

2

問題

《情報伝達 4》

次の文 1, 2 を読み、問 1 ～ 問 4 に答えよ。

(25 点)

〔文 1〕 神経細胞内の情報伝達は、細胞膜を介した電位変化によって行われる。通常、^(a)動物の細胞では、カリウムイオン (K^+) は細胞の内部の方が外部よりも濃度が高く、ナトリウムイオン (Na^+) は外部の方が内部よりも濃度が高いが、神経細胞も例外ではない。また、平常時の細胞膜は Na^+ よりも K^+ に対する透過性の方が高いため、細胞の内部から K^+ が少しずつ流出し、細胞の外側に対して内側が負に帯電している。このときの電位を [1] という。

神経細胞が刺激を受けると、細胞膜の Na^+ に対する透過性が高まり Na^+ が細胞の内部に流入することによって、膜内外の電位は逆転する。 Na^+ の透過性はすぐに低下し、同時に K^+ に対する透過性がさらに高まり、細胞の内部から K^+ が流出することによって、次第に [1] に戻る。この一連の電位変化を [2] といい、[2] が発生することを^(b)興奮という。興奮は神経細胞の隣接部を刺激し、その部分を興奮させる。これが繰り返されて興奮は刺激を受けた部分から両方向に伝わる。これを興奮の伝導とよぶ。神経細胞の軸索と神経鞘を合わせて神経繊維といい、[3] をもつ [4] 神経繊維と [3] をもたない [5] 神経繊維に分けられる。伝導の際、[4] 神経繊維では [6] 伝導が起こるので、同じ太さであれば [5] 神経繊維より伝導速度が大きい。

問 1 文中の 1 ～ 6 に入る最も適当な語を答えよ。

(6 点)

問 2 下線部(a)について、なぜこのようなことが起こるのか、簡潔に述べよ。

(5 点)

わかっている数値をどう組み合わせて計算すればよいか？

問 3 下線部(b)に関連して、興奮の伝導・伝達にかかる時間を調べるため、筋と筋につながる神経を取り出した (図 1)。A 点を刺激したところ 13 ミリ秒後に、B 点を刺激したところ 11 ミリ秒後に筋が収縮した。AB 間の距離は 60 mm である。これについて、次の(1)～(4)の問いに答えよ。なお、神経が刺激されてから興奮するまでの時間、筋に興奮が伝わってから収縮するまでの時間はともに 0 ミリ秒とみなしてよい。また、解答の際は考え方または計算式も示すこと。条件の指定に注意。

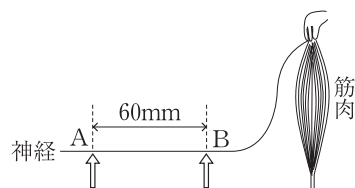


図 1

(1) 興奮が AB 間を伝導するのにかかる時間は何ミリ秒か。 (2 点)

(2) この神経細胞内を興奮が伝わる速さは何 [m/秒] か。 (2 点)

(3) B 点から筋と神経が接している点 (神経末端) までの距離が 270 mm のとき、この間を興奮が伝導するのにかかる時間は何ミリ秒か。 (2 点)

(4) 興奮が神経末端から筋に伝わるのにかかる時間は何ミリ秒か。 (2 点)

〔文2〕 発生の過程で体の構造がつくり上げられる際には、誘導作用をもつ物質の濃度勾配に従い、細胞に少しずつ異なる情報が伝えられることで、秩序立った構造が形成される例が知られている。

ニワトリの四肢形成の際には、四肢の原基となる肢芽という隆起が生じる。ニワトリの前肢（翼）には、前から順に1指、2指、3指と名づけられた3本の指があり（4指、5指は退化）、前肢の前後の方向がよくわかる（図2）。

前肢の肢芽の後部にはZPAという、指の形成（前後方向の分化）に重要な役割を果たす部位がある。ZPAから分泌され、拡散する物質Mが、指の形成を決定していると考えられている。ZPAおよび物質Mの働きを調べるため、次の実験を行った。

実験 他個体のZPAを肢芽の前部に移植すると、前後に鏡像的相称な重複肢が形成された（図3）。移植するZPAの細胞数を減らし、^(c)ZPAの一部を肢芽の前部に移植すると4本の指が得られた。それぞれの移植実験において、ZPAの細胞抽出液を寒天で固めたものをZPAの代わりに移植しても同じ結果であった。

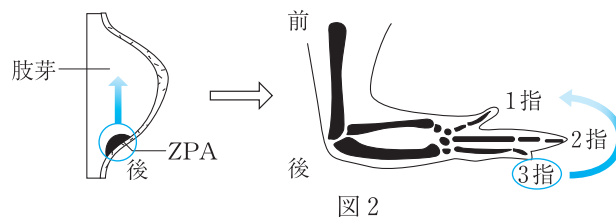


図2

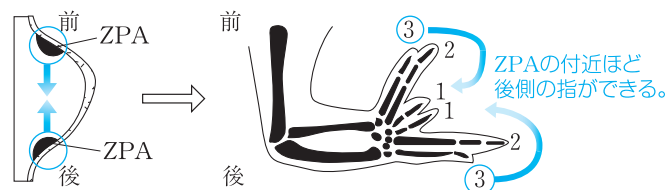


図3

問4 物質Mの働きに関して、次の(1)、(2)の問いに答えよ。

- (1) 物質Mとニワトリ前肢の指の形成について推定されることを簡潔に述べよ。 (4点)
- (2) 下線部(c)の4本の指のうち、最前部（図の最上部）に形成される可能性が最も低いのは1指、2指、3指のどれか。指の名称（1指、2指、3指）で答えよ。 (2点)

解 答

問 1 1…静止電位 2…活動電位 3…髄鞘 4…有髄 5…無髄 6…跳躍

問 2 細胞膜に存在するナトリウムポンプが、ATP の分解で得られるエネルギーを使って、 Na^+ を細胞外に排出し、 K^+ を細胞内に取り入れるため。

問 3 (1) $13-11=2$ **答** 2 ミリ秒

(2) $(60 \times 10^{-3}) \div (2 \times 10^{-3}) = 30$ **答** 30 m/秒

(3) $270 \div 30 = 9$ **答** 9 ミリ秒

(4) $11-9=2$ **答** 2 ミリ秒

問 4 (1) 物質 M の濃度が高ければ後側の指が、物質 M の濃度が低ければ前側の指が形成される。
(2) 3 指

解 説**🔗 のつけどころ**

問 1～3 では、興奮の伝導・伝達の計算について扱った。基本的には速度の計算と考えればよいが、『導入』で学んだように、興奮の伝導・伝達過程の各段階に分けて考える必要があることに注意しよう。問 4 では、発生における細胞の分化の仕方として、誘導の働きをもつ物質の濃度勾配に従う例をとりあげた。誘導物質の濃度を、細胞が受け取る情報量に置き換えて考えてみよう。

問 1 「解答」参照。神経繊維には髄鞘のある**有髄神経繊維**と、髄鞘のない**無髄神経繊維**がある。有髄神経繊維には、ところどころに髄鞘が途切れてくびれている場所があり、これを**ランビエ絞輪**という。有髄神経繊維では、活動電位（興奮）は髄鞘が途切れているランビエ絞輪でしか発生しない。つまり、活動電位がランビエ絞輪からランビエ絞輪へと飛び飛びに生じる**跳躍伝導**を行う。

脊椎動物の自律神経系の一部の神経細胞や、無脊椎動物の神経などの神経繊維は無髄神経繊維である。

問 2 「解答」参照。**ナトリウムポンプ**は、ATP のエネルギーにより Na^+ を細胞の内側から外側へ、 K^+ を外側から内側へそれぞれ能動輸送する。ナトリウムポンプの本体は**ナトリウムーカリウム ATP アーゼ**という膜貫通型の ATP 分解酵素である。

🔍 発想の鍵

能動輸送を行う「ポンプ」に対し、細胞膜の内外へ受動輸送を行うものを「チャネル」という。膜電位の発生には数種類のイオンチャネルが関わっている。

問 3 (1) A 点を刺激したときと B 点を刺激したときの筋収縮までの時間の差に注目。AB 間 (60 mm) を伝導するのに

$$13-11=2 \text{ [ミリ秒]}$$

かかっている。

- (2) (伝導) 速度は距離÷時間より

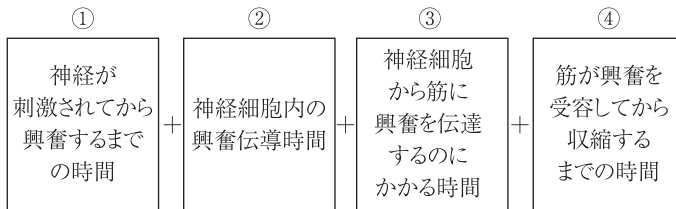
$$\begin{aligned} & 60 \text{ [mm]} \div 2 \text{ [ミリ秒]} \\ &= \underbrace{(60 \times 10^{-3})}_{\text{mm} \rightarrow \text{m に換算}} \div \underbrace{(2 \times 10^{-3})}_{\text{ミリ秒} \rightarrow \text{秒 に換算}} = 30 \text{ [m/秒]} \end{aligned}$$

- (3) 時間=距離÷速度 なので、(2)で求めた速度を代入しよう。

270 mm 伝導するのにかった時間は

$$270 \text{ [mm]} \div 30 \text{ [mm/ミリ秒]} = 9 \text{ [ミリ秒]}$$

- (4) 神経を刺激してから筋が収縮するまでの時間は、次の①～④にかかる時間の合計であることに注目しよう。



B 点の場合、刺激から筋収縮まで 11 ミリ秒かかっている。①、④にかかった時間は設問文より 0 ミリ秒、②の興奮の伝導にかかった時間が③より 9 ミリ秒であることから、求める③の時間は
 $11 - 0 - 9 - 0 = 2 \text{ [ミリ秒]}$
 となる。

- 問 4** (1) ZPA から拡散する物質 M が分泌されているので、物質 M の濃度は ZPA 付近で高く、ZPA から遠くなるにつれて低くなるという濃度勾配ができてはいるはずである (次図の A)。

肢芽の前方に ZPA を移植した場合、物質 M の濃度は前部と後部で高く、真ん中で最も低くなっているはずである (次図の B)。このことと図 2、図 3 の指の形を比較してみると、物質 M の濃度が高いほど後側の指が、低いほど前側の指が形成されると考えられる。

- (2) ZPA の一部を前部に移植した場合には、前部では物質 M の濃度は通常より高くなるが、3 指を形成するほど高濃度にはならないため、2 指または 1 指が形成されるものと推定できる (次図の C など)。また、もし最も前側に 3 指が形成されるとすると、次図の B のように後側に 2 指、1 指も形成され、指の数が 5 本以上になる可能性が高くなる。

◀ (2)より速度は

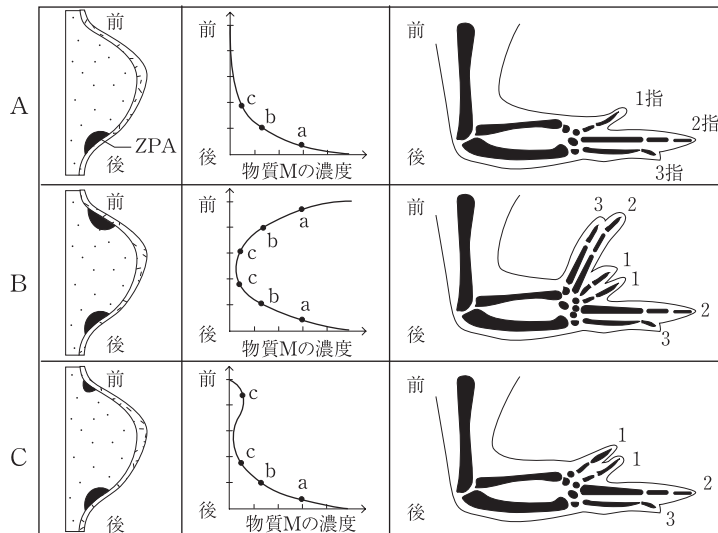
$30 \text{ [m/秒]} = 30 \text{ [mm/ミリ秒]}$ である。

次のように考えてもよい。(1)より AB 間 (=60 mm) 進むのに 2 ミリ秒かかる。つまり、1 ミリ秒では 30 mm 進む。

🔍 発想の鍵

誘導物質の濃度が分化のパターンに影響するという例は、発生分野の入試問題でよくとりあげられる。

生物体内で物質が分泌される
 → 分泌源から周囲に拡散する
 → 濃度勾配ができるはず
 という発想ができるようにしておきたい。



A: 移植を行わない場合 (正常)

B: ZPAを移植した場合

C: ZPAの一部を移植した場合

a: 3 指形成に必要な物質Mの濃度

b: 2 指形成に必要な物質Mの濃度

c: 1 指形成に必要な物質Mの濃度

プラスα

シュペーマンによる誘導の発見がなされてから、多くの研究者が「誘導物質」の発見に努力を重ねた。現在では、誘導は単一の物質によって引き起こされるのではなく、複数の物質の相互作用によって起こると考えられている。その作用の中でも重要視されている要因が物質の濃度勾配である。

物質 M のような性質をもつものを総称してモルフォゲンとよぶ。ニワトリの肢芽で働くモルフォゲンはソニックヘッジホッグ (SHH) とよばれるタンパク質であり、この濃度勾配によって指の形成が決められる、と考えられている。