

〈R05170017〉

注 意 事 項

1. この問題冊子は、解答パターンがBおよびCの受験生に配付されます。
2. この科目では、この問題冊子、および解答用紙（生物その1、生物その2）を配付します。
3. 試験開始の指示があるまで、問題冊子および解答用紙には手を触れないでください。
4. 問題は4～12ページに記載されています。試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁および解答用紙の汚損等に気付いた場合は、手を挙げて監督員に知らせてください。
5. 解答はすべて、HBの黒鉛筆またはHBのシャープペンシルで記入してください。
6. 解答用紙記入上の注意

- (1) 解答用紙の所定欄（各用紙2カ所）に、氏名および受験番号を正確に丁寧に記入してください。
- (2) 所定欄以外に受験番号・氏名を記入した解答用紙は採点の対象外となる場合があります。
- (3) 受験番号の記入にあたっては、次の数字見本にしたがい、読みやすいように、正確に丁寧に記入してください。

数字見本	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

- (4) 受験番号は右詰めで記入し、余白が生じる場合でも受験番号の前に「0」を記入しないでください。

(例) 3825番⇒	万	千	百	十	一
	3	8	2	5	

7. 解答はすべて所定の解答欄に記入してください。所定欄以外に何かを記入した解答用紙は採点の対象外となる場合があります。
8. 文字や数字は明瞭、かつ丁寧に記入してください。判別できない場合や読めない場合は、採点の対象外となる場合があります。
9. 下書きは問題冊子の余白を使用してください。ただし、どのページも切り離さないこと。
10. 試験終了の指示が出たら、すぐに解答をやめ、筆記用具を置き解答用紙を裏返しにしてください。
11. 問題冊子は持ち帰ってください。
12. いかなる場合でも、解答用紙は必ず提出してください。

〔I〕 以下の問題文を読み、問いに答えなさい。

生体には電気信号を情報として利用する細胞集団があり、代表的なものに神経と心臓がある。神経や心臓の電気信号は、それぞれ脳波や心電図として記録することができる。はじめに神経細胞に関して、続いて心臓・血管系に関して出題する。

神経に関する以下の文章を読み、問1～4に答えなさい。

細胞の外側を基準として測定した細胞の内外の電位差を「膜電位」という。一般的な細胞外液中に置いた神経細胞A内に微小電極を挿入して、膜電位を計測した(図1)。次に神経細胞Bに電極を刺し、膜電位を計測した。神経細胞Bにシナプスを形成するC、D、Eの3つの神経細胞は、青色光刺激に反応して陽イオンを流入させるイオンチャネルを発現しているため、青色光を照射すると活動電位を発する(図2)。

- 問1 神経細胞Aが他の細胞から信号を受け取っていない時の膜電位(静止電位)を決定するイオンを答えなさい。
- 問2 神経細胞Aの静止電位が -70 mV であるとき、問1で解答したイオンは細胞の内側と外側ではどちらの濃度が高いか答えなさい。
- 問3 神経細胞C～Eに様々なパターンで青色光を照射したときに、神経細胞Bで計測される膜電位変化を表1にまとめた。C、D、Eの3つの神経細胞に同時に青色光を照射した時に神経細胞Bで記録される膜電位変化を、図3の(ア)～(エ)から選びなさい。なぜそのような膜電位が計測されるのか、理由を答えなさい。
- 問4 一般的な細胞外液から Ca^{2+} を取り除いて神経細胞Cのみに青色光を照射したとき、神経細胞Bで記録される膜電位を図3の(ア)～(エ)から選びなさい。なぜそのような膜電位が計測されるのか、理由を答えなさい。

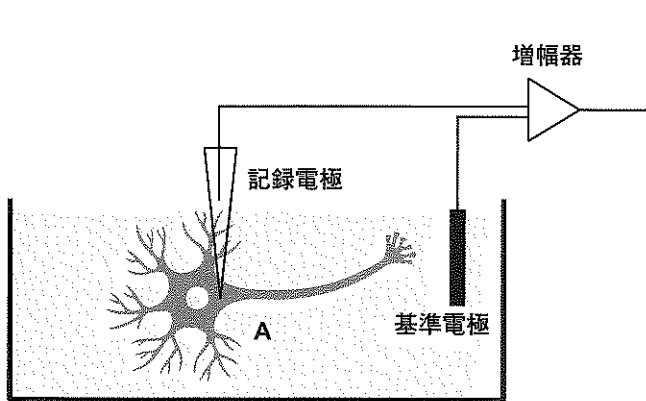
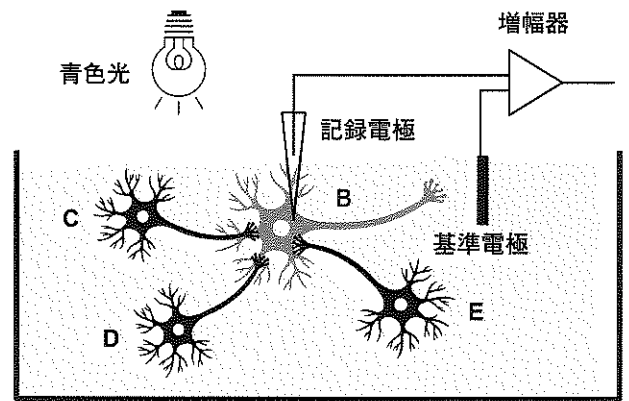


図1



青色光を照射すると活動電位を発する神経細胞

図2

青色光を照射する神経細胞	神経細胞Bの膜電位変化
Cのみ	図3(ア)
Dのみ	
CとE	図3(イ)
DとE	
Eのみ	図3(ウ)

表1 青色光を照射する神経細胞と神経細胞Bにおける膜電位変化の関係

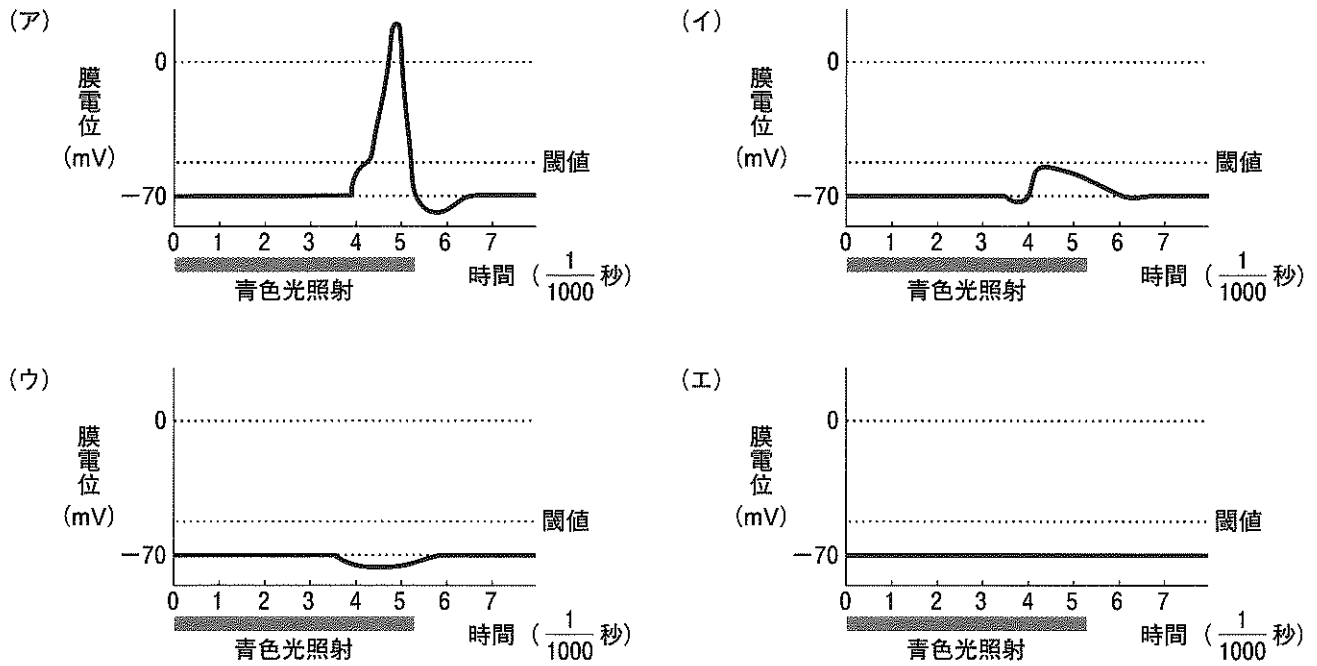


図 3

次に心臓・血管系に関する以下の文章を読み、問 5～17 に答えなさい。

血液は心臓の (あ) から大動脈弁を通り動脈を介して全身に送られ、毛細血管に入る。その後血液は毛細血管から静脈を流れて心臓の (い) に戻る。心臓へ戻った血液は、心臓の (い) から房室弁を通り (う) に運ばれる。(う) から肺動脈弁を通り、肺動脈を介して肺に運ばれて、肺静脈を通して心臓の (え) に戻ってくる。(え) に戻ってきた血液は、房室弁を通して (あ) に運ばれて、再び全身に送られる。

心臓は自律的に収縮運動を行うことができる。これは、(い) にある (お) の働きによるものであり、(お) からえられる電位変化を図 4 に示す。心臓は自律神経支配により、心拍数が増大したり減少したりする。図 4 の矢印の所で交感神経や副交感神経を興奮させたときの (お) の電位変化を調べた (問 7)。

問 5 (あ) ～ (お) に入る適切な語句を答えなさい。

問 6 肺動脈、肺静脈、大動脈、大静脈について、血管内の血液が動脈血である血管と静脈血である血管を、それぞれすべて答えなさい。

問 7 図 4 (A) はそれぞれの神経を興奮させる前の (お) の電位変化とする。交感神経と副交感神経のそれぞれを興奮させたとき、(B)、(C) のいずれの電位変化になるかを答え、その理由も書きなさい。

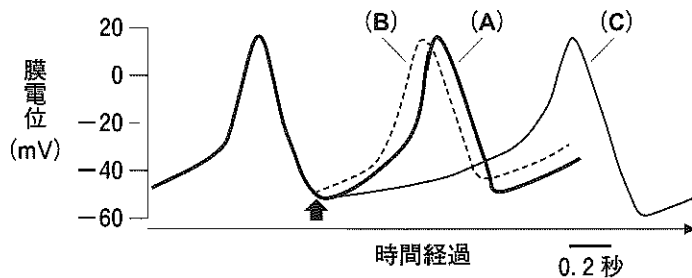


図 4 (お) の電位変化

次に、左心室内の圧力 (mmHg) を縦軸とし、左心室の容量 (mL) を横軸にして心臓の拍動の様子を描写すると、図 5 (A) の「圧力-容量曲線」を描くことができる。この図の曲線の一周が1回の拍動を示している (問 9)。 図 5 (A) に対して、交感神経が興奮した状態では図 5 (B) の破線の形になる (問12)。 一方で、心臓にある特定の疾患があると、図 5 (C) の破線の形になる (問13)。

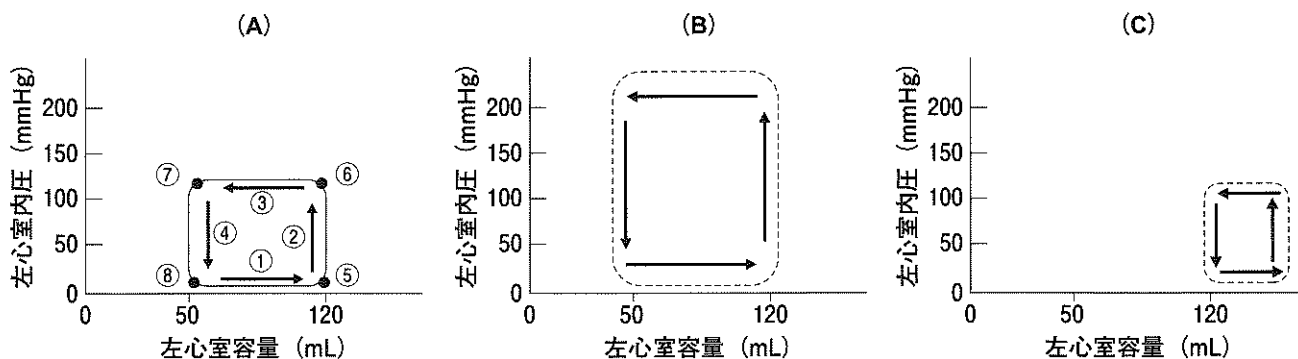


図 5 左心室の圧力-容量曲線

問 8 図 5 (A) の条件で、0.75 秒で一周するとして、1 分間に何 mL の血液を送り出すことができるか。また、全身の血液量が 6.16 L とすると、全身に血液が回るのに必要な時間を算出なさい。計算式も書きなさい。

問 9 図 5 (A) の左心室の動き①から④のそれぞれの状態を表す言葉を、下記 (ア) ~ (エ) の記号から選びなさい。

- (ア) 等容量性収縮期 (イ) 等容量性弛緩期 (ウ) 心室拍出期 (エ) 心室充満期

問 10 図 5 (A) の⑤から⑧は弁の動きを示すものである。それぞれの弁の状態を、下記 (オ) ~ (ク) の記号から選びなさい。

- (オ) 動脈弁が閉じる (カ) 動脈弁が開く (キ) 房室弁が閉じる (ク) 房室弁が開く

問 11 大動脈弁や房室弁の役割について説明しなさい。

問 12 図 5 (B) の曲線について、以下の 3 つの設問に答えなさい。①交感神経を興奮させたときの電位変化である問 7 を参考にして、図 5 (B) の曲線を一周する速度は速くなるか遅くなるかを、理由も含めて答えなさい。②交感神経を興奮させたときの図 5 (B) の曲線から、心臓の血液の 1 回の排出量が図 5 (A) の曲線と比較してどのように変化するかを答えなさい。③同様に単位時間当たりの排出量の変化について答えなさい。

問 13 心臓にある特定の疾患があるときの図 5 (C) の曲線から、心臓の血液の排出量が図 5 (A) の曲線と比較してどのように変化するかを答えなさい。また、この疾患の心臓の筋肉は正常な心臓と比べてどのような運動機能の違いがあるのかについて答えなさい。

次に血液で運搬される酸素や二酸化炭素のことについて調べた。細胞の呼吸に必要な酸素は、ヘモグロビンというタンパク質と結合し、肺から各組織へ運ばれている。酸素が結合したヘモグロビン（酸素ヘモグロビン）の割合は、おもに酸素濃度（酸素分圧）によって変化し、この関係を示した曲線を酸素解離曲線とよぶ（図6）。この酸素解離曲線は、生体の状態や組織によって変化し、実際に図6A～図6Cのような曲線を示す場合が知られている。

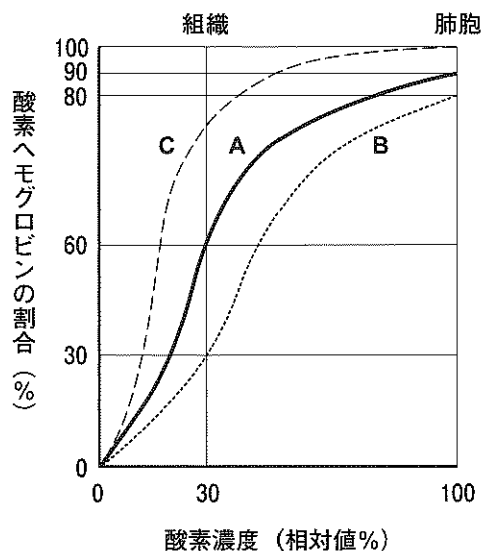


図6 酸素解離曲線

問14 肺胞の酸素濃度を100%とし、末梢の組織の酸素濃度を30%とした。図6Aの曲線上において肺胞から末梢の組織に血液が移動することで酸素を解離する「酸素ヘモグロビンの割合(%)」と、図6Bの曲線上において肺胞から末梢の組織に血液が移動することで酸素を解離する「酸素ヘモグロビンの割合(%)」を算出なさい。

問15 走ったときは、図6Aに比較して図6Bのような曲線をとりやすいことが知られている。その理由を答えなさい。

問16 胎盤では母親の血液から、胎児の血液に酸素が運搬される必要がある。図6Aを母親の血液の酸素解離曲線とすると、胎児血液では図6Cのような曲線が得られる。胎児がもつヘモグロビンの特徴について述べなさい。

問17 組織における酸素解離曲線を調べることは、生体のガス交換の異常を発見するうえでも重要である。呼吸不全により二酸化炭素を体外に十分に排泄できないとき、図6Aは、図6Bあるいは図6Cのいずれの方向に移動するかを、その理由も含めて答えなさい。

〔Ⅱ〕 以下の問題文を読み、問いに答えなさい。

ミトコンドリアは外膜と内膜の二重の膜構造でできており、内膜に囲まれた領域は（あ）と呼ばれる。細胞に取りこまれたグルコースは解糖系でピルビン酸となり、ピルビン酸はミトコンドリアに取り込まれ（い）となり、続いてクエン酸回路・電子伝達系に入り ATP が産生される。ミトコンドリアの由来としては、単細胞生物に好気性細菌が取り込まれたものであるとする（う）説が有力である。

ミトコンドリアはミトコンドリア DNA (mtDNA) と呼ばれる独自の DNA を有しており、これは（あ）に局在している。mtDNA は、核内の染色体 DNA (以下核 DNA と呼ぶ) とは異なる構造的特徴を有する (問 2)。ヒト mtDNA には 37 個の遺伝子の存在が知られている。その内訳は、タンパク質を作る情報となる 13 個の遺伝子と、tRNA と rRNA の遺伝子がそれぞれ 22 個と 2 個である。これら mtDNA 遺伝子はミトコンドリアの機能に重要な役割を果たすが、核 DNA にもミトコンドリアを構成するタンパク質を作る情報となる遺伝子があり、これらのタンパク質は細胞質内で合成されたのちに、ミトコンドリアへ運ばれる (問 5)。

実験 1 と実験 2 をおこなった。

実験 1

細胞の全ての DNA を抽出した溶液を作製し、これを 2 つの試料溶液に分けた。試料溶液 1 では mtDNA の一部の DNA 断片を PCR で増幅し電気泳動をおこなった。試料溶液 2 では核 DNA 内のミトコンドリアを構成するタンパク質の遺伝子の断片を PCR で増幅し電気泳動をおこなった (問 6)。

実験 2

mtDNA の特定の箇所に大きな欠損があるためにおきる疾患がある。健常者とこの疾患の患者由来の細胞を用いた実験をおこなった。まず、それぞれの細胞から DNA を抽出した。mtDNA の欠損部分を解析できるように、欠損する可能性のある部分を含んだ 300 bp (塩基対) の PCR 産物が得られるようにプライマーを作製し、PCR 反応をおこなった。mtDNA 内の欠損しているサイズは 100 bp とする。その後、実験 1 と同様に電気泳動をおこない、増幅された DNA 断片を確認した (図 2) (問 7)。

問 1 (あ) ~ (う) に入る適切な語句を答えなさい。

問 2 下線部の「異なる構造的特徴」をあげなさい。

問 3 mtDNA に変異があった場合、機能不全がおこりやすい臓器または組織の名称を 1 つあげ、その理由を説明しなさい。

問 4 ミトコンドリアに存在するタンパク質の異常が親から子に伝わる場合、どのように遺伝するか答えなさい。

問 5 下線部の現象について、ミトコンドリアに運ばれるしくみを説明しなさい。

問 6 下線部について、mtDNA 断片と核 DNA 断片のそれぞれについて 300 bp の PCR 産物が得られるようにプライマーを作製した。試料溶液 1 と試料溶液 2 に含まれる DNA の量は同じであり、PCR で増幅して電気泳動したところ、図 1 に示す結果を得た。バンドの太さは DNA の量に比例する。PCR の増幅効率は同程度とする。この結果となる理由を説明しなさい。

問7 下線部について、100 bpの欠損は患者の mtDNA の半数が有しているものとする。図2の健常者の場合を参考に、解答欄の図に PCR で増幅される患者の mtDNA 断片を書き入れなさい。また、その理由を説明しなさい。

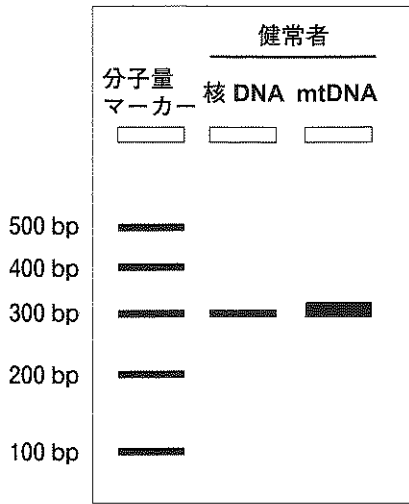


図1 PCR後の電気泳動結果

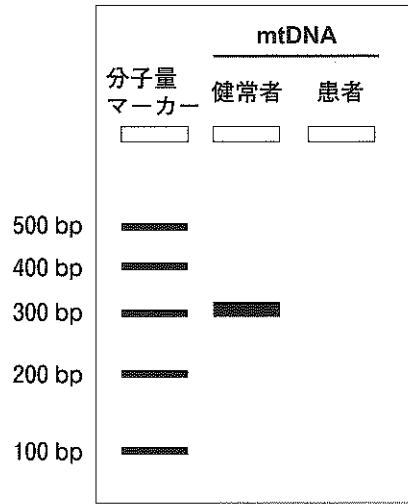
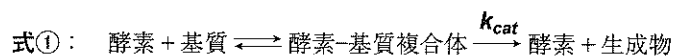


図2 PCR後の電気泳動結果
健常者の結果のみを示している。

〔Ⅲ〕 以下の問題文を読み、問いに答えなさい。

酵素は特定の物質にはたらきかけて触媒として機能するタンパク質である。酵素がはたらきかける特定の物質を基質という。基質は酵素の特定の部位に結合し、この部位を活性部位という。

酵素がはたらく機構を表す基本的な式として、以下の式①と式②が知られている。活性部位に結合した基質は酵素と「酵素-基質複合体」を形成するが、一部の酵素-基質複合体は可逆的に元の酵素と基質に解離する場合もある（式①）。酵素と基質の組み合わせが決まれば、両者の相互作用は特定の強さとなり、式②に示す K_m の値で表される。一方で、酵素-基質複合体では不可逆的な化学反応が進行して生成物を生じ、生成物は酵素から解離する。この化学反応の速度定数をここでは k_{cat} で表す（式①）。酵素と基質の組み合わせが決まれば k_{cat} の値も決まる。酵素-基質複合体の形成と生成物が生じる化学反応が合わさって、全体としての酵素反応の速度が決まる。



$$\text{式②： } K_m = \frac{[\text{酵素}][\text{基質}]}{[\text{酵素-基質複合体}]} \quad \text{※ 例：} [\text{基質}] \text{ は遊離して存在する基質の濃度を表す。}$$

活性部位への基質の結合が妨げられると酵素反応が阻害される。例えば、基質と似た構造の物質が活性部位に結合すると、基質の結合が妨げられる（問3）。この物質を阻害物質という。

式①にあてはまらない特殊な酵素も存在する。例えば、酵素が基質に触媒として作用し化学反応を進行させるために、基質とは異なる物質の結合を必要とする場合もある。基質とは異なる物質が作用することで酵素反応の速度が変化する例も知られている。

酵素に関する以下の実験1、実験2、実験3、実験4をおこなった。それぞれの実験に続く問いに答えなさい。

実験1

酵素A、酵素B、酵素Cは問題文の式①と式②を満たし、同じ物質を基質とする。酵素濃度の値を P に固定して基質濃度を変化させたときの酵素反応の速度を調べたところ、基質濃度の増大に伴って大きくなり反応速度は一定の値になった（図1）。この一定の速度を最大速度とよび、このとき酵素濃度に比べて基質濃度は十分に高いとする。また、それぞれの酵素の K_m の値は、酵素反応の速度が最大速度の2分の1となる基質濃度の値で表される。続いて、基質濃度を図1に示す S に固定してそれぞれの酵素濃度を变化させた時の酵素反応の速度を調べると、図2のようになった。

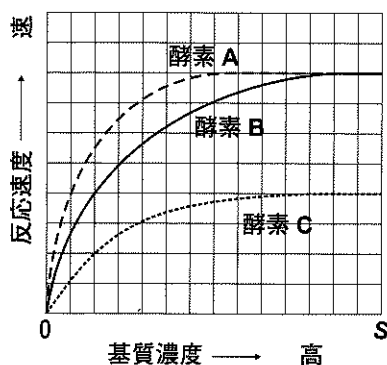
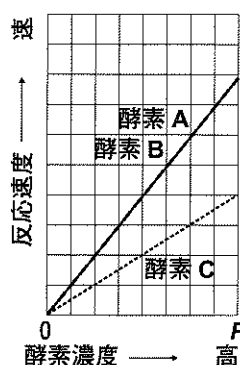


図1



※酵素Aと酵素Bのグラフは重なっている。

図2

問1 図1において、酵素濃度に比べて基質濃度が十分に高くなると、反応速度は一定の値である最大速度に達する理由を説明しなさい。また、酵素A、酵素B、酵素Cのすべてを比較したとき、基質との相互作用の大小を理由と共に説明しなさい。さらに、酵素Bと酵素Cの k_{cat} の表示をそれぞれ k_{cat-B} と k_{cat-C} とすると、 k_{cat-B} を表す式を k_{cat-C} を用いて書きなさい。

問2 酵素Aの濃度を図2のPの半分にし、それ以外の条件は実験1と同じにして基質濃度を变化させる実験をおこなったとき、酵素反応の速度の变化のグラフを解答欄の図に実線で書きなさい。

問3 問題文の下線の機構の阻害の名称を答えなさい。また、酵素Aに対してこの機構ではたらく阻害物質を加えて、他の条件は実験1と同じにして基質濃度を变化させる実験をおこなったとき、酵素反応の速度の变化のグラフを解答欄の図に実線で書きなさい。ただし、基質濃度がSにおいては、基質は酵素と阻害物質のいずれに対しても濃度が十分に高く、阻害効果がみられないとする。

実験2

酵素Dと基質Xについて、酵素濃度を一定にして基質濃度を变化させたときの反応速度を調べる実験をおこなった。まず、酵素Dを単独で用いて実験をおこなったところ、図3の「酵素D」として実線で示すグラフが得られた。続いて、酵素Dに基質とは異なる物質Yも加えて同様の実験をおこなったところ、図3の「酵素D+物質Y」として点線で示すグラフが得られた。触媒反応と生成物は、酵素D単独の場合と同じであった。基質濃度がSにおいては、基質は酵素に対しても濃度が十分に高かった。また、実験1と同様に、酵素反応の速度が最大速度の2分の1となる基質濃度の高低を比較すれば、酵素と基質の相互作用の相対的な大小は示される。

実験3

酵素D、基質X、物質Yの分子量は、それぞれ300000、280、510であった。酵素Dと基質Xを混合した溶液D/Xと、さらに物質Yを加えた溶液D/X/Yの二種類の混合溶液について、溶液中に存在する複合体の分子量と相対量を調べたところ、表1の結果が得られた。ここで、二種類の混合溶液中のいずれについても加えた酵素Dと基質Xの濃度は同じである。さらに、酵素の触媒反応は進行していない状況を仮定する。

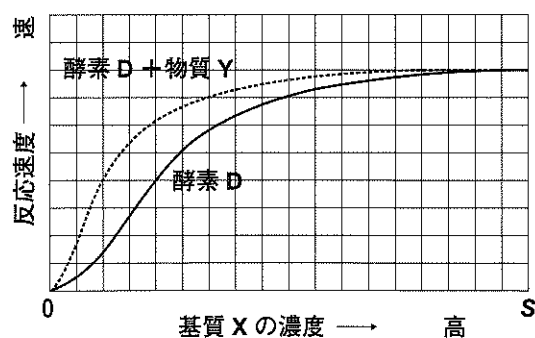


図3

試料溶液	液内に含まれる各物質の分子量 (かっこ内は相対量を表す)
D/X	300280 (中)
D/X/Y	300280 (少), 300790 (多)

※相対量は「多、中、少」の三段階で表してある。

表1

問4 基質から生成物を生じる酵素Dの化学反応の速度(式①の k_{cat} に相当)について、物質Yを加えるとどうなるかを、理由と共に答えなさい。

問5 図3と表1の結果から、物質Yを加えることで酵素Dと基質Xの相互作用がどのように変化したと考えられるかを、理由と共に答えなさい。

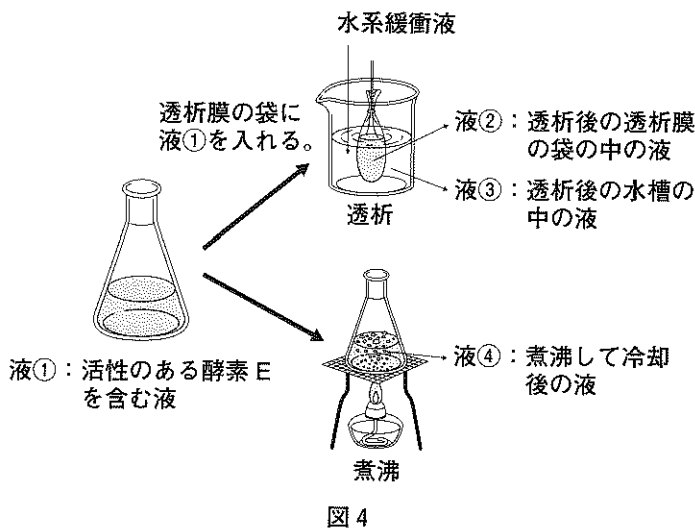
問6 物質Yは、どのような機構で酵素Dと基質Xの相互作用を変化させたと考えられるかを答えなさい。

実験4

以下の図4に示す実験をおこなった。まず、活性を示す酵素Eを含む液(液①)を用意した。この液①を液量に対して容量が大きな透析膜の袋に入れて密封した後に、液①の量よりも大量の水系緩衝液を満たした水槽に浸し、十分な時間をかけて透析をおこなった。この透析操作の結果、透析膜の袋の中の液(液②)と水槽の中の液(液③)を得た。また、あらたに液①を用意してフラスコに入れ、今度は十分な時間をかけて煮沸をし、冷却した後にフラスコ内に残った液(液④)を得た。

物質の分子量を調べられる装置で液①、液②、液③、液④のそれぞれの溶液に含まれる物質を分析したところ、表2に示す結果を得た。

さらに、液②、液③、液④のそれぞれを単独で用いたり混合したりして、それら液体試料に基質を加えて酵素反応が起こるかを調べる実験をおこなったところ、表3に示す結果を得た。これら酵素反応を調べる実験において、pHや温度ならびに反応時間や物質の濃度は適切に設定した。



試料	液内に含まれる各物質の分子量
液①	700, 150000, 150700
液②	150000
液③	700
液④	700, 150000

表2

	単独	混合した液		
		液②	液③	液④
液②	×	○	○	
液③	×		×	
液④	×			○

○：酵素活性あり，×：酵素活性なし

表3

問7 透析により液②と液③が得られるのは、透析膜のどのような特性によるのかを説明しなさい。また、透析後の透析膜の袋の中の液量は、当初に加えた液①の量と比較してどうなっているかを、理由と共に答えなさい。

問8 液④単独では酵素活性が得られなかった理由を説明しなさい。

問9 分子量700の物質のはたらきと特性について、実験4からわかることを答えなさい。

[以下余白]

生 物 (その1)

<2023 R05170017>

採 点 欄

受験番号	万	千	百	十	一
	8	8	8	8	8
氏名					

①

(注意) 受験番号は右詰で記入すること。所定欄以外に受験番号・氏名を記入してはならない。記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。

[I]

8	8
---	---

<2023 R05170017>

受験番号	万	千	百	十	一
	8	8	8	8	8
氏名					

(注意) 受験番号は右詰で記入すること。所定欄以外に受験番号・氏名を記入してはならない。記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。

[I]

問1

問2

問3

理由:

問4

理由:

問5 (あ) (い) (う)

(え) (お)

問6 動脈血: 静脈血:

問7

問8 血液量: 時間:

問9 ① ② ③ ④

問10 ⑤ ⑥ ⑦ ⑧

問11

問12 ①

②

③

問13 排出量:

運動機能の違い:

問14

問15

問16

問17

生 物

(記述解答用紙)

(その1)

下書きは問題冊子の余白を使用してください。

①

受験番号	万	千	百	十	一
氏名					

2

(注意) 受験番号は右詰で記入すること。所定欄以外に受験番号・氏名を記入してはならない。記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。

[II]

[III]

受験番号	万	千	百	十	一
氏名					

(注意) 受験番号は右詰で記入すること。所定欄以外に受験番号・氏名を記入してはならない。記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。

[II] 問1 (あ) (い) (う)

問2

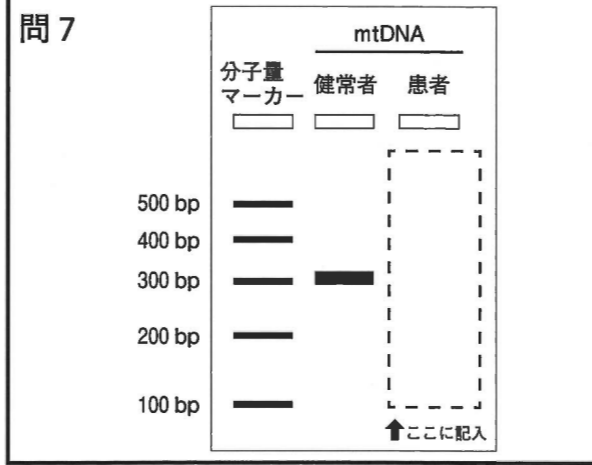
問3 臓器または組織の名称: 理由:

問4

問5

問6

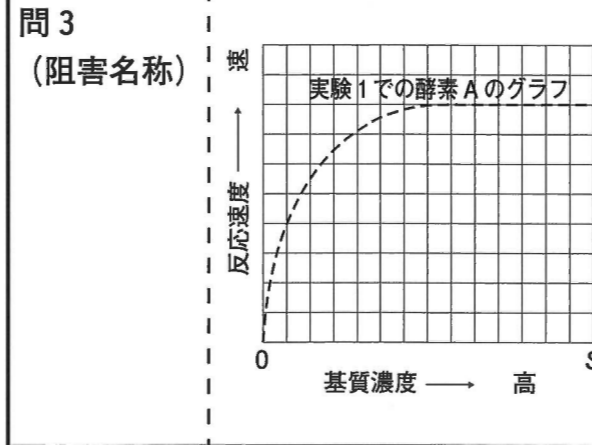
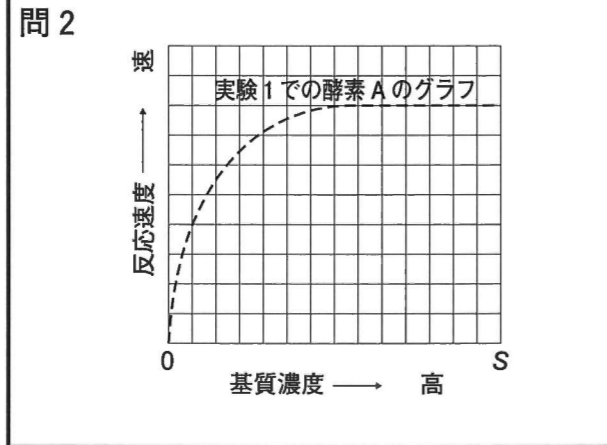
問7 理由:



[III] 問1 (最大速度)

(相互作用)

(式)



問4

問5

問6

問7 (特性)
(液量)

問8

問9

生 物

(記述解答用紙)

(その2)

下書きは問題冊子の余白を使用してください。

2