

〔「物理基礎・物理」「化学基礎・化学」「生物基礎・生物」〕

(時間：2 出題科目で 120 分)

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 出題科目、ページ及び選択方法は、下表のとおりです。

出 題 科 目	ページ	選 択 方 法
「物理基礎・物理」	1 ～ 3	左の 3 出題科目のうちから、あらかじめ届け出た 2 出題科目について解答しなさい。
「化学基礎・化学」	4 ～ 6	
「生物基礎・生物」	7 ～ 9	

- 3 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。
- 4 解答は、すべて解答用紙の所定の欄に記入しなさい。
- 5 字数制限のある設問では、指示がない限り句読点や英数字も 1 字につき解答欄 1 マスを使い解答しなさい。
- 6 問題冊子の余白は、計算等に用いて構いません。
- 7 試験終了後、解答用紙のみを回収します。

生物基礎・生物

〔 1 〕 次の文章を読み、下の問い(問 1 ～ 6)に答えよ。

生物が世代を重ねるうちに生じた DNA の塩基配列の変化は、その DNA の情報をもとに作られるタンパク質のアミノ酸配列に影響を及ぼす。この分子進化の速度は遺伝子やタンパク質の種類によって異なる。ここで、リゾチームの進化について考える。ヒトの場合、リゾチームは ア や鼻汁等に含まれ、細菌による感染を防いでいる。ヒトのゲノムには、リゾチームに類似した遺伝子が少なくとも 8 つ存在し、リゾチーム遺伝子ファミリーを形成する。その 1 つである α -ラクトアルブミンは、グルコースとガラクトースからの イ の合成に関与し、進化の過程でリゾチームとは異なる機能を獲得した。このようなリゾチーム遺伝子ファミリーは ウ のような大規模な突然変異によって生じたと考えられる。

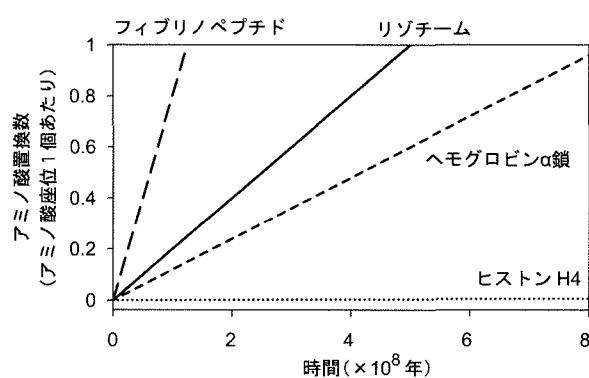


図 1

表 1 アミノ酸置換数

	ウシ	カモノハシ	ヒト
カモノハシ	60		
ヒト	30	62	
ワラビー	61	69	55

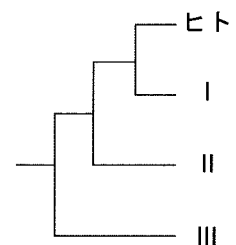


図 2

問 1 文中の ア ～ ウ に適切な語句を記せ。

問 2 下線部①について、遺伝子のエキソン部分に塩基置換が生じた際には、(i)タンパク質のアミノ酸配列が変化する場合、(ii)タンパク質のアミノ酸配列には変化がない場合がある。それぞれの名称を答えよ。また、(i)と(ii)のどちらの進化速度が速いか、理由とともに説明せよ。

問 3 下線部②について、図 1 に示すヒストン H4 およびフィブリンペプチド(血液凝固の際、フィブリンノーゲンから切り取られるペプチド断片)のアミノ酸置換速度の違いを両者の機能の観点から説明せよ。

問 4 下線部③について、リゾチームの機能について述べた次の選択肢から正しいものを 1 つ選べ。

1. 多糖類のセルロースやペクチンからなる細胞壁を分解する
2. 抗生物質として細胞の増殖を阻害する
3. 多糖類とタンパク質の複合体であるペプチドグリカンからなる細胞壁の多糖類を切断する
4. 細胞表面に抗原提示された物質を認識する
5. 細胞膜に穴をあけ、破壊する

問 5 下線部④について、アミノ酸 123 個からなる α -ラクトアルブミンのアミノ酸配列を 4 種の動物種ウシ、カモノハシ、ヒトおよびワラビーで比較し、互いに異なるアミノ酸の数を調べた(表 1)。図 2 は表 1 の結果から平均距離法によって作成した分子系統樹である。ただし、同一の祖先から分岐した生物群の分子進化の速度は一定であるとする。

- (1) 図 2 の I ～ III に入る動物名を答えよ。
- (2) ヒトとカモノハシが共通祖先から分岐したのは何年前と推定されるか、ウシ、カモノハシ、ヒト、ワラビー間のアミノ酸置換数の平均から計算し、有効数字 3 桁で求めよ。なお、ヒトとウシは 9000 万年前に分岐したものとする。
- (3) アミノ酸置換速度を 1 年あたり、アミノ酸座位 1 個あたりの値として有効数字 3 桁で求めよ。
- (4) 図 1 のリゾチーム(L)、ヘモグロビン α 鎖(H)および(3)で求めた α -ラクトアルブミン(A)のアミノ酸置換速度を比較したとき、大小関係として最も適切なものを 1 つ選べ。

1. $L < H < A$, 2. $L < A < H$, 3. $H < A < L$, 4. $H < L < A$, 5. $A < H < L$, 6. $A < L < H$

問 6 大腸菌に感染する T₂ ファージもリゾチーム遺伝子を有している。T₂ ファージは大腸菌に付着すると、DNA のみを大腸菌内に侵入させる。感染した大腸菌内では、ファージの DNA とタンパク質が合成され、多数の子ファージが作られ、他の大腸菌へと感染を広げる。このようなファージの増殖においてリゾチームが必要な理由を説明せよ。なお、ファージ内にはリゾチームは含まれていないとする。

〔2〕 次の文章を読み、下の問い(問1～3)に答えよ。

DNA が複製される際には、まず元になる二重らせん構造がほどけて鋳型鎖となり、各々に相補的な配列を有する新生鎖が合成される。このような複製方式を **ア** 複製と呼ぶ。大腸菌などの原核生物の場合、DNA は環状であり、1カ所の複製起点から複製は両方向に進む。新生鎖が合成される際には、まず短い RNA プライマーが合成される。次にプライマーの **イ** 末端側に、鋳型の塩基と相補的な塩基をもつヌクレオチドが **ウ** の働きによって結合される。ヌクレオチド鎖の合成は **エ** 末端から **オ** 末端の方向に進むが、DNA の2本鎖は互いに逆方向になっているため、DNA がほどこれる方向と新生鎖の合成の方向が一致するのは一方の鎖だけである。この新生鎖を **カ** という。もう一方の鎖は DNA がほどこれる方向と逆方向に合成され、ラギング鎖と呼ばれる。一方、真核生物の場合、DNA は線状であり、多くの複製起点から複製が始まることで速やかな複製を可能としている。複製の基本的な分子機構は原核生物と真核生物で共通であるが、線状の DNA をもつ真核生物の場合、末端部分を完全に複製できないという問題が生じる。

問1 文中の **ア** ～ **カ** に適切な語句または番号を入れよ。なお、同じ語句または番号を繰り返し用いても良い。

問2 下線部①の新生鎖複製を解明するために行われた以下の実験について、下の問い(1)～(5)に答えよ。

〔実験1〕 大腸菌株を放射性同位体 ^{14}C を含む培地で 37°C で数世代培養した。この株を放射性同位体 ^3H チミジン*を含む培地に移し、 20°C で10秒間培養してDNAを標識した(パルス操作)。大腸菌からDNAを抽出し、アルカリ溶液中で1本鎖にした。このDNAをショ糖密度勾配遠心法でDNAのサイズによって分離し、分画ごとの放射活性 (^3H と ^{14}C の放射性同位元素を含むDNAの量)を調べた(図1左)。

*チミジン：塩基としてチミンを含むデオキシリボヌクレオシド

〔実験2〕 〔実験1〕と同様に大腸菌株にパルス操作を行った後、この株を標識していないチミジンを含む培地に移し、さらに 20°C で60分間培養した。その後、〔実験1〕と同様にDNAを抽出し、DNAのサイズによって分離して放射活性を調べた(図1右)

〔実験3〕 DNAリガーゼを欠損した大腸菌株と正常な大腸菌株に対して、 20°C で ^3H チミジンのパルス操作を20秒あるいは60秒行った。その後、それぞれのDNAを抽出し、DNAのサイズによって分離して ^3H の放射活性を調べた(図2)。

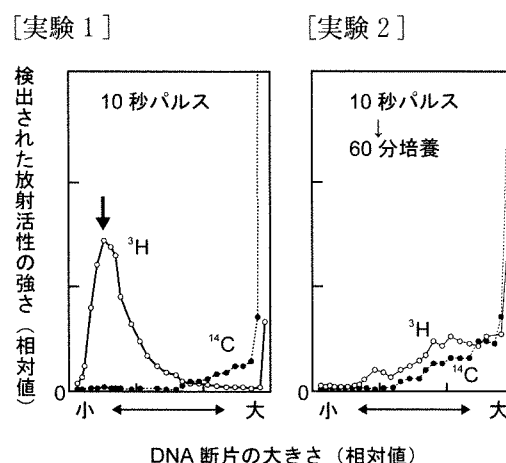


図1

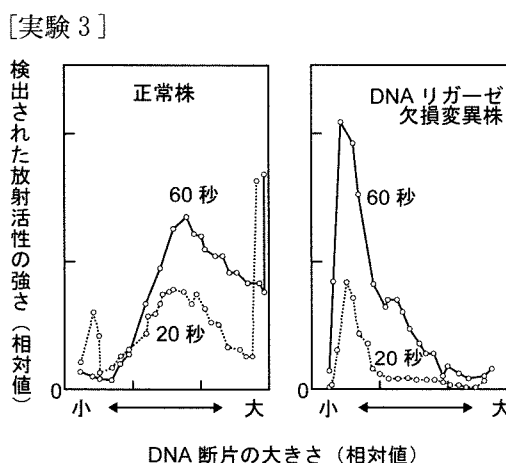


図2

- (1) 本実験でアデニンやグアニン、シトシンを含むヌクレオシドではなくチミンを含むチミジンを用いたのはなぜか、その理由を考察せよ。
- (2) 〔実験1〕において、 ^{14}C で標識されたDNA断片の大きさが ^3H と比べて大きいのはなぜか、その理由を考察せよ。
- (3) 〔実験1〕において観測された ^3H のピーク(矢印)に最も多く含まれるのはどのようなDNAか、述べよ。また、このピークが〔実験2〕では見られないのはなぜか、その理由を考察せよ。
- (4) 〔実験3〕の結果からラギング鎖の新生鎖複製においてDNAリガーゼの果たす役割について考察せよ。
- (5) 本実験でパルス操作の際に、培養温度を 20°C に下げたのはなぜか、その理由を考察せよ。

問3 下線部②について以下の問いに答えよ。

- (1) 真核生物のDNA末端には特定の塩基配列の繰り返し構造が見られ、細胞分裂のたびに短くなることが知られている。この配列の名称を記せ。
- (2) この配列が細胞分裂のたびに短くなる理由として最も適切なものを次の選択肢から1つ選べ。
 1. RNAポリメラーゼが末端のプロモーター領域を認識できないため
 2. DNAリガーゼがDNAとRNAプライマーの間では作用できないため
 3. RNAプライマーが取り除かれた後、DNAで置き換えることができないため
 4. DNAヘリカーゼがDNAの1本鎖に作用できないため
 5. イントロンがスプライシングによって除かれるため

〔3〕 次の文章を読み、下の問い(問1～7)に答えよ。

神経細胞の内側と外側および体液では、様々なイオンの濃度が著しく異なる(表1)。神経細胞が興奮していない状態(静止状態)では、 K^+ が ア を通って神経細胞の イ 側から ウ 側へ受動的に移動する。 K^+ の移動は無制限に続くわけではなく、ある時点で安定化する。その結果、細胞内の電位は、細胞外を基準(0V)とすると、 X くらいになる(静止電位)。したがって、静止電位の形成には K^+ が重要な役割を果たしている。一方、 Na^+ や Cl^- の濃度差は、静止電位の形成にほとんど関与しない。図1は、神経細胞Aに、神経伝達物質としてグルタミン酸をもつ神経細胞Bと、 γ アミノ酪酸(GABA)を持つ神経細胞Cがシナプス結合している様子を模式的に示している。神経細胞Bが神経終末からグルタミン酸を放出し、グルタミン酸が神経細胞Aの受容体に作用すると、神経細胞Aには図2のような膜電位の変化が生じる。この電位がある値(閾値)に達すると、神経細胞Aは活動電位を発生する。一方、神経細胞Cの神経終末からGABAが放出され、神経細胞Aの受容体に作用すると、 Cl^- チャネルが開く。

表1

イオン	(a)	(b)	(c)
陽イオン			
ナトリウムイオン(Na^+)	145	10	150
カリウムイオン(K^+)	5	140	5
カルシウムイオン(Ca^{2+})	2	0.0002	3
陰イオン			
塩化物イオン(Cl^-)	115	15	110
有機物イオン	0	50	18

(単位: mmol/L)

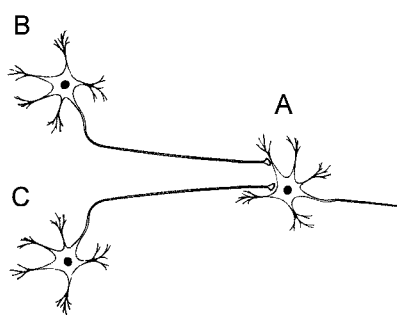


図1

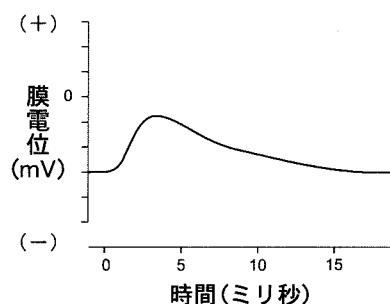


図2

問1 (1) 表1において、神経細胞内のイオン組成に最も近いものを(a)～(c)から1つ選べ。

(2) 下線部①について、神経細胞内外の Na^+ と K^+ の濃度差を維持する膜タンパク質の名称を答えよ。

問2 (1) 下線部②の ア ～ ウ に適切な語句を入れよ。

(2) 下線部②について、 K^+ の移動は何によって引き起こされるか。次の選択肢から最も適当なものを選べ。

1. K^+ の濃度差によって生じる浸透圧、
2. K^+ の濃度差による拡散
3. 陽イオンと陰イオンによる電氣的な力(クーロン力)、
4. ATPによるエネルギー

問3 (1) 下線部③の X に入る適切な値を(a)～(f)から1つ選べ。

(a) +700 mV, (b) +70 mV, (c) +7 mV, (d) -7 mV, (e) -70 mV, (f) -700 mV

(2) 実験的に細胞外の K^+ 濃度を変えると、静止電位はどのように変化するか。

図3の(a)～(f)から、適切なものを選べ。ただし、横軸は、細胞外液の K^+ 濃度を、縦軸は細胞外を基準にした時の細胞内の電位を示す。

問4 下線部④について、 Na^+ や Cl^- の濃度差が静止電位の形成にほとんど関与しない理由を説明せよ。

問5 (1) 下線部⑤について、グルタミン酸放出の引き金になっているイオンは何か、答えよ。

(2) 下線部⑥について、神経細胞Aに脱分極を引き起こすイオンは何か、答えよ。

問6 (1) 下線部⑦について、活動電位の大きさに関する次の選択肢から正しいものを1つ選び、その理由を説明せよ。

1. 活動電位の大きさは、神経細胞の大きさに依存する
2. 活動電位の大きさは、その神経細胞がもつイオンチャネルの数に依存する
3. 活動電位の大きさは、受容体に結合する神経伝達物質(グルタミン酸)の量に依存する
4. 活動電位の大きさは、どの神経細胞でも、ほぼ一定である

(2) 図4に、オシロスコープで表示した活動電位を示す。横軸(時間軸)の1目盛りとして、正しいものを(a)～(g)から1つ選べ。

(a) 0.1 ミリ秒, (b) 0.5 ミリ秒, (c) 2 ミリ秒, (d) 5 ミリ秒, (e) 0.01 秒, (f) 0.02 秒, (g) 0.2 秒

問7 下線部⑧の現象が起こった時に膜電位はどのような変化を示すか。図2に示した脱分極の電位変化を参考に、解答欄(1)に図示せよ。また、実験的に細胞外の Cl^- の濃度を低下させた後に下線部⑧の現象が起こると、どのような電位変化を示すか。解答欄(1)の図との違いが分かるように、解答欄(2)に図示せよ。

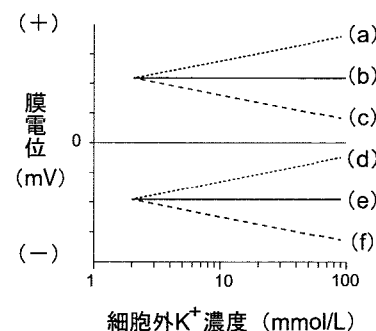


図3

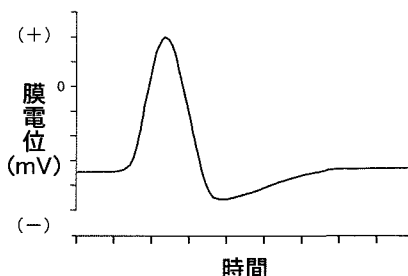


図4

