

日本生物学オリンピック

2014

第26回国際生物学オリンピック(デンマーク大会)

代表選抜試験 第1部(記述式理論問題)

2015年3月21日(土・祝日) 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

第1問 貯蔵多糖に関する以下の文を読み、問1～4に答えよ。

動物のグリコーゲンと植物のデンプンはよく似た貯蔵多糖である。これらはともにグルコースが同じ結合 ($\alpha 1 \rightarrow 4$ 結合という) で直鎖状につながっていて、ところどころで別の結合 ($\alpha 1 \rightarrow 6$ 結合という) で枝分かれしているが、その枝分かれの頻度が両者で異なっている。この貯蔵多糖は動物でも植物でも細胞内で合成・分解され、その合成反応や分解反応は分枝の末端でゆっくり進行する。一方、消化酵素として働くアミラーゼは、デンプンやグリコーゲンの内部で切断し、細胞内で働く分解酵素よりはるかに強い酵素活性をもち、植物や動物に広く分布する。このような貯蔵多糖とその利用の特徴を考えてみよう。

問1. 植物におけるデンプンの細胞内における合成・分解、動物におけるグリコーゲンの細胞内における合成・分解の目的と、合成・分解が起こる細胞（もしくは器官）の名前をそれぞれ答えよ。

問2. 細胞内における合成・分解において、グルコース分子の利用効率が高いのはグリコーゲンとデンプンのどちらか、理由とともに述べよ。

問3. 細胞に多量に蓄積するには、グリコーゲンとデンプンのどちらが適しているか、理由とともに述べよ

問4. 動物では、アミラーゼは食物の消化酵素としてよく知られている。植物でのアミラーゼの役割を述べよ。

(第1問終わり)

第2問 血液型の遺伝に関する以下の文を読み、問1～8に答えなさい。

ABO 式血液型はランドシュタイナーによって 1900 年に発見された。当時はこの形質の遺伝様式は不明であったが、やがて A 型や B 型は O 型に対して優性であること、A 型と B 型がともに発現すると AB 型になることが分かった。まず、これらの形質は 2 つの独立な（連鎖していない）遺伝子座によって決まると仮定しよう（仮定 1）。A 型（または AB 型）になるために必要な対立遺伝子を A 、B 型（または AB 型）になるために必要な対立遺伝子を B とすると、ア O 型の人の遺伝子型は $aabb$ とする。次に、これらの形質は 1 つの遺伝子座によって決まると仮定しよう（仮定 2）。A 型（または AB 型）になるために必要な対立遺伝子を I^A 、B 型（または AB 型）になるために必要な対立遺伝子を I^B とすると、イ O 型の人の遺伝子型は ii とする。実際に、日本人 90 人を対象にした山本ら（1972 年）の調査では、O 型が 21 人、A 型が 37 人、B 型が 21 人、AB 型が 11 人であった。ウ 仮定 1 に基づいて統計検定を行なうと有意差ありとなる。一方、エ 仮定 2 に基づいて統計検定を行なうと有意差なしとなる。

（解答者は上の調査結果に基づく統計検定をしなくともよい。つまり、「有意差あり」・「有意差なし」という結論に基づいて解答すればよい。）

問 1 下線部アにならって、2 つの遺伝子座によって決まる A 型、B 型、AB 型の人の遺伝子型を書きなさい。

問 2 下線部イにならって、1 つの遺伝子座によって決まる A 型、B 型、AB 型の人の遺伝子型を書きなさい。

問 3 下線部ウについて、日本人の集団がこれらの遺伝子座に関してハーディ・ワインベルグの法則に合っているとすると、O 型、A 型、B 型、AB 型の人が何人ずついると期待されるか。対立遺伝子 a 、 b の頻度をそれぞれ p_a 、 p_b として、数式で書きなさい。

問 4 下線部ウからどのような結論が得られるか述べなさい。

問5 下線部エについて、日本人の集団がこの遺伝子座に関してハーディ・ワインベルグの法則に合っているとすると、O型、A型、B型、AB型の人が何人ずついると期待されるか。対立遺伝子 I^A , I^B , i の頻度をそれぞれ p_A , p_B , p_O として、数式で書きなさい。

問6 問5の文中にある p_A を求めるための公式を導き出さなさい。

問7 下線部エからどのような結論が得られるか述べなさい。

問8 南米インディオのある集団ではほとんどの人がO型であり、他の血液型はごくまれにしか見られない。このようになった進化学的な原因を考え、述べなさい。

(第2問終わり)

第3問 動物のガス交換に関する以下の文を読み、問1～4に答えよ。

動物が体外環境中から酸素を得て、不必要となった二酸化炭素を放出するガス交換は、最終的には体を構成する全ての細胞でおこる必要がある。そこで多細胞生物は、体の多くの細胞が直接外部環境とガス交換を行うボディープランを持つものと、外部環境とガス交換を行う組織を作り、その組織と各々の細胞との間に体液を循環させて物質交換を媒介させるボディープランを持つものがある。後者ボディープランの代表的な例として、脊椎動物では呼吸器官として肺や鰓を形成し、閉鎖血管系による血液の循環によって細胞でのガス交換を媒介している。

問1. 下線部アについて。このような物質交換を行う多細胞動物を下記の選択肢の中から全て選べ。

カイメン	プラナリア	ヒドラ	ザリガニ	ゴカイ
ミミズ	ヒトデ	バッタ	ハマグリ	タコ

問2. 下線部イについて。多細胞動物の呼吸器官の例として、肺および鰓以外の器官名を一つあげ、それを持つ動物群を答えよ。

(解答のしかた：器官名 - 動物群)

問3. 下線部ウについて。哺乳類における組織から肺に至る二酸化炭素の運搬法について、4行程度で説明せよ。

問4. 下線部ウについて。哺乳類では、酸素の運搬には赤血球中のヘモグロビンが大きく関わっている。次ページの図1はある動物の二酸化炭素分圧 5 mmHg、40 mmHg、60 mmHg における血中ヘモグロビンの酸素解離曲線を示した図である。

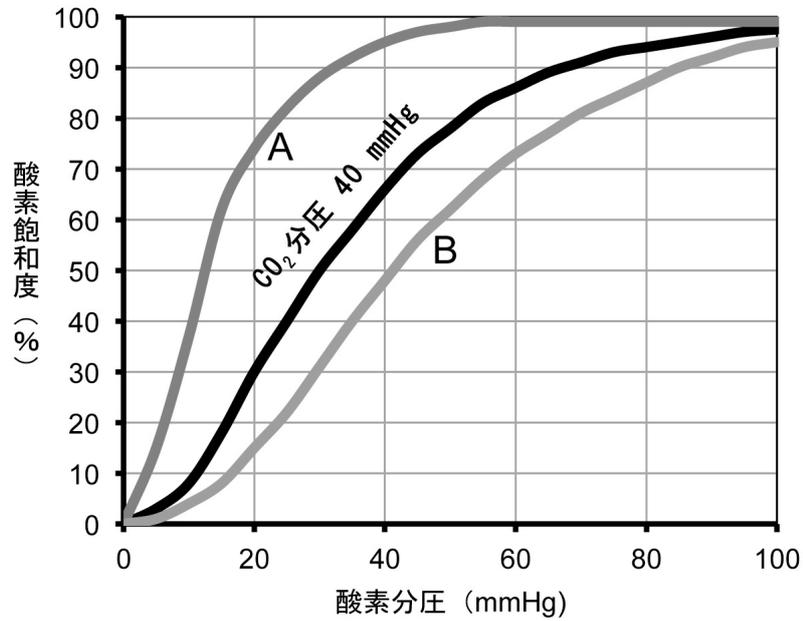


図 1. 各二酸化炭素分圧におけるヘモグロビンの酸素解離曲線

- (1) CO₂分圧 5 mmHg の酸素解離曲線は図中 A,B どちらか。またそう判断した根拠を 1-2 行で説明せよ。
- (2) この動物の肺胞内では O₂分圧 100 mmHg, CO₂分圧 40 mmHg である。O₂分圧 30 mmHg, CO₂分圧 60 mmHg の組織において、結合した O₂の何パーセントを解離させるか。途中の計算式も示せ。
- (3) この動物の胎児のヘモグロビンは、CO₂分圧 40 mmHg において図中 A のような酸素解離曲線を示す。成体と胎児のヘモグロビンが違う酸素解離曲線を示すことの意味を、4 行程度で考察せよ。

(第 3 問終わり)

第4問 次の文章を読んで問1～3に答えよ。

脊椎動物の神経冠（神経堤）細胞は、a 第四の胚葉ともよばれる。神経冠は、神経管が形成されるときに、神経管にも表皮にも属さないで、神経管の背側に集積する細胞塊である。神経冠細胞はその後、胚体内を移動して種々の細胞にb 分化する。

神経冠細胞の移動と分化は、発生における細胞の移動と分化に関して多くの情報を与え、種々の研究がされてきた。以下に述べるのはニワトリとウズラの胚を用いた実験である。ニワトリとウズラは近縁の動物であるが、その細胞の形態に違いがあつて識別しやすいので、移植実験に用いられる。

【実験】

- 1 発生初期のウズラ胚から体の前方領域の神経冠を摘出し、それを同じ発生段階のニワトリ胚の同じ領域に移植し、ニワトリ胚をしばらく発生させてからウズラ細胞を検出したところ、ウズラ神経冠細胞は腸管の中まで移動して、腸管神経細胞に分化した。この細胞はアセチルコリンという神経伝達物質を産生する。
- 2 同様に、ウズラ胚から後方領域の神経冠を摘出し、同じ発生段階のニワトリ胚の同じ領域に移植したところ、ウズラ神経冠細胞は副腎という内分泌器官まで移動して、内分泌細胞に分化した。この細胞はアドレナリンを分泌する。
- 3 ウズラ胚の前方領域の神経冠をニワトリ胚の後方領域に移植したところ、ウズラ神経冠細胞は副腎まで移動し、アドレナリンを分泌する内分泌細胞に分化した。
- 4 ウズラ胚の後方領域の神経冠をニワトリ胚の前方領域に移植したところ、ウズラ神経冠細胞は腸管まで移動し、アセチルコリンを分泌する神経細胞に分化した。
- 5 眼の近くにある毛様体神経節も神経冠細胞に由来し、アセチルコリンを産生する。すでに毛様体神経節として機能しているウズラの細胞を、実験3と同じようにニワトリ初期胚の後方領域に移植したところ、一部の細胞は副腎まで移動し、アドレナリンを分泌する細胞に分化した。

問1 下線部 a について、脊椎動物の第一から第三の胚葉とはなにか、それらは発生過程でどのような細胞に分化するか、それぞれ少なくとも3例をあげて述べよ。

(解答のしかた：××胚葉：○○細胞、□□細胞、△△細胞)

問2 下線部 b について、細胞分化とはどのようなことか、以下のキーワードを少なくとも1回は用いて答えよ。

キーワード：ゲノム、遺伝子発現、転写因子、細胞機能

問3 問題文の実験から、神経冠細胞の移動と分化はどのように制御されていると考えられるか、実験結果を踏まえてあなたの考えを述べよ。

(第4問終わり)

第5問 植物の炭素同位体比に関する以下の文を読み、問1～3に答えなさい。

炭素は生物が保有する元素として重要であり、ヒトの体（水を含む）ではその質量の18%を占め、酸素に次ぐ2番目に豊富に含まれる元素である。炭素には質量数が12のもの（以降 ^{12}C と表記する）に加えて、質量数が13や14の同位体が存在している。この中で、質量数13の炭素（以降 ^{13}C と表記する）は、長期にわたり安定に存在するため、安定同位体とよばれている。

炭素を含む試料の ^{12}C と ^{13}C の存在比は約 98.89 : 1.11 である。しかし、質量数の大きい ^{13}C は、 ^{12}C に比較して一般的に反応速度が遅いため、化学的反応や生物学的反応を反映して、両者の同位体比(以降 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ と示す)は物質により異なることが知られている。この同位体比の変化は非常に小さいため、同位体比は一般に $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ として計算される(1)式)。

$$\delta^{13}\text{C}(\text{‰}) = \left(\frac{{}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C} \text{ 試料}}{{}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C} \text{ 標準物質}} - 1 \right) \times 1000 \quad (1)$$

$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 試料：試料の $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$

$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 標準物質：標準物質（矢石：ペレムナイト類の化石）の $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$

この式に従うと、標準物質と同一の $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ をもつ試料の $\delta^{13}\text{C}$ は 0‰ となり、標準物質より $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ が高い場合は正の、低い場合は負の値をとる。

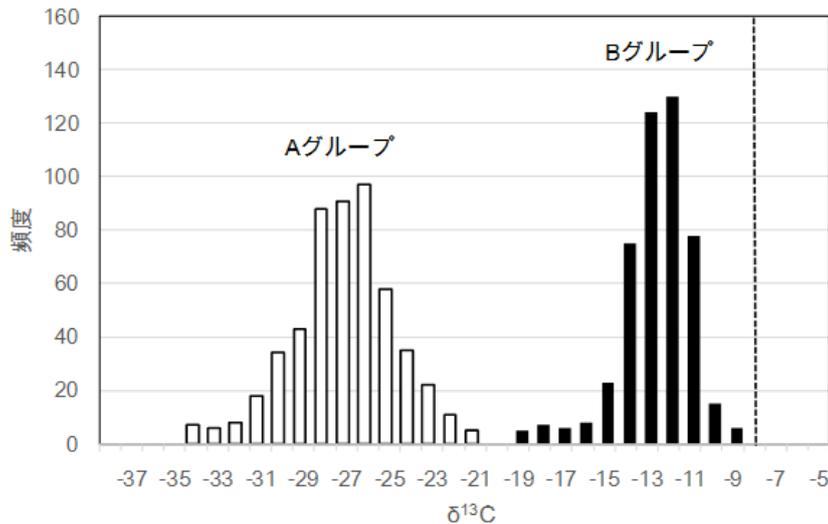


図1 陸上植物の炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$)
破線は大気中の二酸化炭素の $\delta^{13}\text{C}$ を示す

大気中の二酸化炭素の $\delta^{13}\text{C}$ はおよそ -8‰ であることが知られている。大気中の二酸化炭素を光合成により利用する陸上植物の $\delta^{13}\text{C}$ は負の値を示すが、C3 植物と C4 植物の 2 つのグループに大別される (図 1)。この両者間の $\delta^{13}\text{C}$ の違いは、主として二酸化炭素を固定する際に働く酵素が、両植物グループ間で異なることに起因するとされている。

問 1. C3 植物と C4 植物の二酸化炭素の固定機構について説明しなさい。なお、下記の語を必ず用いること。

ホスホエノールピルビン酸 (PEP) カルボキシラーゼ
リブロース 1,5-ビスリン酸 (RuBP) カルボキシラーゼ
カルビン・ベンソン回路
リンゴ酸
ホスホグリセリン酸
オキサロ酢酸
維管束鞘細胞
葉肉細胞

問 2. 二酸化炭素濃度が比較的低い場合、植物の光合成速度は二酸化炭素濃度に依存して増加する。二酸化炭素濃度が 0 の条件では、呼吸のみが行われるが、二酸化炭素濃度を増加させると光合成速度が増加し、やがて光合成速度と呼吸速度が等しくなる。この時の二酸化炭素濃度は、二酸化炭素補償点とよばれる。二酸化炭素補償点は C3 植物と C4 植物で異なり、C3 植物では $50\sim 100\text{ppm}$ (ppm : 百万分の一) であるのに対し、C4 植物では $0\sim 5\text{ppm}$ と非常に低い。

以上を参考にして、図 1 に示す A グループと B グループのうち、どちらが C4 植物の植物体の炭素安定同位体比を示すかを推定しなさい。また、そのように判断した理由を説明しなさい。

問 3. 大気中の二酸化炭素の $\delta^{13}\text{C}$ は -8‰ 程度であるが、近年の二酸化炭素濃度の増加に伴い、 $\delta^{13}\text{C}$ も変化していることが明らかとなっている。大気中の二酸化炭素の $\delta^{13}\text{C}$ の値は低下するか、上昇するか、どちらと考えられるか答えなさい。また、その様に判断した理由を説明しなさい。

(第 5 問終わり)

島嶼生態学・生物多様性

第6問 島の生物相の多様性とその成立過程に関する以下の文を読み、問1から問3に答えよ。

海洋島や砂漠に囲まれた山脈の山頂、開発によって取り残された森林は、そこに生息する種にとって「本土」から離れ、生育に適さない環境に取り囲まれた「島」とみることができる。

問1 島に生息する昆虫類と鳥類の種数と島の面積の関係はどんな図に表すことができるか、図示せよ。

問2 島に生息する鳥類の種数は、島の面積と本土からの距離によってどう変化するのか、島の平衡モデルを適用して、適切な図を用いて説明せよ。

問3 ある島に生息する鳥類の種数を10年おきに50年間調べたところ、種数は15、14、16、15、15、14とほとんど変わらなかった。しかし、種類の構成は変化していた。なぜこのようなことが起きたのか、島の平衡モデルによって説明せよ。

(第6問終わり)

細胞生物学・細胞分化

第7問 次の文章を読んで、問1～4に答えよ。

動物では、1個の受精卵から卵割や細胞運動などを通して、腸管や中枢神経系などを形成し、しだいに成体となっていく。このような時、体のでき方の、一連の流れはボディープラン（体の設計図）に基づいていると考えられる。受精卵から成体になるボディープランに基づいて、胚のどの細胞が、どのように動き、どのように分化し、どのような組織や器官を形成するかを知ることは、大変重要な研究である。

問1. このような研究を行う場合、分裂した細胞がどのように動き、分化したり、どのようにして、形づくりをしていくのかを調べる方法について、イモリ胚と線虫（C.エレガンス）を例にとっておのこの述べよ。

問2. そのような中で、シドニー・ブレナーらは、線虫（C.エレガンス）を用いて研究を進めた。シドニー・ブレナーらは、なぜボディープランを調べるのに線虫（C.エレガンス）を用いたと思われるか。その理由を3つ述べよ。

問3. 線虫（C.エレガンス）においては、受精卵から成体になるまで、細胞分裂していけば、約1100個の細胞があるはずであるが、実際には成体になった時、959個の体細胞しかなかった。この差はなぜ生じたと考えられるかを述べよ。

問4. カエルやイモリの胚発生では、原腸形成の時期（原腸胚期）が体づくりに非常に重要な時期であると言われている。その理由を3つ述べよ。

（第7問終わり）

