

生物学オリンピック 2018

代表選抜試験 筆記試験問題 出題意図・解説

第1問

解答：

問（1）遺伝子とゲノム

共通点：共に DNA(デオキシリボ核酸)できている。つまり A,T,C,G の4つの塩基と糖、リン酸からなるヌクレオチドがポリヌクレオチドの高分子になっている。共に母親と父親から受け継いでいる遺伝情報である。

遺伝子：両親から子供へ受け継がれる遺伝の単位。遺伝子は細胞内で転写、翻訳されてタンパク質を作るための、必要な情報をコードしている。タンパク質は細胞の構造と機能を決める。ヒトの遺伝子は2万～3万ある。

ゲノム：生物が継承する遺伝的情報「ライブラリー」全体がゲノムである。ヒトのゲノムは約30億ヌクレオチド対のDNAを持つ。

問（2）先体反応と表層反応

共通点：共に受精でみられる現象である。父親由来の精子（n）と母親由来の卵細胞（n）が受精を通して、体細胞（2n）になるが、その受精が成立するために先体反応と表層反応が必要である。

先体反応：放精されて泳ぎだした精子は卵のゼリー層と接触すると、精子の先端にあった先体部から分解酵素をだし、ゼリー層に穴をあける。精子はゼリー層を貫いて突き進み、卵細胞膜と融合する。自然界では精子先体反応は異種間では起こらないので、種の確立に大きく貢献している。

表層反応：精子と卵細胞膜との接触と融合が起こると同時に、卵細胞膜表層粒崩壊の反応が連鎖的に起こり、やがて受精膜が形成される。これら一連の反応は卵に多くの精子が入らない多精拒否の仕組みにつながる。

問（3）B細胞とT細胞

共通点：共に外部から病原体などが入ってきたとき、自己を守るため働く適応免疫細胞である。共にリンパ球と呼ばれる白血球の仲間であり、骨髄で作られる。細菌などのたんぱく質の抗原に対して反応する。

B細胞 ; B細胞受容体は4本のポリペプチド鎖からなる。抗原に対する抗体Igを分泌し、そのまま抗原に結合する。抗原-抗体反応は鍵と鍵穴のような特異的結合による。骨髄で作られ、骨髄で成熟B細胞になる。100万種以上のB細胞受容体を持つ。

T細胞 ; T細胞受容体は α 鎖と β 鎖のポリペプチド鎖からなる。断片化された抗原のみと結合する。主要組織適合性複合体分子(MHC分子)と抗原断片の結合した状態をT細胞が認識する。T細胞は骨髄に由来するが、やがて胸腺に移動して、成熟T細胞となる。1000万種以上のT細胞受容体を持つ。

第2問

解答の手引き

参照 : キャンベル生物学 (原書 11 版) p345~346, 野沢兼 (1990) 遺伝 44:83-86.

ヒトなどの哺乳類はX染色体を雌が2本、雄は1本受け継いでいる。X連鎖遺伝子にコードされているタンパク質が雌では雄の2倍量存在するかという疑問が生じるが、実際には雌雄の細胞で大部分のX連鎖遺伝子の有効強度が等しく(1コピー分と)なっている。これは、哺乳類の雌の各々の体細胞の中では、X染色体の一方が初期胚発生の段階で不活性化されて(凝縮したBarr bodyとなつて)いるからである。そのため、雌の体は、父親由来のX染色体が活性化した細胞と母親由来のX染色体が活性化した細胞の2種類が入れ混じった「モザイク」となっている。2つのX染色体の内、不活性化されるX染色体はランダムに、独立に選択される。特定の細胞でX染色体が不活性化した後は、その細胞が有糸分裂で生じる細胞は全て同じX染色体が不活性化している。一方、卵巣では卵を生み出す細胞の中でBarr bodyの染色体が再活性化されるため、全ての卵は活性のあるX染色体をもつ。

さび猫や三毛猫の毛並みはこのようなX染色体不活性の例として有名である(キャンベル生物学 図15.8)。

問1 常染色体上にある黒色毛に関わる遺伝子*B*の発現をエピスタティックに支配するのが性染色体上の遺伝子*O*。*O*は*B*に対して抑制的にはたらく。オレンジ色の毛に対応する対立遺伝子*O*とそれ以外の(黒)色に対応する対立遺伝

子 o をヘテロ接合でもつ遺伝子型 Oo の雌のみがさび猫となる。初期胚で X 染色体不活性化がおこることにより雌の身体は O を発現する細胞と o を発現する細胞のモザイクになる。オレンジ色の斑は、 O が乗っている X 染色体だけが活性化している細胞集団により形成され、黒色の斑は対立遺伝 o が乗っている X 染色体が活性化している細胞集団によって形成される。雄は X 染色体を 1 本しかもたないのでオレンジ色 (O) かオレンジ色以外の (黒) 色 (o) のどちらかにしかなれない。

問 2 キャンベル生物学 p353～356

性染色体の不分離により生じた XY の精子と X の卵子の受精、または XX の卵子と Y の精子の受精によって生じる XXY の個体は X 染色体を 2 本もつ雄となる。このときの X 染色体上の O 遺伝子座がヘテロ、すなわち OoY という遺伝子型である場合、さび猫の雄となるが、不妊となる。一方、 OY 雄の体細胞分裂の失敗や突然変異によって OY と oY のモザイクになった個体や、交差により O 遺伝子が Y 染色体に乗り移った個体はさび猫雄でも妊性をもつ可能性がある。

問 3

毛の色はその色を出す色素細胞が毛根に移動していった結果決まるが、常染色体上の遺伝子 (S) はこの色素細胞の毛根への移動を抑制するはたらきがあると考えられる。

問 4 三毛猫は、さび猫が白斑をもったと考えればよい。したがって、三毛猫は性染色体が Oo で常染色体が SS または Ss の遺伝子型をもつ雌である。

このような三毛猫の子を得るためには、黒色毛の雌にオレンジ色の毛の雄で、どちらかまたは両方が白斑であれば高確率で三毛猫 (雌) の子がえられる。例えば黒毛白斑の雌 ($ooSS, ooSs$) とオレンジ色白斑の雄 (OSS, OSs) を交配すればよい。(オレンジ色の雌に黒色の雄でどちらかまたは両方が白斑でも三毛猫は生まれる)

第 3 問

解答と解説

問1 被子植物の種子を土に播いて暗所で発芽させると、黄化芽生え（もやし）が生じるので、被子植物であるカボチャの種子を暗所で発芽させると黄化芽生えが生じたと考えられる。黄化芽生えでは、2枚の子葉は黄色で閉じており、フック状に曲がった形態をしている。子葉が黄色をしているのは、暗所ではクロロフィルが合成できず、カロテノイドの色が目立つためである。子葉が閉じているのは、子葉の展開が光によって誘導されるためである。クロロフィルの前駆体であるプロトクロロフィリドをクロロフィリドに変換する酵素（プロトクロロフィリド還元酵素）は、反応に光を必要とするために、暗所ではクロロフィルが合成できず、プロトクロロフィリドが蓄積する。光が当たるとすぐにプロトクロロフィリドはクロロフィリドへと変換され、さらにクロロフィルへと変換される。子葉が閉じてフック状に曲がっているのは、芽生えが土の中を伸びて行くとき（光が当たっていないとき）に、土の中で抵抗を小さくして伸びやすくすることと、2枚の子葉の基部にある茎頂分裂組織を保護する意味があると考えられる。一方、明所で生じた芽生えでは、子葉は緑色になって水平方向に開いている。光が当たるとクロロフィルが合成されるので子葉は緑色となり、子葉の展開は光によって誘導されるので水平方向に開く。光が当たるとクロロフィルの合成に伴って葉緑体が形成されて光合成をするようになり、子葉を水平方向に開くことは、光を受容して光合成を効率よく行うのに役立つと考えられる。

問2 胚軸の伸長は青色光で阻害され、青色光の光受容体はクリプトクロームである。土の中で発芽した種子は、初期の段階では細胞内に蓄えられたデンプンや脂肪（カボチャの場合は主に脂肪）を利用して従属栄養成長するが、その貯蔵物質を使い切る頃までには光合成能力を獲得して光独立栄養成長できるようになる必要がある。そのため、土の中（光が当たっていない状態）で発芽した種子が胚軸を伸張させるのは、子葉を地上に出して従属栄養成長から光合成による光独立栄養成長に切り替えるのに役立つと考えられる。

問3 葉緑体は、図1のような構造をしている。外包膜（外膜）と内包膜（内膜）という2重の膜が外側にあり、細胞質（サイトゾル）から隔てられている。内部にはチラコイド膜と呼ばれる膜が発達している。チラコイド膜が何層にも重なった部分を特にグラナ、膜以外の部分をストロマという。

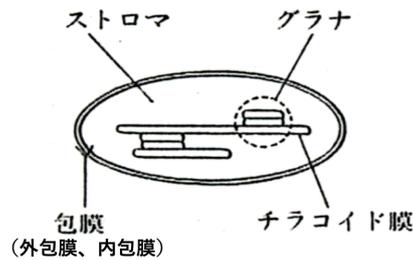


図1 葉緑体の構造

問4 ルビスコはストロマに局在し、炭酸固定の最初の反応を触媒する酵素として働いている。1分子のリブコース 1,5-ビスリン酸と1分子の二酸化炭素から2分子の 3-ホスホグリセリン酸を合成する。プラストシアニンは、チラコイド膜の内腔（ルーメン）に局在し、光合成の電子伝達に関わっている。光化学系 II 複合体において水から引き抜かれた電子は、シトクローム *b₆f* 複合体を介して光化学系 I 複合体に流れるが、プラストシアニンはシトクローム *b₆f* 複合体から電子を受け取り、光化学系 I 複合体の反応中心である P700 に渡す役割を担っている。

問5 ルビスコの場合、大サブユニットについては葉緑体内で遺伝子が転写されて mRNA が合成され、その後、mRNA が葉緑体のリボソームで翻訳されることでタンパク質が合成される。小サブユニットの場合は、核で遺伝子が転写されて mRNA が合成され、mRNA が細胞質に輸送された後、細胞質にあるリボソームで翻訳されてタンパク質が合成される。合成されたタンパク質は、葉緑体の包膜にあるタンパク質透過装置 (Toc と Tic と呼ばれる複合体) を通って葉緑体内に運び込まれる。このとき、タンパク質のアミノ末端領域にあるトランジットペプチドと呼ばれる配列が、葉緑体への移行シグナルとして働き、トランジットペプチドはタンパク質が葉緑体内に運び込まれるときに切断される。葉緑体内に運び込まれ、トランジットペプチドが切断された小サブユニットは、ストロマにおいて、葉緑体内で合成された大サブユニットと複合体を形成することでルビスコとして機能する。

プラストシアニンの場合は、ルビスコの小サブユニットと同様に、核で遺伝子が転写されて mRNA が合成され、細胞質のリボソームで翻訳されてタンパク質が合成される。合成されたタンパク質のアミノ末端領域には、トランジットペプチドとチラコイド膜の内腔に移行するためのシグナルとなる配列がそれぞれ存

在する。細胞質で合成されたタンパク質は、まずトランジットペプチドがシグナルとなって、葉緑体へと運び込まれてストロマに到達する。このとき、トランジットペプチドの部分は切断される。さらに、タンパク質はもう1つのシグナルによってチラコイド膜の内腔に輸送されるとともに、シグナルの配列部分が切断されて成熟タンパク質となり、光合成の電子伝達体として機能する。

第4問

出題意図

組織というのは細胞、器官、個体などという具体的な(可視的な)実体ではなく、構造と機能が類似した細胞の集団という、いわば抽象的な概念である。しかし、動物体内の種々の機能は、各器官を構成する組織細胞が担っているので、それに関する知識は動物の構造と機能を理解する上で重要である。この問題は、組織の定義や生物の階層の中で占める位置を正確に理解しているか、組織の中でもっとも多様な形態と機能を持つ上皮組織の性質を知っているかを問うものである。また、実験をもとに発生における組織間相互作用の性質と分子的基盤を考える能力を問うている。

解答例と解説

問1

(解答例) 組織は、形態および機能の類似した細胞の集団である。個体を構成する多くの器官は複数の組織から成り立っていることが多い。脊椎動物の組織は、上皮組織、結合組織(骨組織、軟骨組織、血球組織を含む)、神経組織、筋組織に分類される。

(解説) 組織の概念は重要である。細胞、器官、個体などは目に見える実態であるが、組織はいわば抽象的な概念である。しかし、体内で実際に機能するのは器官を構成する組織細胞である。

問2

(解答例) 上皮組織は、体内で、物質が自由に移動しては困る領域を囲んでいる細胞の集団である。皮膚の表皮、血管の内皮、消化管の内壁などが上皮組織である。細胞間には密着結合、デスモソームなどの構造が発達して、細胞を密に接着

している。一方、ギャップ結合によって、上皮細胞同士が連絡している。上皮組織は上皮細胞がそれぞれの機能に応じてどう形態に基づいて、扁平上皮、立方上皮、柱状上皮などに分類され、また細胞が単層であるか重層であるかによっても分類される。

(解説) 組織のうち、神経組織や筋組織はイメージしやすい。それに対して、上皮組織、結合組織は定義が難しい。上皮組織は、体の内外を区分する組織、と説明されることが多いが、実は体内にも多くの上皮組織がある。解答例に上げたように、体内には種々の物質が自由に移動しては困る部分が数多くあり、それらをコンパートメントとして仕切っているのが上皮組織である。例に上げた血管内皮や、腎臓の尿細管など数多くの「管」の内面には上皮細胞がある。そのような機能を果たすために、上皮細胞は密着して、いわば「水も漏らさぬ」構造を作り上げている。同時に、上皮細胞は、必要な物質を通過させる仕組みも持っている。

問3

(解答例) 実験から、背中の上皮の分化には結合組織が必要であることが分かる。細胞分化とは、その組織が果たすべき機能に必要な遺伝子を発現することになることである。少なくとも若い胚の皮膚の発生においては、上皮の発生運命を決定するのが結合組織であることが分かる。足の結合組織は何らかの分子を介して上皮の発生運命を変更させ、うろこをもつ上皮に分化させた。Bの結合組織がAの上皮に作用するためには、細胞外に分泌される分子を介すると考えるのが普通である。分泌された分子は、上皮細胞の受容体を介して上皮細胞の遺伝子発現に影響を与えて、分化の方向を変更させる。結合組織のこのような誘導能力は時間とともに変化し、発生が進行すると結合組織細胞内での誘導分子遺伝子の発現が終了し、もはや誘導能力がなくなる。

(解説) 発生における組織間相互作用の重要性はつとに知られたことであり、多くの研究がなされている。ここにあげた皮膚の実験は、組織間相互作用の例として有名な実験である。本来ある組織に分化するはずの組織を、別の組織に分化させることは、「誘導」とよばれる。またそこに関わる多くの分子(多くは成長因子)が同定されている。発生においては、結合組織の誘導能力と上皮組織の反応性が時間とともに変化し、正常の発生では誘導能力と反応性がマッチして上皮細胞は正しく分化すると考えられる。なお、この問題では「結合組織」としたが、正確には結合組織の前駆体である「間充織」である。間充織は、結合組織の他に

も種々の組織（例えば筋（肉）組織）に分化する、多能性をもった細胞集団である。

第5問

【解答例】

問1

（以下のいずれでもよい）

細胞分裂における密度依存性阻害（＝接触阻害）とカドヘリン

細胞分裂における足場依存性と細胞外マトリックス

免疫系に於ける抗原提示細胞あるいはB細胞とヘルパーT細胞の関わり合い

問2

ギャップ結合と呼ばれている構造で、隣接する細胞同士の細胞質がつながるような孔（チャンネル）を形成している。イオン、アミノ酸、糖、ATPなどがその孔を通過できる。ニューロンのギャップ結合は電気シナプスと呼ばれており、一方のニューロンが興奮すると、他方のニューロンにNaイオンが流入して脱分極、ひいては活動電位が生じる。

問3

問3-1. それぞれの標的細胞が、情報分子に特異的な受容体を持っているため

問3-2. 伝達物質依存性のゲートが開くが、興奮性の伝達物質が働いた時には興奮性シナプス後電位が、抑制性の伝達物質が働いた時には抑制性シナプス後電位が生じる。前者が閾値を超えれば、活動電位が発生する。

問3-3. 細胞内のカルシウムイオン濃度を高めるカスケード

第6問

【解答例】

問1 純生産量には、被食量のほかに生産者自身の成長量と枯死量が含まれるから（34字）

問2 消費者による生産者の摂食速度が大きく、かつ生産者の増殖速度が消費者の増殖速度よりも大きい (47字)。

問3 15% ($=270 \div 1,800$)

問4 イ

理由：森林では、生産者による純生産は一次消費者にとって利用しにくい成分の割合が非常に高い。そのため純生産の一部しか摂食されず、遺体等の有機物へと移動するエネルギー量が多くなるから (86字)。

第7問

実験的に得られたデータから何が読み取れるかを問う。自然界における法則性について、字面だけでなく、その内容までも理解できているかどうかを問う。

解答例

問1

A種、B種とも、実験に用いた種と同じように全体が赤く前翅先端部に黒い帯模様を有する。しかし鳥に対する毒性については、A種は無毒、B種は有毒である。

問2

- (ア) $(502-2)/100=5$ mg/日
- (イ) $(502-2)/50=10$ mg/日
- (ウ) $(502-2)/33=15.2$ mg/日
- (エ) $(502-2)/25=20$ mg/日

問3

以下から3つを記入 (下線部はグラフを作成しないと気づかないため加点対象とする)

- ・飼育温度が高いほど幼虫期間は急速に短くなる。
- ・幼虫の成長速度は温度が高いほど直線的に速くなる。
- ・幼虫は 10°C以下の温度では成長できない。

- ・それぞれの飼育温度から 10℃を超える温度の部分だけを積算すると、幼虫期間には 500℃×日という一定量が必要である。

問 4

(d)