

平成 18 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 8 ページ	にある。
		化学 9 ページから 17 ページ	
		生物 18 ページから 33 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 枚ずつ正確に記入すること。
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，生物科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

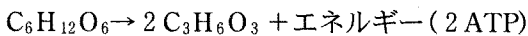
(解答はすべて生物解答用紙に記入すること)

〔1〕 呼吸に関する以下の文章を読み、問1～2に答えよ。

生物は体内にある炭水化物、脂質、タンパク質などの有機物を分解して、生命活動を営むためのエネルギー(ATP)を生成している。

有機物の分解には嫌気呼吸と好気呼吸がある。アとは微生物がおこなう嫌気呼吸によりグルコースなどの炭水化物が分解される現象である。

乳酸菌がグルコースを用いてアをおこなう場合、反応式は以下になる。

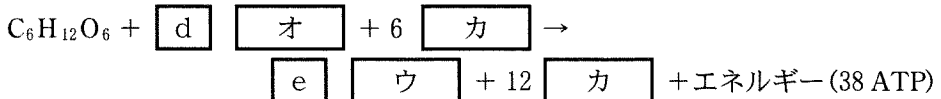


酵母は、嫌气的条件下ではアによってグルコースからイとウを生じる。その反応式は以下になる。



乳酸菌および酵母の嫌気呼吸においても、エがその中間産物として生じるが、乳酸菌の場合は乳酸脱水素酵素が、酵母の場合はエ脱炭酸酵素とイ脱水素酵素が働くことにより、中間産物はそれぞれ異なる産物へと代謝される。

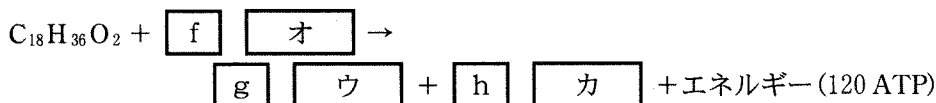
酵母は嫌気呼吸と好気呼吸の両方をおこなうことができる。好气的条件下では解糖系とクエン酸回路、電子伝達系という3つの段階を経て、以下の反応が成立する。



実際に酵母をグルコースを炭素源として含む培養液中で培養するとき、オを与えると細胞内では細胞内小器官のキが発達するとともにイの産生量はクする。

呼吸基質としてタンパク質や脂質を用いることもできる。例えば、代表的な脂

脂肪酸(ステアリン酸)を基質とした呼吸の反応式は以下になる。



次に、呼吸に関わる物質収支に着目して、これらの反応を捉え直す。

呼吸商(RQ)とは、生物が好気呼吸をおこなうときに放出する $\boxed{\text{ウ}}$ 量と外界から吸収する $\boxed{\text{オ}}$ 量の体積比をいう。例えば、呼吸基質をグルコースとして好気呼吸のみをおこなうならば RQ は $\boxed{\text{i}}$ である。生物が呼吸基質として脂肪酸を利用すると、炭水化物を利用するよりも $\boxed{\text{オ}}$ の消費量は $\boxed{\text{ケ}}$ し、RQ は約 $\boxed{\text{j}}$ となる。

問 1 空欄 $\boxed{\text{ア}}$ から $\boxed{\text{ケ}}$ には適切な語句を、空欄 $\boxed{\text{a}}$ から $\boxed{\text{j}}$ には適切な数字を入れよ。重複してもかまわない。解答欄に()のある場合は、()内に化学式を示せ。空欄 $\boxed{\text{i}}$, $\boxed{\text{j}}$ については、四捨五入をして小数点以下 1 桁まで示せ。

問 2 近年、乳酸を化学的に重合して得られるプラスチックであるポリ乳酸が脚光を浴びている。これは、化石燃料ではなく植物由来デンプンやセルロースを分解して得られるグルコースを原料としてプラスチックを生産することにより、地球温暖化対策への貢献が期待されているからである。最近になって、乳酸菌以外の乳酸生産の担い手として、増殖が良く培養の簡単なワイン酵母の代謝を変えて利用する方法が考案され、注目されている。ワイン酵母の遺伝子組換えによる代謝改変に関する次の問(1), (2)に答えよ。なお、文中の空欄には問 1 と同じ語句が入る。

(1) グルコース代謝に関連するワイン酵母の遺伝子 Y を破壊してその機能を失わせ、次にウシの乳酸脱水素酵素遺伝子を組みこむと、乳酸生産を効率よくおこなえるワイン酵母ができる。図 1 に示すワイン酵母中の代謝酵素遺伝子((a)~(c))の中から遺伝子 Y として最も適した遺伝子を 1 つ選び、理由(25 字以内)とともに記せ。

- (a) からアセトアルデヒドを生成する 脱炭酸酵素遺伝子
- (b) アセトアルデヒドから を生成する 脱水素酵素遺伝子
- (c) から活性酢酸を生成する 脱水素酵素遺伝子

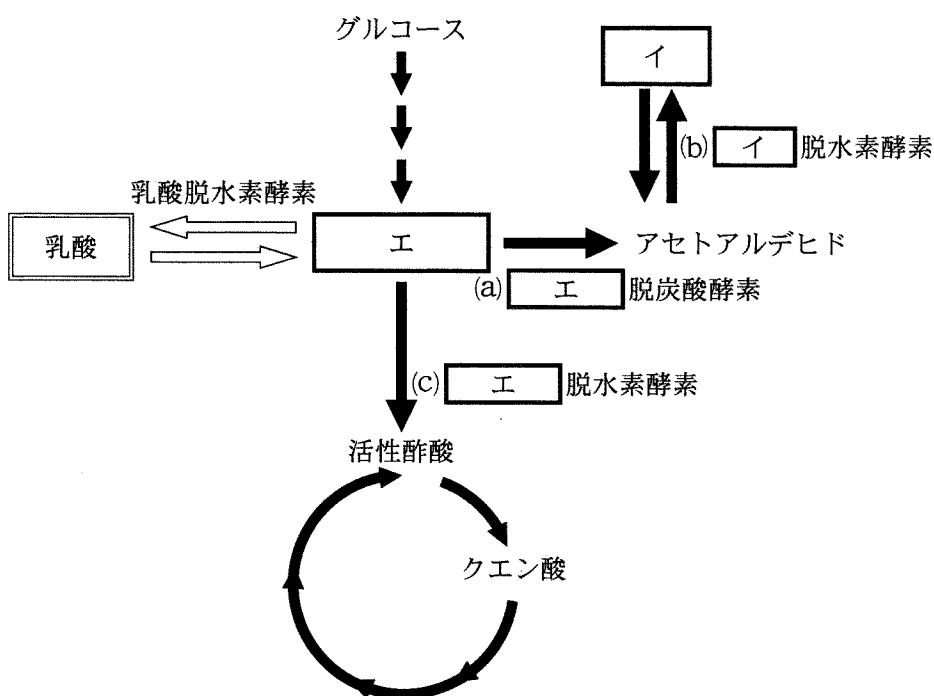


図 1 ワイン酵母内におけるグルコース代謝の模式図

(代謝の一部は省略してある。)

白抜き矢印の示す反応はウシの乳酸脱水素酵素がおこなう。

(2) ワイン酵母は2種類以上のY遺伝子を持っている。そのうち1つのY遺伝子を破壊し、乳酸脱水素酵素遺伝子を組みこんだワイン酵母を用いて、嫌氣的条件下において、グルコースを消費し尽くすまで培養をおこなったところ、図2に示すような培地中のグルコース濃度、乳酸濃度、イ濃度の経時変化が得られた。

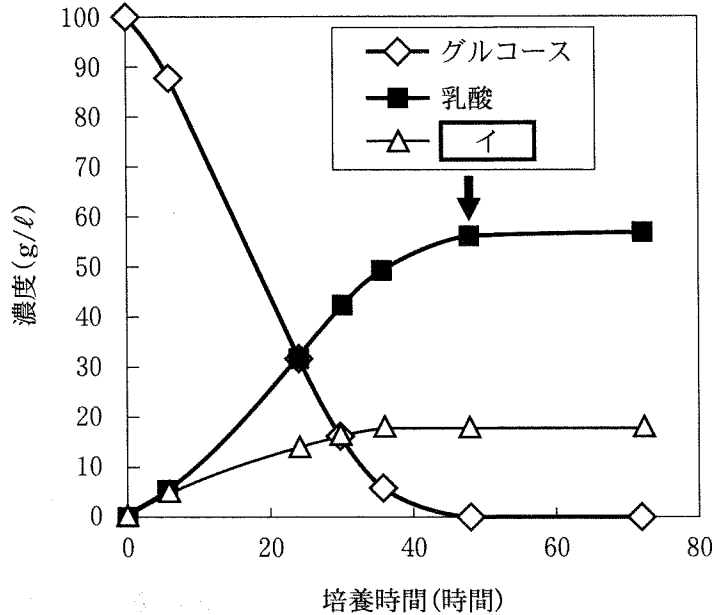


図2 培地中のグルコース濃度、乳酸濃度、イ濃度の経時変化

図2に示す培養において、グルコースを消費し尽くした48時間後(図2の矢印)の時点で、空気を十分に吹き込む好氣的条件に切り替えてさらに培養を継続した。培養72時間後までの乳酸濃度の経時変化として予想されるものを下記の(a)~(c)から1つ選び、理由(40字以内)とともに記せ。

- (a) 乳酸濃度は時間とともに増加する。
- (b) 乳酸濃度は時間が経っても変化しない。
- (c) 乳酸濃度は時間とともに減少する。

〔2〕 植物の葉の気孔に関する以下の文章を読み、問1～3に答えよ。

植物の葉では、表皮にある気孔が開いた時に、水が蒸散し、光合成や呼吸に関係する CO_2 や O_2 の交換がおこなわれる。気孔はそれをはさむ一対の孔辺細胞の膨圧の増減に応じて開閉する。気孔の開閉はさまざまな要因によって制御されている。葉の細胞間隙(葉の内部の細胞と細胞の間の隙間)の CO_2 濃度は気孔の開閉におよぼす重要な要因である。細胞間隙の CO_2 濃度が下がると気孔は開き、細胞間隙の CO_2 濃度が高くなると気孔は閉じる。また、ツクサのような C_3 植物の葉では、葉に当たる光が強くなると気孔は開き、当たる光が弱くなると閉じる。

ある C_3 植物の葉の気孔を以下の手順で光学顕微鏡を用いて観察した。まず接眼レンズに接眼マイクロメーターを取り付けた。次に1mmを100等分した目盛がついている対物マイクロメーターを顕微鏡ステージにのせた。対物マイクロメーターの目盛にピントがあったとき、図1Aのような像が観察された。次に、対物マイクロメーターを外し、この C_3 植物の葉の剥離表皮(葉の裏側からはがし取った表皮、剥離表皮には孔辺細胞が含まれている)をスライドグラス上の水にうかべ、同倍率で観察した。図1Bのように、表皮細胞の間に2つの孔辺細胞にはさまれた気孔が観察された。気孔開度(気孔の開き具合)は接眼マイクロメーターの目盛として7目盛であった。

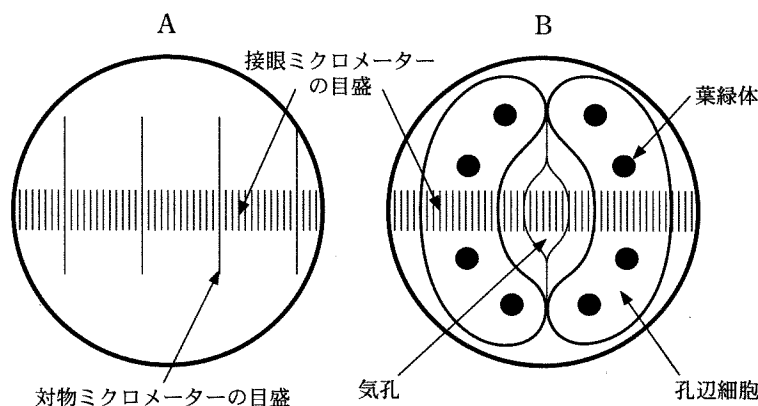


図1 光学顕微鏡で観察された、対物マイクロメーターと接眼マイクロメーターの目盛(A)と、 C_3 植物の葉の剥離表皮にある開いた気孔(B)。

次に気孔開度と当てる光との関係について、光学顕微鏡を用いて調べた。この C₃ 植物の葉の剥離表皮に強い赤色光を当てつづけると、剥離表皮の気孔開度は表 1 の条件(a)のような時間変化を示した。また強い青色光だけを剥離表皮に当てつづけると、気孔開度は表 1 の条件(b)のようになった。どちらの色の光を当てたときにも、それ以上光を強くしても気孔開度の時間変化に影響は見られなかった。次に、この C₃ 植物の剥離表皮に強い赤色光を当てはじめて 2 時間後から、強い赤色光に加えて弱い青色光(強い青色光の 20 分の 1 の強さの光)も剥離表皮に当てつづけると、気孔開度は表 1 の条件(c)のように変化した。

表 1 ある C₃ 植物の葉の剥離表皮に光を当てはじめてからの時間と、剥離表皮の気孔開度の変化。条件(a)では強い赤色光、条件(b)では強い青色光を当てつづけた。条件(c)では強い赤色光を当てはじめて 2 時間後から強い赤色光と同時に弱い青色光を当てつづけた。気孔開度は接眼マイクロメーターの目盛で示してある。

光を当てはじめてからの時間(時間)	0	1	2	3	4
条件(a)の気孔開度(目盛)	0	2	3	3	3
条件(b)の気孔開度(目盛)	0	9	10	10	10
条件(c)の気孔開度(目盛)	0	2	3	10	10

以上のように C₃ 植物の葉の気孔の開閉は光に大きく影響を受けるため、図 2 A のような日内変化を示す。しかし乾燥地に生育するサボテンのような CAM 植物では、異なるしくみで気孔の開閉が調節されている。CAM 植物の葉では、図 2 B のように夜間に気孔が開口し、光が当たる昼間に気孔が閉じる。このため、気温が高くなる昼間は気孔から水分が失われにくくなり、乾燥地での生育に適している。

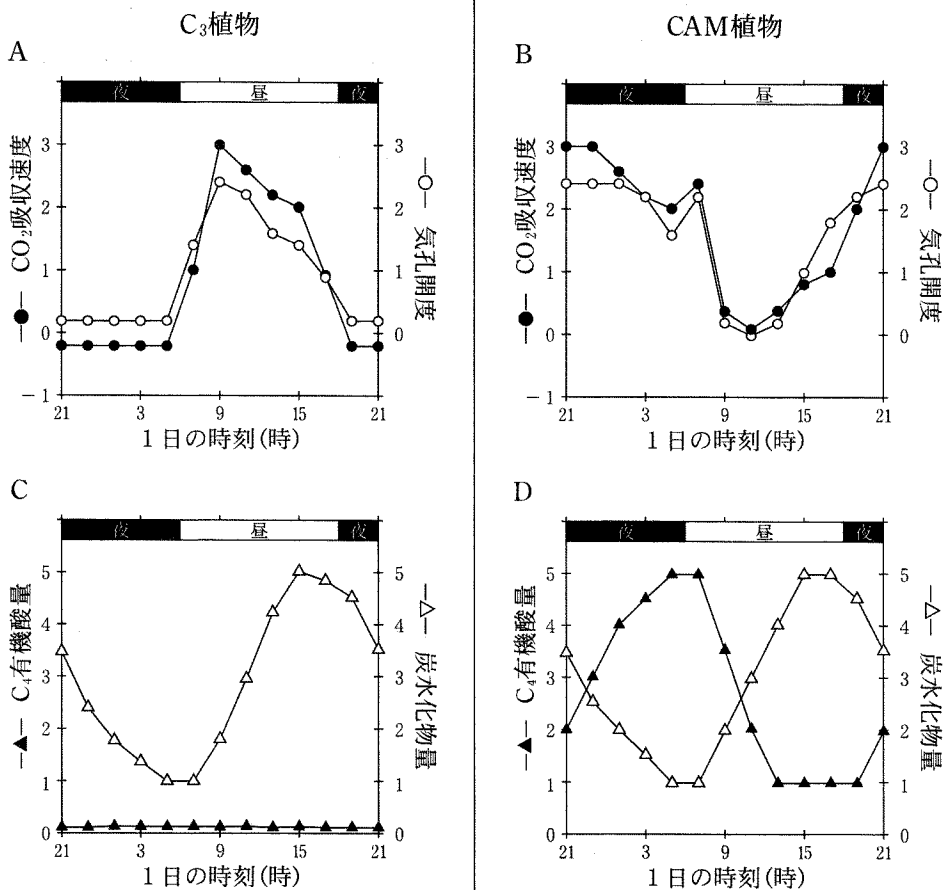


図2 C₃植物(A, C)とCAM植物(B, D)の葉における、CO₂吸収速度(●)と気孔開度(○)の日内変化(A, B)と、葉に含まれるあるC₄有機酸量(▲)と炭水化物量(△)の日内変化(C, D)。C₄有機酸は炭素数が4の有機酸である。CAM植物では、ある酵素の働きによりこのC₄有機酸は分解され、CO₂が放出される。

問1 接眼マイクロメーターと対物マイクロメーターの目盛から計算して、表1の条件(c)の値を実際の気孔開度の大きさ(μm)に変換したのち、グラフとして示せ。グラフの示し方は解答用紙にある例を参考にする。

問 2 表 1 に示された結果が得られたのはどのようなしくみによるのだろうか。

このしくみに関するさまざまな仮説を検討したところ、以下の 2 つに絞られた。

仮説(1) 赤色光と青色光はそれぞれ独立に気孔の開口を引き起こす。いずれの反応も孔辺細胞の光合成反応とは関係ない。

仮説(2) 青色光もしくは赤色光のどちらの光でも引き起こされる孔辺細胞の光合成反応と、青色光だけに引き起こされる反応の 2 つの反応が気孔の開口に関わっている

仮説(1)および仮説(2)を検証するためには、この C_3 植物の葉の剥離表皮を使ってどのような実験をしたらよいか。以下の(a)~(c)の実験から適切なものを 1 つ選び、記号で記せ。

- (a) 薬剤で孔辺細胞の膨圧を低下させた状態で、4 時間弱い青色光を当てつづける実験。
- (b) 薬剤で孔辺細胞の光合成反応を阻害した状態で、4 時間強い赤色光を当てつづける実験。
- (c) 薬剤で孔辺細胞の浸透圧を一定にした状態で、4 時間強い青色光を当てつづける実験。

また選んだ実験をおこなった場合、光を当てはじめてから 4 時間後の気孔開度は、仮説(1)もしくは仮説(2)のそれぞれにしたがえば、どのようになると予想されるか。4 時間後の気孔開度の大きさを接眼マイクロメーターの目盛で示せ。

問 3 C_3 植物の葉と CAM 植物の葉では、どのようなしくみで気孔の開閉の日内変化が異なっていると考えられるか。図 2 A~D の 4 つのグラフを参考にして、光、細胞間隙、 C_4 有機酸、 CO_2 という 4 つの単語を必ず用いて 250 字以内で説明せよ。

〔3〕 腎臓の構造と機能に関する以下の文章を読み、問1～3に答えよ。

哺乳類は進化の過程で、細胞外液(すなわち血しょう〔血漿〕、組織液、リンパ液からなる体液)の主要な陽イオンであるナトリウムイオンを保持する機構を獲得した。腎臓は細胞外液のナトリウムイオンをはじめとするイオンおよび水の調節に重要な役割を果たしている臓器である。ヒトの腎臓は、左右1対あり、1個の腎臓はネフロンとよばれる尿を生成する単位構造を約 万個有している。ネフロンは、図1に示すように、 とこれに続く細尿管(腎細管)からできており、 は糸球体とそれを包み込んでいる とからなる。

細尿管をより詳細に見ると、近位細尿管、ヘンレのループ、遠位細尿管に分かれ、これが集合管につながり、 に至る。糸球体からろ過された原尿中のナトリウムイオンは、図1に示すように、近位細尿管において約65%が、ヘンレの太い上行脚において約25%が、遠位細尿管において約5%が、集合管では2～5%が再吸収され、最終的には尿中には通常1%未満が排泄される。

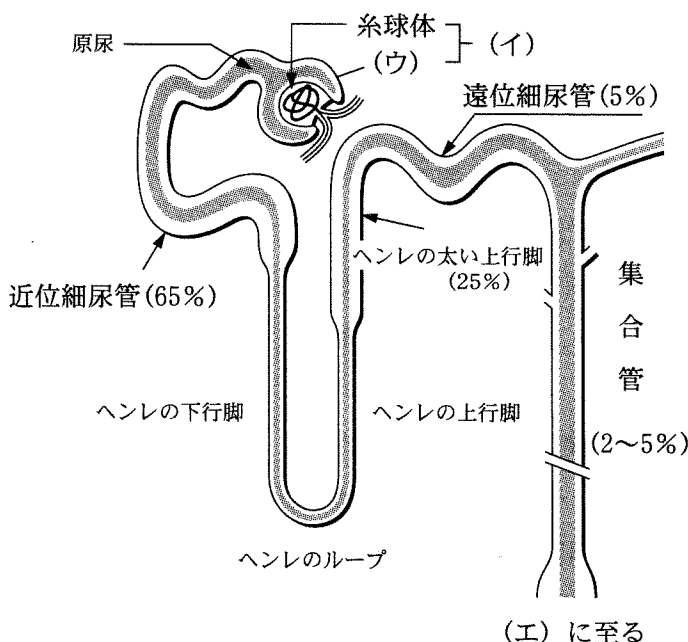


図1 ネフロンにおける細尿管の名称とナトリウムイオンの再吸収比率(%)

両側の腎臓中の糸球体が、全体として1分間にろ過する血漿量(糸球体ろ過率)を125 ml、血漿ナトリウムイオン濃度を3.3 g/lとすると、1日にろ過されるナトリウムイオンは、 gとなる。ナトリウムイオンが細尿管の各部分において図1のように再吸収され、最終的に尿中に0.8%のナトリウムイオンが排泄されると仮定すると、その1日量はわずか gとなる。ナトリウムイオンはこのほか糞便中や汗などにも排泄されるが、通常の場合では1日摂取量の5%程度であり、ほぼ無視することができる。したがって、安定した条件下では、ヒトは1日に尿中に喪失するのと同量のナトリウムを摂取していると考えてよい。さらに、ナトリウムイオンは、ほとんどが食品中の食塩(塩化ナトリウム)に由来するので、1日に喪失するナトリウムを食塩に換算すると、 gとなる(ナトリウムの原子量を23、塩素の原子量を35.5として計算せよ)。

遠位細尿管および集合管におけるナトリウムイオンの再吸収を緻密に調節するのが、副腎皮質で産生される コルチコイドであり、その代表がアルドステロンである。アルドステロンは、例えば大量出血した時のように、循環している血液(血球と血漿)量が急激に減少することによって腎臓の糸球体にかかる血圧が低下すると、一連の反応を介してその分泌が刺激される。分泌されたアルドステロンは によって腎臓に運ばれ、遠位細尿管および集合管に作用し、細尿管を流れる尿から3個のナトリウムイオンの再吸収を促進し、代わりに2個のカリウムイオンと1個の水素イオンの尿中への排泄を促進するので、その結果ナトリウムイオンが体内に保持される。ナトリウムイオンの移動には水の移動が伴うため、結果的にアルドステロンは循環血液量を増加させ、低下した血圧を回復することに貢献する。

これに対し、血漿浸透圧が上昇した際に脳下垂体後葉から分泌される は腎臓の集合管に作用し、水の再吸収を することにより、血漿浸透圧を低下させる方向に作用する。このように、2つのホルモンは、腎臓の遠位細尿管と集合管とに作用することにより、細胞外液の水とイオンの組成を一定の範囲に維持することに大きく貢献しているのである。

問 1 空欄 ～ に入る正しい数字または語句を解答欄に記入せよ。

問 2 空欄 , , には、与えられた条件下で計算して得られた数値を解答欄に記入せよ。なお、空欄 , には四捨五入をして小数点以下 1 桁まで示せ。

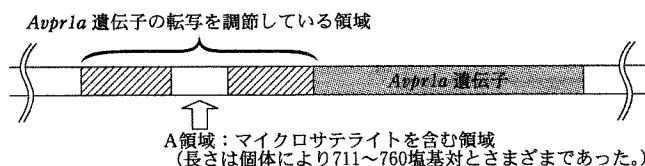
問 3 アルドステロンが、何の制御も受けずに副腎皮質から過剰に分泌され続ける病気が知られている。その場合、血圧、細胞外液のイオン組成および pH にどのような変化が起こると考えるか、その理由とともに 180 字以内で、解答欄に記述せよ。

〔4〕 遺伝子と社会性行動に関する以下の文章を読み、問1～4に答えよ。

ハタネズミはパートナーを決めて生活する傾向が強い。また、ハタネズミのこのような社会性行動には個体差が存在する。脳内のホルモン受容体タンパク質がハタネズミの社会性行動に関係していると考えられる結果がこれまでに報告されている。このことを検証するために次のような実験をおこなった。

社会性行動に関係していると考えられる脳内のホルモン受容体タンパク質遺伝子 *Avpr1a* の近傍にある DNA 塩基配列を解析したところ、*Avpr1a* 遺伝子の転写を調節している領域にマイクロサテライト(図1の注参照)が存在することがわかった。

そこでハタネズミの尾の一部から DNA を抽出し、転写を調節している領域に存在するマイクロサテライトを含む領域(以下A領域と呼ぶ)の長さを調べたところ、A領域の長さは個体により異なっていた。(図1)



(注) マイクロサテライトとは、DNA 塩基配列中に存在する2～5塩基対程度を単位とした同じ配列が数回から数十回繰り返される部分をさす。マイクロサテライトは個体により長さが異なる場合が多い。

図1 *Avpr1a* 遺伝子とその転写を調節している領域

2匹のハタネズミのA領域の長さを調べたところ、1匹の長さは727塩基対、もう一匹の長さは746塩基対であった。このようなA領域を含む *Avpr1a* 遺伝子の転写を調節する領域を、遺伝子組換えの技術を用いて別の遺伝子Xに結合した。このようにして作られた組換え遺伝子(遺伝子1と2)の構造を図2に示してある。これらの組換え遺伝子をラットの培養細胞に導入し、X遺伝子がどのように発現されるか、X遺伝子産物の量を調べたところ、図2のような結果を得た。

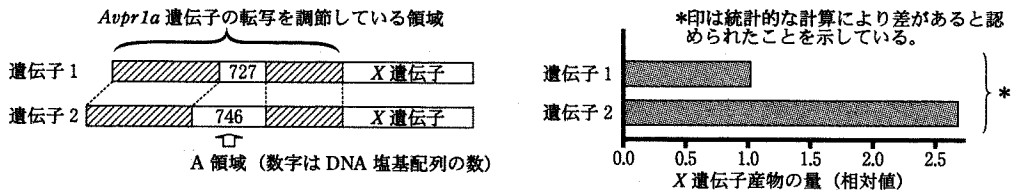


図 2 A 領域の長さ と X 遺伝子産物の量の関係

この結果から、A 領域には遺伝子産物の量を調節する働きがあり、長いほうが遺伝子がよく発現すると考えられた。次に、短い A 領域と長い A 領域を持つ雄のハタネズミにそれぞれ雌のハタネズミのにおいをかがせて雌を探索する社会性行動を調べたところ図 3 A のような結果になった。また、同じハタネズミに、バナナのにおいをかがせてバナナを探索する非社会性行動を観察したところ、図 3 B のような結果が得られた。さらに別の実験として、においを覚えている雌のほかに新しい雌と一緒にさせたときに雄がどちらの雌と過ごす時間が長いのかについて調べたところ、図 3 C のようになった。

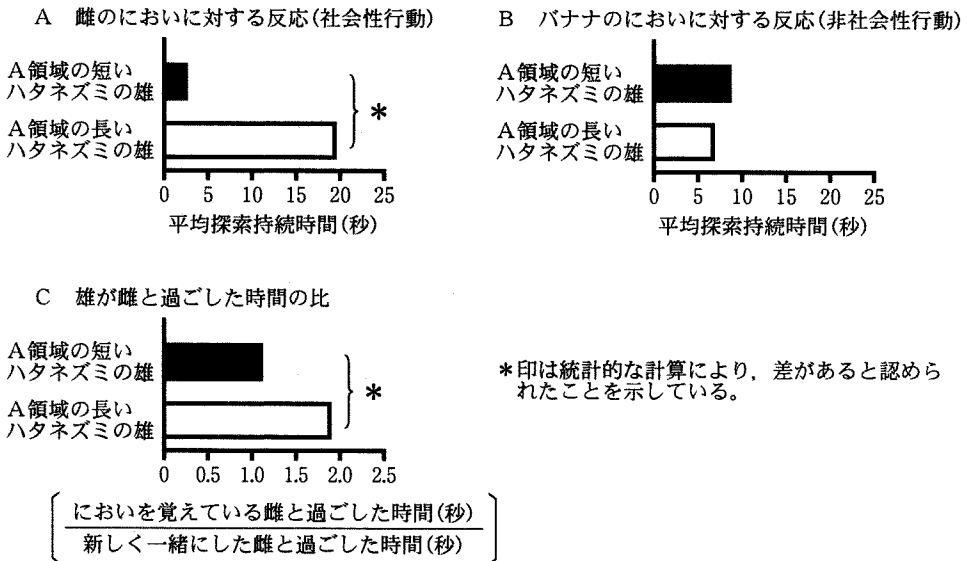


図 3 A 領域の長さ とハタネズミの行動

霊長類も同じホルモン受容体タンパク質遺伝子を持っており、その転写を調節している領域にはハタネズミとは違うマイクロサテライトが存在する。ヒト、ボノボ(ピグミーチンパンジー)、チンパンジーにおけるマイクロサテライトを含む領域(ハタネズミの A 領域に相当する部分)を比較すると図 4 のようになった。マイクロサテライトの長さはそれぞれの動物に代表的なものを示した。

問 1 ハタネズミの尾の組織から DNA を抽出する操作として正しいものを 3 つ
選べ。

- (a) DNA は非常に不安定な構造を持っているので、すべての操作は氷冷しながら行う必要がある。
- (b) DNA は比較的安定な構造を持っているので、50℃ を超える操作を加えてもよい。
- (c) 抽出液中にタンパク質分解酵素を加えて組織を分解する。
- (d) 抽出液中にタンパク質分解酵素の阻害剤を加えてタンパク質の分解を防ぐ。
- (e) DNA を沈殿させるために酢酸オルセイン溶液を加える。
- (f) DNA を沈殿させるために冷やしたエタノールを加える。

問 2 図 2 の実験では発現させる遺伝子を「*Avpr1a* 遺伝子」から「*X* 遺伝子」に組換えた。遺伝子組換えに使用された *X* 遺伝子として適当なものと、*X* 遺伝子に組換えた理由として最も適当なものを下記の選択肢からそれぞれ 1 つずつ選べ。

- (1) *X* 遺伝子として適当なもの
 - (a) ハタネズミのアクチン遺伝子
 - (b) ラットの *Avpr1a* 遺伝子
 - (c) ホタルの発光酵素 (ルシフェラーゼ) 遺伝子
- (2) 理由
 - (a) *X* 遺伝子に組換えることで遺伝子発現の検出が簡単になり感度も高くなると考えたから。
 - (b) ハタネズミの遺伝子はラットの培養細胞の中では発現しないと考えたから。
 - (c) *X* 遺伝子はもともと細胞内で多く発現しているので検出しやすいと考えたから。

問 3 図2と図3の結果をもとにハタネズミの社会性行動と *Avpr1a* 遺伝子産物の量の関係についてどのようなことが推論されるか、100字以内で述べよ。ただし実験に使用したハタネズミのA領域以外のDNA塩基配列は同じであったとする。

問 4 図3と図4の結果をもとに、ヒト、ボノボ、チンパンジーの社会性行動に関してどのような仮説が立てられるか120字以内で述べよ。