

生 物 (その1)

第1問 バクテリアの生体防御機構とバイオテクノロジーに関する次の文を読み、以下の各問いに答えよ。

大腸菌などのバクテリアでは、ファージ由来の DNA など外来 DNA が細胞内に侵入すると、(1) 制限酵素とよばれる酵素で外来 DNA を切断し、身を守る。バクテリアは種や株ごとにそれぞれ独自の制限酵素をもっている。制限酵素の発見は、遺伝子工学とよばれる分野を生み出した。

多くのバクテリアは、脊椎動物における獲得免疫に似たしくみもあわせもっている。バクテリアでは、侵入した外来 DNA を制限酵素とは異なる酵素で切断した後、短い DNA 断片を自らのゲノム DNA の CRISPR とよばれる領域に挿入し、その配列を記憶する。再び外来 DNA が侵入したときに、CRISPR に挿入された DNA から RNA が転写されるとともに、CRISPR と隣接した領域から Cas9 などの DNA 切断酵素が発現する。転写された RNA と DNA 切断酵素が複合体を形成し、その (2) RNA と相補的な塩基配列をもつ外来 DNA を効率的に切断する。

このしくみを利用してゲノム編集とよばれる新たな技術が開発された。(3) 切断したい遺伝子の塩基配列に相補的な RNA を合成し、Cas9 とともに細胞内に導入する。そうすることで RNA と相補的な配列をもつ DNA を切断し、その遺伝子機能を破壊することができる。このゲノム編集による遺伝子破壊は従来の方法と比べて格段に簡便であることから、その利用は現在急速に広まりつつある。

問1 下線部(1)について、

- i) 制限酵素が認識する塩基配列は、多くの場合4～6塩基対からなる回転対称の構造をもつ。たとえば大腸菌がもっている EcoRI の場合、 $\begin{matrix} \text{GAATTC} \\ \text{CTTAAG} \end{matrix}$ という配列を認識して切断する。どうして認識配列が回転対称となるのか。制限酵素は二本鎖 DNA の両鎖を同時に切断することからその理由を考察し、簡潔に記せ。
- ii) ファージの一種であるラムダファージは 4.85×10^4 塩基対の DNA をもつ。このファージ DNA が大腸菌に侵入した場合、確率的には EcoRI で何か所切断されるか。値は四捨五入して整数で記せ。
- iii) 大腸菌のゲノム DNA はラムダファージ DNA の 100 倍近くの長さがあるにもかかわらず、制限酵素で自身のゲノム DNA は切断されない。そのしくみを簡潔に記せ。

生 物 (その2)

問2 下線部(2)について、脊椎動物においても、mRNAと相補的な配列をもつRNA(アンチセンスRNA)を用いることによって標的となるmRNAを分解し、遺伝子発現を調節するしくみがある。このしくみは何とよばれるか、用語で記せ。

問3 下線部(3)について、遺伝子Xの個体における機能を調べるため、ゲノム編集を用いて遺伝子を改変したマウスの作出を試みた。マウス受精卵に遺伝子Xの標的配列を含む合成RNAとCas9を導入し、その後、別のマウスの子宮に戻した。対立遺伝子の片方が変異したヘテロマウスは産まれるものの、両方が変異したホモマウスは何度実験を繰り返しても産まれてこなかった。

i) 問2のしくみではアンチセンスRNAが使われる。遺伝子Xのゲノム編集ではどのような合成RNAを用いる必要があるか。次の①～③から最も適当なものを1つ選び、番号で記せ。

- ① アンチセンスRNAを用いる必要がある。
- ② センスRNAを用いる必要がある。
- ③ アンチセンスRNAとセンスRNAのどちらを用いてもよい。

ii) 遺伝子Xのホモ変異マウスが得られなかったのはどうしてか、理由を簡潔に記せ。

iii) マウス個体における遺伝子Xの機能を調べるためには、どのような実験を計画すればよいか、簡潔に記せ。

生 物 (その3)

第2問 ヒトにおける酸素と二酸化炭素の運搬に関する次の文を読み、以下の各問いに答えよ。

われわれが⁽¹⁾肺から取り込んだ酸素は血液によって組織に届けられる。また、組織で発生した二酸化炭素は、血液によって肺に運ばれて体外へ排出される。

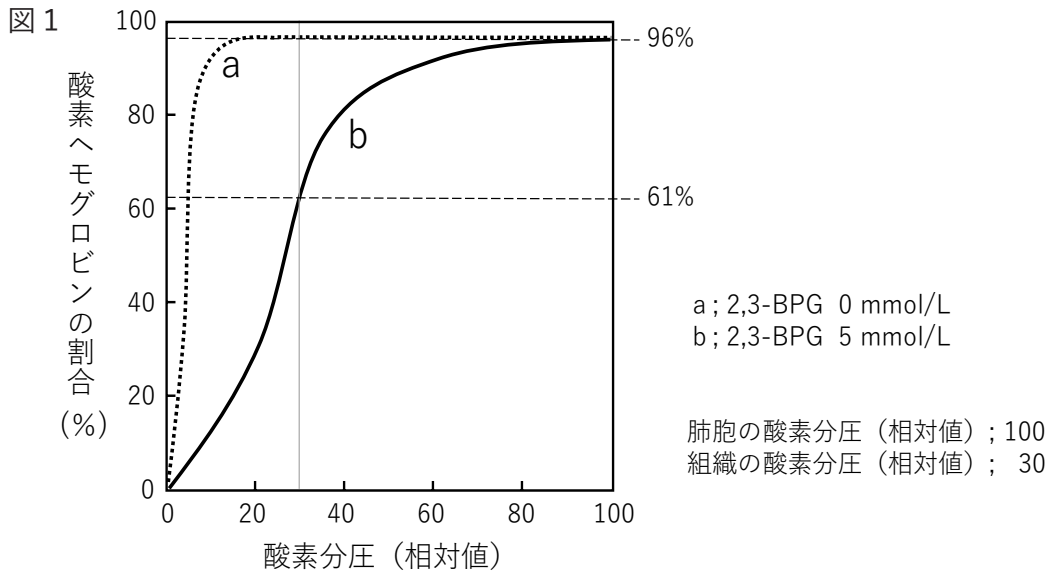
組織で発生する二酸化炭素は、そのままではすべてを血しょうに溶け込ませることはできない。しかし、赤血球にある炭酸脱水酵素の働きで二酸化炭素が(ア)になると、(ア)はすぐに(イ)と(ウ)になる。(ウ)の血しょうに対する溶解度は非常に高いので、発生する二酸化炭素のすべてを血液で運ぶことができる。その後、血液が二酸化炭素濃度の低い肺胞の毛細血管にまで到達すると、今度は逆の反応が起こり、二酸化炭素は体外へと排出される。⁽²⁾(ウ)は血液のpHを一定に保つ働きもある。

組織が必要とする酸素も、そのすべてを血しょうに溶け込ませることはできない。組織への酸素の供給を担っているのは、酸素を結合したり解離したりする性質をもつヘモグロビンで、赤血球に大量に含まれている。⁽³⁾成人のヘモグロビン(HbA)はαサブユニットとβサブユニットの2個ずつが集まった四量体で、各サブユニットは酸素と結合するヘムとよばれる補助因子と、グロビンとよばれるポリペプチドから構成されている。

ヘモグロビンは酸素濃度の高い肺胞の毛細血管で酸素と結合して酸素ヘモグロビンとなり、酸素濃度の低い組織で酸素を解離してヘモグロビンに戻る。酸素の結合や解離は、ヘモグロビンサブユニット間の相互作用により調節されている。ヘモグロビンのサブユニットは、酸素が結合することでわずかに形を変え、ほかのサブユニットの酸素に対する親和性を増大させる。逆に、酸素ヘモグロビンのサブユニットが酸素を解離すると、ほかのサブユニットの酸素親和性を低下させる。その結果、ヘモグロビンの酸素解離曲線はシグモイド曲線を呈するが、この特性は、2,3-ビスホスホグリセリン酸(2,3-BPG)がヘモグロビンに結合することにより顕著となる。

⁽⁴⁾2,3-BPGがない場合、HbAの酸素解離曲線は図1のaのようになるが、⁽⁵⁾低地における赤血球中の2,3-BPG濃度は約5 mmol/Lなので、このときの酸素解離曲線(二酸化炭素濃度が低いとき)は図1のbのようになる。⁽⁶⁾酸素分圧の低い高地に移動したときには、赤血球中の2,3-BPG濃度が変化することで、高地に順応することができる。

生 物 （その4）



HbA の酸素解離曲線（二酸化炭素濃度が低いとき）

問1 文中の（ア）～（ウ）に適切な化学式，もしくはイオン式を記せ。

問2 下線部（1）について，組織に届けられた酸素は消費されて何に変わるか，化学式で記せ。

問3 下線部（2）について，

i) 精神的不安や極度の緊張などにより過呼吸の状態になると血液の pH が高くなり，過換気症候群を発症する。pH が高くなる理由は何か。次の①～⑥から最も適当なものを1つ選び，番号で記せ。

- ① 組織で酸素を過剰に消費するから。
- ② 組織で二酸化炭素が過剰に発生するから。
- ③ 肺胞で酸素を過剰に取り込むから。
- ④ 肺胞で酸素をうまく取り込めないから。
- ⑤ 肺胞で二酸化炭素を過剰に排出するから。
- ⑥ 肺胞で二酸化炭素をうまく排出できないから。

生 物 (その5)

ii) 血液の pH が高くなると、組織で解離される酸素の量はどうか。次の ①～③ から最も適当なものを1つ選び、番号で記せ。

① 増える

② 変わらない

③ 減る

問4 下線部(3)について、いくつかのサブユニットが会合してできるタンパク質の高次構造を何とよぶか、用語で記せ。

問5 下線部(4)について、胎児のヘモグロビン(HbF)はHbAの β サブユニットの代わりに、性質のよく似た γ サブユニットをその構成要素としているが、2,3-BPGに対する親和性はHbAとは異なっている。2,3-BPGに対する親和性が高いのは、HbAとHbFのどちらか。解答欄の適当な方を○で囲め。

問6 下線部(5)について、2,3-BPG濃度が5 mmol/Lのとき、肺胞における酸素ヘモグロビンの割合と組織における酸素ヘモグロビンの割合の差はどのような値になるか。次の①～③から最も適当なものを1つ選び、番号で記せ。

① < 35%

② 35%

③ > 35%

問7 下線部(6)について、赤血球中の2,3-BPG濃度は低地と比べてどうか。解答欄の適当な方を○で囲み、その理由を簡潔に記せ。

生 物 (その6)

第3問 ショウジョウバエの形態形成に関する次の文を読み、以下の各問いに答えよ。

ショウジョウバエでは、卵が形成される過程で将来の胚の前後方向の軸と背腹方向の軸が決定される。卵は受精後何度かの分裂を経て、14個の体節からなる胚が形成される。これらの体節は最終的に頭部、胸部、腹部という3つの節に統合され、成虫の基本形ができあがる。

胚の前後軸は⁽¹⁾ 卵形成中に転写されるピコイドやナノスなどの mRNA の卵内の局在によって決定される (図 2A)。受精後、これらの mRNA から翻訳された転写因子が (ア) 遺伝子群の発現を調節することにより、胚のおおまかな領域の区画化が行われる。(ア) 遺伝子群には、クルッペル、ジャイアント、ハンチバックなどがある。ついで⁽²⁾ (ア) 遺伝子群産物による転写調節の結果、(イ) 遺伝子群が胚の前後軸に沿って7本の縞状に発現するようになる (図 4A)。その後、胚は前後方向に区画化され14個の体節を生み出す。各体節は胚の前後方向に沿って特有のパターンで発現する(ウ) 遺伝子群の働きで、頭、胸、腹の部位に分化していく。(ア) や (イ) 遺伝子群などは分節遺伝子と総称される。

(イ) 遺伝子群の1つである *eve* 遺伝子は図 4A に示すように、前後軸に沿って7本の縞状に発現する。この発現パターンがどのようにして形成されるのかを知るために、次のような実験を行った。図 3A に示すように、*eve* 遺伝子の転写調節領域にはいくつかの機能単位が並んでいる。このうち縞2機能単位の DNA 断片の下流に大腸菌の *lacZ* 遺伝子をつないだレポーター遺伝子(図 3B)を作製し、ショウジョウバエの受精卵に注入した。図 3A, 3B の TATA の下流に転写開始点がある。*lacZ* 遺伝子はβガラクトシダーゼをコードしており、この酵素は X-gal という物質と反応して青色の沈殿物を生じさせる。レポーター遺伝子を注入した胚を図 4A の胚と同じ発生段階で固定し X-gal と反応させたところ、*eve* 遺伝子が発現している7本の縞のうち、前から2番目の縞2の位置だけに青い染色がみられた(図 4B)。図 5 に示すように、縞2機能単位は480塩基対の長さがあり、その中にはピコイドの結合部位が5か所、クルッペルの結合部位が3か所、ジャイアントの結合部位が3か所、ハンチバックの結合部位が1か所存在する。これら転写因子の結合部位は重複して存在する部分もある。図 6 には図 4A の発生段階にある胚の縞2近傍における各転写因子の発現量(相対値)が示してある。

生物 (その7)

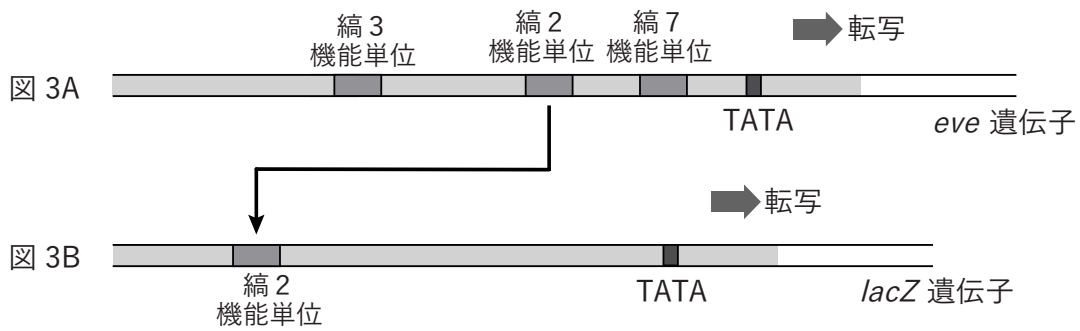
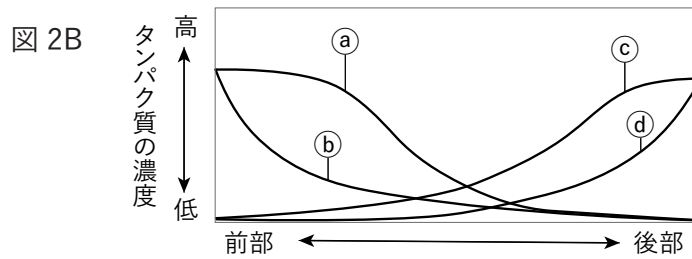
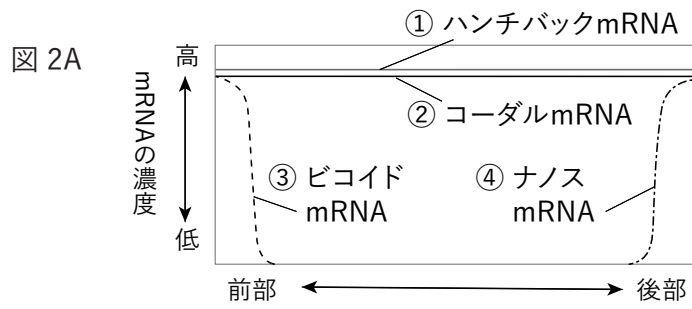
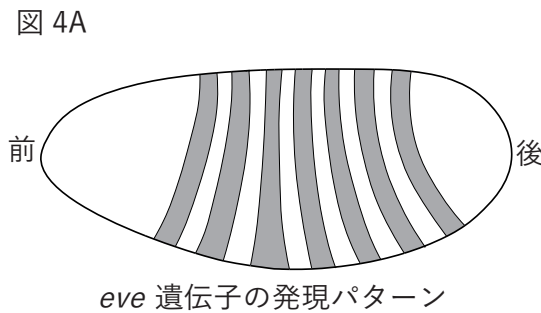


図 3A : eve 遺伝子の転写調節領域

図 3B : 縞 2 機能単位の下流に lacZ 遺伝子をつないだレポーター遺伝子



eve 遺伝子の発現パターン

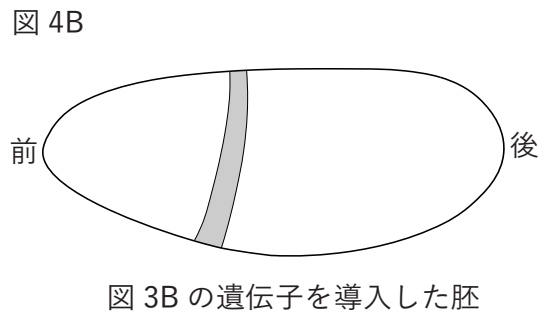
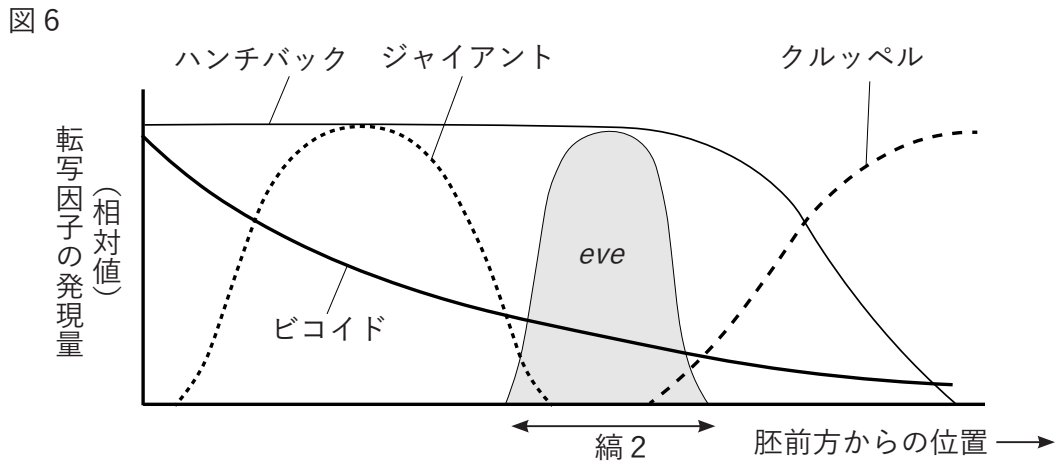
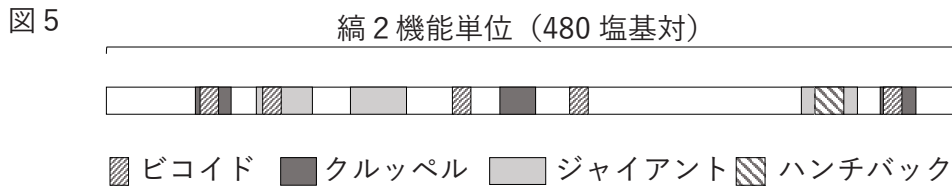


図 3B の遺伝子を導入した胚

生 物 (その8)



問1 文中の (ア) ~ (ウ) に適語を記せ。

問2 下線部 (1) について、卵形成の過程で mRNA として卵の細胞質基質に蓄えられ、その後の発生過程に影響を及ぼす遺伝子を一般に何とよぶか、名称を記せ。

問3 図2Aには卵形成過程で転写され、卵細胞中に蓄積されている4種の mRNA の前後方向における濃度分布 (相対値) が示されている。これらの mRNA は受精後タンパク質に翻訳される。この過程で、ビコイドタンパク質はコードル mRNA の翻訳を阻害し、ナノスタンパク質はハンチバック mRNA の翻訳を阻害する。一方、ビコイドタンパク質はハンチバック mRNA の転写を促進する。このような一連の調節を受け、これら4種の mRNA から翻訳されたタンパク質の濃度分布は図2B のようになる。図2Bの (a) ~ (d) の濃度分布は図2Aに示した4種の mRNA のうち、どれが翻訳されたものか。それぞれ ① ~ ④ の番号で記せ。

生 物 (その9)

問4 ナノスタンパク質は RNA 結合タンパク質で、ハンチバック mRNA の 3' 末端近くに結合し、ハンチバック mRNA のポリ A 尾部を切断することでハンチバックの翻訳を阻害している。mRNA のポリ A 尾部の役割について簡潔に記せ。

問5 ショウジョウバエの初期胚において、核ごとの遺伝子の発現パターンが転写因子の濃度勾配に従った厳密な調節を受けるのは、分裂後のそれぞれの核が細胞膜で仕切られないためである。昆虫類の初期胚がとるこの独特な分裂様式を何とよぶか、用語で記せ。

問6 下線部(2)について、図4Bに示すようにレポーター遺伝子が縞2の位置だけで発現し、その前後では発現しない。その理由について図5と図6を参照しながら、簡潔に記せ。

生 物 (その10)

第4問 動物の群れと縄張りに関する次の文を読み、以下の各問いに答えよ。

(1) 一定の地域で生活している同種の動物の集まりでは、生活場所や食物などの資源をめぐる相互関係(競争)が生じる。動物の中には(2) 統一的な行動をともにする「群れ」をつくる種がいる。群れを形成することにはさまざまな利益があるが、群れの大きさによって群れの各個体が得られる正味の利益は変化する。また、(3) 定住する群れや個体が同種他個体を排除して「縄張り」を形成することで、行動圏の資源を独占する種も存在する。

群れをつくるか単独で生活するかは種によって異なるが、(4) アユは群れる個体(群れアユ)と縄張りをつくる個体(縄張りアユ)に分かれる。アユは早春になると群れをつくって河川を遡上し、中流域で川底に生える藻類を食べて成長する。一部のアユは縄張りをもつことで良質な藻類が多く付着している岩を独占する。縄張りアユには追星とよばれる黄色い斑点がみられる。縄張りアユは縄なりに侵入したアユに体当たりをして追い出す習性がある。そこで、掛け針という細い針をアユに仕掛け、縄張りを泳がせることで体当たりしてくる縄張りアユを引っ掛けて釣り上げる「友釣り」という特殊な釣法が行われる。友釣りに使われるアユは「おとり鮎」とよばれる。

(5) 最初に使用するおとり鮎は漁協や釣具屋などから購入する。

問1 下線部(1)について、

- i) このような集まりを何とよぶか、用語で記せ。
- ii) 一定空間あたりの個体数を何とよぶか、用語で記せ。
- iii) 個体が特定の場所にかたまる分布様式を何とよぶか、次の①～⑤から最も適当なものを1つ選び、番号で記せ。

① 一様分布 ② 集中分布 ③ 水平分布 ④ 垂直分布 ⑤ ランダム分布

問2 下線部(2)について、

- i) 群れが大きくなることで、各個体が得られる利益として誤っているものはどれか。次の①～④からすべて選び、番号で記せ。

- ① 周囲を警戒する時間が減る。
- ② 捕食者に狙われる可能性が低くなる。
- ③ 繁殖の機会が群れ内の個体で平等になる。
- ④ 危険を察知して回避するまでの時間が短くなる。

生 物 (その11)

- ii) 群れが大きくなると食物を発見する可能性が高くなるが、群れの中で食物を奪い合う機会が増えてしまう。群れが大きくなると、採食に使える時間はどのように変化するか。群れの大きさと採食に使える時間の関係を示すグラフを解答欄に実線で描け。

問3 下線部(3)について、縄張りの大きさに対して、縄張りから得られる利益と縄張りを維持する労力の関係をそれぞれ図7に示す。縄張りの大きさに対する、利益と労力の差(利益-労力)を示すグラフを解答欄に実線で描け。

図7

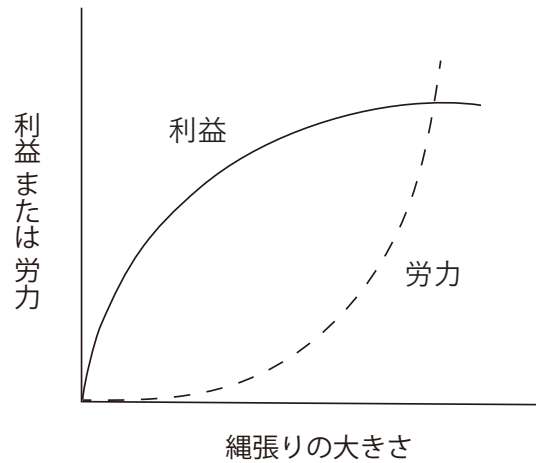
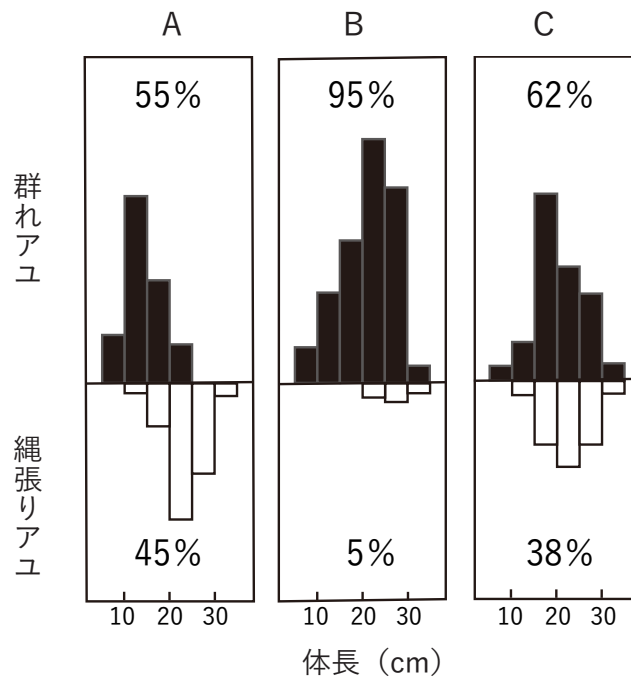


図8



ある区画における A, B, C 年の群れアユと縄張りアユの比率

生 物 (その12)

問4 下線部(4)について、ある河川の同じ区画に生息する、群れアユと縄張りアユの比率と体長を年ごとに計測したところ、図8のA～Cのようであった。この区画に生息していたアユの数は年ごとに大きく異なっていた。

i) A年, B年, C年のアユの 1 m^2 あたりの匹数はどれか。次の①～③から最も適当なものを1つずつ選び、それぞれ番号で記せ。

① 0.3 匹/ m^2

② 0.9 匹/ m^2

③ 5.5 匹/ m^2

ii) A年では群れアユと縄張りアユの比率にあまり差はみられないが、縄張りアユの方が体長が大きい。その理由を簡潔に記せ。

問5 下線部(5)について、購入するおとり鮎はどのような個体が適していると考えられるか。次の①～④から最も適当なものを1つ選び、番号で記せ。また、その個体を選んだ理由も簡潔に記せ。

① 追星のある元気な個体

② 追星のない元気な個体

③ 追星のある弱っている個体

④ 追星のない弱っている個体