

# 日本生物学オリンピック

## 2015

第 27 回国際生物学オリンピック（ベトナム大会）

代表選抜試験 第 1 部（記述式理論問題）

2016 年 3 月 21 日（月、振替休日） 9:20～11:40

### 注 意

1. 各問題文を読んで、題意に沿った解答を、文章（指定された場合は図、表）によって解答しなさい。
2. 解答は、問題ごとに指定された解答用紙に記入しなさい。字数制限は特にありません。
3. 学術用語は、日本語又は英語で正しく用いなさい。
4. 解答時間は、2 時間 20 分とします。
5. 解答用紙の各ページの上に、問題番号、受験番号、氏名を記入しなさい。
6. 問題は全部で 7 問あり、その中には小問がいくつかあります。
7. 問題冊子は試験終了後持ち帰って下さい。

受験番号 \_\_\_\_\_ 氏名 \_\_\_\_\_



## 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。**

問1 普通多くの動物の発生は卵と精子の受精によって発生が始まる。卵と精子の違いを5つ述べなさい。

問2 受精後、卵は卵割をして細胞数を増やしていくが、これも一種の細胞分裂とみることができる。一般に細胞分裂は細胞周期の一部とみることができる。細胞周期は大きく4つの期に分かれる。4つの期を図示し、各期の長短を述べなさい。

問3 やがて、卵は細胞数を増やして、胚期となり原腸胚期に入る。原腸胚期は発生過程でも非常に重要な段階だといわれている。なぜ、原腸胚期が生物学的に重要な時期であるのか。5つ述べなさい。

問4 脊椎動物では原腸胚期を過ぎると神経胚期になり、神経管ができるようになる。このとき神経冠（または神経堤）ができる。神経冠細胞の働きとその重要性について述べなさい。

問5 ヒトの成人(男性でも女性でもよい)の図を描き、ヒトの体の中にある器官（臓器）や組織を5つ図示して、その主な働きについて述べなさい。

(第1問終わり)

## 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。

真核生物のゲノムには、転移因子とその関連配列の多数のコピーが散在している。キイロショウジョウバエでは、研究室で維持されていた野生型系統(M系統)と野外で採集した系統(P系統)を交配するとF<sub>1</sub>が高頻度で<sup>(7)</sup>不妊になることから、その原因として転移因子であるP因子が発見された(図1)。P因子は全長が2.9kbでその転写物のスプライシングの違いによって、転移を触媒する酵素(トランスポゼース)と転移を抑制するリプレッサータンパク質がつくられる(図2)。<sup>(8)</sup>P系統はゲノム中にP因子をもつがそのF<sub>1</sub>には異常がみられない。(図1, 図3) <sup>(9)</sup>M系統の雌とP系統の雄の交配によるF<sub>1</sub>では、生殖細胞にのみ異常がみられる(図1)。また、転移にはP因子の両端の反復配列(IS)が必要で、トランスポゼースの供給によって、ISとISに挟まれる配列が切り取られて転移する(図2)。このしくみを利用し、現在P因子は人為的に改変され、遺伝子導入のベクターとして用いられている(図4)。

		雄親	
		M	P
雌親	M	正常	不妊
	P	正常	正常

図1 M系統とP系統の交配結果

M♀×P♂の交配のF<sub>1</sub>のみ、雌雄ともに生殖細胞の形成異常を示す。

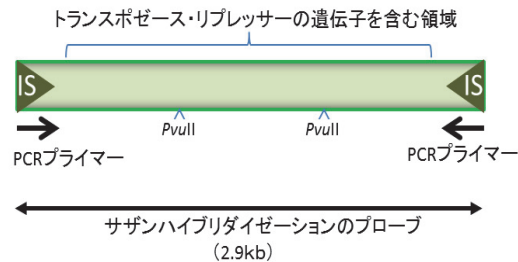


図2 P因子の構造

両末端に転移に必要な反復配列(IS)をもつ。△は制限酵素PvuIIの切断部位。→と↔は図3の実験に用いたプライマーとプローブの位置を示す。

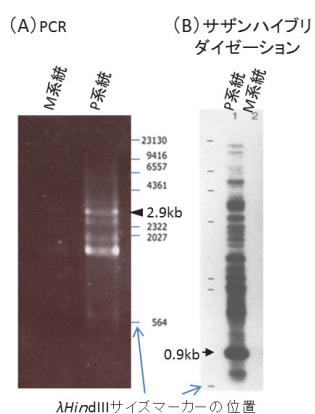


図3 P因子の検出

(A) M系統とP系統のゲノムDNAと図2のプライマーを用いたPCR産物の電気泳動。(B) 制限酵素PvuIIで切断したM系統とP系統のゲノムDNAと図2のプローブのハイブリダイゼーションをおこなったオートラジオグラフィー。

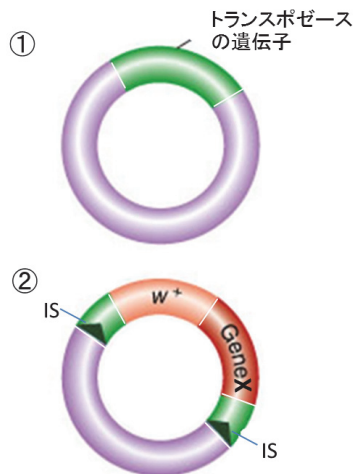


図4 遺伝子導入に用いるプラスミドの模式図

問1 下線部(ア)は、生殖細胞が正しく形成されないことによる。転移因子の転移がどのようにして生殖細胞の形成異常を引き起こすか述べなさい。

問2 P因子には完全な配列をもつものと内部に様々な欠失をもつものがあることが知られている。図3に示したPCRとサザンハイブリダイゼーションの結果からわかることをそれぞれ述べなさい。

問3 下線部(イ)の理由として考えられることを述べなさい。

問4 下線部(ウ)が「P系統のF<sub>1</sub>」や「M系統の雄とP系統の雌の交配のF<sub>1</sub>」と異なる点をあげ、体細胞が正常でありながら生殖細胞で異常が生じる理由として、考えられることを述べなさい。

問5 P因子をベクターとして遺伝子(GeneX)を導入する際には、図4の①と②のような2種類のプラスミドをキイロショウジョウバエの胚に同時に注入する。

(1) 完全長のP因子とGeneXの両方をもつ、1つのプラスミドを注入するのではなく、P因子を①と②の2つのプラスミドに分けて、両方を注入する。その利点を述べなさい。

(2) ②のプラスミドには、導入する遺伝子 (GeneX) 以外にショウジョウバエの複眼の色に関わる遺伝子の野生型 ( $w^+$ ) の配列が含まれている。プラスミドを注入するキイロショウジョウバエには、どのようなものを使えばよいか。その利点を述べなさい。

(第2問終わり)

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。

多くの多細胞生物では、栄養物質を生産もしくは摂取する器官と消費する細胞・組織が分かれており、個体全体に栄養物質を供給するしくみがある。動物（ヒト）では、が血液を通して全身に送られ、食事の前後でもその濃度はほぼ一定に保たれている。一方、高等植物ではが液を通して全身に送られている。植物では、栄養物質を供給する器官をソース、受けとる器官をシンクという。

問1 空欄1～3にそれぞれ適切な語句を入れなさい。

問2 下線部について。栄養物質の濃度を一定に保つためのホルモンを2つあげ、その作用が濃度を上げるのか、下げるのかを述べなさい。

問3 植物では、同じ器官がソースとシンクの役割を変えることがある。そのような例を挙げ、器官名とどのように変化するかを述べなさい。

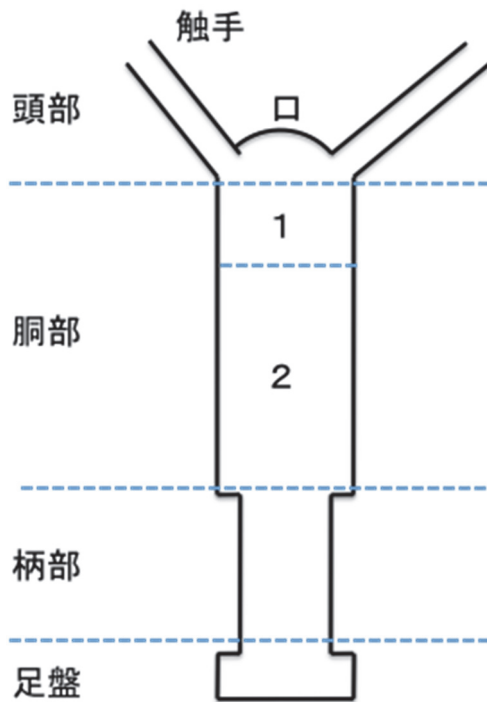
問4 植物の転流における栄養物質の濃度はヒトの栄養物質の濃度の10倍以上にもなることが多い。栄養物質の濃度が高くなりすぎたとき、ヒトではさまざまな重篤な不都合を引き起こすが、植物では濃度が高くてもそのような不都合は知られていない。これはそれぞれの栄養物質の化学的性質（還元性）のちがいと関係している。そのちがいと生物学的な不都合を起こすかどうかとの関連を推測して答えなさい。

(第3問終わり)

## 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。

刺胞動物に属するヒドラ類は、動物の再生研究によく用いられてきたモデル動物である。図にその体制の模式図を示す。頭部は口（口丘）と触手からなり、それに続いて腔腸をもつ胴部、その下に柄部と足盤をもっている。図では胴部を便宜的に領域1と2に区分してある。ヒドラの頭部と柄部を切除した胴部からは、頭部側に頭部が、柄部側に柄部と足盤を再生するので、胴部再生片でも頭部から足盤にかけての「極性」が保たれていることが分かる。極性の維持に関して、以下のような移植・切除実験（E1～E7）が行われた。



(E1) 頭部組織（細胞塊、以下同様）や領域1の組織を別の個体の領域1に移植したところ、頭部は形成されなかった。

(E2) 頭部組織を、別の個体の領域2に移植したところ、そこに頭部が形成された。

(E3) 頭部組織を、頭部を切除した個体の領域1に移植したところ、そこに頭部が形成された。



(E4) 領域 1 の組織を、別の個体の柄部に移植したところ、そこに頭部が形成された。

(E5) 頭部を切除した直後の個体の、領域 1 や柄部の組織を正常個体の領域 2 に移植したところ、頭部は形成されなかった。

(E6) 頭部を切除してから 6 時間後の個体の、領域 1 の組織を E5 と同様に移植したところ、頭部が形成された。

(E7) 頭部と胴部を切除してから 30 時間後の個体の、柄部の組織を E5 と同様に移植したところ、頭部が形成された。

これらの実験結果を説明するために、ある研究者は、体の各部分における「頭部を形成する潜在能力 (P)」と、「それを阻止するように働く物質の濃度 (I)」を想定した。なお、ヒドラには出芽帯があるが、本問題ではそれは無視する。

問 1 E1～E4 に基づいて、頭部から足盤にかけての極性がどのように決定されるかを、P と I を想定して述べなさい。

問 2 E5～E7 から、頭部を切除された再生片における極性の変化を説明しなさい。

問 3 動物の発生において、極性が重要な役割を果たす例を二つあげて、それぞれ説明しなさい。

(第 4 問終わり)

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。

進化にともない大型化し複雑になった多細胞動物、とくに脊椎動物は、生理機能を維持するために発達した内分泌系をもつ。この脊椎動物の内分泌系がどのように構築されてきたかは、無脊椎動物と脊椎動物の境界に位置し、境界動物と呼ばれる脊索動物たち、すなわち頭索動物、尾索動物、および無顎類に残された進化の形質を知ることで明らかにすることができる。そのため、古くから、境界動物における視床下部および下垂体の起源を求める研究が行われてきた。

近年になって、顎口類の脳や下垂体の発生時に特異的に発現する遺伝子群の相同遺伝子が、発生時の境界動物の相同領域に発現することが明らかになってきた。このような遺伝子群の1つに、Hox 遺伝子群がある。無脊椎動物から脊椎動物への進化に際して、境界動物で起きたこの遺伝子群の変化は、脊椎動物に見られる全ゲノムの重複のよい証拠になっている。なお、全ゲノムの重複という出来事は、ペプチドホルモンおよび受容体をコードする遺伝子の起源とその進化を明らかにする上でも重要な概念である。

問1 下線部アに示した境界動物たちが共通してもっている脊索動物の派生形質を4つあげなさい。

問2 境界動物たちのうち、視床下部一下垂体系をもつ動物群を2つあげ、それらの視床下部一下垂体系が、顎口類のそれとどう異なるか述べなさい。

問3 下線部イに示した *Hox* 遺伝子群の神経発生における役割を述べなさい。

問4 *Hox* 遺伝子群が、全ゲノムの重複のよい証拠となる理由を、個々の遺伝子にも重複が起こり得ることを配慮しつつ、簡潔に述べなさい。

(第5問終わり)

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。

生産者が光合成において固定したエネルギー量は生産者の総生産量に相当し、これから呼吸量を差し引いたものが純生産量である。<sup>(1)</sup> 物質収支からみると、純生産量は被食量などいくつかの項目の合計に相当する。生産者の純生産量に占める被食量の割合は一定ではなく、生態系により大きく異なっている。生産者の被食量は一次消費者である動物の摂食量に相当するが、<sup>(2)</sup> 摂食量すべてがその動物の同化量とはならない。また、<sup>(3)</sup> 植食性か肉食性などの食性により、摂食量に対する同化量の割合には、差が認められる。

問1 下線部(1)について、生産者の被食量をその純生産量から求める式を示し、その式について説明しなさい。この際、純生産量に含まれる項目として、被食量以外に2項目を考慮すること。

問2 下図は、単位面積あたりの純生産量と、純生産量に占める被食量の割合(%)を、森林生態系、草原生態系および遠洋生態系について示したものである。森林生態系および遠洋生態系は、それぞれAからCのどれかに相当するか答えなさい。また、その理由を説明しなさい。

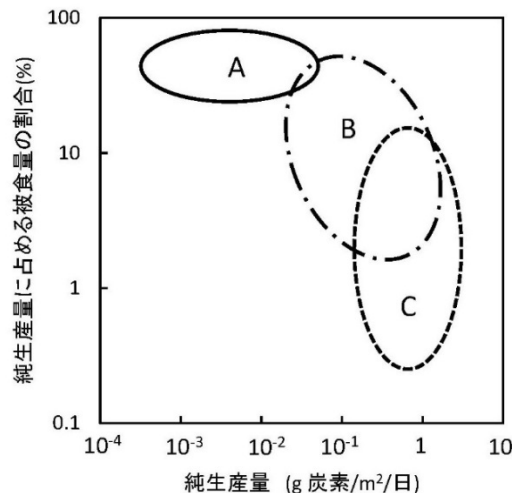


図 3 種類の生態系における純生産量と純生産量に占める被食量の割合の関係

問3 下線部(2)について、同化量と摂食量が異なる理由を答えなさい。

問4 下線部(3)について、摂食量に対する同化量の割合は、植食性および肉食性のどちらの動物で低いと考えられるか答えなさい。また、その理由を説明しなさい。

(第6問終わり)

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。

動物集団（個体群）は、資源をめぐる種内競争や、異なる種との種間競争、さらに他の生物による捕食や寄生などさまざまな生物間相互作用によって、その成長が制限されている。仮想的な2つの火山島（ $\alpha$ 、 $\beta$ 島）におけるネズミ1種とネズミを捕食するヘビ1種の個体群動態に関して次の問いに答えなさい。ただし、ネズミは $\alpha$ と $\beta$ 島に生息するが、ヘビは $\beta$ 島にしか生息しない。

問1  $\alpha$ 島におけるネズミは定着後順調に個体数を増やし、一定の密度に達した後個体数は安定した。このように内的自然増加率が密度の増加に依存して低下するような個体群の成長過程をロジスティック成長という。ネズミの個体数を $N_1$ 、内的自然増加率を $r_0$ 、環境収容力を $K_1$ として、現実の増加率（ $r$ ）がネズミ自身の個体数（ $N_1$ ）の増加とともに単調に減少し、環境収容力（ $K_1$ ）に達するとゼロ、それ以上になるとマイナスになると仮定した場合、個体群の増加率が密度とともに低下する様子を表す式を作り、その式のグラフを描きなさい。なお、グラフのX（横）軸とY（縦）軸を、内的自然増加率、増加率、個体数、環境収容力の用語を用いて説明すること。

問2  $\beta$ 島では、ヘビがネズミを捕食しているので、ネズミの増加率はネズミ自身の個体数によって制限されることはほとんどない。ところで、動物の増加率は、繁殖して子を産むことによる増加（出生率： $b$ ）と捕食や病気、事故などによる減少（死亡率： $d$ ）との差し引きで決まる。 $\beta$ 島のネズミの増加率（ $r$ ）に及ぼすヘビの個体数（ $S$ ）の影響を表す式を作り、その式をグラフに描きなさい。なお、グラフのX（横）軸とY（縦）軸を、ネズミの内的自然増加率（ $r_0$ ）、増加率（ $r$ ）、出生率（ $b$ ）、死亡率（ $d$ ）、ヘビの個体数（ $S$ ）の用語を用いて説明すること。

問3 ヘビの捕食にさらされている $\beta$ 島は、ヘビのいない $\alpha$ 島のネズミと比べ、年齢構成、出産する子の数、親になるまでの日数について、どんな変化が起きているのだろうか。予想されることとその理由を述べなさい。

(第7問終わり)

