

平成 19 年度入学者選抜学力検査問題

理 科

(医 学 部)

| 科 目 | 頁 数 |
|----------|-------------|
| 物 理 I・II | 1 頁 ～ 9 頁 |
| 化 学 I・II | 10 頁 ～ 15 頁 |
| 生 物 I・II | 16 頁 ～ 24 頁 |

注 意 事 項 I

この冊子には物理、化学、生物の問題がのっているが、そこから二つを選択し、解答すること。

注 意 事 項 II

- 1 試験開始の合図があるまでこの冊子を開いてはいけない。
- 2 試験開始の合図のあとで問題冊子の頁数を確認すること。
- 3 解答にかかる前に必ず受験番号を記入すること。
- 4 解答は必ず解答用紙の所定の欄に記入すること。
所定の欄以外に記入したものは無効である。
- 5 解答用紙は一切持ち帰ってはいけない。
- 6 問題冊子は持ち帰ってよい。

生 物 I・II

1 ヒトの肝臓・腎臓に関する次の(A)、(B)、および(C)の文章を読み、下の各問いに答えなさい。

(A) 人体で最も大きい器官である肝臓は、さまざまな物質の生成・貯蔵・分解などを行っている一大化学工場であり、腎臓とともに恒常性の維持に重要な役割をもつ。小腸で吸収されたさまざまな物質を多く含む血液は^(a) を通り、いったん肝臓に送られる。肝臓に送られた血液成分の血しょうは、肝臓内の毛細血管に隙間があるため、その一部は肝臓を構成する肝細胞に接する。これに対応するように、肝細胞の表面には小腸の上皮細胞に見られるような小さな突起^(b) (微絨毛)が多数存在する。一方、肝細胞に酸素を供給する血液は を通り、肝臓に送られる。血液は肝細胞によってさまざまな処理を受けた後、肝静脈を通り、心臓に送られる。体外から取り込まれたエチルアルコールなどの有害物質は、肝臓で無害な物質に変えられるが、このような肝臓のはたらきを という。また、タンパク質などの分解によって生じる有害なアンモニアを毒性の低い尿素につくり変えることも肝臓の重要なはたらきである。さらに、肝臓ではさかんに代謝が行われており、このため肝臓は熱の発生が多く、^(c) 体温調節にも関与する。

他方、肝臓で生成された尿素を、その他の老廃物とともに尿として排出するのが腎臓の役割である。尿素は、ネフロン内の糸球体からボーマンのうに原尿としてこし出される。その後、尿素は濃縮され尿として体外へ排出される。しかし、通常、血液中のグルコースやタンパク質^(d) は尿として体外へ排出されることはない。

問 1 上の文章中の空欄 から に最適の用語を記しなさい。

問 2 下線部(a)に関し、脊ついで動物における器官の形成で、(i)肝臓と(ii)腎臓は外・中・内の各胚葉のうちどの胚葉に由来するか、それぞれ答えなさい。また、(iii)肝臓はどの器官系に属するか、その名称を答えなさい。

問 3 下線部(b)に関し、肝細胞の表面に微絨毛が多数存在することにはどのような利点があるか、簡潔に答えなさい。

問 4 下線部(c)に関し、体温が低下したときに肝臓での代謝を促進し発熱量を増加させるはたらきを持つホルモンのうち、脳下垂体によってその分泌が制御されている2種類のホルモンの名称を答えなさい。

問 5 下線部(d)に関し、血液中のグルコースやタンパク質が尿として体外へ排出されない理由を、それぞれ簡潔に答えなさい。

(B) ヒトがアルコール飲料を摂取すると、その成分であるエチルアルコールは肝臓によって段階的に酸化される。つまり、エチルアルコールからアセトアルデヒドが産生され、ついでアセトアルデヒドから酢酸が産生される。この際、アセトアルデヒドから酢酸への酸化反応を触媒する酵素が、肝細胞にあるアルデヒド脱水素酵素(ALDH)である。肝臓中のALDHの活性を調べると、正常な活性を示すヒト(正常型)と、ほとんど活性を示さないヒト(欠損型)がいる。また、アルコール飲料を摂取すると、顔面が早期に赤くなる(顔面紅潮)ヒトとならないヒトがいて、このように肝臓中のALDH活性やアルコール摂取に伴う顔面紅潮の出現には個人差が認められる。そこで、顔面紅潮を起こすヒトと起こさないヒトに同量のアルコール飲料を摂取してもらい、その後の血液中のエチルアルコールとアセトアルデヒドの濃度を一定の時間間隔ごとにそれぞれ測定した(図1)。なお、顔面紅潮の個人差はALDHのみに起因するものとする。

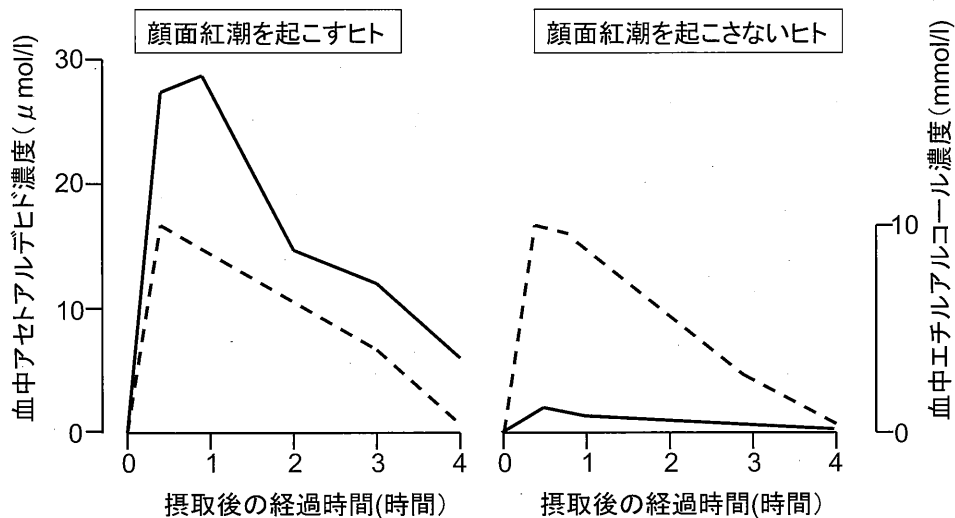


図1

実線は血中アセトアルデヒド濃度の推移、点線は血中エチルアルコール濃度の推移を表す。なお、 $\mu\text{mol/l}$ は mmol/l の1000分の1の濃度単位である。

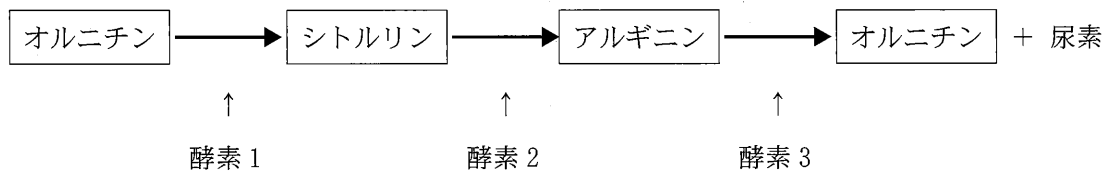
問6 顔面紅潮を起こす原因は何か、図1を参照して簡潔に答えなさい。

問7 ALDHの欠損型は顔面紅潮を起こすヒトまたは起こさないヒトのいずれに該当するか、その理由とともに答えなさい。

問8 常染色体上にあるALDHの遺伝子には、一対の対立遺伝子、 $ALDH_1$ と $ALDH_2$ が存在する。ALDHの遺伝子型について、 $ALDH_1$ のホモ接合体はアルコールを摂取しても顔面紅潮を起こさないこと、他の遺伝子型をもつヒトはアルコールを摂取すると顔面紅潮を起こすことが知られている。2つのヒトの集団AおよびBについてALDHの遺伝子解析をしたところ、A集団における $ALDH_1$ および $ALDH_2$ 対立遺伝子の頻度はそれぞれ0.1および0.9であり、B集団ではそれぞれ0.9および0.1であった。そこで、アルコールを摂取した場合、(i)A集団において顔面紅潮を起こすヒトの頻度、(ii)B集団において顔面紅潮を起こさないヒトの頻度をそれぞれ計算し、分数で表しなさい。さらに、(iii)A集団の男性

とB集団の女性との結婚から生まれた子供1,000人を調べた場合、顔面紅潮を起こさない子供は何人いると推定できるか、計算しなさい。なお、この遺伝子に関して、両集団ともハーディ・ワインベルグの法則が成立している。

(C) タンパク質などの分解で生じたアンモニアは、肝臓の尿素サイクル(オルニチン回路)によって尿素につくり変えられる。尿素サイクルでは、アンモニア分子が取り込まれ、次に示すような酵素1～酵素3によって触媒される段階的な反応をへて、尿素が産生される。



これらの酵素の異常に起因するまれな遺伝病である尿素サイクル異常症のなかには、血液中のアルギニン濃度がアンモニア濃度とともに上昇し、この結果さまざまな症状を示すものが知られている。この尿素サイクル異常症を発症している患者さんにつながる家系の人々を検査したところ(図2)、この異常症の遺伝はメンデルの遺伝の法則に従うことが明らかとなった。

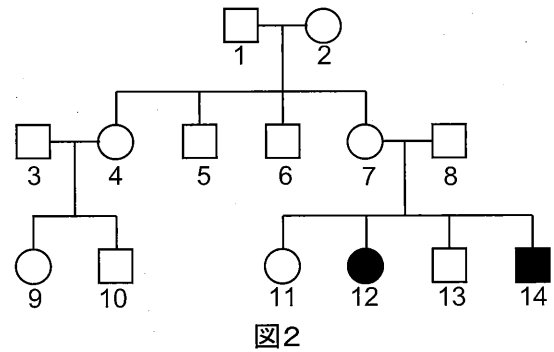


図2

□は男性、○は女性、黒塗りはこの異常症を発症した患者さん、数字はそれぞれの個体番号を表す。

問9 この異常症の遺伝は、図2から考えて次の5つの分類のうちどれに該当するか、その理由とともに番号で答えなさい。ただし、遺伝子型以外の要因、たとえば新たな突然変異の発生などは、発症に関係しないものとする。

- ① 常染色体による優性遺伝
- ② 常染色体による劣性遺伝
- ③ X染色体による優性遺伝
- ④ X染色体による劣性遺伝
- ⑤ Y染色体による遺伝

問10 図2の家系内で、次の2組の個体を両親と仮定した場合、生まれてくる子供がこの異常症となる確率をそれぞれ推定し、分数で表しなさい。なお、図中の個体2および3では、この酵素の遺伝子に異常は認められなかった。

- (i) 個体10と個体11
- (ii) 個体8と個体9

問11 この異常症の患者さんでは、尿素サイクルに関係する3つの酵素(1～3)のうち、どの酵素にどのような異常があるか、簡潔に答えなさい。

2 細胞膜の性質とはたらきに関する次の(A)と(B)の文章を読み、下の各問いに答えなさい。なお、同じ文字が付された空欄には同じ用語が入る。

(A) 水とスクロース(ショ糖)水溶液とをセロハン膜でしきると、水分子もスクロース分子も拡散により均一になろうとする。しかし、スクロース分子はそのサイズが大きいためセロハン膜を通過できず、水分子だけが膜を通過してスクロース水溶液側に移動する。このように、溶媒および一部の溶質は通すが、他の溶質は通さない膜の性質のことを半透性という。また、溶媒や一部の溶質がこのような性質の膜を通過するときの圧力のことを という。

細胞膜は半透性の二重層を基本とし、これにタンパク質が組み込まれた構造になっており、半透性に近い性質を備えている。このため、細胞とその周囲の溶液との間に が生じることになる。なお、細胞を水溶液に浸したとき、細胞内外の水の出入りを見かけ上無視できる溶液のことを ^(a) という。また、細胞から水を引き出すような溶液を 、逆に水が細胞内に入って行くような溶液を という。

植物細胞は、細胞膜の外側が で囲まれている。この構造体は細胞膜と異なり、じょうぶな上にすべての溶質を通過させる性質をもっている。そのため、植物細胞を ^(b) に浸すと、 ^(c) はそのまま、細胞膜に包まれた部分が縮小する。一方、植物細胞を に浸した場合、水が細胞内に取り込まれ、細胞はわずかながら膨張するが破裂することではなく、細胞内部から ^(d) を押しひろげようとする力、すなわち がはたらくことになる。

動物細胞の場合、 がないために、 の中では水が細胞内から出て行き、細胞が縮小する。一方、動物細胞を に浸すと、水が細胞の中に入ってくるために細胞が膨張し、やがて細胞膜が破れてその内容物が外に出てしまう。赤血球の場合、この現象は と呼ばれる。

問 1 上の文章中の空欄 から に最適の用語を記しなさい。

問 2 下線部(a)に関し、ヒトの赤血球の を食塩で作成するとき、その濃度は何%が妥当か、答えなさい。

問 3 下線部(b)に関し、この性質を何というか、答えなさい。

問 4 下線部(c)に関し、このような現象を何というか、答えなさい。

問 5 下線部(d)に関連し、緑葉植物の葉の裏側に多く認められる気孔の開閉は、隣接する細胞の の変化によって行われるとされる。そのしくみを簡潔に説明しなさい。

問 6 気孔の開閉に影響を与える植物ホルモンがあるが、(i)気孔を開く効果を示すもの、および(ii)閉じる効果を示すものをそれぞれ何というか、答えなさい。

(B) 細胞膜の構造は、文章(A)で触れられているように、主に で構成されている。そのため、 に溶けにくい水・糖質・各種イオンなどの細胞にとって不可欠な物質は、基本的に細胞膜を通過することができない。しかし細胞膜には、特定の物質が膜を通過するのを助けるタンパク質が組み込まれている。^(e)これらのタンパク質には、細胞膜の外側あるいは内側に露出するもののほか、細胞膜を貫通するものもある。

一般に、細胞の内外で物質の濃度に差があり、その物質が細胞膜を通過できる場合、この物質は濃度の高い方から低い方へと移動し、その濃度はやがて内外で同じになる。このような物質の移動のことを という。これに対し、物質の種類によって細胞内外の濃度が大きく違ったままのことがある。たとえば、ナトリウムイオン(Na^+)とカリウムイオン(K^+)の濃度は、ほ乳類の赤血球内と血しょう中で大きく異なっている。これは、赤血球の細胞膜にナトリウムポンプとよばれるタンパク質が組み込まれており、エネルギーを使って濃度の低い方から高い方へこれらのイオンを移動させるからであり、このような物質の移動のことを という。そこで、ナトリウムポンプのはたらきを知るため、ヒトの赤血球を用いて次の実験が行われた。

- (1) 赤血球を に入れて細胞膜を破裂させた。
- (2) Na^+ と K^+ の両方を含む溶液中である処理を行って細胞膜を再び閉じ、元の外面がそのまま外を向いた小胞 a と、膜が裏返しになって元の内面が外を向いた小胞 b (反転膜小胞) を調製した。
- (3) 小胞内と同じ濃度の Na^+ と K^+ を含む に小胞 a または小胞 b を入れ、 37°C の条件下で、各小胞内の Na^+ および K^+ の濃度変化を一定の時間間隔ごとに調べた。
- (4) 両イオンを含む のみのとき、いずれの小胞内のイオン濃度にも変化は起こらなかった。
- (5) その後、アデノシン三リン酸(ATP)を外部溶液に加えたところ、小胞 b でのみイオン濃度^(f)に変化が認められた。

問 7 上の文章中の空欄 と に最適の用語を記しなさい。

問 8 真核細胞の細胞膜の性質やはたらきを調べる際、ヒトの赤血球が使われることが多い。それはどのような理由によると考えられるか、2つ挙げなさい。

問 9 下線部(e)に関し、このような特定の物質の通過を可能にする細胞膜の性質を何というか、答えなさい。

問10 下線部(f)に関し、小胞 b 内の Na^+ および K^+ の濃度は、それぞれどのように変化したか、答えなさい。

問11 小胞 a を用いた場合、ATP を加えてもその内部の Na^+ および K^+ の濃度に変化が生じなかったのはなぜか。簡潔に説明しなさい。

問12 小胞 a がナトリウムポンプの作用を潜在的に保持しているかどうかを調べるには、どのような実験を行えばよいか、簡潔に述べなさい。

3

細胞増殖と DNA 複製に関する次の(A)と(B)の文章を読み、下の各問いに答えなさい。

(A) 分裂を1回終えた細胞が次の分裂を終えるまでを細胞周期という。細胞周期は、DNA合成準備期(G1期)、DNA合成期(S期)、分裂準備期(G2期)、および分裂期(M期)の4期に分けられる。増殖している細胞は細胞周期の各期をこの順番に進行し、2個の娘細胞を生じてM期が終わった時点で1回の細胞周期が完了する。S期では核におけるDNA合成が盛んにみられるが、これは遺伝子の本体であるDNAの複製が行われていることを反映している。DNA^(a)の複製は、元になる2本鎖DNAがほどけて2本の1本鎖DNAとなり、その両方が鋳型となって2本の2本鎖DNAが作られる形で行われる。その結果、複製された2本の2本鎖DNA^(b)は、いずれも元のDNA鎖を含むことになる。そして、S期が終了すると細胞当たりのDNA含量は2倍となり、DNAとタンパク質の複合体である染色体^(c)の数も2倍となる。いったん2倍に増加した母細胞の染色体は、ダイナミックな形態学的変化をみせるM期^(d)を通過することで2個の娘細胞に均等に分配されるため、体細胞では細胞分裂の前後で細胞当たりの染色体の数^(e)は変わらない。

問1 下線部(a)に関連し、(i)DNAの複製は何という酵素によって行われるか、答えなさい。

また、DNA複製によって元のDNAとまったく同じ2本鎖DNAが2本できるが、(ii)これはDNAの4種類の塩基の間にどのような性質があるためか、説明しなさい。さらに、(iii)このような性質を何というか、答えなさい。

問2 下線部(b)に関連し、(i)このような複製の仕方を何というか、答えなさい。また、この複製の仕方は(ii)誰によって、(iii)どのような実験方法を用いて証明されたかについて、それぞれ左欄(①～⑤)と右欄(⑥～⑩)から1つずつ選んで番号で答えなさい。

- | | |
|--------------|------------------------|
| ① ワトソンとクリック | ⑥ 肺炎双球菌を用いた形質転換の実験 |
| ② シャルガフら | ⑦ アカパンカビ変異体の解析 |
| ③ メセルソンとスタール | ⑧ DNAに含まれる塩基の比率の解析 |
| ④ ビードルとテータム | ⑨ DNAの構造解析 |
| ⑤ アベリーら | ⑩ 窒素同位体を用いた大腸菌DNAの密度解析 |

問3 下線部(c)に関連し、(i)染色体を構成する重要なタンパク質は何か、1つ答えなさい。また、(ii)DNAの基本単位であるヌクレオチドを構成する3種類の物質のうち、塩基以外の2種類は何か、答えなさい。

問4 下線部(d)に関連し、M期はさらに前期、中期、後期、および終期に分けられるが、動物細胞の各期にみられる現象は以下のどれか、番号で答えなさい。

- | | |
|---------------|-----------------|
| ① 細胞の外側からのくびれ | ④ 染色体の凝縮の開始 |
| ② 核膜の消失 | ⑤ 染色体の細胞赤道面への配置 |
| ③ 娘染色体の両極への移動 | |

問 5 下線部(e)に関連し、細胞によっては分裂後の細胞当たりの染色体数が最終的に分裂前の半分になる場合がある。(i)この細胞分裂を何というか、また、(ii)それはどのような細胞で見られるか、それぞれ答えなさい。

問 6 細胞周期に伴う細胞当たりの DNA 含量は体細胞でどのように変化するか、分裂直後の細胞 1 個当たりの DNA 含量を 1 としたときの相対値として、解答欄の図に模式的に描きなさい。

(B) 化学物質の中には、ヌクレオチドやその前駆物質に構造が類似しているため、細胞の DNA 合成に際してヌクレオチドの代わりに DNA に取り込まれるものがある。ブロモデオキシウリジン(BrdU)はその一例である。BrdU は、動物の腹腔内に投与されると速やかに吸収され血流を介して全身の細胞内に分布するようになるが、体内では急速に分解されるため、細胞内の BrdU 濃度は投与後に一過性に上昇するだけであることがわかっている。したがって、動物に投与された BrdU は、DNA に取り込まれたものだけが細胞の核内に残ることになる。BrdU を抗原として作成された抗体があり、この抗体を活用することで BrdU を DNA に取り込んだ細胞(BrdU 陽性細胞)を顕微鏡を用いて検出することができる。

問 7 BrdU 陽性細胞はどのような細胞を表していると考えられるか、説明しなさい。

問 8 私たちの体を構成する細胞の多くは増殖を休止しているが、常に細胞が入れ替わっている消化管の上皮組織(図 1)などでは、盛んに細胞分裂が観察される。一定量の BrdU を 5 匹のハツカネズミの腹腔内に 1 回だけ投与した後、4 時間目、24 時間目、48 時間目、72 時間目、96 時間目に 1 匹ずつ屠殺して小腸を取り出し、組織切片を作成した。そして、小腸上皮組織における BrdU 陽性細胞の分布を検討したところ、図 2 のような結果が得られた。小腸上皮組織はどのような様式で入れ替わっているといえるか、その周期も含めて答えなさい。

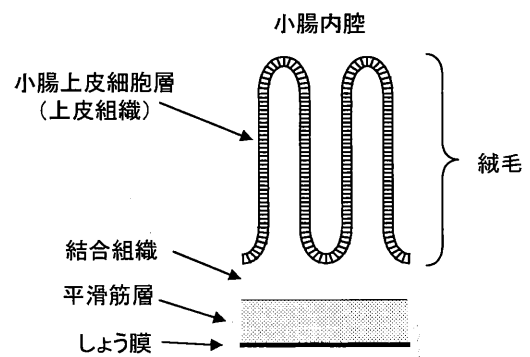


図1 小腸組織の模式図

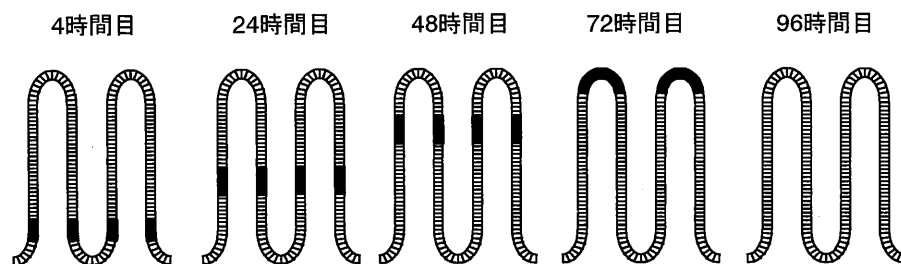


図2 実験結果

なお、図1には簡略化した小腸の模式図を、図2には上皮組織の実験結果だけを示してある。また、図ではわかりやすくするために核は省略しており、BrdU陽性細胞は細胞全体を黒色で表してある。

問9 1匹のハツカネズミにBrdUを48時間の間隔をあけて2回投与し、2回目の投与後24時間目に小腸の組織切片を作成した。BrdU陽性細胞はどのような分布を示すと考えられるか、解答欄の模式図に図示しなさい。なお、BrdU陽性細胞は細胞全体を黒色で表すこと。