

# 生物チャレンジ 2009

## 国際生物学オリンピック 代表選抜試験

実施：平成 21 年 11 月 23 日

### 第 1 部 出題意図および解答例

(第 2, 6 問については問題文中の図、写真などの著作権にからみ、公開を保留しています。)

#### 第 1 問 (細胞生物学) 出題の意図

本問題は、酵素反応の有名な補酵素  $\text{NAD}^+$  と  $\text{NADP}^+$  を取り上げ、(1)では酵素反応の特異性、反応の平衡の概念を問い、(2)では実際の例として嫌気状態の補酵素の状態を問うものでした。(2)は実際の例ですので、授業で習った方もいると思いますが、(1)の内容は大学の教養課程の講義レベルを少し越えていました。しかし、全体として皆さんの成績は非常によいものでした。

高校の生物学では  $\text{NAD}^+$  が解糖系とクエン酸回路、 $\text{NADP}^+$  が光合成と別々に習うでしょうが、実際には、動物細胞でも  $\text{NAD}^+$  と  $\text{NADP}^+$  が利用されていて、同じ場所で使い分けられています。つまり、酵素には特異性があり、 $\text{NAD}^+$  だけを利用する酸化還元酵素と  $\text{NADP}^+$  だけを利用する酸化還元酵素があります。 $\text{NAD}^+$  と  $\text{NADP}^+$  は、酸化・還元のされやすさにはちがいはありませんが、問題に記しましたようにそれぞれの酸化還元比率は大きくちがいます。酸化型が多い  $\text{NAD}^+$  は酸化反応によく利用され、還元型が多い  $\text{NADP}^+$  は還元反応によく利用されます。そのため、解糖系やクエン酸回路では  $\text{NAD}^+$  が、光合成では  $\text{NADP}^+$  が登場するのです。また、嫌気条件では、解糖系で基質を酸化し、 $\text{NAD}^+$  は還元型になりますが、酸素によって酸化されず、還元型が蓄積することになります。このようにダイナミックに細胞内の状態の変化がわかると、生命現象を幅広く理解できるようになります。

#### 第 1 問 (細胞生物学) の解答例

(1)酵素は反応を触媒するが、反応の方向を変えることはできない。言い換えると、酸化還元反応では、反応の進行しやすさが補酵素の状態に依存することがある。つまり、 $\text{NAD}^+$  は酸化型が多いので、基質を酸化する酵素反応に利用し、 $\text{NADP}^+$  は還元型が多いので、基質を還元する酵素反応に利用すると、補酵素としての役割をはたすことができる。

(2)酵母菌が行う酸素呼吸は解糖系やクエン酸回路で基質を酸化する酵素は  $\text{NAD}^+$  を利用しているが、酸素がなくなると  $\text{NAD}^+$  の還元型を再酸化できなくなる。つまり、還元型が蓄積する。このような状態になると、基質を酸化するクエン酸回路がはたらかなくなり、代わりにアルコール発酵が進行する。アルコール発酵では、蓄積した  $\text{NAD}^+$  の還元型が解糖系の産物 (ピルビン酸) からつくられるアセトアルデヒドを還元することで、再び酸化型にもどり、次の酸化反応の補酵素としてはたらくことができる。

### 第3問（遺伝）の出題意図

メンデルの遺伝の法則は、仮定する遺伝子が常染色体にある相同染色体の同じ遺伝子座にあることを前提（染色体説）として、かつ優性遺伝子は必ず発現し形質発現に連がるものとしている。

問題は、遺伝子型、表現型から判断して、なぜメンデルの法則に従っていないかを読み取り、考えられる可能性を問うた。

(1) は性染色体を含む染色体中の遺伝子では説明できない。

### 第3問（遺伝）の解答例

メンデルの遺伝の法則は、仮定する遺伝子が常染色体にある相同染色体の同じ遺伝子座にあることを前提としている（染色体説）。従って、一つの形質を決める遺伝子は2個存在する。そして、配偶子形成に先立つ減数分裂によって染色体数が半減する過程において、2個の遺伝子は分離し、そのうちの1個が親から子へ伝達される。さらに、伝達された遺伝子のうち、優性遺伝子Aは必ず発現し、その優性形質[A]を現すことを前提として成立する。それに対して、

(1) では、親の遺伝子型がそれぞれ1個であり、しかも両親どちらかの1個しか子へ遺伝しないことを示している。ほ乳類のY染色体中の遺伝子は、雄に1個だけ存在し、女兒には伝達されないが、これも染色体説を前提としている。(1)の場合、 $F_1$ の表現型は母方の親の遺伝子型で決まり、父方の親の遺伝子はまったく $F_1$ に伝わっていない。父方の親の染色体が $F_1$ にまったく伝わらない例はないことから、この遺伝子は染色体中ではなく、染色体外（細胞質中）に存在することが推察される。すなわち、DNAを含む色素体（葉緑体）やミトコンドリア中の遺伝子であり、これらの細胞小器官は細胞質をほとんどもたない雄性配偶子からは排除され、細胞質を豊富に含む雌性配偶子のみから子に伝達される。具体例としては、色素体中の葉の色（緑か黄か）の遺伝子があり、花粉親の遺伝子型が何であれ、葉の色は卵細胞の遺伝子型で決まり、これを母性遺伝と呼んでいる。

一方、(2)では、親から子への遺伝子の伝達はメンデルの法則に従っており、両親がどちらであっても、 $F_1$ の遺伝子型はAaである。従って、この遺伝子は常染色体中に存在する。ところが、優性形質[A]が実際に現れるのは、Aが父方から来た場合に限られる。母方からAが来た場合は、その遺伝子は発現できず、優性形質が現れない。すなわち、遺伝子は存在するだけでなく、発現の制御があることが推察される。これは、ゲノムインプリンティング（ゲノムの刷り込み）というエピジェネティック（後成的）な制御機構で、配偶子形成過程において遺伝子のDNAがメチル化などの化学的修飾をうけることで、遺伝子の発現が抑制（サイレンシング）される。具体例としては、マウスの成長因子（体のサイズを決める）の遺伝子があり、 $F_1$ において父方に由来する遺伝子は正常に発現するが、母方に由来する遺伝子はその発現が抑制されたままである。従って、遺伝子型はAaでありながら、結果的には、父方から来た遺伝子そのまま表現型に現れる。

以上の二例は、いずれも非メンデル遺伝であり、一方の親から遺伝子が伝わらないか、一方の親からの遺伝子が発現しないことで説明でき、いずれも親の雌雄が子の表現型に関与する。

## 第4問（生物の運動現象）の出題意図

生き物の「動き」全般と、筋肉の収縮するしくみに対する理解を問う問題。教科書には必ずしも運動現象として扱われていない現象でもこれがおこるしくみまで理解していれば解答できるはずです。筋肉の収縮についても、細部の構造やその名称を覚えるだけでなく、筋節の収縮から筋肉全体の収縮につながるしくみを理解しているかどうかを問いました。

この出題内容に限りませんが・・・

なぜ、どうして、という疑問を大切にしながら勉強していくことを勧めます。

## 第4問（生物の運動現象）の解答例

### 問1

ゾーリムシが繊毛を使って遊泳する。

単細胞藻類が鞭毛を使って遊泳する。

アメーバがアメーバ運動によって移動する。

など

### 問2

原形質流動によって、植物細胞の細胞小器官が、細胞質内を移動する。

細胞分裂の際に、染色体が赤道面に配列する、または紡錘体の極に向かって移動する。

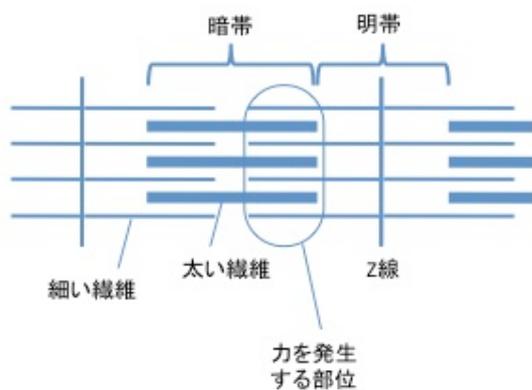
細胞質分裂の際に、（収縮環の収縮によって）細胞がくびり切れる。

黒色素胞細胞内で、色素顆粒が散らばったり中心に集まったりする。

細胞内を小胞が移動する。

など

### 問3



収縮時に力を発生するのは、太い繊維と細い繊維が重なり合ったところ。

#### 問4

(1) ウ。(以下の主旨が書いてあれば良い)

筋繊維の中には、その長さ方向に筋節が多数並んでいるため、筋繊維の全長が縮む速度は筋節が縮む速度の和になる。筋繊維 A に含まれる筋節の数は、同じ長さの筋繊維 B の半分しかないため、よりおそく収縮すると考えられる。

(2) イ。収縮の力を出すのは、筋節内の太い繊維と細い繊維が重なり合ったところである。筋繊維 A は、筋節、太い繊維、細い繊維のいずれも B の 2 倍になっているので、重なり合ったところの筋節長に対する割合(および筋繊維の全長に対する割合)は B と変わらない。従って、発生する力は B と同じだと考えられる。

## 第5問（眼の形成）の出題に当たって

この問題は発生生物学の分野とくに器官形成に関する問題である。器官形成においては、多くの遺伝子が時間的空間的に秩序正しく発現することが重要であることを理解してほしい。このような遺伝子の一連の発現を、遺伝子カスケードとよぶ。本問題について言えば、small eye や eyeless は、それぞれ脊椎動物と昆虫類の眼形成にかかわる遺伝子カスケードの「上流」に存在する、つまり形成の初期に働く遺伝子であることをまず理解してほしい。

実際に眼のような器官ができるには、何百、あるいは何千という遺伝子が働く必要があり、そのカスケードは同じ眼でもハエの眼とヒトの眼では当然異なっている。そのことは眼の作りが異なることから容易に考えられよう。small eye 遺伝子はハエの眼形成に必要なカスケードを活性化するが、その結果生じる眼はやはりハエの眼、複眼である。

細胞の分化は発生生物学の最重要概念である。一般的には胚発生の初期の細胞ほど分化の可能性が高い。細胞分化の可能性は周囲の細胞との相互作用などによって次第に狭められ、一般には成体の細胞はある特殊化した機能を遂行するように「決定」づけられている。もちろん幹細胞のように依然として多分化能をもつ細胞も存在するが、多くの細胞はすでに他の細胞に分化する能力を失っているか、あるいはごくわずかしかもっていない。2問では、そのことを理解していれば解答は難しくないのであろう。

発生生物学の問題に限らず、生物学の問題では基本的な概念と、それが確立するために重要であったいくつかの実験は頭に入れておかなければならない。レンズの形成に眼杯から表皮に対する誘導作用が重要であることは、教科書にも必ず記載されている。これを念頭に置けば、3問も解答は自ずから明らかである。3問のような実験系の記述は、多くの生物学の問題に共通する記述様式であり、それを読んで正確に把握する能力を高めることが求められるであろう。

## 第5問（眼の形成）の解答例

問1 eyeless や small eye 遺伝子は眼を作る過程の初期に働き、眼を作れ、という指令を出す。どのようなタイプの眼を作るかは、それ以外の（下流の）遺伝子群が決める。ハエでは下流の遺伝子群は、複眼を形成するのに必要な遺伝子群であり、ヒトのような単眼（カメラ眼）を作るための遺伝子をもっていないから。

問2 原基の細胞はまだ未分化であり、多分化能をもち、本来働いている遺伝子とは異なる特定の遺伝子を働かせることで分化の方向を変えることができるから。成体（成虫）の多くの細胞は、すでに分化していて、新たな遺伝子の発現によって分化の方向が変更しにくい。

問3 脊椎動物の眼の形成では、眼杯からの誘導作用が重要である。突然変異体の眼杯を用いてもレンズが誘導されることから、small eye 遺伝子は誘導作用に必須ではないことが分かる。一方、突然変異体の表皮は正常眼杯の誘導作用を受けてもレンズを形成しないので、small eye 遺伝子は、表皮が眼杯からの誘導作用を受けるのに重要な働きをしていると、考えられる。あるいは、レンズ形成のある段階に必須である可能性も考えられる。しかし、small eye 遺伝子が眼の形成の上流で作用することを考えると、誘導の受容にかかわると考えるほうが自然である。