

日本生物学オリンピック 2023

予選問題

2023年7月16日（日） 13:30～15:00

試験時間 90 分間

注意事項

- 1 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
- 2 問題は、この冊子の1ページから16ページまでです。
- 3 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁、予選解答用紙（マークシート用紙）の汚れ等に気づいた場合は、手を挙げて監督者に知らせてください。
- 4 予選解答用紙の所定の欄に、学校名、学年、氏名と受験番号を記入し、受験番号は、数字にもマークしてください。
- 5 問題数は、問 1)～問 21)までの 21 問です。問題はすべて、それぞれもっとも適切な解答を選択肢の中から 1 つだけ選び、記号で答えてください。
- 6 配点は、1問あたり3～6点で、各設問の末尾に示してあります。合計で100点満点です。正解でない選択肢の中には、部分点が与えられるものがあります。
- 7 解答は、予選解答用紙の問題番号に対応した解答欄の選択肢にマークしてください。たとえば、問 1) の問題に対して A と解答する場合は、次の（例）のように問 1 に対応した解答欄の A にマークしてください。複数の選択肢にマークされている場合は 0 点となります。

（例）

問	解 答 欄
1	<input checked="" type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D <input type="radio"/> E <input type="radio"/> F <input type="radio"/> G <input type="radio"/> H <input type="radio"/> I <input type="radio"/> J
2	<input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D <input type="radio"/> E <input type="radio"/> F <input type="radio"/> G <input type="radio"/> H <input type="radio"/> I <input type="radio"/> J
3	<input type="radio"/> A <input type="radio"/> B <input type="radio"/> C <input type="radio"/> D <input type="radio"/> E <input type="radio"/> F <input type="radio"/> G <input type="radio"/> H <input type="radio"/> I <input type="radio"/> J

- 8 この問題冊子の余白等は適宜利用してもかまいませんが、どのページも切り離してはいけません。
- 9 試験終了後、この問題冊子は持ち帰ってください。
- 10 正解と解説は、JBO ウェブページ <http://www.jbo-info.jp/> で公開します。

問1) 真核生物における DNA 複製の仕組みを知るため、動物由来の培養細胞をもちいて以下の実験を行った。

トリチウム (^3H) で標識した ^3H チミジンを含む培地で培養細胞 (二倍体) を育てると、DNA に放射性物質が取り込まれる。スライドガラスに感光乳剤をあらかじめ塗布しておくことで β 線を出す部分 (放射性物質を取り込んだ部分) に銀粒子が現れ、黒い像として観察される (オートラジオグラム)。1 回目の細胞分裂を調べる実験では、細胞周期の全期間にわたって ^3H チミジンを含む培地で培養細胞を育てた。2 回目の細胞分裂を調べる実験では、この 1 回目の細胞分裂を実施した細胞を取り出し、細胞周期の全期間にわたって ^3H チミジンを含まない培地で育てた。

次の記述のうち、実験結果として正しいものはどれか。正しい記述の組合せを A~L から選べ。なお、この実験では放射線による細胞分裂への影響はないものとする。(4 点)

- ① 1 回目の分裂の実験では、染色体全体にわたって黒い像 (銀粒子) が観察された。
- ② 1 回目の分裂の実験では、染色分体の半数で黒い像 (銀粒子) が観察された。
- ③ 1 回目の分裂の実験では、染色体の部分によって観察される黒い像 (銀粒子) の局在がみられた。
- ④ 2 回目の分裂の実験では、染色体全体にわたって黒い像 (銀粒子) が観察された。
- ⑤ 2 回目の分裂の実験では、染色体全体にわたって観察される黒い像 (銀粒子) の濃度が $1/2$ になった。
- ⑥ 2 回目の分裂の実験では、染色分体の半数で黒い像 (銀粒子) が観察された。
- ⑦ 2 回目の分裂の実験では、キアズマが観察され、黒い像 (銀粒子) が観察される部分と観察されない部分が生じた。

- A. ①④ B. ①⑤ C. ①⑥ D. ①⑦ E. ②④ F. ②⑤ G. ②⑥ H. ②⑦
I. ③④ J. ③⑤ K. ③⑥ L. ③⑦

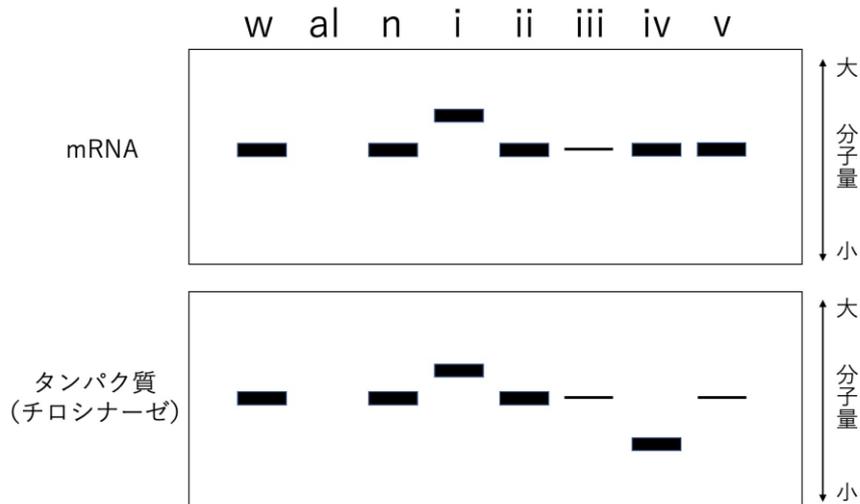
問2) COVID-19 (新型コロナウイルス感染症) に対する決定的な治療薬がいまだに開発されていない現在、もっとも有効な予防法はワクチンによる抗体産生能の獲得である。この分野においては近年画期的な方法が実用化されている。RNA ワクチンとよばれるものである。これは無毒化または弱毒化したタンパク質を抗原とする従来のワクチンとは異なり、RNA をワクチンとしてもちいることで、従来のものより迅速に体内で抗原たんぱく質を生産するものである。RNA ワクチンに関する次の記述のうち、正しいものはどれか。正しい記述の組合せを A~K から選べ。(4 点)

- ① RNA ワクチンには、ウイルスタンパク質の合成に必要な rRNA (リボソーム RNA) が含まれている。
- ② RNA ワクチンには、ウイルスタンパク質の情報をもつ mRNA (メッセンジャー RNA) が含まれている。
- ③ RNA ワクチンが注射されると、その RNA をもとにして体内の血液やリンパ液の中で抗原タンパク質が合成され、それに対する抗体が免疫系によって作られる。
- ④ RNA ワクチンが注射されると、その RNA は抗体を産生する B 細胞に取り込まれ、その細胞内で抗原タンパク質が合成され、それに対する抗体も作り出される。
- ⑤ RNA ワクチンが注射されると、その RNA はさまざまな細胞に取り込まれ、そこで抗原タンパク質が合成され放出される。そしてそれに対する抗体が免疫系によって作られる。

- A. ① B. ② C. ③ D. ④ E. ⑤
F. ①③ G. ①④ H. ①⑤ I. ②③ J. ②④ K. ②⑤

問 3) 多くの動物において、チロシナーゼが機能しないとメラニン色素が合成されずアルビノとなることがわかっている。いま、ある動物種において、アルビノの雌とさまざまな DNA の塩基置換を引き起こす化学物質で処理した野生型の雄を交配した。その結果、次世代の個体の大部分はアルビノではなかったが、5 個体だけアルビノの突然変異体がえられた。そこで、野生型 (w)、交配にもちいたアルビノの雌 (al)、交配でえられた正常な個体 (n)、および交配でえられたアルビノの突然変異をもつ 5 個体 (i~v) について、それぞれから全 mRNA と全タンパク質を抽出して、電気泳動法により mRNA とタンパク質それぞれを分子量の違いにより分離した。その際、各サンプルに含まれる全 mRNA および全タンパク質の量は同じにした。

その後、チロシナーゼ遺伝子から転写された mRNA およびその mRNA から翻訳されたチロシナーゼタンパク質を可視化できる方法で検出した。下図はえられたパターンを模式的に示したものである。同じ個体からえられた mRNA とタンパク質は上下の電気泳動像で対応している。また、図中のバンドが細い場合は、検出された mRNA あるいはチロシナーゼタンパク質の存在量が少ないことを示している。



この電気泳動による解析の結果から、次世代でアルビノとなった原因として次の①~⑧を考えた。アルビノになった個体 i~v の原因としてもっとも適切なものの組合せを A~L から選べ。(5 点)

- ① チロシナーゼ遺伝子が失われた。
- ② チロシナーゼ遺伝子のプロモーター領域の突然変異により、RNA ポリメラーゼが結合しにくくなった。
- ③ チロシナーゼ遺伝子の転写後のスプライシング異常により、イントロン部分の配列が本来の配列中に残ったまま翻訳されて、本来のアミノ酸配列の途中で余分なポリペプチドが挿入された。
- ④ チロシナーゼ遺伝子の転写後のスプライシング異常により、アミノ酸をコードしているエクソンの 1 つが欠失した。
- ⑤ 1 つのアミノ酸が別のアミノ酸に置換されたために、チロシナーゼの活性が消失した。
- ⑥ 1 つのアミノ酸が別のアミノ酸に置換されたために、チロシナーゼが不安定になり、翻訳後すぐに分解された。
- ⑦ チロシナーゼ遺伝子の終止コドンが、塩基置換によりアミノ酸をコードする配列に変化した。
- ⑧ チロシナーゼ遺伝子のアミノ酸をコードするコドンの 1 つが、終止コドンに置換された。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
i	③	③	③	③	③	③	⑦	⑦	⑦	⑦	⑦	⑦
ii	⑤	⑤	⑤	⑥	⑥	⑥	⑤	⑤	⑤	⑥	⑥	⑥
iii	①	①	②	②	⑤	⑤	①	①	②	②	⑤	⑤
iv	④	④	⑧	⑧	⑧	⑧	④	④	④	④	⑧	⑧
v	②	⑧	⑥	④	②	④	⑥	⑧	⑥	⑧	②	④

問4) ある二倍体生物では次の反応で物質 X から物質 Z を生成している。第1番目の反応には酵素 P が、第2番目の反応では酵素 Q が反応を担っている。また P と Q の酵素の遺伝子は異なる染色体上に存在することもわかっている。



この生物の野外調査で物質 Z を生成できない突然変異体 M1, M2, M3 がえられた。そこでまずそれぞれの突然変異体の細胞を固定し、酵素 P と Q に対する抗体（ポリクローナル抗体）をもちい、酵素タンパク質の有（○）無（×）を調べた。すると右表のような結果がえられた。

	M1	M2	M3
酵素 P	○	○	○
酵素 Q	×	○	○

次に突然変異体および野生型をもちいた交配実験を行った。これらの交配の F1 世代と F2 世代では、野生型と同じ量の物質 Z を生成する個体（W:wild 型）、物質 Z を生成するものの野生型より生成量が少ない個体（R:reduced 型）、物質 Z を生成しない個体（N:null 型）が観察された。下表はその結果である。

交配実験	親 1	親 2	F1 世代での個体の比率	F2 世代での個体の比率
1	M1	野生型	W : R : N = 1 : 0 : 0	W : R : N = 3 : 0 : 1
2	M2	野生型	W : R : N = 1 : 0 : 0	W : R : N = 3 : 0 : 1
3	M3	野生型	W : R : N = 0 : 1 : 0	W : R : N = 1 : 2 : 1
4	M1	M2	W : R : N = 1 : 0 : 0	W : R : N = 9 : 0 : 7
5	M1	M3	W : R : N = 0 : 0 : 1	W : R : N = 0 : 0 : 1
6	M2	M3	W : R : N = 0 : 1 : 0	W : R : N = 3 : 6 : 7

次の文章の（ ）内に入る記号や記述のもっとも適切な組合せを A~L から選べ。（6 点）

これらの実験結果から、M1 は酵素（ア）の突然変異体、M2 は酵素（イ）の突然変異体、M3 は酵素（ウ）の突然変異体と推測された。さらに M1 と M3 の交配でえられた F1 世代の個体と M2 を交配したところ、（エ）が 1 : 1 の割合で生じた。

	ア	イ	ウ	エ
A	P	P	Q	物質 Z を生成しない個体と物質 Z を生成する個体
B	P	P	Q	野生型と同じ量の物質 Z を生成する個体と物質 Z の生成量が野生型より少ない個体
C	P	Q	P	物質 Z を生成しない個体と物質 Z を生成する個体
D	P	Q	P	野生型と同じ量の物質 Z を生成する個体と物質 Z の生成量が野生型より少ない個体
E	P	Q	Q	物質 Z を生成しない個体と物質 Z を生成する個体
F	P	Q	Q	野生型と同じ量の物質 Z を生成する個体と物質 Z の生成量が野生型より少ない個体
G	Q	P	P	物質 Z を生成しない個体と物質 Z を生成する個体
H	Q	P	P	野生型と同じ量の物質 Z を生成する個体と物質 Z の生成量が野生型より少ない個体
I	Q	P	Q	物質 Z を生成しない個体と物質 Z を生成する個体
J	Q	P	Q	野生型と同じ量の物質 Z を生成する個体と物質 Z の生成量が野生型より少ない個体
K	Q	Q	P	物質 Z を生成しない個体と物質 Z を生成する個体
L	Q	Q	P	野生型と同じ量の物質 Z を生成する個体と物質 Z の生成量が野生型より少ない個体

問5) DNA から成熟 mRNA が合成される過程で、mRNA 前駆体が作られる。下図は、ある mRNA 前駆体を模式的に表したものである。



図中の **ア** ~ **エ** はエキソンを、実線の部分 (———) はイントロンあるいは非翻訳領域を表している。この mRNA 前駆体を選択的スプライシングが行われた場合、最大何種類の RNA が作られると考えられるか。正しいものを A~L から選べ。(3 点)

- A. 1 種類 B. 2 種類 C. 4 種類 D. 6 種類 E. 8 種類 F. 10 種類 G. 11 種類
 H. 12 種類 I. 13 種類 J. 14 種類 K. 15 種類 L. 16 種類

問6) 頂芽優勢は、頂芽が側芽の成長を抑制し優先的に成長する現象である。頂芽優勢の制御にはオーキシン、サイトカイニン、ストリゴラクトンの3つの植物ホルモンや糖が重要な役割を担っている。オーキシンは頂芽で作られシュートの下側に極性輸送され、頂芽から下がってきたオーキシンは腋芽(側芽の一種)の成長を間接的に抑える。腋芽周辺でのオーキシンはストリゴラクトンの合成を誘導し、これが直接的に腋芽の成長を阻害する。一方、サイトカイニンは根からシュートへ移動し、オーキシンやストリゴラクトンの作用に拮抗して、腋芽の成長を促進する。また頂芽は糖の重要な消費場所であり、オーキシンの主要な合成部位となっている。

次の文章は頂芽優勢について述べたものである。() 内に入る記述の組合せを A~L から選べ。(5 点)

頂芽を切り取ると、腋芽が受けとる糖の量は (ア) が、腋芽周辺のストリゴラクトンの合成量は (イ)。サイトカイニンを過剰に合成する変異体では (ウ)。

- ① 増える ② 減る ③ 変わらない
 ④ 通常より腋芽の成長が促進される ⑤ 腋芽の成長は通常の植物体とほぼ変わらない

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
ア	①	①	①	①	②	②	②	②	③	③	③	③
イ	②	②	③	③	①	①	③	③	①	①	②	②
ウ	④	⑤	④	⑤	④	⑤	④	⑤	④	⑤	④	⑤

問7) 植物では自家受精を防ぐ機構として自家不和合性が知られている。自家不和合性にはS遺伝子が関与しており、対立遺伝子数は数十に達することもある。自家不和合性には、配偶子型と孢子体型がある。遺伝子型が S_1S_2 の個体と遺伝子型が S_1S_3 の個体があった場合、配偶子型の自家不和合性では、 S_1S_2 個体から生じた S_1 花粉由来の精細胞は S_1S_3 個体の卵細胞と受精できないが、 S_1S_2 個体から生じた S_2 花粉由来の精細胞は S_1S_3 個体の卵細胞と受精できる。一方、孢子体型の自家不和合性では、 S_1S_2 個体から生じた S_1 花粉由来の精細胞と S_2 花粉由来の精細胞はともに S_1S_3 個体の卵細胞と受精できない。

ハナシノブ科に属するある植物を使って、自家不和合性の実験を行った。ある個体の柱頭に別の個体の花粉を付け、花粉管の伸長の有無により自家不和合性を判断した。すなわち、ある花粉において花粉管の伸長がみられたら、この花粉は受精に関与したと判断した。実験は12個体間のすべての組合せで行った。下表はこの結果である。表中の数字は個体識別番号であり、花粉の半数が受精に関与した個体を花粉欄に示している（たとえば、個体6の柱頭に対して個体1から生じた花粉の半数は受精に関与したことを示している）。空欄は自らを除く他個体から生じた花粉がすべて受精に関与したことを示している（たとえば、個体2の柱頭では、個体2以外の個体から生じた花粉はすべて受精に関与したことを示している）。また、すべての花粉が受精に関与しなかった個体は検出されなかった。なお、本実験においては、自家不和合性は、環境やその他の要因の影響を受けず、S遺伝子だけで決定されるものとする。

柱頭	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
花粉	6 10		4 11	3 11		1	9		7	1	3 4	

次の文章は、この結果から推測されることを述べたものである。()内に入る語句と数字の組合せをA~Lから選べ。(6点)

この植物の自家不和合性は(ア)である。この実験にもちいた12個体には、S遺伝子の対立遺伝子は少なくとも(イ)種類存在する。

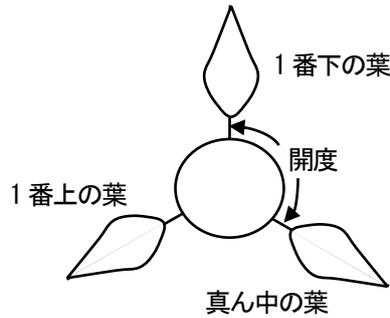
- ① 配偶子型 ② 孢子体型

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
ア	①	①	①	①	①	①	②	②	②	②	②	②
イ	8	10	12	18	20	22	8	10	12	18	20	22

問8) 葉は維管束植物において光合成を行う主要な器官である。次の文章は葉の形状や配列について述べたものである。()
内に入る記述と数値の組合せを A~L から選べ。(4 点)

葉の形状には、単葉や複葉などさまざまなものがある。このうち、複葉は、葉身が多数の小葉に分かれたものであり、単葉にくらべ、(ア) という利点や (イ) という利点が考えられている。

葉の配列には、茎の 1 節に 1 枚の葉がついている互生葉序や、茎の 1 節に複数の葉がついている輪生葉序などが知られている。互生葉序のうち、葉が茎の周りに螺旋 (らせん) 状に配列しているものを特に螺旋葉序という。図は 1 回転するうちに 3 枚の葉が並んでいる螺旋葉序を真上から見たものである。

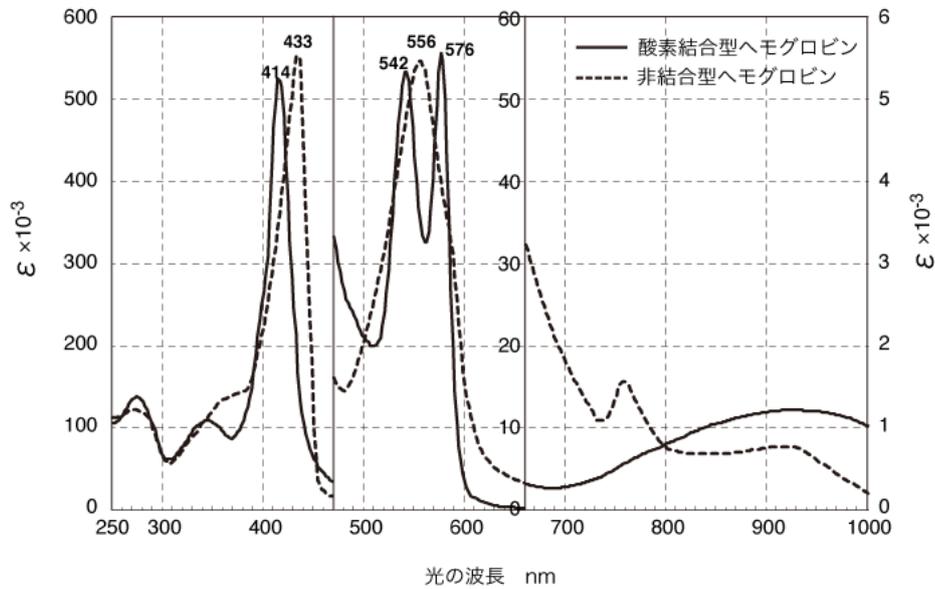


開度はある葉とそのすぐ上の葉の角度であり、この例では 120 度である。3 回転するうちに 8 枚の葉が並んでいる螺旋葉序では、開度が (ウ) 度のとき、真上から射しこんだ光は効率よく葉にあたる。

- ① 成長が早い ② 強風に強い ③ 病原菌の感染に強い

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
ア	①	①	①	①	①	①	①	①	②	②	②	②
イ	②	②	②	②	③	③	③	③	③	③	③	③
ウ	135	138	141	144	135	138	141	144	135	138	141	144

問9) 図は、ヘモグロビンの酸素結合型（実線）と非結合型（破線）の光吸収スペクトルである。



横軸は光の波長 (nm), 縦軸は 1 mmol/L あたりの吸光度で, 470 nm から 660 nm の間は 10 倍に (中央縦軸目盛り), 660 nm から長波長側はさらに 10 倍に (右側縦軸目盛り) 拡大してある。なお, 吸光度は以下のように定義される。

光を吸収する物質を透過すると光が吸収されて強度が小さくなる。特定の波長の照射した光の強度 I_0 と透過してきた光の強度 I をもちいて, 透過度 T は

$$T = \frac{I}{I_0}$$

で定義される。実際の測定では透過光があまりに弱くなると正確に測定はできず, T は最低でも 0.01 (1%) 程度は必要である。 T の逆数の対数値をとったものが吸光度 A で,

$$A = \log_{10} \frac{I_0}{I} = -\log_{10} \frac{I}{I_0} = -\log_{10} T$$

となる。特定の物質に対しては, 以下のような関係をもつ (Lambert-Beer の法則)。

$$A = K \times c \times l$$

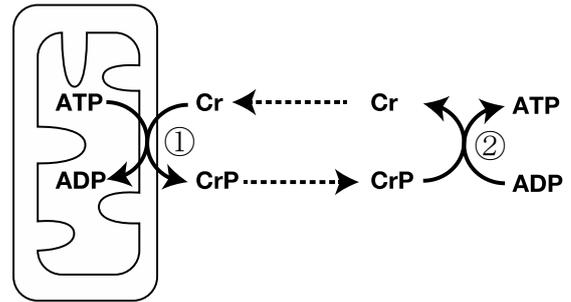
[ただし, K : 物質, 波長ごとの定数, c : 物質の濃度, l : 光路長 (光が透過する物質の長さ)]

ここで, 濃度 1 mol/L, 光路長 1 cm のときの K をモル吸光係数といい, ϵ であらわす。すなわち, グラフの縦軸は濃度 1 mmol/L あたり, 光路長 1 cm あたりの吸光度 A を示している。なお, 図中のスペクトルのピークに表示した数字は, ピーク波長である。

酸素結合型と非結合型のヘモグロビンでは波長によって吸光度が異なるので, 特定の波長の光によって酸素結合型の割合 (酸素飽和度) を測定することができる。人体の耳たぶや指先など比較的透過性のよい部位でこの測定を行うとき, どのような波長で測定するのがよいだろうか。測定するのに適当な波長を A~L から選べ。なお, 血液中のヘモグロビン濃度はおよそ 2 mmol/L 程度で, 耳たぶや指先の厚みの中の血管の厚みは数 mm 程度とする。(5 点)

- A. 414 nm B. 433 nm C. 542 nm D. 556 nm E. 576 nm F. 660 nm 付近 G. 900 nm 付近
 H. 414 nm と 433 nm の比をとる I. 542 nm と 556 nm の比をとる J. 556 nm と 576 nm の比をとる
 K. 660 nm と 900 nm の比をとる L. 660 nm と 800 nm の比をとる

問 10) 筋肉細胞中には、クレアチン (Cr) とよばれる物質が、ATP と同量程度から倍量程度含まれており、その半量はリン酸化されたフォスホクレアチン (CrP) として存在する。クレアチンの細胞内での役割は、ミトコンドリアで作られた ATP のエネルギーをミトコンドリアの外に運び出すことだと考えられている。すなわち、ミトコンドリアで ATP から CrP が作られ (図中の①)、この CrP が細胞質に輸送されて ATP を合成する (図中の②) というものであり、クレアチンシャトルとよばれている。(なお、ミトコンドリアから ATP を細胞質に輸送するしくみはこの他にも存在する。)



ATP およびフォスホクレアチンのリン酸基加水分解反応の標準自由エネルギー変化は、それぞれ、 -30.5 kJ/mol および -43.1 kJ/mol である。また、一般的に、 $A+B \rightleftharpoons C+D$ の反応の自由エネルギー変化は以下の式で与えられる。

$$\Delta G = \Delta G^{\circ'} + RT \log_e \frac{[C][D]}{[A][B]} \quad (\text{ここで、}\Delta G^{\circ'}\text{は標準自由エネルギー変化、}R\text{は気体定数、}T\text{は絶対温度})$$

次の記述 1~3 はこの反応について述べたものである。() 内に入る適切な数値、記号、語句の組合せを A~L から選べ。(5 点)

1. フォスホクレアチンから ADP へのリン酸基転移反応の標準自由エネルギー変化は (ア) kJ/mol である。
2. したがって、ATP と ADP が同量存在する場合、図中の①と②の反応のうち、(イ) の反応は自発的に進行しない。
3. (イ) の反応が進行するためには、ATP が ADP よりずっと (ウ) 濃度で存在する必要がある。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
ア	12.6	12.6	12.6	12.6	-12.6	-12.6	-12.6	-12.6	-73.6	-73.6	-73.6	-73.6
イ	①	①	②	②	①	①	②	②	①	①	②	②
ウ	低い	高い	低い	高い	低い	高い	低い	高い	低い	高い	低い	高い

問 11) 日本人は 1 日あたり平均 300 g の糖質を摂取している。この糖質はすべてグルコースであり、酸素を消費する細胞呼吸で代謝されると仮定すると、1 日の呼吸のうち何回分がグルコースの代謝に必要であろうか。下表の数値をもちいて計算し、もっとも近いものを A~L から選べ。なおグルコースの分子量は 180、酸素 1 モルの体積は 22.4 L とする。(5 点)

1 日あたりのグルコース摂取量	300 g
1 分あたりの呼吸数	15 回
血液 1 L あたりの肺動脈の酸素含量	150 mL
血液 1 L あたりの肺静脈の酸素含量	200 mL
肺動脈に送られる 1 分あたりの血液量	5 L

- A. 22,000 回 B. 20,000 回 C. 18,000 回 D. 15,000 回 E. 13,000 回 F. 10,000 回
 G. 8,000 回 H. 5,500 回 I. 5,000 回 J. 3,600 回 K. 2,500 回 L. 1,400 回

問 12) 図 1 はヒトの眼球の中心窩を含む水平断面の模式図である。図の左方向から入射した光は、角膜や水晶体のはたらきによって網膜上に像を作る。網膜には 2 種類の視細胞が分布しており、それらが受けた光刺激は電気的なシグナルに変えられ、視神経を介して伝えられ、視覚として感知される。図 2 はこの水平断面での網膜上の 2 種類の視細胞の密度分布を表している。網膜上の位置は中心窩を 0°として眼球の中心からの角度 (°) で表している。

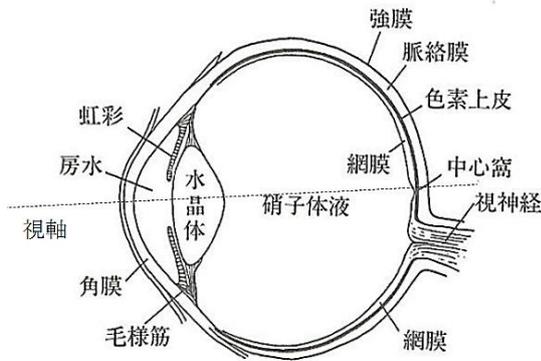


図 1 ヒトの眼の断面図 (Gordon, 1977 を改変)

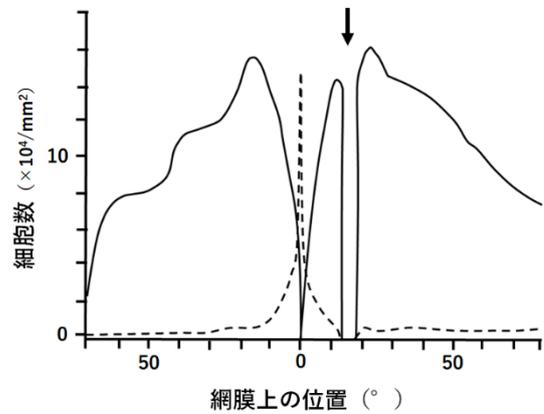


図 2 網膜上における視細胞の分布

次の記述のうち、正しいものはどれか。正しい記述の組合せを A~L から選べ。(5 点)

- ① 水晶体は、ごく少ない細胞と細胞間質に大量に分泌された高密度のコラーゲンなどのタンパク質でできているため、透明で屈折率が高いレンズの機能を果たしている。
- ② 網膜上に結像する像は、虫眼鏡で拡大されて見える原理から推測できるように、虚像である。
- ③ 図 2 の矢印で示された部分は黄斑とよばれ、視細胞がないので、視覚がない。
- ④ 図 2 の矢印で示された部位に視細胞はないが、この部位の周囲には実線で示された細胞が高密度で存在するので、視覚は十分にある。
- ⑤ 図 2 の点線は、色を識別できるが感度が低い錐体細胞の分布を示している。錐体細胞は中心窩近傍に集中しているので、明るい場所でも視軸を中心に 5°程度の範囲でしか色を識別できず、眼球を頻繁に動かして広い範囲での色を識別している。
- ⑥ 図 2 の実線は、明暗を高感度で識別できる桿体細胞の分布を示している。このことから、暗い夜道などでは視線 (視軸) より少し外れたほうが識別しやすいことがわかる。

- A. ① B. ② C. ③ D. ④ E. ⑤ F. ⑥
- G. ①③ H. ①⑥ I. ②④ J. ②⑤ K. ③⑤ L. ④⑥

問 13) マウスには、一般に暗い壁際を好むものの新奇環境下では好奇心が勝って中央部へも探索行動を行う性質がある。いま、ある化学物質をマウスに投与した後、図 1 のように、一辺が 60 cm の正方形に高さ 40 cm の壁を設けた箱を作り、壁際に鼻先を向けた状態でマウスを置き、10 分間ビデオ撮影を行った。その際、中心区画 (30×30 cm) での滞在時間が減少した場合、不安様行動が増加したと判断した。

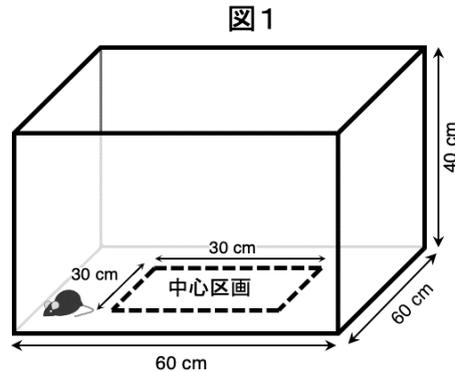
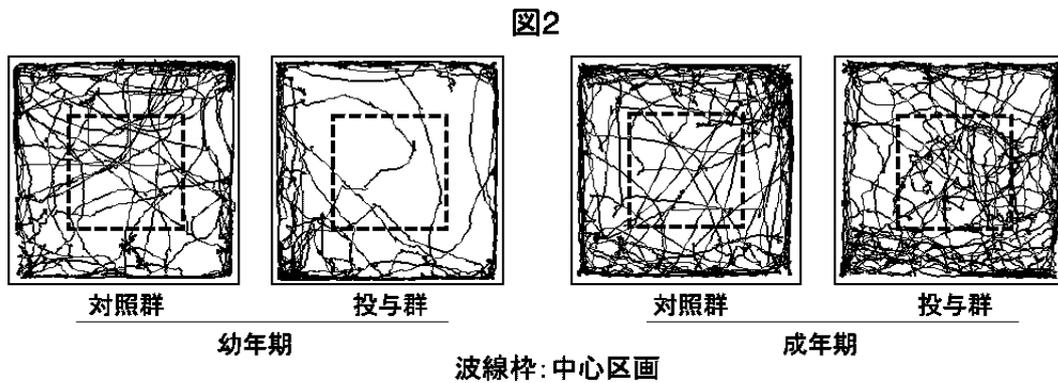


図 2 はその行動軌跡図である。試験には、マウスの発達期の影響を考慮し、幼年期と成年期のマウスをもちいた。

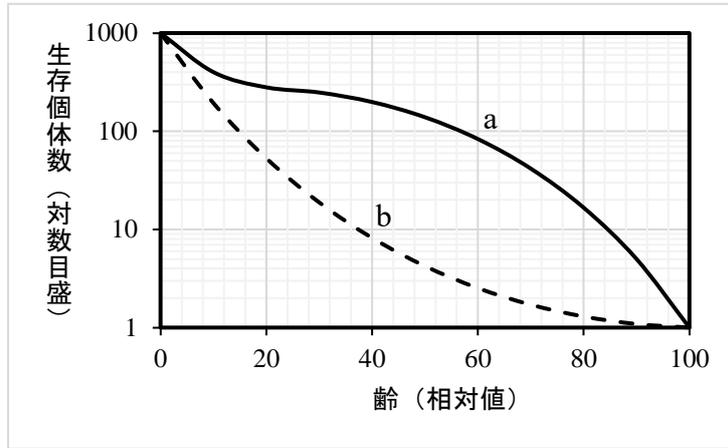


マウスの行動に関する次の記述のうち、実験結果から推測できるものはどれか。推測できる記述の組合せを A～L から選べ。(4 点)

- ① 幼年期では、化学物質を摂取することでマウスの行動に不安様行動はみられなくなった。
- ② 幼年期では、化学物質を摂取することでマウスはやや多動になった。
- ③ 幼年期では、化学物質を摂取することでマウスは不安様行動が増えた。
- ④ 成年期では、化学物質を摂取することでマウスの行動に不安様行動はみられなくなった。
- ⑤ 成年期では、化学物質を摂取することでマウスはやや多動になった。
- ⑥ 成年期では、化学物質を摂取することでマウスは不安様行動が増えた。

- A. ①④ B. ①⑤ C. ①⑥ D. ②④ E. ②⑤ F. ②⑥ G. ③④ H. ③⑤ I. ③⑥
 J. ①④⑤ K. ②④⑤ L. ③④⑤

問 14) 生存曲線は、死亡により、個体数が齢（日齢、月齢、年齢など）とともにどのように減少していくかを示した曲線である。下図では、生存個体数（縦軸）は出生時の個体数を 1000 とし、対数目盛で表している。また、齢（横軸）は出生時を 0、生存個体数が 1 になった時を 100 とした相対値で表している。



次の文章は曲線 a と曲線 b について述べたものである。なお、10 齢までを幼齢期、20 齢と 40 齢の間を壮齢期、60 齢以降を高齢期とする。（ ） 内に入る記述や記号の組合せを A～L から選べ。（4 点）

曲線 a で示した動物の死亡率は、壮齢期とくらべ、（ ア ）。

曲線 b で示した動物の死亡率は、壮齢期とくらべ、（ イ ）。

曲線 a と曲線 b のうち、明治時代の日本人の生存曲線に近いのは曲線（ ウ ）である。

- ① 幼齢期では低く、高齢期では高い
- ② 幼齢期では高く、高齢期では低い
- ③ 幼齢期と高齢期では高い

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
ア	①	①	①	①	②	②	②	②	③	③	③	③
イ	②	②	③	③	①	①	③	③	①	①	②	②
ウ	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b

問 15) 植物が受けることのできる光の量は、植物群落の上部と下部で違いがある。このような光環境の違いは、群落内の植物の葉のつき方によって決まっている。ある2つの草本植物の群落で、光環境と葉のつき方を調べた。図1は群落での地表からの高さで葉面積指数の関係を示したものである。葉面積指数は、その高さの層に含まれる葉面積を土地の面積で割った値であり、葉面積指数 = 1 とは土地面積と同じ面積の葉がその層に含まれていることを意味する。

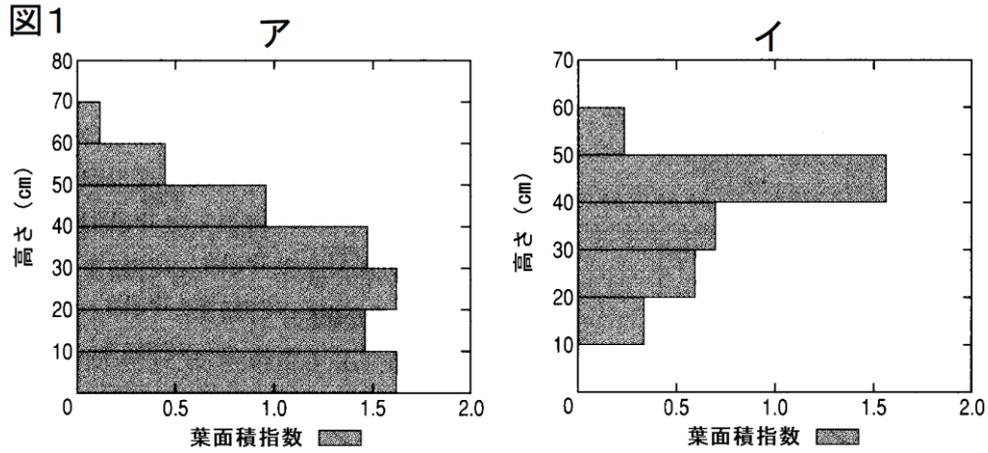
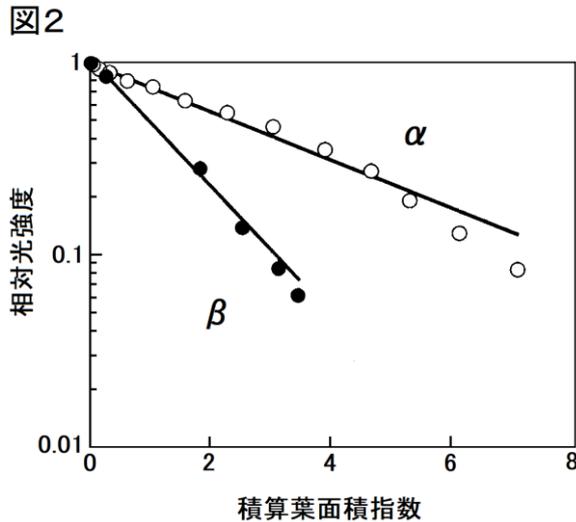


図2は葉面積と光吸収の関係を示したものである。縦軸は対数変換した相対的な光強度であり、横軸は積算葉面積指数（群落最上部から光強度を測定した点まで積算した葉面積指数）である。



次の記述について、正しいものの組合せをA~Hから選べ。(5点)

- ① アに対応するのはαであり、イに対応するのはβである。
- ② アに対応するのはβであり、イに対応するのはαである。
- ③ 植物体全体に対して葉の重さの占める割合は、αのほうが大きいと考えられる。
- ④ 植物体全体に対して葉の重さの占める割合は、βのほうが大きいと考えられる。
- ⑤ 細い葉が斜めにつく植物の群落はαが対応し、広い葉が水平につく植物の群落はβが対応する。
- ⑥ 細い葉が斜めにつく植物の群落はβが対応し、広い葉が水平につく植物の群落はαが対応する。

- A. ①③⑤ B. ①③⑥ C. ①④⑤ D. ①④⑥ E. ②③⑤ F. ②③⑥ G. ②④⑤ H. ②④⑥

問 16) 人類にはかつて複数の近縁種が存在していたことが知られている。ネアンデルタール人 (*Homo neanderthalensis*) の化石人骨から DNA が抽出され、2010 年には全ゲノム配列が解読された。解読されたゲノムを世界各地の現代人 (*Homo sapiens*) ゲノムと比較したところ、ヨーロッパ・アジア・オセアニアのヒトたちはゲノムの約 2% にネアンデルタール人由来の遺伝子が含まれていること、アフリカのヒトたちにはそのような遺伝子が含まれていないことが明らかになった。この事実から、ネアンデルタール人と現代人はアフリカに住んでいた共通祖先から分岐したのちに雑種が形成され、その一部がゲノムに残ったことでネアンデルタール人から現代人へと遺伝子浸透が生じたものと推測される。遺伝子浸透はゲノム上にランダムに生じているわけではなく、ある特定のゲノム領域に偏って高頻度で検出される場合もある。

次の記述のうち、正しいと思われるものの組合せを A~H から選べ。(5 点)

- ① 雑種が生まれたのは、2 種がアフリカ大陸からユーラシアへと分布を拡大する前である。
- ② 雑種が生まれたのは、2 種がアフリカ大陸からユーラシアへと分布を拡大した後である。
- ③ 雑種が生まれた年代は、現代人に含まれるネアンデルタール人由来遺伝子の塩基置換の程度によって推定できる。
- ④ 雑種が生まれた年代は、現代人に含まれるネアンデルタール人由来のゲノム断片の長さによって推定できる。
- ⑤ 現代人に含まれるネアンデルタール人由来遺伝子には、有益なものも有害なものもある。
- ⑥ 現代人に含まれるネアンデルタール人由来遺伝子は、すべて自然選択に対して中立である。

A. ①③⑤ B. ①③⑥ C. ①④⑤ D. ①④⑥ E. ②③⑤ F. ②③⑥ G. ②④⑤ H. ②④⑥

問 17) キイロショウジョウバエの 2 系統 (系統 X と系統 Y) は、ある実験室に長期間独立に維持されている。常染色体上にある 2 つの遺伝子座 (遺伝子座 R と遺伝子座 S) にはそれぞれ 2 つの対立遺伝子 (R_1 と R_2 および S_1 と S_2) が存在するが、系統 X の個体の遺伝子型はすべて $R_1R_1S_1S_1$ 型であり、系統 Y の個体の遺伝子型はすべて $R_2R_2S_2S_2$ 型であった。

系統 X の未交尾メスと系統 Y のオスを交配してえられた雑種第 1 代 (F1) 同士を交配し、雑種第 2 代 (F2) の個体を多数えた。下表はこの結果である。

遺伝子型	$R_1R_1S_1S_1$	$R_1R_1S_1S_2$	$R_1R_1S_2S_2$
観察された個体数	176	83	0
遺伝子型	$R_1R_2S_1S_1$	$R_1R_2S_1S_2$	$R_1R_2S_2S_2$
観察された個体数	77	286	66
遺伝子型	$R_2R_2S_1S_1$	$R_2R_2S_1S_2$	$R_2R_2S_2S_2$
観察された個体数	0	61	110

次の記述のうち、この実験の結果から推測できるものはどれか。推測できる記述の組合せを A~H から選べ。なお、オスでは交差の形成は完全に抑えられていると仮定する。(5 点)

- ① 遺伝子座 R と遺伝子座 S は同じ染色体上にある。
- ② 遺伝子座 R と遺伝子座 S は違う染色体上にある。
- ③ 遺伝子座 R には自然選択がはたらいている。
- ④ 遺伝子座 S には自然選択がはたらいている。

A. ① B. ② C. ①③ D. ①④ E. ②③ F. ②④ G. ①③④ H. ②③④

問 18) ヒトの ABO 式血液型は複対立遺伝子とよばれる A, B, O の 3 つの対立遺伝子によって決まり, 遺伝子型 AA と AO が A 型, 遺伝子型 BB と BO が B 型, 遺伝子型 AB が AB 型, 遺伝子型 OO が O 型となる。

しかし, この遺伝様式が明らかになる以前は, 遺伝子 A (a) と遺伝子 B (b) の組合せで決定されるという説もあった。この旧説では, 遺伝子型 AAbb と遺伝子型 Aabb は A 型となり, 遺伝子型 aaBB と遺伝子型 aaBb は B 型となる。また, 遺伝子型 AABB や遺伝子型 AaBb など A と B を同時にもつものが AB 型となり, 遺伝子型 aabb のみが O 型となる。ここで, a と b はそれぞれ A と B に対する潜性 (劣性) 対立遺伝子である。

ここで紹介した旧説と現在考えられている遺伝様式とでは, 両親の血液型とその間に生まれる子供の血液型の可能性に違いが生じる場合がある。次の①～⑤の両親のなかで, その間に生まれる子供の血液型に違いが生じる可能性のあるものはどれか。違いが生じる可能性のある両親の組合せを A～L から選べ。(5 点)

- ① A 型と B 型 ② A 型と AB 型 ③ A 型と O 型 ④ AB 型と O 型 ⑤ O 型と O 型

- A. ①② B. ①③ C. ①④ D. ①⑤ E. ②③ F. ②④ G. ②⑤
 H. ③④ I. ③⑤ J. ④⑤ K. ①③⑤ L. ③④⑤

問 19) 図 1 は, ある遺伝子の突然変異により肝臓の機能が低下する症状を呈した患者とその家系図を示したものである。この家族の各人 (1～7) の血液から DNA を採取し, PCR 法をもちいて原因遺伝子の DNA の部分配列を増幅した。次に, ある制限酵素をもちいてそれぞれの PCR 産物を切断し, 電気泳動を行った (図 2)。なお 1 つのバンドには単一の DNA 断片が対応している。

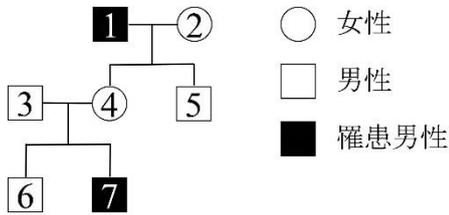


図 1

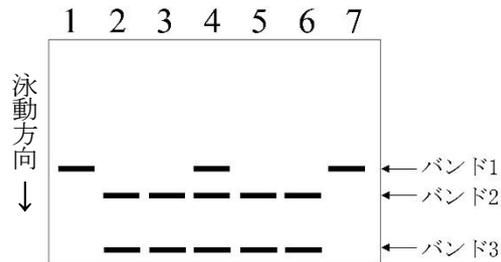


図 2

次の文章は上記の結果を考察したものである。() 内に入る記述の組合せを A～L から選べ。(4 点)

図 2 より, 制限酵素処理によって (ア) ことがわかる。この結果と図 1 の家系図から, この原因遺伝子は (イ) 上にあり, (ウ) 遺伝をすると推測される。

- ① バンド 1 の DNA が切断されるとバンド 2 とバンド 3 が生じる
 ② バンド 2 とバンド 3 の DNA が切断されるとバンド 1 が生じる
 ③ 常染色体 ④ 性染色体 ⑤ 顕性 (優性) ⑥ 潜性 (劣性) ⑦ 共顕性 (共優性)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
ア	①	①	①	①	①	①	②	②	②	②	②	②
イ	③	③	③	④	④	④	③	③	③	④	④	④
ウ	⑤	⑥	⑦	⑤	⑥	⑦	⑤	⑥	⑦	⑤	⑥	⑦

問 20) タンパク質を生成する翻訳過程での遺伝情報の変換では、mRNA の3 個のヌクレオチド (コドン) が1 個のアミノ酸に対応している。真核生物の核遺伝子での対応関係を示したものが右の表である。

遺伝暗号表

UUU	Phe	UCU	Ser	UAU	Tyr	UGU	Cys
UUC		UCC		UAC		UGC	
UUA	Leu	UCA	Pro	UAA	終止 コドン	UGA	終止 コドン
UUG		UCG		UAG		UGG	
CUU		CCU		CAU	His	CGU	Arg
CUC		CCC		CAC		CGC	
CUA	CCA	CAA	Gln	CGA	Arg		
CUG	CCG	CAG		CGG			
AUU	Ile	ACU	Thr	AAU	Asn	AGU	Ser
AUC		ACC		AAC		AGC	
AUA		ACA		AAA	Lys	AGA	Arg
AUG	Met	ACG		AAG		AGG	
GUU	Val	GCU	Ala	GAU	Asp	GGU	Gly
GUC		GCC		GAC		GGC	
GUA		GCA		GAA	Glu	GGA	
GUG		GCG		GAG		GGG	

表にあるようにメチオニン (Met) とトリプトファン (Trp) を除くアミノ酸には複数のコドンが存在する。たとえば、グリシン (Gly) では、GGU, GGC, GGA, GGG の4 個のコドンが対応する。その冗長性 (縮退性) から突然変異で GGC のコドンの三番目の塩基 C が A に変化してもアミノ酸は変わらない。このようなアミノ酸の変化を伴わない塩基置換は同義置換とよばれる。一方、同じ GGC でも第一番目の塩基が置換した場合は、G→A ではセリン (Ser)、G→C ではアルギニン (Arg)、G→U ではシステイン (Cys) へとアミノ酸が変化し、どのような置換であってもアミノ酸は変化する。このようなアミノ酸の変化を伴う塩基置換は非同義置換とよばれる。

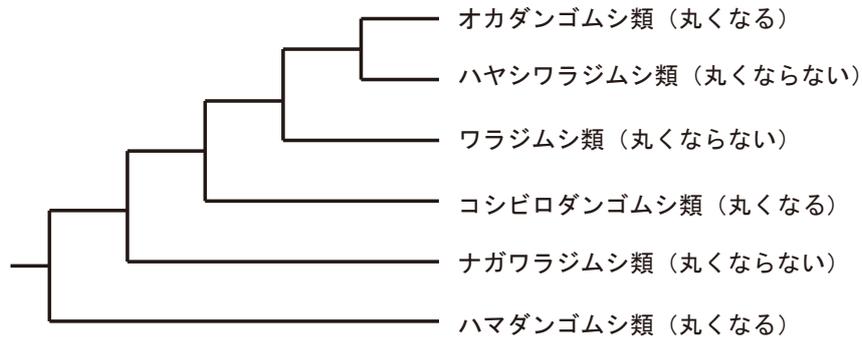
いま、さまざまな生物種で保存されてきた全長 300 個のアミノ酸 (コドン) からなる遺伝子に対し、X, Y, Z の3 種で DNA 配列を調べた。すると 5 番目、12 番目、67 番目、121 番目のアミノ酸 (コドン) に対応する DNA 配列に違いが観察された。これらの種の系統関係と各部位での DNA 配列は次のとおりである。



この結果から種 X と種 Y の共通祖先①から種 X と種 Y へと進化する過程で生じた同義置換 (アミノ酸の変化を伴わない塩基置換) の数を推定し、その値としてもっとも適切な組合せを A~L から選べ。なおこれらの生物種は近縁であり、複数の置換が同じ塩基サイトに生じる可能性はないと仮定する。(6 点)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
祖先種①から種 X	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
祖先種①から種 Y	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2

問 21) ダンゴムシの仲間は刺激を受けると「体が丸くなる」という特徴があるが、ワラジムシの仲間はふつう体が丸くならない。下の系統樹は、最近の陸棲等脚類の分子系統解析の結果である。



次の文章は「体が丸くなる」という形質の進化について述べたものである。文中の () の中に入る数字として適切な組合せを A~L から選べ。(5 点)

陸棲等脚類の進化において、このグループの共通祖先は体が丸くならなかったと仮定すると、形質変化の回数が最小となる変化の起き方は (ア) とおりあり、その時の変化の回数は (イ) 回である。いっぽう、共通祖先は体が丸くなっていたと仮定すると、形質変化の回数が最小となる変化の起き方は (ウ) とおりあり、その時の変化の回数は (エ) 回になる。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
ア	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3
イ	1	1	3	3	1	1	3	3	1	1	3	3
ウ	1	1	1	3	1	1	1	3	1	1	1	3
エ	1	3	3	3	1	3	3	3	1	3	3	3