

理科問題紙

令和6年2月25日

自 14:00

至 16:00

答案作成上の注意

1. 理科の問題紙は1から30までの30ページである。
2. 解答用紙は、生物⑦、⑧、⑨、化学⑩、⑪、⑫、⑬、物理⑭、⑮、⑯の10枚である。
3. 生物、化学、物理のうち2科目を選択すること。
4. 解答はすべて解答用紙の指定された箇所に書くこと。
5. 試験開始後30分以内に選択する科目を決定すること。
6. 折りこまれている白紙(2枚)は草案紙として使用すること。
7. 問題紙と草案紙は持ち帰ること。

生 物

1

(1) スペイン人解剖学者のラモニ・カハールは、ニューロンが感覚ニューロンと運動ニューロンおよび の3つの種類に大別されることを明らかにした。また、特定のニューロンが決まったニューロンとのみ接続することを見だし、この神経接続の厳密さが発生過程において神経系に組み込まれることを発見した。さらに、これらのニューロンが神経系における信号伝達の基本単位であると提唱し、1906年にノーベル生理学・医学賞を受賞した。

しかし、カハールが発見した神経接続の厳密さは、興味深い問題を提起した。つまり、学習したり記憶したりするときには神経系に何かしらの変化が起こるはずだが、もしニューロン同士の接続が最初から厳密に決定されているとすると、学習や記憶はどのようにして可能になるのかという問題である。カハールは、卓越した洞察でこのパラドックスを解決する学説を提唱した(1894年)。つまり、シナプスの伝達効率が変化することによって、シナプス前細胞からシナプス後細胞への興奮の伝わりやすさが調節されていると考え、これによって学習や記憶が可能になるというのである。なお、学習や記憶によりシナプスの伝達効率が変化することをシナプス可塑性^{かそせい}という。

カハールの洞察は、その後の研究に極めて大きい影響を与えた。しかし、学説を提唱するだけでは十分ではなく、必要とされたのは、学習による神経接続の変化を直接調べることができる単純な実験系であった。このため、カハールの洞察は正しかったが、その実証には、学説提唱の75年後に報告され始めたアメリカ人神経科学者のエリック・カンデルらによるアメフラシの慣れと鋭敏化に関する一連の研究を待つ必要があった。

アメフラシの水管に触ると、鰓^{えら}の筋肉が収縮して鰓が強く引き込む鰓引っ込み反射が起こる。しかし、水管に繰り返し接触刺激を与え続けると、慣れとよばれる現象が起こり、水管に接触刺激を与えても鰓が引っ込みにくくなる。また、すでに慣れを起こしたアメフラシに対して、尾部に強い刺激を与えると、水管の接触刺激に対する鰓の反応が回復する脱慣れと呼ばれる現象や、さらにはより強く反応する鋭敏化と呼ばれる現象が起こる。カandelらは、これらの現象が比較的簡単な神経経路によって引き起こされることを発見し、シナプス可塑性のメカニズムを解明した。この功績により、カandelは2000年にノーベル生理学・医学賞を受賞した。

問 1 に入る語を書きなさい。

問 2 ニューロンの細胞体からは入力部あるいは出力部となる神経突起が突き出る。それぞれの神経突起の名称を書きなさい。

問 3 下線部について、ネコを使った研究によって慣れにより神経伝達が減弱することが1966年に報告されている。しかし、ネコを使った研究では神経接続が変化するしくみの解明には至らず、それを初めて解明したのは1969年に始まったアメフラシを使った一連の研究であった。当時、ネコを使った研究で解明できなかったシナプス可塑性のしくみが、アメフラシを用いた研究で解明できたのはなぜか、その理由を考察し簡単に説明しなさい。

(2) アメフラシの鰓引っ込み反射に関連する興奮伝達の経路を図1に示す。以下の間に答えなさい。

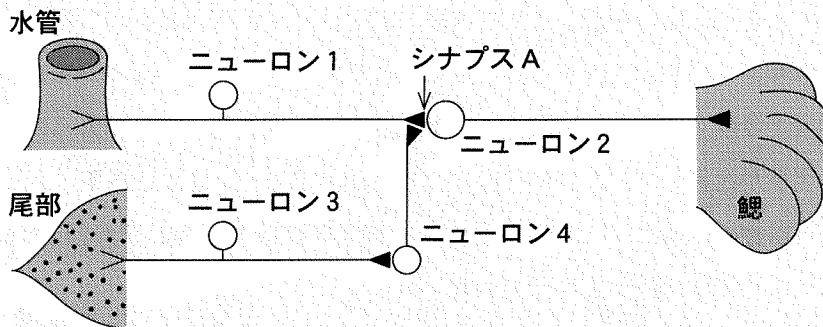


図1 アメフラシの鰓引っ込み反射に関連する神経経路

問1 アメフラシでは、水管への微弱な接触刺激に加えて無条件刺激として尾部への電気ショックを組み合わせる訓練をおこなうと、通常では反射が起こらないほどの微弱な接触刺激だけでも強い鰓引っ込み反射を起こすようになる。このように条件刺激と無条件刺激を組み合わせる訓練による学習を何というか、答えなさい。

問2 慣れによって伝達効率が変化する際、シナプスAではどのようなことが起こるか、関係するイオンチャネルの名称とその機能の変化を含め説明しなさい。

問3 ニューロン4が放出する、脱慣れや鋭敏化に関わる神経伝達物質の名称を書きなさい。

問 4 図 2 の灰色太線は、慣れや鋭敏化が起きていない状態で鰓引っ込め反射が起きた際に、ニューロン 1 の神経終末に発生する活動電位の波形を示す。慣れまたは鋭敏化が起きた場合では、ニューロン 1 の神経終末に発生する活動電位はどうか、それぞれ図 2 の黒実線①～⑥から選び記号で答えなさい。

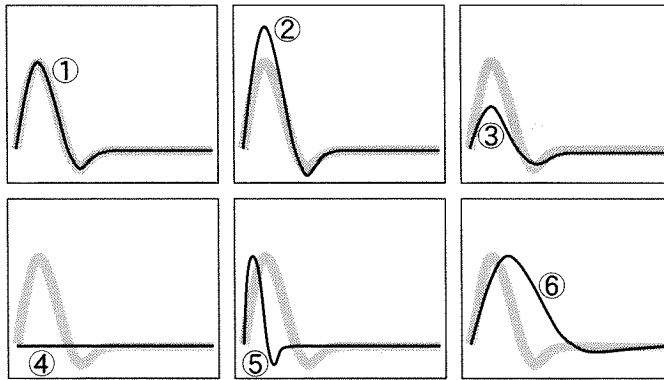


図 2 (①は灰色太線と同じ波形)

問 5 図 3 の灰色太線は、慣れや鋭敏化が起きていない状態で鰓引っ込め反射が起きた際に、シナプス A に発生するシナプス後電位の波形を示す。慣れまたは鋭敏化が起きた場合、シナプス A のシナプス後電位はどうか、それぞれ図 3 の黒実線①～⑤から選び記号で答えなさい。

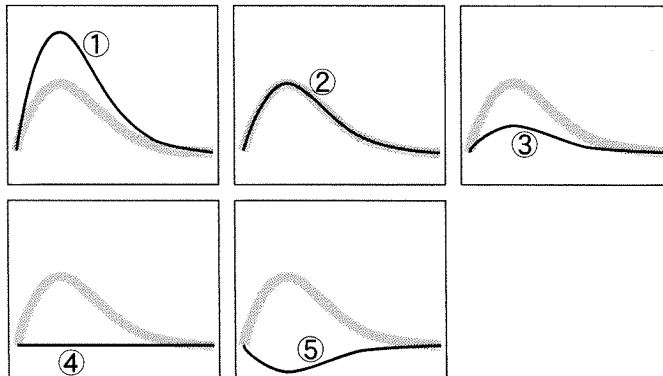


図 3 (②は灰色太線と同じ波形)

2

1950年にシャルガフは、生物の持つDNAにおいて、アデニン塩基の数とチミン塩基の数が等しく、シトシン塩基の数とグアニン塩基の数が等しいという法則を発表した。この事実は、DNAに含まれる4種類の塩基のうち、アデニンとチミン、シトシンとグアニンが塩基対を形成していることを示唆しているが、シャルガフ自身はこの関係に気付かなかった。この発見は1953年のワトソンとクリックによるDNAの二重らせん構造モデルの提唱につながった。その後、1958年にクリックは遺伝情報の一方向の流れであるセントラルドグマを提唱した。同年メセルソンとスタールは、DNAの半保存的複製を証明し、その後、岡崎令治が岡崎フラグメントを発見することによりDNA複製のメカニズムが解明された。

問1 下線部アについて、ある細菌の全DNAを解析したところ、アデニン塩基の含有率は22%であった。この細菌の2本鎖DNAを1本鎖DNAにし、片方のDNA鎖に含まれる塩基の含有率を解析したところ、アデニン塩基の含有率は20%であった。この1本鎖DNAに含まれるチミン塩基の含有率を計算し、小数第一位まで答えなさい。

問2 下線部イの遺伝情報の流れは、RNAポリメラーゼがはたらく転写によって開始される。RNAポリメラーゼとDNAポリメラーゼによる反応は、どちらも鋳型を利用して新しい鎖を合成する点で類似しているが、合成開始のしくみは異なる。その違いを説明しなさい。

問 3 下線部ウについて、以下の文の [1] ~ [4] に入る語を書きなさい。

DNA は [1] によって 2 本鎖 DNA がほどけて 1 本鎖 DNA となる。この 1 本鎖 DNA を鋳型として、 [2] 的な塩基をもつヌクレオチドが DNA ポリメラーゼによって次々につなわれ、新たな 2 本鎖 DNA となる。DNA の合成は 5'側から 3'側にしか進行しないため、連続的に合成が進む [3] 鎖と、不連続に合成される [4] 鎖がある。

問 4 DNA 複製にかかる時間について、以下の問いに答えなさい。

- 1) 4500 万塩基対の長さの染色体のちょうど中央に 1 カ所のみ複製起点が存在すると仮定した場合、この染色体の複製にかかる時間を計算しなさい。ただし、DNA ポリメラーゼ 1 分子あたりの DNA の合成速度は一定で停止することはない、1 秒間に 20 ヌクレオチドとする。単位は時間とし、小数第一位まで答えなさい。
- 2) ヒトのある臓器の細胞は活発に増殖し、細胞数が倍になる時間は実際には平均 10 時間程度であった。1) の計算結果と大きく異なるが、それはなぜか説明しなさい。

3

(1) ヒトの体液の組成や濃度はほぼ一定範囲内に維持されている。その代表例として、血糖濃度が挙げられる。

体内で血糖濃度を下げるホルモンは、唯一インスリンである。これに対し、^ア血糖濃度を上げるホルモンは複数存在し、すい臓から分泌されるグルカゴンや、副腎から分泌される やアドレナリンが挙げられる。 は からの刺激を受けて副腎皮質から分泌され、タンパク質からのグルコースの合成を促進して血糖濃度を上げる。一方、アドレナリンは間脳視床下部からの刺激を受けて副腎髄質から分泌され、肝臓での の分解を促進して血糖濃度を上げる。さらに、自律神経も血糖濃度の調節にはたらくており、間脳視床下部からの刺激は を通じてすい臓へ伝わり、インスリンが分泌されて血糖濃度が低下する。このように、血糖濃度の維持にはホルモンと自律神経が協調してはたらく必要がある。

血糖濃度の調節が適切にはたらかなくなると、慢性的に血糖濃度が高い状態が続き、糖尿病になる。糖尿病は1型と2型の2つのタイプに分けられる。血糖濃度が異常に増加すると尿中にグルコースが検出されるようになる。

問 1 ~ に入る語を書きなさい。

問 2 下線部アについて、インスリンは細胞内へのグルコースの取り込みを促進して血糖濃度を下げるが、それ以外の血糖濃度を下げるインスリンの生理作用を1つ挙げて、簡単に説明しなさい。

問 3 下線部イについて，以下に示すグラフは食後の血糖濃度と血液中のインスリン濃度の変化を表したものである。健常者と2型糖尿病患者のグラフはどれか，それぞれ1つ選んで記号で答えなさい。

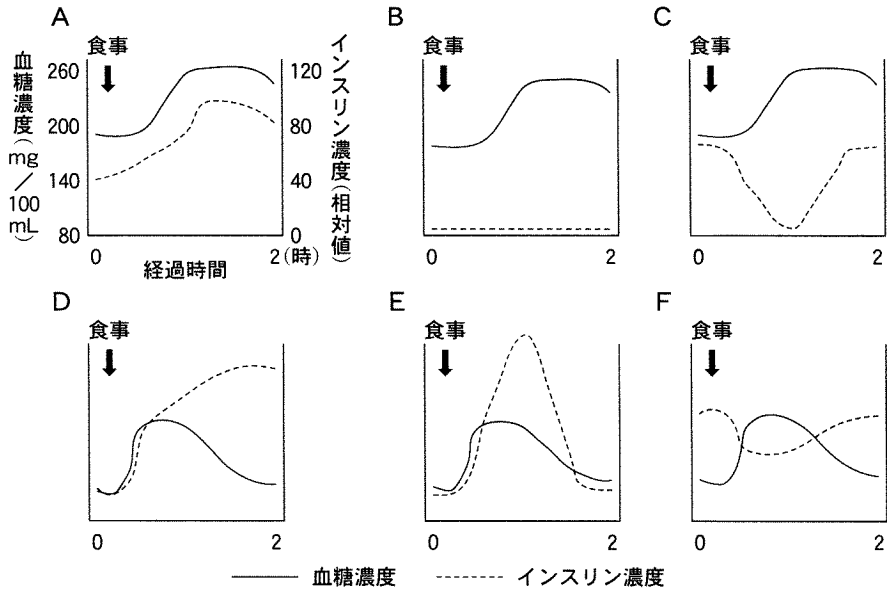


図 血糖濃度と血液中のインスリン濃度の変化

問 4 下線部ウについて，このような現象が起こる理由を，関係する臓器の組織レベルのはたらきを含めて簡単に説明しなさい。

(2) 脊椎動物の体液は、，血液，リンパ液からなっている。血液は、液体成分である血しょうと有形成分である血球(赤血球，白血球，血小板)からなる。血球は、にある細胞からつくられる。哺乳類の赤血球は、核とミトコンドリアがない。赤血球の主なはたらきは酸素の運搬である。酸素は赤血球に含まれているヘモグロビンと結合して、運ばれている。また、血小板は主に血液凝固に関与しており、白血球は主にに関与している。

問 1 ～ に入る語を書きなさい。

問 2 ヘモグロビンは肝臓などでどのように分解・処理されて排出されるか，説明しなさい。

問 3 下記は血液凝固についての文章である。これらの文章の中で正しいものを3つ選び，記号で答えなさい。

- ① 採取した血液を氷冷すると血液凝固は抑制される。
- ② 血小板などから放出される血液凝固因子のはたらきにより，トロンピンがプロトロンピンになる。
- ③ プロトロンピンは酵素活性がある。
- ④ フィブリンは酵素である。
- ⑤ フィブリノーゲンは血球をからめとり，血べいとなる。
- ⑥ トロンピンのはたらきにより，フィブリノーゲンはフィブリンになる。
- ⑦ 血小板はカルシウムイオンにより，活性化する。
- ⑧ 血清と比べて血しょうには，血液凝固因子が多く含まれている。

問 4 血液凝固が起こりにくくなる病気の名称を，1つ答えなさい。

4

植物は発芽から時間の経過とともに細胞小器官である [1] の体積が増大して細胞が大きくなり、茎や根が成長する。また、周りの環境に^ア応答して成長を変化させる。外部からの刺激に対して植物が屈曲する応答には [2] と屈性があるが、これらの反応では植物ホルモンなどの物質によって成長が調節され、植物体の形状が変わる。

オーキシンは植物ホルモンの一種で、植物の成長を調節する機能を持つ。茎の場合、その先端部でオーキシンが合成され、茎内を重力方向に移動する。一方、茎の先端部の細胞に含まれる色素タンパク質である [3] は外部からの光刺激を受容する。また、茎の細胞や根のコルメラ細胞にあるアミロプラストが、重力に従って沈降することがきっかけとなって重力が感知される。その結果、オーキシンの分布が変化し、それらの刺激に対する^イ光屈性や重力屈性という応答が生じる。

問 1 [1] ~ [3] に入る語を書きなさい。

問 2 [2] の例を1つ挙げなさい。

問 3 下線部アについて、植物の成長は細胞分裂と細胞成長によって起こるが、茎の成長には縦方向に成長する伸長成長と、横方向に成長する肥大成長の2つの方向性がある。茎が肥大成長するしくみについて、細胞壁の構造に着目し、関連する植物ホルモンを含めて説明しなさい。

問 4 ヤナギの枝を切り取り、図1のように保湿容器内に枝の先端部を上または下に向けて置いた。どちらの場合も、先端部と基部のいずれかから発芽と発根が観察されたが、それぞれの場合に発根したのはどちら側か、正しい方を○で囲みなさい。また、その理由をオーキシンの移動に着目して説明しなさい。

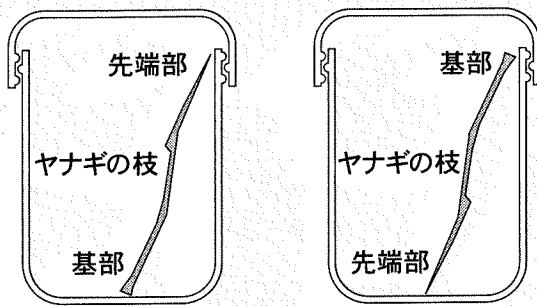


図1 切り取ったヤナギの枝を用いた実験

問5 下線部イについて、図2はマカラスムギの幼葉鞘を用いた光屈性の実験である。マカラスムギの幼葉鞘の先端を切断し寒天ブロックの上に置いた。その後一定時間光を照射したものと、同じ時間光を当てずに放置したものから a ~ j の寒天ブロックを回収し、寒天中のオーキシン量を測定した。オーキシンの量が最も少なかったブロックはどれか、a ~ j から選び記号を書きなさい。

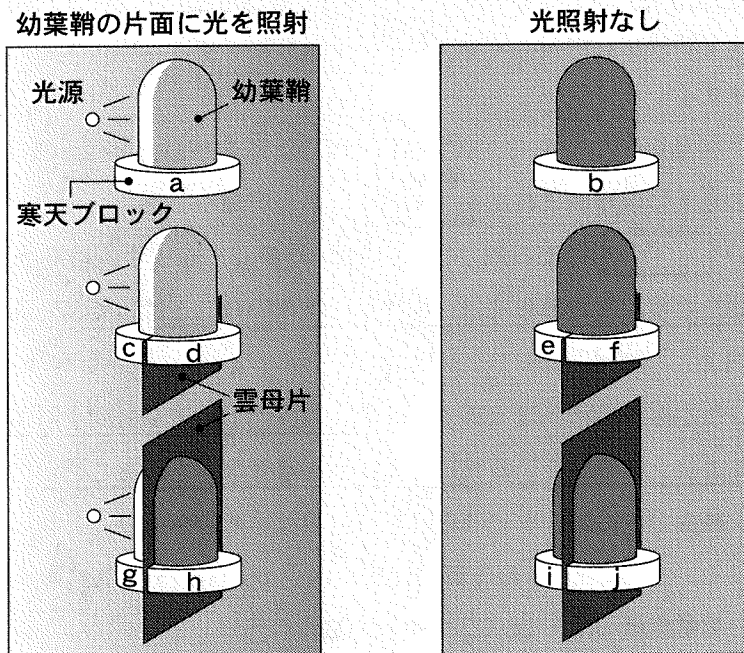


図2 マカラスムギの幼葉鞘を用いた光屈性の実験
雲母片は光の透過と物質の移動を遮断する。





