

## 第1問 細胞生物学・細胞分化 解答例

今回の解答では、色々な例がでてくるので、解は1つとは限らない。それゆえ、具体例とその相互関係の説明が充分になされているかによって、判断する。

### (問1) タンパク質 - タンパク質相互作用

例1：酵素と基質特異性

酵素の本体はタンパク質で、複雑な立体構造をしている。酵素が機能するためには、基質とある特定の部位で結合しなければならない。酵素は基質特異性をもっており、酵素基質複合体をつくって反応を促進する。

例2：抗原抗体反応

体内に抗原が侵入すると、やがて抗体がつくられ、抗原と結合してその働きを抑える。この時、抗原がタンパク質の時、抗原-抗体反応はタンパク質-タンパク質の相互作用となる。

例3：ホルモンとホルモン受容体

例えば甲状腺ホルモンは甲状腺の膜上にある、甲状腺ホルモンのタンパク質受容体と結合して、ホルモンとしての働きをする。

### (問2) 核 - 細胞質相互作用

例1：核移植

カエルの分化したオタマジャクシ幼生の核を除核した未受精卵の細胞質に移植して、発生させると核が細胞質の影響を受け、初期化がおこる。

例2：核と細胞質の交換移植実験

2つの形態の異なった海藻のカサノリを用い、核と細胞質の交換移植実験を行うと、初めは細胞質の支配を受け、その細胞質の方の形態を示すが、やがて何回か切除を繰り返すと核の支配による形態を示す。

### (問3) 細胞間相互作用

例1：接触抑止

細胞と細胞は正常細胞ではお互いに隣同志、密に接触している。つまりお互いはうまくコミュニケーションをしていて、細胞の増殖や運動が勝手にできなくなっている。しかし、それらの細胞が隣同志うまくコミュニケーションができなくなると細胞は、勝手に増殖したり運動したりする。つまり接触抑止の働きがなくなる。このことによって細胞ががん化する1つのプロセスである。

例2：細胞選別

カイメンやイモリの初期胚の細胞などは一度、カルシウムのない生理食塩水などでバラバラにして、その後、再び細胞塊をつくっておくと、やがて細胞は似たもの同志が集まる細胞選別を行って、もとの細胞同志が接着するようになる。

### (問4) 組織間相互作用

例1：上皮-間充織相互作用

腸の部域の形成の時、上皮と間充織の相互作用がみられる。胃形成の時、胃の上皮と腸の間充織を組み合わせると腸が形成され、その逆の腸上皮と胃の間充織とでは、胃が形成され、ペプシノゲンが分泌される。

例2：肝臓形成

肝芽細胞と細胞外マトリックスなどの非実質細胞と血管内皮が肝臓形成には必要である。

## 第2問 遺伝学 解説

ねらい：

遺伝子やアミノ酸配列の塩基配列の比較、相同性検索、分子系統樹の作成と読み取りは、生物学を中心とした様々な分野で共通に使用されている基本的で重要な手法である。高校の教科書でも分子配列のアラインメントや分子系統樹については、紹介されているが、それらが何を示しているか自分で読み取るという経験は不足しているのではないかと思う。暗記した知識の量ではなく、与えられた実験結果から何を読み取るか、何に気づくかという観点から評価したいと考え、比較ゲノム科学から見る動物の多様性の進化というテーマから作題した。

生物の多様性の進化のしくみには、遺伝子重複後と、重複した遺伝子間での機能分化がある。本問題で扱った調節タンパク質は、祖先遺伝子が重複して生じたと思われる遺伝子の産物であることは、配列の類似性から分かるが、脊椎動物と昆虫でもアミノ酸配列が共通する、機能的に重要と思われる領域(DNA結合ドメイン)が2箇所あることにまず気づいて欲しい。PairedとGsbについて詳しく見ると、昆虫の系統で遺伝子重複して生じたと考えられるが、DNA結合ドメイン以外の領域のアミノ酸配列は大きく異なっており、これらの遺伝子の発現パターンも異なっている。これらのタンパク質の活性の進化には、タンパク質のアミノ酸配列の変化と遺伝子の発現の変化のどちらが重要だったのだろうか？制御領域と翻訳領域の組み合わせを変えた融合遺伝子を発現させる実験では、Pairedタンパク質は、本来のGsbが発現する場所(体節ごと)に発現すると、Gsbとほぼ同じ働きを示した。この結果は、PairedとGsbの特徴的な活性は、タンパク質のアミノ酸配列の変化ではなく、遺伝子の発現の変化によって生み出されたことを示している。さらに、脊椎動物の*pax3*との融合遺伝子を用いた実験により、Pax3がPairedの活性の一部を補うことが示されたことから、新しい制御領域の獲得による遺伝子発現の変化は、昆虫と脊椎動物にも共通する多様性を作り出す進化機構であると考えられる。

### 解答例

#### 問1

アミノ酸配列が共通して保存されている領域が(2箇所)存在する。

(理由)昆虫と脊椎動物ほど遠縁でありながら、アミノ酸配列が広範囲に渡って共通しているということは、その領域が、DNA結合ドメインなどの重要な機能に関係すると考えられるから。

#### 問2 A:Pax3 Mus、B: Paired、C:Gsb

問3 Pairedタンパク質は、本来のGsbが発現する場所(体節ごと)に発現すると、Gsbとほぼ同じ働きをする。

#### 問4

・これらの遺伝子はいずれも共通祖先から重複して生じたと考えられる。*pax3*と*pax7*は脊椎動物の祖先で重複したパラログであり、マウスとゼブラフィッシュの*pax3*と*pax7*はそれぞれ種分化によって分かれたオーソログである。

・Pax3とGsbのタンパク質によってPairedのタンパク質の働きの一部を補えることから、これらのタンパク質の特徴的な活性の進化は、タンパク質のアミノ酸配列の変化ではなく、遺伝子の発現の変化によって生み出されることがわかる。

### 第3問 植物形態学・植物生理学

#### <解答例>

問1. 図1の上側は、葉の裏側（背軸側）である。図2の上側は、葉の表側（向軸側）である。葉の表側（向軸側）には、基本組織として柵状組織が存在し、裏側（背軸側）には海綿状組織が存在する。図1では海綿状組織が上側にあり、柵状組織が下側にあるため、上側が裏側（背軸側）であると考えられる。図2では、組織の配置が図1とは逆になっており、上側が表側（向軸側）であると考えられる。また、維管束組織では、葉の表側（向軸側）に木部、裏側（背軸側）に師部が存在する。図1では木部が下側、師部が上側にあり、このことから、上側が裏側（背軸側）であると考えられる。図2では、維管束組織の配置も図1とは逆になっている。

問2. a（師管）：ショ糖  
b（道管、仮道管組織）：水

問3. 植物は光合成に必要な二酸化炭素を大気中から、葉の表面にある気孔を通して葉の内部に取り込む。気孔はおもに葉の裏側にあり、そこから取り込まれた二酸化炭素は海綿状組織にまず入り、細胞間隙を拡散して柵状組織の細胞にも到達する。葉の内部に取り込まれた二酸化炭素は、海綿状組織と柵状組織の細胞にある葉緑体において光合成に使われるが、気体である二酸化炭素の拡散は、液体中よりも気体中の方が圧倒的に早いため、海綿状組織にある細胞間隙は二酸化炭素を素早く葉内に拡散させるのに役立っていると考えられる。

問4. 葉は光合成に必要な光を効率よく吸収するために平たい構造をしている。この平たい構造を保つためには、補強材（骨組み）となるものが必要である。葉脈（維管束）には細胞壁の厚い細胞が多くあり、それらの細胞からなる組織は物理的な強度が高く、補強材として機能する。

問5. 図2が陽のよく当たっている葉の顕微鏡写真であると考えられる。図2の葉の方が図1の葉に比べて葉の厚みがあり、柵状組織の細胞層の数が多く、組織の厚みもある。葉の表側から入った光は、柵状組織の細胞にある葉緑体で徐々に吸収されて光合成に使われる訳なので、弱い光しか当たっていない葉では、柵状組織の一番上の細胞層で光がほとんど吸収されてしまう。柵状組織の細胞層を多くしても無駄になってしまい、柵状組織の細胞層や厚みを減らした方が無駄がなく、植物にとって得であると考えられる。

## 第4問 発生生物学

出題意図：

(問1) 動物の分類は、しばしば発生の様式に基づいている。棘皮動物も脊索動物も、「新口動物」に属する。すなわち、原腸の陥入部は消化管の肛門になって、口が新たに開講するからである。

(問2) 発生過程においては、しばしば発生運命の決定因子の存在が知られている。ホヤ胚では、受精卵に存在する決定因子の性質も明らかになりつつある。本問では、古くから研究に用いられてきたウニの発生における古典的な実験を題材に、発生における決定因子が重要であることを、実験から読み取れるかを問うている。4細胞期には、それぞれの割球が完全なプルテウス幼生に発生できるので、どの細胞も完全な発生能力をもっていることが分かる。8細胞期の動物極、植物極それぞれの細胞は、胚の動物極側、植物極側のみを形成できるので、第3卵割で、割球の動物極側、植物極側の決定因子が分割されたと考えることができる。これ以後の割球は、この決定因子の性質に従って、分化して行くことになる。

(問3) いくつかの動物種では、受精卵からの発生初期には、DNAの転写がほとんど起きず、その間のタンパク質合成は、卵に蓄えられた mRNA によって行われる。このことは、本問取り上げたウニや両生類でよく知られている。発生の初期には転写を必要としないため、ウニの受精卵をアクチノマイシン D を含む海水中で発生させても、タンパク質合成が起きている。しかし原腸形成の少し前の時期(胞胚期中期)からは、転写が始まり、タンパク質合成は新たに転写された mRNA に依存するので、アクチノマイシン D 存在下では、タンパク質合成が低下する。これ以後、原腸形成などの発生過程はタンパク質合成が低下するので、胚は正常に発生することができない。本問では、アクチノマイシン D 存在下でも、初期にはタンパク質合成がほぼ正常に行われることに、注目することが重要である。胞胚期中期におけるこのような変化は、中期胞胚変移(遷移)とよばれる。

解答例：

(問1) グループ名：新口動物

同じグループに属する理由：どちらも原腸陥入した箇所が消化管の肛門となり、口は新たに開口すると言う共通の特徴をもつから。

(問2) 【実験1】から、4細胞期の割球は正常な胚に発生するすべての情報をもっていることがわかる。第3卵割で、割球が動物極側と植物極側に分裂するときに、細胞内の動物極側には動物極の構造を形成する情報(決定因子)があり、植物極側には植物極の構造を決定する情報があるため、8細胞期になると、動物極側の細胞は動物極、植物極側の細胞は植物極の構造を形成する。

(問3) 【実験3】のデータは、DNAの転写を阻害するアクチノマイシン D が存在してもタンパク質合成が正常海水(対照実験)と同様に変化するので、初期胚にはタンパク質合成に必要な mRNA が存在することが考えられる。それを消費してしまうと、受精卵の DNA の転写による mRNA がないとタンパク質合成が起こらず、それによって発生も異常になる。

## 第5問 生理学・内分泌学

### 問1

極性をもつ水分子は水素結合をつくるすぐれた溶媒で、極性をもつ様々な物質あるいはイオンを溶かすことにより、生命現象の基盤となる化学反応を支えている。

### 問2

各元素について以下に示すキーワード等の1つ以上が書かれていればよい。キーワードについての説明はキャンベルの生物学に準じ、ここでは省略する。

Ca (細胞内の情報伝達、開口分泌、筋収縮、カルシウム電位、バイオミネラルイゼーション)

P (リン酸イオン(無機リン酸)となりDNAやATPの官能基として働くこと、リン酸化によるタンパク質の機能調節、バイオミネラルイゼーション)

K (静止膜電位、細胞内の浸透圧濃度)

Na (活動電位の発生、細胞外の浸透圧濃度、 $H^+$ ポンプを介した細胞内pHの調節)

### 問3

浸透圧濃度が低い海水中から浸透圧濃度が高い体内に水が浸透する。それによって水を飲まなくても水分を補給できる。但し、水飲みには触れなくてもよい。

### 問4

静止膜電位の大きさは細胞内外の無機イオン、とくに $K^+$ の濃度の比によって決まる。ロブスターの筋細胞およびヒトの赤血球における比を比べてみるとそれらの値は近い値となるので、静止膜電位の大きさに大差がないことが分かる。

### 問5

主要なホルモン： 抗利尿ホルモン(バソプレシン)、アンギオテンシンII、アルドステロン(ミネラルコルチコイド)、ナトリウム利尿ペプチド

#### 浸透圧調節に関わる働き：

抗利尿ホルモン(腎臓の集合管の水チャネル数を増加させて水の再吸収を促進する。)

アンギオテンシンII(副腎からのアルドステロンの分泌を促進する。水飲み行動を促進する。)

アルドステロン(腎臓によるナトリウムひいては水の再吸収を促進する。)

ナトリウム利尿ペプチド(腎臓からのナトリウムの排出を促進する。)

## 第6問 植物生理・生態学・行動学 海洋生態系

### 出題の意図

海洋の生産者である植物プランクトンの増殖と環境要因との関係について、考察力を問いました。図1は、高校の教科書等でも掲載されているものですが、温帯域、亜寒帯域における表面の水温の季節変化が、栄養塩の表面への供給量を決め、それにより植物プランクトンの増殖が影響を受けることを示しています。海水の上下の混合が、表面への栄養塩供給を決定する主な要因であることを理解していれば、解答できると思います。

問1. 「春のブルーム」は、我が国近海でも一般に認められる現象です。植物プランクトンの増殖に対する水温の影響の関係を正しく理解し、適切に説明できるかを問題としました。

問2. 海洋表層への栄養塩供給が、海水の上下混合に依存していることについての理解を問いました。

問3. 植物プランクトンの栄養塩の吸収機能が、生息している海水の栄養塩濃度と関係しており、それが、植物プランクトンの季節的遷移にも影響することを問題としました。栄養塩濃度と栄養塩吸収速度との関係は、光合成の光量と光合成速度との関係に類似しており、陰樹、陽樹の光合成光曲線の違いに関する知識を応用することができます。

問4. 内湾などでは、陸からの栄養塩類の供給が多くあることを考えることができれば、夏でも栄養塩類の不足は生ずることが無く、植物プランクトンの現存量が夏においても図1のような減少を示さないことが予想できます。

### 正解例

問1. 冬は低い水温のため、栄養塩類濃度が高くても、植物プランクトンの成長が抑制されているが、春になり水温が上昇することにより栄養塩吸収と成長が活発となり、植物プランクトンの現存量が増加し、「春のブルーム」が形成される。しかし、表層の栄養塩類は植物プランクトンの吸収量の増加により、その濃度が低下する。また、夏は表層とそれ以深の層の間で海水の上下の混合が生じにくいため栄養塩類の表層への供給量が少なく、結果的に表層の栄養塩類が不足して植物プランクトンの現存量が低下し、「春のブルーム」が消滅する。

問2. 夏には表層の水温が高く、深い層よりも比重の小さい水が表層に存在しているが、秋になり表層の水温が低下するため、表層とそれ以深の層との比重の差が少なくなり、水が上下に混合する。このため、深い層に存在する栄養塩類が表層まで輸送され、表層の濃度が上昇する。

問3. (I) 期：B、(II) 期：A

Aを示す植物プランクトンは、低い濃度の硝酸塩でもBよりも高い速度で吸収することが可能であり、(II) 期のように硝酸塩濃度の低い時期において有利である。一方、Bが示す植物プランクトンは、高い硝酸塩濃度で高い吸収速度を示していることから、硝酸塩濃度が高い(I) 期で有利であると考えられる。

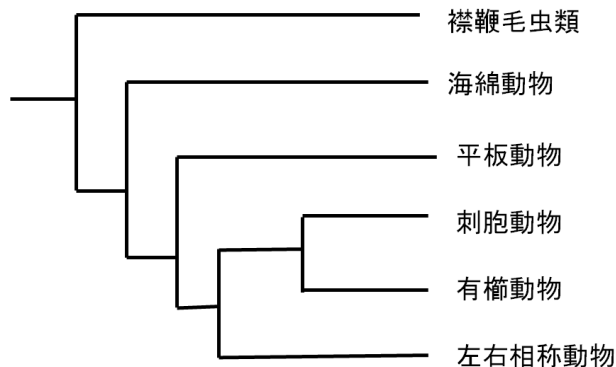
問4. 夏

陸から栄養塩類が供給されることから、夏においても表層の栄養塩類の濃度が高いと考えられる。この栄養塩は植物プランクトンの成長に用いられ現存量が増加するため、図1の夏に認められるような、栄養塩類濃度の低下による植物プランクトン現存量の減少は生じないと予想される。

## 第7問 動物分類学・系統学

### 解説と解答例

問1 問題を読めば、解答は難しくはない。



Srivastava et al. 2008より

上のようになることが分かるであろう。ただし、襟鞭毛虫類は不要（問3の解説参照）。動物の初期の進化に関しては、この他にも、有櫛動物がもっとも初期に分岐したという考え方（Dum et al. 2008）、左右相称動物がその他すべてのグループに対する姉妹群であるとする考え方（Schierswater et al. 2009）など、種々の仮説が提出されている。図の描き方として、分節点で回転しているものは正解である（たとえば刺胞動物と有櫛動物が逆になっているなど）。

問2 単系統群は「ある一つの共通祖先とそれから派生した種のすべてを含むグループ」、側系統群は「ある単系統群から、一つまたは複数の単系統群を除いて構成されるグループ」、多系統群は「系統樹上で連続していない種を含むグループ」、と定義される（藤田敏彦著、『動物の系統分類と進化』、裳華房、2010、『キャンベル生物学』9版、p663、より）。問題の分岐図から、四つのグループはどれも単系統群であるし、四つすべてを含むグループ、「刺胞動物、有櫛動物、左右相称動物」を含むグループ、「有櫛動物、左右相称動物」を含むグループは、どれも単系統群である。側系統群の例は、「刺胞動物、有櫛動物、左右相称動物」という単系統群から刺胞動物を除いた「有櫛動物、左右相称動物」というグループが相当する。勿論、この他にも多くの例がある。どれか一つ解答されていれば正解とする。

問3 外群は、生物の形質を比較する際に、その基盤となるグループである（『キャンベル生物学』9版、p651）。外群がないと、比較すべきグループ（内群）の共通祖先の位置などがはっきりしない。外群としては、内群には含まれないが、内群にできるかぎり系統的に近縁である分類群を用いる。外群の選択に当たっては、形態学、古生物学、ゲノムの比較などの情報が用いられる。

初期の動物群の分岐系統樹を作成するにあたって、もっとも適当な外群は、襟鞭毛虫類とよばれる原生生物である。このグループは、その細胞構造が海綿動物の襟細胞に類似していること、襟細胞は他の原生生物では観察されていないこと、ゲノム解析の結果、などから、動物にもっとも近縁のグループであると考えられている（『キャンベル生物学』9版、p779）。これは知識問題であり、知らないとは解答できないが、動物の進化における基本的事項の一つである。