

生 物

1 次の文章を読んで下の質問に答えなさい。

真核生物の細胞は体細胞分裂により増殖する。この分裂では元と同じ細胞を2つ作る必要があるの
で、1回の分裂に先立ってDNA複製が正確に1回行われる。S期に複製されたDNA同士（後に凝縮
して姉妹染色分体となる）は、特殊なタンパク質（コヒーシンという姉妹染色分体結合タンパク質）
により結合している。M期に入るとクロマチンが凝縮して染色体が形成され、多くの場合で核膜の崩
壊が起こる。染色体のくびれた部分には動原体が
形成される。動物細胞の場合、紡錘体の2つの極
（中心体）を起点に多数の微小管が形成され、その
一部が中期までに動原体に結合し、染色体が赤道
面に整列する（図1-1）。後期に入ると姉妹染色分
体結合タンパク質が分解されて染色分体が解離
し、また動原体に結合した微小管が短縮して各染
色分体は紡錘体の両極へ移動してゆく。これによ
り複製されたDNAが均等に娘細胞に分配される。

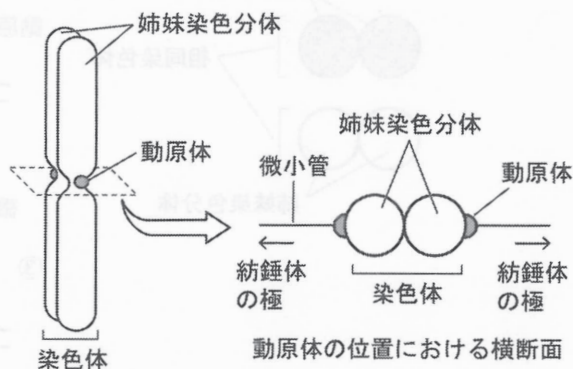


図1-1

私達のような有性生殖を営む複相（二倍体）の生物では、減数分裂という特別な細胞分裂によって
単相（一倍体）の配偶子を作り出す。従って減数分裂においては、全ての相同染色体を1本ずつ娘細
胞に分配することが課題となる。減数分裂では1回のDNA複製に続いて分裂が2回連続し、第一分
裂で相同染色体が、第二分裂で姉妹染色分体がそれぞれ娘細胞に分配される。第一分裂前期には相同
染色体の対合が起こる。このとき、姉妹染色分体同士は姉妹染色分体結合タンパク質で結合している
が、相同染色体同士は相同染色体間の乗換え（交叉）によって形成されるキアズマなどにより連結し
ている。対合に際しては相同染色体同士が相手を正しく見つけて近接する必要があるが、それがどの
ように実現しているのかについては、いまだ不明な点が残されている。

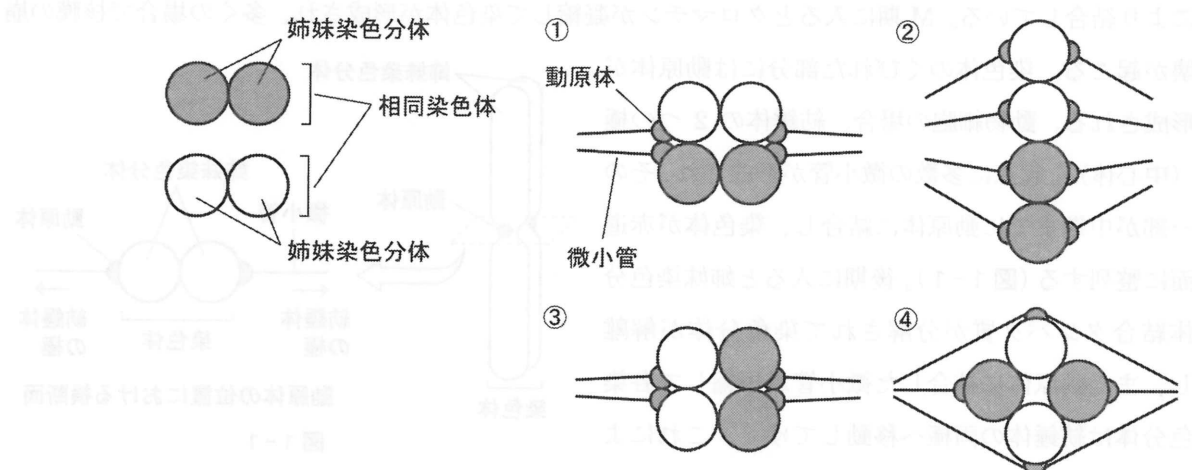
〔1〕 ヒトの体細胞において、姉妹染色分体同士と相同染色体同士で、塩基配列の大小関係
はどのようなものか（完全一致を100%とする）。最も適当なものを1つ選びなさい。

- | | |
|----------------------|----------------------|
| ① 相同染色体同士 = 姉妹染色分体同士 | ② 相同染色体同士 < 姉妹染色分体同士 |
| ③ 相同染色体同士 > 姉妹染色分体同士 | ④ どちらも決まらない |

〔2〕 減数分裂について以下の問に答えなさい。

- 1) 乗換えは第一分裂において相同染色体を連結するほか、形成される配偶子の遺伝情報の組
成にも影響を及ぼす。それはどのようなものか、2行以内で説明しなさい。

- 2) 図 1-1 に示したように、体細胞分裂において紡錘体の中での染色体や動原体の配置は、姉妹染色分体を娘細胞へ分配するのに適したものとなる。それでは減数分裂の第一分裂中期における相同染色体、動原体および微小管の配置として適切なのはどれか、下の①～④から選びなさい。選択肢は図 1-1 と同じく動原体の位置での横断面であり、姉妹染色分体同士を同色で、相同染色体間を異色で表している。また紡錘体の極（中心体）は図 1-1 と同じく図の左右方向にあるものとする。なお、動原体の配置は、減数分裂の第一分裂と、体細胞分裂および減数分裂の第二分裂とでは異なる。



- 3) ヒトの減数分裂において、正常な数の染色体を持つ細胞から配偶子がつくられるとき、染色体の分配の仕方は何通り考えられるか。含まれる範囲を下の①～⑧から選びなさい。必要があれば $\log_{10} 2 = 0.30$ を用いなさい。なお乗換えは考慮しない。

- ① 100 以上 1000 未満 ② 1000 以上 1 万未満 ③ 1 万以上 10 万未満
 ④ 10 万以上 100 万未満 ⑤ 100 万以上 1000 万未満 ⑥ 1000 万以上 1 億未満
 ⑦ 1 億以上 10 億未満 ⑧ 10 億以上

〔3〕分裂酵母（単細胞の真核生物）は生育に適した環境では一倍体で増殖するが、窒素源が枯渇すると接合（細胞融合）と核融合を通じて二倍体核を生成し、減数分裂により胞子を形成する（図

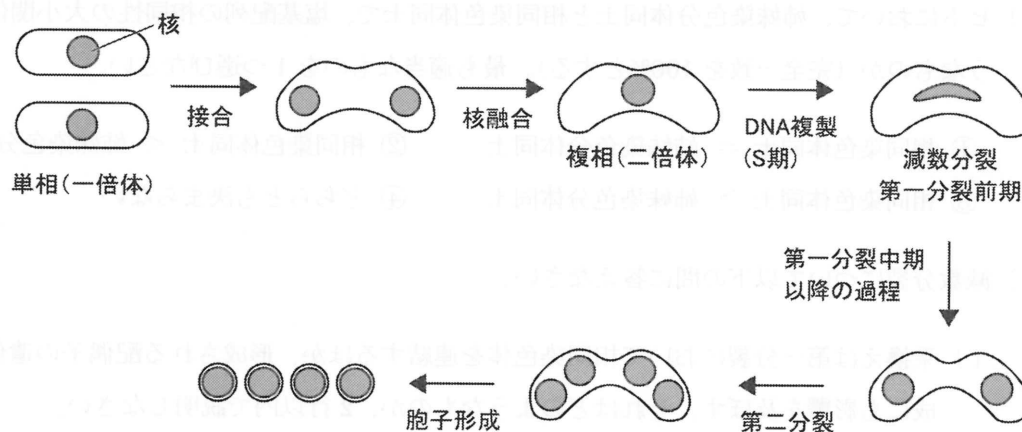


図 1-2

1-2)。減数分裂の第一分裂前期における相同染色体の対合に際しては、各染色体の両端（テロメア）が特殊なタンパク質を介して核膜の内面に結合し、テロメアが紡錘極体（動物細胞の中心体によく似た構造）近くに集合して染色体を花束のようにまとめたテロメアブーケという形状を示す（図 1-3、一对の相同染色体のみ示す）。相同染色体の対合について、分裂酵母で

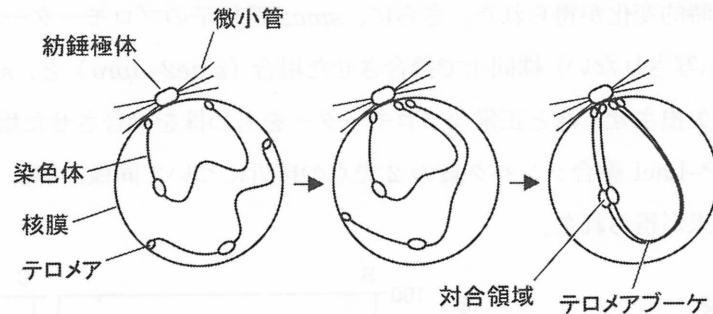


図 1-3

は 2 番染色体について研究が進んでいる。それによると、2 番染色体において *sme2* RNA という非翻訳 RNA (タンパク質の一次構造の情報を持たない RNA) を指定する DNA の領域が、まず互いに接近して対合領域を形成し（図 1-3）、2 番染色体の速やかな相互認識と対合が進むことが分かってきた。以下に、このことに関連した研究の一部を示す。なお、*sme2* 遺伝子の DNA 領域の接近、対合領域の形成そのものは乗換えを必要としないことが分かっている。

[実験 1] 2 番染色体の *sme2* 遺伝子座のすぐ上流、*sme2* RNA の転写を妨げない位置に、*lacO* という塩基配列（ラクトースオペロンに由来）の繰り返し配列を挿入した分裂酵母を作出した（図 1-4A）。個々の *lacO* には LacI というタンパク質が特異的に結合する。この酵母に、さらに緑色蛍光タンパク質（GFP）と LacI の融合タンパク質を発現させた。これにより、生きた細胞で *lacO* に結合した GFP-LacI 融合タンパク質を蛍光顕微鏡下で緑色の点として観察できるようになった。

この酵母を窒素源枯渇条件下で接合以降の過程を観察したところ、単相の核に 1 点ずつ緑色蛍光を認め、その 2 点が核融合を経て近付き、次第に 1 点として観察されるようになった（図

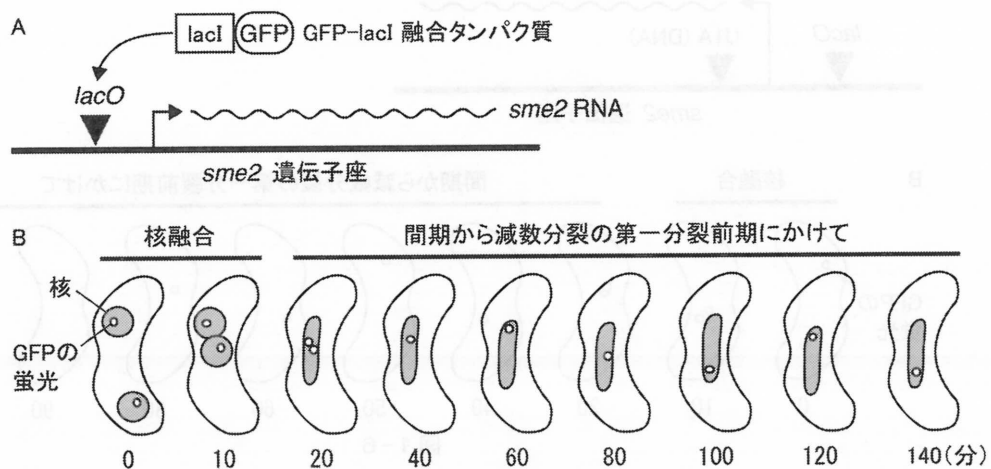


図 1-4

1-4B)。なお、GFP-LacI 融合タンパク質そのものに凝集する性質はない。2 光点が $0.35\ \mu\text{m}$ 以下に接近したものを対合成立と見なし、正常な *sme2* 遺伝子座をもつ株 (正常 *sme2*) (図 1-5A) 同士および *sme2* 遺伝子座を欠損させた株 (Δsme2) 同士で接合させ、GFP-LacI 融合タンパク質の 2 光点が $0.35\ \mu\text{m}$ 以下に接近しているものの割合を調べたところ、図 1-5B のような経時変化が得られた。さらに、*sme2* 遺伝子のプロモーター領域を欠損させた (*sme2* RNA が転写されない) 株同士で接合させた場合 (*sme2*- Δpro) と、*sme2* 遺伝子のプロモーター領域を欠損させた株と正常なプロモーターをもつ株を接合させた場合 (*sme2*- Δpro hetero) とで GFP-LacI 融合タンパク質の 2 光点の接近について同様に解析したところ、図 1-5C のような結果が得られた。

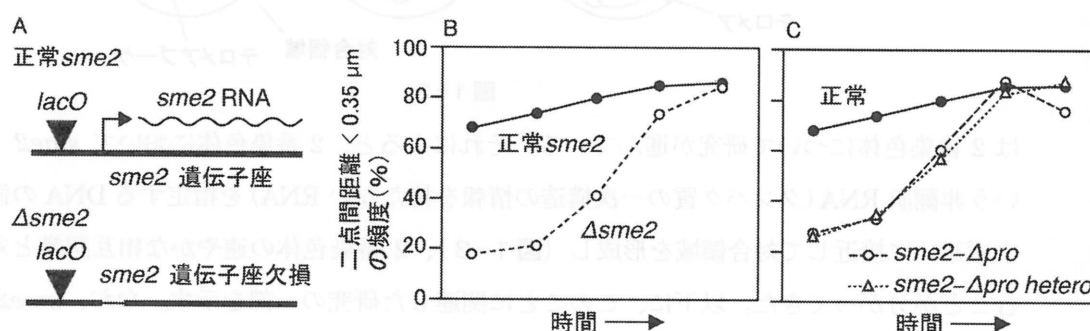


図 1-5

[実験 2] *sme2* RNA の 1 番目の塩基の直前に U1A という配列をもつ RNA が転写されるように、ゲノムに U1A の配列を挿入した分裂酵母を作出した。転写された U1A には U1Ap というタンパク質が特異的に結合する (図 1-6A)。この酵母に GFP-U1Ap 融合タンパク質を発現させて蛍光顕微鏡で観察したところ、間期から減数分裂の第一分裂前期に、GFP-U1Ap 融合タンパク質の集積を示す 2 点が次第に接近し、やがて 1 点となることが確認された (図 1-6B)。なお、GFP-U1Ap 融合タンパク質そのものに凝集する性質はない。

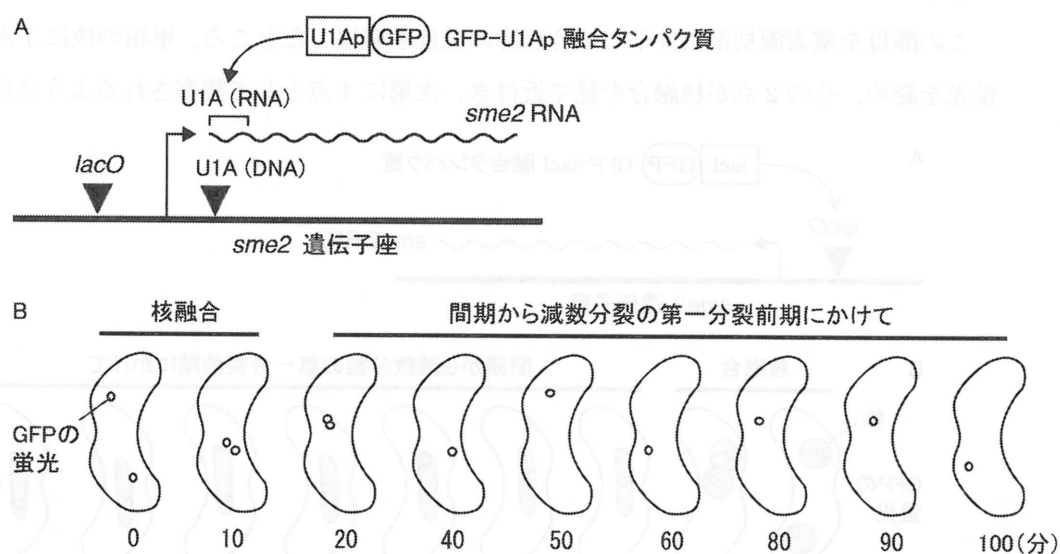


図 1-6

[実験 3] *sme2* RNA に相補的な塩基配列をもつ RNA を赤紫色の蛍光物質で標識した (以後

プローブと称する)。実験 1 で得られた、正常な *sme2* 遺伝子座の上流に *lacO* 配列をもつ分裂酵母に GFP-LacI 融合タンパク質(緑色)を発現させ、さらに間期から減数分裂の第一分裂前期に *sme2* RNA とプローブ間の塩基対を形成させ *sme2* RNA の局在を観察した。様々なタイミングで試料を作成し、時

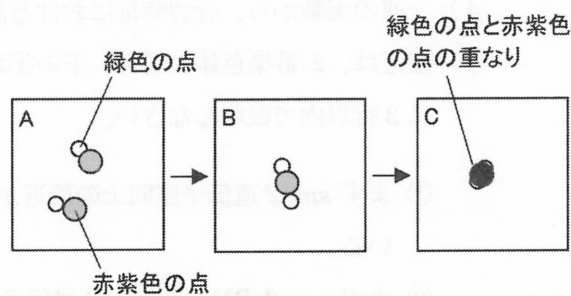


図 1-7

系列に沿って解析したところ、最初緑色の点とこれに近接した *sme2* RNA の集積を反映する赤紫色の点が細胞あたり 2 組観察された (図 1-7 A)。この 2 組は互いに接近し、やがて赤紫色の点は 1 つになり、緑色の 2 点がそれを挟む配置を示した (図 1-7 B)。最後に緑色の点と赤紫色の点が重なる様子が観察された (図 1-7 C)。

1) 光学顕微鏡の分解能 (識別できる 2 点間の最小距離) に最も近いのはどれか。

- ① 2 mm ② 0.2 mm ③ 0.2 μ m ④ 0.2 nm

2) 実験 1 の解釈として適切なのはどれか、下の①～⑤から 2 つ選びなさい。

- ① *sme2* 遺伝子が存在しないと、元々この遺伝子が存在した領域における相同染色体間の接近は全く起こらない。
- ② *sme2* 遺伝子が存在しないと、元々この遺伝子が存在した領域における相同染色体間の接近は野生型よりも遅れるが、最終的には接近する。
- ③ 一方の *sme2* 遺伝子からの *sme2* RNA の転写があれば、この領域における相同染色体間の接近が促進される。
- ④ 両方の *sme2* 遺伝子からの *sme2* RNA の転写があれば、この領域における相同染色体間の接近が促進される。
- ⑤ *sme2* 遺伝子が存在すれば、*sme2* RNA の転写が無くてもこの領域における相同染色体間の接近が促進される。

3) 実験 2、3 から、*sme2* RNA は転写後どのように分布もしくは移動して機能するか、mRNA の場合と比較しつつ、両者の違いが明確に分かるよう 2 行以内で説明しなさい。

- 4) 一連の実験から、分裂酵母における減数分裂時の対合に先立つ相同染色体同士の速やかな接近は、2 番染色体の場合、下の①および②のいずれの説明が妥当か、判断の根拠とともに 3 行以内で説明しなさい。

- ① まず *sme2* 遺伝子座同士の接近が起こり、続いて *sme2* RNA が遺伝子座上に集積している。
- ② まず *sme2* RNA が *sme2* 遺伝子座に集積し、続いてそれらが 1 箇所に集まり、同遺伝子座同士の接近が起きている。

2 次の文章を読んで下の質問に答えなさい。

心臓は a 血液を全身に送るポンプの役割をもつ。ヒトの心臓は 4 つの部屋に分かれており (図 2-1 A~D)、左右は中隔と呼ばれる壁により隔てられている。全身を巡り心臓に戻ってきた血液は、一旦肺に送られる。肺ではガス交換が行われ、酸素を含んだ血液が心臓に戻る。その血液はまた心臓から全身に送り出される。 b 心臓壁は内側から心内膜、心筋層、心外膜の 3 層構造となっており、 c 心筋は自動能 (意思とは関係なく拍動できる) をもち、収縮に適した固有心筋と、興奮の発生と伝導に適した特殊心筋とから成る。

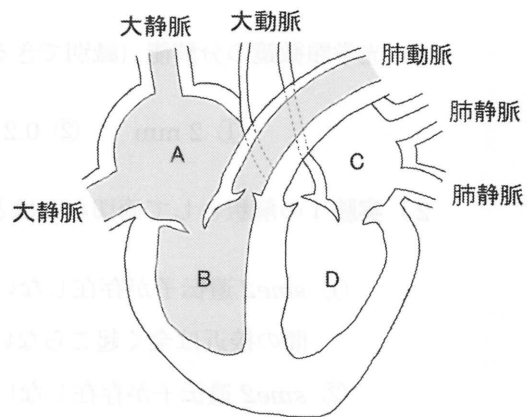


図2-1

a 胎児における血液循環は出生後とは異なる点がある。母体と胎児の物質交換は胎盤で行われる。胎盤と胎児をつなぐ臍帯 (へその緒) には、胎児から胎盤に向かう臍動脈と、胎盤から胎児に戻る臍静脈が通る。胎児において不要となった物質などは、臍動脈を流れる血液を通じて胎盤へ送られ、母体へ渡される。反対に胎児が必要な栄養などは胎盤で母体から胎児の血液に渡され、その血液は臍静脈を通して胎児に戻る。臍静脈から心臓へ送られてきた血液は、図 2-1 A に入り、A と C の間の中隔にある卵円孔^{らんえんこう}と呼ばれる孔を通して C に流れる一方通行のルートを通る。他にも胎児では、心臓から肺に向かう血液が、動脈管というバイパス管を通して大動脈に合流するルートもある。胎児は出生後、産声とはほぼ同時に肺呼吸が始まり、臍帯が切られた後、通常それらのルートは閉鎖されていく。

〔1〕 図 2-1 A~D に入る適切な部位の名称を答えなさい。

〔2〕 図 2-1 A~D と下の選択肢の計 13 個について、血液が流れる順に A を 1 番目、肝臓を 11 番目として並べた替えたとき、3 番目、5 番目、10 番目はそれぞれどれか。ただし、A~D と下の選択肢はそれぞれ 1 回しか使用しないこととする。

大動脈・大静脈・肺動脈・肺静脈・肺・肝臓・小腸・肝門脈・肝静脈

〔3〕ヒトの心臓には弁が存在する。

- 1) 心臓には弁は何箇所に存在するか。
- 2) 弁の機能について1行で説明しなさい。

〔4〕下線部 a について、血液中には赤血球や白血球が存在する。赤血球の説明として正しい文はどれか、下の①～⑤から全て選びなさい。ただし、どれも該当しない場合は「無し」、全て該当する場合は「全て」と答えなさい。

- ① リンパ液に含まれない。
- ② 酸素は赤血球がもつヘモグロビンと結合する。
- ③ 健常な成人の血液中において白血球より数が多い。
- ④ 止血時は、まず損傷部位に赤血球が集まり栓をする。
- ⑤ 赤血球がフィブリンを溶かすことを線溶という。

〔5〕下線部 b について、健常な成人では図 2-1D の心臓壁が最も厚い。その理由を血液循環の観点から2行以内で説明しなさい。

〔6〕下線部 c について、正しい文はどれか、下の①～⑦から全て選びなさい。ただし、どれも該当しない場合は「無し」、全て該当する場合は「全て」と答えなさい。

- ① 随意筋である。
- ② 横紋がみられない。
- ③ 運動神経に支配されている。
- ④ 核を持たない無核の細胞からなる。
- ⑤ 自動能のため、ATP を用いずに収縮できる。
- ⑥ アクチンフィラメントが短くなることで、収縮が起こる。
- ⑦ 筋小胞体から放出される Mg^{2+} がトロポニンと結合することで収縮が起こる。

〔7〕下線部 d について、以下の問に答えなさい。

1) 胎児において、酸素が最も豊富な血液が流れている血管は下の①～④のどれか。

- ① 肺動脈 ② 肺静脈 ③ 臍動脈 ④ 臍静脈

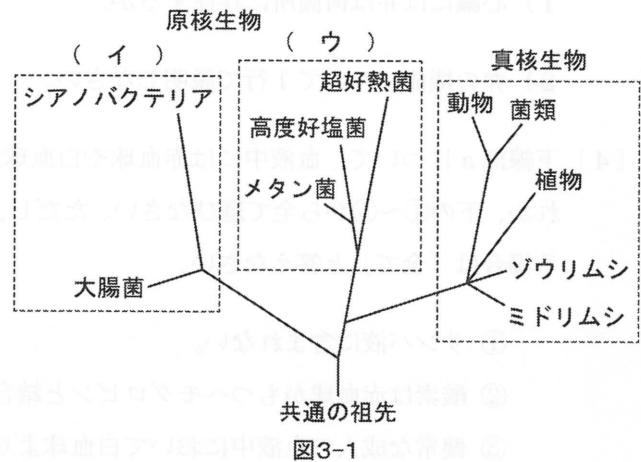
2) 1) で答えた血管を流れる血液が、その他の血管中の血液より酸素が豊富な理由について2行以内で説明しなさい。

3) 胎児期の血液循環において、本文中にある「卵円孔」がもたらすメリットを2行以内で説明しなさい。説明に際しては以下の語を必ず用い、用いた語に下線を付すこと。

語群： 酸素 肺 大動脈

3 次の文章を読んで下の質問に答えなさい。

生物は約 40 億年前に誕生して以来、様々な多様化しながら進化してきた。生物は最初水中で多様化し繁栄したが、シアノバクテリアなどの光合成生物による酸素の大量放出の結果、大気中の酸素濃度が増加し、やがて大気圏上層にオゾン層が形成されると、陸上へもその分布域を広げた。現生の生物は細胞の構造に着目すると原核生物と真核生物とに分けられるが、全ての生物がもつ（ア）の塩基配列を解析した結果をもとに、原核生



物はさらに 2 群（図3-1イ、ウ）に分けられ、生物は大きく 3 つのドメインに分かれるとする考えがある。真核生物は、以前は五界説のもとで動物界、植物界、菌界、原生生物界に分けられていたが、近年は原生生物の系統関係について理解が進み、大きな系統群として幾つかのスーパーグループが認識されるようになってきた。それによると、動物、菌類、原生生物の襟鞭毛虫類^{ネリベンモウチュウ}などは、オピストコンタというスーパーグループにまとめることができると考えられている。オピストコンタは、遊泳細胞が 1 本の鞭毛^{べんもう}を持ち、鞭毛とは反対の方向に（鞭毛を後方にして）泳ぐという特徴をもつ。図3-2は、オピストコンタ内の系統関係について動物を中心に簡略化して示したものである。

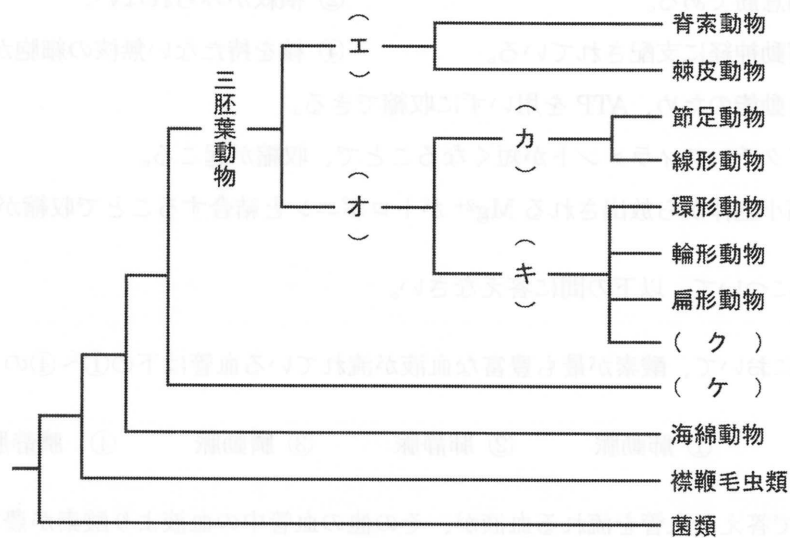


図3-2

〔1〕 文および図の空欄（ア）～（ケ）に入る適切な語を答えなさい。なお（エ）および（オ）は三胚葉動物を発生の特徴によって分けたグループであり、また（カ）および（キ）は（オ）をさらに 2 つに分けたものである。（ク）にはタコ、二枚貝などが含まれ、（ケ）にはクラゲ、イソギンチャクなどが含まれる。

- 〔2〕 原核細胞と真核細胞の構造の違いについて、両者の特徴が分かるよう 4 行以内で簡潔に説明しなさい。
- 〔3〕 真核生物は、系統的に（ イ ）および（ ウ ）のどちらに近縁であるか、2 行以内で説明しなさい。
- 〔4〕 ヒトにおいて、オピストコンタとしての特徴を示す細胞を挙げなさい。
- 〔5〕 単細胞または群体性の襟鞭毛虫が海綿動物に近縁であるとする根拠に関して、海綿動物がもつ、襟鞭毛虫に形態が類似した細胞の名称を答えなさい。
- 〔6〕 棘皮動物は多くの場合、受精後プランクトン性の幼生となり、その後変態して成体となる。幼生および成体の体制（ボディプラン）の特徴について 1 行で述べなさい。「相称」という語を必ず用いること。
- 〔7〕 節足動物は外骨格をもつ。エビやカニが属する甲殻類では、外骨格に炭酸カルシウムが沈着・石灰化することで硬化することが知られている。一方昆虫類では、マルチ銅オキシダーゼ 2（MCO2）という酸化酵素のはたらきによって酸素を利用した硬化物質の合成が行われ、カルシウム非依存的に外骨格の硬化が起こる。進化の過程で昆虫が陸上に進出し、陸上生態系に適応放散した一方で、陸上から海洋への再進出が稀であることの原因として考えられることを、外骨格の硬化という観点から 5 行以内で説明しなさい。

以 上