

高2 理系生物

学年末考查 試験問題??

試験範囲：刺激の受容と反応、動物の行動

試験時間目安：70分

問題は1ページから12ページまであります。すべて3学期に学習する内容からの出題です。ただし一部、ハーディーワインベルグの法則を知っていたほうが良い問題があります。生物の進化・遺伝子頻度に関するページを読んでから臨んだほうがよいでしょう。

提出先：手渡し、LINE、12150048oishi@shibumaku-en.jp

2年 組 番 名前

【大問 1】

神経細胞の軸索末端における神経伝達物質の放出には、タンパク質 X が重要な役割を果たしている。ある研究チームは、タンパク質 X の機能を解析するため、野生型マウスとタンパク質 X の遺伝子に変異を持つ変異体マウスを用いて実験を行った。

問 1 タンパク質 X の mRNA の特定領域を增幅するため、PCR 法を用いた。図 1 は標的となる二本鎖 DNA の塩基配列の一部である。PCRにおいて適切なプライマーの組み合わせを、下表の(a)～(f)から 2 つ選び、記号で答えよ。ただし、プライマーの長さは便宜上 5 塩基とする。

図 1: 標的 DNA 配列

5'- G A T C C ... (中略) ... A G G T C -3' (上鎖)

3'- C T A G G ... (中略) ... T C C A G -5' (下鎖)

記号 配列 (5'→3') 記号 配列 (5'→3')

(a)	GATCC	(d)	GGATC
(b)	CCTAG	(e)	GACCT
(c)	AGGTC	(f)	TCCAG

問 2 増幅した DNA 断片に変異があるかを確認するため、制限酵素を用いた解析を行った。野生型の DNA 断片には制限酵素 *EcoRI* (認識配列: 5'-GAATTC-3') の認識部位が 1 箇所あるが、変異体ではその部位の 1 塩基が置換され、*EcoRI* で切断されなくなっている。

野生型と変異体のホモ接合体、およびヘテロ接合体の個体から得た DNA 断片をそれぞれ *EcoRI* で処理し、電気泳動を行った。ヘテロ接合体において観察されるバンドの数の合計を答えよ。ただし、未切断の DNA 断片と切断後の断片の長さはすべて異なり、電気泳動で分離可能とする。

問 3 タンパク質 X は、ニューロンに興奮が伝導し、軸索末端の(ア)チャネルが開いて(イ)イオンが流入することで、シナプス小胞の開口放出を促進する。

(1) 空欄(ア)・(イ)に当てはまる語句を答えよ。

(2) 変異体マウスではタンパク質 X が機能欠損しており、野生型に比べてシナプス後細胞での電位変化が著しく減少した。このとき、軸索における活動電位の伝導速度には変化が見られなかった。この結果から考えられる、タンパク質 X が作用する部位として最も適切なものを次から選べ。

(A) 細胞体 (B) 樹状突起 (C) シナプス間隙 (D) シナプス前膜

問 4 近年のバイオテクノロジーでは、光照射によって特定のイオンチャネルを活性化させる「光遺伝学(オプトジェネティクス)」が神経科学で用いられる。青色光で活性化する陽イオンチャネルであるチャネルロドプシンの遺伝子を特定のニューロンに導入すると、光照射によってそのニューロンを人工的に(ウ:興奮・抑制)させることができる。適する方を選べ。

問 5 光遺伝学で用いられるタンパク質には、細胞を興奮させるものだけでなく、抑制させるものもある。高度好塩菌から発見されたハロドプシンは、黄色～緑色の光を受けると、細胞内へ(エ)イオンを流入させるポンプとして働き(エは「ハロ」から推測せよ!)、細胞膜を(オ:分極・脱分極・過分極)状態にさせる。これにより、特定のニューロンの活動を一時的に停止させることが可能である。空欄(エ)に適切な語句を入れ、(オ)は適する方を選べ。

問 6 特定のニューロンにのみ目的の遺伝子(チャネルロドプシンなど)を発現させる手法として、ウイルスベクターが用いられる。この際、導入する遺伝子の直前に、特定の細胞でのみ働く(カ)という塩基配列を連結しておくことで、標的とするニューロン種のみで光感受性タンパク質を合成させることができる。空欄(カ)に当てはまる語句を答えよ。

問 7 「記憶の形成」における細胞の役割を調べるため、以下の実験を行った。

特定の薬剤を投与している間だけ、活動したニューロンでチャネルロドプシンが発現する特殊なマウスを用いた。

1. マウスを「部屋 A」に入れ、電気ショックを与えながら恐怖学習をさせた。この時、活動したニューロン(記憶の保持に関わる細胞集団:エングラム)にチャネルロドプシンが発現した。
2. 翌日、このマウスを安全な「部屋 B」に入れ、脳内の当該部位に青色光を照射した。

このとき、マウスに見られると予想される行動とその理由を、40字程度で述べよ。

問 8 光遺伝学は、従来の「電極を用いた電気刺激」と比較してどのような利点があるか。「細胞種」という言葉を用いて 25 字程度で説明せよ。

【大問 2】

ヒトを含む動物は、外界の刺激の強さをそのまま認識するのではなく、刺激の変化率を認識することで広い範囲の刺激に適応している。ドイツの生理学者ウェーバーは、ある強さの刺激 S を受けているとき、その変化に気づくことができる最小の刺激増分(弁別閾)を ΔS とすると、その比が一定になることを見出した。これをウェーバーの法則と呼ぶ。 $\log_{10} 2 = 0.30$ 、 $\log_{10} 3 = 0.48$ とする。

- (1) ウェーバーの法則を数式で表すと、定数(ウェーバー比)を K として、

$$\frac{\Delta S}{S} = K$$

となる。 100g の重りを持ったときに、重さの変化に気づく最小の増分が 10g であったとする。このとき、 500g の重りを持った場合に変化に気づくために必要な増分 ΔS は何 g か。

- (2) フェヒナーはウェーバーの法則を発展させ、「感覚の強さ P は、刺激の強さ S の対数に比例する」というウェーバー・フェヒナーの法則を導いた。

$$P = k \log_e S + C \quad (k, C \text{ は定数})$$

この式において、感覚の強さ P が、刺激 S のどのような変化に対して一定量ずつ増加するか、簡潔に述べよ。

- (3) 刺激の強さ S が S_0 から $100S_0$ まで変化したとき、(2)の式に基づくと感覚の強さ P は何倍になるか。ただし、 $S = S_0$ のとき $P = 0$ とし、常用対数 \log_{10} を用いて計算せよ(比例定数 k' を用いて $P = k' \log_{10}(S/S_0)$ とする)。

- (4) 聴覚における音の強さのレベルはデシベル(dB)単位で表される。ある音の強さを I 、基準となる最小可聴音の強さを I_0 とすると、音の強さのレベル $L(\text{dB})$ は以下の式で定義される。

$$L = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

強さが I_1 の音と、その 1000 倍の強さの音 I_2 があるとき、音の強さのレベルの差は何 dB か。

- (5) 視覚細胞において、光の強さ(刺激量)に対する受容器電位(応答)を測定すると、非常に広い範囲(数桁にわたる光強度)で受容が可能であることがわかる。もし、受容器電位が刺激量 S に単純に比例($P = aS$)する場合、対数比例($P = k \log S$)する場合と比較して、どのような不都合が生じると考えられるか、25 字以内で説明せよ。

- (6) ウェーバーの法則は、刺激が極端に弱い場合や強い場合には成立しないことが知られている。特に刺激が非常に弱い場合に法則が成立しなくなる理由として、生体内のどのような要因が影響していると考えられるか。「ノイズ」または「閾値」という言葉を用いて推察せよ。
-

【大問 3】

【問題文】

ある昆虫 X は、正の光走性を示す。この行動は、複眼を構成する個眼の視細胞が受容した光情報を脳で処理し、運動系へ出力することで生じる。視細胞では、光受容タンパク質であるオプシンが光を吸収すると、細胞内のシグナル伝達系を介して、非選択的カチオン(陽イオン)チャネルである TRP チャネルの開閉を制御し、受容器電位を発生させる。

昆虫 X は、周囲の明るさに応じて視覚の感度を調節する性質を持つ。この調節には、オプシンの転写制御を担う転写因子 A と、TRP チャネルの細胞内配置を制御するタンパク質 B が関与している。

【実験 1】

野生型個体を「暗所」から「明所」へ移すと、直後は強い光に反応して激しく動き回るが、数時間経つと落ち着いた行動をとるようになった。この時の視細胞を解析したところ、明所に移した直後よりも、数時間後の方が細胞膜上に存在する TRP チャネルの密度が減少していた。

【実験 2】

転写因子 A の機能を欠損させた変異体(A欠損体)を用いて、オプシンの mRNA 量を測定した。野生型では明所で飼育すると暗所に比べてオプシン mRNA 量が減少したが、A欠損体では明暗に関わらず常に高いレベルで維持されていた。

問 1

脊椎動物の視細胞(桿体・錐体)では、光を受容すると細胞膜のイオンチャネルが閉じ、膜電位が負の方向へ変化する。この現象を何と呼ぶか。

問 2

ニューロンにおける活動電位の発生には、細胞内外のイオン濃度勾配が不可欠である。以下の(1)・(2)に答えよ。

(1)通常、細胞外液に比べて細胞内液で濃度が高いイオンを、次の(ア)～(エ)からすべて選べ。

(ア)Na⁺ (イ)K⁺ (ウ)Cl⁻ (エ)有機アニオン(陰イオン)

(2)実験的に、昆虫 X の視神経を浸す細胞外液のK⁺濃度を通常よりも高く設定した。この状態で視神経を刺激した場合、静止膜電位の大きさと、活動電位の発生(しきい値への到達)のしやすさは、通常時と比べてどのように変化するか。以下の組み合わせから適切なものを選べ。

選択肢 静止膜電位(絶対値) 活動電位の発生

- | | | |
|---|-------|--------|
| A | 大きくなる | しにくくなる |
| B | 大きくなる | しやすくなる |
| C | 小さくなる | しにくくなる |
| D | 小さくなる | しやすくなる |

問 3(シグナル伝達)

実験 1において、明所に移した数時間後に TRP チャネルの密度が減少した。このとき、チャネルタンパ

ク質は細胞膜から細胞内へ取り込まれたと考えられる。このような細胞膜の一部がくぼんで小胞となり、物質を取り込む現象を何と呼ぶか。

問 4

実験 2 の結果から判断して、転写因子 A はオプシン遺伝子の発現をどのように制御していると考えられるか。以下の(ア)～(エ)から選べ。

- (ア)明所において、プロモーターに結合して転写を促進する。
- (イ)明所において、プロモーター付近に結合して転写を抑制する。
- (ウ)暗所において、プロモーターに結合して転写を促進する。
- (エ)暗所において、プロモーター付近に結合して転写を抑制する。

問 5

真核生物の転写調節において、転写因子が結合する塩基配列のうち、プロモーターから大きく離れた位置にあり、転写効率を著しく高める領域を何といいか。

問 6

昆虫 X の正の光走性について、右斜め前方から光が当たったとき、昆虫 X はどのようにして光の方向へ屈曲するか。左右の脚の筋肉の動きに着目して説明せよ。

問 7

ある条件下で、視細胞 1 個あたりのオプシン分子数が 1.2×10^7 個であった。この個体に強い光を照射したところ、1 秒間に全オプシンの 0.1% が光を吸収して活性化状態となった。1 個の活性化オプシンが最終的に 1.0×10^3 個の TRP チャネルを閉じさせると仮定した場合、1 秒間に影響を受けるチャネルの総数を求めよ。

問 8

実験 1・2 のような感度調節機構が存在しない場合、昆虫 X が「非常に強い光」の下に長時間置かれると、視覚情報に基づく行動にどのような支障が出ると予想されるか。「飽和」という言葉を用いて説明せよ。

問 9

昆虫 X の集団において、転写因子 A の機能が変化し、強光下でもオプシン発現を抑制し続ける(感度が低い状態を維持する)変異遺伝子 a が出現した。野生型遺伝子を A とし、以下の条件における遺伝子頻度の変化を考える。

【条件】

- ・ある生息地において、強い人工光が常時照射されるようになった。
 - ・この環境下では、野生型(遺伝子型 AA および Aa)は視覚の飽和により捕食されやすく、生存率が低下する。
 - ・一方、変異体(遺伝子型 aa)は適切な感度を維持できるため、生存に有利である。
 - ・各遺伝子型の相対的な生存率(適応度)を、 $AA : Aa : aa = 0.8 : 0.8 : 1.0$ とする。
- (1)ある世代における遺伝子 A の頻度を p 、遺伝子 a の頻度を q ($p + q = 1$) とする。この集団が任意交配した直後の次世代の胚(生存選択がかかる前)における、各遺伝子型の期待される分離比を p

と q を用いて表せ。

(2)遺伝子頻度が $p = 0.5, q = 0.5$ の集団において、任意交配によって生まれた次世代が、成体になるまで生存選択を受けた。このとき、成体集団における変異遺伝子 a の頻度 q' を、小数第 2 位まで求めよ。

大問4

馬の歩行様式には、対角線上の脚を交互に動かす「斜対歩」と、同じ側の前後の脚を同時に動かす「側対歩」がある。この違いには、脊髄の抑制性介在ニューロンで発現する DMRT3 遺伝子が深く関与していることが明らかになった。以下の文章を読み、後の問い合わせなさい。

多くの脊椎動物において、左右の肢を交互に動かすリズムは、脊髄にある中心パターン発生器(CPG)という神経回路によって生み出される。CPG 内では、左右のアルファモーターニューロン(以下 α 運動ニューロン)が同時に活動しないよう抑制性介在ニューロンが反対側のニューロンの活動を抑制する。野生型の馬は中速走行時に斜対歩を行うが、DMRT3 遺伝子に欠失変異(ストップコドンが生じる変異)を持つ個体は、側対歩を容易に行うことができる。研究によると、DMRT3 遺伝子がコードするタンパク質は、脊髄において左右および前後の運動の調和を司る抑制性介在ニューロンの正常な発達に必須であることが分かった。

問 1

下線部について、骨格筋を収縮させる信号を伝える α 運動ニューロンの細胞体は、脊髄のどの部位(図の名称)に位置するか。また、その細胞体から伸びる軸索は、脊髄の「前根」と「後根」のどちらを通って筋肉へ向かうか、答えなさい。

問 2

側対歩を示す変異個体では、抑制性介在ニューロンの機能が一部失われている。このとき、脊髄レベルでどのような変化が起きていると考えられるか。「左右の α 運動ニューロン」の活動状態に着目して、40 字程度で説明しなさい。

問 3

DMRT3 遺伝子の変異個体(側対歩)は、非常に速い歩法(速歩)でも脚がもつれにくく、騎乗者に伝わる振動が少ないという特徴がある。これに関連して、以下の(a)～(c)の正誤を判定せよ。

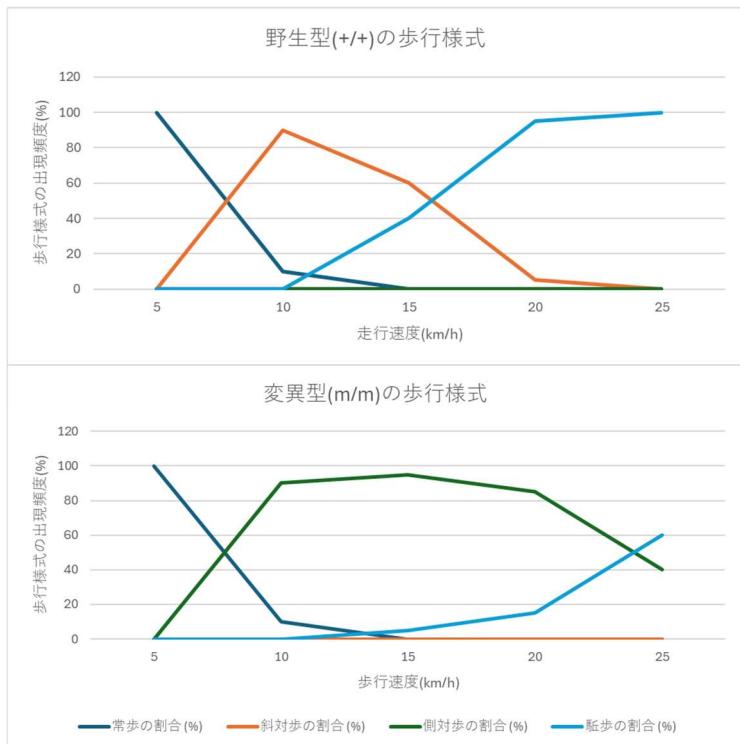
- (a) この変異は、筋収縮の直接的なエネルギー源である ATP を産生するミトコンドリアの密度を増やせる。
- (b) この変異は、筋肉を構成する筋線維のうち、収縮速度が速い「速筋線維」の割合を直接的に増やす変異である。
- (c) この変異は、中枢神経系による「どの筋肉を、どのタイミングで動かすか」という協調制御を変化させている。

問 4

一般に、 α 運動ニューロン 1 個と、それが支配する複数の筋線維をまとめて「運動単位」と呼ぶ。1 個の α 運動ニューロンが興奮したとき、その運動単位に含まれる筋線維の収縮について述べた次の文の()に適する語句を入れなさい。

「单一の運動単位に含まれる筋線維の種類は(ア)であり、神経からの刺激が閾値以上のとき、それら全ての筋線維が(イ)に収縮する。これを(ウ)の法則と呼ぶ。」

DMRT3 遺伝子の変異が歩行に与える影響をさらに調べるために、野生型(+/+)とホモ接合体の変異型(m/m)の馬を用いて、走行速度と歩行パターンの関係を調査したところ、図1の結果を得た。また、DMRT3 変異を持つ馬の筋肉を解析したところ、特定の条件下において、野生型よりも乳酸の蓄積が抑えられ、長時間一定の速度を維持できる傾向があることが判明した。これは、側対歩が斜対歩に比べて、上下の重心移動が少なく、エネルギー効率に優れているためだと考えられている。



[図1: 走行速度と歩行パターンの関係]

問5

図1において、野生型の馬は速度が上がるにつれて「常歩(なみあし)→斜対歩→駆歩」と歩法を切り替える。一方、変異型の馬は、野生型が斜対歩から駆歩へ移行する速度域に達しても、側対歩を維持したままさらに加速することができた。この事実から、DMRT3 遺伝子の正常な産物が、運動制御において果たしている役割についてどのようなことが推測できるか。「速度」と「歩法の切り替え」という言葉を用いて、60字

程度で説明しなさい。

問6

変異型の馬が「エネルギー効率が良い」理由の一つとして、特定の筋肉において「単収縮」が重なり合って生じる「強収縮」の頻度が最適化されている可能性が示唆された。

- (1) 運動神経から高い頻度で刺激が伝わり、筋肉が弛緩することなく収縮が持続する状態を何といいか、漢字で答えなさい。
- (2) もし変異型の馬が、同じ速度で走る野生型の馬よりも少ないエネルギーで走行できているとすれば、それは筋肉レベルでどのような状態になっていると考えられるか。アルファモーターニューロンから送られる「活動電位の頻度」と、それによって生じる「筋収縮の強さ」に関連付けて、あなたの考えを説明しなさい。

問7(総合考察:進化と選択)

DMRT3 変異は、特定の品種(速歩競技用馬など)で非常に高い頻度で見られるが、野生のウマ集団では極めて稀である。この理由として考えられる仮説を、以下の語句をすべて用いて簡潔に説明しなさい。

[語句: 生存に不利、人為選択、エネルギー効率]

大問5

動物の神経細胞は、細胞膜を隔ててイオン濃度勾配を形成し、電気信号(活動電位)を発生させることで情報を伝達する。この現象は、物理化学の法則に従って数理的に記述することができる。以下の問いに答えよ。(ただし、気体定数 $R = 8.0[J/(mol * K)]$ 、絶対温度 $T = 310[K]$ 、ファラデー定数 $F = 9.7 \times 10^4[C/mol]$ は定数とし、自然対数の底を e とする。また、計算に必要な数値は問題文中に与えられたもののみを使用し、神経細胞は理想的な条件にあるものとする。)

細胞膜には、常に特定のイオンを透過させるリーグチャネルが存在する。静止時には主にカリウムイオン(K^+)に対する透過性が高い。このとき、細胞内外のイオン濃度差に基づいて形成される電位(平衡電位)は、ネルンスト方程式によって計算できる(もともと化学の電池分野で登場した式)。

ネルンスト方程式:

$$E = \frac{RT}{zF} \log_e \left(\frac{[C]_{\text{out}}}{[C]_{\text{in}}} \right)$$

ここで、 E は平衡電位、 $[C]_{\text{out}}$ および $[C]_{\text{in}}$ はそれぞれ細胞外および細胞内のイオン濃度、 z はイオンの価数(K^+ では $z = +1$)である。

(1)もし仮に、ある神経細胞の静止膜が K^+ のみを完全に透過させ、細胞外 K^+ 濃度が 5mM 、細胞内 K^+ 濃度が 100mM であった場合、この細胞の平衡電位はおよそいくらになると予想されるか。 $\log_e 20 \approx 3.0$ として、近似値を求め、その値に基づき細胞内外どちらが正に帶電するか簡潔に述べよ。(解答は mV 単位で小数点以下を四捨五入して整数で答えよ。)

実際には、静止膜は K^+ だけでなく、ナトリウムイオン(Na^+)やその他のイオンに対してもわずかな透過性を持つ。複数のイオンが関与する場合の膜電位は、各イオンの透過性(P)を考慮したゴールドマン・ホジキン・カツツ方程式(GHK 方程式 Goldman-Hodgkin-Katz equation)によって近似される。

(2)GHK 方程式により計算される静止膜電位は、ネルンスト方程式で計算した K^+ 平衡電位((1)の値)とは異なる値(例: 約 -70mV)を示す。その理由を、 Na^+ の細胞内外の濃度勾配と、静止時における Na^+ チャネルおよび K^+ チャネルの開閉状態(透過性)の違いに触れながら、100 字程度で説明せよ。

神経細胞が刺激を受け、膜電位が閾値を超えると、活動電位が発生する。これは、膜電位の変化に応じて開閉する電位依存性イオンチャネルの働きによる。

活動電位の発生に伴う膜電流 I_{ion} は、ホジキンニハクスリーによって、以下の基本式で表される電流の総和としてモデル化された。

$$I_{ion} = I_{Na} + I_K + I_L \quad (\text{参考: キルヒhoff の第一法則})$$

ここで、 I_{Na} は Na^+ 電流、 I_K は K^+ 電流、 I_L は漏洩電流である。各電流は、対応するイオンチャネルのコンダクタンス(g)と、膜電位(V_m)および平衡電位(E)の差(電気的駆動力)の積で表される。

$$I_X = g_X \times (V_m - E_X)$$

※予備知識 (現在物理選択が電磁気を習っているはずなので、ここを読んでわからなかったら物理選択に聞くとよいです)

(一応) 電位: 無限遠からある地点まで単位正(負)電荷を静電気力に逆らって(従って)運ぶのに必要な仕事量
電圧: 電位差。電流を流そうとする力、とよく表現される。

コンダクタンス: $I = g \times (V_m - E)$ を使って考えよう。

(I は流れるイオン電流、 g はコンダクタンス、 $(V_m - E)$ は電圧降下(電流を流そうとする力))

よってこの式は、 $V = RI$ (オームの法則) を $I = \frac{1}{R} * V$ と変形した式とほとんど同じ意味。よってコンダクタンス g は抵抗値の逆数で定義され、電流の流しやすさを示す値。

(3) 活動電位の立ち上がり相(脱分極)では、膜電位は急激に正の方向へ変化し、一過的に細胞内が細胞外に対して正に帯電する状態になる。この現象を引き起こす主なイオンと、そのとき主に開くイオンチャネルの名称を答えよ。また、そのイオンの流入によって細胞膜内外の電位差の「極性」が変化する理由を、上記の電流の式($I_X = g_X \times (V_m - E_X)$)における駆動力に着目して説明せよ。(100字程度)

ネルンスト方程式は「单一イオンのみが透過する理想的な状況」を記述するのに対し、GHK方程式(ゴールドマン方程式)は、現実の細胞膜をより正確にモデル化している。複数のイオン種(K^+ , Na^+ , Cl^- など)の濃度勾配と、それぞれの膜透過性(P_K , P_{Na} , P_{Cl} など)を考慮に入れた式は以下のようになる。

$$GHK\text{ 電位 }V_m \approx \frac{RT}{F} \log_e \left(\frac{P_K[K^+]_{out} + P_{Na}[Na^+]_{out} + P_{Cl}[Cl^-]_{in}}{P_K[K^+]_{in} + P_{Na}[Na^+]_{in} + P_{Cl}[Cl^-]_{out}} \right)$$

ここで $P_{Cl}[Cl^-]_{in}$ 、 $P_{Cl}[Cl^-]_{out}$ は無視してよいものと考える。

(Z が消えているのに気づいた方へ; 各イオンの価数がすべて1なので消えました)

自然対数は計算が大変になるので

$$GHK\text{ 電位 }V_m \approx 62 \log_{10} \left(\frac{P_K[K^+]_{out} + P_{Na}[Na^+]_{out}}{P_K[K^+]_{in} + P_{Na}[Na^+]_{in}} \right)$$

としよう。特に静止膜電位では $[K^+] \gg [Na^+]$ が成り立つかっ、

$$V_m = 62 \log_{10} \left(\frac{P_K[K^+]_{out}}{P_K[K^+]_{in}} \right)$$

と近似できる。この時の電位が(1)で求めたものだ。以下 GHK 電位の式を用いよ。

(4) 細胞外 K^+ 濃度が $5mM$ 、細胞内 K^+ 濃度が $100mM$ に戻ったものとする。また電位依存性ナトリウムイオンチャネルが閉じることにより $\frac{P_{Na}}{P_K} = 0.01$ となったものとする。さらに、若干の Na^+ の流入により、細胞外 Na^+ 濃度が $15mM$ 、細胞内 Na^+ 濃度が $5mM$ となったとしたとき、 V_m の値を求めよ。ただし $\log_{10} 2 = 0.3010$ を用いて計算し、近似値を求めよ。またこの状況を何と呼ぶか、答えよ。

神経繊維には、髓鞘を持つ有髓神経と、持たない無髓神経がある。一般に、有髓神経の方が興奮の伝導速度が速い。(授業でやったね)

※予備知識2（現在物理選択が電磁気を習っているはずなので、ここを読んでわからなからたら物理選択に聞くとよいです）

コンデンサ：電気を貯める装置といわれる。静電容量（キャパシタンス）を利用して、電気（電荷）を蓄えたり放したりする受動電子部品。静電容量とは、電荷を蓄える能力。

(5)有髄神経で興奮が伝わる仕組みを跳躍伝導という。この伝導様式が、無髄神経に比べて興奮の伝導速度を速めることができる理由を、細胞膜の電気的特性（抵抗や静電容量）と、活動電位が発生する部位（ランピエ絞輪）に触れながら説明せよ。（120字程度）

神経細胞の電気信号の原理は、感覚器官の機能にも応用されている。例えば、光受容器や機械受容器などは、外部刺激を電気信号に変換する。

(6)ヒトの聴覚系において、音波という「機械的刺激」が、どのようにして神経細胞の「電気信号」へと変換されるか。この変換の過程で主要な役割を果たす感覚細胞の名称と、そこで起こるイオンチャネルの開閉に伴う膜電位の変化（受容体電位の発生）について、聴覚系の構造（鼓膜、耳小骨、蝸牛、有毛細胞）の名称を含めて説明せよ。（150字程度）

以上のように、ホジキン＝ハクスリーらは、複雑な生命現象である神経の興奮を、電気回路のモデルと微分方程式を用いて記述することに成功した。美しかったでしょ。（問題は以上です）
