


令和4年度 次世代の科学技術を担う人材育成事業

 **福岡県**
高校生科学技術コンテスト
ファーストステージ
生物

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 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚れなどに気付いた場合は、挙手をして監督者に知らせなさい。ただし、問題内容にかかわる質問は、受け付けません。
- 3 解答用紙には、解答欄以外に次の記入欄があるので、監督者の指示に従って正しく記入しなさい。
 - (1) 受験番号欄…受験票に記入されている受験番号を記入しなさい。
 - (2) 氏名欄…氏名を楷書で記入しなさい。
 - (3) 所属校名欄…受験票に記入されている所属校名を記入しなさい。
- 4 問題冊子の余白等は適宜利用してよいが、どのページも切り離してはいけません。

受験番号	
氏名	
所属校名	

 福岡県教育委員会

第1問

次の各問いに答えよ。

問1 次の文を読み、下の(1)～(3)の問いに答えよ。

1953年にワトソンとクリックによってDNAの二重らせん構造が解明された当時、DNAの複製方法には次の3つの仮説があった(図1)。

仮説1 複製前の2本鎖DNAはそのまま残り、新たな2本鎖DNAができる。(保存的複製)

仮説2 新たに生じた2本鎖DNAは、複製前のDNAのヌクレオチド鎖と新たに合成されたヌクレオチド鎖からなる。(半保存的複製)

仮説3 複製後のヌクレオチド鎖は、部分的に複製前のDNAを含む。(分散的複製)

これら3つの説のうち仮説2が正しいことが、1958年に、メセルソンとスタールによって証明された。

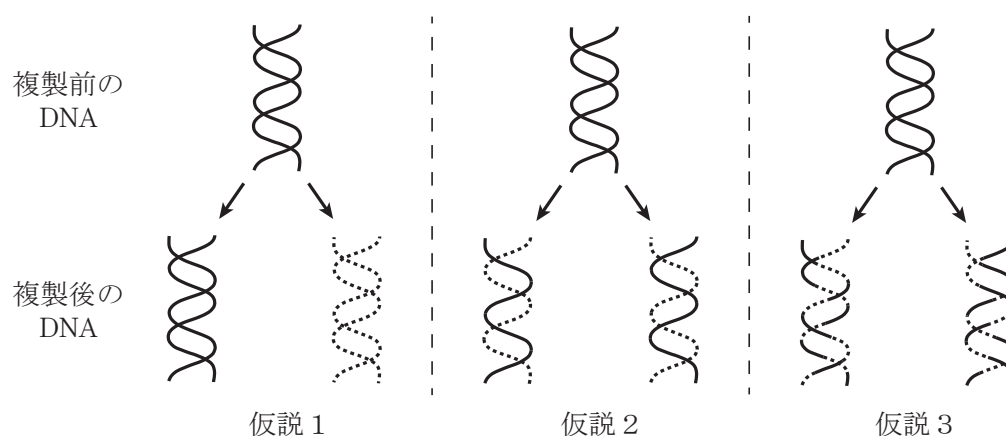


図1

図中の——は複製前のDNAを、……………は新たに生じたDNAを示している。

メセルソンとスタールは、窒素(N)の安定同位体である ^{14}N と ^{15}N を用いて、大腸菌に次のような実験を行った。大腸菌は外界から取り込んだ栄養分を使ってDNAを複製し、分裂する。栄養分として ^{14}N ではなく ^{15}N を与えて十分な時間培養し、すべてのDNAが ^{15}N のみからなる重いDNAとなった大腸菌を得た。次に、栄養分として ^{14}N を与えて培養し、1回、2回……と分裂を繰り返した大腸菌を得た。それらの大腸菌から抽出したDNAについて、 ^{14}N は ^{15}N よりも軽いことを利用し、密度勾配遠心法を用いてその比重を調べた。その結果、1回分裂後(1代目)の大腸菌からは ^{14}N と ^{15}N の中間の重さのDNAのみが、2回分裂後(2代目)の大腸菌からは ^{14}N の重さのDNAと、 ^{14}N と ^{15}N の中間の重さのDNAとが1:1の割合で得られた。このことから、仮説2が正しいことが証明された。

(1) 大腸菌は、1つの細胞が2つの細胞に分裂することで増える。この分裂の速度は生育環境によって異なる。20分で1回分裂する環境で大腸菌を培養したとき、3時間後の細胞数は当初の何倍になるか答えよ。なお、培養中のすべての大腸菌の細胞周期は同期しており、培養を開始してから20分で1回目の分裂が完了したものとする。

(2) DNAに関する記述として誤っているものはどれか。次の①～⑤のうちから一つ選べ。

- ① DNAのヌクレオチドは、デオキシリボースに塩基とリン酸が結合してできている。
- ② DNAの塩基にはアデニン(A)、グアニン(G)、シトシン(C)、チミン(T)の4種類がある。
- ③ DNAの2本鎖に含まれるアデニンとグアニンの割合は等しい。
- ④ DNAからRNAへ、RNAからタンパク質へという遺伝情報の流れをセントラルドグマと呼ぶ。
- ⑤ DNAは連続した3つの塩基の並び順でアミノ酸を指定している。

(3) DNAの複製方法の仮説のうち、仮説1または仮説3が正しい場合、それぞれ2代目のDNAの重さはどのようにになると考えられるか。次の①～⑧のうちから最も適切なものをそれぞれ一つずつ選べ。なお、重いDNA、中間の重さのDNA、軽いDNAを順にA、B、Cとする。

- ① AとBの比率が1:3となる。
- ② AとCの比率が1:3となる。
- ③ BとCの比率が1:3となる。
- ④ すべてAとなる。
- ⑤ すべてBとなる。
- ⑥ すべてCとなる。
- ⑦ すべてAとBの中間の重さとなる。
- ⑧ すべてBとCの中間の重さとなる。

問2 次の文を読み、下の(1)~(3)の問いに答えよ。

キイロショウジョウバエ (以下、ショウジョウバエ) は、飼育や繁殖にかかる手間が少ないこと、一世代が短いことなどから、さまざまな研究で実験動物として広く利用されている。ショウジョウバエはXY型のヘテロ型性決定様式の動物であり、通常は赤い眼をしている。1910年にモーガンは、白い眼をした突然変異体のショウジョウバエ個体を見つけ、これを用いて遺伝子が染色体中に存在することを実証した。モーガンが行った実験の概略は以下のとおりである。

赤い眼をしたメス(野生型)と白い眼をしたオスを交配させ、生じた子(F₁世代)の性別と眼の色を調べた。その結果、個体数の比は、赤眼メス：白眼メス：赤眼オス：白眼オス=1：0：1：0であった。なお、「0」はその形質をもつ個体が生じなかったことを示している。次にF₁世代の赤い眼をしたメスとF₁世代の赤い眼をしたオスを交配させ、生じた子(F₂世代)の眼の色を調べた。その結果、形質の出現比率は赤眼：白眼=3：1であったが、白い眼をした個体はすべてオスであった。

(1) ショウジョウバエの体細胞における核相は $2n=8$ と表される。ショウジョウバエの染色体に関する記述として適切なものを、次の①~⑥のうちからすべて選べ。

- ① 体細胞には2対4本の染色体が含まれる。
- ② 体細胞には4対8本の染色体が含まれる。
- ③ 体細胞には常染色体が3対含まれる。
- ④ 生殖細胞の核相は $n=4$ で表すことができる。
- ⑤ 生殖細胞の核相は $n=8$ で表すことができる。
- ⑥ 生殖細胞には性染色体が2本含まれる。

(2) ショウジョウバエの眼の色を白くする遺伝子を W 、赤くする遺伝子を R とする。実験の結果に対する考察として適切なものを、次の①~④のうちから二つ選べ。

- ① これらの遺伝子は独立(異なる染色体上に存在)している。
- ② これらの遺伝子は連鎖(同一の染色体上に存在)している。
- ③ 遺伝子 W は遺伝子 R に対して優性である。
- ④ 遺伝子 R は遺伝子 W に対して優性である。

(3) F₂世代ではメスはすべて赤い眼となり、白い眼の形質はオスのみでみられた理由は何故だと考えられるか。雌雄での染色体の組み合わせをもとに考察せよ。なお、解答は解答欄の所定の欄に45字以内で記入すること。また、遺伝子 W 、遺伝子 R はそれぞれ「W」、「R」と略してよい。

問3 次の文を読み、下の(1)~(3)の問いに答えよ。

生物は、光や音、重力などのさまざまな刺激を、眼や耳などによって受容している。このような刺激を受容する器官を受容器という。次の図2はヒトの、光(可視光線)の受容器である眼の模式図である。

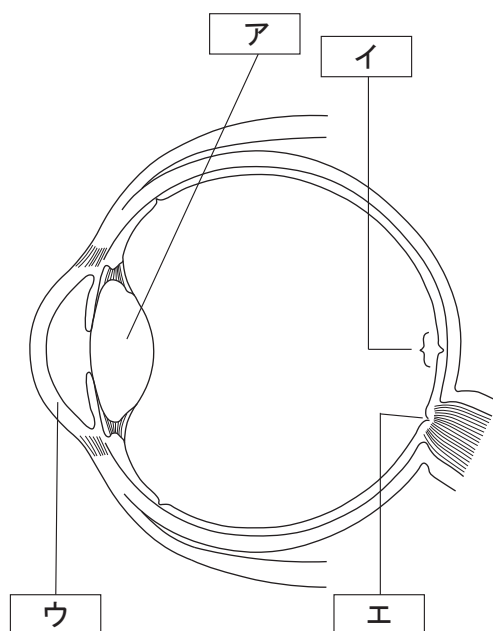


図2

- (1) 図2中の **ア** ~ **エ** にあてはまる語句として最も適切なものを次の語群からそれぞれ一つずつ選べ。

【語群】

黄斑、角膜、ガラス体、虹彩、瞳孔、水晶体、盲斑、網膜、脈絡膜

- (2) ヒトの桿体細胞に関する記述として適切なものを、次の①~⑤のうちから二つ選べ。

- ① 吸収する光の波長によって感度の異なる3種類の桿体細胞がある。
- ② うす暗い場所でよくはたらくが、色の識別には関与しない。
- ③ 網膜上の、視野の中心部に相当する部分に多く分布している。
- ④ 網膜上の、視野の周辺部に相当する部分に多く分布している。
- ⑤ 網膜上の、視野の全体に相当する部分に均等に分布している。

(3) 眼には、物体までの距離に応じて焦点の位置を調節するしくみがある。次の文章はヒトの眼の遠近調節について述べたものである。文中の空欄 **A** ~ **D** にあてはまる語句の組み合わせとして最も適切なものを、下の①~④のうちから一つ選べ。

近くのをみるときは、毛様筋が **A** することでチン小帯が **B** , 図2中の **ア** が厚くなる。遠くのをみるときは、毛様筋が **C** することでチン小帯が **D** , 図2中の **ア** が薄くなる。

- | | A | B | C | D |
|---|----------|----------|----------|----------|
| ① | 弛緩 | 引っ張られ | 収縮 | 緩み |
| ② | 弛緩 | 緩み | 収縮 | 引っ張られ |
| ③ | 収縮 | 引っ張られ | 弛緩 | 緩み |
| ④ | 収縮 | 緩み | 弛緩 | 引っ張られ |

問4 次の文を読み、下の(1)~(3)の問いに答えよ。

生物を共通性にもとづいてグループ分けすることを分類という。生物の分類は、形態や発生、DNAの塩基配列などの共通性にもとづいて行われる。18世紀の学者リンネは、生物の学名を2つのラテン語の組み合わせによって示す二名法と、種を系統にもとづいて段階的にグループ分けする階層的分類を考案した。リンネによって考案された階層的分類体系（リンネ体系）では、近縁な種を同じ属でまとめ、近縁な属を同じ **ア** でまとめる。以下同様にまとめていき、種・属・**ア**・**イ**・綱・**ウ**・界とした。現在では、界をさらに上の分類群である **エ** にまとめる考え方もある。

生物の系統関係を樹木の形に表した図を系統樹と呼ぶ。生物の系統も、形態や発生、DNAの塩基配列などの共通性にもとづいて推測される。生物を形質の差異にもとづいて分類する場合、進化によって新たに生じた形質にもとづいて系統関係を推測する。図3は、A~Dのある生物種の系統について、四肢の有無など形態的な形質の違いをもとに推測したものである。現在では、生物種間におけるDNAやRNAの塩基配列、タンパク質のアミノ酸配列の違いを比較することで系統関係を推測することが一般的である。塩基配列などをもとに推測することで、着目する形質が共通の祖先に由来しているか否かを判断することや、塩基配列の差異から2種の生物種に分かれた時期を推測することが可能である。

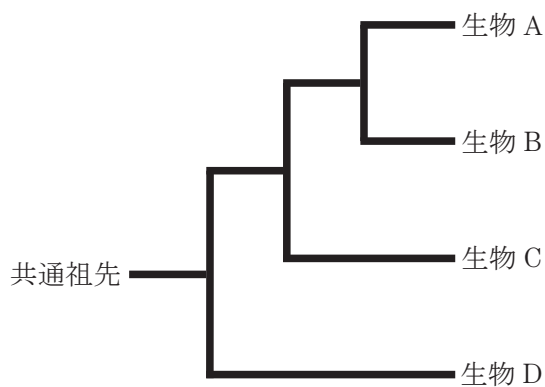


図3

(1) 文中の空欄 **ア** ～ **エ** にあてはまる分類階級の名称として適切なものをそれぞれ答えよ。

(2) 脊椎動物に分類される生物として適切なものを、次の①～⑦のうちからすべて選べ。

- ① イモリ
- ② カブトムシ
- ③ キンギョ
- ④ スズメ
- ⑤ タコ
- ⑥ ヒツジ
- ⑦ ヤモリ

(3) 図3に関する記述として適切なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

- ① 生物 A は B よりも新しく生じた種である。
- ② 生物 C は生物 A よりも生物 B と近縁である。
- ③ 生物 C は生物 A と同程度に生物 B と近縁である。
- ④ 生物 A・B・C は生物 D から進化したと推測できる。

第2問

生態と環境に関する次の文章(A・B)を読み、下の各問いに答えよ。

A 生物間にみられるさまざまなはたらき合いは、相互作用と呼ばれる。生物の生存と繁殖には(a)資源と呼ばれる要素が必要であり、同種の個体間・異種の個体間にかかわらず、資源を巡る相互作用が生じる。資源を巡る相互作用は競争と呼ばれる。特に同種の個体間では同一の資源を利用することが多いため、競争が起こりやすい。

生物の中には、ウマなどのように集団で生活するものや、クマなどのように単独で生活するものがある。単独で生活する生物においても、普通その生息地には同種の個体が複数みられ、互いに交流している。このような、ある地域で生活する同種の個体の集まりは(b)個体群と呼ばれる。さらに、ある一定の地域に生息する個体群の集まりを、生物群集と呼ぶ。食物連鎖や食物網は、生物群集の中で成立する生物間の関係である。

生物群集において、ある種が生活空間、食物連鎖、活動時間などの中で占める地位をニッチ(生態的地位)という。(c)ニッチの似た生物が同所に存在すると、普通、共通の資源を巡り競争が起こる。競争の程度はニッチが似ている種間ほど強い傾向があり、競争に敗れた種は駆逐される場合がある。また、異なる地域において、同じニッチを占める種を生態的同位種と呼ぶ。生態的同位種の中には、ウシの仲間のコビトカバとネズミの仲間のカピバラのように、系統は大きく離れているが(d)形態が似ているものもみられる。

問1 下線部(a)に関して、次のA~Gのうちクマにとっての資源として適切なものはどれか。あてはまるものをすべて選び、解答欄にその記号を記せ。

- A 酸素 B 温度 C 食料 D 配偶者
E 捕食者 F 子孫 G 生息場所

問2 下線部(b)について、次の表1はある牧場で飼育されているウマの個体数と年齢である。以下の(1)・(2)の各問いに答えよ。

表1

年齢	0 2	3 4	5 6	7 8	9 10	11 12	13 14	15 16	17 18	19 20	21 22	23 24	25 26	27 以上
個体数	4	6	6	8	10	6	6	4	2	4	2	2	2	0

- (1) 年齢の低い方から順にそれぞれの年齢層の個体数を積み重ねて図示したものを年齢ピラミッドと呼ぶ。年齢ピラミッドはその概形から、図1に示した幼若型、安定型、老齢型の3つに分けることができる。この牧場におけるウマの年齢ピラミッドを解答用紙の解答欄に描き、型の名称として最も適切なものを答えよ。なお、生殖を行う年齢にある個体を生殖層とし、このウマは5歳～14歳の間に生殖を行うものとする。

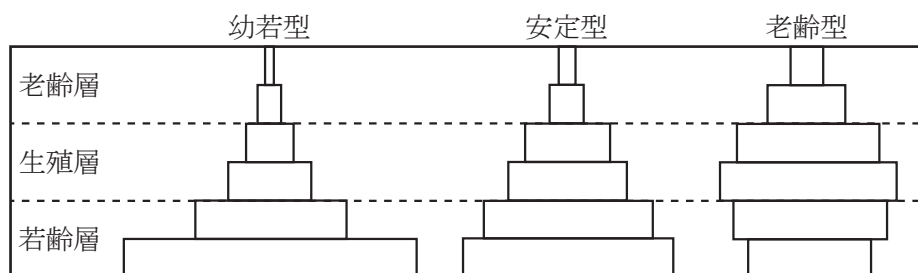


図1

- (2) このウマの個体群について、年齢ピラミッドの概形から考えて、今後、若齢個体が老齢個体にまで成長したとき、個体群の個体数はどのように推移すると考えられるか。最も適切なものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし、この牧場に外部からウマの移入や移出はなく、各年齢層の死亡率は一定とする。

- ① 老齢層よりも若齢層の割合が高いことから、死亡率より出生率の方が高くなり、個体群を構成する個体の数は増加していくと考えられる。
- ② 老齢層よりも生殖層の割合が低いことから、死亡数が増えるが出生率も高く、個体群を構成する個体数に大きな変化はないと考えられる。
- ③ 若齢層よりも老齢層の割合が高いことから、出生率は下がり、幼若型のピラミッドに推移すると考えられる。
- ④ 若齢層よりも生殖層の割合が高いことから、今後出生数が上がり、個体群を構成する個体数は増加していくと考えられる。
- ⑤ 生殖層よりも老齢層の割合が高いことから、死亡率は下がり、安定型のピラミッドに推移すると考えられる。
- ⑥ 生殖層よりも若齢層の割合が低いことから、出生率より死亡率の方が高くなり、個体群を構成する個体の数は減少していくと考えられる。

問3 下線部(c)について、必要とする資源の要素が似た種どうしでも、同じ地域で共存することができる場合がある。資源の利用の仕方をもとに考察し、その理由を説明せよ。なお、解答は解答欄の所定の欄に50字以内で記入すること。

問4 下線部 (d) について、生物がもつ器官の中には相同器官と呼ばれるものや相似器官と呼ばれるものがある。次の A~E はそれぞれ相同器官と相似器官のどちらにあてはまるか。解答用紙の解答欄に記号で答えよ。なお、A~E の中には相同器官でも相似器官でもないものも含まれている。

- | | |
|------------------|-----------------|
| A コウモリの翼とクジラの胸びれ | B クジラの尾びれとイヌの後肢 |
| C チョウの翅とハトの翼 | D ヒトの足とハトの肢 |
| E ワニの前肢とハトの翼 | |

B ある生物のからだは、別の生物種の形態や周囲の風景と見分けがつかない色や形になる適応的な現象は、総称して擬態と呼ばれている。擬態は、幅広い生物種で観察されており、その様式によっていくつかの型に分類できる。例えば、「無毒な生物が、有毒な生物に紋様や形態を似せることで天敵から身を守るもの」はベイツ型擬態と呼ばれる。

ベイツ型擬態には、擬態する種の中に擬態しない個体が混じっていることがある。インドから東南アジアの熱帯域に広く分布するシロオビアゲハというチョウは地域によってさまざまな模様をもつことが知られている。日本ではベニモンアゲハという毒をもつチョウとともに沖縄地方でみられ、この地域のシロオビアゲハのメスの一部はベニモンアゲハに擬態している。シロオビアゲハのメスでのみ擬態がみられる理由については、メスは卵を抱えており栄養が豊富なことからオスよりも天敵に狙われやすく、メスにだけ擬態が進化したと考えられている。以降、擬態するシロオビアゲハのメスを擬態メスとする。一部のメスのみが擬態する理由について、「シロオビアゲハのメスの擬態率は、その地域に生息するベニモンアゲハ（毒蝶）の密度に依存する」という⁽⁶⁾仮説（擬態率の毒蝶依存説）がたてられ、以下の調査が行われた。

調査1 竹富島、石垣島、宮古島、沖縄島、喜界島を対象に、各島に生息する⁽⁶⁾毒蝶のみかけをしたチョウに対するベニモンアゲハの密度（以下、毒蝶指数）と、シロオビアゲハの集団のうち何割が擬態を行うかを示す擬態率を調査した。その結果をまとめると、図2のようになった。

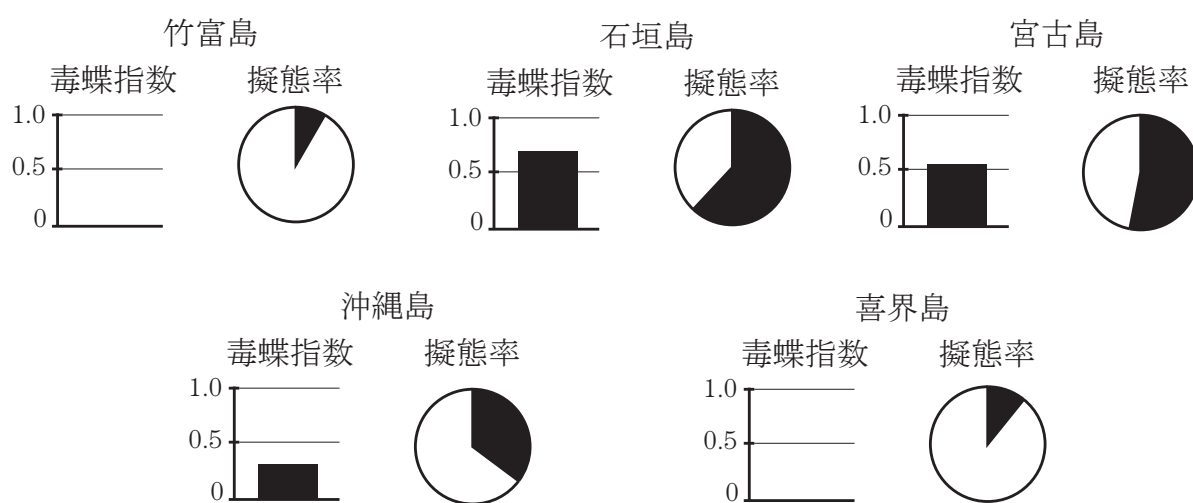


図2

調査2 各島に定着したシロオビアゲハの集団の遺伝的な違いが、擬態率に影響を及ぼしているかどうかを調査するため、調査1の対象とした各島のシロオビアゲハについて、ミトコンドリアDNA（以下、mtDNA）を用いて系統解析を行い、遺伝的距離を推定した。その結果、シロオビアゲハのメスがベニモンアゲハに擬態するかないかは、島に定着した集団の系統とは無関係であることがわかった。

調査3 調査2で解析を行った mtDNA の配列情報をもとに、各島に定着したシロオビアゲハの集団が存在している時間を推定した。その結果、石垣島と竹富島の集団はかなり古くからこれらの島に定着しており、喜界島と宮古島の集団は比較的新しい集団であると推定された。

調査4 調査2で解析を行った mtDNA の配列情報と気象庁のアメダスデータ、各島間の距離をもとに、島間の擬態率の差が地理的距離、気候環境の違いと関連しているかどうかを調査した。

調査2・4の結果をまとめると、図3のようになった。

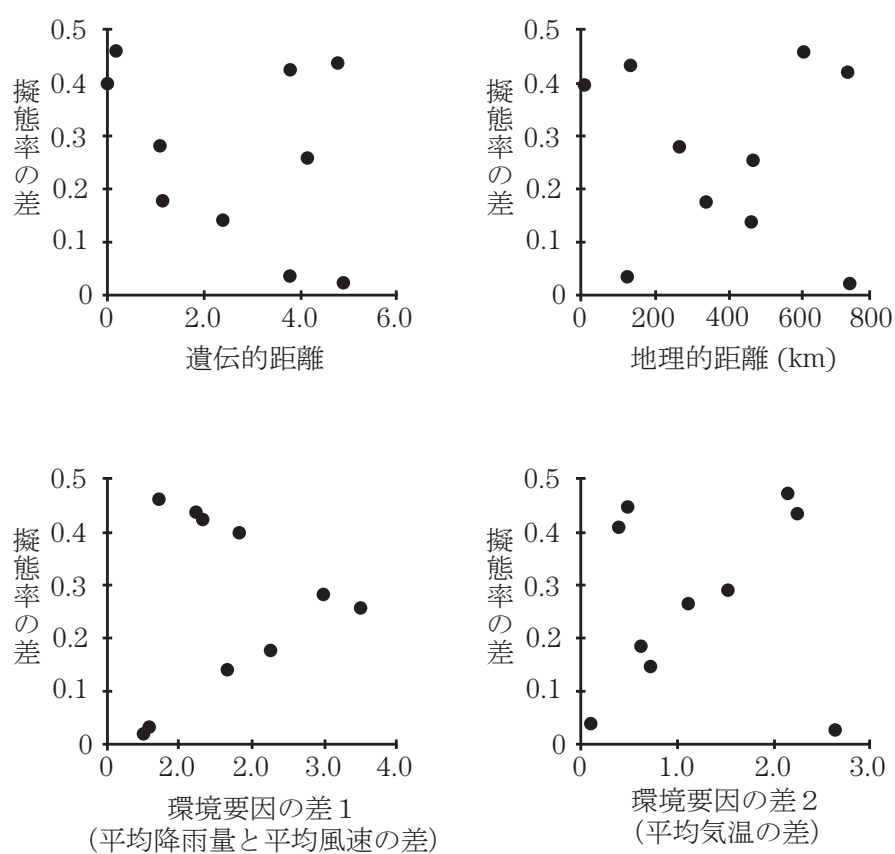


図3

問5 下線部 (e) について、次の文章は擬態率の毒蝶依存説について述べたものである。文章中の空欄 **ア** ~ **ウ** にあてはまる語句の組み合わせとして最も適切なものを、下の①~⑧のうちから一つ選べ。

シロオビアゲハの行うベイツ型擬態は、無毒な擬態蝶が自身を毒蝶にみせかけて天敵をあざむく現象であり、天敵が毒蝶を捕食し、毒蝶のみかけを学習することで成立する。擬態すると天敵に捕食されにくくなるが、擬態蝶の個体数が毒蝶に比べて **ア** と、天敵が擬態蝶を捕食する機会が増えるため、学習が **イ** なる。このことから、集団内で擬態できる個体の割合(擬態率)に上限があると考えられる。また、その上限は、同じ地域に生息する毒蝶の個体数が多いほど **ウ** なると考えられる。この仮説を証明するためには、毒蝶の個体数が異なる地域間での擬態率の比較と、天敵以外の要素が擬態率に影響するかどうかを調査する必要がある。

- | | ア | イ | ウ |
|---|-------|--------|----|
| ① | 多すぎる | 成立しやすく | 高く |
| ② | 多すぎる | 成立しやすく | 低く |
| ③ | 多すぎる | 成立しにくく | 高く |
| ④ | 多すぎる | 成立しにくく | 低く |
| ⑤ | 少なすぎる | 成立しやすく | 高く |
| ⑥ | 少なすぎる | 成立しやすく | 低く |
| ⑦ | 少なすぎる | 成立しにくく | 高く |
| ⑧ | 少なすぎる | 成立しにくく | 低く |

問6 生物の個体数を推定する方法には「区画法」や「標識再捕法」などがある。これらの方法は、よく移動する動物か否かなど、対象とする生物の特性に応じて使い分けられている。次の資料は、区画法および標識再捕法の説明と、それぞれの方法で50 m²の調査対象地（調査地A）におけるチョウBの個体数を調査した結果である。しかし、推定に用いた2つの方法のうち一方は、チョウBの個体数調査方法として適していない。区画法と標識再捕法のうち、チョウBの個体数を推定するのに適した方法はどちらか。また、調査地AにおけるチョウBの全個体数の推定値として最も適切な値を答えよ。

資料

[区画法]

調査対象地で同じ面積の区画を複数個所定め、各区画内の対象生物の個体数を数えて、次の式を用いて調査対象地全体の個体数を推定する方法。

$$\text{全個体数} = \text{区画内の個体数の平均値} \times \frac{\text{調査対象地の面積}}{1 \text{ 区画の面積}}$$

調査地Aに2 m×2 mの正方形の区画を8つ（区画1～8）を設置し、各区画内で発見したチョウBの個体数を記録した。表2はその結果である。なお、8つの区画はそれぞれ重なっておらず、チョウBは各区画を自由に出入りできたものとする。

表2

	区画1	区画2	区画3	区画4	区画5	区画6	区画7	区画8
個体数	0	1	1	2	2	3	1	2

[標識再捕法]

調査対象地にて対象とする生物を複数個体捕獲し、標識を付けて放す。その後、標識された個体が個体群内（その地域の同じ生物種内）で他個体と十分に混ざり合うことができる期間をおいてから、2回目の捕獲を行う。2回目に捕獲した全個体の中に標識個体がどれだけ存在するかを調べ、次の式を用いて調査対象地全体の個体数を推定する方法。

$$\text{全個体数} = \text{最初に捕獲して標識した個体数} \times \frac{\text{2回目に捕獲した個体数}}{\text{2回目に捕獲した標識個体数}}$$

調査地AにてチョウBを25個体捕獲し、そのすべてに標識を付けた後に放した。十分に期間をおいた後、再びチョウBを12個体捕獲したところ、そのうち5個体に標識が付いていた。

なお、この調査期間における調査地AのチョウBについて、死んだ個体や新たに羽化した個体はおらず、調査地Aから個体の移出や移入はなかったものとする。また、標識はチョウBの行動に影響を与えず、調査が終了するまで付いていたものとする。

問7 下線部 (f) について、毒蝶指数の計算式として最も適切なものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。

① 毒蝶指数 = $\frac{\text{シロオビアゲハの個体数}}{\text{ベニモンアゲハの個体数}}$

② 毒蝶指数 = $\frac{\text{ベニモンアゲハの個体数}}{\text{シロオビアゲハの個体数}}$

③ 毒蝶指数 = $\frac{\text{擬態メスの個体数}}{\text{ベニモンアゲハの個体数}}$

④ 毒蝶指数 = $\frac{\text{擬態メスの個体数}}{\text{シロオビアゲハの個体数}}$

⑤ 毒蝶指数 = $\frac{\text{ベニモンアゲハの個体数}}{\text{ベニモンアゲハの個体数} + \text{擬態メスの個体数}}$

⑥ 毒蝶指数 = $\frac{\text{シロオビアゲハの個体数}}{\text{ベニモンアゲハの個体数} + \text{擬態メスの個体数}}$

問8 調査1の結果からわかることとして最も適切なものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。

- ① 毒蝶指数が高い地域ほど、シロオビアゲハの個体数が多くなる。
- ② 毒蝶指数が高い地域ほど、擬態メスの割合が高くなる。
- ③ 毒蝶指数が低い地域ほど、シロオビアゲハの個体数が多くなる。
- ④ 毒蝶指数が低い地域ほど、擬態メスの割合が高くなる。
- ⑤ 毒蝶指数と擬態メスの割合に関連はない。
- ⑥ 毒蝶指数と擬態メスの割合の関係は調査地域ごとに異なる。

問9 調査1～調査4の結果からわかることとして最も適切なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。

- ① 擬態率は地理的距離や遺伝的要素とは関係がなく、環境要因によって左右される。
- ② 擬態率は環境要因とは関係がなく、島に定着した時期が古いほど高くなる。
- ③ 擬態率は環境要因や毒蝶指数とは関係がなく、それぞれの島に定着した集団が独自に進化させた。
- ④ 擬態率は地理的距離および環境要因、遺伝的要因に左右されず、毒蝶指数によって左右されることから、擬態率の毒蝶依存説は支持される。
- ⑤ 擬態率は地理的距離および環境要因、遺伝的要因に左右され、毒蝶指数によって左右されないことから、擬態率の毒蝶依存説は否定される。

第3問

生物の体内環境に関する次の文章(A・B)を読み、下の各問いに答えよ。

A 生物は生きていくために、自身を取り巻く外界からエネルギー源やさまざまな栄養素を摂取しなければならない。栄養素の大部分は、動物、植物および微生物などの生物それ自体や、それらの生物に由来するものであり、おもに炭水化物や脂肪、タンパク質などの有機物である。これらは体内に取り込まれた後、エネルギー源として細胞呼吸に使用されたり、アミノ酸はタンパク質合成の際に使用される。

ヒトの場合、食物の消化・吸収は口からはじまり、食道・胃・小腸・大腸などの消化管で行われる。

問1 消化または吸収についての説明として正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。

- ① 消化とは、摂取した食物を消化液などによって元素にまで分解する過程である。
- ② 消化とは、摂取した栄養分をエネルギー源として消費する過程である。
- ③ 消化とは、摂取した栄養分から ATP を合成する過程である。
- ④ 吸収とは、摂取した栄養分を血液中に取り込む過程である。
- ⑤ 吸収とは、摂取した栄養分を細胞内に蓄える過程である。
- ⑥ 吸収とは、摂取した栄養分から ATP を合成する過程である。

問2 炭水化物、脂肪を分解する酵素の名称として適切なものを、次の語群の中からそれぞれ一つずつ選べ。

【語群】

アミラーゼ、カタラーゼ、トリプシン、ヌクレアーゼ、カルボキシラーゼ、リパーゼ

問3 粉碎した食物とヒトの胃液を試験管内に入れて混ぜ合わせ、体内の胃と同じ温度に保って観察を行った。その結果について述べた記述として正しいものを、次の①～⑥のうちからすべて選べ。

- ① デンプンなどの多糖類がマルトースなどの二糖類に分解された。
- ② マルトースなどの二糖類が単糖類に分解された。
- ③ 脂肪がモノグリセリドに分解された。
- ④ 脂肪酸が脂肪に分解された。
- ⑤ 酸によってタンパク質が変性した。
- ⑥ タンパク質が低分子のポリペプチドに分解された。

問4 細胞呼吸には、グルコース以外に脂肪やタンパク質もエネルギー源（呼吸基質）として使われる。

呼吸で発生する二酸化炭素と消費した酸素の体積比 $\left(\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}\right)$ を呼吸商 (RQ) という。呼吸商は用いられた呼吸基質によってほぼ一定の値になるため、呼吸商を算出することで呼吸基質を推定することができる。呼吸基質として炭水化物を使用した際、脂肪を使用した際、アミノ酸を使用した際の呼吸商はそれぞれ約 1.0, 約 0.7, 約 0.8 である。次の式は脂肪酸の一種であるパルミチン酸 $\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$ を呼吸基質として用いたときの反応式である。下の(1)・(2)の各問いに答えよ。



(1) 式 (A) を参考に脂肪酸の一種であるオレイン酸 $\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$ を呼吸基質として用いたときの反応式を、係数が整数になる反応式で答えよ。

(2) オレイン酸の呼吸商の値を答えよ。なお、小数第三位を四捨五入して答えること。

問5 胃液には食物の消化を促進する2つの成分が含まれており、それらは胃の内壁にある2種類の細胞によって合成される。2種類のうち一方を壁細胞といい、塩酸を分泌する。もう一方を主細胞といい、消化酵素（以下、酵素 X）を分泌する。塩酸と酵素 X、水分などが混ざったものを胃液という。胃の内壁の一部を用いて、酵素 X の活性を調べる実験 1～3 を行った。

実験1 実験装置内で壁細胞に塩酸を、主細胞に酵素 X を分泌させて胃液を作成したところ、酵素 X の活性を確認できた。

実験2 実験1と同様の条件で壁細胞の塩酸分泌のみを阻害して胃液を作成したところ、酵素 X の活性を確認できなかった。

実験3 実験1と同様の条件で胃液を作成し、酵素 X の活性があることを確認した後、壁細胞の塩酸分泌のみを阻害し、さらに胃液を中和した。その後、主細胞に酵素 X を中和した胃液中に分泌させた。この胃液中の新たに分泌された酵素 X を調べたところ、活性を確認できた。

この結果から推測できることとして正しいものを、次の①～⑥のうちからすべて選べ。

- ① 酵素 X は塩酸によって活性化する。
- ② 酵素 X の活性は塩酸によって失われる。
- ③ 酵素 X は活性をもった状態で分泌される。
- ④ 酵素 X は活性をもたない状態で分泌される。
- ⑤ 活性をもつ酵素 X は、活性をもたない酵素 X を活性化する。
- ⑥ 活性をもたない酵素 X は、活性をもつ酵素 X を不活化する。

B ヒトの肝臓は消化管に付随する最も大きな内臓器官であり、その重さは成人で1.2～2.0 kgである。肝臓には動脈（肝動脈）と静脈（肝静脈）の他に、消化管やひ臓から出る静脈が合流した **ア** とも繋がっている。消化管から心臓へ戻るほぼすべての血液は、 **ア** を通って一度肝臓に入る。

肝臓は **イ** と呼ばれる基本単位からなっており、肝臓全体で約50万個存在している。肝動脈と肝静脈は、それぞれ枝分かれして **ウ** と呼ばれる毛細血管となり、 **イ** の中を通る。 **ウ** を流れる血液は、 **イ** の中心にある静脈（中心静脈）に集まり、他の肝小葉からの血液とともに肝静脈を経て心臓へ戻る。また、 **イ** の中には胆細管という管もあり、これが集まって **エ** へと繋がっている。

問6 空欄 **ア** ～ **エ** にあてはまる語として最も適切なものをそれぞれ答えよ。

問7 肝臓のはたらきについて述べた記述として最も適切なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

- ① グリコーゲンの一部をグルコースとして肝細胞内に貯える。
- ② 血中のイオン濃度や水分量を保ち、原尿中に尿素などを排出している。
- ③ 血糖値が高いときにはインスリンを分泌し、血糖値を下げる役割をもつ。
- ④ 血しょうに含まれるアルブミンなどのタンパク質を合成している。

問8 消化管から出た血液は肝臓を経て心臓へと戻る。この血液の流れの利点について、肝臓のはたらきに着目して説明せよ。なお、解答は解答欄の所定の欄に45字以内で記入すること。

問9 病気などによって肝臓の機能が低下した場合、食事をする際に注意が必要となる。なぜ注意が必要となるかを、タンパク質の分解に着目して説明せよ。なお、解答は解答欄の所定の欄に45字以内で記入すること。

第4問

免疫に関する次の文章 (A～C) を読み、下の各問いに答えよ。

A ヒトのからだはウイルス、細菌、カビなどの病原体や、有害な化学物質などの異物に常にさらされている。ヒトはこれらの異物の体内への侵入を、^(a)物理的防御・化学的防御によって防いでいる。さらに、異物がこれらの防御を越えて体内に侵入すると、免疫のはたらきによってこれらを排除する。ヒトは高度に発達した免疫のしくみをもっており、免疫には好中球、マクロファージ、、リンパ球 (B 細胞、T 細胞、NK 細胞) など、さまざまな細胞が関わっている。

体内に侵入した病原体や異物は、まず好中球、マクロファージなどの食細胞によって細胞内に取り込まれ、消化・分解される。食細胞は、病原体がもつ分子に特有のパターンを認識する Toll 様受容体 (TLR) をもっており、病原体の侵入を速やかに感知して化学物質を放出し、^(b)炎症を引き起こす。このような食細胞による食作用を中心とした免疫反応を といい、さまざまな病原体や異物に対して非特異的にはたらく。

によって排除しきれなかった病原体や異物に対しては、特異的に反応するリンパ球を中心とした適応免疫 (獲得免疫) のしくみがはたらく。一般にリンパ球が認識して反応する物質を抗原といい、病原体の表面にある物質や、病原体が分泌する毒素、非自己由来の化学物質などが抗原となる。

体内に侵入した抗原は、 やマクロファージによって消化・分解された後、その一部が細胞の表面に発現する (抗原提示)。この抗原とヘルパー T 細胞が結合することによって、ヘルパー T 細胞が活性化され、さらにこのヘルパー T 細胞が B 細胞を刺激して、抗体を分泌する形質細胞 (抗体産生細胞) に分化させる。分泌された抗体が抗原と結合することで、抗原が速やかに排除される。このような抗体と抗原の反応を抗原抗体反応といい、この反応を中心とした免疫反応を という。

一方、ウイルスなどの病原体に感染された細胞は、その表面に病原体由来の抗原を発現するので、そのような細胞は活性化されたキラー T 細胞によって傷害され、排除される。このような免疫反応を という。

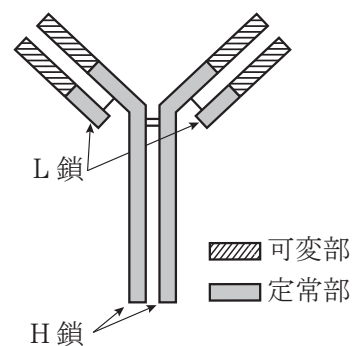
適応免疫では、同じ抗原が再び侵入したときに、抗原に対してより速く大きい反応が起こる。この現象を^(c)免疫記憶という。これによって、同じ病原体の 2 回目以降の感染では感染症を発症しない、あるいは発症しても症状が軽くなることが多い。

次の資料1は、抗体についての説明である。

資料1

抗体は免疫グロブリンと呼ばれるタンパク質であり、4本のポリペプチド鎖から構成されている(図1)。大きいH鎖と小さいL鎖がそれぞれ2本ずつ結合しており、産生するB細胞によって構造の異なる可変部と、構造の等しい定常部(不変部)がある。このうち、可変部が抗原と結合する部位である。

未熟なB細胞には、抗体分子の可変部の遺伝子群(遺伝子の断片)が、H鎖についてV遺伝子群・D遺伝子群・J遺伝子群の3群、L鎖についてV遺伝子群・J遺伝子群の2群含まれており、B細胞が成熟する過程でこの各群から断片がそれぞれ1つずつ選ばれて、抗体分子の可変部の遺伝子が再構成(再編成)される。このため、B細胞ごとに異なる抗原と結合する抗体分子が産生される。



問1 文中の空欄 **ア** ~ **エ** にあてはまる語として最も適切なものをそれぞれ答えよ。

問2 下線部(a)について、物理的防御・化学的防御に関する記述として誤っているものはどれか。次の①~⑥のうちから一つ選べ。

- ① 皮膚の真皮細胞はコラーゲンを合成し、表皮と真皮の間に角質層を形成している。
- ② だ液や汗にはリゾチームという酵素が含まれる。
- ③ 胃は胃酸(塩酸)を分泌することで、口から胃に入り込んだ細菌の増殖を抑えている。
- ④ 消化管内壁の上皮細胞は粘液を分泌し、粘膜を形成している。
- ⑤ 気管内壁の上皮細胞には繊毛があり、常に運動している。
- ⑥ 腸の内部にはさまざまな常在菌が生息しており、その他の病原体が増殖することを抑えている。

問3 下線部(b)について、炎症について述べた記述として最も適切なものを、次の①~④のうちから一つ選べ。

- ① 食細胞が放出する化学物質によって病原体が死滅し、化膿して周辺組織を傷つける現象。
- ② 食細胞が放出する化学物質によって毛細血管が収縮し、水ぶくれができる現象。
- ③ 食細胞が放出する化学物質によって毛細血管が拡張し、血流量が増えて熱をもつ現象。
- ④ 食細胞が放出する化学物質によって痛みが抑制され、組織の修復が促進される現象。

問4 下線部(c)の免疫記憶の現象が起こるしくみについて説明した記述として適切なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

- ① 1回目の免疫反応で活性化したリンパ球がそのまま体内に残り続けるため。
- ② 1回目の免疫反応で分泌した抗体が体内に残り続けるため。
- ③ 1回目の免疫反応で活性化したリンパ球が記憶細胞として体内に残るため。
- ④ 1回目の免疫反応で異物を取り込んだ食細胞が記憶細胞として体内に残るため。

問5 資料1の抗体可変部の多様性が遺伝子の再構成によって生じていることを確かめ、ノーベル生理学・医学賞を受賞した日本人研究者名として適切なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。

- ① 岡崎 令治 ② 北里 柴三郎 ③ 木村 資生 ④ 利根川 進 ⑤ 山中 伸弥

B T細胞の活性化には抗原提示が必要である。この抗原提示に関わるタンパク質が^(d)MHC分子である。MHC分子は、タンパク質が分解して生じた短いペプチドを抗原として挟み込む構造になっている。

T細胞は細胞表面にT細胞受容体(TCR)を発現している。樹状細胞などがMHC分子に挟み込んで提示した抗原を、T細胞はTCRとMHC分子を結合することで認識する。TCRは抗体とよく似た構造のタンパク質であり、T細胞ごとに発現しているTCRの構造が異なっている。したがって、MHC分子に挟み込まれた抗原とよく結合するTCRを発現しているT細胞だけが、抗原提示によって活性化することになる。TCRの多様性は抗体分子と同様に遺伝子の再構成によって生じていることが知られている。

次の資料2は、TCRについての説明である。

資料2

多くのT細胞のTCRは、 α 鎖と β 鎖という2本のポリペプチド鎖から構成されている(図2)。 α 鎖の遺伝子は $V_\alpha \cdot J_\alpha$ という2つの遺伝子群から、 β 鎖の遺伝子は $V_\beta \cdot D_\beta \cdot J_\beta$ という3つの遺伝子群から再構成される。

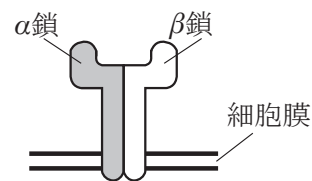


図2

α 鎖の遺伝子では、 V_α の断片と J_α の断片が組み合わされて、 $V_\alpha J_\alpha$ となる。一方、 β 鎖の遺伝子では、 D_β の断片と J_β の断片がまず組み合わされ、次に V_β の断片がこの $D_\beta J_\beta$ と組み合わされて、 $V_\beta D_\beta J_\beta$ となる。このとき、 D_β と J_β は2群に分かれて配列しているため(図3)、 $D_{\beta 1}$ は $J_{\beta 1}$ の断片または $J_{\beta 2}$ の断片と組み合わされるが($V_\beta D_{\beta 1} J_{\beta 1}$, $V_\beta D_{\beta 1} J_{\beta 2}$)、 $D_{\beta 2}$ は $J_{\beta 2}$ の断片のみと組み合わされる($V_\beta D_{\beta 2} J_{\beta 2}$ のみ)。

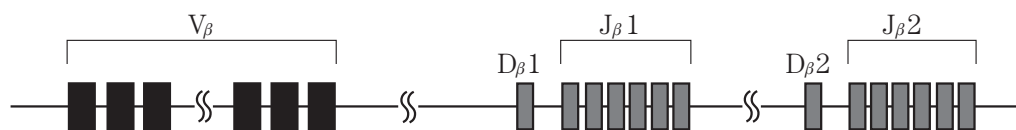


図3

問6 下線部 (d) について、次の文章は MHC 分子について述べたものである。文中の空欄 **オ** ~ **ク** にあてはまる語の組み合わせとして最も適切なものを、下の①~④から一つ選べ。

MHC 分子にはクラス I 分子とクラス II 分子があり、クラス I 分子には細胞内で合成されたペプチドが挟み込まれ、ウイルスなどの病原体に感染されたときは、病原体由来のペプチドが挟み込まれる。一方、クラス II 分子には細胞が食作用で取り込んだペプチドが挟み込まれる。

オ 分子はほとんどすべての体細胞の表面に発現するのに対して、**カ** 分子は抗原提示細胞のみに発現する。

ヘルパー T 細胞の TCR は MHC 分子のうち **キ** 分子のみと結合するため、ヘルパー T 細胞は抗原提示細胞によって活性化され、ふつうの体細胞によって活性化されることはない。一方、キラー T 細胞の TCR は MHC 分子のうち **ク** 分子のみと結合するため、キラー T 細胞は病原体由来の抗原を MHC 分子に挟み込んで発現している体細胞によって活性化され、この体細胞を傷害する。

	オ	カ	キ	ク
①	クラス I	クラス II	クラス I	クラス II
②	クラス I	クラス II	クラス II	クラス I
③	クラス II	クラス I	クラス I	クラス II
④	クラス II	クラス I	クラス II	クラス I

問7 TCR の遺伝子群が、 V_α : 100 個、 J_α : 20 個、 V_β : 30 個、 D_β : 2 個 ($D_{\beta 1}$, $D_{\beta 2}$: 各 1 個)、 J_β : 12 個 ($J_{\beta 1}$, $J_{\beta 2}$: 各 6 個) があると仮定したとき、以下の(1)・(2)の各問いに答えよ。

- (1) 遺伝子の再構成によって生じうる α 鎖遺伝子、および β 鎖遺伝子の組み合わせはそれぞれ何通りあると考えられるか答えよ。
- (2) 1 種類の遺伝子から 1 種類の TCR が生じるものとするとき、このとき TCR 分子は理論上何種類生じうると考えられるか答えよ。

C 成人した健康なヒトの体内では、免疫に関わる細胞を含めて血球はすべて骨髄でつくられるが、リンパ球のうち B 細胞はさらに骨髄で、T 細胞は胸腺でそれぞれ分化・成熟する。

ヘルパー T 細胞とキラー T 細胞は、いずれも胸腺内で未熟 T 細胞から分化する。骨髄でつくられた未熟 T 細胞は、血液を介して胸腺の皮質に入り、いったん皮質の最外層の被膜の直下に移動する。その後、皮質上皮細胞と相互作用しながら髄質に向かって移動し、髄質でヘルパー T 細胞またはキラー T 細胞に分化する。

分化したヘルパー T 細胞およびキラー T 細胞は、TCR と MHC 分子の結合に必要な CD4 分子または CD8 分子という膜タンパク質のそれぞれ一方のみを発現している。また、未熟 T 細胞には CD4 分子、CD8 分子のいずれも発現していない。このため、CD4 分子と CD8 分子の発現量を調べることで、ヘルパー T 細胞、キラー T 細胞を識別することができる。

次の資料 3 は、胸腺での T 細胞の分化について調べた実験の概略である。

資料 3

遺伝子操作によって、ヘルパー T 細胞またはキラー T 細胞の一方を欠損させたマウスを作製した。正常マウスと欠損マウスの胸腺に含まれる分化途中の T 細胞を大量に集め、それぞれの細胞の CD4 分子と CD8 分子の発現量を調べた。図 4 は、それぞれの細胞の CD4 と CD8 の発現量に応じてドット（点）を打ち、さらにドットの密度が等しい領域を線に置き換えて示したものである。また、図中の矢印と二重丸は、この結果から推測される T 細胞の分化の経路を示したものである。

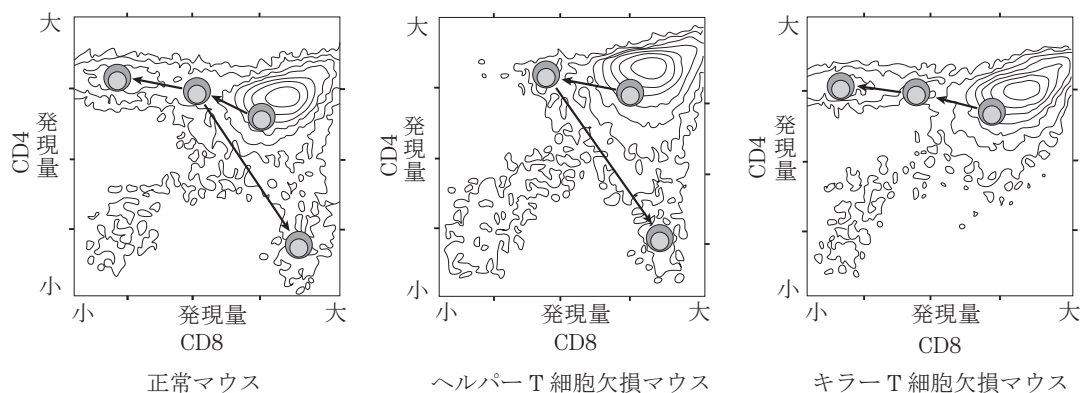


図 4

問 8 問題文 C と同様の方法で B 細胞をリンパ球の中から識別するには、2 種類のタンパク質分子の発現量を調べればよいと考えられる。どのようなタンパク質分子の発現量を調べ、どのような結果が得られればよいか説明せよ。なお、解答欄の所定の欄に 45 字以内で記入すること。

問 9 資料 3 の結果から考えて、マウスのヘルパー T 細胞およびキラー T 細胞は、それぞれ CD4 分子、CD8 分子のいずれを発現していると考えられるか答えよ。

問10 資料3の結果から、マウスの胸腺におけるT細胞の分化についてどのようなことがいえるか。未熟T細胞からヘルパーT細胞、またはキラーT細胞への分化の過程における、CD4分子とCD8分子の発現量の変化に注目して説明せよ。なお、解答は解答欄の所定の欄に80字以内で記入すること。また、CD4分子、CD8分子はそれぞれ「CD4」、「CD8」と略してよい。

