

# 生 物

1

生物の最小単位は細胞である。細胞を構成している物質は多くの生物で共通しており、その中で最も多く含まれているのが水であり、動物細胞では質量比で通常約 70 % を占めている。そしてタンパク質などの有機物が約 25 %、無機塩類その他が約 5 % である。タンパク質は多数のアミノ酸がペプチド結合で鎖状に連なった高分子化合物である。ヒトではタンパク質を構成するアミノ酸は 20 種類で、そのうちの 9 種類が必須アミノ酸と呼ばれている。

タンパク質は酵素、ホルモン、受容体、防御タンパク質、輸送タンパク質、収縮性タンパク質、構造タンパク質などに分類され、多様な機能を持つ。輸送タンパク質とは、様々な生体分子を運ぶ役割を担うタンパク質である。血液中に含まれ物質運搬に関わるタンパク質（ヘモグロビンなど）と、細胞膜に存在して細胞内外に特定の物質を輸送する膜タンパク質がある。後者にはチャネル、担体、ポンプなどがある。収縮性タンパク質とは主に筋細胞の収縮を担うタンパク質であり、細胞骨格の構成タンパク質の 1 つのアクチンやモータータンパク質の 1 つのミオシンのほか、トロポニンやトロポミオシンなどがある。構造タンパク質とは、細胞、組織、器官に物理的強度をもたせるのに必要なタンパク質で、繊維性タンパク質であるコラーゲンやエラスチンの他に、細胞間結合に関わる細胞接着分子のカドヘリンなども含まれる。

カドヘリンは 1980 年代に日本の竹市雅俊らによって発見、命名された。関連する先行研究として 1955 年にアメリカのホルト・フレーターによるイモリの細胞を使った興味深い実験がある。それは、イモリ胚の異なる 2 つの組織（予定表皮と神経板）の細胞を生きたままばらばらにしてから混ぜたところ、両者は混ざり合って細胞集塊を作るが、やがて同じ種類の細胞が集まり組織を再構築したというものだった。この結果は細胞と細胞を接着させる何らかの「細胞接着分子」が存在することを示唆している。細胞接着分子にはカルシウムイオンが必要なものと必要でないものがあることがわかっていたが、竹市らが発見した分子は前者

であったため、1984年に「カドヘリン (cadherin)」(「calcium イオンがあると働く接着 (adherence) 分子」の意) と命名された。そして竹市らは1987年にはカドヘリンのcDNAのクローニングに成功した。その後の研究でカドヘリンには共通のアミノ酸配列を持つ複数のタイプがあることが分かり、現在では100種類以上のカドヘリンが存在すると考えられている。カドヘリンは、向かい合う細胞の間で同じ種類のカドヘリン分子同士が結合することによって細胞同士を接着させている。一方でカドヘリンは、細胞質側では細胞骨格と結びついている。

ヒトの体は約37兆個、約200種類の細胞で構成されている。最初は1つの受精卵から始まり、細胞分裂を繰り返して様々な細胞に分化する。このような細胞が規則的に集まって組織が作られる過程でカドヘリンが重要な働きをしている。

カドヘリンの研究は、このように発生学において注目されているが、近年では、  
i) 神経回路の形成におけるカドヘリンの役割など神経科学的にも医学的にも注目されている。

問題1 下線部 a) ~ i) に関連した次の問題に答えよ。

a) 動物細胞と大腸菌において、タンパク質の次に割合(質量比)が高い有機物はどれか、下記の中からそれぞれ1つ選んで答えよ。

核酸    脂質    ビタミン    炭水化物

b)

1) タンパク質を構成するアミノ酸のうち硫黄を含むものをすべて答えよ。

2) 次のアミノ酸の中でタンパク質を構成するポリペプチドに含まれないものをすべて選べ。

GABA    グルタミン酸    プロリン    オルニチン    タウリン  
アラニン

c) 必須アミノ酸はなぜ必須と呼ばれているのか、その理由を答えよ。

- d) 酵素におけるアロステリック効果とはどのようなものか答えよ。
- e) イオンチャネルの開閉を制御する要因の1つにチャンネルタンパク質のリン酸化があるが、その他の要因にはどのようなものがあるか、2つ答えよ。
- f) 細胞骨格の1つである微小管は、細胞分裂の時に染色体上のある部分に結合し、紡錘体を形成する。ある部分の名称を答えよ。また紡錘体の形成が始まるのは体細胞分裂の何期か答えよ。
- g) 細胞間結合の1つである固定結合のうち、カドヘリンが関与するものには接着結合とデスモソームがある。両者についてカドヘリンなどの接着タンパク質が細胞質側で結合する細胞骨格をそれぞれ答えよ。
- h) なぜこのような結果になったのか説明せよ。
- i) カドヘリン遺伝子 (cDNA) を組み込んだベクターをヒトの白血球由来の細胞株 (K562) に導入し、その細胞を培養して細胞集塊を形成させ、細胞接着がみられるかどうかを調べた。次の問題に答えよ。
- 1) K562 を用いた理由を答えよ。
  - 2) 外来の遺伝子を組み込んだベクターを細胞内に導入するにはどのような方法があるか、大腸菌と植物細胞に導入する方法をそれぞれ1つ答えよ。
  - 3) 細胞接着にカドヘリンが必要であることを証明するには、どのような実験を行い、どのような結果が得られればよいと考えられるか、以下の用語をすべて用いて答えよ。なお、用語は複数回使用してよい。  
K562    ベクター    カドヘリン抗体    カドヘリン遺伝子  
カルシウムイオン

## 2

皮膚は表皮、真皮、皮下組織の3層から成る。表皮においてはケラチノサイト<sup>a)</sup>が、真皮においては繊維芽細胞<sup>b)</sup>が主要な構成細胞である。真皮の下の皮下組織には脂肪細胞が存在する。加えて、<sup>①</sup>皮膚の付属器<sup>c)</sup>として、外分泌腺である汗腺や皮脂腺といった器官も存在する。

恒温動物では皮膚が外界の温度変化を感知し、感覚神経を介して、間脳の視床下部<sup>d)</sup>に存在する体温調節中枢へ伝達する。健康な人の場合、外界の温度が急に下がると、視床下部が交感神経を興奮させ皮膚<sup>e)</sup>に働いて熱の放散量を抑える。さらに熱産生量を増加させるために、交感神経は副腎髄質を刺激し、アドレナリンの分泌を促進する。アドレナリンは、心臓の拍出量（左心室から体循環に対して1分間に拍出される血液量）や血糖値を上昇させる。これらの速い応答に加えて低温状態が長く続くと、<sup>g)</sup>内分泌系<sup>f)</sup>を介した別の機構が活性化され、発熱量を増大させる。

風邪などの感染症にかかると発熱するが、これは生体防御機構の1つであると考えられている。この場合、単球などの免疫細胞からインターロイキンという物質の放出が促進され、インターロイキンは視床下部の体温調節中枢に作用して、体内での熱生産が増大し<sup>h)</sup>高体温となる。

問題1 下線部 a) ~ h) に関連した次の問題に答えよ。

- a) ケラチノサイトには Toll 様受容体 (TLR) が存在する。TLR の働きを答えよ。
- b) iPS 細胞は、培養した繊維芽細胞に転写を調節するタンパク質 (転写調節因子) に翻訳される 4 種類の遺伝子を導入して作られた。この 4 種類の遺伝子は iPS 細胞を作るうえでどのような働きをもつか答えよ。
- c) 外分泌腺と内分泌腺の構造の違いを答えよ。
- d) 進化の過程で恒温性を獲得することにより、どのような点が有利となったと考えられるか、2つ答えよ。

e) 外界の温度が下がると、寒気を感じるとともに身体が震える。身体が震える理由を推測し答えよ。

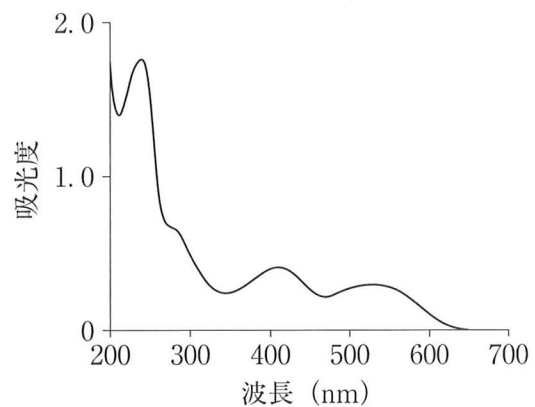
f) 熱の放散を抑えるために皮膚で起こる応答を2つ答えよ。

g) 内分泌系とは一般に何か、答えよ。

h) マウスから得たマクロファージを培養した。このとき培養温度を37℃(平常体温域である)から38.5℃まで上昇させると、マクロファージの機能が高まった。この現象から、細菌(バクテリア)などの病原体の感染によって体温が上昇することには生体防御上、どのような利点があると推測されるか答えよ。

問題2 下線部①に関連した次の問題に答えよ。

カバの皮膚には、汗腺や皮脂腺といった付属器は存在しないが、粘液を分泌する腺が存在し、粘液は体表を覆う。この粘液は分泌直後では無色であるが、分泌後1分から2分で赤色に変化する。右のグラフは、粘液から単離した赤色色素の



溶液に様々な波長の光を照射したときの吸光度を示す。吸光度とは、物質に特定の波長の光を照射したときに、その光を吸収する割合を示し、吸光度が大きいほどその波長の光をより吸収していることを意味する。グラフを参考にして、カバの体表が赤色の粘液で覆われることの利点を答えよ。

最近、恐竜の卵に関する研究が活気づいている。これまで発見された恐竜の卵は、いずれも硬い殻を持っていた。恐竜の子孫だと考えられている鳥類の卵<sup>a) b)</sup>と同じである。卵の殻には炭酸カルシウムの層が含まれているため、硬くて丈夫であり、親鳥が卵の上に乗って抱卵しても壊れることはない。しかし、体重が2トンを越えるような恐竜となれば話は別である。白亜紀に生息したオビィラプトロサウルス類<sup>c)</sup>は、卵の破損を回避するために興味深い方法をとっていたようだ。一方、夏でも平均気温が19℃付近であったと推測されている寒冷地のシベリアに生息していたハドロサウルス類は、どうやら抱卵していなかったようだ。おそらく産卵後、土の中に放置していたのではないかと考えられている<sup>d)</sup>。また最近になって、モンゴルのゴビ砂漠とアルゼンチンの高地で、「やわらかい殻の卵」を持つと思われる恐竜の化石が見つかった。切片にして顕微鏡で調べてみると、約0.3mmの薄い膜で覆われているだけで、一般的な恐竜の卵に見られる炭酸カルシウム層の構造は見られなかった。

恐竜の能力の中で重要なものは視覚であったと考えられている。例えば有名なティラノサウルスの眼は良く発達していたと推測されている。眼窩<sup>e)</sup>（眼球が入るくぼみ）の位置が比較的顔の前面にあり、かなり大きいため視神経<sup>f)</sup>も太かったと推測されている。色覚に関しては想像の域を出ないが、現在の爬虫類や鳥類と同様に様々な色が区別できたと考えられる。動物の視覚能力は、脊椎動物が誕生するよりはるか前に獲得されており、近紫外～青色の波長域に対する視覚が最初であったと言われている。やがて脊椎動物の祖先<sup>g)</sup>が現れ、爬虫類、鳥類へと進化していく過程で、爬虫類や鳥類の中には錐体細胞<sup>すい</sup>が4種類ある4色型まで進化したものが現れたと考えられている。したがって、恐竜の中には4色型のものがいた可能性があり、恐竜がいた時代では、おそらくカラフルな世界が展開されていたと思われる。中生代に現れた哺乳類の多くは、夜行性の生活をしていたため、4種類あった錐体細胞のうち2種類が退化して失われ、一方で、暗い所で働く桿体細胞<sup>かん</sup>の機能は発達したと考えられる。その後、恐竜の衰退に伴って霊長類の祖先の仲間の中に昼行性のものが現れ、その中には2色型から3色型に進化したもの<sup>①</sup>が現れたと考えられている。

一方、チョウやハチなどの昆虫も色覚が発達しており、3色型や4色型の色覚を持つものが多い。多くの昆虫の色覚が、ヒトの色覚と大きく異なっている点は、近紫外域の波長に対する錐体細胞を持っていることである。最近、恐竜の誕生前の4億2900万年前の三葉虫の化石<sup>h)</sup>がきわめて良好な状態で見つかった。その眼を調べたところ、現代の昆虫や甲殻類の複眼と非常に良く似た構造をしていた。化石からは三葉虫の個眼は200個ほどしかなかったことから、おそらくモザイク状にしか見えない視覚を使って、オウムガイなどの捕食者から身を守っていたと考えられる。

**問題1** 下線部 a) ~ h) に関連した次の問題に答えよ。

- a) 鳥類における免疫は、主に2種類の器官が担当している（ここでは、X器官とY器官と呼ぶ）。それは、総排泄腔(肛門)の近くに存在するX器官と心臓の上に存在するY器官である。X器官を摘出すると、他の個体から移植された皮膚片は拒絶されるが、外から入ってきた病原体を直接排除することはできなくなった。一方、Y器官を摘出すると、他の個体から移植された皮膚片は生着した。X器官とY器官のそれぞれの働きを述べよ。
- b) 鳥類の卵割の様子の概略を、4細胞期、8細胞期の順に、解答欄の卵の模式図の中に描け。
- c) オビイラプトロサウルス類は複数の卵を同時に温めるために、どのようなやり方で抱卵していたと考えられるか。解答欄に、図右上の卵の模式図を参考に8個の卵の配置を上から見た図で描け。ただし、恐竜の体が地面に接する領域の中心を「×」で示してある。
- d) 土に埋めた卵を太陽光で温める方法は、暖かい地方では使えるやり方であるが、当時のシベリアでは難しいと予想される。どのような状態の土に埋めれば温めることができると思うか、推測して述べよ。

e) 眼窩の位置が比較的顔の前面にあるおかげで、どのような点が有利になったと思われるか、考えを述べよ。

f) 視神経は脳神経の1つであるが、ヒトの脳神経は何対あるか、答えよ。

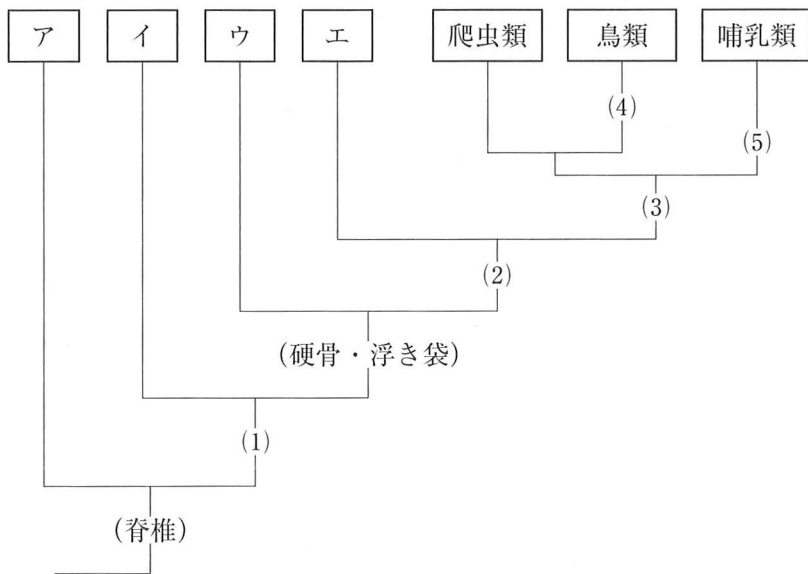
また、次の用語をすべて用いて、脊髄と脊髄神経との関係を説明せよ。

なお、用語は複数回使用してもよい。

運動神経 感覚神経 背根 腹根 脊椎骨

g) 爬虫類、鳥類、哺乳類を含めた7種類の脊椎動物の名称を、下図のア～エに入れるとともに、それぞれを分類するための特徴を、下記の用語の中から選んで(1)～(5)に書き入れよ。

胎生 あご 羊膜 羽毛 四足



h) 三葉虫は示準化石の1つである。なぜ、示準化石になりえるのか、その理由を答えよ。



**問題 2** 下線部①について，次の問題に答えよ。

新世界ザルのオマキザルは，ヒトと同じ XX, XY の性染色体を持つ。常染色体上に青色オプシン遺伝子が存在し，X 染色体上の同じ遺伝子座に，赤色，緑色，黄色のいずれかのオプシン遺伝子が存在している。このオマキザルの集団としての色覚について述べよ。また，どうしてそうなるのか理由もあわせて答えよ。