

日本生物学オリンピック 2011

第23回国際生物学オリンピック(シンガポール大会)

代表選抜試験 第1部(記述式理論問題)

2012年3月20日(火・祝日) 9:30~11:30

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6問あり、その中には小問がいくつかあります。
問題は、7ページです。
7. 問題冊子は試験終了後持ち帰って下さい。

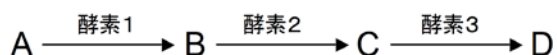
受験番号 _____ 氏名 _____

第1問 代謝酵素に関する以下の問に答えよ。

光合成の炭酸固定回路カルビン回路の CO_2 を固定するリブローズ1,5ビスリン酸カルボキシラーゼ・オキシゲナーゼ（通称ルビスコ）は O_2 も固定する活性をもつこと、反応速度が遅いという変わった特性をもつことはよく知られている。その性質の関連した現象について、考えてみよう。

問1 ルビスコが気体の CO_2 を基質とすることが、 CO_2 とよく似た O_2 も反応する理由である。そのため O_2 濃度が CO_2 の500倍も高い現在の地球大気では、通常の陸上植物では光合成能力の約半分は O_2 と反応することで失われている。大気中の O_2 がすべて生物由来であることを考慮して、なぜこのような非効率的な酵素を光合成生物が利用することになったのか、理由を推測して述べよ。

問2 一般に、一連の代謝反応が細胞内で進行しているとき、その中間代謝物（下図では物質BとC）は一定に保たれている（動的平衡）。光合成のカルビン回路は、 CO_2 を大量に固定する代謝経路であり、明所では上記の動的平衡が保たれている。ところが、不活性気体である CO_2 を基質とするルビスコは、カルビン回路の他の酵素とくらべて極端に反応速度が遅い酵素である。このルビスコを使ってカルビン回路全体をスムーズに動かすために、植物がとりうる解決法はどのようなものか、推測して述べよ。



（第1問終わり）

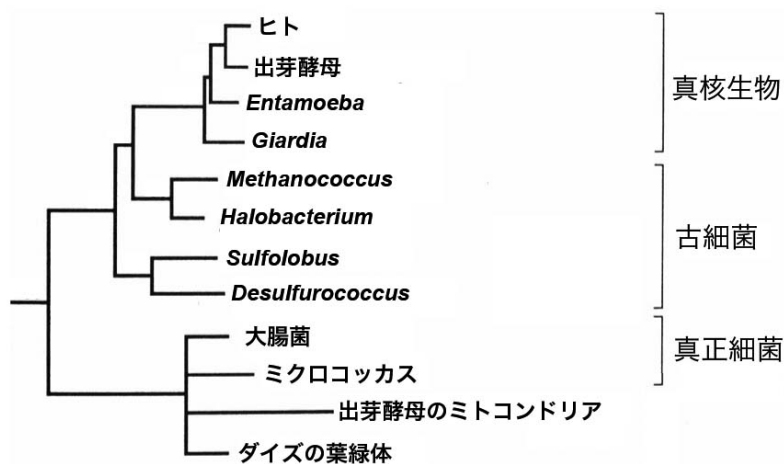
第2問 生命の進化に関する以下の問1～3に答えよ。

問1 生命の起源を考える上で、有機物の無生物的合成が重要である。ミラーとユリーは、原始大気を模倣した実験を行い、アミノ酸などの有機物が合成されることを確認した。ミラーらが用いた気体はメタン、アンモニア、水素であり、還元性の強いものであるが、その後の研究では、原始大気には二酸化炭素や窒素などが多く含まれていて、このような気体を用いた実験では有機物の合成は困難であることがわかっている。それでもなお、ミラーらの実験が生命の起源を考える上で重要である理由を説明せよ。

問2 最初の生命を支える生命分子はRNAであったと考えられている。その理由を述べよ。特に生命の特徴である「遺伝」と「代謝」について注目すること。

問3 原核細胞から真核細胞への進化に関して、多くの証拠が、ミトコンドリアと葉緑体は、もともとは小さな原核生物が大きな細胞の内部に住みついたものであるとする細胞内共生説を支持する。以下の(a)~(c)の証拠がなぜ細胞内共生説を支持するか、その理由をそれぞれ説明せよ。

- (a) ミトコンドリアと葉緑体は2枚の膜構造で包まれている
- (b) ミトコンドリアと葉緑体は内部に環状構造をしたDNAを持つ。
- (c) 以下の遺伝子系統樹は、葉緑体とミトコンドリアDNA上の遺伝子を含んだ、ペプチド鎖伸長因子の1つEF-2/Gの系統樹である。



ペプチド鎖伸長因子 EF-2/G の遺伝子系統樹 (Hashimoto and Hasegawa 1996 を改変)
(第2問終わり)

第3問 突然変異に関する以下の文を読み、問1～3に答えよ。

突然変異は、広義には、ゲノム DNA 中の塩基配列の変化を指す。この塩基配列の変化には、塩基の置換のほか、塩基の欠失や付加も含まれる。ところが、突然変異が起こっても、必ずしも形質が変化するとは限らないし、また形質変化の仕方も様々である。

問1 突然変異が起こっていても、まったく形質が変化しない場合がある。その突然変異の場所や変異の仕方、形質が変化しない理由などについて、複数の可能性を述べよ。

問2 突然変異が起こると、正常体では本来表れていた形質が完全に失われる場合（形質の欠損；例として、ショウジョウバエの赤眼が白眼に変異）がある。その突然変異の場所や変異の仕方、形質が失われる理由などについて、複数の可能性を述べよ。

問3 突然変異が起こると、正常体で本来表れていた形質がまったく別の形質に置き換わる場合（例として、動物では触覚が脚に、植物では雄しべが花弁に変異）がある。その突然変異の場所や変異の仕方、形質が置き換わる理由などについて、その可能性を述べよ。

（第3問終わり）

第4問 血糖濃度の制御に関する以下の文を読み、問1～4に答えよ。

血中のグルコース濃度（血糖濃度）を一定に保つことは、生体エネルギー産生機能と恒常性維持のために重要であり、ヒトでは約 90 mg/100mL 付近に維持されている。この糖代謝に重要なのがホルモンであり、(A)血糖濃度を上げるホルモンとしてグルカゴン、アドレナリン、糖質コルチコイド、成長ホルモン等が有り、下げるホルモンとしてインシュリンがある。血糖濃度を上昇させるホルモンのうち、グルコース産生に直接関わるのはグルカゴン、アドレナリン、糖質コルチコイドであり、(B)グルカゴンとアドレナリンはどちらも同一の分子機構によりグリコーゲンの分解促進によってグルコース産生を行うが、糖質コルチコイドの作用機構は異なる。この血糖濃度を上げるホルモンと下げるホルモンが拮抗的に働くことにより、血糖濃度の精密な調節を可能としている。(C)近年、この血糖濃度の調節機構がうまく働かなくなる疾患である糖尿病が増え、社会問題となっている。

問1 下線部(A)について。これら5種のホルモンを産生する内分泌腺を述べよ。
解答には チロキシン-甲状腺 のように記入すること。

問2 下線部(B)について、グルカゴンとアドレナリンの受容体は異なる分子であるのに、どちらも肝細胞においてグリコーゲンの分解に至るシグナル伝達系は同一である。この理由について説明せよ。

問3 アドレナリンは、肝細胞におけるグリコーゲンの分解以外にも、骨格筋血管の弛緩や心筋収縮力の上昇などの作用も持っている。このように一つのホルモンが様々な細胞応答を引き起こす仕組みについて、説明せよ。

問4 下線部(C)について。糖尿病が近代になって増えてきた原因について、血糖濃度の調節機構の観点から考察せよ。

(第4問終わり)

第5問 動物の発生に関する以下の問に答えよ。

動物の発生は、一般的には卵と精子の受精から個体発生が始まる。その後、卵割を行って、細胞数をふやしていき、やがて桑実胚、そして胞胚へと進んでいく。それに続いて、原腸胚期になり、神経胚期へと発生のプロセスが進んでいく。このような時、この原腸胚期は大変に重要で、色々な生命現象を示すことになる。

この原腸胚期について、イギリスの有名な発生生物学者、L.Wolpert(ウォルパート)は次のようにのべている。

“It is not birth, marriage, or death, but gastrulation, which is truly the most important time in your life”

注 gastrulation 原腸形成

なぜ、Wolpert は原腸胚期の原腸形成について、これほどまでに重要と思ったのか、各自、自由に記述せよ。

(第5問終わり)

第6問 環境と生物の関係に関する以下文を読み、問1～3に答えよ。

地球温暖化などの地球環境変動と関係して、大気中の二酸化炭素濃度について、近年大きな注目がよせられている。現在、大気二酸化炭素濃度の観測は世界各地で行われているが、米国のハワイ州、ハワイ島のマウナ・ロア山では、1958年から観測が継続して行われている。その結果、二酸化炭素濃度は年々増加を続けていることが明らかとなっている。大気二酸化炭素濃度の変動を詳しく見ると、濃度は単調に増加しているのではなく、季節的に変動していることがわかる(図1)。(A)マウナ・ロア山では、9-10月に極小値が、逆に4-5月に極大値が観測されている。

大気二酸化炭素濃度の増加は、生物にも影響を与えるであろう。植物の光合成量も影響を受けると考えられるが、(B)異なる炭素固定回路をもつC₃植物とC₄植物では、その応答に差があることが予想される。一方、二酸化炭素は温室効果気体であることから、大気中の濃度の増加が、気温の上昇をもたらす可能性が危惧されている。C₃植物とC₄植物との分布は緯度により異なることが明らかとなっており(図2)、(C)気温の上昇が生じた場合には、その分布に変化が生ずることも考えられる。

このように、大気二酸化炭素濃度の増加は、生物に対して様々な影響を与える可能性が指摘されている。環境の変化に対する生物の応答と、環境へのフィードバックに関して、現在、活発な研究が進められている。

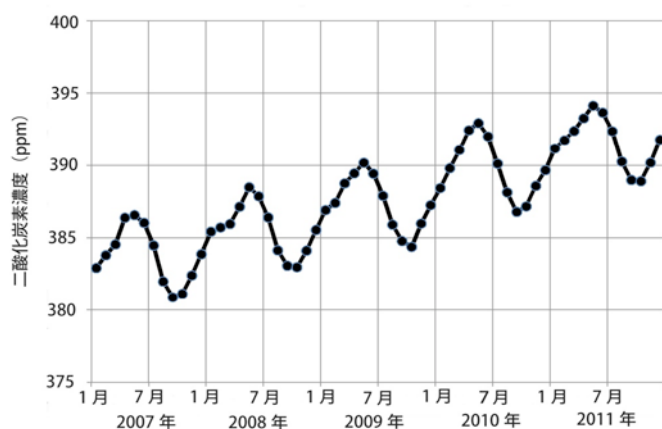


図1 ハワイ島マウナ・ロア山頂付近における大気二酸化炭素濃度の変化。
ppmは百万分の一。

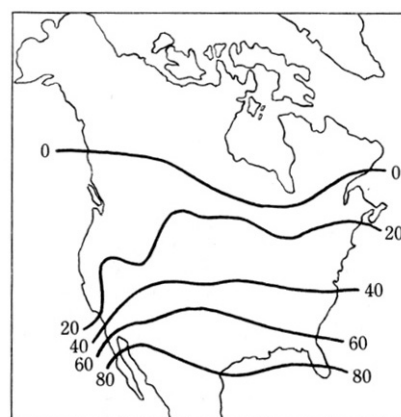


図2 北米におけるイネ科草本植物に占めるC₄植物の割合。

問1 下線部(A)について、大気二酸化炭素濃度が、このような季節的な変動を示す理由について説明しなさい。

問2 下線部(B)について、大気二酸化炭素濃度の増加が、C₃植物とC₄植物の光合成量に与える影響と、その理由について説明しなさい。なお、二酸化炭素濃度以外の条件は変わらないとする。

問3 下線部(C)について、気温が上昇した場合に、C₃植物とC₄植物の分布に関して予想される変化とその理由について、北米を例にとり説明しなさい。なお、気温以外の条件は変わらないとする。

(第6問終わり)