

令和 8（2026）年度
九州大学大学院生物資源環境科学府修士課程一般入試
資源生物科学専攻 農業生物科学教育コース
入学試験問題

専門科目（専門・専門基礎）：昆虫ゲノム科学分野

受験番号：_____

問 1． 昆虫ゲノム DNA の損傷と修復、損傷応答機構、および、チョウ目昆虫染色体の特徴について解説しなさい。

問 2． 三毛猫（3 色の毛を持つ猫）に関する次の文章に関して、以下の設問に答えなさい。

長年、三毛猫のオレンジ/黒の毛色を決定する遺伝子は X 染色体上にあるとされていたが、近年の研究により、ついにその原因遺伝子が (A) X 染色体上にある「ARHGAP36」であると同定された。*ARHGAP36* 遺伝子 (B) イントロン内の約 5 kb にわたる塩基配列が欠失しており、この変異はタンパク質のアミノ酸配列自体を変えるものではないことがわかっている。

哺乳類では、メスは X 染色体のコピーを 2 本もつが、オスは 1 本しかもたない。そのため、X 染色体上にある遺伝子の発現量を比較するとメスはオスの 2 倍になるはずであるが、ほとんどの生物では (C) メスとオスの間の不均等な遺伝子量を調節する機構（遺伝子量補正）が存在する。この遺伝子量を補正する機構により、オレンジ色の毛を作る遺伝子を持つ X 染色体が働いている細胞群と、非オレンジ色の毛を作る遺伝子を持つ X 染色体が働いている細胞群が混在し、三毛猫特有の模様が生まれる。(D) 三毛猫は、多くの場合メスである。

- 1) 下線部(A)に関して、X 染色体上に存在する遺伝子の遺伝様式を何と呼ぶか？
- 2) 下線部(B)に関して、このイントロンの欠失がオレンジ色の毛を作る原因であることを直接証明するためには、どのような実験を行えばよいか？150 字程度で説明しなさい。
- 3) 下線部(C)に関して、ヒトを始めとする哺乳類では、どのような方法で遺伝子発現量を調節しているか？ 遺伝子量補正について、下記のキーワードをすべて使用して説明しなさい。
(Xist、翻訳、長鎖非コード RNA、ランダム、継承、エピジェネティックな修飾)
- 4) 下線部(D)に関して、三毛猫が主にメスである理由を 200 字程度で説明しなさい。X 染色体上に存在する毛色に影響を与える二つのアレルを、オレンジ色対立遺伝子 (O) と非オレンジ色対立遺伝子 (o) とする。
- 5) また、なぜ三毛猫のオスは極めて稀にしか生まれないのか？減数分裂における染色体不分離の観点から 200 字程度で説明しなさい。

※ 問 2 の 4) と 5) について、「白」の毛色は考慮しないこととする。

注意その他：

- ・ 問題用紙と解答用紙は別紙とします。
- ・ 問題用紙は解答用紙とともに回収します。
- ・ 次ページに解答用紙を示します。

1 枚目

解答用紙

昆虫ゲノム科学分野 受験番号_____

問 1.

カイコなどのチョウ目昆虫は、他の生物種とは異なる独特の染色体構造を持つことが知られている。チョウ目昆虫の染色体は、分散型動原体を有し、動原体が染色体全体に分布しているため、細胞分裂時に特定の狭窄部位が生じない。この構造は、ゲノム損傷に対する耐性や修復においても特異な役割を果たしていると考えられている。

チョウ目昆虫の染色体数は比較的多く（カイコでは $2n=56$ ）、各染色体の大きさや形態が類似しており、個別の染色体同定が困難であったが、BAC-FISH 技術の導入により、物理マッピングと染色体の個別識別が可能となった。また、性染色体においてはカイコは ZW 型の雌ヘテロ型であり、W 染色体は顕著なヘテロクロマチンボディーとして認識される。これは CGH や GISH 法、さらには BAC-FISH によって同定可能となっている。

一方で、昆虫は DNA 損傷に対する修復・応答機構も発達させている。DNA は外的・内的要因によって恒常的に損傷を受けるが、これに対し昆虫では、塩基除去修復 (BER)、ヌクレオチド除去修復 (NER)、ミスマッチ修復 (MMR) など、他の真核生物と同様の修復経路が存在する。BER や NER は特に DNA の側鎖に生じた傷に対する修復を担う。

また、DNA 主鎖が損傷される二本鎖切断 (DSB) に対しては、相同組換え (HR) と非同源末端結合 (NHEJ) の 2 経路が利用される。HR は正確な修復を可能とし、減数分裂期における組換えにも関与する。カイコでは、反復配列が多いゲノム構造に対応して、染色体外の DSB では SSA、染色体上の DSB では HR を優先的に利用する選択性がある。これは、遺伝情報の欠失を避けるための適応と考えられる。

DNA 損傷に対する細胞の応答機構としては、損傷を感知する ATM/ATR キナーゼの存在が知られ、損傷が修復可能であれば細胞周期を停止し、修復不能な場合にはアポトーシスが誘導される。ただし、カイコなどのチョウ目昆虫では、放射線照射後に一時的に G_2/M 期に停止した後、アポトーシスを経ずに細胞周期が再開する例が報告されている。この放射線耐性は、培養細胞レベルでも観察され、 G_2/M 期にある細胞の割合が高いことが一因とされる。

加えて、昆虫の多くの体細胞は倍数化しており、成長は細胞の肥大化に依存する。このような倍数化細胞では、HR 修復が比較的容易であり、DNA 損傷細胞を安易にアポトーシスに導かないことは、個体全体の維持にも有利であると考えられる。さらに、チョウ目昆虫に見られる分散型動原体の存在は、染色体の DSB に対する分配機能の維持にも寄与してい

る可能性がある。

以上のように、チョウ目昆虫は独自の染色体構造とともに、損傷 DNA に対する精緻な修復・応答システムを進化させてきた。これは、昆虫の多様な生活環境に対する適応の一端を担っていると考えられる。今後、カイコ以外のチョウ目昆虫への応用や体細胞レベルでの核型特定技術の進展が期待される。

2 枚目

解答用紙

昆虫ゲノム科学分野 受験番号_____

問 2.

- 1) 伴性遺伝
- 2) ゲノム編集技術 (CRISPR-Cas9 など) を用いて、黒毛をもつ猫の X 染色体上にある *ARHGAP36* 遺伝子から、当該イントロンの約 5kb の領域を人工的に欠失させる。このゲノム編集操作によって細胞がオレンジ色の色素を産生するようになれば、この欠失がオレンジと黒の毛色を制御する直接の原因であると証明できる。
- 3) メスの胚発生初期において、2 本の X 染色体のうちどちらか一方がランダムに選ばれて不活性化される。X 染色体から長鎖非コード RNA である **Xist** RNA が転写され、これは翻訳されずに、その一方の X 染色体全体を覆うように局在する。これを引き金にエピジェネティックな修飾が生じ、染色体が不活性化される。この不活性化状態は細胞分裂後も娘細胞に継承される。

3 枚目

解答用紙

昆虫ゲノム科学分野 受験番号_____

- 4) オレンジ (O) と非オレンジ (o) の毛色遺伝子は X 染色体上に位置するため、両方の対立遺伝子を持つメス個体 (XX) は、ヘテロ接合体 (Oo) となる。メスの胚発生初期において、X 染色体のランダムな不活性化により、O が発現する細胞群と o が発現する細胞群が一個体内に混在し、まだら模様を形成するため三毛猫となる。一方、オス (XY) は X 染色体が 1 本しかなく、O か o のどちらか一方しか持てないため、通常、三毛猫にはならない。
- 5) ごく稀に、親の配偶子形成における減数分裂の過程で染色体不分離が起こり、性染色体が XX の構成になった卵子、あるいは XY の構成になった精子が形成されることがある。これが正常な配偶子と受精すると、性染色体が XXY の構成を持つオスが生まれる。このオスは X 染色体を 2 本持つため色素遺伝子がヘテロ接合体 (Oo) であれば三毛猫になりうるが、染色体不分離が稀な現象であるためであるため、三毛猫のオスは極めて稀にしか存在しない。

令和 8（2026）年度

九州大学大学院生物資源環境科学府修士課程一般入試

資源生物科学専攻 農業生物科学教育コース

入学試験問題

専門科目（専門・専門基礎）：昆虫ゲノム科学分野

- 問 1． チョウ目昆虫を含む昆虫には分散型動原体染色体という一般的な染色体とは異なる構造の染色体を持つものが多数存在する。そのため、昆虫ゲノム DNA の損傷と修復、損傷応答機構は多生物と異なる点も多く、これらの理解を踏まえた上で、昆虫ゲノム科学に関する研究を進める必要がある。そのため、これらに関する基礎知識と理解を図る目的で出題した。
- 問 2． 昆虫ゲノム科学分野では、分子生物学的な手法、および遺伝学を用いて遺伝子の機能を解明する。そのため、これらに必要な基礎的な分子生物学、遺伝学の知識を問う目的で出題した。