

平成 27 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 $\left\{ \begin{array}{l} \text{物理} \quad 2 \text{ ページから } 11 \text{ ページ} \\ \text{化学} \quad 12 \text{ ページから } 22 \text{ ページ} \\ \text{生物} \quad 23 \text{ ページから } 42 \text{ ページ} \end{array} \right\}$ にある。

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。

生 物 問 題

(解答はすべて生物解答用紙に記入すること)

〔1〕 眼球および網膜についての以下の文章【A】と【B】を読み、問1～問5に答えよ。

【A】

脊椎動物の網膜の模式図を図1に示す。網膜には、図に示したような細胞層が存在するが、このうち、視細胞層には、光を受容して神経情報に変換する働きをする視細胞が存在する。視細胞は、明るいところで働く と、暗いところで働く の2種類に分類される。視細胞からの情報は、連絡細胞層の神経細胞群を経由して、次の細胞層に存在する神経節細胞へと伝達される。神経節細胞の軸索は、 と呼ばれる場所で網膜を貫通して眼球の外へと出て行き、眼球から脳へ情報を伝える働きを担う神経である を形成する。

ヒトの網膜においては、視細胞の数は、神経節細胞の数より100倍ほど多い。このことは、ひとつの神経節細胞に多くの視細胞からの情報が伝達されることを意味する。ひとつの神経節細胞が何個の視細胞から情報を受け取るのかは、網膜の場所によって変わる。網膜の中心部に存在する神経節細胞は、それ以外の場所に存在する神経節細胞と比較すると、より少ない視細胞から情報を受け取っていることが知られている。したがって、網膜の中心部に存在する神経節細胞は、それ以外の場所のもの^①と比較すると、網膜上のより狭い領域における光の情報を脳に送ることになる。

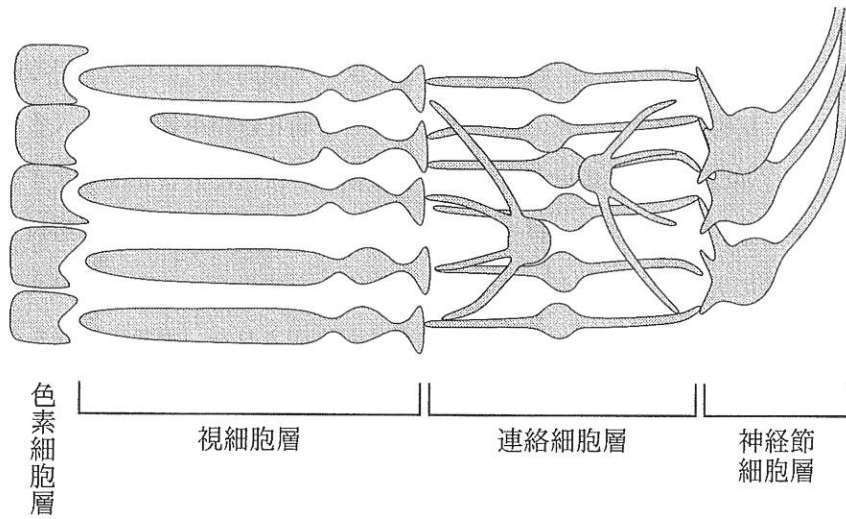


図 1

- 問 1 文章中の から に当てはまる語句を答えよ。
- 問 2 文章中の と呼ばれる場所では光を検出することができない。その理由を 50 字以内で述べよ。
- 問 3 下線部①のような事情により、網膜の中心部を用いてもものを見た場合と、それ以外の部分を用いて見た場合とでは、ものの見え方がどのように異なってくると思われるか、理由も含めて 100 字以内で述べよ。

【B】

目に入る光の量は、瞳孔の大きさによって調節されている。明るい光環境下で、網膜が受容する光の量が増大すると、瞳孔は縮小し、目に入る光は減少する。逆に、暗い光環境下では、瞳孔は拡大し、目に入る光は増大する。この反応を瞳孔反射と呼ぶ。野生型マウスの網膜に様々な強度の光を照射した時に、瞳孔の大きさがどのように変わるか測定した結果を、図2の曲線aに示す。

近年、視細胞を持たない変異マウスが作成された。網膜内で光を受容する細胞は視細胞のみだとすると、この変異マウスでは瞳孔反射は起きないはずである。ところが、この変異マウスでも瞳孔反射が観測された。先述の野生型の場合と同様に変異マウスの瞳孔反射を測定した結果を、図2の曲線bに示す。この結果は、網膜の中に、視細胞とは別の光受容細胞が存在し、瞳孔反射を引き起こすことを示している。

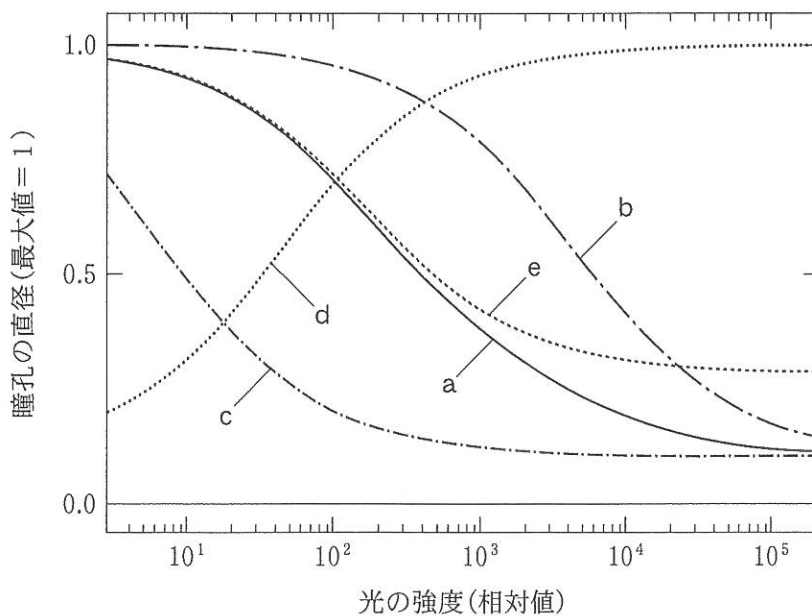


図2

問 4 文章中の下線部②の細胞を細胞 X とする。図 2 について述べた以下の文章の から に当てはまる記号，又は語句を答えよ。

網膜の中に視細胞と細胞 X の両方が存在する場合の瞳孔反射は図 2 の曲線 で表されるが，視細胞が存在せず，細胞 X のみが存在する場合では曲線 になる。このことから，図 2 の曲線 において，強度が 100 以下の弱い光で生じる瞳孔反射は が光を受容することによって引き起こされ，それより強い光での瞳孔反射は と の両方が光を受容することによって引き起こされると考えることができる。

問 5 いま，細胞 X を持たないが，他の細胞はすべて野生型と変わらないような変異マウスを作成したと仮定する。この変異マウスについて，野生型マウスの場合と同様の方法で瞳孔反射を測定すると，どのような結果が得られると考えられるか，図 2 中に示した曲線 a～e の中からひとつ選べ。また，その曲線を選んだ理由を 200 字以内で述べよ。

〔2〕 以下の文章【A】と【B】を読み、問1～問7に答えよ。

【A】

ヒトには、タンパク質情報をコードした遺伝子が約2万個存在している。これらの遺伝子は、はじめに核内でRNAへと転写された後、スプライシングと呼ばれる過程を経て、エキソンだけがつながれ、伝令RNA(mRNA)となる。その後、mRNAは細胞質へと輸送され、コードされた情報がタンパク質へと翻訳される。一方で、RNAの中には、転移RNA(tRNA)のようなタンパク質情報をコードしないRNAも存在しており、これらを非コードRNAと総称する。近年、非コードRNAには、たくさんの種類があり、その中にはスプライシングを受けるものがあることが分かってきた。したがって、エキソンは、タンパク質情報を必ずしもコードしているとは限らない。

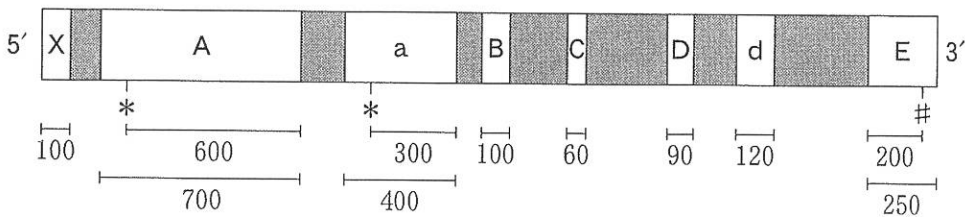
問1 下線部①について述べた以下の文章の空欄 と に適切な語句を入れよ。

tRNAは、mRNAの塩基3個の配列に対応した を持っており、特定のアミノ酸と結合し、これをタンパク質合成の場である に運搬する。

問2 下線部②について、非コードRNAの中にもスプライシングを受けるものがあることを念頭に、エキソンとはどのような部位か、30字以内で定義せよ。

【B】

スプライシングによって除かれる部分は、発生時期や細胞によって異なる場合があり、転写された1つのRNAから複数のmRNAができることがある。これを、選択的スプライシングという。下図は、あるRNA (RNA-Z)の転写後の構造を示している。白抜き部分がエキソン、灰色部分がイントロンに相当する。RNA-Zは、以下の1～5のルールに従って選択的スプライシングを受ける。



1. エキソン A が mRNA 中に残る場合、エキソン a は切り出される。逆に、エキソン a が mRNA 中に残る場合、エキソン A は切り出される。エキソン A が mRNA 中に残る確率は 80 % であり、エキソン a が mRNA 中に残る確率は 20 % である。
2. エキソン C が、mRNA 中に残る確率は 60 % である。
3. エキソン D とエキソン d については、どちらか一方のみ mRNA 中に残る場合と、両方とも残る場合がある。エキソン D だけが残る確率は 30 %、エキソン d だけが残る確率は 30 %、エキソン D とエキソン d の両方が残る確率が 40 % である。
4. エキソン X, B, E は、常に mRNA 中に残る。
5. 1～4 の各選択的スプライシングは独立に生じる。

問 3 選択的スプライシングの結果、RNA-Z から何通りの mRNA ができるか答えよ。

問 4 XaBCDdE という構造の mRNA は、RNA-Z からできる全 mRNA の何パーセントを占めるか答えよ。

前ページの図下段に示した*は開始コドン(AUG)の位置を、#は終止コドン(UAA)の位置を指す。また、各エキソンの塩基長も図下段に示した。エキソン A とエキソン a については、開始コドンから下流部分の塩基長(開始コドンを含める)、エキソン E については、終止コドンより上流部分の塩基長(終止コドンを含める)についても併せて示した。

問 5 選択的スプライシングの結果、RNA-Z からできる最も長い mRNA の構造を XaBcDE のように答えよ。

問 6 問 5 で答えた最も長い mRNA から翻訳されるタンパク質のアミノ酸残基数を答えよ。解答欄には計算過程も示せ。

問 7 RNA-Z に由来するある mRNA から翻訳されたタンパク質を解析した結果、アミノ酸残基数が 249 個であることが判明した。このタンパク質のもとになった mRNA の構造を XaBcDE のように答えよ。解答欄には計算過程も示せ。ただし、翻訳後のタンパク質は分解などの修飾は受けていないものとする。

〔3〕 以下の文章【A】と【B】を読み、問1～問5に答えよ。

【A】

ショウジョウバエは、人為的に突然変異を引き起こし、遺伝子機能を個体レベルで解析する実験に用いられてきた。EMS(エチルメタンサルホン酸)はゲノムDNAに突然変異を引き起こす試薬であり、遺伝子機能の欠損・亢進・減弱等の変異を誘導するのに利用される。遺伝性がみられる表現型の変異から、原因となる遺伝子を明らかにする方法を順遺伝学(フォワードジェネティクス)という。

ショウジョウバエを24時間昼夜の人工照明下で飼育すると、行動の活動期と休止期を1日周期で繰り返す「日内リズム」が観察される。さらに、明暗サイクルをなくした常に暗い(恒常暗)条件下ではおよそ1日周期の行動リズムが観察され、これを「概日リズム」とよぶ。

この行動リズムを指標として、EMSにより突然変異を引き起こし、3種類の概日リズム変異体を得た。図1は恒常暗条件下におけるショウジョウバエの行動時間帯を図示している。太い帯(■)は活動期を、線(—)は休止期を示す。野生型が24時間周期の行動リズムを示すのに対し、変異体1は無周期性を示し、変異体2と変異体3は行動リズム周期が変化している。

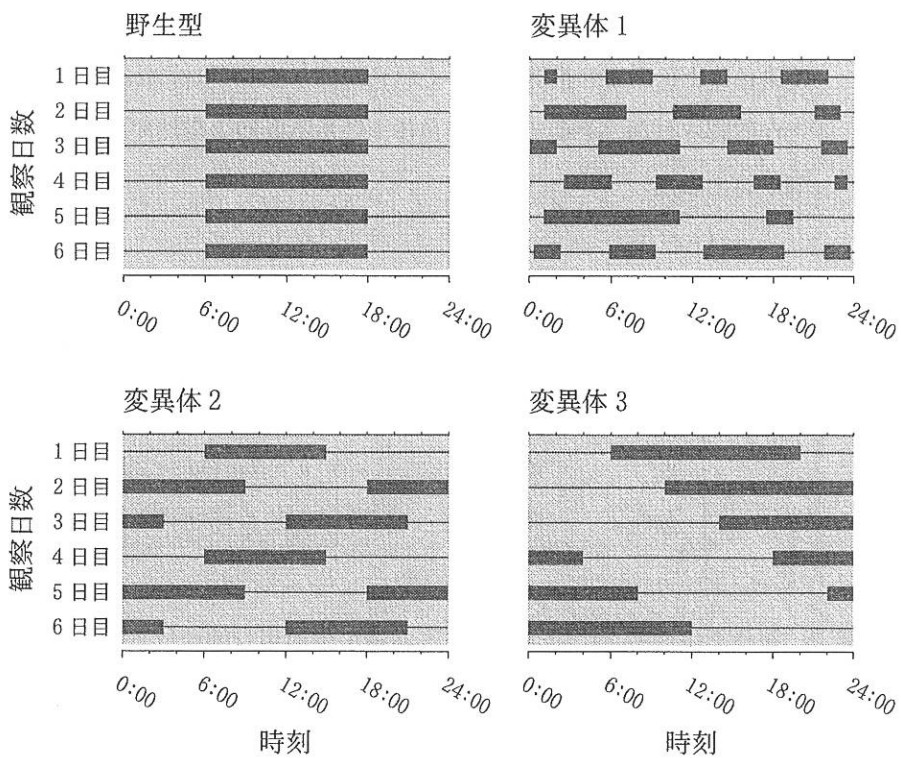


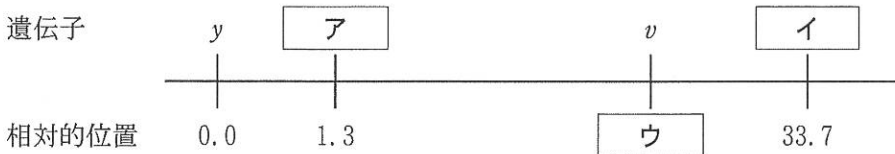
図 1

問 1 図 1 に示した変異体 2 と変異体 3 の行動リズム周期はそれぞれ何時間か、
図から読み取り数値を記せ。

その後の解析により，行動概日リズムの表現型に変化をもたらした変異は X 染色体上にあると推測され，それらが同じ遺伝子 (*period*) の変異であることが確認された。そこで，X 染色体上にある既知の突然変異を用いて組換え価を算出した。

遺伝子	表現型	組換え価
<i>m</i>	小さい羽	<i>m</i> と <i>v</i> = 3.0 %
<i>v</i>	朱色眼	<i>m</i> と <i>y</i> = 33.7 %
<i>y</i>	黄体色	<i>v</i> と <i>period</i> = 29.4 %
<i>period</i>	概日周期	<i>y</i> と <i>period</i> = 1.3 %

問 2 組換え価をもとに染色体上にある遺伝子の相対的な位置を示す染色体地図を作成した。*y* を基準(0.0)として空欄に適切な語句を記し，連鎖地図を完成させよ。



【B】

マウスの行動は24時間サイクルの明暗照明下で夜行性リズムを示す。さらに、ショウジョウバエと同様に、恒常暗に移行しても約1日周期の行動概日リズムが継続する。図2は6:00~18:00を明期、18:00~6:00を暗期とした明暗サイクル下で4日間、その後恒常暗で12日間、マウスの行動時間帯を明示した行動グラフである。太い帯(■)は活動期を、線(—)は休止期を示し、背景の白抜きは明期を、灰色は暗期を示している。

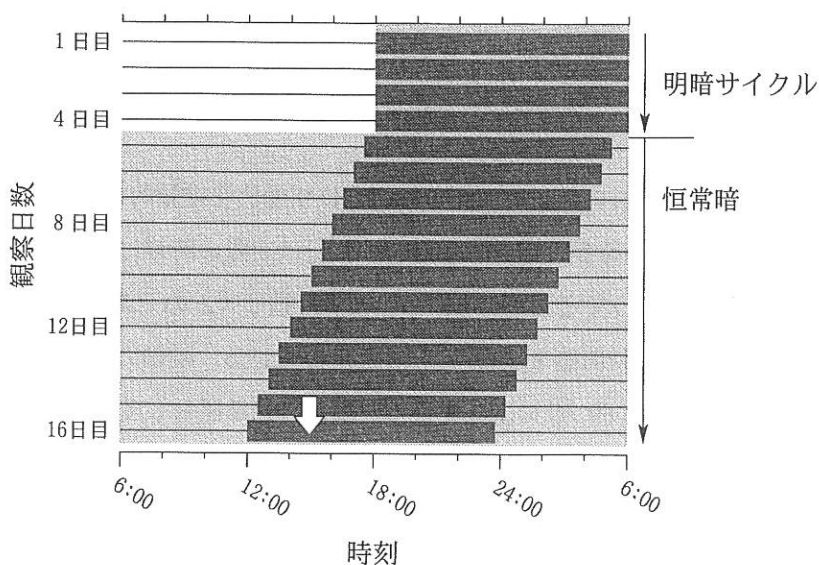


図2

問3 図2に示したマウスが恒常暗13日目(観察日数17日目)に活動を開始する時刻を答えよ。ただし、恒常暗条件下では概日リズムの周期は一定であるものとする。

恒常暗条件下での行動概日リズムは、光照射を受けることによって調節される。マウス活動休止期における光照射(図3A)はリズムを変化させず(位相変位なし)、活動期前半の光照射(図3B)はリズムを遅らせ(位相後退)、活動期後半の光照射(図3C)はリズムを早める(位相前進)。

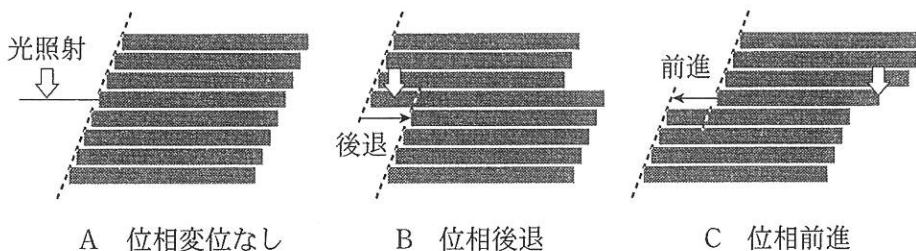


図3

図4は光照射のタイミングとリズム位相変位を定量的に図示した「位相反応曲線」である。位相反応曲線の「概日時刻」は実際の時刻に依らず、マウスの行動リズムによって定義される。マウスの行動リズムの一周期を概日時刻0～24に区切り、行動開始を概日時刻12と定めている。縦軸の位相変位量は実際の時間(1時間=60分)で示している。また、光を照射している時間の長さは無視できるほど短いものとする。

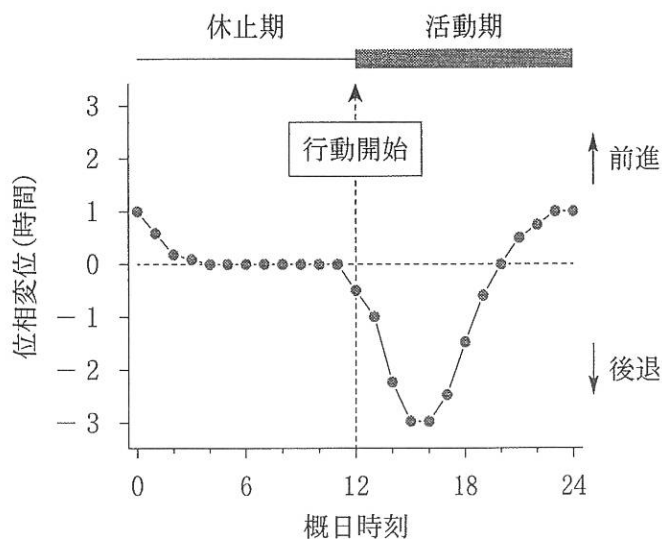


図4

問 4 図 2 の白矢印で示す時刻(15:00)に光照射を受けたマウスが翌日に活動を開始する時刻を答えよ。また理由を 60 字以内で述べよ。ただし位相変位は図 4 の位相反応曲線に従うものとする。

図 5 に示すように、恒常暗で 23.5 時間の概日周期を示すマウスは、毎日定刻 6:00 に光照射(白矢印)を繰り返す条件下で、行動リズムが 24 時間周期に調整され、毎日 6:00 に活動開始するようになった。ただし位相変位は図 4 に示す位相反応曲線に従った。

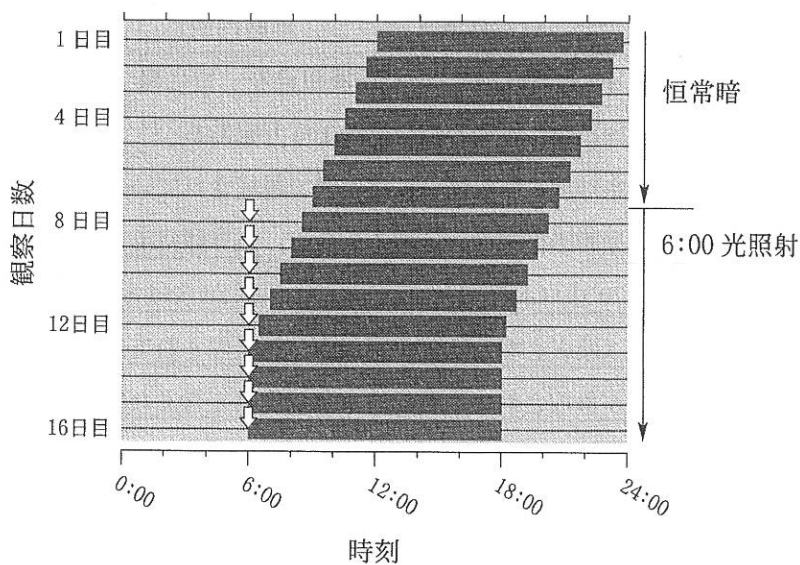


図 5

問 5 恒常暗で 25 時間の概日周期を示すマウスは、毎日定刻 6:00 に光照射を繰り返す条件下でどのような行動リズムを示すのか、45 字以内で述べよ。解答欄には計算過程も記せ。ただし光照射と位相変位の関係は図 4 に示す位相反応曲線に従い、初回の定刻光照射はマウスの概日時刻 24 に相当したものとす。

〔4〕 以下の文章【A】と【B】を読み、問いに答えよ。

【A】

ヒトには体液の組成を一定に保つ仕組みが備わっており、これを とよんでいる。^① を保つために多くの器官が関わっており、その中心的な働きをしている臓器が腎臓である。他に、肝臓、循環器系なども関与し、 系、 系などが調節に関わる。一般成人では細胞内・外を ^② 合わせたすべての体内総水分量は約 40 リットルである。その内訳は血しょうを含む細胞外液(体液)が約 15 リットル、細胞内液が残り約 25 リットルを占める。無機塩類では、細胞外液に Na^+ が、細胞内液には が多く含まれる。腎臓は尿を生成することで体液組成を一定に保つが、その最小単位は と呼ばれ、1つの腎臓に約 100 万個ある。 はボーマンのように囲まれた糸球体とそれに続く細尿管で構成されている。腎臓の尿生成過程を糸球体と細尿管の働きに分けて考えると、糸球体は流入してくる血液から原尿を一日約 170 リットルろ過している。原尿からは水、 Na^+ などの無機塩類、グルコースなど必要な物質が細尿管で再吸収されて集合管へ送られ、ここでさらに水分が吸収されて最終的に不要な物質を含んだ約 1.5 リットルの尿が生成されて、腎う、輸尿管、ぼうこうに流れ、体外へ排泄される。この機序を保つために腎臓にはさまざまなしくみがある。

問 1 上記の文章中の ~ に入る適切な語句を入れよ。

下線①, ②に関して以下に答えよ。

問 2 夏期などに水分不足や発汗過多によって脱水状態が起こることがある。正常状態を図1のような概念図で示した場合、水分不足と発汗で体液が3リットル失われた状態を示した概念図は図2の中でどれが最も適切か。a~dの記号で選べ。図中の⇒は正常時の浸透圧を示す。

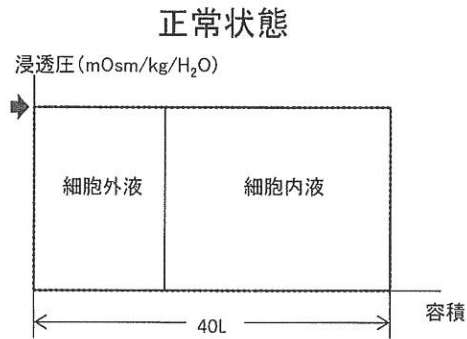


図 1

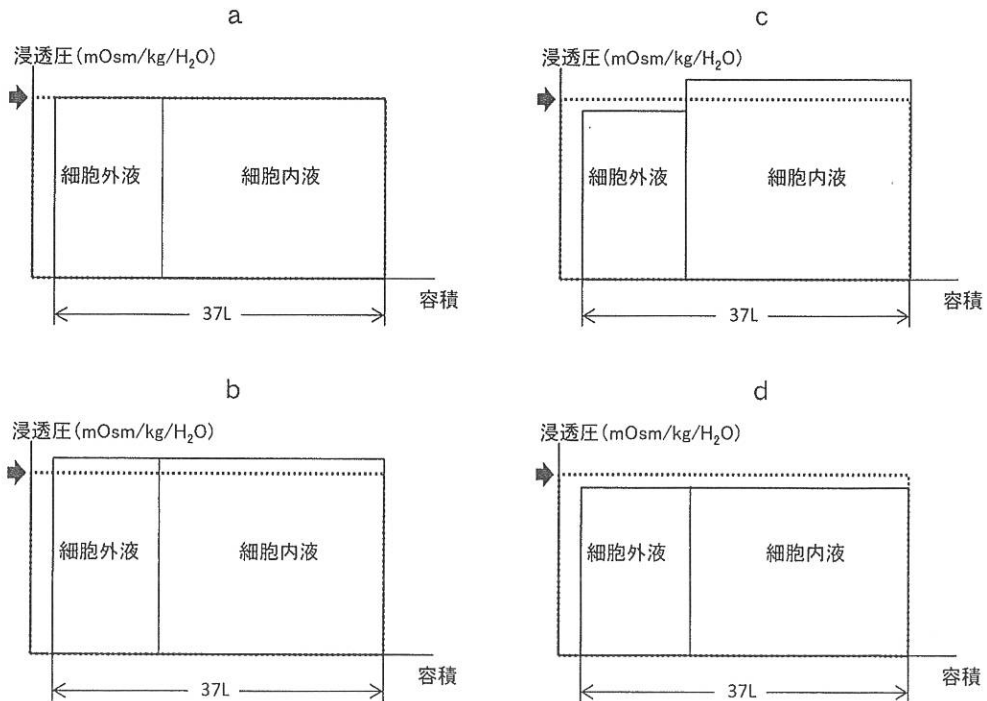


図 2

問 3 問 2 の 体液が 3 リットル失われた状態を改善するために水道水を 3 リットル飲んだ状態は，正常状態(図 1)からどのように変化するか。概念図で示しなさい。

問 4 ヒトでは，脱水状態に陥ったときに体液量や血圧を正常に保つために抗利尿ホルモン(バゾプレシン)や鉱質コルチコイド(アルドステロン)などのホルモンが働く。これらがどのように働き，体液量や血圧が保持されているのかを 250 字以内で説明せよ。

下線③に関して以下の文章を読み、問 5、問 6 に答えよ。

ヒトの糸球体ろ過量を測定する腎機能検査には、細尿管で再吸収も分泌もされないイヌリンが用いられる。朝食前の空腹時に患者に対してイヌリンを静脈注射し、10 分後の血しょうと左右の腎うに 10 分間で出て来た尿をすべて採取して測定した結果が以下の表である。

	血しょう	尿
尿量 (mL)	—	10
イヌリン濃度 (mg/mL)	0.2	24.0
グルコース濃度 (mg/mL)	4.0	1.0

問 5 本患者はどのような病気にかかっている可能性が高いか。その根拠も述べよ。

問 6 本患者の糸球体ろ過量 (mL/分) を求めよ。

【B】

遺伝的に食塩を摂取させると高血圧になる食塩感受性ネズミと、同系統で食塩を摂取させても高血圧にならない食塩抵抗性ネズミがいる。これらのネズミを用いて以下の実験を行った。

- ① 食塩抵抗性ネズミに食塩感受性ネズミの両腎臓をもとの両腎臓と取り替えて移植した。このネズミを食塩抵抗性ネズミ(食塩感受性ネズミ腎臓)とし、このネズミと食塩抵抗性ネズミに食塩摂取をさせたときの血圧の推移を4カ月間比較したのが図3である。
- ② 食塩感受性ネズミに食塩抵抗性ネズミの両腎臓をもとの両腎臓と取り替えて移植した。このネズミを食塩感受性ネズミ(食塩抵抗性ネズミ腎臓)とし、このネズミと食塩感受性ネズミに食塩摂取をさせたときの血圧の推移を4カ月間比較したのが図4である。

問7 一連の実験から血圧の変化に関して言える結論は何か。50字以内で簡潔に述べよ。

血圧(mmHg)

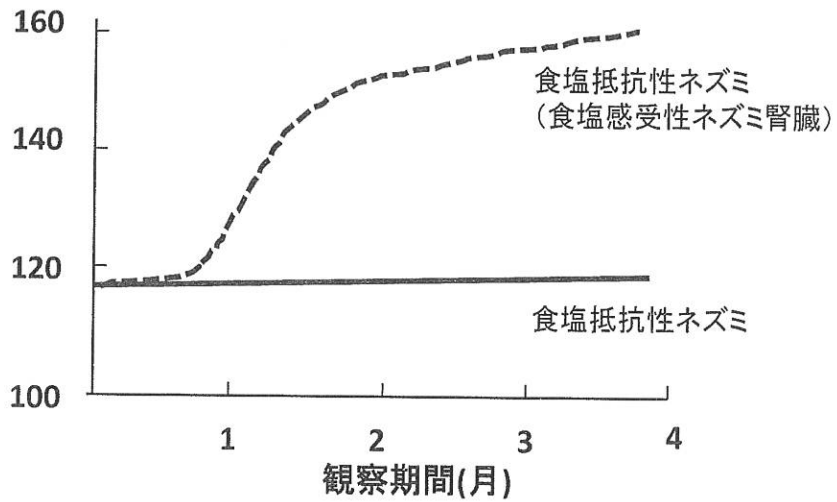


図 3

血圧(mmHg)

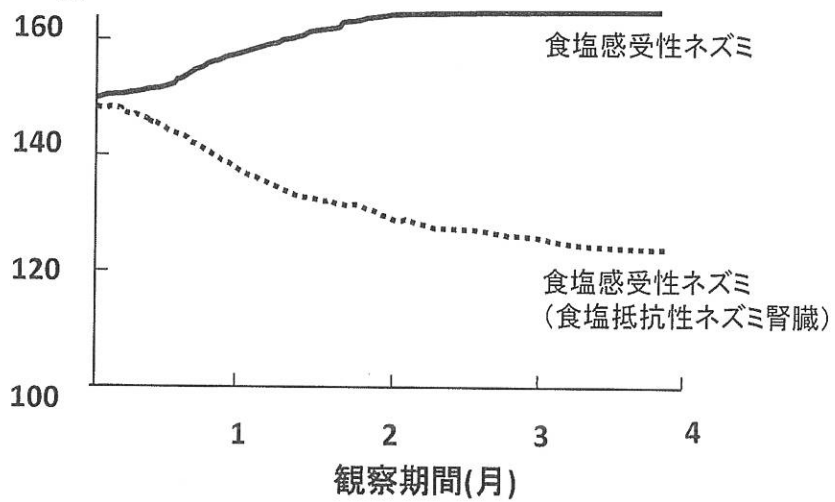


図 4

