

生 物

1 以下の文章を読み、各問いに答えよ。

真核生物の遺伝子発現においては、染色体 DNA に存在する 1 と呼ばれる領域に RNA ポリメラーゼが結合し、2 本鎖 DNA の一方の鎖を鋳型にして塩基配列が相補的な RNA への転写が起こる。核内で転写直後の RNA には、アミノ酸配列情報を含み翻訳される 2 と呼ばれる領域とアミノ酸配列情報を含まない 3 という領域が存在し、多くの場合、2 が 3 によって分断された構造をしている。転写直後の RNA から特定の領域が除去される過程を経て mRNA が完成する。このとき除去される領域の組み合わせの違いによって 1 つの RNA から異なる mRNA ができることがある。完成した mRNA は 4 を経由して細胞質に移行し、リボソームが結合して翻訳が始まる。

問 1 文章中の 1 ～ 4 に最も適切な語句を入れよ。

問 2 下線部(ア)について書かれた次の(a)～(d)の文章の中から正しいものをすべて選び、記号で答えよ。

- (a) RNA ポリメラーゼの結合の前に、DNA の二重らせん構造は DNA ヘリカーゼという酵素によりほどかれる。
- (b) 転写は常に AUG という配列から開始される。
- (c) 転写が始まるためには、プライマーと呼ばれる短い RNA 鎖が DNA に結合している必要がある。
- (d) 2 本鎖 DNA のうち、どちらの鎖が RNA への転写の鋳型となるかは、遺伝子ごとに異なる。

問 3 下線部(ア)について、転写直後の RNA の一部に 5'-GAUCAAUGCU-3' という塩基配列が含まれていた。このとき、鋳型となった DNA 鎖においてこの領域に対応する DNA の塩基配列を 5'→3' 方向にアルファベットで答えよ。

問 4 下線部(ア)の RNA への転写の様子を正しく示しているものを、図 1 の(a)～(f)の中から 1 つ選び、記号で答えよ。ただし、図 1 において灰色の太線は 2 本鎖 DNA を、黒色の太線は RNA を示す。

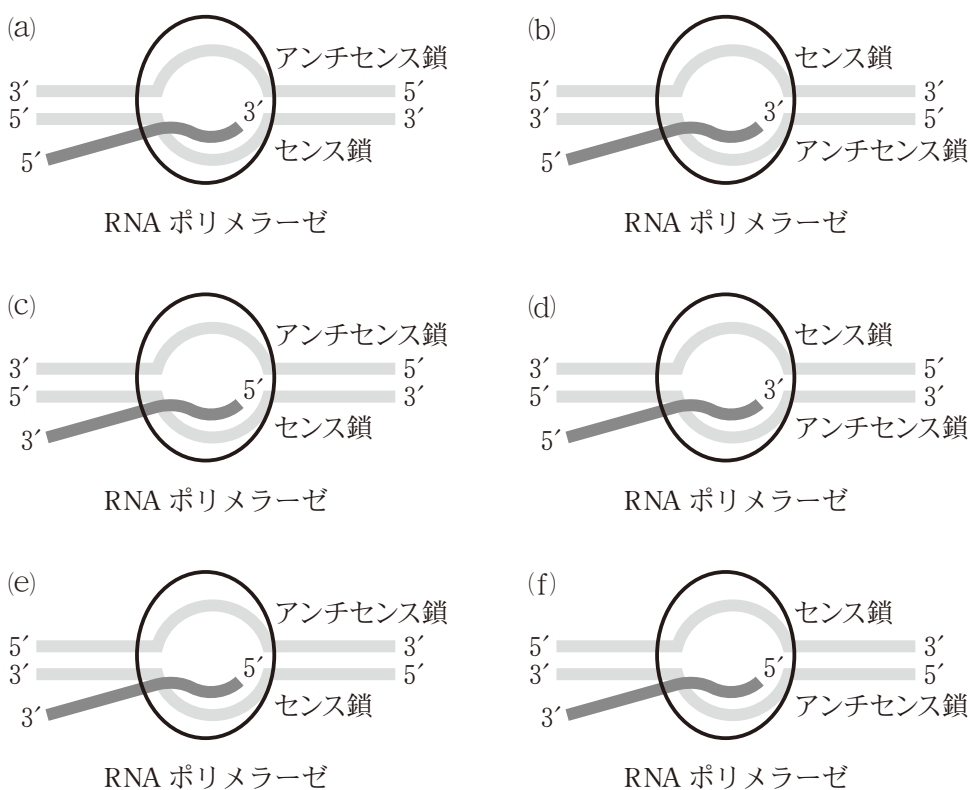


図 1

問 5 下線部(イ)は何と呼ばれるか、答えよ。

問 6 下線部(ウ)の現象は何と呼ばれるか、答えよ。

問 7 下線部ウについて書かれた次の(a)~(d)の文章の中から正しいものをすべて選び、記号で答えよ。

- (a) 原核生物の遺伝子においても普遍的にみられる。
- (b) 多様な抗体がつくられるしくみの研究で発見された。
- (c) 遺伝子の数よりもはるかに多い種類のタンパク質がつくられる。
- (d) 細胞の種類や発生段階の違いに応じて、同じ遺伝子から多様なタンパク質をつくることが可能である。

問 8 転写から翻訳の過程において、原核生物が真核生物と異なる点として適切なものを次の(a)~(e)の中からすべて選び、記号で答えよ。

- (a) 真核生物とは異なり、原核生物では複数の構造遺伝子が1つの mRNA として転写される場合がある。
- (b) 真核生物の RNA では5'→3'方向に転写が起こるが、原核生物では3'→5'方向に RNA への転写が起こる。
- (c) 真核生物とは異なり、原核生物ではリボソームは mRNA 上を3'→5'方向に移動する。
- (d) 真核生物では1つの mRNA に1つのリボソームしか結合できないが、原核生物では1つの mRNA に複数のリボソームが結合して同時に翻訳が起こる。
- (e) 真核生物では転写が終了してから翻訳が始まるが、原核生物では転写と翻訳が同時に進行する。

2 は次ページ

2 以下の文章Ⅰ，Ⅱを読み，各問いに答えよ。

Ⅰ

シヨウジョウバエの初期発生では，卵形成の過程で卵細胞質に蓄積した^(ア)mRNAが受精後に翻訳され，合成されたタンパク質の濃度勾配が卵における相対的な位置情報となることで，体軸が形成される。シヨウジョウバエの前後軸を形成する因子であるビコイドとナノスの mRNA は，それぞれ未受精卵の前方と後方に局在している。受精後に合成されるビコイドとナノスのタンパク質は図1に示すような濃度勾配を形成し，約10種類の 1 遺伝子の発現を促進する。続いて，2 遺伝子が特定の位置で7本のしま状に発現し，3 遺伝子が14本のしま状に発現することで，からだの基本構造となる体節が形成される。その後，ホメオティック遺伝子群が，それぞれの体節の位置情報に従って，触角や眼，あしなどの器官を順次形成するように作用する。

問1 下線部^(ア)について，受精前の卵に蓄積しており，発生過程に影響を及ぼす mRNA やタンパク質の総称を答えよ。

問2 文章中の 1 ～ 3 に入る最も適切な語句を，次の(a)～(g)の中からそれぞれ1つ選び，記号で答えよ。

- | | |
|-------------|----------------|
| (a) オーガナイザー | (b) ギャップ |
| (c) ノーダル | (d) セグメントポラリティ |
| (e) ペアルール | (f) アンテナペディア |
| (g) バイソラックス | |

問 3 正常なショウジョウバエの未受精卵にはハンチバック mRNA が蓄積しており、卵全体に均一な濃度で存在している。受精後の卵では、前方で新たにハンチバック遺伝子が転写され、翻訳が始まることで、図 1 のように前後軸に沿ったハンチバックタンパク質の濃度勾配が形成される。この濃度勾配の形成と、ビコイドタンパク質やナノスタンパク質との関係を調べるために実験 1 および実験 2 を行い、次ページに示すような結果を得た。

これらの実験結果から考えられる、ビコイドタンパク質およびナノスタンパク質によるハンチバック遺伝子の発現調節のしくみを、次の 4 つの語句を 1 回ずつ用いて 65 字以内で説明せよ。

転写，翻訳，促進，抑制

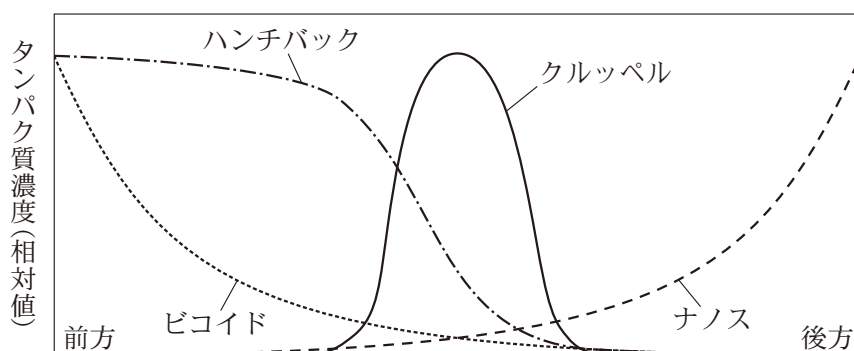


図 1

実験 1

ビコイド遺伝子を欠損したメスと野生型オスの交配で得られた受精卵では、未受精卵に蓄積していた mRNA に由来するハンチバックタンパク質のみが前方で合成され、それは図 2 の実線で示す濃度勾配を形成した。ビコイド遺伝子を欠損したメスと野生型オスを交配し、得られた受精直後の卵の前方にビコイドタンパク質を注入すると、ハンチバックタンパク質は図 2 の点線で示す濃度勾配を形成した。この濃度勾配は、正常な受精卵でみられるものと同様であった。

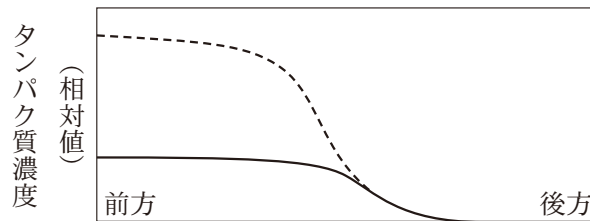


図 2

実験 2

ビコイド遺伝子およびナノス遺伝子を欠損したメスと野生型オスの交配で得られた受精卵では、図 3 の実線で示すように、未受精卵に蓄積していた mRNA に由来するハンチバックタンパク質のみが、卵全体に均一な濃度で合成された。ビコイド遺伝子およびナノス遺伝子を欠損したメスと野生型オスを交配し、得られた受精直後の卵の後方にナノスタンパク質を注入すると、ハンチバックタンパク質は図 3 の点線で示す濃度勾配を形成した。

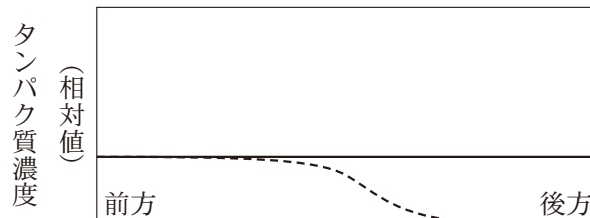


図 3

問 4 クルッペル遺伝子の発現は、ハンチバックタンパク質の濃度に依存して抑制されている。これにより、正常なショウジョウバエの受精卵において、クルッペルタンパク質は図1のような濃度勾配を示す。このことを参考にして、以下の(1)および(2)に答えよ。

- (1) クルッペル遺伝子の発現が抑制されるのは、どのようなハンチバックタンパク質の濃度条件であるか、30字以内で説明せよ。
- (2) ビコイド遺伝子を欠損したメスと野生型オスの交配で得られた受精卵では、クルッペルタンパク質はどのような濃度勾配を示すと予想されるか、最も適切なものを図4の(a)~(f)の中から1つ選び、記号で答えよ。

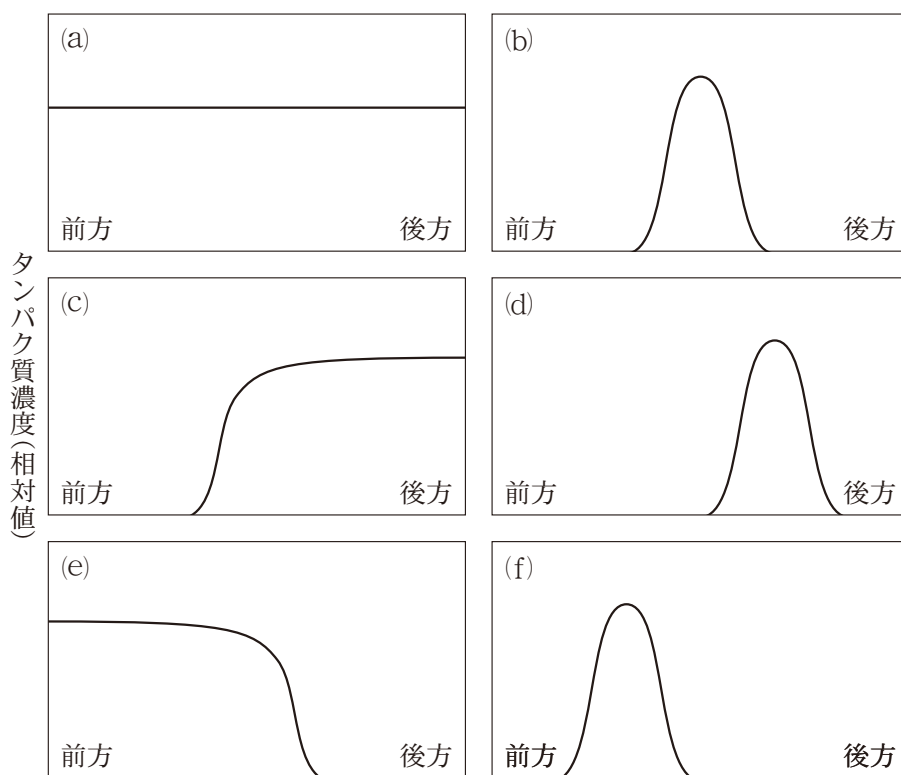


図 4

II

ホメオティック遺伝子群は、ショウジョウバエのホメオティック突然変異の研究によって発見された。その後、ヒトやマウスなどの動物においても相同な遺伝子群が次々と発見され、現在は Hox 遺伝子群と総称されている。ショウジョウバエの Hox 遺伝子群は連鎖した 8 種類の遺伝子からなり、各遺伝子の産物であるタンパク質のアミノ酸配列には互いによく類似した領域が存在する。前後軸に沿ったからだの性質は、発現する Hox 遺伝子の種類によって決定され、特に脊椎動物の脊椎骨の分化には Hox 遺伝子の固有の発現パターンが重要な役割を果たすことが知られている。

問 5 下線部(イ)のアミノ酸配列が変化すると、ホメオティック突然変異が生じることがある。その理由として、最も適切なものを次の(a)~(d)の中から 1 つ選び、記号で答えよ。

- (a) Hox 遺伝子から合成されるタンパク質が受容体としての機能を失い、正常なシグナル伝達ができなくなるため。
- (b) Hox 遺伝子から合成されるタンパク質が酵素としての機能を失い、正常な基質の分解ができなくなるため。
- (c) Hox 遺伝子から合成されるタンパク質が細胞骨格のタンパク質としての機能を失い、正常な細胞の構造を維持できなくなるため。
- (d) Hox 遺伝子から合成されるタンパク質が調節タンパク質としての機能を失い、特定の DNA 配列へ結合できなくなるため。

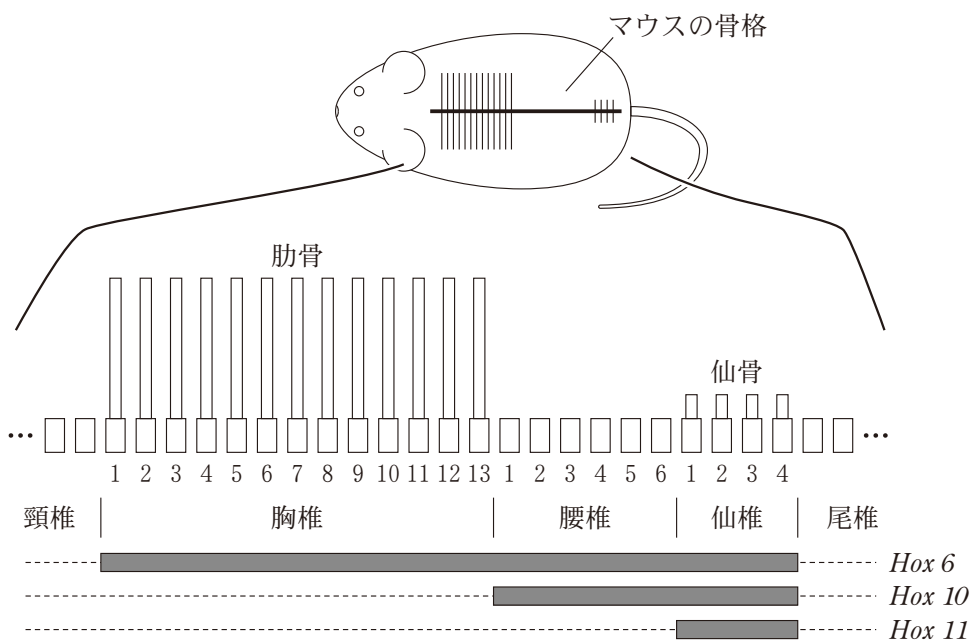
問 6 脊椎動物の脊椎骨は、その形態的特徴によって、前方(頭側)から頸椎、胸椎、腰椎、仙椎、尾椎に分類され、胸椎には肋骨が、仙椎には仙骨が形成される。正常なマウスの発生過程における胸椎、腰椎、仙椎の分化は、図 5 で示されるような位置関係で Hox 遺伝子が発現することにより決定されている。図 5 において、例えば *Hox 6* は、胸椎、腰椎、仙椎が形成される位置に発現していることを示す。以上のことを参考にして、以下の(1)および(2)に答えよ。なお、脊椎動物の *Hox 6*、*Hox 10*、*Hox 11* には、それぞれ機能の類似した複数の遺伝子が存在する。しかし、ここでは *Hox 6*、*Hox 10*、*Hox 11* のいずれも 1 つの遺伝子として扱う。

(1) *Hox 10* を全く発現しないマウスの胎児が示すと予想される表現型として、最も適切なものを次の(a)~(g)の中から 1 つ選び、記号で答えよ。

- (a) 本来胸椎に分化するはずの脊椎骨に肋骨が形成されなくなる。
- (b) 本来胸椎に分化するはずの脊椎骨に仙骨のような骨が形成される。
- (c) 胸椎および後方のすべての脊椎骨に肋骨のような骨が形成される。
- (d) 胸椎および後方のすべての脊椎骨に仙骨のような骨が形成される。
- (e) 本来腰椎に分化するはずの脊椎骨に肋骨のような骨が形成される。
- (f) 本来腰椎に分化するはずの脊椎骨に仙骨のような骨が形成される。
- (g) 正常な個体と同様に脊椎骨が分化する。

(2) アナウサギとマウスの間において、頸椎および仙椎に分類される脊椎骨の数は同じであるが、胸椎と腰椎に分類される脊椎骨の数は異なり、アナウサギではそれぞれ 12 個と 7 個である。上記 2 種の間で Hox 遺伝子による脊椎骨の分化機構が共通していると仮定すると、アナウサギの発生過程における *Hox 6*、*Hox 10*、*Hox 11* の発現パターンは、マウスと比較してどのように異なるか、次の語句から 3 つを選び、それらを用いて 60 字以内で説明せよ。

脊椎骨、頭側、拡大、縮小



■ Hox 遺伝子の発現している領域

----- Hox 遺伝子の発現していない領域

胸椎，腰椎，仙椎の数字は，それぞれ頭側から数えた脊椎骨の番号を示す。

図 5

3 は次ページ

3 以下の文章Ⅰ，Ⅱを読み，各問いに答えよ。

Ⅰ

被子植物の受精過程では，^{せいさいぼう}精細胞と^{らんさいぼう}卵細胞が配偶子となる。精細胞と卵細胞は，それぞれ花粉と^{はい}胚のうと呼ばれる配偶体内でつくられる。花粉の形成過程では，おしべ先端のやくの中で^{か ふん ぼ さいぼう}花粉母細胞が を行って，4 個の細胞からなる^{か ふん し ぶん し}花粉四分子ができる。花粉四分子の細胞は離れて，それぞれが花粉になる。花粉の細胞は^{か ふん かん さい ぼう}花粉管細胞と^{ゆうげんさいぼう}雄原細胞に分裂し，その後，雄原細胞が花粉管細胞に取り込まれる。雄原細胞の分裂によって2 個の精細胞が形成される。胚のうの形成過程では，めしべの子房にある^{はいしゆ}胚珠内で胚のう母細胞が を行い，生じる4 個の娘細胞のうちの1 個だけが胚のう細胞として残る。胚のう細胞の核は連続して3 回分裂し，その後起こる細胞質分裂の結果，1 個の卵細胞，2 個の^{じょさいぼう}助細胞，1 個の^{ちゅうおうさいぼう}中央細胞と3 個の^{はんそくさいぼう}反足細胞の合計7 個の細胞からなる胚のうが形成される。中央細胞には，2 個の が存在する。

花粉はめしべの柱頭につくと発芽して，花粉管を胚珠に向けて伸ばす。花粉管の先端が胚のうに到達すると花粉管は破裂し，胚のう内に2 個の精細胞が放出される。精細胞のひとつは卵細胞と受精して受精卵となり，将来， になる。もうひとつの精細胞は中央細胞と融合し，将来， になる。このような被子植物だけにみられる受精の様式は と呼ばれる。

問 1 文章中の ～ に最も適切な語句を入れよ。

問 2 以下の(a)～(f)に示す細胞から，核相が n (単相) のものをすべて選び，記号で答えよ。

- | | | |
|-----------|----------|------------|
| (a) 花粉母細胞 | (b) 雄原細胞 | (c) 胚のう母細胞 |
| (d) 胚のう細胞 | (e) 卵細胞 | (f) 助細胞 |

II

被子植物のシロイヌナズナ(二倍体)では、本来はその生物にない外来の DNA 断片がゲノム DNA に挿入された、さまざまな変異株が得られている。図 1 に示すように、ゲノム DNA 内の遺伝子 A の領域に除草剤耐性遺伝子を含む外来 DNA 断片が挿入されると、遺伝子 A が分断されて機能を失った潜性(劣性)の対立遺伝子 a となる。もともとのシロイヌナズナ個体は除草剤に対して耐性を持たない(非耐性)が、得られた対立遺伝子 a を持つ個体は、遺伝子型が Aa と aa の両方とも除草剤耐性となる。このため遺伝子型が Aa の個体の自家受粉によって得られた次世代では、除草剤耐性と除草剤非耐性の両方の表現型の個体が得られる。^(ア)

上記と同様の方法で、ゲノム DNA 内の遺伝子 B の領域に除草剤耐性遺伝子を含む外来 DNA 断片が挿入された潜性の対立遺伝子 b をもつ個体を得た。次に、遺伝子型が Bb の個体の自家受粉によって得られた次世代の個体について遺伝子型を調べたところ、遺伝子型が bb の個体は得られないことがわかった。^(イ)

同様に、ゲノム DNA 内の遺伝子 D の領域に除草剤耐性遺伝子を含む外来 DNA 断片が挿入された潜性の対立遺伝子 d をもつ個体を得た。次に、遺伝子型が Dd の個体の自家受粉によって得られた次世代の個体について遺伝子型を調べたところ、遺伝子型が dd の個体は得られないことがわかった。^(ウ)

下線部(イ)と(ウ)のような結果が得られた理由を調べるため、以下の実験 1 ～ 4 を行った。

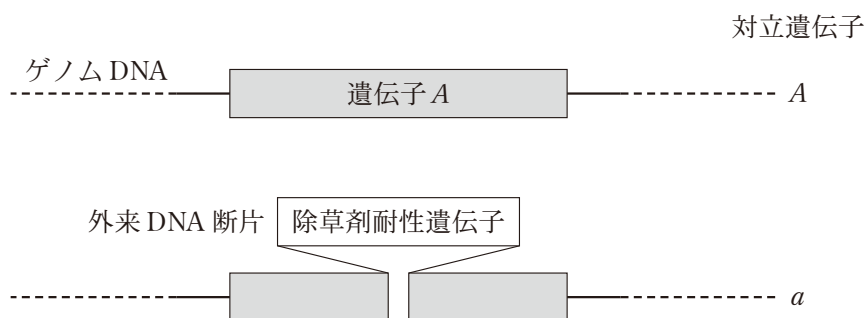


図 1

実験 1

遺伝子型が Bb の個体の花粉を遺伝子型が BB の個体のめしべに受粉し、得られた次世代の個体の除草剤耐性を調べた。その結果、除草剤耐性の個体の数と除草剤非耐性の個体の数の比は $1 : 1$ であることがわかった。

実験 2

遺伝子型が BB の個体の花粉を遺伝子型が Bb の個体のめしべに受粉し、得られた次世代の個体の除草剤耐性を調べた。その結果、除草剤耐性の個体の数と除草剤非耐性の個体の数の比は $1 : 1$ であることがわかった。

実験 3

遺伝子型が Dd の個体の花粉を遺伝子型が DD の個体のめしべに受粉し、得られた次世代の個体の除草剤耐性を調べた。その結果、すべての個体が除草剤非耐性であり、除草剤耐性の個体は得られないことがわかった。

実験 4

遺伝子型が DD の個体の花粉を遺伝子型が Dd の個体のめしべに受粉し、得られた次世代の個体の除草剤耐性を調べた。その結果、除草剤耐性の個体の数と除草剤非耐性の個体の数の比は $1 : 1$ であることがわかった。

問 3 下線部(ア)について、除草剤耐性の個体の数と除草剤非耐性の個体の数の比はどのようになると期待されるか、答えよ。なお、対立遺伝子 a によってシロイヌナズナの生存力や繁殖力は影響を受けないものとする。

問 4 下線部(イ)について、遺伝子型が bb の個体 that 得られなかった理由を 25 字以内で答えよ。

問 5 下線部(ウ)について、遺伝子型が dd の個体 that 得られなかった理由を 30 字以内で答えよ。

問 6 遺伝子型が Bb の個体の自家受粉で得られる次世代では、除草剤耐性の個体の数と除草剤非耐性の個体の数の比はどのようになると期待されるか、答えよ。

問 7 遺伝子型が Dd の個体の自家受粉で得られる次世代では、除草剤耐性の個体の数と除草剤非耐性の個体の数の比はどのようになると期待されるか、答えよ。

問 8 遺伝子型が $BbDd$ の個体の自家受粉で得られる次世代では、除草剤耐性の個体の数と除草剤非耐性の個体の数の比はどのようになると期待されるか、理由とともに答えよ。なお、遺伝子 B と遺伝子 D は連鎖しておらず、両遺伝子の間に相互作用はないものとする。

以下の文章Ⅰ，Ⅱを読み，各問いに答えよ。

Ⅰ

新潟県の県鳥であるトキは，学名 *Nipponia nippon* で知られている。トキは昭和 56 年に佐渡ですべて捕獲され，国内における野生のトキは存在しなくなった。しかし，平成 20 年にトキの放鳥が開始され，それ以降，順調にトキの野生復帰が進んでいる。この野生復帰を進めるためには，トキの生息地の生物多様性を維持・増大させていくことが必要であり，佐渡ではトキを象徴とした生物多様性や生態系の保全に向けた取り組みが行われている。

問 1 下線部(ア)について，学名は属名と種小名を組み合わせでラテン語で表記される。この命名法は何と呼ばれるか，答えよ。

問 2 下線部(イ)について，3つの階層を答えよ。

問 3 下線部(ウ)について，生物多様性や生態系を保全することは人類にとっても重要である。人類が生態系から受ける様々な恩恵は生態系サービスと呼ばれている。生態系サービスのうちの1つである供給サービスの具体例を，次の(a)～(l)の中から3つ選び，記号で答えよ。

- | | | |
|-----------|-----------|--------------|
| (a) 水の循環 | (b) 水質浄化 | (c) 燃料 |
| (d) 洪水の防止 | (e) 芸術的着想 | (f) エコツーリズム |
| (g) 気候の調節 | (h) 食料 | (i) レクリエーション |
| (j) 土壌の形成 | (k) 薬用資源 | (l) 光合成 |

II

生態系では、エネルギーは生態系外から取り込まれ、そのエネルギーの一部は食物連鎖の各栄養段階の生物によって利用される。ある湖沼における栄養段階ごとのエネルギー量を調べた。表1は、得られた測定結果から算出した、各栄養段階における生物の年間のエネルギー収支を示している。なお、表1の数値の単位は、 $\text{J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{年})$ である。

表1

	生産者	(1)	(2)	(3)
総生産量，同化量	4870	716	140	28
呼吸量	1010	217	62	18
純生産量，生産量	3860	499	78	10
成長量	3025	339	42	8
被食量	731	146	29	0
枯死量，死滅量	104	14	7	2
不消化排出量		(エ)	(オ)	1

問4 表1の(1)～(3)の栄養段階の総称を答えよ。

問5 表1の(エ)，(オ)の値を答えよ。

問6 各栄養段階にて獲得されるエネルギー量を生産者から順に積み上げた図は、ピラミッド状になる。その理由について、「上位の栄養段階が摂食により獲得するエネルギー量には、」を文頭に用いて、70字程度で説明せよ。なお、文字数には文頭も含むものとする。

問 7 この湖沼における年間の太陽の入射エネルギー量は $440000 \text{ J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{年})$ と算出されている。この湖沼の生産者の光合成によって利用されるエネルギー量は、太陽の入射エネルギー量の何パーセントとなるか、四捨五入して小数第 1 位まで答えよ。

問 8 表 1 の(3)のエネルギー効率は何パーセントとなるか、四捨五入して小数第 1 位まで答えよ。