

生 物

1 次の文章を読み、以下の間に答えよ。

大腸菌は哺乳類などの腸内(特に大腸内)だけでなく自然界に広くみられる細菌である。病原性の菌株もあるが、毒性をもたない多くの株は生物学、特に分子生物学の研究においてモデル生物として使われてきた。大腸菌がモデル生物として用いられるようになったのは、一般的に病原性がないということ以外に、①培養が容易である、②増殖時間が短い、③十分な細胞数が得られる、などの理由が考えられる。

・大腸菌は乳酸菌などとともに (ア) 生物とよばれ、酵母や植物、動物などの (イ) 生物とは大きく異なる細胞構造をもっている。一方で、大腸菌の細胞は細胞壁をもっているという点では、酵母や植物の細胞と共通である。だが、細胞壁の存在は細胞の生存には必ずしも必須ではない。このことは、細胞壁をもつ細胞が、人為的な酵素処理によって細胞壁を失った場合でも、細胞は形態を変化させるものの、生存できることからわかる。

生物が増殖する速度を世代時間で表わすことがある。世代時間というのは、細胞が分裂してから次の分裂までに要する時間のことである。図1は大腸菌をある条件で培養したときの培養時間と、培養液1 ml中の細胞数との関係(増殖曲線)を示したものである。培養開始2時間目から5時間目あたりまでは、培養液1 ml当たりの細胞数は指数関数的に増加していることがわかる。

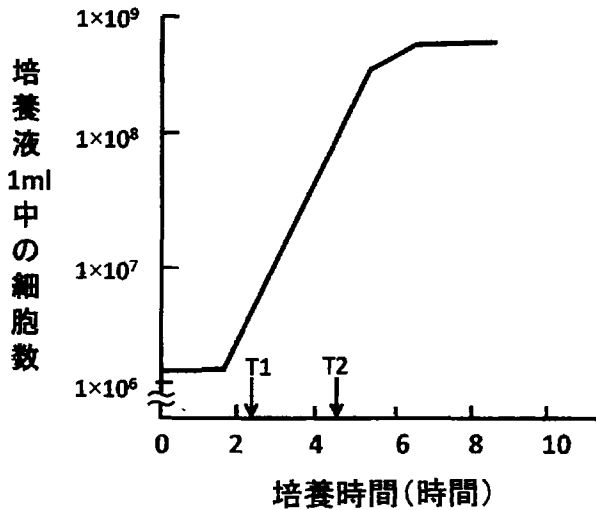


図1. 大腸菌の増殖曲線の模式図

大腸菌をある条件で培養した場合、細胞の乾燥重量あたりもっとも含有率が高いものはタンパク質であり、全重量の約55%をしめる。その次に多いのが核酸で、その含有率は20%程度である。残る約25%にはさまざまな有機物や各種のイオンなどが含まれる。また、大腸菌の核酸分子の種類をみると、
 (ウ) 種類のゲノムDNA、3種類のリボソームRNA(rRNA)、約
 (エ) 種類の運搬RNA(tRNA)、600種類程度の伝令RNA(mRNA)が存在する。一方で、大腸菌のゲノムDNAには約4300個の遺伝子があることがわかっている。

大腸菌は好気条件でも嫌気条件でも増殖する。好気条件ではさまざまな有機物が、最終的に酸素によって酸化される。有機物が完全に酸化された場合、水と
 (オ) ^d、およびエネルギーが生成する。この酸化の基本的な様式は、ミトコンドリアをもつ細胞の呼吸と同じである。一方、嫌気条件では有機物の最終的な酸化には、酸素ではなく硝酸塩(硝酸イオン)が使われる場合がある。このときには、水と (オ) 以外に、 (カ) が生成する。同じ栄養物を酸化する好気呼吸と嫌気呼吸を比較した場合、より多くのエネルギーが生成するのは (キ) 呼吸の方である。

現在、大腸菌はバイオテクノロジーの分野において不可欠な生物として利用さ

れている。大腸菌を使うことによって、遺伝子など同一の塩基配列をもつ DNA 断片を多量に得ることができるだけでなく、^e他の生物由来の遺伝子を発現させることもできる。そのようにしてヒトの成長ホルモンなども大腸菌でつくることができる。大腸菌ではそれを行うためにベクターを用いるのがふつうである。^f

問 1 文中の (ア) ~ (キ) に適切な語句または数値を入れよ。ただし、(エ) には下記の数値群からもっとも適切なものを 1 つ選んで入れよ。

(20 60 180 280 560)

問 2 文中の (ア) 生物と (イ) 生物の細胞内部構造上の主要な相違点を 1 つあげよ。

問 3 下線部 a について、細胞壁を失った植物細胞の名称を記せ。また、植物を材料としてこの細胞を作製する目的で用いられる酵素名を 1 つ記せ。

問 4 下線部 b について、細胞壁を失った植物細胞はその強度を著しく低下させる。その細胞の形態を維持させるためには、細胞を入れる溶液を調製するとき特別な工夫が必要である。その工夫について簡潔に説明せよ。

問 5 図 1 の培養時間 T1 での培養液 1 ml 中の細胞数が 1.5×10^6 、世代時間が 20 分だとする。T1 から 2 時間が経過した T2 での、培養液 1 ml 中の細胞数を求める式を記せ。また、その算出された数値を以下の表記例にならって記せ。

例 $1.5 \times 10^6 / \text{ml}$

問 6 図 1 の T1 から T2 の培養期間のように細胞数が指数関数的に増加するときは、一定量の培養液中の大腸菌の DNA 量も指数関数的に増える。この事実からいえることを簡潔に記せ。

問 7 下線部 c について、大腸菌の例と同様に、一般的に生物がもつ遺伝子の数と細胞中に存在する mRNA 分子の種類数には大きなへだたりがある。その理由を簡潔に説明せよ。

問 8 下線部 d について、ミトコンドリアのマトリックス中で進行する反応は、大腸菌の場合は細胞のどの部位で行われるか、その名称を記せ。

問 9 下線部 e について、この操作の名称を記せ。また、大腸菌などの生物を使わず DNA 断片を短時間に多量に増やすために用いられる方法は何か、その名称を記せ。

問10 下線部 f について、大腸菌に用いられるベクターの一般名称を 1 つ記せ。

問11 遺伝子の機能を明らかにすることを目的に、突然変異株を利用することがある。いま、大腸菌細胞をある薬剤で処理したところ、増殖に栄養源としてグルタミン酸を必要とする突然変異株が得られたとする。この変異株とその元となる野生株(最少培地で増殖できる株)について、正しく記述した文を以下の(A)~(G)からすべて選び、記号で答えよ。

- (A) 野生株は、グルタミン酸を合成する能力をもっている。
- (B) 野生株は、グルタミン酸を合成する能力を欠いている。
- (C) 変異株は、グルタミン酸を合成する能力を欠いている。
- (D) 変異株は、最少培地にグルタミン酸を加えた場合増殖できる。
- (E) 変異株は、グルタミン酸の合成に必要な遺伝子の少なくとも 1 つが機能していない可能性がある。
- (F) 変異株は、グルタミン酸を細胞外に蓄積する。
- (G) 変異株は、グルタミン酸を細胞内に蓄積する。

2 次の文章を読み、以下の問に答えよ。

野生型のマウスの毛色(以下、野生色とよぶ)は、灰色がかったように見える。毛の中で、メラニン色素である黒色のユーメラニン(黒色色素)と黄色のフェオメラニン(黄色色素)の両方が存在しているからである。なお、黒色色素と黄色色素は、ともにドーパキノンから産生される。また、ドーパキノンは、チロシナーゼという酵素によりチロシンから産生される。マウスにおける毛色の遺伝性を解析するために、以下の実験を行った。

実験1 野生色を示す純系のマウス系統(以下、「野生色系統」とよぶ)を維持していたところ、ある世代で黒色の個体が複数出現した。毛の中のメラニン色素を調べたところ、黄色色素は検出されず、黒色色素の量が「野生色系統」と比較して増加していた。黒色の個体同士を交配させると、それ以降の世代において、生まれた子はすべて黒色であった。このような現象を突然変異という。以下、この実験で確立した黒色を示す純系の系統を「黒色系統」とよぶ。なお、「野生色系統」と「黒色系統」を交配させたところ、生まれた子はすべて野生色であったので、野生色という対立形質は であり、黒色という対立形質は である。

実験2 「野生色系統」を維持していたところ、ある世代で白色の個体が複数出現した。毛の中のメラニン色素を調べたところ、黒色色素と黄色色素のいずれのメラニン色素も検出されなかった。白色の個体同士を交配させると、それ以降の世代において、生まれた子はすべて白色であった。以下、この実験で確立した白色を示す純系の系統を「白色系統」とよぶ。なお、「野生色系統」と「白色系統」を交配させたところ、生まれた子はすべて野生色であった。

実験3 「白色系統」のマウスを調べたところ、チロシナーゼの活性が認められなかった。チロシンとドーパキノンのうち、 は「白色系統」の皮膚から検出されず、 の量は「野生色系統」と比較して増加していた。

実験4 「白色系統」から得られた受精卵に、正常なチロシナーゼ遺伝子を含むDNA断片(以下、DNA断片Aとよぶ)を注入したところ、DNA断片AがX染色体に組込まれ、チロシナーゼ遺伝子を発現する雌個体が得られた。その個体を「白色系統」と交配させたところ、白色個体の他に、雄では野生色^bの個体が、雌では野生色と白色がまだらとなった個体が生まれた。

問1 文中の ~ に適切な語を入れよ。

問2 下線部aにおいて、 が増加した理由を、45字以内で記述せよ。

問3 「黒色系統」と「白色系統」を交配させたところ、生まれた子はすべて野生色であった。さらに、この野生色の個体同士を交配させたところ、野生色、黒色、白色の子が分離した。その期待される出現比を、最も簡単な整数比で答えよ。ただし、「白色系統」と「黒色系統」における突然変異は、互いに異なった常染色体上で起こったものとする。

問 4 下線部 b に関連した以下の文章を読み、(1)および(2)に答えよ。

なぜ野生色と白色がまだらとなった雌個体が生まれたのかを考えてみよう。マウスの細胞中に存在する X 染色体の数は雌雄で異なっており、雄では 1 本、雌では 2 本である。しかし、雌マウスの細胞では胚発生の過程で、2 本の染色体のうちどちらか一方が不活性化され、その染色体からの遺伝子発現が起こらなくなる。その結果、いずれの体細胞においても、X 染色体上に存在する遺伝子の発現量は雌雄間でほぼ等しくなっている。

2 本の染色体のうち、どちらが不活性化されるかは偶然に決まる。また、一度不活性化された体細胞の X 染色体は生涯を通じて不活性化の状態が続き、細胞分裂時に複製と分配が行われた後も不活性のままである。したがって、下線部 b における雌マウスの体表では、DNA 断片 A が組込まれた X 染色体が不活性化されずにチロシナーゼを発現している細胞群と、DNA 断片 A が組込まれた X 染色体が不活性化されたためにチロシナーゼを発現できない細胞群が、まだらとなって混在しているのである。

なお、配偶子形成時の卵原細胞で、一方の X 染色体における不活性化状態が消去され、再び X 染色体は 2 本とも活性化の状態に戻る。したがって、次世代にそのまま X 染色体の不活性化の状態が伝わるわけではない。

(1) 下線部 b におけるまだらとなった雌マウスの皮膚から細胞を取り出して、DNA 断片 A が組込まれた X 染色体を調べた場合、どのような結果が予想されるか。以下の(A)~(D)から適切なものを選び、記号で答えよ。

(A) DNA 断片 A は、野生色部分の細胞では不活性化されていない染色体に、白色部分の細胞では不活性化された染色体に組込まれていた。

(B) DNA 断片 A は、白色部分の細胞では不活性化されていない染色体に、野生色部分の細胞では不活性化された染色体に組込まれていた。

(C) DNA 断片 A は、野生色部分の細胞でも、白色部分の細胞でも、ともに不活性化されていない染色体に組込まれていた。

(D) DNA 断片 A は、野生色部分の細胞でも、白色部分の細胞でも、ともに不活性化された染色体に組込まれていた。

- (2) 下線部bにおける野生色の雄個体と、野生色と白色がまだらとなった雌個体とを交配させると、野生色、野生色と白色のまだら、白色の子が分離した。その期待される出現比を、雌雄別に、最も簡単な整数比で答えよ。なお、出現しないと期待される対立形質については、解答欄に0と記載せよ。ただし、「黒色系統」と「白色系統」における突然変異は、互いに異なった常染色体上で起こったものとする。

3 次の文章を読み、以下の問に答えよ。

タンパク質は細胞を構成する物質の1つで、その種類は非常に多く、さまざまな機能を果たしている。たとえば、動物の皮膚やけん、軟骨などに多く含まれる は結合組織の強度を高め、 は血糖値を低下させるホルモンであり、 は血液凝固に関係する。一方、 は酸素運搬の機能をもつ。

タンパク質は、アミノ酸がペプチド結合により鎖状につながった分子である。タンパク質を構成するアミノ酸^aは、 の違いにより20種類存在する。また、アミノ酸の種類と数およびその配列順序が異なることで、さまざまなタンパク質ができる。タンパク質は、複雑に折りたたまれてそれぞれ固有の立体構造をとる。このような立体構造はそのタンパク質の機能と密接な関係にあり、立体構造がこわれると機能が失われる。

酵素は触媒の機能をもつタンパク質で、生物体内で進行するさまざまな化学反応^dを促進する。酵素は特定の物質にしか作用しない。この性質は とよばれ、酵素の触媒作用の大きな特徴の1つである。一部の酵素では、その機能を発揮するために非タンパク質性の低分子有機化合物を必要とする。酵素の触媒作用は種々の形で調節を受ける。競争的阻害はその1つである。また、酵素の触媒作用の調節は細胞内のさまざまな代謝系^fを調節する上でも重要な役割を果たしている。たとえば、ある代謝系で、一連の反応の最終産物が初期の反応に関わる酵素の働きを調節することが知られており、 とよばれる。またこの場合、初期の反応で働く酵素は最終産物と結合することで立体構造が変化する 酵素であることが多い。

問1 文中の ~ に適切な語句を入れよ。

問2 下線部aの結合はどのように形成されるか、40字以内(句読点を含む)で説明せよ。

問 3 下線部 b の折りたたみの形成や維持に関わる作用または結合を 1 つ答えよ。

問 4 下線部 c の現象は何とよばれるか。

問 5 下線部 d はどのように起こるのか、以下のキーワードを用いて 40 字以内(句読点を含む)で説明せよ。

キーワード

化学反応	活性化エネルギー
------	----------

問 6 下線部 e は何とよばれるか、その名称を答えよ。またこれ以外に、酵素の触媒機能の発現を助ける物質の例を 1 つあげよ。

問 7 下線部 f の競争的阻害とはどういうことか、40 字以内(句読点を含む)で説明せよ。

問 8 ヒトがもつある酵素の反応実験を、十分な基質濃度のもと、温度以外の条件を一定にしてさまざまな温度で行った。このとき、反応速度と温度の関係は一般的にどのようなになるだろうか。その関係を示すグラフを解答欄に描け。また、温度と酵素の濃度を一定にして基質の濃度を変化させた場合、反応速度と基質濃度との関係は一般的にはどのようなになるだろうか。その関係を示すグラフを解答欄に描け。

4

I およびIIの文章を読み、それぞれの問題に答えよ。

I 神経細胞は細胞の内側と外側の電位差の変化を信号として伝え、いろいろな情報の伝達や処理を行っている。静止状態では細胞内は細胞外に対して の電位となっている。この電位差は とよばれ、細胞内の 濃度が細胞外よりも高く、逆に細胞内の 濃度は細胞外に比べて低く保たれており、なおかつ を透過させる の一部が開いているために生じる。神経細胞が刺激や、ほかの神経細胞から放出される神経伝達物質を受けると、 が一時的に流入し、 はやや の方向に変化する。この電位変化が に達すると別の が開き、 がさらに細胞内に流入して細胞内の電位は細胞外に比べて一時的に になる。この電位変化を活動電位とよぶ。

問 1 文中の ~ に適切な語句を入れよ。

問 2 下線部 a のはたらきをもつタンパク質の名称を答えよ。

問 3 下線部 a のはたらきに必要なエネルギーはATPを分解することによって得られる。このようなATP分解酵素としてのはたらきをもつタンパク質の例を、問2の解答以外に1つあげよ。

問 4 下線部 b の神経伝達物質にはどのようなものがあるか。物質の名称を1つあげよ。

問 5 下線部 c の活動電位は1~2ミリ秒の短い時間で終了する。それはどのような機構によるものか、説明せよ。

II イカやミミズにみられる巨大な神経繊維は、活動電位が発生し、伝わるようすを観察するための格好の実験材料となる。図1はミミズの背側の体壁を頭尾方向に切り開き、消化管を除去したあとの標本を示している。この標本の腹側の中央に腹部神経系を観察することができる。ミミズの腹部神経系は、単位となる腹髄神経節(神経節とは神経細胞が集まったものを指す)が体節ごとに繰り返される構造を持つ。この腹髄神経節の中央には数本の巨大軸索とよばれる神経細胞が存在し、前後の体節を連絡している。つまようじなどでミミズの体壁に触れると、体壁にある感覚ニューロンが刺激され、感覚ニューロンとシナプス結合をもつ巨大軸索が興奮して、ミミズは体全体を縮める反応を示す。ミミズ巨大軸索での活動電位の伝わるようすを調べるために、以下の実験1～3を行った。

[実験標本の準備] 図1の四角で囲んだ部分の腹部神経系をミミズの体壁とともに切り出して、生理的塩類溶液で満たしたプラスチック容器に移した。腹髄神経節の頭側と尾側の切断した端を、細いガラスピペットで作った吸引電極X(頭側)およびY(尾側)で吸い込んだ。それぞれの吸引電極と生理的塩類溶液に浸けた不関電極との電位差を増幅して巨大軸索の活動電位を記録し、オシロスコープで観察した(図2)。

[実験1] つまようじで実験標本の体壁の一部に軽く触れたところ、体壁が収縮し電極Xと電極Yに活動電位aの波形が図3のように記録された。

[実験2] つまようじで押す力を段階的に強くしたところ、電極Xに振幅の大きさが異なる3種類の活動電位a, b, cが図4のように記録された(それぞれの活動電位だけを異なる色で示した。図3とは時間軸の大きさが異なることに注意)。

[実験3] 実験標本を入れた生理的塩類溶液を、カルシウムイオンを含まない溶液に入れ換えて、つまようじで体壁を押したところ、電極XとYいずれにおいても活動電位はみられなくなった。

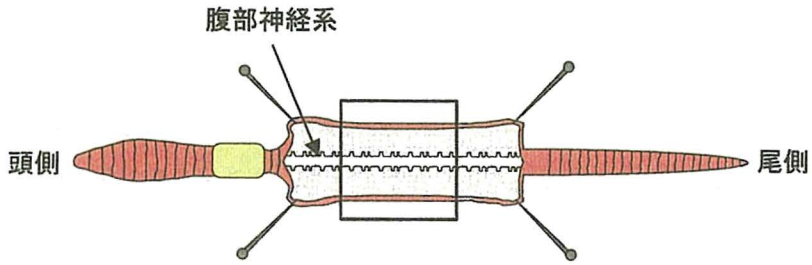
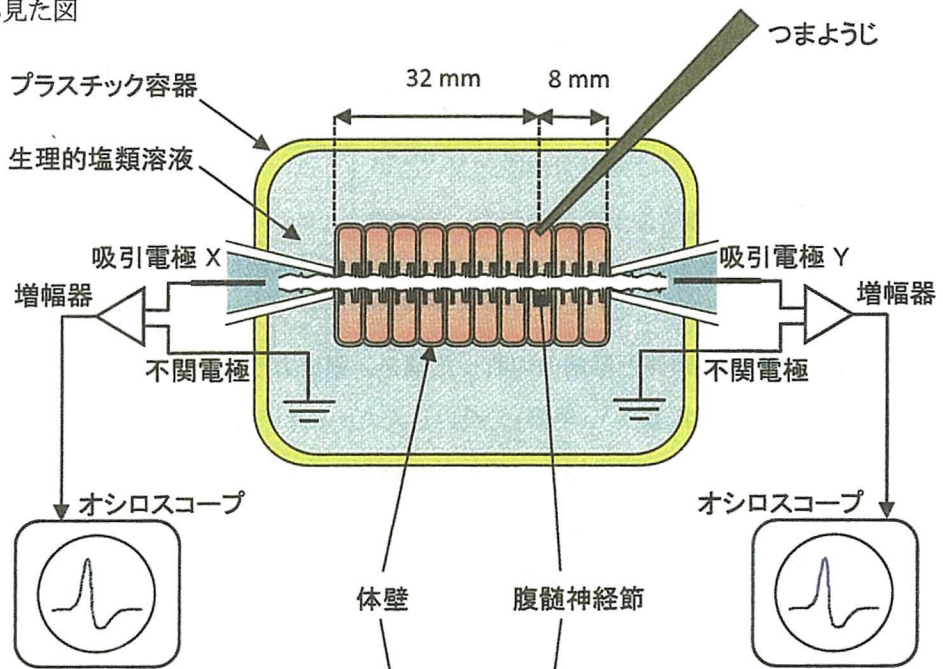


図 1

上から見た図



横から見た図

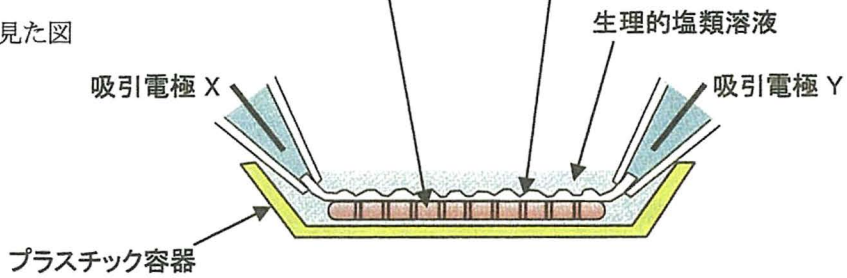


図 2

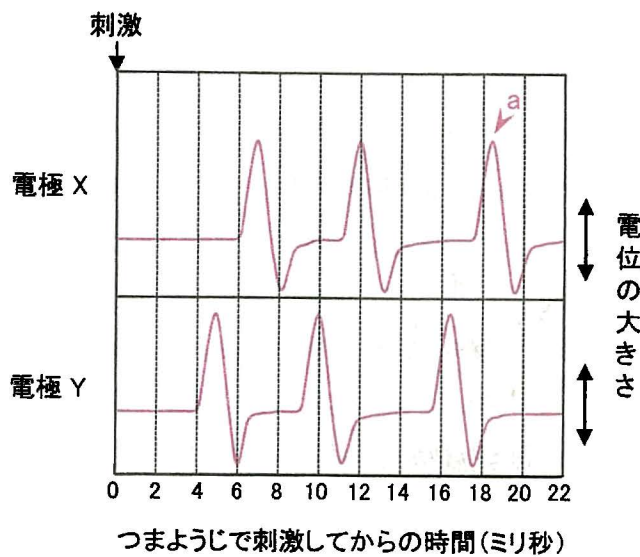


図 3

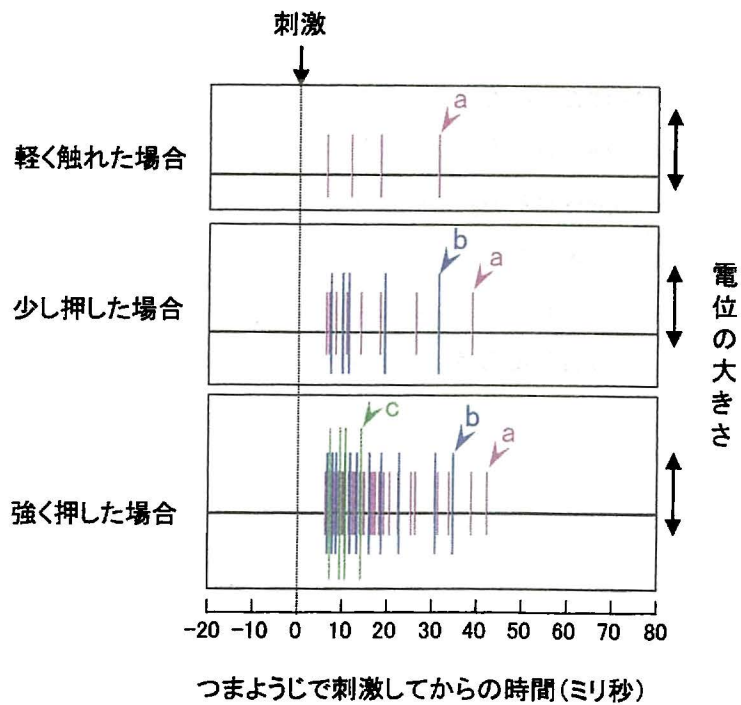


図 4

問 6 つまようじで刺激した体節から電極 X および電極 Y までの距離をそれぞれ 32 mm, 8 mm とすると, 図 3 で記録された活動電位 a が伝導する速さはいくらか。単位を m/秒として答えよ。ただし, 活動電位は刺激した体節で発生し, 体節の間で活動電位の伝導に遅れは生じないものとする。

問 7 つまようじで刺激してから体壁の感覚ニューロンが興奮するまでの時間が 1 ミリ秒だとすると, 感覚ニューロンと巨大軸索の間のシナプス伝達にかかる時間は何ミリ秒か。小数第 2 位を四捨五入して答えよ。ただし, 感覚ニューロンの活動電位が伝導する時間は無視するものとする。

問 8 実験 2 の結果から, 体壁が押される力は巨大軸索の活動によって, どのように表されていると考えられるか。以下の(A)~(E)の中から適切なものをすべて選び, 記号で答えよ。

- (A) 体壁が押される力は, 巨大軸索の活動電位の高さで表されている。
- (B) 体壁が押される力は, 巨大軸索の活動電位の頻度で表されている。
- (C) 体壁が押される力は, 刺激開始から巨大軸索が活動電位を発生するまでの時間で表されている。
- (D) 体壁が押される力は, 興奮する巨大軸索の数で表されている。
- (E) 体壁が押される力は, どの巨大軸索が興奮するかで表されている。

問 9 実験 2 で、体壁を強く刺激したときに、電極 X で初めて観察された振幅の大きな活動電位 c の伝導速度を計測したところ、伝導速度は 20 m/秒であった。これに問 6 の結果を考え合わせると、どのような結論が導かれるか。以下の(A)~(E)の中から適切なものを 1 つ選び、記号で答えよ。

- (A) 活動電位 a を発生する巨大軸索の方が、活動電位 c を発生する巨大軸索より遠くまで伝わる。
- (B) 活動電位 c を発生する巨大軸索の方が、活動電位 a を発生する巨大軸索よりも直径が大きい。
- (C) 活動電位 a を発生する巨大軸索と活動電位 c を発生する巨大軸索では、興奮を伝導する方向が異なる。
- (D) 活動電位 a を発生する巨大軸索と活動電位 c を発生する巨大軸索では、刺激を受容する体節の範囲が異なる。
- (E) 巨大軸索の活動電位の伝導速度は、刺激場所によって異なる。

問10 実験 3 に関連して、「体壁の感覚ニューロンから巨大軸索へのシナプス伝達には、カルシウムイオンが必要である」という結論を導くためにはどのような追加実験を行えばよいだろうか。以下の(A)~(E)の中から適切なものを 1 つ選び、記号で答えよ。ただし、追加実験はすべて実験 3 と同じ条件で行うものとする。

- (A) つまようじを強く押して電極 X に活動電位が現れるかを調べる。
- (B) つまようじを強く押して体壁が収縮するかを調べる。
- (C) 電極 X のすぐ近くの体節をつまようじで刺激して、電極 X に活動電位が現れるかを調べる。
- (D) 電極 Y から電流を流して巨大軸索を刺激したとき、電極 X に活動電位が現れるかを調べる。
- (E) 電極 Y から電流を流して巨大軸索を刺激したとき、体壁が収縮するかを調べる。