

第1問 生体の働きに関する文1および2を読み、I～VIの各問に答えなさい。

〔文1〕 膵臓は内分泌腺と外分泌腺とから構成されている。その大部分は腺房に配列した外分泌細胞で、ここで消化酵素が作られ、<sup>(a)</sup>膵管を通じて十二指腸に送られている。一方、膵臓の約2%を占める内分泌細胞は膵臓の全域に小さな集合体を作って散在しており、細い血管に取り囲まれている。この集合体は1869年ランゲルハンスによって発見され、ランゲルハンス島と呼ばれている。

1921年にはバンティングとベストが、膵管を糸で結んで外分泌腺を退化させた膵臓の抽出液を糖尿病のイヌに注射し、尿中のブドウ糖濃度を低下させることに成功した。この実験によりインスリンが発見された。その後、人体に用いるのに十分な量のインスリンが家畜の膵臓から精製され、<sup>(b)</sup>糖尿病の治療に用いられるようになった。しかし、このようなインスリンを糖尿病の患者に投与し続けると、インスリンの効果が弱くなることがわかってきた。このことから、1953年にサンガーによりアミノ酸配列決定法が確立されてインスリンのアミノ酸配列が動物種によって異なっていることが明らかになってくると、多くの研究者がヒトのアミノ酸配列をもつ人工インスリンの作製に力を注ぐようになった。発見から80年余りの間に、その研究を通じて11人の科学者がノーベル賞を受賞し、<sup>(c)</sup>分子生物学の発展にインスリンは重要な役割を果たした。

問Ⅰ 下線部(a)について。膵臓以外の内分泌腺と外分泌腺の具体例を1つずつあげなさい。さらに、内分泌腺と外分泌腺の違いを50字以内で述べなさい。

問Ⅱ 下線部(b)について。

A バンティングとベストが膵臓からインスリン抽出液を作るとき、なぜ膵管を糸で結んで外分泌腺を退化させたか。考えられる理由を70字以内で述べなさい。

B 膵臓の内分泌細胞からは血糖値の恒常性維持に重要なホルモンがインスリンの他にもう1種類分泌されている。このホルモン名をあげなさい。さらに、血糖値がどのようにこの両ホルモンによって調節されているか、100字以内で述べなさい。

問Ⅲ 下線部(c)について。なぜ多くの研究者が人工ヒトインスリンを作ろうと努力する必要があったのか。本文中の内容に基づいて考えられる理由を50字以内で述べなさい。

〔文2〕 現在、大気中の二酸化炭素の濃度は、毎年同じような年内変化を示しながら、長期的にみると上昇を続けている。二酸化炭素は主要な温室効果ガスの1つであるため、<sup>(a)</sup>濃度が上昇すると気温の上昇や降水量の変化が起こり、自然生態系や農業生態系に大きな影響を与えることが予想される。また、二酸化炭素濃度は直接、植物の生育に影響を及ぼすことも知られており、閉鎖型の小型温室を利用した実験などから、二酸化炭素濃度が高いと植物の成長がよくなることがわかっている。植物の成長量が増加する理由の1つは、二酸化炭素濃度が高いと光合成が促進されるからである。また、二酸化炭素濃度が高いと気孔が閉鎖してガス交換は抑制されるが、蒸散速度が低下して水の利用効率が上昇するため、水が制限要因となっている条件下では、一般に成長が促進される。しかし、閉鎖型の小型温室内における植物の地上部および地下部の生育環境は、野外とは異なる場合がある。そこで、野外に設置されたパイプなどから作物を取り巻く大気中に高濃度の二酸化炭素を放出し、生態系の環境応答を研究するFACE(Free-Air CO<sub>2</sub> Enrichment：開放系大気二酸化炭素増加)実験が行われるようになった。FACE実験は1980年代の終りに世界で初めてアメリカで実施されて以来、アメリカとヨーロッパを中心に進められてきた。日本では、水田で水に浸った条件で栽培されるイネのFACE実験が世界で初めて行われており、高濃度の二酸化炭素条件下でイネの成長量は増加するが、その増加割合は畑作物の場合ほど大きくないことが<sup>(b)</sup>明らかとなってきた。

問Ⅳ 下線部(a)について。北半球の中緯度において、大気中の二酸化炭素濃度はどのような年内変化を示すか。その理由とともに120字以内で説明しなさい。

問Ⅴ 下線部(b)について。イネのFACE実験において高二酸化炭素濃度による成長の促進が畑作物の場合に比べて相対的に小さい理由について、本文中の内容に基づいて考えられることを120字以内で説明しなさい。

問Ⅵ 成熟期のトウモロコシ個体群内部における二酸化炭素濃度は、地表面からの高さ(高度)によって異なる。日中、二酸化炭素濃度が最も低い高度は、早朝は個体群の高いところにあるが、昼頃になると低くなり、夕方にはまた高くなる。個体群内部において二酸化炭素濃度が最も低い高度がこのように変化する理由について、150字以内で説明しなさい。

第2問 微生物の構造と機能に関する文1および2を読み、I～VIの各問に答えなさい。

〔文1〕 エイズウイルス(ヒト免疫不全ウイルス HIV)をはじめとするレトロウイルスは、一般に図1のような粒子構造を有する。レトロウイルスが細胞に感染する際、ウイルスエンベロープタンパク質が細胞表面のウイルス受容体と結合することにより、ウイルスが細胞内へ侵入することができる。感染成立後は、ウイルスゲノムが複製され、またウイルスゲノム由来のタンパク質が生成され、これらが会合して新たなウイルス粒子が産生される。つまり、感染が成立した細胞では、ウイルスエンベロープタンパク質も生成されるわけであるが、この生成されたエンベロープタンパク質は、細胞のウイルス受容体と結合し、受容体上のエンベロープタンパク質結合部位をふさいでしまう。そのため、この感染細胞では、同じウイルスの新たな感染は生じない。

ここで、エンベロープタンパク質の受容体結合部位のみが異なる5種類のレトロウイルス(Va, Vb, Vc, Vd, Ve)があるとすると、これらのウイルスは全て細胞Pに感染することができる。このうち、レトロウイルスVaの受容体はJで、レトロウイルスVaは受容体Jが発現していない細胞には感染できない。同様に、レトロウイルスVbの受容体はKで、レトロウイルスVbは受容体Kが発現していない細胞には感染できず、また、レトロウイルスVcの受容体はLで、レトロウイルスVcは受容体Lが発現していない細胞には感染できない。これらを用いて細胞Pへの重複感染実験をおこなった結果を表1に示す。たとえば、細胞PにまずレトロウイルスVaを感染させ、感染成立後、レトロウイルスVbの感染を試みたところ、Vb感染は成立した(表1の\*1)。さらに、細胞Qを用いて、まず、それぞれのウイルスが感染しうるかどうかを調べ(表2)、重複感染実験をおこなった(表3)。なお、表の一部は空欄にしてある。

問Ⅰ 表1, 表2, 表3の結果について。

- A レトロウイルス Vd は, J, K, L のうち, どれを受容体として利用できるか。
- B レトロウイルス Ve は, J, K, L のうち, どれを受容体として利用できるか。
- C 受容体 J, K, L のうち, 細胞 Q に発現していないと考えられるものはどれか。
- D 表3の\*2の空欄に+か-を入れなさい。
- E 表3の\*3の空欄に+か-を入れなさい。

問Ⅱ まずレトロウイルス Va を感染させ, 感染成立後, レトロウイルス Vd の感染を試みたところ, 細胞 P(表1の\*4)と細胞 Q(表3の\*5)とで異なった結果が得られた。考えられる理由について150字以内で述べなさい。

問Ⅲ まずレトロウイルス Va を感染させ, 感染成立後, レトロウイルス Ve の感染を試みた結果も, 細胞 P(表1の\*6)と細胞 Q(表3の\*7)とで異なっていた。考えられる理由について150字以内で述べなさい。

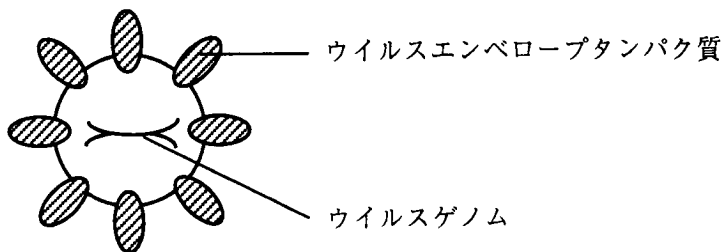


図1 レトロウイルスの構造

表1 細胞Pへの重複感染

		2回目の感染に用いたウイルス				
		Va	Vb	Vc	Vd	Ve
1回目の感染に 用いたウイルス	Va		+(*)1	+	+(*)4	-(*)6
	Vb	+		+	+	+
	Vc	+	+		+	+
	Vd	-	-	+		-
	Ve	-	+	+	+	

+は重複感染成立，-は重複感染不成立を示す。

表2 細胞Qへの感染

感染に用いた ウイルス	Va	+
	Vb	-
	Vc	+
	Vd	+
	Ve	+

+は感染成立，-は感染不成立を示す。

表3 細胞Qへの重複感染

		2回目の感染に用いたウイルス			
		Va	Vc	Vd	Ve
1回目の感染に 用いたウイルス	Va		+	-(*)5	+(*)7
	Vc	+		+	+
	Vd	(*)2	+		+
	Ve	(*)3	+	-	

+は重複感染成立，-は重複感染不成立を示す。

Vbは細胞Qに感染しないので実験に用いなかった。

〔文 2〕 土壤中に生息する微生物について以下の実験を行った。

(実験 1) 土壌(含水率 20%) 1 g に全量が 10 ml になるように滅菌水を添加し、よく懸濁させた(第 1 希釈液)。これの 0.1 ml を取り、別に用意した 9.9 ml の滅菌水に懸濁させ(第 2 希釈液)、さらにこの希釈操作をもう一度繰り返した(第 3 希釈液)。この第 3 希釈液を、肉エキスとブドウ糖を含んだ寒天平板培地 3 枚に 1 枚あたり 0.1 ml を塗抹して微生物を実験室内で 1 週間培養した。生育したコロニー(微生物の集団が形成する斑点状のもので、1 つのコロニーは 1 つの微生物細胞に由来する)を計数すると 3 枚の平板培地で 134, 140, 146 であった。この実験とは別に、第 3 希釈液 10  $\mu$ l ずつを用いて、全ての生きた細胞を染色する染色法で細胞数を顕微鏡を用いて直接計数したところ、3 回の計数結果は 865, 882, 893 であった。

(実験 2) 実験 1 で分離した微生物 A から H を用いて、細胞形態を顕微鏡で観察したところ、全ての微生物が球形をしていたが、A は直径約 10  $\mu$ m でその他のものは直径約 0.5  $\mu$ m であった。このことから、微生物 A は真核生物、その他の微生物は原核生物と考えられた。微生物 A から H はすべて空気を除いて培養すると生育しないことから、好気呼吸で ATP を生産しているものと考えられた。

(実験 3) 実験 2 で用いた微生物 A から H を、無菌状態で生育させたキャベツの根に接種し、30 日後にキャベツの生育を観察した。この栽培は 2 つの条件に分けて行った。1 つは微生物 A から H を単独で接種し、もう 1 つはキャベツに病害を引き起こす微生物 X を同時に接種した。この結果、微生物 A から H の単独接種では病害は引き起こされず、病害を引き起こす微生物 X との同時接種では、接種した微生物によって病害の程度が異なった。なお、キャベツはそれぞれ

れの条件で6株ずつ栽培し、生育の程度は乾燥重量の平均値で示し  
(表4)、病害の程度は発病度の平均値で示した(表5)。

表4 キャベツの生育に対する微生物の影響

接種微生物	乾燥重量(g)
無接種	0.12
A	0.29
B	0.13
C	0.11
D	0.10
E	0.35
F	0.12
G	0.31
H	0.33

表5 キャベツの病害に対する微生物の影響

接種微生物	発病度*
X	2.4
A+X	2.2
B+X	0.8
C+X	2.5
D+X	0.9
E+X	0.5
F+X	2.4
G+X	0.6
H+X	2.1

\*数字が大きいほど病害がひどい。

問Ⅳ 実験1について。土壤微生物を寒天平板で計数した場合と、生きた細胞を顕微鏡で計数した場合のそれぞれの計数結果から、乾燥土壌(含水率0%) 1gあたりの微生物数を計算しなさい。また、両者の結果が異なる理由を50字以内で述べなさい。

問Ⅴ 実験2について。電子伝達系(水素伝達系)は真核生物ではミトコンドリア内膜上に存在するが、原核生物ではミトコンドリアが存在せず、電子伝達系は一般に細胞膜上に存在している。好気呼吸において、細胞の膜における単位面積あたりのATP生産は一定と仮定して、以下の問題に答えなさい。

A 細胞の進化において、原核生物の細胞(一般的に球形に近い形態をしている)は真核生物の細胞のように大きくなることができなかったが、この理由をATPの生産と消費のバランスの観点から120字以内で説明しなさい。

B 細胞の進化において、原核生物の細胞が大きくなれたとしたら、どのような形態が考えられるか。その形態の特徴を50字以内で説明しなさい。

問Ⅵ 実験3について。微生物AからHの違いを、キャベツの生育に対する影響と病害に対する影響という特徴に基づいて表示する図を作成しなさい。

第3問 遺伝子の働きと進化に関する文1および2を読み、Ⅰ～Ⅷの各問に答えなさい。

〔文1〕 ごく微量の DNA 試料から目的とする部分のみを増幅し大量の DNA 断片を得る方法として、DNA ポリメラーゼ連鎖反応法(PCR 法)が開発され、広い分野で利用されている。基本的な PCR 法では、以下の3つのステップからなる一連の反応(サイクル)を、1本の反応チューブ内で30から40サイクル繰り返すことによって、目的とする DNA を指数関数的に増幅する(図2)。

ステップ1：94℃に加熱することで、鋳型となる2本鎖 DNA を1本鎖に解離する。

ステップ2：温度を55℃に下げ、増幅したい部分に応じた、プライマーと呼ばれる20塩基程度の長さの1本鎖 DNA を結合させる。<sup>(a)</sup>

ステップ3：温度を72℃に上げ、DNA ポリメラーゼによって2本鎖 DNA を合成する。<sup>(b)</sup>

分子生物学の分野では、PCR法を応用した、ある遺伝子の転写産物の有無を検出する方法(RT-PCR法)が考案され、遺伝子発現の解析に利用されている。この方法では、まずRNAをDNAに複製する酵素(逆転写酵素)を用いて、任意の細胞あるいは組織で発現している全ての伝令RNA<sup>(c)</sup>に対して、それらに相補的な配列を持つ1本鎖DNAを合成する。次に、これらの1本鎖DNAを鋳型に用いたPCR法によって、目的とする遺伝子の断片を増幅する。

さてここで、AからEまでの5種類の真核細胞における遺伝子X、および遺伝子Yの発現を調べるために、それぞれの細胞から抽出した伝令RNAをもとにRT-PCR法による解析を行ったとしよう。同時に、AからE全ての細胞で発現していることが既に知られている遺伝子Z<sup>(d)</sup>についてもRT-PCR法による検出を行ったところ、この実験からは表6にあるような結果を得た。<sup>(e)</sup>

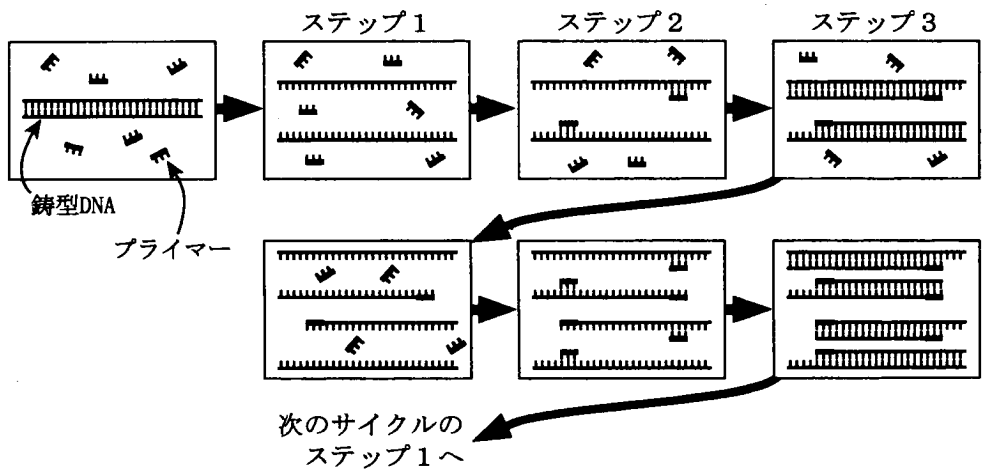


図2 PCR法の概略図

表6 RT-PCR法の結果

	A細胞	B細胞	C細胞	D細胞	E細胞
遺伝子X	○	○	×	×	×
遺伝子Y	○	×	×	×	○
遺伝子Z	○	○	×	○	○

○は増幅されたDNA断片が検出されたことを、×は検出されなかったことを示す。

問Ⅰ 下線部(a)について。プライマーがランダムな位置に結合したり、あるいは互いに結合したりせずに、目的とする部分だけに特異的に結合するのは、DNAが持つどのような性質によるものか。50字以内で述べなさい。

問Ⅱ 下線部(b)について。ステップ3で作用するPCR法用のDNAポリメラーゼは、タンパク質としては特殊な、ある性質を有している。それはどのような性質か。ステップ1や3の反応条件から判断して、10字以内で述べなさい。

問Ⅲ 下線部(c)について。原核生物の伝令 RNA の寿命は一般に短く、数分程度で分解されてしまうものがほとんどである。原核生物は、置かれた環境が変化すると、遺伝子を新たに転写したり逆に転写を止めたりすることで対応する。伝令 RNA の寿命が短いことは、原核生物が環境の変化に素早く対応するのに有利に働くと考えられるが、それはなぜか。100 字以内で述べなさい。

問Ⅳ 下線部(d)について。この実験で、全ての細胞で発現することが既に知られている遺伝子 Z の発現を解析したのは、どのようなことを証明するためか。50 字以内で述べなさい。

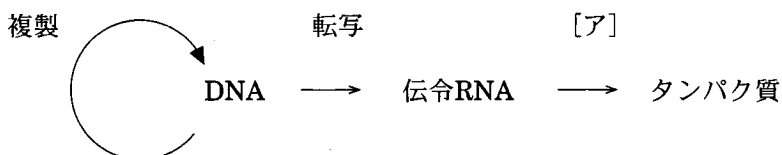
問Ⅴ 下線部(e)について。この結果からは、各細胞における遺伝子 X および Y の発現に関して、「A 細胞は遺伝子 X および Y の両方を発現し、B 細胞は遺伝子 X、E 細胞は遺伝子 Y のみを発現する。また、C 細胞および D 細胞は両遺伝子とも発現しない」という結論を導くことはできない。この結論は、どのような理由でどのような点が間違っているのだろうか。150 字以内で説明しなさい。

〔文2〕 地球上には、大腸菌、ムラサキツユクサ、ショウジョウバエ、ヒトというように非常に多様な生物が生息している。しかし、このように外見が多様であっても、遺伝情報を担う核酸と生体反応を担うタンパク質とが緊密に連携したシステム<sup>(a)</sup>であるという基本点は、すべての生物で同じである。生物に多様性をもたらす基盤もここにある。いま生きている生物はすべて、地球上に生命が生じたときから途切れることなく続いてきた世代から世代への連鎖の上に存在している。この連鎖を通じて遺伝情報は伝えられているが、世代間で伝えられる間に、その情報は各系統においてしだいに変化していく。これが生物多様性の基礎となる。

このようにして各生物に伝えられている遺伝情報を分析することにより、生物の系統関係を推定するのに有用なデータを得ることができる。生物の系統関係についての知見は、生物の多様化の過程を理解する上で不可欠なものであり、さまざまな生物の遺伝情報の比較研究が活発に進められている。その結果、これまでに認識されてきたいくつもの生物群は、その群の共通祖先の子孫を全て含む、系統的にまとまったグループ(単系統群)ではないことがわかってきた。たとえば原核生物は、その中に、他の原核生物に対するよりも真核生物により近縁なものをも含んでおり、系統的に多様な生物から成っている<sup>(b)</sup>ことが明らかになってきた。また DNA 分析に基づくいろいろな種の由来に関する研究も大きく発展し、最近では、ネアンデルタール人の化石からその遺伝情報の一部を復元し、現代人やチンパンジーのものと比較して、ヒトの由来を探ろうとする研究も行われている<sup>(c)</sup>。

問Ⅵ 下線部(a)について。

A 下に示したのは、核酸とタンパク質の緊密な連携ということ、遺伝情報の流れという視点から見た概念図である。空欄〔ア〕に適切な語句を記しなさい。



- B DNA の複製では、娘 DNA には親 DNA の 2 本のポリヌクレオチド鎖の 1 本だけが受けつがれ、他方のポリヌクレオチド鎖は相手を鋳型にして新たにつくられる。この様式の複製をなんと呼ぶか。
- C この概念図に示される諸過程においてもタンパク質は不可欠で、たとえば DNA 複製の過程では DNA 合成酵素が重要な働きをしている。DNA 複製の場合、転写の場合と同じく DNA が鋳型であるのに、なぜ RNA が合成されないのだろうか。DNA 合成酵素の基質特異性の面からその理由を考え、100 字以内で説明しなさい。

問Ⅵ 下線部(b)について。

- A ここで述べられている系統関係を、系統樹として図示しなさい。その際、真核生物により近縁な原核生物を X、それ以外の原核生物を Y、真核生物を Z としなさい。
- B 真核生物のように系統的にまとまったグループ(単系統群)は、それらの共通祖先の段階で新たに獲得された形質の共有ということで認識されている。これに対して、原核生物のように系統的にまとまりのないさまざまな生物がひとつのグループとされてしまうのは、どのような形質の共有を重視するためと考えられるか。30 字以内で述べなさい。

問Ⅶ 下線部(c)について。このネアンデルタール人化石の研究をはじめ、ヒト集団の由来を遺伝情報から探ろうとする研究では、ミトコンドリアの内部に存在するミトコンドリア DNA が分析対象とされることが多い。ミトコンドリア DNA は、通常、卵の細胞質を通じて母親から遺伝するので、主として母系(母—娘の連鎖)の系統関係を反映するものと考えられている。研究を深めるには、さらに父系(父—息子の連鎖)の系統関係の分析も行えると好都合である。父系の系統関係を遺伝情報から探ろうとする場合、どのような方法が考えられるか。30 字以内で述べなさい。