

日本生物学オリンピック 2013

第25回国際生物学オリンピック(インドネシア大会)

代表選抜試験 第1部(記述式理論問題)

2014年3月21日(金・祝日) 9:20~11:40

注 意

1. 各問題文を読んで、題意に沿った解答を、文章(指定された場合は図、表)によって解答しなさい。
2. 解答は、問題ごとに指定された解答用紙に記入しなさい。字数制限は特にありません。
3. 学術用語は、日本語又は英語で正しく用いなさい。
4. 解答時間は、2時間20分とします。
5. 解答用紙の各ページの上に、問題番号、受験番号、氏名を記入しなさい。
6. 問題は全部で7問あり、その中には小問がいくつかあります。
7. 問題冊子は試験終了後持ち帰って下さい。

受験番号 _____ 氏名 _____

第1問 生命現象のいろいろなレベルに見られる相互関係に関する以下の文を読み、問1～問4に答えなさい。

私達の体はもともと1個だった受精卵が、約60兆個の細胞になり、調和のとれた体が出来上がっています。それらは常に代謝しながら体の恒常性を維持しており、それらの細胞も各々、異なった構造と機能をもって、私達の体を支えています。それらの働きは、ミクロのレベルからマクロなレベルまで、色々な相互関係の上に成り立っています。一人の個体をつくりあげている、構造と機能とはどのようなものがあり、それらの仕組みは、どのようなものか、具体例をあげながら下記の間1～問4について説明しなさい。

問1 核と細胞質の相互作用

問2 細胞間相互作用

問3 上皮-間充織相互作用

問4 器官（臓器）間相互作用

（第1問終わり）

第2問 エンドウの交配実験に関する以下の文を読み、問1~4に答えなさい。

メンデルはエンドウの7つの形質に着目して、品種間の交配を行なった。F₁世代ではいずれかの親株の形質（優性形質）が現われたが、F₁世代の自家受粉によって得られたF₂世代には2種類の親株の形質（優性形質と劣性形質）が約3:1に分離した。メンデルはF₂世代の自家受粉によってF₃世代を得たが、劣性形質のF₂（劣性対立遺伝子のホモ接合体）からは劣性形質のF₃だけが生じた。一方、優性形質のF₂からは優性形質のF₃だけが生じるもの（優性対立遺伝子のホモ接合体）と、優性形質と劣性形質が約3:1に分離するもの（ヘテロ接合体）とに分かれた。優性形質のF₂におけるホモ接合体とヘテロ接合体の比を調べるため、メンデルはF₂から1株あたり種子を10個ずつ採取してまき、劣性形質のF₃が生じるかどうかを観察した。劣性形質のF₃が1個体も現われなかったとき、その親はホモ接合体であったと確実に言えるだろうか。メンデルの実験データにはこのことによって生じると考えられる数値のずれが見られないと、フィッシャーは指摘した。

問1 下線部アには、花の色・花の位置・種子の色・種子の形・さやの形・さやの色・茎の長さが含まれる。メンデルの実験において、他の形質と比べてデータの規模が大きかったものは何か。理由とともに、2つの形質を挙げなさい。

問2 下線部イに関して、ヘテロ接合体の親から劣性形質のF₃が1個体も現われない確率を計算する式を書きなさい。

問3 下線部イに関して、F₃が10個体すべてうまく生育できるとは限らないことに注意する必要がある。そのような場合、そのデータはどのように処理すべきか。また、このような状況を避けるためには実験をどのように計画すればよいか述べなさい。

問4 下線部イに関して、F₃の何個体かがうまく生育できなかった場合、メンデルは実験データをどのように処理したと推測できるか。本文中にあるフィッシャーの指摘を踏まえて考え、述べなさい。 (第2問終わり)

第3問 生態系に関する以下の文を読み、問1～4に答えなさい。

(A) 沿岸に広がる大型藻類からなる藻場生態系は、熱帯雨林に匹敵するほどの高い生産量を示し、また多様な海洋生物が生活を営むことから、沿岸における重要な生態系となっている。我が国の藻場にみられる大型藻類は褐藻、緑藻、および紅藻である。これらの藻類は光合成色素としてクロロフィル a を共通にもっているが、それに加えて (B) それぞれの藻類に特徴的な色素も有している。 図1に示すように、これらの光合成色素が吸収する光の波長帯は互いに異なっており、保有する色素の違いは生息する場所の光環境と深い関係をもっている。

海洋表面には、波長 300nm から 2000nm を越えるまで、広範囲にわたる波長の太陽光が到達する。しかし、水面近くの表層において紫外線や赤外線は急速に吸収され、水中には可視光線を中心に透過して行く。水中において、光は主として水、粒子状物質、溶存物質そして植物プランクトンにより吸収・散乱されるが、それぞれによる吸収の波長特性が異なるため (図2)、深度の増加に伴って光の波長組成が変化する。また、沿岸と外洋では光を吸収する各要因の寄与が異なるため、両者には水中の光の波長組成にも差が認められる (図3)。

(C) このような海水中の光の波長組成と、各藻類が保有する光合成色素の種類は、各藻類が成育する深度に影響を与えることが知られている。

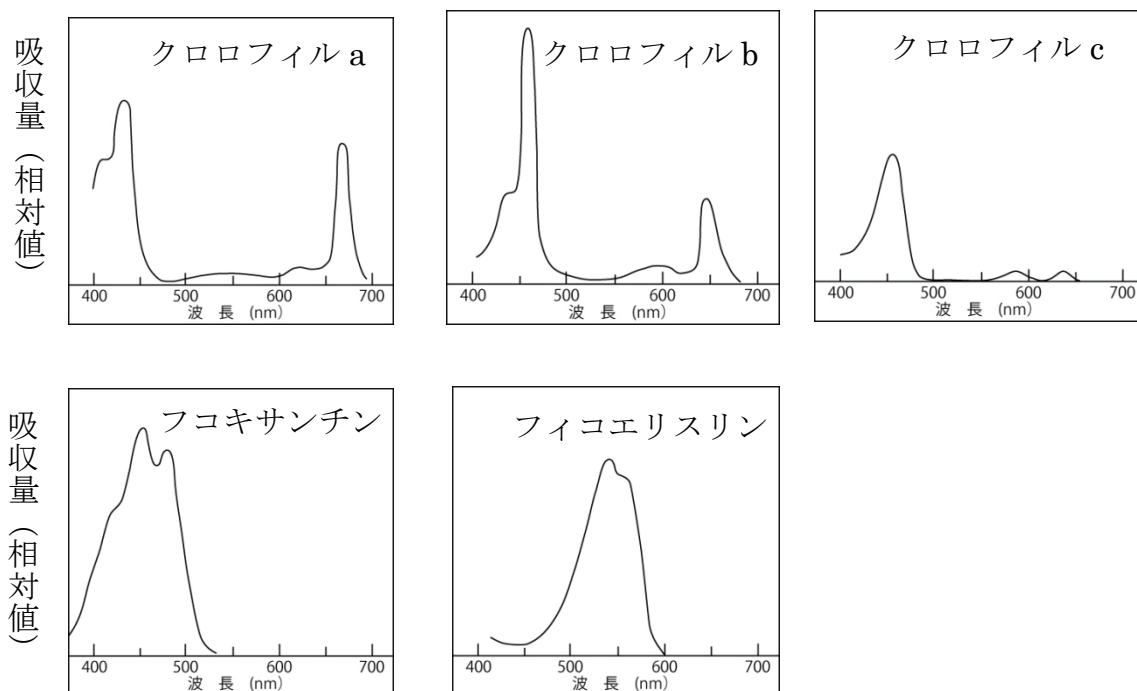


図1 5種類の光合成色素の光の波長と吸収量の関係

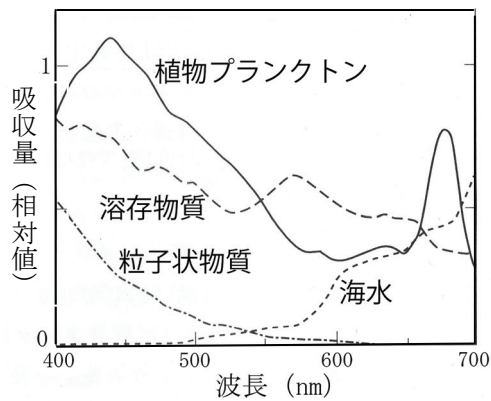


図2 海水中に存在する物質の光吸収量の波長分布

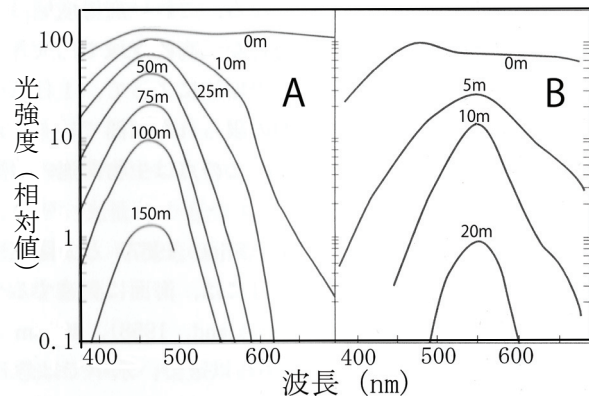


図3 海水中の各深度における波長別の光強度
図中の数字は深度(m)を示す

- 問1 下線部 (A) について、褐藻、緑藻、および紅藻など大型藻類の分布は沿岸に限られ、外洋の生態系には分布しない。この理由について述べなさい。
- 問2 下線部 (B) に関連し、褐藻、緑藻、および紅藻それぞれについて、クロロフィル a 以外に保有する光合成色素の名称を、図1から選んで答えなさい。各藻類とも1種類とは限らない。
- 問3 図3に示すAおよびBの図は、沿岸と外洋のどちらを示すかを、それぞれについて答えなさい。また、そう考える理由を述べなさい。
- 問4 下線部 (C) について、緑藻と紅藻を比較した場合、どちらがより深い深度まで成育が可能と考えられるかを答えなさい。また、そう考える理由を述べなさい。

(第3問終わり)

第4問 脊椎動物の四肢の形成に関する以下の問1～問3に答えなさい。

問1. 四足動物の四肢は魚類の鰭（ひれ）（胸鰭、腹鰭）から進化したと考えられている。その証拠として、FGF10という成長因子が鰭と四肢の初期発生に重要であることが分かっている。しかし、鰭と四肢の原基（もともになる構造）にFGF10が作用しても、最終的に魚類の鰭と四足動物の四肢は異なる構造をしている。それはなぜかについて、以下の語を用いて解答しなさい。

（用いる語： FGF10、遺伝子、転写調節）

問2. 四肢の発生において、前後軸（ヒトでは親指から小指に向かう軸）がどのようにして決定されるかという研究が多くなされてきた。四肢の原基（肢芽）の後端部の中胚葉性組織を前端部に移植すると、通常の指の組が鏡映対称に付加された過剰指が形成された。これは後端部の組織細胞からある形態形成物質が分泌されて、その濃度勾配によって指の軸が決まるためであると考えられた。この分泌物質の候補としてSというタンパク質が挙げられた。Sが四肢の前後軸を決定する物質であることを証明するには、どのような証拠・実験が必要か、述べなさい。

問3. 四肢の筋肉（骨格筋）は発生学的に体節に由来することが分かっている。体節は胚体のほぼ全長にわたって多数形成されるが、そのうち四肢に筋肉の前駆細胞を送り出す体節は四肢原基の付近にある体節のみである（図1）。特定の体節から筋肉前駆細胞が原基に移動するしくみとして、四肢原基からは近くの体節に対して、筋肉前駆細胞を引き寄せる因子が放出されることが考えられる。それを実証するための実験を考えて述べなさい。

（次ページに続く）

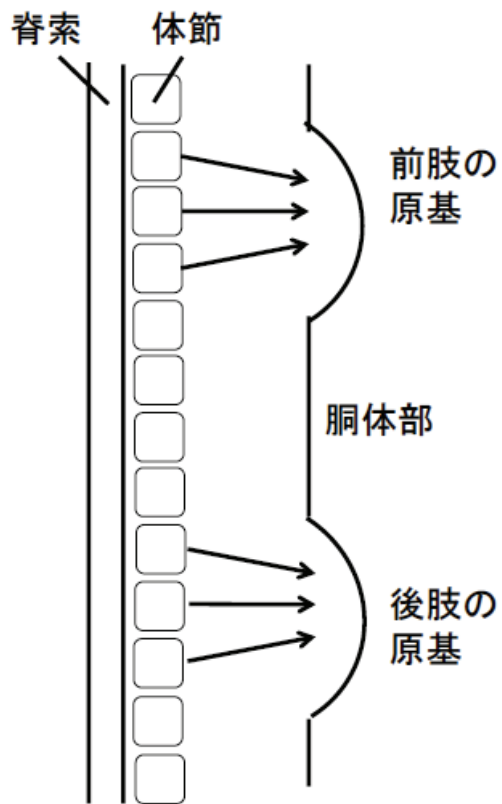


図1 四足動物胚における四肢（前肢と後肢）原基と、体節の模式図。胚体の右半分だけを示す。矢印は体節から四肢原基への筋肉前駆細胞の移動を表す。

(第4問終わり)

第5問 動物の神経系に関する以下の文を読み、問1～4に答えなさい。

動物の神経細胞の軸索では、情報を電氣的シグナルとして伝えている。ア静止状態の神経細胞の膜電位は -60 ～ -80 mVほどであるが、刺激により脱分極が起き、最終的にイ活動電位を生じる。活動電位は常に一定の大きさを持つため、軸索の膜上を減衰すること無く伝わっていく。このシグナルが神経終末に達すると、シナプスにおいて神経伝達物質を放出し、ウシナプス後細胞へシグナルを伝えていく。エシナプスにおけるシグナル伝達の長期的な変化は、記憶や学習の基礎となっていると考えられている。

問1. 下線部アについて、静止電位を生じる仕組みを説明しなさい。

問2. 下線部イについて、Hodgkin と Huxley は 1950 年代にイカの神経を用いて軸索の膜電位の変化を記録し、活動電位の解析を行った成果で 1963 年にノーベル賞を受賞した。当時は脊椎動物で同様の研究を遂行することは不可能で、イカを用いなかったとしても、ミミズ等の無脊椎動物を用いることが必然であったと言える。なぜ Hodgkin と Huxley はイカの神経を用いる必要があったのか、無脊椎動物と脊椎動物の神経の構造の違いに言及しながら、考察しなさい。

問3 下線部ウについて、シナプス後細胞がシナプス前細胞の情報を統合して最終的に活動電位を発生させる仕組みを、下記()内に示す語を用いて説明しなさい。図を用いても構わない。

(シナプス後電位、EPSP、IPSP)

問4 下線部エについて、シナプス伝達の長期的な変化として代表的な例を挙げ、説明しなさい。

(第5問終わり)

第6問 酵素と ATP に関する以下の文を読み、問1～問4に答えなさい。

細胞のはたらきを一定に保つホメオスタシスの具体的なメカニズムは、さまざまな酵素の活性を調節するフィードバック阻害によることが多い。ここでは、解糖系のフィードバック阻害の重要な標的となるホスホフルクトキナーゼという酵素を考えてみよう。この酵素は下に示す反応を触媒し、解糖系の進行を制御する。



この酵素の特性を試験管内で調べると、反応を効率よく触媒するためには基質として 0.03 mM 程度以上の ATP が必要であるが、2 mM 以上の濃度の ATP によって阻害されることがわかった。

問1. 2 mM 以上の高濃度の ATP はこの酵素の活性部位とは異なる部位に結合する。このような酵素の調節機構を何というか。

問2. 細胞の代謝における解糖系の役割を2つ以上述べなさい。

問3. 細胞内の ATP 濃度が通常一定に保たれているとすれば、その濃度はどの程度か、根拠とともに推測して述べなさい。

問4. 生物は激しい運動や強い刺激応答を示すとき、ATP を多量に消費する。このとき、細胞内の ATP 濃度はどの程度変動すると考えられるか、根拠とともに推測して述べなさい。

(第6問終わり)

第7問 動物の個体群と生活史に関する以下の文を読み、
問1～問4に答えなさい。

動物の個体群は、資源をめぐる種内の競争や、異なる種との種間競争、さらに他の生物による捕食などさまざまな生物間相互作用によって、その個体群の増加が制限されている。仮想的な2つの火山島に定着したトカゲとその捕食者であるヘビの個体群動態と生活史の進化を考えてみよう。トカゲは α 島と β 島に、トカゲを捕食するヘビは β 島にのみ、それぞれほぼ同時に住み着いたものとする。 α 島にたどり着いたトカゲは、その後順調に個体数を増やし、一定の密度に達した後、個体数の増加は止まり安定した。一方、 β 島ではトカゲとヘビの個体数は周期的に増減を繰り返している。

問1. α 島におけるトカゲの個体群増加の仕方を何というか。

問2. α 島におけるトカゲ個体群の増加率は個体群密度に依存して低下し、一定の密度に達したところで増加率がゼロになった。個体群の増加率がゼロになる時の密度を何というか。

問3. 閉鎖された個体群の増加率は、出生率と死亡率の差で表すことができる。 β 島におけるトカゲとヘビの個体数が周期的に増減を繰り返していることを、トカゲの増加率に対するヘビの個体数の影響、ヘビの増加率に対するトカゲの個体数の影響という視点から説明しなさい。

問4. トカゲの生活史は、2つの島で異なる方向に進化することが期待される。 α 島で K 選択、 β 島で r 選択が作用した場合に、生活史（繁殖開始年齢、1個体の雌が1回に産む卵数、卵サイズ）に生じる変化を予測し、その理由を解説しなさい。

(第7問終わり)