

「解答はじめ」の合図があるまでは問題冊子を開いてはいけません。

注意事項

1. 問題冊子は1ページから18ページまでの綴りでできています。「解答はじめ」の合図の後、ページの落丁、乱丁あるいは印刷の不鮮明なものがあれば、手をあげて試験監督者に申し出てください。
2. 問題は4問あります。解答用紙は合計4枚あります。4枚の解答用紙の全てに受験番号を必ず記入してください。
3. 解答は該当する解答用紙の解答欄に記入してください。
4. 問題冊子の空白ページや余白は、下書き用紙として使用してください。
5. 問題冊子は、試験終了後、持ち帰ってください。

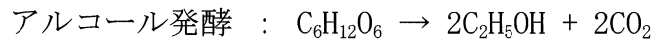
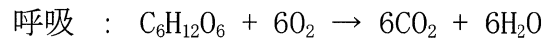
以下の文章を読み、問いに答えよ。

[I] 酵母は、酸素の有無にかかわらず生育することができ、(ア) 酸素がない環境ではアルコール発酵によってエネルギーを産生する。アルコール発酵では、まず解糖系でピルビン酸が生成され、そこから複数の酵素反応を経てエタノールが生成される。アルコール発酵は、伝統的にパンや酒類の製造に利用されてきた。近年では、バイオエタノールの生産にも活用されている。19世紀末まで、アルコール発酵には生きた酵母が必要と考えられていた。しかし、1896年にエドゥアルト・ブフナーは、(イ) 酵母細胞をすりつぶしてろ過した抽出液に糖を加えることで、アルコール発酵が起きることを発見した。これにより、アルコール発酵には酵素などの必要な物質が反応液に存在すればよく、生きた酵母が必ずしも必要ではないことが示された。ブフナーの発見は、生命現象を物質レベルで研究する道を開く重要な契機の一つとなった。

問1 下線部（ア）に関して、酸素がない環境では酵母細胞中にミトコンドリアがあまり見られない。この理由を2行以内で記せ。

問2 酸素がない環境では、電子伝達系とATP合成酵素による NAD^+ やATPの生成が起こらない。 NAD^+ が不足すると、解糖系やクエン酸回路も停止してしまう。しかし、酵母は酸素がなくても、電子伝達系とATP合成酵素に頼らずアルコール発酵によってATPを合成できる。補酵素の収支に注目して、アルコール発酵によるATP合成の仕組みを2行以内で記せ。

問3 条件によって酵母は呼吸とアルコール発酵を同時に行うことができる。呼吸とアルコール発酵の反応式は次のとおりである。



炭素源としてグルコースを与えて酵母を培養したところ、酸素 64 mg が吸収され、二酸化炭素 132 mg が放出された。このとき呼吸で生成された二酸化炭素とアルコール発酵で生成されたエタノールはそれぞれ何 mg か、途中の計算式も示し、有効数字 2 桁で答えよ。なお、グルコース以外の代謝は無視してよい。また、1 分子あたりの質量の相対値は、酸素 = 32、二酸化炭素 = 44、水 = 18、エタノール = 46、グルコース = 180 とする。

問4 下線部 (イ) に関して、酵母の抽出液を使ったアルコール発酵は短時間で止まる。原因の 1 つは、タンパク質分解酵素によってアルコール発酵に必要な酵素が分解されることにある。生きた酵母にも、もともとタンパク質分解酵素は存在するが、アルコール発酵は短時間では止まらない。この理由を 3 行以内で記せ。

〔Ⅱ〕 アルコール脱水素酵素は、アルコール発酵の最終反応を触媒する酵素である。この反応では1分子のアセトアルデヒドから1分子のエタノールが生成される。〔実験Ⅰ〕と〔実験Ⅱ〕において、アルコール脱水素酵素によって、アセトアルデヒドを基質としてエタノールを生成する実験を行った。実験は、酵素濃度が基質濃度に比較して十分に小さい条件で行った。なお、これらの実験では反応液中にNADHが十分に存在するものとする。また、これ以降に示すグラフの縦軸と横軸の数値はすべて相対値とする。

〔実験Ⅰ〕 温度の異なる条件で実験を行い、一定時間ごとに基質濃度を調べたところ、図1に示すグラフが得られた。温度以外の条件は同一とする。

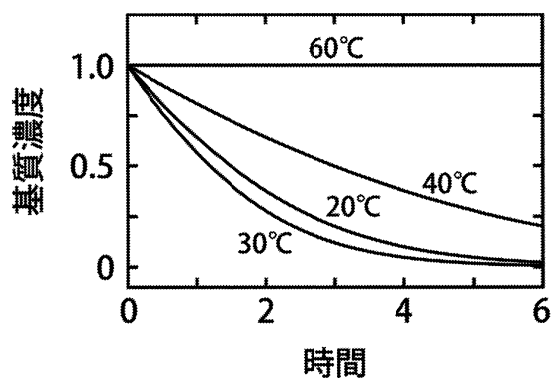


図1

問5 [実験I]における生成物の量の時間変化として適切なグラフを図2の①～④より1つ選び答えよ。

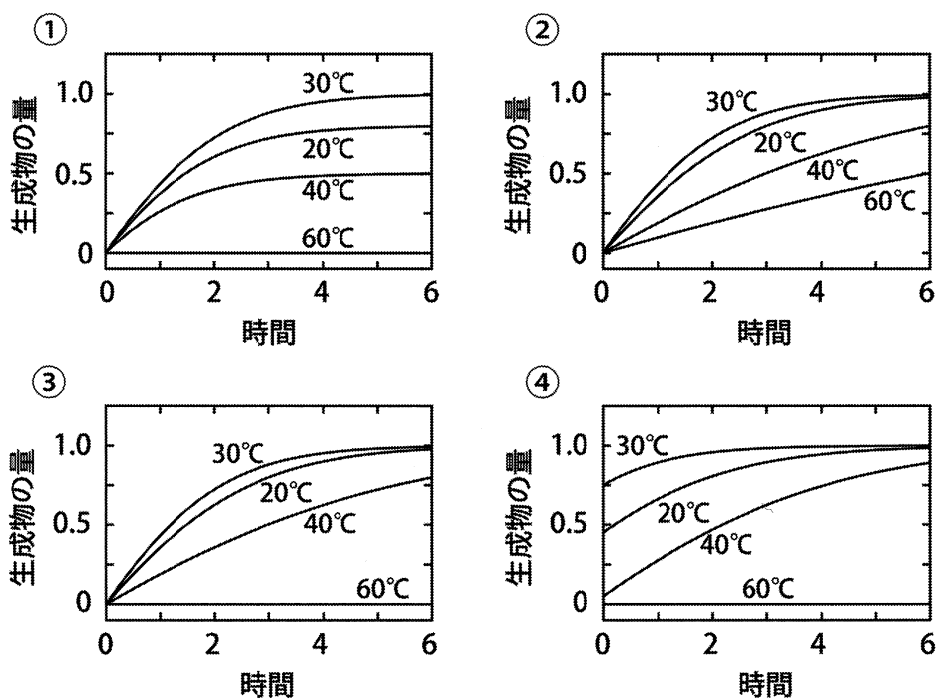


図2

問6 酵素活性に対する温度の影響について、図1および問5で選んだグラフから読み取れることを1行で記せ。

〔実験Ⅱ〕 基質濃度の異なる条件で実験を行い，基質濃度と反応速度の関係を調べたところ，図3に示すグラフが得られた。基質濃度以外の条件は同一とする。また，図3の曲線上の8点のデータを使って，そのうちの2点間の傾きを計算した結果を表1に示す。

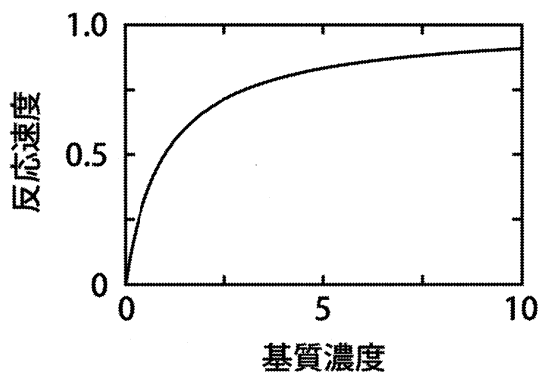


図3

表1

基質濃度	反応速度	2点間の傾き
0.00	0.000	1.000
0.01	0.010	
0.02	0.020	0.900
0.03	0.029	
0.90	0.474	0.260
1.00	0.500	
9.00	0.900	0.009
10.00	0.909	

問7 表1から，基質濃度0.00～0.01の傾きと，0.02～0.03の傾きは近い値をとっていることがわかる。これは，基質濃度が非常に低い場合には，反応速度が基質濃度にほぼ比例することを示している。基質濃度の増加にほぼ比例して反応速度が増加する理由を酵素反応の仕組みから，2行以内で記せ。

問8 表1から，基質濃度が高くなるにつれて図3の曲線の傾きは小さくなり，ゼロに近づくことがわかる。基質濃度が高い場合に，さらに基質濃度を増やしても反応速度がほとんど変化しない理由を，3行以内で記せ。

以下の文章を読み、問いに答えよ。

[I] 私たちの周囲には、ウイルスや細菌などの病原体が存在している。これに対して、ヒトのからだには、恒常性を保つためにさまざまな生体防御のしくみがある。(ア) 物理的・化学的な防御として、例えばヒトのからだは皮膚でおおわれ保護されている。皮膚などによる防御をすりぬけて、体内へウイルスや細菌などの異物が侵入した場合、免疫というしくみによって異物が排除される。免疫のうち自然免疫では、マクロファージなどの食作用によって異物が排除される。(イ) このときに起こる局所的な組織の変化は炎症とよばれる。さらに、自然免疫で排除しきれなかった異物は、異物の種類に応じて特異的に作用する獲得免疫（適応免疫）によって排除される。獲得免疫のうち (ウ) 体液性免疫は (エ) 抗体により病原体などの抗原を排除するしくみである。

- 問1 下線部（ア）に関して、異物の侵入経路になり得る気管ではどのようなしくみで物理的に防御しているか、2行以内で記せ。
- 問2 下線部（イ）に関して、炎症が起こったときの血管の変化とそれによる組織の変化について2行以内で説明せよ。
- 問3 下線部（ウ）に関して、生体内において異物が抗原として樹状細胞に認識され体液性免疫により抗体が産生されるまでの過程について、下の語句をすべて用いて4行以内で説明せよ。

食作用 ヘルパーT細胞 B細胞

- 問4 下線部（エ）に関して、生体内に存在しない抗原Aを注射すると抗体が作られる。最初に抗原Aを注射した日を0日目とし、40日目にもう一度抗原Aを注射したときにみられる、抗原Aに対する抗体量を示す最も適切なグラフはどれか、図1の①～⑥より1つ選び答えよ。また、それを選択した理由を3行以内で記せ。

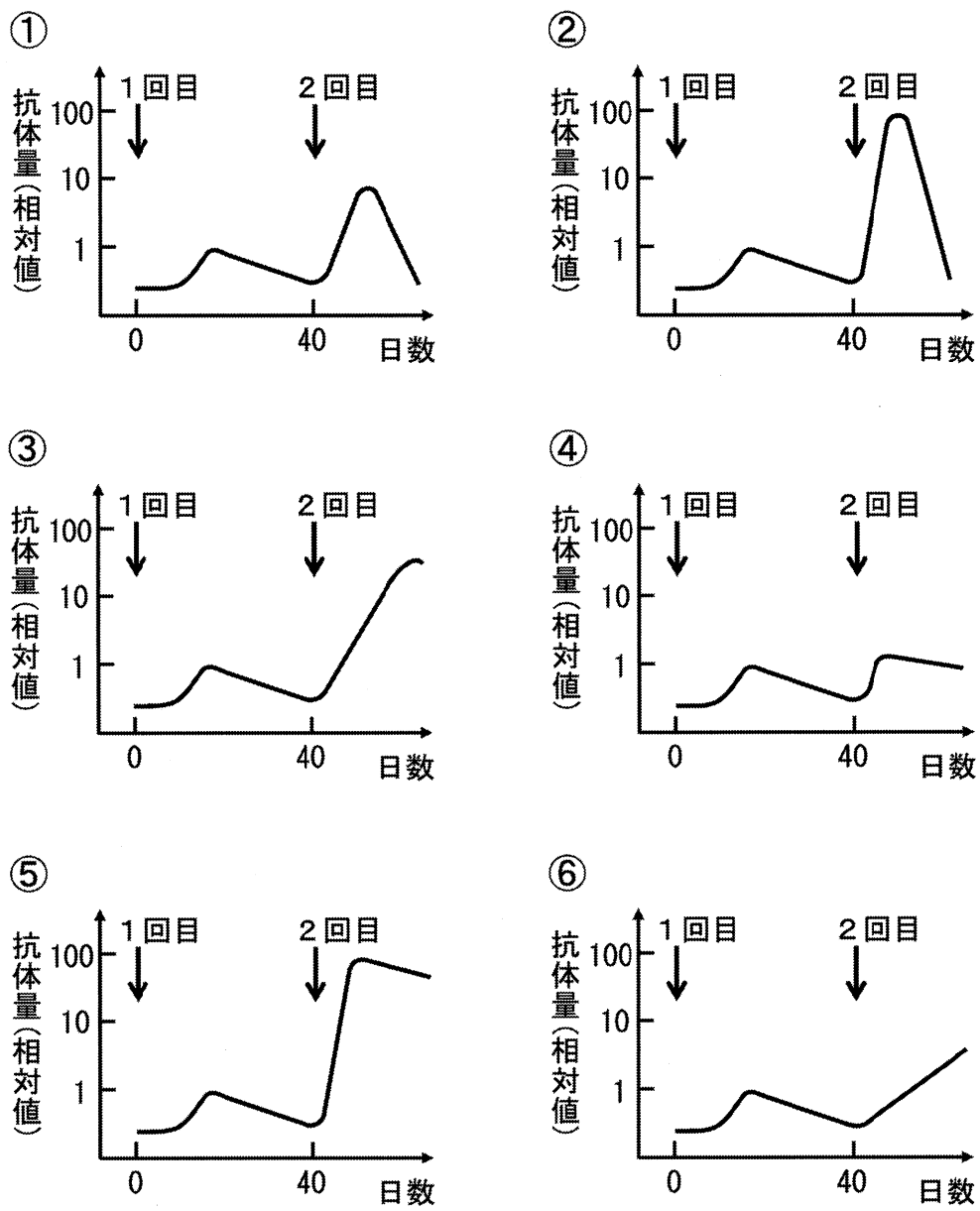


图 1

〔Ⅱ〕 体液性免疫において中心的な役割を担う抗体は、免疫グロブリンというタンパク質である。図 2 (a) に代表的な免疫グロブリンの構造を示す。免疫グロブリンは、L鎖という短いポリペプチドとH鎖という長いポリペプチドが 2 本ずつ結合してできた Y 字型をした構造をとっている。それぞれのポリペプチド分子は、図 2 (a) に示すジスルフィド結合 (S-S 結合) により連結されている。抗原が結合する部分を可変部といい、それ以外を定常部という。可変部の形状は抗体の種類によって異なっている。

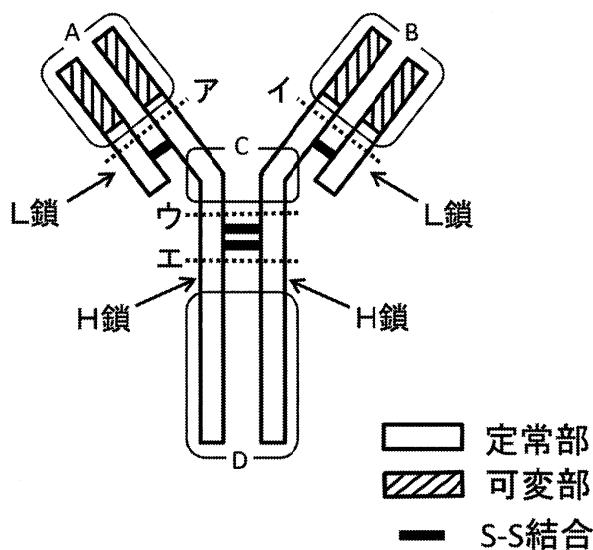
抗原表面には抗体により認識される部位が複数ある。そのため、2 か所の抗原結合部位をもつ抗体が抗原に結合していくと、多数の抗原分子と抗体分子からなる凝集体が形成される (図 2 (b))。その凝集体がマクロファージに認識されて、さらに取り込まれ分解されることで抗原が排除される。凝集体が取り込まれる際には、抗原と結合した抗体の一部がマクロファージに認識され、取り込みが促進されることがわかっている。

抗体の分子構造と機能の関係を調べるために、タンパク質分解酵素により処理した抗体を用いて〔実験Ⅰ〕と〔実験Ⅱ〕を行なったところ、次のような結果が得られた。なお、酵素による分解処理の実験中に S-S 結合は切断されないものとする。

〔実験Ⅰ〕 あるタンパク質分解酵素 X で処理した抗体を用いたところ、抗原との凝集体の形成は観察されたが、マクロファージによる凝集体の取り込みは促進されなかった。

〔実験Ⅱ〕 別のタンパク質分解酵素 Y で処理した抗体を用いたところ、抗原との凝集体の形成は観察されなかった。また、その酵素処理により抗体はほぼ同じ大きさの 3 本の断片に分解された。

(a) 免疫グロブリンの構造



(b) 凝集体の構造

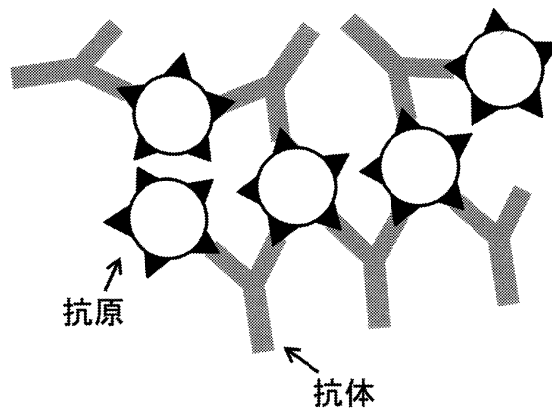


図2

問5 [実験Ⅰ]において、抗体は図2(a)のどの点線部分で分解されたと考えられるか、ア～エの中で予想される切断部位をすべて選び答えよ。また抗体がマクロファージに認識される部位はどこにあると考えられるか、A～Dの中から認識部位と予想される部分をすべて選び答えよ。また、そのように選択した理由を3行以内で記せ。

問6 [実験Ⅰ]で得られた抗体を高温で加熱処理して変性させたところ、凝集体の形成が観察されなくなった。抗体を変性させると、なぜ抗原の凝集作用が失われたのか、その理由を1行で記せ。

問7 [実験Ⅱ]において、抗体は図2(a)のどの点線部分で分解されたと考えられるか、ア～エの中で予想される切断部位をすべて選び答えよ。またそのように選択した理由を2行以内で記せ。

以下の文章を読み、問いに答えよ。

[I] 同種の生物集団について各個体が有する DNA の塩基配列を比較すると、特定箇所において個体間で1塩基だけの違いが見られることがある。これを (ア) 一塩基多型という。このような一塩基多型を解析する技術として、DNA チップを用いた手法がある。DNA チップとは、プラスチックなどの基板上に1本鎖 DNA を固定したものである (図1)。ここではまず目的の多型部位を含む DNA 配列について、その1本鎖 DNA を基板上に固定する。その DNA をプローブ DNA と呼ぶ。

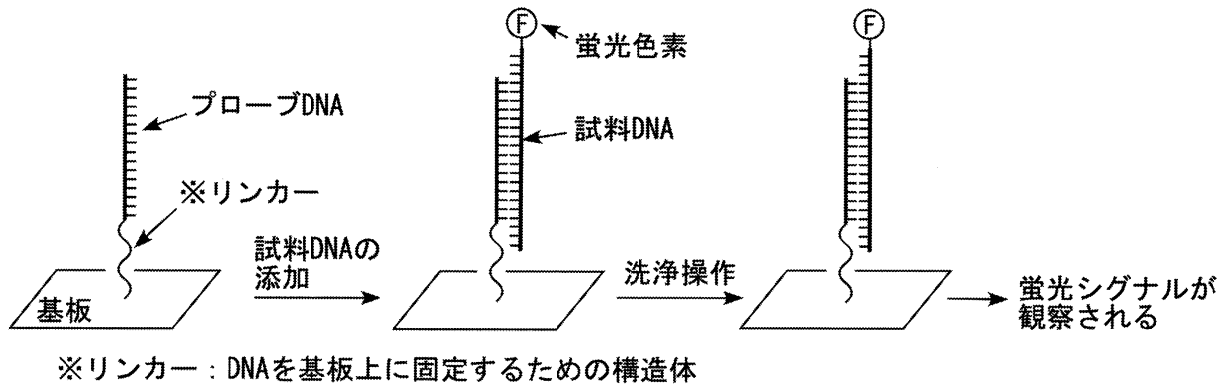
一方で、細胞から抽出した DNA を元にして、目的の多型部位を含む DNA 領域を (イ) PCR 法で増幅し、得られた DNA 断片 (2本鎖 DNA) を、その後1本鎖 DNA に解離させる (図2)。この際、PCR に用いる一対のプライマーのうち、片方についてはその末端に蛍光色素を連結させたものを用いる。この蛍光色素を連結したプライマーから伸長した DNA を試料 DNA と呼ぶ。

上記のように調製した試料 DNA を DNA チップに添加すると、試料 DNA とプローブ DNA がそれらの相補的な配列部分で結合して2本鎖 DNA が形成される (図1)。ここで、プローブ DNA と試料 DNA 間の (ウ) 相補性が完全である場合、安定な2本鎖 DNA が形成され、その結果、洗浄操作を行った後も2本鎖 DNA が維持され、試料 DNA に由来する蛍光シグナルが基板上で観察される (図1 (a))。一方で、試料 DNA とプローブ DNA 間の相補性が不完全である場合、形成された2本鎖 DNA が不安定であるため、洗浄操作後は2本鎖 DNA が解離し、蛍光シグナルが観察されない (図1 (b))。そのため、蛍光シグナルを指標として相補性を調べることによって、多型部位の配列を解析することができる。

- 問1 下線部 (ア) の一塩基多型は、アルファベット三文字の略号で表現されることが多い。その略号を答えよ。
- 問2 下線部 (イ) の PCR 法では、温泉などに生育する好熱菌に由来する DNA ポリメラーゼが使用されている。その理由を2行以内で記せ。
- 問3 生物が有する DNA については下線部 (ウ) の相補性により、一般にシャルガフの法則が成り立つ。ある生物の全 DNA の塩基組成を調べたところ、そのグ

アニンの割合が 22%であった。この生物の DNA についてアデニンの割合を答えよ。

(a) 相補性が完全である場合



(b) 相補性が不完全である場合

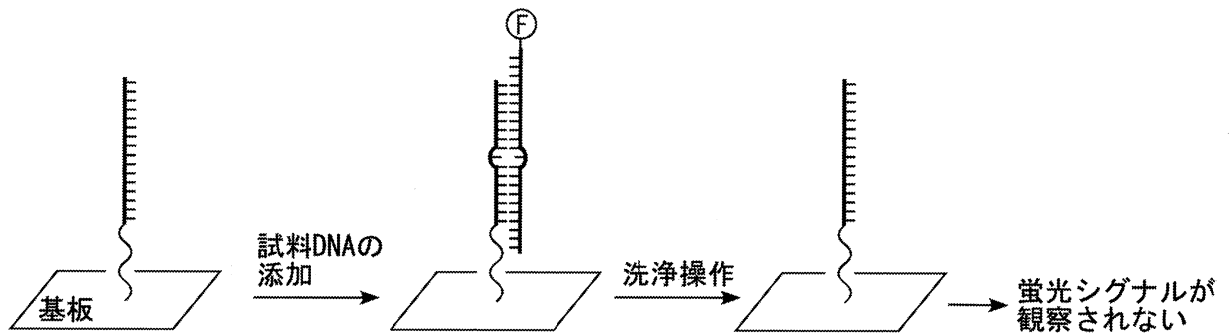


図 1

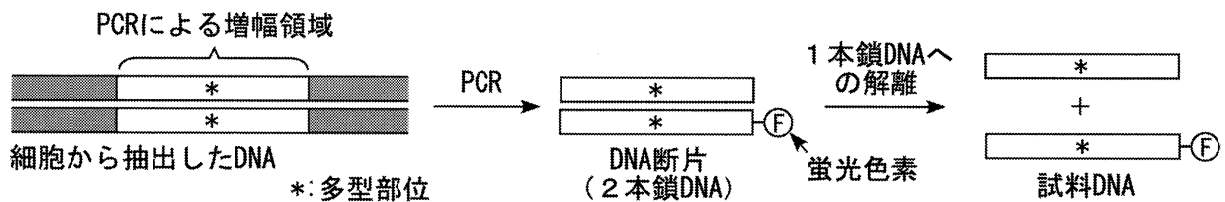


図 2

[Ⅱ] アルデヒド脱水素酵素 2 (ALDH2) はアルコールの代謝に関わる酵素であり, 504 番目のアミノ酸のコードンが, GAA (G 型) である場合と AAA (A 型) である場合の, 一塩基多型が知られている。この多型を, [Ⅰ] で前述した DNA チップを用いて解析する手順を以下に示す。図 3 にはこの多型部位 (G/A) を含む, ALDH2 遺伝子の塩基配列について, そのセンス鎖の一部を示す。この G/A で示した塩基が, 504 番目のコードンの 1 塩基目に対応する。

5' TTGGGCGAGTACGGGCTGCAGGCATACACT G/A AAGTGAAAAC TGTGAGTGTGGGACCTGCT 3'
X Y Z

図 3

〔手順Ⅰ〕 多型部位の塩基が G である場合と A である場合について, 下線 Y で示した塩基配列の DNA を化学合成し, それぞれ基板上の異なる区画に固定する。ここで, G および A である場合の DNA を, それぞれ G 型プローブ DNA および A 型プローブ DNA と呼ぶ。

〔手順Ⅱ〕 ある個人の細胞から DNA を抽出し, それを元にしてこの多型部位を含む DNA 領域を PCR 法で増幅する。具体的には, (エ) 図 3 の下線部 X および Z の領域にプライマーを設定し, PCR を行う。

〔手順Ⅲ〕 PCR により得られた 2 本鎖 DNA を 1 本鎖に解離させ, 試料 DNA を調製する。そして, 試料 DNA をプローブ DNA が固定された DNA チップに添加して, 2 本鎖 DNA を形成させる。その後, 洗浄操作を行った後に, (オ) G 型プローブ DNA と A 型プローブ DNA を固定した箇所の蛍光をそれぞれ観察する。

問 4 下線部 (エ) の PCR で利用する一対のプライマーの塩基配列を解答欄のマス目に記せ。なお, プライマーはそれぞれの領域全体をカバーする 16 塩基からなる配列とする。

問 5 問 4 で解答したプライマーのうち, どちらのプライマーから伸長した DNA が, 基板上に固定されたプローブ DNA と 2 本鎖 DNA を形成すると考えられるか, 理由とともに 2 行以内で記せ。

- 問6 試料 DNA を調製する際に、5′ 末端に蛍光色素を連結したプライマーを用いて PCR を行うものとする。その際、図 1 に示すように蛍光色素が基板から離れた状態で 2 本鎖 DNA を形成させるためには、基板上に固定するプローブ DNA については、その 5′ 末端側を介して基板に固定するべきか、それとも 3′ 末端側を介して基板に固定するべきか、理由とともに 2 行以内で記せ。
- 問7 下線部 (オ) における蛍光観察の結果、G 型プローブ DNA および A 型プローブ DNA を固定した箇所の両方から蛍光シグナルが観察されたとする。この場合、この DNA を提供した個人の遺伝子型についてどのようなことが推測できるか、2 行以内で記せ。
- 問8 一塩基多型については、DNA チップを用いた手法以外に、サンガー法 (ジデオキシ法) を利用して目的の多型部位を含む領域の塩基配列を直接に解読することによっても判定することができる。このサンガー法では DNA 鎖の材料となる通常のヌクレオチドの他に、糖部位としてジデオキシリボースをもつ特殊なヌクレオチドを少量混合して反応を行う。この特殊なヌクレオチドの役割を 1 行で記せ。
- 問9 一般に、酵素の遺伝子についてその塩基配列に一塩基の置換が生じると、その酵素の活性が消失することがある。その理由としてはいくつか考えられるが、そのうちの 1 つを 2 行以内で記せ。

4

以下の文章を読み、問いに答えよ。

[I] ロバート・ペイン博士は、種の多様性が生態系にどのように影響するかを評価するために、1966年にアメリカ合衆国ワシントン州の海岸で捕食者であるヒトデを取り除き、生態系の変化を調べる実験を行った。図1は、ヒトデを取り除く前の生態系における捕食・被食の関係を示したものである。図中の矢印は、摂食の程度が大きいと線が太くなっている。表1は、その生態系における岩場での生息の仕方を示している。

実験を開始して3か月後、フジツボが岩場の大部分を占めたが、1年後にはフジツボが大幅に減少し、イガイが岩場を独占した。巻貝とカメノテはわずかに存在し、(ア) 藻類は激減し、(イ) ヒザラガイとカサガイもほとんどいなくなった。

ヒトデのように個体数が少なくても、生態系の種の多様性の維持に影響をおよぼす捕食者のことをキーストーン種といい、この実験は生態系における (ウ) 種の多様性への理解に大きな影響を与えた。

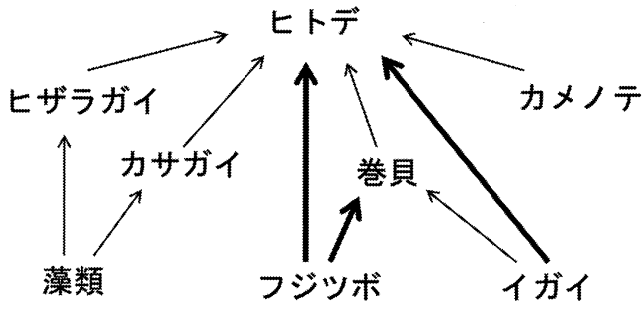


図1

表1

岩に付着して生活	イガイ, カメノテ, フジツボ, 藻類
岩場を動いて生活	巻貝, ヒザラガイ, カサガイ, ヒトデ

- 問1 この生態系において、頂点捕食者は何であるか、生物名を答えよ。
- 問2 下線部 (ア) について、ヒトデと藻類は直接に捕食・被食の関係にはないが、ヒトデの除去で藻類が激減した。その理由を2行以内で記せ。

問3 下線部（イ）について、ヒザラガイやカサガイがほとんどいなくなった理由を2行以内で記せ。

問4 下線部（ウ）について、この実験を報告した論文が示した種の多様性の知見については以下のように要約できる。

「その地域の種の多様性は、ひとつの（あ）が環境の主な要素を独占するのを、（い）がうまく防いでいるかどうかで決まる。」

（あ）および（い）に入る適切な語句を、以下の語群からそれぞれ1つずつ選び答えよ。

種， 生産者， 遺伝子， 捕食者， 植生， 分解者， 病原体

[II] ある海域の沿岸部では、コンブの1種であるジャイアントケルプ（ケルプ）が多数生育し、海の中で森のような環境を形成している。ケルプの森には、魚類や甲殻類などの多種多様な生物が生息し、ケルプから生じた有機物は甲殻類の栄養分になる。魚類は甲殻類を捕食し、アザラシは魚類を捕食するなど、食物連鎖が成り立っている。さらにラッコはウニの捕食者であり、ウニはケルプの捕食者である。

問5 この生態系において、ケルプ・有機物，魚類，甲殻類，アザラシ，ラッコ，ウニの捕食・被食の関係を図1に示したように図示せよ。ただし、下線の6つをすべて用い、矢印の線の太さは区別しなくてよい。

問6 この海域でラッコが乱獲されたことにより、その数が激減した。その結果、アザラシがこの海域からいなくなった。その理由を下の語句をすべて用いて7行以内で記せ。

ケルプ， 魚類， 甲殻類， ラッコ， ウニ

問7 この生態系におけるキーストーン種は何であると考えられるか、問6の結果をふまえて、生物名を1つ答えよ。

[Ⅲ] 生産者を出発点とした食物連鎖の各段階を栄養段階という。生態系の栄養段階を個体数や生物量に基づいて下位から上位へと積み上げると、^(エ) 上位のものほど少なくなつてピラミッド型になることが多い。この形状から生態ピラミッドとも呼ばれる。最下位の栄養段階を構成する独立栄養生物は生産者と呼ばれ、陸上における主要な生産者は植物であり、海中などの水界では主に植物プランクトンである。

生態系における食物連鎖において、^(オ) 各栄養段階の間で有機物の物質やエネルギーがどのように移動しているのか、その関係を計算することができる。図2はその物質・エネルギー収支を模式的に図示したものである。前の栄養段階から次の栄養段階へと、どの程度のエネルギーが利用されるのかについて、その割合を示したものをエネルギー効率といい、生産者と一次消費者のエネルギー効率はそれぞれ次式より計算ができる。

$$\text{生産者のエネルギー効率(\%)} = \frac{\text{生産者の総生産量}}{\text{生態系に入射した太陽の光エネルギー量}} \times 100$$

$$\text{一次消費者のエネルギー効率(\%)} = \frac{\text{一次消費者の同化量}}{\text{生産者の総生産量}} \times 100$$

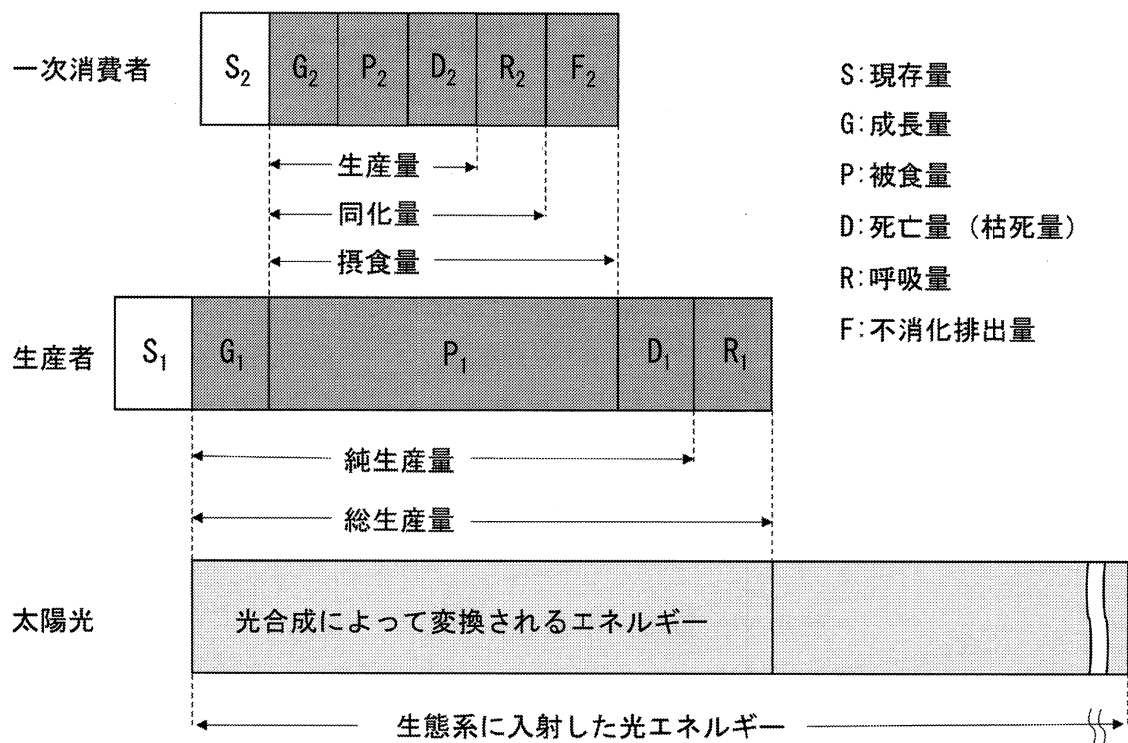


図 2

問8 下線部 (エ) について、図3はある海域における生物の生産速度ピラミッド (a)と生物量ピラミッド(b)を示す。生産速度とは、単位時間あたりに生産される生物量である。この海域では、図3 (b)のように生物量ピラミッドの形状の一部が逆転することがある。植物プランクトンと動物プランクトンの生産速度と生物量の違いに注目し、この逆転が生じる理由を3行以内で記せ。

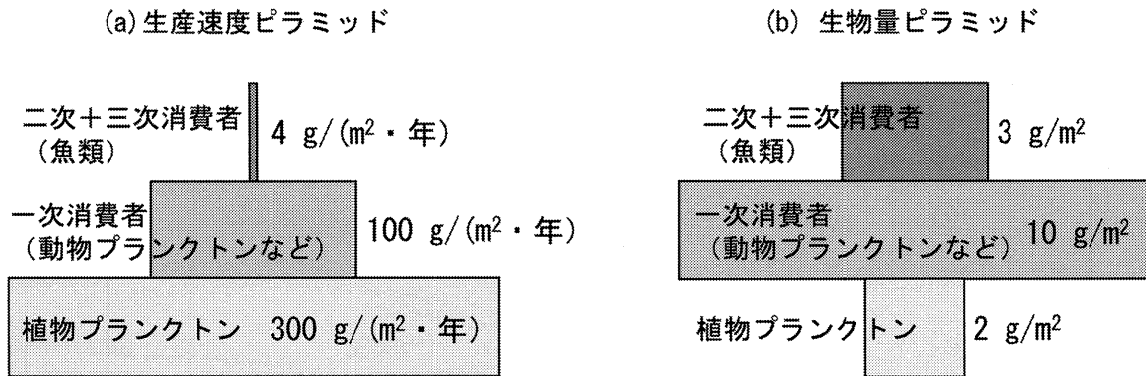


図3

問9 下線部 (オ) について、表2はある生態系における生産者と一次消費者のエネルギー量(J/(cm²・年))およびエネルギー効率(%)を示したものである。図2および表2の数値を基に、①生産者の呼吸量、②生産者のエネルギー効率、③一次消費者の成長量、④一次消費者のエネルギー効率をそれぞれ計算し、有効数字2桁で答えよ。なお、この生態系に入射した太陽の光エネルギー量は500,000 J/(cm²・年)とする。

表2

栄養段階	総生産量・同化量	純生産量	成長量 (G)	被食量 (P)	枯死・死亡量 (D)	呼吸量 (R)	不消化排出量 (F)	エネルギー効率
生産者	480	370	290	67	13	①	—	②
一次消費者	64	—	③	13	2.0	18	3.0	④