

日本生物学オリンピック 2020

代替試験 一次試験

2020年11月1日（日）

〈正解・解説〉



問1) 【正解】A 【部分点】(配点の3/10) D G

【解説】 mRNA の長さを変える突然変異はスプライシングに関係する突然変異である。そのため、スプライシングにおいて重要な役割を担うエクソン・イントロン境界領域での突然変異①が (ア) に入る。

イントロンにある反復配列での突然変異や同じアミノ酸に対応するコドン間での変化は、遺伝子がコードするペプチドのアミノ酸配列を変化させないので、表現型にあまり影響を及ぼさない。一方、エクソン間のイントロンが適切にスプライシングされず除去されない場合、コードする領域の途中で終止コドンが新たに生じ、ペプチドが短くなる場合、塩基が1つ削除され、それに続くコドンの読み枠がずれ、C (カルボキシ) 側のペプチドのアミノ酸配列が大きく変化する場合は、正常なペプチドを生産することができなくなる。これらのことを考えると、(イ) には①③④が入ることがわかる。

劣性の対立遺伝子の頻度が p であるとする、雄が XY、雌が XX の染色体をもつ哺乳類では、雄は p の頻度で、雌は p^2 の頻度で野生型と異なる表現型をもつ個体が生じることが期待される。今 $0 < p < 1$ であることから、 $p^2 < p$ である。したがって、野生型と異なる表現型をもつ個体は雄でより多くなると考えられ、(ウ) には雄が入る。

問2) 【正解】C 【部分点】(配点の3/10) J K

【解説】 RNA は1本鎖として存在し、折りたたまれて複雑な構造をとることが可能である。相補的な塩基どうしが塩基対をつくることによって高次構造が形成されるが、相補的な配列の鎖の向きは逆向きになる。すなわち、 $5' \rightarrow 3'$ の方向の1本鎖は $3' \rightarrow 5'$ の方向の1本鎖と塩基対をつくる。③は両方の鎖ともに $5' \rightarrow 3'$ の方向になっているため、相補的な塩基対をつくらない。

問3) 【正解】C 【部分点】(配点の3/10) F (配点の1/10) I

【解説】 光合成に関する基本的な問題である。

① カルビン回路では、明反応で作られた ATP と NADPH を原動力として、糖が産生される。したがって、おもに昼間にはたらく。この反応は、光が必要な明反応に対して、暗反応とよばれることもある。しかし、暗反応は光を必要としない反応という意味であり、夜間にのみはたらくという意味ではない。

②③ グルコースの酸素原子は二酸化炭素に由来し、酸素は水に由来することは、よく知られている事実である。このことを知らなくても、シアノバクテリアと光合成細菌の反応式を比較することにより、判断することができる。すなわち、光合成細菌の硫黄原子 (S) は硫化水素 (H_2S) に由来していることから、③が正しいと判断できる。

④ 硫化水素を利用している光合成細菌は酸素を産生しないので、この光合成細菌を葉緑体の起源と考えるには無理がある。なお、陸上植物の葉緑体はシアノバクテリアに由来すると考えられている。これは細胞内共生説としてよく言及されている。しかし、葉緑体進化の詳細については、まだ不明な点があり、今後の研究により明らかになっていくであろう。

問4) 【正解】A 【部分点】(配点の3/10) B (配点の1/10) C E I

【解説】 微小重力環境の下での植物の成長に関する問題である。

①~③ 乾燥種子を宇宙に運搬し、宇宙軌道上において吸水させた場合、微小重力環境では種子の吸水能力が極めて低くなるため、植物の成長の遅れを引き起こした。そのため、吸水量を多くしても、ジベレリンを添加しても、種子への吸水は改善しないため、①が適切である。

④~⑤ 微小重力下においては空気の流れがないために、容器内の温度が安定するまでに時間がかかる。地上での対照実験の温度設定を、微小重力下での温度変化に合わせて実験する必要がある。⑤は、温度を低くすると生育が悪くなるので、適切とは言えない。

⑥~⑦ 植物育成容器の密封性のためか、宇宙軌道上では容器内のエチレンが蓄積して、植物の生育に悪影響を及ぼした。微小重力下においては、空気の流れがないために、吸収剤で効率的にエチレンを除去することは困難である。

参考資料

保尊隆享（2003）宇宙環境における細胞壁変化．日本バイオレオロジー学会誌 17： 87-91.

問5) 【正解】 G

【解説】 まず、この標本の神経の伝導速度は、 $(12.5\text{cm}-2.5\text{cm})/(11\text{ミリ秒}-7\text{ミリ秒})=2.5\text{cm}/\text{ミリ秒}$ と計算される。したがって、12.5 cm の刺激部位から神経筋接合部までの伝導にかかる時間は、 $12.5/2.5=5$ ミリ秒と考えられる。実際には刺激後に筋収縮が始まるまで 11 ミリ秒かかったとあるが、その差の $11-5=6$ ミリ秒は、神経筋接合部での伝達にかかる時間と、筋肉に刺激が伝わってから実際の収縮が開始されるまでの時間の合計と考えられる。後者は 2.5 ミリ秒と測定されているので、神経筋接合部での伝達時間は $6-2.5=3.5$ ミリ秒と推定される。

問6) 【正解】 I 【部分点】 (配点の 3/10) H (配点の 1/10) C F G L

【解説】 原尿生成量を求めるには、イヌリンの値をもちいる。イヌリンは、尿 100 mL あたり 3000 mg 含まれるので、1 分あたり (尿 1 mL あたり) では 30 mg 排出される。イヌリンは体内で代謝されず、ろ過されても全く再吸収されないため、1 分あたりに生成された原尿中に含まれていた量が、そのまま尿中に排出される。原尿中のイヌリンの濃度は血しょう中の濃度と等しいので、1 分間に生成された原尿量を x とすると、 $x[\text{mL}] \times 25/100[\text{mg/mL}] = 30[\text{mg}]$ となる。したがって、 $x=120[\text{mL}]$ となる。尿量は 1 分あたり 1.0 mL なので、原尿は $120/1=120$ 倍に濃縮されていることがわかる。

腎流入血しょう量を求めるには、パラアミノ馬尿酸 (PAH) の値をもちいる。PAH は、尿 100 mL に 1080 mg 含まれているので、1 分あたり (尿 1 mL あたり) では 10.8 mg 排出される。この量は血しょう中の量の 90% になるので、血しょう中の PAH 量に換算すると $10.8/0.9=12\text{mg}$ となる。PAH は体内で代謝されず排出されるため、尿中の PAH の量は血しょう中の量と等しいと考えることができる。1 分間に腎臓に流入する血しょう量を y とすると、 $y[\text{mL}] \times 2/100[\text{mg/mL}] = 12[\text{mg}]$ となる。したがって、 $y=600[\text{mL}]$ となる。

なお血しょうは血液の体積の約 55 % を占めるので、1 分間に腎臓に流入する血液量は $600/0.55=1091\text{mL}$ と求められる。この量は、体重 60 kg の人の全血液量 4.6 L の約 1/4 になり、腎臓に流入する血液は非常に多いことがわかる。

問7) 【正解】 E 【部分点】 (配点の 3/10) D F (配点の 1/10) B L

【解説】 “パルス” と “エコー” は並行して聴神経を伝わっていくが、聴神経の経路の長さの系統だった違いによって、聴覚野に到達するまでの間にパルスとエコーの時間的ずれはちょうど無くなる。その結果、パルスとエコーは同時に 1 つの神経細胞体に到達する。これらの仕組みによりこの細胞体が活性化されて興奮することで、ターゲットまでの距離に対応した行動が惹起される。

また、エコーはコウモリとターゲットとの相対的な速度にしたがってドップラー効果を示し、エコーの周波数はパルスのもとはずれてくる。つまり、うずまき細管に沿っての受容位置は、エコーとパルスで異なってくる。このずれを、距離の場合と類似の仕組みで、相対速度に対応させている。

問8) 【正解】 C 【部分点】 (配点の 3/10) A (配点の 1/10) D G

【解説】 攪乱とは、生態系を破壊する要因のことである。台風、洪水、噴火などの自然現象の他に人間の活動によるものも含まれる。この問題の場合、台風による波浪がサンゴを岩からはがし、環境を攪乱する。波浪の強い場所では多くのサンゴが岩からはがされ、生きたサンゴの被度が低下する。そのような場所では、環境の破壊に弱い種が絶滅し、生育する種数は減少する。つまり強い攪乱は攪乱自体の影響で種を絶滅させ、種の多様性を低下させる。それに対し、波浪の弱い場所では、サンゴが岩からはがされにくく、被度は高い。そのため、サンゴの生活空間である岩の表面をめぐるサンゴどうしの種間競争がはげしく、競争排除により種数は減少する。つまり、攪乱が弱い場合も、種の多様性は低下する。この問題のサンゴ礁

では、結局、中程度の破壊を受けた場所（被度が20～30%）でサンゴの種数が最大になっている。このように中規模の適度な攪乱は、新しい種が侵入できる生息場所をつくり、種を減ぼすこともなく、結果的に多様性を大きくする場合があると考えられる。これを、中規模攪乱説という。この説は、植生の遷移で森林のギャップが果たす役割とも関連しており、極相林が陰樹のみの均質な森林ではなく、陽樹も含めた多様な樹種を含むしくみを説明する仮説のひとつでもある。

<出典・参考資料> 『生態学入門 第2版』：東京化学同人、『大学生のための生態学入門』：共立出版

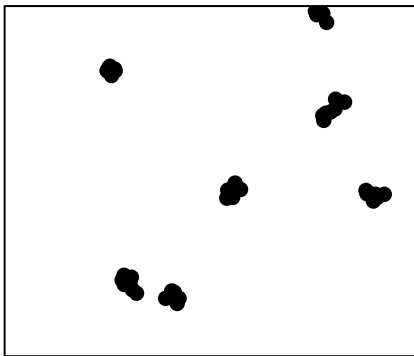
問9) 【正解】B 【部分点】(配点の3/10) A C (配点の1/10) E H

【解説】アリジゴクの巣穴に関する問題である。

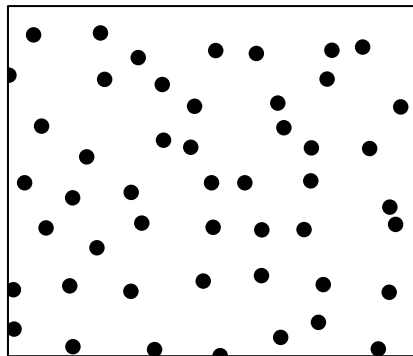
①②について。細砂を好む傾向はデータから明らかであり、正解は①となる。

③④について。箱に入れる個体数を増やしていくと、粗砂側にもかなりの個数の巣穴がみられることから、③が推測される。細砂側の巣穴の平均個数と粗砂側の巣穴の平均個数の和が箱に入れた個体数に一致するので、巣穴を作るのをやめた個体はいない。したがって④は不正解である。

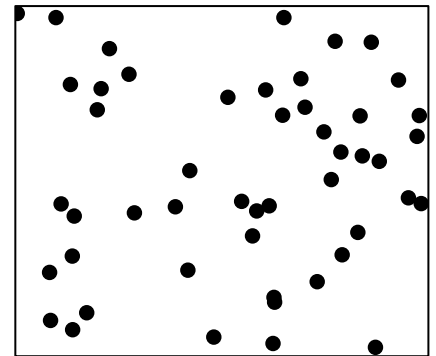
⑤⑥⑦について。下図は分布の例である。①と③から考えられることは、⑥である。



⑤ 集中分布



⑥ 一様分布に近い分布



⑦ ランダム分布

<参考文献>森下正明 (1952) 生理生態 5 : 1-16

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

【解説】優性の対立遺伝子を A 、劣性の対立遺伝子を a とすると、 P の遺伝子型は Aa である。 $Aa \times Aa$ の結果、 F_1 では $AA : Aa : aa = 1 : 2 : 1$ となるが、ここでは AA と Aa は外見上区別できない。 F_2 に aa が現れるのは F_1 が Aa の場合であり、そのような F_1 が選ばれる確率は $2/3$ である。さらに、 F_1 で $Aa \times Aa$ の結果、 F_2 に aa が現れる確率は $1/4$ である。したがって、求めるべき確率は $2/3 \times 1/4 = 1/6$ となる。

江戸時代後期から明治時代にかけて、園芸家の間ではそのような変化朝顔が盛んに育てられた。津田梅子 (T.H. モーガンがショウジョウバエの遺伝を始める前に、彼のもとで発生の論文を書いた経験がある) が残した留学先のホストファミリーへの手紙 (1884年10月7日) の中にも、そのような記述がある。彼女は経験的にこれが $1/7$ であると言っているが、メンデル法則の再発見が1900年であることを考えると、当時の日本が育種という点でいかに先進的であったかが窺える。

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

【解説】 O 遺伝子の頻度は、 $\sqrt{0.16} = 0.4 = 40\%$ である。 A 遺伝子の頻度を x とすると、 x は $x^2 + 2 \times 0.4 \times x = 0.48$ (式1) より求めることができる。すなわち、 $x^2 + 0.8x - 0.48 = (x - 0.4)(x + 1.2) = 0$ より $x = 0.4$ となり、 A 遺伝子の頻度は

40%となる。B 遺伝子の頻度は $1 - 0.4 - 0.4 = 0.2 = 20\%$ となる。

上記の解法では2次方程式を解く必要があるが、次のようにすれば、2次方程式を解くことなく簡単に求められる。(ア)の選択肢は36と40の2つである。 x が0.36のときは(式1)は成り立たないが、 x が0.4のときは(式1)は成り立つので、 $x=0.4$ となる。

A型の母親には遺伝子型がAAとAOの2種類あり、AAの頻度は $0.4^2 / 0.48 = 1/3$ であり、AOの頻度は $1 - 1/3 = 2/3$ である。B型の父親には遺伝子型がBBとBOの2種類あり、BBの頻度は $0.2^2 / 0.2 = 1/5$ であり、BOの頻度は $1 - 1/5 = 4/5$ である。

下表のように母親と父親の遺伝子型の組合せは4種類ある。

母親の遺伝子型	父親の遺伝子型	組合せの割合	ABの子の割合
AA	BB	$1/3 \times 1/5 = 1/15$	$1/15 \times 1 = 1/15$
AA	BO	$1/3 \times 4/5 = 4/15$	$4/15 \times 1/2 = 2/15$
AO	BB	$2/3 \times 1/5 = 2/15$	$2/15 \times 1/2 = 1/15$
AO	BO	$2/3 \times 4/5 = 8/15$	$8/15 \times 1/4 = 2/15$
			合計 $6/15 = 40\%$

AAとBBの組合せの割合は $1/3 \times 1/5 = 1/15$ であり、この場合子供はすべてABであるので、ABの子の割合は $1/15 \times 1 = 1/15$ である。AAとBOの組合せの割合は $1/3 \times 4/5 = 4/15$ であり、この場合子供がABである確率は $1/2$ であるので、ABの子の割合は $4/15 \times 1/2 = 2/15$ である。他の組合せも同様に計算でき(表参照)、合計すると40%となる。

上記の、可能性のあるすべての組合せを調べる方法は、やや複雑である。次のように考えると、もっと簡単に計算できる。A型の母親について考えたとき、A遺伝子の頻度は、AOの頻度(2/3)の半分とAAの頻度(1/3)の和で求められ、2/3となる。同様に、B型の父親について考えたとき、B遺伝子の頻度は、BOの頻度(4/5)の半分とBBの頻度(1/5)の和で求められ、3/5となる。したがって、母親がA型であり、父親がB型であるとき、子供がAB型である確率は、A遺伝子の頻度(母親)とB遺伝子の頻度(父親)の積から、 $2/3 \times 3/5 = 2/5 = 40\%$ となる。

問12【正解】C 【部分点】(正解の1/10) A B D F H J

【解説】形質アと形質イは生物eのみがもっており、形質ウは生物cのみがもっている。また形質オは生物b~eがもっている。これらの形質は、1つの生物だけが他の生物と異なる形質(シングルトン)であり、最節約法では系統関係についての情報をもっていない。

形質エに注目すると最節約的な系統樹を絞り込むことができる。生物c~eがまとまっている樹形を選ぶとよい。これに該当するのは①と④である。この情報からは、①と④のどちらかに絞り込むことはできないが、他の形質などの情報を加えると、1つに絞り込むことができる場合がある。

表紙の写真(2015年5月23日撮影)

奈良県宇陀市で見つけたマンホールのふたです。カザグルマがデザイン化されていました。カザグルマはキンポウゲ科の多年草であり、奈良県では絶滅寸前種に指定されています。宇陀市にはカザグルマの自生地があり、国指定天然記念物として保護されています。