

生 物

1 次の(文1)を読み、問1から問5に答えよ。

(文1) 細胞の構造に着目すると、生物は と真核生物の2つに分けられる。地球上で最初に出現した生物は であり、これまでに知られている最も古い生物化石は、約 年前にできたと推定される岩石から発見されている。その後、 紀に至り、バージェス動物群の出現があったことを示す化石など、多くの生物化石が発見され、⁽¹⁾現在みられるほとんどの動物門が出現したことがわかった。この時期の大型動物の急速な多様化は 大爆発と呼ばれている。 紀以降の時代は、出現する生物化石の種類が大きく変化する時を境にして、、中生代およびに分けられている。

現在の地球上の生物は、多くの共通性を有すると同時に、形態、生理、行動様式などのさまざまな面で多様である。⁽²⁾生物の多様性を考える場合、種、遺伝子、の3つの視点が重要である。種の多様性は、地域や生息域の環境条件によって大きく変化し、また、⁽³⁾攪乱の強さや頻度も種数に影響する。遺伝的多様性は、同じ個体群の個体間にみられるものと、地理的に隔たった個体群間でみられるものに大別される。生物群集と非生物的環境を合わせたものであるには、さまざまな環境に対応した多様性が存在する。

問1 (文1)の ~ に入る、最も適当な語を記せ。

問 2 下線部(1)のバージェス動物群として最も適当なグループをア～オの中から
選び、記号を記せ。

ア 無顎類 総鰭類 イクチオステガ

イ ウミユリ オウムガイ 腕足類

ウ ハルキゲニア アノマロカリス ピカイア

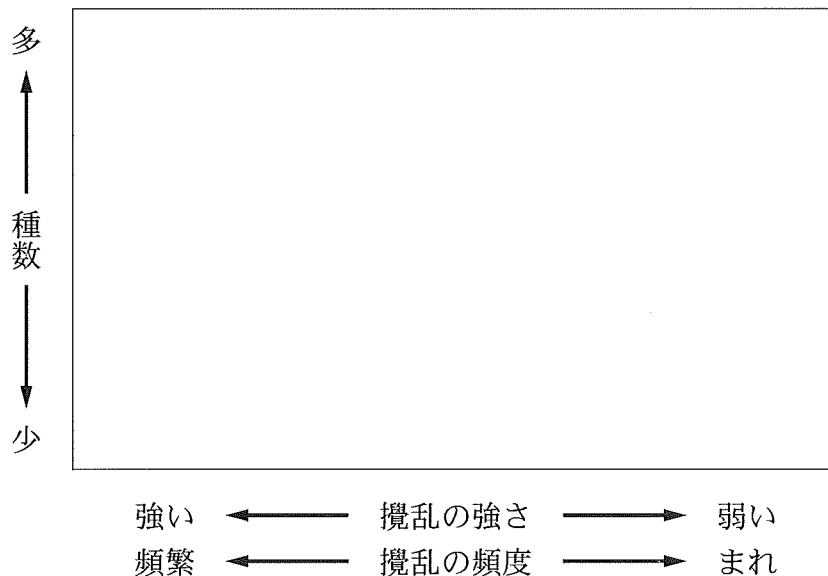
エ クックソニア アグラオフィトン リニア

オ キュクロメドゥーサ ディッキンソニア カルニア

問 3 下線部(2)の、生物に共通する特徴を 2 つ述べよ。

問 4 下線部(3)の「攪乱」を説明せよ。また、その例として、自然に生じるものと
ヒトが引き起こすものを、それぞれ 1 つ記せ。

問 5 攪乱の強さや頻度と、種数の関係を示した下のグラフを完成させよ。ただ
し、他の環境条件は変わらないものとする。



2 次の(文2)を読み、問1から問6に答えよ。

(文2) ヒトでは、父親と母親から配偶子を通じて **A** 本ずつの染色体を受けつぐが、そのうち **B** 対の相同染色体には男女の違いがなく、**C** と呼ばれる。残りの1対は男女で異なっており、**D** と呼ばれる。ある形質に関する遺伝子は、染色体の特定の場所に存在し、その位置は同じ生物種では共通している。このような、染色体に占める遺伝子の位置のことを **E** といい、共通の **E** に存在する異なる型の遺伝子のことを **F** と呼ぶ。ヒトの遺伝性の病気では、異常な **F** がホモ接合であるときのみ発症する場合や、ヘテロ接合でも発症する場合がある。

ヒトの病気における家族歴は、家系図で表すことができる。たとえば、精神・運動機能の異常を示す2名の患者が認められたある家系は、図1のように示される。患者の両親(I-1とI-2)は、いとこ同士である。患者(II-2とII-3)を検査したところ、15番染色体に位置するPOLG遺伝子の遺伝子異常がホモ接合で見つかった。両親はいずれもヘテロ接合であった。POLGはミトコンドリアのDNAポリメラーゼの一部をコードしており、患者ではミトコンドリアDNAの数が減少し、ミトコンドリアの機能異常が認められた。ミトコンドリアの模式図を図2に示す。

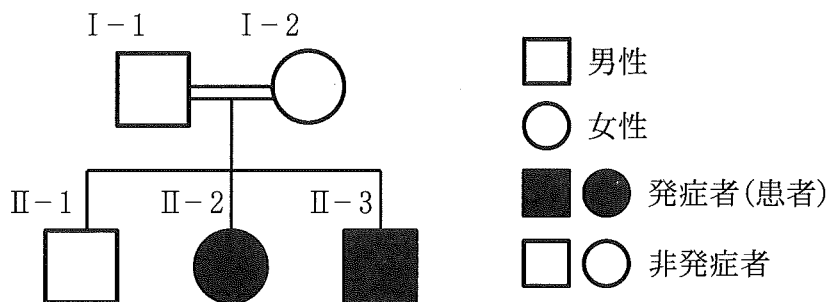


図1 精神・運動機能異常を示す2名が認められた家系の家系図

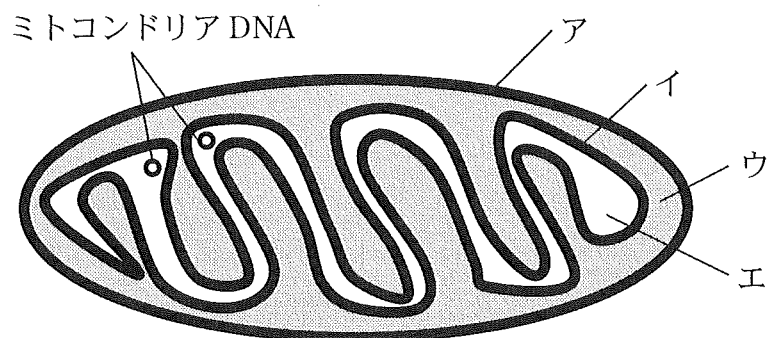


図2 ミトコンドリアの模式図

- 問1 ~ に入る、最も適当な数字あるいは語句を記せ。
- 問2 下線(1)の配偶子の形成過程で起こる減数分裂について、DNA複製に引き続いて起こる減数分裂の第一分裂に特徴的な染色体の変化について、順序立てて記述せよ。
- 問3 I-1とI-2の間に次の子供が生まれた場合、同じ病気になる確率は何%と考えられるか、記せ。
- 問4 ミトコンドリアを反応の場とする、エネルギーを獲得する代謝経路を2つ記し、その反応が起こる場所をア~エからそれぞれ選べ。
- 問5 この患者の細胞の機能を維持するために、エネルギーを獲得する代謝経路として代償的に亢進している経路がある。その名称を記せ。
- 問6 この患者では血中乳酸値の増加が認められる。その理由を記述せよ。

3 次の(文3)を読み、問1から問4に答えよ。

(文3) 真核細胞の細胞質には、タンパク質でできた繊維状構造がはりめぐらされており、細胞骨格と呼ばれている。おもな細胞骨格として、微小管、、アクチンフィラメントがある。微小管は、チューブリンと呼ばれる球状のタンパク質が多数結合して管状構造となっている。は、繊維状のタンパク質が束ねられて強固な構造をつくっている。アクチンフィラメントは、細胞質全体に分布しているが、細胞膜直下に多く存在している。また、アクチンフィラメントは筋原繊維にも多量に含まれており、筋原繊維ではフィラメントと相互作用し、収縮を起こす。微小管の上ではダイニンやキネシンなどのタンパク質がの分解によって生じるエネルギーを利用して細胞小器官などを移動させている。このようなはたらきをもつタンパク質はタンパク質と呼ばれる。

アクチンフィラメントは、細胞質中にばらばらに存在しているアクチンタンパク質(これを単量体アクチンタンパク質と呼ぶ)が多数つながって繊維状構造になっている。繊維状構造の両端では、単量体アクチンタンパク質がさらにつながったり(重合)、重合したものが離れたり(解離)を繰り返している。単量体アクチンタンパク質の濃度が高いと重合しやすくなり、濃度が低いと解離しやすくなる。また、繊維状になったアクチンフィラメントには方向性があり、より重合しやすい側と解離しやすい側がある。

微小管もアクチンフィラメントと同じような特徴をもっているかどうかを調べるために、次のような実験を行った。

実験 細胞に、蛍光物質を結合させたチューブリンを注入し、細胞内のチューブリンの約20個に1個の割合で蛍光を発するチューブリンが混ざるようにした。これにある特定の波長の光をあてると、微小管が蛍光を発し、光って見えた(図3左)。また、蛍光物質の結合したチューブリンの割合にむらができ、明るさの違いで微小管上の場所を特定できた。これをビデオカメラで撮影し、微小管の両端(矢印1と矢印3)と、途中の蛍光物質の少ない点(矢印2)の位置がどのように変化するかを9秒ごとに記録し、グラフにした(図3右)。

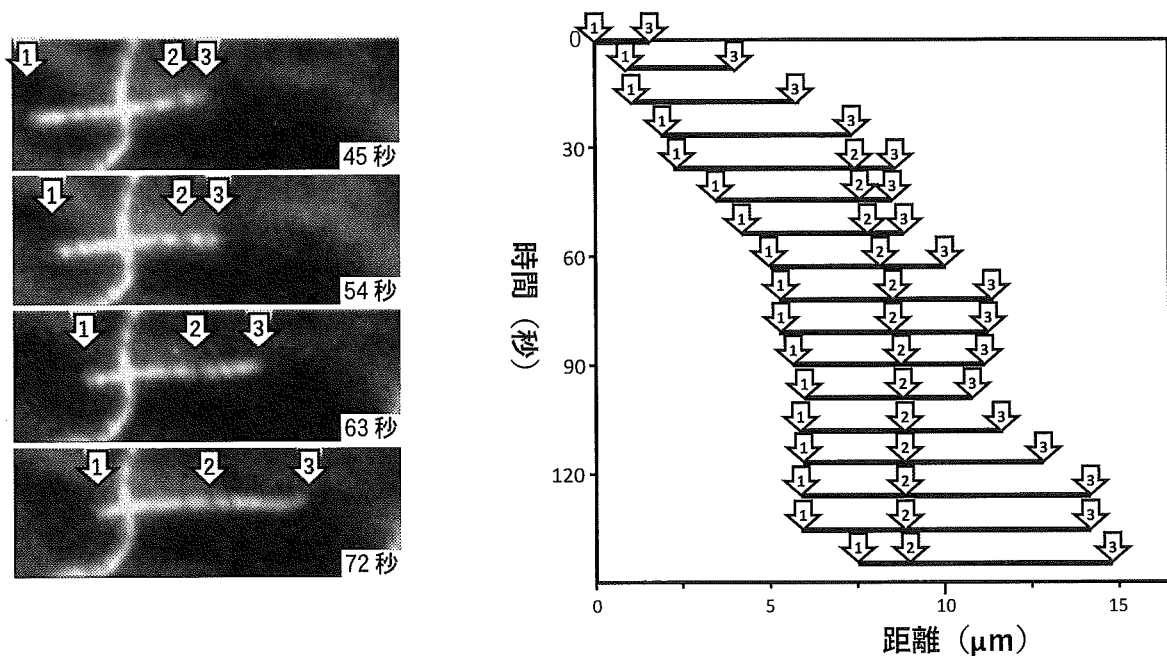


図3 (左)細胞中のチューブリンの蛍光観察像(2本の微小管が直交している)。
(右)微小管の両端(矢印1と矢印3)と途中の暗い点(矢印2)の位置の変化。

問1 ~ に入る, 最も適当な語を記せ。

問2 筋収縮の際には, アクチンフィラメントと フィラメントの長さは変わらないのに, 筋原繊維の長さが短くなる。その仕組みを述べよ。

問3 微小管もアクチンフィラメントと同じ特徴をもっていた場合, チューブリンの濃度がこの実験条件よりも大幅に低いときは, 微小管の長さはどのように変化すると考えられるか, その理由とともに述べよ。

問4 実験の結果から, 観察された微小管は右に向かって移動しているように見えるが, 途中の暗い点(矢印2)の位置はほとんど移動していないように見える。なぜそのようなことが起きているのか, その理由を説明せよ。

4 次の(文4)を読み、問1から問5に答えよ。

(文4) 細胞内記録法では、1つの神経細胞の内側に細いガラス微小電極を挿入し、細胞内外の電位差である膜電位を測定する。外からの刺激や他の神経細胞からの信号入力がない場合、細胞の外側を基準電位0 mV とすると、細胞の内側が の静止電位を計測できる。閾値以上の刺激を加えることにより、膜電位が一時的に から に変わる活動電位を計測できる。

一方、細胞外記録法では、記録電極の+電極と-電極の両方を神経の表面に接触させ、両電極間の電位差を記録する。座骨神経のように、運動神経・感覚神経・自律神経のそれぞれを含む、数千本の神経繊維からなる神経束で発生する活動電位の記録には、この細胞外記録法が用いられる。個々の神経繊維上で⁽¹⁾活動電位を発生(興奮)している部分は、発生していない部分に比べて細胞外の電位が低くなることから、その電位差を検出することにより、記録電極の一方に接している神経繊維の部分に興奮が伝導したことを検出できる。また、同時に興奮する神経繊維の数が多いほど、より大きな電位差が記録電極に検出される。神経束を形成するそれぞれの神経繊維がもつ閾値が少しずつ異なるために、与える刺激の強さが異なれば、興奮する神経繊維の数は異なりうる。このように複数の神経繊維が興奮し、それが神経繊維上を伝導した結果生じる細胞外の電位変化を、複合活動電位と呼ぶ。

実験1 トノサマガエルの座骨神経標本を用いて、電気刺激により生じた複合活動電位を細胞外記録法により記録し、その性質を調べる実験を行った。

図4は、実験に用いた標本および電極の配置の模式図である。電極箱内に5 mmの等間隔で配置された銀線上に、座骨神経とその支配筋の1つである腓腹筋がつながった神経筋標本をのせた。各銀線は独立しており、相互に接触はない。図4のaに刺激電極の+電極を、bに-電極をつないで(実線部)、bにaよりも低い電位を生じさせることにより刺激を行い、cとdにつないだ記録電極で興奮の伝導を記録した。なお、cに記録電極の-電極を、dに+電極をつないで、両電極間の電位差(d-c)をモニターのチャンネル1に表示されるようにした。さらに、与えた刺激の大き

さを確認するため、別の記録電極を刺激電極と同じ a と b につなぎ(点線部)、モニターチャンネル 2 に表示されるようにした。また、興奮していない部分の標本や銀線の電位を一定にするための基準電極を、E につないだ。

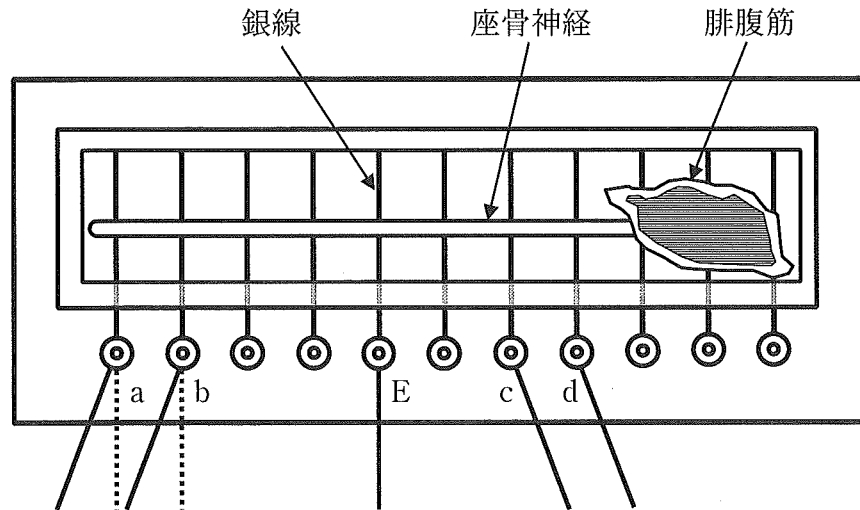


図 4 電極箱内の配線および神経筋標本の配置

刺激時間を 0.1 ミリ秒に設定して、刺激の強さを徐々に増やしていくと、ある程度の強さの刺激を加えたところで、図 5 のような波形が記録された。①の波形は、刺激電極に加えた電位差が神経束表面を伝わって直接記録電極に記録されたことによるもので、②の波形が複合活動電位である。チャンネル 1 の破線は電位差 0 の基準を示す。

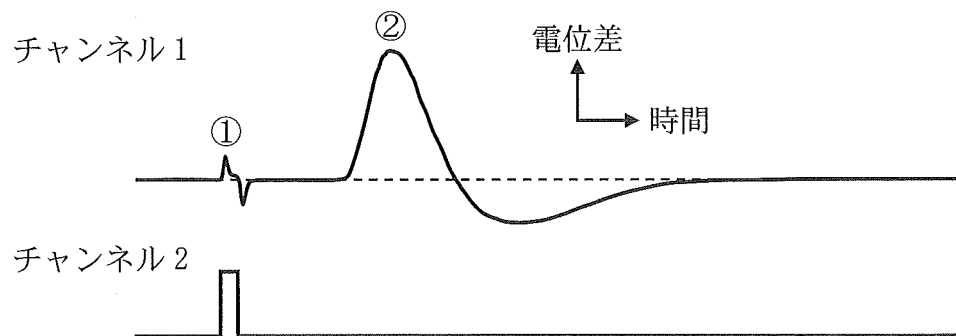


図 5 記録された波形の例

問 1 および に入る最も適当な符号(+または-)を記せ。

問 2 下線部(1)の原因として、神経繊維上の興奮している部分で細胞外から神経繊維内へ流入しているイオンは何か記せ。

問 3 図 5 において、刺激開始から②の波形の立ち上がりまでの時間差は 0.71 ミリ秒だった。刺激開始と同時に刺激部位で興奮が開始したと仮定し、この複合活動電位の形成に寄与している神経繊維での興奮の伝導速度(m/秒)を、小数点以下第 1 位まで四捨五入して求めよ。

実験 2 さらに、刺激の強さを増やしていくと、図 6 のように①、②の波形の振幅は、ともに徐々に増加した。しかし、ある刺激の強さからはそれ以上増やしても、②の複合活動電位の振幅はほとんど変わらなくなった。

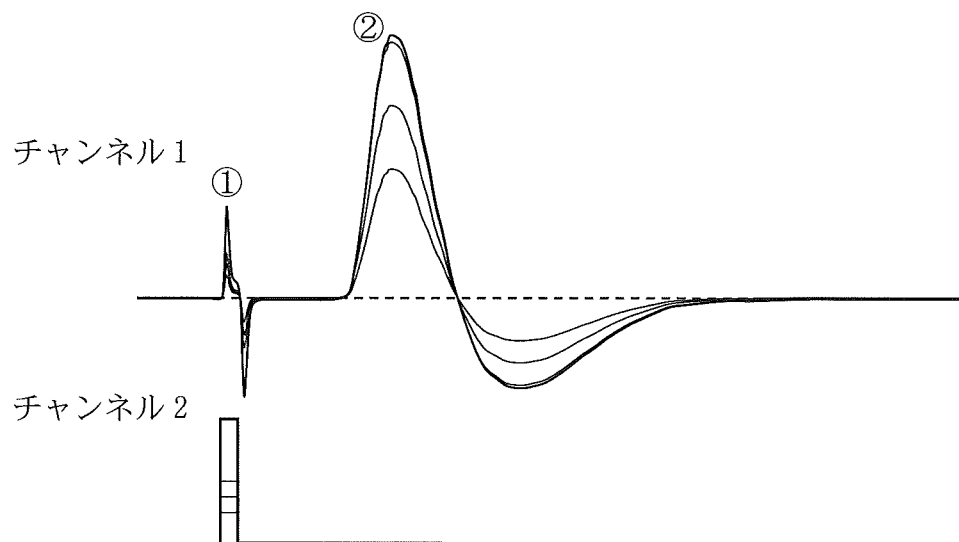


図 6 刺激の強さと記録された波形の振幅の関係

問 4 刺激の強さを増やすことにより複合活動電位の振幅が増加した理由と、ある刺激の強さからは振幅が変わらなくなった理由を、それぞれ説明せよ。

実験3 複合活動電位の振幅が中程度となる刺激の強さで，刺激電極のつなぎ方を逆にした。すなわち，aに－電極を，bに＋電極をつないで，aにbよりも低い電位を生じさせることにより刺激した場合の波形の変化を記録すると，図7の実験結果が得られた。

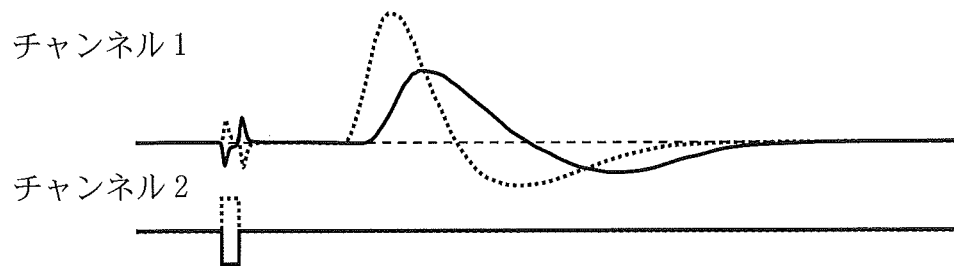


図7 刺激電極をつなぎ換える前(点線)と，逆向きにつなぎ換えた後(実線)に得られた波形。刺激の強さはどちらも同じ。

問5 電極を逆につなぎ換えて同じ強さの刺激を加えたことで記録された複合活動電位の，立ち上がりまでの時間と振幅が変わった理由をそれぞれ説明せよ。