

令和6年度九州工業大学個別学力検査
(前期日程/私費外国人留学生選抜)

問 題 訂 正

「生物」

訂正箇所

問題 2

問題冊子の7ページの【実験Ⅲ】の下から1行目

【誤】 変異体型の・・・

【正】 変異型の・・・

問題 3

問題冊子の11ページの上から2～3行目

【誤】 ・・・・状態①とし、実験では0.5秒毎に蛍光色素の位置を観測した。各実験データを直線で結んだ結果、・・・

【正】 ・・・・状態①とし、実験では一定時間毎に蛍光色素の位置を観測した。各実験データを結んだ結果、・・・

令和6年度 入学試験問題

生 物

70

(前 期 日 程 ・ 私 費 外 国 人 留 学 生 選 抜)

「解答はじめ」の合図があるまでは問題冊子を開いてはいけません。

注意事項

1. 問題冊子は1 ページから 14 ページまでの綴りでできています。「解答はじめ」の合図の後、ページの落丁、乱丁あるいは印刷の不鮮明なものがあれば、手をあげて試験監督者に申し出てください。
2. 問題は4 問あります。解答用紙は合計 4 枚あります。4 枚の解答用紙の全てに受験番号を必ず記入してください。
3. 解答は該当する解答用紙の解答欄に記入してください。
4. 問題冊子の空白ページや余白は、下書き用紙として使用してください。
5. 問題冊子は、試験終了後、持ち帰ってください。

以下の文章を読み、問いに答えよ。計算問題に関しては式と答えを解答欄に記し、答えは有効数字2桁で答えよ。

血液は、ポンプの働きを持つ心臓によって全身組織に送られる。ヒトの場合、血液は (ア) 心臓の右心室から出て肺に到達した後、左心房に戻り、その後、左心室から全身に向かい各組織に行き渡る。各組織を通った血液は、右心房に戻り右心室に運ばれる。

血液には多くの酸素が含まれるが、血しょうにはごくわずかしかな含まれない。これは血液中に含まれる赤血球中のヘモグロビンが酸素と良く結合するからである。ヒトは呼吸により空気を肺に送り込んでいる。肺胞では、酸素分圧は く、二酸化炭素分圧は いので、ヘモグロビンは酸素と し、酸素ヘモグロビンになる。その結果、肺胞の血液には1 L 当たり 200 mL の酸素が含まれることになる。

(イ) 一方、組織では構成する細胞の代謝反応によって酸素分圧は く、二酸化炭素分圧は くなる。代謝反応によって生じた二酸化炭素は組織液を介して血液に流れ込み、そのためヘモグロビンは酸素と する。つまり同じ酸素分圧では、二酸化炭素分圧が高くなるほどヘモグロビンは酸素を しやすくなる。

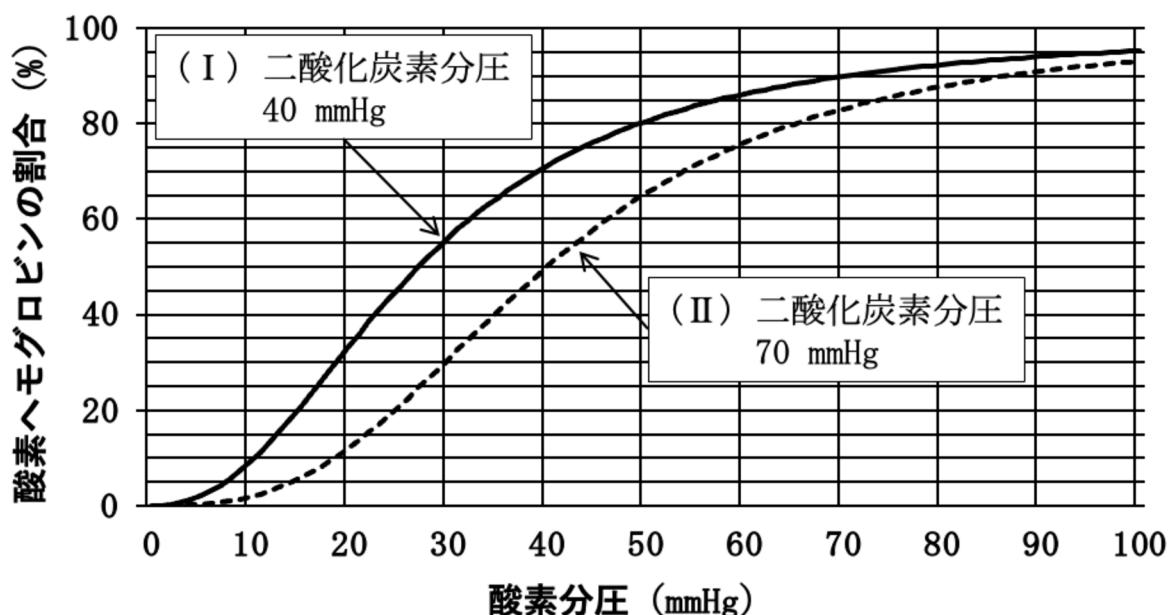


図 1

問 1 文中の A～G に入る語を下の選択肢から選べ。ただし、同じ語を何回使用しても良い。

選択肢； 高， 低， 強， 弱， 結合， 解離， 反応， 分解

問 2 図 1 中の (I)，(II) の曲線は、ヒトの肺胞と組織におけるヘモグロビンの酸素解離曲線を表している。分圧の単位は mmHg である。(I)，(II) どちらが肺胞でどちらが組織に相当するか答えよ。また、下線部 (ア) に関連し、次の①～④の血管を通る血液の酸素ヘモグロビン割合は肺胞，組織のどちらと同じか答えよ。ただし、酸素とヘモグロビンの結合，解離は肺胞と組織以外では起こらないとする。

①肺動脈 ②肺静脈 ③大動脈 ④大静脈

問 3 ヒト肺胞での酸素分圧が 100 mmHg の時，全ヘモグロビンのうち酸素ヘモグロビンの割合は何%になるか。図 1 から読み取り，答えよ。

問 4 ヒト組織での酸素分圧が 30 mmHg の時，問 3 の，肺胞で酸素を結合した酸素ヘモグロビンのうち，何%が組織に酸素を放出するか答えよ。ただし，肺胞で生じた酸素ヘモグロビンは全て組織に運ばれるものとする。

問 5 問 4 のとき，組織に放出される酸素は血液 100 mL あたり何 mL か。気体の体積として答えよ。ただし，血しょう中の酸素は無視できるほど少なく，血液中の酸素は全てヘモグロビンに結合しているものとする。

問 6 あるヒトの心拍数は 60 回/分，1 回の心拍で排出される血液量は 70 mL であった。1 分間あたり組織に放出される酸素は何 mL か答えよ。ただし，酸素，ヘモグロビン及び酸素ヘモグロビンについての条件は全て問 4，問 5 と同じとする。

問 7 下線部 (イ) に関して，酸素分圧，二酸化炭素分圧の変化の原因に関する細胞内の代謝経路（酵素反応の連なり）はそれぞれどの経路か，下記から選び番号を答えよ。また，どのように分圧変化と関連するか 1 行で述べよ。

①解糖系 ②クエン酸回路 ③電子伝達系

問 8 図 1 (Ⅱ) を安静時の曲線とした場合，ジョギング等の有酸素運動をした際の曲線は，曲線 (Ⅱ) と比べてどのように変化するか解答欄に実線で描き入れよ。また，そのように描いた理由を 2 行以内で答えよ。ただし，解答欄のグラフには，あらかじめ曲線 (Ⅱ) が点線で書き込んである。

以下の文章を読み、問いに答えよ。

リボソームで翻訳されたタンパク質は、細胞内の移動先が決まっている。その移動場所を間違えると細胞は正常に機能しなくなる。このためタンパク質には移動先を示すアミノ酸配列（シグナル配列）が含まれているものがある。タンパク質はこのシグナル配列にもとづいて核や小胞体、ミトコンドリアなどの細胞小器官に運ばれる。シグナル配列を含まないタンパク質は、翻訳されたのち、そのまま細胞質基質にとどまる。

ミトコンドリアへの移動先を示すシグナル配列は、タンパク質分子内のどこにあるのだろうか？ これを調べるためにミトコンドリアのタンパク質 M の遺伝子を用いて、〔実験Ⅰ〕から〔実験Ⅲ〕を行った。この実験では、遺伝子組み換え技術とトレーサー技術を用いた。トレーサー技術では、アミノ酸を構成する原子を放射性同位体に置き換えた分子を用いた。この放射性アミノ酸は、翻訳のときタンパク質に取り込まれたうえ、そのタンパク質は放射線の測定によって検出できる。

〔実験Ⅰ〕 遺伝子組み換えと転写・翻訳によるタンパク質の合成

タンパク質 M の遺伝子を図 1 に示す。この遺伝子にはイントロンがないものとする。まず、この遺伝子を A から D の領域に 4 等分し、遺伝子組み換え技術を用いて各領域が欠失した変異型の遺伝子 DNA を作製した（図 1， ΔD から ΔC ）。欠失した領域を点線で示す。(ア) これらの DNA を鋳型として、試験管内で転写して mRNA を合成した。次に、(イ) これらの mRNA を用いて試験管内でタンパク質を合成した。このときトレーサー技術をもちいた。このような方法でタンパク質 M の遺伝子や変異型の遺伝子から、(ウ) 図 2 に示すようなタンパク質 M，およびその変異型のタンパク質 M が合成された。

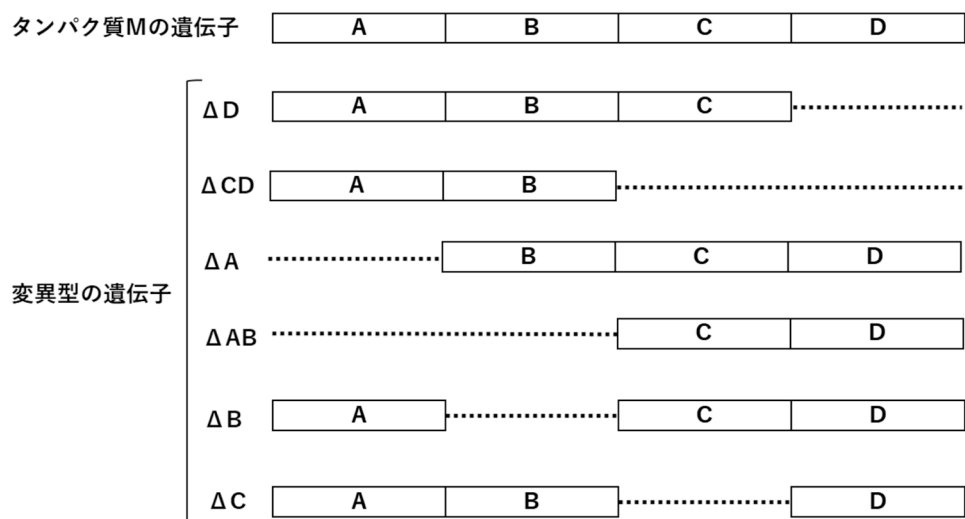


図 1

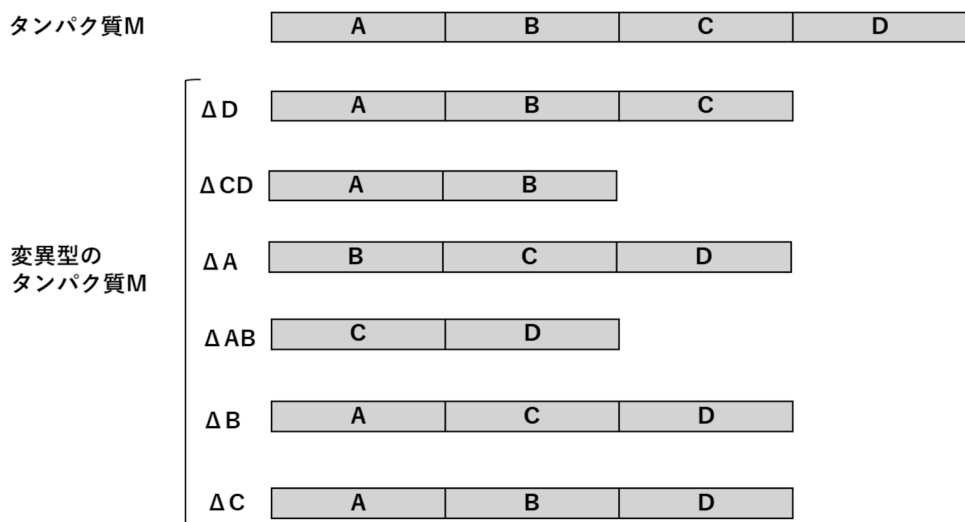


図 2

問 1 下線部（ア）と（イ）について、遺伝子から mRNA やタンパク質を合成するには、適切な物質を加えて保温し反応させる必要がある。以下に示す物質のうち、（ア）の反応に必要な物質、（イ）の反応に必要な物質を全て選び、それぞれ①～⑨で答えよ。ATP, CTP, GTP, TTP, UTP は、それぞれアデニン、シトシン、グアニン、チミン、ウラシルを塩基として含むヌクレオチドである。

- | | |
|--------------|--|
| ① DNA ポリメラーゼ | ② RNA ポリメラーゼ |
| ③ ATP | ④ CTP ⑤ GTP ⑥ TTP ⑦ UTP |
| ⑧ リボソーム | ⑨ 放射性アミノ酸が結合した tRNA |

問2 下線部（ウ）について、タンパク質 M の遺伝子は 1200 個の塩基対からなる。合成されるタンパク質のアミノ酸数を答えよ。また、このタンパク質の分子量を求めよ。タンパク質 M を構成する 20 種類のアミノ酸の平均分子量は 120 として計算せよ。

〔実験Ⅱ〕細胞分画法によるミトコンドリアの回収

細胞をすりつぶし、細胞小器官を分離する方法（細胞分画法）がある。この ^(エ)細胞分画法で分離したミトコンドリアと、〔実験Ⅰ〕で合成されたタンパク質 M、あるいは変異型のタンパク質 M をそれぞれ試験管内で混ぜあわせ、一定時間保温した。
^(オ)これらの混合液から、再びミトコンドリアを回収した。

問3 下線部（エ）について、細胞分画法をもちいて、すりつぶした細胞から、ミトコンドリアを分離する具体的な実験手順について 3 行以内で説明せよ。大きさや重さは、核，ミトコンドリア，ミクロソームの順に小さくなる。ミクロソームとは細胞をすりつぶすときに生じる小胞で、小胞体やゴルジ体などに由来する。

〔実験Ⅲ〕電気泳動法によるタンパク質 M の検出

〔実験Ⅱ〕で回収したミトコンドリアを破碎し、そこに含まれるタンパク質をゲル電気泳動法で分離した。このゲルのなかに含まれる放射線を測定し、タンパク質 M を検出した。この結果、図 3 に示すように、各タンパク質 M は短い帯（バンド）として現れた。ゲル電気泳動法によるタンパク質の分離のしくみは、おおむね DNA のアガロースゲル電気泳動法によるものと同じである。タンパク質は分子量の大きさにしたがって分離される。大きいものほどゲルの上方にとどまり、小さいものはゲルの下方に移動する。図 3 では、タンパク質 M の泳動位置を M に示している。また、変異型のタンパク質 M の泳動位置を M(ΔD) から M(ΔC) に示している。

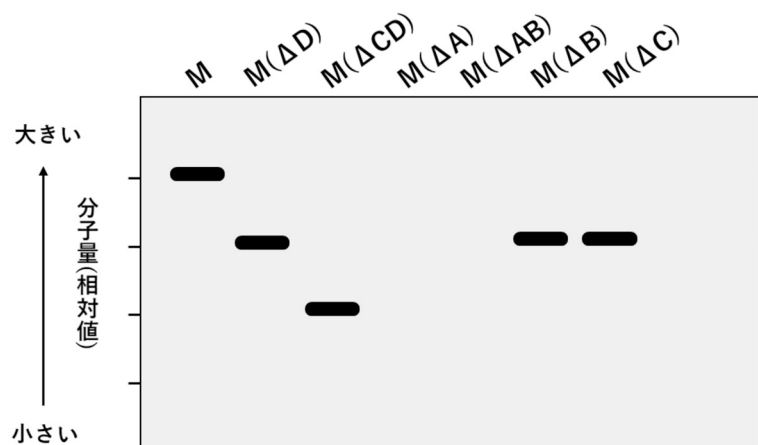


図 3

- 問 4 「実験Ⅱ」の下線部（オ）について，この実験操作を行わずに混合液を直接「実験Ⅲ」で電気泳動にかけた場合，シグナル配列を含む領域が決定できない。その理由を 2 行以内で説明せよ。
- 問 5 「実験Ⅰ」に追加して，タンパク質 M の遺伝子の領域 B と C が欠失した変異型の遺伝子 ΔBC を作製した。これを持ちいて「実験Ⅱ」と「実験Ⅲ」を行った。この場合，バンドは検出されるか，されないかを予想し，解答欄の「検出される」，「検出されない」のいずれかを丸で囲め。また，検出されるのであれば，解答欄の図の右端の $M(\Delta BC)$ に泳動位置をバンドで描き示せ。検出されないのであれば，その理由を説明せよ。
- 問 6 ミトコンドリアへのシグナル配列の DNA 情報を含む領域を A～D から選び，そのように考えた理由を 3 行以内で説明せよ。
- 問 7 問 6 で考えた領域がミトコンドリアへのシグナル配列を含むかどうかを，トレーサー技術はもちいずに，別の実験方法で証明したい。緑色蛍光タンパク質(GFP)の遺伝子を持ちいる場合，どのような実験を行なえばよいか。GFP にはシグナル配列は含まれていない。解答の文字数に指定はなく，図を描いて説明してよい。

以下の文章を読み、問いに答えよ。

筋肉収縮や細胞内での物質輸送に関わるモータータンパク質であるミオシンは、2本の鎖（A鎖・B鎖）からなる二量体の分子である（図1左上）。それぞれの鎖の端は太く、頭部とよばれる。この頭部を足のように動かしてアクチンフィラメント上を移動（歩行）する。これまで歩行メカニズムに関する2つの仮説（二足歩行モデルとシャクトリ虫モデル）が提案されていたが、どちらが妥当かはよくわからなかった。しかし近年、タンパク質1分子の移動を解析する一分子観測技術が発展してきた。これにより、仮説を検証できるようになった。

図1に、上記2つのモデルとそれらの検証方法の概略を示す。ミオシンの頭部Aと頭部Bの中心から距離 x nm だけ離れたB鎖上に蛍光色素を付けて、その位置を顕微鏡で観測した（ $1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$ ）。頭部Aと頭部Bの間の距離は 37 nm とする。

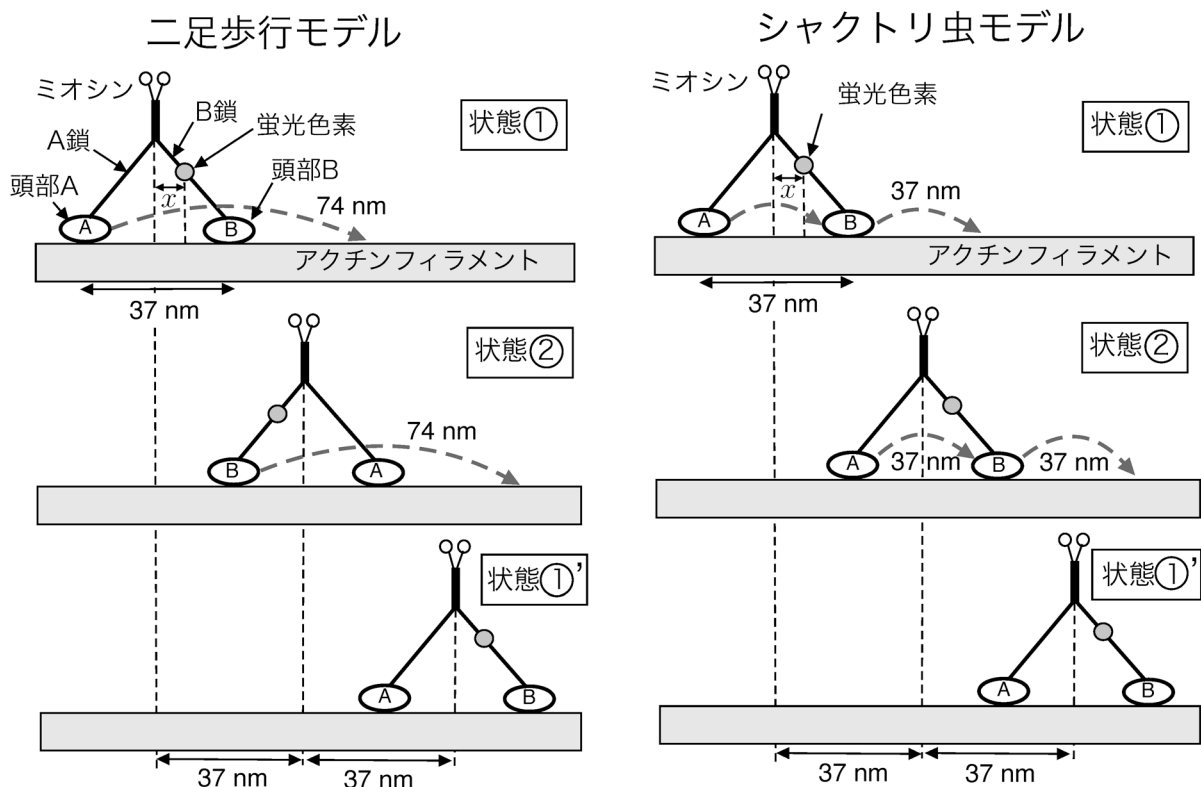


図 1

- 二足歩行モデル（図 1 左）：頭部 A が頭部 B を越えて 74 nm 前方に進む。ステップ毎に先頭が頭部 A と頭部 B で交互に変わり，状態①→状態②→状態①' を繰り返し移動する。状態①' と状態①は，位置だけ変わった同じ状態である。
- シャクトリ虫モデル（図 1 右）：頭部 A が頭部 B の位置に 37 nm 移動し，同じ距離だけ頭部 B が前方に進み，常に頭部 B が先頭で，状態①→状態②→状態①' を繰り返し移動する。状態①，状態②，状態①' はいずれも位置だけ変わった同じ状態である。

なお，以下の実験から得られるデータは，図 1 のモデルの数値から多少の誤差を含むことに注意せよ。

問 1 以下の(a)から(d)の移動による蛍光色素の移動距離を求めよ。必要なら距離 x を使ってもよい。

- 二足歩行モデルにおける，状態①から状態②への移動
- 二足歩行モデルにおける，状態②から状態①' への移動
- シャクトリ虫モデルにおける，状態①から状態②への移動
- シャクトリ虫モデルにおける，状態②から状態①' への移動

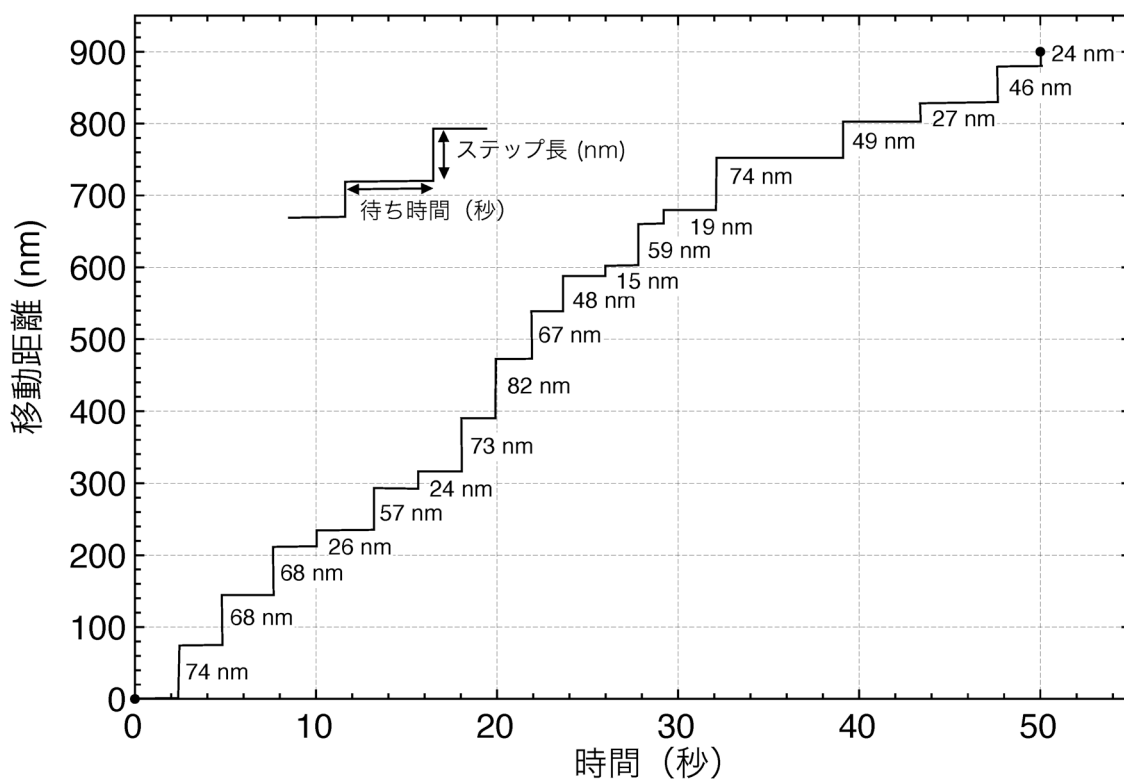


図 2

図2は、ミオシン1分子の蛍光色素の移動距離(nm)と、時間(秒)の1回の実験データを示す。初期状態(時間=0)は状態①とし、実験では0.5秒毎に蛍光色素の位置を観測した。各実験データを直線で結んだ結果、おおむね階段状のグラフが得られた。図中の数値は、各ステップ長(移動距離)を示す。待ち時間では、ミオシンは移動していない。

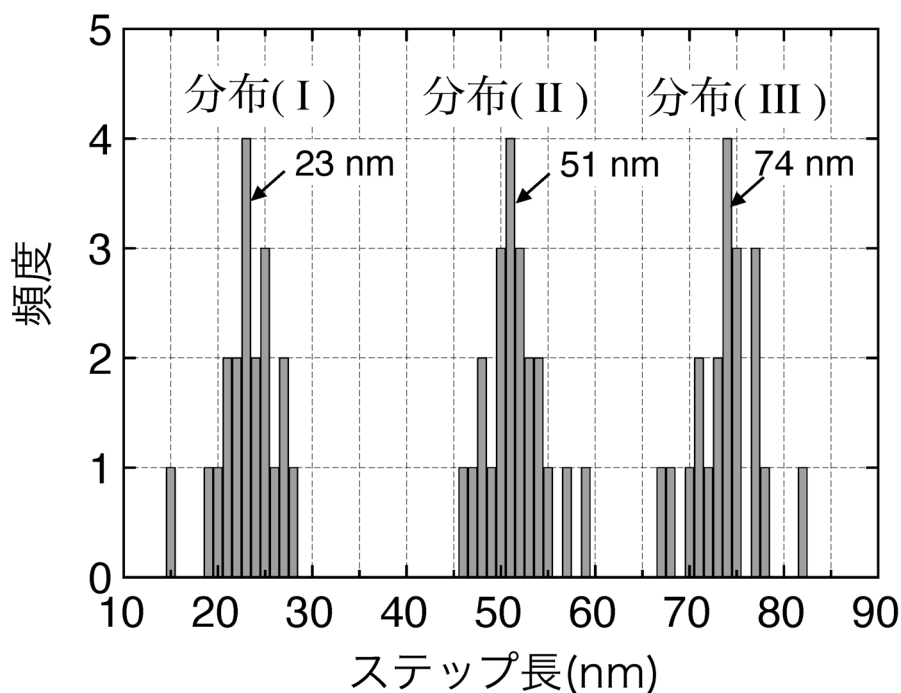


図3

図3は、一分子観測の複数回の実験データを集計した各ステップ長の頻度分布(横軸はステップ長、縦軸はその頻度)を示す。以下では、15 nm から 28 nm のステップ長の分布を分布(I)、46 nm から 59 nm を分布(II)、67 nm から 82 nm を分布(III)と呼ぶことにする。図中の数値は、各分布における最大頻度のステップ長を示す。図1～図3を考察して以下の問いに答えよ。数値は有効数字2桁で答えよ。

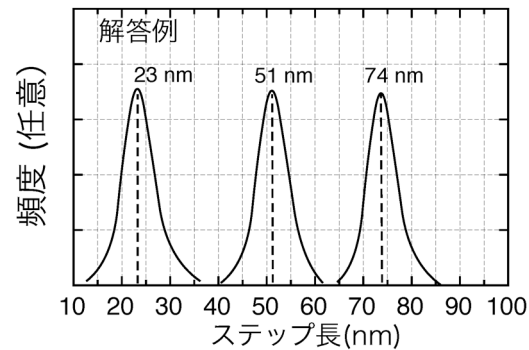
問2 図2のステップ長の平均値と、待ち時間の平均値を求めよ。

問3 図3の実験結果を説明する蛍光色素の距離 x の値を求めよ。ただし数値は、最大頻度のステップ長を用いて計算すること。

問4 図3の実験結果を説明するには、二足歩行モデルとシャクトリ虫モデルのどちらが妥当か、理由も含め2行以内で答えよ。

問5 図3の分布(Ⅲ)は何を示しているか、2行以内で答えよ。

問6 蛍光色素を距離 $x = 18.5 \text{ nm}$ に付け変えて同じ実験を行った。二足歩行モデルとシャクトリ虫モデルの、図3のようなステップ長の頻度分布はどのようなになると予想されるか、下の解答例のような概略図を示せ（この図は、図3に対する概略図である）。



問7 この実験ではATPが必要である。ATP濃度を増加させて同じ実験を行った結果、図2の平均待ち時間が短くなった。その理由は何か、3行以内で答えよ。

以下の文章を読み、問いに答えよ。

集団内の個体のうち、生存や生殖に有利な形質をもつものが次世代の個体を多く残す。これを自然選択という。その有利な形質を発現させる遺伝子をもつものが次世代の個体を多く残すため、自然選択の過程で遺伝子頻度が変化する。

自然選択の有名な例として、ガの一種であるオオシモフリエダシャクの工業暗化という現象があげられる。このガには、体色が白っぽい明色型と黒っぽい暗色型がある。このガの体色は一对の対立遺伝子によって決まる。暗色型をもたらす遺伝子 A が優性であり、明色型は劣性ホモの aa である。

イギリスでは、工業化が進む以前の 19 世紀中頃までは明色型がほとんどで、暗色型の個体数は全体の 1% 程度であった。イギリスでは昔から林の木の下には白っぽい地衣類が生えており、明色型がよく見られた。しかし 19 世紀の後半から、イギリス全土にわたり、あちこちの工場地帯で共通に暗色型の割合が急激に増加した。一方、田園地帯では明色型がほとんどのままだった。

以上の現象は、次のような自然選択の仕組みで起こったと考えられている。工業の発展につれて、工場から排出されるばい煙のために木の幹の地衣類が生育しなくなり、さらに樹皮が黒ずんでいった。その結果、(ア) 明色型の個体は目立つようになり、鳥などに捕食されやすくなることで減少した。一方、暗色型の個体は捕食されにくくなり、その割合が増加した。

問 1 文章を読んだ高校生は「形質や遺伝子頻度の変化は、自然選択以外の要因、特に遺伝的浮動によっても起こりうる、と習いました。このガに見られた現象は、自然選択ではなく遺伝的浮動によって起きた、と考えることはできないのでしょうか」と先生に質問した。この時、以下の小問に答えよ。

(1) 遺伝的浮動による遺伝子頻度の変化とは何か、1 行で説明せよ。

(2) 先生は「文章をもう一度よく読んでみましょう。遺伝的浮動によって起きたとは考えにくいです」と答えた。その考えにくい理由を 4 行以内で答えよ。

問 2 下線部 (ア) を検証する第一段階として、実験室で飼育されるガを用いて、次のような実験が行われた。この実験室では、暗色型の割合が 36% で (明色型と暗色型の個体が 64 : 36 の比で存在し)、かつ自由に交配している集団が飼

育されていた。これを 0 世代目の集団とする。明色型が捕食されやすくなることを想定し、0 世代目の集団から明色型の個体をすべて取り除き、暗色型の個体だけからなる集団を作成し、集団 X と名づけた。この集団 X を自由に交配させて、1 世代目の集団を作成した。この時、以下の小問に答えよ。なお、集団サイズは十分に大きく、突然変異はないものとする。

- (1) 集団 X における、A と a の遺伝子頻度をそれぞれ推定せよ。ただし、途中の計算式も示し、四捨五入して有効数字 2 桁で答えよ。
- (2) 1 世代目の集団における、暗色型の割合 (%) を推定せよ。ただし、途中の計算式も示し、四捨五入して有効数字 2 桁で答えよ。
- (3) n 世代目の集団から明色型の個体をすべて取り除いた上で、その集団を自由に交配させて n + 1 世代目の集団を作成することを繰り返すと、暗色型の割合は世代数 n に対してどのように推移するか。その推移について、グラフの概形を解答用紙に描け。具体的に、0 世代目 ($n = 0$) と 1 世代目 ($n = 1$) については実際の値に基づいて、2 世代目以降 ($n \geq 2$) については推測して描け。
- (4) (3) のグラフから、下線部 (ア) のどの部分について主張できるかを 1 行で答えよ。

問 3 問 2 の実験室で想定したような捕食の傾向が自然界でも確認されるか、野外実験が行われた。この実験では、工業地帯にある林と、田園地帯にある林で、明色型と暗色型のガに目印をつけて放し、数日後に再捕獲した。表 1 にはそれぞれの再捕獲率 (= 再捕獲された目印付きのガの数 / 目印をつけて放したガの数) がまとめられている。この時、以下の小問に答えよ。

- (1) 表 1 から、下線部 (ア) について何が主張できるか。捕食と再捕獲率の関係に言及しながら、4 行以内で答えよ。
- (2) 下線部 (ア) を検証する上で、この方法は有用であったが、まだ決定的な問題が残されていた。その問題を 3 行以内で答えよ。
- (3) (2) で示した問題を回避し、下線部 (ア) について、より堅固な証拠を示すための実験を計画し、2 行以内で記せ。

表 1

	明色型	暗色型
田園地帯	0.13	0.06
工業地帯	0.25	0.53