

「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14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。

1

下の模式図は、いろいろな生物の代謝を1つにまとめて示す。実線の矢印は異化反応を表し、破線の矢印は同化反応を表す。以下の問いに答えよ。各問いに複数の記号 a~v や番号①~⑥が該当する場合は、すべて解答せよ。

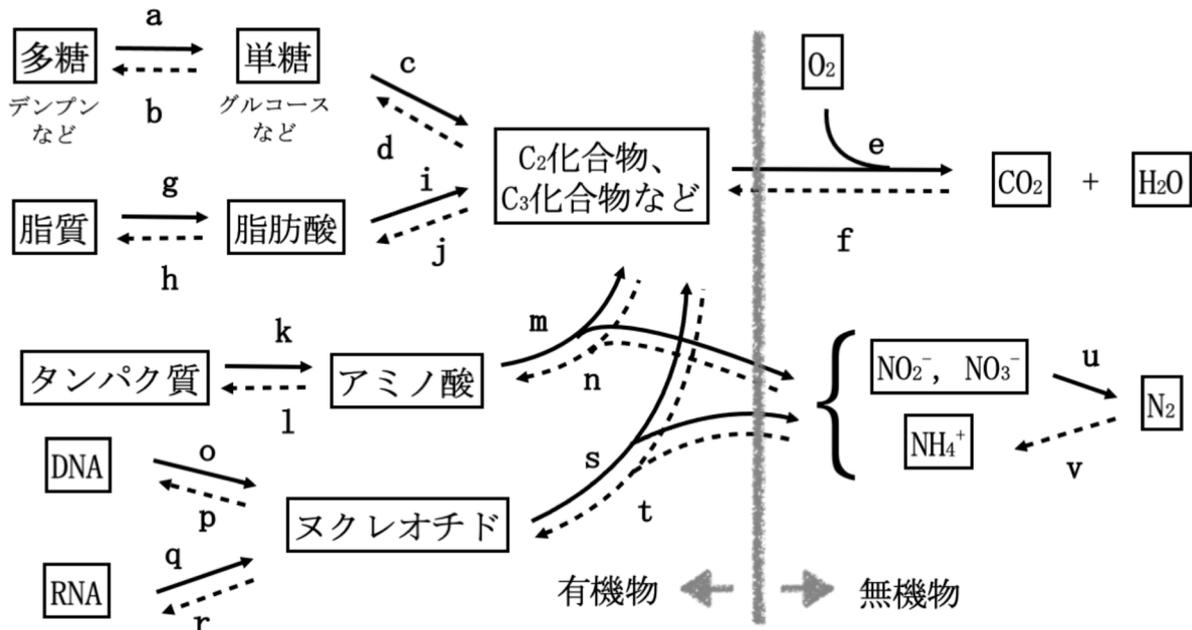


図1 生物の代謝の模式図

- 問1 反応 a~v のうち発酵に当たるものはどれか。また呼吸に当たるものはどれか。
- 問2 酵母や大腸菌は、発酵でも呼吸でも生存や増殖ができる。これらの生物で発酵と呼吸はどのような条件によって切り替わるか。また発酵から呼吸への切り替えにはどのような利点があるか。条件は1行、利点は4行以内で解答せよ。
- 問3 反応 f, u, v は、生態系において重要な代謝だが、人体では起こらない。どのような生物で起こるか、f については2つ、u と v についてはそれぞれ1つずつ、解答せよ。f は、性質や系統がなるべく大きく異なる生物2つを解答すること。

問4 人体でも多様な代謝が起こるが、体内のどこで主に起こるかは、反応によって異なる。反応 **a, c, e, k, l, p, r** は、それぞれ次のいずれで主に起こるか。

①～⑥の番号で解答せよ。

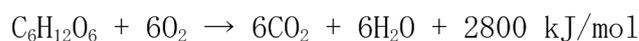
- |                      |         |
|----------------------|---------|
| ① 口腔や腸管（胃や腸）の内腔（細胞外） | ② 核     |
| ③ ミトコンドリア            | ④ リソソーム |
| ⑤ リボソーム              | ⑥ 細胞質基質 |

問5 反応 **1** にはアミノ酸が 20 種類必要だが、ヒトはそのうち 9 種類を体内で十分には合成できない。そのようなアミノ酸をまとめて何と呼ぶか。またヒトはそれをどのようにして獲得するか。

問6 反応 **b, l, p, r** は、いずれも単量体（単糖、アミノ酸、デオキシリボヌクレオチド、リボヌクレオチド）が重合して多量体（多糖、タンパク質、DNA、RNA）になる点で共通である。しかし、多糖のデンプンやセルロースは 1 種類の単量体（グルコース）だけが重合しているのに対し、タンパク質や DNA、RNA はそれぞれ複数種類の単量体が、一様でもランダムでもなく厳密に特定の配列で重合している点では異なっている。後者の重合反応が厳密に特定の順序で行われるしくみを、4 行以内で説明せよ。

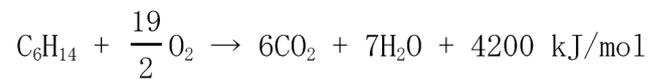
問7 高校生の A さんは、代謝の勉強をしていて疑問が生じた。「ヒトは生身の体からも呼吸で  $\text{CO}_2$  を排出する。それなら、ガソリンを燃焼する自動車に乗るのをひかえても、 $\text{CO}_2$  排出削減にはならないのではないか」という疑問である。そこで、高校まで往復 10 km の道のりを徒歩通学する場合と、保護者にガソリン車で送迎してもらった場合の  $\text{CO}_2$  排出量を計算して比べてみることにした。下の (1)～(3) の小問に解答せよ。計算問題では、必要に応じ原子量は次の値を使い、有効数字 3 桁で解答せよ。  $\text{H} = 1, \text{C} = 12, \text{O} = 16$

(1) A さんのエネルギー必要量は、徒歩通学で 1400 kJ/日 増加し、この増加分はすべて食物中のグルコースでまかなわれると仮定する。グルコースの異化は次の反応式で表される。



徒歩通学で増加する  $\text{CO}_2$  排出量 (g/日) を求め、計算式と答えを示せ。

- (2) Aさんの保護者のガソリン車の燃費は、20 km/Lである。ガソリンがすべてヘキサン  $C_6H_{14}$  からなり、密度は  $0.75 \text{ g/cm}^3$  であると仮定する。ヘキサンの燃焼は次の反応式で表される。



この送迎で増加する  $CO_2$  排出量 (g/日) を求め、計算式と答えを示せ。

- (3) 上の (1) と (2) の計算結果に基づき、Aさんの最初の疑問に1行で答えよ。また、(1) と (2) のような計算の限界 (不十分さ) について、4行以内で考察せよ。

2

以下の文章を読み、問いに答えよ。

DNA が直鎖状、または環状の状態が存在していることを学習した K 君は、①～③の DNA を用いて電気泳動に関する〔調査 I〕～〔調査 VI〕の自主研究を行なった。

- ① 直鎖状の  $\lambda$  ファージ（細菌に感染するウイルスの 1 種）DNA
- ② サイズが分からない環状のプラスミド DNA
- ③ 10 kbp のサイズの環状のプラスミド DNA

〔調査 I〕 ①の DNA（全長 48.5 kbp，質量 0.5  $\mu$ g）を制限酵素 A により完全に切断した。電気泳動と染色後に、その断片化した DNA 全てを調べたところ、そのうち 6 個の DNA 断片のサイズと泳動距離の関係が表 1 のようになった。

表 1 電気泳動による DNA 断片のサイズと泳動距離の関係

	断片 1	断片 2	断片 3	断片 4	断片 5	断片 6
DNA サイズ (kbp)	7.7	4.3	2.7	1.5	0.9	0.5
泳動距離 (cm)	2.1	2.8	3.6	4.6	5.4	6.2

問 1 〔調査 I〕から、DNA が電気泳動によって移動する原理について、先生は K 君に、以下のように説明した。□ a □ ～ □ f □ に適切な語句を記載せよ。

DNA 分子は、塩基、□ a □ と呼ばれる糖、□ b □ から構成されるヌクレオチド分子同士が重合した高分子化合物であり、分子内に □ b □ が存在しているため、水溶液中では □ c □ に帯電している。

そのため、電圧をかけると、DNA 分子はアガロースの繊維の網目の中を □ d □ から □ e □ の方向に移動する。その際、DNA 分子のサイズが □ f □ ほど、泳動距離が長い。

問 2 制限酵素 A は、特定の 6 塩基配列を認識して、特異的に切断する酵素である。〔調査 I〕で用いた DNA を構成する 4 種の塩基は均等な割合で存在し、ランダムにいらっていると仮定した場合、①の DNA は何か所で切断される確率がもっとも高いか、求めよ。また、その計算式も記せ。

〔調査 II〕表 1 の結果に基づき、DNA 断片のサイズと泳動距離について、図 1 に示したグラフ上に、通常のスケールでプロット（左）と片対数スケールでプロット（右）して、それぞれの関係性を調べた。

問 3 図 1 を用いて、〔調査 II〕を行なってみてわかることを簡潔に答えよ。

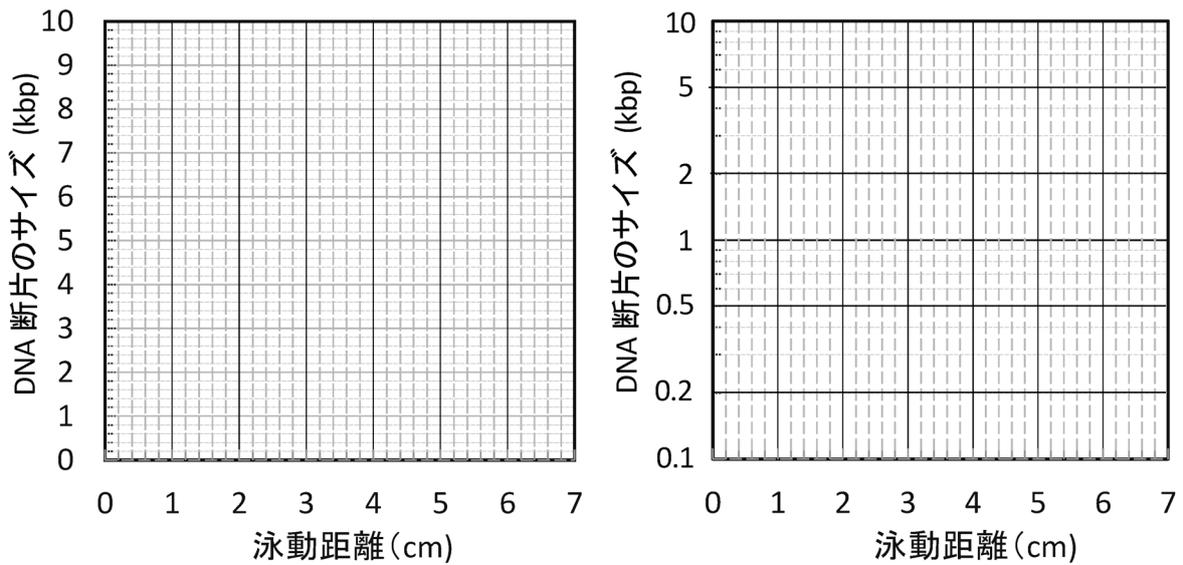


図1 DNA断片のサイズと泳動距離の関係性  
(左：通常のスケール，右：片対数スケール)

〔調査 III〕 K君は、サイズが分からない②のプラスミド DNA に対して、制限酵素 B で切断した後に、電気泳動による DNA 断片のサイズから、プラスミドの大きさを調べた。電気泳動の結果、泳動距離が 2.6 cm、4.0 cm、6.0 cm のところに DNA バンドが検出された。この時、比較対象として〔調査 I〕の DNA を同時に電気泳動した。DNA 断片のサイズと泳動距離の関係は、表 1 の結果と同じであった。

問 4 〔調査 III〕の結果から、②のプラスミド DNA のおよそのサイズを、有効数字 2 桁で算出せよ。また、その計算式も記せ。なお、調査したプラスミド DNA は 3 か所でした、制限酵素 B で切断されなかったものとする。

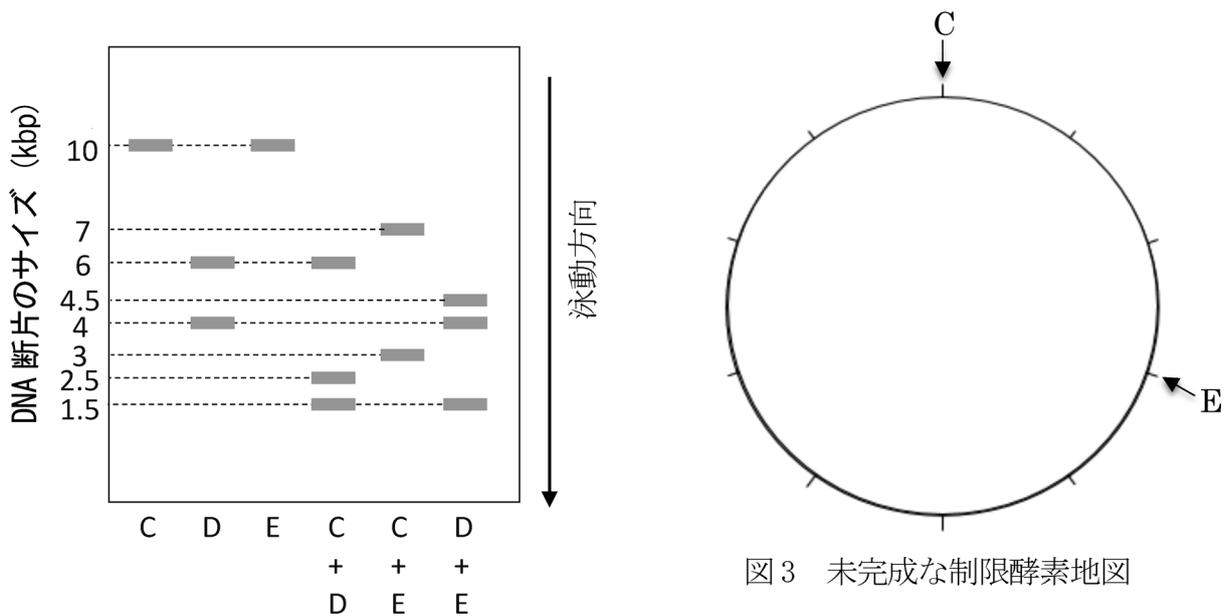


図2 泳動パターン

図3 未完成な制限酵素地図

〔調査Ⅳ〕③のプラスミドDNAを3種類の制限酵素C, D, Eを用いて単独, または2種の制限酵素で同時に切断した。生じたDNA断片を電気泳動で調べると, 図2のような泳動パターンが得られた。これらの結果をもとに, 制限酵素地図の作成を行なった。

問5 〔調査Ⅳ〕の結果から, K君は図3のように制限酵素地図を作成したが, 未完成である。図3に描かれた以外の切断部位を加え, 制限酵素地図を完成させよ。

問6 〔調査Ⅳ〕において, あらかじめ制限酵素Cで切断処理をし, 直鎖状にした③のプラスミドDNAに対して, さらに制限酵素C, D, Eを用いて単独, または2種の制限酵素で同時に切断した時, 電気泳動の泳動パターンはどのようになるか, 図示せよ。

〔調査Ⅴ〕DNAバンドに含まれるDNA断片の質量とDNAバンドの明るさに比例関係があることを学んだK君は, この性質に基づいて, 図2中の1.5 kbpのDNAバンドに含まれるDNA量の算出を試みた。電気泳動と染色後に, DNAバンドの明るさを〔調査Ⅰ〕の1.5 kbpの断片4のDNAと比較したところ, 図2の1.5 kbpのDNAバンドの明るさは, 5.0倍であった。

問7 〔調査Ⅴ〕から, 図2の1.5 kbpのバンドに含まれるDNAの質量を, 有効数字2桁で算出せよ。また, その計算式も記せ。ただし, 〔調査Ⅰ〕の断片4は, ①のDNAの1か所の領域に由来するものとする。

〔調査Ⅵ〕電気泳動の条件に興味を持ったK君は, 条件を以下のように変えて, 同じ時間で電気泳動を行ない, 染色後にDNAバンドを観察した。

- ① 100 Vの電圧で電気泳動を行なうところ, 50 Vの電圧に変更した。
- ② 1%程度のアガロースゲルで電気泳動を行なうところ, 0.5%に変更した。

問8 〔調査Ⅵ〕において, ①と②の条件変更によって, 電気泳動の結果 (DNAバンド間の距離) は, どのように変化すると考えられるか, 説明せよ。

以下の文章を読み、問いに答えよ。

[I] (ア) 真核生物では、遺伝子の転写調節は、調節領域と呼ばれる遺伝子の発現調節に関わる塩基配列に、転写調節タンパク質が結合することで行われる。そのタンパク質のうち、転写を促進するものを (イ) アクチベーター、転写を抑制するものをリプレッサーという。このような遺伝子発現の調節は、(ウ) ホルモンのはたらき、発生や細胞の分化などに関わっている。

問1 下線部 (ア) について、遺伝子の数に比べて、転写調節タンパク質の種類は少ない。どのように、多くの遺伝子が転写調節されているか。2行以内で記せ。

問2 下線部 (イ) によって、核内で染色体として存在している DNA 分子の転写が開始されるしくみを3行以内で説明せよ。ただし、下記の語群の用語をすべて用い、タンパク質とそれが結合する DNA 領域の対応が分かるように記述すること。

語群：クロマチン繊維，RNA ポリメラーゼ，基本転写因子，アクチベーター，プロモーター，転写調節領域

問3 下線部 (ウ) について、脂溶性ホルモンは、細胞膜を透過できるので、細胞質基質または核内の転写調節タンパク質に直接結合して作用できる。一方、水溶性ホルモンは、細胞膜を透過できないので、異なる経路で転写調節タンパク質に作用する。水溶性ホルモンの作用経路について、2行以内で説明せよ。

[II] 発生の研究では、(エ) ショウジョウバエがモデル生物として利用されている。 ショウジョウバエの発生過程では、遺伝子の発現が部位によって異なる調節を受け、体軸の方向、胚の区画、体節の位置が決まっていく (図1)。まず、未受精卵には、母性因子としてビコイド mRNA が前端に局在している。受精後、この mRNA から翻訳されたビコイドというタンパク質が前後軸に沿った濃度勾配を形成する。このビコイドは分節遺伝子群の働きを調節する。

分節遺伝子群は、図1のような3つの遺伝子群に分類される。ギャップ遺伝子群であるハンチバック遺伝子、ジャイアント遺伝子、クルッペル遺伝子の発現によりハンチバック、ジャイアント、クルッペルというタンパク質が生じる。これらやビコイドを含めた複数のタンパク質と、調節領域の組み合わせにより、ペアルール遺伝子群の1つイブ遺伝子の転写が調節される。その結果、イブというタンパク質の7つの帯状パターンが形成される。その後、さらに胚が区画化され、それをもとに体節が形成されていく。

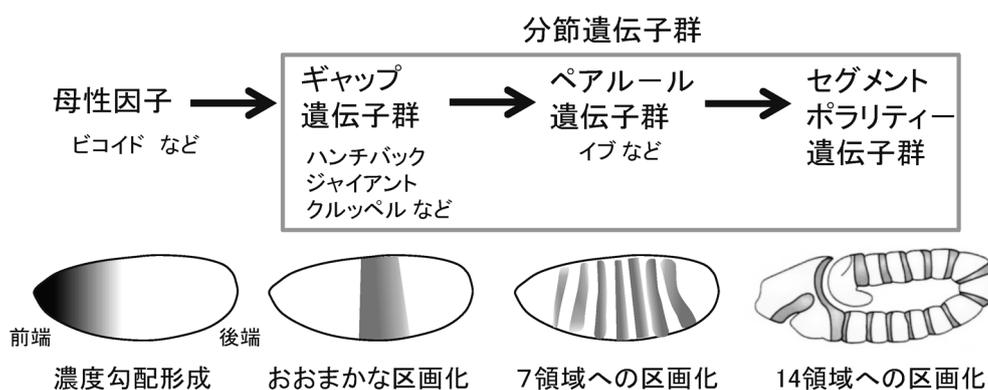


図1 ショウジョウバエの胚の区画化に関わる遺伝子群

問4 下線部 (エ) について、ショウジョウバエの発生の研究は、哺乳類など他の生物の発生の機構の解明につながった。その理由を2行以内で記せ。

〔実験 I〕 ショウジョウバエの胚について、ビコイドの濃度勾配が区画化にどのように影響するかを調べるために、野生型と変異型の胚を用意した。次に、それらについて、ビコイドとイブを抗体で染色し、ビコイドについては染色の濃さから相対濃度を求めた（図 2）。その結果を以下に要約する。

- ① 野生型胚：ビコイドは前端から後端にかけて濃度勾配を形成し、イブの 7 つの帯状のパターンが観察され、体節が正常に形成された。
- ② ビコイド遺伝子を欠損した変異型胚：受精卵に正常な機能をもつビコイドは存在せず、イブの帯状のパターンが不完全になり、幼虫の前端に頭部が正常に形成されなかった。
- ③ ビコイドを野生型より多く発現する変異型胚：ビコイドは前端から後端にかけて野生型より高い濃度を示し、イブの 7 つの帯状のパターンが後端側に移動したが、体節が正常に形成された。

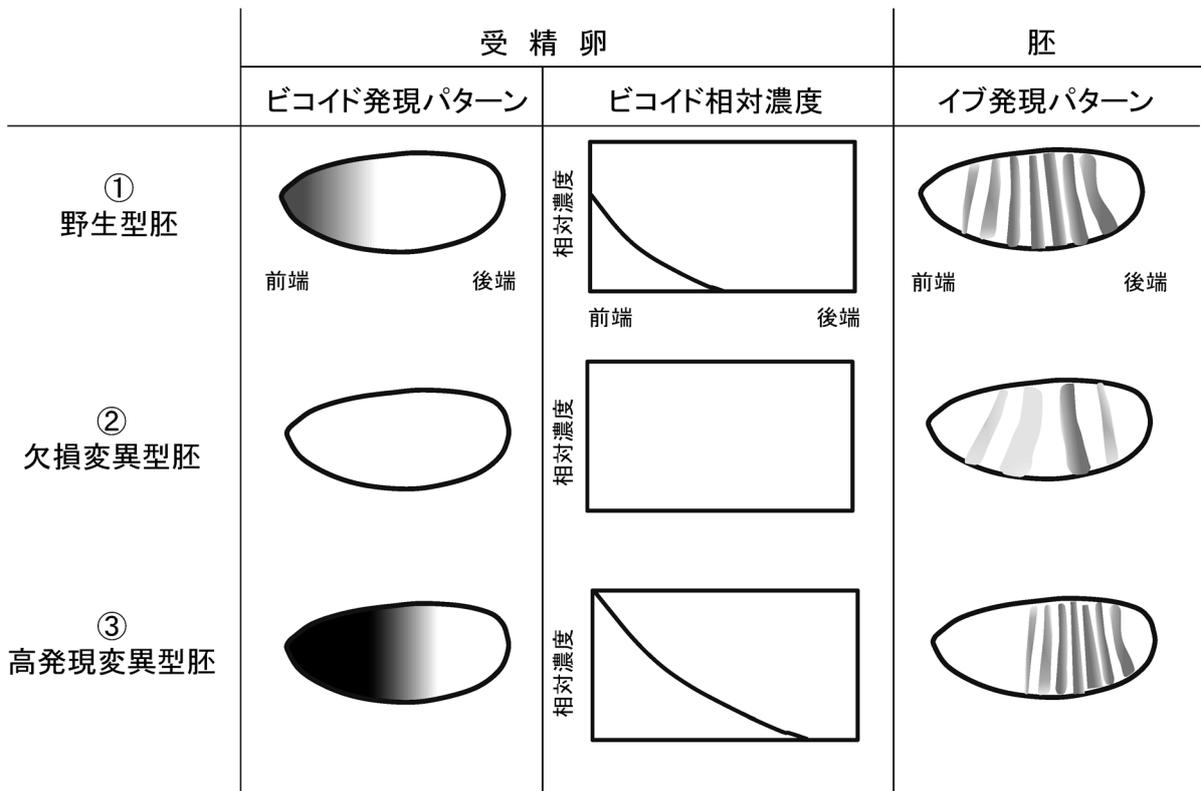


図 2 野生型胚と変異型胚の比較

問 5 〔実験 I〕の結果から、ビコイドとイブの発現パターンについて考察できることを 3 行以内で記せ。

〔実験 II〕 胚の前後軸に沿ったイブ発現の7つの帯状パターンの前方から2番目の帯に注目し，転写調節タンパク質をそれぞれ抗体で染色して観察した。その結果をもとに2番目の帯近辺での濃度勾配を示した（図3）。

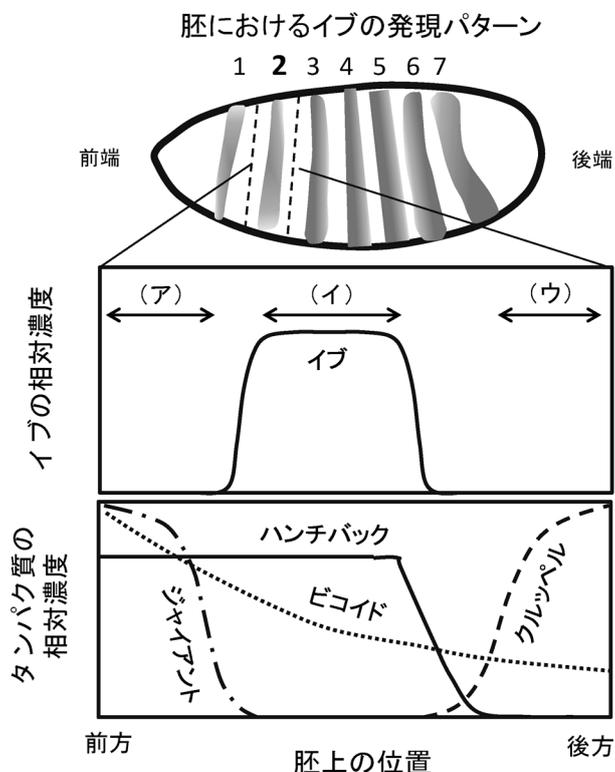


図3 イブの発現パターンとその転写調節タンパク質の濃度分布

問6 図3の2番目のイブ発現部位の前後の領域（ア）～（ウ）について，イブ遺伝子の転写調節領域に結合していると考えられるタンパク質を記せ。

- （ア） イブの非発現部位（前方側）
- （イ） イブの発現部位
- （ウ） イブの非発現部位（後方側）

問7 〔実験 II〕の結果から，2番目の帯でイブ遺伝子の転写調節について考察できることを3行以内で記せ。

問8 クルップェルを人為的に欠失させた場合，イブの発現位置はどのようにになると予想されるか。理由とともに2行以内で記せ。

[I] ある地域に生息している同種の個体の集まりを個体群という。個体群では、個体が集中して分布している場合（集中分布）もあれば、一定の等しい間隔をおいて分布している場合（一様分布）もある。また、規則性がなく分布している場合（ランダム分布）もある。そして、個体群の大きさ（個体群を構成する個体の数）を推定する方法には、区画法と標識再捕法がある。

問1 区画法では、個体群が生息する地域に、ある広さの区画をいくつかつくり、その中の個体の数から個体群の大きさ  $N$  を推定する。区画の数を  $m$  とし、以下の①～③を用いて、 $N$  を推定する計算式を示せ。

- ① 生息地域の面積  $S$
- ② 1番目から  $m$  番目までのそれぞれの区画の面積  $s_1, s_2, \dots, s_m$
- ③ 1番目から  $m$  番目までのそれぞれの区画における個体の数  $n_1, n_2, \dots, n_m$

問2 区画法では、できるだけ多くの区画で個体の数を調べることが重要である。その理由を、個体が集中分布している場合を例にして、区画の数が少ないと個体群の大きさの推定がどのような影響を受けるか、3行以内で記せ。

問3 標識再捕法では、まず、生息地域から (ア) ある数の個体を捕獲し、それらに標識をつけてから (イ) 生息地域に戻す。そして、(ウ) 再び個体を捕獲（再捕獲）して、再捕獲した個体の数とその中で標識がついていた個体の数から個体群の大きさ  $N$  を推定する。以下の①～③を用いて、 $N$  を推定する計算式を示せ。

- ① はじめに捕獲して標識をつけた個体の数  $n_1$
- ② 再捕獲した個体の数  $n_2$
- ③ 再捕獲した個体の中で標識がついていた個体の数  $k$

問4 標識再捕法では、はじめの捕獲から再捕獲までの期間が重要である。その理由として、はじめの捕獲から再捕獲までの期間が短いと個体群の大きさの推定がどのような影響を受けるか、3行以内で記せ。なお、上記の下線部 (ア) ～ (ウ) は、生息地域の同じ場所で行なわれるものとする。

[II] コンピュータを使い、生息地域における個体の分布を再現することにした(図1)。まず、同じ広さの仮想的な  $m$  個の区画を配置する。次に、 $n$  匹の個体を用意し、それを順番に、いずれかの区画に確率的に割り当てる。この確率的な割り当ては、全ての個体を割り当て終わるまで繰り返される。

区画に各個体を確率的に割り当てるために、 $i$  番目の区画(区画  $i$ )には、個体が割り当てられる確率  $p_i$  が与えられる(ただし、 $p_1 + p_2 + \dots + p_m = 1$ )。ここで、確率  $p_i$  の値は、各個体が割り当てられる直前の区画  $i$  の状態によって、あるいは、よらずに決まる。前者の場合、確率  $p_i$  の値は、個体が割り当てられるたびに更新される。

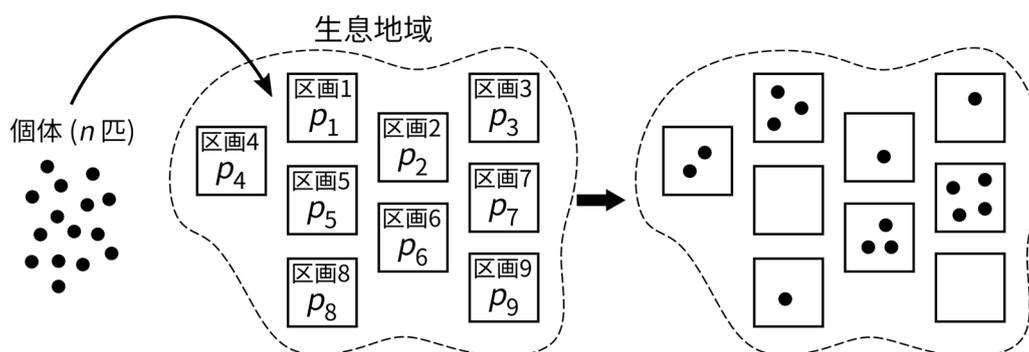


図1 コンピュータによる生息地域における個体の分布の再現  
( $m = 9$ ,  $n = 15$  の場合の一例)

問5 個体の集中分布と一様分布とランダム分布の各々を再現するためには、確率  $p_i$  をどのように決めればよいか、各々の分布について以下の番号①～③から選べ。もし、適当な選択肢の番号がない場合は、「なし」と答え、代わりに  $p_i$  の決め方(代替案)を2行以内で記せ。

- ① 区画  $i$  に既に個体が割り当てられていれば確率  $p_i$  を  $1/m$  より大きくし、割り当てられていなければ  $p_i$  を  $1/m$  より小さくする。
- ② 区画  $i$  に既に個体が割り当てられていれば確率  $p_i$  を  $1/m$  より小さくし、割り当てられていなければ  $p_i$  を  $1/m$  より大きくする。
- ③ 区画  $i$  に個体が割り当てられている・いないにかかわらず確率  $p_i$  を  $1/m$  とする。

問6 集中分布と一様分布とランダム分布の各分布の特徴をグラフで表わす。今、各区画に割り当てられた個体の数を横軸にとり、その数の個体が割り当てられた区画の数を縦軸にとると、どのようなグラフが描けるか、各々の違いがわかるようにグラフの概形を曲線で記せ。なお、 $m = 100$ ， $n = 100$ として考えよ。

問7 今、実際の生息地域で、同じ広さの100個の区画で個体の数を計測したところ、合計が100個体だった。このデータについて、上記のコンピュータを使った再現方法を用いて、個体の分布が集中分布、一様分布、ランダム分布のどれに一番近いかを推定する。その推定方法を7行以内で記せ。