

日本生物学オリンピック 2015 代表選抜試験 第 1 部

解答例および出題意図

(細胞生物学・細胞分化)

第 1 問 動物の発生、分化に関する以下の問 1～5 に答えなさい。

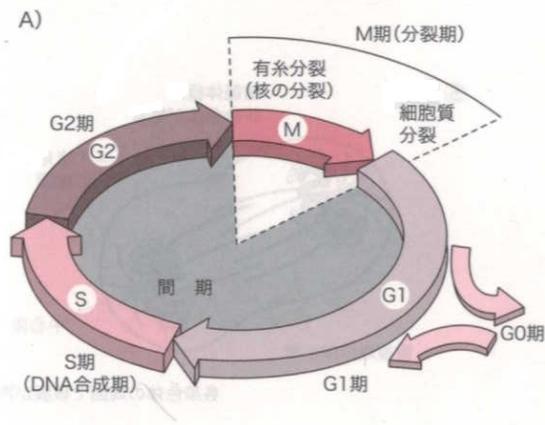
<解答例>

問 1

1. 卵と精子は生殖細胞とよばれ、卵は母親の遺伝情報を持ち、精子は父親の遺伝情報をもっている。
2. 卵は一般に、受精後の発生プログラムをスムーズに進めるため、卵形成の間に細胞質に遺伝情報や栄養分を貯えるので、精子に比べて大きい。
3. 精子は父親の遺伝情報を伝えるための構造と機能をもつ。卵に比べて、著しく小さく、頭部、中片部、尾部に分かれている。
4. 精子は射精された後、卵に到達するまで泳いでいく必要があるため、鞭毛をもっていることが多い。
5. 卵と精子は同種であれば、受精がうまく成立するが、異種であれば通常は受精しない。未受精卵には表層粒などの構造がある。精子には先端に先体があり、同種かどうかを区別している。同種の卵と精子が受精するので、種 species の確立につながる。

問 2

(a) 図を参照



(b) M期：細胞分裂期

p: 前期 m: 中期 a: 後期 t: 終期

m期には紡錘体が形成される。

G1期：第一間隙期（M期とS期の間で、DNA合成準備期）

S期：DNA合成期（DNAを合成する）

G2期：第二間隙期（S期とM期の間で、分裂準備期）

(c) M期（細胞分裂期）を除いたG1期、S期、G2期を間期とよぶ。

問3

- (1) 原口上層部の細胞が胞胚腔に向かって動き出し、形態形成運動をする。
- (2) 胞胚腔に変わって新しい腔（原腸胚腔）ができる。
- (3) 三胚葉（外・中・内胚葉）をつくる。
- (4) 体の原型ができる。つまり頭尾軸、背腹軸、左右軸の3軸ができ、体の基本形ができる。
- (5) 陥入した中胚葉の外側の外胚葉との間に胚誘導（神経誘導）がおこる。
- (6) 多くの細胞が動いているにもかかわらず、胚の統一性がみられる。
- (7) 原腸胚期以後、母親と父親両方の遺伝子の発現がみられる。

問 4

神経冠（または神経提）細胞は、中枢神経系の周囲に付随して形成され、神経系の様々な構造になる。それとともに、顔の部分の骨の一部、皮膚の色素細胞、一部の内分泌細胞などを形成する。神経冠細胞は神経褶が閉じて神経管が形成されるとすぐに、その神経管の背側の部分から遊離してくる一群の細胞である。

神経冠細胞は神経管から遊離すると、いっせいに体の各部へと移動して、移動先で様々な構造を形成する。それらの細胞の移動経路と、移動先での運命は決まっている。移動経路は、主に2つあり、その1つは外胚葉の下を移動して皮膚の色素細胞を形成するものである。もう1つは、神経管の脇を通過して腸管や大動脈の周囲まで移動し、そこで副腎の髄質細胞（内分泌細胞）、血管の平滑筋細胞、そして交感神経節などを形成するものである。さらに、これらの他に、神経管の周囲に留まって脊髄神経節を形成するものもある。また、神経繊維に巻き付いているシュワン細胞もこの神経冠細胞由来である。

神経冠細胞が移動する経路とその後の運命との関係については、2つの考え方ができる。その1つは神経冠細胞は移動して行った先の環境により、その運命が決定されるという考え方である。そして、もう1つは神経冠細胞の運命は移動する前にすでに決まっており、その運命に従って移動経路を選ぶという考え方である。

問 5

脳：感覚入力から運動出力への変換装置であり、情報処理装置である。記憶や学習を司る。

耳：動物の器官の1つで、音を刺激とする感覚器であると同時に、重力の向きと加速度を適刺激とする感覚器でもある。

眼：光を受容する感覚器である。光の情報は眼で受容され、中枢神経の働きによって視覚が生じる。

心臓：ヒトなどでは動脈血と静脈血を分ける壁をもたない。右心房、右心室、左心房、左心室からなる4つの部屋に分かれている。それぞれが一定のリズムで収縮と弛緩を繰り返し、全身に血液を送っている。

肺：脊椎動物の器官の1つである。肺臓ともよばれる。空気中から得た酸素を体内に取り込んだり、老廃物である二酸化炭素を空気中に排出する役割（呼吸）をもつ。

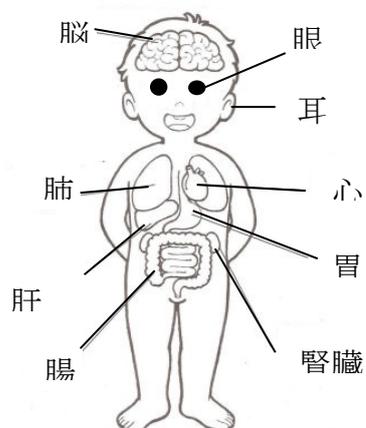
肝臓：胆汁の生成、血液円滑輸送液生成、増血、解毒・中和、ビタミン貯蔵、血液貯蔵、体液発生など、その役割は重要である。

筋肉：動物の運動は、主として筋肉によってもたらされる。ただし、細部における繊毛や鞭毛による運動等、若干の例外はある。なお筋肉が収縮することにより発生する力を筋力とよぶ。

膵臓：脊椎動物の器官の1つで、膵液とよばれる消化酵素を含む液体を分泌し、それを消化管に送り込む外分泌腺である。同時に、インスリンなどのホルモンを分泌する内分泌器官でもある。

骨：機能は多岐にわたり、体の保護や姿勢の維持、筋肉をもちいた運動の他に、栄養の貯蔵や、血液を産生する場としての役割ももっている。ヒトの大人の体には、大小約 206 の骨があり（幼児で約 270 個）それぞれに固有の名称が与えられている。

胃：食道につながる入り口付近を噴門部、十二指腸につながる出口付近を幽門部、それ以外の部位を胃体部という。全体が左側に弧状に湾曲しており、幽門から噴門までが大きくふくらんでいる。



<出題意図>

動物の発生における生殖細胞の役割から、細胞分裂や細胞周期を通して、まず、基礎知識を考える。そして、普遍性をもつ細胞周期とはどのようなものであるかを理解する。次に脊椎動物における形づくりの最も大切な原腸胚期のもつ意味とその後に生じる神経胚期を通して形成される神経冠（神経堤）の役割を考えてみる。更に成体（人）になったとき、私達の体はどのようになっているのかを実感すると同時に、その働きについても理解することを意図している。私達が生殖から大人になるまでに起こる様々な段階での事柄を十分に理解することによって、生物のもつ特殊性と普遍性を知ることが意図されている。

(遺伝学全般)

第2問 転移因子に関する以下の文を読み、問1～5に答えなさい。

<解答例>

問1 P因子が宿主の生殖細胞の形成に関わる遺伝子の内部に挿入して遺伝子のコード領域を破壊し、遺伝子産物ができなくなる。また、生殖細胞の形成に関わる遺伝子の近傍に転移することで、その遺伝子発現を大きく変化させる。これらより、生殖細胞の形成に異常をもたらす。

問2

- ・PCR:M系統は完全長のP因子をもたない。また、内部を欠失したP因子ももたない。P系統は完全長の2.9k bのP因子の他にも、内部を欠失したP因子をもつ。バンドの数から、内部欠失型のP因子は少なくとも3種類存在することがわかる。
- ・サザンハイブリダイゼーション:M系統はP因子と似た配列を全くもたない(P因子の一部分でも似た配列が無い)。P系統には、0.9k bの太いバンドがあることから、P因子の中央の0.9k b *PvuII* 領域を含むP因子を多数もつことがわかる。また、様々なサイズのバンドがあることから、それ以外のP因子の領域の配列をゲノムの様々な場所にもつことがわかる。

問3 トランスポゼースのはたらきがリプレッサーによって抑えられるので、P因子の転移がおきないから。

問4 図1より、(ウ)と他の2系統の違いは雌親がM系統であることがわかる。雌親がP因子をもたないM系統であっても雄親がP因子をもたなければ問題にならないが($M♀ \times M♂$)、父親のP因子が子に伝わると、($M♀ \times P♂$)で転移が起きるのは、(問3の $P♀ \times P♂$ の場合と異なり) $M♀$ を親とした時の生殖細胞にリプレッサーがないためと考えられる。リプレッサーはP系統の雌親から細胞質遺伝で伝わると考えられる。体細胞で異常が起きず、生殖細胞だけが異常になるのはトランスポゼースが生殖細胞特異的に発現するからと考えられる。

問5

(1)・トランスポゼースを GeneX と一緒に導入した場合、ゲノムに導入された後に GeneX が IS とトランスポゼースを使って切り取られ、失われたり、転移したりするという問題が生じる。①のトランスポゼース遺伝子の両端には IS が無いので、トランスポゼース遺伝子は②のプラスミドから IS に挟まれた配列を切り取り、ゲノムに転移させた後、それ自身は組み込まれず、細胞から失われるので、ゲノムに一度挿入した GeneX は保たれる。

- ・ベクターに挿入できる配列の大きさには制限があるので、トランスポゼースの遺伝子を含まない方がより大きなサイズの GeneX をクローニングできる。

(2) P 因子の転移が可能な (リプレッサーをもたない) *M* 系統で、 w^+ の突然変異型の遺伝子をホモにもち (w^-/w^-) 複眼の色が野生型とは異なる個体を用いる。ゲノムに GeneX 挿入された個体のみ、複眼が野生型の赤眼になることから、目的の組換え体を簡単に見分けることができる。

<出題意図>

ヒトをはじめとする様々な生物のゲノムで、転写因子および関連配列が多くの領域を占めることが明らかになり、これらがゲノムに様々な変化を生み出すことで、生物の多様性や進化をもたらすことが明らかになりつつあります。転写因子の中でも、ショウジョウバエの P 因子は、遺伝子構造、転移の制御、起源などの研究の歴史が長く、モデル生物であるショウジョウバエの遺伝子組換え個体の作製に広く利用されています。ショウジョウバエの P 因子を題材に用いて、遺伝学全般にわたる理解力を問いました。

問1は、転移因子についての基本知識を問う問題です (→キャンベル p 524, p531)。

問2は、基本的な実験手法である PCR とサザンハイブリダイゼーションの違いについて理解し、実験結果を正しく読み取れるかを問う問題です (→キャンベル p 485, 487, 489)。

問3と問4は、P 因子の発見につながったハイブリッドディスジェネシスとい

う現象についての問題です。P 因子のトランスポゼースとリプレッサーのふるまいについて、本文中の記述を整理し、交配と遺伝、遺伝子発現の調節について深く考えられるかどうかを問いました。問4で与えられた実験結果から P 因子のトランスポゼースの制御（生殖細胞特異的な発現）とリプレッサーの細胞質遺伝に気づく必要があり、少し難しいかもしれません。

問5（1）は、DNA のクローニングや遺伝子組換え生物の作成の原理についての理解を問う問題です（→キャンベル p479, p506）。（2）では、遺伝子のクローニングや形質転換という過程が確率的なものであり、組換え体と非組換え体を分類する必要があることに気づいてほしいと思います。キイロショウジョウバエの遺伝子 *white* (w^+) の突然変異型 w^- 遺伝子は、ホモ接合 (w^-/w^-) で白眼になります。このような w^+ の突然変異型をホモ接合に持つ（白眼）の個体に形質転換を行うことによって、遺伝子 X がゲノムに挿入された場合のみ、野生型の w^+ の産物ができるので、複眼の色が野生型の赤眼になるというしくみです。これにより、目的の組換え体を容易に選別できます（→キャンベル p478）。さらに、転移が起きるためには、リプレッサーが細胞質に存在しない、M 系統である必要があります。

参考文献：

Hybrid dysgenesis: Kidwell M. G. (1979) *Genet. Res.* 33.

P 因子ベクター：Rubin G. M. and Spradling AC (1982) *Science* 218(4570):348-353.

トランスポゼースのリプレッサー：Misra S. and D. C. Ruo (1990) *Cell* 62:269-284.

P 因子総説：Engels W. R. 1996

(<http://engels.genetics.wisc.edu/Pelements/Pt.html>)

(細胞生物学・植物生理・生化学)

第3問 植物と動物の栄養の供給に関する以下の文を読み、問1～4に答えなさい。

<解答例>

問1 1 グルコース (ブドウ糖)、2 スクロース (ショ糖)、3 師部 (師管)

問2 インスリン、下げる、グルカゴン、あげる

問3 (解答例)

- ・葉が成長するとき変化する。若い葉＝シンク、成熟した葉＝ソース、光合成できるようになるまでは、葉の成長に栄養分が必要であるから
- ・種子の形成と発芽で変化する。形成時の種子＝シンク、発芽時の種子＝ソース、栄養分を次世代に伝えるため

問4 還元性があるグルコースはさまざまな生体物質の化学反応することで不都合(糖尿病)を引き起こすが、還元性のないスクロースは濃度が高くても他の生体物質と反応しないため。

<補足>

グルコースはすべての生物の糖代謝やエネルギー代謝の鍵となる物質で、動物では脳や筋肉などエネルギーを消費する器官も含めて全身に送られる重要な栄養物質となっている。一方、植物でもグルコースはもっとも重要な代謝物質であるが、ソースからシンクに送られる栄養物質としてはむしろスクロースが使われている。その理由は、(1) 植物における栄養物質の供給と消費の時間応答性は動物よりゆっくりしているため、グルコースそのものを送り届ける必要がないこと、(2) 師管液を送るのに心臓のようなポンプを使用していない植物では、還元性がなくて反応性が低いスクロースを使用することで栄養物質の濃度を高くできるスクロースが都合がよいことなどの理由が考えられている。また、動物がスクロースを甘く感じて好むのも、植物が栄養物質としてスクロースを選択していることによる。

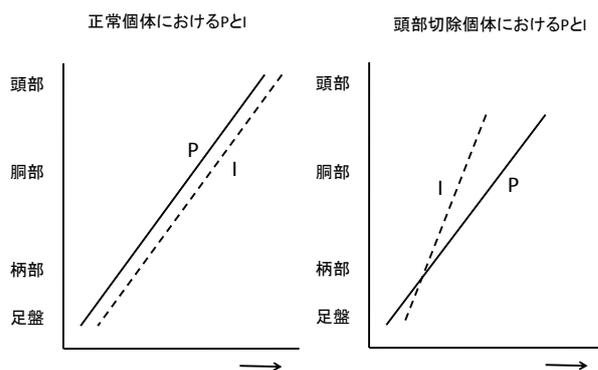
(発生生物学)

第4問 ヒドラの極性に関する以下の文を読み、問1～3に答えなさい。

<解答例>

問1 E2 から、頭部組織は頭部を形成する能力をもっていることが分かる。一方E1、E3 から、頭部はその近傍に頭部を形成することを阻害することが分かる。E4 から、領域1も、頭部から離れた領域に移植されると、頭部を形成することが分かる。これらのことから、ヒドラではPとIが頭部から足盤にかけて勾配をなしていて、PがIを上回る領域で頭部が形成されることが考えられる。正常な個体では、IがPを上回っているので、すでに存在する頭部以外に頭部が形成されることがない。(図左参照)

問2 頭部切除後、時間が経つにつれて足盤側の領域でPがIを上回ることが分かる。頭部がIの物質を産生していて、頭部切除によってIが次第に低下し、領域1から足盤にかけて、順次PがIを上回るようになると考えられる。(図右参照)



問3 動物の発生において極性が重要な作用をもつ例は多い。例えば、ショウジョウバエの初期発生においては、卵の前後軸に沿った極性とその後の体節形成などに重要である。この場合は、未受精卵に存在するいくつかのタンパク質 (bicoid など) の濃度勾配が極性を決定している。また四肢動物の肢芽の発生における前後軸の極性は、前後軸に沿った構造 (例えばヒトの親指から小指にかけての構造) の決定に必要である。肢芽の前後軸の極性は、肢芽後方に位置する「極性化活性帯 (ZPA)」から分泌される物質の濃度勾配によると考えられて

いる。この物質の候補として、sonic hedgehog が想定されている。この他にも、両生類の背腹軸の決定などにも極性が関わっている。

<出題意図>

動物の再生は、細胞分化や形態形成を理解する上で重要なてがかりとなる。ヒドラは、体制が単純であり、強い再生能力をもつことから、古くから多くの研究の対象となってきた。その再生についても、多くの研究者による多様な移植・切除実験が行われてきた。それらの実験結果を統一的に説明しようとする理論もいくつか提唱され、またそれらの理論から想定される物質についての研究も進んでいる。本問題では、実験を基に、できるだけ単純な形でヒドラの「極性」を考えて見ることにした。合わせて、発生における極性の重要性に関する知識を問うている。

(比較内分泌学・系統進化学)

第5問 無脊椎動物から脊椎動物への進化に関する以下の文を読み、問1～4に答えなさい。

<解答例>

問1 脊索、背側神経管、咽頭裂あるいは咽頭溝、筋肉質の尾

問2 脊椎動物に属すヌタウナギ類とヤツメウナギ類が視床下部一下垂体系をもつ。

しかし視床下部から下垂体へ情報を伝える血管系(下垂体門脈系)を欠く。

(他に「神経下垂体が発達していない。」なども可)

問3 脳から脊髓に至る中枢神経系の前後軸を決める。

問4 *Hox* 遺伝子群はホメオドメインをもつ10個ほどの遺伝子が、順に並んでクラスターを作っている。無脊椎動物では、このようなクラスターが1つしかないが、顎口類には少なくとも4つのクラスターがある。これは無脊椎動物から脊椎動物への進化の過程で、全ゲノムの重複が2回起こった結果だと考えられている。

個々の遺伝子も倍加することはあるが、*Hox* 遺伝子群のクラスターはそっくりそのまま倍加しているので、全ゲノムの重複によって倍加したと考えるのが順当である。

(植物生理・生態学・行動学)

第6問 生態系に関する以下の文を読み、問1～4に答えなさい。

<解答例>

問1 被食量＝純生産量－(枯死量＋成長量)

生産者の純生産量の一部は枯死して植物体から失われ、また残りの一部は一次消費者に摂食され、これが被食量となる。残りの部分が植物体の成長量となる。このため、被食量は、純生産量から枯死量と成長量を除いたものに相当する。

問2 森林生態系：C、遠洋生態系：A

森林生態系において純生産量は、光合成器官である葉の他、幹、根などに分配される。一次消費者による摂食は、樹木のごく一部を利用するだけであり、純生産量に対する被食量の割合は3種類の生態系の中で少ない。また、単位面積あたりの純生産量は、遠洋生態系に比べて高い。一方、遠洋生態系の生産者は植物プランクトンである。植物プランクトンは主要な一次消費者である動物プランクトンや小型魚類に、個体全体が摂食されるため、純生産量に対する被食量の割合は高くなる。また、単位面積あたりの純生産量は、森林生態系、草原生態系に比べて最も低い。

問3 消費者である動物が摂食した有機物は、その全てが消化・吸収され同化されるわけではなく、消化・吸収されない有機物は、未消化物として排泄される。このため、摂食量は同化量と未消化排泄物量の合計に相当する。

問4 植食動物と考えられる。植物体には、植食動物にも消化が困難なセルロース、リグニンなどの有機物が多く含まれるこれらの有機物は多くの植食動物では未消化物として排泄されるため、摂食量に対する同化量の割合は低くなる。一方、動物体の有機物はタンパク質を多く含み、その多くは消化可能である。このため、肉食動物の摂食量に対する同化量の割

合は高い。

(島嶼生物学・生物多様性)

第7問 動物集団に関する以下の文を読み、問1～3に答えなさい。

(準備中)