

## 平成 29 年度システム生命科学府生物関係 3 講座

(生命医科学、分子生命科学、生命理学)

### 専門科目・筆記試験 問題

以下のページの 11 科目(生化学、分子遺伝学、細胞生物学、発生生物学、植物生理学、神経生物学、遺伝学及び集団遺伝学、生態学、海洋生物学、数理生物学、情報生物学)の中から任意に 2 科目を選択すること。(配点各 100 点)

解答は、各科目の専門科目・筆記試験問題の(注意)にしたがって答案用紙に記入すること。

## 生化学（1／2）

（注意）問題 [1] [2] はそれぞれ別の答案用紙に解答すること。

[1] ワトソン・クリックの DNA 構造モデルに関する記述を読んで下記の問に答えなさい。（計 50 点）

DNA は、2 本のポリヌクレオチド鎖が共通軸を中心とした（ア）巻きの二重らせん構造をしており、2 本鎖の並びの向きは（イ）である。5 炭糖の（ウ）とリン酸からなる（エ）結合の骨格が外側にあり、内側に（オ）誘導体のアデニンとグアニン、および（カ）誘導体のシトシンとチミンの 4 種の塩基が含まれる。これらの塩基は相補的な関係にあり、（キ）結合で特異的な塩基対を形成している。塩基対はらせん軸に対して垂直であり、（ク）平板状に積み重なって配置されている。二重らせんの 1 巻き（1 回転）の長さは 3.4 nm である。ワトソン・クリックの DNA 構造モデルは（ク）を十分に含んだ DNA 繊維の X 線回折パターンに基づいており、（ケ）形 DNA らせん構造と呼ばれ、生理的条件下の DNA 構造と考えてよい。一方、（ク）の含量が少ない DNA の構造は、（コ）形 DNA らせん構造と呼ばれ、（ケ）形 DNA らせん構造よりも太く短く、塩基対はらせん軸に対して垂直ではなく、少し傾いている。

- (1) （ア）～（コ）に適当な用語を入れなさい。（各 3 点、計 30 点）
- (2) 下線（X）のように塩基が配置されることで、二重らせん構造の安定性が高められている。その安定性を高めている生化学的な相互作用について、説明しなさい。（6 点）
- (3) 下線（X）の積み重なった塩基対は、1 巻きあたり何対含まれるか。また、ヒトゲノムは約 3 ギガ塩基対から構成されているが、ヒト体細胞 1 個に含まれるすべての DNA を一本につないだ総延長を求めなさい。計算式も示すこと。（7 点）
- (4) 生理的条件下において、RNA の 2 本鎖領域や RNA-DNA ハイブリッドの一部は、下線（Y）の（コ）形 DNA らせん構造とよく似た構造をとることが知られている。その原因について、DNA と RNA の化学構造の違いをもとに説明しなさい。（7 点）

## 生化学（2／2）

（注意）問題 [1] [2] はそれぞれ別の答案用紙に解答すること。

[2] 以下の文を読み、問いに答えなさい。（計 50 点）

ヒトなどの哺乳動物では、食物として摂取したデンプンはグルコースまで消化され、消化管より吸収される。このグルコースは細胞に取り込まれたのち、解糖系によりピルビン酸に代謝される。酸素の供給が十分な場合、ピルビン酸はミトコンドリアへ移送され、TCA サイクルを駆動するために用いられる。そしてその後、酸化リン酸化反応により多量の ATP が合成されることとなる。一方、動物個体が過剰な栄養状態に置かれると、吸収したグルコースをグリコーゲンならびに脂肪として体内に蓄積する。

- (1) 短距離走のように瞬時に多量のエネルギーを消費する筋細胞では酸素の供給が追いつかないため、解糖系で生じたピルビン酸は、別の物質 A に代謝される。その際、解糖系を継続させるために物質 B が再生産される。A と B の物質名を答えなさい。（各 5 点、計 10 点）
- (2) 細胞は TCA サイクルから酸化リン酸化の過程で酸素を消費し、二酸化炭素を生成する。生じた二酸化炭素は、肺より呼気として排出される。細胞内で生じた二酸化炭素が肺より排出される主要な過程を説明しなさい。説明にあたっては、この過程に関わる酵素名をあげて、末梢（二酸化炭素を生成した細胞）と肺でどのような反応を行うかを述べなさい。（10 点）
- (3) 代表的な貯蔵脂肪の名称とその構造式（脂肪酸に由来するアルキル基の詳細な構造は問わない）を答えなさい。（10 点）
- (4) グルコースが脂肪酸に変換されるためにはピルビン酸からアセチル-CoA が生成されなければならない。以下はこの生成過程を説明した文章である。文章中の (a) から (d) に当てはまる語句を答えなさい。（各 5 点、計 20 点）

ピルビン酸は輸送体によってミトコンドリア内に移動し、(a) 酵素による反応でアセチル-CoA を生じる。アセチル-CoA はミトコンドリアから細胞質へ移動できない。そこで、(b) 酵素がアセチル-CoA とオキサロ酢酸から (c) を生成する。(c) が (c) 輸送体を経由し、細胞質へ移動する。(c) は細胞質の (d) 酵素によって、1 分子の ATP を消費しつつ、アセチル-CoA とオキサロ酢酸を生成する。以上の過程を通じ、細胞質のピルビン酸はミトコンドリアの TCA サイクルの一部を経由して、細胞質にアセチル-CoA を生成する。

## 分子遺伝学（1 / 3）

（注意）問題 [1] [2] [3] はそれぞれ別の答案用紙に解答すること。

[1] DNA の複製に関する以下の問いに答えなさい。（計 40 点）

(1) DNA の複製は、二本鎖 DNA 塩基間の水素結合を切断して、二本鎖を一本鎖に引き離すところから始まる。

(a) 複製が始まる時に、DNA が二本鎖から一本鎖に分離し始める DNA 領域の名称を答えなさい。（3 点）

(b) 真核生物の染色体では (a) の領域が複数存在し、順を追って活性化されるが、その順序はある程度 (a) の領域のクロマチン構造に依存している。クロマチン構造と複製を始める順序との関係について説明しなさい。（5 点）

(2) DNA の複製時に、未複製の二本鎖 DNA が一本鎖に分離して 2 本の娘 DNA 二本鎖が形成される境界部分の構造を複製フォークという。

(a) 複製フォークにおいて未複製の DNA の二本鎖を分離させる酵素の名称を答えなさい。（5 点）

(b) 複製フォークの進行方向と同方向に動く DNA ポリメラーゼにより新たに合成される DNA 鎖の名称を答えなさい。（4 点）

(c) 複製フォークの進行方向と逆方向に動く DNA ポリメラーゼにより新たに合成される DNA 鎖の名称を答えなさい。（4 点）

また、この DNA 鎖を含む娘 DNA 二本鎖は、DNA ポリメラーゼが逆方向に進むのに関わらず、結果的に複製フォークの進行方向と同じ向きに伸長する。この仕組みを 3 行程度で説明しなさい。（8 点）

(3) 線状染色体の DNA 複製では、末端の複製に不都合が生じる末端複製問題がある。

(a) 末端複製問題は、DNA ポリメラーゼが持ち、RNA ポリメラーゼにはないある特徴が原因で生じる。この特徴を 1-2 行で説明しなさい。（6 点）

(b) 真核生物において末端複製問題を解決する染色体末端の反復配列を補充する酵素の名称を答えなさい。（5 点）

## 分子遺伝学（2／3）

（注意）問題 [1] [2] [3] はそれぞれ別の答案用紙に解答すること。

[2] 真核生物のタンパク質の翻訳過程について、以下の問いに答えなさい。（計 30 点）

(1) リボソームは 60S, 40S の大、小 2 つのサブユニットで構成される。mRNA の翻訳の開始に必要な mRNA 上の構造にリボソームが結合し、翻訳を開始するまでの過程を、関与する mRNA 上の構造、リボソームの各サブユニットの結合ステップ、関与する因子を挙げて、4 行程度で説明しなさい。（12 点）

(2) 翻訳は、遺伝暗号コドン単位として 20 種類のアミノ酸の配列に置きかえる過程である。コドンのうち 61 個が 20 種類のアミノ酸の翻訳に使われる。これに対して、コドンに対応するアンチコドンをコードする tRNA は、細胞あたり 40~50 種類しか存在しない。この限られた数のアンチコドンが複数のコドンに対応して翻訳が行なわれるしくみを説明しなさい。（8 点）

(3) アミノ酸に対応しない 3 つのコドンは翻訳の終止に使われる。リボソームが mRNA の終止コドンに到達して翻訳が完了する過程を、リボソームの機能部位、関与する因子を挙げて、3 行程度で説明しなさい。（10 点）

## 分子遺伝学（3 / 3）

（注意）問題 [1] [2] [3] はそれぞれ別の答案用紙に解答すること。

[3] 次の文を読み、以下の問いに答えなさい。（計 30 点）

出芽酵母を使って、細胞増殖に関わる細胞内シグナル経路の分子遺伝学的解析を行っている。出芽酵母は、複相（2N）と単相（N）とで増殖することができる。複相の細胞を特定の条件におくと、減数分裂がおきて 4 つの胞子が形成される。この胞子を顕微鏡下で一つずつ取り出して、増殖させることを四分子分析という。また、一定の条件の下で、単相の出芽酵母を掛け合わせると、複相になる。また、出芽酵母では、相同遺伝子組換えを使って、ゲノムの一部を欠損させることや、任意の配列に変化させることなどができる。遺伝子導入も、プラスミドを使って可能である。プラスミドとしては、1 つの細胞内に多数のプラスミドが保持される多コピーのプラスミドと、1 つの細胞内に 1 個のプラスミドのみ保持される 1 コピーのプラスミドとが使用できる。

温度感受性劣性変異 *a* を持つ単相の出芽酵母 A 株は、30℃では増殖できるが、38℃では増殖できない。この A 株に、出芽酵母の野生型の遺伝子を 1 つずつ、多コピーのプラスミドを使って遺伝子導入を行った。これらのプラスミドを持つ A 株のほとんどは、元の A 株と同じように 30℃では増殖できるが、38℃では増殖できなかった。ところが、*p* 遺伝子、*q* 遺伝子のいずれかを含むプラスミドを持つ A 株は、38℃でも増殖することがわかった。

この *p* 遺伝子、*q* 遺伝子について解析したところ、以下のような実験結果を得た。

- ① 野生株の *p* 遺伝子、*q* 遺伝子を、細胞内に 1 コピーのプラスミドを用いて、A 株に導入したところ、*p* 遺伝子を持っている A 株は 38℃でも増殖できたが、*q* 遺伝子を持っていても 38℃では増殖できなかった。
- ② A 株染色体上の *p* 遺伝子、*q* 遺伝子と遺伝子周辺の塩基配列を決定したところ、*p* 遺伝子には、ミスセンス変異があったが、*q* 遺伝子には野生型と異なっている点はなかった。
- ③ 野生型の複相の出芽酵母において、相同組み換えを用いて、片方の染色体のゲノム上の *p* 遺伝子を欠損させたヘテロ接合体株を作成したところ、野生型と同じように増殖した。そこで、このヘテロ接合体株に胞子を形成させ、四分子分析行って解析したところ、1 個のヘテロ接合体細胞から形成された 4 つの胞子のうち、2 つは増殖し、2 つは増殖しなかった。

（1）ミスセンス変異とは一般にどのような変異か説明しなさい。（4 点）

（2）実験③から *p* 遺伝子の欠損変異について、遺伝学的にどのようなことが言えるか、説明しなさい。また、そのことを確認するためにはどのような実験をしたら良いか説明しなさい。（10 点）

（3）温度感受性変異 *a* の原因遺伝子は、*p* 遺伝子であると予想される。このことを確認するための単相の野生型を用いた実験を考えて、説明しなさい。（8 点）

（4）野生型 *q* 遺伝子のコピー数が多い時だけ、A 株は 38℃で増殖できる。これはどのような理由によると考えられるか、説明しなさい。（8 点）

## 細胞生物学（1 / 2）

（注意）問題 [1] [2] [3] はそれぞれ別の答案用紙に解答すること。

[1] 細胞内小器官と細胞骨格の重要性が、基礎生物学のみならず医学においても近年強調されつつある。以下の設問に答えなさい。（計 35 点）

(1) 哺乳類細胞におけるゴルジ体の細胞内局在とその構造について述べなさい。（8 点）

(2) ゴルジ体内でのタンパク質の輸送に関して、複数のモデルを挙げて説明しなさい。（15 点）

(3) 以下の文章中の（ア）から（エ）に当てはまる中間径フィラメントの名称を答えなさい。（各 3 点）

中間径フィラメントは大まかに 4 種類に分類できる。細胞質に多く存在するものとして、筋細胞やグリア細胞に多く含まれる（ア）、上皮細胞に多く存在する（イ）があり、それらは病理において悪性度の判定に使われている。さらに神経細胞には（ウ）があり、これは神経病診断に利用されている。以上とは別に核内には、核膜を裏打ちする（エ）がある。

[2] 以下の文章を読んで設問に答えなさい。（計 30 点）

真核細胞の内部は細胞内膜によって複雑に分割され、細胞内小器官が形づくられている。このとき、それぞれの細胞内小器官内で働く酵素タンパク質のほとんどは細胞質で合成された後、それら自身が持つ（イ）局在化シグナルに従って（ロ）目的の細胞内小器官へ運び込まれる。また、これら酵素群の基質となる物質も細胞質で合成された後、それぞれが（ハ）特定の輸送体によって細胞小器官へ取り込まれる。

(1) 下線(イ)で示した局在化シグナルのアミノ酸配列の例を以下の(a)～(d)に挙げた。これらのうち、小胞体への局在及び核への局在に必要なシグナルとして最もふさわしいものをひとつずつ選び、記号で答えなさい。（8 点）

(a) -KDEL-COO<sup>-</sup> (b) -PPKKKRKV- (c) -SKL-COO<sup>-</sup>

(d) +H<sub>3</sub>N-MLSLRQSIRFFKPATRTLCSRYLL-

（ただし、+H<sub>3</sub>N はタンパク質の N 末端を、COO<sup>-</sup> は C 末端を示す）

(2) 下線(ロ)で、ある酵素タンパク質 X が目的とする細胞内小器官の膜表面ではなく膜を通過して内腔側へ輸送されたことを証明する実験系をひとつ考え、その実験手順と考え方を簡潔に解説しなさい。ただし細胞内小器官は完全な状態で単離できるものとする。（14 点）

(3) 下線(ハ)で示した輸送体が存在する細胞内小器官を細胞分画により調製し、その輸送基質 Y を加えたところ、Y の濃度勾配に逆らった輸送が観察され、細胞内小器官内に蓄積していった。この細胞内小器官を含む溶液の pH を下げると Y の取込み速度が増大したが、この輸送には ATP および Na<sup>+</sup>は必要なかった。また、膜の H<sup>+</sup>透過性を高める薬剤を加えるとこの輸送は阻害された。輸送基質 Y はどのようなしくみで細胞内小器官へ取り込まれたと考えられるか簡潔に説明しなさい。（8 点）

## 細胞生物学（2 / 2）

（注意）問題 [1] [2] [3] はそれぞれ別の答案用紙に解答すること。

[3] 受容体に関する以下の文章を読んで、設問に答えなさい。（計 35 点）

細胞の表面には様々な G タンパク質共役型受容体が存在し、外界からのシグナルを受容している。G タンパク質共役型受容体の細胞外領域にリガンドが結合すると受容体の細胞質領域で結合する G タンパク質が活性化する。G タンパク質は  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  の 3 種類のサブユニットから構成される。 $\alpha$  サブユニットは、リガンドによる刺激が無い状態では、(ア) が結合しているが、リガンドが受容体に結合すると受容体の構造変化が起こり、(ア) の代わりに (イ) が結合する。(イ) が結合した  $\alpha$  サブユニットは、 $\beta\gamma$  複合体から解離し、 $\alpha$  サブユニットおよび  $\beta\gamma$  複合体のそれぞれが細胞膜の標的タンパク質に作用することで細胞内にシグナル情報が伝達される。活性化された G タンパク質の標的分子として、代表的なものにアデニル酸環化酵素とホスホリパーゼ C がある。G タンパク質により活性化されたアデニル酸環化酵素は、2 次メッセンジャーである (ウ) の細胞質の濃度を上昇させてタンパク質キナーゼ A の活性化を引き起こす。ホスホリパーゼ C は細胞膜に存在するホスファチジルイノシトール 4, 5-二リン酸を (エ) と (オ) に分解し、(エ) は小胞体に存在するチャンネルに結合して開口し、細胞質の (カ) の濃度を上昇させる。タンパク質キナーゼ C に (オ) と (カ) が結合することにより、タンパク質キナーゼ C の活性化が起こる。これらのタンパク質キナーゼが標的となるタンパク質をリン酸化して活性を変化させることにより、細胞応答が引き起こされる。

(1) 文章中の (ア) から (カ) の空欄を埋めなさい。（各 2 点）

(2) リガンドが受容体から解離したあとに再び  $\alpha$  サブユニットが不活性な構造に戻る理由を簡潔に説明しなさい。（7 点）

(3) G タンパク質共役型受容体にリガンドが結合してタンパク質キナーゼ A が活性化してから数秒以内に細胞に応答が見られる場合と、数十分から数時間後に細胞に変化が観察される場合がある。タンパク質キナーゼ A がこのような遅い応答を引き起こす際に、細胞内部で起こっていることを簡潔に説明しなさい。（8 点）

(4) 活性化されたタンパク質キナーゼ A が、別のリン酸化酵素 X をリン酸化して活性化し、活性化されたリン酸化酵素 X がさらに次のリン酸化酵素 Y をリン酸化して活性化するということを繰り返しながら、シグナルが先に送られて、最終的な標的タンパク質のリン酸化に至る場合がある。このようなリン酸化の連鎖反応は細胞内情報伝達においてどのような意味を持つか、簡潔に説明しなさい。（8 点）

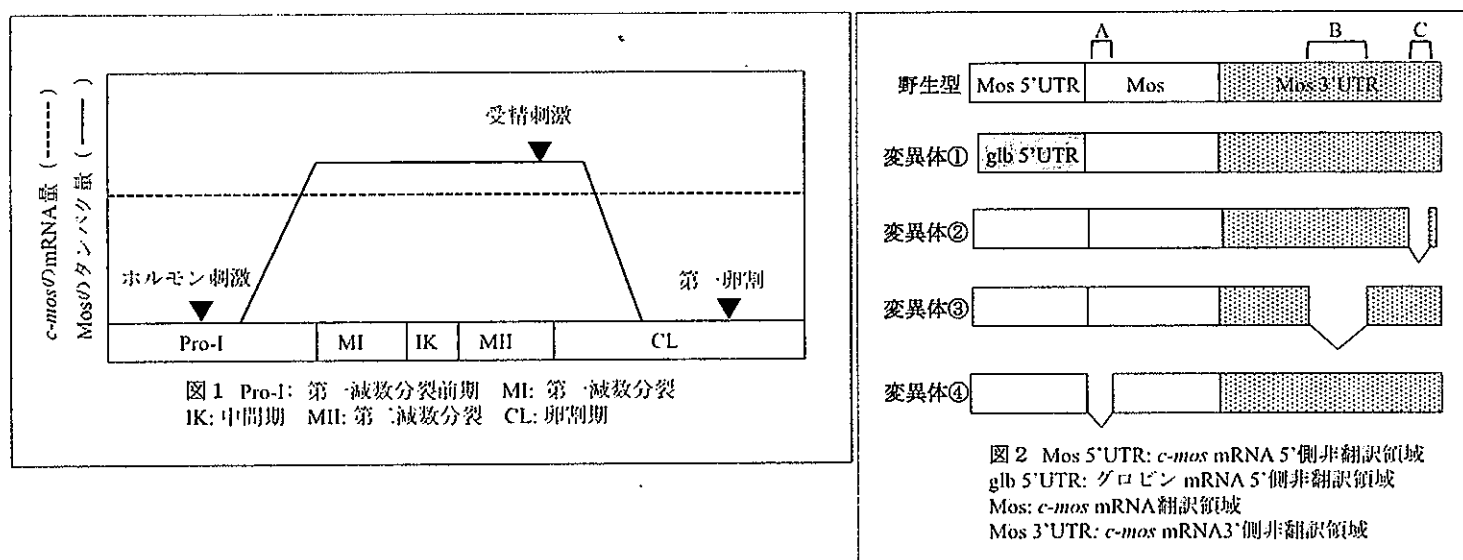


## 発生生物学（1 / 3）

（注意）問題 [1] [2] [3] はそれぞれ別の答案用紙に解答すること。

[1] 次の文章を読んで以下の問いに答えなさい。（計 40 点）

*c-mos* 原がん遺伝子の mRNA は母性 mRNA としてアフリカツメガエル卵内に蓄積されており、その mRNA は初期原腸胚期まで、ほぼ一定量で存在している。図 1 は *c-mos* mRNA とその翻訳産物である Mos タンパク質のアフリカツメガエル卵成熟過程と卵割期における量的変化を示したものである。Mos タンパク質の発現調節機構を調べるため、図 2 に示した各種 *c-mos* 変異体の合成 mRNA をアフリカツメガエル未成熟卵母細胞に注入し、（実験 1）から（実験 4）に示す実験を行った。



（実験 1）変異体①は *mos* の 5'側非翻訳領域をグロビン mRNA の 5'側非翻訳領域に変えたものである。変異体①の mRNA から翻訳された Mos タンパク質は、内在性 Mos タンパク質と同様なタンパク質量の変動を示した。

（実験 2）3' 側非翻訳領域内の C の領域を欠損した変異体②の mRNA から翻訳された Mos タンパク質は、ホルモン刺激を行っても全く検出できなかった。

（実験 3）3' 非翻訳領域内の B の領域を欠損した変異体③の mRNA から翻訳された Mos タンパク質は、ホルモン刺激を行うと検出された。この卵母細胞が第二減数分裂中期で停止した後に受精刺激を与えると、Mos タンパク質は一過的に検出されなくなった後、合成 mRNA から合成された Mos タンパク質が再び検出された。

（実験 4）*c-mos* mRNA の翻訳領域内にある A の領域を欠損した変異体④の mRNA から翻訳された Mos タンパク質は、ホルモン刺激を行うと検出された。この卵母細胞が第二減数分裂中期で停止した後に受精刺激を与えても、合成 mRNA から合成された Mos タンパク質の減少は観察されなかった。

（1）真核生物の mRNA 前駆体の 5'末端と 3'末端は、機能する mRNA となる際に、どのような修飾を受けるか答えなさい。（10 点）

（2）上記の実験結果から Mos タンパク質量のホルモン刺激後の増加および受精後の減少が、mRNA の A～C のどの領域により、翻訳前または翻訳後に調節されると考えられるか、答えなさい。（30 点）

## 発生生物学（2 / 3）

（注意）問題 [1] [2] [3] はそれぞれ別の答案用紙に解答すること。

[2] ショウジョウバエの卵において局在する母性 mRNA の中には、ビコイド (bicoid) mRNA やナノス (nanos) mRNA、hsp83 mRNA が含まれている。これらの、母性 mRNA の局在に関して以下の問いに答えなさい。（計 30 点）

- (1) 卵の前極に局在する mRNA はどれか、答えなさい。（4 点）
- (2) 生殖細胞の形成に関与する mRNA はどれか、答えなさい。（4 点）
- (3) hsp83 mRNA の局在の仕組み（過程）を以下のキーワードを全て使って簡潔に説明しなさい。（7 点）

アデニラーゼ (hsp83 mRNA を分解する酵素)、  
局在している保護タンパク質 (hsp83 mRNA を保護する)、  
転写、 遍在、 拡散、 トラップ、 卵細胞質

- (4) 野生型の雌ショウジョウバエの産んだ卵では、オスカータンパク質は卵の特定の部位に局在している。また、オスカーの遺伝子の機能喪失突然変異体の雌ショウジョウバエの産んだ卵では、ナノス mRNA が正常な局在を示さない。このことから推測できる、ナノス mRNA の局在の仕組みを簡潔に説明しなさい。（7 点）
- (5) 上記のオスカーの mRNA は、卵形成中に卵の前後方向に配向した微小管に沿ってその＋端に向かって卵の特定の極に輸送される。その時働くモータータンパク質は何か、答えなさい。（4 点）
- (6) (4)、(5) の記述から、卵の前後方向に配向した微小管は卵のどちらの方向に＋端を向いていると考えられるか、答えなさい。（4 点）

## 発生生物学（3 / 3）

（注意）問題 [1] [2] [3] はそれぞれ別の答案用紙に解答すること。

〔3〕脊椎動物の発生で表皮の外胚葉と神経板の間に形成される、第 4 の胚葉ともよばれる構造についての以下の問いに答えなさい。（計 30 点）

（1）この構造の名称を書きなさい。（2 点）

この構造から生まれた細胞は EMT を行ったあと、体のなかで活発に遊走して様々な部位で様々な細胞へと分化する。この細胞を以下では A 細胞と呼ぶことにする。

（2）EMT は何の略かを書き、EMT について簡単に説明しなさい。（4 点）

A 細胞で EMT がおきるには、カルシウム依存性の細胞接着分子の発現の変化が重要である。

（3）代表的な脊椎動物の細胞・細胞間の接着分子の名前を、その機能がカルシウムに依存するものと依存しないものそれぞれ 1 つずつ挙げなさい。（8 点）

（4）A 細胞と呼ぶことにした細胞の名称を書きなさい。（2 点）

（5）A 細胞は遊走先でどのような細胞に分化するか。その細胞名を 4 つ書きなさい。（4 点）

（6）A 細胞をマウスの中で可視化するために次のような 2 組のマウスを作製した。

なぜ、以下の①と②のマウスの交配で A 細胞が可視化できるのか、Cre の説明と loxP についての説明を必ず含めて解説しなさい。（10 点）

① A 細胞に特異的に発現することがわかっている遺伝子のプロモーター下流に Cre 遺伝子を接続した遺伝子を導入したトランスジェニックマウス

② Cre が発現すると、Cre が発現した細胞でだけ  $\beta$ -galactosidase または蛍光タンパク質を発現するトランスジェニックマウス

## 植物生理学（1 / 1）

（注意）問題 [1] [2] [3] はそれぞれ別の答案用紙に解答すること。

### 植物生理学

[1] 植物体内の物質輸送について以下の問いに答えなさい。（計 40 点）

- (1) 根による土壌からの物質吸収について、以下の語句を用いて 200～300 字で説明しなさい。用いた語句には下線を引きなさい。（20 点）

シンプラスト アポプラスト カスパリー線 内皮

- (2) 篩管における同化産物の輸送機構について、以下の語句を用いて 200～300 字で説明しなさい。用いた語句には下線を引きなさい。（20 点）

ソース器官（細胞） シンク器官（細胞） 篩管 伴細胞 水ポテンシャル

[2] 植物細胞に特徴的な細胞小器官である液胞について次の問いに答えなさい。（計 30 点）

- (1) 種子と葉肉組織で液胞の役割は異なる。それぞれの役割について簡潔に説明しなさい。（20 点）
- (2) 液胞の酸性化を担う酵素の名称を 2 つ答えなさい。（10 点）

[3] C4 植物と CAM 植物の共通点をあげ、その生理学的な意義を簡潔に述べなさい。（30 点）

## 神経生物学（1 / 1）

（注意）問題 [1] [2] はそれぞれ別の答案用紙に解答すること。

[1] 感覚に関する次の事項について、それぞれ図を描いて 100 字以内で説明しなさい。（各 15 点、計 60 点）

- （1）網膜の桿体の光感度が高い
- （2）錐体が色を識別する
- （3）嗅覚感度が鋭敏である
- （4）多種類の化学物質の匂いが識別できる

[2] マウス海馬神経細胞シナプスの可塑的性質に関する下記の問いに答えなさい。（計 40 点）

（1）海馬神経細胞シナプスにおける伝達物質はグルタミン酸である。このグルタミン酸を受容し、シナプス伝達を司るグルタミン酸受容体の名称（サブタイプ名）、およびこの受容体に対する阻害剤（アンタゴニスト）を 1 つ書きなさい。（各 5 点、10 点）

（2）海馬神経細胞シナプスはシナプス前線維に対する刺激の頻度に依存して、伝達効率が変化する可塑的性質を持っている。今、シナプス前線維に対して 100 Hz、1 秒の高頻度刺激を 1 回行ったとすると、高頻度刺激後神経伝達の効率にどのような変化が生じるか、またこの現象は何と呼ばれているか書きなさい。（各 5 点、10 点）

（3）上記（2）の現象は、高頻度刺激時に次の処置を行うとその発現が抑制された。

- A) 細胞外液に D-AP5 (D-2-Amino-5-phosphonopentanoic acid) を投与する。
  - B) 細胞内微小電極により、シナプス後細胞に EGTA を注入する。
  - C) 細胞内微小電極でシナプス後細胞に大きな過分極を与える。
- さらに、
- D) カルモジュリン依存性リン酸化酵素の阻害剤を高頻度刺激以前から刺激直後まで外液中に投与すると抑制されるが、高頻度刺激直後から投与しても抑制されない。

このような事実から、このシナプスにおける可塑性の誘導機構としてどのようなことが考えられるか書きなさい。（20 点）

## 遺伝学および集団遺伝学（1 / 2）

（注意）問題 [1] [2] を一枚、[3] [4] を一枚の答案用紙にそれぞれ解答すること。

- [1] 二倍体生物の 2 遺伝子座  $A, B$  にそれぞれ中立な 2 個の対立遺伝子（アレル） $A_1, A_2$  と  $B_1, B_2$  があるとする。同じサイズで任意交配する非常に大きな集団 1、2 があるとし、それぞれのハプロタイプ（配偶子）頻度を次のように表す。 $A, B$  遺伝子座間の組換え率を  $r$  とする。次の問いに答えなさい。（計 25 点）

ハプロタイプ	$A_1 B_1$	$A_1 B_2$	$A_2 B_1$	$A_2 B_2$
集団 1	$g_{11}$	$g_{12}$	$g_{13}$	$g_{14}$
集団 2	$g_{21}$	$g_{22}$	$g_{23}$	$g_{24}$

- (1) 集団  $i$  での  $A_1$  遺伝子頻度を  $p_i$ 、 $B_1$  遺伝子頻度を  $q_i$  と表す。 $p_i$  を  $g_{ij}$  を使って表しなさい。（3 点）
- (2) 集団 1 の連鎖不平衡係数 (coefficient of linkage disequilibrium)  $D$  を  $g_{11}, p_1, q_1$  を使って表しなさい。（3 点）
- (3) どちらも連鎖平衡状態にある集団 1 と集団 2 が成体の時に合体し集団 3 が出来た。この世代を第 0 世代とする。第 0 世代の集団 3 の連鎖不平衡係数  $D_0$  を求めなさい。また集団 3 が連鎖平衡になるための条件を求めなさい。（6 点）
- (4) 集団 3 では任意交配で次世代が作られていく。(3) でできた集団 3 での第  $t$  世代の連鎖不平衡係数を  $D_t$  で表す。 $D_t$  を求めなさい。（6 点）
- (5) 集団 1、2 は長い間隔離されており、 $A, B$  両遺伝子座でそれぞれ別の対立遺伝子が固定していたとする。合体後の集団 3 の  $D_t$  ( $t$  は未知、但し  $t \geq 2$  とする) がわかった時、何世代前に合体が起こったか推測する方法を考え、説明しなさい。（7 点）

- [2] 哺乳類の体色に関する以下の問いに答えなさい。（計 25 点）

- (1) 家畜化された哺乳類ではヒマラヤンと呼ばれる、四肢、尾、耳、鼻先などの末端が黒い毛、それ以外が白い毛で覆われている変異（品種）が知られている。マウスのヒマラヤン変異 ( $Tyr^c$ ) では、メラニン色素の生合成に関わる酵素である、チロシナーゼが原因遺伝子だということが明らかになっている。この遺伝子にどのような変異が起こっているため、このような体色になっていると考えられるか答えなさい。（8 点）
- (2) マウスのヒマラヤン変異体と同じ遺伝子の変異である、全身白色のアルビノ変異体 ( $Tyr^a$ ) と、ヒマラヤン変異体を交配して得た  $F_1$  個体はどのような体色になるか答えなさい。（5 点）
- (3) 三毛猫は、黒色、オレンジ色、白色の 3 色の体毛からなる斑紋を持つ猫であるが、通常メスにしか見られない。この理由を述べなさい。なお、白色の斑紋については別の  $S$  遺伝子の変異によるもので性差はないため説明しなくてよい。（7 点）
- (4) まれに三毛猫のオスと呼ばれる個体が見られることがあるが、この個体はどのような性染色体の構成を持っていると考えられるか答えなさい。（5 点）

## 遺伝学および集団遺伝学（2 / 2）

（注意）問題 [1] [2] を一枚、[3] [4] を一枚の答案用紙にそれぞれ解答すること。

[3] 軟骨發育不全症は常染色体優性の疾患である。すべてメンデル集団を仮定して以下の問いに答えなさい。（計 25 点）

(1) 優性モデルのもとで、軟骨發育不全症アレルの頻度を  $q$ 、淘汰係数を  $s$ 、優性の度合いを  $h$ 、正常アレルから軟骨發育不全症アレルへの突然変異率を  $\mu$ 、逆向きの突然変異を無視するとき、突然変異圧と淘汰圧の平衡状態では以下の関係が成り立つ：

$$(1-2h)q^2s + (1+\mu)qhs - \mu = 0$$

このとき軟骨發育不全症アレルの平衡頻度( $\hat{q}$ )を、一次の分数式で近似しなさい。 $q$  と  $\mu$  がともに 1 に較べて十分小さな正の数であることを近似に利用してよい。（6 点）

(2) ある統計では 10 万件の出産で 5 例の軟骨發育不全症が報告された。この集団における軟骨發育不全症アレルの頻度 ( $q$ ) を計算しなさい。稀少な優性疾患であるので、患者はすべてヘテロ接合であると考えてよい。（6 点）

(3) (2)と同じ集団の統計で、軟骨發育不全症の患者 108 人が 27 人の子供を産み、患者の正常な兄弟姉妹 432 人が 540 人の子供を産んだという記録があった。この統計が単純に適応度を示していると仮定して、軟骨發育不全症患者の淘汰係数  $hs$  を求めなさい。（6 点）

(4) (1)の式に(2)と(3)で求めた数値を代入して、正常アレルから軟骨發育不全症アレルへの突然変異率  $\mu$  を求めなさい。（7 点）

[4] 自然淘汰に関わる以下の問いに答えなさい。（計 25 点）

(1) ある遺伝子の非同義置換率と同義置換率からその遺伝子に働く自然淘汰を調べたい。その場合に用いる非同義置換率と同義置換率と各自然淘汰 [正の自然淘汰、純化淘汰（負の自然淘汰）、中立進化] との関係を述べなさい。（9 点）

(2) ある集団において、酵素遺伝子  $A$  のハプロタイプは、酵素活性に関わる非同義置換サイト  $a$  によって、ハプログループ 1 とハプログループ 2 の 2 つのグループに分けられる。この集団ではハプログループ 1 の非同義置換サイト  $a$  に正の自然淘汰が働いており、ハプログループ 1 と 2 の間の比較を行ったところ、以下の 2 つの特徴が見られた。

ア) ハプログループ 1 の方がハプログループ 2 よりも頻度が高い。

イ) ハプログループ 1 のハプロタイプ同士では、非同義置換サイト  $a$  のまわりの領域において、広く配列の一致が見られたが、ハプログループ 2 のハプロタイプ同士では、そのような配列の一致は見られなかった。

正の自然淘汰によってこれら 2 つの特徴が形成される理由について説明しなさい。（16 点）

## 生態学（1 / 4）

（注意）問題 [1] [2] [3] [4] はそれぞれ別の答案用紙に解答すること。

[1] 生物個体群の個体数変化に関する以下の問題に答えなさい。（計 35 点）

- (1) 個体数  $N$  が時間  $t$  の経過とともに時間あたり一定の増加率  $r$  で増加するとき、個体数の変化は以下の微分方程式であらわされる。

$$\frac{dN}{dt} = rN$$

初期個体数を  $N(0)$  として、時刻  $t$  における個体数  $N(t)$  を  $N(0)$ ,  $r$ ,  $t$  からなる式であらわし、またその式があらわす成長曲線を、縦軸  $N$ 、横軸  $t$  の平面に図示しなさい。（5 点）

- (2) 密度効果によって個体群の成長率が時間とともに減少し、その効果が個体数に比例するとき、個体数の変化は以下の微分方程式であらわされる。

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

初期個体数を  $N(0)$  として、時刻  $t$  における個体数  $N(t)$  を  $N(0)$ ,  $r$ ,  $K$ ,  $t$  からなる式であらわし、またその式があらわす成長曲線を、縦軸  $N$ 、横軸  $t$  の平面に図示しなさい。 $N(0) < K$  の場合に加えて、 $N(0) > K$  の場合についても図示しなさい。（10 点）

- (3) 互いに密度効果を及ぼしあう 2 種の個体群の個体数  $N_1$ ,  $N_2$  の変化は、以下の式であらわすことができる。

$$\frac{dN_1}{dt} = r \left( 1 - \frac{N_1 + a_{12}N_2}{K_1} \right) N_1,$$

$$\frac{dN_2}{dt} = r \left( 1 - \frac{N_2 + a_{21}N_1}{K_2} \right) N_2.$$

ここで、 $a_{12}$ ,  $a_{21}$  はそれぞれ、種 1 が種 2 から受ける密度効果の強さ、種 2 が種 1 から受ける密度効果の強さをあらわす。それぞれの式の平衡状態（種 1 が個体数を変化させない状態、および種 2 が個体数を変化させない状態）において、 $N_1$ ,  $N_2$  の間に成り立つ関係を求め、これらの関係をあらわす 2 つの直線を、 $N_1$ - $N_2$  平面に図示しなさい（ただし、 $K_1 < \frac{K_2}{a_{21}}$ ,  $K_2 < \frac{K_1}{a_{12}}$  とする）。（10 点）

- (4)  $K_1 < \frac{K_2}{a_{21}}$ ,  $K_2 < \frac{K_1}{a_{12}}$  のとき、種 1 と種 2 は安定して共存できることを、(3) で図示した直線を

もとに説明しなさい。 $N_1 = N_2$  のとき、 $K_1 < \frac{K_2}{a_{21}}$ ,  $K_2 < \frac{K_1}{a_{12}}$  は  $a_{21} < 1$ ,  $a_{12} < 1$  となる。これらの条件は、種 1 と種 2 の共存がどのような状態で可能になることを意味するか、密度効果の大小に着目して説明しなさい。（10 点）



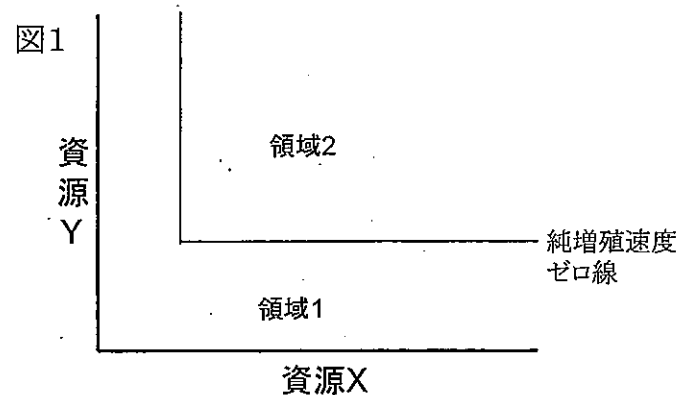
## 生態学（2 / 4）

（注意）問題 [1] [2] [3] [4] はそれぞれ別の答案用紙に解答すること。

[2] 種間競争と資源の取り合いのメカニズムに関する以下の問いに答えなさい。

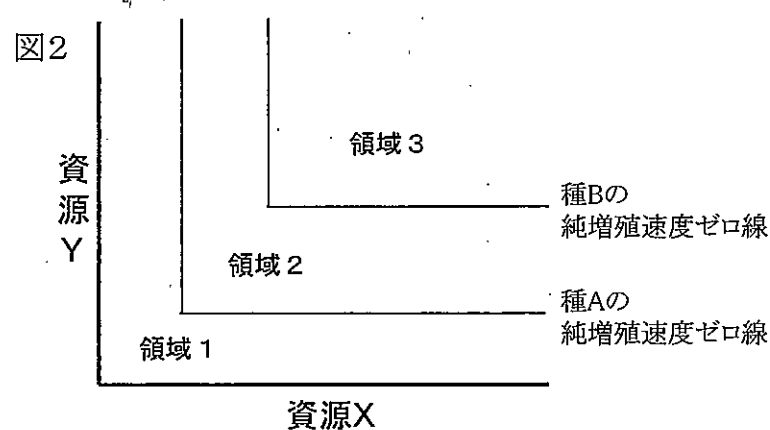
（計 20 点）

ある種が 2 種類の必須的な資源（X と Y）を利用している場合、その種の個体群の大きさが増減せず現状を維持するのに必要な資源量の組み合わせを x と y 軸にプロットした等値線（純増殖速度ゼロ線）は、その種が生き残り繁殖できる資源の組み合わせ（領域 2）と、それを許さない資源（領域 1）の境界線として、図 1 のような線の形で示されるものと限定する。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。



(1) 2 種類の資源（X と Y）をめぐって競争する 2 種（種 A と B）の純増殖速度ゼロ線が図 2 のように示される時、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、次の(a)～(f)の選択肢から 1 つ選びなさい。（3 点）

(a) 領域 1 (b) 領域 2 (c) 領域 3 (d) 領域 1 & 2 (e) 領域 2 & 3 (f) 領域 1 & 3



(2) 種 A は資源 X が低いときには種 B を排除し、種 B は資源 Y が低いときには種 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。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 1 つの図に示しなさい。（6 点）

(3) 上記 (2) で描いた 2 種の純増殖速度ゼロ線図において、2 種が共存でき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 (2) で作図した図中に斜線で示しなさい。（5 点）

## 生態学（3 / 4）

（注意）問題 [1] [2] [3] [4] はそれぞれ別の答案用紙に解答すること。

(4) Tilman の資源競争理論によれば、単一の限られた資源をめぐって 2 種が消費型の競争をしている場合、資源の最低要求量の低い種の方が競争に有利であるとされている。このような「消費型競争に優れた種」の資源利用効率、減少率および増加率の特性について説明しなさい。また、2 種類以上の資源をめぐる種間競争においては、共存できる種の数は何に比例すると予測されるか述べなさい。（6 点）

[3] 群集(community)とは、時間と場所を共有するさまざまな種の個体群の集まりである。群集の特徴を把握するための方法として用いられる、種の豊富さ(species richness)や多様性の指標(diversity index)について、以下の文章を読み問いに答えなさい。（10 点）

一定面積の牧草地において野外実験を 1856 年～1949 年の期間実施し、施肥区には年 1 度肥料を施し、同一面積の対照区には施さなかった。草本種の多様性とそれぞれの種の個体数を調べた所、対照区では目立った変化はなかったが、施肥区では草本の種数と、それぞれの種の個体数の均等度の両方とも次第に減少した。この現象について、種の豊富さと優占の度合いが実験期間中に施肥区ではどのように変化したかを述べたうえで、競争排除という用語を用いて説明しなさい。

## 生態学（4 / 4）

（注意）問題 [1] [2] [3] [4] はそれぞれ別の答案用紙に解答すること。

[4] 動物においては捕食されることの回避につながるさまざまな性質が進化していることが知られている。捕食回避に関する行動の中には、他の個体に信号を送り、信号を受け取った個体が捕食を回避するものがある。捕食者の接近を発見した個体が警戒声と呼ばれる音声を発し、それを感知した同種の他の個体が逃避するのは、代表的な例の 1 つである。以下の問いに答えなさい。（計 35 点）

（1）警戒声を出すとその個体は捕食者により捕えられやすくなることなどにより適応度が  $x$  低下し（ $x > 0$  である）、警戒声を聞いた同種の他の個体は逃避できることにより適応度が  $y$  上昇する（ $y > 0$  である）とする。ある個体が発した警戒声を聞いて逃避する他個体は 1 個体であるとする。警戒声を発する個体と警戒声を聞いて逃避する個体間の血縁度が 0.25 であるとき、この警戒声を発する行動が有利になり進化できる条件を、横軸に  $x$ 、縦軸に  $y$  をとったグラフを描いて説明しなさい。（5 点）

（2）上記（1）の警戒声とそれへの反応において、警戒声を発する個体と警戒声を聞いて逃避する個体間に血縁関係がないとき、この警戒声を発する行動は有利になって進化することができるか、また進化できるならどのような条件が成り立つ場合か説明しなさい。（6 点）

（3）上記（1）の警戒声を発する行動は、行動を行う個体自身の適応度を低下させ、他の個体の適応度を高める行動の 1 つである。このような行動を何と呼ぶか答えなさい。（2 点）

（4）捕食の回避に関する代表的な現象を指す以下の 3 つの語の意味をそれぞれ 70 字以内で説明しなさい。（15 点）

- (i) 希釈効果
- (ii) 警告色
- (iii) ミュラー擬態（ミュラー氏擬態、ミュラー型擬態と言うこともある）

（5）捕食される危険の大きさは時間的に一定ではなく変動することが多い。捕食される危険と関連した環境中の手がかりの情報を使用して、逃避の起こりやすさなど捕食回避につながる行動の頻度や強度を変える例を 1 つあげるとともに、それが時間的に一定の頻度や強度で捕食回避につながる行動を行うよりも有利である状況はどのようなものか 100 字以内で説明しなさい。（7 点）

## 海洋生物学（1 / 2）

（注意）全ての問題を 1 枚の答案用紙に解答すること。裏も使用してよい。

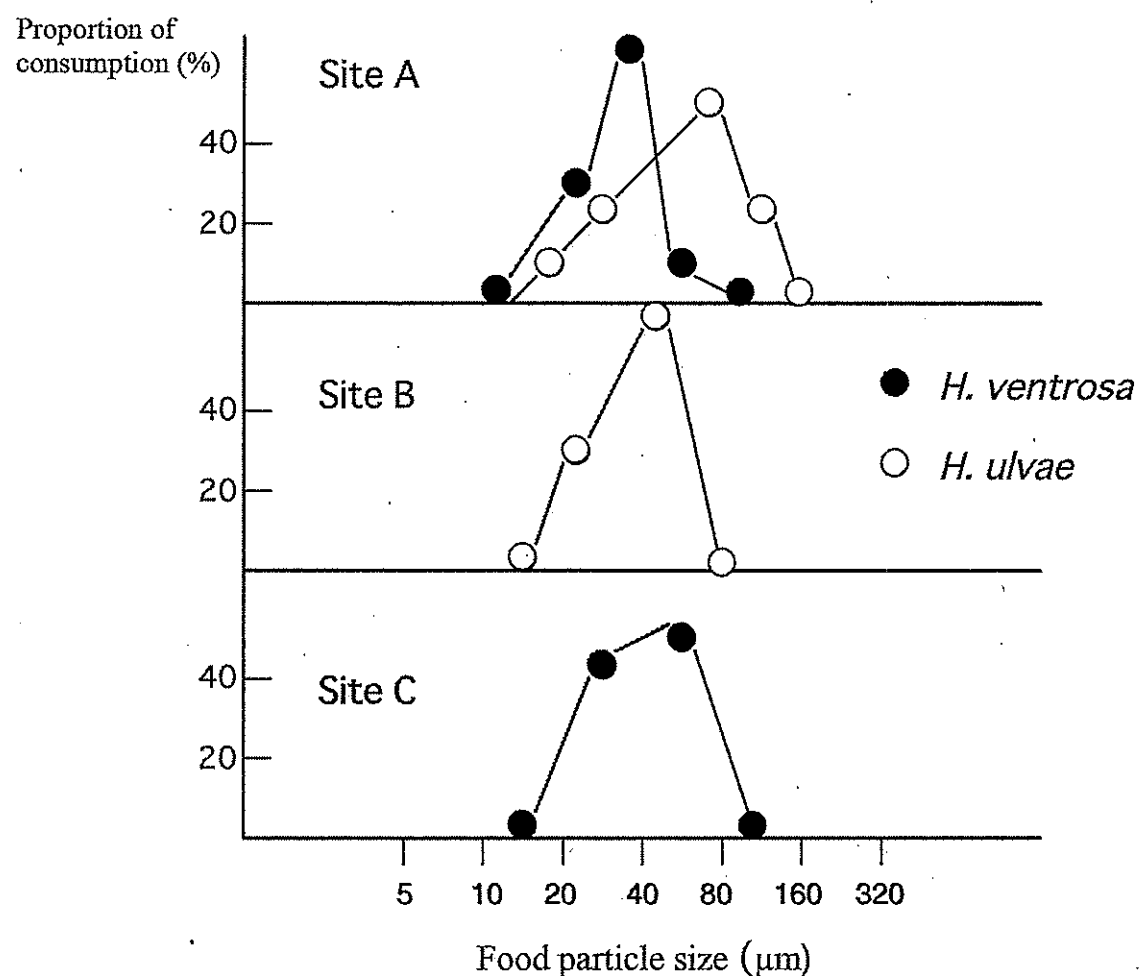
（解答は英語・日本語のどちらでもよい [英語/ラテン語と指示してある場合以外]。文法などの間違いは採点に影響しない）

[ 1 ] Choose one of the following topics and discuss. (20 points)

- (1) Mechanisms of zonation on rocky intertidal shores
- (2) Morphological and ecological characteristics of mangroves
- (3) Vertical distribution of zooplankton
- (4) Mechanisms and consequences of coral bleaching
- (5) Ecological roles of large marine predators

[ 2 ] The figure below shows the results of a field study in which the feeding ecology of mud snails *Hydrobia ventrosa* and *H. ulvae* was investigated in three sites of a tidal flat in northern Europe. Answer the following questions. (total: 40 points)

- (1) Name the taxonomic category (phylum and class, in Latin/English) of these species. (10 points)
- (2) Explain what the figure shows. (15 points)
- (3) Plan and explain an experiment to test the possible effects of interspecific competition in these species. (15 points)



## 海洋生物学（2 / 2）

（注意）全ての問題を 1 枚の答案用紙に解答すること。裏も使用してよい。

[ 3 ] Answer the following three questions concerning seagrasses. (total: 20 points)

- (1) Explain briefly the taxonomic differences between seagrasses and marine algae. (5 points)
- (2) “Seagrasses always propagate by sexual reproduction”. Discuss whether this statement is true or not. (5 points)
- (3) Explain the ecological relationship between seagrass beds and coral reef fishes. (10 points)

[ 4 ] Two species of holothurian echinoderms of unknown feeding habits occur on a subtropical seabed. In order to clarify the interspecific relations between these two species, devise and explain a field /experimental study, paying particular attention to (a) the hypothesis that you propose to test with the experiment, (b) possible results and their interpretations. (20 points).

## 数理生物学 (1 / 3)

(注意) 問題 [1] [2] はそれぞれ別の答案用紙に解答すること。

[1] ある寄生蜂の母親は、他の昆虫を宿主とし、その体に産卵すると仮定する。卵は宿主体内で幼虫や蛹の時期を過ごし、成虫となって羽化をして出てくる。1匹の宿主に多数の卵が産まれると、卵の羽化までの生存率は低下する。 $x$  個の卵が産まれた宿主では、生存率は

$$S(x) = \begin{cases} a - bx, & \text{if } 0 \leq x \leq a/b \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

であるとする。ただし  $a$  は  $b$  の 100 倍程度の数とし、産卵数は実数で近似できるとする。以下の問いに答えなさい。(計 50 点)

(1) 1匹の宿主には1匹だけの寄生蜂の母親が産卵する状況を考える。産卵数を  $x$  とすると、母親にとっての羽化するまで生存できる子の数は  $xS(x)$  で、これを繁殖成功度と呼ぶ。母親の繁殖成功度を最大にする産卵数はいくらか、求めなさい。(6 点)

(2) 1匹の宿主に既に別の母親が  $x$  個の卵を産んでいるとして、第2の母親が  $y$  個の卵を追加して産むとする。第2の母親にとっての繁殖成功度は  $yS(x+y)$  である。第2の母親にとって、自らの繁殖成功度を最大にする産卵数を求めなさい。それは  $x$  が変化したときどのように変わるか述べなさい。(6 点)

(3) 1匹の宿主には、必ず2匹の母親が産卵する状況を考える。宿主に最初に産卵する母親(第1雌)は  $x^*$  個の卵を産み、そのあとでやってきて追加で産卵する母親(第2雌)は  $y^*$  の卵を産む、という状況を考える。第2雌が  $y^*$  を産卵する限り、第1雌はその産卵数  $x$  を  $x = x^*$  とするときに自らの繁殖成功度を最大にできる。また第1雌が  $x^*$  の産卵数である限り、第2雌は産卵数  $y$  を  $y = y^*$  とするときに自らの繁殖成功度を最大に出来るという。このような  $x^*$  と  $y^*$  のペアを求めなさい。またそれぞれの繁殖成功度を求めなさい。(ただし、第2雌は、既に別の雌が産卵した宿主であることは、におい物質のマークによって分かるが、産卵数までは分からないとする)。(9 点)

(4) 宿主には、1匹の雌に産卵されるものと、2匹に産卵されるものがあるとする。宿主を最初に見つけた雌は、産卵したあと、 $p$  の確率で第2雌が追加の産卵を行うが、 $1-p$  の確率で第2雌には見つからないとする。ただし、1宿主に3匹以上の寄生蜂が産卵することはないとする。第1雌はすべて  $x^*$ 、第2雌はすべて  $y^*$  の卵を産む集団において、それぞれ、それらとは異なる産卵数を用いる母親は不利になるという。そのような  $x^*$  と  $y^*$  のペアを求めなさい。それらは  $p$  の関数であるので、横軸を  $p$  ( $0 < p < 1$ ) にして、 $x^*$  と  $y^*$  のグラフを描きなさい。(12 点)

## 数理生物学（2 / 3）

（注意）問題 [1] [2] はそれぞれ別の答案用紙に解答すること。

[2] ある時刻 $t$ における病気に感染していない個体数（感受性者数）を $S(t)$ 、病気に感染している個体数（感染者数）を $I(t)$ 、病気から回復した個体数（死亡や隔離を含んだ除去者数）を $R(t)$ で表せば、感染症の流行は以下の微分方程式で捉えられる：

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\beta S(t)I(t),$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \beta S(t)I(t) - \nu I(t),$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \nu I(t).$$

ここで、任意の時刻 $t$ に対して $S(t) + I(t) + R(t) = N$ を満たしている。ただし、病気の伝播は、感染者数 $I(t)$ と感受性者数 $S(t)$ の積に比例するとし、単位時間当たり・単位個体あたりの感染率は $\beta$ であると仮定した。また、死亡・回復・隔離を含む感染者の除去は、感染者数 $I(t)$ に比例するとし、単位時間当たりの除去率は $\nu$ であるとした。以下の問いに答えなさい（計 50 点）。

(1) 流行初期では、ほとんど個体は感受性である。すなわち、 $S(t) = S(0) \approx N$ と仮定できる。この時、感染者数 $I(t)$ の時間変化を微分方程式で表しなさい。（8 点）

(2)  $\beta N - \nu = \lambda_0$ と定義した時、任意の時刻 $t$ における感染者数 $I(t)$ を求めなさい。ここで $\lambda_0$ はマルサス係数と呼ばれる。（8 点）

(3) 流行初期の感染者数 $I(t)$ が指数的に増加するためにマルサス係数が満たす条件について説明しなさい。（8 点）

(4) 感染者にとって感染から $\tau$ 時間経過した時、死亡・回復・隔離により除去される確率は $1 - e^{-\nu\tau}$ である。感染から $\tau$ 時間経過した時に除去される確率密度を求めなさい。（5 点）

(5) 感染者が感染性である平均時間 $T$ の長さを計算しなさい。（5 点）

(6) 流行初期に感染者が単位時間あたりに産生する新規感染者数は $\beta N$ である。流行初期において感染者が感染性でいる間に産生する 2 次感染者の総数、すなわち基本再生産数 $R_0$ を計算しなさい。（5 点）

(7) 基本再生産数 $R_0$ が感染症の流行対策において果たす役割を論じなさい。（5 点）

(8) マルサス係数 $\lambda_0$ と感染者が感染性である平均時間 $T$ 、基本再生産数 $R_0$ の関係を示し、感染症の流行初期において基本再生産数 $R_0$ がどのように推定されるかについて論じなさい。（6 点）

## 数理生物学（3 / 3）

（注意）問題 [1] [2] はそれぞれ別の答案用紙に解答すること。

(5) これまでは、第 2 雌は、既に別の雌が産卵した宿主であることは、におい物質のマークによって分かるが、産卵数までは分からないと仮定してきた。別の種の寄生蜂では、第 1 雌の産卵数  $x$  が、第 2 雌により正確に分かる。このときは、第 2 雌の最適産卵数  $y$  は第 1 雌の産卵数  $x$  の関数になる。その状況では第 1 雌は、いくらの卵を産むのが自らの繁殖成功度を最大に出来るか、求めなさい。（ただしすべての宿主が 2 匹の雌により産卵される、つまり  $p=1$  とする）。(10 点)

(6) 生存率が

$$S(x) = s_0 \exp[-cx]$$

とする。ただし、 $s_0 > 0$ かつ $c > 0$ とする。これまで検討してきたいずれの状況においても、第 2 雌にとっての最適産卵数は、第 1 雌にとっての最適産卵数に依存しないことを示しなさい。(7 点)



## 情報生物学（1 / 2）

（注意）問題 [1] [2] はそれぞれ別の答案用紙に解答すること。

[1] バイオインフォマティクスにおける遺伝子やタンパク質の配列解析について以下の問いに答えなさい。（計 50 点）

- (1) 配列アラインメントは、複数の塩基配列やアミノ酸配列を並べたもので、配列の類似性を知ることがかりになる。配列アラインメントは、ペアワイズアラインメントとマルチプルアラインメントに大きく分かれるが、その違いを説明しなさい。（10 点）
- (2) 塩基配列やアミノ酸配列では、機能を担う重要領域は進化的に保存されるため、マルチプルアラインメントで共通あるいは類似した部分配列を検出できる。このような特定の配列パターンをモチーフと呼ぶ。モチーフの表現法として、モチーフの各位置において最も出現頻度の高い文字だけを取り出すコンセンサス配列と呼ばれる方法がある。表 1 はプロモータ領域に見られる TATA ボックスの各塩基の出現頻度（単位は%）を表すが、この場合のコンセンサス配列を示しなさい。（10 点）

表 1

	位置 1	位置 2	位置 3	位置 4	位置 5	位置 6
A	3.7	91.1	0.0	94.5	67.3	97.3
T	83.6	8.9	100.0	5.5	32.7	0.0
G	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7
C	9.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

- (3) モチーフの各位置において複数の文字を許容し、確率的なモチーフ表現法として、位置特異的スコア行列 PSSM (position specific scoring matrix) と呼ばれる行列で表現する方法がある。行列の各要素としては、位置  $i$  における文字  $a$  の出現頻度  $p_{i,a}$  をバックグラウンド（配列全体）における出現頻度  $b_a$  で割った値の対数値  $\log(p_{i,a}/b_a)$  がよく使われる。コンセンサス配列の方法に比べて、対数値に基づく位置特異的スコア行列の方法の利点を説明しなさい。（10 点）
- (4) 対数値に基づく位置特異的スコア行列で任意の配列を検索したとき、各位置のスコアの和をとることによって、そのモチーフに似ている度合いを評価できる。TATA ボックスの位置特異的スコア行列が表 2 のように示されているとする。GAATACCGAGATATATGCGA という配列を検索した時、そのモチーフに最も似ている領域を同定しなさい。また、そのときのスコアを計算しなさい。（10 点）

表 2

	位置 1	位置 2	位置 3	位置 4	位置 5	位置 6
A	-1.85	1.30	-4.61	1.33	0.99	1.36
T	1.21	-1.39	1.39	-1.47	0.28	-4.61
G	-2.07	-4.61	-4.61	-4.61	-4.61	-2.14
C	-0.91	-4.61	-4.61	-4.61	-4.61	-4.61

- (5) 位置特異的スコア行列によるモチーフ表現法の欠点について述べなさい。またその欠点を克服する可能性があるとするれば、どのような方法が考えられるか説明しなさい。（10 点）

## 情報生物学 (2 / 2)

(注意) 問題 [1] [2] はそれぞれ別の答案用紙に解答すること。

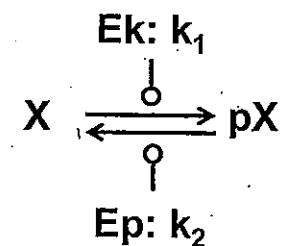
[2] 細胞内の酵素反応の特性について以下の文章を読んで、下記の問いに答えなさい。なお、(あ) ~ (き) および (a) ~ (c) には適切な語句や数式が入る。(計 50 点)

細胞内の酵素反応を考える時、(あ) や時定数は重要な指標である。そこで、細胞がどのようにこれらの指標を制御しているのかを考えてみる。酵素反応などが最大値の 50% を示す濃度のことを (あ) と呼ぶ。つまり、同じ効果を持つ酵素でも (あ) の値が (a) 分子の方が、入力が少ないとも同じ効果を持つことが可能である。一方で、時定数は応答速度の指標であり、簡単に言えばその分子を制御している分子にどの程度早く応答できるかの指標である。

ここで、次の酵素反応を考える。

X が Ek により  $k_1$  という速度定数でリン酸化されて pX となる。

pX は Ep により  $k_2$  という速度定数で脱リン酸化されて X となる。



この酵素反応は次の微分方程式で近似できる。

注: ただし [ ] は濃度を示す。

$$\frac{d[pX]}{dt} = k_1 \times [Ek] \times [X] - k_2 \times [Ep] \times [pX]$$

$X + pX = 1$  とした場合、式変形を行い

$$\frac{d[pX]}{dt} = -(\text{い}) \times [pX] + (\text{う})$$

となる。よって  $t=0$  のとき pX が 0 の場合 ( $pX(t=0)=0$ )、

$$pX(t) = (\text{え}) \times (1 - e^{-(\text{お}) \times t})$$

となる。ここで時定数は  $1/(\text{お})$  となる。

次に pX の濃度に対する酵素 Ek の (あ) を求める。

定常状態を仮定した場合 ( $t \rightarrow \infty$ )、 $pX(t)$  は

$$pX(t \rightarrow \infty) = [Ek]/(\text{か})$$

ここで (あ) は (き) となる。

細胞は (あ) や時定数をどのように変化させているかを考える。一つは酵素量を変える方法である。例えば、脱リン酸化酵素 Ep の量を多くすると上記の式から時定数は (b) なり、(あ) は (c) なる。

(1) (あ) ~ (き) に当てはまる語句や数式を入れなさい。違うひらがなに同じ語句や数式が入っても構わない。(各 6 点)

(2) (a) ~ (c) に当てはまる組み合わせを下から選びなさい (8 点)

- |                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| ア) (a) 小さい、(b) 小さく、(c) 小さく | イ) (a) 小さい、(b) 小さく、(c) 大きく |
| ウ) (a) 小さい、(b) 大きく、(c) 小さく | エ) (a) 大きい、(b) 小さく、(c) 小さく |
| オ) (a) 小さい、(b) 大きく、(c) 大きく | カ) (a) 大きい、(b) 大きく、(c) 小さく |
| キ) (a) 大きい、(b) 小さく、(c) 大きく | ク) (a) 大きい、(b) 大きく、(c) 大きく |