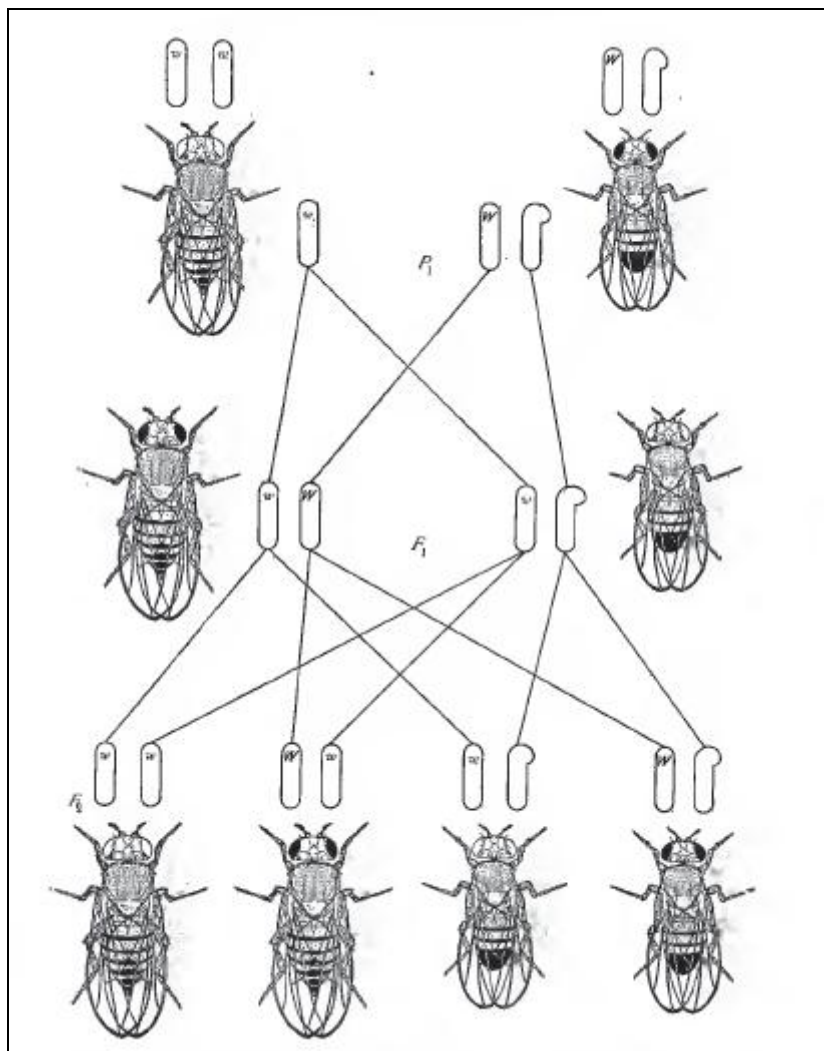


日本生物学オリンピック2012

予選問題

2012年7月15日(日) 13:30~15:00

〈正解・解説〉



問1)【正解】D 【部分点】C

【解説】メチオニンとトリプトファンは、それぞれ対応するコドンが1つずつしかないので、アミノ酸配列に変化がなかったとすると、これらのコドンに点突然変異が生じたとは考えられない。ロイシンについては、コドンの第一塩基が2種類、第三塩基が4種類あるので、この2か所については、アミノ酸が変化しない点突然変異が生じた可能性がある。同様に、アラニン、リシンについては、ともに第三塩基に点突然変異が生じた可能性が想定できる。つまり、合計4か所が考えられる。なお、「点突然変異が生じる前の塩基配列は不明として、想定できるすべての場合を考えなさい」としているので正解は4か所であるが、変異が生じる前の塩基配列によっては3か所ということもありうる（ロイシンのコドンがCUUまたはCUCである場合）、3か所を選んだ場合には部分点を与える。

問2)【正解】B

【解説】酵素Xを合成できない変異株は、アスパラギン酸から中間体2を合成できないので、リシン、トレオニン、イソロイシン、メチオニンのすべてを合成することができない。しかし、この変異株に中間体2を与えれば、最少培地でも生育できる。

この問題では、最少培地に添加するものはアミノ酸に限定されているため、リシン、トレオニン、イソロイシン、メチオニンについて検討する。これらのうちイソロイシンのみはトレオニンから合成できるため、最少培地に添加する必要のあるアミノ酸はリシン、トレオニン、メチオニンの3種類となる。なおトレオニンを与えればイソロイシンは合成できるが、イソロイシンを与えてもトレオニンは合成できないことに注意する必要がある。

問3)【正解】B 【部分点】A

【解説】実験1と実験2より、この代謝過程で酵素Xが酵素Yより先の過程の過程1に作用していることが推測できる。また、実験3の結果、反応物aが完全に分解されずに一定量残り、生成物cも一定以上増えることがないことから、代謝過程1の酵素Xが生成物cによるフィードバック阻害を受けていると考えられる。また、この酵素Xはアロステリック酵素であると考えられる。

同義的变化と非同義的变化

コドンに点突然変異が生じたとき、アミノ酸が変化しない場合とアミノ酸が変化する場合があります。前者を同義的变化といい、後者を非同義的变化といいます。たとえば、UCUはセリンを指定しますが、コドンの第一塩基や第二塩基が変化すると指定するアミノ酸が変化しますので、これらは非同義的变化です。一方、コドンの第三塩基が変化しても指定するアミノ酸は変化しませんので、これは同義的变化です。

非同義的变化は、アミノ酸を変えるため、タンパク質の特性を変化させることがあり、生物にとって有害である可能性があります。したがって、多くの遺伝子では、非同義的变化は、自然選択により、低く抑えられています。一方、同義的变化は、アミノ酸を変えることがありませんので、自然選択の影響をほとんど受けません。

問4)【正解】D 【部分点】B

【解説】実際の実験結果を単純化した問題で、真核生物における転写調節の基本を理解しているかがわかる問題である。知識がなくとも、遺伝子上流領域に正の調節領域と負の調節領域があるという概念理解があれば、論理的に詰めていけば解答は可能である。この問題では、GFP 遺伝子に連結された遺伝子 P の上流領域を順次削って、その転写調節を受けた GFP の発現量を比較している。特定の領域が含まれなくなることで GFP の発現が減少すれば、その領域には転写を促進する正の調節領域が存在すると結論できる。逆に、特定の領域が含まれなくなることで GFP の発現が上昇すれば、その領域には転写を抑制する負の調節領域が存在すると結論できる。この問題においては、領域1を削ったことによって、表皮細胞では GFP の発現量が減少したことから正の調節領域としてはたらくので A は誤、乳腺細胞では GFP の発現量が0のままなので抑制があるかどうかは結論できず B は適当ではないかまたは保留となる。領域2まで削られたことによって、表皮細胞では GFP の発現量が変化しなかったので促進も抑制もなく C は誤、乳腺細胞では GFP の発現量が増加したので D は正と判断できる。領域3まで削ったことによって、どちらの細胞でも GFP の発現量が減少したので、ここには両方の細胞にとって正の調節領域があったと判断され、E と F は誤。領域4も同様で、G と H は誤となる。D を正と判断できることから、もっとも適当な選択肢は B ではなく D であると絞り込める。

現実には、このような実験によって転写制御の仕組みの多くが解明されてきた。実験的には、削る領域を順次せばめていき、さらには1塩基の欠失や置換や挿入による活性の違いにまで突き詰め、転写調節に関与する塩基配列を明らかにすることも可能である。

真核生物では、転写開始点上流数十塩基部分は基本プロモーターと呼ばれ、TATA-Box など、遺伝子や細胞の種類によらず共通する正の調節領域である。基本プロモーターに対して、遺伝子上流だけではなく遺伝子の下流やイントロンの中など、転写開始点から数十塩基以上の遠くから、ときには数千万塩基も離れた場所から、転写に影響を与える DNA 領域(シスエレメント)があり、転写を促進する領域をエンハンサー、抑制する領域をサイレンサーとよぶ。ひとつの遺伝子に複数のエンハンサーやサイレンサーがあることが多く、細胞の種類によってそれらののはたらしの組合せが異なることで細胞に特異的な転写が行なわれる。細胞外からのシグナルに応答した転写の調節を担うシスエレメントもある。

問5)【正解】G

【解説】ミトコンドリア内膜上の電子伝達系は、NADH などの電子供与体から電子を受け取り、順次伝達して、最終的に O_2 を還元して H_2O を生成する。これと連動して、 H^+ がマトリクスから膜間腔に運ばれ、 H^+ の濃度勾配ができる。 H^+ の濃度勾配が大きくなるにつれて、濃度勾配に逆らって H^+ を運ぶのが困難になり、電子伝達、ひいては O_2 の消費と H_2O の生成にブレーキがかかる。一方、 H^+ の濃度勾配にしたがって、 H^+ は膜間腔からマトリクスに流れ込もうとする。ATP 合成酵素は、このエネルギーを利用して、ATP を生産する。

CCCP によってミトコンドリア内膜を H^+ が通過できるようになり、膜間腔とマトリクス間の H^+ 濃度勾配が解消されると、電子伝達はブレーキがかからずどんどん進み、 O_2 の消費と H_2O の生成は上昇する。このとき、ATP 合成酵素は、 H^+ の濃度勾配に依存した H^+ 移動のエネルギーを利用できないために、ATP を生産できなくなる。つまり、ATP 合成をともなわずに、電子伝達系が空回りしているような状態となる。

問6)【正解】B

【解説】花成を誘導する PtFT の遺伝子発現が春～初夏に高いことから、ポプラは長日植物であることがわかる。一方、休眠芽の形成は夏の終わり～秋に起こることから、休眠芽は短日条件で形成されることがわかる。自然界のポプラでは、休眠芽が形成される夏の終わり～秋にかけては PtFT の遺伝子発現がなくなっており、PtFT 遺伝子が高発現した遺伝子組換えポプラでは短日条件でも休眠芽が形成されず、PtFT の遺伝子発現を抑制した遺伝子組換えポプラでは長日条件でも休眠芽が形成されることから、PtFT は花成誘導以外にも休眠芽形成を抑制する働きもあることがわかる。

問7)【正解】C 【部分点】E, J

【解説】X線は突然変異を引き起こすが、ほとんどの突然変異は遺伝子機能を低下させる。この実験の場合、CcのうちCに機能を低下させる突然変異が起きると、ccと同様にクロロフィルを十分つくれなくなる。このような変異が生じた細胞が分裂して形成された葉の領域は淡緑色を呈する。これが葉の一部が淡緑色となった個体が観察された原因である。こうした個体がまれであったことから、X線による突然変異が偶然Cに起きる頻度の低さがうかがえる。X線を種子に照射すると、胚の個々の細胞に独立に突然変異が誘導される。Cの変異頻度がきわめて低いことを考えれば、一つの個体で複数の細胞のCに独立に変異が起きる可能性はまずない。したがって、淡緑色の領域が多数存在するパターン(①, ④)は、まず除外される。②と⑤も、淡緑色の領域が緑色の領域で分断されているので、少なくとも2つの細胞のCに同時に変異が起きないと生じないパターンであり、やはり除外される。シロイヌナズナの種子の胚では、すでに子葉はほぼ形づくられているが、本葉はまだ発生していない(他の多くの植物でも同様であるが、植物によっては初めの本葉が種子の中ですでに形成されているものもある)。胚の茎頂分裂組織にある細胞集団が発芽後に分裂を始めて、増えた細胞からやがて本葉が発達してくる。したがって、子葉と本葉のうち、Cに変異が生じた細胞の分裂によって淡緑色の大きな領域が形成されるのは、本葉のみである。以上を総合すると、観察されそうな葉の色のパターンは③のみであるといえる。なお、このようなキメラのパターンは、発生過程で単一細胞に由来する子孫の細胞がどのように広がるか、という問題についても、重要な情報を与える。

問8)【正解】C

【解説】①のやり方では、赤インクの色素は根から吸収されることになるが、この場合色素は何層もの組織を通して道管に到達する。とくに内皮と呼ばれる層では細胞壁が特殊化しているために細胞間隙を水や溶質が通れないので、色素がこの層を通過するには細胞内にいったん吸収される必要がある。したがって、色素分子を積極的に取り込む輸送タンパク質でもたないかぎり、根から吸収された色素が道管に達するには非常に時間がかかる。通常、道管内の水は葉での蒸散によって引っ張り上げられており、道管内は陰圧となっている。③のように茎を切断すると、この陰圧のために、切断面から道管内に空気が引き込まれる。こうしてできた気泡は、道管内の水の移動に対して大きな抵抗となる。②のように、赤インク液中で茎を切断すれば、気泡もできず、道管に直接色素が入っていくため、道管の染色には効率が良い。明るいところでは蒸散が盛んで道管内の水を引き上げる力も強いので、明るいところに置いた方がより早く色素が道管内にゆきわたる。

問9)【正解】B

【解説】長さのグラフ(実線)どうしを12時間後の段階で比較すると、I(オーキシンのみ)よりII(オーキシシン+ジベレリン)の方が、30%程度伸張成長が促進されていることがわかる。このことから①の文が適切である。

また、同様の時点で重さのグラフ(破線)どうしを比較すると、IよりIIの方が15%程度重いことが読みとれる。この成長幅は伸張成長の成長幅より小さいことから、溶液Iでは溶液IIよりも肥大成長が促進されたと考えられる。このことから⑤の文が適切である。これらをふまえると、解答はBとなる。

実際は、オーキシシンは細胞壁のセルロース繊維どうしの結びつきを弱めるはたらきをすることがわかっている。そのためオーキシシンが作用すると細胞の膨圧の低下により吸水圧が上昇し、細胞は吸水して縦方向(伸張成長)にも横方向(肥大成長)にも成長する。一方、ジベレリンは細胞壁のセルロース繊維の方向を横方向にそろえるはたらきがある。そのため、オーキシシンとジベレリンを同時に与えると、方向のそろったセルロース繊維により肥大成長は抑えられるが、吸水による成長は伸張成長が主体となるため、伸張成長が大きく促進される。

【出典・参考資料】

J T生命誌研究館サイエンティストライブラリー特別編 柴岡弘郎先生(大阪大学名誉教授)

http://www.brh.co.jp/s_library/j_site/scientistweb/no52/index.html

問10)【正解】J

【解説】発生生物学の有名な実験であり、キャンベル生物学（第8版）の英語版の1043ページに解説されている。

- ①（誤）：前方領域は移植しても影響がないので、この領域が前後を決定するのに重要であるとは考えられない。
- ②（正）：後方領域を前方に移植すると、前方があたかも後方になったようにふるまうので、後方領域が前後の決定に重要であることが結論できる。
- ③（正）：移植された細胞が過剰指を形成するわけではないので、移植した細胞が周囲の宿主細胞にはたらきかけて過剰指を作らせたと考えるのが妥当である。
- ④（正）：Xの産物が、後方領域の移植と同じ効果を示すので、Xの産物が後方領域の性質を決定すると考えるのが妥当である。

この問題でXとされている遺伝子は *Sonic hedgehog (Shh)* という遺伝子である。現在、肢芽の前後軸の形成における Shh の重要性は広く認められているが、Shh タンパク質が肢芽の広い範囲に拡散して勾配を形成し、いわゆるモルフォゲンとして作用しているかどうかについては議論が多い。むしろ Shh は肢芽の後端から前端にかけて生じる生理的勾配のきっかけとなるという考え方が有力である。その根拠は、Shh タンパク質は分泌されるとすぐに切断されて、活性のあるタンパク質領域はすぐ近くの細胞に結合するという研究結果もある。一方で、正常肢芽の中では、Shh タンパク質が実際に後方から前方にかけて濃度勾配を形成しているという報告もあり、肢芽前後軸の確立における Shh の作用の実体はまだ明らかではない。

2011年に東北大学大学院生命科学研究所の田村宏治教授のグループは、発生学的解析から鳥類の翼の3本の指が、(II-III-IV)ではなく、(I-II-III)として形成されていることを示した。この問題では、解答にとくに関係していないので、教科書通り (II-III-IV) とした。

問11)【正解】C 【部分点】E

【解説】1971年にカナダのトロント大学で増井禎夫博士らにより行なわれた、卵成熟促進因子 (maturation-promoting factor, MPF) と細胞分裂抑制因子 (cytostatic factor, CSF) の存在を提唱した画期的な実験である。この後、MPFは、一般の体細胞分裂でも分裂期を誘起する重要な細胞周期制御因子であることが判明した。問題文より、第二減数分裂中期で停止している未受精卵の細胞質には分裂を停止させる因子と未成熟な卵母細胞の減数分裂進行を促す因子の2つの活性が存在することがわかる。減数分裂進行を促す因子に関しては受精後に分解されるかどうかの判断はできず、また、未受精卵の細胞質を受精卵の割球に注入した場合、卵割は分裂中期で停止するが、受精卵の細胞質にはその活性はない。したがって、受精後に分解されると考えられるのは分裂を停止させる因子の方である。さらに、2つの因子を含む未受精卵の細胞質を未成熟な卵母細胞に注入すると、卵成熟が進行し未受精卵になるので、細胞分裂停止因子は卵成熟を抑制する因子ではないことは明らかである。卵割は体細胞分裂なので、未受精卵に存在する分裂停止因子は第二減数分裂も体細胞分裂のどちらにも作用できることがわかる。

問12)【正解】C

【解説】C以外の選択肢はすべて正しい記述である。これらを読みながら、ふーん、と感じてくれて、水と空気の媒体としての違いに思いをはせてくれるとうれしい。Cでは、海水魚は体液の浸透圧が海水より低いため、(とくに鰓から)水が失われていく傾向にある。そのため、海水を飲み、余分な塩を鰓からの分泌や尿としての排出することで、体液の浸透圧を保っている。

問 13) 【正解】 D 【部分点】 C

【解説】 このグラフは、 $Y(\text{L/kg/h} : \text{体重 } 1 \text{ kg あたりの毎時酸素消費量}) = a \times X(\text{km/h} : \text{走行速度}) + b$ の関係をあらわしている。 b が休息時の酸素消費量なので、 $Y - b$ が体重 1 kg あたりの毎時走行コストをあらわす。 $Y - b = aX$ の関係から、この傾き a は単位が L/kg/km となり、体重 1 kg を 1 km 移動するのに要する走行コストとなる。一定の距離を移動するのに要する走行コストは、傾きに体重を乗じたものになるが、これは、動物ごとに異なることがわかる（ハツカネズミからジリスあたりまでは 0.1 周辺にあつまることがイヌはかなりはずれる）。傾きは動物ごとに異なるが、同じ動物では $Y - b = aX$ の関係が成り立っていることから、一定の距離を移動するのに要する走行コストは、動物種ごとに異なるが、同じ動物種で同じ体重であれば速度には依存せず、ほぼ一定であり、②が正しい。傾きは体重の小さな動物ほど大きいので、体重 1 kg を 1 km 移動させるのに必要な走行コストは、体重が小さい動物ほど大きい。

問 14) 【正解】 E

【解説】 組織適合性は、同種異個体間での移植組織に対する免疫反応によって生じる。自己の抗原に対しては免疫抑制がかかっているが、自己にない抗原に対しては免疫反応が生じる。自己・非自己の反応であるため近親であるほど適合性が高く、マウスなどで組織適合性の系統が樹立されている。アフリカツメガエルでは J 系統が唯一の組織適合性の系統で、北海道大学の研究グループが 20 年がかりで樹立した貴重な系統である。

実験 1 と 2 から、J 系統と野生型の間では移植組織の拒絶があることから、J 系統の組織適合性抗原や免疫は正常と判断でき、選択肢 A, B, C は誤。選択肢 D は実験 4 に反するので誤。実験 5 の解釈を選択肢 E か F かのどちらと考えるかに絞られる。組織適合性抗原の遺伝子は、成長過程でその発現に差がみられることはあっても、個々のゲノムに限定され、自己のものとして成長過程で置き換わるものではないことから、E が正答として残る。

カエルでは成体へと変態する過程で免疫系が発達する。一方、皮膚がオタマジャクシ型から成体型に分化する過程で発現しなくなるタンパク質があり、特に尾では変態期間にそのタンパク質の発現が多くなる。成体になるにつれて発達する免疫系がこれを異物として攻撃する。変態過程でオタマジャクシの尾が退縮するのはおもにホルモンの作用によるが、免疫によっても尾が退縮することで、変態を確実にしていると考えられる。

参照 : Izutsu and Yoshizato (1993) *J Exp Zool* 266:163, Mukaigasa *et al.* (2009) *PNAS* 106:18309.

問 15) 【正解】 D

【解説】 シナプスを題材にした問題であるが、問うている内容は、対照区（コントロール）として必要な条件である。周知の通り、ひとつのタンパク質が多く作用をもつ場合もあるが、このようなタンパク質を医療等に応用しようとしたとき、多くの機能解析が必要であり、副作用を推測することは困難である。一方、ひとつのタンパク質が、特定の作用しかないと考えられるとき、そのタンパク質だけでなんらかの細胞機能の変化をもたらすことが期待できる。この実験の場合は、SLITRK3 により、抑制性シナプスの形成が改善されることが推測されるが、他に影響を与えないことを確かめられれば、副作用の可能性が少ないことが期待される。

<参考>

理化学研究所プレスリリース

抑制性シナプス形成に重要なタンパク質を発見 —脳機能における抑制性シナプスの役割解明に手掛かり—

<http://www.riken.go.jp/r-world/info/release/press/2012/120130/detail.html>

問 16) 【正解】 H

【解説】メラノプシンを含んでいる光感受性網膜神経細胞には、視交叉上核に情報を送る光情報をまとめる役割のほか、桿体と錐体からの情報を視交叉上核に伝える働きもある。

- ①は×：メラノプシンがなくても、光に概日リズムをほぼ合わせることができるため。
- ②は○：いずれもない場合は、概日リズム調節ができないため。
- ③は×：メラノプシン産生細胞には、桿体と錐体からの情報を視交叉上核に伝える働きもあるため。
- ④は○：メラノプシン産生細胞がないと、概日リズム調節ができないため。
- ⑤は×：メラノプシン産生細胞がなくても視覚機能をもつため。
- ⑥は○：メラノプシンがなくても、光に概日リズムをほぼ合わせることができるため。

問 17) 【正解】 B

【解説】生物には、環境温度が変わると新しい環境温度に対しその機能を維持するために自ら変化を生じ対応する性質がある。この現象を温度順化とよぶ。本実験では温度順化の発現に対する脳の役割を考えるため、体を分割して行動を観察することが容易なプラナリアをもちい、滑走速度にみられる温度順化に注目し実験を行なった。実験 1 では咽頭部を境に体を前後に分断し、前半部に脳を残すようにした。全身のプラナリアの結果から、23℃以下で滑走させた場合、飼育温度が低い 13、18℃では滑走速度が 23℃飼育のものよりも高くなる。また、23℃よりも高温で滑走させた場合、13℃飼育グループで急激な滑走速度の低下がみられるが、18℃や 23℃飼育では滑走速度の低下は顕著ではない。これらのことから滑走速度には温度順化の効果があるといえる。また、体が二分されたにもかかわらずプラナリアは滑走し、順化温度による滑走速度の変化は全身個体とほぼ同様に観察された。このことから、温度順化の結果生じる滑走速度の変化は、脳がなくても発現することがわかる。

出典：Takamatsu and Tsukuda (1977) *Annotationes Zoologicae Japonenses* 50: 63-69.

問 18) 【正解】 C 【部分点】 D

【解説】肉食動物が取り除かれると、草食動物の増殖率が上昇しその個体数が増加する。増加した草食動物は植物種間競争の上位種を選好して食べるために、植物群集は、種間競争の下位種にかたよった構成となることが予想される。嗜好植物の減少が草食動物の増殖率を低下させないので、個体数の増加に合わせて食い尽くしによる植物種数の減少が起きる可能性がある。

草食動物が取り除かれると、植物種間の競争がより強くなり、植物群集は、種間競争の上位種にかたよった構成となることが予想される。この結果、競争により下位の種の生育が困難になり、植物種数が減少する可能性がある。

問 19) 【正解】 E 【部分点】 F

【解説】この問題で取り上げた個体数を推定する方法は標識再捕獲法とよばれている。2 度目の釣りで、150 匹中 30 匹に標識があったことから、全体の個体数は標識のあるフナ (1 回目の釣りで釣られたフナ) の個体数の 5 倍であることがわかる。したがって、個体数は $120 \times 5 = 600$ と推定される。

一度釣られた個体は釣られにくい場合、標識のある個体を釣るのは困難になる。よって、個体数は 600 より少ないと予想される。

問20) 【正解】D 【部分点】E

【解説】単独で育てた場合は生産構造図の総乾燥重量の比較から、ヤエナリのほうが乾燥重量は多くなることが予想される。ソバとヤエナリを混植した場合、光を求めての競争となる。生産構造図から丈の低いヤエナリは、丈の高いソバのかげになり、あまり光を受けられず光合成量が低下すると考えられる。実際に混植すると、ソバでは（同じ密度に換算したとき）単独で育てた場合とほぼ等しい乾燥重量になるが、ヤエナリは単独で育てた場合とくらべて激減する。

問21) 【正解】B 【部分点】C

【解説】やや変則な伴性遺伝のケースであるが、組換え価の意味がわかれば、平易な問題。F₁の雌雄の遺伝子型はそれぞれ $v+/+s$ および $v+/Y$ (YはY染色体をあらわす) であることから、F₂の雌では、[+] と [v] が1:1の割合で生じることが期待される。F₂雌の中で、[v]の表現型を示すものは、 $v/v+$ および $vs/v+$ の2種類であるが、後者は組換え型であることから、[v]のうちの10%を占めると予想される。これらの雌に、 $v+/Y$ の雄を交配して得られる子どもの雄では、[v]と[vs]の2種類が生じるが、[vs]は $vs/v+$ の子どものうちの半数であることから、5%になる。

問22) 【正解】F 【部分点】G

【解説】 x 遺伝子の頻度を q とすると、ハーディ・ワインベルグの法則から、 $q^2=0.09$ であり、 $q=0.3$ と推定される。Mさんの兄が表現型Zを示すことから、両親はヘテロ接合であると考えられる。したがって、Mさんが x 遺伝子をまったくもたない確率は1/4であり、Mさんがヘテロ接合である確率は1/2である。Mさんの配偶子が x 遺伝子をもっている確率は1/2、結婚相手の配偶子が x 遺伝子をもっている確率は0.3なので、生まれる子どもが表現型Zを示す確率は、 $1/2 \times 0.3 = 0.3/2 = 3/20$ 、つまり15%である。

問23) 【正解】D

【解説】遺伝性疾患の原因遺伝子が優性ならば、発病している子どもの両親のいずれかが必ず発病していることになる。この場合は、第2世代で両親ともに発病していないのに発病した子どもが誕生しているので、原因となる対立遺伝子は劣性と判定できる。また、キャリアーではない男性の子供が発病していることから、この病気は1つの対立遺伝子により発病すると考えられるので、原因遺伝子はX染色体上にあると推定される。この場合、発病している女性はX染色体が2本とも原因となる対立遺伝子を含むことになるので、この女性から生まれる男の子は必ず発病することになる。実際に、第2世代の3人の男性は全員が発病していることが家系図から確かめられる。

問24) 【正解】H 【部分点】G

【解説】難しそうに見えるが、性決定変異の定義をもとに、メンデルの法則を使うと、簡単に解ける。

野生型の雄(XO)を使った場合:Pの交配で雌雄同体はXXなので、卵子はすべてX染色体をもつ。また、雄(XO)がつくる精子の半分がX染色体をもち半分がもたない。したがって、F₁の半分がXX、半分がXOになり、 $p:q=1:1$ になる。F₁の雌雄同体(XX)からできる卵子、精子はすべてX染色体をもつので、 $r:s=1:0$ になる。

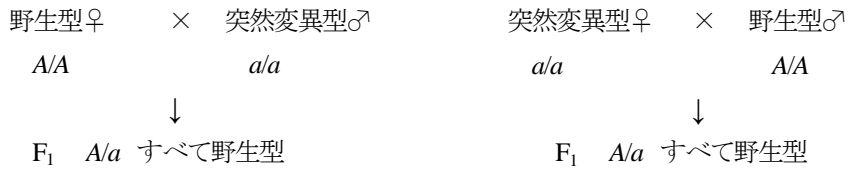
性決定の劣性変異遺伝子をもつ雄(XX)を使った場合:雌雄同体も雄もすべてXXなのでF₁もF₂もすべてXXになる。また、この性決定の劣性変異遺伝子を a とすると、 aa が雄、 $a+$ や $++$ は雌雄同体になる。(aは劣性の変異なので、 $a+$ の表現型は $++$ の表現型と同じになる。)したがって、F₁はすべて $a+$ なので $p:q=1:0$ 、F₂は $++:a+:aa=1:2:1$ なので、 $r:s=3:1$ になる。

性決定遺伝子としては哺乳類のY染色体にあるSRY遺伝子が有名だが、他の生物では別のさまざまな遺伝子が性決定遺伝子になっている。一般的には、性決定遺伝子は必ずしも性染色体にあるとはかぎらない。

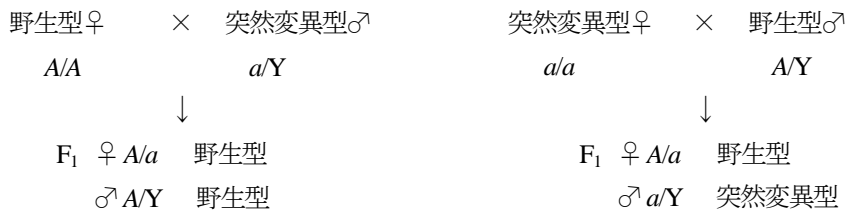
問 25) 【正解】 G

【解説】まず、この突然変異遺伝子が劣性の場合を考えると、交配には野生型♀×突然変異型♂、野生型♂×突然変異型♀の2つがあるが、前者では常染色体、X染色体上の遺伝子にかかわらず、すべて野生型となる。一方後者の交配では常染色体上の遺伝子ならすべて野生型が、X染色体上の遺伝子なら野生型(♀)：突然変異型(♂)が1：1の比率であらわれる。したがって③が正解。突然変異遺伝子を a 、その野生型の対立遺伝子を A とすると、交配結果は以下のようにあらわされる。

常染色体上にある場合



X染色体上にある場合

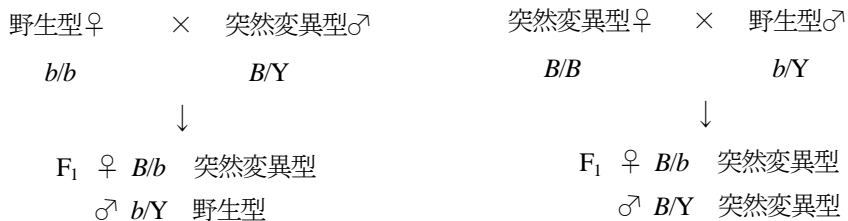


次に突然変異遺伝子が優性の場合を同様に考えると、野生型♀×突然変異型♂では常染色体上の遺伝子ならすべて突然変異型に、X染色体上の遺伝子なら野生型(♂)：突然変異型(♀)が1：1の比率であらわれる。一方野生型♂×突然変異型♀では常染色体、X染色体上の遺伝子にかかわらず、すべて突然変異型となる。したがって④が正解。突然変異遺伝子を B 、その野生型の対立遺伝子を b とすると、交配結果は以下のようにあらわされる。

常染色体上にある場合



X染色体上にある場合



問 26) 【正解】 C 【部分点】 D

【解説】鞭毛や軸足における微小管の配列構造は、電子顕微鏡をもちいた観察で見えてくる微細構造である。細胞における微細構造の共通性は、生物の系統進化を反映していることが多い。鞭毛や繊毛は、真核生物の多くの系統でみることができる細胞の運動装置で、微小管の 9 + 2 構造は、基本的に共通している。したがって、鞭毛（繊毛）装置は、真核生物が出現した初期の段階で獲得され、真核生物が多様化していくなかでも、微細構造が保存されたまま、受け継がれてきたと考えることができる。被子植物や一部の裸子植物、多くの真菌類では、生活環のすべてを通して鞭毛は形成されないが、一部の裸子植物、シダ植物、コケ植物や、祖先的な真菌類は、遊走子や精子において鞭毛を形成する。したがって、被子植物や一部の裸子植物、多くの真菌類は二次的に鞭毛を失ったと考えられる。

繊毛は、繊毛虫や動物の上皮細胞などで、細胞から多数生えている運動装置で、鞭毛とは運動様式が異なるものの、1 本 1 本の微細構造は鞭毛と一致している、したがって、鞭毛と繊毛は、進化的起源は同一であると考えられる。

一方、軸足は、光学顕微鏡レベルでは、無殻太陽虫でも有中心粒太陽虫でも、構造的・機能的にも同様な器官にみえるが、その微細構造はまったく異なっている。また、無殻太陽虫と有中心粒太陽虫は、分子系統的には異なる系統に属することからも、軸足は、それぞれの系統の太陽虫や放散虫で、独立に獲得され、収斂（しゅうれん：収束進化）によって、光学顕微鏡では区別できないものになったと考えられる。

問 27) 【正解】 B 【部分点】 D

【解説】多細胞動物の系統仮説としては、図 1 に示したような主として形態および発生の比較に基づいたものが支持されてきた。これによると、海綿動物が最初に分岐し、次に二胚葉性のクラゲなどの刺胞動物が分岐し、さらに体腔をもたないプラナリアなどの扁形動物が分岐した。その後、擬体腔性のセンチュウなどの線形動物と真体腔をもつ動物群が分岐した。真体腔をもつ動物群は 2 つに大きく分かれた。原口が口になる旧口動物と原口が肛門側にできる新口動物である。一方の旧口動物にはカタツムリなどの軟体動物、ミミズなどの環形動物、昆虫などの節足動物を含んでいる。旧口動物からは体節性のある節足動物と環形動物が分かれた。もう一方の新口動物からはヒトデなどの棘皮動物や脊索動物が生じた。この系統仮説は長らく支持されてきたが、リボソーム RNA などの分子データを解析した結果は図 2 のような系統仮説が提示された。この 2 つの系統仮説は①海綿動物は他の動物群と最も古い段階で分かれたことや、次に刺胞動物が分かれたこと、②すべての新口動物は共通の祖先をもつことなど、多くの部分で一致がみられる。④二胚葉性の刺胞動物は三胚葉性の動物群と共通の祖先をもっていることになる。③外骨格をもち脱皮する動物は線形動物と節足動物であり、これらは図 2 では単系統となっているが、図 1 では単系統となっていない。⑤全身にわたって体節をもつ動物は節足動物と環形動物であるが、図 1 の系統仮説では単系統であるが、図 2 では単系統となっていない。このような相違から、「体腔」や「体節」など、従来重視してきた形質の重要性が再検討されている。

表紙

図は、『メンデル遺伝のメカニズム』（改訂版、1922 年、T. H. Morgan, A. H. Sturtevant, H. J. Muller, C. B. Bridges 著）の図 10 です。キイロショウジョウバエの白眼が X 染色体上の劣性遺伝子が原因であることを示しています。ショウジョウバエは古くから（今でも）重要な実験材料としてもちいられ、多数の大発見に貢献しています。

この本の著者のうち、T. H. Morgan は遺伝子が染色体によって運ばれることを示し、1933 年にノーベル生理学・医学賞を受賞しています。また H. J. Muller は X 線照射により突然変異が誘発されることを示し、1946 年にノーベル生理学・医学賞を受賞しています。