

# 生 物

1

脊椎動物の腎臓は発生学的には腎節に由来する。腎節は前の方から順に前腎、中腎、後腎に分化するが、は虫類、鳥類、哺乳類の成体の腎臓は後腎にあたり、前腎と中腎は退化してしまう。<sup>a)</sup>

ヒトの腎臓は腹腔の背側に左右一対ある。腎臓の内側中央の部分はくぼんでおり、腎門とよばれる。ここには腎盂、腎動脈、腎静脈、輸尿管、リンパ管などが集まる。腎臓の上部には副腎がある。腎臓にはネフロン(腎単位)と呼ばれる機能単位が存在する。ネフロンは糸球体、ボーマン囊と腎細管(細尿管)からなり、1個の腎臓には約100万個のネフロンがある。<sup>b)</sup>

腎動脈から送られてきた血液は糸球体に入る。糸球体の毛細血管には血流によって大きな圧力がかかり、血液中の水分や分子量の小さい物質がボーマン囊へこし出され原尿となる。原尿が腎細管や集合管の中を流れる間に、原尿中のグルコース、アミノ酸、水、無機塩類などが腎細管や集合管を取り巻く毛細血管内に再吸収される。また、水素イオンが毛細血管から腎細管へ排出され、炭酸水素イオンが腎細管から毛細血管に再吸収される。グルコースや無機塩類の再吸収は、アデノシン三リン酸(ATP)を加水分解することによって発生するエネルギーを用いた輸送による。再吸収後、集合管に残った液体が尿である。尿は腎盂に集まり、輸尿管を經由して膀胱に送られ、体外に排出される。<sup>c)</sup><sup>d)</sup><sup>e)</sup>

水や無機塩類の再吸収はバソプレシン(抗利尿ホルモン)や鉱質コルチコイドなどはたらきによって調節されている。例えば、過度の運動によって水分が失われると、体液の浸透圧が上昇し、その情報が間脳へ伝わった後、バソプレシンが血液中に放出される。次に、バソプレシンが集合管に存在するバソプレシン受容体に結合すると、細胞内の情報伝達系が活性化され、アクアポリン(水を選択的に透過させることができる小孔を形成するタンパク質)が細胞の内部から細胞膜に移動する。その結果、集合管の細胞における水の透過率が上昇し、毛細血管内への水の再吸収が促進される。<sup>f)</sup>

タンパク質やアミノ酸など窒素化合物の分解によりアンモニアが生じる。アンモニアをそのまま排出する動物がいる一方、肝臓でアンモニアから尿素を合成する動物もいる。尿素は血液によって腎臓に運ばれ、尿の成分として体外へ排出される<sup>g)</sup>。

フェニルケトン尿症は尿中にフェニルケトンが大量に排出される病気で、放置すれば脳の発育に障害が起こる。この病気は、アミノ酸の一種のフェニルアラニンをチロシンに変換する酵素の<sup>h)</sup>遺伝子変異<sup>i)</sup>によって、正常な酵素がつくられなくなったことで発症する。この酵素がないと、別の反応経路によって、フェニルアラニンからフェニルケトンが大量につくられ、脳内にフェニルケトンが蓄積し、乳幼児では脳のニューロン(神経細胞)が正常に成長できなくなり、脳の発育障害が起こる。

糖尿病<sup>j)</sup>になると、血糖値が異常に上昇し、原尿に高濃度のグルコースが含まれるようになり、腎細管で再吸収されなかったグルコースが尿中に排出される。一部の糖尿病患者では血糖値を低下させるためにインスリンを注射する。インスリンは脂肪組織や筋肉でのグルコースの取り込みや、肝臓や筋肉でのグリコーゲンの合成を促進する。

問 1 下線部 a)～j)に関連した以下の問題に答えよ。

- a) 1) これらの動物を羊膜類とよぶことがあるが、羊膜とは何か答えよ。  
2) 羊膜をもつことの利点を答えよ。
  
- b) 静脈に存在する静脈弁の役割を答えよ。
  
- c) 副腎は皮質と髄質からなり、髄質ではアドレナリンやノルアドレナリンなどのカテコールアミンとよばれる物質が合成される。副腎髄質は、原腸胚の外胚葉、中胚葉、内胚葉のうち、どれに由来すると考えられるか答えよ。
  
- d) このことが生体にとって重要である点を答えよ。

- e) 食品加工現場や医療現場での衛生状態を調べるための方法の1つとして、ATPを測定することがある。その理由を答えよ。
- f) 1) バソプレシンが合成されてから分泌されるまでの過程を答えよ。ただし、合成される部位を含めて答えること。  
2) バソプレシンを注射すると尿量は低下するが、経口投与ではその効果は無い。その理由を答えよ。
- g) 1) アンモニアを尿素に変化させて排出する理由を答えよ。  
2) 尿素やクレアチニンの血液中の濃度は、尿を生成する機能が正常であるかどうかを診断するうえで重要である。その理由を答えよ。
- h) これを防ぐためにはどのような治療を行えばよいか考えて答えよ。
- i) 遺伝子変異の1つとしてフレームシフト突然変異がある。フレームシフト突然変異とはどのような変異か答えよ。
- j) すい臓を除去すると糖尿病になるが、すい管をふさいただけでは糖尿病にはならない。その理由を答えよ。

「飛んで火に入る夏の虫」という諺<sup>ことわざ</sup>がある。これは「自ら進んで危険や災難に飛び込んでいくこと」という意味だが、文字通り昆虫が光に向かって飛ぶ習性をもつことからきている。動物は環境から様々な刺激を受けており、自分にとって意味のある刺激に対し適切な反応を示す。そのうち、動物が刺激に対し特定の方向に体軸を向けることを定位<sup>a)</sup>という。自由に動くことのできる動物が、刺激源の方向あるいは反対方向へ向かう定位運動のことを走性とよぶ。走性には、刺激の性質の違いにより走光性(光走性)、走化性(化学走性)、走音性(音波走性)などがあり、刺激源の方向に向かうのを「正の走性」、刺激源と反対方向に向かうのを「負の走性」という。

走音性の例としては秋の昆虫の代表格であるコオロギがあげられる。雄のコオロギは両方の前翅を持ち上げて、両翅をこすり合わせて音を発し、状況に応じて3つの異なる鳴き方(呼び鳴き、口説き鳴き、<sup>おど</sup>替し鳴き)をする。私たちが普段、秋の夜長に耳にするのは「呼び鳴き」である。また、コオロギは左右の前肢にある鼓膜で、他種や同種の昆虫の鳴き声などの周囲の音を受容する。雌のコオロギは同種の雄の「呼び鳴き」を認識し、音源の方向に向かって歩きだす<sup>b)</sup>。興味深いことに、未交尾の雌は雄の「呼び鳴き」に対して正の走音性を示すが、<sup>①</sup>交尾をした雌は走音性を示さなくなる。

原生動物<sup>c)</sup>に属するゾウリムシ<sup>d)</sup>は、眼<sup>d)</sup>や耳<sup>e)</sup>などの高度に発達した感覚器官や神経系をもたないが、さまざまな走性を示す。ゾウリムシは細胞表面にある数千本の繊毛<sup>f)</sup>の屈曲運動により遊泳する。繊毛の屈曲運動はモータータンパク質<sup>g)</sup>のはたらくきによって起こる。モータータンパク質とは、ATPが分解した際に得られるエネルギーを用いて輸送や運動を引き起こすタンパク質である。<sup>h)</sup>

遊泳中のゾウリムシは前端部に障害物が接触すると、後ずさりするように後ろ向きに泳ぐ。そのメカニズムには膜電位の変化が関与している。物が触れることでゾウリムシの前端部にひずみが起きると、前端部の細胞膜に局在している機械刺激感受性のカルシウムチャンネルが活性化し、外液中の $\text{Ca}^{2+}$ が細胞内に流入して、膜電位が変化する。次に、細胞膜に存在する電位依存性のカルシウムチャンネルが開き、さらに $\text{Ca}^{2+}$ が流入して、活動電位が発生する。この細胞内 $\text{Ca}^{2+}$ 濃

度の上昇が引き金となって繊毛の波打つ向きが逆転し、ゾウリムシは後ろ向きに泳ぐ。Ca<sup>2+</sup>の流入はすぐに終わり、また細胞内に流入したCa<sup>2+</sup>はイオンポンプにより細胞外に排出されるので、細胞内Ca<sup>2+</sup>濃度は次第に低下する。これに伴い繊毛が波打つ方向は元に戻っていく。

問 1 下線部 a) ~ i) に関連した以下の問題に答えよ。

a) 動物に特定の行動を引き起こす外界からの刺激を何というか答えよ。

b) ヒトの耳において空気の振動を鼓膜からうずまき管に伝える構造物の名称を答えよ。

c) 原生動物は五界説によると原生生物界に属する。以下のうち原生生物界に属さないものをア~カから2つ選べ。

ア：ケイ藻類

イ：紅藻類

ウ：ラン藻類

エ：渦鞭毛藻類

オ：接合菌類

カ：ミドリムシ類

d) 通常ゾウリムシは分裂により個体を増やす。このような配偶子によらない生殖法を無性生殖とよぶが、無性生殖には分裂以外にどのような方法があるか2つ答えよ。

e) ビタミンAが不足すると薄暗いところで物がよく見えなくなる(夜盲症)。その理由を答えよ。

f) 1) 神経系はニューロンとグリア細胞よりなる。グリア細胞の働きを2つ答えよ。

2) 個々のニューロンの軸索ではどのような様式で刺激の強さを伝えていくか答えよ。

g) 繊毛は微小管が規則正しく並んだ構造をしている。微小管を構成するタンパク質は何か答えよ。

h) モータータンパク質を2つ答えよ。

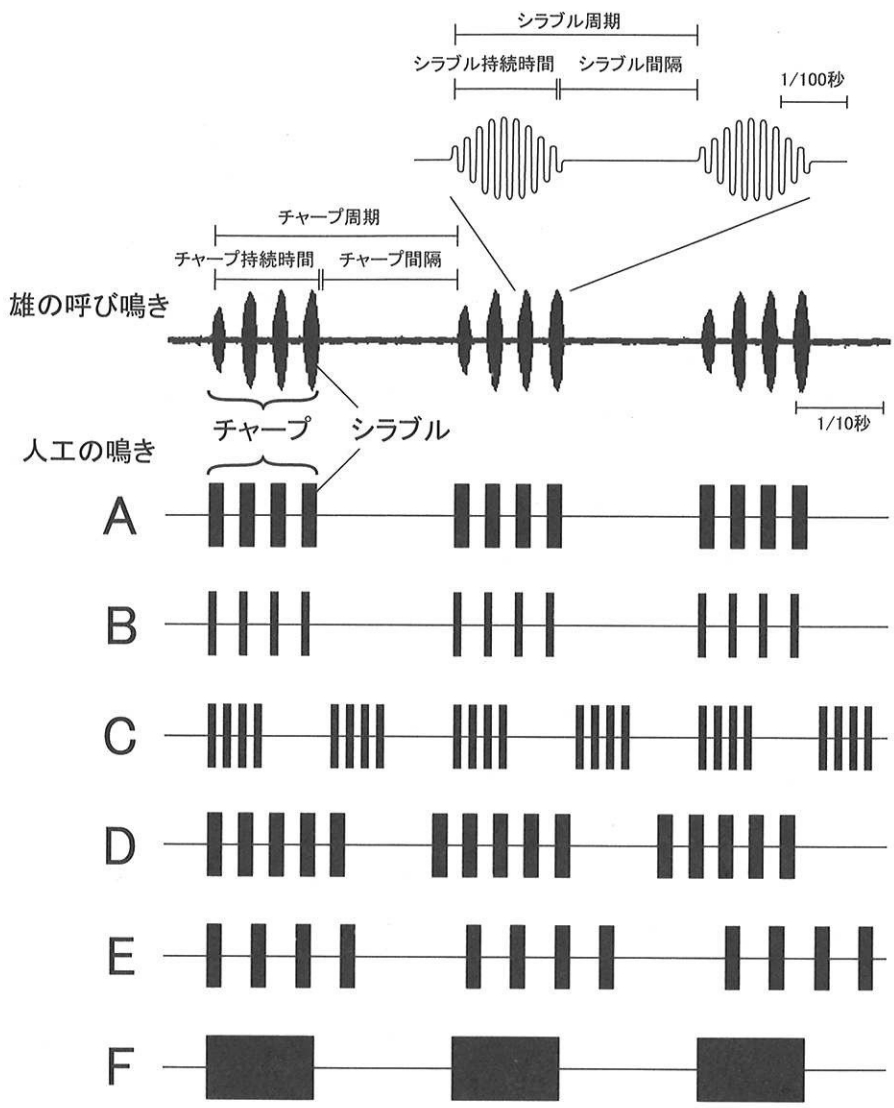
i) イオンポンプとイオンチャネルとの違いは何か答えよ。

問 2 下線①に関連した以下の文章を読み、問題に答えよ。

図1の上部に示したように、雄のコオロギの「呼び鳴き」は無音期(チャープ間隔)によって隔てられた連続した音(チャープ)で構成されている。チャープは通常3～5個の音節(シラブル)からなる。あるチャープの最初のシラブルの開始から次のチャープの最初のシラブルの開始までの時間をチャープ周期という。図1の最上部は連続した2つのシラブルを拡大したものである。あるチャープ内でのシラブルの開始から次のシラブルの開始までの時間をシラブル周期、1つのシラブルの開始から終了までの時間をシラブル持続時間、シラブル間の無音期をシラブル間隔という。「呼び鳴き」を構成するこれらのパラメーターは、同種では同じであるが異種では異なる。

未交尾の雌のコオロギが同種と異種の「呼び鳴き」を識別するときに、何を手掛かりとしているのかを調べた。図1のAは、ある種の雄の「呼び鳴き」の時間的パターンを参考に、人工的に合成した鳴きである。未交尾の雌のコオロギにAを聞かせたところ、正の走音性を示した。B～Fも人工的な鳴きである。未交尾の雌のコオロギはBとDに対して正の走音性を示したが、C、E、Fに対しては走音性を示さなかった。上記の結果から考えて、何を手掛かりに未交尾の雌は正の走音性を発現させていると考えられるか、以下のア～キから選べ。

ア：チャープ持続時間      イ：チャープ間隔      ウ：チャープ周期  
エ：シラブル持続時間      オ：シラブル間隔      カ：シラブル周期  
キ：チャープを構成するシラブル数



〈図1〉 雄のコオロギの呼び鳴きと人工的に合成した鳴き(A~F)

生体が外界と接する境界には、皮膚や気管、消化管などの器官が存在する。これらの器官においては、物理的および化学的な防御機構<sup>a)</sup>が存在する。例えば皮膚では、上皮組織(表皮)の最上層にある角質層<sup>b)</sup>が、病原体に対して物理的な障壁となり、皮脂腺からの分泌物が皮膚の表面を弱酸性に保つため、通常、細菌が増殖しにくい。また、上皮組織の最下層(基底層)に存在する黒色素細胞(メラノサイト)は、メラニンを合成して降り注ぐ紫外線を吸収することにより、細胞内のDNAを紫外線によるダメージから守っている<sup>①</sup>。多くの魚類や両生類には、黒色素細胞の代わりに黒色素胞(メラノフォア)が存在する<sup>c)</sup>。黒色素胞内ではメラニン顆粒が拡散したり凝集したりすることにより、個体の体色が昼夜で変化する<sup>②</sup>。

さらに皮膚に存在する細胞を詳しく見てみると、上皮組織にはこれらの細胞以外に、ランゲルハンス細胞と呼ばれる遊走性の細胞が存在し、侵入してきた異物をT細胞に提示する働きを持つことが知られている。また、基底層にはメルケル細胞とよばれる触覚受容細胞<sup>d)</sup>が存在し、知覚(感覚)神経の終末がシナプス結合して、皮膚が感じた物理的な刺激を知覚神経に伝える役割をしている<sup>e)</sup>。上皮組織の下には結合組織として真皮と皮下組織があり、大量の間質成分(細胞外マトリックス)とそれらを産生する細胞が存在する。細胞外マトリックスの大部分は、膠原繊維(主にコラーゲンからなる)から構成されており、その他に弾性繊維や細網繊維などがある。一方、細胞成分として、コラーゲンの産生を行う繊維芽細胞以外に、マクロファージやB細胞<sup>f)</sup>などの免疫にかかわる細胞も存在する。

問 1 下線部 a)～f)に関連した以下の問題に答えよ。

- a) 気管と消化管はそれぞれどのようなしくみにより、有害な異物を除去しているか答えよ。
- b) 角質層はウイルスの侵入を防いでいる。ウイルスが侵入しにくいのはなぜか、物理的な障壁以外の理由を答えよ。



- c) DNA に突然変異が生じるのは多くの場合 DNA が複製される時である。DNA の複製では、一方の DNA 鎖は開裂が進む方向と同じ向きに連続的に合成されるのに対して(リーディング鎖)、他方の DNA 鎖は開裂が進む方向とは逆向きに不連続に合成される(ラギング鎖)。どうしてこのようなことが起こるか説明せよ。
- d) 皮膚ではさまざまな刺激を受容することにより、それに対応する感覚が生じる。代表的な皮膚感覚の受容器を 4 つ答えよ。
- e) シナプス伝達(興奮の伝達)に関して、シナプス前細胞における  $\text{Ca}^{2+}$  の流入からシナプス後細胞における活動電位の発生までの過程を説明せよ。
- f) B 細胞が産生する抗体は、免疫グロブリンというタンパク質である。抗体の分子構造の模式図を描け。また、図中に H 鎖, L 鎖, 可変部, 定常部を引出線を使って指し示せ。

問 2 下線①に関連した以下の文章を読み、問題に答えよ。

ヒトの皮膚に存在するメラニン<sup>①</sup>はチロシンに由来する。血液から供給されたチロシンは、チロシナーゼによって酸化されてドーパに変わり、さらにドーパキノンに代謝される。チロシナーゼはこの2つの反応を触媒する酵素であり、この反応がメラニン生成の律速反応である。チロシナーゼの働きによりできたドーパキノン<sup>②</sup>は、次に自動的に酸化されてインドール化合物へと変化し、最終的にメラニンが合成される。

ドーパを基質として生成されるドーパキノン濃度を分光光度計を用いて測定することで、試料中のチロシナーゼ活性を求めることができる。ドーパキノンはある特定の波長の光を特異的に吸収するので、その吸収の割合(吸光度)を測定することにより、ドーパキノン濃度を算出することができる。

一定濃度のドーパに対して、一定時間後に反応を停止して、チロシナーゼ活性を測定した。この時、ドーパと同時にある物質 A の濃度を変えて添加した実験結果を表 1 に示す。この物質はどのような性質をもった物質であると考えられるか答えよ。

<表 1> 物質 A の濃度と吸光度

物質 A の濃度 ( $\times 10^{-3}$ mol/L)	吸光度
0.8	0.03
0.4	0.24
0.2	0.44
0.1	0.67
0	0.93

問 3 下線②に関連した以下の文章を読み、問題に答えよ。

魚類には表皮の体色が昼夜で変化するだけでなく、行動パターンも昼夜で変化する種がいることが知られている。表 2 はその魚(5 匹)を 12 時間の明期, 12 時間の暗期の環境下において, その行動を観察した結果である。数値は深さ 20 cm の水槽の水面からの距離(cm)を表す。この行動パターンの様子を表すのに最も適したグラフを考えて作成せよ。また, その行動パターンの特徴を説明せよ。

<表 2 > 各個体の水面からの距離 (cm)

	明 期				暗 期			
	9 時	12 時	15 時	18 時	21 時	24 時	3 時	6 時
個体 A	11	13	7	10	7	1	4	7
B	15	16	17	13	10	8	5	10
C	18	15	18	16	18	18	18	18
D	11	12	11	10	4	3	6	8
E	8	12	13	15	10	5	6	2

注) 明期は 7 時 30 分から 19 時 30 分で, 暗期は 19 時 30 分から 7 時 30 分である。