

## 第1問

### 出題の意図

今回の出題の意図は細胞生物学、遺伝学および発生生物学で最も基本的な現象である細胞分裂の仕組みと細胞周期の関係をまず問い、次に細胞分裂の時のいくつかの段階に見られる染色体と紡錘体の変化を必要な用語を使いながら説明を求めている。

細胞周期を制御している分子も問うている。

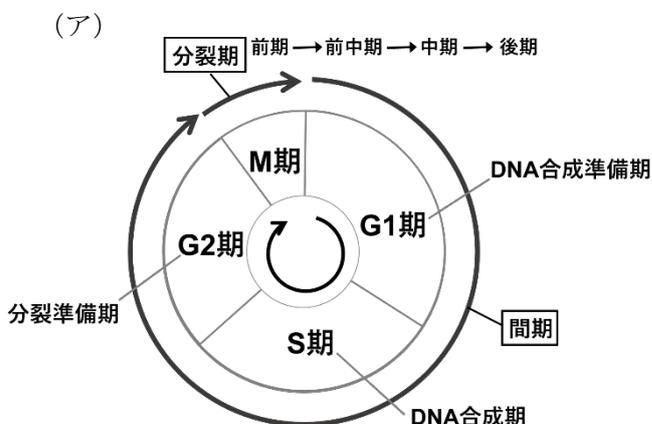
また、細胞分裂ともう一つ重要な細胞分化のメカニズムについては転写の仕組みを問うている。

DNA→mRNA→タンパク質合成 というセントラルドグマの中で細胞分化に重要な転写機構と分化についての考え方である。

今回の問1～問3は生物学の基本をどこまで理解し、それをどのように正しく表現し解答するかである。

### 解答例

#### 問1



(イ) 細胞周期には分裂期（M期）と間期とがあり交互に進行している。間期には G1期、S期、G2期があり、S期はDNA合成期でDNAの複製が行われている。分裂期（M期）は大きく分けて前期、前中期、中期、後期、終期がある。

つまり細胞周期はM期→G1期→S期→G2期を繰り返して一方向で進行させている。

(ウ) この細胞周期を動かし制御している分子はサイクリンとサイクリン依存性キナーゼそしてMPF（成熟促進因子またはM期促進因子）であり、これらの因子の濃度や複合体が細胞周期の制御には必要である。

問 2.

細胞分裂期 (M 期) は有糸分裂期ともよばれ、さらにいくつかの段階に分かれる。それらは前期、前中期、中期、後期、終期である。有糸分裂において染色体の移動を制御する装置は紡錘体であり、紡錘体は微小管で構成される。

動物細胞では紡錘体は中心体から生じるので紡錘微小管とも呼ばれる。

前期では核内で染色体の凝縮が始まり、やがて染色体の複製が行われ、2つの同一の姉妹染色体同志がセントロメアで結合している。核の外側では2個の中心体が分離する。前中期は核膜の分散で始まり、染色体は動原体により紡錘体微小管に接着する。中期になると染色体は紡錘体極の中間にある紡錘体赤道面に整列する。

後期では姉妹染色分体は分離し、2組の娘染色体がそれぞれ紡錘体極に引っ張られて行く。終期では2つの娘核が形成される。染色体の凝縮度が次第に減少して行く。核が遺伝的に同一の2つの核に分裂する有糸分裂はこれで完了する。

問 3 ;

クロマチンは染色体を構成する DNA とタンパク質の複合体である。細胞が分裂していない時、また細胞分裂に備えて DNA 複製している時でも、それぞれの染色体は長く細いクロマチン繊維の形で存在する。

ヌクレオソームはクロマチンがほどけた状態になったとき、糸で連なるビーズのように見える。それぞれのビーズはヌクレオソームと呼ばれ、DNA 詰込みの単位である。

ヌクレオソームは4種類のヒストンがあり、それに DNA が2周で巻き付いている。ヒストンは正の電荷を持つアミノ酸を多く含み、負の電荷した DNA と結合してクロマチン構造の形成に重要な役割を果たすタンパク質である。大きく5種類ある。ヒストンタンパク質がリン酸化などされると負の電荷となり、DNA が反発して DNA がヌクレオソーム構造から離れて裸の DNA になる。

mRNA 合成の転写期ではこの裸の DNA を作る必要がある。

RNA ポリメラーゼはタンパク質の一種であり、裸の DNA の TATA ボックスを持ったプロモータ領域に結合したのち、DNA 鎖を巻き戻して鋳型鎖の開始点から RNA 合成を開始する。その後、mRNA 合成して mRNA 鎖を伸長し、やがて RAN ポリメラーゼが DNA 鎖のターミネーター配列を通過すると転写は終わり、mRNA 合成も終わる。

## 第2問

### 解答例

#### 問1

・転写・翻訳：真核生物は、核内で転写、核外で翻訳を行い、転写・翻訳が空間的に分かれている。また、遺伝子ごとに転写-修飾-翻訳が異なる調節を受け、時間的に分かれている。

・分断された遺伝子構造：真核生物は遺伝子ごとに転写・発現の制御領域がある。真核生物にはイントロンがある

・RNA プロセッシング：真核生物では mRNA が核を離れる前に5'末端はヌクレオチドのキャップにより修飾され、3'末端はポリ A が付加される。

・mRNA のスプライシング：遺伝子の数より多い種類のタンパク質をつくりだす選択的スプライシングという機構が存在する

問2 ウイルスのタンパク質と RNA が宿主細胞内に放出される。

問3 核外でウイルスの逆転写酵素により、ウイルス RNA から相補的 DNA 鎖が合成され、さらにそれを鋳型に第二の DNA 鎖（二本鎖 DNA）が合成される。これがプロウイルスとして、核内に入り、インテグラーゼにより、宿主のゲノムに取り込まれる。

#### 問4 215

問5 変異型 *c* 受容体に HIV が結合できないので、保有者は HIV に抵抗性をもつ。

問6 その集団から十分数の個体のサンプルを得る。欠失部位を挟むように逆方向の PCR プライマーを設定して、各サンプルのゲノム DNA を鋳型に PCR で増幅し、電気泳動でバンドを検出。増幅断片が長いバンド1本(CC), 短いバンド1本(cc), 2種類のバンド(Cc)が得られる。

調査サンプル中の Cc 型の割合をもとめる。

プライマーの長さは17塩基以上。

(例) AAAGAAGGTCTTCATTACACC  
CCTCTTCTTCTCATTTGACA

### 第3問

#### 出題の意図

植物学、発生学、分子生物学、細胞生物学および遺伝学の各生物学分野の知見を総合的に活用する力を、被子植物の生殖および発生機構を題材にして問う。

#### 解答例

##### 問1

その胚が GFP 蛍光を呈し、かつ 3 倍体であるので、X-A と X-B の花粉に由来するそれぞれの精細胞が同じ卵細胞と融合（受精）することで、X-A と X-B の双方のゲノムを核内に有し、かつ 3 倍体の受精卵が生じたと考えられる。このような組み合わせの受精卵が出来るためには、受精リカバリー機構によって X-A と X-B のそれぞれの花粉由来の 2 本の花粉管が一つの胚のう内に侵入し、X-A 精細胞、X-B 精細胞、および野生型卵細胞の組み合わせで配偶子融合が起きることが必要である。

##### 問2

問1で答えたような胚は、異なる父親由来の雄性配偶子 2 個と雌性配偶子 1 個の融合から生じた 3 親性の胚である。一方、通常の有性生殖では、一对の雌雄配偶子の融合により 2 親性の 2 倍体の胚が生じる。

##### 問3

2つの精子が同一の卵に受精した際に生じる動物の多精受精卵内には、精子由来の中心体が 2 個存在し、その分裂期には中心体が複製されて同一細胞内に 4 個の中心体が存在するようになる。多精受精卵の核相は  $3n$  であり、分裂前には DNA 複製により  $6n$  となる。分裂期には、この  $6n$  のゲノム(染色体)がそれぞれの中心体を起点とした紡錘体によって不均等に (4 方向に) 分離されるので、正常な染色体セットをもたない娘細胞が生じることになる。このために細胞不全が生じて胚性致死に至る。一方、植物細胞は中心体を持たないことから中心体依存的な紡錘体は形成されず、図 3 のように植物多精受精卵の染色体(ゲノム)は両極に均等に分離され、正常な染色体セットをもつ娘細胞が生じるので、分裂・発生が正常に進行する。

## 第4問

### 出題意図

胎盤は哺乳類有胎盤類において発達した、胎児を保護し、成長させる重要な器官であり、胎盤の進化によって哺乳類は胎児がかなり大きくなるまで母体中で生育させることができるようになった。この問題は、胎盤という器官の系統進化、構造、機能を通して、哺乳類の様々な性質に関する理解を問うている。

### 解答例と解説

#### 問1

(解答例) (ア) 単孔類 (カモノハシ類) (イ) 有袋類

単孔類は産卵する。胎児は卵の中で発生・成長し、やがて孵化して、新生児は母親の腹部にある乳腺から栄養を得る。有袋類は簡単な胎盤をもち、胎児はそこで短期間発生するが、きわめて未熟な状態で産み落とされ、母親の腹部にある育児嚢に入って、その乳首から乳を吸う。

(解説) 哺乳類は大きく、単孔類、有袋類、有胎盤類に分かれる。いずれも哺乳類の共有派生形質である毛の存在と乳の分泌という性質をもっているが、生殖と出産、授乳にはかなりのちがいがあある。単孔類は産卵をし、新生児は孵化後母親から授乳される。ハリモグラ類の母親には育児嚢があるが、狭義のカモノハシ類にはない。単孔類の乳腺にはいわゆる乳首が存在しない。有袋類には簡単な胎盤があり、胎児はある程度まで母親の胎内で発生する。早い段階で出産し、新生児は母親の体の表面を移動して腹部の育児嚢にたどりつき、そこで授乳される。なお哺乳類(綱)は、単孔類すなわち原獣亜綱と、有袋類(後獣類)と有胎盤類(正獣類)を含む真獣亜綱に分かれるので、それらの用語で解答しても正解である。

#### 問2

(解答例) 胎盤は母体の組織と胎児の組織からなる。受精卵が細胞分裂を繰り返して胚盤胞になり、子宮壁に着床すると、胚盤胞の外側の細胞層(栄養外胚葉、栄養芽層)と、子宮内膜の組織から胎盤が形成される。完成した胎盤では、母体側の動脈に由来する毛細血管から滲出した血液が、類洞(血液のプール)中に滞留し、静脈へと戻る。類洞の内部には、絨毛膜という胎児の組織があり、そこに発達した絨毛の内部に臍帯を通過して来た動脈血が流れる。絨毛内部で動脈は毛細血管となり、血液は静脈へと流れて、胎児に戻る。類洞と胎児の絨毛毛細血管との間には上皮組織などがあり、母体の血液と胎児の血液が直接に混ざり合うことはない。

(解説) 胎盤は母親の子宮内膜と胚の栄養芽層から形成される、きわめて複雑な構造をした

器官であるが、基本的には上の解答例にあるように、母体の血液が溜まっている類洞の中に、胎児の絨毛が浸っていて、絨毛中の毛細血管を通して胎児は栄養や酸素を獲得し、二酸化炭素などの老廃物を母体に渡している。重要なことは、母親の血液と胎児の血液が混じり合うことはない、ということである。類洞と胎児の毛細血管の間には厳密な選択的透過性があり、胎児に有用な物質のみが胎児に渡される。ただし、ある種の抗体は胎盤を通過し、そのことが Rh 因子の血液型不適合による貧血の原因となる。

### 問3

(解答例) 図から、酸素分圧の低い末梢の血液においては、胎児ヘモグロビンの方が成体ヘモグロビンより酸素飽和度が高く、したがって成体ヘモグロビンは酸素を解離して胎児ヘモグロビンに渡すことになる。それが胎児が効率よく酸素を受け取る仕組みである。

(解説) ヘモグロビンの酸素との結合・解離は酸素飽和度によって表される。酸素飽和度は環境の pH などによって変化し、それが種々の生理的状态における呼吸のホメオスタシスに重要であることについては、これまでも多くの出題がなされてきた。上に述べたように、胎児の血液は母体の血液と混ざらないから、胎児の血液が母体から酸素を受け取るには、母体ヘモグロビンより酸素親和性が高い必要がある。それを示すのが問題中の図である。酸素分圧が低い状態(末梢の血液)では、胎児ヘモグロビンのほうが酸素に対する親和性が高いので、母体ヘモグロビンは酸素を解離して胎児ヘモグロビンに渡すことになる。それにより胎児は、生育に必要な酸素を確保することができる。

## 第5問

### 【出題意図】

個々のニューロンの興奮は全か無かの法則にしたがうため一定の大きさの活動電位が発生するかしないかのいずれかしかありません。このような性質を備えたニューロンを素子として、適刺激の強さや効果器の応答の大きさの連続的な変化が神経系においてどのように表現されているかについて理解しているかを問うとともに、EPSP と IPSP の概念について理解し自分のものとしているかどうかを試すことを意図しました。

- 問1 感覚受容器からの刺激の強度の連続的な変化は、個々の感覚ニューロンの興奮の頻度、および興奮するニューロンの個数、という形に変換されて神経を伝わることを理解しているかを問いました。
- 問2 1個のニューロンの活動電位が発生するか否かは、多数のシナプス入力のいわば多数決（EPSP が賛成票で IPSP が反対票）により決定されることについて理解しているか、確認しました。
- 問3 ニューロンと異なり、骨格筋の筋繊維は1個の運動ニューロンからの1回のシナプス入力に応じて活動電位を発生し収縮できます（単収縮）。これを実現するため、神経筋接合部では特殊な構造のシナプスが形成されています。すなわち構造は機能と密着しています。基本的知識としてその構造の名称と神経伝達物質の名称を問いました。
- 問4 骨格筋は筋繊維が多数束ねられてできています。骨格筋の収縮の強さは、運動ニューロンの興奮の頻度を高めて個々の筋繊維の収縮を単収縮から強縮へと強めるほか、発火する運動ニューロンの数を増やして収縮する筋繊維の本数を高めることを通じて実行されています。ここでも運動ニューロンの興奮の頻度と興奮するニューロンの数を変えることで、筋収縮という効果器の反応の大きさを連続的に変えていることを理解し説明できるか問いました。
- 問5 膜電位の定義を確認するとともに、EPSP および IPSP の概念の理解を問いました。

### 【解答例と解説】

- 問1 （解答例）個々の感覚ニューロンの活動電位発生頻度の変化、および同時に活動電位を発生する感覚ニューロンの数の違いに反映されて伝えられる。  
（解説）感覚刺激の大きさは、活動電位の大きさではなく、活動電位の発生頻度と、活動電位を発生するニューロンの数によって反映される。後者は一つの神経の中にも閾値の異なる複数のニューロンが含まれているためである。
- 問2 （解答例）ニューロンでは個々のシナプスからの刺激により興奮性シナプス後電位（EPSP）、もしくは抑制性シナプス後電位（IPSP）が生じる。短い間隔で複数の EPSP

や IPSP が発生すると、前後で加算しあって全体としての EPSP や IPSP の大きさが変わる。これを時間的加重という。また複数のシナプスからの同時入力によっても EPSP や IPSP の加算がおこる。これを空間的加重という。加重の結果 EPSP が閾値に達すると活動電位が発生する。

(解説) ほとんどの場合 1 個のニューロンには多数のシナプスが形成され、1 個のシナプスからの刺激のみで活動電位が発生することは通常ない。ニューロンでは複数のシナプスからの刺激が加重された結果から興奮するかしらないかが決定される。ここでもシナプス前細胞の興奮の頻度と、興奮するシナプス前細胞の数がものをいう。

問 3 (解答例) (1) 神経筋接合部

(2) アセチルコリン

(解説) ニューロンとは異なり、筋繊維は 1 個のニューロンからのみ指令を受け取る。このシナプスは神経筋接合部と呼ばれ、1 回の活動電位による伝達で確実に閾値に達する EPSP が発生できるように、運動ニューロンでは軸索が終末付近で分枝してシナプス前膜の面積が広くとられアセチルコリンを含むシナプス小胞も非常に多数存在する一方、筋繊維のシナプス後膜も折れたたまり表面積を広くしアセチルコリン受容体が豊富に存在する。

問 4 (解答例) 個々の運動ニューロンの興奮の頻度を高めることにより、筋繊維の収縮が単収縮から強縮へと変化し、個々の筋繊維の収縮が強められる。また、興奮する運動ニューロンの数を増すことで収縮する筋繊維の本数を増やし、骨格筋の収縮の力が強まる。

(解説) 1 本の筋繊維の収縮を単収縮から強縮に高めることに加え、収縮する筋繊維の本数を変えることで、収縮の力を連続的に変えることができる。なお、1 本の筋繊維は 1 本の運動ニューロンの軸索のみを受け取るが、1 個の運動ニューロンの軸索は多くの場合分岐して複数本の筋繊維を支配する。すなわち運動ニューロンとその支配を受ける筋繊維の関係は 1 : 多である。

問 5 (解答例) (1) 基準電極が、脊髄の運動ニューロンの細胞外液にひたされた状態を生み出すため。

(2) 抑制性ニューロン

(3) 刺激電極①により伸筋の筋紡錘からの神経を刺激した場合には IPSP が、刺激電極②により屈筋の筋紡錘からの神経を刺激した場合には EPSP が生じる。

(解説) ここでの膜電位の記録法は細胞内記録法といい、細胞外液を 0 mV としたときの細胞内の電位を測定していることに注意する。筋紡錘は骨格筋の長さを検出する受容器で、伸長を受容すると筋紡錘の含まれている筋肉を支配する運動ニューロンに情報を送って EPSP を発生させて、運動ニューロンを興奮させるように作用する。一方拮抗筋に対しては抑制性の介在ニューロンを介して運動ニューロンに IPSP を発生させるように作用し、ある筋肉とその拮抗筋が両方同時に収縮することがないように

している。大切なことは筋紡錘（受容器）から筋肉（効果器）へ直接指令が伝わるのではなく、あくまでも脊髄（中枢）の運動ニューロンを介して指令が伝えられるということである。また、運動ニューロンが筋繊維に命じることができるのは収縮することのみで、筋繊維の弛緩は運動ニューロンの抑制を通じて行われる。

第6問

【解答例】

問1 一次遷移とは、火山噴火のような巨大な攪乱によって土壌が全て失われた状態から始まる遷移のことである。(49字)

問2 A台地：① B台地：③ C台地：②

問3 ・純生態系生産量 (NEP) は、一定時間内に蓄積した全生物量の総量であるのに対し、NPP は一定時間内に増加した一次生産者の量である。(60字)

・純生態系生産量 (NEP) は、総一次生産量から生態系内の全生物の呼吸量を差し引いたものであるのに対し、NPP は総一次生産量から一次生産者の呼吸量を差し引いたものである。(79字)

問4 NEP は、NPP から Rh を差し引くことで求めることが出来る ( $NEP=NPP-Rh$ )。生態系が十分に成熟し老齢木が多い成熟林では、生態系全体として生産器官に対して、幹や枝といった非同化器官器官の割合が大きくなり、NPP が低下する。一方で Rh は成熟林でも減少しないため、NEP はゼロになると考えられる。(130字)

## 第7問

野外調査によって得られたデータから何が読み取れるかを問う。自然界における生態学的法則性について、学んだ知識をどれくらい応用できるかを問う。

### 解答例

#### 問1

34.4 個体/ヘクタール

#### 問2

(1) 50 個体/ヘクタールくらいまでの密度では成熟個体の平均体長に差はないが、それより高密度になると密度に応じて体長が小型化する傾向がある。

(2) 高密度になりすぎると、餌資源に限りがあるため摂食速度が低下し、それによって成長速度も低下するだろう。そのため、体が小さいまま成熟する個体が多くなり、成熟個体の平均体長が小さくなると考えられる（密度効果としての生理的反応）。

#### 問3

(1)

・トカゲの天敵が多い島ではトカゲの密度が低く、天敵がない島ではトカゲの密度が高くなる。

・天敵が少なく、トカゲの密度が高いほど、成熟個体の平均体長が大きくなる。

(2) 天敵がない、あるいは少ないと、トカゲの密度が高くなる。密度が高いと餌をめぐる種内競争が強く作用するため、種内競争に勝てる大型個体が有利になる。そのため、天敵が少なく高密度になる島ほど、成熟個体の平均体長が大きくなったと考えられる（生活史としての進化的反応）。