

日本生物学オリンピック 2024

予選問題

2024年7月14日（日）

〈正解・解説〉



問1) 【正解】B 【部分点】(配点の3/10) A C E L

【解説】再会合の際に断片1つ1つが自身の相補鎖に出会う確率は相補鎖の濃度に依存する。1分子のDNAの質量はDNA長におおよそ比例するため、問題文のPゲノム由来の水溶液の単位体積あたりに含まれる相補なDNA断片の数はBゲノム由来水溶液の約100倍である。したがって後者より前者のほうが、各DNA断片が自身の相補鎖に出会いやすいため、再会合が速く起こる。①の水溶液の単位体積あたりのDNA断片の数は問題文のPゲノム由来水溶液とBゲノム由来水溶液の間なので、再会合の速さも中間となる。②の水溶液にはPゲノム由来断片とBゲノム由来断片が重量1:1で含まれるということは、DNA断片の数としては100:1である。Pゲノム由来断片のほうが自身の相補鎖に出会いやすい状況となっており、先に再会合する。部分点は①と②のどちらか一方が正解の場合に与える。

我々ヒトを含む多くの生物では、ゲノム中に多くの反復配列がある。本問と同じく温度変化によるDNAの解離と再会合を利用した解析(CoT解析)によって、ゲノム中の反復配列の量をおおまかに見積もることができる。

問2) 【正解】C 【部分点】(配点の3/10) E (配点の2/10) G (配点の1/10) A

【解説】サンガー法によるDNAの塩基配列決定に関する易しい問題である。

DNAは負に帯電しておりマイナスからプラスに向かって移動することを理解したうえで、アガロースゲル中では長い断片は移動しにくいのに対し、短い断片は移動しやすいため、遠くまで移動した塩基から順に読んでいくことで塩基配列を決定できる(選択肢E)。この配列は目的のDNAの相補鎖の塩基配列であるため、目的の配列は選択肢Cとなる。

なお、サンガー法は問題にあるような短い塩基配列を決定するために使われることはない。ここでは、問題を簡略化するため、あえて8塩基という短い塩基配列で考えてもらった。

問3) 【正解】E 【部分点】(配点の3/10) A C D F (配点の1/10) H J

【解説】新型コロナウイルスSARS-CoV-2の外側には、宿主であるヒト細胞内の膜構造に由来する脂質二重層があり、Sタンパク質等のタンパク質が配置されている。Sタンパク質の先端部分にはヒトの細胞膜の表面に存在するACE-2受容体に結合する部分があり、その結合がヒトの細胞に侵入する第一段階となる。Sタンパク質の先端のACE-2受容体と結合する部分に変化して結合しやすくなれば、感染力が高まって「変異株」が広がっていくことになる。タンパク質の変化は構成するアミノ酸が別のアミノ酸に置き換わってその部分の立体構造や電荷などが変わることによって生じる。新型コロナウイルスは遺伝子としてRNAをもつRNAウイルスであり、そのゲノムは約3万の塩基のRNAからなる。ゲノムRNAにはSタンパク質の遺伝情報があり、宿主細胞のタンパク質合成系によって大量のSタンパク質が作られて細胞内の膜に配置される。また、ゲノムRNAの塩基配列をもとにして、ウイルス由来の酵素や宿主細胞に存在する物質を使って新たなゲノムRNAが量産される。新たなゲノムRNAが作られる時に、塩基の置換が起こると異なったゲノムRNAをもつウイルスが作られることになる。塩基の置換の頻度は極めて低く、連続した複数の塩基が同時に置換されることはないと考えてよい。置換がSタンパク質の遺伝情報部分で起これば、Sタンパク質のアミノ酸配列が変化することがあり、これによって「変異株」が生じる。

アミノ酸の1文字記号のEはグルタミン酸、Kはリシンなので、変異株E484Kの場合、Sタンパク質の484番目のアミノ酸がグルタミン酸からリシンに変化していることになる(①は正しい)。Sタンパク質においてACE-2受容体に結合する部分で変化が起きなければ感染力や免疫回避に変化は生じない(②は誤り)。Lはロイシン、Rはアルギニンを示すので、変異株L452Rでは452番目のアミノ酸がロイシンからアルギニンに変化したことになる。コドン表からロイシンのコドンはUUA、UUG、CUU、CUC、CUA、CUGであり、アルギニンのコドンはCGU、CGC、CGA、CGG、AGA、AGGであるので、コドンの2番目の塩基がUからGに変化したものと考えられる(③は正しい)。紫外線やX線などの照射を受けてアミノ酸が変化しても、遺伝子であるRNAが変化しなければ変異株とはならない(④は誤り)。前述のように、ヒトの細胞内でウイルスRNAをもとに新たなウイルスRNAが作られる際にRNAの塩基が変化して変異株が生じる(⑤は正しい)。

問4)【正解】H 【部分点】(配点の3/10) I (配点の1/10) B G K

【解説】代謝経路におけるフィードバック制御の簡単な問題である。

経路Ⅰでは、L2 から L3 への反応が促進されるので、L2 の濃度は減少する。その結果、L4 の生成速度も P2 の生成速度も減少する。

経路Ⅱでは、M2 から M3 への反応が阻害されるので、M2 の濃度は増加する。その結果、M4 の生成速度も P4 の生成速度も増加する。

経路Ⅲでは、S3 から N1 への反応が阻害されるので、N1 の生成速度は減少し、N1 の濃度は減少する。その結果、それ以降の反応は減速し、P6 の生成速度も減少する。

問5)【正解】G 【部分点】(配点の3/10) H (配点の1/10) A

【解説】①だけを与えたとき、②だけを与えたとき、発芽率は上昇している。このことから、①と②はエチレンかエチレンの前駆体であると判断できる。このとき注目することは、④を同時に与えたとき発芽率は上昇しないことである。これは、④がエチレンの作用を阻害する物質であることを意味している。すると、③は前駆体からエチレンへの生合成を阻害する物質となる。①は③があると発芽率が上昇しないことから、①はエチレンの前駆体であると判断できる。②は、③があっても発芽率の上昇がみられるので、エチレンである。

なお、エチレンは、発芽だけでなく、毛根の誘導、花芽形成の促進、葉や花の老化、果実の成熟、ストレス応答などに関与している。また、エチレンによる発芽の促進は、すべての植物種で確認されているわけではない。

問6)【正解】J 【部分点】(配点の3/10) D (配点の1/10) G H I K L

【解説】長日植物では連続した暗期が一定の長さ以下になると花芽の形成が始まる。短日植物では連続した暗期の長さが一定以上になると花芽の形成が始まる。長日植物において花芽形成が起こる最長の暗期の長さ、および短日植物において花芽形成に必要な最短の暗期の長さを限界暗期という。

長日植物には、ホウレンソウ、アブラナ、カーネーション、アヤメなど春に開花するものが多い。短日植物はアサガオ、ダイズ、キク、サツマイモなど夏から秋に開花する植物が多い。日長や暗期の長さに関係なく、一定の大きさになると花芽を形成する植物を中性植物といい、トマト、トウモロコシ、エンドウなどがある。

問題文中のs点で開花を始める一年生のある植物は、発芽後季節が進み暗期が長くなると花成が誘導されることから短日植物である。点線の閾値は日長時間が約15時間のところにあるので、暗期の長さは約9時間のところで花成の閾値があることになる。

一部の植物では花芽形成などが、一定の低温状態を経験した後でのみ花成が誘導される。この現象を春化という。春化の作用は花成に対する抑制機構を解除することで、適した光周期における速やかな花成誘導を可能にする。春化を必要とする長日植物の場合には、この植物が最初の夏に花を咲かせてしまうことを防ぎ、受粉などが成功しやすい次の春まで花が咲くのを遅らせることになっている。こうした春化のしくみとして、クロマチンの再構築(リモデリング)が関わっていることが明らかになっている。問題文にあるように春化を必要とする長日植物の開花は理論的にはdの時期に開花するものと考えられる。しかし実際には花成時期の決定にはさまざまな要因(植物の成長ステージ、栄養状態、環境や病原体からのストレス状態、遺伝的背景など)の組合せによる複雑な調整が存在すると考えられ、その詳細な制御のしくみはまだよくわかっていない。また植物の種類によっても春化の要求性の程度にばらつきがみられる。

問7) 【正解】L 【部分点】(配点の5/10) F (配点の3/10) H J K

【解説】品種Pにおいて個体間に違いは認められなかった。これは、品種Pの品種内変異は非常に低いことを示している。このことは、「品種Pが種Qと種Rの人工交配で作り出されたのは1回限りである」ことを暗示している。しかし、「数回の人工交配で品種Pが作り出された」可能性を排除することはできない。したがって、②が正しい。

花粉親(メス親)に関して、これらの実験は何の手掛かりも与えていない。更なる実験(たとえば、葉緑体DNAの遺伝解析)が必要である。したがって、⑤が正しい。

品種PがもっているS遺伝子と同じ対立遺伝子をもっている花粉は実を結ぶことができない。結実率が35%ということは、65%の花粉が排除されたことになるので、⑦が正しい。

[参考文献] H. Innan, R. Terauchi, N. T. Miyashita & K. Tsunewaki (1995) DNA fingerprinting study on the intraspecific variation and the origin of *Prunus yedoensis* (Someiyoshino). *Jpn. J. Genet.* 70:185-196.

問8) 【正解】I 【部分点】(配点の3/10) B D (配点の1/10) E G H J

【解説】ヒト女性の排卵周期のホルモン調節に関する基本的な問題である。男性では継続的な精子形成が行われるが、女性にはホルモンによって調節された周期的な変動が存在する。

図中のホルモンH1はLH(黄体形成ホルモン)、ホルモンH2はFSH(卵胞刺激ホルモン)、ホルモンH3はエストラジオール(エストロゲン)、ホルモンH4はプロゲステロンを示している。

ホルモンによる生殖周期の調節は、視床下部からのGnRH(生殖腺刺激ホルモン放出ホルモン)の分泌に始まる。GnRHは脳下垂体前葉に2種類のホルモン(LHとFSH)を分泌させる。したがって①は誤り。

LHとFSHは男性にも存在し、FSHは精巣のセルトリ細胞、LHは同じく精巣のライディッヒ細胞にはたらきかけて、精子形成を促す。よって②は正しい。

子宮内膜は排卵周期とシンクロして厚さが変化する。分泌期は高濃度のエストラジオールとプロゲステロンのはたらきで、子宮内膜が肥厚し、着床に備えた液体を「分泌」している。この時の卵胞は、排卵(14日)後なので黄体が発達し、退化する時期となる。よって③は誤り。

エストラジオールは低濃度では脳下垂体のホルモン分泌を抑制するが、高濃度になると反対に促進をする(生体内における正のフィードバックの一例である)。すなわち視床下部に働きかけてGnRHの分泌を促し、エストラジオールとプロゲステロンの上昇をもたらす。特にLHは急激な濃度上昇を示しLHサージとよばれる。この変化はグラフからも読み取ることができる。よって④は正しい。

問9) 【正解】H 【部分点】(配点の3/10) B C (配点の1/10) E F I J

【解説】実験結果より、海水は濾胞細胞の有無にかかわらず、全く減数分裂を再開させないこと、1-メチルアデニン(1-MA)は逆に、濾胞細胞の有無にかかわらず、減数分裂を再開させることがわかる。1-MAが未成熟卵内で合成されるのであれば、その時点で自身の減数分裂を再開させてしまう。また実験結果より、外部から加えた1-MAが減数分裂を再開させている。よって①は誤り。濾胞細胞がついた未受精卵においてのみ、高濃度のペプチドホルモン(GSS)を加えた際に減数分裂の再開が生じている。したがって、GSSはまず濾胞細胞に作用していること、またGSSに対する濃度依存性があることがわかる。よって②は正しい。1-MAは濾胞細胞の有無にかかわらず減数分裂を再開させるが、細胞膜を透過しないので、卵細胞膜上に1-MA受容体が存在すると予想される。よって③は正しい。GSSは原液に近いほど強く減数分裂を誘起しているため、高濃度ではGSSは1-MAの分泌を促進していると考えられる。よって④は誤り。

ヒトでの発生の場合、放射神経から放出されたGSSは、まず濾胞細胞に作用し、濾胞細胞は1-MAを合成・放出する。1-MAは未受精卵の表面にある受容体に結合し、その結果、減数分裂が再開し、受精可能な状態になると考えられている。

問 10) 【正解】 J 【部分点】 (配点の 5/10) I (配点の 3/10) B F K L

【解説】 インターネットを検索すると、1日に必要な ATP は 100~150 mol, 1日 1000~1500 回使われるというような情報は出てくるが、それを実際に計算してみようとした問題である。計算そのものは難しくはないだろう。ただし、問題では多くの量を仮定している。ATP 存在量の見積もりだけでも、体内の ATP 存在量を、0.1 mol (約 50 g) という Fuhrman & Zimmerman's PEDIATRIC CRITICAL CARE (2011) の値がよく引用され、この問題でもその値を使った。しかし筋肉中の ATP 量を 8 mmol/kg としているものもあり (たとえば Interaction among skeletal muscle metabolic energy systems during intense exercise. J. S. Baker, et al., J. Nutr. Metab. 2010), これを使うと筋肉量を 25 kg として 100 g 程度となる。もちろん筋肉以外の組織にも ATP は含まれる。また、実際のエネルギー代謝を考えると、もちろん糖質だけを摂るわけではない。一方、ブドウ糖 1 mol からは 38 mol の ATP ができるというのが高校生物の教科書の記述だが、種々のロスを考えると 30 mol 程度と考えるほうがよさそうである。しかし、このような極めて大雑把な概算でも、非常に多くの ATP がリサイクルされていることは確認することができる。ただし、ここでは ATP がエネルギー源として使い回されることしか考えていないが、ATP は種々の RNA の合成にも使われ、細胞の更新とともに排出される量もあり、したがって新規にヌクレオチドを合成する必要もあるわけで、ATP (および ADP, AMP) の全体の代謝はより複雑なものとなる。

呼吸のエネルギー効率は、1 mol のブドウ糖から 30 mol の ATP ができることから直ちに算出できる。標準自由エネルギー変化で計算するとおよそ 30%程度だが、これは ATP, ADP, リン酸がすべて 1 mol/L での値である。実際の細胞内では ATP は ADP のおよそ 10 倍から 20 倍程度の濃度で存在すると考えられており、この条件下では ATP の加水分解からえられるエネルギーは 50 kJ/mol 以上となる。こちらの値で考えれば呼吸のエネルギー効率は 50%程度と考えることもできる。

ATP に変換されなかったエネルギーは熱となる。1 cal は 1 g の水の温度を 1°C 上昇させるエネルギー量であるから、上記で計算した効率と 2500 kcal から容易に計算できる。さらに ATP を使うときのエネルギー効率も決して 100%ではありえず、筋肉のエネルギー効率はおおよそ 2~3 割といわれている。これらの熱は、体表からの輻射や呼吸、発汗などによって外界に放出されるが、我々内温動物の場合には体温を保つためにも使われる。

最後に、ア~エの値を与える計算式は以下のとおりである。

$$\text{アの値} = \frac{2500 \text{ kcal} \times 4.184 \text{ J/cal}}{2870 \text{ kJ/mol}} \times \frac{30 \text{ mol (ATP)}}{1 \text{ mol (ブドウ糖)}} \times 507 \text{ g/mol} \approx 55434 \text{ g} \quad \text{イの値} = \frac{\text{アの値}}{50 \text{ g}} \approx 1109$$

$$\text{ウの値} = \frac{30.5 \text{ kJ/mol} \times 30 \text{ mol (ATP)}}{2870 \text{ kJ/mol} \times 1 \text{ mol (ブドウ糖)}} \approx 0.319 \quad \text{エの値} = \frac{2500 \text{ kcal} \times (1 - \text{ウの値})}{60 \text{ kg}} \approx 28.4 \text{ cal/g}$$

なお、この問題を解くだけであれば、このように正確に計算する必要はない。たとえば、以下のように大雑把に計算する。

$$\text{アの値} \approx \frac{2500 \text{ kcal} \times 4 \text{ J/cal}}{3000 \text{ kJ/mol}} \times \frac{30 \text{ mol (ATP)}}{1 \text{ mol (ブドウ糖)}} \times 500 \text{ g/mol} = 50000 \text{ g} \quad \text{イの値} \approx \frac{50000 \text{ g}}{50 \text{ g}} = 1000$$

$$\text{ウの値} \approx \frac{30 \text{ kJ/mol} \times 30 \text{ mol (ブドウ糖)}}{3000 \text{ kJ/mol} \times 1 \text{ mol (ブドウ糖)}} = 0.3 \quad \text{エの値} \approx \frac{2500 \text{ kcal} \times (1 - 0.3)}{60 \text{ kg}} \approx 29 \text{ cal/g}$$

そして、これらの数値に近い選択肢を選べばよい。

問 11) 【正解】 J 【部分点】 (配点の 3/10) I (配点の 1/10) D H L

【解説】 求愛行動のうち、求愛歌を聞き分ける能力に関する問題である。

羽化直後のメスにおいて、求愛歌 I と求愛歌 II を聞き分ける能力はないが、求愛歌 I と求愛歌 III を聞き分ける能力はあると推測される。したがって、②は正しく、①は間違っている。

1 週間たっても、音のない状態で維持されたメスでは、求愛歌を聞き分ける能力に変化は認められない。したがって③は間違っている。1 週間後のメスでは、求愛歌 I を聞き続けた場合には求愛歌 I と求愛歌 II を聞き分ける能力は大いに上がっている。求愛歌 II を聞き続けた場合には求愛歌 I と求愛歌 II を聞き分ける能力は多少上がっているにすぎない。したがって、④は正しく、⑤は間違っている。

1 週間求愛歌 I を聞き続けたメスでは、求愛歌 I の下では交尾率 (交尾した割合) は 56% であり、求愛歌 II の下では交尾率は 22% である。いずれの場合も交尾率は低下している。これは拒否率 (拒否した割合) が高まったと考えられる。特に求愛歌 II の下での拒否率の上昇は著しい。したがって、⑦は正しく、⑥は間違っている。

この問題で紹介した研究は、「学習の効果は学習の内容に依存しており、適切な学習が重要である」ことを示している。

〈参考文献〉 X. Li, H. Ishimoto & A. Kamikouchi (2018) Auditory experience controls the maturation of song discrimination and sexual response in *Drosophila*. eLife:7:e34348.

問 12) 【正解】 J 【部分点】 (配点の 3/10) H K (配点の 1/10) D

【解説】 個体数 (N) は $N = mc/r$ (式 1) で推定される。ここで m は 1 回目の捕獲で捕獲し、標識を付けた個体数、 c は 2 回目の捕獲で捕獲した個体数、 r は 2 回目の捕獲で捕獲した個体の中で標識の付いていた個体数である。

2 回目の捕獲において標識の付いた個体の捕獲率が標識の付いていない個体の捕獲率より低い場合、 r は小さくなるので式 1 をもちいた推定値は大きくなることが期待される。したがって、②は正解である。

移出する個体は無作為に選ばれる。すなわち、標識の付いた個体と標識の付いていない個体の比は変化しない ($r/c = m/N$)。したがって、推定される個体数は 1 回目の捕獲直前の個体数と等しいことが期待される。④は正しい。

移入の場合、移入する個体は標識の付いていない個体のみである。移入した個体数を N_1 とすると $r/c = m/(N + N_1)$ となる。したがって、 $mc/r = N + N_1$ となり、移入後の個体数 (2 回目の捕獲直前の個体数) になることが期待される。⑤は正しい。

問 13) 【正解】 H 【部分点】 (配点の 3/10) D (配点の 2/10) F G (配点の 1/10) E

【解説】 生態的地位が重なっている種の間では、食物や生活空間などの資源をめぐる種間競争が起こる。ケイ藻は水中のケイ酸 $\text{Si}(\text{OH})_4$ を吸収して体内でシリカ ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) を合成し、殻を作る。この生物起源のシリカは非結晶性で無色透明であり、光を通すので光合成を阻害することはない。ケイ藻は分裂で増殖するが、新しい殻を作ることができないなどの理由で死滅したケイ藻の殻は徐々に溶解して、水中にケイ酸として戻る。ケイ藻は生育にケイ酸を必要とするので、異なる種を混合して飼育すると、ケイ酸をめぐる種間競争が起こる。培養液中にケイ酸を添加して培養すると、個体群密度の増加とともにケイ酸は吸収されて減少する。ケイ藻が増殖できない濃度まで低下すると、それ以降ケイ酸濃度は変化しないが、どの濃度までケイ酸を吸収して増殖できるかは、ケイ藻の種によって異なる。図 1 より、種 B の方が、ケイ酸がより低濃度になっても吸収し利用できることがわかる。混合培養した場合、種 A がケイ酸を吸収しきった培養液中でも種 B は残っているケイ酸を吸収して生育することができる。培養開始時に、種 A を種 B の 10 倍の個体群密度に設定しても、やはり種 B が競争に勝つ。これは、種 B が限界までケイ酸を吸収した残りの培養液中では種 A は生育することができないからである。つまり、2 種の初期の個体群密度の差にかかわらず、種 B が種間競争に勝つ。

この問題を解くのに必要ではないが、図 1~3 のデータから何が言えるか、考えてみたい。まず、個体群密度に影響を与える要因は分裂による増加と死滅による減少が考えられる。分裂にはケイ酸が必要であり、死滅によりケイ酸は再生産される。

ただし、死滅してケイ酸が再生産される時間は不明である。図1の左は、種Aの個体群密度は約 $2\mu\text{mol/L}$ のケイ酸濃度でほぼ一定であることを示している。これは、分裂による増加と死滅による減少が同程度であることを意味している。この場合、ケイ酸濃度がほぼ一定であることから、死滅後のケイ酸の再生産は速やかに行われていると考えられる。ケイ酸濃度が $2\mu\text{mol/L}$ より低くなると、ケイ酸不足のため、死滅による減少が分裂による増加より多くなり、個体群密度は減少することが予想される。図1の右は、ケイ酸濃度が非常に低いとき、種Bの個体群密度は減少していることを示している。これは、死滅による減少が分裂による増加より多いことを意味している。同時に、死滅後のケイ酸の再生産は不十分か非常に時間がかかると考えられる。2種混合培養の場合、ケイ酸濃度が非常に低いとき、種Aではケイ酸不足のため、死滅による減少が分裂による増加より多くなり、個体群密度は減少すると予想される。一方、種Aの死滅より再生産されたケイ酸も利用できるので、種Bの個体群密度に顕著な減少はみられないと思われる。結論として、種Aと種Bは、ケイ酸濃度依存性だけでなく、死滅後のケイ酸の再生産にも違いがあると判断される。

<出典・参考資料> 『生態学入門—生態系を理解する 第3版』：生物研究社

問14) 【正解】H 【部分点】(配点の3/10) K

【解説】白繭の純系はYY, 黄繭の純系はyyで、Yはyに対して顕性(優性)である。雑種第1代はYyとなり、雑種第2代では白繭(YYまたはYy)と黄繭(yy)が3:1に分離する。雑種第2代の白繭のうち1/3はYY, 2/3はYyである。これらからペアを作り、次世代で黄繭が分離するのは、メスとオスがともにYyであった場合に限られる。そのようなペアが選ばれる頻度は、 $2/3 \times 2/3 = 4/9$ である。

ちなみに、雑種第2代の白繭どうしを交配したすべての組合せを列挙すると、以下のようになる。すべての場合を合計すると頻度は1になるので、必ず係数を付けることが計算のコツである。

メス	オス	
$1/3 YY$	$1/3 YY$	$\rightarrow 1/9 \times (1 YY)$ すべて白繭
$1/3 YY$	$2/3 Yy$	$\rightarrow 2/9 \times (1/2 YY + 1/2 Yy)$ すべて白繭
$2/3 Yy$	$1/3 YY$	$\rightarrow 2/9 \times (1/2 YY + 1/2 Yy)$ すべて白繭
$2/3 Yy$	$2/3 Yy$	$\rightarrow 4/9 \times (1/4 YY + 1/2 Yy + 1/4 yy)$ 白繭と黄繭が分離

1番目から3番目の組合せでは、次世代はすべてが白繭になるが、必ずしも純系がえられたわけではないことがわかる。これに対して、メンデルが実験材料としたエンドウのように自家受精をする生物で同様のことを考えると、以下のようになる。

$1/3 (YY \times YY)$	$\rightarrow 1/3 \times (1 YY)$
$2/3 (Yy \times Yy)$	$\rightarrow 2/3 \times (1/4 YY + 1/2 Yy + 1/4 yy)$

このように自家受精をする生物では、前者の組合せによって簡単に純系をえることができ、メンデル遺伝の研究に適していることがわかる。

問 15) 【正解】 C 【部分点】 (配点の 3/10) A B (配点の 1/10) L

【解説】 1 回目の交配実験の結果から、3 つの遺伝子座が X 染色体にあり、P2, Q2, R2 がそれぞれ P1, Q1, R1 に対して顕性(優性)であることがわかる。F1 世代のメスの遺伝子型 (X 染色体) は P1 Q1 R1 / P2 Q2 R2 のヘテロ接合となり、P-Q 間、Q-R 間、P-R 間で遺伝子間距離に依存した頻度で組換えが起こる。それが F1 世代のオス (P1 Q1 R1 / Y) との交配結果に反映される。交配結果では P-Q 間、Q-R 間、P-R 間の組換え頻度がそれぞれ 31/1000, 80/1000, 53/1000 となっている。

問 16) 【正解】 C

【解説】 野外集団での C の対立遺伝子の頻度は $p = 0.16 + 0.08/2 = 0.2$ であり、T の対立遺伝子の頻度は $q = 0.76 + 0.08/2 = 0.8 (= 1 - p)$ である。

いま、野外個体で自殖している割合を s とし、他殖している割合を $1 - s$ とすると、ヘテロ接合の個体の種子の遺伝子型の割合は

	C のホモ接合の個体	C と T のヘテロ接合の個体	T のホモ接合の個体
自殖 s	1/4	1/2	1/4
他殖 $1 - s$	$p/2$	$q/2 + p/2 = 1/2$	$q/2$

となる。すると C のホモ接合の個体の頻度は $s \times 1/4 + (1 - s) \times p/2$ であり、ここに $p = 0.2$ を代入し、観察された値 0.22 を考慮すると

$$0.1 + 0.15s = 0.22$$

となる。また同様に T のホモ接合の個体の頻度は

$$s \times 1/4 + (1 - s) \times q/2 = 0.4 - 0.15s = 0.28$$

となる。これらの 2 つの式では、どちらでも $0.15s = 0.12$ である。よって $s = 0.8$ となり、正解は $1 - s = 0.2$ から C となる。

問 17) 【正解】 G 【部分点】 (配点の 3/10) H I

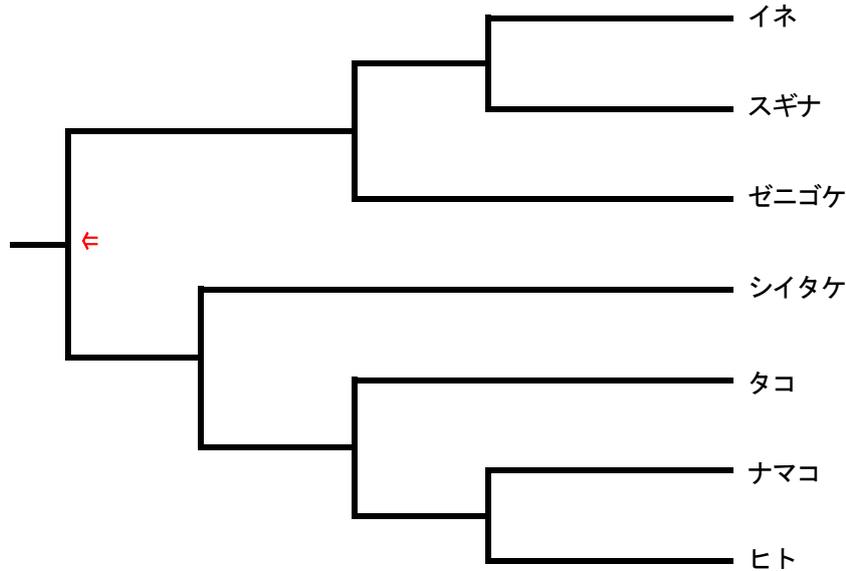
【解説】 種 Y で共通して存在し、そして種 X とは異なる塩基が観察されるサイトは (6) と (8) のサイトである。この 2 つの中でヘモグロビン α 鎖の性質を変える可能性のあるアミノ酸の変化をともなう塩基の違い (非同義置換ともよばれる) がみられるのは (8) のサイトである。よって (8) のサイトの突然変異が高地適応を可能にしたものと考えられる。これらの塩基置換は異なることからそれぞれの種で独立に高地に適応したと考えられ、同じ高地に適応した祖先種に由来したとは考えられない。また種 Y では全体として塩基の違いが少ない一方、種 Z ではさまざまな塩基の違いが遺伝子の間で見られる。これは (6) のサイトの塩基置換をもつ遺伝子に多くの塩基の違いが長い進化の時間をかけて (突然変異や組み換えによってもたらされたことを示している。そのためより最近に高地へ適応した種は種 Y である。よって G が正解である。

問 18) 【正解】 H 【部分点】 (正解の 3/10) L

【解説】 植物, 菌類, 動物の間の系統関係と, 動物および陸上植物の主要なグループ間の系統関係についての問題である。

分子系統解析により, 菌類 (シイタケ) は植物 (イネ, スギナ, スギゴケ) よりも動物 (ヒト, ナマコ, タコ) に近縁であることが明らかにされている。ナマコ (棘皮動物) とヒト (脊椎動物) はどちらも新口動物であり, タコ (軟体動物) よりも互いに近縁である。イネ (種子植物) とスギナ (シダ植物) は維管束植物で, ゼニゴケ (苔類) は非維管束植物 (コケ植物) である。ヒトとナマコを入れ替えても系統樹が示す系統関係は同じであることに注意 (イネとスギナの関係も同様)。したがって, ③は正しく, ①, ②, ④, ⑤は間違っている。

ヒトとイネが分岐した時期はヒトとゼニゴケが分岐した時期と等しい (下の系統種の ← で示す) ので, ⑥は正しい。



表紙の写真 (ヤマボウシ)

ヤマボウシはミズキ科ミズキ属の落葉樹です。北アメリカ原産のハナミズキに似ているところもありますが, ヤマボウシは日本の自生種です。左の写真の白い花びらのように見えるものは総苞片であり, 特殊化した葉です。総苞片の先端は, ハナミズキでは凹んでいますが, ヤマボウシでは尖っています。秋になると, 赤い実をつけます (右の写真)。

近縁種のハナミズキ (標準和名はアメリカヤマボウシ) は, 1912 年に東京市の尾崎行雄市長がワシントン市にソメイヨシノを贈ったことに対する返礼として, 1915 年にワシントン市から東京市に 60 本の苗木が寄贈されました。これが日本でのハナミズキの植栽の始まりです。これらの苗木は日比谷公園や小石川植物園などに分植されました。現在, 東京都立園芸高等学校 (旧東京府立園芸学校) にこのときの原木が残っているそうです。

なお, 左の写真は埼玉県さいたま市で撮影し, 右の写真は東京都豊島区で撮影したものであり, これらは別の木です。