

生 物 (その1)

1 次の文章を読み、以下の質問に答えなさい。

多細胞生物のからだを構成する細胞は体細胞分裂を繰り返して新しい細胞をつくり出している。ある動物細胞 A と B の体細胞分裂の過程を観察するために次の実験を行なった。
(a)

実験 1 : 細胞 A と B を適切な条件で培養して、一定時間ごとに細胞数を測定した。図 1 は培養開始後の細胞数の変化と培養時間の関係を片対数目盛りで示したものである。

実験 2 : 細胞 A を培養開始 30 時間後に固定し、DNA を染色後に顕微鏡で観察すると、M 期にある細胞の割合は 5 % であった。

実験 3 : 細胞 A を培養開始 30 時間後に、ブロモデオキシウリジン(BrdU(注 1))を短時間だけ加えた。その後、BrdU を取り込んだ細胞を BrdU に対するモノクローナル抗体と蛍光色素を結合した二次抗体を用いて検出したところ、間期の細胞の 35 % が標識された。

実験 4 : 実験 3 に続いて、細胞 A を BrdU を含まない新しい培養液に交換して培養し、経時的に顕微鏡で観察したところ、DNA 合成期に BrdU を取り込んだ細胞が M 期に入った現象が 4 時間後から観察された。
(b)

実験 5 : 細胞 B を培養開始 30 時間後に、細胞 1 個あたりの DNA の相対値を測定した。図 2 は細胞あたりの DNA の相対値と細胞数の割合の関係を示したものである。図中(a)と(b)にあたる細胞数の割合は、解析した全細胞数のそれぞれ 55 % と 25 % であった。

実験 6 : 細胞 B を培養開始 30 時間後に、M 期の進行を阻害する薬剤 X と S 期の進行を阻害する薬剤 Y をそれぞれ別に加えて、20 時間培養後、細胞 1 個あたりの DNA の相対値を測定した。

(注 1) BrdU : DNA 合成の際に、新しく作られる DNA に取り込まれる。

図1 細胞数($\times 10^6/\text{mL}$)

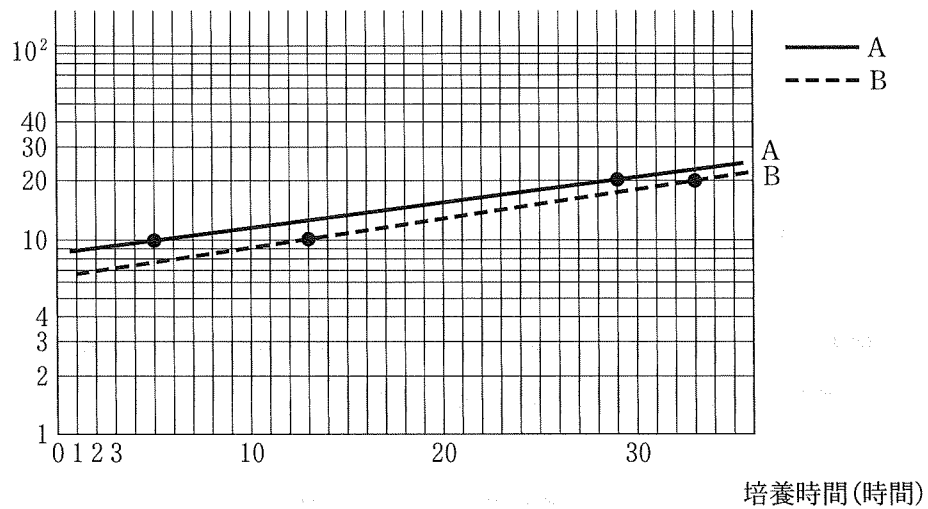
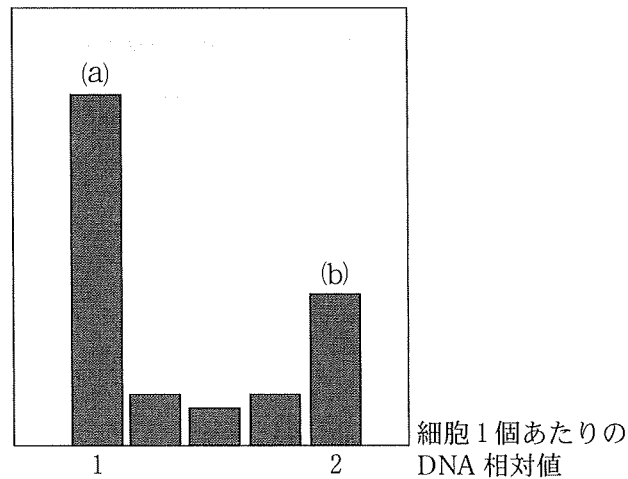


図2 細胞数の割合(%)



問1 下線部(a)に関して、動物細胞と植物細胞の細胞質分裂の違いを述べた下記文章中(ア)と(イ)に適切な語句を入れなさい。

動物細胞の細胞質分裂は、(ア)ができることで起こるが、植物細胞では、(イ)によって起こる。

問2 下線部(b)に関して、M期の顕微鏡所見を次に記す。正しいものをすべて選びなさい。

- ① 前期に核DNAが凝縮して太い棒状の染色体を形成する。
- ② 中期に中心体から微小管が伸びて染色体上の動原体に結合する。
- ③ 中期に染色体が細胞中央の赤道面に並ぶ。
- ④ 後期に細胞質が2分される。
- ⑤ 終期に核膜が出現する。

問 3 細胞 A と B の細胞周期はそれぞれ何時間か。

問 4 細胞 A の測定開始時の細胞数が $8.4 \times 10^6/\text{mL}$ であった場合、72 時間後の細胞数を有効数字 2 桁で答えなさい。

問 5 上記の実験結果から、細胞 A の G_1 期の所要時間を答えなさい。

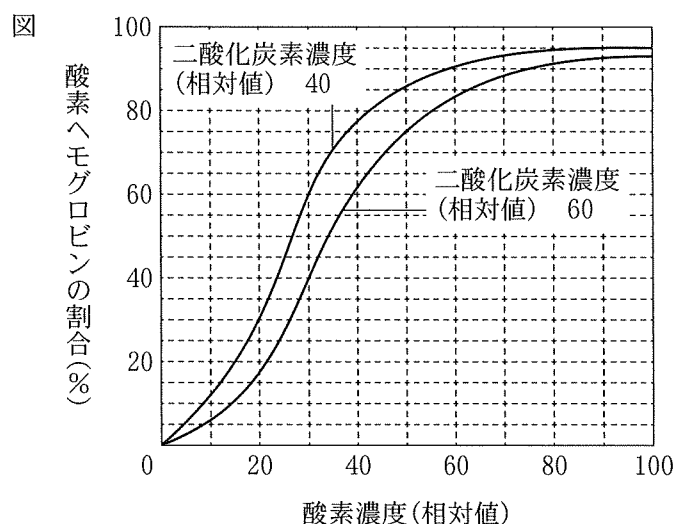
問 6 細胞 B の G_1 期における DNA が 3.6×10^9 塩基対 (bp) である場合、細胞 B における DNA 複製速度 (bp/秒) を有効数字 2 桁で答えなさい。

問 7 細胞 B で、1 分子の DNA 合成酵素が 1 秒間に連結するヌクレオチドの数が 100 個である場合、DNA の複製を行う際の複製起点は何か所あるか。有効数字 2 桁で答えなさい。

問 8 実験 6 で薬剤 X と Y を添加後に測定した DNA の相対値は、実験 5 で得られた結果の図 2 と比較して(a)と(b)はどのように変化するか。増加の場合は①、減少の場合は②、変化しない場合は③を記入しなさい。

2 次の文章を読み、以下の質問に答えなさい。

図はヒトのヘモグロビンの酸素解離曲線である。肺胞における血液の酸素濃度は相対値 100、二酸化炭素濃度は相対値 40、組織を流れる血液の酸素濃度は相対値 30、二酸化炭素濃度は相対値 60 である。



問 1 肺胞と組織でヘモグロビンが酸素と結合している割合(%)をそれぞれ整数値で答えなさい。

問 2 肺胞で形成された酸素ヘモグロビンのうち、酸素を組織へ渡すヘモグロビンの割合(%)を計算しなさい。数値は小数第 1 位を四捨五入し整数値で答えなさい。

問 3 1 L の血液が組織に供給する酸素量(mL)を計算しなさい。ただし、ヘモグロビンは血液 1 L に 150 g 含まれ、1 g のヘモグロビンがすべて酸素と結合した場合、1.5 mL の酸素と結合できるものとする。数値は小数第 1 位を四捨五入し整数値で答えなさい。

問 4 組織における次のどの条件が高くなると、酸素解離曲線が右方に移動するか。すべて選びなさい。どれも該当しない場合は、「なし」と答えなさい。

- a. pH
- b. 温度
- c. 二酸化炭素濃度

問 5 運動時における体内環境の変化と組織における酸素解離に関して、下記の語句をすべて使用して述べなさい。

使用する語句：二酸化炭素濃度，pH，体温，酸素親和性，ヘモグロビン，酸素

生 物 (その2)

3 次の文章を読み、以下の質問に答えなさい。

動物の発生は、精子が卵と接触し、精子の核が卵の核と融合する受精から始まる。受精した卵を受精卵と呼ぶ。受精卵は、分裂を繰り返し多細胞の胚をつくり、最終的には多様な細胞から構成される個体をつくりあげる。^(A) また、細胞が形質の異なる別の細胞に変化することを分化と呼ぶが、細胞の分化は遺伝子によって決められている。異なる形質をもつ細胞は、異なる組み合わせのタンパク質を発現しており、そのタンパク質の機能の違いから細胞の形質の違いが生じている。

ヒトにおいては、女性が誕生したときに(ア)内では減数分裂が開始され、一次卵母細胞が形成される。この一次卵母細胞は減数分裂の第一分裂(イ)期の状態で休止しており、長期にわたり(ア)内で維持される。一次卵母細胞は、排卵の直前に分裂を再開し、二次卵母細胞と第一極体になる。二次卵母細胞は、減数分裂の第二分裂(ウ)期の状態で再び休止し、(ア)から排卵される。排卵された二次卵母細胞は、(エ)の中を子宮に向かって運ばれ、その途中で精子の進入を受ける。精子は、先体から放出される酵素によって二次卵母細胞の周囲の膜を溶かして進み、二次卵母細胞に進入する。二次卵母細胞は、精子が進入すると減数分裂の第二分裂を再開し、第二極体を放出して卵となる。

2つの配偶子の核が融合して卵割が始まると、桑実胚を経て胚盤胞となり、子宮内膜に着床する。胚盤胞では、胚の内部に将来胎児となる(オ)が形成される。このような哺乳類の(オ)の細胞は、様々な組織に分化する能力である(カ)を有している。(カ)と自己複製能を有する(オ)を培養可能とすることで胚性幹細胞(ES細胞)を樹立することができた。ES細胞は、様々な疾患の治療への応用が期待されているが、拒絶反応が大きな問題となっている。^(B) 近年、ES細胞の拒絶反応をなくすためにさまざまな研究が行われ、ES細胞と同様に、(カ)を有したまま自己複製能を備える人工多能性幹細胞(iPS細胞)が、京都大学の山中伸弥らのグループにより樹立された。このiPS細胞は、マウスの皮膚から採取した(キ)に胚細胞で発現している特定の遺伝子を導入し、遺伝子発現を(ク)化することで得られる。

問 1 (ア)～(ク)に適切な語句を入れなさい

問 2 下線部(A)について、受精後の遺伝子発現は卵割後期に始まるにもかかわらず、細胞の運命は卵割期の早い時期に決定しているものもある。その理由を簡単に説明しなさい。

問 3 下線部(B)について、拒絶反応を起こす可能性がある理由を説明しなさい。

問 4 ES 細胞と iPS 細胞は、ともに再生医療に利用可能であるが、ES 細胞より iPS 細胞の方が優れていると考えられている。拒絶反応以外にどのような点が優れているか答えなさい。

問 5 自然発生した個体において、特定の細胞に分化した細胞は全能性を失っているが、人工的な操作を行うことで、分化の終了した細胞の核も受精卵の核と同じように発生・分化をやり直すことができる。例えば、1960 年代前半に行われたイギリスのガードンによる実験があげられる。ガードンはアフリカツメガエルの変異系統(核に 1 つの核小体をもつ)成体の小腸細胞から核を取り出し、紫外線を照射した野生型アフリカツメガエル(核に 2 つの核小体をもつ)の未受精卵に移植した。その結果、一部の卵は卵割し、やがて核に核小体を 1 つもつオタマジャクシにまで成長した。成体の小腸細胞の代わりに初期胚の核を用いるとオタマジャクシにまで成長する頻度は高くなり、分化段階が進んだ胚の核ほどその頻度は低くなる傾向であった。これらの実験結果から、「分化の進行に伴い核は正常発生する能力を失う」ということ、そして、「卵細胞の細胞質は分化した核を(ク)化して、その能力を回復させる」ということが示唆された。

- (1) 未受精卵に紫外線照射した理由を 40 字以内で説明しなさい。
- (2) 核小体の数が異なる系統を用いた理由を簡単に説明しなさい。
- (3) 発生と核の関係について、この実験から分かることを 40 字以内で説明しなさい。

4 次の文章を読み、以下の質問に答えなさい。

両生類やハ虫類などの変温動物では、外界の温度変化に伴って体温も変化する。これに対して、鳥類や哺乳類などの恒温動物では、環境の変化に関係なく、体温は一定に保たれている。体温の調節は、間脳の(ア)が中枢となって自律神経系やホルモンの働きによって行われている。体は常に熱を発生しているが、発生した熱量と同じだけの熱を体外へ放散している。熱は、体表や呼吸器から水分が蒸発するときの気化熱のほか、体表からの放射や外気などへの伝導、尿や便に含まれる熱として体外へ放散される。これらのうち、平常の生活を営んでいる時に最も割合が大きいのは気化熱である。

外気温が低めの時に、皮膚や血液の温度が低下すると、これを(ア)の体温調節中枢が感知する。その結果、交感神経によって皮膚の血管や立毛筋などが刺激されて収縮し、熱の放散が抑制される。さらに外気との温度差が小さくなって伝導による排熱も減少する。外気温がさらに下がると、排熱の調節に加えて体内で積極的な熱産生が行われる。例えば、骨格筋が収縮と弛緩をくり返す震えが起こり、熱が発生する。

熱の発生は、副腎髄質から(イ)が分泌され、細胞での物質の分解が促進された場合にも起(A)こる。心臓では拍動が促進されて血流量が多くなり、血液によって熱が全身に伝えられる。さらに、間脳の(ア)から放出ホルモンが分泌され(ウ)から甲状腺刺激ホルモンと副腎皮質刺激ホルモンが分泌される。これによって、甲状腺からは(エ)が、副腎皮質からは(オ)が分泌される。これらのホルモンの働きによって物質の分解が促進され、それに伴って熱が発生す(B)る。一方、外気温が高いと、体表近くの血管を流れる血流量が増加するとともに、発汗が増加する。汗腺で汗がつくられる時、汗腺中に出された液体から塩分が再吸収されることから、汗に含まれる塩分濃度は体液の塩分濃度よりも極めて低いのがふつうである。しかし、激しく発汗すると、汗腺における、ナトリウムの再吸収が間に合わなくなって、汗の塩分濃度が高くなる。(C)運動の後、体表が白く粉をふいたようになることがあるのはこのためである。

問 1 (ア)～(オ)に適切な語句を入れなさい。

問 2 体表や四肢など、末梢の温度は条件によってさまざまに変化するが、体の深部の温度はほぼ一定に保たれている。例えば、外気温が低い時は四肢や首の静脈では冷えた血液が流れているにもかかわらず、脳や心臓などの臓器の温度はあまり下がることはない。この理由を簡単に説明しなさい。

問 3 文中の下線部(A)について、多くの熱を発する器官を2つ答えなさい。

問 4 文中の下線部(B)について、副腎皮質から分泌される(オ)は下線部に示す代謝の促進以外に、血糖濃度の調節にも働いている。血糖濃度の調節における(オ)の働きを簡単に答えなさい。

問 5 文中の下線部(C)について、腎臓においてナトリウムの再吸収を促進するホルモンは何か答えなさい。さらにそのホルモンを分泌する内分泌する器官を答えなさい。

問 6 ヒトの体温調節の目標値は約 37°C であり、体温がここから外れていればこれに近づけるようなさまざまな反応が起こる。この目標値は変化することがある。例えば、風邪を発症した場合などである。

(1) 体温調節の目標値が 37°C から 38°C へ変わった場合、その時点での体温が 37°C だとすると、どのような反応が起きるか以下の選択肢の中から全て選びなさい。

(2) 同様に体温調節の目標値が 37°C から 38°C へ変わった場合、その時点での体温が 39°C だとすると、どのような反応が起きるか以下の選択肢の中から全て選びなさい。

選択肢

イ) 運動時で産熱が増大しているときと同様の反応が起きる

ロ) 寒冷下で体が冷やされているときと同様の反応が起きる

ハ) 高温下で体が温められているときと同様の反応が起きる

ニ) 何も起こらない。

ホ) 外気温が低くなくとも、ふるえが起きる

ヘ) 外気温が高くなくとも、汗をかく

物 理 (その 1)

- 1 図 1 に示されるように、底面積 $S[\text{m}^2]$ 、高さ $h[\text{m}]$ 、密度 $\rho[\text{kg}/\text{m}^3]$ である円柱形の一様な物体が、密度 $\rho_0[\text{kg}/\text{m}^3]$ の静止した一様な液体中に沈められている。ここで、物体の密度 ρ は液体の密度 ρ_0 よりも小さい ($\rho < \rho_0$) と仮定する。重力加速度の大きさを $g[\text{m}/\text{s}^2]$ とし、重力の方向を z 軸の負の向きにとる。以下の問いに答えなさい。

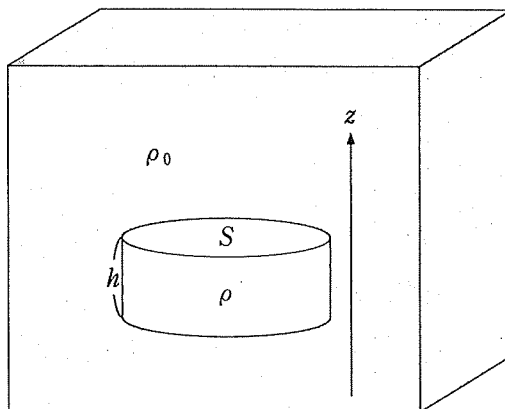


図 1

- (1) この物体の質量を、 S 、 h 、 ρ 、 ρ_0 、 g のうち、必要なものを用いて求めなさい。
- (2) 物体が液体中に完全に沈んでいる場合の浮力の大きさを、 S 、 h 、 ρ_0 、 g のうち、必要なものを用いて求めなさい。
- (3) 物体が液体中から浮き上がり、図 2 に示されるように底面から長さ $d[\text{m}]$ の部分が液面下にある状態で静止した。液面上の空気の密度は無視してよいものとする。

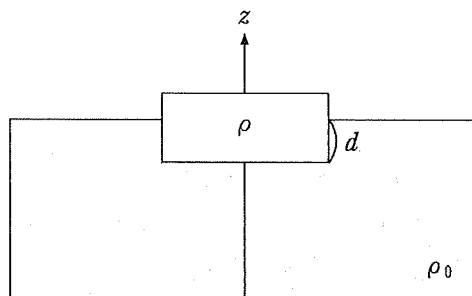


図 2

- (ア) 物体の密度 ρ を, S, h, ρ_0, g, d のうち, 必要なものを用いて求めなさい。
- (イ) 物体を上から押して, 図 2 の位置からさらに小さい距離 a [m] だけ沈めた。このとき, 手が物体に対して加える力の大きさを, S, h, ρ_0, g, d, a のうち, 必要なものを用いて求めなさい。
- (ウ) 手をそっと放すと, 物体は液面上で z 方向に振動した。振動の周期を S, h, ρ_0, g, d, a のうち, 必要なものを用いて求めなさい。ただし, 液体からの抵抗力は無視し, 円周率は π とする。

2 水素原子では、電荷 $-e$ [C]、質量 m [kg] の電子が、原子核の周りを半径 r [m] で速さ v [m/s] で回っている。このとき、電子はクーロン力 $k \frac{e^2}{r^2}$ [N] (k は比例定数) を受け、等速円運動をしている。この水素原子では、電子の波動性に基づくド・ブロイ波が円周上で定常波を形成し、安定した状態になると考えられるため、原子のエネルギーは離散的な値を取る。この水素原子の電子の状態やエネルギーに関する以下の問いに答えなさい。ただし、プランク定数は h [J・s] とする。問(1)、問(3)、問(4)の解答においては、速さ v を用いてもよい。

- (1) 電子が水素原子核の周りを等速円運動しているときの円運動の方程式を求めなさい。
- (2) この電子の全エネルギーを求めなさい。なお、電子の全エネルギーは運動エネルギーと位置エネルギーの和として求めることができる。
- (3) この水素原子において、電子の波動性にもとづく物質波の波長を求めなさい。
- (4) 電子の物質波が円周上で定常波を形成するための条件を、量子数 n を用いて求めなさい。
- (5) 水素原子の電子が n 番目の定常状態にあるときの軌道半径 r_n を、量子数 n を用いて表しなさい。
- (6) n 番目の定常状態にある原子のエネルギー準位 E_n を、量子数 n を用いて求めなさい。
- (7) 水素原子において、電子が基底状態から $n = 4$ の励起状態まで遷移した場合、可能なエネルギー準位遷移の数に基づいて、輝線の総数を求めなさい。
- (8) 電子が $n = 4$ の励起状態から $n = 2$ の状態に遷移したとき、放射される電磁波の波長を求めなさい。ただし、光速を c [m/s] とする。

問題訂正

生物（その2）

4

●17 ページ 問題文 上から 21 行目（下から 2 行目）

（誤）

と、汗腺における。(c) ナトリウムの再吸収が間に合わなくなって、・・・

（正）

と、汗腺における (c) ナトリウムの再吸収が間に合わなくなって、・・・

問題訂正

生物（その2）

4

●18 ページ 問5 2行目

（誤）

…。さらにそのホルモンを分泌する内分泌する器官を答えなさい。

（正）

…。さらにそのホルモンを分泌する器官を答えなさい。