

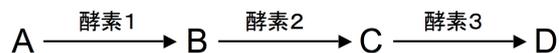
# 日本生物学オリンピック 2011 代表選抜試験(2012. 3. 20) 問題 出題意図・解説

## 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  $\text{CO}_2$  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  $\text{O}_2$  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  $\text{CO}_2$  を基質とすることが、 $\text{CO}_2$  とよく似た  $\text{O}_2$  も反応する理由である。そのため  $\text{O}_2$  濃度が  $\text{CO}_2$  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  $\text{O}_2$  と反応することで失われている。大気中の  $\text{O}_2$  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、 $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  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)

答え（解答例）

1. 光合成生物が初期の地球で出現したとき、原始大気に  $O_2$  はほとんど存在せず、かわりに大量の  $CO_2$  が含まれていたと考えられる。そのためルビスコは  $CO_2$  を基質とし、 $O_2$  とも反応することは問題ではなかったと考えられる。
2. 各段階の反応速度を一定にするため、速度の遅いルビスコは他の酵素よりも極端に多く蓄積するという解決法が考えられる。

解説

1. いわゆる C3 植物は、ルビスコが  $O_2$  を固定した産物を光呼吸反応で回収している。化学反応性が高い  $O_2$  は、原始地球にはほとんど存在しなかった。そのことは、生物がない（と思われる）火星や金星の大気に  $O_2$  がほとんどなく、 $CO_2$  が多量にあることとも対応している。光合成反応では、1分子の  $CO_2$  を固定するとき1分子の  $O_2$  を放出するので、現在の大気の 20%  $O_2$  に相当する大量の  $CO_2$  が原始大気に含まれていたと考えることもできる。そのころ、ルビスコを獲得した光合成生物は、30-40億年後に、その子孫が、光呼吸のトラブルに苦しむことは予想しなかっただろう。

2. 一連の代謝反応では、すべての段階でほぼ同じ速度で反応が進行するようにデザインすべきである。これは、人が工場の生産ラインをデザインするときと同様に、当然のことである。したがって、どこかに極端に遅い段階があれば、そこが全体の速度を遅くしてしまうので、その段階を強化しなければならないのは、生物も工場も同じである。結果として、植物は緑葉の可溶性タンパク質の約 50%に達するまでルビスコを蓄積している。ルビスコは地球上でもっとも多いタンパク質であることも有名である。ここでは、代謝経路の動的平衡という観点で、出題した。なお、C4植物などは基質の  $CO_2$  濃度を上げているが、これは  $CO_2$  欠乏に対処するためといえる。

（発展）ルビスコの欠点のすべてを克服した酵素が、 $HCO_3^-$ イオンを用いるホスホエノールピルビン酸カルボキシラーゼ（通称、PEPカルボキシラーゼ）である。しかし、この酵素には別の致命的欠点がある。それは、固定して生じるオキサロ酢酸という物質は光合成の経路にない物質であるため、生物は、オキサロ酢酸から  $CO_2$  を遊離させて、ルビスコで再固定するという面倒なことをしている。 $CO_2$  の代わりに、 $HCO_3^-$  を利用できるルビスコを開発できれば、現在の光合成の低い効率を改善できると期待できるが、生物進化では40億年について創出できなかった。

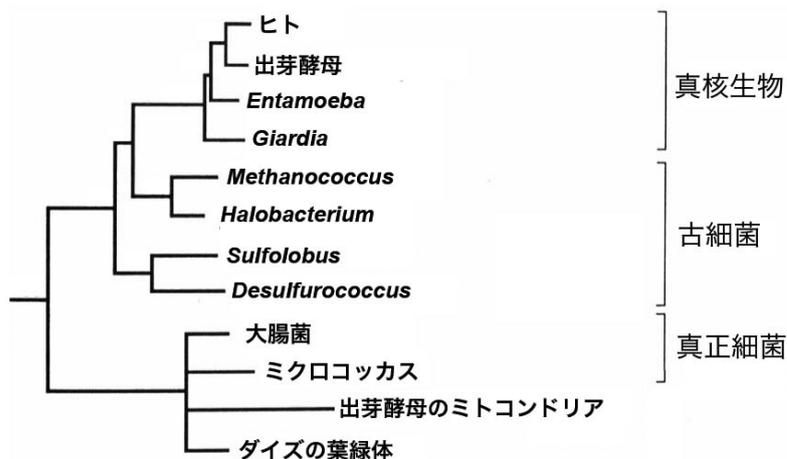
## 第2問 生命の進化に関する以下の問1～3に答えよ。

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。ミラーとユーリーは、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2問 生命進化の重要段階の中の3つを扱った問題である。それぞれの段階の意義について考えてほしい。

問1 生命の起源に先立つ「分子進化」を扱った問題である。分子進化はミラーらの古典的な実験が有名であるが、その前提の大気成分が実際とは異なるという指摘がされている。この問題では、当時の地球にミラーらの用いた還元性気体が含まれるような環境が存在していたかどうかを鍵となる。

(解答例)

メタン、アンモニア、水素などの還元性の強い気体は、現在の地球でもそれほど多くは存在していない。しかし、火山性ガスの中や、深海の熱水噴出孔からの噴出物などには多量に含まれているので、このような場所では有機物が作られていた可能性が高い。

問2 生命の持つ特性の中で、遺伝と代謝の機能は、現在の生物では、DNAとタンパク質が中心的な役割を担っている。この両者の関係は、DNAの持つ遺伝子情報が転写・翻訳されてタンパク質が作られる、また、DNAの複製時には、タンパク質でできた酵素が必要であるという関係にある。そのため、現在の生物のシステムでは、DNAとタンパク質の合成にはお互いが必要とされている。しかし、生命の誕生時にこのような複雑なシステムができたとは考えにくく、遺伝と代謝の両者の機能を持つ分子が想定される。RNAは、現在の生物では、mRNA, tRNA, rRNAといった遺伝子の転写・複製における役割を果たしている。しかし、RNA自体が触媒作用を持つことが明らかになり、1分子で遺伝情報の保持と、代謝能力を持つことが可能であることから、初期生命は自己複製能力を持つRNAであり、「RNAワールド」を作っていたと考えられている。

(解答例)

生命として機能するには、自己増殖をする必要があり、そのためには遺伝と代謝の機能が必要である。これらは、現在の生物ではDNA、タンパク質がその中心的役割を果たしているが、どちらも1分子で両機能を持ってはいない。RNAは、核酸であることから、それ自身をテンプレートにして相補鎖を合成することが可能であり、遺伝の機能を持ちうる。また、1本鎖RNAが立体構造をとり、触媒としての機能を果たすことが明らかになっている。そのため、RNAは1分子で、遺伝と代謝の両機能を持つことができる分子として、最初の生命形態を支えた分子であると考えられている。

問3 真核細胞の細胞共生説を扱った問題である。(c)は系統樹を読み取ることができるかが問われる。

(解答例)

- (a) 細胞内に物質を取り入れるとき、大きな物体はエンドサイトーシスという作用で取り込まれる。これは、細胞を変形させ、取り入れる物体を覆うようにして、細胞膜を閉じるようにする。エンドサイトーシスで細胞を内部に取り込んだとき、取り込まれた細胞は、周囲を取り込んだ細胞の細胞膜で囲まれる。そのため、2枚の膜構造で囲まれた葉緑体とミトコンドリアは、このようなエンドサイトーシスで取り込まれた根拠とされる。
- (b) 真核細胞のDNAの多くは核に存在するが、ミトコンドリアと葉緑体の内部にもDNAが存在する。これはミトコンドリアと葉緑体が、もともと別の細胞であり、そのゲノムDNAが残存していると考えるのが合理的である。また、核のDNAは両端があるが、環状DNAは、原核生物に見られるものと同じ構造である。
- (c) この系統樹では、真核生物のミトコンドリアおよび葉緑体のDNA上の遺伝子は、真核生物の核DNA上の相同遺伝子よりも、真正細菌のもつ相同遺伝子に近い塩基配列を持っている。これは、ミトコンドリアおよび葉緑体が、真正細菌起源であることを示す証拠である。

### 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3問（突然変異）の出題意図

突然変異は、通常見かけ上の形質が変異した突然変異体として露見するが、実際には目に見えない場合の方が多い。したがって、突然変異が実際起こっていても、形質上の変化をもたらさない場合をゲノム上のDNAの構造やセントラルドグマのコードンに基づいた解釈を求めた。さらに、形質に直結するタンパク質の機能がその一次構造に依存することの理解も問うた。一方、形質が大きく変異する場合については、作られるタンパク質の種類や機能の違いが、見かけ上の形質の変異とどのようにつながるかの理解を問うた。

### 第3問（突然変異）の解説・解答例

問1：ゲノムDNA中の塩基の変化は自然放射線を含む様々な要因によって頻繁に起こっていると推察される。ただし、その変異はランダムに起こる。したがって、ゲノムDNA中でもともと遺伝子として機能していない領域（がらくた部分）で突然変異が起こったとしても、そこからは遺伝情報の伝達はないので、形質発現の違いとして現れることはない。真核生物の遺伝子領域中にみられるイントロンでの変異も同様である。一方、遺伝子内での突然変異は、伝令RNAへの転写後三つ組暗号に基づく翻訳によってアミノ酸の置換をもたらす可能性があるが、遺伝暗号の重複のため、通常コードンの3番目に当たる塩基置換はアミノ酸の変化をもたらすことがほとんどなく、したがって作られるタンパク質の機能に影響を与えることはない。もし、突然変異がアミノ酸の置換を仮にもたらしたとしても、作られるタンパク質の構造が変わらなければ、やはり形質の変化につながることはない。

また、通常の生物は2倍体であるため、ゲノム中の1個の遺伝子に突然変異が起こっても、それが劣性である場合は表現型として表れないという解答も正解の一つである。

問2：見かけ上の形質が変異した突然変異体の中で最も多くみられるのは、形質の欠損である。本来作られる酵素などのタンパク質の欠損のため、最終的な形質発現に至らない。栄養要求性株がそうであるように、正常な代謝経路が途中で停止する。植物の場合、赤い花が白い花に変わるのも突然変異である。その際、たった1個の塩基の置換がアミノ酸の置換をもたらすこともあれば、塩基の欠失や付加によるフレームシフト、さらには終止コードンへの変化が作られるタンパク質の構造と機能を大きく損ない、正常な形質発現ができなくなったと推察される。また別に、プロモーター部位の変異や正の転写因子の変異も考えられる。

問3：遺伝子の中には、形質発現に直結しない遺伝子もある。それが調節遺伝子である。調節遺伝子は、それが作った調節タンパク質（転写因子）が他の遺伝子のプロモーターなどに結合し、遺伝子発現を制御する。動植物の発生過程などで出現するホメオティック遺伝子はその代表である。もし、この遺伝子に突然変異が起こったら、連鎖的に従えている遺伝子発現のパターンが大きく変わり、本来の器官形成が別の器官形成に変わっ

たりする。こうした突然変異をホメオティック突然変異という。

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ており、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)

## 出題意図

通常は違う単元で学習する、ホルモンを介した恒常性の維持の分野と、細胞内の情報伝達系の総合問題です。この両者のように生物学のそれぞれの分野は決して独立したものではなく、密接に関わりあっていることを御理解下さい。

なお、本題中にある細胞内シグナル伝達系は日本の高等学校では分野外ですが、国際生物学オリンピックに出場することを目指す皆様には、Campbell 生物学にある基本的な細胞内シグナル伝達系については是非とも学習して頂きたいと考えています。

問1：ホルモンに関する基礎的な知識問題です。予想外に正答率が低かったのが残念でした。このあたりは正確に覚えて下さい。

問2：ホルモンを含めた細胞外の一次シグナルが細胞膜上で受容され、細胞内のシグナルに変換される過程の代表的な物として、Gタンパク質共役型受容体を介する物と、受容体型チロシンキナーゼを介する物があります。グルカゴン、アドレナリン受容体は前者、インシュリン受容体は後者です。Gタンパク質共役型受容体から始まる細胞内シグナル伝達系はいくつかありますが、肝細胞ではグルカゴン、アドレナリン受容体はいずれもアデニル酸シクラーゼ～サイクリックAMP (cAMP)～プロテインキナーゼA (PKA) という共通のカスケードに作用するため、結果的に同一の反応を引き起こします。今回は残念ながら具体的なシグナル伝達系が答えられた解答はありませんでしたので、もう一度Campbell 生物学で確認してみてください。

問3：一つの物質（ホルモン）が違った現象を引き起こす原因は、当然受容体以下のシグナル伝達経路が違うからなのですが、必ずしも関わる分子が全て違うわけではありません。たとえば、受容体から始まるシグナル経路の大部分は共通であるが、細胞によってそのシグナル経路が作用する（酵素などの）標的が異なる可能性です。途中でシグナル経路に分岐がある場合もありますし、一つの物質に作用の異なる複数の受容体があり、細胞によっては最初からシグナル経路が異なっている可能性もあります。

問4：血糖値を上げる経路は何重にも作られているのに、血糖値を下げる経路は1つしか無い、という点を考えれば、生物は基本的に貧栄養環境による低血糖に耐えられるように進化してきた、ということが見えてくると思います。なお、糖尿病の原因はランゲルハンス島β細胞の破壊（1型糖尿病）とインシュリンへの感受性低下とインシュリン分泌低下（2型糖尿病）があり、生活習慣病

としての糖尿病は後者です。

## 解答例

### 問 1

グルカゴン	-	膵臓ランゲルハンス島 $\alpha$ 細胞
アドレナリン	-	副腎髄質
糖質コルチコイド	-	副腎皮質
成長ホルモン	-	脳下垂体前葉
インシュリン	-	膵臓ランゲルハンス島 $\beta$ 細胞

### 問 2

グルカゴン受容体とアドレナリン受容体は異なる分子ではあるが、どちらも G タンパク質共役型受容体であり、共役する G タンパク質は共通である。その結果、その下流であるアデニル酸シクラーゼ～cAMP～PKA というシグナル伝達系ではシグナルは統合されているため、同一の作用となる。

### 問 3

受容体及びその下流のシグナル伝達系が同じであっても、作用する組織が異なると作用する酵素系が変わってくるため、異なる細胞応答となる。また、アドレナリンは異なる受容体にも結合しうるため、当然下流のシグナル伝達系が異なり、細胞応答も変わってくる。

### 問 4

糖尿病はインシュリン系の障害により、血糖濃度が下がらなくなる病気である。血糖濃度の調節系において、血糖濃度を上昇させる経路は多数あるのに対して、減少させる経路はインシュリン系 1 つである。このことは、元々生物としてのヒトは飢餓や貧栄養に対してより耐性を持っていること、つまり本来の生存環境では基本的に食物が少ないことを示している。従って、近代になって栄養環境が改善し、食糧が豊富になっていることが、生物学的には本来あり得なかった負荷となっていることが考えられる。

## 第5問 動物の発生に関する以下の間に答えよ。

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)

## 解答

□ウォルパートが初期発生における原腸形成がいかに重要であるか理由は下記の通りである。

- (1) 原腸形成は細胞による形態形成運動である。細胞がどのように陥入し、形態形成をするのかは、細胞運動のしくみを知ることである。
- (2) 原腸胚期になると種によって異なるが、おおよそ 1000 から 20,000 個の細胞集団からなる 1 個の胚である。これらの細胞はお互いに位置情報を持ちながら細胞運動をしており、1 つの個として、統一がとれた陥入運動をしている。
- (3) 動物の基本形である、三胚葉形成をこの時期にする。つまり原腸陥入運動を通して、中胚葉、外胚葉、内胚葉の三胚葉層ができる。この三胚葉こそが、その後の器官や組織の分化の根源である。
- (4) この原腸形成によって、動物の形の基本型（三軸形成）ができあがる。つまり、頭尾軸、背腹軸、左右軸である。この 3 つの軸によって動物の形は三次元の調和のとれた形をつくることになる。
- (5) 発生過程で原腸胚期の 1 つ前の胞胚期中期に MBT(中期胞胚移行期)の時期がある。受精卵からこの MBT までの時期は母親（つまり卵の中に貯えられていた物質）の細胞質因子によって発生が進行していたが、この時期以降、つまり MBT 以降始めて卵を精子が完全に融合し、父母の両方の遺伝子が発現する。つまり原腸胚期に入って完全に父母の遺伝子が融合し、両方の遺伝子が発現し使われる。
- (6) 先程のべた原腸形成期に三胚葉ができるとのべたが、この三胚葉間の相互作用こそ、大変重要である。つまり、中胚葉からはそれをおおっている外側の外胚葉に対して、中枢神経の原基を作り、内側の内胚葉に対しては消化管の原基をつくることになる。
- (7) 三胚葉間の関係は相互におこるので、胚誘導と呼ばれることとも一致する。外胚葉に対しては、神経誘導を行い、体の軸の 1 つの中枢神経系の原基をつくる。
- (8) 原腸胚期まであった胞胚腔が押しつぶされて新しく原腸ができる。このことは胚体内に新しい腔 (cavity) ができることになり、この腔の形成は、その後の動物の形づくりと器官形成にとって重要な事柄であり、その基本形ができたのである。

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)異なった炭素固定回路をもつC<sub>3</sub>植物とC<sub>4</sub>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。C<sub>3</sub>植物とC<sub>4</sub>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。

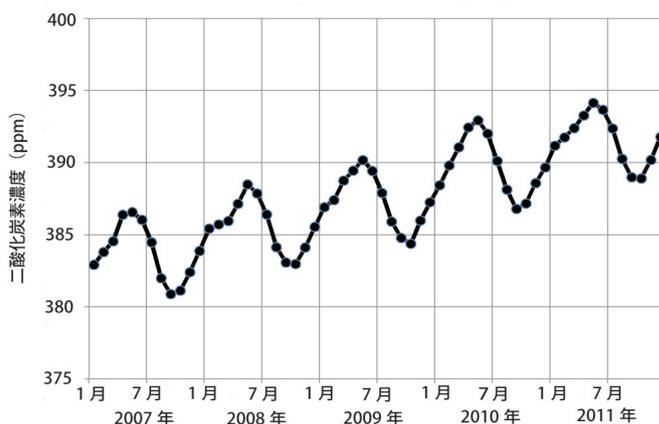


図1 ハワイ島マウナ・ロア山頂付近における大気二酸化炭素濃度の変化。  
ppmは百万分の一。

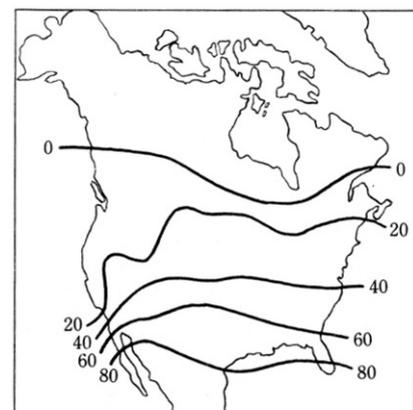


図2 北米におけるイネ科草本植物に占めるC<sub>4</sub>植物の割合。

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、 $C_3$ 植物と $C_4$ 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、 $C_3$ 植物と $C_4$ 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)

## 第 6 問 出題の意図

本問題は、地球温暖化と関係して注目される大気二酸化炭素濃度の変動を取り上げ、濃度の変動と陸上生態系、特に植物の光合成との関係について問いました。

問 1 では、陸上植物の光合成による有機物の生産、および陸上生物の呼吸による有機物の分解が、大気二酸化炭素濃度に影響を及ぼすこと、さらに、それらの北半球における季節的な変化を関連づけて考えることを期待しました。

問 2 および 3 では、 $C_3$  植物と  $C_4$  植物の光合成機構の違いと、環境の変化への応答の違いに関する設問です。 $C_3$  植物と  $C_4$  植物の炭素固定に関わる酵素の特性の違いは、植物生理学の分野で学習していると思いますが、その知識から、大気二酸化炭素濃度の上昇に対する応答が予想できます。また、図 2 から、 $C_4$  植物は温度が高い環境下でその占める割合が高いことが明確です。図から読み取ることのできる情報から、高温環境下では  $C_4$  植物が有利であると推定できます。

## 第6問 解答例

### 問1

北半球においては、5月から9月（春から夏）にかけて、陸上植物の光合成が活発となり、二酸化炭素は有機炭素として固定される。このため、大気中の二酸化炭素は減少し、9-10月に極小値を示す。一方、10月から4月（秋から冬）には、落葉などに含まれる有機物の分解により、二酸化炭素が大気中に放出される。また、光合成量も低下するため、大気中の二酸化炭素は春まで増加し、4-5月に極大値を示す。

### 問2

C<sub>3</sub>植物の炭素固定酵素は低濃度の二酸化炭素を効率良く固定することができない。このため、大気二酸化炭素濃度が増加した場合、C<sub>3</sub>植物の光合成量も高くなることが予想される。一方、C<sub>4</sub>植物の炭素固定酵素は、低濃度の二酸化炭素を効率良く固定することが可能である。つまり、二酸化炭素濃度が増加した場合も、C<sub>4</sub>植物の光合成量が高くなる程度は小さいものと考えられる。

### 問3

図2からC<sub>4</sub>植物は緯度が低い地域で占める割合が大きい。これはC<sub>4</sub>植物が気温が高いほど有利であることを示している。今後、気温が上昇した場合には、現在はC<sub>4</sub>植物の占める割合が小さい緯度の高い地域でも、C<sub>4</sub>植物の占める割合が高く、C<sub>3</sub>植物の占める割合が低くなることが予想される。