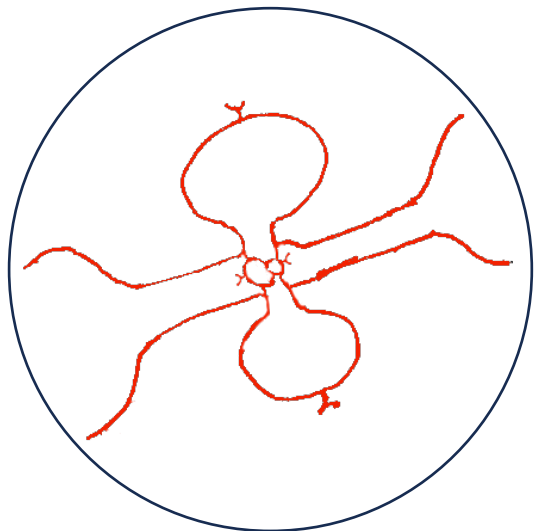


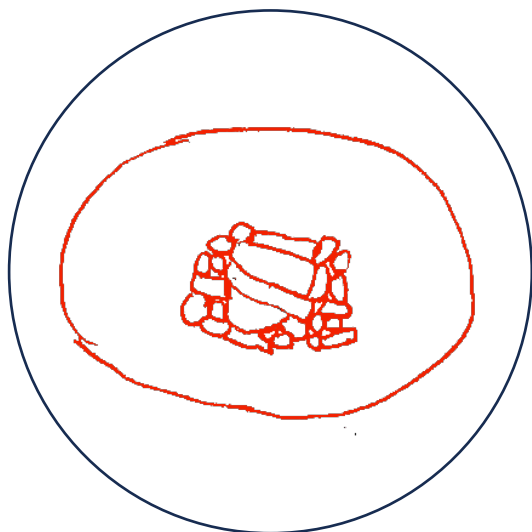
大問 1

問題 1 【模範解答】

問 1



問 2



問 3 (ア)

正常型の個体数 89

カップ型の個体数 31

カップ型の個体数の割合 25.8%

問 3 (イ)

遺伝子型 aaBb

カップ型の個体数の期待値 15.6

問 4

②、④ (②、④、⑤も正答とする)

問 5

解答なし (解説を参照)

問 6 (ア)

正常型 染色あり。本葉の基部の間に染色部位が存在する。

カップ型 染色なし。

問 6 (イ)

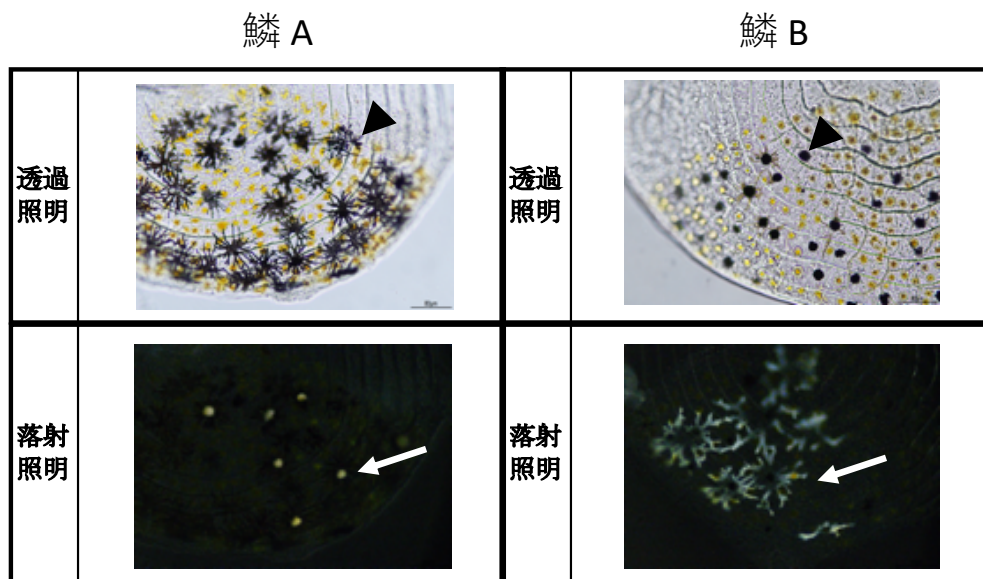
茎頂分裂組織が存在しないか、茎頂分裂組織の機能が異常になっているため、本葉を形成できない。

問 6 (ウ)

A 遺伝子と B 遺伝子の少なくとも一方が、C 遺伝子の発現に必要である。

問題 2 【模範解答】

問 1



問 2

鱗 A：ノルアドレナリンにより黒色素胞は顆粒凝集反応、白色素胞は顆粒拡散反応。アセチルコリンにより黒色素胞と白色素胞ともに反応なし。

鱗 B：ノルアドレナリンとアセチルコリンにより、黒色素胞と白色素胞ともに反応なし。

交感神経か副交感神経かの考察：黒色素胞、白色素胞どちらも交感神経

問 3

鱗 B の状態：④

暗い状態：①

問 4

鱗 C と鱗 D の違い：黄色素胞と白色素胞は、鱗 C では存在せず、鱗 D では両方ともに存在  
(黒色素胞は鱗 C と鱗 D の両方に存在)

変異がある染色体：①

遺伝子 w の働き：色素胞の幹細胞から黄色素胞や白色素胞への分化を誘導する働き

## 問題 1 【解説】

### 問 1

顕微鏡を使用して生物を観察し、その形態的な特徴を正確にとらえてもらうことが、この問題の狙いである。平均的な大きさの野生型個体を適切に選び、観察対象である茎頂部の構造が明瞭になるように、試料の向きや照明の当て方を工夫することが重要である。試料の透明度が低いため、透過照明よりも落射照明を使用する方が適切である。子葉および本葉の位置関係（本葉が子葉の上であり、互いに直角に近い角度をなすこと）や、本葉と子葉を区別するトゲが問題文の指定通りに記載されている必要がある。

### 問 2

問 1 と同様に、平均的なカップ型個体を選び、カップの「底」の構造が明瞭に観察できるように工夫することが重要である。底部の細胞の形態や大きさなどの特徴を正しく捉えることが求められる。

### 問 3 (ア)

変異体を用いる研究の第一歩は、遺伝子型と表現型との対応を明らかにすることである。その過程の一端を体験してもらうことが、問 3 の狙いである。

正常型は子葉が 2 つに分かれ、本葉が形成されるのに対し、カップ型は子葉が融合し、本葉が形成されない。これらの形態的特徴を、生育度合いにばらつきがある集団の中から正確に判別する必要がある。カップ型の個体数の割合は、 $31 \div 120 \times 100 = 25.8\%$  となる。

### 問 3 (イ)

カップ型の表現型は遺伝子型が  $aabb$  の場合にのみ現れること、そしてストック S ではカップ型個体が約 4 分の 1 の割合で生じること（問 3 より）から、ストック S の親株の遺伝子型が  $aaBb$  または  $Aabb$  のいずれかであることが分かる。親株が  $aaBb$  である場合、ストック S で正常な表現型を示すのは  $aaBb$  または  $aaBB$  であり、次世代でカップ型が出現しないことから、選ばれた正常個体の遺伝子型は  $aaBB$  であると判断できる。同様に、親株が  $Aabb$  である場合、選ばれた正常個体の遺伝子型は  $AAbb$  となる。この二つの遺伝子型（ $aaBB$  と  $AAbb$ ）のうち、 $AAbb$  と交配して F2 でカップ型が生じるのは  $aaBB$  のみであることから、ストック S の親株の遺伝子型は  $aaBb$  であると推定できる。

$aaBB$  と  $AAbb$  の交配から生じた F1 の遺伝子型は  $AaBb$  であり、F2 においてカップ型（遺伝子型  $aabb$ ）が生じる割合は 16 分の 1 となる。250 粒の F2 を発芽させた場合、カップ型の期待値は  $250 \div 16 = 15.6$  となる。

### 問 4

遺伝子発現の解析に用いられるレポーター遺伝子を題材とした問題である。ここでは、C 遺伝子の発現を調べるために、大腸菌の酵素 D をコードする遺伝子がレポーターとして使用されている。なお、このレポーター遺伝子は GUS と呼ばれ、植物における遺伝子発現解析で一般的に用いられる。

C は、コード配列がイントロンによって 3 つに分断された遺伝子であることが、図 3 の模式図からわかる。遺伝子の転写開始点およびプロモーターは、通常は最初のコード配列（一番左の四角）よりも上流にあることから、選択肢①は誤りである（最初のコード配列のすぐ上流には 5'非翻訳領域が存在することに注意）。イントロンは RNA スプライシングによって除去される配列であり、その両端にはエキソンが存在することから、C に限らずどのような遺伝子でも、通常エキソンの数はイントロンの数よりも 1 つ多くなる。したがって選択肢②は正しい。転写開始点は最初のコード配列よりも上流にあり、転写が終了する領域は最後のコード配列よりも下流にあることから、選択肢③は誤り（この場合も、最初のコード配列の上流と最後のコード配列の下流に、それぞれ非翻訳領域が隣接することに注意）。C のコード配列の長さの合計は、D のコード配列よりも短いので、④は正しい。コドンは、わずかな例外を除き、現存する生物に広く共通しており、ほぼ普遍的であるため、選択肢⑤は誤りである。ただし、大腸菌などの細菌では、翻訳の開始時に開始コドンがホルミルメチオニンを指定するのに対し、真核生物ではメチオニンを指定する点に違いがある。そのため、コドンの例外を考慮して選択肢⑤を正しいと判断した場合も、正解とする。生物種におけるコドン使用の例外については、以下の論文を参照されたい。

横堀 伸一（2014）遺伝暗号は進化する。Viva Origino 42. 47-49

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/vivaorigino/42/4/42\\_47/\\_article/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/vivaorigino/42/4/42_47/_article/-char/ja)

## 問 5

本問題は、C'を導入した形質転換シロイヌナズナにおける X'の染色部位、すなわち酵素 D の蓄積部位から、遺伝子 C の発現パターンを推測することを意図している。ただし、実際に形質転換体における染色が酵素 D の活性によるものであるかを確認するためには、対照実験として形質転換を行っていない野生型シロイヌナズナで同様の染色操作を行い、染色が見られないことを示す必要がある。ところが、本問題ではこの対照実験の結果が条件として与えられていないため、各選択肢の妥当性を判断することはできない。たとえば、茎頂分裂組織に特異的に見られる染色が、酵素 D の活性によるものではなく、茎頂分裂組織で発現する D と同じ活性を持つ別の酵素による可能性も排除できないからである。よって、本問題では、すべての受験者に同じ得点を付与した。

なお上記の対照実験でシロイヌナズナの茎頂分裂組織が染色されないことは、出題者の研究室で確認済みである。このことを考慮した場合、本問題の正答は③と⑤となる。まず、色素 X'が蓄積する部位が、C および C'の転写が起こる部位と一致することから、X'の蓄積部位は C 遺伝子の発現パターンを正確に反映していると判断できる。C'において D が転写

されるパターンは、Cの上流xと下流yの配列をDに連結することで再現されていることから、xおよびyの配列中のどこかに茎頂分裂組織における特異的な転写に必要なエンハンサーが含まれていると考えられる。しかし、この実験からは、そのエンハンサーがyに含まれないのかも、xとyの両方に含まれるのかも判別できない。したがって、選択肢①と②は除外される。C'から転写されるmRNAの分布、すなわち酵素Dの分布と、Dの活性により生成されたX'の蓄積部位が一致することから、X'の周囲への拡散は無視できると考えられる。よって選択肢③は正しい。C'の形質転換体において茎頂分裂組織が特異的に染色され、かつ対照実験の非形質転換体では染色が起こらないことから、選択肢④は除外され、選択肢⑤は妥当であると判断できる。

#### 問6 (ア)

問6の狙いは、レポーター遺伝子を用いた発現解析の実際を体験してもらうこと、そしてその結果と形態解析の結果から、遺伝子の機能や遺伝子間の関係を推定する過程を理解してもらうことである。

シャーレ2の溶液中から正常型とカップ型を選び出し、ダメージを与えないように注意深く試料を作製する必要がある。透明化液の滴下により透明度が高くなった試料を透過光で確認すると、正常型では発達中の小さな葉が複数観察され、それらの基部に囲まれた部位で染色が認められるはずである。この部位は、茎頂分裂組織が存在する場所に一致する。一方、カップ型では、カップの底に相当する部位を含めて、いずれの場所においても染色は認められない。

#### 問6 (イ)

野生型個体における茎頂分裂組織に特異的な染色がカップ型個体では見られなかったことから、カップ型では茎頂分裂組織そのものが形成されていないか、茎頂分裂組織の機能に異常が生じ、基質XをX'に変換する酵素活性が見られなくなったと考えられる。なお、仮に野生型の茎頂分裂組織で見られた酵素活性がC'ではなく、シロイヌナズナの内在遺伝子に由来するものであったとしても(問5の解説文参照)、この結論は変わらない。

#### 問6 (ウ)

野生型とカップ型における染色の有無がC遺伝子の発現の有無を反映しているのだとすれば、AとBの機能が両方欠損するとC遺伝子の発現が起こらないと推定できる。一方で、AとBのいずれか一方の機能が欠損した場合の染色の有無については、本問題では情報が提供されていない。以上のことから、AとBの少なくとも一方がCの発現に必要であると考えられる。ただし、野生型形質転換体の茎頂分裂組織における染色が酵素Dによるもの、すなわちC遺伝子の発現を反映したものであるのか、あるいはDとは別に茎頂分裂組織特異的に発現する酵素によるものなのかは、この問題で与えられた情報からは判断できない

(問 5 の解説参照)。よって、採点ではこの点を配慮した。

本研究で用いた実験材料は、以下のとおりである。

A および B 遺伝子の変異体：*cuc1* および *cuc2*

Aida et al (2020). Establishment of the embryonic shoot meristem involves activation of two classes of genes with opposing functions for meristem activities. *Int J Mol Sci* 21, 5864.

Aida et al (1997). Genes involved in organ separation in Arabidopsis: an analysis of the *cup-shaped cotyledon* mutant. *Plant Cell* 9, 841-857.

C 遺伝子のレポーター；*CLV3::GUS*

Brand et al (2002). Regulation of *CLV3* expression by two homeobox genes in Arabidopsis. *Plant Physiol* 129, 565-75.

酵素 D のコード遺伝子：*GUS*

Jefferson et al (1987). GUS fusions: beta-glucuronidase as a sensitive and versatile gene fusion marker in higher plants. *EMBO J* 6, 3901-7.

## 問題 2 【解説】

### 問 1

この問題では、メダカの鱗を材料として、色素胞における色素顆粒の凝集、拡散を透過照明下および落射照明下で観察することにより、生きた色素顆粒運動を注意深く観察し、それを正確にスケッチしてもらうことが狙いである。この実験で用いる鱗は、野生型メダカから抽出した後、生理食塩水に一晩浸した鱗 A と、野生型メダカから抽出した後、生理食塩水に浸した直後の鱗 B である。生理食塩水に一晩浸した鱗 A は、すでに神経伝達物質等の影響が無くなっているが、生理食塩水に浸した直後の鱗 B はまだ神経伝達物質等の影響が残っていると考えられる。実際には、鱗 A の黒色素胞の色素顆粒は拡散、白色素胞の色素顆粒は凝集している一方、鱗 B の黒色素胞の色素顆粒は凝集、白色素胞の色素顆粒は拡散している。これらの観察により、神経伝達物質等の影響が無い鱗は黒色素胞の色素顆粒は拡散、白色素胞の色素顆粒は凝集しており、神経伝達物質等により黒色素胞の色素顆粒は凝集、白色素胞の色素顆粒は拡散することがわかる。なお、鱗によっては予想と異なる状態になっている場合があるが、正確にスケッチできていれば正解とした。

### 問 2

自律神経系が及ぼす黒色素胞と白色素胞への作用を明らかにするため、自律神経系の神経伝達物質であるノルアドレナリンとアセチルコリンの作用を調べる実験が問 2 である。交感神経の神経伝達物質であるノルアドレナリンの作用を調べると、鱗 A においては黒色素胞では速やかな色素顆粒の凝集反応、やや遅れて白色素胞の色素顆粒拡散反応が起こるが、

鱗 B においては黒色素胞、白色素胞ともに反応が認められない。一方、副交感神経の神経伝達物質であるアセチルコリンの作用を調べると、鱗 A、鱗 B ともに、黒色素胞と白色素胞の両方とも反応が認められない。したがって、黒色素胞、白色素胞どちらも交感神経が働いていると考えられる。

### 問 3

脊椎動物の精神状態は、主に自律神経系のバランスによりコントロールされている。鱗 A と鱗 B の黒色素胞と白色素胞の顆粒運動から判断すると、鱗 B を採取した野生型メダカはどのような自律神経系のバランスと体色になっていると推測されるか、というメダカの体色と色素胞の顆粒運動との関連性を調べる問題である。動物の体色を背地色にできる限り近づける反応が背地適応であり、主に色素胞の顆粒の拡散凝集反応により引き起こされる。黒水槽では黒色素胞の色素顆粒は拡散し、白色素胞の顆粒は凝集する結果、メダカの体色は黒くなる。白水槽では逆に、黒色素胞の色素顆粒は凝集し、白色素胞の顆粒は拡散する結果、メダカの体色は白くなる。したがって、鱗 B の黒色素胞の色素顆粒は凝集、白色素胞の色素顆粒は拡散しているため、交感神経によりメダカの体色は白くなると予想される。一方、メダカを暗い場所においた場合、黒色素胞の色素顆粒は拡散し、白色素胞の顆粒は凝集するため、交感神経は働かずにメダカの体色は黒くなると考えられる。

### 問 4

メダカは XX-XY 型の性決定様式をもち、Y 染色体上に存在する性決定遺伝子により性が決定し、XX 個体は雌へ、XY 個体は雄へと分化する。メダカの X 染色体と Y 染色体上には、黄色素胞と白色素胞の形成に関与する遺伝子 w が存在しており、問 4 は遺伝子 w の変異体を用いて性と色素胞形成との関連性を調べる問題である。まず最初に、XX 個体の鱗 C と XY 個体の鱗 D の色素胞を顕微鏡で注意深く観察すると、黒色素胞は鱗 C と鱗 D の両方に存在する一方、黄色素胞と白色素胞は鱗 D には存在するが、鱗 C には存在していないことが確認できる。この変異体は機能欠損型の劣性（潜性）突然変異を有する系統であるため、X 染色体にこの変異が存在し、Y 染色体には野生型が存在していると考えられる。さらに、遺伝子 w は色素胞に関してどのような働きをしている遺伝子であると推測されるかについては、問題文の最初に、「これらの色素胞は、同一の色素胞の元となる細胞（幹細胞）から分化して形成されると考えられている。」とあるため、色素胞の幹細胞から黄色素胞や白色素胞への分化を誘導する働きがあるという答えが正解である。なお、シンプルに「黄色素胞や白色素胞をつくる働き」でも今回は正解とした。