

# 理科問題紙

令和3年2月25日

自 14:20

至 16:20

## 答案作成上の注意

1. 理科の問題紙は1から28までの28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) 昨年 10 月、ノーベル賞の登竜門の一つとされるガードナー賞を竹市雅俊博士が受賞した。これまでに 12 人の日本人が同賞を受賞しているが、このうち 利根川進博士、山中伸弥博士、大隅良典博士 の 3 人が、同賞受賞の 1～5 年後にノーベル賞を受賞している。

竹市博士は京都大学の助手時代にアメリカのカーネギー研究所に留学したが、そこで培養した上皮細胞について奇妙なことに気づいた。つまり、京都大学の研究室では上皮細胞をトリプシン処理しても培養液に戻すと細胞が短時間で再集合し凝集塊を形成したのに対し、カーネギー研究所では同様の実験を行っても細胞は凝集塊を形成しなかったのである。竹市博士は以下の説明にあるような実験を行い、この原因がトリプシン処理の際に緩衝液に含まれるカルシウムイオン( $\text{Ca}^{2+}$ )の有無であることを実証した。さらに、京都大学に戻って研究を進め、1982年に動物の発生に欠かせない細胞接着分子であるカドヘリンを発見した。これは、発生学や細胞生物学だけでなく、がんなどの分子病態を理解する上で極めて重要な発見であった。

以下の実験についての説明を読み、各問に答えなさい。なお、トリプシンはタンパク質分解酵素で、培養皿に貼りついた培養細胞をはがすのに用いられる。また、EDTA は  $\text{Ca}^{2+}$  を吸着除去してその作用を打ち消す薬剤である。

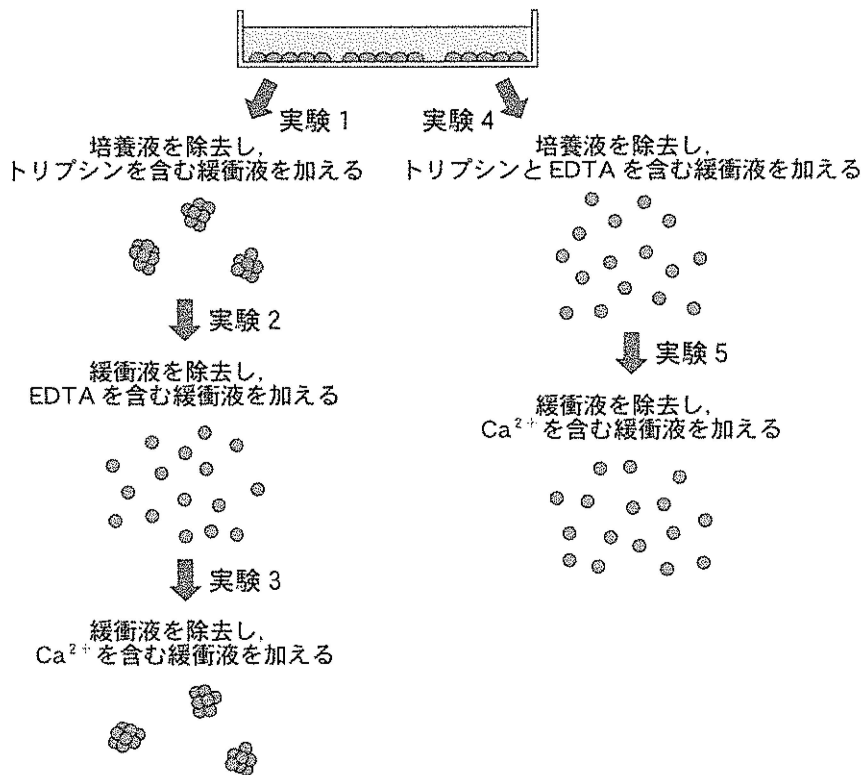
**実験 1.** 培養皿で培養した上皮細胞をトリプシンを含む緩衝液で処理すると、細胞が培養皿からはがれて細かい細胞の凝集塊になり緩衝液中に浮遊した。

**実験 2.** 実験 1 で得られた細胞の凝集塊を含む液体を遠心分離して細胞を沈殿させて上澄みのトリプシン緩衝液を除去し、代わりに EDTA を含む緩衝液を入れると、凝集塊をつくっていた細胞が 1 個ずつ完全に分離しバラバラになった。

実験 3. 実験 2 で得られたバラバラの細胞を含む液体を遠心分離して上澄みの EDTA を含む緩衝液を除去し、代わりに  $\text{Ca}^{2+}$  を含む緩衝液を加えた。その結果、細胞が再集合并凝集塊が形成された。

実験 4. 培養皿で培養した上皮細胞をトリプシンと EDTA を含む緩衝液で処理すると、細胞が培養皿からはがれ個々の細胞にまで完全に分離した。

実験 5. 実験 4 で処理した細胞を遠心分離して沈殿させて上澄みのトリプシンと EDTA を含む緩衝液を除去し、代わりに  $\text{Ca}^{2+}$  を含む緩衝液を加えた。その結果、実験 4 の結果と同じで個々の細胞がバラバラな状態のままで再集合せず、凝集塊をつくらなかった。



問 1 下線部ア～ウについて、各人のノーベル賞受賞理由となった業績を以下から選び、記号で答えなさい。

- (a) 成熟細胞が初期化され多能性をもつことの発見
- (b) 免疫グロブリン E の発見
- (c) 卵成熟促進因子 (MPF) の発見
- (d) オートファジーの仕組みの解明
- (e) 緑色蛍光タンパク質の発見
- (f) 遺伝子再構成による抗体生成の遺伝的原理の解明

問 2 下線部エについて、動物の発生におけるカドヘリン分子の役割を、簡単に説明しなさい。

問 3 トリプシンはペプシンとともにヒトの消化管ではたらくタンパク質分解酵素である。ヒトにおいてそれぞれどの臓器で合成される酵素か、答えなさい。また、培養細胞をトリプシン処理する際の緩衝液の pH として適当な数値を、整数で答えなさい。

問 4 トリプシン処理の際の  $\text{Ca}^{2+}$  の有無が、実験 3 と実験 5 の結果の違いを生じさせた理由を、150 字以内で説明しなさい。

(2) 生物の集団における遺伝子頻度と遺伝子型頻度の関係には規則性がある。以下の条件を満たすなら、常染色体上にある1対の対立遺伝子の頻度と遺伝子型の頻度は一定で世代によって変化しない。

- 集団内の個体数がきわめて大きい
- 他の集団との間での個体の  が起こらない
- 集団内で個体が任意に交配して子孫を残す
- 集団内では  が起こらない
- 個体間で生存力や繁殖力に差がなく、 が働かない

これをハーディー・ワインベルグの法則と言うが、自然界にはこれらの条件をすべて満たす集団は存在しないため、遺伝子頻度は変化する。  
ア

問 1  ~  に入る語を書きなさい。

問 2 下線部アに関連して、「遺伝的浮動」とはどのようなことか説明しなさい。また、どのような集団において、遺伝的浮動により遺伝子頻度が顕著に変化するか、答えなさい。

問 3 あるヒトの遺伝病について、正常遺伝子 B と変異遺伝子 b が知られており、これらは対立遺伝子で、変異遺伝子がホモ接合となった場合のみ、症状が現れる。ある集団において、B の遺伝子頻度は 0.993 であった。この遺伝病は何人あたり一人が発症すると予想されるか、ハーディー・ワインベルグの法則が成り立つものとして、小数第 1 位を四捨五入して答えなさい。

問 4 ある 2 倍体の植物の集団には、大葉型と小葉型の 2 種類が存在し、小葉型の個体は日照不足に弱い。葉の大きさの違いは、常染色体上に存在する 1 対の対立遺伝子、A と a の組み合わせによって決まる。遺伝子型 AA、または Aa を持つ個体は大葉型となり、遺伝子型 aa の個体は小葉型となる。ある年、100 個体を調べたところ 16 個体が小葉型であった。別な年に著しい日照不足となり、小葉型の個体の 8 割が死滅したとすると、その翌年の A と a の遺伝子頻度はどうなるか、求めなさい(小数第 3 位を四捨五入して答えなさい)。ただし、日照不足の影響を除き、ハーディー・ワインベルグの法則が成り立つものとする。

2

ヒトの体液は、血管内を流れる血液、組織の細胞に触れている組織液、リンパ管内を流れるリンパ液からなる。血液は、細胞の呼吸に必要な酸素や栄養分、細胞が排出した二酸化炭素や老廃物の運搬、水分の保持、病原体の排除などの多様な機能を持ち、体内環境を一定に保つはたらきがある。血液は、細胞成分である 、白血球、 と、液体成分である  からなる。 は核を持たず、多量のヘモグロビンを含有し、肺から体の各組織へ酸素を運搬する。 は、組織が損傷して出血した場合にその部位に集積し、 に含まれる因子とともに  をつくる。 は、出血を防いだり損傷部位からの病原体の侵入を防いだりするのに重要であるが、これが肺などの臓器に移動して血管を詰まらせると、循環障害により重大な臓器障害が発生する。

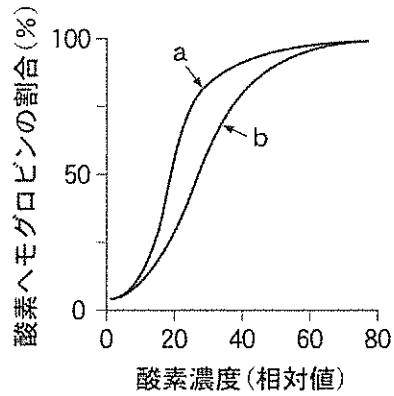
組織で生じた二酸化炭素の多くは、 に含まれる酵素によって  に変えられ、 に溶けて肺まで運ばれる。肺では、 が再び気体の二酸化炭素となって体外に放出される。

問 1 文中の  ~  に入る適切な語を書きなさい。  
 ※ 不備があったため、問 1 の  は解答せず、解答欄は空白のままにすること。

問 2 下線部アについて、体内環境を一定に保つ性質を何というか、答えなさい。また、血糖濃度の調整には下線部アの働きが重要な役割を果たす。運動の後などに血糖濃度が低下すると、これを通常の濃度に戻すために複数の調節経路がはたらくが、このうち副腎髄質がはたらく調節経路について、以下の語群から適切な語を 3 つ使用し、100 字以内で説明しなさい。

- |        |       |          |
|--------|-------|----------|
| 脳下垂体   | 肝 臓   | 甲状腺      |
| 交感神経   | 副交感神経 | 糖質コルチコイド |
| アドレナリン | チロキシン | グルカゴン    |

問 3 下線部イについて、下図は胎児と母体のヘモグロビンの酸素解離曲線である。胎児のヘモグロビンの酸素解離曲線は a と b のどちらか、記号で答えなさい。また、そのように判断した根拠を簡単に説明しなさい。



母体ヘモグロビンと胎児ヘモグロビンの酸素解離曲線

問 4 下線部ウについて、臓器にこのような障害が起こる例を1つ挙げ、簡単に説明しなさい。



室内を歩いているときに、気づかずに玩具のブロックなどの突起物を踏んでしまうことがある。突起物が足の裏に刺さると、刺激を受けた足の裏の感覚受容細胞で興奮が発生する。発生した興奮は感覚神経を伝わり、 を経由して脊髄に達する。脊髄では感覚神経と介在神経ならびに  がシナプスを介して経路を作っており、興奮はこの経路で処理されることでさまざまな骨格筋を制御し、たとえば膝関節<sup>ひざ</sup>を曲げる筋の収縮と関節を伸ばす筋の収縮抑制が同時に起こる。その結果、突起物を踏んだ足がほぼ無意識のうちに持ち上がり、突起物から遠ざかる。この反応を  と呼ぶ。 は体を守る代表的な防御反応のひとつであるとされている。この興奮が伝わる神経の経路を  と呼ぶ。

また、突起物を踏んだ足の裏にはまず鋭い痛みを感じ、その後しばらくしてから鈍い痛みを感じる。

問 1  ~  に入る語を書きなさい。

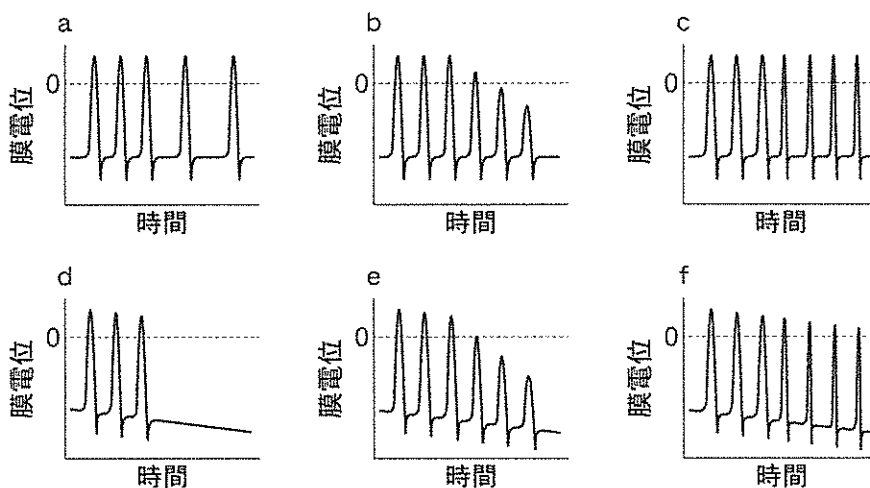
問 2 受容器は特定の刺激のみ受容するが、この刺激のことを何というか、書きなさい。

問 3 脊髄の構造は灰白質と白質の2つに分けられるが、感覚神経から介在神経に興奮が伝達されるのはどちらの部位においてか、書きなさい。

問 4 下線部アでは、1つの刺激から生じた興奮が2つの異なる筋に対して、収縮と収縮の抑制という異なる制御を同時に行っている。そのしくみについて、シナプスの働きに着目して、簡単に説明しなさい。

問 5 下線部イについて、これは刺激により生じた興奮が2種類の異なる構造の神経繊維をまったく異なる速度で伝わるためである。「鋭い痛み」における興奮の伝わり方を何と呼ぶか、書きなさい。

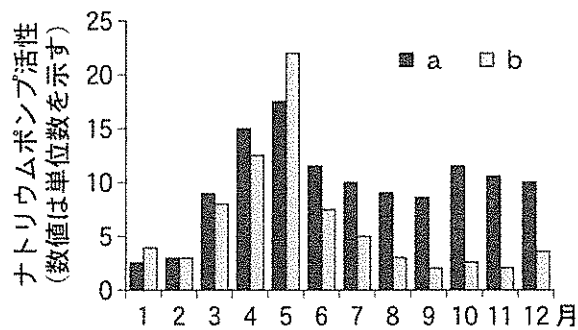
問 6 体に直接着ける下着や眼鏡などは、常に着けているとそれらの存在を意識しなくなる。このように、同じ刺激が続くと生じる感覚が弱まっていくことがある。この時、刺激を受容している感覚受容器細胞で生じる興奮はどのように変化するか、興奮の変化を模式的に示した下のグラフから、適切なものを選び記号を書きなさい。



問 1 多くのサケ科魚類は、淡水での生育期間中に海水適応能を獲得し、その後に海洋生活へと移行する。海水適応能とは、体内に取り込んだ海水のナトリウムイオンなどを体外に排出する能力のことであり、海水適応能が一定以上あるときにだけ、生活域を淡水から海水に変えることができる。この仕組みは、鰓えらの表面に存在する塩類細胞という特殊な細胞が担う。以下の問に答えなさい。

- ① 海水適応能は、塩類細胞のナトリウムポンプの活性を測定することで評価できる。この活性の測定方法としてもっとも適切なものを以下から選び、記号で答えなさい。
- (a)  $\text{NAD}^+$  を還元する能力の大きさ
  - (b)  $\text{NADH}$  を酸化する能力の大きさ
  - (c)  $\text{FAD}$  を還元する能力の大きさ
  - (d)  $\text{FADH}_2$  を酸化する能力の大きさ
  - (e)  $\text{ATP}$  を  $\text{ADP}$  に分解する能力の大きさ
  - (f)  $\text{ADP}$  から  $\text{ATP}$  を合成する能力の大きさ

② 春に川でふ化したサケ (*Oncorhynchus keta*, 通称シロサケ) は、大きく成長するために餌が豊富な海洋へ全数が移行する。一方、同時期にふ化したベニザケ (*Oncorhynchus nerka*) では、一部だけが降海する。次のグラフは、北海道においてふ化したサケまたはベニザケにおける、塩類細胞のナトリウムポンプ活性を淡水生育条件下で月ごとに測定したものである。この活性値が10単位程度あれば、塩類細胞は十分な海水適応能を持つ。ベニザケの結果を示すのは a と b のどちらか、記号で答えなさい。



問 2 川でふ化したベニザケが、降海せずに川に接続する湖で成長したものをヒメマスという。ヒメマスとワカサギ (*Hypomesus nipponensis*) が主要魚種として棲息している自然豊かな湖がある。この湖は一般的な栄養段階を構成していたが、軽度の富栄養化にともなってアオコがしばしば発生するようになった。そこで、生態系のバランスを人為的に制御することで水質浄化を目指したい。その方法を、予想される経過も含めて75字以内で説明しなさい。なお、ワカサギはおもに動物プランクトンを捕食し、ヒメマスはワカサギを捕食する。

問 3 河川に遡上したサケやベニザケは、ヒトやクマだけでなく植物にも恩恵をもたらす。河川流域近くの陸上の植物にとってどのような恩恵があるか、簡単に書きなさい。

問 4 サケの海洋養殖において、餌に大衆魚由来の油脂を大量に用いたものを標準養殖サケと呼ぶ。一方、そのような油脂を一切使用せずに養育したものをオーガニックサーモンと呼ぶ。両者の切り身を化学的に分析すると、標準養殖サケからは、農薬に使われる高濃度の有機塩素化合物が検出され、一方、オーガニックサーモンからは、それは検出されなかった。このような違いが生じた理由を簡単に説明しなさい。

問 5 下図は、以下の生物を分類した系統樹である。空欄に入る生物名を書きなさい。

サケ	ヒメマス	ワカサギ
ヤツメウナギ	メジロザメ	シーラカンス

