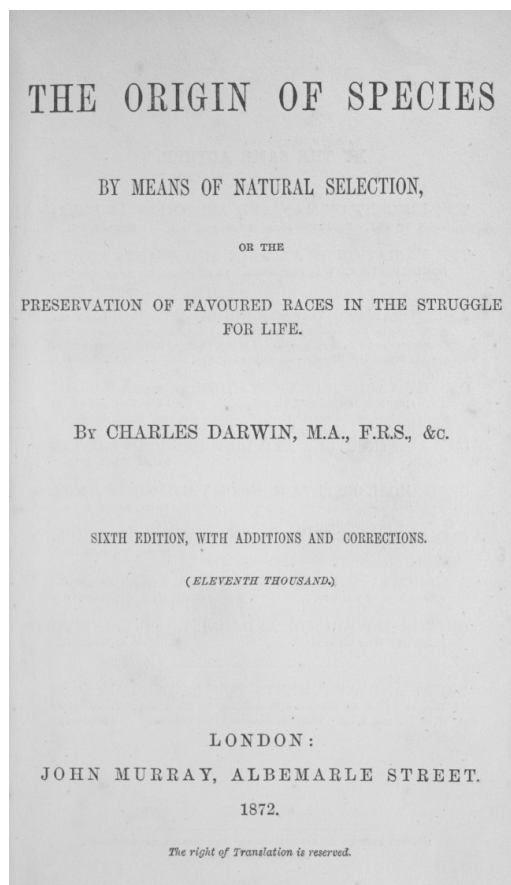


日本生物学オリンピック 予選問題

＜正解・解説＞

試験日：2011 年 7 月 17 日(日)



問1)【正解】A

【解説】DNA、RNA はともに核酸とよばれ、リン酸、糖、塩基の3つが結合したヌクレオチドとよばれる単位が多数結合してできている。DNA と RNA を比較すると、ヌクレオチドの中に含まれる塩基と糖の種類が異なっている。本問では、塩基の違いを考える。DNA のヌクレオチドは、塩基としてアデニン (A)、チミン (T)、グアニン (G)、シトシン (C) をもつ。一方、RNA のヌクレオチドは、塩基としてアデニン (A)、ウラシル (U)、グアニン (G)、シトシン (C) をもつ。したがって、表中のウイルスのうち、①、②、⑤がDNA ウィルス、③、④、⑥がRNA ウィルスである。

次に2本鎖か1本鎖であるかを考える。2本鎖のDNA ではA と T、G と C がそれぞれ相補的に結合しているので、このような2本鎖DNA をもつウィルスでは、A と T、G と C の存在比率がともにほぼ等しくなっている。逆に1本鎖DNA をもつウィルスでは、このような規則性は普通はみられない。言い換えると、このような規則性がみられない場合、1本鎖DNA であると考えられる。よって、①、②、⑤のうち、①と②は1本鎖DNA であり、⑤は2本鎖DNA である可能性が非常に高い。同様に2本鎖のRNA では、A と U、G と C がそれぞれ相補的に結合しているので、2本鎖RNA をもつウィルスでは、A と U、G と C の存在比率がともにほぼ等しくなっている。1本鎖RNA をもつウィルスでは、このような規則性は普通はみられない。したがって、③と④は1本鎖RNA であり、⑤は2本鎖RNA である可能性が高い。このようなことから、正解はA となる。

なお、参考までに動物に感染する代表的なウィルスをあげておく。1本鎖RNA ウィルスであるエイズウィルスは、逆転写酵素をもち、自分自身のRNA を鋳型として宿主細胞にDNA を合成させ(逆転写)、つくられたDNA が核内のゲノムに挿入される。

ウィルスの種類		具体例
DNA ウィルス	2本鎖	アデノウィルス(呼吸器疾患)、天然痘ウィルス
	1本鎖	パルボウィルス(発疹)
RNA ウィルス	2本鎖	ロタウィルス(下痢)
	1本鎖	おたふく風邪ウィルス、インフルエンザウィルス、エイズウィルス

注 () 内はそのウィルスによって引き起こされる症状の例。それぞれの症状には、ここにあげられたウィルス以外が原因となっているものもあることに注意。

問2)【正解】D 【部分点】A

【解説】核は系統1のヒツジに由来しているので、ドリーは遺伝的には系統1 とほぼ同一である。核を除去した系統2の未受精卵に系統1の体細胞を移植したので、独自のDNA をもつミトコンドリアは未受精卵のものであり系統2のミトコンドリア遺伝子が混入する。妊娠中の母胎の遺伝子は発生中の受精卵に影響しないので、系統3のヒツジの遺伝子が混入することはない。

ソメイヨシノ

日本中に広く分布しているソメイヨシノは、エドヒガン系の桜とオオシマザクラの交配によって作られた1本の木から、接ぎ木や挿し木など人の手によって増やされ、全国的に広がったと考えられています。したがって、ソメイヨシノはクローンであると考えられます。クローン植物は遺伝的に同一であるため、個体間の違いは気候などの環境の違いに依存しています。この観点から桜前線を考えてみるのも、おもしろいかもしれません。

問3)【正解】E

【解説】大腸菌をはじめ多くの生物では、グルコースが他の糖にくらべてよく使われている。またグルコースがあると他の糖の利用を抑制すること（グルコース効果）が知られている。この知識があれば、②と⑤が正解であることが予想できる。しかし、これらの知識がなくても、正解がえられる。

左図の増殖曲線の結果から、グルコースを糖とした方が乳糖よりも増殖が速いことがわかる。これら2種の糖を混合した培養では、1相目の増殖速度はグルコース単独のものと同しく、2相目の増殖速度は乳糖単独のものと同しい。このことからそれぞれの糖が同時に利用される場合や、乳糖が先に利用される場合には、このような2相の増殖曲線にはならないので①と③は誤りである。2相目の増殖速度は乳糖だけを糖とした増殖速度と同しいので、グルコースによって乳糖の利用が促進されるとはいえないため、④は誤りである。また乳糖よりもグルコースを炭素源として利用する増殖の方が速いことでは対数増殖速度の異なる2相になることを説明できないので、⑥は誤りである。最初にグルコースが利用され、その間には乳糖はほとんど利用されず、グルコースを使い終わってから、乳糖が利用されていると仮定すれば矛盾がない。よって、この実験から示唆される内容は②と⑤となり、組合せEが正解である。

問4)【正解】C

【解説】遺伝子の本体であるDNAに含まれるA（アデニン）T（チミン）G（グアニン）C（シトシン）の4種類の塩基の配列が遺伝情報となっている。DNAの3つの塩基が1つの暗号（コドン）となって読まれ、タンパク質が合成される際、アミノ酸配列が決まる。

この問題は、こういった遺伝暗号の解明をするきっかけとなった実験をモデル化したものである。つまり、●○■□は4種類の塩基を示しており、カタカナはアミノ酸を示している。

遺伝暗号を解明した実験では、人工的に合成したU（ウラシル）ヌクレオチドだけからなるmRNAをもちいて、タンパク質を合成した。すると、フェニルアラニンが多数つながったポリペプチドが合成されることがわかった。一方、AとCが連続してつながったmRNA（ACAC）からは、トレオニンとヒスチジンが繰り返してつながったポリペプチドが合成され、CAAが連続したmRNAからは、グルタミン、アスパラギンまたはトレオニンが多数つながったポリペプチドが合成された。ここから、2つに共通に見られる3つ組はACAなので、これがトレオニンを指定するものだということがわかる。さらに、CACがヒスチジンということもわかる。

その後、この方法は改良され、3つのヌクレオチドがつながっただけのRNAにリボソームを加えて、ここに放射性同位体でアミノ酸を結合させたtRNAを加えるという実験からコドン表が完成されていった。

まず、この問題では、●●●は「ゲ」となる。さらに、…○●●○…は、○●○と●●●の2通りの暗号を含むことになり、iiiの…○●●○●…は、●●●、○●●、●●○の3種類の塩基配列をもっているため、ここで2つに共通の●●●が、2つに共通の文字「ト」ということになり、○●○は「ム」となる。このようにして解読していくと、□■□が「ノ」、■□■が「ヒ」となる。

同義的变化と非同義的变化

コドンの中で塩基が1つ変化すると、アミノ酸が変化する場合とアミノ酸が変化しない場合があること気づきます。たとえば、CCCはプロリンを指定しますが、コドンの1番目がCからGに変わると、GCCとなり、アラニンを指定します。同様に、コドンの2番目がCからGに変わると、CGCとなり、アルギニンを指定します。一方、コドンの3番目がCからGに変わると、CCGとなり、プロリンを指定します。

CCCとCCGはともにプロリンを指定するので、CCCからCCGへの変化は同義的变化とよべます。一方、指定するアミノ酸が変わる変化は、非同義的变化です。非同義的变化は、指定するアミノ酸を変えるため、生物にとって有害なことが多く、自然選択により生物集団から排除される可能性が高くなります。

問5)【正解】B

【解説】標識チミジンを取り込んだ細胞は、1 時間に 5%ずつ増加しており、添加後 16 時間で 100%に達する。このとき、標識チミジンを添加したときにちょうど S 期を終了していた細胞が再び S 期に入り始めている。つまり、16 時間とは全細胞周期から S 期の長さを引いた時間である。ところで、S 期の長さは、計算上 0 時間での取り込み細胞の割合が 20%になることから、全細胞周期の 20%を占めることが分かる。S 期の長さを x とすると、 $(16 + x) \times 0.2 = x$ より $x = 4$ となる。よって、S 期の長さは 4 時間であり、全細胞周期の長さは 20 時間となる。

類似の手法は、さまざまな突然変異マウスや遺伝子改変マウスにおける神経幹細胞の細胞周期の解析に実際にもちいられている。

問6)【正解】B

【解説】アオノリ属の海藻は、輸入割当量が決まっている品目であるが、アオサ属の海藻は、自由に輸入できる品目である。したがって、輸入する時には、この 2 つのグループを判別する必要がある。しかし、商品名がともに「青のり」であり、輸入形態が主に粉末であることから、通関の現場で顕微鏡観察により両者を区別することは困難であった。そこで、PCR をもちいた方法が考案された。

問題自身は、コントロール実験を考えさせるものである。PCR の結果、アオノリ特有の塩基配列に対応するバンドが見られなかったからといって、ただちに「これはアオノリではない」とはいえない。1 つは、アオノリであるとわかっている DNA をもちいて、バンドが出ることを確認しないと、操作や試薬が不適當であった可能性を否定できない。さらに、アオサ属ではそのバンドが出ないことも確認しておく必要がある。したがって、①と④が必要である。

【参考】 畠田 智 (現お茶の水女子大学) 海藻の分析方法 特許第 4122380 号

問7)【正解】H 【部分点】I

【解説】外気から取り入れた CO_2 を直接使って炭酸固定をおこなう C3 植物では、強光・半乾燥条件下で（光合成はさかんなのに気孔が十分に開いておらず外気からの CO_2 取り入れが不足するため）組織内の CO_2 濃度が低下したり、高温下でルビスコの CO_2 親和性が低下したりすると、酸素化反応がカルボキシ化反応に優先して、炭酸固定が制限されてしまう。これに対し C4 植物の C4 型光合成では、まず葉肉細胞のホスホエノールピルビン酸 (PEP) カルボキシラーゼが PEP と CO_2 からオキサロ酢酸をつくり、オキサロ酢酸に由来する有機酸が維管束鞘細胞に輸送されて CO_2 を放出し、この CO_2 を使ってルビスコが炭酸固定をおこなう、という経路をたどる。この場合は、維管束鞘細胞の CO_2 濃度が高く保たれるので、ルビスコによる反応では常にカルボキシ化が優先し、炭酸固定の効率が維持される。C4 型光合成は、仕組みが複雑なために、C3 型光合成よりコストがかかるが、強光・半乾燥、高温など、C3 型光合成の炭酸固定の効率が低下するような環境条件では、生育に有利となる。本問で仮定された仮想世界では、ルビスコの CO_2 親和性が高温でも低下しないので、C3 型光合成の炭酸固定に対する温度の影響が緩和され、高温域における C4 植物の優位性が相当程度失われる。したがって、C4 植物の分布は縮小するものと予想される。CAM 植物の場合は、夜間に気孔を開いて CO_2 を取り込み、有機酸として貯蔵し、昼間は気孔を閉じて有機酸から放出された CO_2 を使って炭酸固定をおこなう。これには気孔からの水分の損失を抑える意味があり、きわめて乾燥した環境への適応と考えられている。ルビスコの性質の温度依存性が変化しても、乾燥地域での CAM 植物の優位性がただちに失われるわけではなく、また他の環境での CAM 植物の優位性が新たに生じるわけでもないで、CAM 植物の分布はあまり変わらないものと予想される。

問8)【正解】D

【解説】青色光が植物で光屈性を引き起こすことは19世紀以来よく知られているが、青色光の効果はそれだけではないことが最近20年間にわかってきた。それが明らかになったのは、植物に存在する何種類かの光受容物質の一つひとつに欠損がある突然変異体がシロイヌナズナで得られるようになったからである。

青色光に反応する光受容物質は、植物ではおもにフォトトロピンとクリプトクロムである。前者が光屈性の光受容体で、後者は茎の伸長や光周性で機能している。フォトトロピン欠損突然変異体に青色光を照射すると、光屈性を示さないばかりでなく、胚軸（芽生えの茎にあたる器官）の成長方向がばらばらになる。暗黒下ではフォトトロピン欠損突然変異体芽生えは上方に成長し正常な重力屈性を示すのだから、青色光は重力屈性を阻害する効果ももっていること、そしてその青色光を受容しているのはクリプトクロムであることがわかる。さらに、野生型やクリプトクロム欠損突然変異体は青色光下ではフォトトロピンの作用によって光源の方向（上方）に成長しているのだと予測できる。

この結果から、植物の成長方向を調節する光の効果は二重になっていることがわかる。1つは光屈性で、光源の方向に植物を成長させる。2つ目は重力屈性を弱めることである。光は自然状態で植物の真上から降りそそぐとはかぎらないので、これは植物を重力方向より光の来る方向に優先的に成長させるための仕組みなのだと考えられる。

【参考文献】Ohgishi, M. et al. (2004) Proc. Natl. Acad. Sci. USA 101:2223-2228.

問9)【正解】A

【解説】葉を植物体から切り離すと、老化抑制ホルモンであるサイトカイニンが根から道管液を介して供給されなくなるため老化が進みやすくなる。また、クロロフィルなどの葉緑体タンパク質の遺伝子発現は光によって誘導されるので、暗所ではそれらのタンパク質が合成されず、老化が進む。一方、花が咲いて果実が形成されると枯れてしまう植物（一回結実性植物）であるダイズでは、鞘の中に形成されてきた若い種子によって生産されるシグナル（未同定）が根にはたらきかけて、根におけるサイトカイニンの生産を抑制することで親植物の老化を促進すると考えられている。

問10)【正解】E

【解説】茎と葉の特徴のうち、器官の形態や機能ではなく、発生の仕方によって決まるようなものは何だろうか。これが解答のポイントとなる。

葉緑体、気孔、毛は、そもそも葉にも茎にも存在するので、葉と茎を識別するための決定的な手掛かりとはならない。葉の変形であろうと、茎の変形であろうと、巻きひげは他の植物に巻き付くという同じ機能に特化している。したがって、普通の葉の最重要機能である光合成との関連を考えて、葉緑体の発達度合いや気孔の数を識別の参考にすることもできない。維管束の分岐は、普通の扁平な葉では葉脈とよばれる独特の複雑なパターンをなし、普通の茎にみられるパターンとは異なっている。しかし、この維管束の分岐は、器官の種類だけでなく、器官の形態との関係が深い。細い棒状あるいは糸状の巻きひげでは、葉に由来するものであったとしても、葉脈のようにではなく、ずっと単純なパターンを示す。木部と師部（篩部）は、葉の断面では表側に木部、裏側に師部というように片寄った配置をとるが、茎の断面では内側に木部、外側に師部をもつ維管束が全体として放射相称の配置をとる。これは器官の発生の仕方による基本的な違いであるため、一般には外部形態や生理機能の変化によらず保たれる。以上より、巻きひげが葉の一種なのか茎の一種なのかという問題については、木部と師部の配置がもっとも有用な情報を与える。

木と草

一般的に「木は木質の硬い茎をもっている植物」であり、「草は木質があまり発達していない軟らかい茎をもっている植物」といわれます。しかし、木なのか草なのかわからない植物が結構あります。著名な植物分類学者に「木と草を区別できるかどうか」きいてみました。答えは「区別できません」でした。

問 11) 【正解】 D 【部分点】 B

【解説】最も適当な実験として、正常個体から S 細胞を分離して X 線照射した個体に移植し、再生能力が回復するかどうかを調べることがあげられる。B も実験としては正しいが、S 細胞が幹細胞であるかどうかを直接に検討できるのは実験 D である。実験 F も、S 細胞が新たに生じるかどうかを知ることができて、興味ぶかい実験であるが、「もっとも適当な」という判断基準からは D が優先である。選択肢の D、E では、S 細胞のみを単離することが必要であるが、それは細胞分別法（セルソーティング）などの技術で可能になっている。

問 12) 【正解】 F

【解説】CCR5 突然変異遺伝子をホモ接合体でもつ人が HIV に感染しないことから、CCR5 と HIV の結合を阻害すると、HIV の T 細胞への感染を防ぐことができる。その応用として、いろいろな方法が考えられ、実験が進められている。②は HIV が CCR5 と結合する前に、CCR5 と結合するタンパクにより「鍵穴」をふさいでしまおうという方法。③は T 細胞に CCR5 を発現させないようにする方法。⑥は gp41 と結合するタンパクにより、「鍵」に袋をかけてしまおうという方法。マラビロク（製品名「シーエルセントリ」ファイザー製薬）として、2009 年 1 月に販売が開始されている。ただし、CCR5ではなく、CXCR4 を足がかりに感染する HIV もあるため、事前に CCR5 指向性検査をおこない、この薬剤が有効かどうかを確かめてから使用する必要がある。①は全く意味がなく、④⑤は DNA 分解酵素を血液内に入れても、核内はおろか、細胞内にも届かないので効果は期待できない。

【参考】厚生労働科学研究費補助金エイズ対策研究事業

HIV 感染症及びその合併症の課題を克服する研究班

<http://www.haart-support.jp/index.html> ほかに多数

問 13) 【正解】 C 【部分点】 D

【解説】自律神経系に関する基礎知識を理解した上で、実験データからその機能に関して考察できるか否かを問う問題である。データ自体の解釈は比較的容易であると考えられるが、慎重に解釈した上でそれぞれにどの程度その重みづけをする能力があるかが問われる。①②④⑤は実験結果を読み取った上で基本的な知識に照合すれば、①④⑤は正しく②は間違いであることは明らかである。③は図 a から震えが引き起こされることを読み取ればすぐに間違いであることに気づく。すなわち、震えることによって熱産生を促し、体温を維持するというからだのフェイルセーフシステムがはたっていることが理解できるはずである。また、⑥は実験結果(4)の「実験室内の安定した環境」という記述に気づけば、この実験で示されているような特殊な状況が重なった場合には誤った記述になることが判断されるであろう。以上の考察から①④⑤が正しいことになる。

この問題から、自律神経系はその存在を普段は意識することはないが、環境の変化にからだを適応させる上できわめて重要なはたらきをしていることを理解してもらいたい。また、これを機に自律神経系の構造や機能を調べてみると、あなた方が考えたことのないところにも自律神経系が関与していることがわかり、その精緻な機能に感嘆するであろう。

問 14) 【正解】 H

【解説】細胞分化の誘導として考えればよい。実験条件の違いは、黒色色素細胞を除去したかどうかである。既存の黒色色素が除去されたことによって黒色色素細胞の分化が増えたので H は肯定できる。E～G は実験結果から支持されない。黄色色素細胞の条件は同じであるため A～D は判断することができず、推論として導くことができない。

実際のところは、黄色細胞どうしの分化抑制や、黒色細胞どうしの分化抑制、黄色細胞による黒色細胞の分化促進などがあり、しかもそれらの細胞間相互作用は近距離ではたらくものや遠距離ではたらくものなど、複雑な細胞間相互作用がある。しかしここでは、示された実験だけから考えられることに限定してよい。研究の過程では、えられた結果から仮定を立て、それを検証する実験をおこない、ということを繰り返して推論を疑いのないところまで突き詰める。その過程の中のひとつが、この問題で問われていることになる。

【題材】Proc Natl Acad Sci USA 106:8429 (2009) 実験の一部を模式的に示した。

問 15) 【正解】 F 【部分点】 H

【解説】ヒトの心臓と血液循環に関する基礎知識を有した上で、異常な状態が起こった際の現象を考察できるか否かを問う問題である。問題文の行間を読み取って分析すれば、医学の専門的な知識がなくても解ける。文中のヒントから①は F, G, H に絞られる。その上で、圧力の差を考えると②③もすぐにそれぞれ左、右であることがわかる。あとは二者択一であるが、たとえ右が肺循環であることを知らなくても、問題文から④は肺になることがわかる。以上の考察から F が正しいことになる。心室中隔欠損は比較的良好に見られる先天性心疾患であり、その病態は逆流の程度によって刻々と変わるので、循環器系の機能を理解する上では重要な症例である。両生類の 2 心房 1 心室に較べてはるかに効率がよい 2 心房 2 心室をもつヒトの心臓であるが、これを機会にさまざまな動物の心臓の構造を学び、その効率を比較してみるとよい。

問 16) 【正解】 F

【解説】ヒトの視覚伝導路についての理解を問う問題である。ヒトの視覚伝導路に関する解剖学はキャンベル生物学にも記述があり (図 49.24、日本語第 7 版 pp1171)、また正解を導くために必要な情報は設問文に含まれている。該当箇所に傷害を受けたときにどのような症状が表出するかを問う本問題は論理的思考力を検定するのに適している。①での傷害は両側性耳側半盲 (正解は B, D, F, H)、②では右眼鼻側半盲 (正解は D, F)、③では同側半盲 (正解は F, G) がそれぞれ見られる。したがって、これらすべてを満たすのは F のみであり、これが正答となる。

視覚伝導路は網膜から始まり後頭葉の一次視覚野にいたる長い伝導路であり、網膜という球面に投影された視野情報は、その 2 次元座標にしたがってどの神経線維 (神経繊維) を通って伝達されるかが決まっている。視野欠損の様式を調べることとで脳の傷害部位を推定できるという点で、本問題の背景を理解することは臨床的にも重要となっている。上述の 3 つの様式以外にも、どちらか片方の眼球の視野 1/4 が失われる四分盲などがあるが、視覚伝導路のどこに傷害を受けた場合にそうなるか、調べてみるとよい。

問 17) 【正解】 F

【解説】脳・アラタ体の移植による体色を黒化させる効果は一回限りであったことから、脳・アラタ体には黒化ホルモンが貯蔵されていたが産生されてはいないことがわかる。いっぽう食道下神経節の移植では黒化させる効果が繰り返されたことから、食道下神経節で黒化ホルモンが産生されていることがわかる。よって、まず A, B, D, E が棄却される。実験 4 の結果から脳・アラタ体の関与があり、C では説明できない。F であれば実験結果のすべてを説明できる。

アラタ体は、幼若ホルモン (Juvenile Hormone, JH) の産生・分泌を行う器官であるばかりでなく、脳や食道下神経節の神経内分泌細胞で産生されたさまざまなペプチド性ホルモンの分泌器官でもある。脳や食道下神経節の神経内分泌細胞の多くからは長い軸索がアラタ体まで達し、アラタ体の中に入り込んだ神経終末から開口放出によってホルモンが分泌される。

【題材】「生命をあやつるホルモン」 日本比較内分泌学会 講談社ブルーバックス p154-157

問 18) 【正解】 H 【部分点】 G

【解説】 Xの個体数の最大値はYの個体数の最大値より大きい。また、Xの増減を追いかけるようにYが変動している。このことからXは被食者、Yは捕食者と判断できる。グラフの右下から始めると、被食者増加で捕食者増加、捕食者増加で被食者減少、被食者減少で捕食者減少、捕食者減少で被食者増加・・・という変化が繰り返される。グラフは、反時計回りの閉鎖円を描き、捕食者の変動は被食者の変動から1/4周期遅れている。これはロトカ・ヴォルテラの捕食式をグラフ化したものである。

問 19) 【正解】 A

【解説】 鳥類のなわばりは、海鳥のように巣の周辺だけの繁殖専用のものもあるが、陸上では、つがいいでヒナを育てるためのエサ場の確保の意味をもつものが多い。大きな鳥類ほど多くのエサが必要となるため、なわばりは広くなる。一方、生産者である植物よりも消費者である動物の方が現存量が少ないため、その動物を食べる鳥類の方が同じ大きさでもより広いなわばりを必要とする。

【参考文献】 伊藤嘉昭, 山村則男, 嶋田正和 (1992) 動物生態学 蒼樹書房

問 20) 【正解】 E 【部分点】 C

【解説】 動物の行動はさまざまな環境によって変化する。特定の経験に基づき行動が変化することを学習とよぶ。とくに、古典的条件付けによる連合学習は脊椎動物にかぎらず、無脊椎動物にも広く観察される現象である。本実験では色への報酬としてショ糖水を設定し、この2つの間で連合学習が起こるかどうか調べた。実験aではまず色の好みの有無について調べた。実験aではハエ2頭とも黄色を訪問する回数が相対的に多く、ハエはこれらの色のうち、黄色を好むことがわかる。実験bでは3色の中でaに比べて訪問回数が顕著に増えたのは青である。また、緑の訓練では緑への訪問回数が増加していないことから、色によって学習の成立のしやすさが異なることがわかる。さらに、実験bの3回の結果を比較すると、ハエA・Bの青やハエAの黄色については回数を増すごとに訓練した色への訪問回数が増えることから、訓練回数を増やすごとに学習効率が上がっていることがわかる。

問 21) 【正解】 F

【解説】 触覚を切り取るとまったく行動を示さなくなることから、フェロモンを感知するのは触覚であることが予想される。フェロモンの刺激により羽ばたいている雄の触覚を切り落としても羽ばたきを続けることから、触角からの感覚ニューロンが運動ニューロンに直接つながるような反射によるものではないと考えられる(②の否定)。次に頭部を切り取ると羽ばたきがやむことから頭部の中枢神経からの指令が関係することがわかる。一方、普通に見られる昆虫の羽ばたきは接地すると抑制されること(V)、頭部を切り取った雄の羽ばたきもこの抑制を受けること(IV)から、反射的なものであることが予想される。さらに、フェロモンによる羽ばたきでは肢が接地し歩きながらも起こる(本文)が、フェロモンの刺激を受け取った個体でも、その情報が頭部から伝わらなくなると、接地による抑制を受けるようになること(Ⅲ)から、フェロモンによる行動の方が優先されていると考えられる(⑥の否定)。

問 22) 【正解】 G

【解説】生物のある性質に対して、至近要因と究極要因をたずねる 2 つの問いの両方を発することができる。至近要因とは、その性質をうみだす直接的な機構（遺伝的、生理的、構造的）であり、それがどのようなものであるかという問いは至近的問いといわれる。一方、究極要因とは、その性質が自然選択によって選ばれた進化的意義を説明する要因であり、なぜその性質をもつことが自身の適応にとってよいのかという問いは究極的問いといわれる。この 2 つの問いの区別は、行動生態学に端を発しているが、生物学の広い現象に当てはめることができ、進化生態学の基礎的で重要な概念である。ここでは、植物の自家不和合性を題材に 2 つの要因の区別を求めた。③は自家不和合性の遺伝・生理的機構を簡単に説明するものであり、至近要因について述べている。②は生存率という適応度の重要な要素に対する自家不和合性の効果を説明するものであり、究極要因について述べている。①は自家不和合性の発生・生理に関する内容ではあるが、自家不和合性を打破する技術について述べており、至近要因を直接説明するものとはいえないであろう。④は異なる自家不和合性様式の植物の科における分布を述べており、自家不和合性の進化に関係する説明ではあるが、歴史要因として直接的な究極要因からしばしば区別される内容のものである。

問 23) 【正解】 G

【解説】有性生殖のもっとも大きな利点のひとつは、子孫の遺伝的多様性を高めることであり、多くの生物は遺伝的多様性を高めることで環境変化に適応してきた。被子植物ではこのために自家受精を防ぐしくみを発達させてきたものが多い。雄ずい（めしべ）の成熟の時期がずれているもの、雄ずいとめしべの配置の工夫により花粉媒介者による受粉が同一の花の中ではできないものなどもある。ここで取り上げたのは、1 つの遺伝子座の複対立遺伝子によって不和合性が起きる自家不和合性の例である。問題文より、花粉のもつ S 対立遺伝子と、めしべのもつ 2 つの S 対立遺伝子に共通のものがあるとき、花粉管の伸長が阻害され受精が起きない。父親系統がつくる花粉の遺伝子型は S_1 と S_3 、このうち S_1 の花粉は、めしべのもつ遺伝子と共通なので受精することができない。一方、めしべのつくる配偶子の遺伝子型は S_1 と S_2 であるから、 F_1 の遺伝子型は $S_1S_3 : S_2S_3 = 1 : 1$ となる。

問 24) 【正解】 E

【解説】 G の座乗している染色体 2 本を $G1$, $G2$ とし、 g の座乗している染色体を $g1$, $g2$ とする。減数第一分裂での相同染色体対合の組合せは、 $G1-G2$ と $g1-g2$, $G1-g1$ と $G2-g2$, $G1-g2$ と $G2-g1$ の 3 通りで、これらが同じ確率で起きる。 $G1$ と $G2$, $g1$ と $g2$ の区別をしなければ、① $G-G$ と $g-g$, ② $G-g$ と $G-g$ の 2 つのケースに整理され、①:② = 1 : 2 である。①の場合、減数第二分裂で生じる細胞はすべて Gg の遺伝子型となる。②の場合は、減数第二分裂で生じる細胞の遺伝子型は $GG : Gg : gg = 1 : 2 : 1$ となる。①と②をまとめると、

$$GG : Gg : gg = \left(\frac{1}{3} \times 0 + \frac{2}{3} \times \frac{1}{4} \right) : \left(\frac{1}{3} \times 1 + \frac{2}{3} \times \frac{2}{4} \right) : \left(\frac{1}{3} \times 0 + \frac{2}{3} \times \frac{1}{4} \right) = 1 : 4 : 1$$

問 25) 【正解】 C 【部分点】 D

【解説】ハーディ・ワインベルグの法則から、O 型遺伝子の頻度は 0.36 の平方根より 0.6 と推定される。これから、A 型と B 型の遺伝子の頻度の合計は 40% となり、この割合を仮に P とすると、O 型遺伝子をまったくもたない人の割合は、 P^2 、つまり 16% になる。O 型の人の作る配偶子はすべて O 型遺伝子をもつので、これが集団中の O 型配偶子と無作為に組み合わせあってホモ接合体（つまり O 型）になる確率は集団中の O 型遺伝子の頻度と等しい。

問 26) 【正解】 F

【解説】 遺伝子型が AG である子は、 A タイプのサブユニットを作る確率が $1/2$ である。このため 4 量体である $ALDH$ のサブユニット 4 つがすべて A タイプになる確率は、 $(1/2)^4 = 1/16$ となる。このため活性は母親の $1/16$ となると考えられる。

問 27) 【正解】 F 【部分点】 J

【解説】 遺伝子座 S は X 染色体上に位置していると考えられ、個体 1 と 2 は男性、個体 3 と 4 は女性であると判断できる。遺伝子座 R では、個体 4 だけが変異をもっている。したがって、個体 4 は親である。この結果、個体 4 は母、個体 3 は姉である。個体 4 が母であるとき、遺伝子座 P より個体 1 は弟ではないことがわかる (P_2P_2 の親から P_1P_1 の子は生まれない)。したがって、個体 1 は父であり、個体 2 は弟である。以上の結果、 F が正解である。

問 28) 【正解】 J 【部分点】 I

【解説】 2 種類の突然変異の表現型は区別がつかないという点を除けば、単純な伴性遺伝の問題。(1) x が常染色体にあるとすると、 F_2 世代の分離比は $+:x=3:1$ になると期待される。一方、 $+:f$ は $1:1$ になることから、これら二つの分離比の独立組合せから、 $m+:+$ は $5:3$ となる。(2) F_1 の遺伝子型は、雌が $f+/x$ であり、雄は $f+/Y$ (Y は Y 染色体を示す) である。 F_2 世代における組換え型は雌では非組換え型と区別できない。そこで雄の結果だけに注目すると、 $+$ の雄は $+ /+Y$ の組換え型であり、もう一つの組換え型である fx/Y がこれと同数いるはずなので、組換え価は $64/200 = 32\%$ と推定される。

問 29) 【正解】 B

【解説】 動物では多くの場合、性が性染色体によって決まっており、雄ヘテロ型 (XY 型, XO 型) 雌ヘテロ型 (ZW 型, ZO 型) が知られている。同じ XY 型であっても哺乳類とある種の昆虫 (キイロショウジョウバエなど) の性決定における性染色体の役割には大きな違いがあるが、ここでは知識ではなく、この表から読み取れることが求められている。まず、 X 染色体をもたないものは生存することができず、 Y 染色体をもたないものは生存していることから、 X 染色体上には生存にとって重要な遺伝子が存在していると考えられる。次に性の決定に関しては、 $2A+X$, $2A+XY$ がともに雄、 $2A+XX$, $2A+XXY$ がともに雌であることから、 Y 染色体は性の決定に関係ないことがわかる。一方、 $2A+XX$ は雌、 $3A+XX$ は間性であることから、常染色体の数が性の決定に関係することがわかる。

キイロショウジョウバエでは性は常染色体の数と X 染色体の数の比で決まり、 X/A が 1.0 以上のときは雌、 0.5 以下だと雄、 $0.5 \sim 1.0$ の間の時に間性となることが知られている。

性染色体が関与する性決定

性決定機構には、遺伝によるものと環境によるものがあります。遺伝による性決定機構は、さらに性染色体が関与しているものとそうでないものに区別されます。以下は性染色体が関与する性決定様式の例です。

XY 型	XX (雌)	XY (雄)	例: 多くの哺乳類, 昆虫の一部
XO 型	XX (雌)	XO (雄)	例: 昆虫の一部, ネズミの一部
XO 型	XX (雌雄同体)	XO (雄)	例: 線虫 <i>C. elegans</i>
ZW 型	ZW (雌)	ZZ (雄)	例: 多くの鳥類
ZO 型	ZO (雌)	ZZ (雄)	例: 昆虫の一部

問 30) 【正解】 D

【解説】陸上植物と緑藻はどちらもクロロフィルaとクロロフィルbをもつ葉緑体をもっていることから、陸上植物は緑藻から進化したものと考えられている。葉緑体は光合成の能力を獲得したシアノバクテリア様の生物が他の細胞に取り込まれてできたと考えるのが、マーグリスが提唱した「共生説」であり、現在では定説となっている。この結果、葉緑体はもともとの細胞膜と宿主細胞の膜の2枚の膜をもっていることになる（ここでは「二重膜葉緑体」とよぶ）。しかし、藻類の中には、四重の膜をもつ葉緑体をもっているものがある。四重膜葉緑体は、二重膜葉緑体をもつ細胞がさらに別の細胞に取り込まれて生じたものと考えられ、「二次共生」といわれている。この場合、二重膜葉緑体をもつ細胞の核がその外側の二重膜に包まれて残ることになるが、核は退化してしまうことが多い。実際、四重膜の葉緑体には外側の二重膜の中に核の痕跡を残す生物もある。コンブやワカメなどの褐藻（最近では黄色植物の一部として分類されている）やクロララクニオン藻には、四重膜の葉緑体がみられる。したがって、これらは二次共生によって生じたと考えられる。また、緑藻や緑色植物の葉緑体は二重膜で、光合成色素はクロロフィルaとクロロフィルbであり、紅藻の葉緑体は二重膜であるが光合成色素はクロロフィルaとクロロフィルcである。このことから、緑藻型の光合成色素をもつクロララクニオン藻は、緑藻が二次共生したものと考えることができる。同様に、紅藻型の光合成色素をもつ褐藻は、紅藻が二次共生したものと考えることができる。

表紙 「自然選択による種の起源」第6版（ダーウィン著）の扉

チャールズ・ロバート・ダーウィン（Charles Robert Darwin）が提唱した自然選択説は、その後の生物学者に大きな影響を与えました。自然選択説は、「生息環境に適応したものは生き残り、生息環境に適応できないものは排除される」ことであり、適者生存（Survival of the Fittest）ともいわれます。

進化生物学、集団生物学、形態学、多様性生物学の分野で顕著な貢献をした研究者には、ダーウィンの名前にちなんで、英国王立協会よりダーウィン・メダルが贈られます。第1回（1890年）の受賞者は、ダーウィンと共同で1858年に自然選択説を発表したアルフレッド・ラッセル・ウォレス（Alfred Russel Wallace）です。

日本人で唯一のダーウィン・メダル受賞者は、1992年に受賞した木村資生です。木村は、「分子レベルの進化では、自然選択よりも偶然性が重要である」とする分子進化の中立説を1968年科学雑誌Natureに発表しました。自然選択説を適者生存というのに対し、中立説は幸運者生存（Survival of the Luckiest）といわれます。1969年にキングとジュクスは、同様の趣旨の論文を「非ダーウィン進化」という刺激的なタイトルで科学雑誌Scienceに発表しています。その後、中立説支持者と自然選択説支持者の間で大きな論争が起きました。現在、中立説の考え（偶然性の重要性）は、生物学だけでなく、さまざまな分野に大きな影響を与えています。