

平成 21 年度入学者選抜個別(第 2 次)学力検査問題

理 科

注 意 事 項

1. 監督者の指示があるまで、この冊子を開いてはいけません。
2. この冊子は、全部で 30 ページあり、第 1～3 ページは下書用紙です。下書用紙は切り離してはいけません。
3. 解答用紙は、問題冊子と別に印刷されているので、誤らないように注意しなさい。
4. 解答は、必ず解答用紙の指定された欄内に記入しなさい。点線より右側には何も記入しないこと。
5. 入学志願票に選択を記載した 2 科目について解答しなさい。選択していない科目について解答しても無効です。
6. 各解答用紙には、受験番号欄が 2 カ所ずつあります。それぞれ記入を忘れないこと。
7. 解答用紙は、記入の有無にかかわらず、机の上に置き、持ち帰ってはいけません。この冊子は持ち帰りなさい。
8. 落丁または印刷の不鮮明な箇所があれば申し出なさい。

生 物

以下の文をよく読んで、設問に答えなさい。解答は解答用紙の指定された欄に記入しなさい。

秋刀魚の塩焼き

今日のおかずは秋刀魚だ、と学校から戻って玄関の戸を開けたとたんにあきら君にはすぐにわかった。換気扇を回しているけれど、脂ののった秋刀魚の独特のにおいが玄関まで漂ってきている。クラブ活動でおなかのすいているあきら君はもう夕食が待ちきれない気がした。

食卓でお皿に乗った秋刀魚に箸^{はし}を入れようとして、ふと思った。この前、生物の時間に脊椎動物について学んだけれど、秋刀魚も僕も脊椎動物だ、どこが同じでどこが違うのだろうか。

もちろん体の形はだいぶ異なるが、口や眼があるのは同じだ。ところで耳はあるのだろうか。そういえば魚類には側線というものがあって、水中で水圧の変化を感じているということを読んだことがある。水の中に生活している魚類にとっては、音は水中を伝わってくるのだから、側線が音を感じることもできるはずだ。側線以外にも耳石の話聞いたことがある。明日になったら図書館でちゃんと調べてみよう、と、あきら君はそう思いながら秋刀魚をたいらげた。

聴覚の進化

さっそく翌日、図書館で魚類の聴覚を調べてみた。確かに側線が水流や水圧の変化を中枢に伝えている。コイなどではこの側線系に加えて、ウキブクロの振動をウェーバー器官(4つの小骨からなる)によって内耳に伝える経路があると書いてあった。それ以外の魚では、内耳が直接、水中を伝わってきた音波を聞いているらしい。さらに魚類の内耳には、体の傾きや体の回転の方向を知覚する器官がある。鼓膜や外耳道がないので、外からは耳があるとは気がつかないけれど、魚類にも耳はあるのだ。¹⁾

外からでは秋刀魚に耳があるように見えないが、眼はちゃんとわかる。眼が担当し

ている視覚は、聴覚と比べると進化の歴史の中では比較的古くからある感覚である、と書かれていた。たとえば、(1)界のミドリムシには、^{べんもう}鞭毛の付け根に眼点という光を感じる部分があり、ここに光が当たると運動の方向が変わる。形態的に眼と呼ぶ構造は(2)門のプラナリアでみられるが、眼としての機能は持つけれどもまだ原始的であり、その後に出現したゴカイの仲間を含む(3)門や、昆虫を含む(4)門の動物の眼に比べると、明らかに単純な構造をしている。プラナリアの眼は色素眼杯と呼ばれる一種のピンホール型の眼であり、陰影のみのぼんやりとした像を網膜に結ぶだけである。脊椎動物門に属する動物の眼には水晶体(レンズ)があり、この水晶体を使って効率よく光を集めて焦点を合わせることができるようになり、はっきりとした像を網膜上に結ぶことができるようになった。レンズを備えた眼は、³⁾無脊椎動物でも(5)門に属するイカやタコにもみられる。

話を聴覚に戻そう。直接あるいはウキブクロの振動を内耳に伝えるやり方は、水中でははたらくけれど、空気中ではうまくはたらかない。魚類が両生類となって陸上に進出したとき、空中を伝播する音を受け取るために、鼓膜とそれを内耳に伝える仕組みが必要となった。こうして両生類のカエルには鼓膜が生じ、鼓膜の振動を内耳へ伝える耳小柱が生じた。この耳小柱はヒトの^{あぶみ}鐙骨に当たり、ヒトの中耳にはこの他に2つの小骨があるがカエルでは1つだけである。

それでは、鼓膜と内耳を連結するカエルの耳小柱はどうして生じたのであろうか。耳小柱の元になったのは魚類の^{あご}顎の骨の一部であると書いてあった。

話をよく理解するためには、顎の進化を理解する必要がありそうだ。そこで、大学で進化のことを研究しているシゲル兄さんに聞いてみることにした。

^{あご}顎の起源

図書館から戻って家にいたシゲル兄さんに尋ねると、まず、「口と顎の違いってわかるかい」と逆に質問された。「口と顎は違うんだよ」と言う。何となく同じもののだと思っていただけで、違うものらしい。「口はあるけれど顎のない魚がいるんだ。」と言って、シゲル兄さんは^{むがく}無顎類について説明してくれた。無顎類には「口」はあるけれど、「上顎」や「下顎」にあたる構造がなくて、丸い口がいつも開いたままのようになっている。まるで^{こい}鯉のぼりみたいな生き物だな、とあきら君は思った。

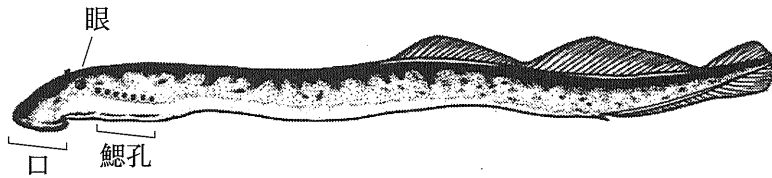


図1. ヤツメウナギ

図鑑で調べてみると、ヌタウナギやヤツメウナギ(図1)、スナヤツメというのが無顎類の代表的な種で、名前のおりウナギのような形をしているのだが、ウナギとは分類上、まるで異なる動物群で、口の構造は原始的だし、顎が無いので歯も持たない。身体の中の骨も真性の骨ではなく、軟骨でできている生き物だ。しかも、この無顎類は古生代の甲^か青^{せい}魚^{ぎょ}の直系の子孫だということもわかった。ものものしい鎧^{よろい}を着ていた生き物が、こんなぬるりとした生き物に形を変えて生き残っているとは何とも不思議だ。あきら君は俄然^{がぜん}興味が出てきて、もっといろいろと知りたくなってきた。

ヤツメウナギは「八つ目」という名前がついているけれど、本当の眼は一番先端の一对だけで、あとの7対は鰓孔^{さいこう}なんだ、とシゲル兄さんは続ける。この鰓孔と鰓孔の間には咽頭弓と呼ばれる構造があって、背側から腹側に向かって一本ずつ走っている。この咽頭弓のまん中には軟骨の芯が入っていて、椎骨部から左右対称に体腔に沿って何本も張り出し、あたかも肋骨のような形をしている。ヤツメウナギでは咽頭弓はすべて鰓を支える働きをしていて、口から入った水に含まれる酸素を鰓が取り入れて、いらぬ水を鰓孔から捨てる仕組みになっている。咽頭弓は前方(頭側)から順に番号がついているのだが、1番目と2番目は顎を獲得したときには消失してしまうので、3番目から第1咽頭弓、第2咽頭弓と番号を付け直す。

原始的な魚類は、開閉する装置である顎を、第1咽頭弓を流用して作ることに成功した。化石に残ったある種の原始魚類では、第1咽頭弓が真ん中で屈曲して、上顎と下顎になっている。そのため、第1咽頭弓を顎弓とも呼ぶ。ただし、この顎は強度が低かったため、開閉はできるようになったものの、噛む力は弱かった。そこで第2咽頭弓(舌弓)が補強のために顎に付着するようになった。(図2)。

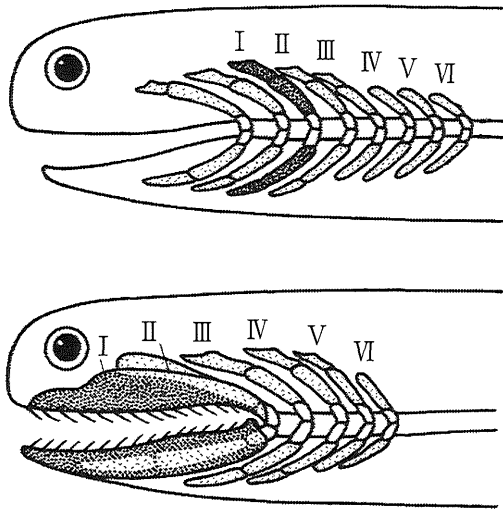


図2. 第1咽頭弓(黒い影を付けた部分でIと表記)が顎になる模式図

顎と耳の進化

咽頭弓が顎になってしまうと、先頭の鰓孔が不要になる。サメやエイなどの仲間では、眼のうしろに噴水孔として残っているが、やがて、薄い膜で閉じられるようになる。この薄い膜から鼓膜が生じ、空洞部は中耳となった。ヒトでも中耳からのど(咽頭部)へ細い通路でつながっているのはそのなごりで、耳管(エウスタキオ管)といい、飛行機などに乗った時や深く水に潜った時など、中耳と外気を同じ気圧にするように働いているのだ。

両生類になると、上顎は頭蓋骨に固着し、下顎は^{しん}靱帯と顎関節によって上顎としっかり結びつくようになるので顎の強度が高まる。そのため、第2咽頭弓由来の軟骨(舌弓)は顎の支持という役割を担う必要がなくなり、鼓膜と内耳を結びつけるために転用されて耳小柱になったと考えられている。この耳小柱が鐙骨の起源である。

^{はちゅう}爬虫類では、顎弓の周囲の頭蓋骨が発達して、だんだんと顎の骨として働くようになる。顎の大型化、複雑化、強化のために、周囲の骨が関与せざるを得なくなったとみることもできる。顎弓の上顎部分は方形骨、下顎部分は関節骨となって顎関節の役割のみを担うようになる。

^{ほにゅう}哺乳類になると、顎弓由来の骨以外の周囲の骨がさらに発達し、それらが新たに

顎関節をつくるようになり、ついに顎弓は用済みになってしまう。用済みになった顎弓由来の方形骨と関節骨は、それぞれつち骨ときぬた骨という2つの骨となって鼓膜側からこの順に加わり、耳小骨は3つになって鼓膜の振動を内耳に伝える効率を上げることになった。

耳の構造の進化は、顎の進化と深く関係しているんだよ、とシゲル兄さんは話を終えた。

鰓はさまざまな器官を生み出す

下顎を構成する骨は、脊椎動物の進化の過程で置き換わっていった。顎弓と舌弓より後方の咽頭弓は、魚類では鰓を支える構造となった。陸上へ進出した両生類では鰓呼吸から肺呼吸へ変わり、鰓が必要なくなった。それでは、鰓はまったくなくなってしまったのだろうか。実は、鰓とその関連構造に由来する器官がヒトの中にも残っている。それが咽頭器官であり、甲状腺、副甲状腺、胸腺がこれにあたる。

あきら君は咽頭器官という語をキーワードにしていろいろ調べていたらディジョージ症候群^{A)}という遺伝性の疾患があることを見つけた。聞いたことがない病気の名前だが、さらに調べてみると、この疾患は咽頭器官の発生障害により、胸腺形成不全⁵⁾、副甲状腺形成不全、先天性心疾患、顔面奇形、聴力低下などの広範な症状を示すのだと書いてあった。

この病気の原因を調べたところ、22番染色体の長腕⁶⁾の一部の領域が欠失しているためであることがわかった。欠失した領域に含まれる遺伝子は30ほどあるが、そのなかでも *tbx 1* という遺伝子の欠失が重大な症状に関係するらしい。この遺伝子がコードしているのは転写因子で、神経冠(神経堤)細胞の移動に関与していると考えられている。生物の教科書には「神経冠細胞」という語は書いていなかったので百科事典で調べてみた。神経冠細胞というのは、発生の途中で神経管⁷⁾が形成されるときに、神経管の頂上部の細胞が神経管から離れて遊走したもので、体の各部へ分布する。たとえば皮膚にある黑色素細胞はこの細胞から作られる。頭部領域にある神経冠細胞は、顔面と咽頭弓に集まって、骨、軟骨、神経および結合組織などを形成する。移動した咽頭弓の位置によって、この細胞はそれぞれ胸腺や副甲状腺に分化する。ディジョージ症候群に見られる心臓の形成不全や、胸腺や副甲状腺の欠損は、必要な神経冠細胞

が必要な場所へ到達しなかったことに関連していると考えられている。ディジョージ症候群と一括して呼ばれるが、欠失の程度は患者によって異なり、胸腺がまったく形成されない場合もあれば一部を欠くだけの場合もある。このように、欠失の程度によって様々な病状が現れることはよく知られている。

一方、正常でも、一つの遺伝子座(染色体上でそれぞれの遺伝子が占める位置)に、個体によって異なる対立遺伝子が、ある一定の割合で存在するために(「遺伝的多型」)、異なる表現型を示す場合がある。有名な例は、ABO 式の血液型である。ヒトのこの遺伝子座には、A, B, O の3つのタイプの対立遺伝子が存在している。一方、色覚に関しても「遺伝的多型」の存在が知られている。新世界ザルの一種であるマーモセットは、常染色体に青色を感じるオプシンの遺伝子が存在する。X 染色体上には、それよりも長い波長の光を感じるもう一つのオプシン遺伝子(緑色, 黄色, あるいは赤色を感じるオプシン遺伝子)の遺伝子座が1つある。その結果、雄と雌では色の見え方が異なっている。

^{B)}
ディジョージ症候群では副甲状腺も形成されないで、血中のカルシウム濃度を維持することができず、新生児のうちに全身が^{けいれん}痙攣するテタニーという症状を起こすのでこの病気が発見される。カルシウム代謝は生体にとってとても重要だが、魚類では鰓を通して水中からカルシウムを摂取できるために、副甲状腺は必要なかったと考えられている。魚類では、鰓にカルシウム濃度を感知するためのカルシウム受容体があって、血中のカルシウム濃度が低下すると、水中のカルシウムを取り込んで血中濃度を保っている。カルシウムの取り込みの70%が鰓、残りは皮膚と腸管を介して吸収している。魚類の鰓は、カルシウム以外にもナトリウム、カリウムなどのイオンの吸収と排出を行うことができ、アンモニアなどの老廃物を排出することもできる。

⁸⁾
陸に上がり、水中からカルシウムを吸収できなくなった両生類以降の脊椎動物では、体内のカルシウム濃度を維持する必要に迫られ、副甲状腺が生まれたと考えられている。ヒトの副甲状腺は、米粒大の小さな内分泌器官で甲状腺の裏に貼り付いていて、血中カルシウム濃度をモニターしており、血中のカルシウム濃度が低下すると、副甲状腺ホルモンを血中に分泌し、骨からカルシウムを溶かし出し、血中カルシウム濃度を一定に保つ。骨をカルシウムの貯蔵庫として利用するようになったのだ。陸上へ進出するに当たり、カルシウム調節をする器官をあらたに作り上げるのではなく、

陸上生活では不要になった呼吸器の鰓をカルシウム制御の専門家にしたと考えられる。

心臓の進化と体の左右性

鰓呼吸から肺呼吸へ進化したために、循環系も大きく変わる必要が生じた。魚類では、水中の酸素を取り込むための鰓と、取り込んだ酸素を全身に送り出すポンプである心臓は直列に配列され、全身に酸素の多い血液を供給することができる。ところが陸に上がると、鰓を使って水中から酸素を取り込むことができなくなるために、肺が発達した。

魚類はもともと陸の水域である川や池などで進化したため、日照りなどで水が干されてしまう危険が常にあり、このような環境に適応して原始的な肺を持った魚類が進化したと考えられている。消化管の一部が膨らんで袋状になり、そこに血管網が分布して呑み込んだ空気から酸素を血中に取り入れることにした。この肺を持った魚類は進化の過程でやがて海へと進出する。乾燥の危険はほとんど無くなったが、今度は、深度に対応する必要が生じた。川や池なら沈んでも数メートルであるが、海だと何百メートルにもなる。そこで空気袋として獲得した肺をウキブクロに転用したのが現在の硬骨魚類だと考えられている。

一方、肺をさらに発達させ、^{ひれ}鰭から手足を得て、ついには陸に上がったのが両生類である。その後、運動性が高まり、さらに酸素要求量が増大するにしたがって、心臓の形も大きく変わり、心室や心房が発達する一方で、心臓は左側に傾いて配置されるようになった。

ところが、カルタゲナー症候群という遺伝性の病気の患者の50%は内臓逆位を示し、心臓が右側に、肝臓が左側にある。他の症状としては、呼吸器系の疾患である肺炎にかかりやすくなり、⁹⁾男性では不妊症になる。

遺伝子工学の技術を応用して、ある特定の遺伝子が発現しないようにしたマウスをつくって、その遺伝子がコードしているタンパク質の働きを研究することができる。この方法を使って、モータータンパク質の一つが発現できなくなるマウスをつくったところ、カルタゲナー症候群の患者と同じように、50%で心臓の位置が逆転していた。

さらに調べてみると、このマウスには、ほんらい^{せんもう}繊毛があるべき細胞に繊毛がないことがわかった。このモータータンパク質は、繊毛の基底部から繊毛の材料を先端に向かって運ぶ働きをしているので、材料の運搬が起こらないために、繊毛ができない。発生の途中、マウス胚の正中部のノードと呼ばれる場所には200~300個の細胞があり、この細胞の表面から一本の繊毛が生えていて、毎分600回転の速度で時計回りに回転運動をして左向き水流を作っている。この左向きの水流のおかげで、左を決定する形態形成因子が左方向に流され、体の左側の細胞に受け取られて左を決定する遺伝子群のスイッチがオンになり、左が決定されるということだ。ところがこのマウスでは、繊毛ができないために水流が生じない。そのため、左を決定する形態形成因子が拡散して左右両側にはたらいでしまい、50%で心臓の位置が逆転してしまうことが分かった。

大動脈弓の左右性

たった一本の繊毛によって生じる流れの違いによって、左と右が決まるなんて不思議な話だと思った。ところがシゲル兄さんはさらにほかの例を話してくれた。

哺乳類の場合、心臓から上方に出た大動脈弓は、必ず左側へアーチ状に回りこみ、¹⁰⁾背側大動脈となって背中側を下降する(図3右)。発生の初期に、すでに話した咽頭弓に沿って形成される左右6対の動脈のうち、4番目の動脈の右側が消失するために、左側へアーチする形になってしまう。それでは、どうして片側の動脈が消失するのだろうか。

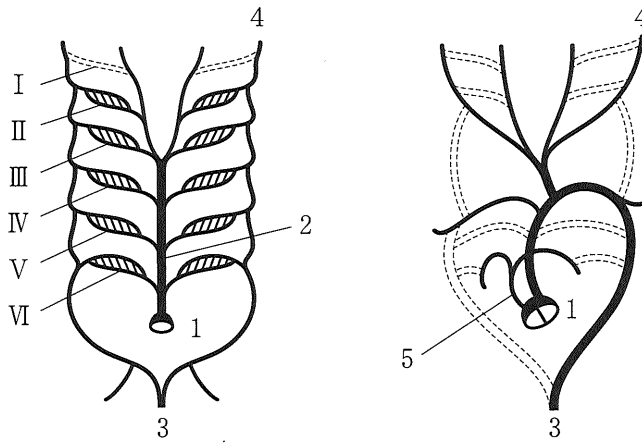


図3. 原型と考えられる軟骨魚類の動脈(左)と哺乳類の大動脈弓(右)

ローマ数字はそれぞれ第1から第6咽頭弓に沿った動脈

1 : 心臓へ, 2 : 腹側大動脈, 3 : 背側大動脈へ, 4 : 頸動脈, 5 : 肺動脈

シゲル兄さんの説明によると、ここにも遺伝子に関係しているという。左右性を決める遺伝子(上に述べたものとは別の遺伝子)の働きにより、心臓から出る血管が回転する結果、左右対称に存在した4番目の動脈の右側部分が細くなり、そこを流れる血流が少なくなり、血管内皮細胞が受け取る増殖因子のシグナルが減少するために血管の細胞は死んでしまい、右側の動脈が消失する。つまり、左右性を決める遺伝子によって生じた血流の違いが、左へカーブする大動脈弓を作ったんだ、ちなみに鳥類では大動脈弓は右側にカーブしているんだよと、シゲル兄さんは付け加えた。

ここでまた話が鰓に戻ってきた。鰓とそれに関連する構造は、われわれが今のように物を嚙んだり、カルシウムを調節したり、体を守ったりすることと、とても深い関係にあるんだと、あきら君は生物の進化に改めて深い興味を覚えて、もっといろいろと本を読んでみようと思った。

問題 1 上の文の(1)～(5)に当てはまる最も適切な名称を答えよ。

問題 2 上の文の下線 1)～10)に関連する次の問いに答えよ。

- 1) ヒトで体の傾きを感知する器官と体の回転の方向を感知する器官の名は何か。
- 2) 水晶体はクリスタリンというタンパク質からできている。ネズミの種によるクリスタリン遺伝子の変異を比較したところ、あるネズミの変異が際立って高かった。中立説の立場からクリスタリン遺伝子の進化を考えると、このネズミはどのような環境に生息していると考えられるか。
- 3) ある系統のニワトリを、孵化直後から恒明条件(一日中明るい条件)で3週間飼育すると、眼球が前後軸方向に長くなる。このニワトリが遠方のものを見たとき、どのようなことがおこるか図を描いて説明せよ。ただし水晶体の機能は正常と変わらないものとする。
- 4) 祖先が異なる生物が、よく似た環境に適応して似た形態を持つようになった進化現象を何というか。
- 5) 胸腺が形成不全だった場合、ツベルクリン反応はどうなると考えられるか。
- 6) 染色体長腕というのは、細胞分裂のときに紡錘糸が結合する部位で分けられた長いほうの部分を用いる。この紡錘糸が結合する染色体上の部位を何というか。
- 7) カエルの発生では、神経管はどの胚葉から生じるか。
- 8) アンモニアのかわりにヒトでは窒素化合物をどんな分子として排出するか。
- 9) この症状が出るのはどのような理由のためと考えられるか。
- 10) この血管は心臓のどの部位から発しているか。

問題 3 下線Aに関して次の問いに答えよ。

- 1) ディジョージ症候群を示す乳幼児(患児群)と健常な同年齢の乳幼児(対照群)の血液中のリンパ球数を測定したところ、下記の表のような結果が得られた。患児群と対照群を比較しやすいようなグラフを描け。複数のグラフを描いてもよい。
- 2) このグラフや表を見て、どのようなことが考えられるか、2つ箇条書きにせよ。
- 3) 患児3が麻疹(はしか)ウイルスに感染した場合、どのようなことがおこると予想されるか、またその理由を答えよ。

	T細胞数	B細胞数
患児 1	1120	750
患児 2	1980	1380
患児 3	0	180
患児 4	970	630
患児 5	1300	1250
対照 1	2430	1290
対照 2	2100	980
対照 3	3020	1140
対照 4	1930	790
対照 5	1780	1300
対照 6	2240	1570

単位は、細胞数/ μl

問題 4 下線Bに関して次の問いに答えよ。

X染色体上にある遺伝子は、一对のうちどちらか一方が機能を現し、もう一方は不活性化されて機能を現さないことが知られていて、どちらが不活性化されるかはまったく五分五分で、視細胞ごとにまちまちである。マーモセットの雄と雌で、色覚はそれぞれどのようになっていると考えられるか。すべての組み合わせを示して、雌雄それぞれの色覚について述べよ。

問題 5 無顎類，有顎の魚類，両生類，爬虫類，哺乳類の順に，耳小骨はどのように進化したのか。1)それぞれつながりがわかるように，耳小骨とそれに対応する部位の名称を各動物群で示せ。用語は本文中のものを使うこと。2)両生類と哺乳類については，前者では耳小柱，後者では耳小骨を含む中耳とその周辺をそれぞれ図示し，引き出し線を付けて名称を加えよ。