

平成 31 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。

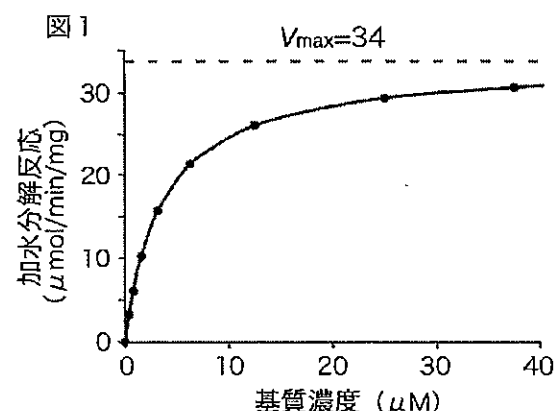
[1] セリンプロテアーゼ (serine protease) は活性残基としてアミノ酸のセリン (serine) を使うプロテアーゼ（タンパク質分解酵素）の総称である。真核生物由来のセリンプロテアーゼ A について以下の設問に答えなさい。（計 50 点）

(1) セリンプロテアーゼ A はペプチド基質中のアルギニン残基やリジン残基の C 末端側のペプチド結合を選択的に加水分解する。この特異性はアミノ酸側鎖のどのような性質に基づいているかを答えなさい。（5 点）

(2) 真核生物の組織から調製したセリンプロテアーゼ A の分子量と、大腸菌を宿主とした組換えセリンプロテアーゼ A の分子量が異なっていた。その原因は様々な種類の翻訳後修飾である。どのような翻訳後修飾がありうると考えられるか、例を 3 つ挙げなさい。（9 点）

(3) 大腸菌組み換え体セリンプロテアーゼ A の濃度 12 mg/ml のタンパク質溶液のモル濃度 (mM, mmol/L) を計算しなさい。ただし、セリンプロテアーゼ A は 400 残基のアミノ酸からなり、アミノ酸 1 残基あたりの平均分子量を 120 とする。（6 点）

(4) 図 1 は酵素 E の一定濃度において、ペプチド基質 S の濃度を変化させた場合の加水分解反応の初速度 v の変化を示している。この曲線の形は $v = k_{cat}[S][E] / (K_m + [S]) = V_{max}[S] / (K_m + [S])$ というミカエリス・メンテンの式で記述することができる。ここで $[E]_t$ は全酵素濃度を表し、 $[E]_t = [E] + [ES]$ である。



(a) ペプチド基質の加水分解反応を測定したとき、求めた速度が初速度になるにはどのような条件を満たす必要があるかを文章で簡潔に答えなさい。（4 点）

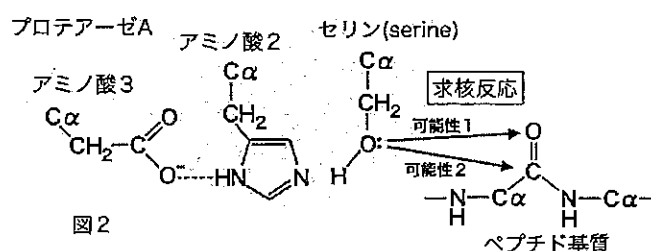
(b) 図から K_m の値を推定しなさい（目分量でよい）。また、その時利用した方法を作図で説明しなさい。（4 点）

(c) 酵素の触媒効率を表すのに k_{cat} / K_m が使われる。これは基質濃度 $[S]$ のどのような状態の反応速度に対応しているのかを答えなさい。（4 点）

(5) セリンプロテアーゼ A の活性部位を図 2 に示す。活性残基のセリン以外に 2 つのアミノ酸残基の側鎖がかかわっている。これを活性残基の三つ組み (catalytic triad) と呼ぶ。

(a) アミノ酸 2 とアミノ酸 3 の名称を日本語と 3 文字表記でそれぞれ答えなさい。（4 点）

(b) 触媒反応はセリンの側鎖の酸素原子にある孤立電子対（小さな 2 つの点で表す）が、ペプチド結合の原子を攻撃して、求核置換反応を起こすことから始まる。この求核反応はカルボニル基の酸素原子（可能性 1）あるいは炭素原子（可能性 2）のどちらで起こるかを答えなさい。また、その理由を述べなさい。（6 点）



(6) プロテアーゼ A はペプチド基質が L 型アミノ酸のみからなっているときは加水分解できるが、D 型アミノ酸のみからなっているときは加水分解できない。その理由を説明しなさい。（8 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。

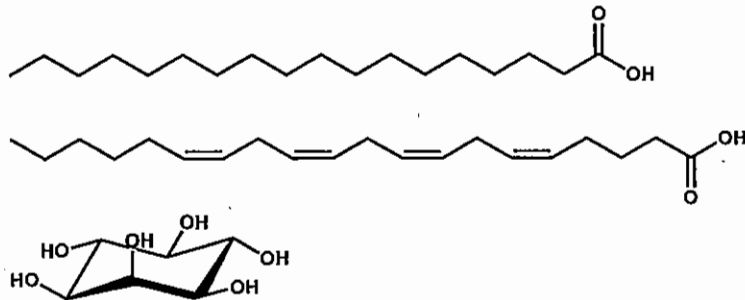
[2] 脂質に関する以下の問いに答えなさい。（計 50 点）

脂質の機能は以下に示す機能 A, B および C に大別される。

- A. 脂質分子は水溶液中において (a) を形成し、生体膜の基本成分となる。
- B. 細胞内の代謝において、炭化水素鎖をもつ脂質は (b) としての役割を持つ。
- C. 内分泌系や神経系において、細胞内、細胞間の (c) に関与する。

(1) 空欄 (a)、(b)、(c) に適語を入れなさい。（各 4 点、計 12 点）

(2) (a) を形成する脂質分子のなかで、下図のステアリン酸、アラキドン酸、イノシトールが結合したホスファチジルイノシトールの構造式を示しなさい。（7 点）



(3) 上記脂質の機能 B に関連して、生体内では脂肪酸の好氣的酸化により大量の ATP がつくられている。1 分子のステアリン酸から何分子の ATP が合成されるか計算式を示して答えなさい。なお、アセチル CoA 1 分子より 10 分子の ATP、FADH₂ 1 分子より 1.5 分子の ATP、NADH 1 分子より 2.5 分子の ATP が生成するとして計算しなさい。（8 点）

(4) (3) のステアリン酸の場合とは異なり、オレイン酸のような不飽和脂肪酸の酸化には、 β 酸化系酵素以外の酵素が必要である。どのような反応を触媒する酵素が必要か、その理由も含めて答えなさい。（8 点）

(5) (2) のリン脂質が酵素 X により加水分解され機能 C に関連する生理活性脂質の一種であるエイコサノイド（イコサノイド）の前駆体となる化合物 Y が生成する。加水分解を触媒する酵素 X と生成化合物 Y の名称を答えなさい。また、化合物 Y から生成するエイコサノイドの名称を 1 つ答えなさい。（各 5 点、計 15 点）

分子遺伝学（1 / 4）

（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] 次の文章を読み、以下の問いに答えなさい。（計 40 点）

大学院生 M 君はヒト細胞から転写因子 B を発見した。その後、転写因子 B の機能を明らかにすることを目的に実験を行なっている。M 君は種々の実験結果より、これまで転写因子 A によって制御されると考えられていた遺伝子 X の転写に、転写因子 B が関与するのではないかと推測した。そこで、これらの転写因子の発現ベクターをヒト培養細胞に導入し、遺伝子 X の発現量を調べたところ、以下の結果を得た。

転写因子 A (μg)	0	10	50	100	100	100	100
転写因子 B (μg)	0	0	0	0	10	50	100
遺伝子 X の発現量	0	15	73	158	85	23	3

(1) 転写因子が塩基配列を認識する場合、通常どのようなタンパク質の二次構造が塩基配列の認識に用いられるか、またこの構造が塩基配列を認識するための主要な化学結合の種類について、述べなさい。（10 点）

(2) 得られた実験の結果をもとに、大学院生 M 君は研究室セミナーで以下の報告を行った。(ア)～(ウ)を埋めて、報告を完成させなさい。（9 点）

【大学院生 M 君の報告】

転写因子 A は遺伝子 X の発現を活性化し、転写因子 B は（ア）することが示されました。これまでの他の研究室からの報告によると、転写因子 A の結合配列は 2 回の繰り返し配列からなり、転写因子 A は（イ）を形成し、DNA に結合するようです。そこで、転写因子 B の構造を決定したところ、その構造は転写因子 A と高い類似性を示し、同一のファミリーに属する新たな因子であることがわかりました。これまでの報告によると、このファミリーの転写因子は（ウ）ドメイン、転写活性化ドメイン、（イ）形成ドメインを持っていますが、転写因子 B は（ウ）ドメインを欠いていることがわかりました。

(3) 以上の報告の後、M 君は転写因子 B による転写制御のメカニズム（どのようにして転写を制御するか）に関する仮説を説明した。どのような仮説が考えられるか、述べなさい。（9 点）

(4) M 君は、さらに上記の仮説を証明する実験のプランを説明した。どのような実験が考えられるか、その内容を述べなさい。（12 点）

分子遺伝学（2 / 4）

（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] 真核生物の転写に関する以下の問いに答えなさい。（計 30 点）

(1) 転写反応を触媒する酵素は、DNA を鋳型にして相補的塩基対を作り、リボヌクレオチドの重合反応を行うことで RNA 鎖を合成する。真核生物では、このような転写反応を触媒する酵素が 3 種類存在する。下表の（ア）～（ウ）に該当する 3 種類の酵素の名称をそれぞれ答えなさい。（6 点）

酵素の種類	転写される遺伝子
（ア）	タンパク質をコードする遺伝子、snoRNA 遺伝子、miRNA 遺伝子
（イ）	tRNA 遺伝子、5S rRNA 遺伝子
（ウ）	5.8S、18S、28S rRNA 遺伝子

(2) 転写の開始にあたっては、プロモーター近傍に多数の因子が段階的に結合する。その過程で、上記の（ア）～（ウ）も取り込まれ、転写開始前複合体を形成する。これらの因子群の一般的名称、およびその働きを簡潔に説明しなさい。（6 点）

(3) 真核生物の転写は、RNA プロセッシングと密に連携して進行する。mRNA 前駆体に対する最初の修飾反応であるキャップ形成について、どのような構造か、キャップとして付加される修飾ヌクレオシドの名称、およびその mRNA 前駆体との結合の特徴について言及しながら簡潔に説明しなさい。（4 点）

(4) mRNA 前駆体プロセッシングの最終段階は 3' 末端へのヌクレオチド付加修飾である。

(a) その反応過程を簡潔に説明しなさい。（4 点）

(b) この付加反応を行う酵素の名称を答えなさい。また、この酵素は（1）で述べた 3 種類の酵素と同じ化学反応を行うが 3 種類の酵素とは異なる特徴を持つ。その特徴を答えなさい。

（4 点）

(5) (1)～(4) の過程は mRNA 前駆体を転写する酵素の C 末領域にある特徴的な構造によって機能的に連携して進められる。この構造の名称と特徴を簡潔に説明しなさい。（6 点）

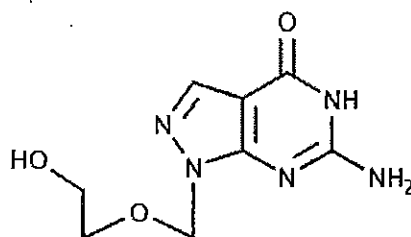
分子遺伝学（3 / 4）

（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] 次の文章を読み、以下の問いに答えなさい。（計 30 点）

アシクロビルは 1977 年に発表された画期的な抗ウイルス薬で、ヘルペス単純ウイルスおよびその類縁ウイルスに選択的な有効性を示す。アシクロビルは図に示す構造の物質で、以下に述べる薬理機構によってヘルペス単純ウイルスの DNA 複製を選択的に阻害する。

ヘルペス単純ウイルスのゲノムには Thymidine kinase (TK) 遺伝子がコードされており、感染細胞にはウイルス由来の TK が発現する。アシクロビルはウイルス由来の TK により一リン酸化され、その後細胞内の別の酵素によって三リン酸型までリン酸化される。アシクロビル三リン酸は DNA 複製の際に DNA に取り込まれ、DNA 複製の伸長を阻害する。ウイルス由来の DNA ポリメラーゼはヒトの DNA ポリメラーゼよりもアシクロビル三リン酸をよく取り込むので、ウイルスゲノムの複製が選択的に阻害される。さらに、ヘルペス単純ウイルスに感染していない細胞はウイルス由来の TK を発現しないので、アシクロビルはほとんどリン酸化されず、細胞内にアシクロビル三リン酸が蓄積することがない。



図：アシクロビルの構造式

- (1) DNA 複製は様々な酵素や DNA 結合タンパク質が協調的に働くことで起こる反応である。細胞内の DNA 複製においては、たとえば DNA 二重らせんをほどく酵素（ア）や二重らせんがほどかれることによって生じる DNA のねじれを解消する酵素（イ）が機能する。（ア）および（イ）の名称を答えなさい。（6 点）
- (2) DNA を構成する塩基のうち、アシクロビルはどの塩基と対を作って DNA に取り込まれると考えられるか。アシクロビルと対を作ると予想される塩基の名称を答え、そう考える理由を述べなさい。（6 点）
- (3) アシクロビルは、どの部位が TK によってリン酸化されると考えられるか。一リン酸化されたアシクロビルの構造式を書きなさい。（6 点）

分子遺伝学（4 / 4）

（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。

(4) アシクロビルが DNA に取り込まれても、多くの DNA ポリメラーゼに存在する、(a)ある活性があれば、取り込まれたアシクロビルを DNA 末端から除去することができるはずである。実際には、アシクロビルの構造はこの活性にも阻害的であるため、抗ウイルス薬として有効性を示す。下線部(a)の活性とはどのような活性であるか、名称と反応の概要を簡単に説明しなさい。また、その活性が正常な細胞の DNA 複製に果たす役割を述べなさい。(6 点)

(5) アシクロビルはデオキシリボースの (ウ) に相当する官能基を持たないので、アシクロビルリン酸を末端に取り込んだ DNA 鎖は、それ以上伸長することが原理的に不可能である。

(ウ) に入る適切な言葉を答えなさい。また、これと同様に DNA 鎖合成の伸長停止を利用した分子生物学の基本技術の名称と、その技術において合成伸長停止のために使われる物質を答えなさい。(6 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] 以下の文章を読んで、下線部（ア）については設問(1)と(2)を、そして下線部（イ）については設問(3)と(4)をそれぞれ答えなさい。（計 30 点）

哺乳類の細胞には、中間径フィラメント、微小管、アクチンフィラメントと呼ばれる 3 種類の細胞骨格が存在する。また、(ア)これらの細胞骨格の上を決まった方向に動くモータータンパク質が存在している。モータータンパク質は、細胞骨格に沿って小胞や細胞内小器官を運搬する役割を果たす。(イ)それ以外に、細胞の内部で、比較的長い時間、安定に存在する細胞骨格にもモータータンパク質が存在し、様々なスケールの細胞運動に関与している。

- (1) ダイニン、キネシン、ミオシンの 3 種類のモータータンパク質について、いずれの細胞骨格の上を、プラス端・マイナス端のどちらの方向に向かって移動するか述べなさい。（5 点）
- (2) これらのモータータンパク質が細胞内物質輸送を駆動するにあたり、どのようなエネルギーを用いているか簡潔に説明しなさい。（5 点）
- (3) ある種類のダイニン遺伝子の先天異常で起こる疾患として Kartagener 症候群が知られている。Kartagener 症候群の男性の場合、気管支感染症を繰り返し、男性不妊の症状を呈する。気管支感染症を繰り返す理由および男性不妊になる理由について、それぞれ簡潔に説明しなさい。（10 点）
- (4) 骨格筋の筋細胞は、細胞内のカルシウムイオン濃度が上昇すると収縮する。カルシウムイオンの有無によってこの筋細胞の収縮を制御する分子メカニズムについて、簡潔に説明しなさい。（10 点）

[2] 以下の設問に答えなさい（計 30 点）。

- (1) 下記の 3 種の細胞小器官について、それぞれの機能（役割）を説明しなさい。（各 5 点；計 15 点）
小胞体、ゴルジ体、リソソーム
- (2) ミトコンドリアが原始の真核細胞内に共生した別の生物であったと考えられている根拠を 3 つ挙げ、説明しなさい。（15 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] 以下の文章を読んで、問いに答えなさい。（計 40 点）

血管を取り囲んでいる平滑筋の標品をアセチルコリンで直接処理すると、この筋肉は（ ア ）する。しかし、切り取った血管の内腔側から血管内皮細胞へアセチルコリンを加えると、その外側にある平滑筋は（ イ ）することが知られている。この血管内皮細胞にはアセチルコリンに対する（ ウ ）型受容体が存在するため、それがアセチルコリンと結合すると（ エ ）を活性化し、 IP_3 （イノシトール 1,4,5-トリスリン酸）が生成される。次に、アミノ酸のひとつである（ オ ）と O_2 から（ カ ）を合成する酵素が活性化され、血管内皮細胞で合成された（ カ ）は拡散して近傍の平滑筋細胞に入る。（ カ ）はその受容体と結合することで（ キ ）を活性化し、（ ク ）濃度が上昇する。それに伴い（ ク ）依存性プロテインキナーゼ活性が高まり、その効果により平滑筋が（ イ ）する。

(1) 文中の（ア）から（カ）に最もふさわしい語句を下記の語群の中から選びなさい。（12 点）

ホスホリパーゼ B、ホスホリパーゼ C、アセチルコリンエステラーゼ、収縮、弛緩、G タンパク質共役、リガンド依存性イオンチャネル、一酸化炭素、二酸化炭素、一酸化窒素、二酸化窒素、グルタミン酸、リジン、アルギニン、グルタミン

(2) 文中の（キ）と（ク）にあてはまる語句を答えなさい。（6 点）

(3) アセチルコリン受容体に対するアゴニストとして代表的な物質の名前を 2 つ挙げなさい（6 点）

(4) 文中の（エ）によって IP_3 とともに生成される物質の名前を挙げ、セカンドメッセンジャーである両者の働きによってプロテインキナーゼ C がどのようにして活性化されるかについて、説明しなさい。（16 点）

発生生物学（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] 次の文章を読み、以下の問いに答えなさい。（計 50 点）

受精後、アフリカツメガエル胚は成長を伴わない①同調的で早い 12 回の細胞分裂（卵割）を繰り返す。12 回の卵割の後、細胞分裂の同調性が失われて細胞周期が伸長するとほぼ同時に、接合子からの転写が始まる。これら一連の現象は中期胞胚遷移（MBT）とよばれる。

Newport らはアフリカツメガエルにおける MBT が起きる計時機構について下記（実験 1）から（実験 5）の実験を行い、MBT が起きるタイミングは核と細胞質の比に依存していることを示した。

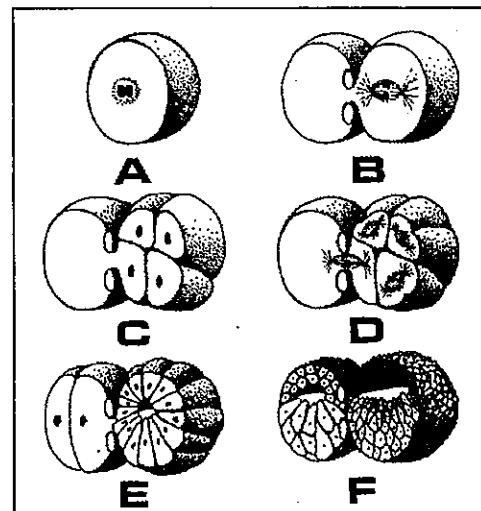
（実験 1）アフリカツメガエル胚の割球を解離しても MBT が起きる時期に変化がなかった。

（実験 2）アフリカツメガエル受精卵を②サイトカラシン B 存在下で培養しても MBT が起きる時期に大きな変化はなかった。

（実験 3） α -アマニチンをアフリカツメガエル 1 細胞期胚に注入しても MBT が起きる時期に大きな変化はなかった。

（実験 4）右図の A から F に示すように、アフリカツメガエル受精卵をヘアループで部分的に結索して胚の半分側のみで卵割させた後、8 細胞期になってから核のひとつを反対側に移動させて反対側でも卵割をおこさせた。

（実験 5）人工的に多精受精させたアフリカツメガエル胚を用いて MBT が起きる時期を調べた。



問 1. 下線部①に記した細胞分裂（卵割）と ES 細胞などの培養細胞で見られる通常の体細胞分裂との細胞周期の様式の違いを答えなさい。（10 点）

問 2. 下線部②のサイトカラシン B は細胞骨格系にどのような影響を与えるかを答えなさい。またアフリカツメガエルの卵割にどのような影響を与えるかを答えなさい。（10 点）

問 3. （実験 3）からどのようなことが示唆されるか答えなさい。（10 点）

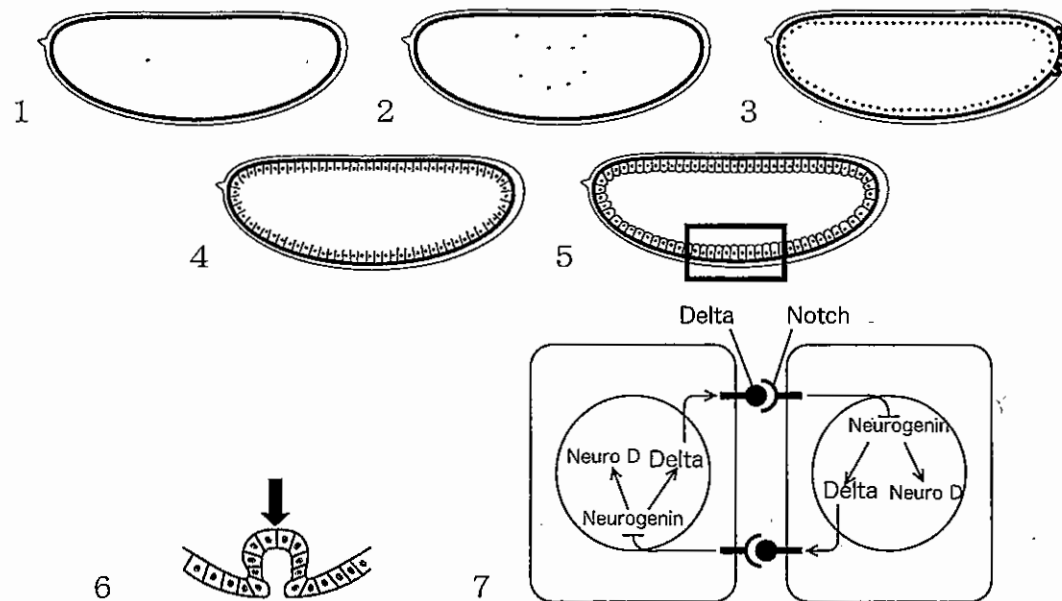
問 4. （実験 4）の概略図中 F の結索胚の右側と左側を比較すると、どちらが早く MBT が起きるかを答えなさい。（10 点）

問 5. （実験 5）において、正常な受精をした胚と多精受精させた胚を比較すると、MBT がおきる時期はどのようなになるかを答えなさい。（10 点）

発生生物学（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] ショウジョウバエの発生について、次の図を参照し以下の問いに答えなさい。（計 50 点）



- (1) 図 1～5 は、ショウジョウバエの受精卵(図 1)から形態形成運動が始まる前(図 5)までの胚の縦断面を示している。この胚の腹側は図の上下左右のどちら側か答えなさい。(3 点)
- (2) 胚の前側(将来の頭側)は図の上下左右のどちら側か答えなさい。(3 点)
- (3) 胚の前端には図 1 の時期には、*bicoid* と呼ばれる母性効果遺伝子の mRNA が局在しており、その翻訳が始まる。*Bicoid* タンパク質は図 4 の時期には胚内でどのように分布するようになっているか簡潔に説明しなさい。(6 点)
- (4) 母性効果遺伝子とはどのような遺伝子か簡潔に説明しなさい。(6 点)
- (5) 図 3 の右端に見られる胚から突出した細胞は、何と呼ばれ、将来はどういった細胞になるか、簡潔に答えなさい。(6 点)
- (6) 図 3, 4 の時期の胚は、ともに何と呼ばれるか答えなさい。(3 点)
- (7) 図 5 の時期の胚は、何と呼ばれるか答えなさい。(3 点)
- (8) 図 5 の胚はその後、発生が進むと長方形で囲まれた細胞シートに図 6 の横断面図で示すような変形が起こる。このとき胚内部に入り込んだ矢印で示した部分の細胞はどういう組織になるか答えなさい。(3 点)
- (9) 胚の背面か腹面かいずれかの 1 層の胚の上皮細胞シートの一部の細胞から将来の神経細胞が分化し胚内部に入り込む。胚内部に入り込んだ神経細胞は胚の前後に梯子状につながって中枢神経系を形成するがそれは、何と呼ばれるか答えなさい。(3 点)
- (10) (9) にある 1 層の胚の上皮細胞シートを構成する全ての細胞では図 7 に示すような遺伝子が発現している。細胞表面には、膜結合型のリガンド分子 *Delta* とその受容体 *Notch* が発現している。また、*Notch* は *Delta* を受容すると *Neurogenin* の発現を抑制し、*Neurogenin* は *Delta* や *NeuroD* の発現を促進する。*NeuroD* の発現が進行するとその細胞は神経細胞へと分化するが、進行しないと上皮細胞のままである。このことを参照にして、この胚の上皮細胞シートを構成する細胞群から一定の割合の神経細胞が分化してくる仕組みを簡潔に説明しなさい。(14 点)

植物生理学（1 / 1）

（注意）問題 [1] [2] を 1 枚の答案用紙に [3] [4] を別の 1 枚の答案用紙に解答すること。

〔1〕根組織から地上部まで水や無機化合物が運ばれる際に機能する、原形質連絡とカスパー線について、それぞれ 100 字程度で説明しなさい。（各 15 点、計 30 点）

〔2〕植物細胞には、少なくとも 2 つの機能の異なるミクロボディが存在しており、グリオキシソームと緑葉ペルオキシソームと呼ばれる。それぞれの機能について、まとめて 200 字程度で説明しなさい。（20 点）

〔3〕植物が持つ光受容体について、以下の問いに答えなさい。（各 15 点、計 30 点）

(1) 高等植物が持つ光受容体を 2 つ挙げて、吸収波長や構造などの特徴を簡潔に説明しなさい。（15 点）

(2) (1) で挙げた光受容体について、植物の成長生理における役割をそれぞれ 1 つずつ挙げて、簡潔に説明しなさい。（15 点）

〔4〕高等植物の葉緑体（色素体）の転写装置（RNA ポリメラーゼ）について、以下の問いに答えなさい。（各 10 点、計 20 点）

(1) 葉緑体は 2 種類の転写装置を持つが、それぞれの構造的な特徴を 200 字程度で説明しなさい。（10 点）

(2) 葉緑体が 2 種類の転写装置を持つ意味を 200 字程度で説明しなさい。（10 点）

神経生物学（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。

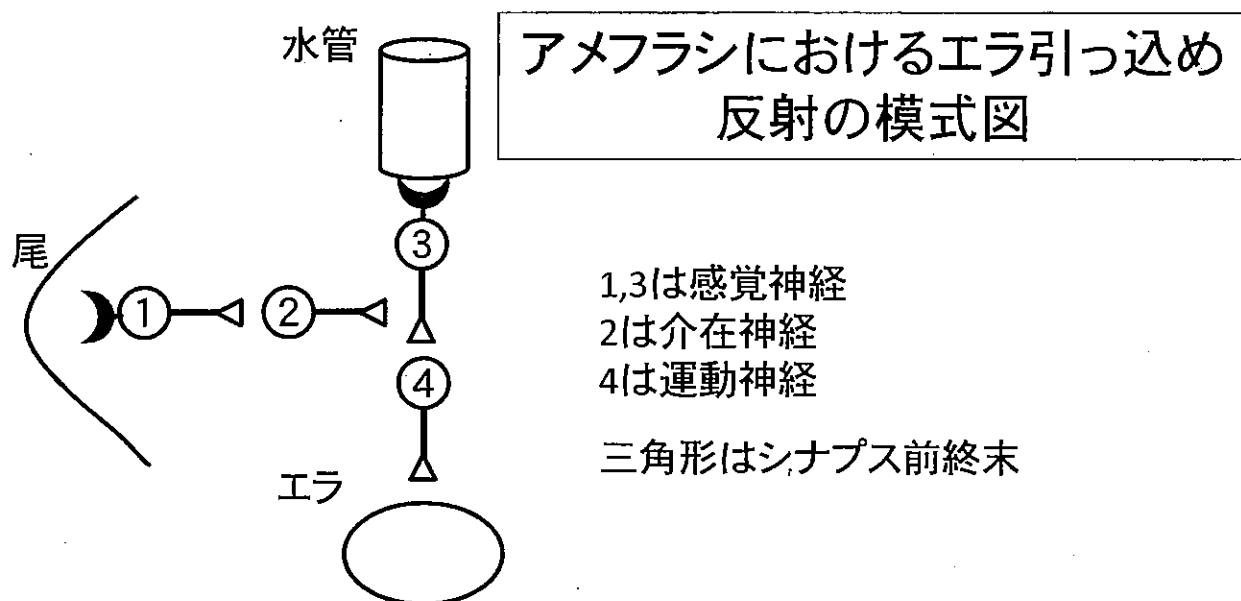
[1] 下記の問いに答えなさい。（計 50 点）

- (1) 神経系には多様な形態的特徴を持つ神経細胞が存在する。その一つである錐体細胞を一つ描き（略図でよい）、細胞体、樹状突起および軸索など神経細胞の各部位を示しなさい。またそれら各部位の主要な役割（機能）を簡単に説明しなさい。（10 点）
- (2) 静止電位が発生するメカニズム、およびそれがどのようにして維持されているのか簡単に説明しなさい。（10 点）
- (3) 神経細胞が情報伝達を行う場であるシナプスには、電気シナプスと化学シナプスが存在する。これら 2 種類のシナプスの構造的、機能的特徴をそれぞれ 5 行程度で説明しなさい。（15 点）
- (4) 中枢神経系が高度な機能を発揮するためには、多数の神経細胞によって構成される神経回路が正しく構築される必要がある。このためには神経細胞間のシナプス結合が形成されるだけでなく、その活動に依存した再構成も必要である。神経回路がどのようにして形成されるか、この一連の過程を説明しなさい。（15 点）

神経生物学（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] アメフラシ(*Aplysia*)のエラ引っ込み反射について、以下の問題に答えなさい。（計 50 点）



アメフラシは、神経細胞が大きく電気生理学的な実験が行いやすいため、記憶の研究に用いられてきた。アメフラシの水管に弱い接触刺激を与えると、エラ引っ込み反射が起こることが知られている。アメフラシの水管に弱い接触刺激をした直後に尾を電気刺激することによって条件付けを行うと、水管に弱い接触刺激をしたときのエラ引っ込み反射が著しく増強された。この条件付けの際に、神経伝達物質セロトニンによるシナプス伝達を、セロトニン拮抗薬を加えることによって阻害すると、エラ引っ込み反射は通常通りに起きたが、条件付け後の増強が見られなかった。

(1) 水管への弱い接触刺激と尾への電気刺激によって連合学習が成立していることを確認するためには、どのような実験を行ってどのような結果が得られる必要があるか答えなさい。(10 点)

(2) このような学習を古典的条件付けという。この古典的条件付けのアメフラシ以外の例を 1 つ挙げなさい。

その例について、アメフラシの水管への弱い接触刺激と尾への電気ショックとに対応する刺激をそれぞれ挙げなさい。(10 点)

(3) セロトニンは、生体内ではタンパク質を構成する 20 種類のアミノ酸の 1 つから 2 段階の酵素反応を経て合成される。このアミノ酸の名前を書きなさい。(5 点)

(4) 拮抗薬（アンタゴニスト）とはどのような薬剤か説明しなさい。(5 点)

(5) 条件付けの前後で、3 の感覚神経と 4 の運動神経において、水管を弱く接触刺激した時の神経活動を、電極を用いて測定した。その結果、水管刺激にともなう 3 の神経細胞の反応性には条件付け前後で変化がなかったが、4 の神経細胞の水管刺激にともなう応答は、条件付け後には大きくなっていた。この結果からどのようなことが言えるか説明しなさい。(10 点)

(6) 3 の感覚神経の神経伝達物質は、グルタミン酸であった。4 の運動神経をグルタミン酸で刺激すると、脱分極がおきた。一定量のグルタミン酸刺激で起こる 4 の運動神経の脱分極は、条件付けの前後で変化がなかった。この結果からどのようなことが言えるか説明しなさい。(10 点)

遺伝学および集団遺伝学（1 / 3）

（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] マラーは変異を起こした遺伝子の性質によって変異を大きく 5 種類に分類した。それらは、完全に遺伝子の機能を失った「アモルフ」、部分的に遺伝子機能を失った「ハイポモルフ」、遺伝子機能が亢進した「ハイパーモルフ」、野生型の機能を妨げるように働く「アンチモルフ」、新たな機能を獲得した「ネオモルフ」である。このような変異の性質・類型に関する以下の問いに答えなさい。なお、優性および劣性という遺伝学用語は、それぞれ顕性および潜性と称することがある。（計 25 点）

(1) 次に示したいろいろな生物の変異(a)～(e)は単一の遺伝子に起こったものだとすると、上記のどのモルフに該当すると考えられるか、最も適当だと思われるものを書きなさい（それぞれ 1 回だけ使用すること）。また、野生型遺伝子に対して、優性（不完全優性も含む）または劣性のいずれの遺伝性を示すと考えられるか記入しなさい。（各 3 点で 15 点）

(a) 鎌状赤血球症は、 β グロビンのアミノ酸置換により正常な多量体が形成できない変異によるもので、ホモ接合では致死となる。ヘテロ接合では貧血ぎみではあるがマラリアに対して抵抗性があるため、アフリカのある地域では高頻度で集団中に維持されている。（遺伝性の優劣は致死性ではなく赤血球の形態に関して判別しなさい）。

(b) ある種のヘビの黒化型変異では表皮のメラニン色素が増加しており、野生型と交配して得られた子ヘビも黒みが強かった。

(c) アサガオの八重咲き変異(*pt*)では、成長初期では、雄ずいにある葯（やく）が花弁に変化しているが、成長後期ではほぼ野生型に近づき、種子を結ぶようになる。

(d) シロイヌナズナにおける器官の表（向軸）側を規定する *PHB* 遺伝子のある対立遺伝子（アレル）(*phb-1d*)では、miRNA の標的部位に変異が存在するため、本来とは異なる組織で *PHB* 遺伝子が発現している。

(e) キイロショウジョウバエにおける純白の眼色を持つ *w* 変異体は、色素の輸送に関わる ABC トランスポーターの変異体である。*w* 変異体のメスと、野生型である赤褐色眼色のオスを交配すると、次代のメスは全て野生型眼色、オスは全て純白眼になった。

(2) (1) (a) の下線部、鎌状赤血球症の変異が集団中に維持されるしくみは何と呼ばれているか。（3 点）

(3) (1) (c) のアサガオの八重咲きのように、変異を持っているにもかかわらず表現型に現れない場合があるが、このような変異は（ ）が低いと言う。（ ）に当てはまる用語を述べなさい。（3 点）

(4) (1) (e) の下線部の理由を述べなさい。（4 点）

遺伝学および集団遺伝学 (2 / 3)

((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。)

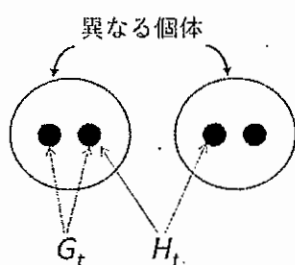
[2] 次の問いに答えなさい。式を導いた理由も記述すること。(計 25 点)

(1) 任意交配をするサイズ N の雌雄同体の二倍体生物集団で 1 つの中立遺伝子座を考える。Wright-Fisher モデルを仮定する。 t 世代目の集団からランダムにこの遺伝子座の遺伝子を 2 個サンプルした時、この 2 遺伝子が前世代の異なる遺伝子由来である確率を求めなさい。(5 点)

(2) (1) の集団で t 世代目にランダムにサンプルした 2 個の遺伝子が異なる対立遺伝子 (アレル) である確率を H_t で表す。 H_t を H_{t-1} を使って表しなさい。(5 点)

(3) (2) で求めた式を使って、 H_t を H_0 を使って表す式を求めなさい。(5 点)

(4) 次に各個体の自殖率が s でサイズ N の雌雄同体の二倍体生物集団を考える。この集団では次世代



の個体は、確率 s で集団からランダムに選んだ 1 個体の自殖 (selfing) により生まれ、確率 $1-s$ で集団からランダムに選んだ 2 個体間の交配により生まれる。 t 世代目にランダムにサンプルした 1 個体の 2 遺伝子が異なる対立遺伝子である確率を G_t 、ランダムにサンプルした 2 個体からそれぞれ 1 個ずつサンプルした 2 遺伝子が異なる確率を H_t で表す (左図参照)。 G_t 、 H_t を、 G_{t-1} と H_{t-1} を使って表しなさい。(5 点)

(5) (4) の集団で N が無限大の時、平衡状態での G_t を H_0 を使って表しなさい。注) Wright-Fisher モデルは (4) の $s = 1/N$ の場合に当たる。(5 点)

[3] ある座位に 2 つの対立遺伝子 (アレル) A_1 と A_2 があり、 A_1 から A_2 への突然変異率を μ 、逆向きの突然変異は無視できるとする。このとき、変異アレル A_2 の淘汰係数 (選択係数) を s 、優性の度合いを h とした優性モデルのもとでは、任意交配集団における変異アレルの A_2 の平衡頻度 \hat{q} は以下の 2 次方程式を満たす。

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

このとき以下の問いに答えなさい。(計 25 点)

(1) A_2 アレルが A_1 アレルに対して完全劣性である場合の A_2 の平衡頻度 \hat{q} を上の式から導きなさい (8 点)。

(2) A_2 アレルが A_1 アレルに対して不完全劣性 ($0 < h < 1$) である場合の A_2 の平衡頻度 \hat{q} を同じく上の式から導きなさい。ただし、 q および μ はきわめて小さい数なので、以下の近似を利用してよい。(8 点)

$$q^2 \cong 0$$

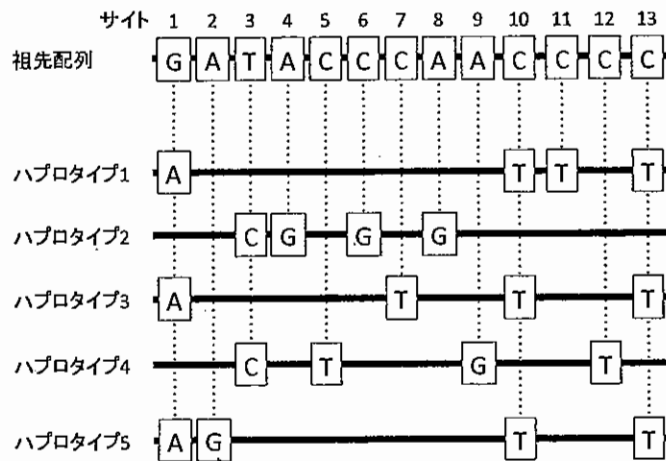
$$1 + \mu \cong 1$$

(3) 軟骨發育不全症は、常染色体優性疾患であり、患者はすべて疾患アレルをヘテロ接合でもつと考えてよい。ある統計によれば、10,000 件の出産のうち軟骨發育不全症は 12 例出現した。また同じ集団の統計で、軟骨發育不全症の患者 100 人が 20 人の子供を産んだのに対し、正常な同胞 500 人は 600 人の子供を産んでいた。このとき、上の (2) で求めた平衡頻度の式から、正常アレルから疾患アレルへの突然変異率を求めなさい。(9 点)

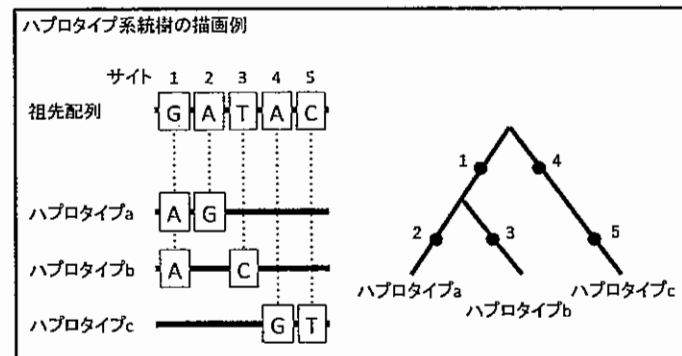
遺伝学および集団遺伝学 (3 / 3)

(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] 集団 X において、遺伝子 A の特定のハプロタイプに正の自然淘汰が働いている。集団 X すべての個体の遺伝子 A のハプロタイプを調べたところ、下図に示す 5 種類に分類され、これらハプロタイプには組換えが見られなかった。ハプロタイプ配列の進化解析について、以下の問いに答えなさい。
(計 25 点)



注: 祖先配列と異なるサイトのみを示す



- (1) ハプロタイプ系統樹の描画例を参考に、ハプロタイプ間の塩基の違いを用いて、ハプロタイプ系統樹を描画しなさい。なお塩基の違いは黒点として、サイト番号とともに各枝上に表示しなさい (例 \bullet)。 (10 点)
- (2) (1) の樹形から、正の自然淘汰の働いているハプロタイプを特定し、その番号をすべてあげなさい。 (5 点)
- (3) 正の自然淘汰において標的となったと見られるサイトが、(1) の系統樹をもとに推定される。標的候補として推定されるサイトの番号を、すべてあげなさい。 (5 点)
- (4) (1) の樹形を参考に、(2) であげたハプロタイプに自然淘汰が働いたと考える根拠を述べなさい。 (5 点)

生態学 (1 / 3)

(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] 同種の個体間で資源の獲得を巡る争いにおいては、相手の個体に対して、攻撃的なふるまいをすることもエスカレートせず非攻撃的なこともある。このような争いで攻撃性が進化する条件を検討する理論モデルにタカハトゲームがある。タカハトゲームでは、2 個体が争い、資源は分割できず、争いに勝った個体が入手する。攻撃的なふるまいと非攻撃的なふるまいを、それぞれタカとハトと呼ぶ。ここで、タカとハトは異なる種の生物を表すのではなく、同種の中での異なるふるまいを指す。争いの勝者は資源を入手し適応度が a 大きくなる。争いの結果起こる適応度の変化は自分と相手がタカとハトのいずれであるかにより、以下の表のようにまとめられる。 a と d は正の値をとる。

		相手のふるまい	
		ハト	タカ
自分のふるまい	ハト	a か 0	0
	タカ	a	a か $-d$

ハトとタカが争うと、タカが勝って適応度が a 大きくなり、ハトの適応度は変わらない。ハトとハトなら、片方の適応度が a 大きくなり、もう片方の適応度は変わらない。タカとタカなら、争いはエスカレートし、片方の個体は負傷して敗れ適応度は d 小さくなり、もう片方の個体は a 大きくなる。

なお、個体はいつもタカとしてふるまうかいつもハトとしてふるまうかのいずれかであり、個体群は十分に大きく、個体の争う相手はランダムに決まり相手がタカである確率は個体群でのタカ個体の頻度 (q とする) に等しいとする。また、争いに関する以外ではタカとハトの間に適応度の差はないものとする。

以下の問いに答えなさい (計 35 点)。

- (1) 争う相手がタカである場合とハトである場合のそれぞれについて、タカの適応度の争いによる変化がハトの適応度の争いによる変化よりも小さいのはどのような場合か、述べなさい。(5 点)
- (2) $a > d$ のとき、個体群での、タカの適応度の期待値とハトの適応度の期待値を比べ、タカの方が適応度の期待値が大きくなるのはどのような場合か、述べなさい。(4 点)
- (3) $a < d$ のとき、個体群での、タカの適応度の期待値とハトの適応度の期待値を比べ、タカの方が適応度の期待値が大きくなるのはどのような場合か、述べなさい。(4 点)
- (4) 適応度の個体群における平均は、ハトの個体の頻度 ($1-q$ である) とどのような関係にあるか説明しなさい。(5 点)
- (5) $a > d$ のとき、進化的に安定な状態は何通りあり、それぞれどのような状態であるか答えなさい。(7 点)
- (6) 条件戦略と混合戦略とはそれぞれどのような意味か、100 字以内で説明しなさい。(10 点)

生態学 (2 / 3)

(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] 生息可能な場所がパッチ状に分布しているとき、移動・分散によって結合する局所個体群の集まりをメタ個体群とよぶ。レビンズが提案した古典的なパッチ占有モデルでは、ある局所個体群によって占められているパッチの割合を p 、空きパッチからの再入植率を m 、局所個体群の絶滅率を e とすると、 p の時間変化は次の式であらわすことができる。

$$\frac{dp}{dt} = mp(1-p) - ep$$

このモデルについて以下の問に答えなさい。(計 20 点)

- (1) 占有パッチの割合 p は、局所個体群が新たに生まれる確率 m の高い方が増えやすく、局所個体群の絶滅確率 e が高くなれば増えにくくなるが、占有パッチ p と空きパッチ $(1-p)$ の比率も重要な要因となる。 m は一定とした場合、その理由について説明しなさい。(5 点)
- (2) メタ個体群が平衡状態に達したとき、すなわち局所個体群によるパッチ占有率が一定になるとき ($dp/dt = 0$) のパッチ占有率 p を m と e であらわしなさい。(3 点)
- (3) 平衡状態に達したときに占有されているパッチの割合が大きくなるのは、再入植率 m と局所個体群の絶滅率 e の値がどのような場合か述べなさい。(3 点)
- (4) 上記のモデルに生息・生育適地の減少率 D を加えると

$$\frac{dp}{dt} = mp(1-D-p) - ep$$

となる。平衡状態に達したときにメタ個体群が絶滅する、すなわち、パッチ占有率が 0 となるときの D を m と e であらわしなさい。(3 点)

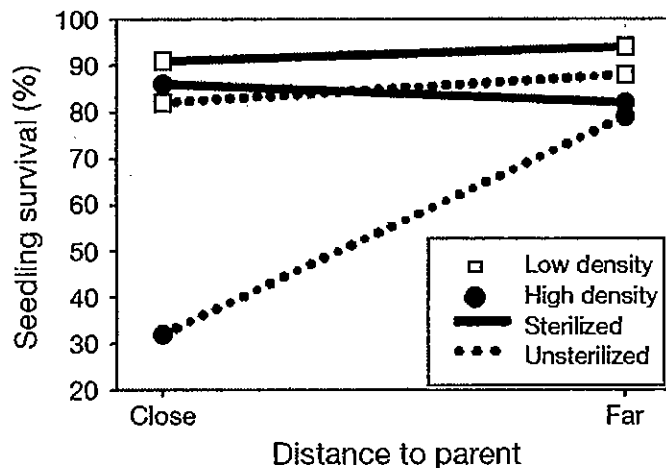
- (5) メタ個体群が存続するために必要な条件について、局所個体群の新生率、絶滅率、生息・生育適地、のすべての語句を用いて 100 字以内で説明しなさい。(6 点)

[3] 生物の体を構成する元素のうち、炭素の他に重要なものとして、窒素がある。窒素は N_2 として大気を構成する最も多い成分となっているが、植物などの生産者の多くは N_2 ガスをそのまま利用することはできない。窒素が生態系の中を循環する際に、特に重要な生物作用と人間活動作用の主なプロセスについて、200 字以内で説明しなさい。(10 点)

生態学 (3 / 3)

(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] 下図は、サクラ属の一種 *Prunus serotina* を用いてジャンセン・コンネル仮説を検証した実験の結果である (Packer and Clay 2000, Nature 404, 278-281)。



0 ~ 5m (Close) または 25 ~ 30m (Far) で採取した土壌で、*P. serotina* の芽生えを育てた。その結果、芽生え間で競争が生じる高密度条件 (High density) で、Close で採取した土壌で芽生えを育てた場合には、低密度条件 (Low density) の場合とは異なり、芽生えの生存率 (Seedling survival) が 30% に低下した。Close で採取した土壌をオートクレーブで殺菌 (sterilize) して芽生えを育てると、芽生えの生存率が 85% に増加したが、Far で採取した土壌を殺菌して芽生えを育てても生存率に有意な変化はなかった。この実験結果について、以下の問に答えなさい。(計 35 点)

- (1) ジャンセン・コンネル仮説とはどのような現象を説明するために提唱されたどのような仮説か、それは樹木の更新についてどのような予測を導くかについて説明しなさい。なお回答には、「少数者有利」または「頻度依存」という用語を用いること。(6 点)
- (2) Close で採取した土壌で育てた芽生えの生存率の低下が、芽生えに感染した菌によるものであることを証明するには、どのような実験を行えばよいか、説明しなさい。また、生存した 30% の芽生えに菌の感染に対する耐性があることを実証するにはどのような実験を行えばよいか、説明しなさい。(8 点)
- (3) 菌の感染に対する芽生え間の耐性の違いが、遺伝的違いであることを実証するにはどのような実験を行えばよいか、説明しなさい。(8 点)
- (4) Far で採取した土壌を使って芽生え 30 個体を一年間育て、翌年その土壌を使って別の芽生え 30 個体を育てたところ、前年よりも平均成長速度が有意に低下した。植物-土壌フィードバック (Plant-soil feedback) と呼ばれるこの現象が生じるメカニズムを説明しなさい。(5 点)
- (5) その後の研究によって、Plant-soil feedback の大きさには、樹種間で変異があり、森林内で個体数が少ない種ほど、Plant-soil feedback を強く受けることが明らかにされた。このような Plant-soil feedback は、森林内での多くの樹種の共存を促進するか、それとも困難にするかについて考察しなさい。(8 点)

海洋生物学 (1 / 2)

(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。

(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)

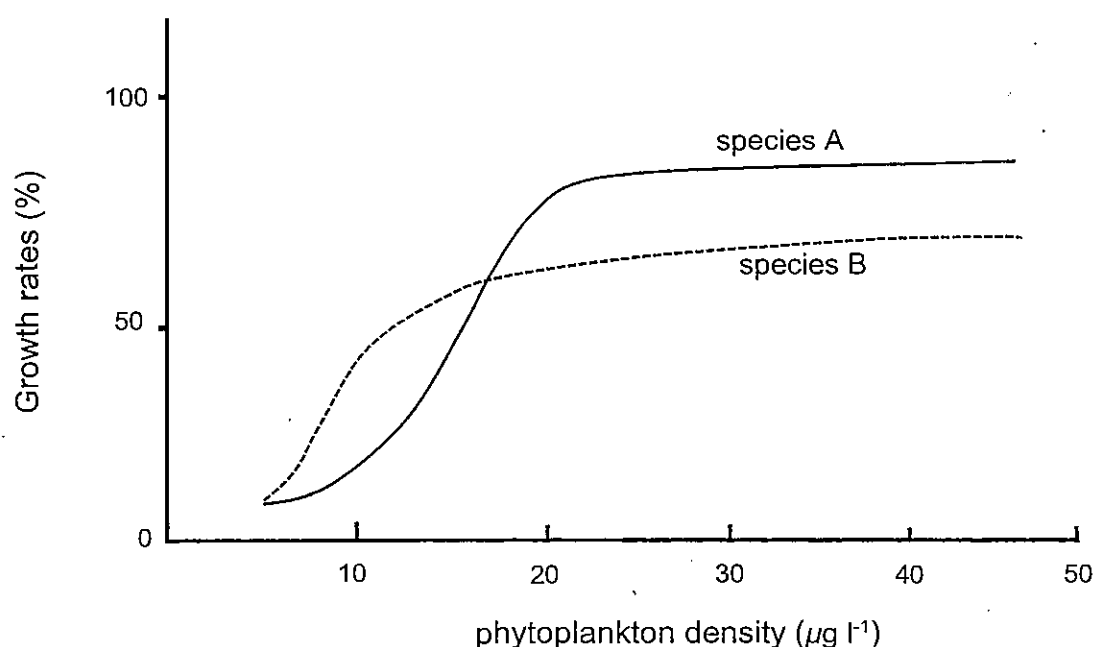
[1] Choose TWO topics from the following five and discuss. (total: 30 points)

- (1) Relation between seasonal thermocline formation and phytoplankton production
- (2) Morphological and ecological adaptation of mangrove plants
- (3) Problems of heavy metal contamination in benthos in coastal waters
- (4) Global distribution of corals
- (5) Morphological diversity of reef fishes

[2] The figure shows the results of feeding experiments in which two sessile filter-feeding gastropod species A and B were kept separately in experimental aquaria at different densities of phytoplankton food. Growth rates are expressed as proportional values in terms of weight increase per unit time. Answer the questions that follow.

(total: 30 points)

- (1) Explain (and give your interpretation of) the patterns observed here. (15 points)
- (2) Consider and discuss the possible situation(s) in which these two species might coexist under natural conditions. (15 points)



海洋生物学（2 / 2）

（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。

- [3] Organisms inhabiting intertidal habitats often demonstrate unique characteristics in terms of ecology, behaviour, morphology and physiology to cope with harsh environmental conditions. Answer the following questions. (total: 20 points)
- (1) What are “harsh environmental conditions”? Explain succinctly one by one. (10 points)
 - (2) If the conditions are harsh, why do some organisms still occur in the intertidal? Discuss. (10 points)
- [4] Two species of echinoderm grazers are known to occur in a tropical seagrass seabed dominated by two species of seagrasses. In order to clarify the interspecific relations between the two echinoderm 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 / 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] 人口規模 N 人の都市で流行したあるウイルスによる致死性感染症の伝播動態を考える。感染者が発生した瞬間から t だけ経過した時刻における非感染者数を $S(t)$ 、感染者数を $I(t)$ 、死亡者数を $D(t)$ とすると、これらは以下の微分方程式に従う。

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

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

$$\frac{dD(t)}{dt} = rI(t).$$

ここで、 r は感染者の死亡率、 β は感染症の伝播率を表す。以下の問いに答えなさい (計 50 点)

(1) 平衡点を求めなさい。(10 点)

(2) 感染者は感染後、平均して $t = 1/r$ 時間後に死に至ることを示しなさい。(10 点)

(3) 流行初期では、ほとんどが未感染者である。この時、感染者数 $I(t)$ の時間変化を線形微分方程式で表しなさい。(10 点)

(4) (3) の線形微分方程式の解析解を求めなさい。(10 点)

(5) 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 βN 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)

(6) 感染者体内のウイルス量を減少させる効果を持つ薬剤開発が可能になった。この薬剤を用いた抗ウイルス治療により伝播率が $0 < f < 1$ だけ減少する、すなわち、治療後の伝播率を $(1-f)\beta$ に抑制することが可能になった。そして、全感染者に対してこの治療が可能となり、 $R_0 = 2$ の感染症の流行を阻止することに成功した。この場合、開発された薬剤による伝播率の抑制効果である f の最小値を計算しなさい。(5 点)

数理生物学 (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] ある多年生植物の個体がつけた花は全て受粉され、他個体からの花粉で受精された種子 (他殖種子) を x 個、自分自身の花粉によって受精された種子 (自殖種子) が y 個作られると考える。他殖種子は確率 $s_{x,y}$ で捕食を逃れて生き残り次世代へと寄与するが、自殖種子は捕食を逃れたとしても近交弱勢のため発芽できず全て死亡すると仮定する。種子捕食者は、他殖種子と自殖種子を区別できずに捕食すると考え、他殖種子の生存率 $s_{x,y}$ を

$$s_{x,y} = \begin{cases} 1 - d/(x+y) & x+y > d \\ 0 & x+y \leq d \end{cases} \quad (1)$$

とする。ここで d は正の定数であり、他殖種子と自殖種子の総数 $(x+y)$ が d 以下であると全ての他殖種子が捕食されるが、 d を超えると食い残しが生じ他殖種子の生存率は増加すると仮定する。自殖種子を作る形質の進化可能性について、以下の問いに答えなさい。(計 50 点)

- (1) 種子を作るコストを c とすると、他殖種子を x 個、自殖種子を y 個作る個体の適応度 Φ は

$$\Phi = s_{x,y}x - c(x+y)$$

となる。上式の右辺の意味を説明しなさい。なお花はすべて他殖あるいは自殖によって受粉されると仮定する (10 点)

- (2) 自殖種子を全く作らない状態 ($y = 0$) から、自殖種子を作る形質が進化するためには、以下の条件

$$\left. \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right|_{y=0} > 0$$

が満たされる必要がある。生存率が式(1)で与えられることを考慮して、上の条件を x, d, c のみを用いた不等式として求めなさい。(10 点)

- (3) 自殖種子を作る形質が進化するとき、適応度を最大にする最適な自殖種子の数を求め、それが c とともにどのように変化するか説明しなさい。(10 点)

- (4) ここまでは作られた花はすべて他殖あるいは自殖によって受粉されると考えてきた。次に受粉は完全ではなく受粉されない花が z 個作られる場合、自殖種子を作る形質が進化する条件を求めなさい。ただしここでは、受粉されない花は胚を発達させ種子捕食者の捕食対象となると考える。また x と z は変化しないとする。(10 点)

- (5) 受粉されない花の存在は、自殖種子を作る形質の進化を促進するかについて(4)で得られた結果をもとに説明しなさい。(10 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] 塩基置換行列についての以下の文章を読んで、下記の問いに答えなさい。（計 50 点）

下に示す行列は仮想的な塩基置換行列で、ある単位時間後に、縦の列の塩基が横の行の塩基に変わる確率を表している。

<div>From \ To</div>	A	C	G	T
A	0.9000	0.0100	0.0800	0.0100
C	0.0100	0.9000	0.0100	0.0800
G	0.0800	0.0100	0.9000	0.0100
T	0.0100	0.0800	0.0100	0.9000

（1）この塩基置換行列から、アデニンが単位時間後にシトシンになる確率、およびグアニンになる確率をそれぞれ答えなさい。（10 点）

（2）この塩基置換行列の値から、塩基置換の傾向が読み取れる。どのような傾向があるかについて、少なくとも下記の用語を用いて、100～200 字程度で述べなさい。（20 点）

用語：プリン、トランスバージョン

（3）ある配列中で進化的に中立なサイトにアデニンがあったとする。単位時間の 2 倍の時間が経った後にそこがグアニンとなる確率は、次のように考えれば計算できる。すなわち、「最初の 1 単位時間後に 4 種それぞれになる確率」そして「4 種それぞれが次の 1 単位時間後に各 4 種からグアニンになる確率」、つまり

A→A→G

A→C→G

A→G→G

A→T→G

と変化する確率の総和となる。その確率の値を有効数字 4 桁まで求めなさい。（10 点）

（4）上記の操作から、単位時間の 2 倍の時間が経った後の確率を示す塩基置換行列は、単位時間後の塩基置換行列の 2 乗として求められることがわかる。その塩基置換行列を有効数字 4 桁まで求めなさい。（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] 入力 I (ただし、 I は $t < 0$ で $I = 0$, $t \geq 0$ で $I > 0$ である定数) によって合成が制御される分子 A の量を近似した一次の常微分方程式モデル (図 1) について、下記の問いに答えなさい。(計 50 点)

分子 A の変化量 $\frac{d[A]}{dt}$ は以下の式で表せられる。

$$\frac{d[A]}{dt} = \boxed{\hspace{2cm}} \quad (\text{a})$$

$k_1 = k_2$ とすれば、上式は

$$\frac{1}{k_1} \frac{d[A]}{dt} = \boxed{\hspace{2cm}} \quad (\text{b})$$

よって

$$\boxed{\hspace{2cm}} \cdot d[A] = -k_1 dt \quad (\text{c})$$

両辺を積分して

$$\boxed{\hspace{2cm}} = -k_1 \cdot t + C \quad (C \text{ は積分定数}) \quad (\text{d})$$

よって

$$A(t) = \boxed{\hspace{2cm}} \quad \dots \quad \text{①} \quad (\text{e})$$

初期条件として $t=0$ のとき $A=0$ とすれば、①式から

$$e^e = \boxed{\hspace{2cm}} \quad (\text{f})$$

よって、このとき常微分方程式①の解は

$$A(t) = \boxed{\hspace{2cm}} \quad \dots \quad \text{②} \quad (\text{g})$$

となる。

これを図示すると図 2 のようになる。このとき、 $t \rightarrow \infty$ とすると、 $A(\infty)$ は $\boxed{\hspace{2cm}} \quad (\text{h})$ となる。

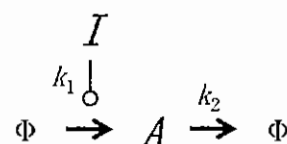


図 1 A の合成と分解の模式図

* Φ は無 (何もない) を、 \bigcirc は酵素反応を、 k_1 , k_2 は合成と分解のパラメータを意味する。

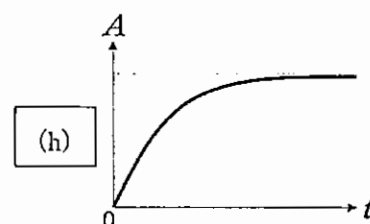


図 2 ②式の時間変化

(1) 上記の (a) ~ (h) に当てはまる式を答えなさい。(各 5 点)

(2) 以下は上記の式を基にした時定数と呼ばれるある指標の説明である。

上記の式において $1/k_1$ は時定数と呼ばれ、反応の [(i) 速さ、(j) 感受性] の指標と解釈することができる。

$t = 1/k_1$ のとき、②式は

$$A(1/k_1) = I \cdot \boxed{\hspace{2cm}} \quad (\text{k})$$

ここで、 $e \approx 2.718$ とすると、時定数とは定常状態の (1) % の値に達するまでの時間と考えられる。

(a) 上記の (i) または (j) の適切な方を選びなさい。(2 点)

(b) 上記の (k) と (1) に当てはまる式または数字 (下一桁まで) を答えなさい。(各 4 点)