

平成 16 年度
前期日程
理科問題

〔注 意〕

1. 問題冊子及び解答用冊子は、試験開始の合図があるまで開いてはいけない。
2. 問題冊子は、物理、化学、生物の順序で 1 冊にまとめてある。

問題は

問題は	{	物理 2 ページから 7 ページ	} がある。
		化学 10 ページから 16 ページ	
		生物 20 ページから 31 ページ	

ページの脱落があれば直ちに申し出ること。

3. 解答用紙は、物理 3 枚、化学 4 枚、生物 4 枚が一緒に折り込まれている。受験する科目の解答用紙をミシン目に従って切り離すこと。
4. 受験番号は、受験する科目の解答用紙の受験番号欄に 1 枚ずつはっきりと記入すること。
5. 解答は、1 ページの「理科の解答についての注意」の指示に従い、解答用紙の指定されたところに記入すること。
6. 問題冊子の余白は、適宜下書きに使用してもよい。
7. 配付した解答用紙は持ち帰ってはいけない。
8. 問題冊子は持ち帰ること。

「理科の解答についての注意」

理学部志願者

- 数学科、化学科、生物学科を志望する者は、物理、化学、生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。
- 物理学科を志望する者は、物理を必須科目とし、そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。

医学部医学科・医学部保健学科(放射線技術科学専攻・検査技術科学専攻)・歯学部・薬学部志願者

物理、化学、生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。

医学部保健学科(看護学専攻)志願者

物理、化学、生物の3科目のうちから1科目を選んで解答すること。

工学部・基礎工学部志願者

物理を必須科目とし、そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。

生物問題

(解答はすべて生物解答用紙に記入すること)

[1] がんに関する以下の文章を読み、問 1～4 に答えよ。

1 個の受精卵が動物個体を形成する過程では、ひとつひとつの細胞が、決められたスケジュールに従って、増殖、分化、細胞死^①のプロセスをたどる。また、成体の多くの組織には、活発に分裂する細胞がある。これらの細胞の増殖、分化、細胞死のプロセスも、決められたスケジュールに従って進行し、その結果、組織が正常に維持される。これらのプロセスが正常に進行するためには、DNA が正しく複製されて細胞から細胞へと伝えられなければならない。しかし、まれに、塩基の配列が変化したり、染色体の形や数が変化することによって、遺伝子^②に変化をきたすことがある。このような遺伝子の異常が一つの細胞に複数存在するようになると、細胞は異常に増殖することがある。これががんである。がん細胞^③において、遺伝子の変化が原因でその機能が異常になるタンパク質^④には、次のような種類のものがある。

- (ア) 細胞の増殖を促進するタンパク質群
- (イ) 細胞の増殖を抑制するタンパク質群
- (ウ) 細胞死を誘導するタンパク質群
- (エ) DNA 損傷を修復するタンパク質群

これらのうち、(エ)に属するタンパク質群の遺伝子のいずれかが、生まれつき異常^④になっているヒトの常染色体劣性遺伝病が知られている。皮膚細胞の DNA は、日光に含まれる紫外線によって損傷されるが、この遺伝病の患者の皮膚細胞はその損傷を修復できない。通常は、DNA の損傷を修復できない細胞には自律的な細胞死が誘導され、細胞はすみやかに死滅し組織から除去される。しかし、まれに、DNA が損傷されたまま細胞が増殖を続ける場合がある。このようなことがくり返されると、DNA の異常がさらに増加し、(ア)～(ウ)のタンパク質群の遺伝子にも異常をきたすので、細胞はがん化する。これがこの遺伝病の患者に高頻

度に皮膚がんが生じる原因である。

注) ここでいう細胞死とは、アポトーシスと呼ばれる現象で、生理的条件下で細胞自らが積極的に引き起こす細胞の死のことを指している。細胞死は、修復不能な細胞傷害を受けた細胞、不要となった細胞、あるいはまたウイルスに感染した細胞などを個体から除去する機構として働いている。

問 1 下線部①, ②の現象をそれぞれ何というか。

問 2 下線部①, ②のような DNA の変化を起こす原因として、どのようなものが知られているか。DNA に変化を起こすメカニズムが異なるものを 2 つあげよ。ただし、本文中にある日光と紫外線は除くものとする。

問 3 下線部③にあげた DNA の変化に起因するタンパク質の異常には、大きく分けて次の 2 つの種類がある。

A : タンパク質の活性(機能)が著しく低下するまたは無くなるもの。

B : タンパク質の活性(機能)が著しく上昇するもの。

例えば(エ)の DNA 損傷を修復するタンパク質は、ある種のがん細胞においては活性(機能)がほとんど無くなっている。そのため、このがん細胞においては正常の細胞と比較して DNA の変化が起こりやすくなっている。(ア)~(ウ)のタンパク質群の活性(機能)は、がん細胞においてそれぞれ著しく低下するかまたは無くなるか、あるいは著しく上昇するかを推測し、解答欄に(ア)、(イ)、(ウ)を記入せよ。但し、両方の欄に同一の記号を記入してはならない。

問 4 下線部④に挙げた遺伝病の患者 A, 患者 B, 患者 C, およびこの遺伝病をもたない健康な人 D の, それぞれに由来する皮膚細胞を試験管内で培養した(これらを細胞 A, B, C, D と呼ぶ)。さらに, ポリエチレングリコールという化学物質で短時間処理することによって, 細胞 A と細胞 B とを融合させた ab, A と C とを融合させた ac, B と C とを融合させた bc の 3 種類の融合細胞を作成した(以下, A, B, C, D, ab, ac, bc をすべて細胞と呼ぶ)。これらの細胞にまず一定量の紫外線を照射して DNA に損傷を与え, 7 日間培養した後に細胞数を数えて, 紫外線量が細胞の生存率におよぼす影響を調べた。紫外線量と生存率との関係の結果の一部を示したのが図 1 である。なお, 紫外線をまったく照射しない場合においてもこれらの細胞の増殖速度は異なるので, 図 1 には, 紫外線をまったく照射しなかった場合の 7 日後の細胞数に対する紫外線を照射した場合の細胞数の割合を, % で表示してある。それぞれの患者において異常な遺伝子は 1 組の対立遺伝子に限られると仮定して, 以下の問(1), (2)に答えよ。

- (1) この実験結果からどのようなことが言えるか。100 字以内で答えよ。
- (2) C および bc の細胞がどのような結果を示すかを図に示し, そのようになる理由を 200 字以内で述べよ。なお, 図には, 細胞 C の結果を実線(—)で, 細胞 bc の結果を破線(……)で示すこと。

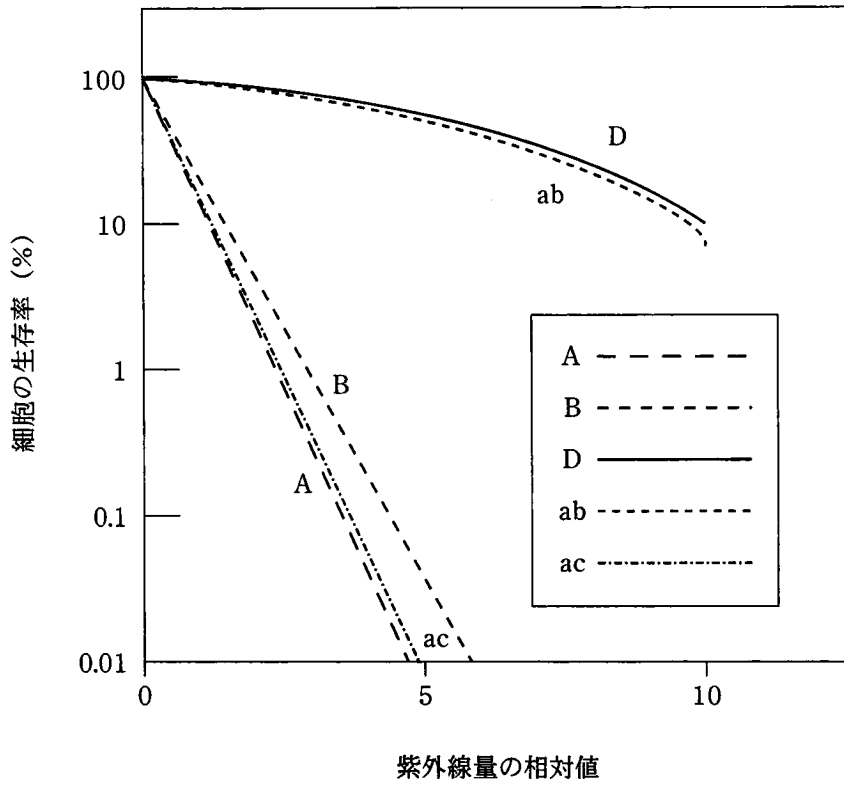


図1 紫外線量が細胞の生存率におよぼす影響

〔2〕 次の文章を読み、問1～5に答えよ。

動物には体液の浸透圧や各種物質の濃度を一定の範囲に保持する機構がある。
① 細胞外液は組織間液および血液中の血漿しょうからなる(図1)。組織間液と血漿との間では、自由に物質のやりとりが行われる。血漿の浸透圧は、ナトリウムなどの塩類濃度によってほぼ決定され、細胞内外の体液のバランスや体内を循環する血液量(循環血液量)を調節する重要な要素である。

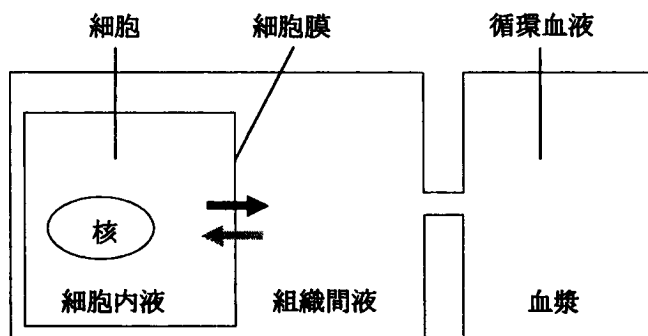


図1 動物の体液の概念図

太い矢印は水やイオンの移動を表す。

ヒトの脳の視床下部には浸透圧受容体が存在する。浸透圧受容体は、血漿浸透圧が上昇すると刺激される(血漿浸透圧が下降する場合には、ほとんど刺激されないと考えられている)。血漿浸透圧が上昇すると、図2の矢印で示した変化が順次起こり、血漿浸透圧が正常になるように調節される。すなわち、血漿浸透圧が上昇して、浸透圧受容体が刺激されると、渇中枢が刺激され、飲水行動が誘発される。また、バソプレシン(抗利尿ホルモン)が分泌され、尿として排泄される水分量が減少する。

体内の水分量が減少した状態を脱水という。水分の喪失が塩類の喪失に比べて大きい場合には、血漿浸透圧は上昇する。血漿浸透圧の上昇をとまなう脱水を高張性脱水という。逆に、水分の喪失が塩類の喪失に比べて小さい場合には、血漿浸透圧は低下する。血漿浸透圧の低下をとまなう脱水を低張性脱水という。

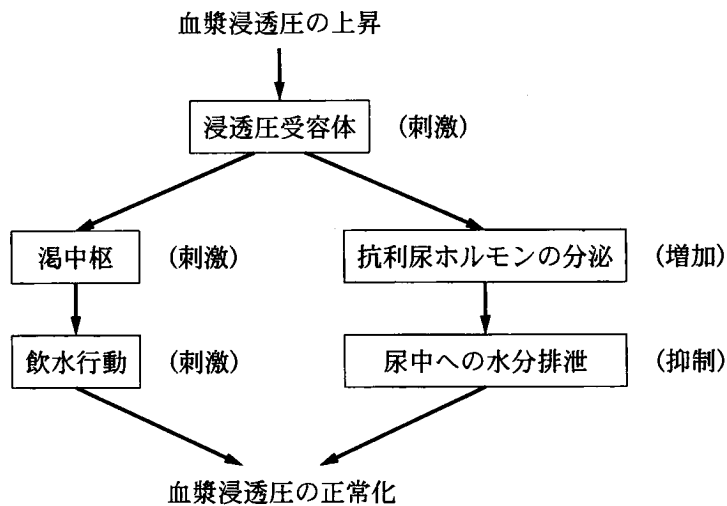


図2 血漿浸透圧が上昇した場合の浸透圧正常化の機構

- 問1 下線部①の機構によって獲得している性質を何というか。
- 問2 細胞膜のように、体液の溶媒である水は透過させるが溶質は透過させない膜を何というか。
- 問3 ヒトの赤血球を5%食塩水あるいは純水に浸した場合、どのような現象が起こるか。それぞれについて簡潔に述べよ。
- 問4 血漿浸透圧が上昇すると、抗利尿ホルモンが腎臓に作用して水分の再吸収を刺激し、尿中への水分排泄を抑制する。この場合にもし、抗利尿ホルモンが分泌されないとすれば、尿量および血漿浸透圧はどう変化すると予想されるか。それぞれについて簡潔に述べよ。
- 問5 脱水による血漿量の低下は、循環血液量の低下をもたらし、様々な臓器に悪影響をおよぼすが、低張性脱水は高張性脱水よりも重症である場合が多い。その理由を、「浸透圧受容体」、「循環血液量」の2つの語句を用いて250字以内で説明せよ。

〔3〕 刺激の受容に関する次の文章を読み、問1～5に答えよ。

動物が外界の情報を知るために、動物の体には五感に代表される感覚が備えられている。それぞれの感覚において、特殊に分化した感覚細胞が、外界の物理・化学的刺激を受容して生体信号を発生する重要な役割を担っている①。五感の1つに視覚があり、眼球内の網膜で、視細胞が光センサーとして働いている。視細胞には、明るいところで働く錐体細胞と暗いところで働く桿体細胞の2種類がある②。

問1 下線部①に関連して、動物が受容する刺激とその情報変換を担う細胞名を、視覚の例にならって、視覚以外に3例あげよ。

例：光－視細胞

問2 コイ網膜から単一の視細胞を取り出し、生理的塩類溶液内で生存させることができる。完全な暗黒下で数時間細胞を培養した後、ガラス電極を用いて生存している桿体細胞の膜電位を記録した。完全暗黒下で10ミリ秒の短時間フラッシュ光を様々な強度で十分な間隔をおいて桿体細胞に照射したところ、表1のようなデータが得られた。データをもとに、光強度と応答との関係を解答用紙のグラフ内に黒丸(●)でプロットし、光強度-応答関係をなめらかな曲線(実線、—)で描け。ただし、グラフの横軸が、対数目盛りになっていることに注意すること。

必要であれば $\log_{10} 2 = 0.30$, $\log_{10} 3 = 0.48$ を利用せよ。

表1 刺激光強度と視細胞膜電位との関係

刺激光強度(相対値)	0.3	1	3	10	30	100	300
視細胞膜電位変化(ミリボルト, mV)	0	0	5.6	12.0	18.2	24.0	24.0

問 3 下線部②に関して、問 2 と同様の条件で実験を行ったところ、錐体細胞と桿体細胞とでは光感度が 1000 倍異なっていた。錐体細胞の光強度-応答曲線はどのようになるか。グラフ中になめらかな曲線(破線, ………)で示せ。ただし、錐体細胞の最大応答の大きさおよび受容しうる光強度のダイナミックレンジの対数幅^{注)}は、桿体細胞と同じであるとせよ。なお、視細胞のダイナミックレンジとは、光強度の変化(ΔI)を細胞応答変化(ΔR)に信号化できる光強度範囲をさすものとする。

注) 対数幅とは対数目盛上での 2 点間の距離をさす。

問 4 問 2 および問 3 で作図したグラフによると、錐体細胞のダイナミックレンジと桿体細胞のダイナミックレンジに挟まれた光強度領域において、両細胞のいずれもが、 ΔI を ΔR に信号化できない光強度の範囲(X)が存在する。すなわち、この範囲内では、視界に入る光強度の差を感知できない。その範囲 X は刺激光強度(相対値)のどこからどこまでに相当するか。区切りのよい値を用いて答えよ。

問 5 視細胞には、 ΔI を ΔR に信号化できない領域の光強度でも、時間がたてば感知できるようになる機構が備わっている。問 4 で示した光強度範囲 X 内の光強度変化を感知するためには、どちらの視細胞が、光強度-応答曲線をどのように変化させるか。30 字以内で簡潔に説明せよ。また、この現象を何とよぶか。

〔4〕 次の文章を読んで、問1～4に答えよ。

微生物や植物は、硝酸イオンやアンモニウムイオンなどの無機窒素化合物を吸収して、有機窒素化合物であるアミノ酸を合成し、それを利用することができる。これを **A** という。一部の微生物は、大気中の不活性な窒素(N_2)をアンモニウムイオンに変換することができる。これを **B** という。この結果、大気中の N_2 が生態系の物質循環に組み込まれる。

アルファルファ(ムラサキウマゴヤシ)などのマメ科植物は、根粒菌を細胞内に取り込むことで N_2 を利用できる。このため、硝酸イオンやアンモニウムイオンなどの乏しい土壌でも生育できる。植物細胞内に取り込まれた根粒菌は、植物に窒素化合物を供給する。その見返りとして植物は光合成産物を根粒菌に供給する。このように、根粒菌と植物とは、相利共生関係にある。

マメ科植物と根粒菌との共生は、図1に示すような過程を経て成立する。

1. 根毛が変形して根粒菌を包み込む。
①
2. 根粒菌が感染糸を通じて根の内部に侵入する。
3. 根の内部に到達した根粒菌が感染糸から細胞内に放出される。
4. 植物細胞膜に包まれた根粒菌はバクテロイドと呼ばれる状態に変化し、根粒菌の感染によって発達した根粒内において、植物から供給された光合成産物を利用して N_2 を窒素化合物に変換し、植物に与える。
②

ただし、これら一連の過程が進行するのは、マメ科植物の種に特異的な根粒菌が感染した場合のみである。

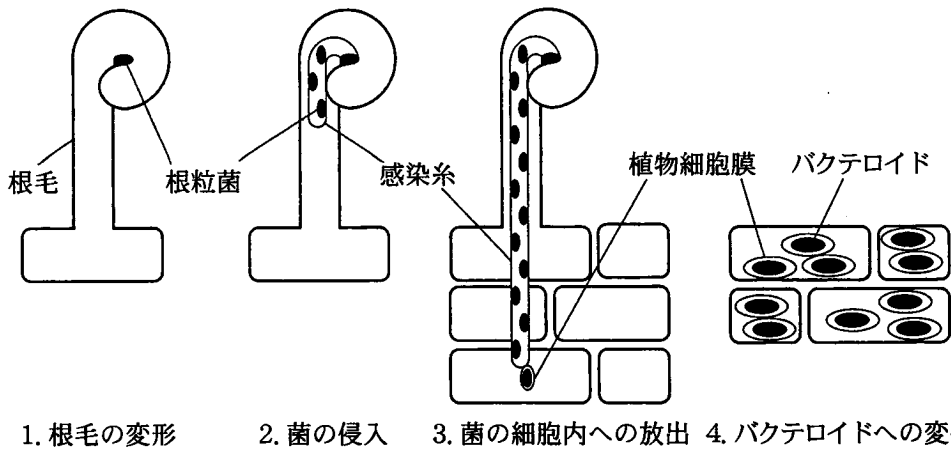


図1 マメ科植物と根粒菌との共生の成立過程

問 1 空欄A, Bにあてはまる語句を記入せよ。

問 2 液体培地で純粋培養したアルファルファ根粒菌(アルファルファに特異的な根粒菌)に、無機窒素栄養が乏しい条件で無菌的に栽培したアルファルファの根の抽出物を与え、しばらく培養した。その後、培養液をろ過して根粒菌を除き、そのろ過液を無菌的に生育させたアルファルファの根に塗布したところ、下線部①に示すような根毛の変形が観察された。しかし、このろ過液をソラマメの根に塗布しても、根毛の変形は観察されなかった。また、根粒菌の培養時に根の抽出物を加えなかった場合には、アルファルファ、ソラマメともに、ろ過液による根毛の変形は観察されなかった。この結果から考えられることを述べよ。

問 3 下線部②に関する実験を説明した以下の文章を読んで、問(1)、(2)に答えよ。

B 反応に必要なエネルギーは、宿主である植物から提供された光合成産物を基質とするバクテロイドの呼吸によって得られる。バクテロイドは植物細胞内にあり、しかも **B** 反応を行う酵素が酸素(O_2)によって失活しやすいため、外部からバクテロイド内部に O_2 が拡散しにくくするしくみがある。このため、植物体のまわりの空気の O_2 濃度を21%から3%に低下させると、植物細胞の呼吸にはまったく影響を与えずに、バクテロイドの呼吸だけを完全に停止させることができる。図2はマット状のアルファルファ 1m^2 を箱に入れ、暗黒条件下で箱の内部の空気の O_2 濃度を21%から3%にして一定に保ったときのバクテロイドを含むマット全体の呼吸による二酸化炭素(CO_2)放出速度と **B** 反応による N_2 吸収速度の時間変化を示したものである。

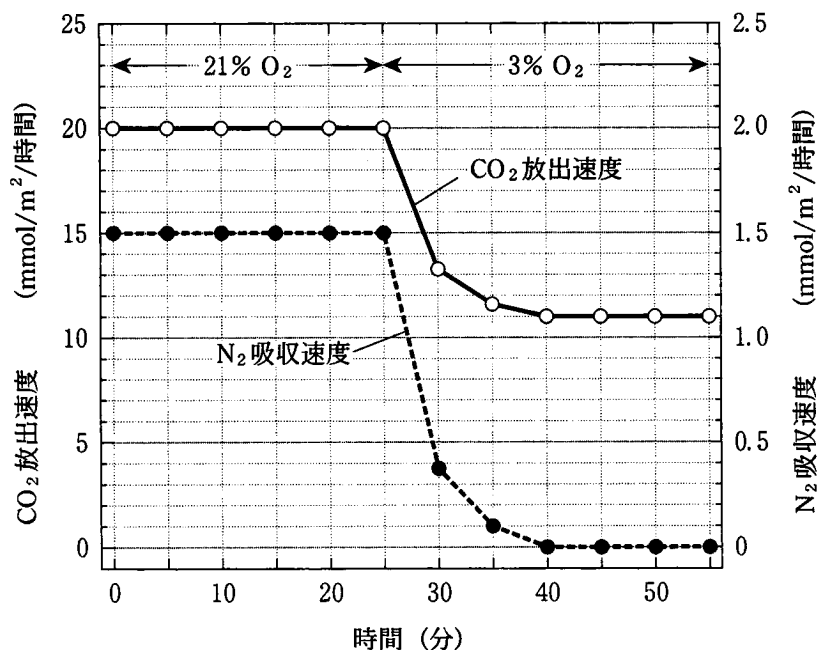


図2 O_2 濃度を21%から3%に変えたときの呼吸による CO_2 放出速度(縦軸左側)と **B** 反応による N_2 吸収速度(縦軸右側)の変化

縦軸の単位の mmol はミリモル(10^{-3} モル)を示す。

- (1) バクテロイドの呼吸基質をグルコース($C_6H_{12}O_6$)とし、グルコース1分子から30分子のATPが得られるとすると、バクテロイドが1分子の N_2 を2分子のアンモニウムイオンに変換するために、植物は何分子のATPに相当するエネルギーを供給していることになるかを計算せよ。ただし、植物が供給したグルコースの全ての炭素原子は、バクテロイドの呼吸によって CO_2 として放出されるものとする。
- (2) この植物を野外においたときの、1日あたりのみかけの光合成量(純一次生産量ともいう)は、 0.72 モル $CO_2/m^2/日$ であった。呼吸と B 反応が、昼夜にかかわらず図2に示した O_2 濃度が21%のときの速度で続くとすれば、植物が1日にバクテロイドの呼吸のために供給する光合成産物は、植物の1日の真の光合成量(総一次生産量ともいう)の何%にあたるのかを計算せよ。なお、このマットにはアルファルファとバクテロイド以外の植物や微生物は混在しておらず、硝酸イオンやアンモニウムイオンなどの無機窒素化合物も存在していないとする。

問 4 植物が利用できる硝酸イオンやアンモニウムイオンなどの無機窒素化合物が土壤中に十分に存在すると、根粒の形成は阻害され共生は成立しない。これには、無機窒素化合物の濃度を感知し、根粒の形成をコントロールするという植物の機能が関与している。遺伝的な変異によってこの機能が失われた植物では、常に過剰な根粒の形成が認められる。この変異体と野生型の植物を、根粒菌と十分な無機窒素化合物を含む土で栽培すると、植物体全体の成長にどのような差が見られると予測できるか。理由とともに100字以内で答えよ。