

生 物

1

心臓は血液を循環させるポンプである。ヒトの心臓はにぎりこぶし大の大きさで、^{a)}2つの心房と2つの**心室**で構成され、収縮と弛緩を交互に繰り返し、血液を一定の方向に送り出す。心房と心室の壁は**心筋**でできている。心筋はATPを加水分解して生じるエネルギーを用いて収縮する。ATPは**電子伝達系**において生成される。鳥類や哺乳類などの2心房2心室の心臓をもつ脊椎動物では、全身から戻ってきた**静脈血**が右心房に流れ込み、右心房から右心室に入る。次に、血液は肺動脈を^{e)}通って肺に流れ込んだ後、左心房に戻り、左心房から左心室を経て大動脈に入り、全身を流れる。脊椎動物の血管系は閉鎖血管系と呼ばれるのに対して、^{f)}昆虫やエビなどの血管は開放血管系と呼ばれる。

血管を流れる血液の役割は、酸素や二酸化炭素の運搬、浸透圧や体温の調節、病原体からの防御など様々である。血液は液体成分の血しょうと有形成分の赤血球、**白血球**、血小板などからなる。血しょうの主成分である水には、^{h)}**タンパク質**などが溶解している。有形成分は造血幹細胞が**分化する**ことによつてつくられる。酸素は赤血球のヘモグロビンと結合して、^{j)}各組織へ運ばれる。

^{k)}ABO式血液型はヒトの代表的な血液型である。ABO式血液型は、赤血球の表面の糖鎖の種類によつて決まる。A型とB型ではこの糖鎖を付加する酵素(糖転移酵素)の遺伝子が異なる。一方、O型の糖転移酵素の遺伝子は、88番目のアミノ酸の^{l)}コドンにおいて1塩基が欠失し、糖転移酵素としての活性を失っている。

血友病は血液の凝固に関わる因子の欠損あるいは活性の低下によつて発症する疾患で、出血すると、凝固するまでに長時間を要する。基本的には遺伝病で、血友病患者の多くは男性であり、女性は全血友病患者の1%以下である。^{m)}このように、性によつて異なる遺伝様式を伴性遺伝という。

問題 1 下線 a)～m)に関連した次の問題に答えよ。

- a) 血液が逆流しないのは、心臓のどのような構造によるか答えよ。
- b) 左心室壁は右心室壁よりも厚い。心臓の機能から推測して、その理由を述べよ。
- c) 隣り合う心筋細胞の間で、イオンなどの小さい分子を通す細胞間結合の名称を答えよ。
- d) 植物細胞では2つの細胞小器官において電子伝達系を利用している。それぞれ、どの細胞小器官のどこで行われているか答えよ。
- e) 静脈血と動脈血の違いを答えよ。
- f) 閉鎖血管系と開放血管系の違いを答えよ。
- g) 二酸化炭素を運搬する方法を答えよ。
- h) 白血球の1つに好中球がある。体内の好中球数が減少した場合、どのようなことが起こるか答えよ。
- i) 血しょう中のタンパク質濃度が低下すると、浮腫(むくみ)を生じることがある。その理由を述べよ。
- j) 細胞が分化するとは、一般的にどのようなことか答えよ。
- k) 周囲の酸素濃度の変化によって、ヘモグロビンが酸素と結合できる力は変化する。その利点を述べよ。
- l) O型で1塩基の欠失により糖転移酵素の活性が失われるしくみを述べよ。
- m) 女性に血友病患者が少ない理由を述べよ。

2

2002年にシドニー・ブレナーらは、器官発生とアポトーシスの研究でノーベル生理学・医学賞を受賞した。この研究に使われた *Caenorhabditis elegans* (以下「センチュウ」と呼ぶ)は、体長約1 mmの非寄生性の線形動物である。センチュウは飼育が容易であるため、発生学や神経科学のモデル動物として用いられている。世代交代が3日と短いことから遺伝学の研究材料としても優れている。また、ゲノムの塩基配列が決定されており、約 9.7×10^7 塩基対に約19,000の遺伝子がコードされている。アンドリュー・ファイアーらもセンチュウを用いた研究で2006年にノーベル賞を受賞した。この授賞理由はRNA干渉を発見したことによる。

センチュウの神経系を構成するニューロンの数は302個で、個々のニューロンの形態および全神経の回路網が明らかになっている。多くの神経突起は枝分かれがなく、隣り合った突起間でシナプス結合がみられる。センチュウのニューロン間にはシナプスが約5,000存在し、神経筋接合部が約2,000存在する。センチュウは、化学物質、機械刺激、光、温度などを感知することができる。ヒトやショウジョウバエと異なり、ニューロン数の少ないセンチュウでは、単一の感覚ニューロンが複数の化学物質を受容している。例えば、ある感覚ニューロンにおいては、化学物質を受容するGタンパク質共役型の複数の種類の受容体が発現している。また、神経伝達物質としては、アセチルコリン、セロトニン、ドーパミン、 γ アミノ酪酸(GABA)に加え、多数の神経ペプチドが働いていることが知られている。

センチュウは、寒天プレート上で前進、後退、旋回の行動が容易に観察できるため、様々な外部刺激に対する走性を調べる実験に用いられる。例えば、ナトリウムイオン、cAMP、リシン、ビオチン、イソアミルアルコールに対して正の走性(誘引反応)を示す。一方、銅イオン、ドデシル硫酸ナトリウム、塩酸キニーネに対して負の走性(忌避反応)を示す。

最近、センチュウの走性を利用して、ヒトのがんを診断するという研究が報告された。この研究では尿に注目し、がん患者と健常者の尿に対する走性を比較した。

問題 1 下線 a)～h)に関連した次の問題に答えよ。

a) アポトーシスとは何か答えよ。

b) 線形動物は旧口動物群に属するが，次の動物のうち旧口動物群に属するものをすべて選べ。

クラゲ プラナリア ヒトデ ミミズ ミツバチ ホヤ

c) ヒトのゲノムの大きさと遺伝子数について，最も適切なものを(ア)～(エ)と(1)～(4)からそれぞれ1つ選べ。

ゲノムの大きさ：(ア) 約 3 億塩基対	(イ) 約 5 億塩基対
(ウ) 約 10 億塩基対	(エ) 約 30 億塩基対
遺伝子数：(1) 約 11,000 個	(2) 約 22,000 個
(3) 約 55,000 個	(4) 約 110,000 個

d) RNA 干渉はどのような現象か答えよ。

e) 一般的に無脊椎動物のニューロンにおける興奮の伝導速度は，脊椎動物のニューロンの伝導速度と比べて遅い。その原因となる神経線維の構造の違いを答えよ。

f) シナプスでは，シナプス前ニューロンにおいてシナプス小胞が細胞膜と融合し，小胞内の神経伝達物質がシナプス間隙へ放出され，シナプス後ニューロンの受容体に結合すると電位が発生する。このシナプス小胞のように，細胞膜と融合することで小胞内の物質を細胞内から細胞外へ移動させる現象を何と呼ぶか答えよ。

g) ペプチドホルモンなどの細胞外の化学物質が細胞膜に存在する受容体に結合すると、その情報は別の物質によって細胞内に伝えられる。この情報伝達物質の総称を何と呼ぶか答えよ。また、この具体的な伝達物質の名前を本文中から探して答えよ。

h) GABA が受容体に結合すると、細胞外液に多く存在するある種のイオンが細胞外から細胞内へと通過し、抑制性のシナプス後電位が生じる。そのイオンの名称を答えよ。

問題 2 下線①に関して、グループ 1 とグループ 2 の尿を用いてセンチウの走性を調べたところ、表 1 のような結果になった。一方のグループががん患者の尿で、他方のグループが健常者の尿である。走性テストでは図 1 の寒天プレートを用いた。また、A 点には希釈した尿を滴下し、C 点にはコントロールとして尿を薄めるために使用した溶媒を滴下した。プレートの中央に数十匹のセンチウを置いて 1 時間後に A 領域にいるセンチウの数 ($N_{(A)}$) と、C 領域にいるセンチウの数 ($N_{(C)}$) を数えた。さらに、プレート上の A 点の近くと C 点の近くには、そこに到達したセンチウを動かなくする薬剤を添加した。グループ 1 とグループ 2 に対する反応性の違いが分かるように適切なグラフを描け。また、がん患者と健常者の尿に対する走性について、この実験結果から分かることを述べよ。

表 1

グループ 1				グループ 2			
サンプル	$N_{(T)}$	$N_{(A)}$	$N_{(C)}$	サンプル	$N_{(T)}$	$N_{(A)}$	$N_{(C)}$
尿 1	33	20	10	尿 5	65	20	40
尿 2	53	28	22	尿 6	30	7	18
尿 3	85	41	39	尿 7	33	5	25
尿 4	45	22	18	尿 8	72	30	36

$N_{(T)}$: 走性テストで使用した線虫の総数

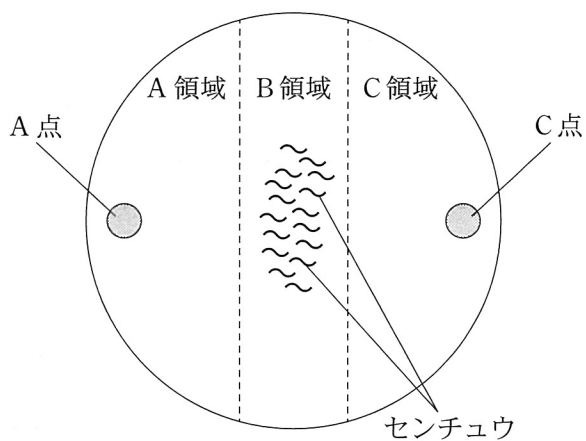


図 1 走性テスト：寒天プレート上の A 点に走性を調べたい物質を滴下し、反対側の C 点にコントロールの溶媒を滴下する。

2015年7月、福井県立恐竜博物館と長崎市は、長崎半島西海岸に分布する白亜紀後期の地層(約8100万年前)から、ティラノサウルス科の歯の化石2点が見つかったと発表した。同博物館によると、1点は先端から歯根部までの長さが8.2cm、厚さは2.7cm、水平断面は膨らみのある楕円形で、歯の形状や大きさが、北米のティラノサウルスやアジアのタルボサウルスなどティラノサウルス科の大型種に似ているという。

ティラノサウルス科の恐竜は白亜紀に北米やアジアなどで生息し、小さなものでも全長が5mあり、大きなものは10mを越える種もある。ティラノサウルスの成長に関して2004年に興味深い研究が発表された。ティラノサウルスの^{ろっこつ}肋骨の断面にみられる「年輪状構造」を解析すると、12~16歳にかけて急激に成長し、20歳頃には成長が停止していることが分かった。^①つまり、ティラノサウルスには成長期がある可能性を示していた。^{a)}骨の微細構造の研究は、他にも多くの知見をもたらしている。例えば、ステゴサウルスのスパイク(尾のトゲ)は、子供の頃の構造は貧弱で、成長するにつれて頑丈な構造になっていた。他の恐竜の化石をみると、このスパイクが捕食恐竜に対する武器として使われていた可能性が推測される。また、ステゴサウルスの背中には、五角形の立派な板状の骨(プレート)^②が多数存在するが、その断面を調べると血管が張り巡らされていた跡と思われる空洞が見られた。

骨の化石から性別を特定するのは一般には難しい。しかし、鳥類の雌は^{b)}産卵期になると大腿骨等の内壁(骨髓腔)にカルシウムを蓄えるために骨髓骨を作る。この骨髓骨は卵の殻を作るのに使われ、産卵してしばらくすると消えてしまう。ティラノサウルスの化石の中には骨髓骨が見つかったものがあり、産卵期の雌だと推測された。一方、卵とともに見つかったオヴィラプトル類の化石から、この個体は抱卵していたと思われるが、その化石には骨髓骨が見られなかった。^③

恐竜の外観は、一般には爬虫類的な鱗の皮膚と類似していると考えられていた。ところが、1996年にシノサウロプテリクスと名付けられた羽毛を持つ恐竜の化石が発見されたことを契機に、次々と羽毛恐竜の化石が見つかった。近年まで、恐竜の羽毛や皮膚の色を特定することは困難であった。しかし2010年に、

化石から羽毛の表面を 5 mm ほど切り取り 電子顕微鏡^{c)} で観察したところ、シノサウロプテリクスの尾が赤茶色や黄色で彩られていたことが判明した。

中生代の海には魚竜や首長竜と呼ぶ、恐竜ではない爬虫類が生息していた。これらの爬虫類は巨大なものが多く、肉食爬虫類として中生代の海に君臨し、白亜紀末期までには絶滅した。ひれ状になった四肢の化石に指が認められることなどから、陸へ進出したものが再び海へ適応したと考えられている。魚竜はジュラ紀の海を代表する生物であり、外観が魚類と類似した海生爬虫類^{d)} である。魚竜の中には、卵を胎内で孵化させる卵胎生であったと思われるイクチオサウルス^{e)} や直径 20 cm 以上の巨大な 眼球^{f)} をもつオファタルモサウルスなどがいた。

恐竜に関する知識は、化石研究から得られたものである。化石とは、骨の成分が長い時間をかけて少しずつ鉱物に置き換わってできる。一方、皮膚や臓器の形状のみが化石として残る場合はあるが、細胞のような軟組織はそのまま残らないと考えられていた。ところが 2005 年に、約 6800 万年前の ティラノサウルスの化石^{g)} から軟組織が得られたと発表された。残念ながらその組織からは DNA は採取できなかったそうだが、今後、もしも恐竜の化石から細胞や 血球^{h)} などが得られ、そこから DNA が採取できれば、恐竜のクローンを作ることも夢ではなくなるかもしれない。

恐竜ほどは古くはないが、北極圏付近に生息していたケナガマンモスのゲノムが 2015 年の 7 月に発表された。ケナガマンモスの死骸は永久凍土からほぼ完全な状態で発掘された。ケナガマンモスは、500 万年前までにアジアゾウとの共通の祖先から分かれ、200 万年～100 万年前に寒冷な地域に北上し、約 1 万年前に絶滅したと考えられている。このマンモスのゲノムを近縁のアジアゾウと比較したところ、1,642 個の遺伝子でタンパク質が変化し、26 個の遺伝子が途中で終止コドンになっていた。血糖値の調節に関わるインスリンの制御に関しては 39 個、脂肪の蓄積・代謝に関しては 54 個、体内時計に関しては 8 個の遺伝子にアジアゾウとの違いがあった。また、温度センサーを担うタンパク質の 1 つに変化ⁱ⁾ があるため、低温に耐え、体毛が長くのびた可能性が示された。

問題 1 下線 a)～ i)に関連した次の問題に答えよ。

a) 骨の機能を 3 つ答えよ。

b) 1 個の卵に 1 個の精子が進入する単精受精を行う生物においては，受精時に 1 つの精子しか進入させないしくみがある。そのしくみを 2 つ答えよ。

c) 電子顕微鏡を使わないと明確に観察できないものはどれか， 2 つ選べ。

核	葉緑体	糸球体	血小板
細胞膜	ミトコンドリア	リボソーム	

d) このように異なるグループの生物が，同じような環境に適応することで似た特徴を持つようになることを何と呼ぶか答えよ。

e) 海に生息する卵生の魚竜の仲間は，卵胎生のイクチオサウルスに比べてどのような点で不利だったと考えられるか述べよ。

f) イモリの眼が形成される時に，水晶体が形成体となって，表皮から何が誘導されるか答えよ。

g) ティラノサウルスの化石から，コラーゲンと思われるタンパク質の断片を採取することができた。コラーゲンやフィブロネクチンのような細胞外の基質と細胞とを接着させる働きを持つ，細胞膜に存在するタンパク質の名称を答えよ。

h) ヒトと異なり，恐竜の赤血球からは DNA を採取することが可能であると考えられる。その理由を答えよ。

i) 哺乳類において，体温が低下した時に起こる調節機構について，次の用語をすべて解答欄に書き入れて(例，甲状腺)，相互の関連が分かるように矢印を使い，ホルモン名などを記入して図を完成させよ。

用語： 甲状腺 副腎髄質 副腎皮質 脳下垂体前葉

問題 2 下線①～③に関して，どのようなことが考えられるか述べてよ。

- ① どのような観察結果が得られたので，下線の結論に至ったのか推測して述べよ。

- ② 下線の内容から，ステゴサウルスの板状の骨(プレート)の役割を推測して述べよ。

- ③ 現在の鳥類の生態から考えて，下線の化石から推測できるオヴィラプトル類の生態について述べよ。