

2020 年度
九州大学大学院システム生命科学府
生命系 3 講座入試
(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

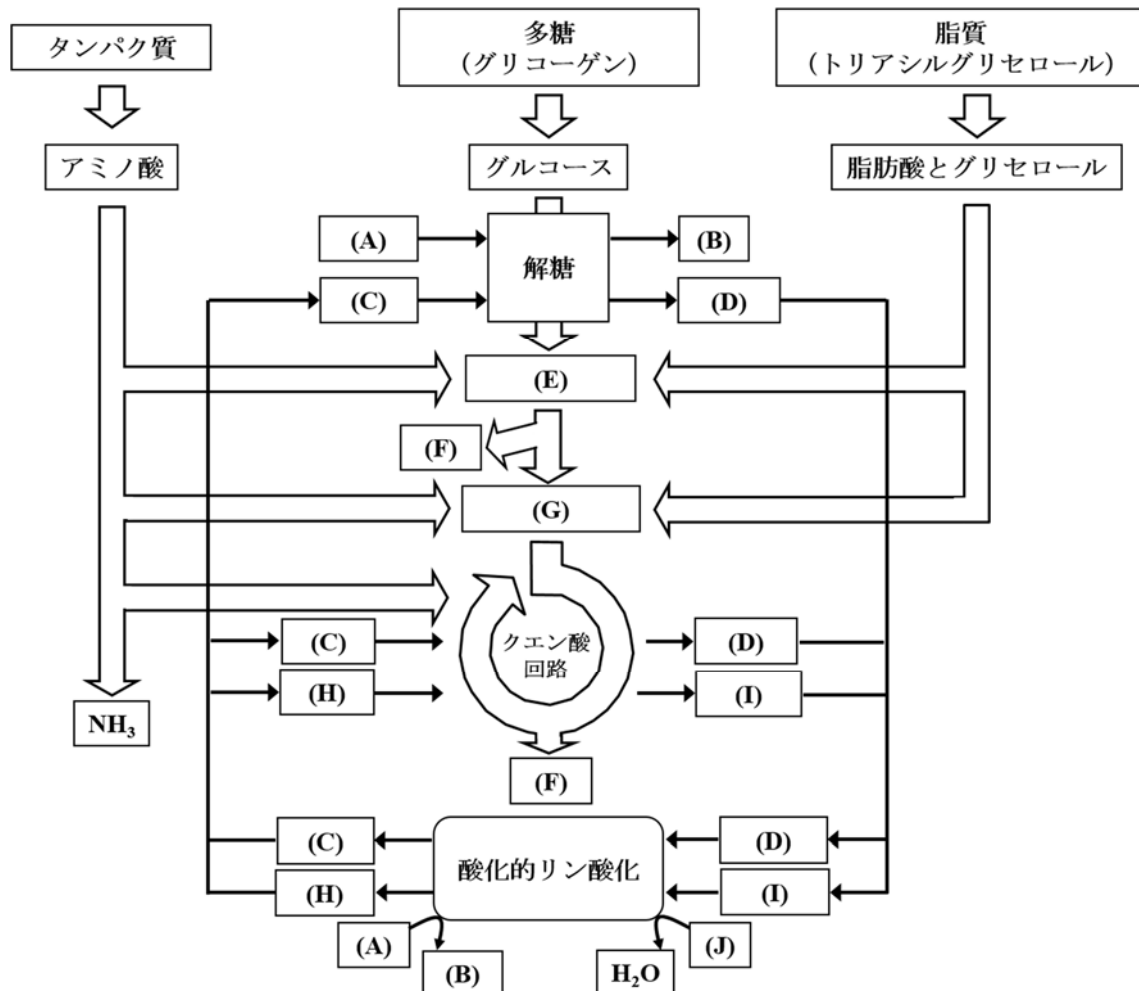
解答にあたっての注意事項

- (1) 問題番号 [1]～[20] 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＞

下図は動物における異化経路を示した略図である。下の設問（１）～（６）に答えなさい。（計 50 点）

- （１）化合物（A）～（J）の名称を答えなさい。（各 2 点、計 20 点）
- （２）クエン酸回路中の酵素の中には複数の酵素からなる複合体を形成しているものがある。該当する酵素名を答えなさい。（4 点）
- （３）多酵素複合体の存在が有利と考えられる理由を 3 つ簡潔に説明しなさい。（各 2 点、計 6 点）
- （４）グリコーゲンの構造について、D-グルコースの結合様式を踏まえて簡潔に説明しなさい。（6 点）
- （５）下記で表したグリコーゲンの分解および合成に重要な反応を触媒する酵素名（a）および（b）をそれぞれ答えなさい。（各 4 点、計 8 点）
 - （a）グリコーゲン（ n 残基）+ $\text{Pi} \rightleftharpoons$ グリコーゲン（ $n - 1$ 残基）+ G1P
 - （b）UDPG + グリコーゲン（ n 残基） \rightleftharpoons UDP + グリコーゲン（ $n + 1$ 残基）
 （Pi: リン酸、G1P: グルコース 1-リン酸、UDPG: ウリジン二リン酸グルコース）
- （６）グリコーゲン合成と分解が異なる経路で行われる生理的な意義について簡潔に説明しなさい（6 点）



問題番号〔2〕＜生化学＞

天然変性タンパク質に関する記述を読んで、設問（1）～（6）に答えなさい。（計 50 点）

天然変性状態（Intrinsically disordered state）とは、アミノ酸配列が一定の立体構造を持たない状態にあることを指している。天然変性状態を示すタンパク質を天然変性タンパク質（Intrinsically disordered polypeptide, IDP）と言う。古くはペプチドホルモンなどが天然変性の性質を持つことが知られていたが、2000 年頃から天然変性タンパク質が普遍的に存在し、生命機能に重要な働きをしていることが^(a)広く認知されるようになった。これは^(b)「安定な立体構造をもつことが、タンパク質分子が機能を発揮するのに必須である」という常識を覆す画期的なパラダイムシフトであった。

天然変性領域は単純なアミノ酸配列の繰り返しや^(c)アミノ酸組成の偏りなどで識別することができるので、予測のためのプログラムの開発は比較的容易である。予測によると、真核生物のタンパク質の 30% 以上は 50 残基以上の長さの天然変性領域をもっている。天然変性領域は他のタンパク質（構造をもったタンパク質の場合や天然変性タンパク質の場合もある）と相互作用する時に、相手に巻き付くようにして結合して一定の立体構造をもつようになることが多く、この相互作用様式を coupled folding and binding mechanism という。このメカニズムの利点は、複数の相手と異なる^(d)コンホメーションで相互作用可能なことや、接触面積が大きいために相互作用の特異性が高いこと、^(e)翻訳後修飾と両立できることが挙げられる。

（1）下線(a)に示すように、天然変性タンパク質の重要性は 21 世紀に入って広く認知されるようになった。その背景となった生物学領域の進展を 1 つ挙げなさい。（4 点）

（2）下線(b)に示すように、多くのタンパク質は一定の立体構造をもって機能する。分子認識に関する「鍵と鍵穴説」をタンパク質の立体構造に基づいて説明しなさい。（10 点）

（3）下線(c)を具体的に説明すると、豊富なアミノ酸残基は Gln、Ser、Pro、Glu、Lys、Gly、Ala で、一方、少ないアミノ酸残基は Val、Leu、Ile、Met、Phe、Trp、Tyr である。このアミノ酸組成の偏りから、なぜ天然変性領域が一定の立体構造を持たないのかを考察しなさい。（10 点）

（4）下線(d)のコンホメーション（conformation、立体配座）について、*n*-ブタン（CH₃-CH₂-CH₂-CH₃）を例として説明しなさい。図を描いても良い。（12 点）

（5）下線(e)の翻訳後修飾として、ヒストンタンパク質の N 末端領域に存在する天然変性領域で起こる翻訳後修飾の種類を 3 つ答えなさい。（9 点）

（6）天然変性タンパク質の動的な構造情報を得るために適切と思われる測定手法の名称を 1 つ挙げなさい。（5 点）

問題番号〔3〕＜分子遺伝学・生化学・細胞生物学＞

以下の文章を読み、（１）から（５）の設問に答えなさい。（計 50 点）

細胞増殖因子は転写制御因子の活性化を通じ、遺伝子発現を誘導したり、細胞内のシグナル伝達系を活性化することで細胞機能を変化させる。細胞増殖因子による細胞分化の過程を理解するためマウス由来の培養細胞を用いて以下の実験を行なった。

- ① 細胞増殖因子 A の添加前後の培養細胞の mRNA の発現量を定量し、発現が上昇した上位 20 遺伝子を増加率の高い順に下の表にまとめた。

遺伝子名	増加倍率	補足情報
<i>Zfp451</i>	14.3	zinc finger タンパク質 451
<i>Hk1</i>	9.1	ヘキソキナーゼ 1
<i>Mrpl30</i>	8.1	ミトコンドリア リボソームタンパク質 L30
<i>Col1a1</i>	5.5	コラーゲン 1a1
<i>Ndufa6</i>	5.1	NADHデヒドロゲナーゼ(ubiquinone) 1a複合体サブユニット6
<i>ldh1</i>	4.8	イソクエン酸デヒドロゲナーゼ1
<i>Eno1</i>	4.7	エノラーゼ 1
<i>Cenpl</i>	4.6	セントロメアタンパク質L
<i>Pdha1</i>	4.2	ビルビン酸デヒドロゲナーゼ
<i>Lss</i>	4.1	ラノステロール合成酵素
<i>Cox6c</i>	3.9	シトクロム c 酸化酵素サブユニット
<i>Eef2</i>	3.6	真核生物翻訳伸長因子
<i>Pk1</i>	3.5	ビルビン酸キナーゼ
<i>Hdac4</i>	3.1	ヒストン脱アセチル化酵素
<i>Gpr98</i>	2.8	G タンパク質-coupled 受容体 98
<i>Mdh1</i>	2.5	リンゴ酸デヒドロゲナーゼ 1
<i>Rpl8</i>	2.3	リボソームタンパク質 L8
<i>Atp5a1</i>	2.2	ATP合成酵素（ミトコンドリア）サブユニット
<i>Itgb2</i>	2.2	インテグリンb2
<i>Jun</i>	2.1	jun proto-oncogene

- ② 細胞増殖因子 A による刺激後に、この培養細胞の酸素消費量は大幅に増加した。そこで、実験に用いた細胞のミトコンドリア、小胞体、リソソーム、ゴルジ体などの細胞内小器官を、これらの細胞内小器官に局在するタンパク質に対する抗体を用い、免疫染色にて観察した。また脂肪滴やグリコーゲン顆粒の存在も染色によって確認した。細胞増殖因子はこれらの構造体のうちのいくつかに顕著な変化を誘導した。
- ③ 上記の変化は細胞増殖因子 A によって活性化された転写制御因子 B によると推測された。
- （１）多くの転写制御因子において DNA 結合ドメインの極性アミノ酸の側鎖が DNA の塩基配列の認識に重要な役割を果たす。これらの極性アミノ酸の側鎖は DNA の塩基を、どのような結合を介して認識するか答えなさい。（10 点）
- （２）mRNA の発現量を定量する方法について、1 つ例を挙げて、その方法を簡潔に説明しなさい。（10 点）
- （３）刺激後の酸素消費量の大幅な増加は、表に示した遺伝子発現の変動にも現れている。酸素消費の上昇にはどの遺伝子の発現上昇が関わっていると考えられるか、遺伝子名とそうように考えた理由を述べなさい。（10 点）
- （４）酸素消費の上昇はどの細胞内小器官の変化と関連しているか、答えなさい。また、脂肪滴、グリコーゲン顆粒にどのような変化が期待できるか、述べなさい。（10 点）
- （５）転写因子 B が関与していることを必要十分に示すための実験を 2 つ挙げ、それぞれを簡潔に説明しなさい。（10 点）

問題番号〔4〕＜分子遺伝学＞

mRNA の翻訳に関する以下の文章を読み、設問に答えなさい。（計 50 点）

無細胞翻訳系はタンパク質を試験管内で合成可能な系で、大腸菌、ウサギ網状赤血球、コムギ胚芽などから作成できる。これらの抽出液は翻訳に必要なタンパク質やリボソーム等を含んでおり、材料となる 20 種類のアミノ酸や鋳型 RNA などの添加によって任意のタンパク質を合成可能である。ウサギ網状赤血球抽出液（RRL）でヒト遺伝子 A の産物を翻訳するため、精製した RNA polymerase を用いた試験管内転写により以下の構造の人工 RNA を作製し、鋳型 RNA として用いた。遺伝子 A の開始コドン上流-10 塩基から、終止コドン下流+100 塩基までは cDNA 由来の配列である。IRES (internal ribosome entry site) はウイルス由来の配列で、リボソーム結合部位として機能する。



- (1) 図の人工 RNA を使うとタンパク質 A が効率よく翻訳されたが、IRES 領域を除いた RNA を使うと翻訳量が大きく低下した。一方、ヒト細胞から遺伝子 A に由来する内在性 mRNA を精製し RRL に加えると、IRES を持たないにもかかわらずタンパク質 A が効率よく翻訳された。内在性 mRNA の翻訳に IRES が不要な理由を簡潔に説明しなさい。（12 点）
- (2) RRL に ^{35}S -メチオニンを加えると、翻訳時にこれが取り込まれ、産物が放射性標識される。これは、RRL に含まれる（ア）が、 ^{35}S -メチオニンを（イ）と結合させ、リボソームにおけるペプチド鎖伸長の基質である（ウ）にするからである。（ア）から（ウ）にあてはまる適切な用語を答えなさい。（12 点）
- (3) タンパク質 A は細胞内でいくつかのリジン残基にアセチル化修飾を受ける。タンパク質 A の翻訳時にアセチル化リジンを直接取り込ませようと考え、リジンに加えてアセチル化リジンを RRL に添加して反応させたが、アセチル化リジンの取り込みは全く見られなかった。アセチル化リジンが RRL 中でタンパク質 A に取り込まれない理由を簡潔に説明しなさい。また、アセチル化リジンをタンパク質 A に直接取り込ませるためには、アセチル化リジンをどのような形で RRL に添加すればよいかを答えなさい。（13 点）
- (4) 上記の実験において、タンパク質 1 分子あたり何個のアセチル化リジンが取り込まれたかを調べるため、等電点電気泳動によりタンパク質 A を分離した。アセチル化リジンの取り込み数に応じてタンパク質 A の等電点がどう変化するかを、理由とともに述べなさい。（13 点）

問題番号〔5〕＜細胞生物学＞

(1) 真核細胞において新しく合成されたタンパク質が、①核内に輸送される過程、②小胞体に輸送される過程、③小胞体からさらにゴルジ体や形質膜に輸送される過程について、それぞれ簡潔に説明しなさい。(20 点)

(2) あるタンパク質の動物培養細胞における局在を免疫蛍光染色で調べたところ、小胞体とゴルジ体に局在していた。(計 30 点)

(a) 動物培養細胞における小胞体とゴルジ体の形態について説明しなさい。(10 点)

(b) 小胞体の形態に重要な役割を果たす細胞骨格の名称を答えなさい。(5 点)

(c) (b)で答えた細胞骨格の伸長と退縮の仕組みについて説明しなさい。(10 点)

(d) このタンパク質の局在を顕微鏡でくわしく観察したい。もっとも高い分解能を期待できる対物レンズは下記のどれか。1 つ選んで記号で答えなさい。(5 点)

(あ) 倍率 $\times 20$, 開口数 0.95

(い) 倍率 $\times 40$, 開口数 1.25

(う) 倍率 $\times 60$, 開口数 0.75

(え) 倍率 $\times 100$, 開口数 1.15

問題番号〔6〕＜細胞生物学＞

以下の文章を読み、下記の問いに答えなさい。（計 50 点）

骨格筋を構成する筋細胞は多核細胞である。細胞質の大部分は（ A ）線維と呼ばれる円筒構造で形成されている。（ A ）線維は（ B ）という小さい収縮単位が繋がってできている。（ B ）は、長さ $2.5\mu\text{m}$ で、脊椎動物の（ A ）線維では規則的な縞模様に見える。（ B ）では（ C ）、（ D ）の 2 種類のフィラメントが集合している。

（1）文中の（A）から（D）にふさわしい語句を答えなさい。（各 5 点）

（2）骨格筋細胞が多核の細胞になるメカニズムを簡潔に説明しなさい。（10 点）

（3）骨格筋細胞と平滑筋細胞の違いを以下のキーワードを用いて簡潔に説明しなさい。（10 点）

キーワード：随意、不随意、単核、多核

（4）骨格筋が運動神経よりシグナルを受けた際に起こる電氣的興奮が伝わる経路を以下のキーワードを用いて説明しなさい。（10 点）

キーワード：横行管（T 管）、筋小胞体、 Ca^{2+}

問題番号 [7] < 発生生物学 >

(1) ショウジョウバエの始原生殖細胞の分化について、以下の文章を読んで問いに答えなさい。(計 25 点)

(a) ショウジョウバエ卵の後端には生殖細胞質 (生殖質またはヌアージュ) と呼ばれるタンパク質-RNA 複合体が存在し、これを取り込んだ細胞が始原生殖細胞として分化するとされる。生殖細胞質を構成するタンパク質あるいは RNA の名称を 1 つ答えなさい。(5 点)

(b) 生殖細胞質を構成するタンパク質 A が、始原生殖細胞への分化に必要であるかを検証できる実験例を記述しなさい。また、その際どのような結果が出たらタンパク質 A が始原生殖細胞への分化に必要であるかを結論できるかについても記述しなさい。(10 点)

(c) 生殖細胞質を構成するタンパク質 A があるだけで、始原生殖細胞への分化に十分であるかを検証できる実験例を記述しなさい。また、その際どのような結果が出ればタンパク質 A が始原生殖細胞への分化に十分であるかを結論できるかについても記述しなさい。(10 点)

(2) 動物の発生過程における間充織細胞と上皮細胞に関する以下の問いに答えなさい。(計 25 点)

(a) 間充織細胞と上皮細胞の特徴を述べた (ア) から (オ) の文章の中で、正しいものを 1 つ選びなさい。(5 点)

(ア) 陥入や収斂伸長という組織の形態形成運動はおもに間充織細胞において行われる。

(イ) インテグリンは上皮細胞と上皮細胞を結合 (連結) する。

(ウ) 外胚葉由来の間充織細胞および中胚葉由来の上皮細胞が存在する。

(エ) 間充織細胞と上皮細胞の間にはケラチンを主成分とする基底膜が存在する。

(オ) 神経細胞は間充織細胞の一種である。

(b) 動物の発生過程で上皮-間充織転換について以下の 4 つの単語を全て用いて簡潔に説明しなさい。(接着性、移動能、不定形、細胞極性) (10 点)

(c) 脊椎動物胚の神経管背側において上皮-間充織転換を行う細胞種の名称と、体幹部においてこの細胞種から分化した細胞種を 3 種類答えなさい。(10 点)

問題番号 [8] <植物生理学>

(1) 植物の代謝調節に関わる以下 (a) ~ (c) の事柄を簡潔に説明しなさい。(計 30 点)

(a) シンクとソース (10 点)

(b) 炭素 : 窒素 (C:N) バランス (10 点)

(c) 高 CO_2 馴化 (10 点)

(2) C_4 植物について、以下の設問 (a) と (b) に答えなさい。(計 20 点)

(a) C_4 型光合成の特徴について簡潔に説明しなさい。(8 点)

(b) C_4 型光合成を持つ植物は、 C_3 型光合成を持つ植物に対して、どのような自然環境で有利と考えられるか。その理由と共に簡潔に説明しなさい。(12 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)

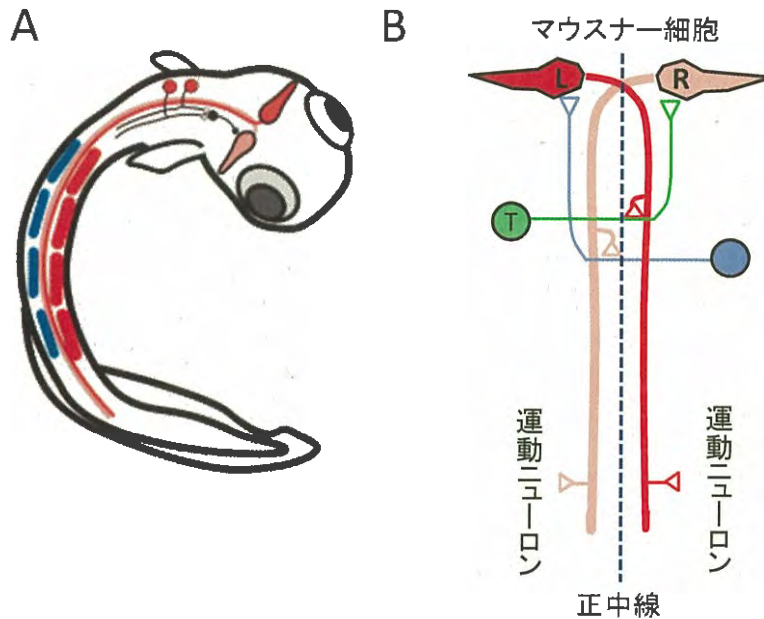
- (a) 気孔が青色光を感知して開くメカニズムについて、説明しなさい。(20 点)
- (b) 気孔の開口以外で、青色光が関与する植物の生理反応を一例あげ、簡潔に説明しなさい。(10 点)

(2)

- (a) 植物の根は重力に向かって曲がるという正の屈性を示す。重力屈性において偏差成長を促す植物ホルモンの名称を書きなさい。(5 点)
- (b) 地下部における重力の感知に関わる細胞および、その細胞に含まれる細胞内小器官の特徴について説明しなさい。(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)



ゼブラフィッシュなどの硬骨魚類の後脳には、マウスナー細胞と呼ばれる大きな一对の神経細胞がある。片側に強い刺激がくると、その刺激の側のマウスナー細胞は、活動電位を発生させ、運動ニューロンを介して反対側の筋肉を収縮させる(図 A)。この収縮によって、体は大きく屈曲し、逃避行動をとることができる。

このマウスナー細胞の作る神経回路を図 B に示す(わかりやすくするために一部簡略化している)。左側のマウスナー細胞 L は、正中線を通して、右側の運動ニューロンに興奮性のシナプスを作っている。また、マウスナー細胞 L は、介在ニューロン T にも興奮性のシナプスを形成している。この介在ニューロン T は、右側のマウスナー細胞 R に抑制性のシナプスを形成している。

- (1) 神経細胞に活動電位が発生するメカニズムを 3-5 行程度で説明しなさい。(10 点)
- (2) マウスナー細胞は、太い神経軸索を持っている。神経軸索が太いことは逃避行動に有利であると考えられるが、それはなぜか説明しなさい。(10 点)
- (3) 抑制性の神経伝達物質を 1 つ挙げ、その名称と構造式を書きなさい。(10 点)
- (4) 介在ニューロン T を介した神経回路は、魚の逃避行動に重要な役割を持っていると考えられる。その役割を書きなさい。(10 点)
- (5) (4) で考えた役割があることを示すための実験を考えて説明しなさい。(10 点)
ただし、図 B に示したマウスナー細胞や介在ニューロン T は、生きたまま顕微鏡で観察可能であり、それぞれのニューロンだけで発現するプロモーターが利用できるものとする。

問題番号[1 1] < 遺伝学・集団遺伝学 >

以下の問いに答えなさい。(計 50 点)

- (1) ABO 式血液型の 3 つのアレル、 A 、 B 、 O の頻度がそれぞれ p 、 q 、 r ($p + q + r = 1$) のメンデル集団を考えると、4 種類の血液型の期待される頻度を p 、 q 、 r で、それぞれ表しなさい。(各 5 点、計 20 点)
- (2) 自家受精も行う二倍体両性生物を考える。集団サイズ (N) が一定の任意交配集団で、突然変異と自然淘汰は無視できるとして、以下の (a) から (c) の問いに答えなさい。
- (a) t 世代における近交係数を F_t 、 $(t-1)$ 世代の近交係数を F_{t-1} と表すとすると、 F_t は以下のように表せる。
 $F_t = (A) + (B)$ (式 1)
ここで (A) は近親交配によらず変異型アレルが同祖接合になる確率、(B) が近親交配によって変異型アレルが同祖接合になる確率を表す。(A) と (B) に当てはまる式を書きなさい。(各 5 点、計 10 点)
- (b) 上で得た (式 1) から、 $(1-F_t)$ がヘテロ接合度に比例することを利用して、 t 世代におけるヘテロ接合度 H_t と、 $(t-1)$ 世代におけるヘテロ接合度 H_{t-1} の関係を表す式を導きなさい。(10 点)
- (c) ヘテロ接合度が 0.5 の集団の、2 世代後のヘテロ接合度が、現在から何パーセント減じているかを、(b) で導いた式を使って、以下のそれぞれの場合について計算をしなさい (有効数字は 2 ケタとする)。(各 5 点、計 10 点)
- (i) 集団サイズが 5 の場合
 - (ii) 集団サイズが 50 の場合

問題番号[12]＜遺伝学・集団遺伝学＞

遺伝的変異と自然選択についての以下の文章について、下の設問（１）～（４）に答えなさい。（計 50 点）

変異は、ある環境下での個体の生存との関係から、3つに分けることができる。2つは、生存に（ア）な変異、生存に（イ）な変異である。残る1つは生存に（ア）でも（イ）でもない、（ウ）な変異である。生存に（ア）な変異をもつ個体は、生存の機会と子孫を増やす機会に恵まれ、（イ）な変異を持つ個体は、（ア）な変異をもつ個体との競争によって、集団から排除されていく。また、各変異をもつ個体がどれだけ多くの子孫を残せるのかの尺度（1個体あたりの繁殖可能な子孫の数）を（エ）と言う。

- （１）文章中の（ア）～（エ）に入る適切な語句を答えなさい。（（ア）、（イ）各2点、（ウ）、（エ）各3点、計10点）
- （２）（ア）な変異と（イ）な変異の（エ）との関係を述べ、世代を経ることによるそれぞれの集団内での頻度の変化について簡潔に述べなさい。（10点）
- （３）生存に（ウ）な変異の（エ）との関係を述べるとともに、自然集団において世代を経ていく場合、生存に（ウ）な変異の頻度と集団のサイズとの関係を簡潔に説明しなさい。（15点）
- （４）人類はアフリカで出現し、その後アフリカ以外の各地へと進出していった。ある遺伝性疾患Xの頻度を調べたところ、アフリカの集団と比べ、アフリカ以外の集団で頻度が高くなっている。この頻度の違いが生み出された背景について、集団サイズの変化の視点から簡潔に説明しなさい。（15点）

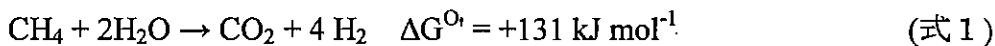
問題番号[1 3] <生態学>

(計 50 点)

(1) 生物間相互作用における 2 者間の関係を示す以下の 3 つの語について、それぞれ例をあげて 50 字～100 字の範囲で説明しなさい。(各 5 点、計 15 点)

- (a) 片利共生
- (b) 消化共生
- (c) 防衛共生

(2) 栄養共生の例としてメタン酸化古細菌と硫酸還元細菌による嫌氣的メタン酸化が知られている。メタン酸化古細菌によるメタン生成の逆反応 (式 1) は、標準的な生化学的条件下 (反応物と反応生成物が等濃度である条件) ではギブス自由エネルギー (ΔG^0) が正となり、熱力学的には進行しない反応である。しかし、硫酸還元細菌 (式 2) と共存することで、嫌氣的メタン酸化反応が可能となることを簡潔に説明しなさい。(10 点)



(3) 植物は草食動物による摂食による成長量や種子生産の減少を防ぐために、さまざまな性質 (防衛戦略) を発達させている。以下の防衛戦略について具体例をあげ、植物側にどのようなコストがかかるかについて説明しなさい。また、草食動物はこれらの防衛戦略に対してどのような対抗進化をしているかについて説明しなさい。(15 点)

- (a) 化学物質による防衛
- (b) 固い組織による防衛

(4) 動物媒の植物では、花の大きさ (display) とともに単位時間あたりで花を訪問する送粉者が増えるが、訪問する送粉者数はいずれ飽和することが知られている。一方で、めしべに産卵する種子食者による食害は、花の大きさとともに線形的に増える。両者の関係から、最適な花サイズが進化し得ることを、以下の変数・式を用いて説明しなさい。(10 点)

x : 花の大きさ (突然変異によって変化する量)

$g(x)$: 種子食害がない場合の植物一個体の繁殖成功度 (減速・飽和型の微分可能な関数と仮定する)

ax : 種子食者により食べられる種子数。 x に比例するものと仮定する。 a は正の定数。

問題番号[1 4] <生態学>

指数的增长をする個体群では、個体数は $N_t = N_0 e^{rt}$ という式で表される。ここで、 N_t は時刻 t における個体数を表し、 r は増殖のパラメーター（マルサス係数）である。指数的增长はマルサスの増殖と呼ばれることもある。純繁殖率 R_0 は 1 個体が次の世代に残す子の数の平均であり、ある世代の個体数を M とすると、次の世代の個体数は $R_0 \cdot M$ である。以下の（１）から（６）の問いに答えなさい。

（計 50 点）

- （１） 次の式は指数的增长の式を微分方程式で表したものである。右辺の空欄を埋めなさい。ただし、 t は時間、 N は個体数を表すものとする。（5 点）

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

- （２） 指数的增长をする個体群において個体数が減少しているとき、 r はどのような値をとるか、また、 R_0 はどんな範囲の値をとるか、答えなさい（5 点）
- （３） それぞれが指数的增长する 2 つの個体群 A と B があり、純繁殖率は B が A よりも大きい。ある時点における A と B の個体数は等しかったが、その 20 年経過後にはどちらも個体数が増加したが、A の個体数の方が B よりも大きかった。B が A よりも純繁殖率が大きいのに、このような結果になる理由を、簡潔に書きなさい。（10 点）
- （４） 個体数の実際の変動では密度依存性は重要な特徴である。指数的增长では密度依存性はどのように取り扱われているか。簡潔に説明しなさい。（8 点）
- （５） ロジスティック的增长では密度依存性はどのように取り扱われているか。簡潔に説明しなさい。（8 点）

- （６） 個体数を N 、時間を t としたとき、個体あたりの瞬間的増殖率は $\left(\frac{1}{N} \cdot \frac{dN}{dt} \right)$ である。指数的增长とロジスティック的增长のそれぞれについて、個体あたりの瞬間的増殖率を縦軸、 N を横軸にとったグラフを描きなさい。なおロジスティック的增长における環境収容力はどこにあたるかをグラフに図示すること。（14 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.
(total: 50 points, 25 points each)

- (1) Competitive relations among benthos in the rocky intertidal
- (2) Global distribution of kelp forests
- (3) Migration between freshwater and marine habitats
- (4) Morphological and ecological adaptation of planktonic algae
- (5) Problems of plastic contamination in marine environments

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 questions concerning deep-sea ecosystems and their organisms.
(10 points each, total: 50 points)

- (1) Discuss the environmental characteristics of deep-sea abyssal plains.
- (2) Explain the linkages between deep-sea ecosystems and shallow-water ones.
- (3) Choose one taxonomic group (specify a phylum in Latin) of deep-sea organisms and describe their ecological and morphological characteristics which are unique compared with shallow-water relatives.
- (4) Explain a form of energy intake which is widely observed among organisms occurring in hydrothermal vent systems.
- (5) Discuss the reasons why benthic shell-bearing molluscs are relatively scarce in deep sea trenches.

問題番号[17] <数理生物学>

害虫と天敵の個体群動態を単純化して表現した以下の数理モデルを考える。ここで x と y はそれぞれ害虫と天敵の個体密度であり、時間 t の関数として次の連立微分方程式に従う。

$$\frac{dx}{dt} = r(1-x)x - a \frac{xy}{1+cx}$$

$$\frac{dy}{dt} = b \frac{xy}{1+cx} - y$$

上式の r, a, b, c は非負の実数である。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) 上の式において $\frac{dx}{dt} = 0$ を満たす線すべてを (x, y) 平面上に描き、 (x, y) の増減をアイソクライン法によって図示しなさい。(10 点)
- (3) 害虫と天敵の両者が共存する平衡点（共存平衡点）の存在条件を答えなさい。(10 点)
- (4) 共存平衡点の安定性を求めなさい。(10 点)
- (5) 殺虫剤によって害虫の死亡率が増加した場合を考え、上のモデルを改変しなさい。改変したモデルの共存平衡点を分析することで、殺虫剤の使用がもたらす帰結を予想しなさい。(10 点)

問題番号[18] <数理生物学>

ゲノムサイズが N 塩基のウイルスを考える。このウイルスの1塩基当たり・1複製当たりの変異率を M とする。単位複製当たり、各塩基の変異よりウイルスは独立して N 回の変異を獲得する機会があるとする。以下の問いに答えなさい（計50点）。

- (1) 1回の複製後、ウイルスゲノムに起こる変異の平均数を計算しなさい。（10点）
- (2) 各塩基の変異が二項分布に従うと考えた場合、1回の複製後、ウイルスゲノムに合計 L 個の変異が起こる確率を計算しなさい。ただし、 L は N 以下である。（10点）
- (3) 変異率 M が十分に小さくて、ゲノムサイズ N が十分に大きい場合を考える。ただし、(1)で求めた変異の平均数は変化しないとすれば、(2)はポアソン分布 $\frac{(NM)^L e^{-NM}}{L!}$ に従う。この時、1回の複製後、ウイルスゲノムに変異が1つも起こらない確率を求めなさい。（10点）
- (4) (3)の時、少なくとも1つの変異がウイルスゲノムに起こる確率を計算しなさい。（10点）
- (5) HIV-1では $M \approx 10^{-5}$ かつ $N \approx 10^4$ 程度であることが知られている。1回のウイルス複製サイクルを経た後、変異を持たないウイルスができる確率、変異を1つ持つウイルスができる確率、変異を2つ持つウイルスができる確率をそれぞれ計算しなさい。ただし、 $e^{-0.1} \approx 0.9$ とする。（10点）

問題番号[19] <情報生物学>

遺伝子発現の強さを可視化するのに、いくつかのレポーターが使用されている。例えば、GFP と呼ばれるタンパク質はある特定の励起波長を照射すると、それとは異なる波長の蛍光を発する。この性質を利用し、細胞などを生きたままの状態でも遺伝子発現の強さを可視化することができる。しかし、GFP の蛍光強度が遺伝子発現の強さをそのまま反映しているわけではない。そこで、プロモーター活性の強さと GFP の蛍光強度（発現量）を近似した一次の常微分方程式モデル（図1）について、以下の問いに答えなさい。（計50点）

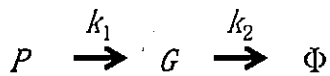


図1 GFP レポーター制御の模式図
 Φ は無（何もない）を、 G は GFP の蛍光強度を、 P はプロモーター活性を、 k_1 , k_2 はそれぞれ GFP の成熟（合成を含む）、分解を示す。

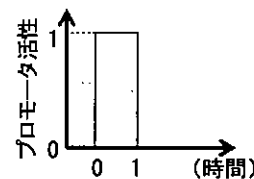


図2 プロモーター活性の時間波形
 横軸は時間、縦軸はプロモーター活性を示す。プロモーター活性は0で最大値（1）に到達し、1時間で元に戻る。

- (1) GFP の蛍光強度 G の時間変化率 $\frac{d[G]}{dt}$ を G, P, k_1, k_2 を用いて記述しなさい。（10点）
- (2) 時刻 $t=0$ の時 $G(0)=0$ とした場合 $G(t)$ を k_1, k_2 を用いて記述しなさい（部分点あり）。ただし、 P の値は1とする。（15点）
- (3) GFP の蛍光強度が定常状態に達するのに1時間以上かかる場合、図2で示すパルス状のプロモーター活性を示した時（最大値1）の GFP の蛍光強度の大まかな時間変化を横軸を時間、縦軸を GFP の蛍光強度として作図しなさい。（10点）
- (4) (3) の通り、プロモーター活性と GFP の蛍光強度の時間変化は一致しない場合がある。一致するような理想のレポーターを作成するためにはどうしたらよいか？理想のレポーターを作成するための問題点に触れながら、(2) をできるだけ参考に、 k_1, k_2 を用いて記述しなさい。（15点）

問題番号[20] <数学>

次の(1)から(6)に答えなさい。(計50点)

(1) 次の極限をもとめなさい。(8点)

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\log(1+x) - x}{x^2}$$

(2) 次の関数を $x=0$ のまわりでべき級数展開しなさい。また、収束半径を示しなさい。(8点)

$$\frac{1}{1+x^2}$$

(3) 次の定積分をもとめなさい。(8点)

$$\int_0^1 \frac{dx}{1+e^x}$$

(4) 次の常微分方程を関数 y について解きなさい。ただし、関数 y は初期条件 $y(x=0)=0$ を満たすとする。(9点)

$$\frac{dy}{dx} + y = x^2$$

(5) 行列 $A = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{pmatrix}$ の固有値をもとめなさい。(8点)

(6) 行列 $A = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{pmatrix}$ として、 A^n をもとめなさい。(9点)