

問題

1

核 DNAは間期で複製される。核膜はM期の前期から中期にかけて断片化し、細胞質内に拡散して分配される。この核膜崩壊と併行してクロマチンが凝集して染色体を形成し、中期に紡錘体の中央に整列したのち微小管によって相同染色体が正確にそれぞれの娘細胞に分配される。また、娘細胞の間期における核膜の再構築は、まず染色体の周辺に対して核膜(成分)が集まり、その後、各染色体周辺の核膜がさらに集合し、1つの核を形成していく。

小胞体 前期から中期にかけて断片化し、細胞質内に拡散して分配される。特に核周辺の小胞体は核膜と同様の断片化を受け、その一部は核膜の成分としても供給される。娘細胞の間期では核周辺ではシート状、それ以外の場所では網目状に再構築される。

ゴルジ体 間期のG2期にゴルジ体同士を繋ぐリボン構造が切断される。その後、M期の前期から中期にかけて袋状の本体が小胞状に断片化され、細胞質内に拡散して分配される。断片化にはCdk1依存的な様々なゴルジ上のタンパクのリン酸化が必要とされ、M期の終期から間期における再構築ではMyt1などによるCdk1の不活性化が必要とされる。

ミトコンドリア 他のオルガネラと異なり、間期の間でも分裂と融合を繰り返している。分裂時にはM期の前期から中期にかけて、間期と同様のミトコンドリア分裂機構がさらに促進され(ダイナミン様タンパクのDrp1がcdk1のリン酸化により活性化され)、細胞質内に拡散して分配される。間期において徐々に融合して再構築される。

問題 2

(1)

シンテニーとは、異なる生物種間で染色体上のオルソログ遺伝子の配置が保存されている状態を指し、これは両者が共通祖先に由来することを反映している。

シンテニーの進化は、ゲノム構造の変化を通じて生じるものであり、全ゲノム重複 (WGD) や染色体の転座・逆位・欠失・重複などのゲノム再編成が主要な要因となる。さらに、相同組換えや非アレリック相同組換え (NAHR) といった分子機構によってもシンテニーは変化する。したがって、シンテニーの比較解析は、共通祖先のゲノムの変化や系統関係を推定するために有効であり、進化の過程におけるゲノム動態を理解する上で重要な手がかりとなる。

(2)

ヒトゲノムの非コード領域にはイントロンや遺伝子発現調節に関与する配列が含まれるが、非遺伝子領域とは、遺伝子として機能する情報をもたない領域である。

非遺伝子領域の大部分は反復配列から構成されており、その構造的特徴に基づいて散在性反復配列、単純反復配列、分節的重複に分類される。散在性反復配列にはトランスポゾンやレトロポゾンなどウイルス起源と考えられる配列が含まれ、哺乳類や植物のゲノムに多く存在する。一方、単純反復配列はサテライト DNA など短い配列の繰り返しからなり、DNA ポリメラーゼの滑り現象によって形成されると考えられている。分節的重複は、相同組換えなどによって比較的長い配列が別の染色体領域に重複したものである。さらに、これらの反復配列に加え、構成的ヘテロクロマチンも非遺伝子領域に含まれる。

これらの非遺伝子領域は、遺伝情報をもたないが、クロマチン構造の維持や染色体の安定性、さらには遺伝子発現制御や進化的な新規遺伝子の創出に関与するなど、ゲノム機能と進化を理解する上で重要な役割を担っていると考えられている。

問題 3

(1) パーティクルガン法は、金またはタングステンの微粒子に付着させた核酸をヘリウムガスの圧力によって標的細胞の核に導入する方法である。

実験手順

まず、金やタングステンなどの微粒子に、導入したい遺伝子配列を含む DNA 分子を付着させる。DNA が付着した微粒子と植物試料を、パーティクルガンのチャンバーにセットする。チャンバー内を減圧し、高圧ヘリウムガスの力で微粒子を細胞に打ち込む。高速で打ち込まれた微粒子が細胞核を貫通すると、付着していた DNA (遺伝子) は転写され、細胞内でタンパク質に翻訳される。

(2) Bt 植物とは、害虫に抵抗性を持たせるため、土壌細菌であるバチルス・チューリンゲンシス (Bt) 菌由来の殺虫性タンパク質 (Bt タンパク質) を作る遺伝子を組み込んだ植物である。この Bt タンパク質は、対象の昆虫 (鱗翅目など) のアルカリ性の消化管内で活性化し、消化管細胞にある受容体と結合することで、その細胞膜に穴を開けて昆虫を死に至らしめる。

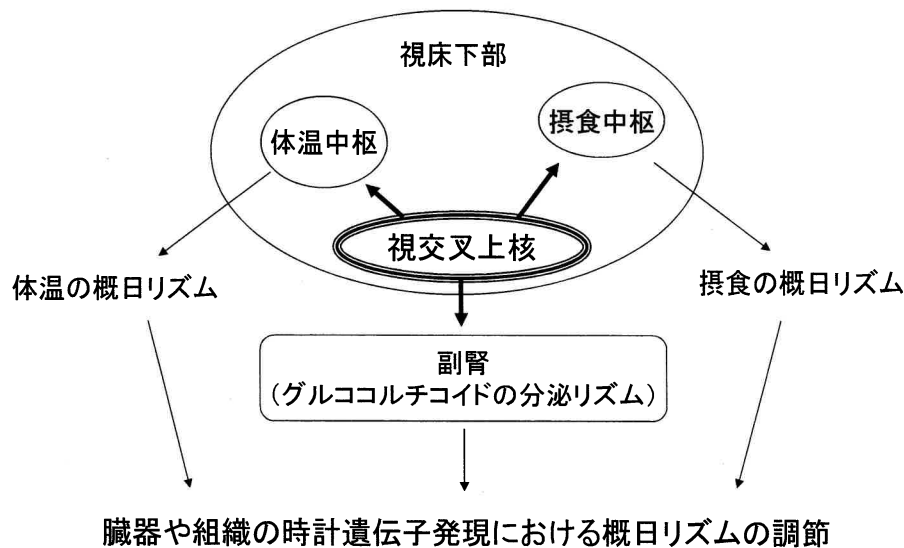
問題 4

(1) 個々の細胞に内在する末梢時計の周期長は約 24 時間ではあるが細胞間で異なっているため、視交叉上核による位相統合がなければ徐々に末梢時計間で概日リズムの脱同調が起きることが想定される。すなわち、中枢時計が存在しないと、全身としての概日リズムは消滅することになる。

(2) 末梢時計は、ゲノムワイドなレベルで、遺伝子発現において自律的な概日リズムを発生させている。これにより各細胞機能において概日リズムが発生する。発現において概日リズムを示す遺伝子の種類は細胞の種類により異なるため、細胞機能における概日リズムは細胞種特異的である。

(3) 小さな視交叉上核が、液性因子や神経因子などによって、全身の行動生理機能に概日リズムを生じさせることは困難である。個々の組織器官に自律的な概日時計が存在することで、視交叉上核から常に情報を受け取らずとも、個々の組織器官で概日リズムを生み出すことができる。視交叉上核は末梢時計の調節のみ行えば良い。

(4) 視交叉上核の概日リズム情報は体温中枢、摂食中枢および副腎に伝わる。その結果、体温や摂食の日内変動、およびグルココルチコイド分泌において概日リズムが発生する。そして、これらは末梢時計において時計遺伝子発現の概日リズムを調節する作用を持つ。以上の経路によって視交叉上核は全身の末梢時計を調節している。



問題 5

(1) しっぺ返し戦略では、最初に協力を示し、その後は相手の行動に応じて自分の行動を決める。相手が協力すればこちらも協力を続けるため、双方のプレイヤーが高い利益を得られ、相互協力の関係が保たれやすくなる。一方で相手が裏切った場合には、すぐに裏切りで報復するため、裏切られたことによるコストは最小限にとどめられる。また、相手が協力に戻れば自分も協力を再開することから、裏切りの一時的な利益よりも、長期的に関係を壊す不利益の方が大きくなり、協力が安定的に維持される。

(2) 自然界では、同じ相手と繰り返し出会えるような状況は限られている。出会いが一度きりで終わるような状況では、将来の報復を気にする必要がないため、協力を維持するしくみが働きにくい。また、しっぺ返しが成立するためには、相手を識別・認識し、さらに相手の行動を正しく記憶する必要がある。しかし、脳サイズの制約などから、これを実現できる動物種は限られている。

(3) 相互作用の最終回には将来の報復が存在しないため、裏切った方が得になると考えられる。そして相手が最終回に裏切ると分かっているならば、その直前の回でも協力を続ける動機が弱まり、裏切りが合理的な選択になる。このしくみが帰納的にはたらくため、最初の回から裏切ることがプレイヤーにとって最適な行動になり、協力は成立しない。

問題 6

気孔を構成する孔辺細胞において、青色光は青色光受容体であるフォトトロピンによって受容される。フォトトロピンは N 末端側に光受容ドメインである LOV ドメインをもち、C 末端側に Ser/Thr キナーゼドメインをもつ。LOV ドメインには発色団としてフラビンモノヌクレオチド (FMN) が含まれており、FMN は光受容により LOV ドメインのシステイン残基と共有結合し、システイン-フラビン付加物を形成する。これにより、LOV2 直下の J α ヘリックスが消失し、キナーゼドメインが活性化する。活性化したフォトトロピンは孔辺細胞特異的な Ser/Thr プロテインキナーゼである BLUS1 をリン酸化する。リン酸化により活性化した BLUS1 はプロテインホスファターゼ 1 (PP1) を介して細胞膜 H⁺-ATPase の活性化を引き起こす。H⁺-ATPase の C 末端領域には自己阻害ドメインが存在し、青色光のシグナルは自己阻害ドメイン内の 2 カ所の Thr 残基をリン酸化し、活性化させる。活性化した H⁺-ATPase は細胞膜を横切って H⁺を細胞外に輸送し、膜電位の過分極を誘導する。それにより、電位依存性の内向き整流性 K⁺チャンネルを介して孔辺細胞内に K⁺の取り込みを駆動する。蓄積した K⁺は、孔辺細胞内への水の取り込みを促進し、膨圧を増大させて気孔を開口させる。

問題 7

(1)

結さつ実験は、昆虫の特定の部位を糸などで縛り、体液（血液）の流れを遮断することで、結さつによって区切られた部位間でホルモンなどの液性因子が移動できなくなり、ホルモン産生器官からの分泌物が他の器官に到達するのを防ぐことができる実験手法である。胸部－腹部間の結さつ実験により、カイコガで知られているほとんどすべての内分泌器官の除去効果を調べることができる。

(2)

ホルモンの特定と機能解析

特定のホルモンが、どの器官で産生され、どのように他の器官に作用して脱皮や変態といった生理現象を制御しているのかを明らかにすることができる。

ホルモン産生器官の同定

特定の生理現象が起こるかどうかに、どの器官からのホルモンが関与しているのかを特定することができる。

ホルモンの分泌タイミングの解析

時間間隔をとった結さつ実験により、ホルモンの分泌時期の推定やホルモンによる時間依存的な制御メカニズムの解析ができる。

問題

8

(1)

原核生物の RNA 合成は、RNA ポリメラーゼホロ酵素によって開始される。ホロ酵素に含まれる σ 因子は、DNA 上の特定の塩基配列であるプロモーターを認識して結合し、転写開始点を決定する。ホロ酵素から σ 因子が解離すると、RNA ポリメラーゼは鋳型 DNA 鎖に沿って RNA を合成し続ける。転写が進み、DNA 上のターミネーター配列に到達すると RNA ポリメラーゼが解離し、転写が終了する。

(2)

真核生物の mRNA の 5' 末端は、転写直後に 7-メチルグアノシンが付加されるキャップ構造の修飾を受ける。この修飾は、mRNA の分解を防ぐ安定化作用を持つとともに、核外輸送の目印となり、さらに翻訳開始時にはリボソームの結合部位として働く。

(3)

真核生物では、二本鎖 RNA が細胞内に存在すると、これが Dicer という酵素によって切断され、短い一本鎖 RNA が生成される。この一本鎖 RNA は RNA-induced silencing complex (RISC) に取り込まれ、相補的な配列をもつ mRNA と結合し、標的 mRNA の分解や抑制を誘導する。

共通点：いずれも Dicer によって加工され、一本鎖 RNA として RISC に組み込まれ、標的 mRNA に結合して遺伝子発現を抑制する点で共通する。

相違点：siRNA は主に完全に相補的な mRNA に結合し、その mRNA を分解する。一方、miRNA は多くの場合、標的 mRNA と不完全に相補的に結合し、主に翻訳の抑制を行う。

問題 9

デュロタキシスとは、細胞が周囲の基質の硬さの勾配を感知し、硬い方向へ移動することである。

そのメカニズムは明らかではないが、例えば Sunyer and Trepap (2020, Current Biology) は、分子クラッチを介して基質に接続するアクチンフィラメントとミオシンのシンプルな力学で説明している。すなわち、細胞の前部におけるアクチン重合によって、先端端は伸長している。アクチンフィラメントは、クラッチと呼ばれるアダプタータンパク質を介して接着斑に結合し、接着斑は基質に接着している。ミオシン駆動の収縮は先端端から細胞中心へ向かうアクチンフィラメントの逆行性流動を生じさせる。この逆行性流動の方向は、細胞膜を外側へ押し出すアクチン重合の方向と反対である。ミオシン駆動の収縮が基質の硬い側と柔らかい側で等しく起きたとき、基質は硬い側よりも柔らかい側でより大きく引っ張られることになり、細胞は硬い側に進む。

令和8年度山口大学入試問題「出題の意図」

試験種別（大学院入試：一般選抜 博士前期課程(理学系)）

科目（専門科目）

※注：この出題の意図についての質問・照会には一切回答しません。

[出題の意図]

問題 1

細胞周期進行に伴うオルガネラの分配と再構築に関して、その知識と理解を測る。

問題 2

ゲノム構造や進化に関する理解力を測る。

問題 3

遺伝子組換え植物の作出法および、作出された遺伝子組換え植物の特性について理解力を測る。

問題 4

中枢時計と末梢時計の概念を問うことにより、哺乳類の概日時計における基礎知識の理解度を測る。

問題 5

協力行動と互惠性の進化に関して、基本的な理解力を測る。

問題 6

植物の気孔開口に関して、そのしくみの理解度を測る。

問題 7

昆虫学分野の実験形態学的手法の知識・理解力を測る。

問題 8

真核生物および原核生物の転写と翻訳の仕組みに関する基礎的な理解力を測る。

問題 9

細胞の運動と構造に関する理解力を測る。