

2022 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>

生化学の知識が人類の健康の維持に活かされている例についての下の設問 (1) ～ (6) に答えなさい。(計 50 点)

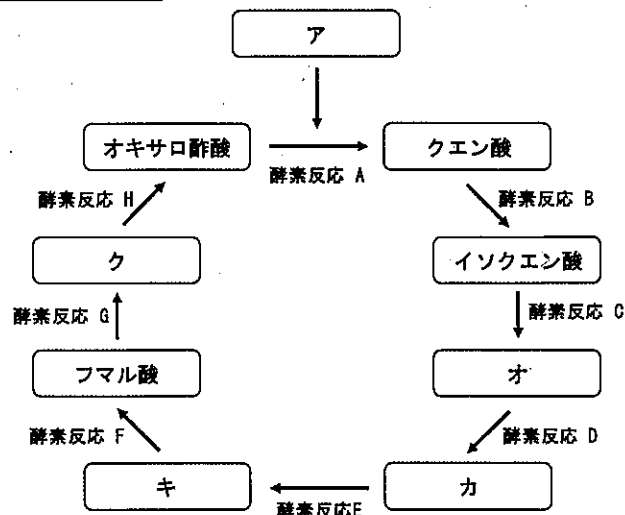
COVID-19 などのウイルス感染症によるパンデミックを抑えるために、ワクチンは有効な手段である。ワクチンは例えば病原体の一部を事前に人体に投与することにより、その病原体に対する免疫反応をあらかじめ人体に準備させることで働く。COVID-19 によるパンデミックに対して高い効果を上げ、注目を集めている mRNA ワクチンは、人体の細胞の仕組みである、転写、(ア) 系を利用し、外部から導入した人工の mRNA によって COVID-19 の原因ウイルスの^(a)スパイクタンパク質をヒト細胞に発現させることで働く。^(b)スパイクタンパク質は、宿主細胞由来の脂質二重層で構成されたウイルスのエンベロープに挿入された膜タンパク質である。ウイルスのエンベロープに挿入された部分に対応するスパイクタンパク質中のアミノ酸残基の多くは、(イ) 族や (ウ) 族の側鎖を持つ。(ウ) 族の側鎖を持つアミノ酸にはタンパク質中の通常のアミノ酸のうち^(c)最も分子量の大きいアミノ酸が含まれる。またスパイクタンパク質は^(d)三量体である。外来 RNA は、自然免疫と呼ばれる反応により人体に炎症反応を引き起こすことが多い。これを避けるため、mRNA ワクチンでは RNA を構成する塩基の一つである (エ) をヒト細胞中の^(e)tRNA などに比較的多く含まれる修飾塩基に置換する工夫が加えられている。(エ) は DNA には含まれない塩基であり、DNA にはその代わりに別の塩基である (オ) が含まれている。

- (1) 文中の (ア) ～ (オ) に入る適切な語句を答えなさい。その際、対応する漢字のある語句は漢字で答えなさい。(各 3 点、計 15 点)
- (2) 下線(a)で示したスパイクタンパク質は 1273 残基からなる。アミノ酸残基数から推定したおよその分子量を答えなさい。また実際のウイルス中のスパイクタンパク質の分子量はアミノ酸配列から推定された分子量より大きい、その理由も答えなさい。(8 点)
- (3) 下線(b)について、エンベロープに挿入された部分のスパイクタンパク質中の多くのアミノ酸残基の側鎖が持つ共通の化学的特徴を、脂質二重層の化学的特徴に基づいて説明しなさい。(4 点)
- (4) 下線(c)に対応するアミノ酸の名称とその構造式を答えなさい (9 点)
- (5) 下線(d)のような、タンパク質サブユニットの空間的配置を何次構造と呼ぶか答えなさい。(3 点)
- (6) 下線(e)で示した tRNA の機能について、コドン、アンチコドン、アミノアシル tRNA 合成酵素、というキーワードを使って 200 字程度で説明しなさい。(11 点)

問題番号 [2] < 生化学 >

次のクエン酸サイクルに関する記述を読んで、下の設問 (1) ～ (6) に答えなさい。(計 50 点)

クエン酸サイクルは、糖、脂質、アミノ酸などの (ア) を生じる各種代謝燃料からエネルギーを回収する中心経路である。クエン酸サイクルは、一連の代謝反応を通して (ア) を 2 分子の (イ) に (a)酸化・還元 し、遊離するエネルギーを (ウ) や (エ) など (b)酸化・還元 型の化合物に保存する巧妙な 8 連反応よりなる。このサイクル 1 回りごとに、2 分子の (イ)、3 分子の (ウ)、1 分子の (エ) と、1 分子の (c)高エネルギー化合物 を生じる。下図はクエン酸サイクルの概略を示している。



- (1) 文中および図中の (ア) ～ (ク) に入る化合物名を答えなさい。(各 2 点、計 16 点)
- (2) クエン酸の化学構造式を示しなさい。(3 点)
- (3) 下線(a)および(b)について、酸化または還元のとどちらが正しいのかを答えなさい。(4 点)
- (4) (イ)、(ウ)、(エ) が生成する酵素反応を A～H の中からそれぞれ 2 つ、3 つ、1 つを記号で答えなさい。(12 点)
- (5) 下線(c)の化合物の名称とその化合物が生成する酵素反応を A～H の中から答えなさい。また反応を触媒する酵素名を答えなさい。(9 点)
- (6) クエン酸サイクルはいくつかのステップで制御されている。酵素反応 A～H の中の 1 つのステップについて関連する酵素の名前を示し、その調節メカニズムについて簡単に説明しなさい。(6 点)

問題番号 [3] <分子遺伝学>

下の文章を読み、設問に答えなさい。(計 50 点)

トランスクリプトームは、個々の遺伝子が RNA に転写されるプロセスによって構築される。プロテオームは、これら RNA 分子からタンパク質が翻訳されることで形成される。ゆえに、個々の遺伝子の発現は、「DNA が RNA を作り、その RNA がタンパク質を作る」という 2 段階のプロセスとして理解されることがある。しかし、最も単純なタイプの細胞であっても、トランスクリプトームとプロテオームの合成と維持には、はるかに複雑な一連のイベントが存在する。

(1) トランスクリプトームとプロテオームのいずれかの形成に果たす役割について、以下の(a)~(d)についてそれぞれ簡潔に説明しなさい。(各 8 点、計 32 点)

- (a) 転写開始前複合体の形成
- (b) RNA 合成
- (c) RNA 分解
- (d) タンパク質のフォールディングおよび修飾

(2) 遺伝子情報がタンパク質に変換される際の遺伝暗号表はどのように解読されたかを簡潔に説明しなさい。(8 点)

(3) 多細胞生物では同一のゲノムから異なる遺伝子が選択されることで組織固有の細胞機能が獲得される。組織固有の遺伝子が選択的に発現する過程で起こる、クロマチン構造変化を介した遺伝子発現制御について、以下の語句を用いて 200 字程度で説明しなさい。

(閉じたクロマチン構造、ヒストン修飾、活性化クロマチン構造、ヌクレオソームの配置、クロマチンリモデリング、組織特異的転写因子、RNA ポリメラーゼ II)。

(10 点)

問題番号 [4] <分子遺伝学>

下の文章を読み、設問に答えなさい。(計 50 点)

オペロンによる転写調節は、効率的な遺伝子発現制御を可能にする仕組みである。大腸菌の *lac* オペロンは、(ア)、(イ)、およびラクトース代謝に関与する 3 種類の酵素をコードする構造遺伝子から構成される。ラクトース非存在化では、(ウ) が (イ) に結合して構造遺伝子の転写を阻害している。ラクトース存在化では、ラクトースの代謝産物であるアロラクトースが (ウ) に結合し、(ウ) は (イ) に結合できなくなる。その結果、(ア) に結合した (エ) によって構造遺伝子が 1 本の mRNA として転写され、各遺伝子がコードする酵素が (オ) で合成される。

真核生物における遺伝子発現調節は、一般的に原核生物よりも複雑であり、個々の遺伝子の転写は、それぞれ多様な転写調節因子によって制御される。また、真核生物のゲノム DNA の大部分は、ヒストン 8 量体に巻きつき、ヌクレオソームに梱包される。ヒストン分子の化学修飾は、クロマチンの性質に大きな影響を及ぼす。例えば、性染色体構成が XX のヒトの細胞では、2 本のうち 1 本の X 染色体がヒストンの化学修飾などを介して全領域にわたってヘテロクロマチン化され、不活性化されている。

- (1) (ア) ~ (オ) に当てはまる語句を答えなさい。(各 2 点、計 10 点)
- (2) ヌクレオソームの構造を調べるために、以下の実験を行なった。精製したクロマチンを DNA 分解酵素で消化した後、DNA を精製しゲル電気泳動を行なった。その結果、約 150 bp のバンドが観察され、ヒストン 8 量体に巻きつくゲノム DNA の長さはおおよそ 150 bp であることが分かった。この実験を成立させるためには、DNA 分解酵素がどのような性質を持つ必要があるか、2 つ答えなさい。(10 点)
- (3) X 染色体不活性化に関連する以下の設問に答えなさい。(各 4 点、計 16 点)
 - (a) 性染色体構成が XX の細胞は、父親由来と母親由来の X 染色体を 1 本ずつ持つ。胚組織細胞においては、三胚葉性の組織への分化後、どちらの X 染色体が不活性化されるか答えなさい。
 - (b) ヒトの X 連鎖性遺伝性疾患では、浸透度が 100% であれば男性の異常遺伝子保因者は 100% 発症する。その理由を答えなさい。
 - (c) ヒトの X 連鎖性遺伝性疾患では、女性の異常遺伝子保因者の多くの組織(臓器)を構成する細胞は、異常遺伝子を発現しているかどうか不均質となる。その理由を答えなさい。
 - (d) 女性の X 連鎖性遺伝性疾患患者のある組織(臓器)を構成する細胞は均質であり、全ての細胞で正常遺伝子を発現していた。その理由として考えられる可能性を答えなさい。
- (4) 遺伝子 *a* は、そのコアプロモーターの上流 500 bp 以内の領域に転写調節因子 B が結合することで転写が誘導される。設問(2)と同様に DNA 分解酵素を用い、遺伝子 *a* の上流領域内の B が結合する位置を 6-12 bp 程度の範囲内に決定したい。十分量の B は精製済みである。どのような実験を行えば良いか答えなさい。(14 点)

問題番号 [5] <細胞生物>

(1) 以下の各々の文章に関して、正解であれば○、間違いであれば×として誤った箇所を指摘し訂正しなさい。(各3点、計45点)

- (a) 地球上の細胞の中で最も多様で数が多いのは真核細胞である。
- (b) タンパク質に含まれるアミノ酸のうち、リシン・アルギニン・プロリンは塩基性側鎖を持つ。
- (c) 核膜孔における輸送では、インポーチンなどの核内搬入受容体と Rab-GTP が働く。
- (d) 7 回膜貫通型タンパク質の小胞体への輸送では 3 組の開始シグナル配列と停止シグナル配列に加え、最後に開始シグナル配列が必要である。
- (e) 小胞体内腔で、多くのタンパク質は硫酸基の付加を受ける。
- (f) 小胞体に蓄積された異常なタンパク質は、小胞体内のプロテアソームで分解される。
- (g) 小胞体からゴルジ体へのタンパク質輸送で、出芽に使われる被覆小胞のコートタンパク質はクラスリンである。
- (h) 小胞体とゴルジ体の間の小胞輸送において、SNARE は 3 分子からなる複合体を形成して膜融合に働く。
- (i) リソソームは、内腔の pH が 5 以下であり、酸化酵素が豊富に存在する。
- (j) ミトコンドリアの酸化的リン酸化に働く複合体はマトリックスに存在する。
- (k) 伸張する微小管のプラス端にはチューブリン分子が付加し ATP キャップを形成する。
- (l) 培養細胞に Rho 活性型を注入すると葉状仮足形成が認められる。
- (m) 肝臓組織を用いたミトコンドリアやゴルジ体の分画法において、細胞膜を破って細胞内小器官を出すために、低浸透圧の緩衝液中でメッシュを用いて組織を破碎する。
- (n) SDS-PAGE 電気泳動法では、SDS-蛋白質複合体を多孔ゲルの中で陰極方向に移動させ分離している。
- (o) 光学顕微鏡（ケーラー照明）において、開口絞りを絞ると、明るさ・分解能・コントラストが低下する。

(2) 中間径フィラメント上を動くモーターは知られていない。その理由を考察しなさい。
(5点)

問題番号 [6] <細胞生物>

以下の問いに答えなさい。(計 50 点)

(1) 血糖値の調節に関する以下の文を読み、(a)～(c)の設問に答えなさい。(計 25 点)
膵臓(ア)細胞の細胞膜には、グルコース輸送担体(b)が存在し、体液中グルコースの濃度に依存してグルコースが細胞に取り込まれる。グルコースが代謝されて細胞内の ATP 濃度が上昇すると、ATP 依存性 K^+ チャネルが閉口する。すると(イ)からの K^+ の(ウ)が減少するため、細胞膜の膜電位は(エ)する。それによって電位依存性 Ca^{2+} チャネルが開口して、細胞内 Ca^{2+} 濃度の(オ)によってインスリンを含む分泌小胞の開口放出(c)が起こる。

(a)文中の(ア)～(オ)に入る適切な語句を答えなさい。(各 3 点、計 15 点)

(b)この輸送担体の輸送方式を答えなさい。(5 点)

(c)Rac1 に対する RNAi によって開口放出が抑制された。この開口放出に寄与する細胞骨格の名称を答えなさい。(5 点)

(2) 筋肉におけるグルコースの取り込みに関する以下の文を読み、(a)～(e)の設問に答えなさい。(計 25 点)

インスリンが筋肉細胞のインスリン受容体(a)に結合すると、受容体の細胞質側に結合しているチロシンキナーゼによって、受容体のチロシン残基(b)がリン酸化されて活性化する。この信号をもとに通常は細胞内に存在するグルコース輸送担体が細胞膜に移動(c)してグルコースの取り込みを増加させる。取り込まれたグルコースは ATP に変換され、筋肉の収縮(d)と弛緩(e)に利用される。

(a) この受容体タンパク質は何回膜を貫通しているか答えなさい。(5 点)

(b) チロシン側鎖の構造式を書きなさい。(5 点)

(c) サイトカラシンを作用させると移動が停止した。この移動に寄与するモータータンパク質の名称を答えなさい。(5 点)

(d) 骨格筋の筋収縮におけるトロポミオシンとトロポニンの役割を 5 行程度で説明しなさい。(5 点)

(e) 骨格筋の弛緩には筋小胞体の輸送担体が機能する。この輸送担体の役割を 3 行程度で説明しなさい。(5 点)

問題番号 [7] <発生生物学>

次の文章を読んで、以下の問いに答えなさい。(計 50 点)

四足動物の四肢は発生中に生じる (a) と呼ばれる原基に由来する。(a) は外胚葉由来の (b) に、(c) 中胚葉由来の間充織細胞が包まれた単純な構造である。四肢の骨は (c) 中胚葉由来であるが、四肢の筋肉は全て (d) 中胚葉由来である。すなわち四肢の筋肉前駆細胞は移動して (a) の内に配置する。(a) の前後軸は、後側の (e) と呼ばれる細胞集団で特異的に発現し、分泌される (f) によって極性化される。

- (1) 以下の文章中の (a) ~ (f) 内に適切な単語を記入して文章を完成させなさい。(各 3 点、計 18 点)
- (2) (f) タンパク質はモルフォゲンと考えられている。モルフォゲンを簡単に説明しなさい。(10 点)
- (3) あるタンパク質がモルフォゲンであることを証明するためにはどのような実験を行い、どのような結果が得られればよいかを答えなさい。(11 点)
- (4) 文中の下線で示されるように、ある組織・細胞集団特異的に遺伝子発現が増強されるメカニズムについて、ゲノムの構造変化を念頭に入れて、以下の単語を全て用いて説明しなさい。(11 点)
(メディエーター、プロモーター、基本転写因子、ループ構造、RNA ポリメラーゼ II、エンハンサー、組織特異的転写因子、ゲノム DNA)

問題番号〔8〕＜植物生理学＞

次の問いに答えなさい。(計 50 点)

(1) 植物の水環境応答について、以下の問いに答えなさい。(計 24 点)

(a) 植物が土壌から水を吸い上げ、葉まで押し上げるしくみについて 140 字程度で説明しなさい。ただし、以下の 3 つの語句を全て用いること。(12 点)

気孔、浸透圧、根

(b) 植物は水不足や乾燥を感知すると、乾燥耐性を高めて適応しようとする。主要な乾燥耐性のしくみを 3 つあげ、それぞれ 15 字程度で記述しなさい。(12 点)

(2) 葉緑体の特徴について、以下の問いに答えなさい。(計 26 点)

(a) 葉緑体は、光合成能力をもつ原核生物が真核生物の祖先に取り込まれ共生して生じたと考えられている。葉緑体が共生起源であると考えられる根拠を、現在の葉緑体の特徴をもとに、3 つあげなさい。(6 点)

(b) 葉緑体において行われる光合成の過程では、チラコイド膜上で行われる電子伝達により、チラコイド膜の内外にプロトン (H^+) の濃度勾配が生じ、それを利用して ATP の合成が行われる。このような ATP 合成と共役した電子伝達はミトコンドリアで行われる呼吸においても行われる。両者の違いを 140 字程度で説明しなさい。ただし、光化学系 I/II や呼吸鎖複合体などの電子伝達成分の違いは含めない。また、以下の 2 つの語句を両方用いること。(10 点)

光エネルギー、酸化還元反応

(c) 葉緑体の形成と機能を制御するしくみの 1 つである「レトログレードシグナル」について、80 字程度で説明しなさい。(10 点)

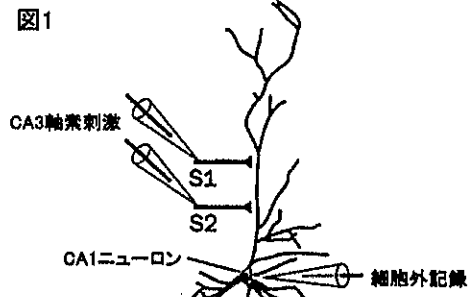
問題番号 [9] <神経生物学>

長期増強 (LTP) に関する以下の問いに答えなさい。(計 50 点)

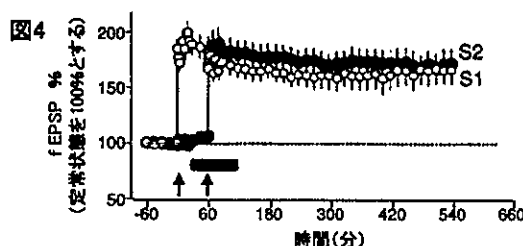
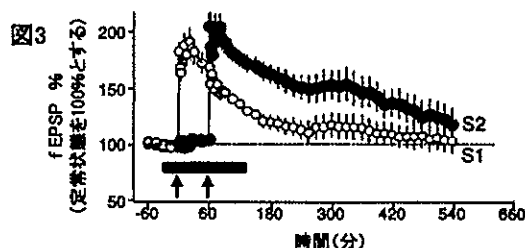
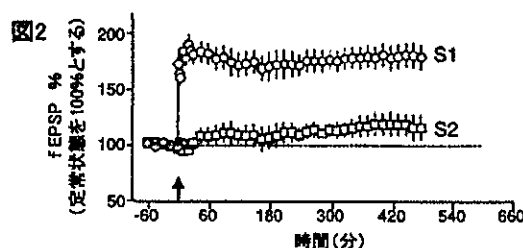
- (1) 海馬 CA3→CA1 間シナプス (シャッフアー側枝経路) における LTP 形成の分子機構について、下記の語句を全て用いて説明しなさい (15 点)

AMPA 受容体、NMDA 受容体、グルタミン酸、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Na^{+}

- (2) 海馬スライス標本内で、同一の CA1 ニューロンに入力する異なる CA3→CA1 シナプスを刺激できるようにし (刺激電極 S1、S2)、細胞外記録電極で興奮性シナプス後フィールド电位 (fEPSP) を測定した (図 1)。



- (a) 刺激電極 S1 だけに高頻度刺激 (100Hz) を与え、S1 ないし S2 への単発刺激に対する fEPSP を測定した結果を図 2 に示す。この実験結果が示す LTP の性質について述べなさい。(10 点)
- (b) S1 の高頻度刺激の 1 時間後に S2 の高頻度刺激を行った。ただし、S1 高頻度刺激の 25 分前から S2 高頻度刺激の 1 時間後まで、タンパク質合成阻害薬をスライスに投与した。S1 ないし S2 への単発刺激に対する fEPSP を測定した結果を図 3 に示す。この実験結果から考えられる LTP とタンパク質合成の関係について述べなさい。(10 点)
- (c) S1 の高頻度刺激の 1 時間後に S2 の高頻度刺激を行った。ただし、S1 高頻度刺激の 35 分後から S2 高頻度刺激の 1 時間後まで、タンパク質合成阻害薬をスライスに投与した。S1 ないし S2 への単発刺激に対する fEPSP を測定した結果を図 4 に示す。図 2 および図 3 の結果も踏まえて、この実験結果を説明する細胞内の分子機構について述べなさい。(15 点)



問題番号 [1 0] <神経生物学>

次の文章を読んで、以下の問いに答えなさい。(計 50 点)

皮膚や筋肉に存在する体性感覚受容器官の求心性軸索は、その性質をもとに 4 種類に分類される (表 1)。

表 1

軸索の種類	A α	A β	A δ	C
髄鞘	有髄 (厚)	有髄 (厚)	有髄 (薄)	無髄
直径 (μm)	13-20	6-12	1-5	0.2-1.5
感覚受容器	骨格筋の 固有感覚受容器	皮膚の 機械受容器	痛覚、温度覚	温度覚、痛覚、 かゆみ

- (1) 髄鞘の構造を説明しなさい。また、髄鞘の形成に関わる細胞の役割の違いについて説明しなさい。(10 点)
- (2) 表 1 の中で活動電位の伝導速度が最も速い軸索はどれかを述べ、速い伝導速度を可能にする仕組みについて説明しなさい。(10 点)
- (3) 接触刺激によって機械受容細胞が興奮する仕組みを説明しなさい。(10 点)
- (4) もし骨格筋の固有感覚受容器の軸索が C のタイプであった場合、生存上どのような不利が生じるかを推察しなさい。(5 点)
- (5) ヒトの場合、指先で触ると物体表面の細かい凹凸を識別しやすい。この高い空間識別能に必要な条件を 3 つ以上述べなさい。(15 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) ワルファリン (抗凝血剤) は殺鼠剤としても使用される。ワルファリンに対するラットの抵抗性アレルは、ホモ接合体ではビタミン K の欠乏を生じて 50% の個体が死亡する。ヘテロ接合体はワルファリン抵抗性を持ち、ビタミン K 欠乏症にもならない。長期間にわたってワルファリンを散布している地域の野生ラット集団で、抵抗性アレルの頻度が 0.30 で平衡に達していた。集団は十分に大きく、任意交配をしており、突然変異は考えないとする。以下の問いに答えなさい (指定より小さいケタは四捨五入すること) (計 25 点)

- この集団におけるワルファリン感受性個体への淘汰係数を答えなさい。小数で答える場合は小数点以下 3 ケタまで答えること。(5 点)
- この集団において、ビタミン K の欠乏症およびワルファリンの 2 つの淘汰圧によって死亡するラットの合計の割合を計算し 2 ケタのパーセントで答えなさい。(10 点)
- この集団でワルファリン散布をやめたとき、一世代後におけるワルファリン抵抗性アレルの頻度を計算し 2 ケタのパーセントで答えなさい。(10 点)

(2) Sturtevant はキイロシヨウジヨウバエの伴性劣性 (潜性) 変異をもちいて、初めて遺伝地図を作成した。この実験の交配様式と結果を改変して下図に示した。図中の遺伝子記号の + は野生型のアレル、 y は黄体色、 m は短翅、 v は鮮紅色眼、 w は白眼、 w^e は白眼のアレルで薄い色の眼を示す。G₂ 世代で分離した表現型は個体数とともに示している。この図を元に以下の問いに答えなさい。(計 25 点)

- 交配 A および交配 B の G₂ 世代で分離した各表現型の個体数から、変異間の組換え率を求め、その上でこれらの実験結果を統合し、5 つの変異についての遺伝地図を図示しなさい。(10 点)

- 交配 B では、なぜ w ではなく、 w^e を使っているのか理由を説明しなさい。(3 点)

- Muller による変異の類型では、 w と w^e はそれぞれ何モルフに相当すると考えられるか。(各 3 点、計 6 点)

- G₂ 世代で得られた、様々な遺伝子型のオスの X 染色体を、そのままの状態で維持するにはどのような方法があるか。2 つ挙げなさい。(各 3 点、計 6 点)

	交配 A	交配 B
G ₀	♀ $y m w$ × + + + ♂	♀ $v m w^e$ × + + + ♂
G ₁	♀ x ↓ ♂ $y m w$	♀ x ↓ ♂ $v m w^e$
G ₂	$y m w$ 327 + + + 338 $y + w$ 168 + m + 157 $y + +$ 5 + $m w$ 3 $y m +$ 0 + + w 2	$v m w^e$ 342 + + + 335 + + w^e 150 $v m +$ 143 $v + w^e$ 11 + $m +$ 15 + $m w^e$ 2 $v + +$ 2

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) 集団から祖先配列が既知の図 1 に示す 6 つのハプロタイプを得た。このハプロタイプ領域において、遺伝子機能に関わる星印のついた SNP (single nucleotide polymorphism) サイトが正の自然選択の標的となっている。これらのハプロタイプに関する以下の質問に答えなさい。(計 25 点)

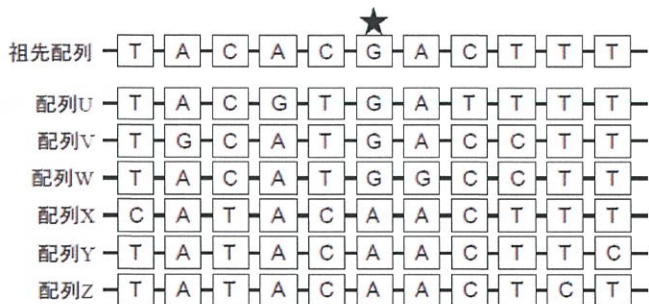


図1 ハプロタイプ配列

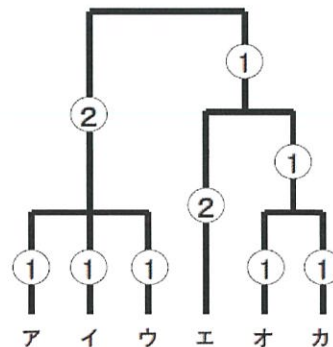
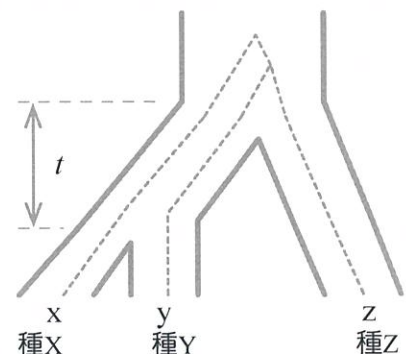


図2 ハプロタイプ系統樹

- (a) 6 つのハプロタイプの系統樹として図 2 が得られた。数字は各枝に生じた変異の数を示す。図 2 の (ア) ~ (カ) に該当する、図 1 の配列のアルファベット (U ~ Z) を答えなさい。なお (ア) ~ (ウ)、および、(オ) と (カ) はアルファベット順に記載すること。(各 1 点 計 6 点)
- (b) ハプロタイプ領域の突然変異率が、領域あたり年あたり 1.0×10^{-4} であるとき、図 2 のア、イ、ウに至る系統とエ、オ、カに至る系統の分岐年代を求めなさい。計算にあたっては分子時計が成り立つと仮定すること。(2 点)
- (c) 星印のついた SNP サイトにおいて、祖先型アレル (ancestral allele) と派生型アレル (derived allele) のどちらに正の自然選択が働いているのかを答えなさい。(2 点)
- (d) (c) の判断の根拠となる、正の自然選択が働いた場合に観察される、系統樹の樹形や配列間の相同性の特徴をあげ、そうなる理由について 200 字をめどに記述しなさい。なお採点において字数は厳密には問わない [(e) も同様]。(8 点)
- (e) 図 2 の系統樹の各枝の分岐年代をもとに、正の自然選択が働き始めたおおよその年代について 200 字をめどに考察しなさい。(7 点)

- (2) 雌雄同体の二倍体生物を考える。集団の個体数は N で、十分に大きいものとする。任意交配を仮定し、常染色体上の中立な領域に注目する。(計 25 点)

- (a) 集団中からランダムにサンプルされた二つのアレルが、一世代まえに共通の祖先を持つ確率を求めなさい。(5 点)
- (b) 二つのアレルが t 世代のあいだ共通祖先に到達しない確率を求めなさい。(5 点)
- (c) 単一の集団からランダムにサンプルされた三つのアレルをそれぞれ a、b、c で表す。アレル a-b 間の関係が、a-c 間や b-c 間よりも近縁である確率を求めなさい。(5 点)
- (d) 図のような三種 X、Y、Z の関係を考え、各種からサンプルしたアレルをそれぞれ x、y、z で表す。種 Z と種 X-Y の共通祖先集団の分岐から種 X と種 Y の分岐までを t 世代とし、種 X と種 Y の共通祖先集団の個体数を N とする。x、y、z の遺伝子の系図と種の系統樹が異なる確率を、 N と t を用いて求めなさい。(10 点)



問題番号 [1 3] <生態学>

個体群の増殖（成長あるいは生長とも呼ぶ）についての以下の文章を読み、（１）から（６）の問いに答えなさい。（計 50 点）

齢別生存率（ l_x ）および齢別出生数（ m_x ）と瞬間増殖率（マルサス係数）の間には、瞬間増殖率を r とすると、Lotka の式あるいは Lotka-Euler の式などと呼ばれる、以下の式 1 が成り立つことが知られている。

$$1 = \sum_{x=0}^{\infty} (l_x m_x e^{-rx})$$

式 1

ここで x は齢を表す。

（１）純繁殖率（通常、記号 R_0 で表される。純増殖率と呼ばれることもある）は、１個体が一生の間に平均してどれだけの子を残すかを表す値である。純繁殖率を、 l_x および m_x を使って表しなさい。（10 点）

（２） l_x を x に対してプロットしたグラフを何と呼ぶか、答えなさい。（3 点）

（３）瞬間増殖率（マルサス係数）すなわち式 1 の r は、負の値をとることがある。 r が負であるとき、個体数はどのように変化するか、30 字以内で説明しなさい。（9 点）

（４） l_x および m_x が以下の(i)の値をとるときおよび(ii)の値をとるときのそれぞれについて、 r の値が正であるか 0 であるか負であるかを答え、 r の値を求めなさい。なお、 r の値を求める際には、対数、たとえば $\log(2.1)$ の値は計算せず、 $\log(2.1)$ のままで答えなさい。（8 点）

(i) $l_0 = 1$ 、 $l_1 = 0.9$ 、 $l_2 = 0.6$ 、 $l_3 = 0.3$ 、 $l_4 = 0$ 、 $m_0 = 0$ 、 $m_1 = 0$ 、 $m_2 = 0$ 、 $m_3 = 4.1$ 、 $m_4 = 0$

(ii) $l_0 = 1$ 、 $l_1 = 0.5$ 、 $l_2 = 0.2$ 、 $l_3 = 0$ 、 $m_0 = 0$ 、 $m_1 = 0$ 、 $m_2 = 4.4$ 、 $m_3 = 0$

（５）個体数が変化しても l_x および m_x が一定なら、瞬間増殖率 r は一定の値をとる。 r が一定であるような増殖の様式を何と呼ぶか答えなさい。（4 点）

（６）上記の（５）で述べたような、 r が一定である増殖をしている個体群において、最初の時点とくらべて時間 T 経過後には個体数が 400 増加したとする。この時点からさらに時間 T 経過したとき（すなわち最初の時点の $2T$ 後である）、個体数は増加するか減少するか変化しないか、を答えなさい。また、増加あるいは減少する場合には、変化の大きさは最初の時点からの時間 T における変化である 400 と比べてどのようなものであるか説明しなさい。

（16 点）

問題番号 [1 4] <生態学>

以下の問い (1)、(2) に答えなさい。(計 50 点)

(1) 物質循環に関する以下の設問に答えなさい。(計 30 点)

炭素、窒素、リンなどの元素は、生産者により無機物から有機物に取り入れられ、分解によって無機物に戻されるプロセスにより生態系の中を循環する。光エネルギーを利用した (ア) や無機物のエネルギーを利用した (イ) により有機物をつくりだす生産者は、自身が必要とする有機物を自らつくり出すので (ウ) 生物という。動物などの消費者は、(ウ) がつくり出した有機物に依存するので、(エ) 生物という。炭素の循環に関わっている生物作用では、(ア) と (オ) が最も重要なプロセスである。

(a) 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)

(b) 生態系では、食べる-食べられるの関係を通して、エネルギーや物質が生物間で受け渡されている。生態系を構成する生物の資源利用の関係を明らかにする手法に、炭素と窒素の安定同位体を用いた食物網解析がある。この分析手法の原理について、安定同位体の比率、生物濃縮、栄養段階、のすべての語句を用いて 150 字の範囲で説明しなさい。(10 点)

(c) 有機物の微生物による分解過程において、発酵の一般的な終産物であるエタノールと二酸化炭素から酢酸とメタンが生成されるプロセスがある。この反応は酢酸菌とメタン生成菌の 2 種類の微生物によって行われているが、このような共生関係を何と呼ぶか答えなさい。また、標準的な生化学的条件下において酢酸菌による酢酸と水素ガスの生成反応の進行は熱力学的に不可能であるが、2 種の共生関係では、この反応は進行し微生物がエネルギーを得て増殖できる理由を簡潔に説明しなさい。(10 点)

(2) 生物集団の個体数の変化は、密度が大きくなると、個体群の成長率が低下するとき、以下のロジスティック方程式で表すことができる。ここで、 N は個体数、 t は時刻、 K は環境収容力、 r は内的自然増加率である。以下の設問に答えなさい。(計 20 点)

$$\frac{dN}{dt} = r \left(1 - \frac{N}{K} \right) N$$

(a) このロジスティック方程式が表す個体数増加曲線を、縦軸に N 、横軸に t をとったグラフに図示しなさい。また、環境収容力 (K) はグラフのどこにあたるかも図示すること。(7 点)

(b) r - K 選択説では、 r 戦略者と K 戦略者がそれぞれどのような環境条件でどのような特徴を進化させたのか、種内競争、死亡率、環境の変動、のすべての語句を用いて 150 字の範囲で説明しなさい。(13 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 [英語/ラテン語と指示してある場合以外]。文法などの間違いは採点に影響しない。)

Choose TWO topics from the following five and discuss. Within each chosen topic, mention at least one organism (or group of organisms) and indicate its phylum or class in Latin/English. (25 points each, total 50 points)

- (1) Reasons why sessile animals dominate in the sea
- (2) Morphological and ecological characteristics of hard corals
- (3) Ecological roles of large marine predators
- (4) Interspecific interactions in intertidal systems
- (5) Various feeding modes in marine organisms

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 [英語/ラテン語と指示してある場合以外]。文法などの間違いは採点に影響しない。)

Answer the following two questions. (25 points each, total 50 points)

- (1) Some marine organisms release gametes into the water column. Give an example and consider what mechanisms increase fertilization success.
- (2) Discuss how the species diversity of marine organisms (selected groups of your choice) varies at large spatial scales.

問題番号 [1 7] <数理生物>

生物の個体数変化を単純化して表現した以下の数理モデルは、ロジスティック写像と呼ばれる。

$$x_{n+1} = f(x_n) = a(1 - x_n)x_n$$

ここで x_n は時間 n における生物の個体数であり、 a は内的自然増殖率である。

以下の問いに答えなさい。(計 50 点)

- (1) 平衡状態をすべて求めなさい。(10 点)
- (2) 各平衡点について線形安定性を求めなさい。(10 点)
- (3) 次に、以下のように x_1 と x_2 の個体数が繰り返し現れる 2 周期解を考える。

$$x_2 = ax_1(1 - x_1), x_1 = ax_2(1 - x_2)$$

ここで x_1 を x としたとき、 x は以下の 4 次方程式を満たす。

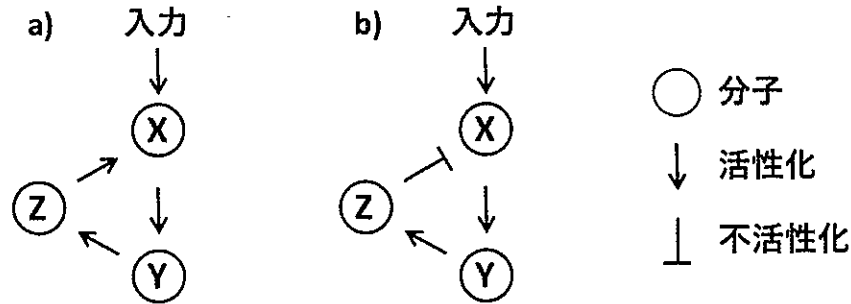
$$x = a^2x(1 - x)(1 - ax(1 - x))$$

上の方程式を x について解き、(1) と異なる解を x_1 および x_2 として求めなさい。(10 点)

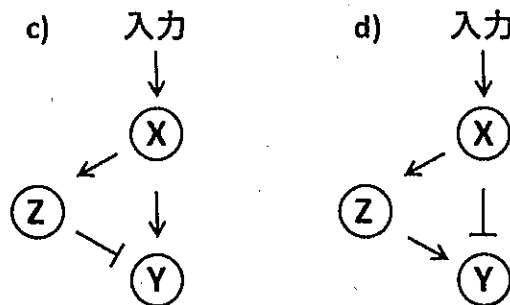
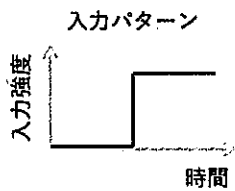
- (4) x_1 と x_2 の個体数が繰り返し現れる 2 周期解が安定である条件を、以下の手順で求めなさい。
 - (a) $x = f(f(x)) = g(x)$ とする。 $g(x)$ を縦軸に x を横軸にとったグラフを描き、(3) で求めた解をプロットしなさい。(5 点)
 - (b) x_1 と x_2 で 2 周期解が安定であるためには、 $x = x_1$ におけるグラフの傾きの絶対値が 1 より小さい必要がある。この条件をもとに、2 周期解が安定であるために内的自然増殖率 a が満たすべき条件を求めなさい。(5 点)
- (5) 内的自然増殖率 a が増加し (4) で求めた条件が満たされなくなると、何が起こるかを説明しなさい。(10 点)

問題番号[18] <情報生物学>

細胞内の分子が作り出すネットワークには応答の制御に重要であると考えられるいくつかのネットワークモチーフが存在する。下記の図のネットワークモチーフについて以下の問いに答えよ。(計 50 点)



- (1) a), b) のネットワークモチーフをそれぞれ何というか答えなさい。(各 5 点、計 10 点)
- (2) a), b) の制御に対応する生命現象を挙げて (各 5 点、計 10 点)、生命現象に対する a), b) の制御の意義を簡潔に説明しなさい。(各 10 点、計 20 点)



- (3) c), d) のネットワークモチーフはどちらもインコヒーレントフィードフォワードループと呼ばれる。しかし、生体内では c) の出現頻度の方がかなり多い。その理由を入力が 0 からの一定刺激 (ステップ関数) に対する Y の活性化のパターンに注目して簡潔に説明しなさい。ただし、Y の活性化量の初期値は 0 とする。(10 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) 次の (a) から (b) に答えなさい。

定数行列 $\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 3 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix}$ 、定数ベクトル $\mathbf{b} = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$ を用いて、実変数ベクトル $\mathbf{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$ に対するベクトル関数 $f(\mathbf{x})$ を、

$$f(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} \mathbf{x}^T \mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{b}^T \mathbf{x} \quad \text{①}$$

と定義する。

(a) ①の偏導関数 $\frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2}$ をそれぞれ求めなさい。ただし、 $(\cdot)^T$ は (\cdot) の転置を表すとする。

(10 点)

(b) ①が最小となる点、および、その最小値を求めなさい。(10 点)

(2) 次の (a) から (c) に答えなさい。

(a) 常微分方程式

$$\frac{dy}{dt} = b - ay, y(t=0) = 0$$

を解いて、 $y(t), t \geq 0$ を求めなさい。ただし、 a, b は正の定数とする。(10 点)

(b) 常微分方程式

$$\frac{dy}{dt} = \sin(t) - ay, y(t=0) = 0 \quad \text{②}$$

を解いて、 $y(t), t \geq 0$ を求めなさい。ただし、 a は正の定数とする。(10 点)

(c) ②の $t \rightarrow \infty$ における定常解は、三角関数となる。定常解となる三角関数の振幅と位相を求めなさい。(10 点)