

日本生物学オリンピック 2024

予選問題

2024年7月14日

試験時間：90分

これは冊子版です。実際の試験はオンライン版を使って行われました。



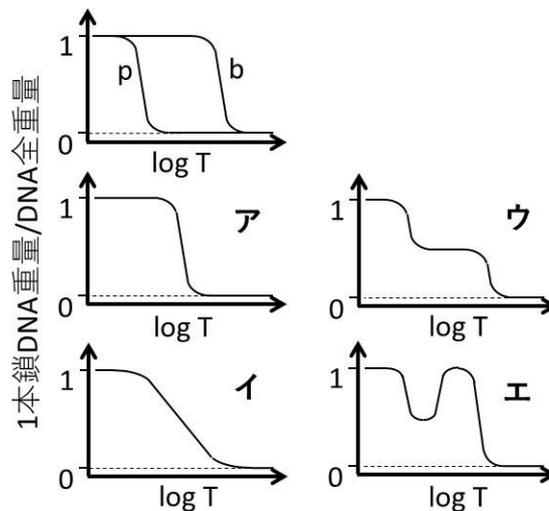
Japan Biology Olympiad

問1

2本鎖DNA水溶液の温度を十分に上げると、DNAの2本鎖間の水素結合が切れて1本鎖に分離する。その状態から温度を下げると相補鎖どうしが再会合して2本鎖となる。水溶液中の相補鎖の濃度が高いほど再会合は速く進む。再会合の速さは水溶液の塩濃度にも依存するが、以下ではすべての水溶液の塩濃度が同一であるとする。また、超音波処理によって2本鎖DNAは等しく長さ500塩基対の2本鎖DNAに断片化されるものとする。

あるファージPのゲノムは、反復配列を含まない50,000塩基対の2本鎖DNAである。このゲノムを超音波処理によって断片化し、濃度50mg/Lの水溶液を調製した。この水溶液を加熱してDNAをすべて1本鎖に分離させた後に温度を下げ、溶液中のDNA全重量のうち1本鎖のみであるDNA重量の割合を経時的に測定したところ、図の曲線pのようになった。なお、温度を下げてからの経過時間をTとし、Tの常用対数をlog Tとした。

あるバクテリアBのゲノムは、5,000,000塩基対の2本鎖DNAであり、やはり反復配列を含まない。このゲノムに対して上記と同じ処理および測定を行ったところ、図の曲線bのようになった。



以上の結果をふまえて、次の①と②それぞれに対して上記と同じ処理および測定を行った場合、結果として予想されるのは図の曲線ア～エのうちどれか。もっとも適切な組合せをA～Lから選べ。なお、図の横軸のスケールはすべて等しく、ファージPゲノムとバクテリアBゲノムの間には相同性がないとする。(5点)

- ① 反復配列を含まない50,000塩基対の2本鎖DNA
- ② ファージPのゲノムとバクテリアBのゲノムを重量比1:1で混合したもの

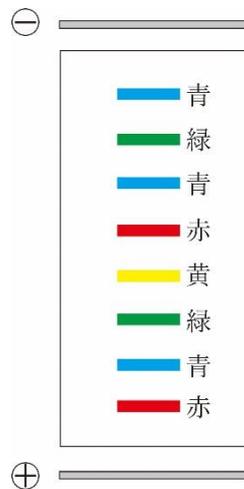
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
①に対応する曲線	ア	ア	ア	イ	イ	イ	ウ	ウ	ウ	エ	エ	エ
②に対応する曲線	イ	ウ	エ	ア	ウ	エ	ア	イ	エ	ア	イ	ウ

問2

生物の遺伝情報は、DNAに含まれる4種類の塩基〔アデニン（A）、シトシン（C）、グアニン（G）、チミン（T）〕の配列で表される。塩基配列を決定する方法の1つにサンガー法がある。

サンガー法では、解析対象のDNAの1本鎖を鋳型として、鋳型DNAに対して特異的に結合する1種類のプライマー、8種類のヌクレオチド（4種類のデオキシリボヌクレオシド三リン酸と4種類のジデオキシリボヌクレオシド三リン酸）およびDNAポリメラーゼを含む反応液中でDNA断片の合成を行う。ジデオキシリボヌクレオシド三リン酸は4種類の塩基ごとに異なる色の蛍光で標識されており（A：赤、C：黄、G：緑、T：青）、伸長する新規DNA鎖に取り込まれると、その鎖の伸長は停止する。合成された1本鎖DNAをアガロースゲル電気泳動にかけて蛍光検出を行い、えられたバンドのパターンから塩基配列を読み取る。

ある1本鎖DNAの8塩基の領域をサンガー法で解析した結果、図のようなバンドパターンがえられた。なお、図中の⊖と⊕は電気泳動の際の電極を示している。



この1本鎖DNAの8塩基の領域の塩基配列として正しいものをA~Lから選べ。(5点)

- A. 5' -TGTCGTA-3'
- B. 5' -TGTAGCAT-3'
- C. 5' -ACATGCAT-3'
- D. 5' -ACATCGTA-3'
- E. 5' -ATGCATGT-3'
- F. 5' -ATGCTACA-3'
- G. 5' -TACGTACA-3'
- H. 5' -TACGATGT-3'
- I. 5' -TGTAATGT-3'
- J. 5' -TGTATACA-3'
- K. 5' -ACATTACA-3'
- L. 5' -ACATATGT-3'

問3

新型コロナウイルスの外側にあるスパイクタンパク質（以降Sタンパク質と略す）は、その先端部分がヒトの細胞表面のACE-2受容体に結合して、ヒトの細胞に侵入するきっかけを作る。Sタンパク質の一部が変化した「変異株」では、ACE-2受容体と結合しやすくなって感染力が高まることもある。また、Sタンパク質に結合して侵入を防ぐための抗体を作るワクチンも開発されたが、抗体と結合しにくくなって免疫回避を起こす「変異株」も出現した。新型コロナウイルスは遺伝情報としてRNAをもつRNAウイルスであり、ヒトの細胞に侵入するとウイルスのRNAの情報をもとに細胞内でSタンパク質などが合成される。新型コロナウイルスの変異株を示すものとして、「N501Y」や「E484K」などがある。たとえば、「N501Y」はSタンパク質の501番目のアミノ酸がNからYに変化したことを示し、NとYはアミノ酸をアルファベット1文字で示す記号であり、Nはアスパラギン、Yはチロシンを示している。

RNAのコドンとそれをコードするアミノ酸名およびアミノ酸の1文字表記

UUU	フェニルアラニン F	UCU	セリン S	UAU	チロシン Y	UGU	システイン C	
UUC		UCC		UAC		UGC		
UUA	ロイシン L	UCA		UAA	終止	UGA	終止	
UUG		UCG		UAG	終止	UGG	トリプトファン W	
CUU	ロイシン L	CCU	プロリン P	CAU	ヒスチジン H	CGU	アルギニン R	
CUC		CCC		CAC		CGC		
CUA		CCA		CAA	グルタミン Q	CGA		
CUG		CCG		CAG		CGG		
AUU	イソロイシン I	ACU	トレオニン T	AAU	アスパラギン N	AGU	セリン S	
AUC		ACC		AAC		AGC		
AUA		ACA		AAA	リシン K	AGA	アルギニン R	
AUG	メチオニン M	ACG		AAG		AGG		
GUU	バリン V	GCU	アラニン A	GAU	アスパラギン酸 D	GGU	グリシン G	
GUC		GCC		GAC		GGC		
GUA		GCA		GAA	グルタミン酸 E	GGA		
GUG		GCG		GAG		GGG		

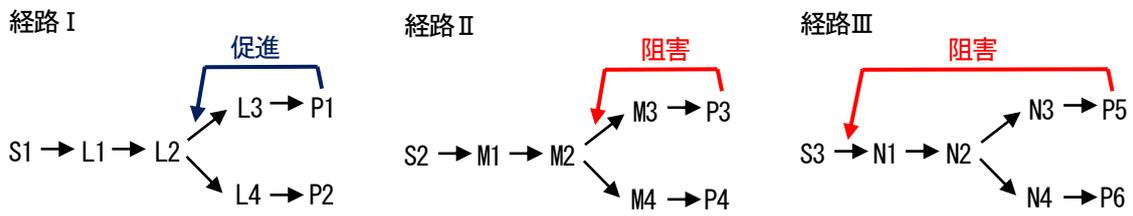
次の記述は新型コロナウイルスの変異株について述べたものである。正しい記述の組合せをA~Jから選べ。(6点)

- ① 変異株E484Kでは、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。
- ② Sタンパク質の遺伝子のどの部分でもUからGへの塩基置換が起これば、感染力がより高い変異株となる。
- ③ 変異株L452Rでは、Sタンパク質の452番目のアミノ酸に対応するコドンの2番目の塩基がUからGに変化している。
- ④ ヒトから体外に放出されたウイルスにおいて、アミノ酸が化学的に修飾を受けて別のアミノ酸に変わることで、変異株が生じる。
- ⑤ 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。

- A. ①②③    B. ①②④    C. ①②⑤    D. ①③④    E. ①③⑤  
 F. ①④⑤    G. ②③④    H. ②③⑤    I. ②④⑤    J. ③④⑤

問4

細胞内で行われる代謝には、何らかの制御がはたらいっている。下図は基質が中間代謝物を経て最終生成物に変換される代謝経路である。



経路Ⅰは基質 S1 が中間代謝物 (L1, L2, L3, L4) を経て最終生産物 (P1, P2) に変換される代謝経路であり、最終生成物 P1 は L2 から L3 への酵素反応を促進する。

経路Ⅱは基質 S2 が中間代謝物 (M1, M2, M3, M4) を経て最終生産物 (P3, P4) に変換される代謝経路であり、最終生成物 P3 は M2 から M3 への酵素反応を阻害する。

経路Ⅲは基質 S3 が中間代謝物 (N1, N2, N3, N4) を経て最終生産物 (P5, P6) に変換される代謝経路であり、最終生成物 P5 は S3 から N1 への酵素反応を阻害する。

次の記述のうち、最終生成物 (P1, P3, P5) の濃度が増加した際に予想されるものはどれか。予想される記述の組合せを A~L から選べ。(4点)

- ① 経路Ⅰにおいて P1 の濃度が増加すると、P2 の生成速度は増加する。
- ② 経路Ⅰにおいて P1 の濃度が増加すると、P2 の生成速度は減少する。
- ③ 経路Ⅱにおいて P3 の濃度が増加すると、P4 の生成速度は増加する。
- ④ 経路Ⅱにおいて P3 の濃度が増加すると、P4 の生成速度は減少する。
- ⑤ 経路Ⅲにおいて P5 の濃度が増加すると、P6 の生成速度は増加する。
- ⑥ 経路Ⅲにおいて P5 の濃度が増加すると、P6 の生成速度は減少する。
- ⑦ 経路Ⅲにおいて P5 の濃度が増加しても、P6 の生成速度は変化しない。

- A. ①③⑤    B. ①③⑥    C. ①③⑦    D. ①④⑤    E. ①④⑥    F. ①④⑦
- G. ②③⑤    H. ②③⑥    I. ②③⑦    J. ②④⑤    K. ②④⑥    L. ②④⑦

問5

植物ホルモンの1つであるエチレンが種子の発芽におよぼす影響を知るため、次のような実験を行った。イネの成熟した種子を十分吸水させ、エチレン、エチレンの前駆体、前駆体からエチレンへの生合成を阻害する物質、エチレンの作用を阻害する物質の1つあるいは2つを加えた後、48時間以内に発芽した個体の割合を調べた。下表はその結果である。結果は何も加えなかった無処理の発芽率より高いかそうでないかで示している。

加えた物質	①	①と③	①と④	②	②と③	②と④
発芽率	高い	変化なし	変化なし	高い	高い	変化なし

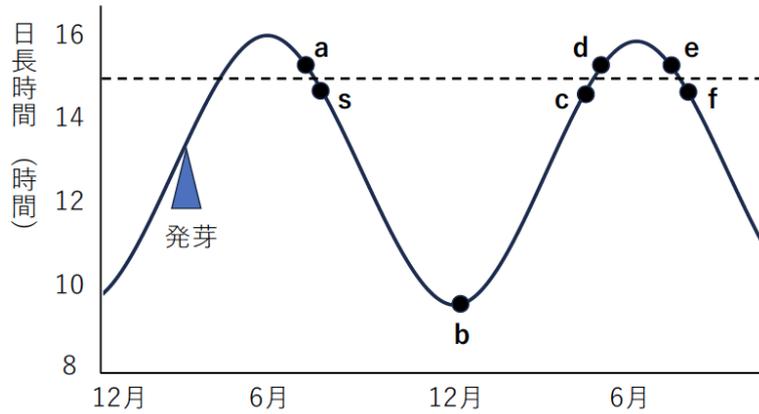
次の文章は表中の①～④を説明したものである。( ) 内に入る記号の組合せをA～Lから選べ。(6点)

(ア) はエチレンであり、(イ) はエチレンの前駆体である。また、(ウ) は前駆体からエチレンへの生合成を阻害する物質であり、(エ) はエチレンの作用を阻害する物質である。

	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	②	②	③	③	④	④	①	①	③	③	④	④
ウ	③	④	②	④	②	③	③	④	①	④	①	③
エ	④	③	④	②	③	②	④	③	④	①	③	①

問6

植物は1日の昼（明期）の長さや夜（暗期）の長さの変化を感知して花芽の形成を調整している。このような日長の変化に反応して起こる性質は光周性とよばれる。植物の花芽形成は実際には明期の長短ではなく、連続した暗期の長さが重要であることがわかっている。下図は日長時間の年変動を示すグラフである。いま、花成を誘導する日長時間の閾値（図中の点線）も発芽時期（図中の矢頭）も同じである2種の植物（種Pと種Q）を考える。



次の文章の（ ）内に入る記述の組合せのうち、もっとも適切なものをA～Lから選べ。（5点）

種Pは一年生植物であり、春に発芽（図中の矢頭）し、グラフのs点で開花し始めた場合、暗期の長さが約9時間より（ア）になると開花することになる。

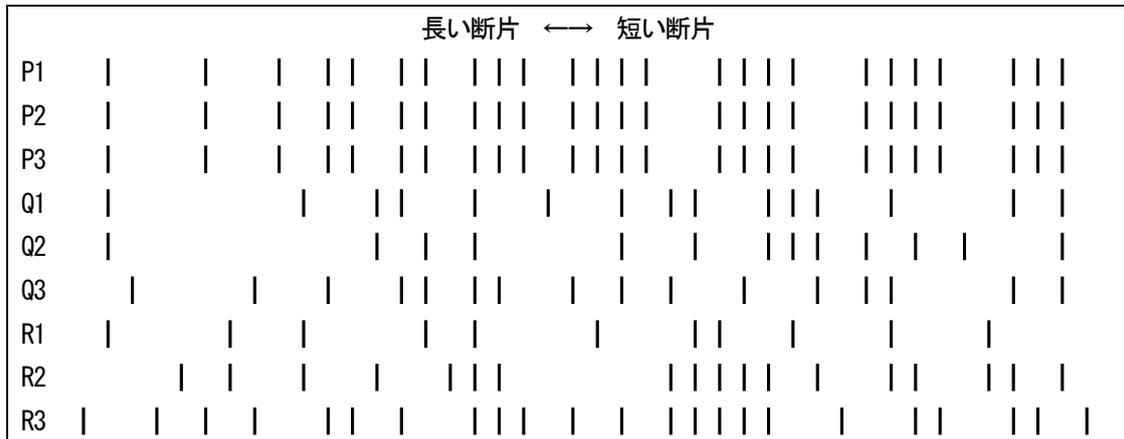
花芽形成は、植物の種類によって暗期の長さだけでなく温度の影響を受けることも知られている。種Qは春化を必要とする長日植物である。この植物が春に発芽（図中の矢頭）した場合は、グラフの（イ）の時期に開花し始めると考えられる。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
ア	短く	短く	短く	短く	短く	短く	長く	長く	長く	長く	長く	長く
イ	a	b	c	d	e	f	a	b	c	d	e	f

問7

バラ科に属する品種Pは、100年以上前に種Qと種Rの交配により人為的に作り出された栽培品種であると考えられている。品種P、種Q、種Rの遺伝的な違いを知るために、これらの植物集団からそれぞれ3個体を無作為に選び、次のようにDNAフィンガープリント法で遺伝的変異を調べた。

各個体の葉から抽出したDNAを制限酵素 *Taq*I で切断し、電気泳動法で分離した。人工的に作製した反復配列 (GACA)<sub>4</sub> をプローブとして、これと結合したDNA断片を可視化した。下図は、えられた電気泳動パターンを模式的に示したものである。なお、品種Pの3個体をP1, P2, P3、種Qの3個体をQ1, Q2, Q3、種Rの3個体をR1, R2, R3とした。



次に、自家不和合性を確認するため、品種Pが品種P、種Q、種Rの花粉で実を結ぶかどうかを調べた。下表はその結果である。

使った花粉	品種P	種Q	種R
結実率	0%	35%	18%

品種P自身の花粉を使った場合、完全な自家不和合性を示すことが明らかになった。なお、この自家不和合性にはS遺伝子が関与し、配偶子型であり、結実率はS遺伝子だけで決定されると仮定する。

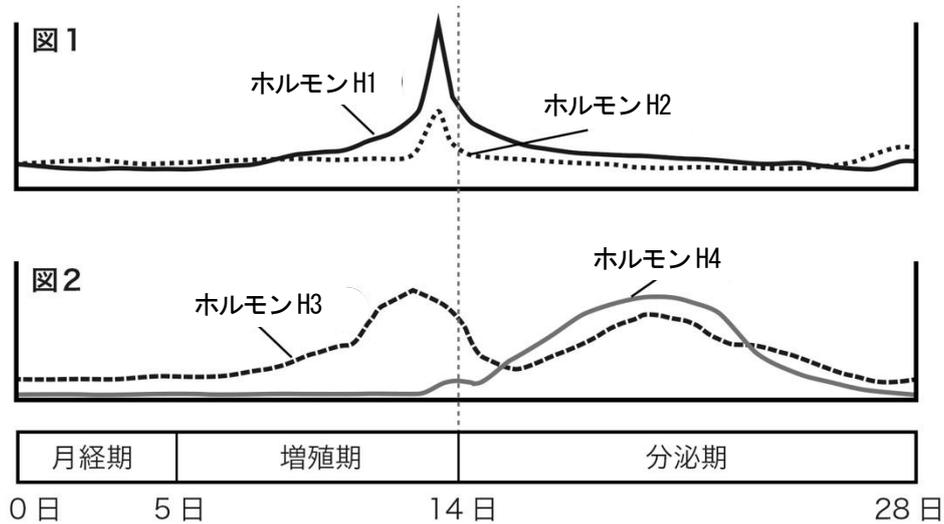
次の記述はこれらの結果について述べたものである。正しい記述の組合せをA~Lから選べ(6点)

- ①「品種Pが種Qと種Rの人工交配で作りに出されたのは1回限りである」という仮説は否定できる。
- ②「品種Pが種Qと種Rの人工交配で作りに出されたのは1回限りである」という仮説は否定できない。
- ③種Qの花粉を使ったとき品種Pの結実率は高いので、種Qは品種Pの花粉親(オス親)と考えられる。
- ④種Rの花粉を使ったとき品種Pの結実率は低いので、種Rは品種Pの花粉親(オス親)と考えられる。
- ⑤種Qと種Rのどちらが花粉親(オス親)かは、これらの結果からは何も言えない。
- ⑥種QがもっているS遺伝子の35%は、品種PがもっているS遺伝子と同じ対立遺伝子であると推測される。
- ⑦種QがもっているS遺伝子の65%は、品種PがもっているS遺伝子と同じ対立遺伝子であると推測される。

- A. ①③⑥    B. ①③⑦    C. ①④⑥    D. ①④⑦    E. ①⑤⑥    F. ①⑤⑦
- G. ②③⑥    H. ②③⑦    I. ②④⑥    J. ②④⑦    K. ②⑤⑥    L. ②⑤⑦

問8

下図はヒトの女性の排卵周期を示している。図1は脳から分泌されるホルモンH1とH2の血中濃度（相対値）の変動を、図2は卵巣から分泌されるホルモンH3とH4の血中濃度（相対値）の変動を示している。その下には子宮内膜の状態がどのように変化するかが示されている。なおホルモンH1～H4は、プロゲステロン、LH（黄体形成ホルモン）、エストラジオール（エストロゲン）、FSH（卵胞刺激ホルモン）のいずれかである。



ホルモ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～Jから選べ。(5点)

- ① ホルモンH1とホルモンH2は、視床下部から分泌される。
- ② ホルモンH1とホルモンH2は、男性にも存在し、精子形成を促す。
- ③ 分泌期では、ホルモンH3とホルモンH4のはたらきで卵胞は発達する。
- ④ 増殖期では、ホルモンH3は低濃度ではホルモンH1とホルモンH2の分泌を抑制し、高濃度では促進する。

- A. ① B. ② C. ③ D. ④ E. ①② F. ①③ G. ①④ H. ②③ I. ②④ J. ③④

問9

ヒトデの卵巣には第一減数分裂前期で減数分裂が停止した未受精卵が存在する。この未受精卵は巨大な核（卵核胞）をもち、周りは濾胞（ろほう）細胞によって囲まれている。生殖時期になると、ヒトデの放射神経からペプチドホルモン（GSS）が放出され、これが第2のホルモンである1-メチルアデニン（1-MA）の放出を誘導し、その結果、減数分裂が再開することが知られている。

ヒトデから濾胞細胞がついた状態の未受精卵を取り出し、一部は濾胞細胞を除去した。この2種類の未受精卵に、放射神経から取り出したGSSをさまざまな濃度で加え、減数分裂が再開するか調べたところ、以下の結果をえた。

	GSS 原液	10 倍希釈した GSS	100 倍希釈した GSS	1000 倍希釈した GSS	海水のみ	1 $\mu\text{mol/L}$ の 1-MA
濾胞細胞がついた未受精卵	++	++	+	—	—	++
濾胞細胞を除去した未受精卵	—	—	—	—	—	++

- ++ : 減数分裂を再開した未受精卵の割合が 90%以上
- + : 減数分裂を再開した未受精卵の割合が 50~89%
- ± : 減数分裂を再開した未受精卵の割合が 11~49%
- : 減数分裂を再開した未受精卵の割合が 10%以下

上記の実験からえられた考察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~J から選べ。ただし、GSS および 1-MA は細胞膜を透過しないとす。 (6 点)

- ① 1-MA は、未受精卵内で合成・放出される。
- ② GSS は、濾胞細胞に濃度依存的に作用して 1-MA を合成させる。
- ③ 1-MA は、卵細胞の細胞膜に結合して減数分裂を再開させる可能性が高い。
- ④ GSS は、高濃度では 1-MA の分泌を抑制し、低濃度では促進する。

- A. ①    B. ②    C. ③    D. ④    E. ①②    F. ①③    G. ①④    H. ②③    I. ②④    J. ③④

問 10

私たちの身体の活動はATPの加水分解によるエネルギーで支えられている。私たちが1日あたりに生成・消費するATP量は体内の定常量よりもはるかに大きく、1日に何度も $ADP + P_i \rightarrow ATP$ の反応( $P_i$ は無機リン酸)すなわち呼吸を行って、1分子のATPが何度も繰り返し作られ使われている。つまりリサイクルされていることになる。

そこで、ATP分子が1日に何回リサイクルされるか、概算してみよう。体内のATP総量を50gと考えることにする。簡単のために、1日の消費カロリーを2500 kcal、これをすべて糖質で摂ることとし、1 molのブドウ糖からは30 molのATPができると仮定する。

次の文章の( )内に入る数字の組合せをA~Lから選べ。ただし、1 cal = 4.184 J、ATPの分子量は507、ブドウ糖およびATPの加水分解の標準自由エネルギー変化は、それぞれ -2870 kJ/mol、-30.5 kJ/mol とする。(6点)

ブドウ糖で2500 kcal分から生成されるATPは(ア)gとなる。これが1日に生成されるATPの総量である。体内にあるATPが50gだとすると、1分子のATPは1日におよそ(イ)回リサイクルされる計算となる。一方(ア)gのATPの加水分解からえられるエネルギーは2500 kcalよりだいぶ小さい。これは呼吸のエネルギー効率が100%ではないからで、標準自由エネルギー変化で計算すると、この場合のエネルギー効率は(ウ)%となる。ATPに変換されなかったエネルギーは熱となる。その熱は60 kgの水の温度をおよそ(エ)°C上昇させる量となる。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
ア	1848	1848	1848	1848	13249	13249	13249	13249	55434	55434	55434	55434
イ	37	37	37	37	265	265	265	265	1109	1109	1109	1109
ウ	31.9	31.9	52.3	52.3	31.9	31.9	52.3	52.3	31.9	31.9	52.3	52.3
エ	19.9	28.4	19.9	28.4	19.9	28.4	19.9	28.4	19.9	28.4	19.9	28.4

問 11

ショウジョウバエの求愛行動は、いくつかの行動要素から成り立っている。このうち、オスが翅を振動させて発生させる羽音のパターン（求愛歌）は、聴覚を介してメスへの求愛信号としてはたらく。求愛歌は種特異的であり、メスが異種のオスとの交尾を避ける仕組みの1つと考えられている。メスが求愛歌を聞き分ける能力を知るために、キイロショウジョウバエをもちいて、次のような実験を行った。

音作成ソフトを使って、3種類の異なる求愛歌を人工的に作成した。キイロショウジョウバエの求愛歌と同じものを求愛歌Ⅰ、多少違いがあるものを求愛歌Ⅱ、大きな違いがあるものを求愛歌Ⅲとした。羽化直後のハエを1匹ずつ隔離し、オスはその翅を切除した。1匹のメスと翅を切除した1匹のオスを同一空間に置き、3種類の異なる求愛歌の1つをスピーカーから流した状態で交尾の有無を観察した。対照として、音のない状態でも交尾の有無を観察した。それぞれの条件について観察開始から30分以内に交尾した割合を記録した。下表はこの結果である。

実験で聞かせた求愛歌	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	なし
交尾した割合	79%	78%	14%	25%

次の実験では、羽化直後のメスを3つのグループに分けた。1つのグループでは1週間求愛歌Ⅰを聞かせた。別のグループでは1週間求愛歌Ⅱを聞かせた。もう1つのグループでは1週間音のない状態で維持した。これらのメスをもちいて、前と同じような実験を行った。なお、オスには、羽化後1週間たった、翅を切除したものを使った。下表はこの結果である。

1週間聞かせた求愛歌	Ⅰ		Ⅱ		なし	
実験で聞かせた求愛歌	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ
交尾した割合	56%	22%	67%	60%	79%	78%

次の記述は、メスがオスの発する求愛歌を聞き分ける能力について述べたものである。実験結果から推測される記述の組合せをA~Lから選べ。(6点)

- ① 羽化直後には、求愛歌を聞き分ける能力はない。
- ② 羽化直後には、求愛歌を聞き分ける能力は低い。
- ③ 羽化から時間が経過すると共に、求愛歌を聞き分ける能力は大いに高まる。
- ④ 求愛歌Ⅰを聞き続けると、求愛歌を聞き分ける能力は大いに高まる。
- ⑤ 求愛歌Ⅱを聞き続けると、求愛歌を聞き分ける能力は大いに高まる。
- ⑥ 求愛歌を聞き分ける能力が上昇すると、メスは同種の求愛歌を発するオスと積極的に交尾するようになる。
- ⑦ 求愛歌を聞き分ける能力が上昇すると、メスは異種の求愛歌を発するオスを拒否するようになる。

- A. ①③⑥    B. ①③⑦    C. ①④⑥    D. ①④⑦    E. ①⑤⑥    F. ①⑤⑦  
 G. ②③⑥    H. ②③⑦    I. ②④⑥    J. ②④⑦    K. ②⑤⑥    L. ②⑤⑦

問 12

個体群の個体数を推定する方法に標識再捕獲法がある。この方法の基本手順は次のとおりである。個体群から無作為（ランダム）に  $m$  個体を捕獲し、標識を付けて元の個体群に戻す（1 回目の捕獲）。一定期間後、個体群から無作為に  $c$  個体を捕獲し、 $r$  個体に標識が付いていることを確認する（2 回目の捕獲）。個体群の個体数（ $N$ ）は、 $N : m = c : r$  の関係から、

$$N = \frac{mc}{r} \quad (1)$$

で推定される。

式(1)はいくつかの仮定に基づいて導かれたものである。次の文章はこれらの仮定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。（6 点）

「2 回目の捕獲において標識の付いた個体の捕獲率と標識の付いていない個体の捕獲率は等しい」と仮定している。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、式(1)で推定した個体数は実際の個体数より（ ア ）ことが期待される。

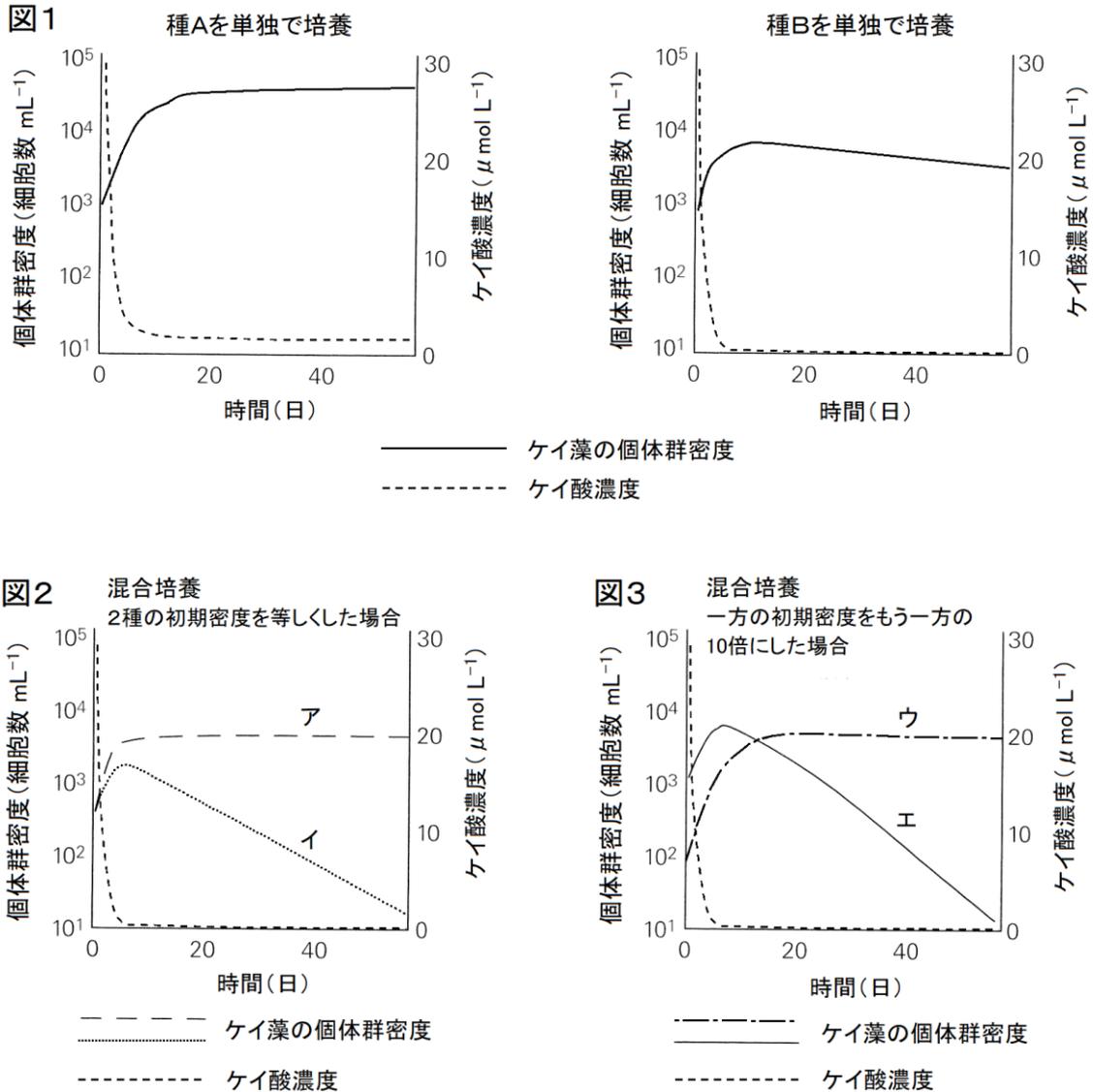
「1 回目の捕獲と 2 回目の捕獲の間に個体数の増減はない」と仮定している。この期間にこの個体群からの移出があり、個体数が減少した場合、式(1)で推定した個体数は（ イ ）ことが期待される。[なお、移出する個体はこの個体群から無作為に選ばれたものとする。] また、この期間にこの個体群への移入があり、個体数が増加した場合、式(1)で推定した個体数は（ ウ ）ことが期待される。

- ① 少ない    ② 多い    ③ 1 回目の捕獲直前の個体数より少ない    ④ 1 回目の捕獲直前の個体数に等しい  
 ⑤ 2 回目の捕獲直前の個体数に等しい    ⑥ 2 回目の捕獲直前の個体数より多い

	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	⑤	③	③	③	④	④	⑤
ウ	④	⑤	⑥	⑤	⑥	⑥	④	⑤	⑥	⑤	⑥	⑥

問 13

ケイ藻はケイ酸質の殻をもつ単細胞の藻類であり、生育にケイ酸を必要とする。図1は、2種のケイ藻をそれぞれ単独で培養した場合の個体群密度と培養液中のケイ酸濃度の時間的変化を示したものである。図2と図3は、2種を一緒に培養した場合の変化を、培養開始時に2種の初期密度を等しくした場合と一方の種の初期密度をもう一方の種の10倍となるようにした場合のそれぞれについて示した。



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

- ① 2種のケイ藻を比較したとき、より低濃度のケイ酸を吸収し利用可能なのは、種Aである。
- ② 2種のケイ藻を比較したとき、より低濃度のケイ酸を吸収し利用可能なのは、種Bである。
- ③ 図2で、種Aに対応するのはアである。
- ④ 図2で、種Aに対応するのはイである。
- ⑤ 図3で、種Aに対応するのはウである。
- ⑥ 図3で、種Aに対応するのはエである。

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

問 14

白い繭（まゆ）を作るカイコ（白繭）の純系と黄色い繭を作るカイコ（黄繭）の純系を交配すると、雑種第1代は白繭を作った。雑種第1代どうしを交配すると、雑種第2代では白繭と黄繭が3:1に分離した。これらのうち白繭だけを集めてさらにカイコを交配した。そうすると、白繭と黄繭が3:1に分離する場合と白繭のみが作られる場合の2通りが観察された。雑種第2代で集めた白繭のカイコから作ったペアのうち、次世代で白繭と黄繭の両方が生まれるペアはどれくらいの頻度であると考えられるか。適切な頻度をA~Lから選べ。(5点)

- A. 1/16    B. 1/9    C. 1/8    D. 2/9    E. 1/4    F. 1/3  
 G. 3/8    H. 4/9    I. 1/2    J. 9/16    K. 2/3    L. 8/9

問 15

キイロショウジョウバエは1対の性染色体（メスはXX，オスはXY）と3対の常染色体をもつ。3つの遺伝子座P，Q，Rについて、それぞれ2つの対立遺伝子（P1とP2，Q1とQ2，R1とR2）があるものとする。また、遺伝子型P1/P1の表現型をP1型，遺伝子型P2/P2の表現型をP2型，遺伝子型Q1/Q1の表現型をQ1型，遺伝子型Q2/Q2の表現型をQ2型，遺伝子型R1/R1の表現型をR1型，遺伝子型R2/R2の表現型をR2型とする。

表現型がP1 Q1 R1型のメス1匹と表現型がP2 Q2 R2型のオス1匹とを交配し、子世代（F1世代）としてメスオス30匹ずつをえた。それらの表現型を調べたところ、メス30匹はすべてP2 Q2 R2型であり、オス30匹はすべてP1 Q1 R1型であった。

次に、F1世代のメス30匹とオス30匹とを交配し、次の世代（F2世代）としてメスオス合わせて1000匹をえた。それらの表現型は下の表のようになっていた。

P1 Q1 R1 型	P1 Q1 R2 型	P1 Q2 R1 型	P1 Q2 R2 型	P2 Q1 R1 型	P2 Q1 R2 型	P2 Q2 R1 型	P2 Q2 R2 型
457 匹	25 匹	14 匹	1 匹	1 匹	15 匹	26 匹	461 匹

以上の結果を踏まえて、遺伝子座P，Q，Rの位置としてもっとも確からしいものをA~Lから選べ。なお、キイロショウジョウバエのオスでは減数分裂時の組換えが抑制されている。Y染色体上にある遺伝子座はごく少数であり、遺伝子座P，Q，RがY染色体上にある可能性は考えなくてよいものとする。また、遺伝子座P，Q，Rが生存や繁殖の効率に及ぼす影響は無視できるものとする。(7点)

- A. 3つの遺伝子座はX染色体上にあり、P，Q，Rの順に並んでいる。  
 B. 3つの遺伝子座はX染色体上にあり、P，R，Qの順に並んでいる。  
 C. 3つの遺伝子座はX染色体上にあり、Q，P，Rの順に並んでいる。  
 D. 遺伝子座PとQはX染色体上にあり、遺伝子座Rは常染色体上にある。  
 E. 遺伝子座PとRはX染色体上にあり、遺伝子座Qは常染色体上にある。  
 F. 遺伝子座QとRはX染色体上にあり、遺伝子座Pは常染色体上にある。  
 G. 遺伝子座PはX染色体上にあり、遺伝子座QとRは同じ常染色体上にある。  
 H. 遺伝子座QはX染色体上にあり、遺伝子座PとRは同じ常染色体上にある。  
 I. 遺伝子座RはX染色体上にあり、遺伝子座PとQは同じ常染色体上にある。  
 J. 3つの遺伝子座は同じ常染色体上にあり、P，Q，Rの順に並んでいる。  
 K. 3つの遺伝子座は同じ常染色体上にあり、P，R，Qの順に並んでいる。  
 L. 3つの遺伝子座は同じ常染色体上にあり、Q，P，Rの順に並んでいる。

問 16

両性花を咲かせるマメ科植物の一種は、室内では1個体でも多数の種子をつけることから自殖すると考えられていた。しかし野外の調査でチョウなどの昆虫がこの植物をランダムに（特定の場所に偏ることなく）訪花していることが観察され、野外では一定の割合で他殖していると考えられた。この植物の遺伝子を調べてみると、あるタンパク質のグリシン残基をコードするコドンの3番目のサイトでCとTの2つの異なる塩基が存在することがわかった。この多型は自然選択（自然淘汰）に影響しないことが予想されたので、この対立遺伝子を野外集団で調べた。すると次の結果がえられた。

	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
頻度	16%	8%	76%

次にCとTのヘテロ接合の1個体から多数の種子を採取し、その遺伝子型を調べたところ

	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
頻度	22%	50%	28%

という結果がえられた。これらから推定できる野外個体での他殖の割合としてもっとも適切なものをA~Kから選べ。(6点)

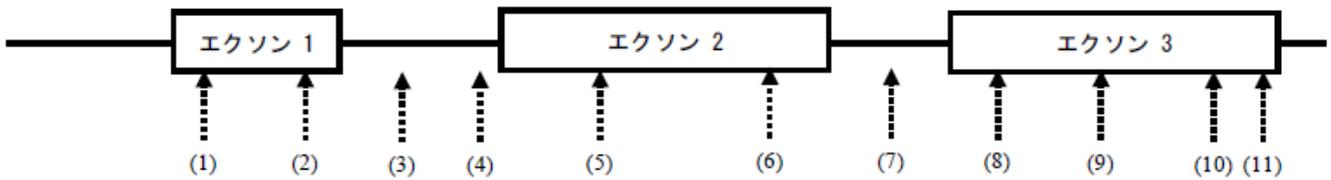
- A. 0%    B. 10%    C. 20%    D. 30%    E. 40%    F. 50%  
 G. 60%    H. 70%    I. 80%    J. 90%    K. 100%

問 17

哺乳類のある属の生物には低地に生息する種と高地に生息する種が混在する。化石資料の解析などから低地から高地へと生息場所を移し適応したことが予想されたため、酸素運搬の機能をもつヘモグロビン・タンパク質とその遺伝子を調べた。すると低地に生息する種（種 X）とその近縁種である高地に生息する 2 種（種 Y と種 Z）のヘモグロビン $\alpha$ 鎖にはアミノ酸の違いがみられ、そのいずれかが酸素飽和曲線の違いを生んでいることがわかった。また、これら 3 種で各々 5 個体（2 倍体生物なので各個体に 2 個の遺伝子が存在することに注意）についてヘモグロビン $\alpha$ 鎖の遺伝子を調べたところ、次の(1)～(11)のサイトに塩基の違いがみられた。

生物種	個体番号	遺伝子	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
種 X	個体 1	1	T	G	A	C	A	T	C	G	G	A	C
		2	T	<b>A</b>	A	C	A	T	C	G	<b>A</b>	A	C
	個体 2	1	T	G	A	C	A	T	<b>G</b>	G	G	A	C
		2	T	G	A	C	<b>G</b>	T	<b>C</b>	G	G	A	C
	個体 3	1	T	G	A	C	A	T	C	G	G	A	<b>T</b>
		2	T	G	<b>G</b>	C	A	T	C	G	G	A	C
	個体 4	1	<b>C</b>	G	A	C	A	T	C	G	G	A	C
		2	T	G	A	C	A	T	C	G	G	<b>C</b>	C
	個体 5	1	T	<b>A</b>	A	C	A	T	C	G	G	A	C
		2	T	G	A	<b>T</b>	A	T	C	G	G	A	C
種 Y	個体 1	1	T	G	A	C	A	T	C	<b>C</b>	G	<b>C</b>	C
		2	T	G	A	C	A	T	C	<b>C</b>	G	<b>C</b>	C
	個体 2	1	<b>C</b>	G	A	C	A	T	C	<b>C</b>	G	<b>C</b>	C
		2	T	G	A	C	A	T	C	<b>C</b>	G	<b>C</b>	C
	個体 3	1	T	G	A	C	A	T	C	<b>C</b>	G	<b>C</b>	C
		2	T	G	A	C	A	T	C	<b>C</b>	G	<b>C</b>	C
	個体 4	1	T	G	A	C	A	T	C	<b>C</b>	G	<b>C</b>	C
		2	T	G	A	C	A	T	C	<b>C</b>	G	<b>C</b>	C
	個体 5	1	T	G	A	C	A	T	C	<b>C</b>	G	<b>C</b>	C
		2	T	G	A	<b>T</b>	A	T	C	<b>C</b>	G	<b>C</b>	C
種 Z	個体 1	1	T	G	A	<b>T</b>	A	<b>A</b>	C	G	G	A	C
		2	T	G	<b>G</b>	C	A	<b>A</b>	C	G	G	A	<b>T</b>
	個体 2	1	<b>C</b>	G	A	C	A	<b>A</b>	C	G	G	A	C
		2	T	G	<b>G</b>	C	A	<b>A</b>	C	G	G	<b>C</b>	C
	個体 3	1	T	G	<b>G</b>	C	A	<b>A</b>	<b>G</b>	G	G	A	C
		2	T	G	<b>G</b>	C	A	<b>A</b>	C	G	<b>A</b>	A	C
	個体 4	1	T	G	A	C	<b>G</b>	<b>A</b>	C	G	G	A	C
		2	T	G	<b>G</b>	C	A	<b>A</b>	C	G	G	A	C
	個体 5	1	T	<b>A</b>	A	C	A	<b>A</b>	C	G	G	A	C
		2	T	G	<b>G</b>	C	A	<b>A</b>	C	G	G	A	C

多型がみられた11か所のサイトの位置は次の図のとおりで、これらの変異のなかでアミノ酸の違いを生じている変異は(1), (6), (8), (11)の4か所のサイトであった。さらに参照のために複数の他の遺伝子で多型（対立遺伝子の数や対立遺伝子間の平均的な塩基の違い）を調べたが、これら3種で差はみられなかった。



図：ヘモグロビン $\alpha$ 鎖遺伝子

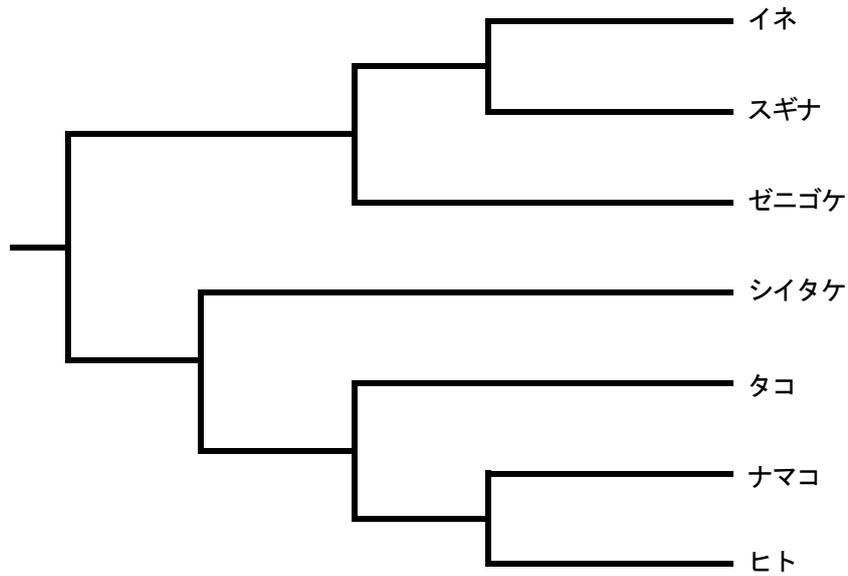
次の文章はこれらの結果から推測されることを述べたものである。( ) 内に入る言葉の組合せとしてもっとも適切なものをA~Lから選べ。(6点)

これらの結果から種Yで高地適応を可能にした塩基置換は(ア)であり、高地適応した2つの種は(イ)と推測された。

	ア	イ
A	(1)のサイトの塩基置換	異なる時期に高地に適応し、より最近に高地へ適応した種は種Yである
B	(1)のサイトの塩基置換	異なる時期に高地に適応し、より最近に高地へ適応した種は種Zである
C	(1)のサイトの塩基置換	同じ高地に適応した祖先種に由来している
D	(6)のサイトの塩基置換	異なる時期に高地に適応し、より最近に高地へ適応した種は種Yである
E	(6)のサイトの塩基置換	異なる時期に高地に適応し、より最近に高地へ適応した種は種Zである
F	(6)のサイトの塩基置換	同じ高地に適応した祖先種に由来している
G	(8)のサイトの塩基置換	異なる時期に高地に適応し、より最近に高地へ適応した種は種Yである
H	(8)のサイトの塩基置換	異なる時期に高地に適応し、より最近に高地へ適応した種は種Zである
I	(8)のサイトの塩基置換	同じ高地に適応した祖先種に由来している
J	(10)のサイトの塩基置換	異なる時期に高地に適応し、より最近に高地へ適応した種は種Yである
K	(10)のサイトの塩基置換	異なる時期に高地に適応し、より最近に高地へ適応した種は種Zである
L	(10)のサイトの塩基置換	同じ高地に適応した祖先種に由来している

問 18

次の系統樹はいくつかの多細胞真核生物の系統関係を示したものである。



次の記述のうち、この系統樹から導き出せる結論はどれか。正しい結論の組合せをA~Lから選べ。(5点)

- ① 脳や眼が発達し運動能力が高いタコは、ナマコよりヒトに近縁である。
- ② 無脊椎動物であるナマコは、ヒトよりタコに近縁である。
- ③ 維管束をもつシダ植物であるスギナは、ゼニゴケよりイネに近縁である。
- ④ 胞子で繁殖するゼニゴケは、イネよりも同じく胞子で繁殖するスギナに近縁である。
- ⑤ 菌類であるシイタケは、動物より陸上植物に近縁である。
- ⑥ ヒトとイネの分岐時間(2種が共通祖先から分岐した時から現在までの時間)は、ヒトとゼニゴケの分岐時間と等しい。

- A. ①③    B. ①④    C. ①⑤    D. ②③    E. ②④    F. ②⑤
- G. ③⑤    H. ③⑥    I. ④⑤    J. ⑤⑥    K. ①④⑤    L. ③⑤⑥