

標問 6 細胞周期

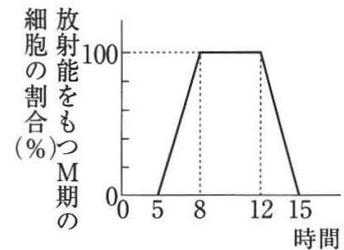
解答・解説

p.16

扱っ
テーマ 細胞周期の各期にかかる時間

生物基礎 生物

ある増殖をし続けている細胞について、その細胞周期を次のようにして調べた。培養している細胞の培養液に、放射性同位元素であるトリチウム(^3H)でラベルしたチミジン(以下、 ^3H -チミジン)を加えて細胞に取り込ませたのち、その細胞を ^3H -チミジンを含まない新しい培地に移して培養を続けた。新しい培地に移したのちの時間経過と ^3H -チミジンを含む分裂期(M期)の細胞の割合をグラフにすると上図のようになった。なお、 ^3H -チミジンを取り込ませるのに要した時間は無視できるものとする。次の問いに答えよ。



- 問1 ^3H -チミジンは細胞周期のどの期の細胞に取り込まれるか答えよ。
- ★問2 グラフにおいて、最初に放射能をもつ細胞が現れるまで5時間経過している。この5時間は細胞周期のどの期の長さを表すか答えよ。
- ★★問3 この細胞のS期の時間の長さを、グラフより求めよ。

生物の遺伝情報は DNA に記されている。通常、遺伝子の情報は RNA に転写され、タンパク質に翻訳される。転写では、**ア** と呼ばれる酵素と **イ** と呼ばれる DNA 領域が重要な役割を果たす。**イ** は転写開始に必要な DNA 領域のことで、^(A)原核生物の **ア** は **イ** の中の特定の DNA 塩基配列を認識し、その領域に結合したのち、DNA 上を移動しながら転写を行う。

生物は置かれた環境に応じて、遺伝子の発現を調節する。例えば、原核生物の大腸菌は、通常グルコース(ブドウ糖)を生命活動に利用するが、ラクトース(乳糖)などの他の糖類も利用できる。大腸菌は、グルコースは無いがラクトースが存在する環境に置かれると、速やかにラクトースを分解する酵素(以後ラクターゼと表記)の発現を開始する。ラクターゼ遺伝子は、隣接する他の2つの酵素の遺伝子とともに転写される。遺伝子の発現を調節する遺伝子を^(B)調節遺伝子と呼び、そのタンパク質(調節タンパク質)は特定の DNA 塩基配列を認識し、その領域に結合して転写の調節に関わる。ここで述べたような遺伝子発現の調節系において、調節タンパク質が結合する DNA 領域を **ウ** と呼び、1つの **ウ** によって制御される遺伝子群のことは **エ** と呼ぶ。このように、DNA の塩基配列にはタンパク質のアミノ酸配列の情報だけではなく、遺伝子発現の調節に関わる情報も記されている。

大腸菌に突然変異誘発剤を作用させ、4種類の突然変異体(突然変異体1~4)を見つけた。それぞれの突然変異体を、エネルギー源としてグルコースあるいはラクトースのみを含む培地で培養し、ラクターゼ遺伝子に由来する mRNA とラクターゼの酵素活性を調べた。下表に、それら大腸菌の野生型と突然変異体の特性を示す。なお、それぞれの突然変異体は、ラクターゼ遺伝子の中あるいは近くに1カ所の突然変異をもつ。

表 大腸菌の野生型と突然変異体の特性

大腸菌の種類	グルコース(エネルギー源)		ラクトース(エネルギー源)		調節タンパク質***
	ラクターゼ mRNA*	ラクターゼ活性**	ラクターゼ mRNA*	ラクターゼ活性**	
野生型	-	-	+	+	+
突然変異体1	-	-	+	-	+
突然変異体2	-	-	-	-	+
突然変異体3	+	+	+	+	-
突然変異体4	+	+	+	+	+

* ラクターゼ遺伝子に由来する mRNA が検出されたことを(+)で、検出されなかったことを(-)で示す。

** ラクターゼの酵素活性が検出されたことを(+)で、検出されなかったことを(-)で示す。

*** 正常な(野生型と同じ)機能をもつ調節タンパク質が発現することを(+)で、発現しないことを(-)で示す。

問1 下線部(A)について、原核生物と真核生物に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 原核生物にはみられない、真核生物の細胞内構造の特徴を50字以内で述べよ。
- (2) 遺伝子の転写と翻訳の過程には、原核生物と真核生物の間で違いがみられる。その違いを100字以内で述べよ。

問2 下線部(B)のラクターゼの調節遺伝子は、ラクターゼ遺伝子のすぐ隣に位置する。

ラクターゼの調節タンパク質の発現に関して最も適切なものを、次から1つ選べ。

- ① グルコース存在下では発現していないが、ラクトース存在下で発現する。
- ② ラクトース存在下では発現していないが、グルコース存在下で発現する。
- ③ エネルギー源がグルコースかラクトースかに関係なく、発現している。
- ④ エネルギー源がグルコースかラクトースかに関係なく、発現していない。

★問3 突然変異体1と突然変異体2に関して、以下の問いに答えよ。

- (1) 文中の空欄 と に適切な語句を入れよ。
- (2) 突然変異体のラクターゼのアミノ酸配列を指定する DNA 塩基配列を調べたところ、突然変異体1の塩基配列には突然変異が見つかったが、突然変異体2の塩基配列は正常(野生型と同じ)であった。突然変異体2が、ラクトースのみの存在下にもかかわらずラクターゼの活性を示さないのはなぜか。 と の働きに着目して、突然変異体2で生じた突然変異とともにそのしくみを推測し、90字以内で述べよ。なお、突然変異体2は、正常なラクターゼの調節タンパク質を発現しているとする。

★問4 突然変異体3と突然変異体4に関して、以下の問いに答えよ。

- (1) 文中の空欄 と に適切な語句を入れよ。
- (2) 突然変異体3は、ラクターゼの調節タンパク質が機能を失った突然変異体であった。野生型と突然変異体3を比較し、ラクターゼの調節タンパク質の正常な機能に関し推測されることを35字以内で述べよ。
- (3) 突然変異体4は正常なラクターゼの調節タンパク質を発現しているが、突然変異体3と同様に、ラクトース非存在下でラクターゼを発現する。突然変異体4で生じた突然変異とともにそのしくみを推測し、90字以内で述べよ。

A. 1908年にイギリスの数学者ハーディとドイツの医師ワインベルグとが独立に発見したハーディ・ワインベルグの法則は今日なおヒトの集団遺伝学の重要な原理である。この法則が適用される集団には自然選択が働かないこと、集団のサイズが十分に大きいこと、、、などの前提条件が要求される。その適用条件が満たされる限り、集団の中で各遺伝子座の対立遺伝子の遺伝子頻度は世代間で変化しないことがハーディ・ワインベルグの法則で示されている。

問1 上の文中の空欄に当てはまる最も適当なものを次の①～⑨より選べ。ただし解答の順序は問わない。

- ① 非選択婚が行われること
- ② 突然変異は起こらないとすること
- ③ 夫婦間の子供の数は一定であること
- ④ 集団内の年齢別階層の人数はすべて同数とすること
- ⑤ 一夫多妻ではないこと
- ⑥ 男女が同数であること
- ⑦ 集団構成員は同一職業であること
- ⑧ 集団は単一人種で構成されること
- ⑨ 集団への人の移住がないものとする

問2 常染色体上のある遺伝子座の1組の対立遺伝子、Aとaについて、ハーディ・ワインベルグの法則が成立することを示せ。ただしAの遺伝子頻度を p 、aの遺伝子頻度を q 、 $p+q=1$ とする。

★★問3 上記のAaの遺伝子型の頻度が0.455であった場合、aの遺伝子頻度 q の値をハーディ・ワインベルグの法則から求めよ。

B. 自然選択が働くとその環境での生存に適した特定の遺伝子の頻度が高くなる場合がある。アフリカのマラリア流行地でのヘモグロビンS (HbS) 遺伝子はその例である。HbSは鎌状赤血球症という致死性の常染色体劣性遺伝病の原因であるが、正常ヘモグロビン(HbA)のホモ接合体(HbA/HbA)と比較してそのヘテロ接合体(HbA/HbS)はマラリアに対する抵抗性が高い。HbA/HbSの遺伝子型の人がマラリアの流行する環境に対して一定の高い適応度を示し続けていると、十分に長い時間の後にHbSは高い遺伝子頻度で平衡に達する。

いまマラリアが流行しているある集団を仮定してみる。そこではHbA/HbSの遺伝子型の子供の全員が生殖可能年齢まで育つ一方、HbA/HbAの子供は一定の割合でマラリアのために死亡するという自然選択が働く。しかし、生殖可能年齢に達した後はマラリアで死亡する者はいない。またHbS/HbSの遺伝子型の子供は全員生まれた直後に鎌状赤血球症のために死亡する。その結果、この集団の生殖可能年齢層ではHbA/HbAの人の頻度が0.8、HbA/HbSの人の頻度が0.2で平衡に達

している。ただし、マラリアによる自然選択があることと鎌状赤血球症によって死亡することを除いて、他のハーディ・ワインベルグの法則の適用条件をこの集団は満たしている。

この平衡状態の下では、集団の生殖可能年齢層での HbA の遺伝子頻度は , HbS の遺伝子頻度は となり、その結果生まれてくる子供の HbA/HbA, HbA/HbS, HbS/HbS の各遺伝子型の比は : : 1 である。しかし HbS/HbS の子供はすぐに死亡するので集団には HbA/HbA と HbA/HbS の子供だけが残ることになり、子供たちの中での HbS の遺伝子頻度は親の遺伝子プールでの値よりもいったんは くなる。しかしこの子供たちはマラリアによる選択を受け、生殖可能年齢に達した時点で HbA と HbS の遺伝子頻度は再び と になってくる。このことから HbA/HbA の遺伝子型は生まれた子供たちのうち $\frac{1}{\text{ケ}}$ が生殖可能年齢に達するまでにマラリアのために死亡することがわかる。

★★問4 上の文中の空欄 ~ にあてはまる適切な語句または数字を記せ。

動物の体を支え動かすために、腱を介して骨格につながっている筋肉のことを、骨格筋という。骨格筋は、自分の意志で動かすことができることから、**ア**の一種である。骨格筋を光学顕微鏡で観察すると、規則的に並んだ多数の横縞が見られる。横縞のある筋肉は他にも**イ**などがあげられ、これらは**ウ**と総称される。筋肉を構成する筋細胞は多数の**エ**の束からなり、多核である。また、筋細胞の中には**オ**が多数存在し、①筋収縮のエネルギーを供給するATPの生産を行う。さらに筋細胞には、筋小胞体とT管という2つの特徴的な膜構造が存在する。前者は細胞内において筋収縮の制御に不可欠な**カ**の貯蔵庫として働く。後者は細胞膜が陥入したものであり、興奮を筋細胞の内部に伝える。図1において**ク**で示した部分は骨格筋の収縮の最小単位であり、これをサルコメアと呼ぶ。サルコメアの境界は**キ**で仕切られている。サルコメア内には明るく見える部分(明帯)と暗く見える部分(暗帯)とがある。1791年、イタリアのガルバーニはカエルの筋肉を解剖中、取り出した筋肉片にたまたま金属製のメスが触れただけで収縮することを発見した。筋肉の収縮が電気的な刺激によることを初めて示したのである。以後の研究により、生体の筋収縮は、②運動神経細胞の末端から筋細胞へ興奮が伝わるために生じることが明らかになった。すなわち、③神経からのシグナルにより、筋細胞の膜内外の電位差が短時間のうちに大きく変化するのである。

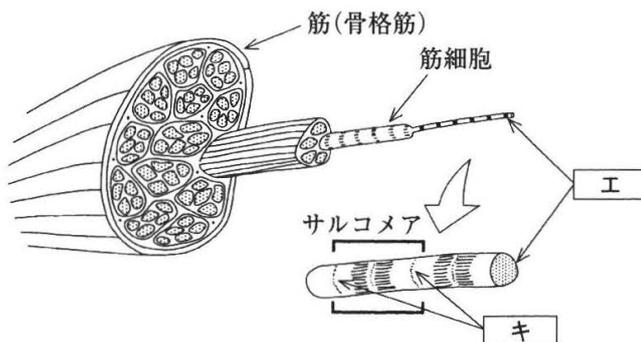


図1 筋肉の構造

- 問1 文中および図1の中の空欄に適語を入れよ。
- 問2 下線部①に関連して、筋収縮においてATPのエネルギーを必要とする最も主要なタンパク質の名称を答えよ。またATPがこのタンパク質のどのような働きに必要であるかを50字以内で述べよ。
- 問3 下線部②について、この現象を何と呼ぶか答えよ。また、このときに興奮が一方方向にしか伝わらないのはなぜか、50字以内で説明せよ。
- 問4 下線部③について、運動神経末端から放出され、筋肉の収縮を促す化学物質の名称を答えよ。また、この物質は自律神経系においてもさまざまな作用を示す。心臓と腸におけるこの物質の働きを答えよ。
- 問5 次ページの表1は、筋細胞で重要な働きをするイオンについて、その筋細胞内外での濃度を比較したものである。表中の空欄ク、ケ、コにあてはまる最も適切なイオンの名称をそれぞれ答えよ。

★問6 神経のシグナルを受けてから筋肉が収縮するまでの過程を説明した以下の文章を完成させよ。ただし、, , , , には下の解答群1の中から、それ以外の空欄には解答群2の中から最も適切な語句をそれぞれ1つずつ選べ。なお、同じ語句を複数回使用しても良い。

表1 筋収縮で重要な働きをするイオンの濃度(mM*)

イオンの名称	筋細胞内での濃度	筋細胞外での濃度
ク	10	110
ケ	120	2.5
コ	< 0.1	1.8
マグネシウムイオン	1	1

*注 mMは濃度を表す単位

ステップ1：神経伝達物質からの刺激を受けて筋細胞が興奮すると、T管膜上のチャンネルが開き、イオンが。このため、膜電位は（活動電位の発生）。

ステップ2：T管膜上には、活動電位の発生によって開き、陽イオンを通過させるチャンネルが存在する。このため、細胞内外の濃度差の大きいイオンがこのチャンネルを通して。その結果、膜電位は。

ステップ3：上の一過的な電位変化を受けて筋小胞体膜上のチャンネルが開き、イオンが。このイオンがアクチンフィラメントの構造を変化させ、筋肉が収縮する。

〔解答群1〕

- ① アンモニウム ② 塩素 ③ カリウム ④ カルシウム
- ⑤ 硝酸 ⑥ 水素 ⑦ セシウム ⑧ 鉄
- ⑨ ナトリウム ⑩ マグネシウム

〔解答群2〕

- ⑪ 細胞内に流入する ⑫ 細胞外に流出する
- ⑬ 筋小胞体内に流入する ⑭ ミトコンドリア内に流入する
- ⑮ ミトコンドリア外に流出する ⑯ 合成される ⑰ 分解される
- ⑱ 上昇する ⑲ 下降する ⑳ 停止する ㉑ 細胞膜に結合する
- ㉒ 筋小胞体膜に結合する ㉓ T管膜に結合する

主な動物群間の系統は、成体や幼生の体制、発生様式などの比較をもとにして、図1のような関係があると推定されていた。最も単純な体制をもつのは海綿動物で、組織や器官が無く、胚葉ももたないため無胚葉動物といわれる。器官をもち胚葉を形成する動物の中で最も体制が単純なものは、(a)刺胞動物であり二胚葉動物と呼ばれる。(b)扁形動物とそれより体制の複雑な動物は、発生過程で3種類の胚葉を形成し、(c)三胚葉動物と呼ばれる。三胚葉動物のからだは基本的には [ア] 相称で、扁形動物を除いて体壁と内臓の間に [イ] と呼ばれるすきまができる。三胚葉動物には、扁形動物、(d)軟体動物、(e)環形動物、節足動物を含む動物群である図中のAと、棘皮動物と脊椎動物を含む図中のBがある。

近年、遺伝情報を比較した分子系統樹も用いられるようになった。分子系統樹による主な動物群間の系統関係は図2である。(f)図1と図2を比べると、それぞれの動物群の相互関係が異なることがわかる。

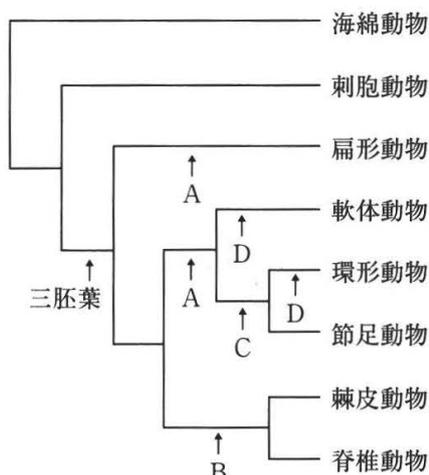


図1 従来考えられてきた動物の系統樹

図中の記号 A～D は、矢印以降（右側）の全ての動物群がもつ共通する性質、またはそれに対応した動物群名を示している。たとえば三胚葉と書かれた矢印は、それ以降の動物が三胚葉動物であることを示している。

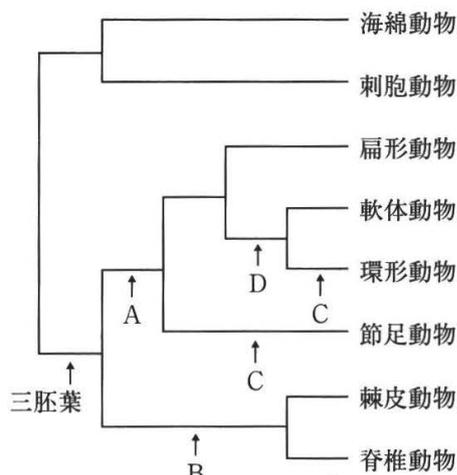


図2 動物の分子系統樹

[記号 A～D は、図1と同じものを示す。]

★問1 下線部(a), (b), (d), (e)の各動物群に含まれる動物名を、次からそれぞれ2種類ずつ選べ。

- ① ホヤ ② ハマグリ ③ プラナリア ④ ゴカイ
- ⑤ ムカデ ⑥ イソギンチャク ⑦ ミジンコ ⑧ ミミズ
- ⑨ タコ ⑩ サナダムシ ⑪ ナメクジウオ ⑫ クラゲ

★問2 下線部(c)について、次の(1), (2)に答えよ。

(1) 文中の空欄に適切な語句を入れよ。

(2) 三胚葉動物のカエルにおいて、二胚葉動物にない胚葉から分化する器官あるいは組織を次から3つ選べ。

- ① 胃 ② 表皮 ③ 脊髄 ④ 心臓
⑤ 腎臓 ⑥ 脳 ⑦ 甲状腺 ⑧ 骨格筋

★問3 下線部(f)について、次の(1)~(3)に答えよ。

- (1) 図中のAとBの動物群名を答えよ。またその違いを説明せよ。
- (2) 図中のCは、環形動物と節足動物が共通してもっている体制である。Cは何か。また、図1と図2ではCの現れ方が異なる。その理由を「環形動物」「節足動物」「共通する祖先」の3つの語句を使って説明せよ。なお、いずれの語句も何度使用してもよい。
- (3) 図中のDは、発生過程で軟体動物と環形動物が共通して経る幼生名を示す。幼生名を答えよ。