

第2回全国生物学コンテスト

生物チャレンジ2009

第一次試験問題

<解答・解説>

試験日:2009年7月19日(日)

国際生物学オリンピック日本委員会



問1) 【正解】 C

【解説】 A. サツマイモやヤマノイモのイモは根が変化したものであるが、ジャガイモのイモは茎が変化したものである。 B. 植物学的には子房が変化したものを果実と呼ぶ。多くの果物の可食部分は子房の壁が肥大したものであるが、オランダイチゴの食べる部分は花のつけ根（花托）が肥大したものである。リンゴの食べる部分も花托が変化したものであり、これらを偽果と呼ぶ。イチゴの果実は表面についているつぶつぶの部分である。このつぶつぶは、種子と混同されるが、種子が薄い果皮に包まれた果実で、瘦果と呼ばれる。ちなみに、瘦とはやせたという意味である。 C. タマネギの食べる部分は「鱗片葉（りんぺんよう）」と呼ばれ、葉の変化したものである。 D. ダイズやソラマメのようなマメ科植物では、胚乳は退化し発芽のための栄養分は子葉に貯えられている。このような種子を無胚乳種子という。 E. ダイコンやニンジン双子葉植物であり、ひげ根ではなく主根と側根をもつ。食べる部分は主根が肥大したものであり、よく観察すると細い側根が縦に並んでついているのが分かる。 F. レンコンはハスの地下茎であり、泥の中では酸素が不足するため、地上部とつながった空気の通る穴があいている。

問2) 【正解】 D

【解説】 インフルエンザウイルスは最も小さくて、光学顕微鏡の解像度（ $0.2 \mu\text{m}$ ）に満たないので電子顕微鏡を使わないと見ることはできない。大腸菌は細菌としては標準的な大きさであり、高性能の光学顕微鏡で観察できる。ヒトの赤血球は低倍率の顕微鏡でも十分に観察できる。ゾウリムシは虫眼鏡でも観察可能である。ショウジョウバエは非常に小型のハエで、体長は3 mm程度である。メダカの成魚は3 cm程度に成長する。それぞれのおおよその大きさは以下の通り。

- | | |
|--------------|--|
| ⑥インフルエンザウイルス | $0.08 \mu\text{m}$ (0.00008 mm) |
| ②大腸菌 | $1-2 \mu\text{m}$ (0.001 mm) |
| ①ヒトの赤血球 | $7 \mu\text{m}$ (0.007 mm) |
| ④ゾウリムシ | $200 - 300 \mu\text{m}$ (0.2 mm) |
| ⑤ショウジョウバエ | 3 mm |
| ③メダカ | 3 cm (30 mm) |

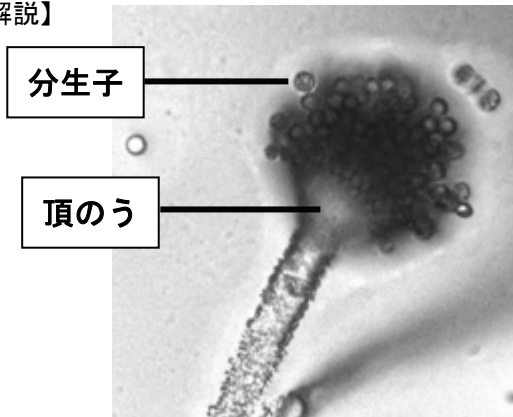
問3) 【正解】 A

【解説】 最近の考え方によれば、生物は大きく古細菌、真正細菌、真核生物という3つのドメインというグループに分けられる。このうち古細菌と真正細菌は核やミトコンドリアなどを持たない原核生物である。核やミトコンドリアなどを持つ真核生物は原生物界、動物界、植物界、菌界に分けられる。植物界は有機物を自分で合成できる独立栄養であることが特徴である。動物界と菌界に属する生物は外から栄養分を取り入れるが、動物は摂食つまり食べることによって消化器官内で食物を分解・吸収する。菌界に属する生物（真菌類）にはいわゆるカビ・キノコ・酵母のなかまがあるが体外に酵素を分泌し周囲にある有機物を分解・吸収する。真菌類のからだは菌糸でできているが、酵母菌は例外で単細胞で、細胞の一部に小さい突起のようなものができてそれが成長して新しい個体になるという出芽というふえ方をする。酵母菌はアルコール発酵を行い、酒類やパンなどの製造に古くから使われてきた。他の生物に寄生する真菌類もあり、水虫の原因になる白癬菌は皮膚の角質層に寄生する。植物の病気を引き起こす真菌類も多くある。植物と同じように細胞壁をもつが、植物の細胞壁の主成分がセルロースであるのに対し、真菌類の細胞壁はキチンが主成分である。乳酸菌、納豆菌、酢酸菌は細菌類である。乳酸菌はグルコースを分解して乳酸を生成することによりエネルギーを得る（乳酸発酵）。納豆菌は枯草菌という細菌のうち納豆の製造に利用されているものである。枯草

菌の特徴は熱などに対して非常に耐性のある内生孢子をつくるのが特徴である。酢酸菌はエタノールを酸化して酢酸にすることによりエネルギーを得ている（酢酸発酵）。

問 4) 【正解】 D

【解説】



真核生物は、分裂時には核膜が消失して染色体が形成される。細胞の両極に形成された中心体から伸びた微小管がそれぞれの染色体を両極に引き寄せた後に核膜が再構成されて2つの核を生じる（有糸分裂）。同時に細胞質が分裂して1個ずつ核をもつ2つの娘細胞が形成される。細胞質分裂を伴わずに核分裂が繰り返されると、結果として多数の核を含む大きな細胞が生じることになる。

Aspergillus 属のカビは空气中に伸びた菌糸の先端に上図のような分生子頭を形成する。多数の核を持つ巨大な頂のう細胞から、フィアライド（分生子形成細胞）を介して分生子を形成する。分生子は一般に孢子と呼ばれるものであるが、有性生殖を経っていないので親の細胞と全く同一の遺伝子組成を有するため、生物学的には分生子と呼ばれる。成熟した分生子は、やがて空中に飛散し、新たな場所で発芽する。食品醸造に用いられるカビを麹菌といい、黒麹菌、白麹菌、紅麹菌などがある。清酒や味噌・しょう油の醸造に用いられる黄麹菌（単に「麹菌」とよばれることも多い）は分生子が黄緑色を示す。

問 5) 【正解】 B

【解説】 ヒトやウシのすい液には、タンパク質分解酵素や、脂肪や炭水化物を分解する酵素が含まれている。また DNA 分解酵素や RNA 分解酵素もすい液に含まれ、核酸の消化吸収に働いている。セルロースはすい液に含まれる消化酵素によって分解はされないが、腸内細菌やウシでは第一胃（ルーメン）の微生物によって分解されることが知られている。

問 6) 【正解】 A

【解説】 イネの胚乳のデンプンに関して、分枝が多いデンプンは粘りが強くなることに気づけば、簡単な問題。直鎖状のアミロースができない *Waxy* 変異は、アミロペクチンだけをもつので、粘りがつよいもち米になる。色素はデンプンではないし、デンプンは高分子で、揮発してにおい成分になることはない。

問 7) 【正解】 B

【解説】 赤血球に含まれるヘモグロビンは、各々1個のヘムを含む4つのサブユニットから構成され、ヘモグロビン1分子が4分子の酸素分子を運ぶことができる。ヘモグロビンと酸素分子の結合は可逆的である。

成人ヘモグロビン（ヘモグロビン A; HbA）は肺（酸素分圧 約 100 mmHg）では飽和度 98%で酸素分子と結合し、体の一般組織（酸素分圧 約 40 mmHg）では酸素分子結合の飽和度 70%となるので、その差の 28%の分

がヘモグロビンから遊離して組織に吸収される。運動中の筋肉（酸素分圧 約 10 mmHg）のように特に酸素が不足している組織では、酸素分子との結合の飽和度が 15%程度となり、大部分の酸素分子が放出される。この機構により、ヘモグロビンは活発に活動する組織に効率よく酸素を供給することができる。

妊娠中の胎児の赤血球には胎児ヘモグロビン（ヘモグロビン F; HbF）が含まれている。妊娠中の胎児の肺は働いていないため、胎児は胎盤を通して母親の血液から酸素を受け取っている。胎児ヘモグロビンの方が母親の血液中の成人ヘモグロビンよりも酸素親和性が高いので、胎盤組織では酸素分子結合の飽和度がより高い。その結果、母親のヘモグロビンから遊離した酸素分子が胎児ヘモグロビンに結合することにより、母親から酸素を受け取ることができる。

問 8) 【正解】 A

【解説】 植物は、独立栄養生物であり、二酸化炭素と水から炭水化物などを作ることができる。また、アンモニアを利用してタンパク質や核酸などを作ることにもできる。しかし、動物は従属栄養生物であり、植物の作り出した有機物をエサとして利用して生活している。

エサを探すためには、感覚器官や運動器官が必要となる。固着性の動物の中には、この性質を退化させたものもあるが、動物の一般的な特徴となっている。一方、植物では、体が線状または平面上に広がっており、これは頂端分裂組織が発達しているためである。これによって体の表面積を増やし、光、二酸化炭素、水などを利用しやすくなっている。

植物は、水や無機塩類を吸収するために根が細かく枝分かれし、表皮細胞が根毛となって伸び出している。一方、栄養を吸収するために表面積を増やしているのは動物も同じであるが、それは、小腸の柔毛や微柔毛、肺の肺胞のように身体の内部にある点が植物と異なっている。

問 9) 【正解】 D

【解説】 陸上植物に近縁な分類群として知られるシャジクモ藻類にはないが、陸上植物がもつ特徴として、頂端分裂組織、世代交代、孢子嚢でつくられる孢子、多細胞の配偶体、多細胞の独立した胚があげられる。すべての陸上植物の生活環は 2 つの異なる多細胞体の交代（世代交代）で成り立っている。卵や精子を作る配偶体と孢子を作る孢子体である。孢子体の孢子嚢のなかで減数分裂が起こり孢子が形成される。したがって、配偶体の核相は単相で、孢子体の核相は複相である。コケ植物では孢子が発芽して原糸体から配偶体が作られ、卵と精子の受精によって孢子体が作られるが、配偶体の方が孢子体よりも大型である。シダ植物では孢子の発芽でできた配偶体（前葉体）で卵と精子が受精して孢子体を作られるが、孢子体の方が配偶体よりも大型である。種子植物では配偶体はさらに小型となって孢子体内に存在する。被子植物の場合、減数分裂で生ずる「孢子」には大孢子と小孢子があり、雌性の大孢子は胚嚢を形成し、雄性の小孢子は花粉となる。種子植物では花粉から花粉管が形成される。被子植物では、花粉管のなかで分裂して 2 つの精細胞ができるが、一方の精細胞は胚嚢の卵細胞と受精して受精卵となり胚を形成する。もう一方の精細胞は胚嚢の中央細胞の 2 つの核と受精して胚乳核となり胚乳を形成する。このように被子植物では二カ所で受精がおこなわれ、これを重複受精という。

問 10) 【正解】 H

【解説】 節足動物の特徴は、まずタンパク質と多糖類のキチン質の層からなる堅い外骨格に覆われていることである。体は体節に分かれ、体節には節足動物の名のとおりいくつかの関節のある付属肢をもつ。体節や付属肢の数は様々である。頭部では付属肢が触覚や口器になっている。神経系ははしご状神経系といい、腹

側に体節ごとに神経節があり、神経節が頭部から尾部にかけてつながっている。頭部の神経節は融合して脳となっている。排出器官は昆虫ではマルピーギ管であるが、甲殻類などでは腎管（触覚腺）である。節足動物の循環系は開放血管系であるが、昆虫は気管をつうじてガス交換を行うので酸素を運搬する呼吸色素を持たない。甲殻類やクモ類の血液は銅を含むヘモシアニンを呼吸色素としてもつ。呼吸器官については、昆虫は気管であるが甲殻類では多くの場合鰓である。

②については、甲殻類などでは腎管（触覚腺）で行われる。④については、甲殻類やクモ類で銅を含むヘモシアニンを呼吸色素としてもつ。⑤については、クモは書肺、甲殻類では多くの場合鰓で行われる。

問 11-12) 【正解】 問 11 C 問 12 B

【解説】 図の A~F のうち淡水に耐性をもつものは A~C のみである。本文から読み取れるように、カの幼虫はどの種のものも祖先種と同様に、体外から能動輸送で塩類を吸収することで、体液の浸透圧を外部環境より高く維持するしくみをもち、淡水に耐性をもつので、①と②の候補はこの中にあることになる。このうち A は外部環境液の浸透圧が低い値から体液浸透圧と等しくなる値までは体液浸透圧を一定に保つことができるが、これを超える高浸透圧環境には耐えることができないので、高浸透圧環境に耐性をもつ①と②の候補から除外できる。C は高浸透圧環境下で浸透圧順応型 osmoconformer であり、体液浸透圧は外部環境液のそれに追従して変動する。本文で、体液浸透圧の変動に応じて細胞内の浸透圧を能動的に調節し細胞の体積を保つとされる種 A のグラフとしてふさわしい。B は高浸透圧環境下で浸透圧調節型 osmoregulator であり、この条件下で体液浸透圧を調節すると述べられている種 E のグラフとしてふさわしい。

問 13) 【正解】 A

【解説】 生物の体内に時間を測るしくみがあることは、多くの研究から明らかになってきた。これは生物時計とよばれ、その中でも約一日の周期を持つ時計、概日時計は概日リズムの維持に関係している。昆虫の歩行活動は概日リズムを観察するに適した材料の一つである。コオロギを全暗条件に置くと、活動の開始時刻は 1 日ごとに約 1 時間遅れて生じることから、約 25 時間の周期をもつ生物時計が存在することがわかる。また、明暗条件では、明かりが消える数時間前にあわせて活動が始まるようになったことから、生物時計は明暗周期に同調し、その周期が 24 時間になったことが読み取れる。

問 14) 【正解】 B

【解説】 サンゴ礁は、水がきれいで暖かい浅海に発達し、生産者の植物プランクトンが少ないにもかかわらず多くの動物が生活しているという点で、不思議なバイオームである。実は、サンゴ虫の体内には褐虫藻という藻類が共生していて、その褐虫藻が生産者として大量の有機物を生産している。夏の異常高温などで褐虫藻がサンゴから出てしまう白化現象が起こるが、褐虫藻がいないとサンゴの成長速度は 10 分の 1 程度になってしまう。褐虫藻が光合成によって生産したエネルギーの約 9 割がサンゴに手渡され、その約半分はサンゴ自身の呼吸や成長に、残りの半分が粘液などとして放出される。サンゴ礁の多様でしかも大量の動物は、直接または間接にこの粘液に依存して生きているという訳である。

河川では、流れの緩やかな下流や河口域を除いて植物プランクトンは少なく、落ち葉などとして流入する有機物や岩の上に生活する珪藻などを食べる水生昆虫が多い。魚には、それらの水生昆虫や落下昆虫を食べるものや、アユのように珪藻を直接はぎ取って食べるものがある。

潮間帯は、波によって運ばれてくる有機物やプランクトンを食べる固着動物が多数見られる。岩の上には

珪藻などの藻類が多く、それらを食べるウニや貝類も多く見られる。

外洋では、植物プランクトンの栄養となる無機塩類が、死骸などとして海洋底に沈降していくため、きわめて貧栄養の状態である。そのため、植物プランクトンは少なくその大きさも小さいため透明度が高い。

(参考文献) サンゴ礁の生物たち 本川達夫 中公新書 1985

問 15) 【正解】 E

【解説】 ウニとカサガイの両方が影響しているとは結論づけるには、両方が存在しない時に最も被度が高くなるという事実が必要であり、これがグラフ①である。次に、カサガイに比べてウニの影響が強いと結論づけるには、ウニだけを除去した時にグラフ①ほどではないが、海藻の被度が大きくなることを示す必要がある。これがグラフ②となる。従って、グラフ③がカサガイだけを除去したものと判定できる。

出典：キャンベル生物学

問 16) 【正解】 D

【解説】 正確には C_4 植物と CAM 植物の初期産物はオキサロ酢酸というべきであるが、検出できるのはリンゴ酸などであり、高校の教科書にもリンゴ酸と記してある。維管束鞘細胞に葉緑体が発達しているのは C_4 植物の特徴であり CAM 植物ではそうではない。CAM 植物に発達しているのは液胞である。CAM 植物は夜間に気孔を開いて CO_2 を取込み、細胞質でリンゴ酸に固定しこれを大量に液胞に蓄積する。そのため、夜間の葉の細胞の液胞は酸性化している。昼間はリンゴ酸から脱炭酸した CO_2 と呼吸により生じた CO_2 を光合成電子伝達系で作った ATP と NADPH を使ってカルビンサイクルで再固定するが、リンゴ酸が消費されれば気孔を開いて CO_2 を取込む。このときの光合成産物はショ糖が多く、葉は甘くなる。 CO_2 を固定しホスホグリセリン酸を合成する酵素「ルビスコ」は葉緑体内に、リンゴ酸につながるオキサロ酢酸をつくり出すホスホエノールピルビン酸カルボキシラーゼは細胞質にある。

問 17-18) 【正解】 問 17 B 問 18 D

【解説】 C_3 植物と C_4 植物という環境に対する応答性が異なった植物群に関する基本的な知識を問う問題である。特に、 C_3 植物と C_4 植物では温度や大気 CO_2 濃度に対する応答性が異なり、このような応答性の違いが氷期・間氷期にまたがる地史的な環境変動の元で、どのような変遷をたどって現在に至ったかについての理解度を確かめる。

問 17 は現在の地球上での C_3 植物と C_4 植物の分布を問う基礎的な問題である。問 18 は新生代に入ってから氷期・間氷期にまたがる大気 CO_2 濃度と気温の変化に応じて、 C_3 植物と C_4 植物の分布がどのように変わってきたかを、 C_3 植物と C_4 植物の光合成の特性の違いに基づいて答える問題である。ここで特に重要なのは、 C_3 植物の CO_2 を固定する際の最初の酵素、ルビスコが炭素 13 の CO_2 よりも炭素 12 の CO_2 を選択的に固定する特性があり、植物体の 12 と 13 の炭素同位体比を調べることで、その植物が C_3 植物であるのか、 C_4 植物であるのかが見分けられることである。この手法によって植物遺体のような過去の植物であっても、 C_3 植物であったか C_4 植物であったかを判別できるようになった。

C_3 植物における光合成の最初の酵素ルビスコは CO_2 と反応するだけでなく O_2 とも反応する特性がある。これがいわゆる光呼吸である。 C_3 植物にはこの光呼吸があるために、必然的に CO_2 補償点が高くなり (50ppm 前後)、大気 CO_2 濃度が低かった氷期には効率的に光合成を行うことが出来なかった。

このように炭素同位体比を分析する手法と、氷期・間氷期にまたがる大気 CO_2 濃度と気温の変化を明らかにする手法とが組み合わさって、 C_3 植物と C_4 植物の分布の変遷が明らかになってきた。

問 19) 【正解】 A

【解説】 タンパク質を構成するアミノ酸は、20種類（場合によってはこれに2種類が加わる）で、DNAを構成するヌクレオチドの塩基は4種類しか存在しない。このため、3つの塩基が1つの組（コドン）になってアミノ酸を指定する。この際、コドンの種類は $4 \times 4 \times 4 = 64$ 種類のものがあることになる。たとえば、バリンの場合はこのコドンのうち4種類（mRNAのコドンでは、GUA, GUC, GUG, GUU）のものが相当する。選択肢Bにある開始コドンは（mRNAのコドンでは、AUG）であり決まっています。また、コドンはほとんどの生物で共通のものである。さらに、選択肢Dにあるスプライシングは真核生物のDNAからRNAへの転写がおこったあとに行われるもので、翻訳の後におこるものではない。また、選択肢Eにある必須アミノ酸は、トリプトファン - リシン - メチオニン - フェニルアラニン - トレオニン - バリン - イソロイシン - ロイシン - ヒスチジンといったものである。必須アミノ酸というのは人が体内で合成することができないものという意味で、食物として取り入れるものを利用することをさしており、タンパク質の合成の際に、それ以外のアミノ酸と区別されることはない。

問 20) 【正解】 C

【解説】 酵素には基質特異性がある。タンパク質を基質とするトリプシンとキモトリプシンでは切断する場所が異なる。このため、問題のタンパク質は合計7カ所で切断されるため8つのポリペプチドに切り分けられる。

問 21) 【正解】 B

【解説】 空腹時はモニタータンパクが分解され、食欲増進を招く。満腹時は食物にまぎれてモニタータンパクが分解をまぬがれ、小腸で受容され満腹感すなわち食欲減退を招く。しかし大腸に達する前には分解されてしまう。

問 22) 【正解】 A

【解説】 ホルモンがフェロモンとして働く例。これらの受容は昆虫と同様に嗅覚により、雄の鼻にある嗅覚器による感受を介して脳の生殖中枢に作用すると考えられている。側線は、水中で水流・水圧の変化を感じ取るための器官である。魚類では味覚受容器は舌ばかりでなく体表のいくつかの部位に分布するがフェロモンの受容器ではない。

問 23) 【正解】 E

【解説】 細胞aは精原細胞である。精原細胞は幹細胞であるから、模式図から明らかなように、細胞aの細胞分裂の特徴は、分裂後に生じた2つの娘細胞のうち1つは精子へと分化を始めた細胞bへと分化するが、1つは幹細胞としての性質を受け継いでいる。そのため、次にこの精原細胞が細胞分裂すると、また1つの精原細胞と1つの細胞bが生じる。つまり、細胞aが何回細胞分裂しようと細胞aは存在し続け、雄は生涯を通して精子を作り続けることができるのである。以上のことから、細胞aを1個だけしか移植しなかったとしても、次から次へと精子へと分化を開始した細胞bや細胞cなどが供給され、結果的に数多くの精子や精子へと分化している途中の細胞群が存在することになる。幹細胞はこのような細胞分裂特性を持ち、血液細胞など常に新しい細胞を供給する必要があるところにも、似た性質の細胞が存在している。

問 24) 【正解】 C

【解説】 卵細胞と精子が会って受精する際、そこには多くのクリアしなければならない問題がある。卵

子に多くの精子が入ると遺伝子の数がおかしくなり、異常な発生を開始し、いずれ死んでしまう。また、別の動物種の精子が受精してしまうと、遺伝子の組み合わせがマッチしないので、これも異常になり死んでしまう。このようなことが起らないように、多精防止のための機構や種の認識機構が受精の際働く。これら機構で重要な働きをするのがゼリー層や卵膜である。実験1からわかるように、受精成立にゼリー層の成分が重要である。しかし、実験2でわかるように、このゼリー層がないだけのように見える体腔卵に同様の操作を行っても、受精は成立しない。この2つの結果からだけでも、ウ)の推論はおかしいことがわかる。更に、実験3を行うことにより、輸卵管の働きは、ゼリー層付加だけでないことがはっきりしてくる。実験4は、体腔卵が受精しないのは、その卵膜に原因があることを示している。以上のことから、推論ア)、イ)、及びエ)は妥当であることが伺える。このように輸卵管は、卵巣から排卵された卵細胞を体腔から体外に運び出すだけの管ではなく、精子と卵細胞が正確に受精するための重要な器官であることが伺える。

問25) 【正解】 D

【解説】 隔離は進化を助長するが、隔離が直接的な原因となって突然変異の発生率が高まることはない。他の説明文の内容については、それぞれ実例がある。Aについては、他の複数の遺伝子の発現調節関わるタンパク質(転写制御因子)の遺伝子に変異が生じた場合に起こり得る。ある部位の構造が、別の部位と相同な構造に変化してしまうホメオティック突然変異は転写制御因子の遺伝子に生じた変異の結果である。Bについては、パンコムギが実例としてあげられる。パンコムギは異種間の交雑と染色体の倍数化により生じたと考えられる。Cの例としては肺炎双球菌の形質転換(R型菌がS型菌由来のDNAを取り込んだ例)やウイルスによる形質導入が知られている。Eは遺伝的浮動の説明文であり、自然選択に有利でも不利でもない中立な変異の遺伝子であってもその頻度は偶然の積み重ねで変化する。

問26) 【正解】 D

【解説】 原始的な特徴を残しているスズガエルは鈴をころがすような小さな音声しかださない。スズガエルの雄は繁殖場所に縄張りをつくるが、ニホンアマガエルなどとは異なり、水面に巧みに波をたてあって縄張り雄のあいだで交信する。カエル(両生類・無尾目)の進化・系統関係は形態や生化学のさまざまな特徴をもとに論じられている。いずれの説でも、アマガエル科のカエルは一般的(generic)な祖先種からかなり特殊化(derived)したカエルとされている。ニホンアマガエルのように大きな音声で交信して雄が縄張りを作ったり、雌がその広告音の一つの手がかりにして配偶相手を決める性質は、カエルの種の多様な進化の中で適応度(子孫をどれだけたくさんつくれるかではかる)を高めるようはたらいてきた。ニホンアマガエルの雄は繁殖期に水面の近くの草の上に縄張りをつくり、配偶相手が得られると産卵する水面に移動する。あるいは産卵場所に縄張りを作ることも見られる。雌は大きな音声で鳴くことはしない。配偶相手として選ばない雄に抱接されたときに小さな解除音を雌が発すると、雄は抱接をやめる。雄が雄に抱接されたときも雌が発するのと同じ解除音を発する。これらの音声交信の語彙は種によらず同じだが、どのような音声を使うかは種によってことなるし、同じ種でも方言がある。

A:低い周波数の音の方が(音の伝搬経路に障害物のある場合は特に)大気中での伝搬において減衰は少ない。ただし、体の大きさの個体差に対応する周波数の違いの範囲では音波の伝搬における減衰率はほとんどかわらないことに注意を要する。

B:体が大きいと発する音声の周波数は低くなる。大きく低い周波数の音声で鳴くことができれば、雄-雄の縄張りについての闘争に勝つことができるだろう。ただし、捕食者に対して音声で示威することはない。草むらで鳴いているときに人間が近づくと鳴きやみ、更に接近して至近距離に入ると、両後肢をそろえて動か

し跳躍して逃げる。カエルは両後肢を揃えて跳躍するのにじゃまな尾をなくすように進化したといわれている。捕食者につかまったときに危難音を雄、雌ともに発するが、この音声の強度は小さい。死に真似をして捕食者に防御行動を示すカエルの種もあり、そのときには体を大きく見せることもある。スズガエルは腹側のオレンジ色の警告色を見せるように四肢を背側に回し、体全体をそらせてしばらくフリーズしている。

C:内耳には重力や振動を感受する耳石器がある。音声交信を盛んにする動物種では音の周波数を細かく識別して感受するように、耳石器のひとつがもとになってできた蝸牛管（うずまき管）を発達させている。カエルではそこまで音波の感受のしくみは発達していないが、種により特有の音声交信をしている。同じ種でも地域によって交信の音声はかわり、方言が通じないことさえある。耳石器は頭部の骨のなかにあるために、鼓膜からの伝導に加えて骨をとおして音が伝導する。骨伝導による音・振動の感受は、捕食者の接近を地面などカエルがとまっている表面の振動から感知するのが主な機能である。

D:雨が降ることを予想して雌を産卵場所に出てくるよう誘うことになれば、気圧の降下で鳴く性質を導く雄の適応度は高い。ニホンアマガエルなどを飛行機に乗せると、離陸後上昇して機内が減圧すると盛んに鳴きはじめる。気圧の変化についてどのようにニホンアマガエルが感受しているかはまだよくわからないが、口腔の下に膨らませる鳴嚢で気圧のわずかな変動を感受していることはない。また気圧が低くなった時にだけ鳴くということはない。発する音声の周波数を決めるのは鳴嚢ではなく、声帯である。鳴嚢で共鳴する音の周波数は、鳴嚢の大きさばかりでなく鳴嚢を構成する皮膜の物理的な特性にも依存する。弦楽器の調弦をみると、弦の長さは変わらないのに弦を張る力を変えるとその弦から出る周波数は変わるのわかる。演奏するときは音にあわせて弦を指で押さえる位置をかえる。弦楽器には弦の他に鳴嚢にあたる共鳴器がついている。カエルが鳴くときにはヒトのように肺の内部の空気を口からはきだしながら発声するのではなく、発声時に肺から出る空気を鳴嚢にため、その空気を肺に戻して連続した発声が可能にする。

E:体の大きい雄を生殖行動の相手にえらぶような雌の遺伝子があつたとしたら、より低い周波数の音声を発する雄を好む性質を雌にあたえたいだろう。雄はそれに応じてより低い周波数で鳴くしかけをつくったり、周波数を低くするように競う努力をする性質に関連する遺伝子が遺伝子集団のなかで優占していったと考えられる。ただし音声の強さにより雌が配偶相手を評価しているのかもしれないし、雌により生殖行動の相手を選択するのはおよそのところなくて、雄 - 雄のあいだでの縄張りをめぐる闘争の勝利者である大きな雄が配偶相手を獲得するのかもしれない。

問 27) 【正解】 B

【解説】 一般に、面積の大きな島ほど、そこにいる種の数は多くなり、種数-面積曲線は正の傾きを持つ。現在広く受け入れられているマッカッサーとウィルソンの島の生物地理についての平衡モデルは、島が大陸から遠いほど、あるいは小さな島ほど、そこにいる種の数は少なくなると予測する。このような理論的予測に合致するパターンを示しているのは B である。

問 28) 【正解】 C

【解説】

ア:メタ個体群を形成していると、ある個体群が絶滅しても他の個体群からの移入によって個体群が再建されうる。しかし全ての個体群動態が同期しており全ての個体群が同時に絶滅してしまうようなことがあると、そのようなことは起こりえず、メタ個体群は存続できない。

イ. 出生率が死亡率を下回っていても他の個体群からの移入によって個体群が維持されることがある。このような個体群のことをシンク個体群という。また、シンク個体群へ移入個体を供給している個体群のことを

ソース個体群といい、ソース個体群では出生率が死亡率を上回っている必要がある。

ウ. メタ個体群のなかには、既存個体群の絶滅と、移入による絶滅個体群の再建のバランスが釣り合って維持されているものがある。そのようなメタ個体群において、ある一部の個体群の生息場所が破壊されると、そこに再移入して個体群を再建することができなくなる。さらにその結果、存続している個体群の数が限られ、他の場所で絶滅した個体群を再建することも難しくなる。このように個体群の絶滅と再建のバランスが崩れることにより、一部の個体群の生息場所を破壊するだけで、メタ個体群全体が崩壊してしまうことがある。

エ. 個体群環境収容力は各個体群の生息場所の資源の量などの環境条件によって決まり、移出や移入によって影響を受けない。

オ. 内的自然増加率も出生と死亡により決まり移出や移入の影響を受けない。

問 29) 【正解】 E

【解説】 短日植物とは限界日長(critical day length)よりも短い日長条件で栽培したときに花芽を形成する植物であり、反対に長日植物とは限界日長よりも長い日長条件で栽培したときに花芽を形成する植物のことを指します。従って、単純に長い日長条件で花芽を形成するのが長日植物、というわけではありません。短日植物で有名なオナモミの限界日長は 15.5 時間という長さで、15.5 時間よりも短い日長条件、例えば 15 時間明所という条件でも花芽を形成することができます。この限界日長は植物種によって異なることが知られています。

問 30) 【正解】 C

【解説】 ある生物現象の仕組みを調べるには、その生物現象が異常になった突然変異体を研究するのが一番直接的な方法です。ここで問題にしている現象は、高等植物の発芽直後に起こる、周囲の光環境に対する適応現象で、この現象によって芽生えは光合成を行うことができるようになり、種子に蓄えられた栄養を消費する発芽直後の生活から光合成によって生活する独立栄養の状態に成長様式が転換します。発芽直後に起こるこの現象を含めて、光環境に対する成長の適応現象をひとまとめにして専門用語で光形態形成と呼びます。

光形態形成は、植物が光を感じて起こる反応ですので、植物の体の中にはその光を感じる（吸収する）物質（光受容体）が存在するはずで、その光受容体を明らかにするために、突然変異体の研究を行います。赤い光を感じない突然変異体⑦で突然変異を起こしている遺伝子を調べると、それはフィトクロムの遺伝子でした。一方、青い光を感じない突然変異体⑧では、クリプトクロムの遺伝子が突然変異を起こして破壊されていました。このことから、光形態形成を起こしている光受容体は、フィトクロムとクリプトクロムだということが分かります。フィトクロムは、このような研究が行われる以前から知られていたタンパク質です。一方、クリプトクロムの方は、そのような光受容体が存在することは 19 世紀から予想されてはいましたが、それが実際に明らかになったのは突然変異体を使った研究が行われた、たった 16 年前のことなのです。

問 31) 【正解】 A

【解説】 M の遺伝子頻度を p 、N の遺伝子頻度を q とすると、N 型は q^2 、MN 型は $2pq$ なので次の式が成り立つ。 $2pq = 3q^2$ また $p + q = 1$ で $q \neq 0$ なので q は 0.4 となる。

問 32) 【正解】 B

【解説】 A(a)とB(b)、A(a)とC(c)、B(b)とC(c)に分けて、結果を整理する。

$$[AB] : [Ab] : [aB] : [ab] = 9:3:3:1 \dots \textcircled{1}$$

$$[AC] : [A c] : [aC] = 8:4:4 = 2:1:1 \dots \textcircled{2}$$

$$[BC] : [B c] : [bc] : [bc] = 9:3:3:1 \dots \textcircled{3}$$

①と③より、A(a)とB(b)、B(b)とC(c)はそれぞれ独立にあることがわかる。また、②よりAとc、aとCが連鎖していることがわかる。

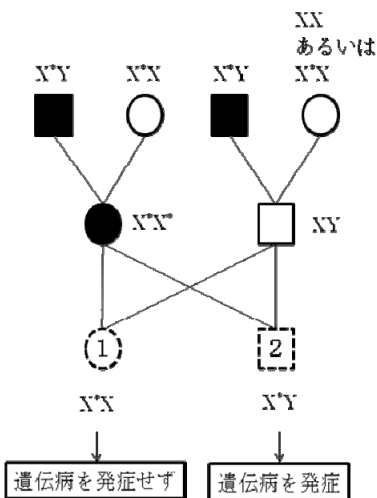
問 33) 【正解】 B

【解説】 正常のX染色体をX, 変異が生じているX染色体をX*で表記するとする。今X染色体上の一つの遺伝子での変異が原因となって遺伝病を発症するので、遺伝病を発症していない男性はXY, また遺伝病を発症している男性はX*Yの遺伝子型をもつことになる。

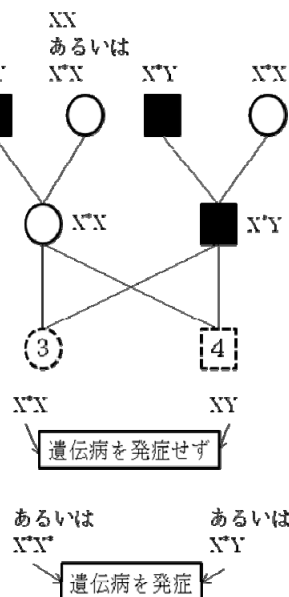
次に家系IIに注目してみる。父の遺伝子型はX*Yであるが、そのY染色体は父の父である祖父から受け継いでいるので、X*染色体は父の母である祖母から受け継いでいることになる。しかしこの祖母は遺伝病を発症していないことから、祖母の遺伝子型はX*XでX*は劣性の対立遺伝子と判断される。これらから、この遺伝病を発症する女性の遺伝子型はX*X* (変異をもった対立遺伝子のホモ接合体) であると考えられる。

これらを踏まえ各々の遺伝子型を推測すると図のようになる。そのため家系I女子(1)の遺伝子型はX*Xのヘテロ接合体でほぼ100%の確率で正常となる一方、家系Iの男子(2)の遺伝子型はX*Yでほぼ100%の確率でこの遺伝病を発症することとなる。また家系II女子(3)は、その父からX染色体を引き継ぐが、その母からX*Xのどちらの染色体を引き継ぐかは偶然に決まる。よって家系IIの女子(3)がこの遺伝病を発症する確率はほぼ50%である。また家系II男子(4)は、その父からY染色体を引き継ぐが、母からどちらの染色体を引き継ぐかは偶然によって決まる。このため家系II男子(4)が遺伝病を発症する確率もほぼ50%となる。よってBが正解となる。

(I) 家系 I



(II) 家系 II



問 34) 【正解】 G

【解説】 mRNA から逆転写 PCR (RT-PCR) により Ras の cDNA をクローニングする実験である。まず mRNA を鋳型として逆転写酵素[酵素(a)]により一本鎖の cDNA の集団を合成する。この cDNA とセンスおよびアンチセンスのプライマーならびに耐熱性の DNA ポリメラーゼ[酵素(b)]を用いて PCR 反応を行い、Ras の cDNA を増幅する。次に、適切な制限酵素[酵素(c)]で切断した Ras の cDNA を同様の制限酵素で切断したプラスミドベクターに、DNA リガーゼ[酵素(d)]を反応させて連結することにより組み込む。

問 35) 【正解】 H

【解説】 突然変異を入れた Ras cDNA の培養細胞への遺伝子導入により、この Ras タンパク質を発現させて、その機能を解析する実験である。Ras タンパク質の 12 番目のアミノ酸のコードンは GGA であるから、このアミノ酸はグリシンである。このアミノ酸をバリンに換えるためには、コードン表によれば GUA にすればよい。ただし cDNA に突然変異を入れるわけであるから、GGA の 2 番目の G を T に換えて、GTA とする。

なお、mRNA の GUA のコードンは、cDNA の相補鎖 (アンチセンス鎖) である CAT から転写されるが、混乱を避けるために慣習上 DNA もセンス鎖のコードン (この場合は GTA) で表現される。

問 36) 【正解】 E

【解説】 ヒスチジンのカルボキシル基を脱離するヒスチジン脱カルボキシル基酵素により、ヒスタミンが生成する。ヒスチジンデアミナーゼは、ヒスチジンからアミノ基を脱離する酵素であり、ヒスタミンは生じない。ヒスタミン-N-メチルトランスフェラーゼ、ジアミンオキシダーゼはいずれもヒスタミンの分解酵素。ヒスチジノールデヒドロゲナーゼは、前駆体であるヒスチジノールからヒスチジンを合成する酵素である。

問 37) 【正解】 D 問 38) 【正解】 C

【解説】 じん麻疹は毛細血管の透過性が向上して組織に水がたまることによって起こり、花粉症によって目が赤くなるのは毛細血管が拡張するためである。また、胃潰瘍は胃壁細胞が分泌する胃酸によって胃壁細胞自身が溶解されることによって発症する。ヒスタミンは血管内皮細胞の受容体に結合することによって毛細血管を拡張するとともに、血管の透過性を向上させる。一方、ヒスタミンは胃壁細胞の受容体に結合することにより胃酸の分泌を促進する。

化合物 a はヒスタミン分解酵素阻害剤、化合物 b はヒスタミン合成酵素の阻害剤、化合物 c は胃壁細胞の受容体の阻害剤、化合物 d は血管内皮細胞の受容体の阻害剤である。化合物 b はすべての症状を軽快していることから、ヒスタミンの生産 (ヒスタミン合成酵素) を抑えていると考えられる。化合物 a ではすべての症状が悪化していることから、余分のヒスタミンが分解されずに働き続けており、ヒスタミン分解酵素であるヒスタミナーゼが疎外されていると考えられる。花粉症とじん麻疹は化合物 a, b, c, d について同一の反応を示すが、胃潰瘍は化合物 c と d の効き目が異なる。花粉症とじん麻疹は共通の血管内皮細胞の作用によるものであって共通の受容体が関与し、胃潰瘍は胃壁細胞の受容体の作用によるものであることに注目する。化合物 c と化合物 d はそれぞれ別の受容体を阻害すると推定できる。

実際には、胃壁細胞の受容体を阻害する化合物 c は H2 ブロッカー (ヒスタミン受容体 2 をブロックする) であり、胃潰瘍の薬 (ガスター10 など) として市販されている。また、血管内皮細胞の受容体を阻害する化合物 d はアレルギーを抑える抗ヒスタミン剤として市販されている。

このように、特定の細胞の受容体を阻害する物質は、さまざまな疾患の有力な治療薬となりうるため、世界各国の製薬会社が精力的に探索し、研究を重ねている。

問 39) 【正解】 E

【解説】 これはジャコブ・モノーが提唱したオペロン説の中でその存在が仮定された mRNA を実際に検出するために企画された実験での結果である。先年ノーベル賞を授与されたブレンナーの初期の最も重要な仕事であり、mRNA の発見を報告したものである。この結果が発表された Nature 誌の論文の解釈の一部には明白な誤りがあり、それに気づいた野村博士が、後年リボソームの再構成という偉大な研究を始める契機となったものである。

この実験では試料は密度のみによって分離されるので、タンパク質と RNA の存在比だけが問題となる。リボソームは小サブユニットも大サブユニットも存在比が 1:1 であることから、それぞれのサブユニットが単独で存在していても結合していても密度は変わらないので、この実験で 2 つのピークに分離することはない。リボソームに mRNA が結合すると、RNA の割合が増えるので密度は高くなる。ブレンナーの解釈では、mRNA が結合していないリボソームの方が密度が高いことになるので矛盾する。ピーク<a>には放射性のリン酸 (^{32}P) が検出されていないので、mRNA は結合していない。すなわち、ピーク<a>は mRNA が結合することなくタンパク質と RNA の比率が変化していることになる。この事実を説明できる唯一の解釈は、ピーク<a>ではリボソームからタンパク質の一部がはがれ落ちて、rRNA の割合が多くなったものであると考えることである。野村博士はこの点を指摘し、後にリボソームを rRNA とタンパク質に分離し、さらに活性のあるリボソームを再構成する（組み立てる）実験を行った。なお、mRNA が結合していないリボソームはピークより低密度側に現れるはずであるが、このようなピークが見られなかったことは盛んにタンパクを合成している細胞ではほとんどのリボソームは mRNA に結合し（ポリソームを形成して）タンパク合成に使われていることを示している。