

令和8年度北海道大学大学院生命科学院
生命科学専攻 修士（博士前期）課程
入学者選抜試験問題

専門科目（生命システム科学コース）

令和7年8月19日（火曜日）実施

13:00～15:00（120分）

答案作成上の注意

- 1) 6問中より3問を選択し、各問題につき1枚の解答用紙を使用して解答してください。
- 2) 解答用紙には問題ごとに受験番号と氏名を明記し、選択した問題番号を○で囲んでください。
- 3) 解答は解答用紙の表面の解答欄から記入してください。スペースが足りない場合は裏面の解答欄に記入しても構いません。
- 4) 解答用紙のみを3枚提出してください。

問題 1

問 1. メンデルの「優性（顕性）の法則」は、どのような現象を説明しているか？正しいものを 1 つ選べ。

- a. 遺伝子が独立して配偶子に分配されること
- b. 対立遺伝子の一方が他方に対して顕性であること
- c. 遺伝子が連鎖して遺伝すること
- d. 遺伝子が変異すること

問 2. 検定交雑とは何か？正しいものを 1 つ選べ。

- a. 二つの異なる形質を持つ個体を交配すること
- b. 未知の遺伝子型を持つ個体とホモ接合性潜性個体を交配すること
- c. 二つの同じ形質を持つ個体を交配すること
- d. 未知の遺伝子型を持つ個体とホモ接合性顕性個体を交配すること

問 3. 鎌状赤血球の進化的な考察として最も適切なものはどれか？

- a. 鎌状赤血球は、赤血球が破壊されやすくなることで酸素運搬能力が低下し、生存に有利になるため進化的に有利になる。
- b. 鎌状赤血球は、赤血球の形が変わることで血管が詰まりやすくなり、マラリア感染の予防効果がないため進化的に不利になる。
- c. 鎌状赤血球球は、赤血球の構造が変化することで酸素運搬能力が低下し、結果的に病気を引き起こすため進化的に有利になる。
- d. 鎌状赤血球は、赤血球の形が変わることでマラリア原虫の感染を受けにくくなり、マラリア流行地域で選択的に有利になる。

問 4. ABO 血液型に関して、IA, IB, i の対立遺伝子の関係はどのようになっているか？正しいものを 1 つ選べ。

- a. IA と IB は潜性, i は顕性
- b. IA と IB は顕性, i は潜性
- c. IA と IB は共顕性, i は潜性
- d. IA は i に対して顕性, IB は i に対して潜性

問 5. 多遺伝子遺伝に関与する遺伝子の個々の効果は通常どのようになるか？正しいものを 1 つ選べ。

- a. 非常に大きい
- b. 中程度
- c. 非常に小さい
- d. 無視できる

問 6. ラブラドルの毛の色に関する遺伝子「B」遺伝子と「E」遺伝子の組み合わせが黒色, 茶色, 黄色のラブラドルを生み出す。「B」遺伝子は黒 (B) が顕性、茶 (b) が潜性である。「E」遺伝子は色の発現に必要な遺伝子で、E が顕性で正常に色が発現し、e が潜性で色素が発現しない (=黄色になる)。ラブラドルの毛の色に関する遺伝子型が「BbEe」の個体と「bbee」の個体を交配した場合, 子犬の毛の色の遺伝子型と表現型の比率を、「E」遺伝子の上位性を考慮して求めよ。※「B 遺伝子」と「E 遺伝子」は連鎖していないものとする。

問 7. あなたはある変異体を見つけた。この変異体の表現型が 1 つの遺伝子によって制御されているかどうかを, 表現型の分離比を用いて調べる方法を含めて述べよ。

問題 2

植物の構造・成長・物質輸送・シグナル伝達・バイオテクノロジーに関する以下の問いに答えよ。

問 1. 次の用語を簡潔に説明せよ。

- (a) アポプラスト経路
- (b) フィトクロム
- (c) アーバスキュラー菌根 (どのような菌根型かも含めて述べよ)
- (d) 頂芽優勢 (ホルモンとの関係にも言及せよ)

問 2. 植物におけるシュートと根の一次成長に関わる未分化な幹細胞集団の役割について、その名称を答えよ。また、それぞれの役割について簡潔に説明せよ。

問 3. 重複受精の生物学的意義について説明せよ。また、重複受精によって形成される 2 つの構造 (細胞または組織の名称) を挙げ、それぞれの役割を述べよ。

問 4. 組織培養技術と植物の再分化能力に関して、次の問い(i), (ii)に答えよ。

- (i) 植物の分化した体細胞から、完全な植物体を再生できる現象を何というか。その性質が植物バイオテクノロジーへの応用において重要である理由を説明せよ。
- (ii) 植物の組織培養において、オーキシシンとサイトカイニンの濃度比が再生する器官に影響を与える。あるサイトカイニン量に対して、オーキシシンの濃度が高い場合と低い場合に形成されやすい器官をそれぞれ挙げよ。

問 5. 植物体内における物質の長距離輸送と短距離輸送の仕組みについて、以下の観点を含めて図を描きながら詳しく説明せよ。

- ・ 木部と師部の機能的違いに加えて、道管および篩管の細胞構造とその働きを明確に説明すること。特に、道管の連結構造や篩管と伴細胞の関係に言及すること。
- ・ 蒸散による水の輸送機構 (凝集—張力仮説), 圧流説に基づく糖の輸送機構についても言及すること。

問題 3

次の文章を読み、以下の間に答えよ。

神経系における情報の伝達は、大きく神経細胞(ニューロン)内を伝わるものと、異なるニューロン間を伝わるものに分けることができる。前者では主に電気的な信号が用いられる。休止時におけるニューロンの細胞内は、通常細胞外に比べて $-60\sim-80\text{ mV}$ 負に帯電している。これを(ア)とよぶ。刺激やシナプス入力によって、細胞膜が脱分極し、ある値を超えると(イ)が開き、(ウ)が流入する。それによって a 膜電位が急激に脱分極し、一時的に膜電位が正になる(オーバーシュート)。その後、(イ)が不活性化するとともに、遅れて(エ)が開くことによって(オ)が細胞外へ流出し、膜電位はふたたび過分極して、(ア)にもどる。これが活動電位である。脊椎動物のニューロンでは活動電位は普通、(カ)で発生し、神経軸索を伝わっていく。b 脊椎動物の軸索はミエリン鞘によって絶縁されており、活動電位は軸索が細胞外液に触れている(キ)の部分をジャンプしながら伝わっていくため、無脊椎動物の神経に比べて伝導速度が非常に速い。これを(ク)とよぶ。

ニューロンから他のニューロンや、筋肉などへの情報の伝達はシナプスで行われる。シナプス前ニューロンの軸索末端に活動電位が達すると、軸索末端が脱分極し、(ケ)が開く。その結果、大量の(コ)が軸索末端に流入してその細胞内濃度が上昇し、それが(サ)のシナプス前膜への融合をうながす。その結果、(サ)に含まれている神経伝達物質が(シ)に放出され、拡散した神経伝達物質はシナプス後膜上に存在する受容体に結合し、それを活性化する。

神経伝達物質受容体のうち、イオンチャネルとして機能するものを(ス)とよぶ。その一つにニコチン性アセチルコリン受容体がある。c ニコチン性アセチルコリン受容体にアセチルコリンが結合すると、イオンチャネルが開いて細胞内に Na^+ が流入し、シナプス後膜が脱分極して、シナプス後ニューロンに活動電位の発生を促す。このようなシナプスを興奮性シナプスとよぶ。一方、 γ -アミノ酪酸(GABA)の受容体は(セ)の透過性をもつため、活性化されると(セ)が細胞内に流入することにより、シナプス後膜の脱分極を妨げようとする。このようなシナプスを抑制性シナプスとよぶ。一方、神経伝達物質受容体のうち、d 代謝型受容体とよばれるものは、e セカンドメッセンジャーや細胞内シグナル伝達を介して最終的にイオンチャネルを開閉する。ニューロン上には数千ものシナプスが存在し、たくさんの興奮性、抑制性のシナプスの入力を統合して活動電位を発生するかどうか、さらに活動電位をどの程度の頻度で発生させるかを決定する。

問1. 文中の(ア)～(セ)にあてはまる適切な語句を答えよ。ただし、同じ記号には同じ語句が入るものとする。

問2. 下線部 a について、活動電位の上昇相において急激な脱分極が生じるのは、流入するイオンの内向きの電気化学的な勾配が非常に大きいことに加えて、(イ)の分子の特性が関係している。その理由を説明せよ。

問3. 下線部 b について、ミエリン鞘を形成する細胞は何か。中枢神経系および末梢神経系について、

それぞれ答えよ。

問 4. 下線部 c について、ニコチン性アセチルコリン受容体は K^+ にも透過性を持つにも関わらず、活性化したときに受容体を流れるイオンはほとんどが Na^+ である。それはなぜか、説明せよ。

問 5. 下線部 d について、代謝型神経伝達物質受容体の一つにムスカリン性アセチルコリン受容体がある。この受容体を発現している心筋細胞では、アセチルコリンが抑制性にはたらき、心臓の拍動が減少する。その仕組みを次の語を用いて説明せよ。

[G タンパク質, K^+ チャンネル]

問 6. 下線部 e について、このような過程を介するシナプス伝達は、受容体がイオンチャネルである伝達にくらべて、その伝達速度がずっと遅い。このように伝達速度の面では不利であるにも関わらず、このような過程が存在するのはなぜか。その機能的な意義を、特にシナプスの可塑性の面から説明せよ。

問題 4

感覚入力と運動出力に関する次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

視覚は外界からの光を、眼の網膜に局在する視細胞（光受容細胞）が受容することで始まる。ヒトの視細胞は、光に感受性が高いが色は識別できない（ア）と、色覚をもたらす（イ）の2種類が存在する。網膜上で視野の中心となる（ウ）には（ア）よりも（イ）が多く局在する。脊椎動物の視色素は、（エ）という光を吸収する分子が（オ）という膜タンパク質に結合したものである。①光子により（エ）の構造が変化することで受容器電位をもたらす。その情報は（カ）に伝達された後、（キ）に伝わっていく。（キ）の軸索は視神経を形成し、網膜上の視神経円盤を通過して眼から脳へと感覚情報を伝える。視神経円盤の部分には視細胞が存在できないため、視野の中に見えない部分の（ク）が生じることとなる。

両眼からの視神経は（ケ）と呼ばれる場所で交叉する。ヒトの視神経は半交叉しており、すなわち（コ）視野の情報は左脳へと入ることとなる。視神経は視床の外側膝状体に投射し、外側膝状体の神経は②一次視覚野へと入力する。その後、高次視覚野で情報が処理、統合され、③二次運動野から命令が出力される。④運動ニューロンのシナプス終末からアセチルコリンが放出され、筋繊維に活動電位を発生させることで筋肉が収縮し、行動へとつながっていく。

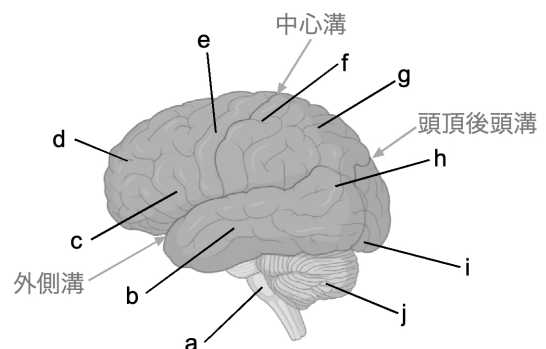
問 1. 問題文中の（ア）から（コ）に入る適当な語句を以下の中からひとつ選び、記号で答えよ。ただし、同じ記号には同じ語句が入る。

- (a) 角膜 (b) 瞳孔 (c) 中心窩 (d) 盲点 (e) 錐体細胞 (f) 桿体細胞
- (g) 水平細胞 (h) 双極細胞 (i) アマクリン細胞 (j) 神経節細胞
- (k) 神経膠細胞 (l) レチナール (m) オプシン (n) ロドプシン
- (o) クプラ (p) 視交叉 (q) 視交叉上核 (r) 松果体 (s) 延髄 (t) 右
- (u) 中心 (v) 左

問 2. 下線部①に関して、暗闇のときと光を受容したときのそれぞれについて、視細胞内で受容器電位を発生させるシグナル伝達経路を説明せよ。[] 内の語句を全て用いること。

[cGMP チャンネル 過分極 グルタミン酸 トランスデューシン]

問 3. 以下に示すヒトの脳領域の中から、下線部②、③の一次視覚野、一次運動野、さらに体性感覚野、聴覚野をひとつずつ選び、記号で答えよ。



問 4. 下線部④に関して以下の問いに答えよ。

1) 骨格筋収縮の基本単位である筋節（サルコメア）の構造を簡潔に説明せよ。適宜図を用いても構わない。

2) 運動ニューロンのシナプス終末から放出されたアセチルコリンにより生じる筋収縮のメカニズムについて説明せよ。[] 内の語句を全て用いること。

[ATP Ca^{2+} トロポニン複合体 トロポミオシン]

問題 5

動物の初期発生と細胞周期に関する以下の問いに答えよ。

問 1. 精子と卵の融合直後に見られる卵細胞質内 Ca^{2+} 濃度の上昇は動物卵の発生開始に重要な役割を果たしている。ウニ卵の受精時においては、精子の侵入点から卵の逆端まで波のように広がる Ca^{2+} 上昇反応が見られ、この Ca^{2+} 上昇は細胞小器官からの放出に起因している。この卵細胞質内 Ca^{2+} 上昇は体細胞で見られる受容体を介したシグナル伝達と類似した機序で発生すると考えられている。体細胞の Ca^{2+} 上昇（二次メッセンジャー）を惹起する一般的な細胞内シグナル伝達経路について、以下から全ての語を用いて説明せよ。

【G タンパク質共役型受容体 (GPCR)、 PIP_2 、 イノシトール三リン酸 (IP_3)、
GTP、 G タンパク質、 ホスホリパーゼ C (PLC)、 ジアシルグリセロール、
カルシウムチャネル (IP_3 受容体)、 小胞体】

問 2. 多くの動物では、受精時の卵細胞質内 Ca^{2+} 濃度の上昇が引き金となって、2 番目以降の精子が受精するのを防ぐ多精拒否反応が起こる。ウニ卵で見られる「遅い多精拒否」の仕組みについて説明せよ。

問 3. ツメガエルでは、受精時の卵細胞質内 Ca^{2+} 濃度の上昇が引き金となって、卵と精子の膜接着・融合を制御する「早い多精拒否」が起こる。以下の体外受精の実験結果から読み取れるツメガエルの早い多精拒否機構について解説せよ。

実験 1 : 野生型の未受精卵に野生型の精子を加えると、マイナスから +10 mV に達する正の受精電位が生じ、単精受精 (1 つの精子のみが卵細胞質内に侵入) を示した。また受精電位が発生する際に、卵細胞膜上の Cl^- チャネルが開いていた。

実験 2 : 野生型未受精卵に MMP-2HPX 欠損個体の精子を加えると、多精受精を示し、受精電位は +10 mV に達していた。

実験 3 : 予め膜電位を +10 mV に固定した野生型未受精卵に野生型精子を加えると、受精できないが、MMP-2HPX 欠損個体の精子を加えると、多精受精した。

実験 4 : 正に荷電した野生型精子 MMP-2HPX が負に荷電した野生型卵細胞膜 GM1 と特異的に結合した。

問 4. 細胞分裂を適切に制御することはすべての生物にとって極めて重要である。細胞周期を通じて進行を支配するキナーゼの名称を答えよ。(略称可)

またこのキナーゼは単独では活性をもたず、活性化には、制御サブユニットと複合体を形成することが必要である。この制御サブユニットの一般名称を答えよ。さらに制御サブユニットのタンパク質分解はキナーゼの機能を適切な細胞周期の段階に制限する上で重要となる。制御サブユニットが分解されるプロセスについて簡潔に述べよ。

問5. 次の胚発生の特徴に該当する全ての動物を以下の (a) ~ (e) より選択し, 記号で答えよ。

- (1) 第三卵割の時に, 卵黄側から分裂装置や卵割溝を赤道面から動物極側へ押し上げ, 不等卵割となる。
- (2) 胚発生中に胚体外膜である卵膜, 尿膜, 羊膜, 卵黄嚢が形成される。
- (3) 器官形成の初期段階で, 背側中胚葉由来の細胞による脊索の形成と外胚葉性神経板の陥入により神経管が発達する。
- (4) 胞胚期の発生が進行し, 植物極側の細胞の一部が遊離して胞胚腔の中へ入り込み (間充織), 間充織は原口の陥入 (原腸形成) を誘導する。

【(a) ヒト、(b) ツメガエル、(c) ヘビ、(d) ニワトリ、(e) ウニ】

問題 6

三毛猫のオレンジ色と黒色の毛色は、2つの対立遺伝子により決定される。これらの遺伝子は X 染色体上にあり、X 染色体不活性化の影響を受ける。X 染色体不活性化とは、哺乳類のメスの細胞に見られる特有の現象で、2本ある X 染色体のうち的一方が、初期胚発生の段階で不活性化される。不活性化には、X 染色体上の特定の領域に存在する複数の遺伝子が関与しており、a そのうち中心的に働くのは、非コード RNA を転写する遺伝子である。不活性化が生じると、b DNA および DNA に結合しているヒストンタンパク質に修飾が加わり、染色体全体の転写活性が抑制される。

三毛猫のほとんどがメスであることや、毛色のモザイク状の表現型が X 染色体不活性化と関係していることは古くから知られていたが、長らくその分子的な仕組みは明らかになっていなかった。しかし近年、*ARHGAP36* という遺伝子が毛色の制御に関与している可能性が示唆されている。さまざまな毛色をもつネコのゲノム配列を解析した結果、c オレンジ色の毛をもつネコの X 染色体には、*ARHGAP36* 遺伝子内に約 5,000 塩基対の欠失があることが明らかになった。また、三毛猫のオレンジ・黒・白の各色の毛が生えた皮膚における全遺伝子の発現量を調べたところ、d オレンジ毛の皮膚では *ARHGAP36* 遺伝子の発現が上昇し、同時にメラニン合成に関わる遺伝子群の発現が減少していた。

- 問 1. 下線部 a の遺伝子の名称とその働きについて説明せよ。
- 問 2. 下線部 b の修飾とはどのようなものか説明せよ。
- 問 3. 下線部 b の修飾は、分裂後の細胞においても引き継がれる。修飾の状態がどのように引き継がれるのか説明せよ。
- 問 4. 下線部 c より、*ARHGAP36* 遺伝子中の欠失の有無が毛色を決定する可能性が示唆される。これを証明するための仮想実験を考え、説明せよ。
- 問 5. 下線部 c の *ARHGAP36* 遺伝子配列の欠失は、エクソンやイントロン以外の配列に生じている。このことと、さらに下線部より、この欠失は *ARHGAP36* 遺伝子にどのような影響を与えていることが予想されるか説明せよ。さらに、これを証明するための仮想実験を考え、説明せよ。
- 問 6. 下線 c, d より、三毛猫の毛色の表現型が、どのように生じると予想されるか説明せよ。