

日本生物学オリンピック
2017

第 29 回国際生物学オリンピック（イラン大会）

代表選抜試験 第 1 部（記述式理論問題）

2018 年 3 月 21 日（水、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、日本語また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. すべての解答用紙に、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 _____

刺激の受容と応答

第1問 刺激の受容と応答に関する以下の文を読み、問1～4に答えなさい。

私たち人を含む動物は体内外の刺激に応答して、その刺激を適切に処理し、反応している。人は主として五知覚（視覚、聴覚、味覚、嗅覚、触覚）をもっており、体の外の刺激を体内に取り入れて、いろいろな行動や反応をすることができる。

- 問1 屋外にいるとき、急に大きな雷鳴が鳴り、慌てて安全な建物の中に入るまでの生体内での反応の仕組みを、順序を追って述べなさい。ただし説明文に「骨格筋」、「情報処理」、「聴覚器」の用語を入れて述べなさい。
- 問2 コウモリは人では聴くことのできない音を聴くことができるが、その理由を述べなさい。またコウモリは暗闇の中を飛んだり、暗い洞穴の中にも飛んで入ることができるのは、どのような働きの仕組みを持ち、機能をもっているのかを説明しなさい。
- 問3 人が景色を見たりするときに光刺激の受容器として目がある。人の目の断面図を書き、目を構成する構造要素の名称とその働きを述べなさい。
- 問4 私たち人を含む脊椎動物と昆虫などの無脊椎動物では中枢神経系のでき方に共通点と異なる部分がある。どのような事柄か共通であり、どのような部分が異なるのかを述べなさい。

(第1問終わり)

遺伝学

第2問 以下の文を読み、問1～5に答えなさい。

ポリメラーゼ連鎖反応 (PCR) は、多数の DNA 分子の中から目的とする特定の領域を試験管内で何回も複製して増幅する手法である。PCR 反応には、適切な緩衝液に、目的領域の塩基配列を含む 2 本鎖 DNA、プライマー、DNA ポリメラーゼ、(ア)があれば良く、温度管理が自動化された装置を用いてごく微量な DNA から目的領域を数 10 億コピーも迅速に合成することができる。このため、生物学的研究とバイオテクノロジーの分野に大きな影響を与えてきた。

真核生物のゲノムには、2 塩基から 5 塩基の短い配列を単位としたコピーが直列に繰り返している反復 DNA 配列が、多数存在している。図 1 に相同染色体上の異なる遺伝子座における反復 DNA 配列(遺伝的マーカー)の反復回数と、ある集団におけるそれぞれの頻度を示した。同じ領域に存在する反復 DNA 配列であっても反復の回数はさまざまであり、個体により大きく異なることになる。このような領域は、PCR で増幅して電気泳動で分離することにより、反復回数を容易に決定できる。これらを解析する DNA 鑑定が、身元確認等の有益な証拠として法律の専門家や科学者に認められている。

遺伝的マーカー①

反復回数	頻度
8	0.007
10	0.321
11	0.373
12	0.233
13	0.066

遺伝的マーカー②

反復回数	頻度
1	0.015
2	0.005
3	0.058
4	0.078
5	0.118
6	0.324
7	0.196
8	0.127
9	0.059
10	0.020

遺伝的マーカー③

反復回数	頻度
18	0.293
19	0.011
20	0.021
21	0.032
22	0.043
23	0.016
24	0.335
25	0.037
26	0.016
28	0.078
29	0.059
30	0.016
31	0.043

図1 遺伝子座が異なる反復 DNA 配列 (遺伝的マーカー) の反復回数と、ある集団中の頻度

- 問1 空欄（ア）に入る適切な語を記しなさい。
- 問2 細胞内で行われる DNA 複製は人工的に行う PCR とはいくつもの点で異なっている。次の①～③の過程における両者の違いを具体的に述べなさい。
- ① 2本鎖 DNA の分離
 - ② DNA 合成の開始
 - ③ DNA の合成
- 問3 反復 DNA 配列はどのようにして生じると考えられるか、また、ゲノム中のどのような位置に多く見られるか述べなさい。
- 問4 図1の集団の個体において、各遺伝的マーカーの遺伝子型が①が12と13、②が6と6、③が18と19の組み合わせとなる確率を求めるための数式を記しなさい。
- 問5 あるサンプル（毛髪など）の由来する個体を特定するために、遺伝的マーカーを複数調査して、DNA 鑑定を行う。そのサンプルが調査した個体に由来するかないかの証拠として、それぞれどのような結果が求められるか述べなさい。

（第2問終わり）

植物生理学

第3問 以下の文を読み、問1～6に答えなさい。

植物の根には多くの組織が存在する。外側から順に、表皮、皮層、があり、その内側に内鞘や維管束が存在する。根の先端部には根端分裂組織があり、そこで細胞分裂を行って細胞の数を増やして根は成長する。根端分裂組織は、根冠と呼ばれる組織によって覆われ、(イ) 根冠の細胞にはと呼ばれる色素体が存在しており、そのが平衡石として働いて重力の方向を検知し、根は重力の方向に向かって伸長する。

マメ科植物の根を土から掘り出すと、丸い顆粒状のものが付いているのが観察される。この顆粒状のものは根粒と呼ばれ、根粒の細胞には根粒菌という細菌が入り込んでいて、(ロ) 植物体と根粒菌の間には共生関係が成り立っている。根粒は土壤中に窒素化合物が十分に存在するときには形成されず、窒素化合物が不足しているときに形成される。根粒菌はという酵素を持っていて、その酵素の働きで空気中のガスをに変換することができる。

根粒が形成される際には、マメ科植物と根粒菌との間でシグナル物質を介した相互作用がある。マメ科植物が出したフラボノイドを根粒菌が感知すると、根粒菌はノッドファクターと呼ばれる物質を分泌し、次に、(ハ) 根にある根毛細胞が根粒菌の分泌したノッドファクターを感じとり、根毛の先端が丸まって根粒菌を閉じ込める。さらに、根粒菌は植物細胞の細胞膜が貫入してできる感染糸を通って根の内部に侵入し、根粒菌が入り込んだ皮層の細胞では細胞分裂が起こって根粒が形成される。

マメ科の植物であるミヤコグサから根粒形成に異常を示す多くの変異体が分離されている。それらの変異体のうち、ある変異体 x と y では、根粒の形状や大きさは野生株とほぼ同じであるものの、形成する根粒の数に違いがある。野生株と変異体の根に根粒菌を感染させ、同一条件下で栽培したときに生じた根粒の数と植物体の生育状況を調べたところ表1の結果が得られた。

表1 根に形成した根粒の数と植物体の生育

植物体	植物体当りの根粒の数(個数/植物体)	植物体の生育
野生株	10	良好
変異体 x	43	野生株に比べて悪い
変異体 y	0	野生株に比べて悪い

さらに、野生株と変異体 x の地上部と地下部を切り離し、それぞれの地上部と地下部を組み合わせた接ぎ木（4通り）によって植物体を作製した。得られた植物体について、根に根粒菌を感染させ、同一条件下で栽培したときに生じた根粒の数を調べたところ、表2の結果が得られた。

表2 接ぎ木によって作製した植物体に形成された根粒の数

地上部/地下部の組み合わせ	形成した根粒の数(個数/植物体)
野生株/野生株	10
野生株/変異体 x	12
変異体 x /野生株	46
変異体 x /変異体 x	43

- 問1 文中の空欄1～5に入る最も適切な語句を答えなさい。
- 問2 下線部（イ）について。根冠は、重力の方向を感知するだけでなく、他にも重要な機能を担っている。おもな機能を答えなさい。
- 問3 下線部（ロ）について。マメ科植物と根粒菌の間ではどのような共生関係が成り立っているか、知られていることを答えなさい。
- 問4 下線部（ハ）について。根粒菌が分泌するノッドファクターの構造は、根粒菌の種によって異なり、マメ科植物が感じることでできるノッドファクターも種によって異なっている。このことは、根粒菌とマメ科植物の間での相互作用においてどのような意味を持つと考えられるか答えなさい。
- 問5 表1の結果から、変異体 x と変異体 y は野生株に比べて生育が悪いことがわかる。変異体 x では野生株に比べて根に形成する根粒の数が多いにも拘らず、野生株よりも生育が悪いのはなぜか。推測される理由を答えなさい。
- 問6 表1と表2の結果から、変異体 x で変異を起こした遺伝子についてわかることを、理由とともに答えなさい。ただし、変異体 x においてその遺伝子は機能を失っているものとする。

（第3問終わり）

発生生物学

第4問 細胞分化に関する以下の文を読み、問1～3に答えなさい。

細胞分化は、発生生物学の中心的課題である。^(ア) わずかな例外を除いて、発生における細胞分化に伴って、^(イ) ゲノムそのものは変化しない、と考えられている。すなわち、細胞分化は、細胞特異的（選択的）遺伝子発現によるというのが、現在の主要な考え方である。細胞特異的遺伝子発現の機構としては、^(ウ) 種々の因子による転写制御、^(エ) DNA やヒストンの修飾による発現制御（エピジェネティクス）、などが考えられている。

- 問1 下線部（ア）について、分化に伴ってゲノムが変化する細胞として知られている細胞名を答えなさい。また、そのゲノムの変化の概要を説明しなさい。
- 問2 下線部（イ）について、多くの場合に細胞分化に伴ってゲノムそのものが変化しない証拠と考えられる現象を二つ選んで説明しなさい。
- 問3 下線部（ウ）について、ホルモンがある細胞の遺伝子発現を制御する過程を、水溶性ホルモンと脂溶性ホルモンの場合に分けて説明しなさい。
- 問4 下線部（エ）について、DNA とヒストンにどのような修飾が起こるのか、それぞれが遺伝子発現にどのように影響するかを説明しなさい。

（第4問終わり）

生殖・比較内分泌学

第5問 動物の生殖に関する以下の文を読み、問1～5に答えなさい。

生殖は、生命の継続になくなくてはならない生命現象の一つである。動物の世界には、ア 無性生殖と有性生殖という二つの様式があるが、極めて多くの動物種は、主として、あるいは全面的に有性生殖を行っている。そのため イ 性の存在は、繁殖成功を高めていると考えられている。

有性生殖を行う動物では、雌雄が別個体、すなわち雌雄異体である種が多く、大型で運動性のない卵を作るのが雌、小型で運動性のある精子を作るのが雄とされている。個体の性別は、発生段階の特定の時期に決定されるが、動物種によって、遺伝子が性決定に関わる遺伝性決定（表1）を示すものもいれば、環境要因が性決定に関わる環境性決定を示すものもいる。なお、多くの種が遺伝性決定をみせる脊椎動物では、性染色体上に乗っているヒトの *SRY* 遺伝子やメダカの *DMY* 遺伝子、アフリカツメガエルの *DM-W* 遺伝子のような性決定遺伝子が同定されている。

染色体システム	染色体の構成	動物
X-Y システム	雄ヘテロ型	大部分の哺乳類、メダカなど一部の魚類
X-0 システム	雄ヘテロ型	一部のネズミ
Z-W システム	雌ヘテロ型	鳥類、ヘビ、一部の両生類、ウナギなど一部の魚類

脊椎動物の性決定には、遺伝的な要因だけでなく、ウ 生殖腺から分泌される性ステロイドホルモン（以下、性ホルモン）も関わっている。鳥類から魚類に至る非哺乳類の性決定は、哺乳類にくらべて、より直接的な性ホルモンの影響を受けている。それだけでなく、性ホルモンは、成長と発達を介して雌雄の形質の違い（性的二型）を生ずるとともに、性成熟、生殖周期および性行動にも影響を与える。

上にもふれたように、生殖は連続した多くの現象が秩序正しく生起することで成り立つ生命現象で、雌雄に拘わらず、視床下部、脳下垂体前葉、および生殖腺のホルモンの協調作用によって制御されている。視床下部ニューロンの終末から放出された生殖腺刺激ホルモン放出ホルモン（GnRH）は、脳下垂体前葉

の生殖腺刺激ホルモン産生細胞に作用して卵胞 (=濾胞) 刺激ホルモン (FSH) と黄体形成ホルモン (LH) を分泌させる。FSH と LH は、生殖腺の組織細胞に分布する受容体と結合し、性ホルモンの産生を促進して、配偶子形成を促進する。なお、視床下部－脳下垂体－生殖腺系におけるホルモンの協調作用は、一方通行ではなく、性ホルモンによる視床下部および脳下垂体へのフィードバック機構も存在する。

- 問 1 下線部アにある無性生殖と有性生殖のそれぞれを、簡潔に説明し、それがどのような動物種で見られるか述べなさい。
- 問 2 下線部イに「性の存在は繁殖成功を高めている」とある。では、性が存在することにどのような利点があるから繁殖成功が高まると考えられているのか、答えなさい。
- 問 3 表にある性決定の染色体システムのそれぞれが、どのようにして性決定に関わるのかを、簡潔に述べなさい。なお、哺乳類の X-Y システムでは、性決定遺伝子 *SRY* がどのように働いているのかについてもふれなさい。
- 問 4 下線部ウに示されている生殖腺から分泌される性ホルモンには、三つのグループがある。どのようなグループがあるのか、それぞれのグループ内で主要とされているホルモンは何か、またそれぞれにはどのような生理作用があるのかを簡潔に述べた上で、それらのホルモン分子が共通にもつ性質および作用機構を説明しなさい。なお、グループの一つは、エストロゲンである。
- 問 5 脳下垂体前葉から分泌されている生殖腺刺激ホルモン FSH と LH およびそれらの構造には性による違いが見られない。では、それらの生殖腺における働きに、雌雄で違いがあるのだろうか。生殖腺における FSH と LH の働きを雌雄で比較しなさい。

(第 5 問終わり)

植物生態学

第6問 地球規模の炭素循環に関する以下の文を読み、問1～3に答えなさい。

生物は周辺環境の影響を受けるだけでなく、生物活動を通じて周辺環境にも影響を与えている。地球を例に考えてみよう。近年の地球環境に対して最も大きな影響を与えている生物はヒトであり、その一例が今日の地球温暖化である。地球温暖化は、地球上の生物に多大な影響を及ぼすことが懸念されており、地球温暖化と関係の深い「大気CO₂濃度の変化パターン」の把握が重要である。

これまでの研究から、大気CO₂濃度だけでなく、大気O₂濃度の変化パターンを把握することの重要性が指摘されてきた。O₂は植物の光合成によって生成される一方で、生物の呼吸と化石燃料の燃焼によって消費されている。CO₂は生物の呼吸によって生成される一方で、陸域や海洋に吸収されている。さらに、O₂はCO₂と異なり海洋にほとんど吸収されない。これらの作用によって、近年の大気CO₂濃度は増加傾向であるのに対し、大気O₂濃度は減少傾向にある(図1)。

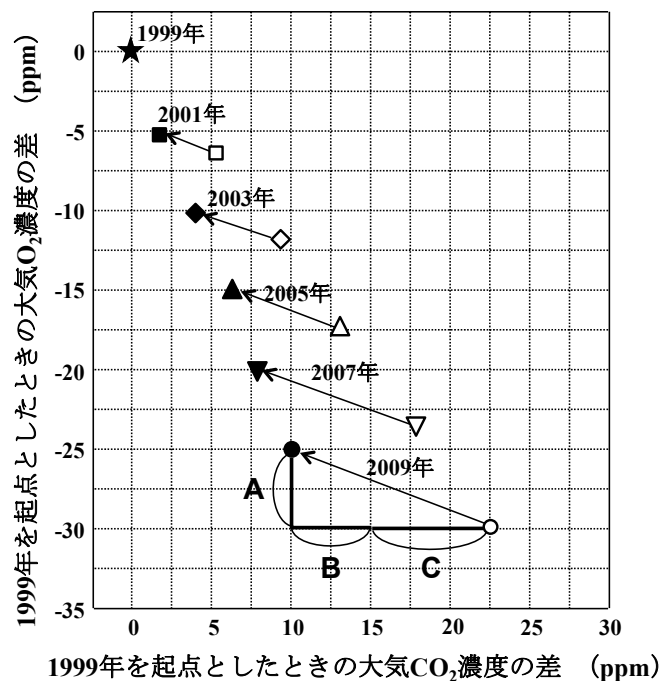


図1. 大気CO₂とO₂濃度の関係

いずれの大気中の濃度も1999年の値(★)を起点としたときの差を示す。黒塗りのシンボルは実際に観測された値を、白抜きシンボルは化石燃料の消費から計算された値を示す。

最近の観測によって、実際に消費した化石燃料から計算される CO₂ 濃度と大気 O₂ 濃度は、実際に観測される大気中の 2 つのガス濃度と異なることが明らかになった。これらのガス濃度の変化から、大気 CO₂ の吸収源の推定も可能である。

問 1 下線部アについて、図 2 は 2004 年から 2007 年までの北半球（実線）と南半球（点線）の大気 CO₂ 濃度を模式的に示したものである。このように、北半球と南半球では大気 CO₂ 濃度とその変動パターンが異なることが知られている。

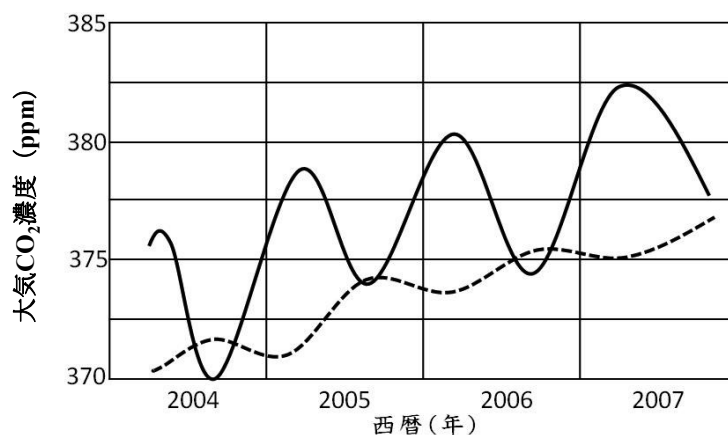


図 2. 北半球と南半球における大気 CO₂ 濃度の変化

- (1) 北半球（実線）と南半球（点線）の大気 CO₂ 濃度とその変動パターンに関して両者で異なる点を全て列挙しなさい。
- (2) (1) のように両者の大気 CO₂ 濃度とその変動パターンが異なる理由について述べなさい。

問 2 下線部イについて、1999 年から 2009 年までの間で実際に観測された大気 CO₂ 濃度の変化が化石燃料の消費から計算された変化よりも小さくなるメカニズムを列挙しなさい。

問 3 下線部イについて、陸域の CO₂ の吸収量と O₂ の放出量は同量であり、かつ海洋は O₂ を吸収も放出も行なわないとすると、実際に観測された値と化石燃料の消費から計算された値の違いを説明することができる。図中の線分 A、B、C がそれぞれ何を示すか答えなさい。

(第 6 問終わり)

島嶼生態学・生物多様性

第7問 以下の文を読み、問1～2に答えなさい。

島に生息する種の数には島の面積が小さいほど減少することがよく知られている。このような種数－面積関係は、生態学的パターンの中でも最も一貫性のある関係である。大きな面積の島や区画ほど、多くの種が生息しているのは、大きな区画や島ほどその中に様々なタイプの生息場所が含まれているからだ、というのが一番確かな理由だといってよいかもしれないが、MacArthurとWilsonは、この説明は単純すぎるとして、島の生物地理学の平衡理論を提唱した。

問1 平衡理論は、ある島の種数が島への移入と島での絶滅とのバランスで決められる、という考えである。この考えをベースに、MacArthurとWilsonが組み立てた理論を適切な図を用いて説明しなさい。

問2 島の生物地理学の理論からいくつかの予測を立てられるが、平衡理論だけから予測される事象について説明しなさい。

(第7問終わり)

