

受験番号						氏名	
------	--	--	--	--	--	----	--

2022 年度

理 科

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
2. 出題分野、頁および選択方法は、下表のとおりです。

出題分野	頁	選 択 方 法
物 理	1～14	左の3分野のうちから2分野を選択し、 解答しなさい。
化 学	15～27	
生 物	28～49	

3. 試験開始後、頁の落丁・乱丁及び印刷不鮮明、解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。また、問題冊子に計算用紙が挟んであるのでメモや計算に用いて構いません。
4. 監督者の指示にしたがって解答用紙の該当欄に下記のようにそれぞれ正しく記入し、マークしなさい。

① 受験番号欄

受験番号を5ケタで記入し、さらにその下のマーク欄に該当する5ケタをマークしなさい。(例)受験番号10025番→

1	0	0	2	5
---	---	---	---	---

と記入。

② 氏名欄 氏名・フリガナを記入しなさい。

③ 解答分野欄

解答する分野名2つを○で囲み、さらにその下のマーク欄にマークしなさい。

5. 受験番号および解答する分野が正しくマークされていない場合は、採点できないことがあります。
6. 解答は、解答用紙の解答欄にHB鉛筆で正確にマークしなさい。


例えば

15

 と表示された問題の正答として④を選んだ場合は、次の(例)のように解答番号15の解答欄の④を濃く完全にマークしなさい。薄いもの、不完全なものは解答したことにはなりません。

(例)

解答番号	解	答	欄
15	①	②	③ ● ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩

7. 解答を修正する場合は、必ず「消しゴム」であとが残らないように完全に消しなさい。鉛筆の色や消しくずが残ったり、のような消し方などをした場合は、修正したことになりません。
8. すべて選べという指示のある問題を除き、それぞれの問題で指定された数よりも多くの解答をマークした場合は無解答とみなされます。
9. 問題冊子の余白等は、適宜利用してよいが、どの頁も切り離してはいけません。
10. 試験終了後、問題冊子、解答用紙、計算用紙を机上に置き、試験監督者の指示に従い退場しなさい。

生 物

(注意) 計算値の解答をマークするときは、桁に満たない解答欄には0を選んでマークせよ。

第1問 以下の問い(問1～8)に示す語句について、①～⑥の中に誤っているものが一つあるか、あるいは①～⑥のすべてが正しいかのどちらかである。①～⑥の中に誤りがある場合にはその記号を、①～⑥のすべてが正しい場合には⑦を選んで、解答欄にマークせよ。なお、補足の文章がある問いはその文章を読んでから解答せよ。解答番号 ～

問1 植物細胞

- ① 多糖類のセルロースやペクチン、キチンなどを構成成分とする細胞壁で囲まれている。
- ② 隣接する細胞どうしの細胞膜が細胞壁を貫く孔でつながり、互いの細胞質が連結する構造をもつ。
- ③ へん平な袋状の膜でできたチラコイドを内部にもった二枚の膜で囲まれた葉緑体をもつ。
- ④ 細胞質基質では、糖をピルビン酸に分解する一連の反応が酸素の供給無しに行われる。
- ⑤ 無機塩類やアミノ酸、炭水化物などを内部に含む一枚の膜に囲まれた液胞が細胞質にある。
- ⑥ 好気性細菌を取り込んだ祖先細胞に、酸素発生型光合成を行う細菌が共生することによって生じた。
- ⑦ ①～⑥のすべての選択肢は正しい。

問 2 ヒトの肝臓 2

- ① 血液は、肝動脈と肝門脈から枝分かれした肝小葉中の毛細血管を通り、中心静脈を経て肝静脈に至る。
- ② 肝門脈を通過して肝臓に運ばれる血液には、ひ臓で破壊された赤血球の成分が含まれている。
- ③ ヘモグロビンの分解産物であるビリルビンは、胆汁の成分として排出されて肝小葉中の胆細管を中心静脈に向かって流れる。
- ④ 不要となったタンパク質やアミノ酸の分解を行い、脱アミノ反応で生じたアンモニアを毒性の低い尿素に変えて血液中に放出する。
- ⑤ 免疫グロブリンを除く血しょうタンパク質のほとんどを合成して血液中に放出し、血しょうタンパク質の濃度を一定に保つ。
- ⑥ グルコースの一部をグリコーゲンとして蓄えたり、グリコーゲンを分解してグルコースを血液中に放出したりすることで血糖濃度の調節を行う。
- ⑦ ①～⑥のすべての選択肢は正しい。

問 3 生態系内の物質循環 3

- ① 大気中や水中の二酸化炭素は、植物や藻類の光合成によって炭水化物に合成され、食物連鎖を経てさまざまな生物に利用される。
- ② 生物が取り込んだ炭水化物の多くは、呼吸によって化学エネルギーが抽出される際に二酸化炭素に分解され、大気中や水中に放出される。
- ③ 遺骸や排出物中の有機物の多くは菌類や細菌に利用され、一部は石油や石炭などの化石燃料として地中に埋没する。
- ④ マメ科植物と共生する根粒菌は、大気中の N_2 を植物が利用できる NH_4^+ に変える窒素固定を行う。
- ⑤ 硝化の過程では、 NH_4^+ は亜硝酸菌の働きによって NO_2^- に、さらに硝酸菌の働きによって NO_3^- に変わる。
- ⑥ 遺骸や排出物中の有機窒素化合物は菌類や細菌によって無機窒素化合物に変えられ、その一部は脱窒素細菌によって N_2 となり大気中に放出される。
- ⑦ ①～⑥のすべての選択肢は正しい。

問 4 制限酵素切断部位の推定 4

10000 塩基対(10 kbp)からなるプラスミド(図 1)を 4 種類の制限酵素ア～エ およびそれらの組合せで完全に切断し、生じた DNA 断片をアガロースゲル電気泳動で解析した(図 2)。ただし、制限酵素ア～エは、DNA を切断する際に認識する塩基配列は全て異なり、図 1 の a～h のいずれかの部分で切断する。なお、制限酵素エは図 1 の a の部分の塩基配列を認識して切断する。

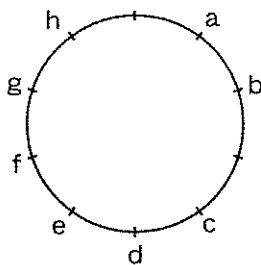


図 1

注) 1 目盛りは 1 kbp を表す。

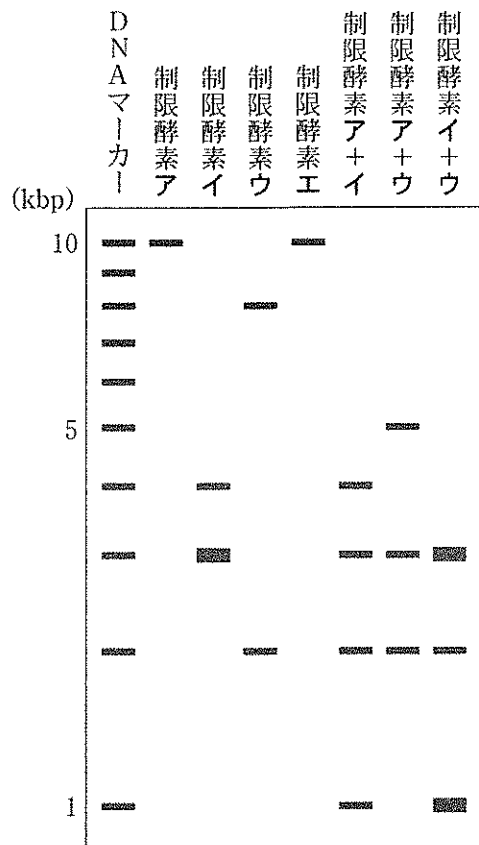


図 2

注) 太いバンド(■)は、同じ長さの DNA 断片が 2 本あることを示す。

- ① 制限酵素アは、プラスミド中のcの部分の塩基配列を認識して切断する。
- ② 制限酵素イが切断する際に認識する塩基配列は、プラスミド中に3ヵ所存在する。
- ③ 制限酵素ウは、プラスミド中のdとfの部分の塩基配列を認識して切断する。
- ④ 制限酵素アとエを組合せて切断すると、2本のDNA断片が生じる。
- ⑤ 制限酵素イとエを組合せて切断して生じる3 kbpのDNA断片は、3本である。
- ⑥ 制限酵素ウとエを組合せて切断したDNA断片を電気泳動すると、2 kbpの位置に太いバンドがみられる。
- ⑦ ①～⑥のすべての選択肢は正しい。

問 5 ヒトの眼 5

- ① 眼に入った光は角膜と水晶体で屈折し、ガラス体を通過して網膜上に像を結ぶ。
- ② 弱光での感受性が高い桿体細胞と、異なる波長の光を吸収する三種の錐体細胞が光を受容する。
- ③ 盲斑では視神経が網膜を貫いているため、視細胞が分布せず、光を刺激として受容することができない。
- ④ 黄斑には錐体細胞が集中しているため、細かな形を識別でき色の違いを見分けることができる。
- ⑤ 明るいときには、副交感神経が支配する虹彩にある放射状の筋肉が収縮し、瞳孔が縮小する。
- ⑥ 近くのものを見るときには、毛様筋が収縮してチン小帯が弛緩するために水晶体の厚さが増し、焦点距離が短くなる。
- ⑦ ①～⑥のすべての選択肢は正しい。

問 6 動物の変遷 6

- ① カンブリア紀には、現生の門のほぼすべてを含む多種多様な動物が出現した。
- ② デボン紀には、体表が硬い外骨格でおおわれた陸上生活をする昆虫類が出現した。
- ③ 石炭紀に出現した羊膜類は、羊膜に胚が包まれるため、陸上での発生が可能となった。
- ④ 三畳紀に出現した当初の哺乳類は、体が小さく夜行性であったと考えられている。
- ⑤ ジュラ紀には、多様化・大型化したは虫類が繁栄し、恐竜類のなかから原始的な鳥類が出現した。
- ⑥ 新第三紀には、人類が出現し、アルディピテクス・ラミダスのものが最古の化石とされている。
- ⑦ ①～⑥のすべての選択肢は正しい。

問 7 光の強さと光合成速度の関係 7

遷移の初期(裸地～草原)・中期(低木材～高木材)・後期(極相林)のそれぞれでみられる植物3種について、光の強さと二酸化炭素吸収速度の関係を概念的に図示した(図3)。なお、遷移後期の植物については幼木の時期における光の強さと二酸化炭素吸収速度の関係を示した。

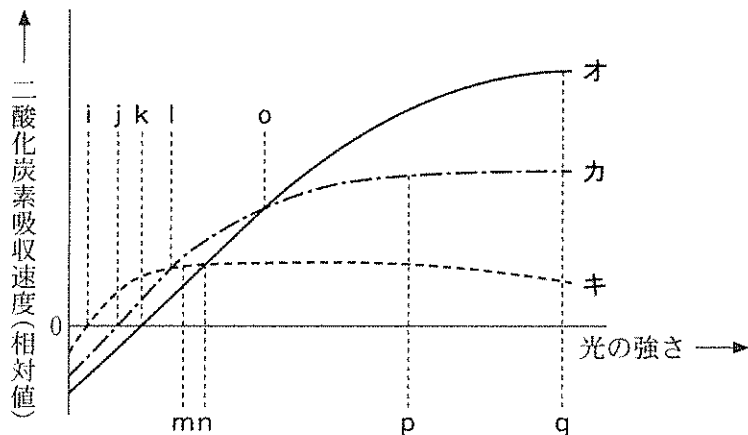


図 3

- ① 呼吸速度が最も低いのは植物キである。
- ② 植物オの光飽和点はqで、3種の植物で最も高い。
- ③ 植物キの光補償点はiで、3種の植物で最も低い。
- ④ 植物カの例としてアカマツが考えられる。
- ⑤ 森林内にギャップができると、植物カのような性質をもつ植物が発芽して生育する。
- ⑥ 遷移の初期では、植物キのような性質をもつ植物が最も速く成長する。
- ⑦ ①～⑥のすべての選択肢は正しい。

問 8 DNA の遺伝情報 8

下に DNA の一方の鎖の塩基配列(ク鎖)を、表に mRNA の遺伝暗号表を示す。ただし、この DNA 鎖のどちらか一方を鋳型鎖として、mRNA が転写されるときは、すべての塩基配列が転写され、また、mRNA から翻訳されるペプチドは切断されないものとする。

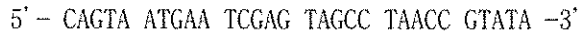
ク鎖の塩基配列

5' - TATAC GGTTA GGCTA CTCGA TTCAT TACTG -3'

表

		2 番目の塩基					
		U	C	A	G		
1 番目の塩基	U	UUU } フェニルアラニン	UCU }	UAU } チロシン	UGU } システイン	U	
		UUC }	UCC }	UAC }	UGC }	C	
		UUA } ロイシン	UCA }	UAA } 終止	UGA } 終止	A	
		UUG }	UCG }	UAG }	UGG } トリプトファン	G	
	C	CUU }	CCU }	CAU } ヒスチジン	CGU }	U	
		CUC }	CCC }	CAC }	CGC }	C	
		CUA } ロイシン	CCA }	CAA } グルタミン	CGA }	A	
		CUG }	CCG }	CAG }	CGG }	G	
	A	AUU }	ACU }	AAU } アスパラギン	AGU } セリン	U	
		AUC }	ACC }	AAC }	AGC }	C	
		AUA } イソロイシン	ACA }	AAA } リシン	AGA }	A	
		AUG } メチオニン(開始)	ACG }	AAG }	AGG }	G	
	G	GUU }	GCU }	GAU } アスパラギン酸	GGU }	U	
		GUC }	GCC }	GAC }	GGC }	C	
		GUA } バリン	GCA }	GAA } グルタミン酸	GGA }	A	
		GUG }	GCG }	GAG }	GGG }	G	

① ク鎖の相補鎖の塩基配列は、



である。

- ② ク鎖を鋳型鎖として合成された mRNA が開始コドンから翻訳されるとき、合成されるペプチドの長さは 5 アミノ酸である。
- ③ ク鎖を鋳型鎖として合成された mRNA が開始コドンから翻訳されるとき、カルボキシ基側の末端のアミノ酸はアラニンである。
- ④ ク鎖を鋳型鎖として合成された mRNA が開始コドンから翻訳されるとき、アミノ基側の末端から 2 番目のアミノ酸を運ぶ tRNA のアンチコдонは $5' - \text{AUU} - 3'$ である。
- ⑤ 5' 末端から 18 番目の塩基が T の塩基に変化したク鎖を鋳型鎖として合成された mRNA が開始コドンから翻訳されるとき、変化した塩基を含むコドンが指定するアミノ酸はアルギニンである。
- ⑥ 5' 末端から 20 番目のヌクレオチドが失われたク鎖を鋳型鎖として合成された mRNA が開始コドンから翻訳されるとき、合成されるペプチドの長さは 3 アミノ酸である。
- ⑦ ①～⑥のすべての選択肢は正しい。

第2問 次の文章Ⅰ～Ⅲを読んで、以下の問い(問1～7)に答えよ。解答番号

9

～

16

Ⅰ 食物アレルギーは食物に含まれるタンパク質が主なアレルゲンとなって引き起こされる。ラテックス-フルーツ症候群は、果実に含まれるラテックス中のタンパク質と相同な構造をもつ別のタンパク質が異物として認識されて起こる食物アレルギーである。ラテックスはパラゴムノキの樹液を原料とするゴムで、ラテックス製の手袋が皮膚に触れることにより、皮膚を経由した獲得免疫(適応免疫)反応(経皮感作)が起こることがラテックス-フルーツ症候群の原因となる。

経皮感作による食物アレルギーのメカニズムを調べるため、研究者は、図1に示す時間間隔での処理の組合せにより、実験を行った。この実験では、アレルゲンとして卵白アルブミン(OVA)を用いた。野生型マウスの皮膚に界面活性剤であるドデシル硫酸ナトリウムを塗って皮膚の防御機能を弱め、そこに緩衝液に溶かしたOVAを、対照としてOVAを含まない緩衝液を塗布した(塗布;処理[あ])。経皮感作が起きているかの指標として、アレルギーに関わるヘルパーT細胞(Th2細胞)を分化させるサイトカインのひとつであり、Th2細胞も分泌するインターロイキン(IL)-4のmRNAの発現量(*Il4* mRNA量)を、OVAを塗布した皮膚の近くのリンパ節中の細胞で調べた。また、OVAに特異的に結合する血清中のIgE(分化したB細胞が産生するアレルゲンに対する特殊な抗体)の濃度(抗OVA IgE量)を調べた。アレルギー反応の有無は、OVAを口から与えること(経口投与による食物負荷;処理[い])によって判定した。全身的なアレルギー反応の指標として、処理[い]後、30分以内に起こる直腸温の低下を測定した。さらに、処理[あ]の前に、あらかじめOVAを経口投与する処理[う](前投与)、処理[あ]直前に好塩基球を特異的に除去する抗体(Ba 103)を注射する処理[え]も行い、経皮感作とアレルギー反応への影響を調べた。処理[え]では、対照として、Ba 103抗体を含まない生理食塩水を注射した。各実験の結果を図2に示す。なお、好塩基球は白血球の一種で、マスト細胞(肥満細胞)と類似の機能をもっていると考えられている。

問 1 文章中の下線部AとBに関してあてはまるものはどれか。次の①～⑧のうちからそれぞれ二つずつ選び、解答番号9と10の解答欄にそれぞれ二つマークせよ。A : , B :

- ① 細菌の細胞壁を破壊する酵素を分泌する。
- ② 接触によりマクロファージを活性化する。
- ③ 抗体(IgE)を細胞表面に付着させている。
- ④ ウイルスに感染した細胞を攻撃して排除する。
- ⑤ 異物を食作用によって細胞内に取り込んで処理する。
- ⑥ ヒスタミンを放出してアレルギーの症状を引き起こす。
- ⑦ 分化する過程で免疫グロブリン遺伝子が再構成される。
- ⑧ HIV(ヒト免疫不全ウイルス)の感染により破壊される。

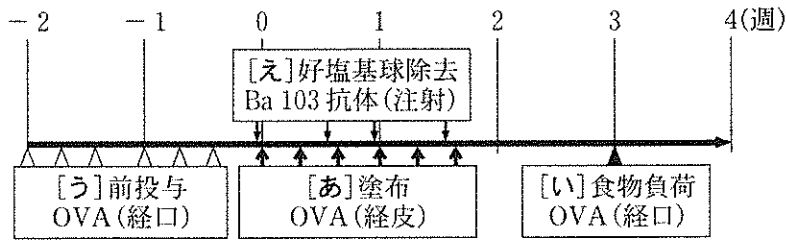


図 1

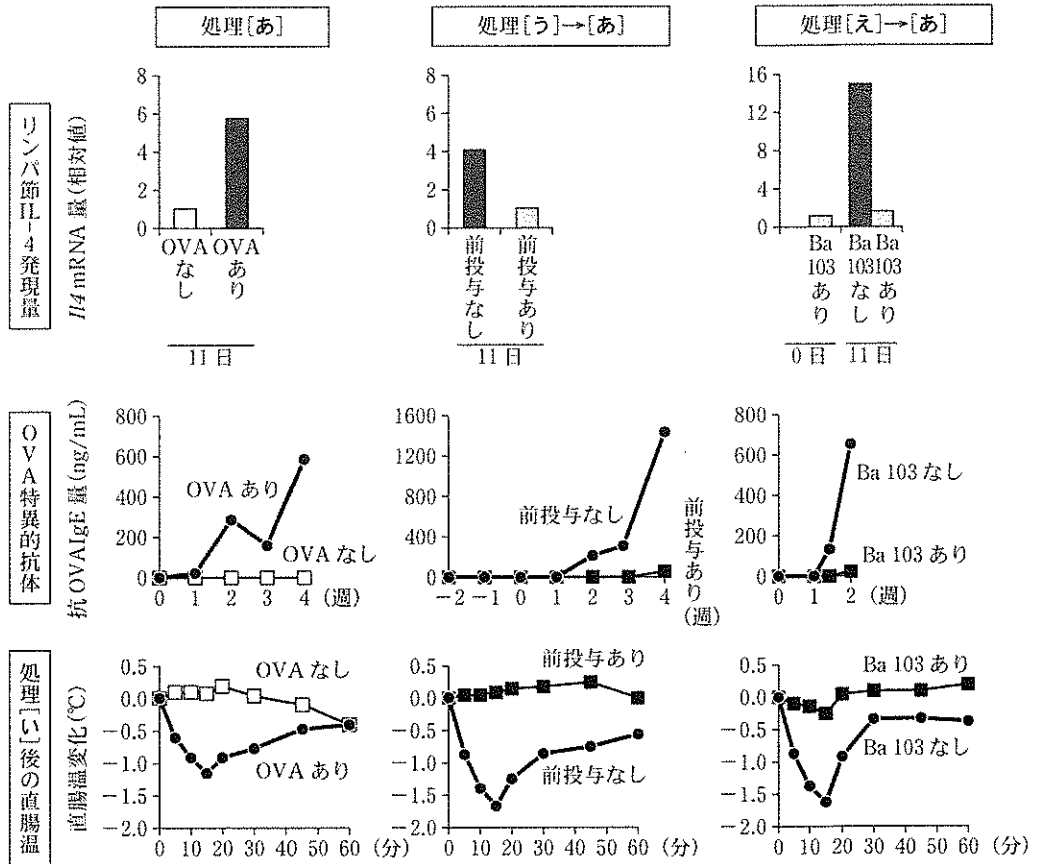


図 2

問 2 図 2 に示した結果の説明として不適切なものはどれか。次の①～⑤のうちから一つ選べ。

- ① 皮膚に OVA を含まない緩衝液を塗布した野生型マウスでは、塗布開始後 11 日目で比べると、OVA を塗布した野生型マウスよりも、リンパ節での IL-4 の mRNA の発現量は少なかった。
- ② 皮膚に OVA を塗布した野生型マウスでは、塗布開始時と塗布開始後 2 週目で比べると、塗布開始後 2 週目には血清中の OVA 特異的 IgE が増加していた。
- ③ 皮膚に OVA を塗布した野生型マウスでは、食物負荷後 30 分以内で、 1°C 以上の直腸温の低下が測定された。
- ④ 前投与を行ってから皮膚に OVA を塗布した野生型マウスでは、前投与開始時と前投与開始後 4 週目で比べると、前投与開始後 4 週目には血清中の OVA 特異的 IgE が増加していた。
- ⑤ Ba 103 抗体を注射してから皮膚に OVA を塗布した野生型マウスでは、食物負荷後 30 分以内で、 1°C 以上の直腸温の低下が測定されなかった。

問 3 図 2 に示した結果から考えられることとして不適切なものはどれか。次の①～⑥のうちから二つ選び、解答番号 12 の解答欄に二つマークせよ。

- ① 界面活性剤による皮膚の防御機能の低下は、経皮感作を容易にする。
- ② 経皮的にアレルゲンにさらされると、リンパ節で Th 2 細胞が増加する。
- ③ 経皮感作が成立する前にアレルゲンを経口摂取すると、そのアレルゲンに対する免疫寛容が誘導される。
- ④ 好塩基球の除去は、経皮感作によるアレルゲン特異的 IgE 産生 B 細胞の分化を抑制する。
- ⑤ 腸管の樹状細胞の MHC に提示されたアレルゲンによって、IL-4 産生 Th 2 細胞が分化する。
- ⑥ 経口摂取した OVA がもつアレルゲンとなり得る構造は、腸管を通過する間に失われない。

II 皮膚の細胞が産生するサイトカインである TSLP の受容体を欠損したマウス (*Tslpr*^{-/-}) と腸管の細胞が産生するサイトカインである IL-33 を欠損したマウス (*Il33*^{-/-}) を用いて、野生型マウス (Wt) と同様に図 1 の処理[あ]と[い]を行った。この実験では、図 2 で示した結果に加え、OVA を塗布した皮膚の細胞とその近くのリンパ節の細胞に占める好塩基球の割合も調べた。その結果を図 3 に示す。

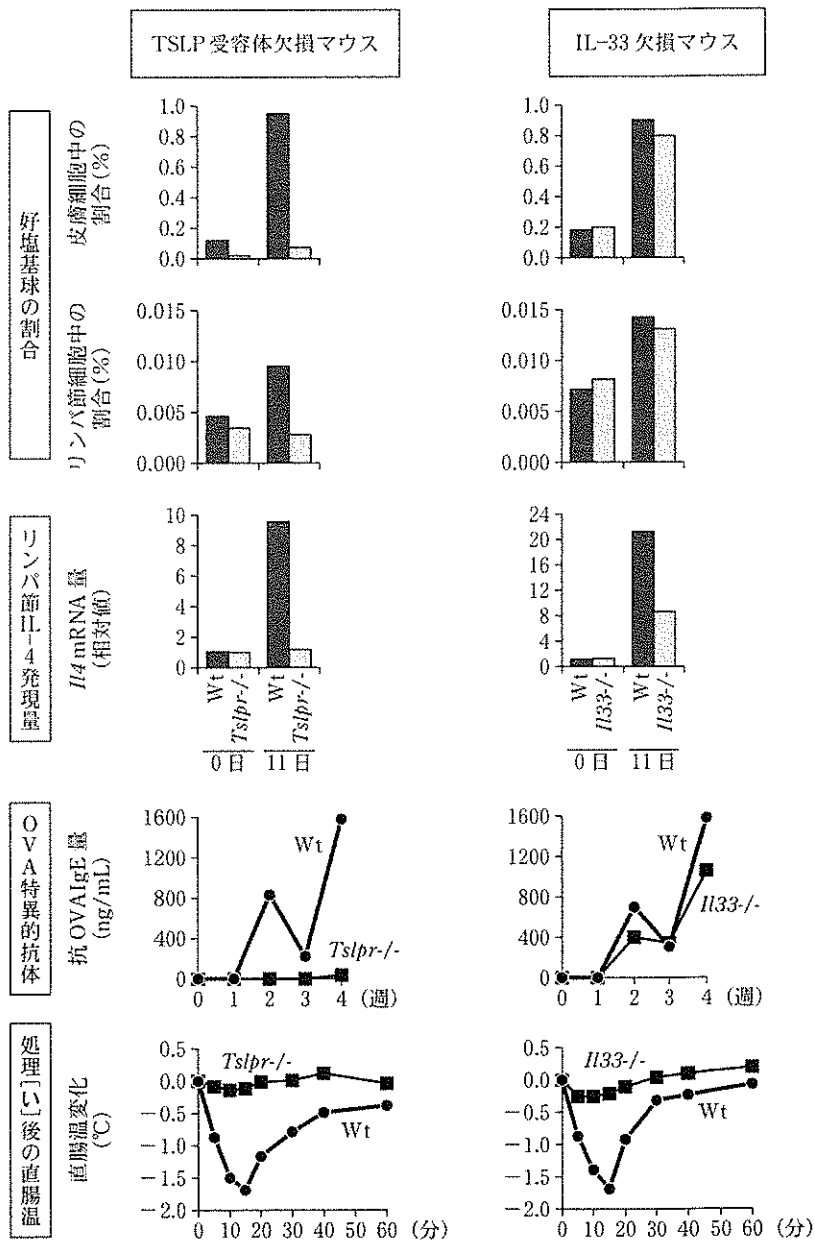


図 3

問 4 図 3 に示した結果の説明として、最も適切なものはどれか。次の①～⑤のうちから一つ選べ。

- ① 皮膚に OVA を塗布した野生型マウスでは、リンパ節での好塩基球の割合が、塗布開始時と比べて、11 日目にはおよそ 9 倍増加していた。
- ② 皮膚に OVA を塗布した TSLP 受容体欠損マウスでは、リンパ節での IL-4 の mRNA の発現量は、塗布開始時と比べて、11 日目にはおよそ 2 倍増加していた。
- ③ 皮膚に OVA を塗布した TSLP 受容体欠損マウスでは、塗布開始時と比べて、塗布開始後 2 週目には血清中の OVA 特異的 IgE が増加していた。
- ④ 皮膚に OVA を塗布した IL-33 欠損マウスでは、塗布開始時と比べて、塗布開始後 2 週目には血清中の OVA 特異的 IgE が増加していた。
- ⑤ 皮膚に OVA を塗布した IL-33 欠損マウスでは、食物負荷後、皮膚に OVA を塗布した野生型マウスと比べて、同程度に直腸温が低下した。

問 5 図 3 に示した結果から考えられる TSLP と IL-33 のラテックス-フルーツ症候群における働きについて、適切なものはどれか。次の①～⑥のうちから二つ選び、解答番号 14 の解答欄に二つマークせよ。

- ① TSLP は、好塩基球を皮膚に集積させる。
- ② TSLP は、血液を介して腸管の細胞に作用する。
- ③ TSLP は、食物摂取後のアレルギー反応を直接引き起こしている。
- ④ IL-33 は、B 細胞に作用して IgE を産生させる働きをもっている。
- ⑤ IL-33 は、腸管を介した感作の成立に関わっている。
- ⑥ IL-33 は、Th 2 細胞の分化に関わっている可能性がある。

問 6 図 2 および図 3 の結果から、「好塩基球は抗原提示細胞としてヘルパー T 細胞をアレルゲン特異的 Th 2 細胞に分化させる」という仮説を立てた。仮説を検証するために何を調べたらよいか。最も適当なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。

15

- ① OVA 塗布後の皮膚での TSLP の産生
- ② OVA 塗布後のリンパ節中の樹状細胞の割合
- ③ OVA 塗布後のリンパ節中の好塩基球での IL-4 の産生
- ④ 経皮感作後の食物負荷による腸管での IL-33 の産生
- ⑤ 経皮感作後のアレルギー反応に対する IL-33 阻害剤の影響

III IL-4 の発現は、*IL4* 遺伝子の転写開始部位から 5' 側 350 塩基対の間にある 6 個の転写調節領域とそこに結合する調節タンパク質 NFAT によって調節されている(図 4)。この領域のさらに 5' 側に、図 4 に示した動物種間で保存された領域があり、ヒトでは、転写開始部位から数えて 524 番目に一塩基多型(SNP) (-524 C と -524 T) が報告されている。-524 T のヒトは、重症のアレルギーなど免疫系の病気にかかりやすいことが分かっている。しかし、ある種の寄生虫病発生地域の集団では、-524 T をもつ *IL4* 対立遺伝子の頻度が高く維持されている。なお、-524 T をもつ *IL4* 対立遺伝子を導入した T 細胞では、IL-4 の発現量が 3 倍増加することが分かっている。

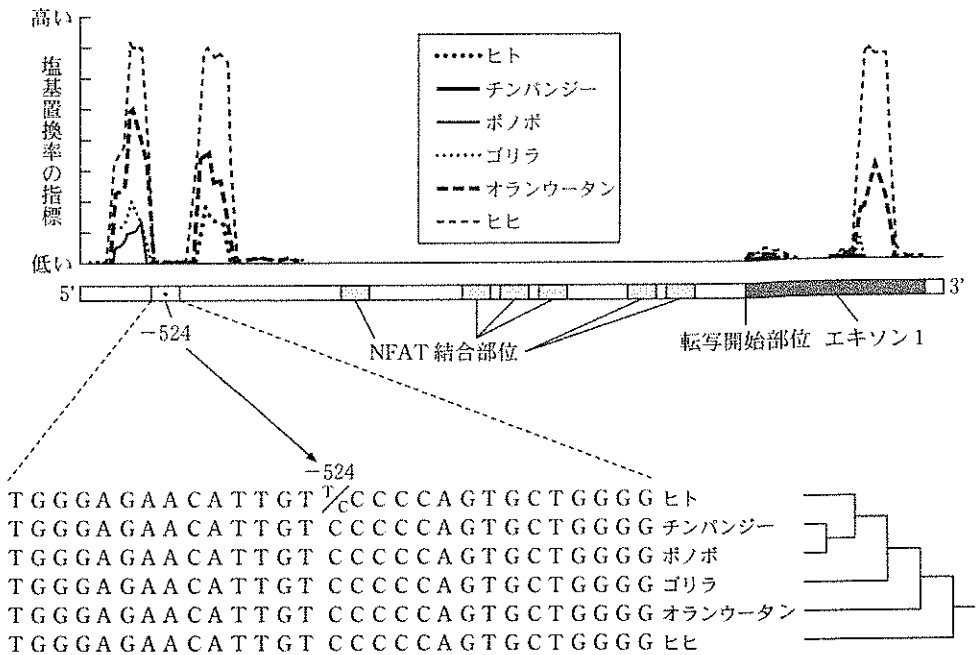


図 4

注) 上の図とグラフは *IL4* 遺伝子エキソン 1 を含む 5' 側の構造と図中の 6 種の動物間の塩基置換率の指標を示している。下の塩基配列は転写開始部位から 524 番目の SNP 周辺の 6 種の動物で保存されている塩基配列を、また、系統樹は、6 種の動物の系統関係を表したもので、その枝長は、それぞれの動物が分岐してからの時間を表している。

問 7 転写調節領域を含めた *IL4* 遺伝子に関して考えられることとして、適切なものはどれか。次の①～⑥のうちから二つ選び、解答番号 16 の解答欄に二つマークせよ。

16

- ① *IL4* 遺伝子の転写開始部位から 5' 側 350 塩基対の間に生じた突然変異は、中立な変異であった。
- ② *IL4* 遺伝子のエキソン 1 に生じた突然変異は、IL-4 タンパク質の働きを破壊している。
- ③ - 524 C は、- 524 領域の NFAT との結合親和性を高め、IL-4 の発現量を増加させる。
- ④ - 524 T は、チンパンジーとボノボの共通祖先とヒトの祖先が分岐した後でヒトの系統で生じた。
- ⑤ - 524 C をもつ *IL4* 対立遺伝子の遺伝子頻度は、寄生虫病発生地域の集団よりもそれ以外の集団で高い。
- ⑥ - 524 T をもつ *IL4* 対立遺伝子は、遺伝的浮動によって寄生虫病発生地域集団に広まった。

第3問 次の文章Ⅰ、Ⅱを読んで、以下の問い(問1～7)に答えよ。解答番号

17 ~ 29

Ⅰ 生物の生活は、同種の他の個体や他種の個体との関係をもとに成り立っている。したがって、資源をめぐる種内競争や種間競争は、生物個体の生存や繁殖に影響を与える。一般に、生物は自らの子を多く残す個体ほど適応的だと考えられている。この尺度である適応度は、ある個体が一生の間につくる子のうち、生殖可能な年齢まで達した子の数で表される。

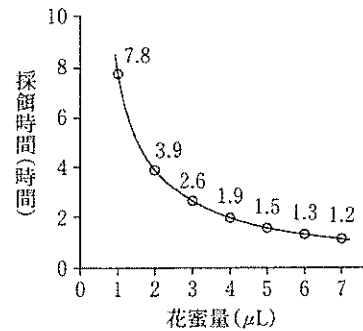
個体群内の相互作用に注目すると、適応度を上げる行動のひとつとして、縄張り(テリトリー)の形成がある。縄張りは、資源の占有という利益が縄張りの防衛というコストを上まわるとき形成され、それが維持されると考えられる。これを確かめるため、研究者は、ある花の蜜を餌とする東アフリカに生息する非繁殖期のタイヨウチョウの一種に注目し、様々な行動にかかる時間とエネルギーを測定し、各行動のコスト(時間当たりのエネルギー消費量)を求めた(表1)。また、花当たりの利用できる蜜量(花蜜量)と1日のエネルギー要求量を満たす蜜の採取に要する時間(採餌時間)との関係を調べた(図)。さらに、花蜜量を増加させる縄張りの防衛で増加するエネルギー消費量を算出した(表2)。

表1

行動のコスト(J/時間)	
蜜の採取	4200
とまり木での待機	1700
縄張りの防衛	12600

表2

		縄張りの防衛で増加するエネルギー消費量(J)		
		縄張りを防衛することで増加する花蜜量(μL)		
		1	2	3
花蜜張り形成前(μL)の	2	3052	4251	5123
	3	1526	2289	2834
	4	981	1635	1962
	5	654	1090	
	6	327		



図

注) 図中の数字は採餌時間を示す。

注) 縄張りの防衛に使う時間は、とまり木での待機の時間から捻出される。

問 1 花蜜量が増加すれば、この鳥は1日のエネルギー要求量をより速く満たすことができ、採餌時間を節約できる。節約できた時間は、よりコストの小さいとまり木での待機に振り替えられる。今、花蜜量が $2\mu\text{L}$ から $3\mu\text{L}$ に増加したとする。この鳥の採餌時間の節約による1日当たりのエネルギー消費の節約量は何Jになるか。必要ならば一の位を四捨五入して答えよ。

- 0 J
 ① 1 ② 2 ③ 3 ④ 4 ⑤ 5
 ⑥ 6 ⑦ 7 ⑧ 8 ⑨ 9 ⑩ 0

問 2 問 1 の鳥は縄張りを形成し、これを防衛することで花蜜量を増加させていた。したがって、問 1 の鳥は、縄張りの防衛によるエネルギー消費の増加量が、問 1 で求めたエネルギー消費の節約量よりも 、適応度が ため、この縄張りを すると考えられる。空欄のア～ウにあてはまる語の組合せとして、正しいものはどれか。最も適当なものを、次の①～③のうちから一つ選べ。

- | | ア | イ | ウ | | ア | イ | ウ |
|---|-----|-----|----|---|-----|-----|----|
| ① | 小さく | 上がる | 維持 | ② | 大きく | 上がる | 維持 |
| ③ | 小さく | 下がる | 維持 | ④ | 大きく | 下がる | 維持 |
| ⑤ | 小さく | 上がる | 放棄 | ⑥ | 大きく | 上がる | 放棄 |
| ⑦ | 小さく | 下がる | 放棄 | ⑧ | 大きく | 下がる | 放棄 |

問 3 縄張りの形成と防衛が花蜜量を増加させるときの記述として、最も適切なものはどれか。次の①～④のうちから一つ選べ。

- ① 花蜜量を $2\mu\text{L}$ から $3\mu\text{L}$ に増加させるとき、縄張りの防衛に使う時間は0.65時間である。
- ② 花蜜量を $2\mu\text{L}$ から $3\mu\text{L}$ に増加させるとき、とまり木での待機時間の変化は、 $3\mu\text{L}$ から $6\mu\text{L}$ に増加させるときと等しい。
- ③ 花蜜量を $4\mu\text{L}$ から $5\mu\text{L}$ に増加させるとき、蜜の採取コストの節約量は、 $2\mu\text{L}$ から $3\mu\text{L}$ に増加させるときよりも小さい。
- ④ 花蜜量を $3\mu\text{L}$ から $4\mu\text{L}$ に増加させる縄張りの防衛は、 $6\mu\text{L}$ から $7\mu\text{L}$ に増加させる縄張りの防衛よりも起こりにくい。

Ⅱ 個体群内の別の相互作用に注目すると、行為者である個体には損失をもたらすが、行為の受け手の個体には利益をもたらす行動がみられることがあり、これを利他行動という。言いかえると、行為者の適応度が下がるにもかかわらず、受け手の適応度を上げる行動があるということになる。一般に、適応度を下げる行動(形質)は自然選択によって排除される傾向にあると考えられる。しかし、利他行動の例は自然界で血縁者間にしばしば観察される。

ハミルトンは、「どの個体も自己の子孫を残そうとしているのではなく、自分のもっているのと同じ遺伝子を増やそうとしている」と考えた。この考えにしたがえば、適応度とは、自分と同じ遺伝子をどれだけ残したかということができると考えられる。血縁者は自分と同じ遺伝子がある確率(血縁度 r)で共有する。例えば、有性生殖を行う二倍体の生物の親と子では $r = 0.5$ 、両親が同じ兄弟姉妹では $r = 0.25$ となる。そのため、利他行動により行為の受け手である血縁者がより多くの子孫を残せば、自分と同じ遺伝子が増えるため、間接的に行為者の適応度が上がると考えられる。したがって、血縁度で重み付けした行為の受け手の適応度の上昇分が行為者の損失を上まわれれば、利他行動が進化するといえる。

行為者の直接的な適応度と間接的な適応度の和を包括適応度といい、それぞれを血縁度で重み付けすることで算定される。包括適応度の考えを適用すると、行為者の包括適応度が最大化するように行動は進化すると考えられる。

問 4 文章中の下線部に関して、ヒトで、祖母のみが共通のいとこどうしの血縁度はどれか。最も適当なものを、次の①～⑩のうちから一つ選べ。

22

- ① 0.0375 ② 0.0625 ③ 0.0875 ④ 0.125 ⑤ 0.1625
 ⑥ 0.1875 ⑦ 0.25 ⑧ 0.3125 ⑨ 0.375 ⑩ 0.4375

問 5 利他行動の行為者の損失を C 、受け手の利益を B とすると、血縁者間の利他行動が進化し得る条件はどれか。最も適当なものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。

23

- ① $\frac{C}{B} > r$ ② $\frac{B}{C} > r$ ③ $\frac{C}{B} > \frac{1}{r}$
 ④ $\frac{B}{C} > \frac{1}{r}$ ⑤ $rB > \frac{1}{C}$ ⑥ $rC > \frac{1}{B}$

問 6 アメリカに生息する野生のシチメンチョウでは、同じ齢の雄どうしが連合して雌に求愛することがある。この連合では、雄の一方は上位雄で、雌との交尾のすべてを獲得し、平均7羽の子を残す。もう一方の雄は下位雄で、雌との交尾はまったくできない。また、連合を組まずに求愛する単独雄がいて、その場合、平均して0.9羽の子を残す。連合する雄どうしの血縁度がいくつより大きいとき、連合が行われると考えられるか。ただし、利他行動の行為者の損失と受け手の利益は雄当たりの残した子の数で測定される。なお、残した子の数は生殖可能な年齢に達した子の数を示す。計算の途中で四捨五入することなく、必要ならば、最後に小数点以下第三位を四捨五入して答えよ。0.

- ① 1 ② 2 ③ 3 ④ 4 ⑤ 5
 ⑥ 6 ⑦ 7 ⑧ 8 ⑨ 9 ⑩ 0

問 7 アフリカに生息するヒメヤマセミでは、一齢雄が子育てを手伝う行動がみられる。配偶相手を得られなかった一齢雄の中には、両親のもとにとどまって、生まれる弟妹の世話を手伝う第一ヘルパーがいる。第一ヘルパーが働いた場合、両親は平均して 1.8 羽の子を多く残すことができた。また、両親とは別の夫婦 ($r = 0$) の子育てを手伝う第二ヘルパーもいる。第一ヘルパーほどではないが、第二ヘルパーが働いた場合、その夫婦は平均して 1.3 羽の子を多く残すことができた。さらに、何もしないで一年を過ごすフリー雄もいる。いずれの雄も二齢になって配偶相手を見つけると、平均して 2.5 羽の子を残すことができた。ただし、二齢で配偶相手を見つける確率は、第一ヘルパー、第二ヘルパー、フリー雄でそれぞれ 60 %、84 %、33 %。また、二齢までの生存率は、それぞれ 54 %、74 %、70 % であった。第二ヘルパーは、子育てを手伝っていた夫婦の雄が死亡した場合、自分自身が配偶相手となることが多く、配偶相手を見つける確率が高い。なお、第一ヘルパーが子育てを手伝った弟妹の平均的な血縁度は 0.32 であった。二齢時までの包括適応度を求めたとき、フリー雄の値はいくつか。また、第一ヘルパーの値から第二ヘルパーの値を引いた値はいくつか。なお、残した子の数は生殖可能な年齢に達した子の数を示す。計算の途中で四捨五入することなく、必要ならば、最後に小数点以下第三位を四捨五入して答えよ。

フリー雄の包括適応度：0.

第一ヘルパーと第二ヘルパーの包括適応度の差：0.

- ① 1 ② 2 ③ 3 ④ 4 ⑤ 5
 ⑥ 6 ⑦ 7 ⑧ 8 ⑨ 9 ⑩ 0