生　　物　（その１）

第１問　ＡＢＯ式血液型に関する次の文を読み，以下の各問いに答えよ。

われわれの (1) 細胞表面に存在するほとんどのタンパク質や一部の脂質は糖鎖で修飾されている。糖鎖は各種の糖転移酵素が１つ１つ糖を転移することによって鎖状に伸びていく。糖鎖修飾の代表的な例としてＡＢＯ式血液型がある。ＡＢＯ式血液型は赤血球細胞膜表面に存在する糖鎖の違いにより決定される。O 型のヒトが持つH型糖鎖に N- アセチルガラクトサミンが結合したものがA型糖鎖で，ガラクトースが結合したものがＢ型糖鎖である。これら３種の糖鎖はそれぞれ O, A, B の３種類の遺伝子によって決定され，３つの遺伝子は複対立遺伝子の関係にある。A型遺伝子を基準にすると，A型遺伝子の７か所で塩基置換を起こしたものがＢ型遺伝子で，(2) A型およびＢ型遺伝子の 261 番目の塩基が欠失したものがO型遺伝子である。

(3) ＡＢＯ式血液型が異なるヒトの血液を混ぜ合わせると，赤血球の凝集反応が起こり，この原理を利用すると血液型の判定ができる。判定には抗A抗体，もしくは抗B抗体に被検者の赤血球を加える検査と，A, B, O 型が明らかになっている赤血球それぞれに被検者の血清を加える検査を合わせて行うことで，より正確に血液型の判定ができる。

また，(4) 血液型遺伝子に対して PCR を行い，その PCR 産物を制限酵素処理し，電気泳動することで，血液型の遺伝子型まで判定することができる。この方法ではまず，被験者のゲノム DNA を抽出し，ＡＢＯ遺伝子の２か所の部位に対して PCR を行う。PCR 増幅部位Ⅰは A 型と B 型では 249 塩基対（bp），O型では 248 bp からなり，PCR 増幅部位Ⅱは A, B, O 型ともに 285 bp からなる。次に，各 PCR 産物に対して制限酵素ＸまたはＹでそれぞれを処理する。PCR 増幅産物Ⅰを制限酵素Ｘで処理すると，A型とＢ型は切断されないが，O型のみ切断され 84 bp と 164 bp の断片を生じる。PCR 増幅産物Ⅱを制限酵素Ｙで処理すると，A型とO型はともに共通の１か所で切断されるが，Ｂ型はそれに加えてさらにもう１か所切断され，52 bp と 96 bp と 137 bp の３本の断片を生じる（図１）。PCR 増幅産物Ⅰを制限酵素Ｘで処理したもの，および PCR 増幅産物Ⅱを制限酵素Ｙで処理したものをそれぞれ電気泳動した結果の１例を図２に示す。

生　　物　（その２）

問１　下線部（１）について，糖鎖修飾が起こる細胞小器官の名称を記せ。

問２　下線部（２）について，Ｏ型遺伝子では１塩基の欠失によって何が起きたと考えられるか。遺伝子産物の働きも含めて，簡潔に記せ。

問３　下線部（３）について，被検者ア，イ，ウ，エの４人から血液を採取し，凝集法により血液型の判定を試みた。抗Ａ抗体に各人の赤血球を加えると，赤血球が凝集したのはアとウだった。また，Ｂ型の赤血球に各人の血清を加えると，赤血球が凝集したのはイとウだった。４人の血液型は何か，それぞれ記せ。ただし，４人の血液型はすべて異なる。

問４　血液型糖鎖に対する抗体について，次の糖鎖に対する抗体を血しょう中に持つ血液型をすべて記せ。ただし，ない場合は「なし」と記せ。

ⅰ）H 型糖鎖

ⅱ）A 型糖鎖

ⅲ）B 型糖鎖

問５　下線部（４）について，図２は被検者カ，キ，クの３人の電気泳動の結果である。３人の血液型の遺伝子型は何か，それぞれ記せ。

問６　ある集団内における A, B, O 各遺伝子頻度がそれぞれ 0.3，0.2，0.5 であったとすると，この集団内における A, B, O, AB 各血液型の割合はそれぞれ何％か，整数で記せ。ただし，この集団はハーディー・ワインベルグの法則が成立するものとする。

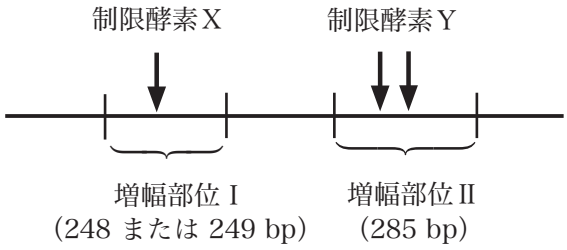


図１　ヒト ABO 遺伝子座の一部

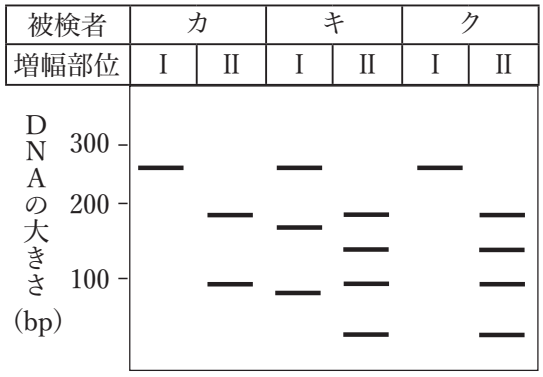


図２　電気泳動結果

生　　物　（その３）

第２問　ヒトの横紋筋に関する次の文を読み，以下の各問いに答えよ。

(1) 横紋筋には随意筋と不随意筋があり，随意筋である骨格筋は運動神経の支配を受ける。(2) 骨格筋は運動神経との間でシナプスを形成しており，運動神経終末から放出される神経伝達物質の（　ア　）を受容体で受け取る。その刺激が十分大きいと，筋繊維の電位依存性（　イ　）イオンチャネルが開き，（　イ　）イオンが筋繊維内に流入することで，神経細胞と同様に活動電位が発生する。この活動電位はＴ管にまで伝わり，Ｔ管の電位依存性（　ウ　）イオンチャネルを介して，最終的に筋小胞体から大量の (3)（　ウ　）イオンが細胞内に放出されることで筋収縮が起こる。

不随意筋である心筋も骨格筋と同様に（　ウ　）イオンによって収縮が起こるが，心筋は運動神経支配は受けず，自律的に収縮を繰り返している。また，細胞融合により大きくなった多核の細胞が収縮する骨格筋と異なり，心筋は単核の小さな細胞だが，(4) 細胞同士がイオンを自由に通す細胞間結合で結びついているため，多数の心筋が同調的に拍動できる。ただし，心房と心室の間は電気的に絶縁されているので，心房と心室はそれぞれ独立に拍動する。

心筋全体の拍動のリズムを整えるために，自律的に周期的な電気信号を発して心臓全体に伝える特殊な細胞があり，(5) この細胞が集まっている部分を洞房結節とよぶ。ここから心臓の各領域に電気信号が送られるが，この信号は神経細胞ではなく特殊な心筋細胞からなる刺激伝導系によって伝えられる（図３）。洞房結節から送られてきた信号を途中で少し遅らせることにより，心房と心室の収縮のずれが生み出され，このずれによって効率よく血液を送り出すことを可能にしている。

また，心拍数は自律神経系によって調節されている。激しい運動を行ったときには血液中の二酸化炭素濃度が上昇し，この情報は拍動中枢が存在する（　エ　）に伝わる。すると自律神経のうちの（　オ　）神経から（　カ　）が放出され，洞房結節がこれを受け取ることで心拍数は増加する。一方，リラックスしているときには，(6) 自律神経のうちの（　キ　）神経から洞房結節に（　ア　）が放出され，心拍数は減少する。

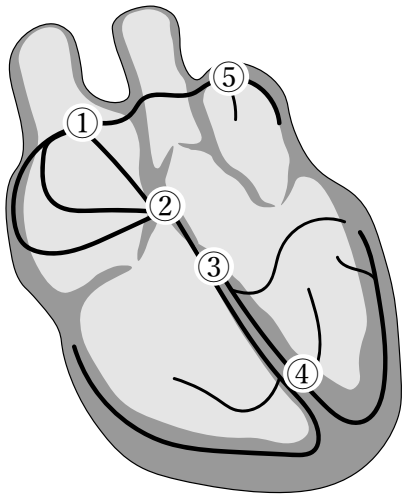


図３　心臓（正面図）と刺激伝導系

生　　物　（その４）

問１　文中の（　ア　）～（　キ　）に適語を記せ。

問２　下線部（１）について，

ⅰ）筋組織のうち，横紋筋に分類されない筋を何とよぶか，名称を記せ。

ⅱ）横紋筋を含む器官を ① ～ ⑥ からすべて選び，番号で記せ。

① 舌　② 胃　③ 横隔膜　④ 血管壁　⑤ 子宮　⑥ ぼうこう

問３　下線部（２）について，このようなシナプスを特に何とよぶか，名称を記せ。

問４　下線部（３）について，筋収縮後（　ウ　）イオンはすみやかに筋小胞体に戻される。しかし，細胞内の（　ウ　）イオン濃度が減少しただけでは骨格筋は元の長さに戻らない。骨格筋が元の長さに戻るしくみを簡潔に記せ。

問５　下線部（４）について，この細胞間結合を何とよぶか，名称を記せ。

問６　下線部（５）について，

ⅰ）洞房結節はどこに位置しているか。最も適当なものを図３の ① ～ ⑤ から１つ選び，番号で記せ。

ⅱ）洞房結節に異常をきたすと正常な心臓の拍動が保てなくなるため，心筋を周期的に刺激して正しく拍動させる装置を取り付ける必要がある。この装置を何とよぶか，名称を記せ。

ⅲ）心筋収縮の刺激がうまく伝わらないと，心筋は痙攣（けいれん）を起こしてしまい血流が滞る。これを防ぐために大きな電気ショックを心臓に与え，正常な拍動リズムに戻す装置が，街角に設置されるようになってきた。この装置を何とよぶか，名称を記せ。アルファベットの略語で記しても構わない。

問７　下線部（６）について，（　ア　）を受け取ったときに，心筋では興奮が抑えられるのに対して，骨格筋では興奮が起こる。これは（　ア　）の受容体が心筋と骨格筋で異なるためである。心筋では（　ア　）受容体のシグナルはカリウムイオンチャネルに作用し，カリウムイオンの膜透過性を高めることで心筋の興奮が抑えられる。では，骨格筋で発現している（　ア　）受容体はどのようにして骨格筋の興奮を引き起こすのか，簡潔に記せ。

生　　物　（その５）

第３問　ATP に関する次の文を読み，以下の各問いに答えよ。

動物が生命活動に使うエネルギーは，有機物を酸化することにより得られる。この酸化反応で放出されるエネルギーは直接生命活動に使われるのではなく，いったん ATP とよばれる物質の合成に使われる。ATP はすべての生物で用いられ，(1) 運動や (2) 輸送，生合成など，多くの生命活動に使われる代表的なエネルギー運搬体である。また，(3) ATP の構成要素である AMP は，アセチル CoA などエネルギー代謝に必要不可欠ないくつかの分子の構成要素となっている。このことは原始地球ではリボヌクレオチドを主体とする生命が存在していた，とする「RNA ワールド仮説」を支持する証拠の１つととらえることができる。

ヒトの ATP 合成系で最も代表的なものは呼吸である。(4) グルコースを基質とする呼吸では，グルコースを３つの経路で分解して完全に酸化する。これらの経路でグルコースの化学エネルギーは，細胞の生命活動にとってちょうどよい大きさに小分けされながら段階的に取り出され，直接，あるいは，高エネルギー電子運搬体を経由して，ATP 分子内の高エネルギーリン酸結合に蓄えられる。このようにして (5) 1 mol のグルコースから合計 38 mol の ATP が合成される。蓄えられたエネルギーは ATP が ADP とリン酸に加水分解されるときに放出されるが，その大きさは標準状態（25℃，1 気圧，1 mol/L）の場合，約 30.5 kJ/mol である。しかし，(6) そのエネルギーでは推進できない生合成反応もある。その場合には ATP が AMP まで加水分解されるときに放出される約 64.7 kJ/mol ものエネルギーが使われる。

問１　下線部（１）について，ATP の化学エネルギーを運動エネルギーに直接変換するモータータンパク質を３つ記せ。

問２　下線部（２）について，ATP を用いて生体膜をはさんだ物質の能動輸送を行うタンパク質を１つ記せ。

問３　下線部（３）について，ATP，ADP，アセチル CoA の他に，分子内に AMP を含むエネルギー運搬体を２つ記せ。略語を用いても構わない。

生　　物　（その６）

問４　下線部（４）について，３つの経路とは順に，a）解糖系，b）クエン酸回路，c）電子伝達系をさすが，各経路の反応系全体をみた場合，ア）二酸化炭素，イ）酸素，ウ）ATP の収支はどうなっているか。最も適当なものを ① ～ ③ からそれぞれ１つずつ選び，番号で記せ。

① 増える　　② 減る　　③ 増減なし

問５ｉ）問４の a）～ c）の経路以外で，基質レベルのリン酸化により ATP をつくり出す反応で，ADP にリン酸基を与える基質の物質名を１つ記せ。

ⅱ）基質レベルのリン酸化と酸化的リン酸化以外の方法で，ATP をつくり出す反応を１つ記せ。

問６　下線部（５）について，

ｉ）グルコース 1 mol の化学エネルギーは 2,870 kJ である。グルコースが完全に酸化されて二酸化炭素と水になったときに，ATP に蓄えられなかった残りのエネルギーはどうなるか，簡潔に記せ。

ⅱ）座っていることがほとんどの成人男性の場合，１日の必要摂取エネルギーは約 9,200 kJ である。摂取エネルギーをすべてグルコースでまかない，エネルギーを ATP の形で利用していると仮定した場合，細胞１個当たり，１分間に何分子の ATP を消費していることになるか。最も適当なものを ① ～ ⑧ から１つ選び，番号で記せ。ただし，アボガドロ定数は 6×10^{23}，成人男性を構成している細胞の総数は 4×10^{13} 個とする。

① 1.3×10^{6} 分子　② 3.1×10^{6} 分子　③ 1.3×10^{7} 分子
④ 3.1×10^{7} 分子　⑤ 1.3×10^{8} 分子　⑥ 3.1×10^{8} 分子
⑦ 1.3×10^{9} 分子　⑧ 3.1×10^{9} 分子

問７　下線部（６）について，ATP などのヌクレオシド三リン酸が，ヌクレオシド一リン酸に加水分解される際のエネルギー差を利用して合成される物質にはどのようなものがあるか，物質名を１つ記せ。

生　　物　（その７）

第４問　真核生物の核構造と遺伝子発現に関する次の文を読み，以下の各問いに答えよ。

(1) 真核生物の長大なDNAはヒストンに巻き付き，さらにそれらが凝縮してクロマチン繊維を構築することで核内に機能的に収納されている。電子顕微鏡で核を観察すると，クロマチン濃度の薄い領域と濃い領域が存在し，前者はユークロマチン，後者はヘテロクロマチンとよばれる（図４）。ユークロマチンではクロマチン繊維は緩んでおり，転写に関わるタンパク質が容易にDNAに結合できる状態となっている。そのため一般にこの領域では遺伝子の転写が起きている。一方，ヘテロクロマチンの領域ではクロマチン繊維は高度に凝縮しているため，転写に関わるタンパク質はDNAに結合できず，遺伝子の転写は抑えられているか，もしくは，(2) もともと遺伝子の存在しない場所となっている。ヘテロクロマチン領域の遺伝子が転写されるためには，凝縮したクロマチン繊維がほどける必要があるが，(3) このようなクロマチン構造の変化には，塩基性タンパク質であるヒストンのアセチル化修飾が重要な働きを担っていることが近年明らかになってきた。

ほどけたクロマチン繊維のDNAにさまざまな転写因子が結合することで，さらに詳細な転写制御が行われる。RNAポリメラーゼは複数のタンパク質とともに転写複合体を形成してプロモーター配列に結合し，その後，転写を開始する。プロモーター配列の近傍に存在する(4) 転写調節領域には，さまざまな転写活性化因子や転写抑制因子が結合して転写複合体に作用し，転写活性の調節を行っている。

この他に，DNAの修飾による転写調節機構も存在する。特定のシトシンはしばしばメチル化修飾を受けるが，(5) プロモーター配列での高度なメチル化修飾は転写抑制を引き起こす。真核生物ではこのように，(6) 多種多様な方法を用いることで，発生や分化における複雑な遺伝子発現の制御を行っている。

個体の発生では，細胞が分化していくのにしたがって核内の多くの遺伝子が不活性化し，この過程は不可逆的に進行するものと考えられていた。ところが，(7) 1960年代に，分化した細胞の核を未分化な状態に戻すことが可能であることが実験的に示された。この研究をきっかけとして，山中伸弥は少数の遺伝子を分化した細胞に導入することでiPS細胞をつくり出せることを示し，2012年にノーベル賞を受賞した。

生　　物　（その８）

問１　下線部（１）について，

ｉ）DNA がヒストンに巻き付いたクロマチンの機能単位を何とよぶか，名称を記せ。

ⅱ）ヒト体細胞の核 DNA は約 60 億塩基対からなり，ｉ）の機能単位は約 200 塩基対ごとに 1 個形成される。この機能単位を直径 11 nm の球体とし，核を直径 6 μm の球体とした場合に，クロマチンは核内の体積のどの程度の割合を占めるか。最も適当なものを ① ～ ⑥ から 1 つ選び，番号で記せ。

① 6%　② 12%　③ 18%　④ 24%　⑤ 36%　⑥ 48%

問２　別の観察により，図４の（A）には RNA が濃縮されていることがわかった。

ｉ）（A）の名称を記せ。

ⅱ）（A）の領域では rRNA の転写が行われ, 複数のタンパク質と結合してリボソームを形成する。これらのタンパク質はどこで合成されるか。最も適当なものを ① ～ ⑤ から 1 つ選び，番号で記せ。

① 核質　② 核膜　③ 粗面小胞体　④ 滑面小胞体　⑤ 細胞質基質

問３　下線部（２）について，分裂期に動原体を形成する領域は，細胞周期を通じて常にヘテロクロマチン状態になっている。この領域を何とよぶか，名称を記せ。

問４　下線部（３）について，ヒストンがアセチル化されることで，どうしてクロマチン繊維が緩むのか，その理由を簡潔に記せ。

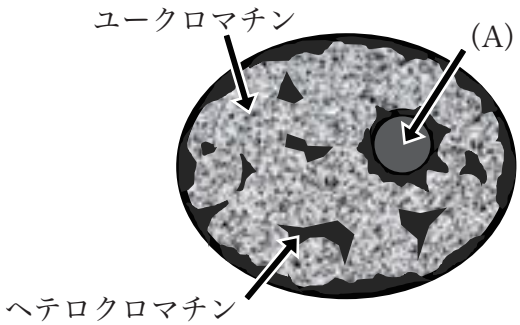


図４　真核生物の核構造

生　　物　（その９）

問５　下線部（４）について，あるヒトの遺伝子Ｚの転写調節領域の働きを調べるため，遺伝子Ｚの転写開始点の上流領域をａ～ｅに分け，それらのDNA断片を挿入したいくつかのプラスミドを作製した。各プラスミドのDNA断片の下流に，ヒトには存在しない遺伝子をレポーターとして挿入した。各プラスミドをヒトの培養細胞に導入し，培養下におけるレポーター遺伝子の転写レベルをそれぞれ測定した。元の遺伝子Ｚの構造と，導入した各プラスミドの転写レベルの測定結果を図５に示す。

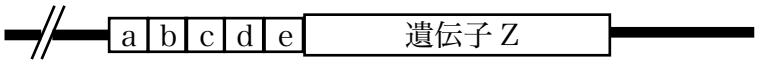
ⅰ）この実験において，転写レベルの測定に遺伝子Ｚではなく，レポーター遺伝子を用いた理由を簡潔に記せ。

ⅱ）転写抑制因子の結合する領域はどこか。最も適当なものを①～⑥から１つ選び，番号で記せ。

①ａ　②ｂ　③ｃ　④ｄ　⑤ｅ　⑥ａ～ｅには存在しない

ⅲ）転写活性化因子の結合する領域はどこか。最も適当なものを①～⑥から１つ選び，番号で記せ。

①ａ　②ｂ　③ｃ　④ｄ　⑤ｅ　⑥ａ～ｅには存在しない



遺伝子Ｚと転写調節領域の構造

プラスミド内の遺伝子発現領域の構造	レポーター遺伝子の転写レベル
a b c d e レポーター遺伝子	＋
b c d e レポーター遺伝子	＋＋＋
c d e レポーター遺伝子	＋＋＋
d e レポーター遺伝子	＋/－
e レポーター遺伝子	＋/－

（＋/－は転写がほぼ検出されない状態を表す）

図５　転写調節領域の解析

生　　物　（その10）

問６　下線部（５）について，いったんメチル化を受けたDNAは，細胞分裂後もメチル化状態が受け継がれ，遺伝子の発現に影響を与える。このようにDNAの塩基配列そのものは変化しないのに細胞や個体の表現型が変化し継承されていく現象を何とよぶか，名称を記せ。

問７　下線部（６）について，遺伝子が転写された後，翻訳されるまでの間に行われる遺伝子発現調節のしくみにはどのようなものがあるか，２つ記せ。

問８　下線部（７）について，どのような実験によってこの事実が示されたか，簡潔に記せ。