

# 理 科

〈監督者の指示があるまで開いてはいけない〉

1. 出願時に選択した2科目について、解答を別紙の解答用紙に記入しなさい。
2. 選択していない科目の解答用紙は問題配布後に回収します。
3. 試験開始後、まず解答用紙に自分の受験番号と氏名を正しく記入しなさい。
4. 試験開始後、速やかに問題冊子に落丁や乱丁がないか確認しなさい。  
落丁や乱丁があった場合は、手を挙げなさい。
5. 下書きや計算は問題冊子の余白を利用しなさい。
6. 記入中でない解答用紙は必ず裏返しにしておきなさい。
7. 問題冊子は試験終了後、持ち帰ってもよい。  
ただし、試験途中では持ち出してはいけない。

## 問 題 目 次

物 理	1 ~ 6	ページ
化 学	7 ~ 15	ページ
生 物	16 ~ 29	ページ

## 理科 訂正

### 物理

P5 3. の 6 行目

「人の目の構造」→「ヒトの眼の構造」, 「目はほぼ球形」→「眼はほぼ球形」

### 化学

4

P15 β. 問 3 の化学式を訂正します。

誤:  $R^1\text{-Ser-Tyr-Gly-R}^2$

正:  $R^1\text{-}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C-Ser-Tyr-Gly-}\overset{\text{H}}{\underset{|}{\text{N}}}\text{-R}^2$

### 生物

P19 2. 問 2, P20 2. 問 7

「常用対数  $\log_2 \approx 0.3$  とする」→「常用対数  $\log_2 = 0.3$  を用いること」

P20 2. II 1 行目

「ヒトは体内でヒスチジンを合成できない」→「ヒトは体内でヒスチジンを十分合成できない」

P24 3. 問 6

「遺伝子頻度が  $X, Y, Z = 7:1:2$ 」→「遺伝子頻度が  $X:Y:Z = 7:1:2$ 」

P28 4. 問 6 の 2)

「垂直に建てられた巣板」→「垂直に立てられた巣板」

受験番号	氏名(漢字)
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px;"></div> </div>	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 30px;"></div>

数字は右づめで明瞭に書き空欄には0を記入する 例：0477 悪い例：6477

## 生物解答用紙

※枠内に記入しないこと

3

1	問1		問2	ア	イ	ウ	エ
	問3		問4				
	問5	I			II		III
	問6		問7	(1)	(2)	(3)	

2	問1		問2	問3	基質	生成物
	問4					
	問5					
	問6	A	B	C	問7	

3	問1	ア	イ	ウ	問2	I	II
	問3	I	II			問4	
	問5					問6	

4	問1	ア	イ	ウ	エ	オ	
		カ	キ	ク	ケ	問2	
	問3			問4	問5	I	II
	問6	1)	2)	問7			

## 生 物

### 1. 窒素および炭素の同化と循環に関する各問いに答えよ。

細胞の構造と機能に重要な役割をもつ有機物は、核酸、タンパク質、脂質、炭水化物の4種類に分類される。これらを構成する主要な元素は、炭素、水素、酸素の3種類に加えて、核酸とタンパク質を構成する窒素、核酸と一部の脂質に含まれる **ア**、および、インスリンや免疫グロブリンを含む多くのタンパク質に含まれる **イ** の計6種類である。このような有機物中の元素の中には、空気中の成分に由来するものもある。例えば、大気由来のCO<sub>2</sub>は特定の原核生物①や植物の細胞に取り込まれ、取り込んだ細胞または取り込んだ細胞とは別の種類の細胞での炭酸同化②に利用されて有機物につくりかえられる。その有機物は代謝され、一部は動物の食物にもなるが、最終的には **ウ** の基質となってCO<sub>2</sub>に戻る。一方、N<sub>2</sub>の窒素原子の場合は、細菌③などによってアンモニウムイオン(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)に固定されない限り、窒素同化④に利用することができない。合成された有機窒素化合物は様々な物質に代謝され、他の生物もそれらを摂取して利用する。不要となった有機窒素化合物の分解産物はNH<sub>4</sub><sup>+</sup>であるため、再び窒素同化の材料となるが、一部は **エ** 細菌の働きでN<sub>2</sub>に戻る。

問 1. 次の a～h の物質の中で窒素を含むものをすべて選び、記号で答えよ。

- a. ATP
- b. NAD<sup>+</sup>
- c. スクロース
- d. ピルビン酸
- e. バソプレシン
- f. アクアポリン
- g. オキサロ酢酸
- h. コレステロール

問 2. ア～エの  に入る適切な語句を答えよ。

問 3. 下線部①の生物に関する次の文章のうち正しいものをすべて選び、記号で答えよ。

- a. 紅色硫黄細菌は硫化水素の酸化で得られるエネルギーを使って炭酸同化を行う。
- b. 緑色硫黄細菌が光エネルギーを使って炭酸同化を行うと硫黄が生成される。
- c. シアノバクテリアはバクテリオクロフィルで捕集した光エネルギーで炭酸同化を行う。
- d. 超好熱菌は熱エネルギーを使って炭酸同化を行う。
- e. 亜硝酸菌の炭酸同化ではエネルギー源としてアンモニウムイオンを利用する。

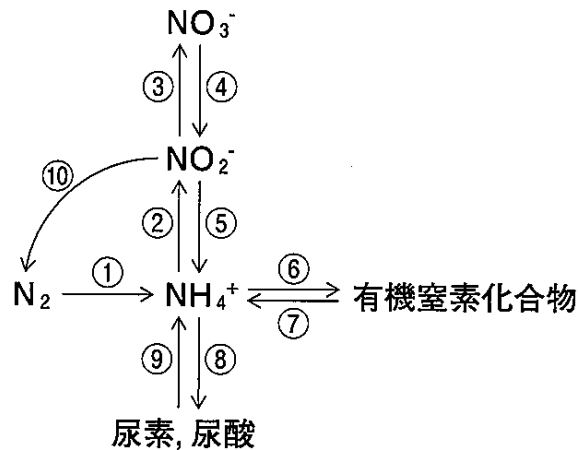
問 4. 下線部②の細胞は、他の細胞が有機化合物の中に固定した  $\text{CO}_2$  を再び取り出して炭酸同化を行う。炭酸同化の際にこのような細胞と細胞の間での分業を行う生物の名称と分業の利点について 50 文字以内で答えよ。

問 5. 下線部③の窒素固定の能力をもつ細菌の中で嫌気性細菌に属する生物の名称を解答欄 I に答えよ。また、現在の地球上で生物以外の要因で何が  $\text{N}_2$  を  $\text{NH}_4^+$  や  $\text{NO}_3^-$  に変換させているか、解答欄 II と III に 1 つずつ答えよ。

問 6. 下線部④の窒素同化で最初に合成される有機窒素化合物の名称を答えよ。

問 7. 下図は様々な生物が関与する「窒素の固定と同化および窒素化合物の異化の過程での代謝物質の関係」をまとめて表現したものである。ただし、 $\text{NH}_4^+$  は気体の  $\text{NH}_3$  になることもある。以下の問いに答えよ。

- (1) ①～⑤の反応で化学エネルギーを得られる反応をすべて選び、番号で答えよ。
- (2) ①～⑦の反応で植物の細胞がもつ酵素によって触媒される反応をすべて選び、番号で答えよ。
- (3) ①～⑩の反応で動物の細胞がもつ酵素によって触媒される反応をすべて選び、番号で答えよ。



2. 大腸菌の増殖に関する各問いに答えよ。

I. 分子生物学の発展に寄与し、今日も有用な実験生物である大腸菌は、約 460 万塩基対からなるゲノムに約 4400 種類の遺伝子をもつ原核生物である。大腸菌には様々な種類があり、食中毒を引き起こす O-157 のようなものも存在するが、実験用の種類は野生型であれば病原性をもたない。大腸菌は増殖速度が速く、最適な培養条件下では約 20 分に 1 回分裂する。ヒトの体細胞の分裂には通常 24 時間以上を要するが、最適な環境下の大腸菌は 10 時間で約 ア 倍の個数に増殖する能力をもつ。

大腸菌が増殖するには、エネルギー源となる糖が必要である。増殖に対するグルコースおよびラクトースの影響を調べるため、野生型の大腸菌 ( $2 \times 10^5$  個/mL) を用いて以下の実験 1~3 を行った。ただし、エネルギー源以外の栄養素は同じである。すべての実験において、培養開始から経時的に少量の培養液を採取し、菌数と  $\beta$ -ガラクトシダーゼ活性を測定し、培養液 1 mL あたりの各定量値をグラフ化した。大腸菌の  $\beta$ -ガラクトシダーゼ活性は、同酵素の遺伝子の発現量を反映して変動する。

実験 1. 2 g/L グルコースを含む培養液で培養を開始し、300 分後に再び同じ濃度に相当するグルコースを追加して 340 分まで培養した(図 1)。

実験 2. 2 g/L ラクトースを含む培養液で培養を開始し、300 分後に再び同じ濃度に相当するラクトースを追加して 340 分まで培養した(図 2)。

実験 3. 1 g/L グルコースと 1 g/L ラクトースを含む培養液で培養を開始し、300 分まで培養した(図 3)。

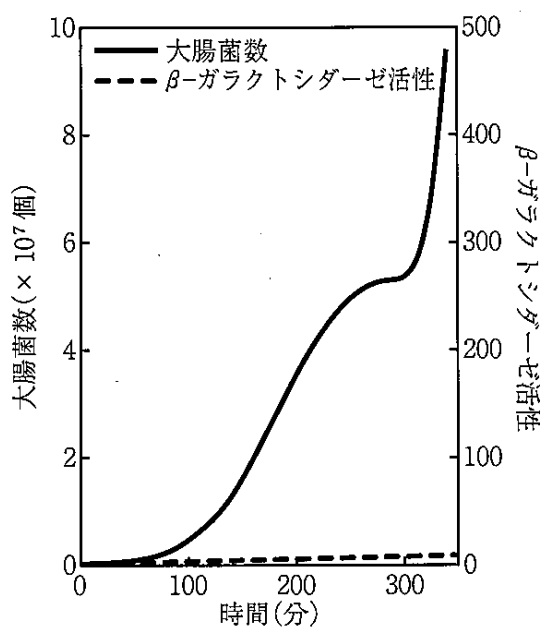


図 1

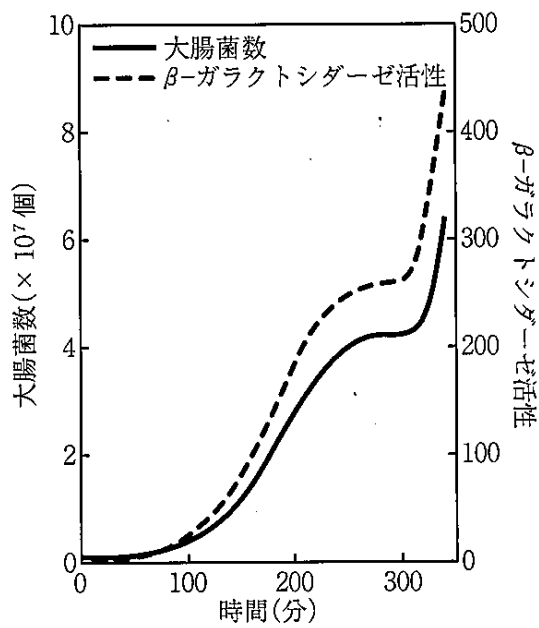


図 2

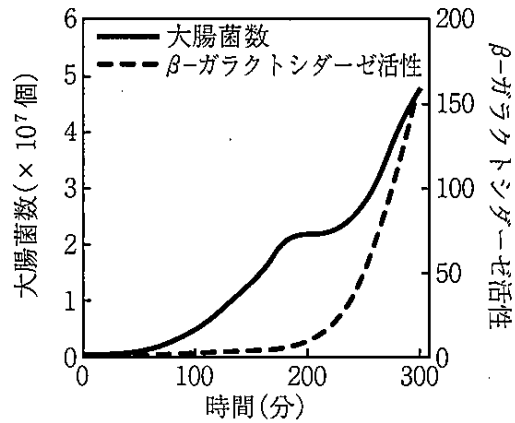


図 3

問 1. 大腸菌にもっとも近縁の生物種を選び、記号で答えよ。

- a. 酵母
- b. アオサ
- c. ケイソウ
- d. ネンジュモ
- e. メタン生成菌

問 2. アの  にもっとも適切な数値を選び、記号で答えよ。ただし、常用対数  $\log 2 \approx 0.3$  とする。

- a.  $1 \times 10^6$
- b.  $1 \times 10^7$
- c.  $1 \times 10^8$
- d.  $1 \times 10^9$
- e.  $1 \times 10^{10}$

問 3.  $\beta$ -ガラクトシダーゼの基質と生成物を答えよ。

問 4. 実験 1 と実験 2 の結果において、大腸菌の増加速度が培養開始後、250～300 分にかけて低下した理由を答えよ。

問 5. 実験 1 と実験 2 の結果において、 $\beta$ -ガラクトシダーゼ活性の推移の違いをもたらす「ラクトースオペロンのリプレッサー」の機能を 75 文字以内で述べよ。

問 6. 実験 3 の結果から推定される糖の利用の仕方を次の文で表した。A～C の  に適切な語句を答えよ。

大腸菌は、代謝の際に余分なエネルギーを  A  する  B  よりも  C  を優先して利用する。

II. ヒスチジンはタンパク合成などに必要となる重要なアミノ酸である。ヒトは体内でヒスチジンを合成できないため、食物から摂取しなければならないが、大腸菌は核酸の代謝物を原料とする反応経路で合成することができる。そのため、野生型の大腸菌の培養にはヒスチジンを添加しないヒスチジン不含培地を用いる。大腸菌 *His* 株はヒスチジン合成系の遺伝子(*His* 遺伝子)の開始コドン内の1塩基の置換によってヒスチジン合成能を欠くため、ヒスチジン不含培地では生存できない。しかし、ヒスチジンを添加したヒスチジン含有培地を使えば *His* 株は生存可能であり、その増殖速度は野生型と変わらない。この大腸菌株を用いて次の実験を行った。

実験方法：大腸菌 *His* 株(個体数  $2 \times 10^2$ ) をヒスチジン含有液体培地に入れ、適切な条件下で10時間培養後、回収した。十分な枚数のヒスチジン不含寒天培地プレートを用意し、増殖した大腸菌を均一にすべて塗布した。その後、37℃の恒温器で24時間培養した。

実験結果：大半のプレートに塗布した大腸菌は死滅したが、一部のプレートに大腸菌コロニーが出現した。

問 7. 下線部の増殖した大腸菌は、突然変異によって *His* 遺伝子の塩基配列が野生型に復帰した個体である。大腸菌では各細胞世代あたり  $10^{10}$  塩基対に約3塩基の頻度で置換型の変異が起こるとされる。この突然変異によって大腸菌ゲノムを構成するどの塩基も同じ確率で他の塩基に置換されると仮定し、下線部のコロニー数を整数で答えよ。ただし、常用対数  $\log 2 \approx 0.3$  とする。



3. マウスの体色(体毛の色)に関する実験1～4を行った。各問いに答えよ。

実験1：オスのマウス太郎とメスのマウス花子とはともに全身が黒い体色の表現型をもつ。両マウスを親世代(P)として交配し、第1世代(F<sub>1</sub>)を得た。F<sub>1</sub>マウスの体色は、親と同じく全身が黒いものと、体の先端部(口鼻周囲, 耳, 四肢先端)が黒く他の部分が白いものの2種類に分かれた。前者をB(Black)型, 後者をAB(Apical Black)型とよぶ。太郎と花子の交配を4回行い, 計31匹のF<sub>1</sub>マウスを得た(図1)。

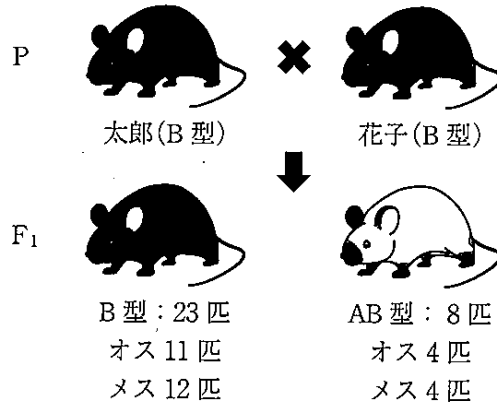


図1. F<sub>1</sub>マウスの表現型とその出現数

実験2：次にF<sub>1</sub>マウスのAB型どうしを交配させて第2世代(F<sub>2</sub>)を得た。F<sub>2</sub>マウスにはAB型に混じって全身が白いマウスが出現した。この表現型をW(White)型とよぶ。この交配を4回行い, 計33匹のF<sub>2</sub>マウスを得た(図2)。

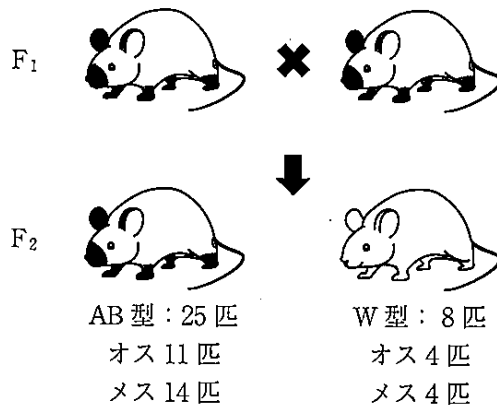


図2. F<sub>2</sub>マウスの表現型とその出現数

実験3：黒い毛の色素であるメラニン<sup>①</sup>は、アミノ酸のチロシンを原料とした段階的な代謝反応で合成される(図3)。AB型やW型の表現型は、メラニン合成の異常で生じた可能性があるため、メラニン合成の主要な反応(図3①, ②)を触媒するチロシナーゼに注目した。マウスのチロシナ

チロシナーゼ遺伝子は5つのエクソンで構成され、その発現によって533個のアミノ酸からなるタンパク質を合成する。太郎および花子から採取したゲノムDNAの塩基配列を解析したところ、チロシナーゼ遺伝子のエクソン4の領域に野生型の配列は同定されず、異なる1塩基が置換した3種類の対立遺伝子の配列が同定された(図4のX, Y, Z)。他のエクソンについては野生型の塩基配列と完全に一致した。解読に必要な遺伝暗号表とアミノ酸の略号を表1に示す。

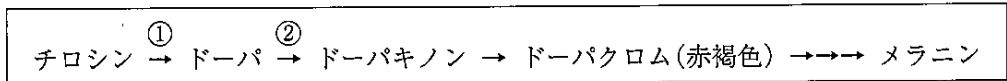


図3. メラニンの合成経路(チロシナーゼは反応①, ②を触媒する)

<b>野生型</b>		イ	T ATT TTT GAA CAA TGG CTG CGA AGG CAC CGC CCT CTT	
<b>アミノ酸配列</b>		ン	I F E Q W L R R H R P L	407
X		ト	T ATT TTT GAA CAA TGG CTG <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">AGA</span> AGG CAC CGC CCT CTT	
Y		ロ	T ATT TTT GAA CAA TGG CTG CGA AGG CAC CGC CCT CTT	
Z		ン	T ATT TTT GAA CAA TGG CTG CGA AGG CAC CGC CCT CTT	
<b>野生型</b>			TTG GAA GTT TAC CCA GAA GCC AAT GCA CCT ATC GGC CAT AAC	
<b>アミノ酸配列</b>			L E V Y P E A N A P I G H N	421
X			TTG GAA GTT TAC CCA GAA GCC AAT GCA CCT ATC GGC CAT AAC	
Y			TTG GAA GTT TAC CCA GAA GCC AAT GCA CCT ATC GGC <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">CGT</span> AAC	
Z			<span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">TAG</span> GAA GTT TAC CCA GAA GCC AAT GCA CCT ATC GGC CAT AAC	
<b>野生型</b>			AGA GAC TCT TAC ATG GTT CCT TTC ATA CCG CTC TAT AGA AAT	
<b>アミノ酸配列</b>			R D S Y M V P F I P L Y R N	435
X			AGA GAC TCT TAC ATG GTT CCT TTC ATA CCG CTC TAT AGA AAT	
Y			AGA GAC TCT TAC ATG GTT CCT TTC ATA CCG CTC TAT AGA AAT	
Z			AGA GAC TCT TAC ATG GTT CCT TTC ATA CCG CTC TAT AGA AAT	
<b>野生型</b>			GGT GAT TTC TTC ATA ACA TCC AAG GAT CTG GGA TAT GAC TAC	
<b>アミノ酸配列</b>			G D F F I T S K D L G Y D Y	449
X			GGT GAT TTC TTC ATA ACA TCC AAG GAT CTG GGA TAT GAC TAC	
Y			GGT GAT TTC TTC ATA ACA TCC AAG GAT CTG GGA TAT GAC TAC	
Z			GGT GAT TTC TTC ATA ACA TCC AAG GAT CTG GGA TAT GAC TAC	
<b>野生型</b>			AGC TAC CTC CAA GAG TCA G	
<b>アミノ酸配列</b>			S Y L Q E S	
X			AGC TAC CTC CAA GAG TCA G	
Y			AGC TAC CTC CAA GAG TCA G	
Z			AGC TAC CTC CAA GAG TCA G	

図4. チロシナーゼ遺伝子のエクソン4領域。野生型および実験3で同定された3種類の対立遺伝子(X, Y, Z)の塩基配列と、同領域の野生型の塩基配列が指定するアミノ酸配列(   は野生型の塩基と異なっている部位。右側の数字は各列右端のアミノ酸がN末端から数えて何番目であることを示している)

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		UCA		UAA	(終止)	UGA	(終止)
UUG		UCG		UAG		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	リジン 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	

表1 遺伝暗号表(アミノ酸の名称と略号を併記)

実験4：実験3で同定された塩基配列がチロシナーゼの酵素活性にどのような影響を与えるか調べるため、野生型およびX, Y, Z対立遺伝子の配列をもつチロシナーゼ発現用DNAを組み込んだベクターを作成した。この4種類のベクターをチロシナーゼをもたない大腸菌に導入し、合成された各チロシナーゼタンパク質を抽出した。この各抽出液に基質のチロシンを加え、一定の時間と温度の条件下で反応後、生成された赤褐色のドーパクロムの量を測定した(図3のドーパキノンからドーパクロムの反応は速やかに自発的に進行する)。この測定値を抽出液中のチロシナーゼタンパク質の量で補正し、各チロシナーゼ1mgが1分間に生成するドーパクロムの量を活性として算出した。また、この測定を31, 33, 35, 37, 39℃の温度条件で実施し、各温度下での活性を求めた。その結果、X, Y, Z対立遺伝子の配列をもつDNAに由来するチロシナーゼのうちひとつは、タンパク質の分子量が小さく、量も極少量しか産生されず、酵素活性はいずれの温度においても測定感度以下であった。野生型と残る2つの配列に由来するチロシナーゼ活性の結果を図5に示す。

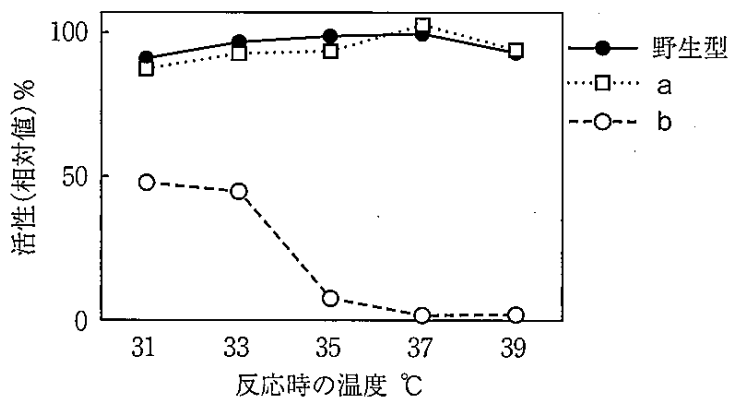


図5. 野生型および変異を有する塩基配列由来のチロシナーゼ活性 (野生型配列由来チロシナーゼの37℃下での活性を100%とする)

以上の結果とその後の確認実験により、交配実験で観察された事象は、X、Y、Zの対立遺伝子によって説明できることが判明した。

問 1. 次の文章のア～ウの  に入る適切な数値を答えよ。

2つの遺伝子座の対立遺伝子として、Aとa、Bとbがあり、Aはaに対して、Bはbに対して優性であるとする。両親の遺伝子型がともにAaBbのとき、子に遺伝子型aaまたはbbが出現する確率は、各々  ア  である。親世代でAとB、aとbが連鎖している時、子に2つの劣性遺伝形質が同時に現れるaabbとなる確率は  イ  より大きく  ウ  以下である。

問 2. 実験4の下線部のタンパク質はX、Y、Zのどれに由来するかを解答欄Iに、その理由を解答欄IIに答えよ。

問 3. 図5のbはX、Y、Zのどれに由来するデータであるかを解答欄Iに、その理由を解答欄IIに答えよ。

問 4. AB型の体色(図1, 2)はどのようにして形成されるのか、チロシナーゼの性質にもとづいて考察せよ。

問 5. 図1の親世代(P)の遺伝子型の組合せをX、Y、Zで表現して答えよ。

問 6. 遺伝子頻度がX、Y、Z = 7 : 1 : 2で遺伝子平衡にあるマウス集団における表現型の分離比(B型 : AB型 : W型)を答えよ。

“問題は次ページに続きます。”

4. 社会性昆虫に関する次の各問いに答えよ。

I. セイヨウミツバチの巣箱を観察したところ、1匹の女王バチと数万匹のワーカー(働きバチ)、そして約1,000匹の雄バチが社会生活を営んでいた。この女王バチは32本の染色体をもち( $2n = 32$ )、異なる集団の10匹の雄バチと交尾して精子を貯精嚢に貯め、必要に応じて受精を行う。また、女王バチは受精卵と未受精卵を生むことができ、前者は雌、後者は雄になる。女王バチとワーカーはともに雌であるが、生育環境や幼虫期に与えられるえさの量と質の違いによって各々に分化する。女王バチはある種の  を分泌することでワーカーの生殖能力を抑制しているため、女王バチがいなくなった場合、ワーカーは交尾せず、未受精卵を生むようになる。ワーカーは複数の花を訪れて花粉を集め、スクロースを主成分とする花蜜を蜜胃に貯めて巣に運ぶ。スクロースはミツバチの体内でグルコースと  に分解され、これが蜂蜜の成分となる。ワーカーは蜂蜜を略奪に来た大型哺乳類に針を用いて対抗する。針はいったん刺したら抜けないため、振り払われると腹部の損傷でワーカーは死ぬが、その際に放出される警報  が、他のワーカーの攻撃行動を誘い、他の個体の利益となる。このような「自らの適応度を下げることによって他の個体の適応度を高める行動」を利他的行動とよぶ。利他的行動が進化した理由について、ハミルトンは、ハチなどでは自分の親の繁殖を助け、同じ遺伝子を持つ兄弟姉妹を増やすことで、次世代に自分の遺伝子を多く残す戦略をとっていると考えた。そのためには、兄弟姉妹の中でも自分の遺伝子をより多くもつ個体に投資する方が都合がよい。共通の祖先に由来する特定の遺伝子を個体間で共有する確率を血縁度とよぶ。

ヒトでは同じ両親から生まれた兄弟姉妹の場合、“自分”がもつ特定の遺伝子(対立遺伝子)が母親由来である確率は  であり、兄弟姉妹の間で母親由来の特定の遺伝子を共有する確率は  となる。父親由来の遺伝子の場合も同様であるため、兄弟姉妹間の血縁度は  となる。一方、女王バチが一匹の雄バチと交尾して新しい集団を作った場合、ワーカー間の血縁度は 、ワーカーと母親を同じにする雄バチの間の血縁度は  となる。今回観察した巣(集団)においてワーカー間の血縁度は  であり、ワーカーと母親を同じにする雄バチの間の血縁度は  となる。血縁度から考えるとワーカーは雄バチを育てるよりも他のワーカーを育てるために多くの資源を投じたほうが自分の遺伝子を多く残すことができると考えられ、実際に集団における性比も雌に偏っている。

問 1. 文中のア～ケの  に適切な語句または数字(分数)を答えよ。

問 2. 雄バチの染色体数として適切なものを選び、記号で答えよ。

- A.  $n = 8$
- B.  $n = 16$
- C.  $n = 32$
- D.  $2n = 16$
- E.  $2n = 32$

問 3. 下線部のワーカーが行う「利他的行動の進化」は、ダーウィンの自然選択の考え方で説明できるか否か、理由とともに答えよ。

問 4. この巣(集団)から女王バチがいなくなった場合、どのようなことが起こると考えられるか。可能性のあるものをすべて選び、記号で答えよ。

- A. ワーカーが生んだ卵から新しい女王バチが育つ。
- B. ワーカーの数が徐々に減少する。
- C. 雄バチの数が一時的に増加する。
- D. ワーカーの中の1匹が新しい女王バチになる。
- E. 雄バチの中の1匹が女王バチになる。

問 5. トノサマバッタは、幼虫時に個体群密度が高い状態で育つと群れで生活する性質の成虫になる。このトノサマバッタが社会性昆虫なら○、非社会性昆虫なら×を解答欄Ⅰに答え、その理由を解答欄Ⅱに述べよ。

II. ミツバチのコミュニケーションの手段はダンスである。えさ場から帰ったワーカーは巣箱の中に垂直に立てられた巣板の上でダンスを踊り、えさ場の方向と距離を他のワーカーに知らせる。ダンスを踊るワーカーをダンサー、ダンスの情報を感知してえさ場に行くワーカーをフォロワーとよぶ。ダンスにはえさ場が巣箱から近いときに行われる円形ダンスと約 100 メートル(m)以上の距離にあるとき行われる 8 の字ダンスの 2 種類がある。後者では尻を振りながらある距離を直進し、半円を描いて元に戻り、再び直進して、前とは反対向きに半円を描いて元に戻る。この 8 の字ダンスでは直進方向がえさ場の方向を示し、直進する方向と重力の反対方向とのなす角度が、巣箱から見たえさ場と太陽の方向の角度と等しくなっている。たとえば、巣板を真上(重力方向と正反対)に向かって直進する場合は、えさ場は太陽の方向にあることを示す。また、巣からえさ場までの距離「Y(m)」は尻振りの直進時間の長さ「X(秒)」で表され、日本では  $Y = 1087X - 380$  であると知られている。えさ場から戻ったダンサーは、通常、巣の中で何度もダンスを踊るが、その直進走行の方向や時間はそれぞれの回で少しずつ異なり、直進走行の方向は最大で  $\pm 15$  度の誤差を含むことが報告されている。

問 6. 日本のある場所でミツバチの巣箱を観察したところ、えさ場と太陽の角度は図 1 のようであった。また、えさ場から帰ってきた 1 匹のダンサーのダンスを 3 回観察した結果、直進時間はそれぞれ 1.08, 1.47, 0.60 秒であった。

- 1) 巣箱からえさ場までの距離は何 m から何 m の範囲か、少数第 1 位を四捨五入して答えよ。
- 2) 最初の観察から 2 時間後に同じ巣箱を観察した場合、えさ場から帰ってきたワーカーは巣箱内に垂直に建てられた巣板でどのようなダンスを踊るか。直進走行の方向として可能性のある範囲を図 2 の数字を用いて答えよ(例：①～⑤)。ただし、図 2 の矢印間の角度は等しいものとする。

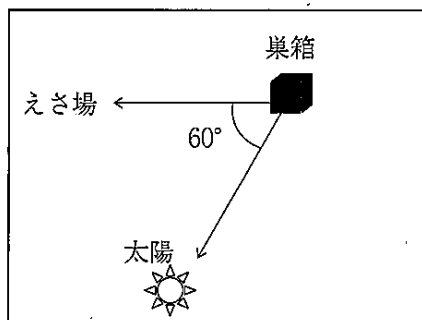


図 1

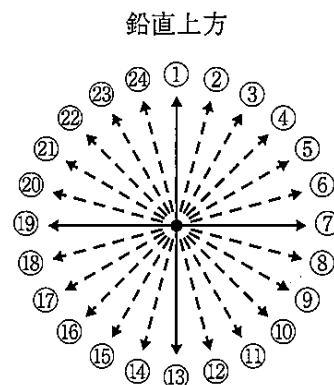


図 2



問 7. 脂肪のような組織を持たないミツバチは巣箱を離れるときには蜜胃に蜜を積載する。図3はダンサーの尻振り直進時間とダンサー自身が巣から離れるときの積載蜜量の関係(実線), およびダンサーの尻振り直進時間を感知したフォロワーが最初に出巣する時の積載蜜量の関係(破線)を示している。また, 図4はフォロワーがあるえさ場を訪問(採餌)した回数と巣から離れるときの積載蜜量の関係を示す。ダンサー自身が巣から離れるときの積載蜜量とそのダンスを感知したフォロワーが最初に出巣する時の積載蜜量が異なる理由を考察せよ。

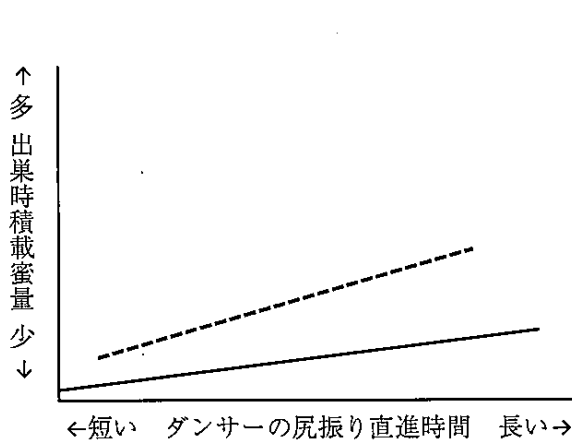


図 3

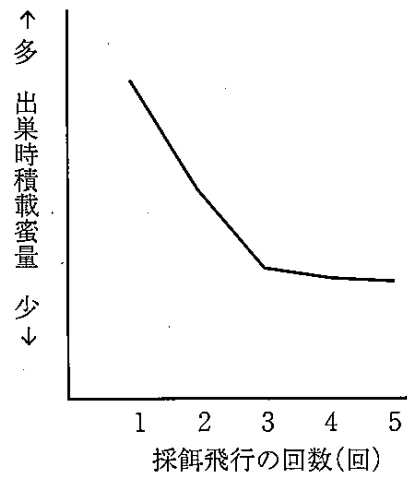


図 4

ミツバチの世界へ旅する(東海大学出版部 2017) 図 8-5 および 図 8-7 より改変