

2016 年度 東京大学 前期 生物

第 1 問 細胞の分化，小腸上皮細胞に関する実験考察

出題範囲	免疫，消化系，遺伝子，発生
難易度	★★★☆☆
所要時間	24 分
傾向と対策	例年問題文が 2，3 個に分けられていたのが，2016 年度第 1 問はリード文が 1 つの文となっている。しかし，例年どおり前半に知識問題が多く後半に考察問題が並ぶという形式であり，問題の量自体もさほど変わらなかった。内容は小腸上皮細胞の分化についてであったが，免疫や発生などの知識も必要であるところは東大らしいといえる。特別難しい問題や奇抜な問題はないため，例年並みの難易度の典型的な問題であった。

解答

- A (2)，(4)，(5)
- B 骨髄細胞の移植をすれば患者は赤血球を作れるようになるが，輸血による治療では赤血球を作れるようにはならず，赤血球が死んで失われると貧血症を再発するため。(75 字)
- C 1：肝門脈 2：肝臓 3：腎臓 4：胆管 5：十二指腸
- D (4)
- E **解答例 1**
 タンパク質:免疫グロブリン
 意義：ゲノム DNA の再編成によって，それぞれの B 細胞ごとに異なる可変部をもつ抗体を作ることができるようになる。そのため，多様な抗原を認識することができる。:(74 字)
- 解答例 2**
 タンパク質：T 細胞受容体 (TCL)
 意義：ゲノム DNA の再編成によって，それぞれの T 細胞ごとに異なる可変部をもつ T 細胞受容体を作ることができるようになる。そのため，多様な抗原を認識することができる。(78 字)
- F (1)発する (2)発しない (3)発する (4)発しない
- G 「維持される」
 理由：GFP の蛍光を発している CBC 細胞はすでに領域 L が取り除かれているので，*Lgr5* 遺伝子に変異が生じて酵素 C がなくなっても蛍光は維持される。(69 字)
- H CBC 細胞が分裂すると，娘細胞のうちの一方は分裂能を維持して CBC 細胞となる。もう一方は分裂能を失って CBC 細胞以外の小腸上皮細胞となり，絨毛部分へと押し出される。(82 字)

解説

A 難易度：★★★★☆

それぞれの選択肢を見ていこう。

- (1) 正しい。血球は中胚葉の**側板**から作られる。外胚葉，中胚葉，内胚葉が何に分化するのか，代表的なものは覚えてしまおう。

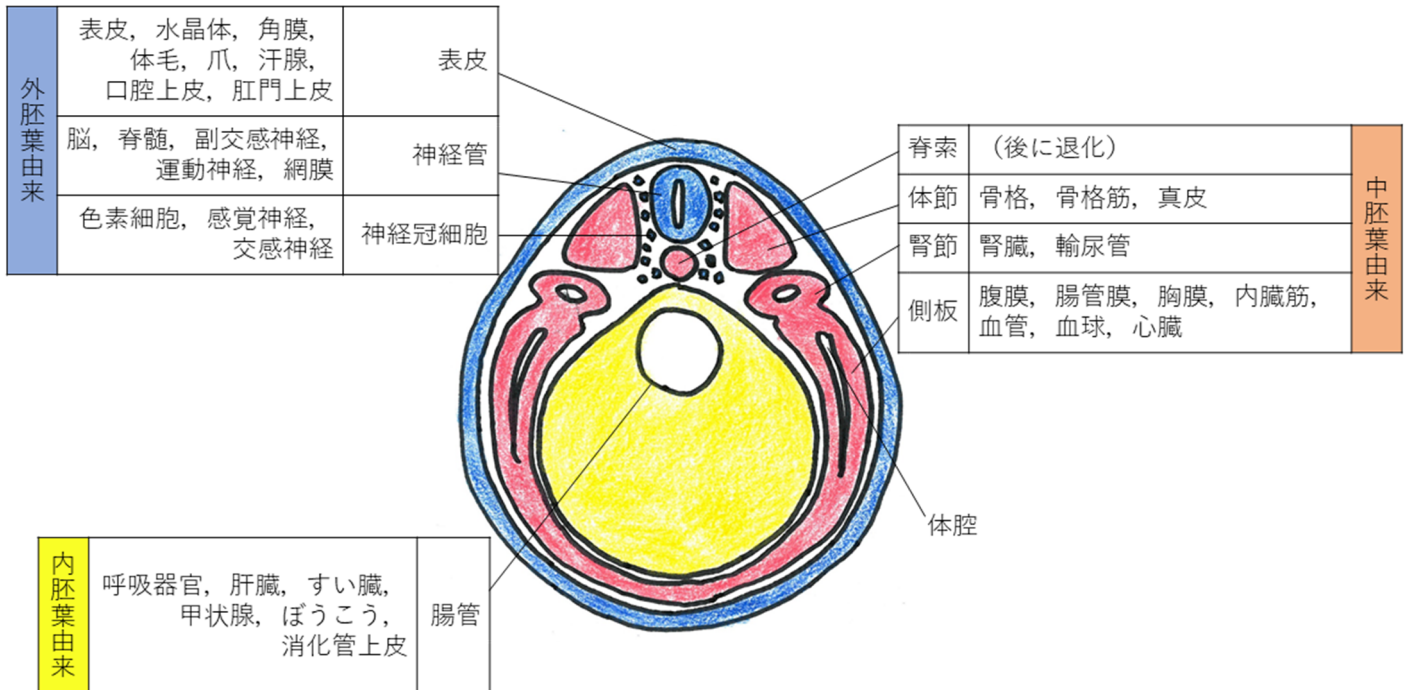


図 A 各胚葉から分化する器官

- (2) 誤り。**血小板**は血液の固形成分の種類、**血しょう**は血液の液体成分であり、両者はまったく別物である。
- (3) 正しい。**好中球**，**マクロファージ**，**樹状細胞**などが異物を認識し，それを取り込んで分解する作用を**食作用**という。食作用は**自然免疫**の1つであり，食作用によって取り込まれた異物が抗原提示されることで**獲得免疫**が始まる。
- (4) 誤り。(3)で述べたように，自然免疫は獲得免疫よりも原初的な免疫機構である。獲得免疫は脊椎動物以降に発達したが，自然免疫は植物や菌類などでも持っている。
- (5) 誤り。リンパ球は骨髄で作られたのち，胸腺(thymus)で成熟したものは**T細胞**，骨髄(bone marrow)で成熟したものは**B細胞**に分化する（B細胞のBはファブリキウス^{のう}囊(bursa of Fabricius)というものが由来だが，骨髄(bone marrow)のBと覚えると覚えやすい）。この選択肢でランゲルハンス島が出てきたのはすい臓の**ランゲルハンス島B細胞**（**インスリン**を分泌する細胞）とのひっかけだろう。B細胞とランゲルハンス島B細胞は全く別の細胞である。

以上より，解答は(2)，(4)，(5)。落ち着いて読めば簡単な知識問題であり，素早く正答したい。

B 難易度：★★★★☆

骨髄には造血幹細胞という幹細胞が存在している。すべての血球と血小板は造血幹細胞が分化してできる。そのため骨髄移植が行われると、移植された骨髄の造血幹細胞から血球が正常に作られるようになる。幹細胞は時間がたっても基本的に失われることがないため、骨髄移植は貧血症の根本的な治療となると考えられる。それに対し、輸血をして赤血球を増やすと一時的には赤血球が増えるが、患者の体内で赤血球が作られるようにはならない。赤血球の平均寿命はおよそ 120 日なので、輸血をして一時的に貧血の症状が改善してもすぐに症状は悪化してしまう。正常な赤血球の増加が骨髄細胞の移植では永続的で、輸血では一時的なものだという違いを書けばよい。

解答例

骨髄細胞の移植をすれば患者は赤血球を作れるようになるが、輸血による治療では赤血球を作れるようにはならず、赤血球が死んで失われると貧血症を再発するため。(75 字)

C 難易度：★★★★☆

小腸で吸収した栄養を肝臓に運ぶ血管を**肝門脈**という。よって には肝門脈、 には肝臓が入る。肝門脈は肝臓に入る門となる血管であるといえる。

体液の恒常性を保つための必須の臓器で、水溶性物質のろ過、再吸収を行うのは腎臓である。よって には腎臓が入る。

肝臓から消化管へつながる管は胆管とよばれ、十二指腸につながっている。肝臓は胆汁という液体を合成している。胆汁中の**胆汁酸**はコレステロールから作られ、脂肪を乳化して消化を助けるはたらきをもつ。また、胆汁中に含まれる色素である**ビリルビン**はヘモグロビンの分解産物で、便の色のもととなる。胆汁は**胆管**を**通**って**胆****のう**に蓄えられ、その後十二指腸に放出される。よって には胆管、 には十二指腸が入る。

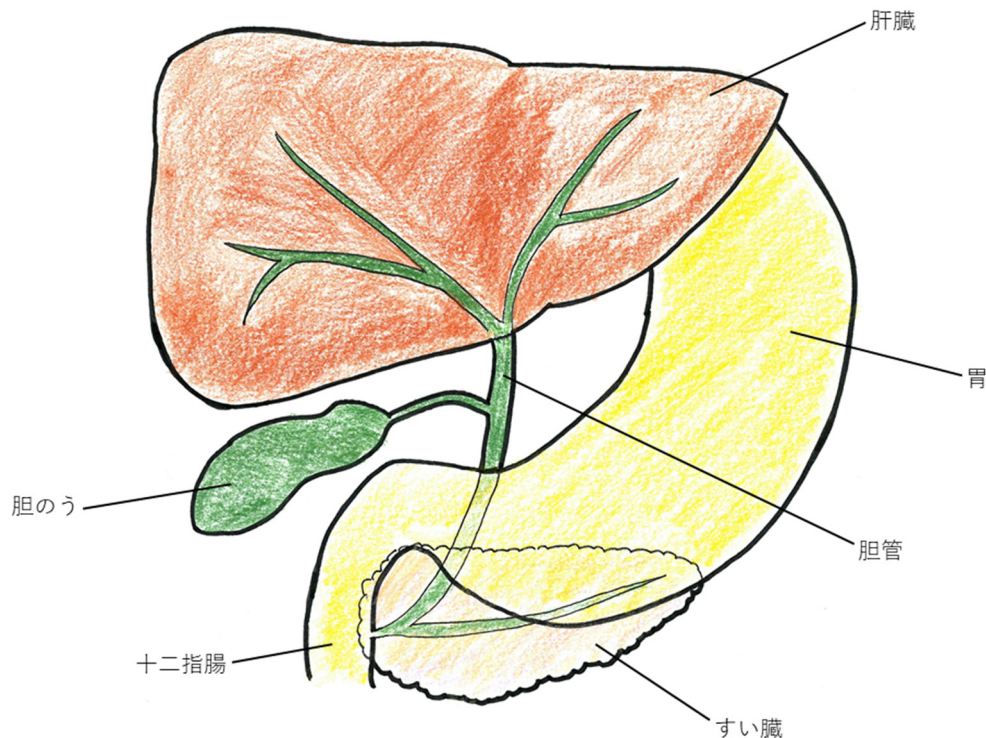


図 B 肝臓と十二指腸をつなぐ胆管

以上より解答は、1：肝門脈，2：肝臓，3：腎臓，4：胆管，5：十二指腸。用語を覚えていれば正解できる簡単な知識問題。点の移ぎどころなので，間違えてしまった場合は教科書などで知識の確認をしよう。

D 難易度：★★★★☆

(1)，(2)，(3)は適当といえない。実験 1 は「絨毛部分の上皮細胞がどこ由来の細胞か」に関係しない実験である。上皮細胞がどこ由来の細胞かを調べるには，由来となる細胞を予想し，その細胞を追跡しなければならないが，実験 1 では細胞を追跡することができていない。細胞の追跡をしているのは実験 3 である。実験 1 では観察時に *Lgr5* 遺伝子が発現している細胞（CBC 細胞）のみが蛍光を発する一方，実験 3 では過去に *Lgr5* 遺伝子が発現していた細胞（CBC 細胞に由来する細胞）すべてが蛍光を発するように工夫されている。遺伝子発現が変化しても蛍光を発させ続けることで CBC 細胞に由来する細胞を追跡することができる。

よって，解答は(4)。実験 1 では *Lgr5* 遺伝子が CBC 細胞のみで発現していることが確認できただけである。

E 難易度：★★★★☆

実験 2 とは関係なく解ける知識問題。

まず，ゲノム DNA が再編成されて作られるタンパク質は免疫グロブリンと T 細胞受容体（TCL）が挙げられる。免疫グロブリンは抗体を構成するタンパク質である。1 種類の抗体は 1 種類の抗原と特異的に結合するので，抗体は無数の抗原に対応するために多様である必要がある。抗体の構造が多様であるのは抗体を構成するタンパク質，すなわち免疫グロブリンの一次構造が DNA の再編成によって多様となるからである。

免疫グロブリンには**可変部**と**定常部**がある。定常部の構造はどの抗体でも変わらず、免疫グロブリンの多様性は可変部の構造が多様であることで生まれる。ヒトの場合、図 D のように L 鎖の可変部を作る遺伝子部分は 2 つのグループ（V 領域と J 領域）に分かれており、それぞれの B 細胞の分化の過程で各グループから一部分が選択されて再編成される。例えば V 領域の遺伝子断片が 40 種類、J 領域の遺伝子断片が 5 種類あれば、L 鎖の遺伝子は再編成により $40 \times 5 = 200$ 通り考えられる。H 鎖の可変部を作る遺伝子部分は 3 つのグループ（V 領域、D 領域、J 領域）に分かれており、L 鎖と同様にそれぞれのグループから一部分が選択されて再編成される。V 領域の遺伝子断片が 40 種類、D 領域の遺伝子断片が 25 種類、J 領域の遺伝子断片が 6 種類であれば H 鎖の遺伝子は再編成により $40 \times 25 \times 6 = 6000$ 通り考えられ、作られる抗体は $200 \times 6000 = 1200000$ 種類という膨大な数になる。

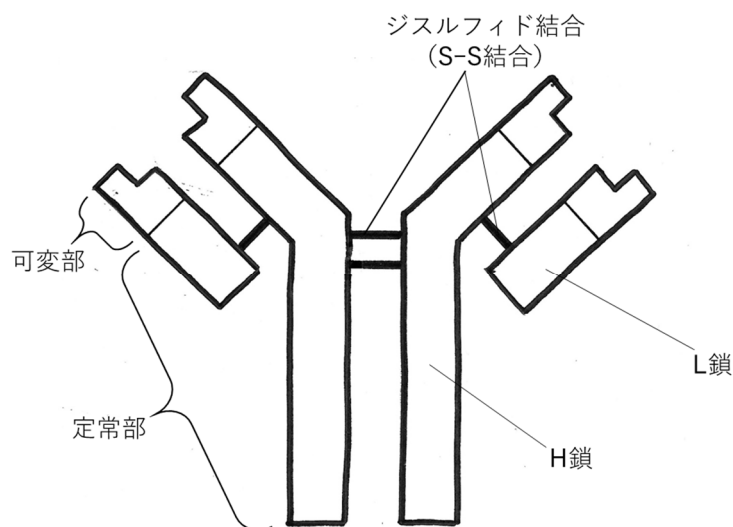


図 C 抗体の構造

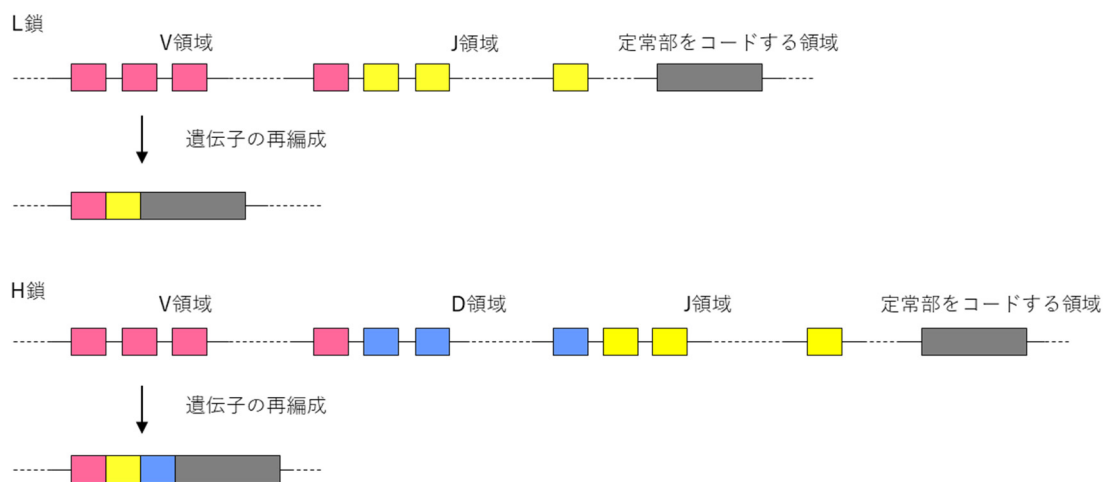


図 D 遺伝子の再編成

T 細胞受容体も同じしくみで多様な構造が作られる。T 細胞受容体も無数の抗原それぞれに対応するものが必

要となるのである。

解答例 1

タンパク質:免疫グロブリン

意義「ゲノム DNA の再編成によって、それぞれの B 細胞ごとに異なる可変部をもつ抗体を作ることができるようになる。そのため、多様な抗原を認識することができる。」(74 字)

解答例 2

タンパク質 : T 細胞受容体 (TCL)

意義「ゲノム DNA の再編成によって、それぞれの T 細胞ごとに異なる可変部をもつ T 細胞受容体を作ることができるようになる。そのため、多様な抗原を認識することができる。」(78 字)

F 難易度 : ★★★☆☆

実験の文章と選択肢の文章を読み解くのに時間がかかるが、読み解ければ簡単な問題。細胞が GFP の蛍光を発するかどうかかわればよいので、それを目標に読んでいこう。

まず実験の文章から、細胞が GFP の蛍光を発する条件を読み解こう。逆に考えていくと次のようになる。「GFP の蛍光を発する→GFP 遺伝子が発現している→領域 L がなくなっている→酵素 C と化合物 T が同時に存在した」つまり、観察するよりも前に酵素 C と化合物 T が同時に存在したときがあれば、観察したときに GFP の蛍光は観察されるのだ。これを踏まえて選択肢を見ていこう。

- (1) *Lgr5* 遺伝子が常に発現しているので、酵素 C は常に存在する。よって化合物 T を投与した時点で酵素 C と化合物 T が同時に存在するので、観察時の細胞は GFP の蛍光を発する。
- (2) *Lgr5* 遺伝子が発現していないので、酵素 C は存在しない。よって酵素 C と化合物 T が同時に存在することはないので、観察時の細胞は GFP の蛍光を発しない。
- (3) 化合物 T を投与する時点までは *Lgr5* 遺伝子が発現しているので酵素 C が存在する。よって化合物 T を投与した時点で酵素 C と化合物 T が同時に存在するので、観察時の細胞は GFP の蛍光を発する。
- (4) 化合物 T を投与する時点では、*Lgr5* 遺伝子は発現していないので酵素 C は存在しない。問題文に化合物 T の作用は投与した瞬間のみに及ぼされるとあるので、化合物 T を投与した後に *Lgr5* 遺伝子が発現して酵素 C が生成されても領域 L を取り除くことはできない。よって観察時の細胞は GFP の蛍光を発しない。

以上より、解答は(1)発する、(2)発しない、(3)発する、(4)発しない。実験を正確に理解できるようになろう。焦らずに実験を確実に理解していく練習を繰り返していると、自然と実験の文章を読むスピードも速くなり、文章の一部だけを読んで問題を解くという危険な行為をしなくて済むようになるはずだ。

G 難易度 : ★★★☆☆

F がわかっていれば簡単な問題。実験 3 を読むのと解答を書くことだけに時間がかかり、考える時間はほとん

ど必要ない。

F で考えたとおり，GFP の蛍光が観察されるか否かは，観察するよりも前に酵素 C と化合物 T が同時に存在するときにあったかどうかで決まる。酵素 C と化合物 T が同時に存在したときには領域 L は抜き取られてしまっているからである。領域 L が存在していなければ GFP をコードする遺伝子は R 遺伝子の転写調節領域のはたらくで常に発現することになる。よって，すでに GFP の蛍光を発している細胞では GFP の蛍光を発するために酵素 C は必要ないので，*Lgr5* 遺伝子に変異が生じててもその細胞の蛍光は維持される。

以上より，解答は「維持される」である。

解答例

理由：GFP の蛍光を発している CBC 細胞はすでに領域 L が取り除かれているので，*Lgr5* 遺伝子に変異が生じて酵素 C がなくなっても蛍光は維持される。(69 字)

H 難易度：★★★★★

第 1 問の中で最も考えさせられる問題だろう。問題文では「CBC 細胞の性質」と漠然と聞かれているが，この実験でわかることは何かを考えて書けばよい。実験結果を考察していこう。

まず，化合物 T を投与した直後は，小腸上皮で *Lgr5* 遺伝子を唯一発現している CBC 細胞だけが蛍光を発するというのは予想されるとおりである。この後の変化の解釈が重要である。

3 日目，5 日目，60 日目と，徐々に小腸上皮の CBC 細胞以外の細胞へ，蛍光を発する細胞が広まっていつている。ここで，蛍光を発する条件をもう一度思い出そう。F で考察したように，蛍光を発する細胞は酵素 C と化合物 T が同時に存在していたことがある細胞である。酵素 C が存在するのは CBC 細胞のみであり，化合物 T が作用するのは投与した瞬間だけである。つまり，蛍光を発しているすべての細胞は化合物 T を投与したときの CBC 細胞に由来する細胞である。このことから，CBC 細胞以外の小腸上皮細胞は CBC 細胞から生まれてくるということがわかる。

さらに，問題文にもあるとおり，GFP の蛍光が化合物 T 投与 3 日後から 1 年後までずっと観察されていることに注意してみよう。するとこれは，どの時期の CBC 細胞も 0 日目の CBC 細胞に由来している，つまり，CBC 細胞は CBC 細胞から生じるということを示しているのがわかる。もし CBC 細胞が別のより未分化な細胞に由来しているとすれば，その未分化な細胞の DNA には領域 L が取り除かれずに残っているはずなので，GFP の蛍光は見られなくなるからである。

以上のように，この実験では CBC 細胞が分裂すると，その娘細胞がどんな細胞になるのかを考察できる。よって，この問題では CBC 細胞の性質として娘細胞がどんな細胞になるのかを記述しよう。東大では本文中に解答のヒントが書かれていることも多い。この問題では〔文〕の第二段落にある CBC 細胞を含む小腸上皮細胞の分裂能に関する記述が読み取れていると解答しやすかっただろう。ただし，問題文をゆっくりと読んでいる時間はないので，つまりくことなく正確に読み進める力が必要である。

解答例

CBC 細胞が分裂すると、娘細胞のうち的一方は分裂能を維持して CBC 細胞となる。もう一方は分裂能を失って CBC 細胞以外の小腸上皮細胞となり、絨毛部分へと押し出される。(82 字)

(大橋陽樹, 西川尚吾, 熊井勇介)

2016 年度 東京大学 前期 生物

第 2 問 色素体の RNA ポリメラーゼ，シロイヌナズナの種子における脂肪の代謝

出題範囲	植物の形態形成，植物の組織，生命の起源，生物の変遷，細胞小器官，遺伝子発現，代謝，光合成，生体物質，植物ホルモン
難易度	★★★★☆
所要時間	25 分
傾向と対策	Ⅰはおもに遺伝子発現，Ⅱはおもに代謝の分野からの出題であったが，細胞小器官や植物の組織，光合成，植物ホルモンなど，幅広い分野の知識が要求されている。これは東大の生物の特徴の 1 つであるから，教科書の隅から隅までの内容を理解し覚えておく必要がある。また，記述の量は合計で 7 行程度と平均的な量である。長い問題文をしっかりと読まなければ解答できない問題も多く，25 分という時間で高得点を取るのには難しいだろう。しかし，知識だけですぐに解答できる問題も半分程度あるから，そういった問題を確実に正解することが重要となる。全体の難易度は標準程度で，東大らしい問題であるといえる。

解答

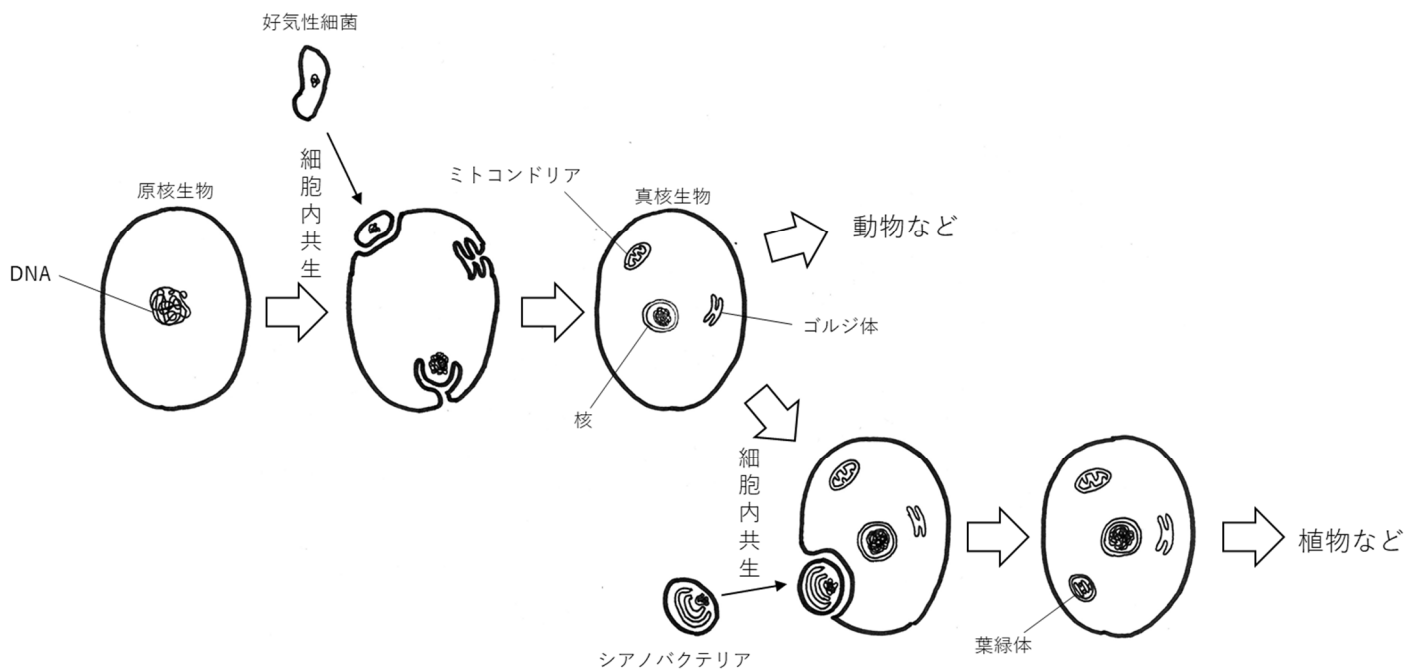
- Ⅰ
- A 1：細胞内共生（共生） 2，3：茎頂分裂，根端分裂（順不同）
- B 陸上で生活する生物。（10 字）
- C アミロプラスト，有色体，白色体などの中から 1 つ
- D 6：プロモーター 7：ヌクレオチド（ヌクレオシド三リン酸）
- E タンパク質 P を葉緑体内に移行させる機能。（20 字）
- F 色素体遺伝子の中には，葉緑体の形成に不可欠なタンパク質をコードする遺伝子が存在する。（42 字）
- G (a) 8：B 9：A
(b) (オ)→(イ)→(ア)→(エ)→(ウ)
- Ⅱ
- A 4：独立栄養 5：従属栄養
- B 10：チラコイド膜 11：クロロフィル 12：カルビン・ベンソン
- C 野生株は， β 酸化経路などにより脂肪をエネルギー源とすることができる一方で，糖新生経路によって合成した糖を炭素源として植物体を構成する物質を合成することもできるから。（82 字）
- D 24 分子
- E (3)
- 理由：変異体 y では β 酸化経路は正常に機能しているため，IBA から IAA が生じる。IAA は天然のオーキシンで，オーキシン感受性の高い根での IAA 濃度が高くなると，伸長が抑制されてしまうから。（91 字）

解説

A 難易度：★★★★☆

空所補充問題であるが、知識問題であるから正解しておきたいことである。それぞれの空欄について見ていこう。

1には細胞内共生（共生）が入る。葉緑体やミトコンドリアは光合成を行う原核生物（シアノバクテリア）や呼吸を行う原核生物が別の原核生物の細胞内に共生（細胞内共生）することにより生じたと考えられており、これは共生説と呼ばれる。これを支持する根拠はいくつかあるが、3つ覚えておこう。1つ目は「ミトコンドリアと葉緑体は内膜と外膜という異質二重膜によって囲まれていること」である。2つ目は「ミトコンドリアと葉緑体は独自の環状 DNA をもち、半自律的に増殖すること」である。3つ目は「ミトコンドリアや葉緑体の内部に存在するリボソームは原核生物と同じタイプであるということ」である。



図A 細胞の進化

2, 3には茎頂分裂、根端分裂（順不同）が入る。植物の未分化な組織は分裂組織と呼ばれ、縦方向の伸長成長にかかわる頂端分裂組織と横方向の肥大成長にかかわる形成層がある。頂端分裂組織には、茎の先端にある茎頂分裂組織と根の先端にある根端分裂組織がある。形成層は空欄のあとの「組織」につながらないので、茎頂分裂と根端分裂を答えればよい。

したがって解答は、1：細胞内共生（共生）、2, 3：茎頂分裂、根端分裂（順不同）である。

B 難易度：★★★★☆

原始の大気にはほとんど酸素は存在せず、多量の二酸化炭素が存在していたと考えられている。今からおよそ 27 億年前にシアノバクテリアが繁栄し、光合成により海洋中の酸素濃度が上昇した。その後、酸素が大気中に放出、蓄積されるようになった。カンブリア紀（5.4 億年～4.9 億年前）になると藻類が繁栄し、光合成により酸素がさらに放出され、大気中の酸素濃度が現在と同じ 10%程度になった。その結果、酸素から酸素原子 3 つからなるオゾン（ O_3 ）が生じ、成層圏にオゾン層が形成された。オゾン層は太陽から放出される生物にとって有害な紫外線を吸収し、地上に届く紫外線の量を減少させる。これにより、生物の陸上進出が可能となったのである。実際に、カンブリア紀の次のオルドビス紀には原始的なコケ植物が陸上に進出していたと考えられている。

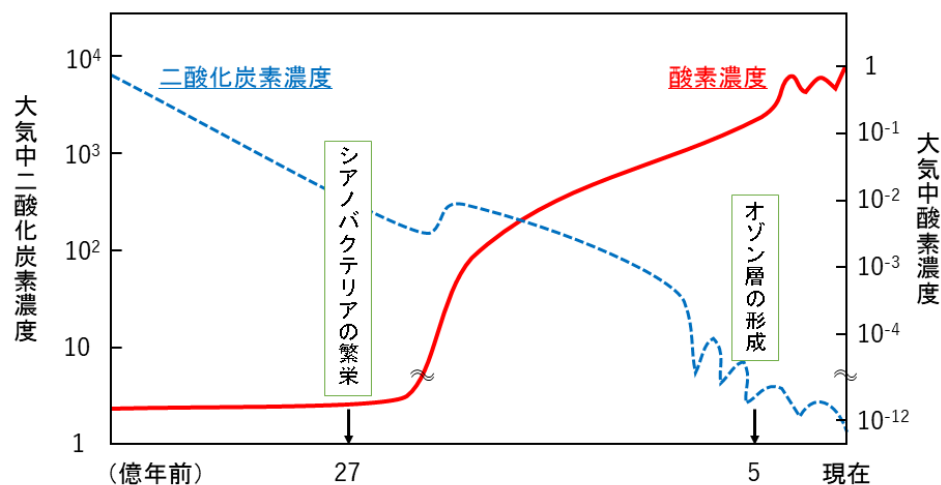


図 B 大気中の酸素濃度と二酸化炭素濃度の変化

したがって、解答は次のようになる。

解答例

陸上で生活する生物。(10 字)

C 難易度：★★★★☆

色素体は植物や藻類などの細胞内で光合成やさまざまな物質の合成・貯蔵などを行う細胞小器官の総称である。本文中にあるとおり、色素体はすべて原色素体由来しており、葉緑体のなかまであると考えてよい。そのため、色素体はいずれも核の DNA とは異なる DNA をもっており、二重膜によって包まれている。

色素体として受験生が覚えておくべきものは以下の 3 つである。1 つ目はアミロプラストである。アミロプラストは色素をもたず、デンプンの合成と貯蔵を行う。2 つ目は白色体である。白色体も色素をもたず、根や茎などの緑色にならない部分に存在する。前述のアミロプラストは白色体の一種であり、白色体のうちデンプンの合成・貯蔵を行うものがアミロプラストである。一方、白色体の中には光が当たることにより葉緑体に変化するも

のもある。3つ目は**有色体**である。有色体はカロテノイド系の色素を含んでおり、花卉や果実、根などを黄色や橙色にする。ちなみに、トマトやニンジン**の色は有色体の色素によるものである**。

実際にはほかにも色素体は存在するが、高校生物のレベルでは覚える必要がないのでここでは解説しない。興味がある人は自分で調べてみるとよいだろう。

したがって、解答としては**アミロプラスト、有色体、白色体**などの中から1つを答えればよい。

D 難易度：★☆☆☆☆

空欄に入る語句を答える問題であるが、設問の文章を読んでも「PEP」とか「シグマ因子」とか「コア」とか知らないであろう用語が多くていきなり解くことは難しい。まずは本文を読んで、それらがどのようなものであるかを理解しよう。

本文より、PEP は色素体に存在する RNA ポリメラーゼの一種であり、核遺伝子にコードされたシグマ因子と色素体遺伝子にコードされたコアサブユニットから構成される複合体である。このことを踏まえ、設問の文章の各空欄を見ていこう。

6 にはプロモーターが入る。PEP は RNA ポリメラーゼの一種であるから、遺伝子のプロモーターに結合し、転写を開始する。

7 にはヌクレオチド（ヌクレオシド三リン酸）が入る。**ヌクレオチド**とは、塩基と糖とリン酸が結合した物質であり、DNA や RNA の構成単位となる。DNA を構成するヌクレオチドはアデニン（A）、チミン（T）、グアニン（G）、シトシン（C）の4種類の塩基のいずれかをもち、糖としてデオキシリボースをもつ。RNA を構成するヌクレオチドはアデニン（A）、ウラシル（U）、グアニン（G）、シトシン（C）の4種類の塩基のいずれかをもち、糖としてリボースをもつ。塩基と糖が結合したものをヌクレオシドとよび、それにリン酸が3つ結合したものは**ヌクレオシド三リン酸**とよばれる。ヌクレオシド三リン酸はヌクレオチドの一種で、DNA や RNA を合成する際に基質となる。ヌクレオシド三リン酸の3つのリン酸のうちの2つが離れるときに放出されるエネルギーを用いてヌクレオチド鎖が伸長される。ちなみに、生体内におけるエネルギーの通貨の役割を果たす ATP（アデノシン三リン酸）はヌクレオシド三リン酸の一種である。

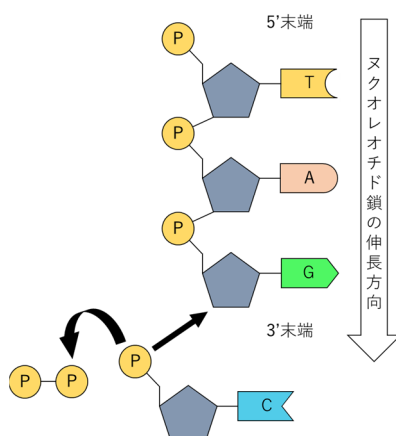


図 C ヌクレオチド鎖の伸長

以上より、解答は6：プロモーター、7：ヌクレオチド（ヌクレオシド三リン酸）である。

E 難易度：★★★★☆

実験1ではタンパク質Pの一部を削除した場合の細胞内局在を調べている。実験1の結果をまとめると以下の表のようになる。

表A 実験1の結果

実験番号	削除した領域	細胞内局在
ア	なし	葉緑体
イ	I	細胞質
ウ	II	葉緑体
エ	III	葉緑体

領域Iの機能を知りたいので、領域Iの有無のみが異なるアとイをまず比較する。すると、領域Iが存在する場合はタンパク質Pが葉緑体に局在するが、領域Iが存在しない場合は細胞質に局在することがわかる。タンパク質は細胞質のリボソームで合成されることを踏まえると、領域Iにはタンパク質Pを細胞質から葉緑体に移行させるはたらきがあると考えられる。さらにウとエを見てみると、どちらもタンパク質Pは葉緑体に局在しており、前述のはたらきが領域I特有のものであるとわかる。

したがって、解答は次のようになる。

解答例

タンパク質Pを葉緑体内に移行させる機能。(20字)

領域Iはタンパク質Pの一部であり、その領域Iが存在するタンパク質P分子のみを葉緑体内に移行させる機能しかないと考えるのが自然である。タンパク質Pが葉緑体に局在するのは、各タンパク質P分子中の領域Iによってそれぞれのタンパク質P分子が移行した結果である。そのため「タンパク質Pを葉緑体に局在させる機能。」と答えるのは適当ではない。

F 難易度：★★★★☆

色素体のリボソームは原核生物型であるということと、リンコマイシンが原核生物の翻訳のみを阻害するというのを踏まえると、リンコマイシンを添加すると色素体で翻訳が起こらなくなるということがわかる。すなわち、リンコマイシン存在下では色素体遺伝子が発現しないのである。実験2より、リンコマイシンを培地に添加すると、子葉の緑化と子葉細胞での葉緑体形成がどちらも抑制される。植物体の緑色は葉緑体の色素によるもの

であるから、リンコマイシンを添加した培地では葉緑体が形成されないといえる。以上より、色素体遺伝子が発現することが葉緑体の形成に不可欠であるということがわかる。

したがって、解答は次のようになる。

解答例

色素体遺伝子の中には、葉緑体の形成に不可欠なタンパク質をコードする遺伝子が存在する。(42 字)

G 難易度：★★★★☆

(a) 表 2-4 は、PEP のコアサブユニットの 1 つをコードした遺伝子 (*rpoA*) の破壊株と野生株において、色素体遺伝子の転写を調べた結果である。*rpoA* が発現しなければ PEP は形成されないで、*rpoA* 破壊株は PEP をもたず、PEP により転写される色素体遺伝子は転写されない。一方、*rpoA* 破壊株において転写が起きている色素体遺伝子は PEP 以外の RNA ポリメラーゼ、すなわち NEP によって転写されると考えられる。これを踏まえて表 2-4 を見てみると、タイプ A の色素体遺伝子は PEP によって転写され、タイプ B の色素体遺伝子は NEP によって転写されるということがわかる。

したがって解答は、8 : B, 9 : A である。

(b) (ア)~(オ)の事象が起こる順序を答える問題である。各事象について見てみると、(ア)→(エ)と(オ)→(イ)という順序はすぐにわかるだろう。

また、表 2-4 よりタイプ A の色素体遺伝子は光合成に関与することがわかる。したがって、「タイプ A の遺伝子の転写」→「光合成にかかわっている遺伝子の発現」の順序であることがわかるので、(エ)→(ウ)という順序も決定できる。

あとは、(ア)→(エ)→(ウ)と(オ)→(イ)の順序を決定すればよい。設問文中を見てみると、NEP によって転写される色素体遺伝子のうちの 1 つの *rpoB* は PEP のコアサブユニットの 1 つをコードしているとある。このことより、「タイプ B の遺伝子の転写」→「PEP のサブユニット遺伝子が発現」の順序、すなわち(イ)→(ア)の順序が決定できる。

したがって解答は、(オ)→(イ)→(ア)→(エ)→(ウ)である。5 つの事象を一気に並び替えようとすると大変であるから、2 つの事象の前後関係を決めていくとよい。

II

A 難易度：★☆☆☆☆

植物のように、無機物から必要な有機物を合成し、体外から有機物を取り込まずに生活することのできる生物を**独立栄養生物**とよぶ。一方、動物のように、ほかの生物が合成した有機物を直接あるいは間接的に取り込んで生活する生物を**従属栄養生物**と呼ぶ。

したがって解答は、4 : 独立栄養, 5 : 従属栄養である。

B 難易度：★★☆☆☆

葉緑体の構造と機能に関する知識問題である。まずは葉緑体について確認しよう。

葉緑体の構造は図 D のようになっている。葉緑体は**内膜**と**外膜**の二重膜からなり、その内部には**チラコイド**とよばれる扁平な袋状の膜構造が存在する。チラコイド膜には**クロロフィル**や**カロテノイド**といった光合成色素が存在し、光合成色素を含む**光化学系Ⅰ**や**光化学系Ⅱ**といった複合体で**光化学反応**などの反応が起こる。一方、チラコイドの間を満たしている基質部分は**ストロマ**とよばれ、光合成の**カルビン・ベンソン回路**の場となっている。

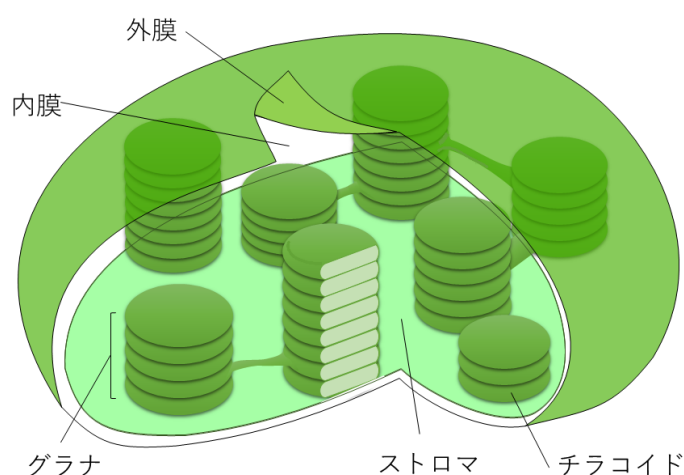


図 D 葉緑体の構造

よって、解答は 10：チラコイド膜、11：クロロフィル、12：カルビン・ベンソンである。文中に「10と呼ばれる膜」とあることより、10にはチラコイドではなくチラコイド膜が入ることに気をつけよう。また、クロロフィルとカロテノイド以外にも光合成色素は存在するが、クロロフィルは光化学系Ⅰ、光化学系Ⅱの反応中心であり、光化学反応で重要な役割を果たすので、11にはクロロフィルと入れるのが適当だろう。

C 難易度：★★★★★

野生株がショ糖無添加の培地で生育できる理由を説明する問題であるが、まずはショ糖が添加された培地でないと生育できない変異体 x と y について考えてみよう。

本文より、変異体 x と y は脂肪の代謝に異常があるということがわかる。脂肪の代謝は図 2-2 に示されている。この代謝経路のどこかに異常があることにより、変異体 x や y の葉や根の伸長は抑制されてしまう。変異体 x、y と野生株の違いは脂肪の代謝が異常か正常かだけであるから、この問題では脂肪の代謝により野生株の葉や根が伸長する過程を説明すれば良いということがわかるだろう。

ここで、説明に用いなくてはならない 5 つの語句を見てみよう。脂肪、糖、糖新生経路は簡単に使えそうに見

えると思うが、エネルギー源と炭素源の使い方は難しい。「脂肪を炭素源としてエネルギー源となる糖を糖新生経路により合成し」などと書きたくなる人もいるだろう。糖が呼吸の基質であることは基本的な知識であるし、そう書きたくなる気持ちもわかるが、それでは軽率である。問題文と図 2-2 を見てほしい。文 2 の図 2-2 の前の文に「糖新生経路は解糖系を逆に動かして有機物から糖を合成する経路である」とある。また、図 2-2 の糖新生経路の前にはクエン酸回路がある。もしも糖新生経路により合成した糖をエネルギー源とするのならば、クエン酸回路中の物質から解糖系の逆の反応で糖を合成し、その糖から解糖系、クエン酸回路などにより ATP を合成するのであろうか。どう考えてもこの反応は無意味である。

図 2-2 で脂肪は β 酸化などの反応を経てクエン酸回路に入り、呼吸により ATP が合成される。したがって、脂肪がエネルギー源となることがわかる。

脂肪の代謝により葉や根が伸長する過程を説明すればよいと先述したが、伸長するには生体を構成する物質が合成される必要がある。植物体を構成する物質といえばセルロースが思い浮かぶだろう。セルロースはグルコースが直鎖状に重合した多糖類である。セルロースは植物の細胞壁の主成分で、グルコースから合成される。これを踏まえて問題に戻ると、糖新生経路により合成された糖はセルロースなどの植物体を構成する物質の炭素源となるということがわかるだろう。

以上より、解答は次のようになる。

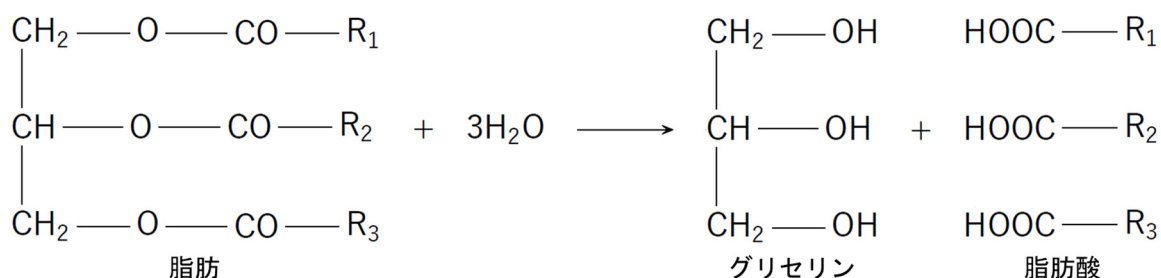
解答例

野生株は、 β 酸化経路などにより脂肪をエネルギー源とすることができる一方で、糖新生経路によって合成した糖を炭素源として植物体を構成する物質を合成することもできるから。(82 字)

糖をエネルギー源とすることがおかしいということに一度気がつく簡単な問題であるが、受験本番で正解するにはかなり難しい問題であるといえる。このような問題で正解するためには、問題文の細部までしっかりと注意を払うことが大事である。

D 難易度：★★★★☆

脂肪はグリセリン 1 分子と脂肪酸 3 分子がエステル結合した物質である。グリセリンと脂肪酸 3 分子から脂肪ができる反応は以下のとおりである。ただし、 R_1 , R_2 , R_3 は炭化水素鎖である。



本文より β 酸化では、脂肪酸を構成する炭素原子がカルボキシ基側から 2 個ずつ切り出され、 C_2 化合物を用いて 1 分子のアセチル CoA が合成される。したがって、炭素数 16 のパルミチン酸 1 分子からは 8 分子のアセ

チル CoA が合成される。パルミチン酸だけを脂肪酸として結合している脂肪からは、3 分子のパルミチン酸が生じる。よって、それが完全に β 酸化された場合、合計 24 分子のアセチル CoA が合成される。

したがって、解答は 24 分子である。脂肪が分解されると脂肪酸が 3 分子生じるということさえ知っていれば容易な問題である。

E 難易度：★★★★☆

実験 4 に関する考察問題であるから、まずは実験 4 の内容を確認しよう。

実験 4 では IBA の有無によって野生株、変異体 x、変異体 y の根の伸長がどのようなになるかを調べている。ただし、培地にはショ糖が添加されているので、本来はどの芽生えの根の伸長も正常であるはずである。

問題文中に「IBA が β 酸化経路によって代謝されると、アセチル CoA だけでなくインドール酢酸 (IAA) も生じる」とある。IAA は天然のオーキシンであり、植物細胞の伸長に関与する。オーキシンは基本的には伸長を促進するが、濃度によって作用が変化し、濃度が高すぎるとかえって伸長を抑制する。オーキシンに対する植物の感受性は器官ごとに異なっていて、根のオーキシン感受性は茎よりも高い。そのため、根でのオーキシン濃度が普段よりも少し高くなるだけで、根の伸長は抑制される。したがって、 β 酸化によって IBA から IAA が生じると、根の伸長は阻害される。

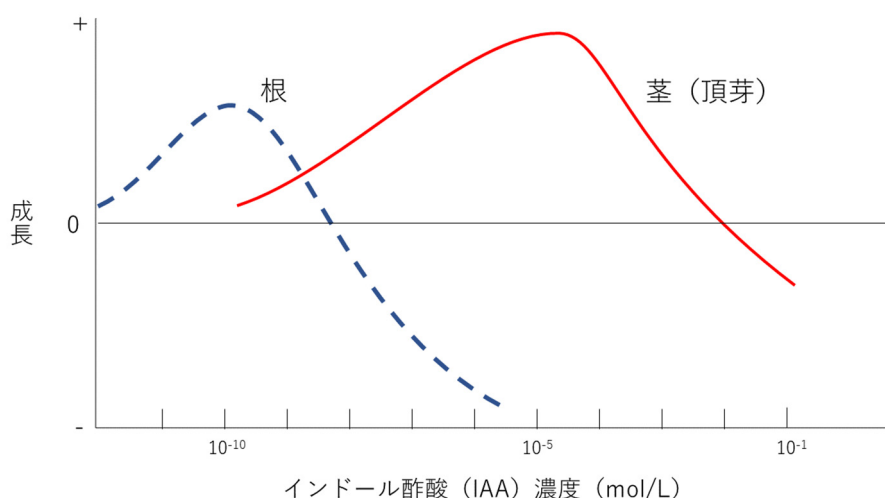


図 E 根と茎のオーキシン感受性の違い

これを踏まえて実験 4 の結果の表 2-3 を見てみると、IBA が添加された場合、野生株と変異体 y では根の伸長に異常がみられたが、変異体 x の根の伸長は正常であった。 β 酸化経路が正常に機能していれば IAA が生じて根の伸長が阻害されるので、野生株と変異体 y では β 酸化経路が正常に機能しているが、変異体 x では正常に機能していないと考えられる。

したがって、解答は(3)である。また、変異体 y で根の伸長が阻害されてしまう理由は次のように書けばよい。

解答例

理由：変異体 y では β 酸化経路は正常に機能しているため、IBA から IAA が生じる。IAA は天然のオーキシンで、オーキシン感受性の高い根での IAA 濃度が高くなると、伸長が抑制されてしまうから。(91 字)

(西川尚吾，安藤さくら，西浦佑香)

2016 年度 東京大学 前期 生物

第 3 問 生態系における生物間のかかわりあい、ケルプの森とキーストーン種、ジャスモン酸のはたらきと概日リズム

出題範囲	種間関係, 物質生産, 個体群, 生物群集, 体細胞分裂, 植物の環境応答, 遺伝子発現
難易度	★★☆☆☆
所要時間	24 分
傾向と対策	I は簡単な知識問題のみであった。II もやさしめの考察問題と計算問題だった。III になると実験があり, 本格的な考察問題があった。文 1, 文 2, 文 3 は生物間のかかわりあいが共通のテーマと考えられるが, 問題を解くうえでは関連性が薄く, それぞれ独立した問題として解ける。まずは I, II をてきぱきと処理できるようにしてほしい。そうすれば III の考察問題で焦ることなく落ち着いて考えることができるだろう。文 3 ではジャスモン酸が出てきた。この問題はジャスモン酸を知らなくてもできるが, ジャスモン酸が植物の生体防御に関わる物質であるというくらいの知識はもっていると取り組みやすかっただろう。

解答

- I
- A 1-⑫ 2-④ 3-⑥ 4-⑩ 5-⑤
- II
- A ウニはラッコに捕食されやすいので水深が浅いほどウニの密度は減少し, ケルプがウニに捕食される量も減少するため, ケルプは浅場ほど繁茂する。(67 字)
- B ケルプはサンゴモとは異なり背の高い群落を形成し, 隠れ場所や生活場所となる多様な環境をつくるため多くの生物に対して適した環境を提供でき, 生物種や生物群集の量は大きくなる。(85 字)
- C (2)
- D 1738 頭
- E (4)
- III
- A 6 : S 期 7 : 一定に保たれる 8 : $4n$ 9 : $8n$
- B (3)
- C 1 つの調節タンパク質が複数の遺伝子の発現を調節し, 調節された遺伝子がさらに複数の遺伝子の調節に関与し, それがさらに続いていくというしくみ。(69 字)
- D ジャスモン酸類の量 : 16 時間後 採餌量 : 12 時間後
- E 同位相下ではジャスモン酸類の量のピークの 8 時間後という植物 A の化学的防御反応が活発なとき, 逆位相下では化学的防御反応が活発ではないときとガ P 幼虫の採餌量のピークが重なる。そのため, 植物 A

は逆位相下の方が食害を受けやすい。(110 字)

解説

I

A 難易度：★★★★☆

1 には⑫食物連鎖が入る。種間における食う－食われるの関係は生産者から高次の捕食者まで鎖状につながっている。このような種間関係の様子を**食物連鎖**とよぶ。

2 には④未満が入る。**同化効率**とは**摂食量**に占める**同化量**の割合のことである。ここで、同化量＝接触量－不消化排出量なので、

$$\text{同化効率} = \frac{\text{同化量}}{\text{摂食量}} = \frac{\text{摂食量} - \text{不消化排出量}}{\text{摂食量}}$$

である。摂食したもののエネルギーをすべて同化することはできず、一部は消化されないまま糞などとして体外に排出される。そのため、不消化排出量＞0であるから、同化効率は100%未満の値を取る。

3 には⑥減少するが入る。前述のように同化効率は100%未満であるから、高次の栄養段階に移るほど生物が利用できるエネルギーは少なくなっていく。そのため、栄養段階の高い生物種ほどその個体数や生物量は少なくなることが多い。

4 には⑩食物網が入る。普通、捕食者は特定の生物のみを食べるのではなく複数種の生物を捕食する。また、その捕食者も複数種の捕食者に捕食されていることが多い。このように、実際の自然界では食物連鎖が複雑に絡み合い、網目のようにになっている。このような種間関係の様子を**食物網**とよぶ。

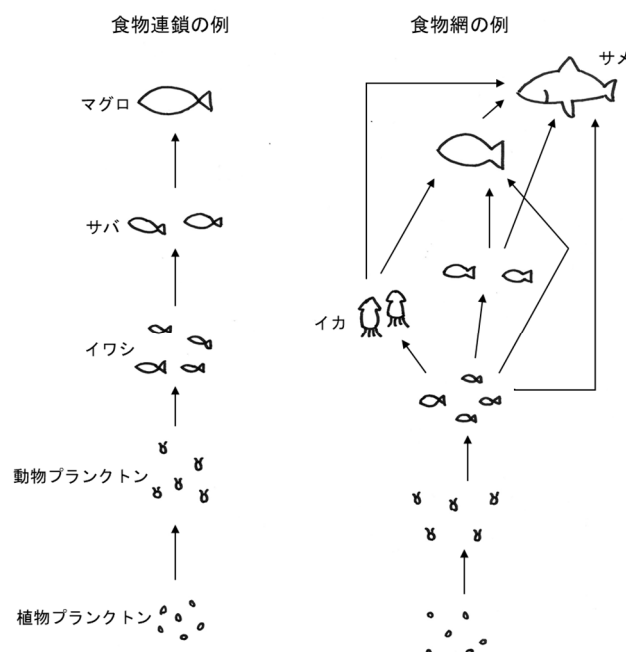


図 A 食物連鎖と食物網

5 には⑤増加するが入る。我々人類は、自然からさまざまな恩恵（食料の供給、水質の浄化など）を受けて生活している。自然から受けるこのような恩恵を生態系機能（生態系サービス）という。食物網が複雑であれば生態系のバランスは保たれやすい。安定した生態系ほど供給される生態系機能は増加する。

以上より、解答は1-⑫ 2-④ 3-⑥ 4-⑩ 5-⑤。簡単な語句の空欄補充問題であり、パッと解きたい問題である。解答の形式が指定されているので見落とさないように注意しよう。

◆Check!!

生態ピラミッドの逆転

生態ピラミッドには、**個体数ピラミッド**、**生物量ピラミッド**、**生産力ピラミッド**の3つがある。問いにあったとおり、基本的に栄養段階が上がるにつれて個体数、生物量は小さくなっていくが、逆転が起こる例外もある。ここでは例外について見ていこう。

【個体数ピラミッド】

個体数ピラミッドの逆転は寄生関係などでよく起こる。例えば、サクラの木1個体に対して多数のガの幼虫が付き、ガの幼虫1個体に対して多数の寄生バチがつき、寄生バチ1個体に対して多数のダニがつくというものである。この場合の個体数ピラミッドは一般的なピラミッドと逆の形になる。

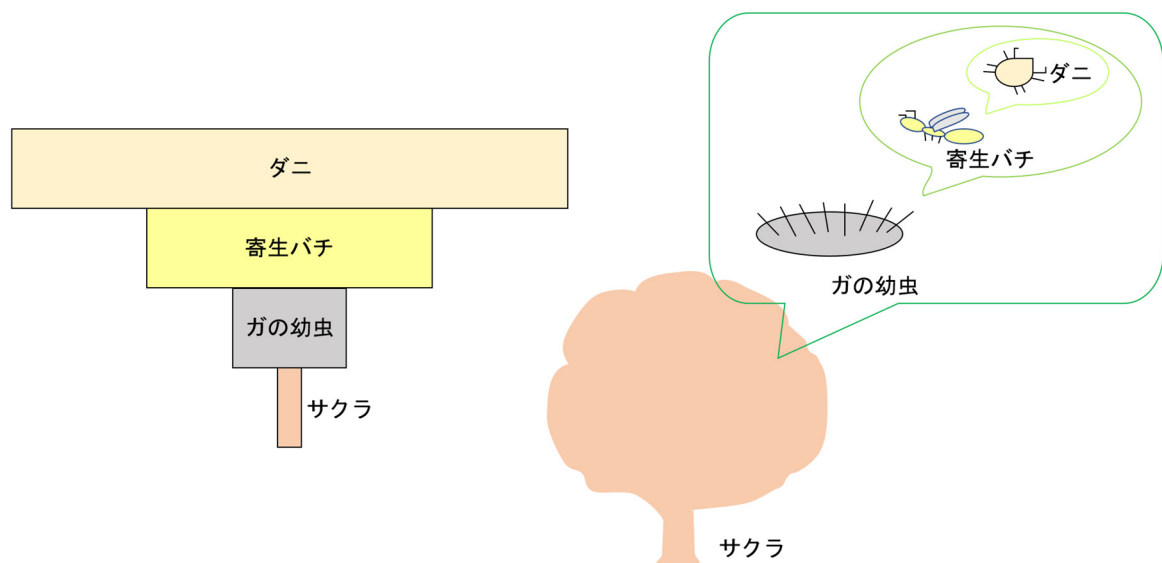


図 B 個体数ピラミッドの逆転

【生物量ピラミッド】

生物量ピラミッドの逆転の例としてよく挙げられるのは植物プランクトンと動物プランクトンの関係である。植物プランクトンは1世代の期間が短いため、動物プランクトンよりも生物量が少なくても

再生スピードによって捕食者の動物プランクトンを養うことができる。

例えば、動物プランクトンが 1 世代経る間に植物プランクトンは 5 世代経るとする。すると、ある瞬間の生物量は動物プランクトンの方が大きいても動物プランクトンが 1 世代経る間に存在した生物量は植物プランクトンのほうが大きい場合があり得る。このようにして生物量ピラミッドは逆転することがある。

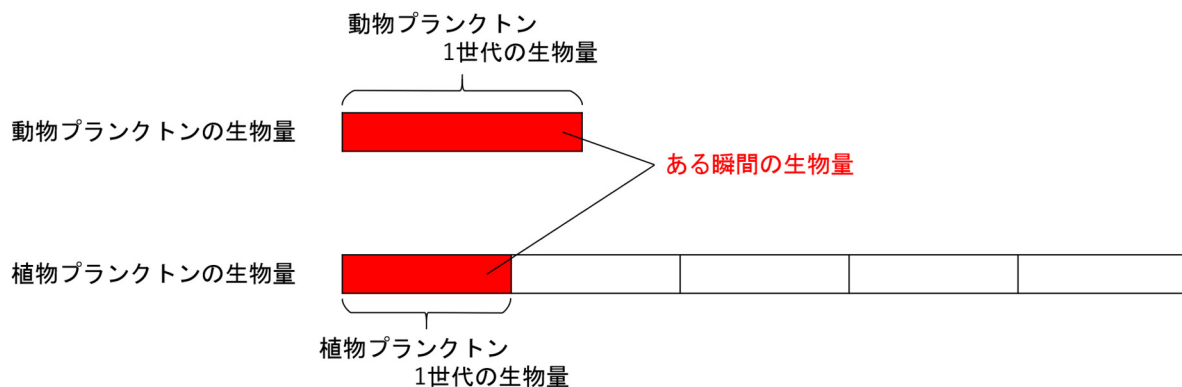


図 C 動物プランクトン 1 世代の間の総生物量

【生産力ピラミッド】

生産力とはどれだけの量の有機物を合成したかというものであり、消費者の生産力は同化量によって示される。この問いにあるように、同化効率は 100%未満であるので同化量が下位の栄養段階を上回することは決してない。よって生産力ピラミッドは逆転することはない。

II

A 難易度：★★★★☆

標準的な考察問題である。文章中にヒントが書かれているので、きちんと読もう。問題文に「ラッコが果たした役割を踏まえて」とあるので、ラッコを絡めなければならない。

図 3-1 の X 島のグラフをみると、ケルプが浅場ほど繁茂するのは浅場ほど捕食者のウニの分布密度が低いためであると考えられる。それではなぜウニの分布密度はエサ（ケルプ）の豊富にある浅場で低くなっているのだろうか。

図 3-1 の Y 島（ラッコがいらない）のグラフを見ると、ウニは浅場ほど分布密度が大きい。つまり、ラッコの存在によって浅場のウニの分布密度が小さくなっていると考えられる。

文 2 を読めばわかるとおり、ラッコ、ウニ、ケルプは食物連鎖でつながっている。

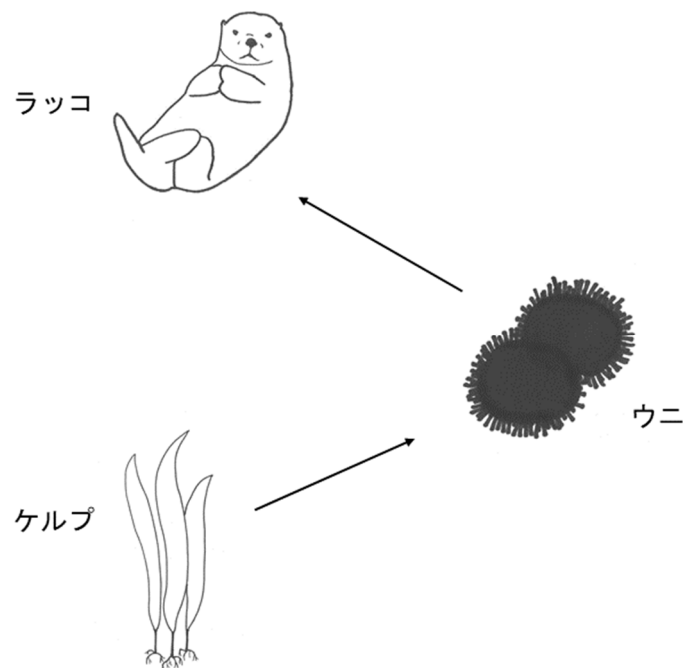


図 D X 島周辺海域での食物連鎖

上の図のとおり、ウニはラッコに捕食される。エサ（ケルプ）の多い浅場でウニが少ないのは、ウニがラッコに捕食されているためだと考えることができる。海面で生活しているラッコにとっては浅場のウニほど捕食しやすいのは想像できるだろう。ウニがラッコによって十分に捕食されるため、ウニによるケルプの被食量が減り、ケルプは繁茂することができる。以上より、解答は次のようになる。

解答例

ウニはラッコに捕食されやすいので水深が浅いほどウニの密度は減少し、ケルプがウニに捕食される量も減少するため、ケルプは浅場ほど繁茂する。(67 字)

ここではケルプとウニの関係は第三者であるラッコの影響を強く受けている。第三者がある 2 つの生物間の関係に与える影響を**間接効果**という。

B 難易度：★★★★☆

文 2 に「サンゴモはケルプのような背丈の高い群落を形成することではなく、海底の岩盤を薄く覆うように広がる。」とある。これが大きなヒントである。

生息する生物種数が多くなるためには多様な環境の存在が重要である。環境が単一であればその環境に強い生物が優占し、他の生物の生息は難しくなる。

Y 島のように背丈の低いサンゴモが優占していて三次元の立体的な構造のない環境では、多様な生物に対して

隠れ場所、生活場所を提供することができず、限られた環境が偶然生息に適していた種でないと生存できない。ここでは偶然ウニの生息に適した環境であり、ウニが繁栄している。一方 X 島のように背丈の高いケルプが優占していて三次元の立体的な構造が発達していると、多様な環境が生まれる。多様な環境があれば多くの生物に対して適した隠れ場所、生活場所を提供しやすく、また、多くの生物が集まればそれを捕食する生物が集まりさらに生物種は多くなる。とりわけ、隠れ場所としての機能は重要である。なぜなら、卵の時期や産まれて間もない時期はどんな生物にとっても危険な時期であり、十分な数の個体はその時期を生き抜けない場合、その種は存続していくことができないからである。また、成長とともに利用する資源が変化する生物は多くいる。そのような生物を養うためにも、環境が多様であることは重要である。

ケルプの森は種の多様性を増加させるとともに、生物群集の量も増加させている。多くの生物が共存している環境ほど生物群集の量も大きくなりやすい。これは、それぞれの種が利用する空間が少しずつ異なることで余すところなく空間が利用されたり、多様な環境の存在により同じ空間でさまざまな生物が生活したりするようになった結果である。

したがって、解答は次のようになる。

解答例

ケルプはサンゴモとは異なり背の高い群落を形成し、隠れ場所や生活場所となる多様な環境をつくるため、多くの生物に対して適した環境を提供でき、生物種や生物群集の量は大きくなる。(85 字)

答えを聞けば簡単に思えるかもしれないが、問題を解いているときは頭が固くなりがちで難しいことを考えてしまい、思いつけないかもしれない。試験中も落ち着いて考えられるようにしよう。

C 難易度：★★★★☆

キーストーン種とは、比較的少ない生物量でありながら生態系のバランスを保つために重要な役割をもつ種である。そのため、キーストーン種が存在するか否かで生態系機能は大きく変わる。グラフは、キーストーン種の出現を境に生態系機能が大きく向上する形になると考えられる。それぞれのグラフを生物多様性が低い状態から高い状態へと見ていき、その形を表しているものを見つけよう。

- (1) 不適切。これは生物多様性の大きさと生態系機能の大きさが比例関係で増加しており、キーストーン種がその生態系の中で特別重要な役割をもつことを表していない。
- (2) 適切。生物多様性を高めていくと、ある点から急に生態系機能が大きくなっている。これは、キーストーン種が出現して生態系機能が大きく向上したことを示していると考えられる。
- (3) 不適切。初めから急激に生態系機能が大きくなっているが、本来はキーストーン種が出現するまでは生態系機能は低いままである。
- (4), (5), (6) 不適切。生物多様性が大きくなるほど生態系機能は大きくなる。

以上より、解答は(2)。グラフの見方とキーストーン種の意味がわかれば難しくはないだろう。グラフを素早

く理解して解きたい問題である。

D 難易度：★★★★☆

特にひねりのない算数の問題である。簡単ではあるが、試験中急いでいるとミスをしてしまうかもしれない。落ち着いて文章を読んでいき、式を立てよう。

問題文前半から、1 頭のシャチが 1 年間で必要なエネルギーは

$$200000 \times 365 = 73000000 \text{ kcal}$$

である。問題文後半から、1 頭のラッコから得られるエネルギーは

$$30 \times 1000 \times 2 \times 0.7 = 42000 \text{ kcal}$$

である。よって、必要なラッコは

$$73000000 \div 42000 \div 1738 \text{ 頭}$$

である。したがって、解答は 1738 頭。もちろん式はどんな順番で立てていっても構わない。

E 難易度：★★★★☆

非常に簡単なグラフの問題。文 2 を読んでいれば間違えることはないだろう。

ここでは「ケルプ→ウニ→ラッコ」という単純な食物連鎖ができています。ここにシャチを入れてみると、「ケルプ→ウニ→ラッコ→シャチ」となる。D で求めたとおり、シャチは非常にたくさんのラッコを捕食することになる。よって、この生態系にシャチが加わると、まずラッコの個体数が減少する。ラッコの個体数が減少すればウニの捕食される量が減少するのでウニは増加する。ウニが増加すると捕食されるケルプの量が増加するのでケルプは減少する。これを表したグラフは(4)である。

よって、解答は(4)。ここではシャチの侵入がシャチと直接の関係はないウニやケルプにまで及んでいる。これも間接効果の例である。

このように、もとの生態系にいなかった生物が生態系に入ってくると、その生態系が大きく変化することがある。外来種の流入や地球温暖化による動植物の生息域の変化があるとこのようなことが起きるため、問題となっている。

III

A 難易度：★★★★☆

基本の知識問題である。

核 DNA が複製されるのは S 期である。核 DNA が複製されたのちに分裂するので、1 細胞あたりの核 DNA 量は一定に保たれる。細胞分裂が起こらずに核 DNA が複製されていくと、核相は 2 倍ずつ増えていくため、 $4n$ 、 $8n$ と変化していく。

したがって、解答は、6：S 期，7：一定に保たれる，8： $4n$ ，9： $8n$ 。

B 難易度：★★★★☆

実験結果を正しく解釈できるか問われている。このような問題は東大に限らずよくある形式だ。

- (1) 不適当。概日リズムを示しているジャスモン酸類の量や採餌量は、細胞レベルの現象ではなく個体レベルの活動である。
- (2) 不適当。図 3-2 から概日リズムに基づく生物の活動が暗条件下で活性化するというためには、ジャスモン酸類の量と 4 時間あたりの採餌量のいずれのグラフの一日あたりの振れ幅も連続暗条件下で大きくなっていないといけない。実際には、明暗条件から連続暗条件に変わってもグラフに大きな変化は起こっていない。むしろ少しではあるが振れ幅は減少しているように見える。よって、概日リズムに基づく生物の活動が暗条件下で活性化するとはいえない。
- (3) 適当。グラフの変動は連続暗条件下でもおよそ 24 時間のサイクルを保っている。
- (4) 不適当。この実験では温度を変化させていないので概日リズムが温度変化に影響されるかどうかはわからない。

よって、解答は(3)。単なるグラフの読み取りではなく実験の意味を突いてくる部分があるが、悩ましい選択肢はない簡単な問題である。

C 難易度：★★★★☆

1 つの調節タンパク質が複数の遺伝子の発現を調節し、調節された遺伝子がさらに複数の遺伝子の発現調節に関与するというしくみがあれば、数種類の調節タンパク質が活性化されるだけで、その調節タンパク質が直接発現を調節する遺伝子でない遺伝子を含めてたくさんの遺伝子の発現が調節されることになる。

このしくみを思いつくのは簡単だろうが、うまく文章にまとめるのが難しい。少しくどくなくてもいいので自分はわかっているということを主張して丁寧な解答を作ろう。解答は次のようになる。

解答例

1 つの調節タンパク質が複数の遺伝子の発現を調節し、調節された遺伝子がさらに複数の遺伝子の調節に関与し、それがさらに続いていくというしくみ。(69 字)

D 難易度：★★★★☆

条件が多いので文章とグラフを注意深く見ていかないとけない厄介な問題。まずは実験 2 を読んで概要をつかんでおくと問題文が理解しやすい。まず実験 2 について、問題 IIIB でジャスモン酸類の量や採餌量は連続暗期にしても概日リズムを保つということを確認したため、ジャスモン酸類の量や採餌量は連続暗期にしてからもそれまでのリズムを保つと考えられる。これを前提として問題を考えていく。

ここで聞かれているのは逆位相の場合であるから逆位相の図を見る。すると、連続暗期になる直前、植物 A は明期である。図 3-2(a)を見ると、ジャスモン酸類の量は明期が終わってから 4 つ目の点でピークとなってい

るのがわかる。点 1 つは 4 時間なので、4 つ目の点までは 16 時間である。

次にガ P 幼虫のほうを見ると、連続暗期になる直前は暗期である。図 3—2(b)を見ると、採餌量は暗期が終わってから 3 つ目の点、すなわち 12 時間後に極大となるとわかる。

以上より、解答は、**ジャスモン酸類の量：16 時間後、採餌量：12 時間後**である。文章を丁寧に読み、どこを見るのかを注意しないといけないので、少し時間がかかってしまうかもしれない。

E 難易度：★★★★☆

この問題までしっかりと理解しながら進められていればそれほど難しい問題ではない。ただし、解答を作るためには C の問題文も参考にしないといけないところが難しいかもしれない。

初めに、問題文で与えられた結果から、逆位相下で生育させた場合は同位相下で生育させた場合よりも植物 A の化学的防御反応が作用していないということが予想される。

まず、文 3 の終わりに、ジャスモン酸類は化学的防御の誘導に関与するとあるので、グラフにある「ジャスモン酸類の量」が化学的防御反応の指標となることはわかるだろう。しかし、ジャスモン酸類の量が多いときが化学的防御反応の活発なときとなるわけではないことに注意しなければならない。そうしないと問題文で与えられた結果と矛盾してしまう。文 3 にジャスモン酸類のはたらきは化学的防御反応の誘導とあり、また、C の問題文に多くの遺伝子の発現が調節されるのは 6 時間後とあるように、化学的防御反応が活発になるのはジャスモン酸類の量がピークを迎えたあとであり、少なくとも 6 時間後であれば活発であるとわかる。これを踏まえ、ジャスモン酸類の量がピークに達してから何時間後にガ P 幼虫の採餌活動が活発になるかをグラフから見てみると、同位相の場合は 8～12 時間後、逆位相の場合は 20～24 時間後であるとわかる。8～12 時間後というのは化学的防御反応が最高の状態であるかどうかはここではわからないが、ジャスモン酸類の量が、ピークの 2～6 時間後でもある程度高い状態であるから、その 6 時間後の 8～12 時間後でも化学的防御反応は活発な状態であると考えられる。それに対して 20～24 時間後では化学的防御反応は落ち着いているだろうと考えられる。これは問題文で与えられた結果から予想されることと合っている。

よって、「化学的防御反応はジャスモン酸類の量のピークから約 6 時間後で活発になることから、同位相の場合は植物 A の化学的防御反応が活発な時間とガ P 幼虫の採餌活動が活発な時間帯が重なるので、植物 A は食べられにくくなり、残存葉面積は大きくなる。逆位相の場合は植物 A の化学的防御反応が活発な時間とガ P 幼虫の採餌活動が活発な時間が重ならないので、植物 A は食べられやすく、残存葉面積は少なくなる。」ということを 3 行程度でまとめて書けばよい。現実では植物と幼虫は同位相で生活しているので、同位相の場合のほうが植物の化学的防御反応が作用しているというのは当然予想されるとおりである。

したがって、解答は以下ようになる。

解答例

同位相下ではジャスモン酸類の量のピークの 8 時間後という植物 A の化学的防御反応が活発なとき、逆位相下では化学的防御反応が活発ではないときとガ P 幼虫の採餌量のピークが重なる。そのため、植物 A は逆位相下

の方が食害を受けやすい。(110 字)

(大橋陽樹, 安藤さくら, 西川尚吾)