。そして、伝令RNAの特定のコードンに対して相補的な **エ** をもった運搬RNAが、伝令RNAと結合する。つぎに、隣り合ったアミノ酸がたがいに **オ** 結合することで、遺伝情報がタンパク質に **カ** される。

表1は伝令RNAがもつ64種類のコードンを示したものである。伝令RNAのコードンのうちUAA、UAG、UGAの3種類は停止コードンと呼ばれ、タンパク質の合成を停止させる機能をもっている。残りの61種類のコードンがアミノ酸を指定するが、タンパク質を構成するアミノ酸は20種類しかないので、各アミノ酸を指定するコードンの種類は、ほとんどのアミノ酸について複数存在することになる。

DNAの塩基が1つだけ入れ替ったために、コードンを構成する塩基の1つが、別の塩基に変化した場合を考えてみよう。たとえば、フェニルアラニンを指定するUUUというコードンは、AUU、CUU、GUU、UAU、UCU、UGU、UUA、UUC、UUGの9種類のコードンに変わりうる。表1を見れば、これらのコードンのうち、UUCというコードンへの変化はアミノ酸の変化をもたらさないが、その他のコードンへの変化はすべてアミノ酸を変化させることがわかる。

表 1

第1塩基	第2塩基				第3塩基
	U	C	A	G	
U	フェニルアラニン	セリン	チロシン	システイン	U
	フェニルアラニン	セリン	チロシン	システイン	C
	ロイシン	セリン	停止	停止	A
	ロイシン	セリン	停止	トリプトファン	G
C	ロイシン	プロリン	ヒスチジン	アルギニン	U
	ロイシン	プロリン	ヒスチジン	アルギニン	C
	ロイシン	プロリン	グルタミン	アルギニン	A
	ロイシン	プロリン	グルタミン	アルギニン	G
A	イソロイシン	トレオニン	アスパラギン	セリン	U
	イソロイシン	トレオニン	アスパラギン	セリン	C
	イソロイシン	トレオニン	リジン	アルギニン	A
	メチオニン	トレオニン	リジン	アルギニン	G
G	バリン	アラニン	アスパラギン酸	グリシン	U
	バリン	アラニン	アスパラギン酸	グリシン	C
	バリン	アラニン	グルタミン酸	グリシン	A
	バリン	アラニン	グルタミン酸	グリシン	G

問1 文中の **ア** ～ **カ** に最も適切な語句を記入せよ。

問2 1944年にアベリー（エイブリー）らは、遺伝子の本体がDNAであることを最初に報告した。彼らは、どのような実験を行ったのか、用いた細菌名を含めて説明せよ。

問3 下線部①について、この分子模型の根拠となった研究成果の中から、例を1つあげて説明せよ。

問4 ロイシンを指定する CUA というコドンに1塩基の置換が生じて異なったコドンに変化した場合に、アミノ酸を変化させないコドンをすべて記せ。

問5 ある酵素の活性を失ったサルモネラ菌の変異株がある。その酵素のアミノ酸配列を調べたところ、野生株では、ある位置のアミノ酸がアスパラギンであるが、変異株ではイソロイシンに変化していた。これは DNA の塩基が1個だけ入れ替ったことが原因だとすると、塩基がどのように変化したと考えられるか。伝令 RNA に転写される側の DNA 鎖にある塩基名を、野生株については解答欄(キ)に、変異株については解答欄(ク)に記入せよ。