

# 日本生物学オリンピック2025

理論試験

解答と解説



配点と正解一覧

問題	解答欄	配点	枝問配点	正解
第1問	1	9	2	(5)
	2		3	(5)
	3		4	(2)(4)
第2問	4	9	1	(3)
	5		1	(3)
	6		1	(6)
	7		1	(5)
	8		2	(4)
	9		2	(6)
	10		1	(1)
	11		1	(3)
第3問	12	10	1	(2)
	13		1	(0)
	14			(4)
	15			(0)
	16			(9)
	17			(6)
	18			3
	19		(4)	
	20		(6)	
	21		(9)	
	22		(0)	
	23		3	
	24			(5)
	25			(1)
	26			(8)
	27			(9)
28	3	(2)		
29		(3)		
第4問	30	8	3	(4)(5)
	31		2	(3)
	32		3	(1)(2)(5)
第5問	33	10	1	(1)(8)
	34		1	(2)
	35		1	(3)
	36		1	(2)
	37		1	(4)
	38		1	(5)
	39		1	(6)
	40		1	(0)
	41			(2)
	42			(0)
	43			(0)
	44		1	(2)
	45		1	(4)

問題	解答欄	配点	枝問配点	正解
第6問	46	10	3	(2)(6)
	47		3	(5)
	48		1	(3)
	49		1	(2)
	50		1	(1)
第7問	51	6	1	(4)
	52		3	(1)(4)
第8問	53	9	3	(2)(3)
	54		2	(6)
第9問	55	11	2	(1)(3)(5)
	56		3	(1)
	57		2	(1)(3)(7)
	58		2	(1)
第10問	59	10	2	(1)(2)
	60		2	(3)
	61		2	(3)
	62		3	(2)(3)(6)
	63		2	(7)
	64			(3)
	65		2	(4)
	66			(2)
67	3	(5)		
68		(1)		
第11問	69	8	3	(2)(3)
	70		1	(2)
	71		1	(4)
	72		1	(5)
	73		1	(2)
	74		1	(2)
	75		1	(1)
	76		1	(1)
	77		1	(1)

合計 100点満点

部分点については解答解説を参照すること。  
解答解説中に特に言及がない場合、部分点は無い。

## 第1問 解答と解説

1 の【正解】は(5) (2点)

2 の【正解】は(5) (3点)

3 の【正解】は(2)(4) (4点)

(2)のみ、(4)のみとした場合は2点、不正解を含むときは0点

日本では、例年12月から3月にかけてインフルエンザが流行する。一旦流行が始まると、短期間に小児から高齢者まで膨大な感染者が生じる。インフルエンザの原因となるインフルエンザウイルスは、大きくA型、B型、C型に分類される。このうち、大きな流行の原因となるのはA型とB型で、さらに前者は144種類(2013年に新たに複数の亜型が報告された。問2の解説を参照)、後者は2種類(山形型、ビクトリア型)に分けられる。ヒトの間で流行する亜型はA/H3N2(香港型)とA/H1N1(ソ連型)で、これらのウイルスも毎年のように小さい変異をしているため、B型が同時期に流行する場合、同じシーズンの中でA型インフルエンザに2回罹ったり、A型インフルエンザとB型インフルエンザに罹ったりすることがある。

### 問1

インフルエンザウイルスの感染を診断するために、本問で紹介したような迅速診断キットが用いられている。鼻腔ぬぐい液、鼻腔吸引液、咽頭ぬぐい液および鼻汁鼻かみ液中に、インフルエンザのA型またはB型ウイルスが存在する場合、毛細管現象により、ウイルスの核タンパク質がテストプレートの金コロイド粒子に標識された抗インフルエンザAウイルス抗体または抗インフルエンザBウイルス抗体と結合し、さらに複合体がろ紙の判定部の部分でライン上に各々に固定化された別の抗インフルエンザAウイルス抗体または抗インフルエンザBウイルス抗体に捕捉され、A型またはB型ウイルスがふたつの抗体に挟まれた形の複合体を形成する抗原抗体反応を利用したサンドイッチ法として総称される測定原理で検出される。

発症後12時間未満ではウイルス量が十分ではない場合があり、陰性と診断されてしまう可能性もあるが、検体液を滴下し、目視で判定するだけの簡易キットであり、特別な測定機器を必要とせず、迅速(3~5分)に結果が得られるため汎用されている。

### 問2

これまでA型インフルエンザウイルスのHAが16種類(H1~H16)、NAが9種類(N1~N9)存在するため、これらの組み合わせによってH1N1~H16N9の144種類となっており、非常に多様性に富んでいる。毎年流行するインフルエンザには、亜型H1N1型(HAがH1、NAがN1)、亜型H3N2型(HAがH3、NAがN2)などがあり、それぞれ「Aソ連型」や「A香港型」といわれている。

2013年にPLoS Pathog誌に、コウモリから新たに2つのHA(H17とH18)とNA(N10とN11)の亜型が確認されたことが報告され、A型インフルエンザウイルスは合計198種類になると考えられている。

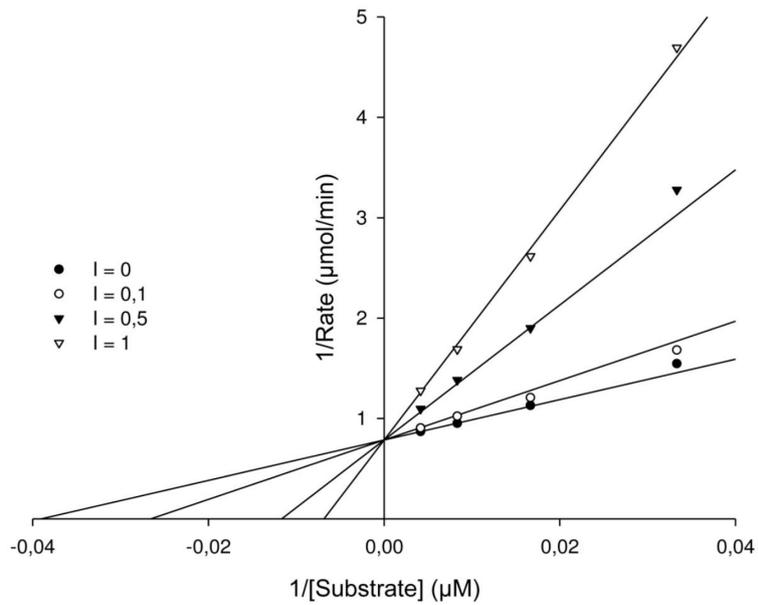
表 1: A 型インフルエンザウイルスの亜型. ■:1918 年 スペインかぜ ■:1957 年 アジアかぜ ■:1968 年 香港かぜ ■: 鳥インフルエンザが人に感染したインフルエンザ ■: 2013 年に報告された亜型から生じうる種類

HA NA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	H1N1	H1N2	H1N3	H1N4	H1N5	H1N6	H1N7	H1N8	H1N9	H1N10	H1N11
2	H2N1	H2N2	H2N3	H2N4	H2N5	H2N6	H2N7	H2N8	H2N9	H2N10	H2N11
3	H3N1	H3N2	H3N3	H3N4	H3N5	H3N6	H3N7	H3N8	H3N9	H3N10	H3N11
4	H4N1	H4N2	H4N3	H4N4	H4N5	H4N6	H4N7	H4N8	H4N9	H4N10	H4N11
5	H5N1	H5N2	H5N3	H5N4	H5N5	H5N6	H5N7	H5N8	H5N9	H5N10	H5N11
6	H6N1	H6N2	H6N3	H6N4	H6N5	H6N6	H6N7	H6N8	H6N9	H6N10	H6N11
7	H7N1	H7N2	H7N3	H7N4	H7N5	H7N6	H7N7	H7N8	H7N9	H7N10	H7N11
8	H8N1	H8N2	H8N3	H8N4	H8N5	H8N6	H8N7	H8N8	H8N9	H8N10	H8N11
9	H9N1	H9N2	H9N3	H9N4	H9N5	H9N6	H9N7	H9N8	H9N9	H9N10	H9N11
10	H10N1	H10N2	H10N3	H10N4	H10N5	H10N6	H10N7	H10N8	H10N9	H10N10	H10N11
11	H11N1	H11N2	H11N3	H11N4	H11N5	H11N6	H11N7	H11N8	H11N9	H11N10	H11N11
12	H12N1	H12N2	H12N3	H12N4	H12N5	H12N6	H12N7	H12N8	H12N9	H12N10	H12N11
13	H13N1	H13N2	H13N3	H13N4	H13N5	H13N6	H13N7	H13N8	H13N9	H13N10	H13N11
14	H14N1	H14N2	H14N3	H14N4	H14N5	H14N6	H14N7	H14N8	H14N9	H14N10	H14N11
15	H15N1	H15N2	H15N3	H15N4	H15N5	H15N6	H15N7	H15N8	H15N9	H15N10	H15N11
16	H16N1	H16N2	H16N3	H16N4	H16N5	H16N6	H16N7	H16N8	H16N9	H16N10	H16N11
17	H17N1	H17N2	H17N3	H17N4	H17N5	H17N6	H17N7	H17N8	H17N9	H17N10	H17N11
18	H18N1	H18N2	H18N3	H18N4	H18N5	H18N6	H18N7	H18N8	H18N9	H18N10	H18N11

問 3

問題文の図 4 から、オセルタミビル非存在下と比較してオセルタミビル存在下では、 $\frac{1}{V_{max}}$  の値は変化せず、 $-\frac{1}{K_m}$  の値が増加している。 $V_{max}$  が変化せず、 $K_m$  が増加していることから、オセルタミビルは NA に対する競合阻害剤であることがわかる。

- (1) 誤り: オセルタミビルは競合阻害剤であるから、基質であるシアル酸とは結合せず、NA の基質結合部位に結合することで酵素反応を阻害する。オセルタミビルは、NA の基質であるシアル酸と化学構造が類似している。
- (2) 正しい: オセルタミビルの濃度を高くすると、図解説 1 のようにラインウィーバー・バーク プロットの傾き ( $-\frac{K_m}{V_{max}}$ ) は大きくなる。
- (3) 誤り: 競合阻害剤であるオセルタミビルの濃度が一定の場合、基質濃度を高くすると、反応速度は大きくなる。
- (4) 正しい: オセルタミビルは、NA の基質結合部位に基質 S と競合して結合するため、NA と基質 S の結合に影響を与え、 $K_m$  は大きくなる。しかし、基質 S が十分に存在すると、オセルタミビルの阻害活性が低下し、最大速度  $V_{max}$  がオセルタミビル非存在時とほぼ同じ値になる。



図解説 1. オセルタミビルの濃度差によるラインウィーバー・バーク プロットの変化。 ●: オセルタミビル 0  $\mu\text{M}$ ; ▽: オセルタミビル 1  $\mu\text{M}$  Walther et al., Int J Med Microbiol. 2015; 305(3): 289-297.

#### 参考

- インフルエンザについて 大正製薬 <https://www.taisho.co.jp/newsletter/20241203001782.html>  
インフルエンザの基礎知識 (厚生労働省)  
<https://www.mhlw.go.jp/bunya/iyakuhin/file/dl/File01.pdf>  
谷口清州. 呼吸臨床. 2018;2(5): e00033.  
キャンベル生物学 pp. 460-471
- 迅速診断キットについて 添付文書 (ドゥーテスト Flu A・B) (ロート製薬) (第2版・2018年11月)
- オセルタミビルについて Walther E. et al., Int J Med Microbiol. 2015;305(3):289-297.

## 第2問 解答と解説

4 の【正解】は(3) (1点)

5 の【正解】は(3) (1点)

6 の【正解】は(6) (1点)

7 の【正解】は(5) (1点)

8 の【正解】は(4)

9 の【正解】は(6)

8、9 両方正解で2点。ただし 8 を(4)、9 を(5)とした場合は1点

10 の【正解】は(1) (1点)

11 の【正解】は(3) (1点)

12 の【正解】は(2) (1点)

高校の教科書では、キイロショウジョウバエの体制づくりの項で、母性効果因子や胚体の前後軸と体節形成について詳しく説明されているので、高校生の選手にはなじみのある話題だと思われる。

### 問1

解答する上で大切なのは、母性効果因子の表現型は母個体の遺伝子型によって決定される点である。つまり、子にB遺伝子の潜在変異の胚発生異常が現れている場合、母個体の遺伝子型は $B^-/B^-$ である。問題では濾胞細胞や哺育細胞などなじみのない細胞名が出てくるが、生殖細胞と配偶子形成から受精までの過程についてよく理解している選手であれば、本文を注意深く読むことで各遺伝子型は容易に分かるだろう。

濾胞細胞：母個体の体細胞である濾胞細胞の遺伝子型は、 $B^-/B^-$ である。

哺育細胞：哺育細胞は、本文の通り卵原細胞から4回の体細胞分裂によって生じた二倍体の細胞であり、 $B^-/B^-$ である。

雌性前核： $B^-/B^-$ の母親から生じた未受精卵内は、減数第一分裂中の紡錘体をもつため、 $B^-/B^-$ の遺伝子型となるが、続いて減数第二分裂まで完了すると遺伝子型 $B^-$ の雌性前核ができる。因みにキイロショウジョウバエの場合、他の3つの極体核は卵から極体として放出されることなく、細胞性胞胚の時期までに受精卵内で分解されてしまう運命にあり、表現型に寄与することはない。

受精卵(子)：母性効果因子は、未受精卵に蓄えられて受精後の早い段階に働くことから、受精後の転写を必要としない。つまり胚の表現型は受精した精子の遺伝子型には左右されない。よって受精卵の遺伝子型は $B^-/B^-$ あるいは $B^+/B^-$ のいずれでも、変異型母性効果因子の表現型が現れる。

### 問2

全身の体細胞で目的の遺伝子を発現するという事は、全身の体細胞の染色体に目的遺伝子が導入されていることを意味する。ここで、一度の顕微注入でいきなり胚の全ての核に遺伝子を導入するのは、遺伝子の導入効率が低いことから非常に難しいと予想される。しかし、もし生殖細胞になる極細胞の核の染色体に遺伝子を組み込むことができれば、配偶子を通して全ての体細胞に遺伝子導入できた個体を、さらに次の世代で得られることに気がついてほしい。ここに気がつけば、多核体から多核性胞胚のしかも極細胞が細胞化する直前の第9分裂に胚後方の表層付近に顕微注入するのが最も効率よい方法であるという解答にたどり着けるだろう。

### 問3

ショウジョウバエでは、前後軸に沿った身体の状態形成には、選択肢にある卵極性遺伝子群、ギャップ遺伝子群、ペアルール遺伝子群、セグメントポラリティ遺伝子群、ホメオティック遺伝子群が順番に働く。高校の教科書にはこれらの遺伝子の発現パターンや働きがある程度説明されているので、その知識と幼虫の表皮の表現型を手がかりに推論する問題である。

BicoidやNanosのように、受精卵内で濃度勾配を形成し、その極性から胚の体軸に沿った領域の特定化促す遺伝子を卵極性遺伝子という。(ア)の変異体は、頭部を欠き、胚の両端に尾部の構造が見て取れることから、前後軸形成に異常を示す表現型であることがわかる。(ア)の模式図はキャンベル生物学や一部の高校生物の教科書にも掲載されているbicoid変異体である。

続いて、胚は前後軸に沿って14の体節を形成する。この体節形成は3段階の分節遺伝子群の働きによる。分節化の第一段階として、母性効果因子の濃度により大まかな領域を決めるギャップ遺伝子群 (*hunchback*, *krüppel*, *giant* など) の発現が起こる。ギャップ遺伝子は、変異体において身体のある領域が数体節にわたる欠失 (ギャップ) をみせることからこの名前がついた。(ウ) 変異体の歯状突起列を見ると、A5~A7を含む領域のみが連続して欠失している。(ウ) はギャップ遺伝子 *giant* の比較的マイルドな変異体の表現型を模式化したものである。

次にギャップ遺伝子によって決められた大まかな領域の細分化に働くのがペアルール遺伝子である。ペアルール遺伝子は前後軸に沿った7つ帯状の発現パターンを示し、その変異体では一体節おきに領域が欠失する表現型を示す。(イ) の変異体を見ると、体幹に含まれる T1~A8 の11の体節が一つおきに欠失している。(イ) は *even-skipped* と呼ばれる変異体である。

更に、第3段階では、胚が細胞性胞胚になるとともに、各体節の区切りを明確に決める役割をするセグメントポラリティー遺伝子群が働く。セグメントポラリティー変異体では、全ての体節に欠失、重複、方向性の反転などの異常が見られる。

最後に各体節でどのような体構造を作るかを特定するホメオティック遺伝子が働いて、頭部から尾部にかけて決まった順序で身体の構造が作られる。

### 第3問 解答と解説

13 の【正解】は0

14 の【正解】は4

15 の【正解】は0

16 の【正解】は9

17 の【正解】は6

13 から 17 すべて正解で1点

18 の【正解】は0

19 の【正解】は4

20 の【正解】は6

21 の【正解】は9

22 の【正解】は0

18 から 22 すべて正解で3点

23 の【正解】は0

24 の【正解】は5

25 の【正解】は1

26 の【正解】は8

27 の【正解】は9

23 から 27 すべて正解で3点

28 の【正解】は2

29 の【正解】は3

28、29 両方正解で3点、部分点なし

#### 問1

G, A, T, C の4塩基からなる DNA 配列上で、ある特定の6塩基配列が生じる確率は  $\frac{1}{4^6} = \frac{1}{4096}$  である。これは言いかえると、4096塩基にひとつの割合で特定の6塩基配列が生じることを意味している。

#### 問2

生じた断片の平均鎖長を求めるには、この作業によって得られたすべての DNA 断片の鎖長の和を取り、その和を生じた断片数で割ってやれば良い。5種類の制限酵素を用いた結果を合わせ、鎖長 LA のサンプル A から延べ  $i$  個の断片が生じた場合、生じた断片の鎖長を  $FA_1, FA_2 \cdots FA_i$  とする\*1。同様に鎖長 LB のサンプル B から延べ  $j$  個の断片が生じた場合は  $FB_1, FB_2 \cdots FB_j$ 、鎖長 LC のサンプル C から延べ  $k$  個の断片が生じた場合は  $FC_1, FC_2 \cdots FC_k$  とする。生じた断片数の総和は  $i + j + k$  である。ここで  $i, j, k$  は生じた断片の数であり、制限酵素切断部位の数ではないことに注意しておく。これらすべての断片の鎖長の和を取り、その和を生じた断片数で割ってやれば、求める値（平均鎖長）が求まる。したがって、

$$\text{平均鎖長} = \frac{(FA_1 + FA_2 + \cdots + FA_i) + (FB_1 + FB_2 + \cdots + FB_j) + (FC_1 + FC_2 + \cdots + FC_k)}{i + j + k}$$

ここで、 $FA_1, FA_2 \cdots FA_i$  は『配列1の鎖長』を『用いた制限酵素の種類(数)』で乗じた値に等しい。今回は5種類の制限酵素を用いているので、 $FA_1 + FA_2 + \cdots + FA_i = 5LA$  となる。同様に、 $FB_1 + FB_2 + \cdots + FB_j = 5LB$ 、 $FC_1 + FC_2 + \cdots + FC_k = 5LC$  である。これを用いると、さきほどの平均鎖長は

$$\begin{aligned} \text{平均鎖長} &= \frac{(FA_1 + FA_2 + \cdots + FA_i) + (FB_1 + FB_2 + \cdots + FB_j) + (FC_1 + FC_2 + \cdots + FC_k)}{i + j + k} \\ &= \frac{5(LA + LB + LC)}{i + j + k} \end{aligned}$$

\*1 用いた制限酵素の種類を問わず、反応によって生じたすべての断片に通し番号を振って数えている。

ここに具体的な数字を当てはめ、計算をしてやれば良い。小数点が生じる計算はここだけであり、小数点以下の計算の過程も指示されているので、答はひとつに定まるはずである\*2。

ただし、用いる DNA 配列が直鎖状であるか環状であるかで、制限酵素消化の結果で得られる DNA 断片の数が変わってくる。直鎖状の場合は制限酵素切断部位が 1 個の場合に生じる断片が 2 個となり、切断部位が n 個の場合は (n+1) 個となる。ただし、直鎖の両端が制限酵素認識配列を持っている保証はなく、本来ならその両端を除いて計算を進めるのが正確である。また、制限酵素切断部位が 1 個の場合、本来ならその断片を計算に組入れることはできない。今回は直鎖の両端がそれぞれ用いた制限酵素切断部位を持つという前提があり、そのような両端を除く操作は不要である。これを踏まえると、今回の DNA が直鎖状の場合は

$$\begin{aligned} \text{平均鎖長} &= \frac{5(LA+LB+LC)}{i+j+k} \\ &= \frac{5(48502+42370+55450)}{45+43+68} \\ &= \frac{731610}{156} \\ &= 4689.807 \end{aligned}$$

よって (い) の答は 4690

### 問 3

もちいた DNA が環状の場合、制限酵素切断部位が 1 個の場合に生じる DNA 断片は 1 個、切断部位が n 個の場合は n 個となる。したがって

$$\begin{aligned} \text{平均鎖長} &= \frac{5(LA+LB+LC)}{i+j+k} \\ &= \frac{5(48502+42370+55450)}{40+38+63} \\ &= \frac{731610}{141} \\ &= 5188.723 \end{aligned}$$

よって (う) の答は 5189

### 問 4

それぞれの制限酵素切断断片の鎖長を見ていくと、サンプル B を BamHI で切断したときに 36 塩基の DNA 断片が繰返し生じていることがわかる。つまり、ここには反復配列が存在しており、なにかの拍子で\*3DNA 配列に重複が生じたことが示唆される。反復配列は生物のゲノムに良くみられるが、これは特定の領域には特定の配列が有意に高い頻度で生じていることを意味しており、用いられる塩基の出現頻度がすべて乱数的かつ均等であるという理論的な前提から逸脱するものである\*4。

理屈の上では、地球上に存在するあらゆる DNA 配列を対象に解析していけば、6 塩基認識配列の制限酵素で完全切断して得られる DNA 断片の平均鎖長はある一定の値に近づいていくことが予想される。しかしここで述べた重複（もしくは、繰返し配列）は地球上の生物が持つゲノムに良く見られる事象であるので、完全に計算機上で乱数的に生成した DNA 配列に対して特定の 6 塩基配列が発生する頻度を求めたほうが、より理論値を反映した結果となることも想像に難くない。もちろん完全に乱数的な配列を生成したとして、その中に繰返し配列は十分に発生しうる。しかし、偶然に（数学の確率論的に）発生した繰返し配列と、生物学的な重複によって生じた繰返し配列では、両者の出現頻度に差が生じてもおかしくない。あらゆる DNA 配列に対して等しく重複が起こる可能性があるといえばそれまでだが、実際にその可能性は証明されていないように思われる。本問においても、配列 B の繰返し配列は生物学的な重複によって生じたと考えるのが自然であろう。

\*2 この計算のみであれば小数点第一位を四捨五入して答が求まるが、出題者が想定しない計算過程を経る人もいるかもしれないので、計算の過程は小数点第 2 位を維持することとした

\*3 DNA の複製や修復、配偶子形成、進化の過程など

\*4 つまり、数学的なことではなく、生物学的なことが起こっている。

## 第4問 解答と解説

30 の【正解】は(4)(5)(3点)

(4)のみ、(5)のみとした場合は1点、不正解を含むときは0点

31 の【正解】は(3)(2点)

32 の【正解】は(1)(2)(5)(3点)

(1)(2)、(1)(5)、(2)(5)のときは2点、(1)のみ、(2)のみ、(5)のみのときは1点、不正解を含むときは0点

陸上植物の主要な群の系統関係のうち、コケ植物(苔類・蘚類・ツノゴケ類)が単系統群であるのか、側系統群であるのかについて議論があった。最新の知見では、コケ植物は単系統群であることが示されている。本問では、Harris et al. (2020)のFigure 1の系統樹を簡略化したものを示してある。

参考文献：Harris et al. (2020) Phylogenomic Evidence for the Monophyly of Bryophytes and the Reductive Evolution of Stomata. *Current Biology* 30(11): 2001-2012.e2. doi: 10.1016/j.cub.2020.03.048

### 問1

- (1) 正しくない。コケ植物には単純な通道組織をもつものがあるが、発達した輸送系である維管束はない。維管束をもつようになったのは、維管束植物(ヒカゲノカズラ植物、シダ植物、裸子植物、被子植物)の共通祖先である。
- (2) 正しくない。コケ植物には、組織を持たない仮根がみられるが、水や無機塩類の吸収・通道の役割を担う根はない。根をもつようになったのは、維管束植物の共通祖先である。
- (3) 正しくない。コケ植物は葉を持たず、葉状体や茎葉体で光合成が行われる。葉脈(維管束)のある葉をもつようになったのは、維管束植物の共通祖先である。
- (4) 正しい。コケ植物のクチクラは、維管束植物のクチクラほど発達しない。
- (5) 正しい。コケ植物苔類では進化の過程で気孔を失っている(上記、参考文献を参照)。

### 問2

生活環において、配偶体(単相;  $n$ )と孢子体(複相;  $2n$ )とが交互に現れる現象を世代交代という。世代交代はシャジクモ藻類には見られず、陸上植物の派生的特徴である。ただし、コケ植物は配偶体が優占する生活環を持つが、維管束植物の生活の主体は孢子体である。維管束植物の共通祖先(系統樹③)において、主体となる世代が入れ替わる進化が生じたと考えられる。

### 問3

- (1) 正しい。孢子で繁殖する植物は、コケ植物、無種子維管束植物(ヒカゲノカズラ植物とシダ植物)であり、側系統群である。
- (2) 正しい。コケ植物と無種子維管束植物は鞭毛を持つ精子で受精をし、裸子植物のうち、イチョウとソテツの仲間が鞭毛を持つ精子で受精する。他の裸子植物では見られないため、「鞭毛を持つ精子で受精する植物」は多系統群である。
- (3) 正しくない。小葉は1本の葉脈だけがある針状の葉で、ヒカゲノカズラ植物の特徴である。シダ植物の葉は高度に分枝した維管束系(網状の葉脈)をもつ大葉である(一部の種では大葉から退化した単純な葉をもつ)。種子植物の葉も大葉であり、系統樹④で大葉が進化したと考えられる。
- (4) 正しくない。花は花被を持った生殖器官、果実は子房が発達した器官である。花被と子房は裸子植物にはなく、被子植物の共通祖先(系統樹⑥)で進化した特徴である。
- (5) 正しい。子葉を2枚もつ植物(双子葉植物)は、基部被子植物と真正双子葉植物で側系統群である。系統樹の単子葉植物の位置を踏まえると、子葉が2枚から1枚になる進化が生じたと考えられる。

下書き用紙  
(切り離さずに用いよ)

## 第5問 解答と解説

33	の【正解】は(1)(8) (すべて正解で1点)
34	の【正解】は(2) (1点)
35	の【正解】は(3) (1点)
36	の【正解】は(2) (1点)
37	の【正解】は(4) (1点)
38	の【正解】は(5) (1点)
39	の【正解】は(6) (1点)
40	の【正解】は(0)
41	の【正解】は(2)
42	の【正解】は(0)
43	の【正解】は(0)
40	から 43 すべて正解で1点
44	の【正解】は(2) (1点)
45	の【正解】は(4) (1点)

### 問1

PCR法に関する基礎的な問題である。問題文に示したDNAの一本鎖(鎖①とする)とその相補鎖(鎖②とする;図示されていない)それぞれについて、結合するプライマー配列を考える。鎖①については、このDNA鎖の3'末端にプライマーが結合するので、鎖①と相補的な塩基を図の右から左(5'→3'方向)に読んだものがプライマー配列となる。同様に考えると、鎖②に結合するプライマーの配列は、鎖①の5'末端から、5'→3'方向に読んだ配列と同じ塩基の並びとなる。

### 問2

DNAは負に帯電しているため、電気泳動ではマイナスからプラス方向に移動していく。寒天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と、5'-TCTAGGCAGA-3'となる。この配列は、知りたい塩基配列の相補鎖であるため、この配列の相補的な塩基配列を3'から5'方向に読んだものが知りたい塩基配列となる。

### 問3

塩基配列間の差異に基づき、この値の小さいもの同士を姉妹群としてまとめていく。たとえば、種1との差異が最も小さい種は種3で、その値は8%である。そこで、種1と姉妹群形成する生物Aは種3であると分かる。これを次々と繰り返すことで、各種の系統的な位置を明らかにすることができる。

### 問4

種1と生物B(種2)の塩基置換率が13%なので、共通祖先からの差異はそれぞれ6.5%である。加えて、生物A(種3)と生物Bの塩基置換率は15%なので、共通祖先とはそれぞれ7.5%の差異がある。種1と生物B、生物Aと生物Bについて、それぞれの共通祖先からの差異の平均値をとると7%となる。つまり、14万年で7%の差異が生じたことになる。

次に種1と生物C(種4)、生物Aと生物C、生物Bと生物Cについて、それぞれ共通祖先からの差異を計算すると、10%、10.5%、9.5%となる。これらの平均値は10%なので、種1と生物Cの分岐年代は20万年前と推定される。

### 問5

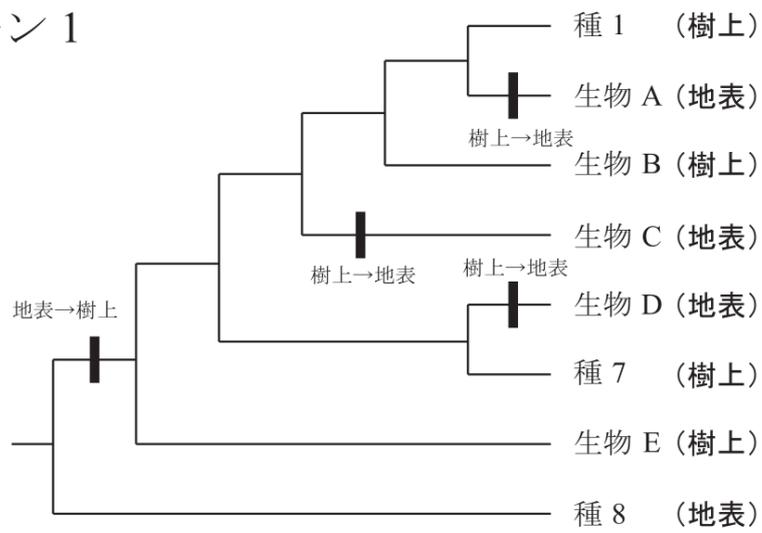
共通の祖先種は地表型であり、そこから最少の変化の回数で現在の生態型に至ったと仮定した場合、現在の生態型に至る筋道には図解説2のように2通りの可能性が考えられる。

パターン1:種1~生物Eの共通祖先で樹上型になり、その後、生物A、生物C、生物Dにおいて独立に樹上型から地表型が進化した。

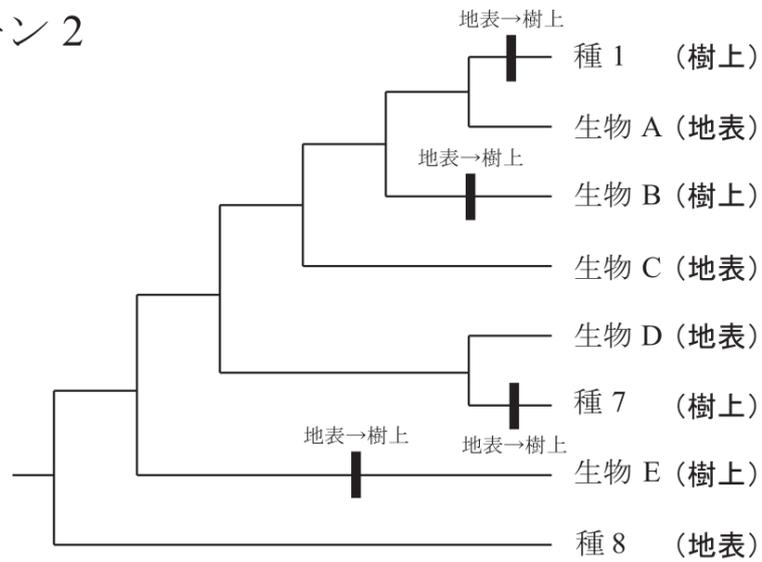
パターン2:種1、生物B、生物E、種7において、独立に樹上型から地表型が進化した。

上記の 2 パターンのいずれにおいても、生態型の変化の回数は 4 回となる。

### パターン 1



### パターン 2



図解説 2. この問題における、現在の生態型に至るまでの筋道の可能性.

## 第6問 解答と解説

46 の【正解】は(2), (6) (3点)

(2)のみ、(6)のみのときは1点、不正解を含むときは0点

47 の【正解】は(5) (3点)

48 の【正解】は(3) (1点)

49 の【正解】は(2) (1点)

50 の【正解】は(1) (1点)

51 の【正解】は(4) (1点)

### 問1

- (1) プラストキノンプールの下流の電子伝達が止まるため、プールは還元的になる。
- (2) 光化学系 II からプラストキノンプールに電子を供給できなくなるため、プールは酸化会的になる。
- (3) プラストキノンプールの下流の電子伝達が止まるため、プールは還元的になる。
- (4) プロトンの濃度勾配は直接的には電子伝達に関わらない。間接的には、その濃度勾配の解消により NPQ が低下するため、光化学系 II はより活発になり、プールは還元的になる可能性がある。
- (5) 光化学系 II によるプラストキノンプールへの電子の供給が起こる一方、光化学系 I によるその電子の利用が起こらないため、プラストキノンプールは還元的になる。
- (6) 光化学系 II からの電子の供給が無い一方、下流の光化学系 I で電子が受容体に渡されるため、プラストキノンプールは酸化会的になる。
- (7) プラストキノンプールの下流の電子伝達が止まるため、プールは還元的になる。
- (8) プラストキノンプールの下流の電子伝達が止まるため、プールは還元的になる。

(解説)

光合成電子伝達の流れは以下の通りである。

光化学系 II → プラストキノンプール → シトクローム  $b_6f$  → プラストシアニン → 光化学系 I → フェレドキシン → フェレドキシン-NADP<sup>+</sup>還元酵素 → NADP<sup>+</sup>

光化学系 II からプラストキノンプールに入る電子伝達速度よりも、プラストキノンプールから下流に出ていく電子伝達速度のほうが速ければ、プラストキノンプールは酸化会的になり、遅ければ還元的になる。つまり、プラストキノンプールが強く酸化した状態になるのは、光化学系 II の働きが相対的に弱い場合なので、(2)の光化学系 II の酸素発生複合体を破壊する条件と、(6)の光化学系 I を選択的に励起する(光化学系 II は励起されない)条件が該当する。反対に、(1), (3), (5), (7), (8)のように、プラストキノンプールの下流での電子伝達が阻害される条件では、プラストキノンプールは還元的になる。

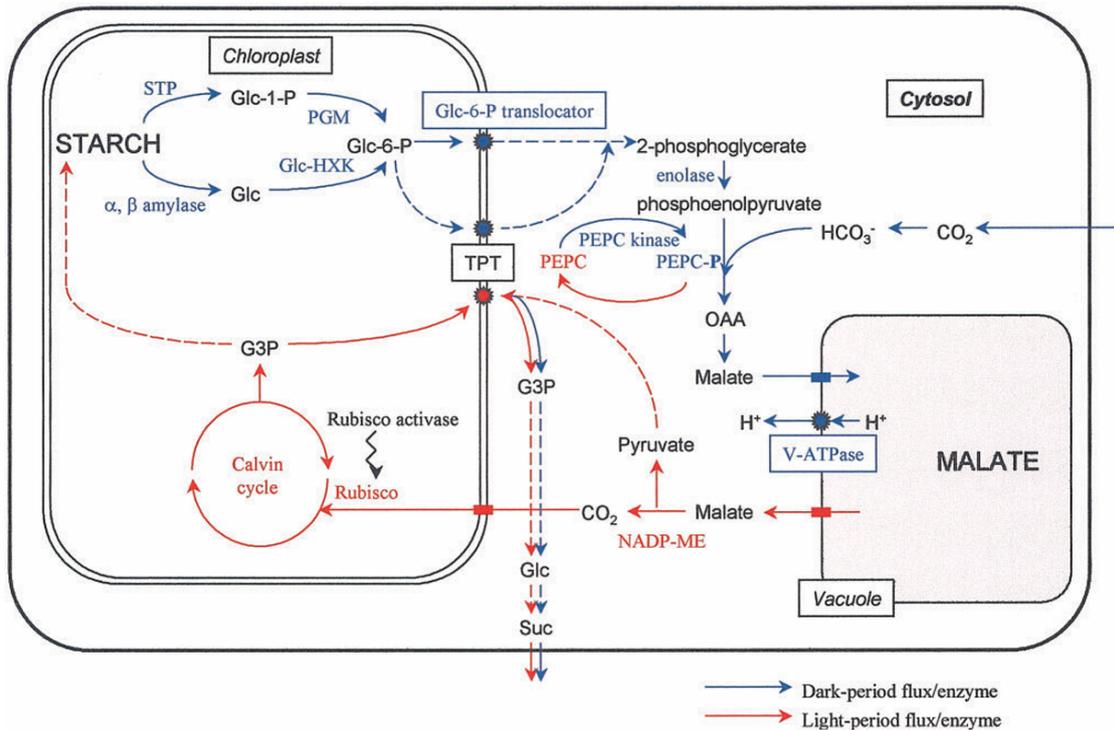
ちなみに、上記の直線的な電子伝達に加え、フェレドキシンからプラストキノンプールに電子が戻る循環的光合成電子伝達経路も存在するが、この場合は文字通り電子が循環するため、プラストキノンプールを一方向的に強く酸化したり還元したりすることは無いと考えられる。

問 2

正答：(5)

- CAM では、夜の間に気孔を開き CO<sub>2</sub> を取り込み、それを用いてリンゴ酸を合成し、液胞にためる。そのため、(ア) は、夜の時間帯に主に行われる。
- 昼には気孔を閉じ、液胞にためておいたリンゴ酸を代謝することで CO<sub>2</sub> を分離し、ルビスコに供給する。そのため、(イ) は、昼の時間帯に主に行われる。
- カルビン回路で合成されたグリセルアルデヒド 3-リン酸は、光合成電子伝達系の稼働により生じた ATP と NADPH を利用して最終的にデンプンに変換されるため、(ウ) は、昼の時間帯に主に行われる。

(参考)



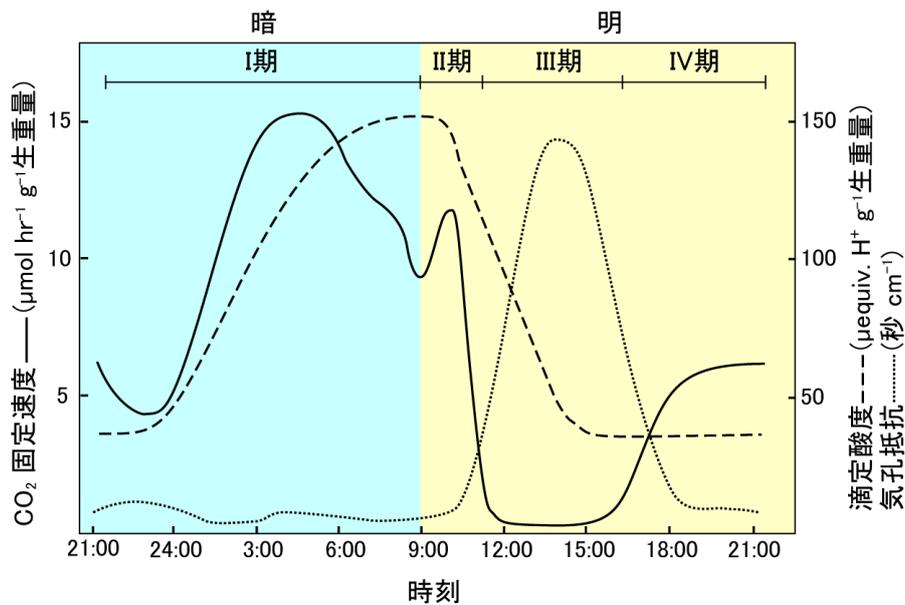
図解説 3. Dodd et al. J. Exp. Bot., 53(369):569-580, 2002. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.369.569> の Fig. 2 より.

### 問 3

正答：フェーズ I :(3), フェーズ II :(2), フェーズ III :(1), フェーズ IV :(4)

- フェーズ I は夜間に起こるフェーズであり、開いた気孔から  $\text{CO}_2$  を取り込み、PEPC の活性を介してリンゴ酸に変換する（追加の解説：PEPC はフェーズ I に入るとリン酸化により徐々に活性化するため、 $\text{CO}_2$  固定速度は深夜に最大となる。一方、PEPC の活性はリンゴ酸により抑制されるため、リンゴ酸の蓄積とともにその活性は低下し、 $\text{CO}_2$  固定速度も夜明け前に下がる）。
- 日の出とともに始まるフェーズ II に入るときには、リンゴ酸は最大限に蓄積している。フェーズ II に入っても気孔はまだ開いており、PEPC もある程度働いている。そのうえ、ルビスコは活性化されるため、その両者の働きにより  $\text{CO}_2$  固定速度が一過的に上昇する。
- 日の出からしばらく経つと気孔が完全に閉じ、大気からの  $\text{CO}_2$  の取り込みが無くなるため、 $\text{CO}_2$  固定速度は急激に低下する。この時期がフェーズ III に相当する。ただし、細胞内ではリンゴ酸の脱炭酸により  $\text{CO}_2$  が生成され、ルビスコがそれを用いることで、カルビン回路が活発に働いている。
- 昼間に盛んにリンゴ酸の脱炭酸を行うため、時間の経過とともに細胞内のリンゴ酸が減少してくる。そうすると気孔が開き、ルビスコは大気中の  $\text{CO}_2$  を反応に利用し始めることにより、 $\text{CO}_2$  固定速度が上昇する。これがフェーズ IV に相当する。

(参考)



図解説 4. CAM 植物の  $\text{CO}_2$  固定速度、滴定酸度と気孔の抵抗（閉鎖度）の日周変化 (Osmoid 1978).  $\text{CO}_2$  固定速度は大気から葉組織への  $\text{CO}_2$  取込み速度を示す. CAM 植物の葉組織抽出液の滴定酸度に寄与する主な有機酸は二価のリンゴ酸なので、リンゴ酸量は滴定酸度の約半分となる.

光合成辞典：ベンケイソウ型有機酸代謝の項目より

<https://photosyn.jp/pwiki/?%E3%83%99%E3%83%B3%E3%82%B1%E3%82%A4%E3%82%BD%E3%82%A6%E5%9E%8B%E6%9C%89%E6%A9%9F%E9%85%B8%E4%BB%A3%E8%AC%9D%28CAM%29>

## 第7問 解答と解説

52 の【正解】は(1)(4)(3点)部分点なし

53 の【正解】は(2)(3)(3点)部分点なし

### 問1

生体膜は膜の中層部が疎水性なので、疎水性の物質は脂質二重層に溶け込んで膜タンパク質の助けなしに容易に透過できるが、親水性物質や極性分子は直接透過することはできない。この基本原理を理解していれば容易に解ける。また、細胞や細胞小器官の機能を理解していれば、そこから解答を導き出せる。

- (1) 透過できる。呼吸に関係する気体で疎水性。これらが生体膜を透過できないと、呼吸に莫大なエネルギーが求められることから推察可能。
- (2) 透過できない。水バランスの維持は細胞の恒常性維持に重要であり、アクアポリンなどのタンパク質を介して透過する。
- (3) 透過できない。膜ポテンシャルを維持することは、膜の機能として重要。
- (4) 透過できる。脂溶性ホルモンが生体膜を透過できることは、高校の教科書にも記載されている。
- (5) 透過できない。イオンを透過してしまうと、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{H}^+$  などの濃度差を維持できない。

### 問2

チラコイド膜は主に4種類の脂質で構成されている。具体的には、ガラクト脂質であるモノガラクトシルジアシルグリセロール(MGDG)とジガラクトシルジアシルグリセロール(DGDG)、酸性糖脂質のスルホキノボシルジアシルグリセロール(SQDG)、リン脂質のホスファチジルジアシルグリセロール(PG)である。このうち、DGDGとSQDGの合成酵素変異株は、光合成生物の種によっては、至適培養条件で野生株とあまり変わらない生育をすることが知られている。それぞれの実験が、糖脂質とリン欠乏応答の関係を調べるのに適しているのかを考える。(2)と(3)は、糖脂質変異株でリン脂質合成酵素遺伝子を発現させているが、リン欠乏条件下では、リン脂質の合成が阻害されることから、この実験を行うことはナンセンスである。よって、(2)と(3)が正答。

## 第8問 解答と解説

54	の【正解】は(6)(2点)
55	の【正解】は(1)(3)(5)(2点)部分点なし
56	の【正解】は(1)(3点)
57	の【正解】は(1)(3)(7)(2点)部分点なし

### 問1

本問題は唾液から胃にかけて行われる消化に登場する化学物質に関する知識を問う問題である。唾液は塩類、細胞、糖タンパク質、水分からなる粘液や、デンプンやグリコーゲンを分解するアミラーゼで構成される。よって、(あ)の答えはアミラーゼとなる。胃液の主成分は塩酸とタンパク質分解酵素であるペプシンである。よって、(い)と(う)の答えはそれぞれ、塩酸、ペプシンとなる。

### 問2

本問題では膵臓、肝臓、胆嚢の役割を理解した上で、胃での消化から小腸での吸収にかけて行われる食物についての知識を問う問題である。

- (1) 正しい
- (2) 胆嚢は肝臓からの消化液が蓄積、濃縮する器官であり、消化酵素の産生には寄与しないため、間違いである。
- (3) 正しい
- (4) カルボキシペプチダーゼはタンパク質分解酵素であり、DNAを分解するのはヌクレアーゼであるため間違いである。
- (5) 正しい

### 問3

本問題は、糖尿病研究における思考力を問うものである。マウスIはインスリンが分泌できないが、標的細胞は応答することができる状態である。よって、健常マウスIIIと血液を共有することでマウスIIIからのインスリンの供給を受けることによって、血糖値が改善する。一方、マウスIIではインスリン分泌はできるものの、標的細胞が応答しないため、健常マウスIIIから血液成分を受け取ったとしても効果がない/少ない。よって、改善されるのはマウスIのみであり、(1)が正解となる。

### 問4

本問題は血糖値に関連するホルモンの機能に関する知識と、グラフの読み取り能力を問うものである。血糖値を低下させるホルモンは、膵臓のβ細胞から分泌されるインスリンのみであり、選択肢(4)は誤りとなる。問3の記述にあるように、インスリンが分泌されなくなることで糖尿病が発症するのが1型糖尿病であり、標的細胞のインスリン応答不全(インスリン抵抗性)により発症するのが2型糖尿病である。インスリンの上昇が認められないグラフaは1型糖尿病を示しており、インスリンは分泌されるものの血糖値が下がらないグラフbは2型糖尿病を示していると判断できる。よって、選択肢(1)が正解であり、(2)は不正解となる。また、血糖値を上昇させるホルモンであるグルカゴンに関する記述は、グラフからは読み取れないため、選択肢(5)、(6)、(8)は不正解となる。

## 第9問 解答と解説

58 の【正解】は(1) (2点)

59 の【正解】は(1)(2) (2点)

(1)のみ、(2)のみとした場合は1点、不正解を含むときは0点

60 の【正解】は(3) (2点)

61 の【正解】は(3) (2点)

62 の【正解】は(2)(3)(6) (3点)

(2)(3)、(2)(6)、(3)(6)のときは2点、(2)のみ、(3)のみ、(6)のみのときは1点、不正解を含むときは0点

本問は動物が絶食状態におかれたとき、体内のどのような物質を動員してエネルギーを得るか、データから読み解く問題である。

動物が絶食状態におかれたとき、一般的には肝臓や筋肉のグリコーゲンを消費することでエネルギーを得る。

これらが枯渇すると、脂肪組織中の脂肪を分解(β酸化)によってアセチル CoA を得、クエン酸回路の中間産物からホスホエノールピルビン酸を合成し、最終的に解糖系の逆反応によりグルコースを得る。

さらに脂質が枯渇すると、筋肉を分解し、アミノ酸代謝を行うことでエネルギーを得るようになる。

### 問1

絶食3週間後では、肝臓グリコーゲンのみが対照群と比較して顕著に減少しているため、肝グリコーゲンを利用した糖代謝を行っていると考えられる。したがって正解は(1)

### 問2

絶食3ヶ月後では、肝臓グリコーゲン、筋グリコーゲンが対照群と比較して顕著に減少しているため、これらを利用した糖代謝を行っていると考えられる。したがって正解は(1)と(2)

### 問3

絶食7ヶ月後では、肝臓グリコーゲン、筋グリコーゲンともに基底レベル(10%程度)まで減少しているため、体内のグリコーゲンは使い尽くしたと考えられる。脂肪組織重量が減少していることから、脂質代謝に切り替わっていると考えられる。したがって正解は(3)

### 問4

血中グルコースが7ヶ月で3ヶ月より上昇しているのは問3とあわせて考えると脂質を代謝して糖新生を行うことでグルコースが増加したものと考えられる。したがって正解は(3)

### 問5

問4の通り脂質を代謝して糖新生を行っているとする、脂質の代謝プロセス(β酸化)、および得られたアセチル CoA をもとに起こる糖新生プロセスが上昇していると考えられる。そのため正解は、β酸化に関わる酵素である②、β酸化によって生成されるケトン体③、糖新生の律速酵素として働く PEPCK である⑥を調べると良いものと考えられる。

## 第10問 解答と解説

63 の【正解】は(7)

64 の【正解】は(3)

63、64 両方正解で2点

65 の【正解】は(4)

66 の【正解】は(2)

65、66 両方正解で2点

67 の【正解】は(5)

68 の【正解】は(1)

67、68 両方正解で3点

69 の【正解】は(2)(3) (3点)

(2)のみ、(3)のみのときは1点、不正解を含むときは0点

自家不和合性で虫媒花であるソバの送粉結実を題材とした。袋掛け実験により、異なるタイプの昆虫の結実貢献を推定した実験である。結果の数値は仮想的なものであるが、実際の結実率に近い値に調整している。

### 問1

- (1) 昼行性昆虫の貢献は、無処理区と昼間に細メッシュの袋掛けをした実験区の結実の差であり、(無処理区 - 昼 0.5mm)となる。同様に、夜行性昆虫の貢献は(無処理区 - 夜 0.5mm)となる。すなわち、昼と夜の昆虫の貢献は  $30 - 7.5 = 22.5$  と  $30 - 22.5 = 7.5$  となる。
- (2) 大型昆虫の貢献は、無処理区と粗メッシュ (5mm の袋掛け) の差である。したがって、昼行性の大型昆虫の貢献は(無処理区 - 昼 5mm)、すなわち  $30 - 21 = 9$  となる。同様に、夜行性の大型昆虫の貢献は(無処理区 - 夜 5mm)、つまり  $30 - 24 = 6$  となる。
- (3) 小型昆虫は、粗メッシュは通過できるが細メッシュは通過できないので、小型昆虫の貢献は両者の結実率の差となる。したがって、昼行性と夜行性の小型昆虫の貢献は、それぞれ(昼 5mm - 昼 0.5mm)と(夜 5mm - 夜 0.5mm)、すなわち  $21 - 7.5 = 13.5$  および  $24 - 22.5 = 1.5$  となる。

### 問2

ソバは株ごとに花柱のタイプが決まっているので、同じ株に繰り返し訪花することは受精率を高めることにはならない。また、気象変動に敏感に応答する種では、天候により訪花が大きく左右されるので、安定したソバの種子生産にはつながらない。したがって、(2)と(3)は収量を高めるうえで効果的な性質とは言えない。他の性質については、送粉にとって効果的である(少なくとも効果的でないとは言えない)。

## 第11問 解答と解説

70	の【正解】は(2) (1点)
71	の【正解】は(4) (1点)
72	の【正解】は(5) (1点)
73	の【正解】は(2) (1点)
74	の【正解】は(2) (1点)
75	の【正解】は(1) (1点)
76	の【正解】は(1) (1点)
77	の【正解】は(1) (1点)

この設問では、行動生態学において知られる「群れサイズのパラドックス」をテーマとした (Sibly 1983; Clark & Mangel 1986)。動物の集団採餌に伴って生じる「最適群れサイズ」と「実現群れサイズ」の違いについて、仮想的な例に基づいて受験者に考えてもらうことを主眼としている。群れで採餌することは、探索効率における相乗効果や外敵からの攻撃の希釈効果など、群れ特有の適応的利益があることが知られている。その一方で、個体の行動の適応進化を考える上では、群れ全体で実現される採餌の総量ではなく、個体あたりの採餌量を考える必要があり、群れサイズは、個体あたりの採餌量、すなわち個体適応度を最大化する行動の結果として形成される。受験者はリード文での説明から、この点に気づくことが求められる。

問1・2は、問題文で述べられた鳥の行動シーケンスと、問題文の表5の情報から、個体にとって最適な行動を考える問題である。(あ)は、群れサイズが1(すなわち単独)のときの個体あたりの獲得エネルギー量は2 kJ/日であることが問題文の表5から読み取れる。(い)は、個体間に性質の差がない状況で、群れサイズが2のときの個体あたりの獲得エネルギーとして、

$$\frac{\text{群れエネルギー総量}}{\text{群れサイズ}} = \frac{8}{2} = 4\text{kJ/日/個体}$$

であることが、問題文の表5の情報から計算できる。両者を適応度として比較することで、(A)の解答は(2) 餌場にいる個体に合流して採餌する であることがわかる。同様の計算を行うと、群れサイズが3、4、5、6、7のときの個体あたりの獲得エネルギーはそれぞれ、5、4、2.4、約1.67、約1.14となる(単位はすべてkJ/日/個体)。これらと、単独時の獲得エネルギー2 kJ/日/個体 とを比較すると、先に存在する群れサイズが4のときまでは、新参の個体は餌場にいる個体に合流して採餌する方が、個体あたり獲得エネルギーが大きいことが分かる。一方で、先住群れサイズが5になると、6番目の個体は単独で採餌する方が獲得エネルギーが大きいため、群れには加わらなくなると考えられる。最終的に、その日の餌場には、実現群れサイズ=5の群れが形成されることになる。したがって、(B)の解答は(2) 餌場にいる個体に合流して採餌する、(C)の解答は(1) 単独で採餌する、(う)の解答は(5) 5となる。

問3は、上記の考察ができていれば容易に答えられる問題である。問題文の表5から、群れ全体として最大の採餌効率を示す群れサイズは4、個体として最大の採餌効率を得られる群れサイズは3であることから、(D)の解答は(1) 大きいである。また、実現群れサイズは上記の通り5であるから、(E)の解答は(1) 大きいである。その場その場での個体の適応的行動が連鎖する結果として、個体にとっての最適群れサイズよりも実現群れサイズが大きくなってしまい、実現された群れの中での採餌効率は、単独採餌効率とほとんど変わらなくなってしまうという点が、群れの効率性という観点からは意外に思われることが、この問題がパラドックスと呼ばれるゆえんである。実際には、ここで仮定されたような個体特性や群れ形成過程が成り立つかどうかを、生物種に即して吟味する必要があることは言うまでもない。

### References

- (1) Sibly RM (1983) Optimal group size is unstable. *Animal Behaviour* **31**, 947-948.
- (2) Clark CW, Mangel M (1986) The evolutionary advantages of group foraging. *Theoretical Population Biology* **30**, 45-75.