

# 生 物

解答は解答用紙の所定の欄に記入すること。

## I 以下の文を読み、問1～7に答えなさい。

魚類の鰓は水中の酸素 ( $O_2$ ) と体内の二酸化炭素 ( $CO_2$ ) を交換するだけでなく、体液の浸透圧調節を行う器官でもある。淡水生の硬骨魚では、体液の浸透圧はサカナを囲む外液の浸透圧よりも高い。したがって、体内に水が浸透し、塩類は失われやすい。そのため、塩類濃度の薄い尿を多量に排出することで体内の水の量を調節し、不足する塩類は鰓にある塩類細胞の働きによって外液から吸収する。この塩類細胞には2つのしくみが備わっている。1つは、赤血球にあるしくみと同じで濃度差にさからってカリウムイオン ( $K^+$ ) を細胞内に運び込み、ナトリウムイオン ( $Na^+$ ) を細胞外に運び出すポンプ (P1 とする) である。もう1つは、水素イオン ( $H^+$ ) を細胞外に運び出すポンプ (P2 とする) である。P1 と P2 のエネルギー源はともに ATP である。そのほかに  $Na^+$  を通過させるイオンチャネル (C1) と  $K^+$  を通過させるイオンチャネル (C2) がある (図1)。

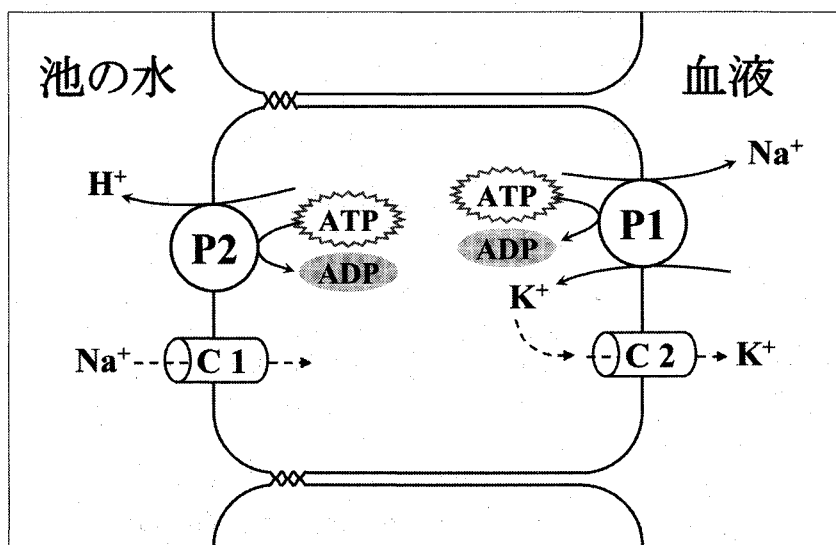


図1 淡水魚が鰓の塩類細胞によってナトリウムイオンを吸収するしくみ

塩類細胞の表面にはポンプ P2 とイオンチャネル C1 があり池などの淡水に接している。

細胞の基底部にはポンプ P1 とイオンチャネル C2 があり血管内の血液に接している。

これらの働きによってナトリウムイオンが吸収される。

問1 P1 や P2 が働くためのエネルギーは ATP のどの部分にあるか答えなさい。

問2 図1に示した塩類細胞の内部では水素イオンが多量に生成されている。これはこの細胞に豊富に存在する2つの分子が反応して生成される。それらを分子式で示しなさい。

問3 塩類細胞では非常に多くの ATP が P2 のために使われ、陽電荷を持つ水素イオンが1つ運び出されるとナトリウムイオンが C1 から1つ流入する、と考えられている。細胞内にナトリウムイオンが流入する原因を考えなさい。

問4 塩類細胞はそのほかの細胞と比べて、ある種の細胞小器官が非常に多く備わっているのが特徴である。その器官を答えなさい。

ポンプP1の働きを調べるため、同様のポンプが備わっているヒトの赤血球を用いて実験した。赤血球を生理食塩水に浮遊させ、さらに4℃に保つことによってポンプP1の働きを止め、細胞内のイオン組成を変化<sup>(5)</sup>させておいた。次に、このようにしておいた赤血球を37℃に温めた生理食塩水中に移動し、細胞内のナトリウムイオンとカリウムイオン濃度を移動直後から時間経過を追って測定したところ、両者のイオン濃度にほとんど変化はなかった<sup>(6)</sup>（実験群1、図2）。ところが、別の実験群（実験群2）の赤血球を用い、移動2時間後にカリウムを赤血球の浮遊溶液に加えると、赤血球内のナトリウムイオンは減少し、カリウムイオンは増加した<sup>(7)</sup>。さまざまなイオン濃度（1—32 mM）になるようにカリウムを加えたが、この濃度と赤血球内のナトリウムやカリウムの濃度変化の大きさとの間には一定の関係は見出されなかった。しかし、ナトリウムイオン濃度の減少とカリウムイオン濃度の増加の比率は3：2であることがわかった。（注：浮遊溶液の浸透圧は変化しないようにカリウムを加えることができるものとする。）

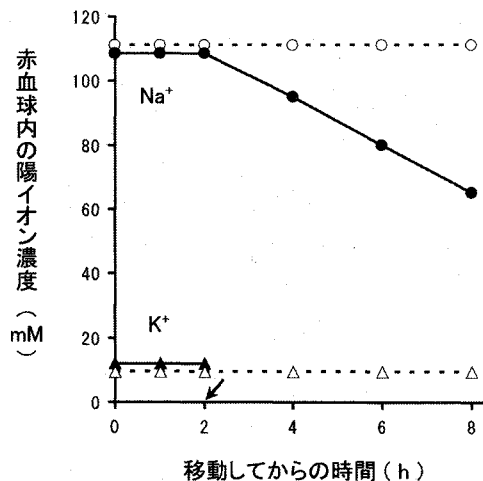


図2 37℃の生理食塩水中に移動したヒト赤血球のナトリウムイオンとカリウムイオンの濃度変化  
実験群1；ナトリウムイオン（○），カリウムイオン（△）  
実験群2；ナトリウムイオン（●），カリウムイオン（▲）  
実験群2では、2時間後（矢印で示した時点）にカリウムを加えている。ナトリウムイオン濃度については、その後の変化を直線も添えて示してある。

問5 下線（5）の変化は細胞膜を越えて物質が移動した結果である。これを可能にするしくみを何と呼ぶか答えなさい。また、赤血球内のナトリウムイオン、カリウムイオンの量はそれぞれどのように変化するか答えなさい。

問6 下線（6）で変化しないのはなぜか、考えなさい。

問7 下線（7）のようすをナトリウムイオンについては図2に●と直線で示してある。これに対し、カリウムイオンはどのように変化するかを解答欄の図中に▲と直線で示しなさい（カリウムを加えてから2時間ごとに測定している。ナトリウムイオンの場合との違いが分かるように示すこと）。

II 以下の文を読み、問1－7に答えなさい。

三胚葉性動物は、新口（後口）動物と旧口（前口・先口）動物に分けられる。魚類などの新口動物では、背側に中枢神経（脊髄）があり、腹側に血管（心臓）・消化管がある。逆にエビなどの旧口動物では背側に血管（心臓）・消化管が、腹側に中枢神経がある。実際、料理のさいに、アジは「はらわた」をとるのに対し、クルマエビは殻をむいて「背わた」をとる。最近、アフリカツメガエルやショウジョウバエの発生過程において、背腹を決めるタンパク質群が見つかった。これらは新口動物と旧口動物の両方に対応するものがあるため、両者の共通祖先から受け継がれていると考えられる。

【実験Ⅰ】アフリカツメガエルの初期胚で作られ、消化管などの形成を誘導する分泌タンパク質Bと、神経などの形成を誘導する分泌タンパク質Cについて、初期胚における分布とアミノ酸配列を調べた。

結果：タンパク質Bは腹側領域から分泌されており、約400個のアミノ酸配列からなっていた。また、タンパク質Cは背側領域から分泌されており、約900個のアミノ酸配列には、特徴的なアミノ酸配列が4回繰り返されていた（図1左）。

【実験Ⅱ】ショウジョウバエの初期胚で作られ、消化管などの形成を誘導する分泌タンパク質Dと、神経などの形成を誘導するタンパク質Sについて、初期胚における分布とアミノ酸配列を調べた。結果：タンパク質Dは背側に認められ、約600個のアミノ酸配列は、タンパク質Bのアミノ酸配列との類似性が認められた。一方、タンパク質Sは腹側に分布しており、約1000個のアミノ酸配列からなり、タンパク質Cに見出されたのと同様に特徴的なアミノ酸配列が4回繰り返されていた（図1右）。

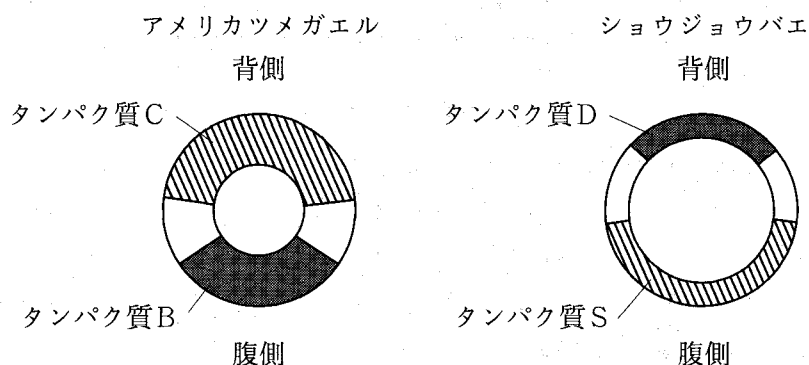


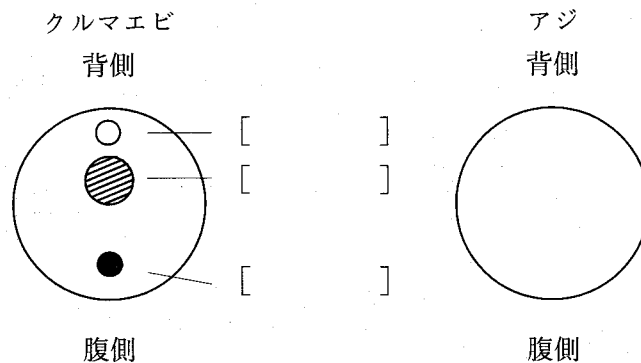
図1 アフリカツメガエルとショウジョウバエの初期胚における背腹を決定するタンパク質の分布

問1 次のなかから 旧口動物を2つ選び、動物名とそれぞれの属する門の名称を書きなさい。

アメーバ、イソギンチャク、ウニ、エイ、カイメン、クラゲ、コイ、ナマコ、  
ナメクジウオ、ニホンザル、ヒトデ、ホヤ、ミジンコ、ミミズ

問2 旧口動物と新口動物の違いを説明しなさい。

問3 下の例は、クルマエビの断層像における心臓、消化管、中枢神経の位置の模式図である。図中の [ ] にそれぞれ、心臓、消化管、中枢神経のどれかの語句を入れなさい。また、クルマエビの例にならってアジの断層像を模式的に示しなさい。さらに、脊椎骨の位置を×印で示しなさい。



問4 下の(a)から(d)の文中の [ ] に、神経か消化管のどちらかの語句を入れ、実験Ⅰ、Ⅱの結果と矛盾しない文にしなさい。

- (a) タンパク質Dはショウジョウバエの初期胚で、[ ] などの背側器官を誘導する。
- (b) タンパク質Cをアフリカツメガエルの初期胚の腹側に作用させたところ [ ] が形成された。
- (c) タンパク質Sをショウジョウバエの初期胚の背側に作用させたところ [ ] が形成された。
- (d) タンパク質Cをショウジョウバエの初期胚の背側に作用させたところ [ ] が形成された。

問5 タンパク質Cは、タンパク質Bの作用を抑制することが知られている。抑制機構として最も考えにくいものを下の選択肢a—dから選びなさい。

- (a) タンパク質Cは、タンパク質Bの遺伝子を突然変異させる。
- (b) タンパク質Cは、タンパク質Bが標的細胞の受容体に結合するのを阻害する。
- (c) タンパク質Cは、タンパク質Bの受容体の細胞内シグナルを抑制する。
- (d) タンパク質Cは、タンパク質Bを分解する。

問6 次の文章の [ a ] と [ b ] に適当な語句を入れなさい。

クルマエビの消化管と、アジの消化管とは外見や解剖学的位置が大きく異なるが、発生過程の分子機構の解析により、基本的に同じものとみなすことができる。つまり両者は、[ a ] 器官であるといえる。一方で、多くの三胚葉性動物の口の位置は、腹側であることが多い。これは、同じような生活様式に適応することによって、よく似た口の位置をもつように進化したと考えられ、[ b ] 進化とみなすことができるかもしれない。

問7 クルマエビとアジの断層像と、アフリカツメガエルとショウジョウバエで見つかった背腹を決めるタンパク質の分布から、新口動物と旧口動物の進化の過程で何がおこったか、考えなさい。

Ⅲ 以下の文を読み、問1－6に答えなさい。

ヨツヒメゾウリムシは2つの小核と1つの大核を持つ。小核は複相 ( $2n$ ) で、遺伝子発現をほとんど行わない。一方、大核では染色体の複製が繰り返されて大型化し、生活に必要な遺伝子発現のほぼ全てを担う。ヨツヒメゾウリムシは普段、分裂によって増殖するが、やがて分裂能力が失われてくる。このような状況になると、接合により次世代が作られ、分裂能力が回復する。このようなヨツヒメゾウリムシの生活環を図1に示した。図の①～⑨に沿って順番に説明する。通常の状態では、ゾウリムシは分裂によって増殖する①。接合に際しては、2つの小核がそれぞれ減数分裂し<sub>(ア)</sub>、8つの単相 ( $n$ ) の核を作る②。その内7つは消失するが、ランダムに選ばれた1つだけが残る③。これがヒトなど多くの動物の減数第二分裂における核分裂<sub>(イ)</sub>と同様の方法によりさらに2つの単相の核に分裂し④、そのうちの1つが個体間で交換され⑤、個体内に残ったもう一方の核と融合して複相に戻る⑥。これを接合と呼ぶ。

一方、接合する相手が見つからない場合や特殊な環境にさらされた場合には、④の\*で示した2核が、単一個体内で融合して複相となる⑥。この現象をオートガミーと呼ぶ。

接合、あるいはオートガミー後の核分裂によって生じた4つの生殖核 ( $2n$ ) のうち⑦、2つが小核、残りの2つは大核に分化する⑧。接合後の第一回目の分裂で、小核は分裂して2つの細胞に分配されるが、大核は分裂せずに分配される⑨。接合あるいはオートガミー後、旧大核は断片化し、やがて消失する。

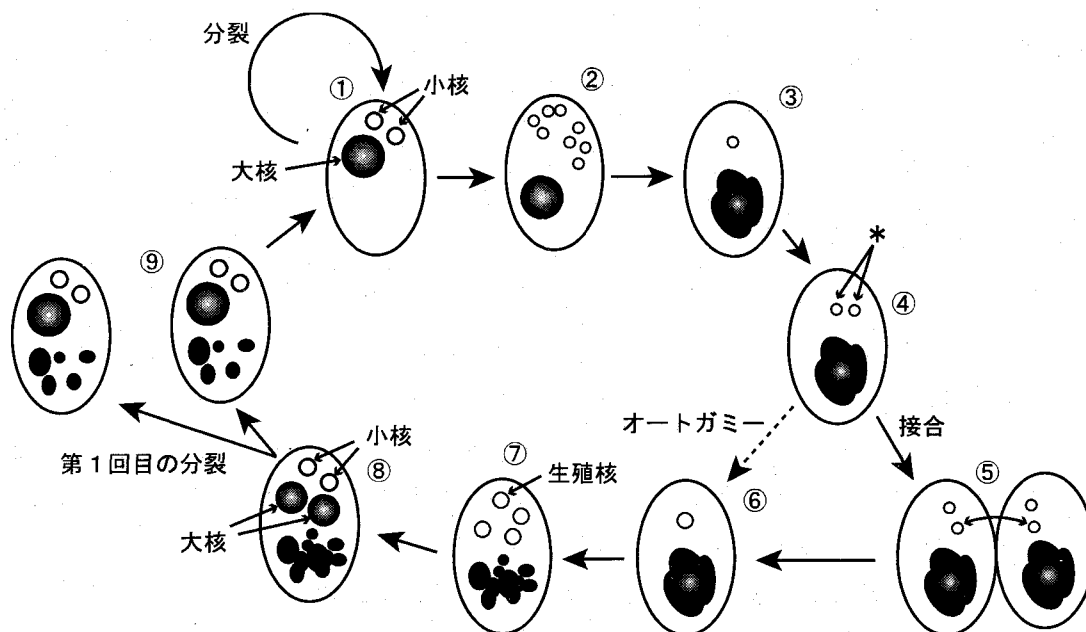


図1 ヨツヒメゾウリムシの生活環

問1 ゾウリムシは独特に発達した細胞小器官をもち、単細胞生物でありながら、その構造は決して単純ではない。以下の説明にあう小器官の名称を答えなさい。

- a. 水や老廃物の排出に使われる。
- b. 遊泳するために使われる。
- c. 食物の消化に使われる。

問2 ゾウリムシは分裂によって増殖する無性生殖と、接合によって次世代を作る有性生殖の両方を行うことができる。無性生殖は配偶子を作ることなく親のクローンを産み出す生殖法である。下の生物の中で、無性生殖を行う生物をすべて挙げなさい。

アオカビ、アリマキ、イトヨ、ウニ、オニユリ、  
ヒト、ヒドラ、ミジンコ、ミズクラゲ、ミツバチ

問3 ヨツヒメゾウリムシの生活環に関して以下の問a, bに答えなさい。

- a. 文中の下線部（ア）に関して、ヨツヒメゾウリムシの小核は減数分裂を行う核である。これに相当する核を持つヒトの細胞は何と呼ばれるか。男性と女性のそれぞれの例を挙げて答えなさい。
- b. 文中の下線部（イ）に関して、減数第一分裂と第二分裂はどのような違いがあるか、染色体の数と分配の仕方に注目し、簡潔に答えなさい。

「次のページは問4—6に続く」

【実験】ヨツヒメゾウリムシには、ある表面抗原が発現している（図2 黒丸）。X線照射により突然変異を誘発し、その後、この集団にオートガミーを起こさせることで<sup>(ウ)</sup>、この表面抗原を発現できなくなる突然変異株を樹立した。その遺伝様式を確かめるため、野生型と接合させ F1 を得たところ、これらはすべて表面抗原を発現していた（図2）。つまり、この変異は劣性であるので、野生型遺伝子 A に対しこの突然変異遺伝子を a とする。さらに、得られた F1 にオートガミーを起こさせ、F2 を得た<sup>(エ)</sup>。

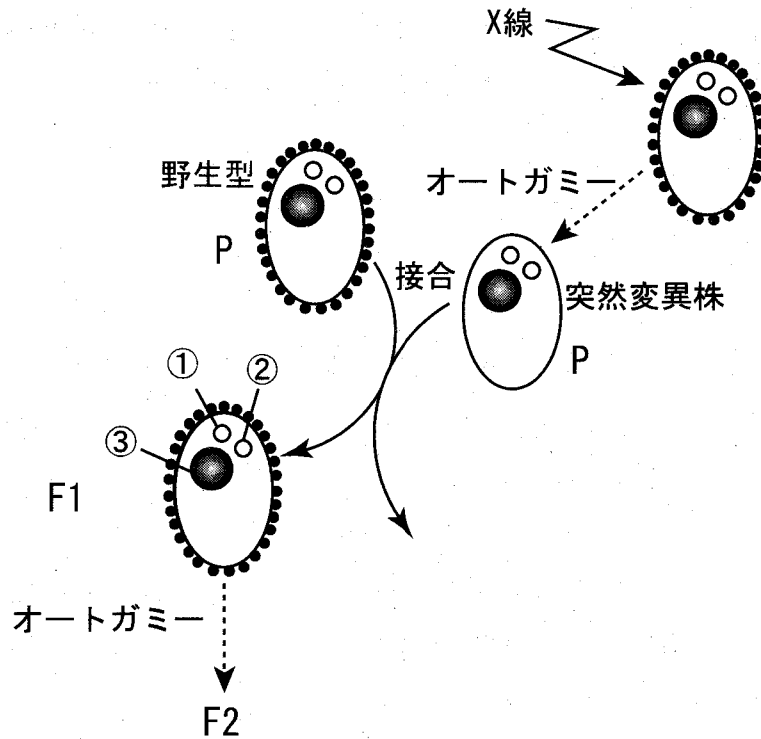


図2 突然変異株の樹立，および野生型との接合実験の模式図

ゾウリムシ周囲の黒丸は，表面抗原を表す。

P 親世代， F1 雑種第1代， F2 雑種第2代

問4 下線部(ウ)に関して、以下の問a, bに答えなさい。

- a. X線照射は小核にも大核にも突然変異を起こさせるが、どちらの突然変異が突然変異株の樹立に寄与できるか。理由とともに簡潔に答えなさい。
- b. X線照射後にオートガミーを起こさせることで、突然変異株を効率良く樹立することができる。その理由を答えなさい。

問5 図2のF1における小核①と②、および大核③の遺伝子型を答えなさい。ただし、大核は遺伝子が増幅しているため、たとえば遺伝子Aのホモ接合の場合には(AA)<sub>n</sub>のように答えなさい。

問6 下線部(エ)に関して、このF2においては、表面抗原を発現するものが全体の何パーセントを占めるか。数字で答えなさい。