

令和 8 年度
神戸大学大学院理学研究科
博士課程前期課程（修士）生物学専攻入学者
一般選抜・外国人留学生特別選抜 試験問題
生物学

(2025 年 8 月 26 日実施)

注意事項

- 1) これは問題冊子です。監督者の指示があるまで、2 枚目以降を見てはいけません。
- 2) 問題は 3 - 18 頁にあり、全部で 6 問です（生物学問題 1 - 6）。19 - 20 頁は下書き用紙です。
- 3) 生物学問題は 6 問のうち 2 問を選択して、日本語または英語で解答しなさい。
英語で解答する場合は、英語 1 単語 (1 word) を、日本語 2 文字分をめやすに換算しなさい。 例)「日本語 100 字程度」を「about 50 words in English」をめやすに換算
- 4) 答案用紙（別紙）は、全部で 4 枚です。各問題の問題 A と問題 B の解答を、それぞれ別の答案用紙に記入しなさい。答案用紙の上部、問題 () のカッコ内に、解答する生物学問題の番号および問題 A, B の別を必ず記入しなさい。 例：問題 (1 A)
- 5) 解答に使用する答案用紙のすべての上部、所定の欄に氏名と受験番号を必ず記入しなさい。未記入の場合は採点できません。解答欄が不足する場合は、続けて各答案用紙の裏面に記入して構いません。
- 6) 試験時間は 2 時間です。監督者の指示に従って受験しなさい。
- 7) 試験終了後、問題毎に答案用紙を集めます。監督者の指示に従いなさい。

生物学問題 1

問題 1 A および問題 1 B の両方に解答しなさい。答案用紙はそれぞれ別紙とし、答案用紙の問題番号欄には、1 A、1 B と記しなさい。

問題 1 A. 以下の文章を読んで、各問に答えなさい。

1960 年代に米国のヘイフリック博士は、健常者の皮膚から採取した初代培養細胞を用いて、細胞の（ア）回数には限界があることを発見した。さらに、⁽¹⁾ 限界に達して増殖を止めた細胞は、しばらく生存できることを示した。このように、増殖を不可逆的に停止した状態を細胞（イ）という。細胞（イ）を引き起こす要因として、⁽²⁾ 染色体末端のテロメア領域の短小化のほか、DNA 損傷によるストレスなどが知られている。ただし、過度の DNA 損傷ストレスは、システインプロテアーゼである（ウ）を活性化し、プログラム細胞死の一つである ⁽³⁾ アポトーシスを誘導する場合がある。

問 1. 空欄（ア）～（ウ）にあてはまる最も適切な語を答えなさい。

問 2. 下線部（1）に関連して、以下の①、②に答えなさい。

- ① 栄養などの条件が整えば無制限に増殖できる細胞として、がん細胞が挙げられる。さまざまながん細胞において、細胞増殖の制御に関わる遺伝子に変異が見つかった。そのような変異が報告されている遺伝子を二つ挙げなさい。
- ② ①で挙げた遺伝子から一つ選び、その遺伝子の変異により細胞の増殖が促進される理由を 100 字程度で説明しなさい。

問 3. 下線部（2）について、以下の①、②に答えなさい。

- ① ヒトでは、幹細胞など一部の細胞において、特定の RNA 分子に依存してテロメア領域を伸長する一群のタンパク質が発現している。これらの RNA とタンパク質からなる複合体の名称を答えなさい。
- ② 図 1 に示すように、テロメア領域では T ループとよばれる構造が形成され、染色体末端の安定化に寄与している。テロメア領域が短小化して T ループが形成できなくなると染色体末端が不安定化する理由について、100 字程度で説明しなさい。

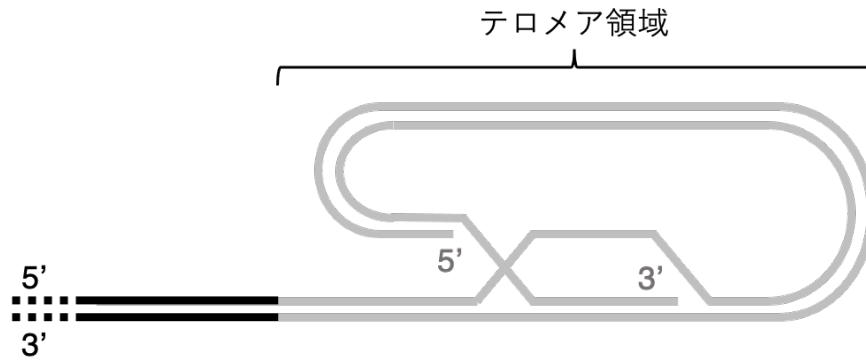


図1 染色体末端のテロメア領域で形成される T ループのモデル

問4. 下線部(3)に関連して、DNA 損傷ストレスを与えられた細胞がアポトーシスを起こしているか調べたい。アポトーシスを判定できる方法を二つ挙げ、その原理について、それぞれ 100 字程度で説明しなさい。

問題1 B. 以下の語句から五つを選び、それぞれア)～ク)の記号を記して、その内容や関連して知られていることを 100～200 字程度で説明しなさい。

- ア) mTOR タンパク質 (mechanistic/mammalian target of rapamycin protein)
- イ) 小胞体ストレス (ER stress)
- ウ) 液 - 液相分離 (liquid-liquid phase separation)
- エ) シグナルペプチド (signal peptide)
- オ) エンドサイトーシス (endocytosis)
- カ) 紡錘体形成チェックポイント (spindle assembly checkpoint)
- キ) 蛍光共鳴エネルギー移動 (fluorescence resonance energy transfer)
- ク) タンパク質の脂質修飾 (lipid modification of protein)

生物学問題 2

問題 2 A および問題 2 B の両方に解答しなさい。答案用紙はそれぞれ別紙とし、答案用紙の問題番号欄には、2 A、2 B と記しなさい。

問題 2 A. 以下の文章を読んで、各問に答えなさい。

動物の体色は、適応・生存・繁殖・社会的相互作用に深く関与しており、しばしば生態学的に重要な形質となりうる。哺乳類の被毛色も動物の体色の一例として捉えることができるが、哺乳類の被毛色はメラニン生合成に関わる多くの遺伝子により制御されている。哺乳類の毛を観察すると、個々の毛には独特の明暗の縞模様があるが、これはアグーチとよばれる哺乳類の毛の基本パターンである。アグーチパターンの縞模様は、黒色を呈するユーメラニンと黄色を呈するフェオメラニンの二種類のメラニン色素により構成される(図1)。これらのメラニンは色素細胞(メラノサイト)においてチロシンを起点とする生合成経路により産生されるが、ユーメラニンとフェオメラニンのいずれが産生されるかはチロシナーゼ(TYR)およびその類似タンパク質(TYRP1, DCT)の発現量に依存している。最終産物であるユーメラニンの合成が抑制されると、フェオメラニンがより多く産生されることが知られている。メラノサイトにより産生されたメラニンは、毛を形成する角化細胞(ケラチノサイト)へと受け渡される。

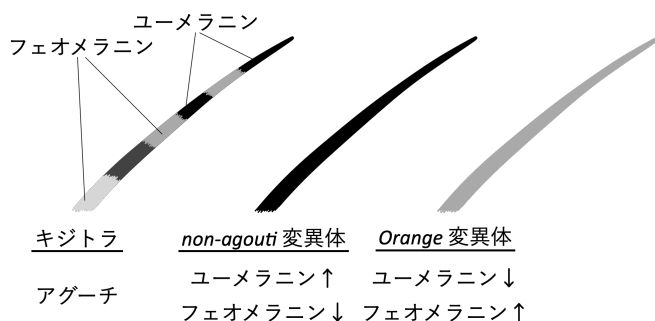


図1 各変異体におけるアグーチパターンの変化

イエネコの品種のうち、原種とされるリビアネコの特徴を多く残すキジトラは典型的なアグーチパターンの毛色を示すが、⁽¹⁾ *Agouti* 遺伝子の変異体 (*non-agouti*) では、アグーチパターンが消失して毛全体が黒くなることが知られている。*Agouti* 遺伝子はアグーチシグナルタンパク質(ASIP)をコードしており、ASIPは色素細胞刺激ホルモン(MSH)とその細胞膜受容体(MC1R)との結合を阻害することでユーメラニンの合成を負に制御している(図2)。一方、⁽²⁾ *Orange* 遺伝子の変異体 (*Orange*) では、ユーメラニンの産生が著しく減少して明るい茶色の毛色となる。*Orange* 遺伝子は ARHGAP36 タンパク質をコードしており、ARHGAP36はタンパク質キナーゼ A (PKA) と結合し、その分解を促進することにより、ユーメラニン産生を負に制御していると考えられている(図2)。

三毛猫は上記の *non-agouti* 変異, *Orange* 変異に加え, *white spotting* 変異を併せ持つ三重変異体であることが知られている。三毛猫の腹側や四肢の末端領域では, *white spotting* 変異によりメラノサイトが失われて大きな白斑となるが, 白斑以外の領域 (主に背側領域) の被毛は ⁽³⁾ 黒と茶色のモザイクとなる (図 3)。

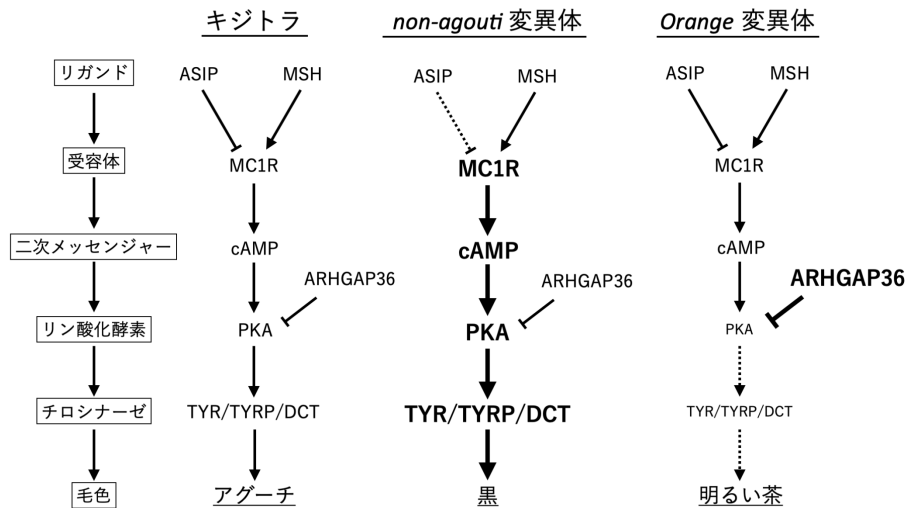


図 2 各変異体におけるメラニン生合成の変化

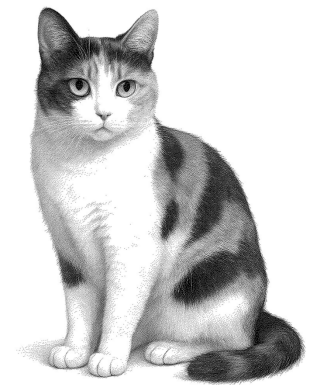


図 3 三毛猫の被毛

- 問 1. 下線部 (1) について, *non-agouti* 変異は *Agouti* 遺伝子の機能欠失型変異である。 *non-agouti* 変異体においてアグーチパターンが消失し, 毛全体が黒くなる理由を 60~100 字程度で説明しなさい。
- 問 2. 下線部 (2) について, *Orange* 変異は機能獲得型変異であり, *Orange* 遺伝子の発現制御にかかわる 5.1 kb のゲノム領域が欠失していることが知られている。このゲノム領域が *Orange* 遺伝子発現制御の分子メカニズムにおいてどのような役割を果たしているかについて, 考えられることを 100~200 字程度で述べなさい。
- 問 3. 下線部 (3) について, *Orange* 遺伝子は X 染色体に存在することが知られている。このことを考慮して, 三毛猫の背側領域の被毛が黒と茶色のモザイクとなる理由を 100~200 字程度で説明しなさい。
- 問 4. 三毛猫の多くは雌であるが, ごく稀に雄の三毛猫が見つかることがある。雄の三毛猫がごく稀に生じる理由を 50~100 字程度で説明しなさい。

問題 2 B. 以下の語句から五つを選び、それぞれア)～キ)の記号を記して、その内容や関連して知られていることを 100～200 字程度で説明しなさい。

- ア) 体性幹細胞 (somatic stem cell)
- イ) miRNA (microRNA)
- ウ) 細胞極性 (cell polarity)
- エ) 選択的スプライシング (alternative splicing)
- オ) 発生における誘引因子 (chemoattractant in development)
- カ) クロマチンリモデリング (chromatin remodeling)
- キ) プラコード (placode)

生物学問題 3

問題 3 A および問題 3 B の両方に解答しなさい。答案用紙はそれぞれ別紙とし、答案用紙の問題番号欄には、3 A、3 B と記しなさい。

問題 3 A. 以下の文章を読んで、各問に答えなさい。

水棲のある節足動物は、脅威となる刺激を受容すると逃避行動を発現する。この行動に関わる神経生理機構を調べるため、実験個体の腹部を図 1 のように生理塩類溶液で満たした実験容器に固定し、神経系を露出した。腹部神経節には、介在ニューロン X があり、このニューロンが興奮すると必ず逃避行動が発現する。

実験

ガラス微小管電極を介在ニューロン X に刺入して細胞内記録をおこなった。このとき、参照電極は生理塩類溶液中に配置した。介在ニューロン X が興奮していない状態のときに、ガラス微小管電極と参照電極の間の電位差を計測すると、⁽¹⁾ 細胞内では細胞外に対して一定の電位差が生じていた。

神経節につながる感覚神経に電極を配置し、感覚神経の活動を細胞外で計測しながら、体表に水流刺激を与えると、感覚神経の活動電位が記録された。感覚神経の活動電位に対応する介在ニューロン X の応答は、図 2 のような ⁽²⁾ 脱分極性のシナプス後電位 であった。また、その波形をよく観察すると、2 つの成分（それぞれ α 成分と β 成分とする）が融合した形状であった。⁽³⁾ α 成分は電気シナプス由来の成分であり、 β 成分は化学シナプス由来の成分であることが知られている。 ⁽⁴⁾ 繰り返し水流刺激を与え続けると、ある時点で、 α 成分の振幅に変化がないにも関わらず、 β 成分は消失した。 この時、感覚神経に設置した電極で、水流刺激に対する応答を観察したところ、刺激が繰り返されることによる変化はみられなかった。

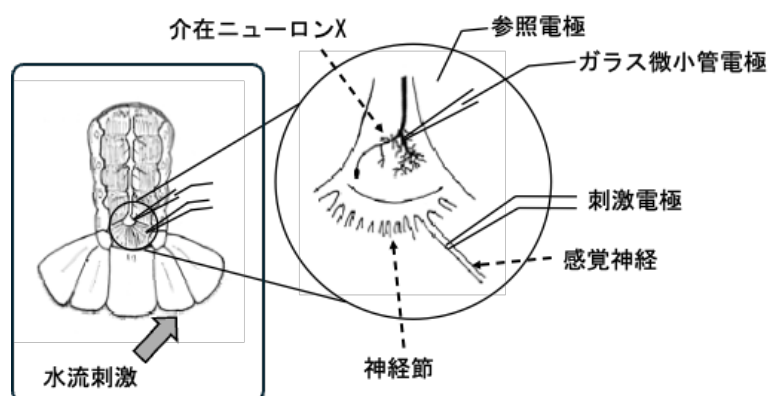


図 1 実験標本と電極の配置

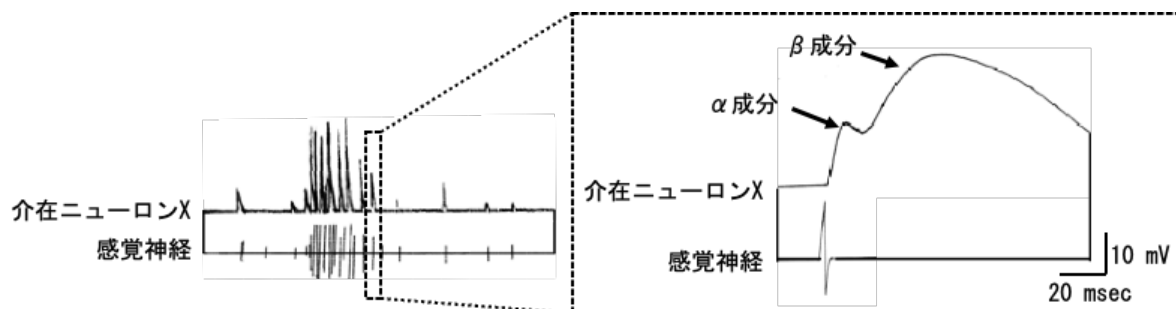


図2 刺激に対する感覚神経と介在ニューロンXの応答
 枠で囲んだ部分の感覚神経の活動電位と介在ニューロンXのシナプス後電位を拡大して示した。

問1. 下線部(1)の電位は静止電位とよばれ、細胞内外のイオン組成の違いによって生じる。神経細胞が興奮していない状態では、細胞膜は K^+ に対する透過性が高く、静止電位は K^+ の平衡電位に近い。細胞内外のイオン組成がわかれば、各イオンの平衡電位は、下記のネルンストの式を用いると導出することができる。細胞内と生理塩類溶液のイオン組成は表に示す。以下の(a), (b)に答えなさい。

$$\text{ネルンストの式: } E = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[X]_o}{[X]_i}$$

E : 平衡電位, R : 気体定数 ($8.3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$), T : 温度 (K), z : イオンの価数,
 F : ファラデー定数 ($96,500 \text{ C mol}^{-1}$), $[X]_o$: 細胞外のイオン濃度, $[X]_i$: 細胞内のイオン濃度, $\ln$: 自然対数

イオン	細胞内のイオン濃度 (mM)	生理塩類溶液内のイオン濃度 (mM)
K^+	400	10
Na^+	50	200
Ca^{2+}	1	10
Mg^{2+}	1	5
Cl^-	10	200
HCO_3^-	—	40
(A) $^-$	444	—

表 細胞内と生理塩類溶液のイオン組成
 (A)は、高分子有機イオン

(a) 表の値を用いて、実験温度が 27°C における K^+ の平衡電位を求めると -95.2 mV であった。この時の Na^+ と Cl^- の平衡電位をそれぞれ求めなさい。ただし、 $\ln 2 = 0.69$, $\ln 5 = 1.6$ とする。

- (b) 活動電位では、膜電位はどのように変化するか、理由も含めて 80 字程度で述べなさい。ただし、以下の語句を必ず使うこと。なお、記号英数字はそれぞれ 1 文字とする。
語句：コンダクタンス、平衡電位

問 2. 下線部 (2) の脱分極性のシナプス後電位に関連して、以下の (a), (b) に答えなさい。なお、記号英数字はそれぞれ 1 文字とする。

- (a) シナプス間隙に放出されるとシナプス後細胞の陽イオンチャネルを開口し、細胞膜を脱分極させて活動電位を発生させる興奮性の神経伝達物質としてはたらくアミノ酸の例を一つ挙げなさい。
- (b) アミノ酸の一種である GABA がシナプス間隙に放出されると、Cl⁻チャネルが開口し、細胞膜が過分極して活動電位の発生が抑えられる。このように GABA は、一般的に膜を過分極させることで抑制性の神経伝達物質としてはたらく。ところが、ある条件では、膜が脱分極するにも関わらず抑制性としてはたらくことがある。この条件を 50 字程度で述べなさい。ただし、以下の語句を必ず使うこと。
語句：静止電位、Cl⁻の平衡電位

問 3. 下線部 (3) について、実験容器を満たした生理塩類溶液を低 Ca²⁺濃度の生理塩類溶液に置換して同様の実験をおこなった。低 Ca²⁺濃度の生理塩類溶液における Ca²⁺の濃度は 1 mM、Mg²⁺の濃度は 14 mM である。この時、水流刺激に対する介在ニューロン X の応答について、シナプス後電位の α 成分と β 成分はそれぞれどのように変化すると考えられるか、理由も含めて 200 字程度で述べなさい。なお、記号英数字はそれぞれ 1 文字とする。

問 4. 下線部 (4) の結果をもとに、介在ニューロンを含む神経回路が、逃避行動の慣れを生み出す機序を 200 字程度で述べなさい。なお、記号英数字はそれぞれ 1 文字とする。

問題 3 B. 以下の語句から四つを選び、それぞれア)～カ)の記号を記して、その内容や関連して知られることを 100～200 字程度で説明しなさい。

- ア) 鍵刺激
- イ) オペラント学習
- ウ) トロポニン
- エ) 筋紡錘
- オ) B リンパ球
- カ) 副甲状腺ホルモン

生物学問題 4

問題 4 A および問題 4 B の両方に解答しなさい。答案用紙はそれぞれ別紙とし、答案用紙の問題番号欄には、4 A、4 B と記しなさい。

問題 4 A. 以下の文章を読んで、各問に答えなさい。

植物は光を光合成のエネルギー源として利用するだけでなく、情報源として利用することにより、環境の変化に柔軟に対応している。植物の光応答を担う光受容体には、受容する光の波長に応じて複数の種類がある。(ア)は、発色団としてフィトクロモビルンをもち、赤色光吸収型 (Pr) と遠赤色光吸収型 (Pfr) の間を可逆的に光変換する受容体である。クリプトクロム、フォトトロピン、ZTL/FKF/LKP ファミリーは、(イ)色光の受容体である。また、紫外線の受容体として、(ウ)が知られている。

植物の地上部 (茎、胚軸、幼葉鞘など) が光の方向に屈曲する⁽¹⁾ 光屈性 とよばれる光応答が、(イ)色光によって引き起こされることは古くから知られていた。フォトトロピンは、胚軸の光屈性に異常を示すシロイヌナズナ変異体の研究から発見された。シロイヌナズナには、フォトトロピンをコードする遺伝子として *PHOT1* と *PHOT2* があり、それらを両方とも欠損する二重変異体 (*phot1 phot2*) では、胚軸の光屈性が著しく損なわれる。シロイヌナズナのフォトトロピンは、約 120 kDa のタンパク質であり、N 末端側には LOV (Light, Oxygen, Voltage) とよばれるドメインが 2 個あり、C 末端側にはセリン/スレオニンキナーゼドメインが存在する。光屈性には、フォトトロピン以外にも複数のタンパク質が関係することが知られている。しかし、⁽²⁾ 光屈性の仕組みの詳細は明らかにされていない。

問 1. 空欄 (ア) ~ (ウ) にあてはまる最も適切な語を答えなさい。

問 2. フォトトロピンは、光屈性以外の光応答においても光受容体として機能する。次の (a) ~ (h) のうち、フォトトロピンが光受容体として機能する光応答を全て選び、記号で答えなさい。

- | | | |
|-----------|-------------|-----------|
| (a) 花成誘導 | (b) 葉緑体定位運動 | (c) 気孔の開口 |
| (d) 気孔の閉鎖 | (e) 発芽の促進 | (f) 発芽の阻害 |
| (g) 避陰反応 | (h) 茎の伸長抑制 | |

問 3. フォトトロピンをコードする遺伝子から合成されたタンパク質だけでは光受容体として機能しない。その理由とともに、フォトトロピンが光受容体として機能するために必要な条件について、フォトトロピンの分子構造をふまえて答えなさい。

問4. 光を受容したフォトトロピンは、細胞内でどのようにシグナルを伝達して応答を引き起こすと考えられるか、フォトトロピンのドメイン構造をふまえて答えなさい。

問5. 下線部(1)に関して、アベナ(オートムギ)やトウモロコシの幼葉鞘の光屈性では、光を受容する部位(幼葉鞘の先端部)と屈曲部位(幼葉鞘の基部側)が異なる。この仕組みを植物ホルモンのはたらきをふまえて説明しなさい。

問6. 下線部(2)に関して、光屈性の仕組みを分子レベルで解明するには、どのような手法で研究すればよいか、具体的なアイデアを自由に述べなさい。

問題4 B. 植物生理学に関する以下の語句ア)～オ)について、それぞれ記号を記して、その内容や関連して知られていることを100～200字程度で説明しなさい。

ア) アブシシン酸

イ) フラグモプラスト

ウ) 植物の窒素同化

エ) アミロプラスト

オ) 花粉管ガイダンス

生物学問題 5

問題 5 A および問題 5 B の両方に解答しなさい。答案用紙はそれぞれ別紙とし、答案用紙の問題番号欄には、5 A、5 B と記しなさい。

問題 5 A. 生態学に関する以下の語句ア)～オ)について、それぞれの記号を記して、その内容や関連して知られていることを 100～200 字程度で説明しなさい。

- ア) 環境収容力
- イ) 履歴の効果 (ヒステリシス)
- ウ) ツンドラ
- エ) 互惠的利他行動
- オ) 進化的軍拡競争

問題 5 B. 以下の文章を読んで、各問に答えなさい。

(1) 生物多様性を生み出す要因の一つとして、生物種間相互作用が挙げられる。さまざまな種間相互作用を通じて、被子植物の多様化は促進されてきた。例えば、多くの被子植物は花粉や蜜といった報酬を提供する代わりに、花粉媒介者に受粉を助けてもらっており、この二者の関係性は (ア) とよばれる。特に、(2) 同じ分類群の花粉媒介者を利用する植物は、系統的に離れていても類似した表現形質群をもつことが知られている。こうした類似形質の獲得は収れん進化の一例でもあるが、なかでも同じ送粉者を利用する植物が似た花をもつ現象を (イ) とよぶ。

(ア) は一般的に相利的な関係とされるが、一部の植物では「無報酬花」とよばれる蜜などの報酬を提供しない花を咲かせ、花粉媒介者に対して搾取的にふるまうものもいる。こうした植物の一例であるハクサンチドリ属の一種では、(3) 紫色の花を咲かせる個体と黄色の花を咲かせる個体が、同種集団内に存在している。ハクサンチドリ属の一種の周囲には紫色や黄色の花を咲かせ、蜜を提供する他種が多数存在している。花粉媒介者であるマルハナバチが、これらの他種の花と誤認して訪花することで、ハクサンチドリ属の一種の受粉も達成される。

問 1. 空欄 (ア), (イ) にあてはまる最も適切な語を答えなさい。

- 問 2. 下線部（1）について，生物種間相互作用が生物多様性を駆動した代表例として，共進化による種分化が挙げられる。その具体例を一つ挙げ，どのような相互作用が双方のパートナーの種分化を駆動したのか，100～200 字程度で説明しなさい。
- 問 3. 下線部（2）について，動物媒花のうち，チョウ媒花とガ媒花の特徴を，開花時間，色や形などに着目して，それぞれ100 字程度で説明しなさい。
- 問 4. 下線部（3）について，この植物集団における花色の二型がどのように進化的に維持されてきたと考えられるか，負の頻度依存選択の概念をふまえて，200 字程度で説明しなさい。

生物学問題 6

問題 6 A および問題 6 B の両方に解答しなさい。答案用紙はそれぞれ別紙とし、答案用紙の問題番号欄には、6 A、6 B と記しなさい。

問題 6 A. 以下の語句から五つを選び、それぞれア)～キ)の記号を記して、その内容や関連して知られていることを 100～200 字程度で説明しなさい。

- ア) ブルーカーボン
- イ) 異質倍数体
- ウ) 適応放散
- エ) 藻類
- オ) 褐虫藻
- カ) 同義置換
- キ) 同形形質 (ホモプラシー)

問題 6 B. 以下の文章を読んで、各問に答えなさい。

(1) 種は生物の分類の基本単位である。一般に、種概念として (ア) 種概念が広く受け入れられている。(ア) 種概念は、生殖的隔離に基づいている。地理的な障壁によって種が 2 つの集団に分かれ、集団間の遺伝子の移動である (イ) がなくなり生殖的隔離が成立する種分化は (ウ) 種分化とよばれる。さまざまな生物における DNA 配列などの遺伝情報が蓄積されたことにより、(2) 遺伝情報に基づいて生物間の系統関係を推定することが可能になった。

一般に、生物の種内には遺伝的変異がみとめられる。種内の遺伝的変異は、同種の複数個体から得られる DNA 配列に基づいて解析することができる。最近では、次世代シーケンサーを用いた DNA 配列決定技術の進歩によって、ゲノム全体から多数の一塩基多型 (SNP) を検出する方法が開発された。これらの方法には、全ゲノム配列を比較する方法と、(3) ゲノム配列の範囲を狭めて比較する方法がある。(4) 全ゲノム配列を比較する方法を用いると、種内の系統や集団間の遺伝的な関係性を詳細に解析することができる。

問 1. 空欄 (ア) ～ (ウ) にあてはまる最も適切な語を答えなさい。

- 問 2. 下線部（1）について，生物の命名に関する規則をまとめたものは国際命名規約とよばれる。国際動物命名規約と国際藻類・菌類・植物命名規約に共通する代表的な規則を二つ挙げ，それぞれ 50～100 字程度で説明しなさい。
- 問 3. 下線部（2）について，分子系統樹構築法として近隣結合法と最尤法が知られている。近隣結合法と最尤法を対比して，それぞれの長所を説明しなさい。
- 問 4. 下線部（3）について，ゲノム配列の範囲を狭めて一塩基多型を検出する方法は縮約ゲノム解析とよばれる。代表的な縮約ゲノム解析方法の名称を一つ挙げ，その内容を 100～200 字程度で説明しなさい。
- 問 5. 下線部（4）について，同じ種に属するが，遺伝的に異なる生態的性質をもった集団を生態型とよぶ。異なる生態型に分化している複数の集団のゲノム全体を網羅する遺伝的変異データを解析することの進化学的意義について，考えられることを述べなさい。

