

# 生 物

(4 問題 100 点)

## 生物問題 I

次の文(A)、(B)を読み、問1～問6に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。

(A)  $\beta$ -ガラクトシダーゼは、ラクトース(乳糖)をグルコースとガラクトースに分解する酵素である。図1は、正常な大腸菌の $\beta$ -ガラクトシダーゼの遺伝子の一部(伝令RNAに相当する塩基配列)と、その部分に対応する $\beta$ -ガラクトシダーゼのアミノ酸配列を示している。

ある大腸菌の $\beta$ -ガラクトシダーゼの遺伝子に、図1中、矢印を付けたC(シトシン)がT(チミン)に変化する塩基の **ア** が起こった。この突然変異は、伝令RNA中で、グルタミンに対応する **イ** を、**ウ** の終結(停止)を意味する **イ** に変化させるものであった。この突然変異をもつ大腸菌は、不完全な長さの、酵素活性をもたない $\beta$ -ガラクトシダーゼしか合成できず、その結果、ラクトースを唯一の炭素源とする培養液中では増殖できなくなった。

この大腸菌( $\beta$ -ガラクトシダーゼの遺伝子に突然変異をもつ)を培養していたところ、ラクトースを唯一の炭素源とする培養液中でも増殖できるものが現れた。くわしく調べたところ、グルタミンの **エ** の遺伝子に突然変異が起こり、その結果、グルタミンの **エ** の **オ** が終止 **イ** と対合できるように変化していることがわかった。なお、大腸菌はグルタミンの **エ** の遺伝子を複数(重複して)もっているので、その1つに突然変異が起こっても、残りの遺伝子から正常なグルタミンの **エ** が生成される。

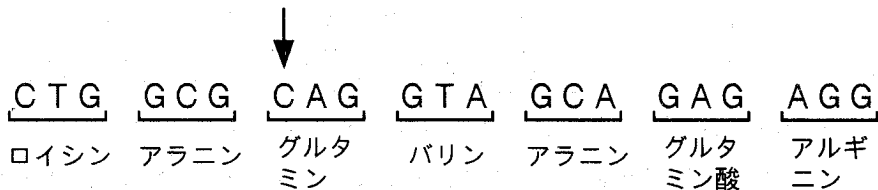


図 1

問 1 文中の ア ~ オ に適切な語句を入れよ。

問 2 下線部①について、グルタミンの エ に生じた変化を具体的に記せ。

問 3 図 1 中、矢印をつけた塩基が欠失した場合には、どのような結果が予想されるか、簡潔に説明せよ。

(B) ショウジョウバエやユスリカなどの幼虫には、体細胞の染色体の100～150倍もの大きさになる巨大な **カ** がある。**カ** では、細胞分裂を伴わずにDNAの複製が何度も繰り返された結果、DNAが横に並んで束ねられた状態になっており、染色液で濃く染まる帯と薄く染まる帯が交互に繰り返された独特の横しま模様が現れる。この横しま模様がいつも一定であることを利用して、遺伝子の位置を示す **キ** が作られた。**カ** の一部にふくらんだ部分がしばしば見られるが、これは **ク** と呼ばれ、<sup>②</sup> ここではRNAが盛んに合成されている。<sup>③</sup> **ク** の位置は発生ようかの時期で異なるが、熱や蛹化ホルモンを与えても変化する。

問4 文中の **カ** ～ **ク** に適切な語句を入れよ。

問5 下線部②について、遺伝子の染色体上での位置は、三点交雑法でも知ることができる。**カ** の横しま模様から作られる **キ** と三点交雑法で作られる **キ** で異なる点を解答欄(a)に、また、その原因として考えられることを解答欄(b)に、それぞれ記せ。

問6 下線部③について、RNAが盛んに合成されていることを示すには、どのような実験を行えばよいか、簡単に記せ。

## 生物問題 II

次の文(A), (B)を読み, 問1～問8に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。

(A) 熱帯雨林が成立するためには, 年平均気温が  $24^{\circ}\text{C}$  以上, 月降水量が1年を通じて  $100\text{ mm}$  以上であることが必要と言われている。熱帯雨林の単位面積あたりの植物体現存量は, 地球上の様々な植物群落の中でももっとも大きく, また, 純生産量<sup>①</sup>も熱帯雨林以外の森林に比べると高い値を示している。しかし, 最近の研究によって, 熱帯雨林を構成している樹木の葉の単位葉面積あたりの最大光合成速度は, 温帯<sup>②</sup>の樹木のそれとほとんど変わらないことが明らかになった。

1950年代には, この熱帯雨林が地球全体の陸地面積の11%を覆い, 陸上の植物体現存量の42%を占めていた。しかし, その後の人間による大規模な破壊によって, 熱帯雨林の分布面積は非常に小さくなってしまった。ところで, 大気中の **ア** 濃度は現在上昇を続けているが, この主な原因は地中に蓄えられていた **イ** や **ウ** などの **エ** 燃料を, 人間が採掘して燃焼させたことだと考えられている。しかしこれに加え, 森林面積が減少したこともまた **ア** 濃度の上昇に少なからぬ影響を与えている。例えば, 森林を伐採して生産された **オ** も, 利用後に焼却されたり分解されてしまえば, その中に含まれている有機物中の **カ** は **ア** に変化し, 大気中に放出されてしまうからである。

地球外から入射した太陽エネルギーは, いったん地表に吸収された後に赤外線として大気中に放射される。大気中の **ア** や **キ** などの一部の気体成分は, この赤外線のエネルギーの一部を吸収して, 地表付近の温度が過度に低下するのを防いでおり, 地球の温度環境の維持に重要な役割を果たしている。大気中の一部の気体成分がもたらすこのような効果は, **ク** と呼ばれている。しかし, 現在進行している大気中の **ア** 濃度の上昇は, この **ク** を助長して, 地球の温暖化を招くと予想されている。

問 1 文中の **ア** ～ **ク** に適切な語句を入れよ。

問 2 熱帯雨林はどのような相観を示すか、以下の語群より選べ。

落葉広葉樹林、 落葉針葉樹林、 常緑広葉樹林、 常緑針葉樹林

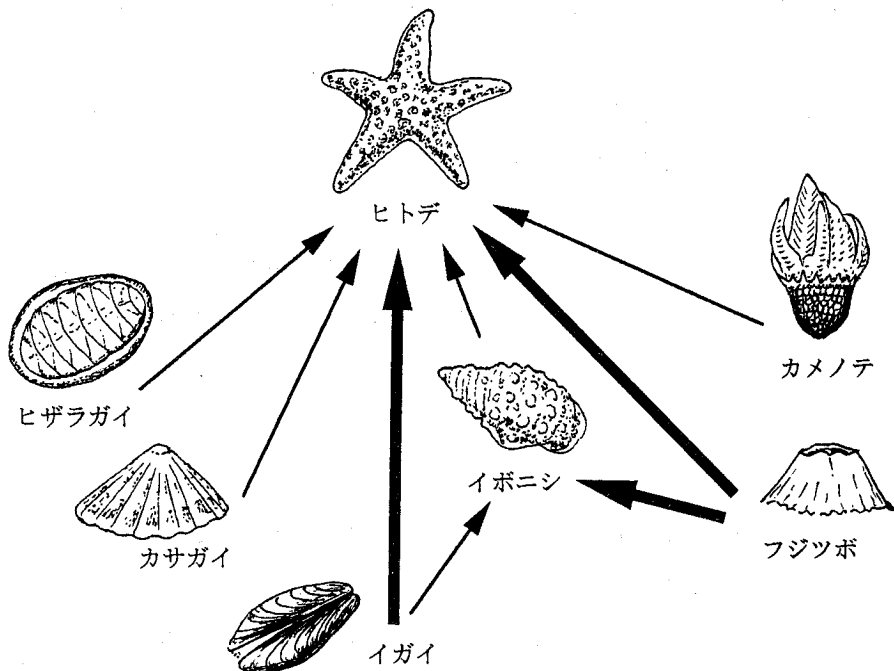
問 3 下線部①の純生産量を  $P_N$ 、総生産量を  $P_G$ 、生産者自身による呼吸の量を  $R$  として、3者間の関係を式で示せ。

問 4 下線部②が正しいとすると、熱帯雨林の単位面積あたりの純生産量が他の森林よりも高いのはなぜだろうか。その理由として文(A)から推定できることを述べよ。

(B) 図 1 はある岩礁潮間帯生物群集における食物網の一部を示している。この食物網には、肉食動物のヒトデ、イボニシ、その餌となるヒザラガイ、カサガイ、イガイ、フジツボ、カメノテが含まれる。これらの無脊椎動物は、幼生期には水中で浮遊生活をしているが、その後岩礁表面にすみつく。イガイ、フジツボ、カメノテは固着性で、水中のプランクトンなどの餌をろ過して食べて成長する。一方、カサガイ、ヒザラガイは移動しながら岩礁表面に付着している藻類を食べている。しかし、イガイなどの固着性動物が岩礁表面を覆うと、藻類は生育できなくなる。ヒトデは、餌動物のうち、主にフジツボとイガイを捕食し、イボニシは、主にフジツボを捕食している (図 1 の太い矢印)。固着性動物の中では、フジツボがもっとも多く、岩礁表面の 40% 程度を覆っている。それに比べるとイガイやカメノテの被覆面積は少なく、岩礁表面の 5% 以下に過ぎない。

この岩礁の一部の区画で、継続的にヒトデだけを取り除く実験が行われた。実験開始からしばらくすると、優占していたフジツボに代わってイガイとカメノテが増え始めた。実験開始 3 年後には岩礁表面の 95% がイガイに、5% がカメノテに覆われ、カサガイやヒザラガイはこの区画で見られなくなった。その後、岩礁表面は

すべてイガイで覆われた。なお、実験区画の近くの、ヒトデの除去を行わなかった<sup>③</sup>場所で同じように観察を行ったが、そこではこの期間に種構成の変化はほとんど見られなかった。除去実験の結果から、ヒトデの存在は、この岩礁潮間帯の種の多様性を維持するうえで重要であることが示唆された。



問 5 図 1 にあげた動物は分類学上 3 つの門のいずれかに属する。それらの門の名称をすべて記せ。

問 6 図 1 の食物網のヒトデとイガイのそれぞれの現存量の間には、どのような関係があると考えられるか記せ。

問 7 下線部③の観察を行ったのはなぜか。その理由を記せ。

問 8 除去実験の結果から推測して、ヒトデは種多様性の維持につながるどのような役割を果たしていたと考えられるか。次の(あ)~(お)のうち妥当と考えられるものを選び、その記号を記せ。

(あ) すべての餌動物種を均等に捕食することによって、群集の構成を一定に保つ。

(い) 捕食によって、餌動物や藻類が新たに定着できる場所を作り出す。

(う) 餌動物間の競争で優位なイガイを捕食することにより、他の劣位な種の存在を可能にする。

(え) 中間的な捕食者であるイボニシを捕食することによって、イガイとフジツボの間の競争を緩和する。

(お) 捕食によって藻類の生育場所を減少させ、新たな餌動物の定着場所を増やす。

# 生物問題 III

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。

生体の種々の作用を行う酵素は、遺伝子がもつ遺伝情報をもとに作られるが、遺伝子に突然変異が生じると、酵素の活性が変化することがあり、ヒトでは、これが原因となって遺伝病となることがある。

病気Uは、あるヒトの集団Xでは、1万人に80人の割合で発症し、劣性の遺伝様式を示す遺伝病である。その原因となる遺伝子は、ヒトの第16番染色体上にある。以下、この遺伝子を病気U原因遺伝子と呼ぶ。病気U原因遺伝子の遺伝情報をもとに酵素Eが作られるが、酵素Eの活性が低い人には病気Uが発症する。集団Xの患者について病気U原因遺伝子を調べたところ、すべて同じ突然変異による遺伝子の変化であった。正常の対立遺伝子をA、集団Xの患者の変異対立遺伝子を $a_x$ と表すと、患者の遺伝子型は  であり、患者の両親で、病気Uを発症していない人の遺伝子型は  である。遺伝子型と、酵素Eの活性の間には関係があり、例えば、ある人は正常対立遺伝子Aをホモにもち、酵素Eの活性は11.9であったが、ある患者では酵素Eの活性は0.1であり、この患者の親で病気Uを発症していない人では酵素Eの活性は6.1であった。

一方、別のヒト集団Yでの病気Uの発症頻度は、集団Xよりも高く、1万人に280人の割合で発症するが、比較的軽症の患者が多い。この理由を探るため、集団Yの患者について病気U原因遺伝子を調べたところ、集団Xに見られる変異対立遺伝子 $a_x$ 以外に、集団Yにのみ見られる突然変異をもつ対立遺伝子 $a_y$ もあることがわかった。さらにくわしく調べるため、集団Xと集団Yからそれぞれ1000人ずつを無作為に抽出し、酵素Eの活性を測定した結果を表1に示す。表1は、例えば、酵素Eの活性が12.0以上12.5未満の人は、集団Xでは1000人中408人、集団Yでは1000人中310人であったことを示している。

表1によると、集団Xでは、すべての人の酵素Eの活性が、0.0、6.0、12.0のいずれかに近い値であるのに対し、集団Yでは、それら以外に2.0、4.0、8.0に近い値を示す人もいることがわかる。集団Yに存在する遺伝子は、A、 $a_x$ 、 $a_y$ であるから、

酵素 E の活性が 2.0, 4.0, 8.0 に近い値を示す人の遺伝子型はそれぞれ ウ ,

エ , オ であると推定される。

なお、文中および表 1 中の酵素 E の活性の値は相対値である。

表 1

酵素 E の活性	集団 X (人)	集団 Y (人)	酵素 E の活性	集団 X (人)	集団 Y (人)
0.0 - 0.5	8	8	6.5 - 7.0	0	0
0.5 - 1.0	0	0	7.0 - 7.5	0	0
1.0 - 1.5	0	0	7.5 - 8.0	0	90
1.5 - 2.0	0	9	8.0 - 8.5	0	86
2.0 - 2.5	0	11	8.5 - 9.0	0	0
2.5 - 3.0	0	0	9.0 - 9.5	0	0
3.0 - 3.5	0	0	9.5 - 10.0	0	0
3.5 - 4.0	0	6	10.0 - 10.5	0	0
4.0 - 4.5	0	6	10.5 - 11.0	0	0
4.5 - 5.0	0	0	11.0 - 11.5	0	0
5.0 - 5.5	0	0	11.5 - 12.0	420	330
5.5 - 6.0	81	74	12.0 - 12.5	408	310
6.0 - 6.5	83	70	12.5 - 13.0	0	0
			計	1000	1000

問1 文中の **ア** ～ **オ** に適切な記号を入れよ。

問2 いま、集団 X における対立遺伝子 A と  $a_x$  の遺伝子頻度をそれぞれ  $p$ ,  $q$  (ただし  $p + q = 1$ ) とすると、配偶子が A をもつ確率は  $p$ ,  $a_x$  をもつ確率は  $q$  である。集団 X での遺伝子型 AA, **ア**, **イ** の割合を,  $p$ ,  $q$  を用いて, 解答欄(a), (b), (c)にそれぞれ記入せよ。また, 集団 X での患者の頻度から, 対立遺伝子  $a_x$  の遺伝子頻度  $q$  を求め, 四捨五入して小数点以下第2位までの数字を解答欄(d)に記入せよ。

問3 表1の結果と, 集団 Y での病気 U の発症頻度から, 酵素 E の活性がいくら以下であると病気 U を発症すると考えられるか。正の整数で答えよ。

問4 集団 Y での病気 U の患者について, 考えられる遺伝子型をすべて記入せよ。

問5 集団 Y での対立遺伝子 A,  $a_x$ ,  $a_y$  の遺伝子頻度をそれぞれ  $r$ ,  $s$ ,  $t$  (ただし,  $r + s + t = 1$ ) とする。表1の結果から, 問2と同様に考えて,  $r$ ,  $s$ ,  $t$  の値を求め, 解答欄(e), (f), (g)にそれぞれ記入せよ。答えは, 四捨五入して小数点以下第2位まで記せ。

# 生物問題 IV

次の文(A), (B)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。

(A) 生まれて間もないアヒルは, 生まれて最初に見る「動く物体」の後を追うようになる。この「動く物体」は, <sup>①</sup>通常, 親アヒルである。しかし, 親アヒルに代えてゴムボールの転がるのを見せてやると, このゴムボールの後を追うようになる。このような学習を  と呼ぶ。

ウサギの眼球に空気をすばやく吹き付けると, ウサギは目を閉じる。これは, 学習しなくても起こる反射行動であり, 瞬目反射と呼ばれる。ここで通常ならば目を閉じない程度の大きさや高さの音を聞かせ, その直後に空気をすばやく吹き付けることを繰り返し行くと, やがて音を聞かせるだけでウサギは目を閉じるようになる。これも学習の一種であり,  と呼ばれる。

問1 文中の ,  に適切な語句を入れよ。

問2 下線部①の学習について述べた次の(あ)～(え)のうち正しいものを選び, その記号を記せ。

- (あ) この学習ができるかどうかは, 最初に見る「動く物体」の種類にはよらない。
- (い) この学習ができるという能力そのものは経験にもとづいている。
- (う) その後ゴムボールを見せることなく生活させると, 数日後にはゴムボールを追う習性が見られなくなる。
- (え) ゴムボールを追うという学習ができた後でも, 1日12時間以上もゴムボールを見ていると「慣れ」が生じて, ボールを追わなくなる。

(B) 水深 1 m, 半径 2 m 程度の円形のプールを用意し, ここにネズミを放つ。ネズミは泳ぐことはできるが, 足が届く場所では直ちに泳ぐのをやめて, その場所で休憩する。プールの周囲には数個の異なった目印を置く。ネズミは泳ぎながらこの目印を見ることができる。プールは白濁した水で満たされており, 水面下は見えない。プール内領域を指し示す目的で, 図 1, 2, 3 (プールを上方から見て描いた図) では 2 本の実線で仕切って四分画 (S, T, U, V と名付ける) しているが, 実際にはこの仕切り線は存在しない。分画 U の底にはネズミの足が届く程度の浅瀬を設置しておく (図 1, 2 の破線)。

プールの縁からネズミを放って泳がせ, そのネズミの動きを追う (図 1~3 の黒丸から矢印の先までの実線)。ネズミは, 最初はあてもなく泳ぎ回わり, なかなか浅瀬に到達できない (図 1)。しかし, 試行を重ねるにつれて, どの地点からネズミを放っても, すぐに浅瀬の位置へ泳いで行くようになる (図 2)。こうして浅瀬にすぐにたどり着けるようになったネズミを, 浅瀬を取り除いたプールに放したところ, 試行時間のおよそ 100 % の間, 分画 U 内を泳ぎ回った (図 3)。

脳の機能を調べる目的で, 実験動物の脳の一部を壊してその影響を調べるという実験がしばしば行われる。例えば, ネズミの脳のうち海馬と呼ばれる部分を壊すと, 上に述べた学習はできなくなるが, それ以外の障害はまったく見られない。このネズミについて, 浅瀬の場所に旗を立てて水面上に見えるようにして実験を行ったところ, 旗を手がかりに浅瀬に到達できるようになった。なお, 海馬を壊していないネズミでも, 旗を手がかりとしたこの学習は可能であった。

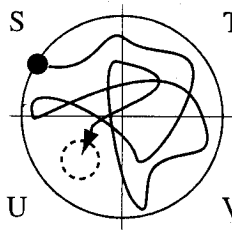


図 1

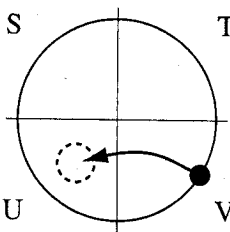


図 2

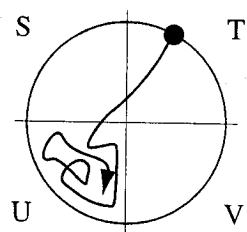


図 3

**問 3** 下線部②のネズミについて、浅瀬を取り除いたプールで以下の(a), (b)の実験を行った。分画U内を泳いでいた時間は、試行時間のそれぞれおよそ何%であったと考えられるか、解答欄(a), (b)に記せ。

- (a) プールの周囲の目印を取り払った後にネズミを放った。
- (b) プールの周囲の目印を、プールの中心を基準に180度回転して取り付け直し、ネズミを放った。

**問 4** 下線部③のネズミを用いて、浅瀬を取り除いたプールで以下の(c)~(e)の実験を行った。分画U内を泳いでいた時間は、試行時間のそれぞれおよそ何%であったと考えられるか、解答欄(c)~(e)に記せ。

- (c) 旗と目印の両方がある状態で、ネズミを放った。
- (d) 旗を取り除き、目印は残して、ネズミを放った。
- (e) 旗を残して、目印を取り除き、ネズミを放った。

**問 5** ネズミが浅瀬にたどり着く方法を学習する上で、脳の海馬と呼ばれる部分は、どのような機能を果たしていると考えられるか、問題文の記述からわかることを述べよ。