

生物 問題 I

次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

私たちの身体をつくる細胞はリン脂質とタンパク質でできた細胞膜におおわれている。細胞膜を作るタンパク質の1つにナトリウム・カリウム ATPアーゼ(ナトリウムポンプ)がある。ナトリウム・カリウム ATPアーゼは細胞膜を貫通するタンパク質で、細胞内で産生された ATP の分解で発生するエネルギーを使って Na⁺ と K⁺ を能動輸送する。^①一方、受動輸送にはイオンチャネルとよばれるタンパク質などが関与する。^②

細胞膜をつくるリン脂質だけを取りだして試験管の中でリポソームという人工膜小胞を作ることができる。リポソームは半透膜の性質を持っている。細胞膜の特定のタンパク質を精製してリポソームに組み込むと、組み込んだタンパク質固有の性質を詳しく調べることができる。^③

異なる2種類の細胞をポリエチレングリコールなどの薬剤で融合させ、しばらく観察を続けると、2つの細胞の細胞膜に由来するリン脂質とタンパク質は混ざり合い、融合してできた細胞の細胞膜全域にわたって均一に分布する場合があることが知られている。^④一方、リン脂質やタンパク質が細胞膜の場所によって異なる分布を示す場合もある。^⑤細胞膜の分子がどのように分布するかは細胞全体の機能にとって非常に重要である。

問 1 下線①と同様に、ATPの分解で発生したエネルギーを使う現象に筋原繊維の収縮がある。この現象に直接関与するATPアーゼは何という分子か。

問 2 神経細胞間の情報伝達では下線②の性質を持つイオンチャネルが重要な役割を果たす。アセチルコリンを神経伝達物質として、ニューロンAからニューロンBに情報が伝達されるシナプスについて、ニューロンBの受容体にアセチルコリンが結合したために最初に開くイオンチャネルを通るイオンは何か。

問 3 ナトリウム・カリウム ATP アーゼは細胞膜を貫通するタンパク質であり、細胞膜では常に分子の特定の部位を細胞の外側に向け、別の特定の部位を細胞の内側に向けている。下線③のようにしてナトリウム・カリウム ATP アーゼを組み込んだリポソームを作製し、体液と同じイオン組成の液に入れて実験を行った。

図 1 に示すように、リポソームに組み込んだナトリウム・カリウム ATP アーゼが A～C の 3 つの異なる向きを取るようにした。すなわち、本来、細胞の外側に面している部位が、全てリポソームの外側に向くようにしたもの(A)、全てリポソームの内側に向くようにしたもの(B)、リポソームの内側、外側に向くものが半数ずつ混在するようにしたもの(C)、の 3 種類である。これらのリポソームを用いて 37℃ の液中で実験 1～3 を行った。なお実験開始時のリポソームの内側には外側と同じ液が含まれるようにした。

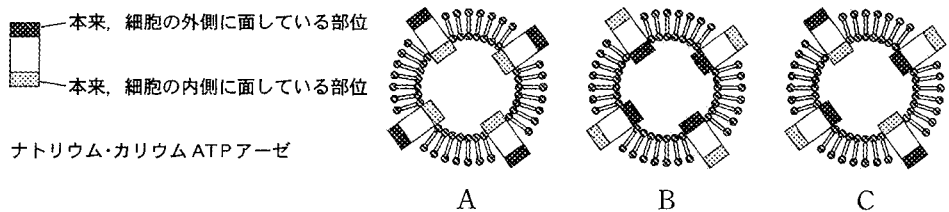


図 1

実験 1 (A)～(C)のリポソームの外側の液に ATP を添加した。

実験 2 (A)のリポソームの外側の液にクレアチンリン酸を添加した。

実験 3 (B)のリポソームの内側の液の Na^+ 濃度を外側より 20 ミリモル/L 低くし、逆に K^+ 濃度は外側より 20 ミリモル/L 高くした。この条件でリポソームの外側の液に ATP を添加した。

それぞれの実験において、リポソームの内側の Na^+ 、 K^+ 濃度は実験開始時に比較してどのように変化するか。以下の a～i の中から選び、記号で答えよ。

	Na ⁺ 濃度	K ⁺ 濃度
a	高くなる	高くなる
b	高くなる	変わらない
c	高くなる	低くなる
d	変わらない	高くなる
e	変わらない	変わらない
f	変わらない	低くなる
g	低くなる	高くなる
h	低くなる	変わらない
i	低くなる	低くなる

問 4 下線④のような細胞膜の性質を調べるために一種類の培養細胞をもちいて次のような実験を行った。細胞膜に存在するタンパク質 X, Y に GFP(下村脩によってオワンクラゲから精製されたタンパク質で、特定の波長の光を吸収して緑色蛍光を発する)をつなぎ合わせた分子(以下 GFP-X, GFP-Y と呼ぶ)の遺伝子をそれぞれ別々の細胞に導入し、タンパク質を作らせる。このタンパク質分子を直接見ることはできないが、GFPが発する蛍光により、細胞膜全体に GFP-X, GFP-Y が一様に分布することを観察できる。細胞膜のごく狭い領域に短時間、強いレーザー光を照射すると、その瞬間にレーザー照射部に存在したほとんどの GFP 分子の蛍光を消すことができる。レーザー照射された GFP 分子は蛍光を発することができなくなり、その能力が回復することもないが、それ以外の性質には変化がない。その後、細胞の培養を続けると、レーザー光を照射した領域の細胞膜の蛍光は徐々に回復してくる。GFP-X, GFP-Y それぞれについて、レーザー照射した細胞膜領域の蛍光強度の変化を時間軸にそって表すと図 2 のようになった。グラフの縦軸は同じ細胞膜領域の相対的蛍光強度を示し、レーザー照射直前の蛍光強度を 1 とした。時間 a が経過した時点で GFP-X, GFP-Y の相対的蛍光強度はそれぞれ 0.74, 0.50 であった。設問(1)および(2)に答えよ。

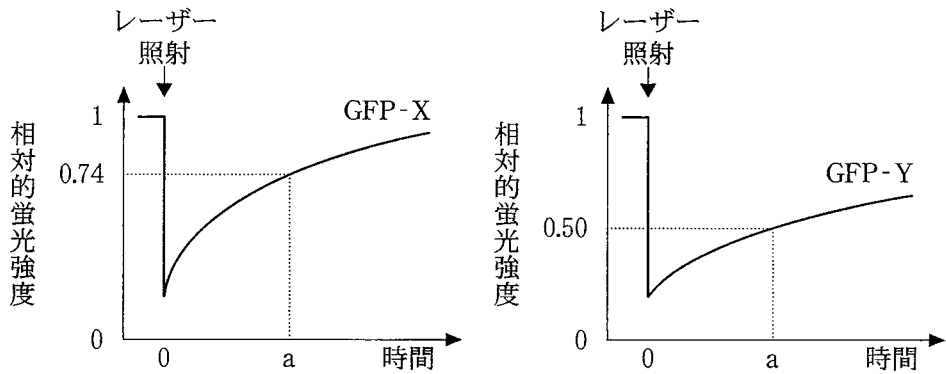


図 2

設問(1) レーザー照射部でいったん低下した蛍光強度が徐々に回復してくるのはなぜか。70字以内で説明せよ。なおグラフに示された時間内では細胞膜に存在する GFP-X, GFP-Y の量は変化しないものとする。

設問(2) グラフに示された GFP-X, GFP-Y の蛍光強度の時間的推移が異なるのはなぜか。40字以内で説明せよ。

問 5 下線⑤の例として、図3のような場合を考える。細胞は互いにつながって空間 P と空間 Q を隔てており、空間 P から外側の空間 Q に向かって Na^+ が輸送される。 Na^+ は細胞と細胞の間を通ることはなく、細胞の中を経由して輸送され、細胞膜にあるナトリウム・カリウム ATP アーゼとナトリウムチャンネルが重要な役割を担うことがわかっている。なお空間 P, Q および細胞内の Na^+ , K^+ の濃度は図中に示すとおりである(単位はミリモル/L)。

空間 P から空間 Q に Na^+ が効率的に輸送されるために、ナトリウム・カリウム ATP アーゼとナトリウムチャンネルはどのように分布することがもっとも合理的であると考えられるか。以下の a ~ i の中から選び、記号で答えよ。

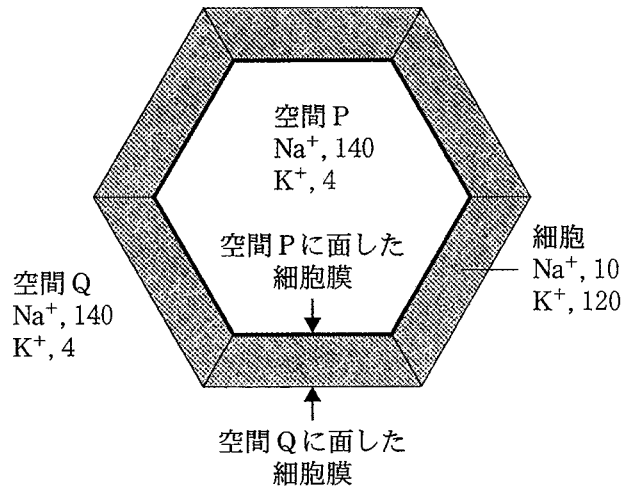


図 3

	ナトリウム・カリウム ATP アーゼ	ナトリウムチャンネル
a	空間 P に面した細胞膜だけにある	空間 P に面した細胞膜だけにある
b	空間 P に面した細胞膜だけにある	空間 Q に面した細胞膜だけにある
c	空間 P に面した細胞膜だけにある	細胞膜全体にある
d	細胞膜全体にある	空間 P に面した細胞膜だけにある
e	細胞膜全体にある	空間 Q に面した細胞膜だけにある
f	細胞膜全体にある	細胞膜全体にある
g	空間 Q に面した細胞膜だけにある	空間 P に面した細胞膜だけにある
h	空間 Q に面した細胞膜だけにある	空間 Q に面した細胞膜だけにある
i	空間 Q に面した細胞膜だけにある	細胞膜全体にある

生物 問題Ⅱ

次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

文1

動物の卵は、受精すると活発な細胞分裂を始め、発生を開始する。発生初期にみられる細胞分裂を卵割といい、卵割によって生じる細胞を割球とよぶ。^①卵割後期の胚は、最外層の細胞がすきまなく結合し、中空の球のような構造をとる。このような胚を胞胚といい、発生途上の重要な基本構造である。

ヒトを含むほ乳類では、胚は卵割を繰り返しながら輸卵管を通過して子宮まで移動する。子宮に達する頃の胚は、胚の内部に空所をもち、内部の細胞群である内部細胞塊とそれを包む外部の細胞層とに分かれている。この時期の胚をほ乳類では胚盤胞とよぶ。胚盤胞は子宮内膜に入り込んで着床する。内部細胞塊は扁平な胚盤を形成し、将来胎児になる。外部の細胞層は、母体側の組織とともに胎盤を形成する。胎児は胎盤を通じて母体から栄養分や酸素の供給を受ける。

文2

胞胚がさらに発生を続けると、胚を構成する細胞の大規模な移動が始まり、胚の表面の細胞が内部へ陥入して原腸を形成する。原腸が形成されたこの時期の胚を原腸胚とよぶ。原腸胚の細胞は3つのグループに分けられ、胚の外側を構成する細胞群を外胚葉、原腸をとり囲む内側の細胞群を内胚葉、両者の間に位置する細胞群を中胚葉とよぶ。発生がさらに進むと、各胚葉を構成する細胞の分化が進行し、いろいろな組織や器官が形成される。^②

文3

ほ乳類の胚盤胞の内部細胞塊から細胞を分離したのち、この細胞をさまざまな条件で培養することにより、未分化な状態のまま増殖を続ける胚性幹細胞(ES細胞)を得ることができる。遺伝子操作により、マウスES細胞のある特定の遺伝子に人工的な変異を導入し、そのES細胞を胚盤胞内部の空所に注入すると、ES細胞と胚由来の^③
^④

細胞が混在している胚が形成される。この胚を代理母マウスの子宮に移植すると、ES細胞と胚由来の細胞が混ざり合って発生したマウスを得ることができ、これをキメラマウスとよぶ。ES細胞がキメラマウスの体内で生殖細胞に分化していれば、人工的な変異を導入した遺伝子は子孫に伝わる。子孫の交配によって変異遺伝子のホモ接合体を得ることができ、これをノックアウトマウスとよぶ。ノックアウトマウスでは、特定の遺伝子から作られるべき正常なタンパク質が完全にできなくなっている。^⑤そのため、ある遺伝子産物をもつはたらきを解明するために、ノックアウトマウスは近年の基礎生物学研究には必要不可欠な材料となっている。

問 1 下線①について、設問(1)および(2)に答えよ。

設問(1) 卵割は体細胞分裂であるが、発生がよりすすんだ時期の体細胞分裂とは異なる特徴がある。その特徴をそれぞれ 30 字以内で 2 つ述べよ。

設問(2) ほ乳類では発生初期の胚の個々の細胞からクローン動物を作る技術がある。これは、発生初期のほ乳類の細胞がもつある性質を利用したものである。その性質を 60 字以内で述べよ。

問 2 下線②のように発生が進むにつれて、次の a～e にあげた器官はそれぞれの胚葉から分化するか。(1)外胚葉、(2)中胚葉、(3)内胚葉として、番号で答えよ。

- a) 腎 臓
- b) 肺
- c) 甲状腺
- d) 小 脳
- e) 心 臓

問 3 下線③に関する以下の文の空欄 (ア) ~ (ク) に適切な語句を記入せよ。

ある特定の遺伝子 DNA の断片を取り出し、人工的に別の遺伝子 DNA に組み込む操作を (ア) 操作という。(ア) 操作では、目的の遺伝子 DNA を切り出すためにさまざまな (イ) が使われる。(イ) は DNA の特定の塩基配列を認識して、その部分で (ウ) DNA を切断する性質をもっている。目的の遺伝子の運び屋としてよく用いられるのは (エ) である。(エ) は原核細胞内で染色体とは別に存在し、細胞自体の DNA とは独立に増殖する比較的短い (オ) の (ウ) DNA である。目的の遺伝子 DNA の切り出しに使ったのと同じ (イ) で (エ) DNA を切断すると、切断によりできた 1 本鎖 DNA 部分の塩基配列は、目的の遺伝子 DNA の切断部分の塩基配列と (カ) になる。同じ (イ) で切り出した DNA を混ぜ合わせ、切断部の塩基配列が (カ) である部位で (キ) という酵素によりつなぎ合わせ、目的の遺伝子 DNA を組み込んだ (エ) DNA を得る。目的の遺伝子を含む (エ) を大腸菌に取り込ませると、(エ) が細胞内で増殖するにつれて目的の遺伝子のコピーもふえる。このように、外来性遺伝子を運び、導入された生物内で増殖することのできる DNA を (ク) とよぶ。

問 4 下線④について、設問(1)および(2)に答えよ。

設問(1) ES 細胞に緑色蛍光タンパク質 (GFP) の遺伝子を目印として導入し、発生初期の胚に注入してキメラマウスを得たとき、キメラマウスのからだにおける GFP の分布はどのようになるか。以下の a ~ e のうちで最も適切なものを選び、記号で答えよ。

- a) GFP が発現するキメラマウスの組織は決まっている。
- b) GFP が発現している組織と発現していない組織が混在しており、発現している細胞数と発現していない細胞数の比率はおおよそ 1 : 1 となる。
- c) GFP が発現している組織と発現していない組織が混在しており、すべてのキメラマウスで分布が同じになる。
- d) GFP が発現している組織と発現していない組織が混在しており、キメラマウスごとに分布が異なる。
- e) キメラマウスのすべての細胞で GFP が発現している。

設問(2) 通常の発生初期の胚ではなく、人工的に作製した特殊な胚に ES 細胞を注入して胚を形成する実験を行った。この人工的に作製した特殊な胚は、ES 細胞の分化の特徴を調べるために使うものであり、胎盤など胎児以外の組織のみへ分化し、胎児のからだを形成する細胞には分化しないことがわかっている。この特殊な胚に、GFP を導入した ES 細胞を注入して胎児を得たところ、胎児の全身で GFP が発現しており、全身の細胞が ES 細胞に由来することがわかった。この実験結果からわかる ES 細胞の特徴を 50 字以内で述べよ。

問 5 下線⑤に関連して、あるペプチドホルモン A のはたらきを調べるために、2 系統のノックアウトマウス X および Y をもちいて実験を行った。ノックアウトマウス X ではホルモン A が完全に作られなくなっている。ノックアウトマウス X にホルモン A を注射すると、ホルモン A のはたらきにより、現象 B が起こった。一方、ノックアウトマウス Y にホルモン A を注射しても、現象 B は起こらなかった。ノックアウトマウス Y ではある単一の遺伝子産物ができなくなっているとするとする。この実験で、ノックアウトマウス Y にホルモン A を注射しても現象 B が起こらなかったのはなぜか。40 字以内で述べよ。

生物 問題Ⅲ

次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

文1

ある地域内に生活する同種の個体の集まりを (ア) という。同一地域内にはさまざまな種類の動物・植物・菌類・微生物の (ア) が存在しており、このような同一地域内の (ア) の集まりを (イ) という。同種の個体間や異種の個体間^①には、競争など様々な関係があり、これは相互作用とよばれる。ある個体の生活に影響を与える環境には、このような相互に作用を及ぼしあう同種あるいは他種の個体からなる (ウ) と光、水、温度などからなる (エ) がある。(イ) とそれらを取りまく (エ) をひとまとめにしてとらえたものが生態系である。

文2

ある場所の (イ) が時間とともに移り変わっていく現象を (オ) という。火山から噴出される溶岩流や氷河が後退した後に残された氷河堆積物などで形成された裸地には、(カ) がまだ形成されておらず、生物がない。このような場所から始まる (オ) を一次 (オ) という。目に見える生物で最初にこのような場所に侵入する生物は、風に飛ばされた (キ) から生じるコケ植物や無性生殖器官(粉芽や裂芽)などから生じる地衣類である。岩が風化し、初期の生物の死骸が細菌などの微生物によって分解されるとしだいに (カ) が形成される。(カ) が形成されると、風や動物によって運ばれた種子が芽生えて、草本が侵入する。その後、低木の陽樹が侵入し、さらに高木の陽樹が侵入して陽樹林に変わる。^②陽樹林の林床で^③は、陽樹の芽生えは育ちにくい^④が、陰樹の芽生えは育ちやすいので、しだいに陽樹と陰樹の混交林となる。その後、陰樹が優占した森林(陰樹林)となって、全体としては安定する。この状態を (ク) という。この状態になっても、実際には、優占種の陰樹に加えて、他の陰樹や陽樹が共存する。^④たとえば、日本の夏緑樹林では、ブナが優占することが多いが、ブナ以外のミズナラやカエデ類などの種が多数存在し、種多^⑤様性の高い森林になる。

問 1 文 1 と文 2 の空欄 ア ～ ク に適切な語句を記入せよ。

問 2 下線①に関して、植物における種内競争の影響を明らかにするために、以下のようなシロイヌナズナの栽培実験が行われた(Silander と Pacala, 1985)。なお、シロイヌナズナは自家受粉により種子が形成される草本である。

同じ面積の 2 つの播種床(種子を播いて発芽した個体を育てる場所)A と B において、それぞれの播種床内では場所によって種子の密度が異なるように、かつ播種床全体の密度は播種床 A (10^3 粒/ m^2) よりも B (10^4 粒/ m^2) の方が高くなるように手で種子をまいた。芽生えが成長し、果実が実った後に、それぞれの播種床内において、個体ごとに果実を採取し、種子数を数えた。また、果実を採取した個体の位置を中心として半径 5 cm の円の内側に生えている周辺個体の数を数えた。ただし、播種床の端から 5 cm 以内の個体については、調査の対象外とした。調査対象となった個体数は全体で 1,313 個体であった。

図 1 は各個体の周辺個体数と種子数との関係を図示したものであり、図中の実線は周辺個体数と種子数の関係を近似した曲線である。設問(1)および(2)に答えよ。

設問(1) 各個体の周辺個体数と種子数の関係が図 1 のようになった理由を 60 字以内で説明せよ。

設問(2) 果実が実った後に、単位面積あたりの植物体の乾燥収量を播種床 A と B の間で比べるとどのようになると期待されるか、最も適切な答えを以下の a～c の中から選び、記号で答えよ。

- a) 播種床 A よりも B の方が大きくなる。
- b) 播種床 A と B でおおよそ同じになる。
- c) 播種床 B よりも A の方が大きくなる。

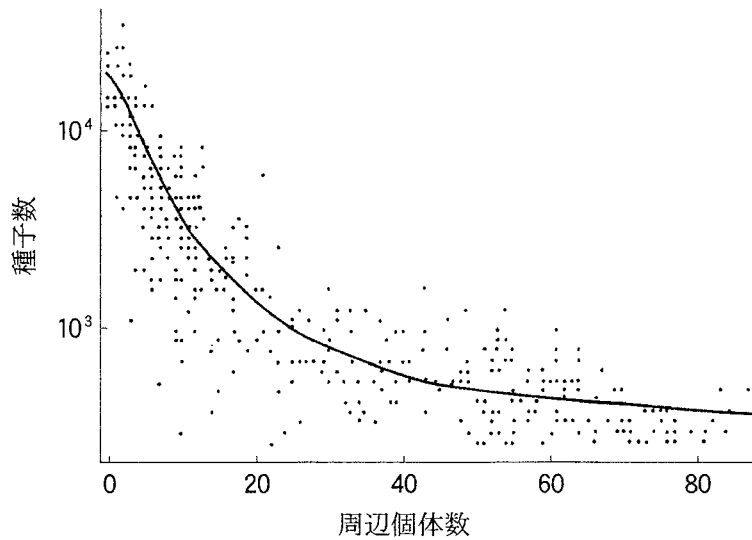


図 1

問 3 下線②の樹木にヤシャブシがある。ヤシャブシの根には根粒があり，その中に根粒菌が共生している。設問(1)および(2)に答えよ。

設問(1) ヤシャブシと根粒菌のような関係を持っている共生を何というか答えよ。

設問(2) ヤシャブシは根粒菌からどのような利益を得ているのか 30 字以内で説明せよ。

問 4 下線③のようなことが起こるのはなぜか。60 字以内で説明せよ。

問 5 下線④の理由は 2 つあると考えられる。そのうちの 1 つは，強風による倒木などにより，森林が部分的に破壊されてギャップが形成されると，林床が明るくなり，陽樹が生育できるようになるためである。もう 1 つの理由を 80 字以内で説明せよ。

問 6 生物多様性は，大きく 3 つのレベルの多様性でとらえられており，下線⑤は，種数の多さという種のレベルの多様性である。他の 2 つのレベルの多様性はそれぞれ何か答えよ。