

2023 年度
九州大学大学院システム生命科学府
生命系 2 講座入試
(生命医科学・生物科学)
専門科目・筆記試験問題

解答にあたっての注意事項

- (1) 問題番号 [1]～[19] の中から任意に 4 問を選択して、解答用紙に解答すること。(各 50 点、計 200 点)
- (2) ひとりあたり 4 枚の解答用紙を配布するが、解答用紙は問題毎に 1 枚使用すること。また、それぞれの解答用紙に受験番号と選択した問題番号を必ず記入すること。解答用紙を綴じているホッチキスの針は外さないこと。
- (3) 解答用紙が表側で不足する場合は、裏側も使用してもよい。
- (4) 解答時間は 2 時間とする。

問題番号 [1] < 生化学 >

下の設問 (1) ~ (4) に答えなさい。(計 50 点)

(1) あるアミノ酸の化学構造式を右に示す。(各 3 点、計 12 点)

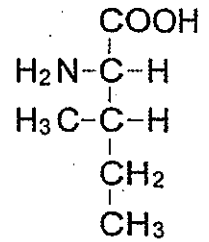
(a) このアミノ酸は中性 pH の水溶液中で両性イオンとして存在する。

両性イオンの構造式を解答用紙に書きなさい。

(b) キラル中心 (四面体炭素) の原子を○で囲んで示しなさい。

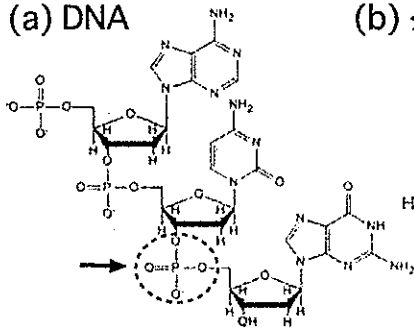
(c) 立体異性体の数はいくつあるかを数字で答えなさい。

(d) 立体異性体の一つはコドン表に出てくるアミノ酸である。その名称を答えなさい。

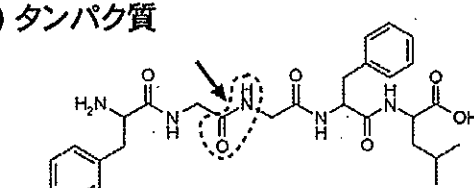


(2) 生体高分子は単量体が多数個連結した多量体である。単量体の脱水縮合反応によって形成される化学構造 (→と点線で位置を示す) は生化学分野において「○○結合」といった特別な名称と呼ばれる。その名称をそれぞれ答えなさい。(各 3 点、計 9 点)

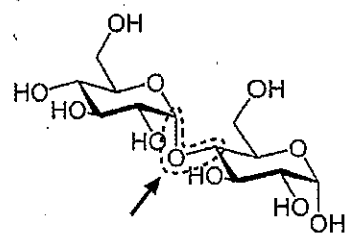
(a) DNA



(b) タンパク質



(c) 糖鎖



(3) タンパク質 A は四量体で各サブユニットはアミノ酸 180 個からなる。リガンド X に対する結合部位とリガンド Y に対する結合部位が各サブユニットに一つずつ存在する。X の解離定数は 10^{-3} M、Y の解離定数は 10^{-6} M である。(計 17 点)

(a) タンパク質 A を SDS-ポリアクリルアミド電気泳動 (SDS-PAGE) で分析した。βメルカプトメタノール存在下で加熱後に電気泳動すると単量体の位置に泳動されたが、βメルカプトメタノール非存在下で加熱した場合は二量体の位置に泳動された。この結果から推定されることを説明しなさい。(3 点)

(b) 高い親和性を持っているのは X または Y のどちらかを答えなさい。(3 点)

(c) $10 \mu\text{M}$ の濃度の Y が共存すると X の解離定数は 10^{-5} M に変化した。この現象を一般的に何と言うかを答えなさい。(3 点)

(d) X と Y の分子量は共に 1,000 程度とする。X と Y が混ざったタンパク質 A の水溶液から、タンパク質 A を単離して回収したい。適当と思われる方法を一つ選んで原理と操作について簡単に説明しなさい。(8 点)

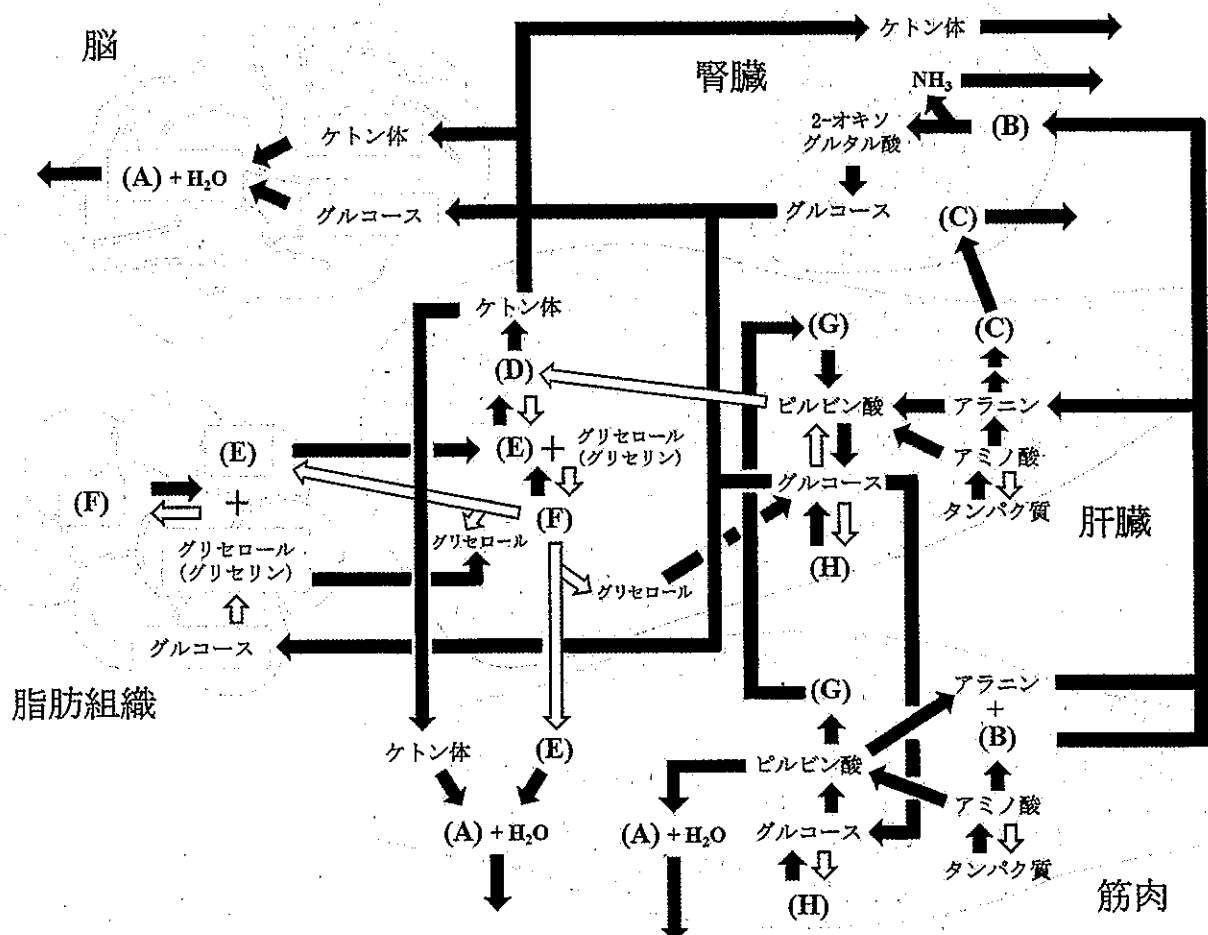
(4) 最近話題になっている AlphaFold と呼ばれるプログラムはアミノ酸の配列を入力情報として立体構造を高い精度で予測することができる。AlphaFold は深層学習 (deep learning) を使っており、学習のために大量のデータが必要であった。その大量データをどのように得たのかを説明しなさい。(12 点)

問題番号 [2] < 生化学 >

下図は哺乳類の 5 つの臓器における代謝の相互関連を示した略図である。

下の設問 (1) ～ (7) に答えなさい。(計 50 点)

- (1) 化合物 (A) ～ (H) の名称を答えなさい。(各 2 点、計 16 点)
- (2) 白矢印の経路に代謝が進む場合、栄養素が「豊富」あるいは「不足」のどちらの状態か答えなさい。(2 点)
- (3) ケトン体分類される化合物名を 2 つ挙げ、それらの化学構造式を示しなさい。
(各 2 点、計 8 点)
- (4) 細胞の ATP が消費され尽くすと ATP 生産のための酸化的代謝を行うことができない。その理由は、解糖や脂肪酸の β 酸化の初期段階において、ATP が必須だからである。上記の ATP を必要とする反応を触媒する解糖系の 2 種類の酵素、ならびに β 酸化の 1 種類の酵素名を答えなさい。(各 2 点、計 6 点)
- (5) AMP 依存プロテインキナーゼ (AMPK) は細胞内代謝の主要な調節因子である。AMPK の機能を説明しなさい。(6 点)
- (6) インスリンは血糖値調節の主役で、筋肉と脂肪組織でのグルコースの取込みを促し、肝臓でのグルコース生産を抑制する。インスリンを分泌している臓器および産生細胞をそれぞれ答えなさい。(各 3 点、計 6 点)
- (7) 糖尿病には 1 型と 2 型の 2 種類ある。1 型と 2 型の違いを簡潔に説明しなさい。
(6 点)



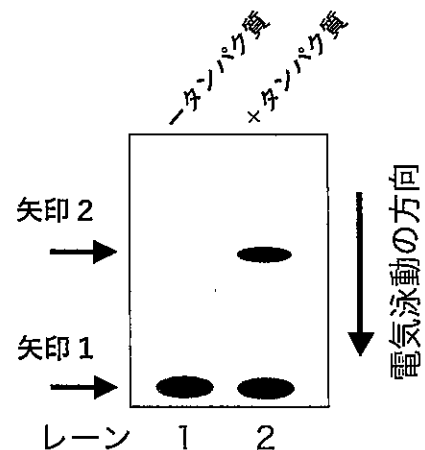
問題番号 [3] <分子遺伝学>

下の文章を読んで設問に答えなさい。(計 50 点)

哺乳類の脳下垂体前葉には 5 種類の細胞があり、それらの細胞からは機能が異なるペプチドホルモンが分泌される。成長ホルモンはその一つで、成長ホルモン産生細胞から分泌される。1990 年代に Rosenfeld らは成長ホルモン遺伝子の発現制御メカニズムの研究を行い、PIT1 という転写制御因子(転写活性化因子)を発見した。彼らはさらに PIT1 遺伝子の発現制御メカニズムを調べ、この遺伝子のエンハンサー領域に PIT1 自身の結合が可能な配列を見出した。

- (1) 遺伝子の転写にはエンハンサー以外にコアプロモーター(基本転写調節領域)が必要である。エンハンサーとコアプロモーターの構造と機能の違いを説明しなさい。(10 点)

- (2) Rosenfeld らは PIT1 遺伝子のエンハンサー領域に PIT1 が結合することをゲルシフトアッセイで示した。このアッセイでは、放射性同位体 ^{32}P でラベルした DNA 断片と成長ホルモン産生細胞の核から抽出した全タンパク質を混合し、一定時間インキュベートした後に、ゲル電気泳動を行った。泳動後のゲルを X 線フィルムに露光することで、 ^{32}P でラベルされた DNA 断片を捉えた。下の図に示すように、タンパク質非存在下では矢印 1 で示す DNA 断片が、そしてタンパク質存在下では上方にシフトしたバンド(矢印 2)が出現した(レーン 2)。矢印 2 のバンドに PIT1 が結合していることを示すため、抗体を使った実験を行った。実験では、PIT1 に対する 2 種類のモノクローナル抗体(抗体 1 と抗体 2)を使用した。抗体 1 は PIT1 の DNA 結合ドメインを認識し、その DNA 結合を阻害する。一方の抗体 2 は PIT1 の転写活性化ドメインを認識する。DNA 断片とタンパク質をインキュベートする時に、抗体 1 または抗体 2 が共存すると、レーン 2 で出現したバンドがどのように変化するか、述べなさい。(10 点)



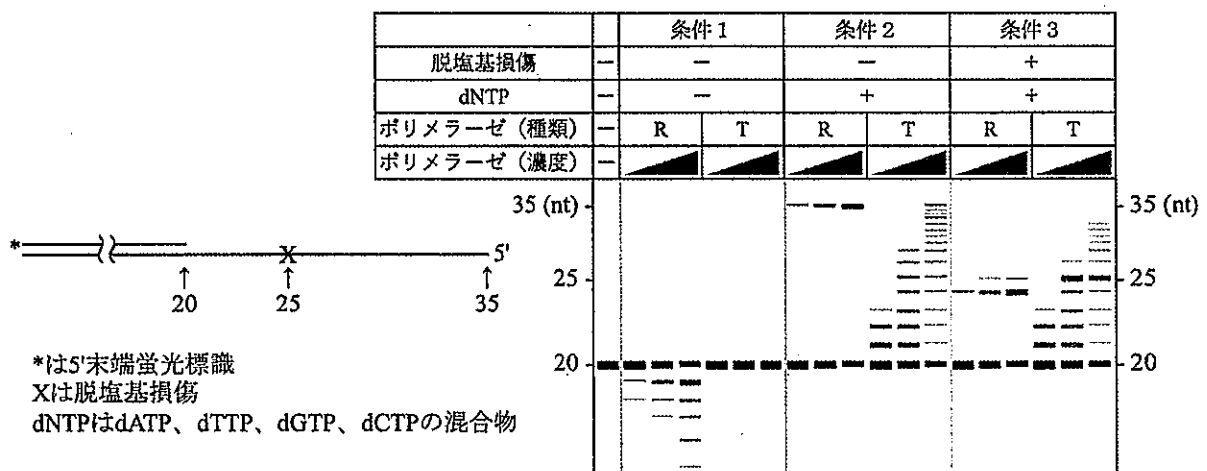
- (3) 上記の実験で Rosenfeld らは PIT1 遺伝子のエンハンサー領域に PIT1 が結合することを示した。次いで、エンハンサー領域の PIT1 結合配列に変異を導入したところ、PIT1 依存的なエンハンサー活性(転写の活性化能)は消失した。PIT1 遺伝子がこのような制御系を確立したことによりどのような意義があるのか、説明しなさい。(15 点)
- (4) 自己制御系以外に、以下の制御系も存在する。
「遺伝子 a」の産物である「タンパク質 A」が「遺伝子 b」を活性化し、「遺伝子 b」の産物である「タンパク質 B」が「遺伝子 a」を抑制する制御系である。このような制御系によってどのような遺伝子発現が可能となるのか、説明しなさい。(15 点)

問題番号 [4] <分子遺伝学>

次の文章を読んで設問に答えなさい。(計 50 点)

DNA ポリメラーゼは、DNA 合成を行う酵素であり、DNA 複製に加えて DNA 修復や損傷乗り越え DNA 合成 (TLS) などの様々な役割を担う。現在、ヒトでは少なくとも 14 種類の DNA ポリメラーゼが知られている。下の図は、ヒトの複製型ポリメラーゼ R と TLS 型ポリメラーゼ T の生化学的性質をプライマー伸張法により調べた図である。基質 DNA (左) と電気泳動像 (右) を模式的に示す。基質 DNA は 35 ヌクレオチド (nt) の鋳型 DNA に 20 nt のプライマーをアニールさせたものであり、プライマーの 5' 末端は蛍光標識してある。

- (1) 下図の条件 1 では、dNTP を加えておらず、ポリメラーゼによる DNA 合成が起きない。この条件の電気泳動像には、ポリメラーゼ R であって T にはない活性が表れている。この活性の DNA 複製における役割を説明しなさい。(10 点)



- (2) 条件 2 では、損傷のない鋳型上で DNA 合成を行わせた。プライマー消費量には違いが見られないものの、ポリメラーゼ R では 35 nt より小さいバンドがほとんど見られないのに対し、T では主に 35 nt よりも短い産物が観察された。この結果から推測されるポリメラーゼ R と T の性質の違いを説明しなさい。また、その性質の違いが、生体内でのポリメラーゼ R と T の使い分けに果たす役割を推測し、簡潔に説明しなさい。(15 点)
- (3) 条件 3 では、鋳型の 3' 末端から 25 nt の位置 (X) に脱塩基損傷を導入し、DNA 合成を行わせた。この条件では、ポリメラーゼ R はほとんどが 24 nt の位置で DNA 合成を停止したのに対し、T では 25 nt の産物が最も多く、量は少ないものの、26 nt 以上の産物も観察された。この結果から推測されるポリメラーゼ T の性質を説明しなさい。(10 点)
- (4) 以上の結果は、ポリメラーゼ T が脱塩基損傷を乗り越えて合成できることを示す。T が脱塩基損傷の向かい側にどの塩基をどのような割合で挿入するかを知るにはどのような実験を行えばよいか、その実現性も考慮し、具体的な方法を簡潔に説明しなさい。(15 点)

問題番号 [5] <細胞生物学>

細胞膜の流動性は、様々な生命現象において重要である。例えばシグナル情報伝達においては、細胞膜が流動的であることで、膜タンパク質の細胞膜平面内の素早い拡散と他のタンパク質との会合が可能になる。細胞膜の流動性に関する以下の問いに答えなさい。
(計 50 点)

- (1) 下記の (ア) から (ウ) には、20 個のアミノ酸からなる 3 種類の配列を、1 文字の略号を使って示してある。これらの 3 種類の配列の中で、膜タンパク質の膜貫通領域として最もふさわしいものを 1 つ選びなさい。(5 点)

(ア) GILGGILALLILLLLLLFL

(イ) IATLKVTDDDAPNTPAWKAV

(ウ) AASLSSLNSSESDDQDQDYDY

- (2) 膜タンパク質の流動性は、全ての膜タンパク質で均一ではなく、膜タンパク質によって異なる。特定の膜タンパク質の流動性を定量的に調べる方法について、4 行程度で説明しなさい。(15 点)

- (3) ある 1 回膜貫通膜タンパク質 A の細胞膜平面内における拡散速度を測定すると、 $2.5 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ であった。一方で、ほぼ同じ分子量の 1 回膜貫通膜タンパク質 B の細胞膜平面内における拡散速度を測定すると、 $4.5 \times 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s}$ であった。膜タンパク質 B が膜タンパク質 A に比べて拡散が遅い理由として、膜タンパク質 B の持つ性質が原因と考えられる。拡散速度を低下させる要因となる膜タンパク質の性質を 1 つ挙げて、3 行程度で説明しなさい。(15 点)

- (4) 細胞膜の流動性は、脂質二重層を構成する脂質分子の分子運動によって変動する。変温動物では、周囲の温度が低下しても、細胞膜の流動性をほぼ一定に保つことができるが、その理由について、3 行程度で説明しなさい。(15 点)

問題番号 [6] <細胞生物学>

エンドサイトーシスの仕組みに関する下の文章について、下の設問 (1) ～ (5) に答えなさい。(計 50 点)

形質膜においてエンドサイトーシスの小胞が形成される際には、(ア) と呼ばれる分子が、かご状の構造を作り、小胞を形作る。形質膜から小胞をくびり切る際には、小胞の根元に集まった (イ) と呼ばれる分子が働く。マクロファージや好中球などの食細胞は、細菌などの侵入微生物を細胞内部に取り込むが、この特殊なエンドサイトーシスを (ウ) と呼ぶ。

鉄イオンは、受容体を介したエンドサイトーシスによって細胞内に取り込まれる。トランスフェリンは鉄イオンの運搬を担うタンパク質である。各細胞の表面にはトランスフェリン受容体があり、鉄イオンを結合したトランスフェリンがこの受容体に結合すると、エンドサイトーシスにより細胞内に取り込まれる。(a)エンドサイトーシス小胞内で、トランスフェリンの鉄イオンへの親和性が低下することにより、鉄イオンが放出される。一方、受容体は、トランスフェリンが結合したまま、形質膜にリサイクリングされる。

エンドサイトーシスによって取り込まれた分子の多くは、エンドサイトーシス小胞とリソソームが融合することにより、細胞内で消化される。リソソームには多様な加水分解酵素が存在する。しかし、(b)仮にリソソームのタンパク質分解酵素が細胞質に漏れ出したとしても、細胞質のタンパク質はほとんど分解されることはない。

- (1) 文中の (ア) ～ (ウ) に入る適切な語句を答えなさい。(12 点)
- (2) 下線(a)にあるように、エンドサイトーシス小胞において、鉄イオンとトランスフェリンの親和性が低下する理由について簡潔に説明しなさい。(12 点)
- (3) 下線(b)の理由について簡潔に説明しなさい。(12 点)
- (4) 細胞には、リソソームに物質を供給する別の経路がある。真核細胞が飢餓状態になったときに、細胞小器官や細胞質のタンパク質の一部を脂質二重膜で包み込んで、リソソームと融合することにより消化し、アミノ酸を再利用することが知られている。この現象を何と呼ぶか、答えなさい。(6 点)
- (5) エンドサイトーシスは様々な病態の発症にも関与する。新型コロナウイルス (SARS-CoV-2) が肺の上皮細胞に感染する理由について簡潔に説明しなさい。(8 点)

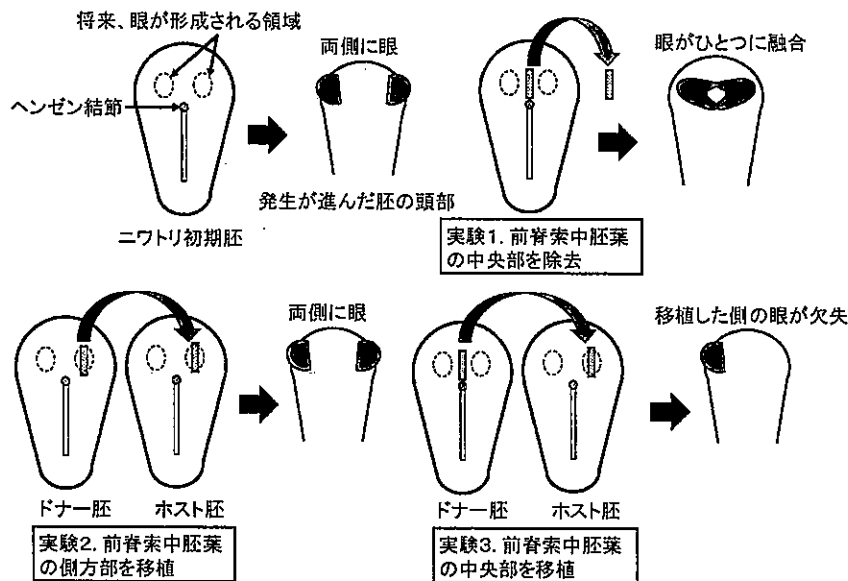
問題番号[7] <発生生物学>

次の文章を読み、以下の問いに答えなさい。(計 50 点)

脊椎動物の眼の形成は脳胞が外側に膨らんで (a) となることから始まる。(a) と接した表皮外胚葉は肥厚し、(a) はやがて屈曲して 2 層からなる (b) と呼ばれる構造となる。(b) はくびり切るように表皮外胚葉を引き込み、引き込まれた表皮外胚葉は将来 (c) に分化する。(b) のくぼみは胚発生が進行すると大きくなり、2 層のうちの外層はやがて (d) となり、内層は (e) を構成する組織になる。

転写因子 Pax6 のノックアウトマウス (Pax6^{-/-}) を作成したところ、Pax6^{-/-} には (c) が形成されなかった。野生型マウスの (a) と野生型マウスの頭部表皮外胚葉を取り出し共培養すると (c) は形成されたが、野生型マウスの (a) と Pax6^{-/-} の頭部表皮外胚葉を共培養すると (c) は形成されなかった。しかし、Pax6^{-/-} の (a) と野生型マウスの頭部表皮外胚葉を共培養すると (c) は形成された。これらの実験から眼の形成には外胚葉性組織間の相互作用が重要であることがわかる。

上述したように、脊椎動物の眼の形成における形態変化は主に外胚葉性の組織で起きるが、正常な眼の形成には中胚葉性の組織も関与している。下図に示したように、ニワトリ初期胚の前脊索中胚葉の中央部を除去すると、ひとつに融合した大きな眼を持つ胚になった (実験 1)。また、ドナー胚の前脊索中胚葉の側方部を宿主胚の予定眼領域付近に移植すると正常な眼が形成されるが (実験 2)、前脊索中胚葉の中央部を宿主胚の予定眼領域付近に移植すると眼の形成が著しく阻害された (実験 3)。これらの実験結果は、脊椎動物の眼の形成には中胚葉性組織による外胚葉性組織への制御も重要であることを強く示唆している。



- (1) (a) ~ (e) に入る適切な語句を答えなさい。(各 3 点、計 15 点)
- (2) マウスの (c) の形成における Pax6 の役割について上記の実験結果から類推できることを簡潔に答えなさい。(11 点)
- (3) ニワトリ胚の眼の形成における前脊索中胚葉の役割について上記の実験から類推できることを簡潔に答えなさい。(12 点)
- (4) ニワトリ初期胚を Sonic hedgehog (SHH) シグナルの阻害剤で処理すると両側の眼が融合した。眼の形成における前脊索中胚葉の役割と SHH シグナルとの関わりを示すために必要な実験を 2 つ答えなさい。(12 点)

問題番号 [8] <植物生理学>

次の文章を読んで、以下の問いに答えなさい。（計 50 点）

- (1) 根は重力方向に屈曲して伸長する性質（重力屈性）を持つが、その仕組みについて、以下の語句すべてを用いて 200 字程度で説明しなさい。（20 点）

コルメラ細胞、アミロプラスト、オーキシン

- (2) 葉緑体は弱光下では葉の表面側に集合し、強光下では光を避けて光と平行な細胞壁面に逃避する。

- (a) 光の情報に従って葉緑体が細胞内での配置や存在場所を変える運動の名称を書きなさい。（5 点）
- (b) この葉緑体の運動を制御する青色光受容体の名称を書きなさい。（5 点）
- (c) この葉緑体の運動の生理学的意義と、その意義を明らかにするために行われた研究内容について 200 字程度で説明しなさい。（20 点）

問題番号 [9] <植物生理学>

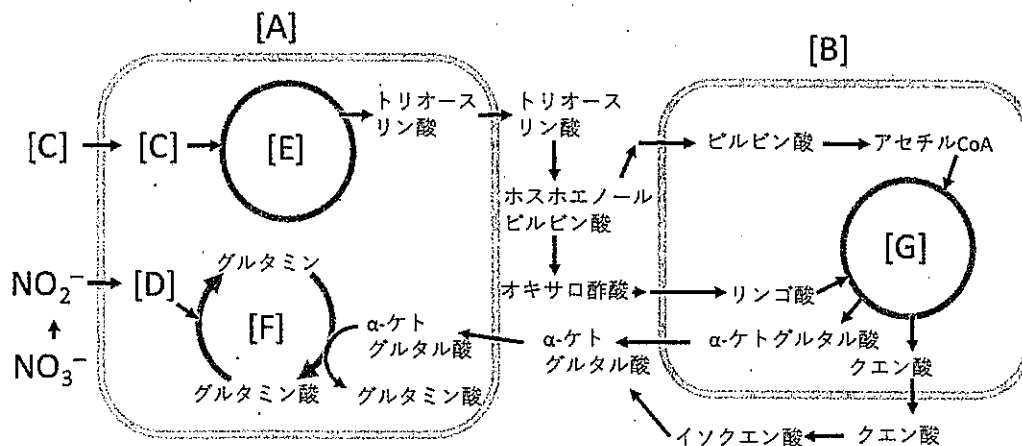
以下の問いに答えなさい。(計 50 点)

(1) 植物体内の水環境の調節について、以下の問いに答えなさい。(計 18 点)

- (a) 植物が土壌から葉の先端まで水を吸い上げるしくみについて、水ポテンシャルと関連づけて 50 字程度で説明しなさい。(9 点)
- (b) 乾燥に応答して気孔が閉じる分子メカニズムについて、アブシシン酸と関連づけて 200 字程度で説明しなさい。(9 点)

(2) 植物の炭素同化と代謝について、以下の問いに答えなさい。(計 32 点)

- (a) C_3 型光合成において、大気から取り込んだ二酸化炭素 (CO_2) から、最初に有機物を合成する反応を触媒する酵素の名前を挙げなさい。(2 点)
- (b) (a)で説明した酵素反応が酸素 (O_2) によって阻害される理由とその問題点を 150 字程度で説明しなさい。(8 点)
- (c) (b)で示した問題点について、トウモロコシはどのように対応しているかを 150 字程度で説明しなさい。(8 点)
- (d) 次の図は植物細胞内における炭素と窒素の代謝のクロストークを示す。A、B が示す細胞内小器官名、C、D が示す物質名、E、F、G が示す経路(回路、サイクル)名をそれぞれ答えなさい。(14 点)



問題番号 [10] <神経生物学>

哺乳動物における視覚の情報処理について、次の問いに答えなさい。(計 50 点)

(1) 網膜では、視細胞が光を受容し、双極細胞 (bipolar cell) に伝える。光応答性の違いから、双極細胞は2種類に分類できることが知られている。この2種類の双極細胞の名称をあげ、それぞれの受容野の特徴を説明しなさい。(8 点)

(2) 視細胞は、グルタミン酸作動性神経細胞である。2種類の双極細胞では、視細胞から放出されるグルタミン酸に対する受容体が異なっている。それぞれどのような受容体が働いているか説明しなさい。(6 点)

(3) 網膜からの出力神経細胞は、神経節細胞 (ganglion cell) である。神経節細胞からの出力と盲点との関係について説明しなさい。(6 点)

(4) 一点を一定時間持続してみている(注視している)時には、眼球は、微小眼球運動(マイクロサッケード)と呼ばれる、高速で微小な運動をしている。このような微小眼球運動は、その点を認識するために重要である。この理由を説明しなさい。(8 点)

(5) 哺乳動物では、ヒトのように両眼視ができる動物が多い。実際、左右の眼からの同一視野の入力が大脳皮質視覚野 (visual cortex) のほぼ同じ領域に投射している。この左右の眼からの入力について、大脳皮質視覚野での投射パターンの特徴について説明しなさい。(8 点)

(6) (5) の大脳皮質視覚野での投射パターンは、ある特定の時期に片眼を閉眼すると変化するが、それ以降の時期ではこのような変化は起きない。このような時期を何というか答えなさい。また、どのように投射パターンが変化するか説明しなさい。(6 点)

(7) 大脳皮質視覚野では、さらに複雑な情報処理が行われている。視覚野にはどのような視覚刺激に応答する細胞があるか、例を2つ挙げて説明しなさい。(8 点)

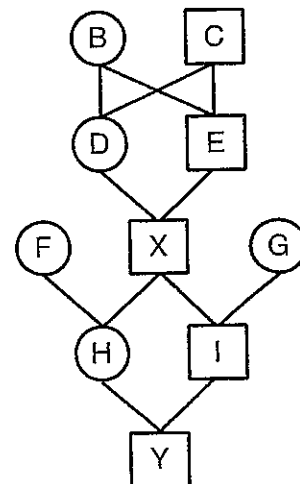
問題番号 [1 1] <遺伝学・集団遺伝学>

以下の問い (1)、(2) に答えなさい。(計 50 点)

- (1) 近親交配の子 O より出発して、共通の祖先 A に達し、同じ個体を 2 度通らずに元の個体まで戻ってくる間に通過する個体数を n 、共通祖先 A の近交係数を F_A と置いたときの、個体 O の近交係数 F_O は一般に以下のように表せる。

$$F_O = \left(\frac{1}{2}\right)^n (1 + F_A)$$

共通祖先が複数いる場合は、めいめいに計算して足し合わせればよい。右のような家系図があるとき以下の問いに答えなさい。ただし、個体 B と C の近交係数はゼロとする。(計 25 点)



- (a) 個体 X の近交係数を答えなさい。(5 点)
- (b) 個体 Y の近交係数を答えなさい。(6 点)
- (c) 常染色体劣性疾患であるフェニルケトン尿症 (PKU) が 4 万人に 1 人出現するメンデル集団がある。この集団で右図と同じ婚姻が行われたとき (上の例と同じく個体 B と C の近交係数はゼロとする)、X および Y における PKU の出現率をそれぞれ答えなさい。ただし、分数で答える場合は既約分数で、小数で答える場合は有効数字 3 ケタで答えなさい。自然淘汰および突然変異は考えなくて良い。(各 7 点、計 14 点)

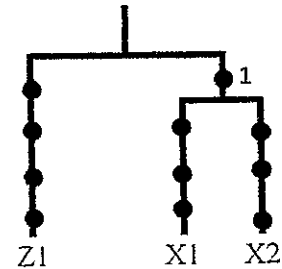
- (2) アサガオの変異体に関する以下の問いに答えなさい。(計 25 点)

- (a) 葉や花卉が細くなる柳変異は雌性不稔の劣性 (潜性) 変異であり、柳変異をヘテロ接合で持つ野生型株から自家受粉によって採種し変異を保存している。この株の種子から何%の確率で柳変異体が分離するか答えなさい。(5 点)
- (b) (a) の種子から得られた野生型株には、柳変異をヘテロ接合で持つ株と持たない株が混在している。ある株から採種した種子を、何粒まいて柳変異体が分離しなければ、この株は柳変異に関して 90%以上の確率でヘテロ接合ではないと言えるか、粒数を答えなさい。必要であれば $\log_{10}2 = 0.30$ 、 $\log_{10}3 = 0.475$ を使いなさい。(6 点)
- (c) 黄緑色の葉色を呈する黄葉変異は柳変異と同一染色体上に座乗しており、2 つの変異間の組換え率は 20%である。柳と黄葉の二重変異体と野生型を交配して得た F_1 株は野生型となった。この株の自家受粉によって得た種子から野生型葉色で柳の表現型を示す株は全体の何パーセント生じるか答えなさい。(7 点)
- (d) 柳変異の原因遺伝子に挿入しているトランスポゾンが脱離すると、柳は弱いアレルである立田に転換するが、他の挿入変異とは異なり野生型に復帰することは非常にまれである。この理由を述べなさい。なお、植物のトランスポゾンは、脱離する際、挿入部位を完全に修復せず数塩基が残存する場合が多い。(7 点)

問題番号 [1 2] <遺伝学・集団遺伝学>

以下の問い (1)、(2) に答えなさい。(計 50 点)

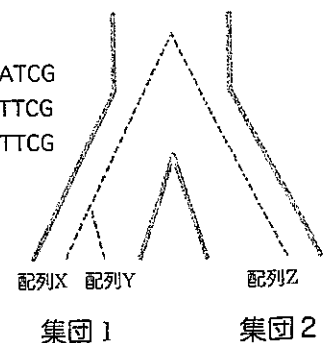
- (1) ある遺伝子に注目し、種 Z と種 X のそれぞれの集団から 10kb の長さの塩基配列 (種 Z より Z1、種 X より X1 と X2) を得た。これらすべてに共通なサイトを除いた部分の配列はそれぞれ、Z1 は AGTCGAGGTCT、X1 は GACCAAAATTC、X2 は GATTAGGACCC であり、これらから図のような系統樹が得られた (変異は黒丸で表記)。種の分岐年代は 80 万年前であり、図の Z1 と他の配列の分岐年代と等しいとする。得られた配列と系統樹について以下の質問に答えなさい。(計 25 点)



- (a) 図のサイト 1 では A から G への変異がおこっている。この時 X1 に固有におこった 3 つの変異を答えなさい。(6 点)
- (b) Z1、X1、X2 において、すべてに共通なサイトを除いた部分の祖先配列を推定しなさい。(6 点)
- (c) 配列を得た領域の突然変異率 (サイトあたり年あたり) を計算しなさい。(4 点)
- (d) 種 X より新たに 2 つの配列 (X3、X4) を得たところ、それらはそれぞれに 1 つずつ固有の変異をもち、またそれらと他の配列との間の違いは、Z1 との間で 4 つ、X1 との間で 8 つ、X2 との間で 8 つであった。この情報を用いて Z1、X1、X2、X3、X4 の系統樹を作成しなさい。なお変異は図と同様に黒丸として表記すること。(4 点)
- (e) (d) の系統樹から推測される種 X と種 Z にかかわる進化的なイベントを記述し、そのイベントのおこった年代を推定しなさい。(5 点)

- (2) 祖先を共有する 2 つの任意交配集団を考える。ある遺伝子に着目し、集団 1 からは 2 本の配列を、集団 2 から 1 本の配列を取得した。配列ペア間で違いのあった塩基座位数の平均を配列の長さで割った量を塩基多様度という。集団内および集団間の塩基多様度をそれぞれ h_w 、 h_b とする。さらに $F_{ST} = \frac{h_b - h_w}{h_b}$ と定義する。以下の問いに答えなさい。(計 25 点)

配列X ATGGTATGGTCGCGTAATCG
配列Y ATTGTATGGTCGCGTATTTCG
配列Z ATGGTACGGTCACGTATTTCG



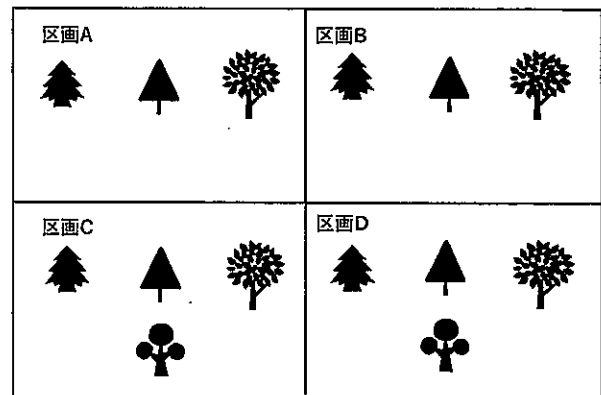
- (a) 図の配列データの h_w 、 h_b 、 F_{ST} をそれぞれ求めなさい。(各 4 点、計 12 点)
- (b) F_{ST} の値に影響を与える進化的要因を 2 つ挙げ、それらの要因と F_{ST} 値の大小関係を簡潔に説明しなさい。(各 4 点、計 8 点)
- (c) 独立な 5 つの遺伝子座 A~E の F_{ST} を測定した。それぞれの値は、遺伝子座 A: 0.010、B: 0.011、C: 0.011、D: 0.35、E: 0.010 であった。これらの値の違いが生み出された原因として何が考えられるか。簡潔に説明しなさい。(5 点)

問題番号[13] <生態学>

種の多様性に関する次の文章を読み、(1)から(5)までの問いに答えなさい。(計 50 点)

生物群集に含まれる種の組み合わせの豊富さの程度を意味する概念として、「種多様性」という言葉が使われてきた。種多様性の基準の 1 つに、群集を構成する全ての種数が挙げられるが、種数が同じであれば種多様性が同じであるとは限らない。種多様性を理解する上で重要な点は、①種多様性が空間スケールに依存することである。また異なる生物群集の種多様性を比較する際、②多様度指数や③相対優占度曲線が利用される。これらは種数と (ア) の両方を含んだ尺度である。

- (1) 文中および設問 (3) の (ア) に共通して当てはまる言葉を記しなさい。(5 点)
- (2) 文中の下線部①に関連して、(図 1) のような 4 つの区画に異なる植物種が存在するとき、 α 多様性、 β 多様性、 γ 多様性の数値をそれぞれ答えなさい。(各 5 点、計 15 点)
- (3) 文中の下線部②に関連して、多様度指数の 1 つに Shannon-Wiener 指数があり、以下の式であらわせる。



(図1) 区画A-Dに含まれる樹木種。同じシルエットは同種の樹木を示す。

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

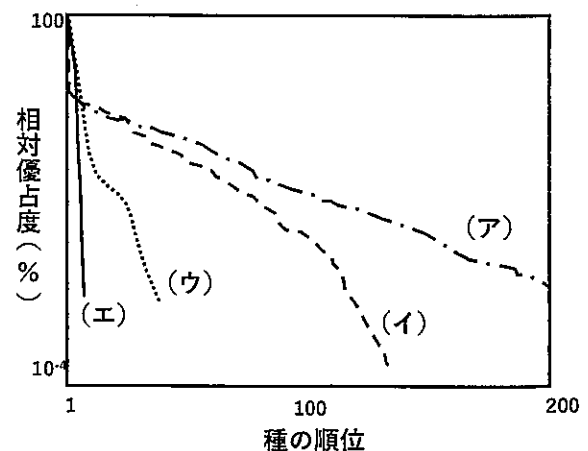
ここで S は群集を構成する種数、 p_i は i 番目の種の個体数ないし現存量で、群集中にその種が占める割合(相対優占度)をあらわす。ここから種の分布の偏りを示す (ア) 指数を計算することができ、それを f' であらわすと、

$$f' = H' / H'_{max}$$

とあらわせる。 H'_{max} は H' から求められるが、どのように定式化されるのか示しなさい。(15 点)

- (4) f' が取る範囲はどのようになるか、答えなさい。(5 点)
- (5) 文中の下線部③に関連して、(図 2) の

(ア) ~ (エ) は温帯亜高山林、温帯湿润林、熱帯雨林、熱帯乾燥林における樹木の相対優占度曲線を示す。このうち温帯亜高山林、熱帯乾燥林の相対優占度曲線はそれぞれどれになるか、答えなさい。(各 5 点、計 10 点)



(図2) 熱帯林・温帯林における樹木の相対優占度曲線 (Hubbell 1979を改変)

問題番号 [14] <生態学>

生物間相互作用に関する次の文章を読み、下の設問(1)～(4)に答えなさい。(計 50 点)

一般に生物間相互作用は、関わり合う二者間の (ア) への効果によって共生と拮抗に分類される。共生では、双方の (ア) が増加する (イ) 共生、一方のみが増加する (ウ) 共生の場合に分けられる。双方あるいは一方の (ア) が減少する拮抗関係には、(エ)、(オ)、①競争がある。これらの相互作用は生物群集の動態に大きな影響を及ぼしている。

(1) 文中の (ア) ～ (オ) に入る適切な語句を答えなさい。(各 2 点、計 10 点)

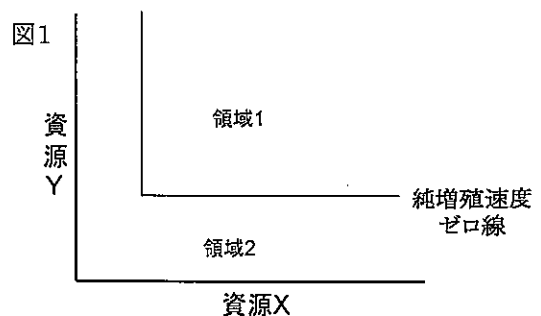
(2) 以下の 3 つの共生関係について、それぞれ例をあげて 100 字の範囲で説明しなさい。
(各 5 点、計 15 点)

(a) 栄養共生 (b) 防衛共生 (c) 送粉共生

(3) 宿主の消化管内にすむ微生物との関係として消化共生がある。草食動物は自分の胃の消化酵素だけでは植物由来のセルロースを十分に分解できない。ウシの反芻胃に生息する共生微生物がセルロースを宿主に利用可能な化合物に変換するプロセスについて、加水分解、発酵、メタン、モノマー、のすべての語句を用いて 200 字の範囲で説明しなさい。(10 点)

(4) 文中の下線部①に関連して、2 種類の資源 (X と Y) をめぐって競争する 2 種 (種 A と B) において、種 A は資源 X が低いときに種 B を排除し、種 B は資源 Y が低いときに種 A を排除するが、資源 X と Y の供給バランスによっては 2 種は共存することができる場合、以下の問いに答えなさい。

(a) ある種の純増殖速度ゼロ線は、この種が生き残り繁殖できる資源の組み合わせ (領域 1) と、それができない組み合わせ (領域 2) の境界線として、図 1 のように定義できる。ここで、個体群は種内競争によって安定した平衡に達すると想定し、純増殖速度ゼロ線上のすべての点 (資源の組み合わせ) で個体群の大きさは一定であるとする。この場合の種 A と B それぞれの純増殖速度ゼロ線の概形を、横軸を資源 X、縦軸を資源 Y にとった一つの図に示しなさい。(8 点)



(b) 上記(a)で描いた 2 種の純増殖速度ゼロ線図において、種 A が種 B を競争的に排除するのは資源の供給点がどの領域にある場合か、あてはまる領域を(a)で作図した図中に斜線で示しなさい。(7 点)

問題番号[1 5] <海洋生物学>

(解答は英語・日本語のどちらでもよい[ラテン語/英語と指示してある場合以外]。文法の間違いは採点に影響しない)

(1) Choose TWO topics from the following six and discuss. (25 points each, total 50 points)

- (a) Characteristics of coral reef ecosystems
- (b) Morphological and ecological characteristics of phytoplankton
- (c) Problems of acidification in the sea
- (d) Overexploitation of marine life
- (e) Concept of keystone species
- (f) Ecological characteristics of detritivores in estuaries

問題番号[1 6] <海洋生物学>

(解答は英語・日本語のどちらでもよい[ラテン語/英語と指示してある場合以外]。文法の間違いは採点に影響しない)

(1) Organisms inhabiting intertidal habitats often demonstrate unique characteristics in their ecology, behaviour, morphology and physiology. Give examples and discuss in terms of adaptation to harsh environmental conditions. (25 points)

(2) Echinodermata is a unique phylum which can only be found in the marine environment.
(total 25 points)

- (a) Describe the characteristics of its body plan. (15 points).
- (b) Give names of five sub-groups in Latin/English. (10 points)

問題番号 [17] <数理生物学>

ある生物の遺伝子 X は高温シグナルの存在下でのみ転写され、高温ストレス応答に必要な遺伝子 Y の転写を調節していると考える。高温シグナル存在下で、遺伝子 X の転写産物の存在量が閾値 K を上回ったときにだけ、遺伝子 Y は転写されるとする。各遺伝子の転写産物は一定の率で分解されると考えると、高温シグナル存在下の遺伝子 X と Y の転写産物量 (x と y) の時間変化は以下の微分方程式で表すことができる。以下の問いに答えなさい。(計 50 点)

$$\frac{dx}{dt} = \beta_x - \alpha_x x$$

$$\frac{dy}{dt} = \beta_y \theta(x > K) - \alpha_y y$$

$$\theta(x > K) = \begin{cases} 1 & \text{if } x > K \\ 0 & \text{if } x \leq K \end{cases}$$

$x(t)$: 遺伝子 X の時刻 t における転写産物量

$y(t)$: 遺伝子 Y の時刻 t における転写産物量

β_x : 遺伝子 X の転写率

α_x : 遺伝子 X の転写産物分解率

β_y : 遺伝子 Y の転写率

α_y : 遺伝子 Y の転写産物分解率

- (1) 遺伝子 X と Y の両者とも転写されていない状態から、高温シグナルを受けて遺伝子 X が転写され始めた。 $x(t)$ の従う方程式を求めなさい。ここで時刻 $t = 0$ における遺伝子 X の転写産物量は $x(0) = 0$ である。(10 点)
- (2) 転写産物量 $x(t)$ が 0 から K まで増加し、遺伝子 Y の転写を引き起こすまでにかかる遅延時間 t_{ON} を求めなさい。(10 点)
- (3) 遅延時間 t_{ON} をより長くするためには、遺伝子 X の転写率 (β_x) と閾値 K がどのように変化すればよいかを説明しなさい。(10 点)
- (4) 高温ストレス応答には、遺伝子 Y の転写翻訳コスト c と高温耐性の利益 $bf(y)$ が存在すると考える。持続期間 D の高温シグナルに暴露された生物の適応度を以下の式で与える。

$$\omega(D, t_{ON}) = \int_{t_{ON}}^D (-c + bf(y)) dt$$

ここで c と b は正の定数であり、 $f(y)$ は遺伝子 Y の転写産物量 y の関数である。ある環境において、高温シグナルの持続期間が短いパルス D_1 と長いパルス D_2 が確率 p と $(1-p)$ でそれぞれ発生するとき、生物の平均適応度は $\bar{\omega}(t_{ON}) = p\omega(D_1, t_{ON}) + (1-p)\omega(D_2, t_{ON})$ となる。短パルス D_1 では $f(y) = 0$ であり長パルス D_2 では $f(y) = y^*$ に飽和するとき、平均適応度 $\bar{\omega}(t_{ON})$ を計算しなさい。(10 点)

- (5) 高温ストレス応答の遅延が適応的であるとき $\bar{\omega}(t_{ON} > 0) > \bar{\omega}(t_{ON} = 0)$ が成立する。このとき、 $p > A$ の条件が必要である。 A を b 、 c 、 y^* を用いて求めなさい。なお $\omega(D < t_{ON}, t_{ON}) = 0$ とし、 $by^* > c$ とする。(5 点)
- (6) $\bar{\omega}(t_{ON})$ が最大になる t_{ON} を求めなさい。(5 点)

問題番号 [1 8] <情報生物学>

疾患ゲノム解析に関する下の文章を読み、設問（１）～（４）に答えなさい。（計 50 点）

遺伝性疾患は、知られているだけでも約 7,000 種類存在する。特に、ある一つの遺伝子の異常により発症する疾患は、単一遺伝子疾患(single gene disorders)と呼ばれる。このような単一遺伝子疾患は、その遺伝様式により、下記の 3 つに分類される：

I. 常染色体優性（顕性）疾患

父由来および母由来の常染色体上の対になった遺伝子（対立遺伝子）の一方に異常があれば発症するもの。

II. 常染色体劣性（潜性）疾患

父由来および母由来の常染色体上の対になった遺伝子（対立遺伝子）の両方に異常があれば発症するもの。

III. X 染色体連鎖疾患

X 染色体上の遺伝子に異常があることで発症するもの。

（１）X 染色体連鎖疾患は男性の罹患者数が多い。その理由を説明しなさい。（5 点）

（２）常染色体劣性（潜性）疾患は、対立遺伝子の両方に異常があるので疾患に至ることは容易に理解できる。では、常染色体優性（顕性）疾患は、対立遺伝子の一方は正常であるにもかかわらずなぜ発症に至るのか、考えられる理由を 2 つ挙げ、それぞれについて説明しなさい。（15 点）

（３）常染色体劣性（潜性）疾患は、他人婚に比べ、近親婚で罹患者頻度が上昇することが知られている。なぜそうなるのか理由を説明しなさい。（10 点）

（４）ある常染色体劣性（潜性）疾患の患者について、疾患原因となることが知られている遺伝子を調べてもホモ接合型の有害変異は見当たらなかった。その場合にどのようなことが考えられるか説明しなさい。さらに、その説明をサポートするにはどのような解析（実験）をしたらいいか説明しなさい。（20 点）

問題番号 [1 9] < 数学 >

次の (1) から (2) に答えなさい。(計 50 点)

(1) $t \geq 0$ で定義される関数 $y(t)$ は、次の常微分方程式①を満たす。

$$\frac{dy}{dt} = 1 - \frac{1}{2}y \quad \text{①}$$

このとき、次の (a) から (d) に答えなさい。

(a) 初期条件 $y(t=0)=3$ の下で、関数 $y(t)$ を求めなさい。(10 点)

(b) $t \rightarrow \infty$ のときに関数 $y(t)$ がとる値を y_{∞} とおく。初期条件 $y(t=0)=3$ を与えたときの y_{∞} を求めなさい。(5 点)

(c) 関数 $y(t)$ が t によらない関数となるための $t=0$ における初期条件を求めなさい。(5 点)

(d) 初期条件 $y(t=0)=3$ を与えたときの関数 $y(t)$ が表す曲線と直線 $y=y_{\infty}$ および y 軸で囲まれる領域の面積を求めなさい。(5 点)

(2) ベクトル $\mathbf{a} = \begin{pmatrix} 4 \\ 2 \\ \sqrt{5} \end{pmatrix}$, $\mathbf{b} = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \\ 0 \end{pmatrix}$ を与える。このとき、ベクトル \mathbf{a} と \mathbf{b} の表す点を、それ

ぞれ A と B と表すことにする。次の (a) から (c) に答えなさい。

(a) ベクトル \mathbf{a} と \mathbf{b} の内積を求めなさい。(5 点)

(b) 点 B から、原点 O と点 A を通る直線に下した垂線の足を P とする。点 P を表すベクトルを求めなさい。(10 点)

(c) 三角形 OAB の面積を求めなさい。(10 点)