日本医科大学

2026 年度　一般選抜　生物

（2 科目　120 分）

Ⅰ 生物の進化と発生に関する下記の文章を読み，各問いに答えよ。

地球上に生命が誕生したのは，約 38 億年前の先カンブリア時代である。その後，［ ア ］には多細胞動物が多様化し，脊椎動物である魚類が繁栄した。脊椎動物に共通の構造である［ イ ］は原索動物にもみられるが，哺乳類では発生の過程でそのほとんどが消失する。

［ ウ ］には恐竜が栄えたが，大量絶滅を経て，やがて哺乳類が多様化し，現在のヒトへとつながる系統が発展した。こうした進化の背景には，共通祖先から受け継がれた遺伝子によるからだの形成プログラムがある。その 1 つが，Hox（ホックス）遺伝子（ショウジョウバエではホメオティック遺伝子）に代表される，からだの前後軸に沿った位置情報を規定する遺伝子群である。これらの遺伝子は，動物の発生初期に各領域の特徴を決定し，頭部・胸部・尾部といった異なる構造をつくりだす。興味深いことに，Hox 遺伝子はヒトを含む脊椎動物だけでなく，昆虫などの節足動物にも見られ，動物門を越えて保存されている。ただし，動物種により Hox 遺伝子群が存在する染色体の数が異なり，ショウジョウバエでは［ エ ］組の相同染色体上に，哺乳類では［ オ ］組の相同染色体上に，それぞれ存在する。

このように，動物の多様な形態のもとには，共通する遺伝情報の保存がある。［ カ ］はすべての生物に共通する遺伝物質であり，その塩基配列は細胞分裂の際に［ キ ］されて受け継がれる。

問 1　文中の［ ア ］～［ キ ］にあてはまる語句を，以下の (あ)～(つ) より 1 つずつ選び，それぞれ記号で答えよ。

(あ) 1　(い) 2　(う) 3　(え) 4　(お) 13
(か) 顎　(き) 尾　(く) 古生代　(け) 新生代　(こ) 脊索
(さ) 脊髄　(し) タンパク質　(す) 中生代　(せ) 転写　(そ) 複製
(た) 翻訳　(ち) DNA　(つ) RNA

問 2　以下の①～④の生物について，それぞれにあてはまる性質をⅠ群よりすべて選び，記号で答えよ。また，これらの生物が最初に出現した地質時代をⅡ群より 1 つずつ選び，それぞれ記号で答えよ。同じ記号を用いてもよい。

① 原核生物　② シダ植物　③ 両生類　④ 哺乳類

Ⅰ群：
(あ) 脳をもつ。
(い) 羊膜をもつ。
(う) 維管束をもつ。
(え) 細胞壁をもつ。
(お) 核膜をもたない。
(か) 種子をつくり繁殖する。
(き) RNA ポリメラーゼをもつ。
(く) 2 心房 1 心室の心臓をもつ。
(け) 分裂により個体数を増やす。

Ⅱ群：
(a)　先カンブリア時代(b)　古生代　(c)　中生代　(d)　新生代

問 3　Hox 遺伝子および Hox タンパク質に関する以下の各問いに答えよ。

(1) Hox 遺伝子群は，発生初期における［ ク ］の形成に重要なはたらきを担い，からだの前後軸に沿った構造を規定する。また，Hox 遺伝子が 1 本の染色体上に複数存在することは，進化の過程で遺伝子の［ ケ ］が起こったことを示している。

文中の［ ク ］，［ ケ ］にあてはまる最も適切な語句を，以下の (あ)〜(く) より 1 つずつ選び，それぞれ記号で答えよ。

(あ) 外胚葉　(い) 逆位　(う) 欠失　(え) 原腸　(お) 水晶体
(か) 体節　(き) 重複　(く) 転座

(2) Hox タンパク質は転写因子としてはたらくため，どの領域が標的 DNA や転写共役因子（転写因子と協調してはたらき，転写の活性を調節するタンパク質）に結合するかを調べる実験を行った。図 1 に示すように，Hox タンパク質（野生型 Hox）には領域 1 と領域 2 が存在する。そこで，野生型 Hox タンパク質に加えて，アミノ酸配列に変異を導入して各領域の機能を失わせたタンパク質（1m-Hox と 2m-Hox）もそれぞれ合成した（図 1）。



図 1　野生型 Hox タンパク質および各領域の機能を失わせた Hox タンパク質
いずれのタンパク質も分子量は同じである。

次に，Hox タンパク質と結合することが知られる塩基配列をもつ 2 本鎖 DNA を合成し，これを蛍光物質で標識した（標的 DNA）。そして，図 2 に示した組み合わせで試験管に各物質を加え，十分に混合してから①〜⑥の各レーンにのせて電気泳動により分離した。蛍光を検出した結果を図 2 に示す。

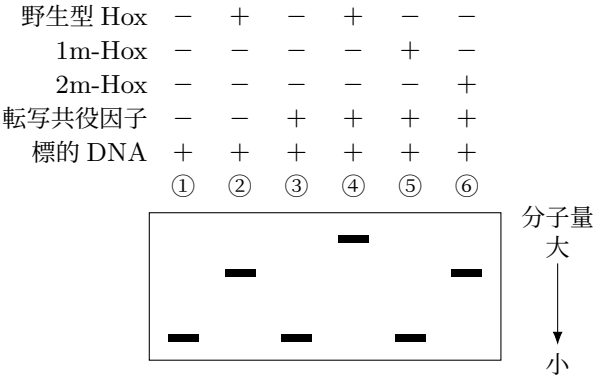


図 2　電気泳動の結果
蛍光標識された DNA はバンドとして検出される。「+」はその物質を加えたことを，「−」はその物質を加えなかったことを，それぞれ示す。

各領域のはたらきを最も適切に述べているものを，以下の (あ)〜(え) より 1 つ選び，記号で答えよ。

(あ) 領域 1 と領域 2 は，いずれも標的 DNA と結合する。
(い) 領域 1 と領域 2 は，いずれも転写共役因子と結合する。
(う) 領域 1 は標的 DNA と，領域 2 は転写共役因子と，それぞれ結合する。
(え) 領域 1 は転写共役因子と，領域 2 は標的 DNA と，それぞれ結合する。

問 4 細胞分裂が正常に行われるために，一連の変化が決まった順序で起こる。体細胞分裂の過程で起こる現象を，Ⅰ群より (あ) を含めて 4 つ選び，(あ) から始めて早く起こる順に左から右へと記号を並べよ。また，Ⅰ群の選択肢 (え) は，M 期（分裂期）のどの段階で起こるか。Ⅱ群より適切なものを 1 つ選び，記号で答えよ。

Ⅰ群：
(あ) 染色体が凝縮して核膜が消失する。
(い) 相同染色体どうしが対合する。
(う) 相同染色体が分かれて両極に移動する。
(え) 染色体が細胞の中央（赤道面）に並ぶ。
(お) 染色体がほどけて核膜が再形成される。
(か) 複製された染色体が 2 つに分かれて両極に移動する。

Ⅱ群：
(a) 前期　(b) 中期　(c) 後期　(d) 終期　(e) S 期　(f) G_2 期

問 5 通常，減数分裂の第 1 分裂では相同染色体どうしが二価染色体を形成したのち，相同染色体は別々の娘細胞に分配される。しかし，相同染色体が分かれず，片方の娘細胞に両方の相同染色体が分配されてしまうことがあり，これを染色体の不分離という。そのため，第 2 分裂が正常に進行しても，染色体が 1 本多い配偶子がつくられる。また，第 1 分裂が正常に進行しても，第 2 分裂において，複製された染色体の両方が片方の娘細胞に分配されてしまうことがある。したがって，第 2 分裂における染色体の不分離によっても，染色体が 1 本多い配偶子がつくられる。このような配偶子が正常な配偶子と受精すると，相同染色体が 3 本ある個体（トリソミー）が生まれる。マウスの 16 番染色体上の 1 つの遺伝子座において，遺伝子 A，B，C はすべて対立遺伝子（アレル）であり，母親の遺伝子型は AB，父親は CC であったとする（図 3）。このとき，トリソミーとなった仔の遺伝子型が「① ABC」と「② BCC」であった場合に，それぞれ染色体の不分離がどちらの親のどの分裂期で起こった可能性があるか。以下の (あ)〜(え) より適切なものをすべて選び，それぞれ記号で答えよ。ただし，減数分裂の過程で，この遺伝子座において相同染色体間の組換えは起こらなかったものとする。同じ記号を用いてもよい。

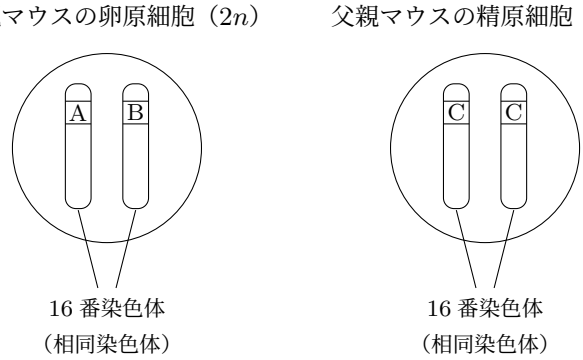


図 3　マウスの細胞における 16 番染色体の模式図
遺伝子 A〜C は 16 番染色体の同じ遺伝子座に存在する対立遺伝子（アレル）である。

(あ) 母親の第 1 分裂
(い) 父親の第 1 分裂
(う) 母親の第 2 分裂
(え) 父親の第 2 分裂

問 6 3 種の生物がもつタンパク質 P（140 個のアミノ酸からなる）を比較し，2 種の生物間で異なるアミノ酸の数を調べた（表 1)。このタンパク質 P について分子時計が成り立ち，生物 X と生物 Y が共通の祖先から分岐したのが約 8000 万年前とすると，3 種の生物の共通の祖先から生物 Z が分岐したのは約何億何千万年前であるか。適切な数字を記せ。
（注）解答欄は「約＿＿億＿＿＿＿千万年前」の形式。

表 1　タンパク質 P における生物種間のアミノ酸置換数

生物種	X	Y	Z
X		18	23
Y			31
Z			

II 代謝に関する下記の文章を読み，各問いに答えよ。

生体内ではさまざまな化学反応が起こっており，これらをまとめて代謝という。代謝は，単純な物質から複雑な物質を合成する［ ア ］と，複雑な物質が分解されて単純な物質を生じる［ イ ］に大別される。こうした反応にともなってエネルギーのやりとりが行われ，その多くに［ ウ ］という物質が使われる。［ ア ］の例として，光エネルギーを利用して有機物を合成する光合成がある。一方，［ イ ］のうち，酸素を使って［ ウ ］を合成するはたらきを呼吸という。

呼吸は，解糖系，クエン酸回路，電子伝達系という 3 つの段階から構成される。生物はさまざまな有機物を呼吸基質として利用するが，たとえばグルコースが呼吸基質となる場合，まず解糖系でグルコースが［ エ ］に分解される。次に，［ エ ］はミトコンドリアの［ オ ］に運ばれ，コエンザイム A と結合して［ カ ］となる。これが［ キ ］と結合してクエン酸回路に入る。解糖系とクエン酸回路で生じた NADH と $FADH_2$ は，電子伝達系で利用される。また，脂肪が呼吸基質となる場合，まず脂肪は［ ク ］と［ ケ ］に分解される。［ ク ］は解糖系に取り込まれ分解される。一方，［ ケ ］は［ コ ］の反応を経て［ カ ］となり，クエン酸回路に入る。

問 1 文中の［ ア ］～［ コ ］にあてはまる語句を，以下の (あ)～(て) より 1 つずつ選び，それぞれ記号で答えよ。

(あ) アセチル CoA　(い) 異化　(う) オキサロ酢酸　(え) 外膜
(お) グリセリン　(か) コハク酸　(き) 酸化的リン酸化　(く) 脂肪酸
(け) ストロマ　(こ) 脱アミノ反応　(さ) 同化　(し) 内膜
(す) 発酵　(せ) ピルビン酸　(そ) β 酸化　(た) 膜間腔
(ち) マトリックス　(つ) AMP　(て) ATP

問 2 細胞に含まれる有機物のうち，炭水化物および核酸を構成する代表的な元素の組み合わせとして最も適切なものを，以下の (あ)～(か) より 1 つずつ選び，それぞれ記号で答えよ。同じ記号を用いてもよい。

(あ) C，H，N　(い) C，H，O　(う) C，H，O，N
(え) C，H，O，P　(お) C，H，O，N，P　(か) C，H，O，N，S

問 3　呼吸で発生した二酸化炭素と消費された酸素との体積比を呼吸商という。

(1) 呼吸基質である炭水化物，タンパク質および脂肪がそれぞれ完全に酸化されるときの化学反応式として適切なものを，以下の (あ)〜(お) より 1 つずつ選び，それぞれ記号で答えよ。ただし，タンパク質が酸化されるときの化学式は，タンパク質を構成するアミノ酸（ロイシン）を用いている。

(あ) $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\,C_3H_6O_3$
(い) $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\,C_2H_6O + 2\,CO_2$
(う) $C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 + 6\,H_2O \rightarrow 6\,CO_2 + 12\,H_2O$
(え) $2\,C_6H_{13}O_2N + 15\,O_2 \rightarrow 12\,CO_2 + 10\,H_2O + 2\,NH_3$
(お) $2\,C_{51}H_{98}O_6 + 145\,O_2 \rightarrow 102\,CO_2 + 98\,H_2O$

(2) 呼吸商の値を大きい順に並べたものを，以下の (あ)〜(か) より 1 つ選び，記号で答えよ。

(あ) 脂肪　＞　炭水化物　＞　タンパク質
(い) 脂肪　＞　タンパク質　＞　炭水化物
(う) 炭水化物　＞　脂肪　＞　タンパク質
(え) 炭水化物　＞　タンパク質　＞　脂肪
(お) タンパク質　＞　炭水化物　＞　脂肪
(か) タンパク質　＞　脂肪　＞　炭水化物

問 4　生体内の化学反応では，さまざまな酵素が触媒としてはたらく。すべての酵素について適切に述べているものを，以下の (あ)〜(お) よりすべて選び，記号で答えよ。

(あ) 細胞内でのみはたらく。
(い) 主成分は炭水化物である。
(う) 特定の物質にしか作用しない。
(え) どの温度でも反応速度は変わらない。
(お) 反応速度は水溶液の pH の影響を受ける。

問 5　呼吸および光合成の電子伝達系は，それぞれミトコンドリアの［ サ ］および葉緑体の［ シ ］で進行する。このとき，電子が電子伝達系を移動する過程で放出されるエネルギーを利用して，H^+ が輸送される。これにより生じた H^+ の濃度勾配にしたがって H^+ が［ ウ ］合成酵素を通過するときに［ ウ ］が合成される。

(1) 文中の［ サ ］，［ シ ］にあてはまる最も適切な語句を，以下の (あ)〜(く) より 1 つずつ選び，それぞれ記号で答えよ。

(あ) 外膜　(い) 細胞質基質　(う) ストロマ　(え) チラコイド内腔
(お) チラコイド膜　(か) 内膜　(き) 膜間腔　(く) マトリックス

(2) 下線部について，ミトコンドリアおよび葉緑体において H^+ が輸送される方向として最も適切なものを，以下の (あ)〜(く) より 1 つずつ選び，それぞれ記号で答えよ。同じ記号を用いてもよい。

(あ) ストロマからチラコイド内腔　(い) ストロマから膜間腔
(う) チラコイド内腔からストロマ　(え) チラコイド内腔からマトリックス
(お) 膜間腔からストロマ　(か) 膜間腔からマトリックス
(き) マトリックスからチラコイド内腔　(く) マトリックスから膜間腔

問 6　光合成では葉緑体に含まれるクロロフィルなどの光合成色素が光エネルギーを吸収する。クロロフィルが最もよく吸収する光の色の組み合わせとして適切なものを，以下の (あ)〜(か) より 1 つ選び，記号で答えよ。

(あ) 黄色光と緑色光　　(い) 青色光と黄色光　　(う) 青色光と赤色光
(え) 青色光と緑色光　　(お) 赤色光と黄色光　　(か) 赤色光と緑色光

III 動物の体内環境の維持に関する下記の文章を読み，各問いに答えよ。

細胞膜は脂質二重層でできているため，水分子を通しにくい。アクアポリン（AQP）は水分子のみを選択的に通過させるチャネルタンパク質であり，細胞膜のような半透性の性質をもつ膜の内外では，浸透圧の差にしたがって水分子がチャネルを通過する。例えば，細胞膜に AQP を発現するヒトの赤血球を低張液に入れると，細胞外から水分子が流入し，赤血球は膨張する。一方，高張液に入れると，細胞内から水分子が流出し赤血球は収縮する。

タンパク質の機能調節の例として，ユビキチン–プロテアソーム系が知られている。あるタンパク質にユビキチンというタンパク質が結合（ユビキチン化）すると，そのタンパク質は細胞内のプロテアソーム（タンパク質分解酵素を含む複合体）により分解される。また，脱ユビキチン化酵素はタンパク質とユビキチンとの結合を切断（脱ユビキチン化）し，プロテアソームによる分解からタンパク質を守るはたらきがある。AQP もユビキチン化や脱ユビキチン化により，その機能が調節されることがある。

カエルは種によって異なる生息域をもち，変態後には水棲（すいせい），陸棲，樹上棲など多様な生活様式を示す。たとえば，アフリカツメガエルは一生のほとんどを水中で過ごす水棲種であり，ニホンアマガエルは主に木の上で生活する樹上棲種である。どちらの生息域のカエルも皮膚の表皮は未発達で，角質層は 1 層しかない。そのため，10 層以上の厚い角質層をもつ哺乳類と比べて，陸上では皮膚から水が蒸発しやすく，体内の水分を失いやすい（図 1）。こうしたリスクに対応するために，カエルは進化の過程で腹側の皮膚から水を取り込むしくみを獲得し，さまざまな環境に適応している。カエルの腹側の皮膚では，表皮細胞に AQP が発現する。AQP の種類によっては，通常は細胞の内部にとどまるが，からだから水分が失われると細胞膜に移動するものもあり，一方で，常に細胞膜に存在するものもある。このときに，腹側の皮膚を水につけることで，細胞膜上の AQP が水に触れ，浸透圧の差にしたがって水が体内に取り込まれる。この分子メカニズムを解明するため，アフリカツメガエルとニホンアマガエルを用いて，以下の各実験を行った。ただし，腹側の皮膚からの水の吸収に関わる可能性のある分子は，AQP-A と AQP-B および脳下垂体から分泌されるホルモン 1，2，3 のみとし，その他の AQP やホルモンについては考えなくてよいものとする。加えて，腹側の皮膚の角質層は全透性であるが，表皮層の細胞膜は半透性であり，AQP を介さなければ水分子は通過できないこととする。さらに，1 分子の AQP-A と AQP-B を通過する水分子の数は単位時間あたりで一定であり，タンパク質ごとの違いは考えなくてよいものとする。また，実験ではカエルの体重を測定するが，体重の変化は水の流入と流出にのみ起因するものとし，その他の要因は考慮しないものとする。体重の測定値には体表に付着した水は含まれないものとする。

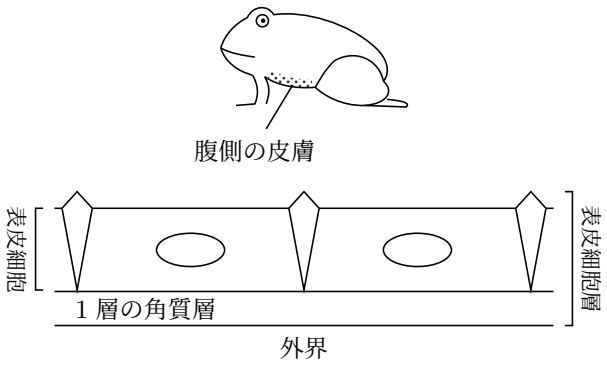


図 1　外界と接する腹側の皮膚の模式図
角質層には皮膚表面を守る機能があり，死んだ表皮細胞により形成される。

【実験 1】アフリカツメガエルとニホンアマガエルを，常に腹側の皮膚が水に浸かる環境で飼育（通常飼育）した。まず，通常飼育したアフリカツメガエルとニホンアマガエルの体重をそれぞれ測定した（実験前）。次に，ホルモン 1，2，3 または生理食塩水を表 1 に示す通りにそれぞれ皮下注射により投与し，30 分間通常飼育した。ホルモン投与後のそれぞれのカエルの体重を測定し，その増加の有無を表 1 にまとめた。さらに，各段階で体重を測定した一部の個体から腹側の皮膚を採取した（実験 2 と 3 で使用するため）。皮膚を採取した個体はそれ以降の実験には使用しなかった。

表 1　各ホルモン投与から 30 分後のそれぞれのカエルの体重変化

	ホルモン 1	ホルモン 2	ホルモン 3	生理食塩水
アフリカツメガエル	×	×	×	×
ニホンアマガエル	×	○	×	×

	ホルモン 1 ＋ ホルモン 2	ホルモン 1 ＋ ホルモン 3	ホルモン 2 ＋ ホルモン 3
アフリカツメガエル	○	×	×
ニホンアマガエル	○	×	○

実験前に測定した体重と比較して，「○」は体重が増加したことを，
「×」は増加しなかったことを，それぞれ示す。

【実験 2】実験 1 で採取した腹側の皮膚から，mRNA を抽出した。各群における表皮細胞あたりの AQP-A および AQP-B の mRNA の発現量を測定し，カエルごとにグラフにまとめた。結果を図 2 に示す。

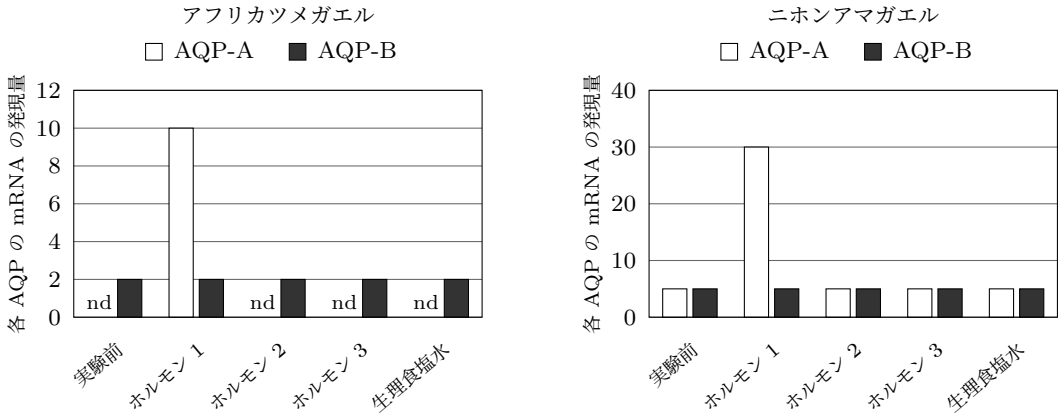


図 2　各ホルモン投与後の腹側の皮膚における AQP-A と AQP-B の mRNA の発現量
ただし，グラフ内の「nd」は AQP-A の mRNA が検出されなかったことを示す。

【実験 3】実験 1 で採取した腹側の皮膚を破砕し，遠心分離機により細胞膜画分（画分 1）とそれ以外の画分（画分 2）に分画した。その後，それぞれの画分に AQP-A のタンパク質が含まれるかを調べた。カエルごとにまとめた結果を表 2 に示す。

表 2　各ホルモン投与後の腹側の皮膚における AQP-A タンパク質の検出

アフリカツメガエル	実験前	ホルモン 1	ホルモン 2	ホルモン 3	生理食塩水
画分 1	−	−	−	−	−
画分 2	−	＋	−	−	−

ニホンアマガエル	実験前	ホルモン 1	ホルモン 2	ホルモン 3	生理食塩水
画分 1	−	−	＋	−	−
画分 2	＋	＋	−	＋	＋

「＋」は AQP-A タンパク質が検出されたことを，
「−」は検出されなかったことを，それぞれ示す。

【実験 4】通常飼育したアフリカツメガエルとニホンアマガエルの体重を測定した（実験前）。続いて，それぞれのカエルを水のない乾燥した環境で 1 時間飼育し，実験前と比較して体重が 10% 減少したことを確認した（脱水後）。その後，通常飼育に戻し，30 分後（回復 1）および 60 分後（回復 2）に体重を測定した。それぞれの測定値を，実験前の体重を 1 としたときの相対値として算出した（図 3）。さらに，各段階で体重を測定した一部の個体から腹側の皮膚と血液を採取した（実験 5〜7 で使用するため）。皮膚と血液を採取した個体は，それ以降の実験には使用しなかった。

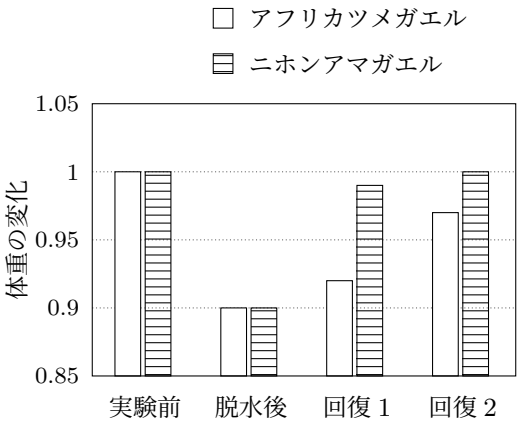


図 3　脱水後に通常飼育に戻した各カエルの体重の経時的な変化
実験前に測定したそれぞれのカエルの体重を 1 としたときの相対値で示している。

【実験 5】実験 4 で採取した腹側の皮膚から，mRNA を抽出した。各群における表皮細胞あたりの AQP-A および AQP-B の mRNA の発現量を測定し，カエルごとにグラフにまとめた。結果を図 4 に示す。

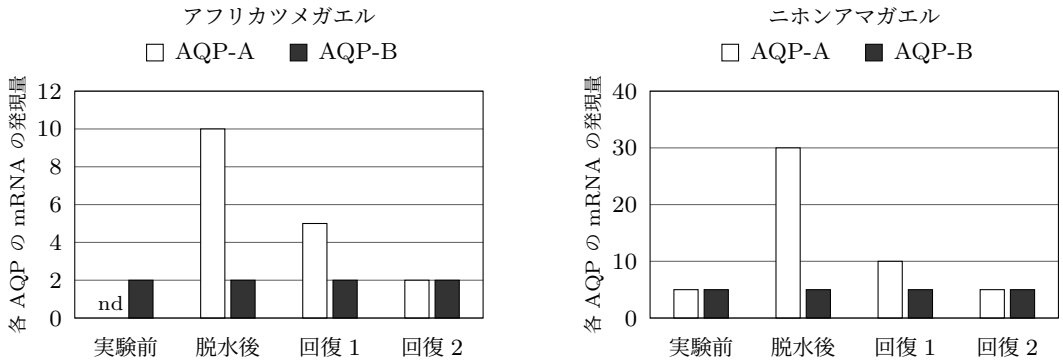


図 4　脱水による AQP-A と AQP-B の mRNA 発現量の変化
ただし，グラフ内の「nd」は AQP-A の mRNA が検出されなかったことを示す。

【実験 6】実験 4 で採取した血液と腹側の皮膚を用意した。血液から血しょうを分離し，血しょう中の浸透圧およびホルモン 1，2，3 の濃度を測定した。さらに，腹側の皮膚の表皮細胞あたりの脱ユビキチン化酵素の量を測定した。浸透圧と各ホルモンの測定結果を表 3 に，脱ユビキチン化酵素の測定結果を表 4 に，それぞれ示す。なお，血しょうの浸透圧はその個体の表皮細胞の浸透圧も表すものとする。

表 3　各カエルの実験前と脱水後の血しょう中の浸透圧と各ホルモンの濃度

動物種	浸透圧（mOsm/L）		ホルモン 1		ホルモン 2		ホルモン 3	
	実験前	脱水後	実験前	脱水後	実験前	脱水後	実験前	脱水後
アフリカツメガエル	260	280	1	5	1	3	1	1
ニホンアマガエル	260	280	1	5	1	3	1	1

浸透圧の単位は mOsm/L である。また，各ホルモンの数値は，それぞれのカエルにおける実験前の血しょう中の各ホルモンの濃度を 1 としたときの相対値で示している。

表 4　各カエルの実験前と脱水後の腹側の皮膚における脱ユビキチン化酵素の量

動物種	脱ユビキチン化酵素	
	実験前	脱水後
アフリカツメガエル	1	3
ニホンアマガエル	1	5

それぞれのカエルにおける表皮細胞あたりの脱ユビキチン化酵素の量を 1 としたときの相対値で示している。

【実験 7】実験 4 で採取した腹側の皮膚を破砕し，遠心分離機により細胞膜画分（画分 1）とそれ以外の画分（画分 2）に分画した。その後，それぞれの画分に AQP-A および AQP-B のタンパク質が含まれるかを調べた。結果を表 5 および表 6 にそれぞれ示す。さらに，脱水後の画分 1 を用いて表皮細胞あたりの AQP-A および AQP-B のタンパク質の量を調べた。結果を図 5 に示す。

表 5　各カエルの腹側の皮膚における AQP-A タンパク質の検出

動物種	画分	実験前	脱水後	回復 1	回復 2
アフリカツメガエル	画分 1	−	＋	＋	＋
	画分 2	−	−	−	−
ニホンアマガエル	画分 1	−	＋	＋	−
	画分 2	＋	−	＋	＋

「＋」は AQP-A タンパク質が検出されたことを，
「−」は検出されなかったことを，それぞれ示す。

表 6　各カエルの腹側の皮膚における AQP-B タンパク質の検出

動物種	画分	実験前	脱水後	回復 1	回復 2
アフリカツメガエル	画分 1	−	＋	＋	＋
	画分 2	−	−	−	−
ニホンアマガエル	画分 1	−	＋	＋	−
	画分 2	−	−	−	−

「＋」は AQP-B タンパク質が検出されたことを，
「−」は検出されなかったことを，それぞれ示す。

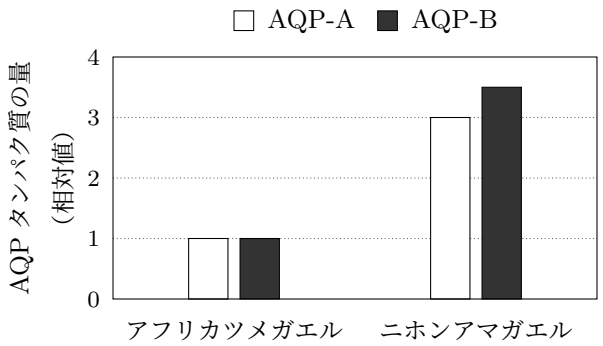


図 5　脱水後の画分 1 における AQP-A および AQP-B のタンパク質の量
アフリカツメガエルの各 AQP の量を 1 としたときの相対値で示している。

【実験 8】アフリカツメガエルの卵母細胞には，ユビキチン–プロテアソーム系が存在することが知られている。アフリカツメガエルの卵母細胞に mRNA を注入すると，注入した mRNA がコードするタンパク質が生成される。卵母細胞に AQP-A と AQP-B の mRNA をそれぞれ単独で，あるいは脱ユビキチン化酵素の mRNA とともに注入した。24 時間後にそれぞれの卵母細胞を破砕し，遠心分離機により細胞膜画分（画分 1）とそれ以外の画分（画分 2）に分画した。その後，それぞれの画分に目的のタンパク質が含まれるかを調べた。結果を表 7 に示す。ただし，卵母細胞にはホルモン 1，2，3 は存在しない。

表 7　アフリカツメガエルの卵母細胞における各 AQP タンパク質の検出

			卵母細胞に注入した mRNA			
			AQP-A	AQP-A ＋ 脱ユビキチン化酵素	AQP-B	AQP-B ＋ 脱ユビキチン化酵素
検出したタンパク質	AQP-A	画分 1	−	−	−	−
		画分 2	＋	＋	−	−
	AQP-B	画分 1	−	−	−	＋
		画分 2	−	−	−	−

「＋」は各 AQP タンパク質が検出されたことを，
「−」は検出されなかったことを，それぞれ示す。

【実験 9】AQP-A あるいは AQP-B を表皮細胞の細胞膜で常に発現するトランスジェニック（Tg）アフリカツメガエルをそれぞれ作製した。これらの Tg アフリカツメガエルにおいては，ホルモン 1，2，3 やユビキチン–プロテアソーム系の影響を受けることなく，導入した各 AQP が細胞膜で発現していた。その結果，いずれの Tg アフリカツメガエルにおいても水が体内に流入し，オタマジャクシの段階で死亡した。

問 1　脱水により引き起こされた現象のうち，両種のカエルに共通するものとして適切なものを，以下の (あ)〜(き) よりすべて選び，記号で答えよ。

(あ) 血しょうの浸透圧が上昇した。
(い) 血しょうの浸透圧が低下した。
(う) AQP-A の mRNA の発現量が増加した。
(え) AQP-B の mRNA の発現量が増加した。
(お) 血しょう中のホルモン 1 の濃度が増加した。
(か) 血しょう中のホルモン 2 の濃度が増加した。
(き) 血しょう中のホルモン 3 の濃度が増加した。

問 2　ニホンアマガエルのホルモン 1，2，3 のはたらきを最も適切に述べているものを，以下の (あ)〜(か) より 1 つずつ選び，それぞれ記号で答えよ。

(あ) AQP-A の mRNA の発現量を増加させる。
(い) AQP-A の mRNA の発現量を減少させる。
(う) AQP-A タンパク質を細胞膜へ移動させる。
(え) AQP-B タンパク質の生成を促進する。
(お) AQP-B タンパク質の生成を阻害する。
(か) あてはまるはたらきが (あ)〜(お) にはない。

問 3　各カエルの AQP-A について最も適切に述べているものを，以下の (あ)〜(か) より 2 つずつ選び，それぞれ記号で答えよ。同じ記号を用いてもよい。

(あ) 通常飼育下（実験前）では，細胞膜に存在する。
(い) 通常飼育下（実験前）では，細胞膜以外の場所に存在する。
(う) 通常飼育下（実験前）では，発現が検出されない。
(え) 体重が 10% 減少した状態（脱水後）では，細胞膜に存在する。
(お) 体重が 10% 減少した状態（脱水後）では，細胞膜以外の場所に存在する。
(か) 体重が 10% 減少した状態（脱水後）では，発現が検出されない。

問 4　実験 4 において水棲種のアフリカツメガエルが樹上棲種のニホンアマガエルよりも体重の回復が遅かった理由を最も適切に述べているものを，以下の (あ)〜(お) より 1 つ選び，記号で答えよ。

(あ) アフリカツメガエルでは血しょうの浸透圧の上昇に応じて，ホルモン 3 の分泌量が増加し，AQP-B の発現を阻害したため。
(い) ニホンアマガエルでは素早く水吸収を行うために，常に表皮細胞の細胞膜に AQP-A と AQP-B タンパク質が存在していたため。
(う) 脱水後のアフリカツメガエルでは，表皮細胞の細胞膜に存在する AQP-A と AQP-B タンパク質の量が，ニホンアマガエルよりも少なかったため。
(え) アフリカツメガエルでは血しょうの浸透圧の上昇に応じた脱ユビキチン化酵素の合成が起こらず，AQP-A がプロテアソームにより分解されたため。
(お) 血しょうの浸透圧が，脱水後のアフリカツメガエルでは脱水後のニホンアマガエルよりも低く，AQP-A タンパク質の細胞膜への移動が阻害されたため。

問 5　実験 9 の結果から，水中で生活するアフリカツメガエルのオタマジャクシの表皮細胞の細胞膜に AQP が常に発現すると，過剰な水の流入により個体が死亡することが分かった。水中で生活するアフリカツメガエルでは，どのようなしくみにより体内への過剰な水の流入が防がれているのか。以下の語句をすべて用いて，それぞれの AQP タンパク質の発現制御および機能調節のしくみをふまえて説明せよ。

用いる語句：　AQP-A，　AQP-B，　脱ユビキチン化酵素，　細胞膜