

全 学 科

生 物

I 下記の文章を読んで各問に答えよ。

生物はDNAの塩基配列の変化によって進化してきた。したがって、生物の進化を理解するためには、形態的特徴だけでなく、DNAの塩基配列やタンパク質のアミノ酸配列を比較するなど分子レベルの解析が重要である。

それぞれの種における突然変異の蓄積によって分子レベルでの変化が生じることを分子進化と呼び、分子の配列データから推定して進化の道筋を表したものが分子系統樹である。

生物は共通の祖先から進化して現在に至っていると考えられる。そのため、2つの種の塩基配列やアミノ酸配列の違いの大きさから、2つの種が分かれてからの時間を推定することができる。これには、分子時計という考え方が基本にあり、遺伝子の塩基配列やタンパク質のアミノ酸配列の変化の割合に基づいて生物が分岐した年代を推定できる。

さらに、この考え方における重要な理論の一つが、「多くの分子進化は自然選択による適応進化ではなく、中立的な変異がランダムに固定されることによって進む」という考え方である。(い)このような、生存にとって有利でも不利でもない遺伝子変異が分子進化の主要因であるという考え方は、1960年代後半に提唱され、学界で大きな議論を巻き起こした。

表1は、あるタンパク質Xについて動物種A～Dおよびヒトの間で異なるアミノ酸の数を示したものである。この表をもとにアミノ酸の置換数を距離として平均距離法を用いて分子系統樹を作成したところ、図1のような分子系統樹が得られた。

(う)このタンパク質Xの変異の速度を調べたところ、変化率は1.2であった(変化率とは 1×10^9 年に1回、ある位置のアミノ酸に1回置換が起こる場合を1とする数値である)。一方、電子伝達系のシトクロムcの変化率は0.3であり、染色体を構成しているヒストンH4タンパク質の変化率は0.01であった。この変化率を用いることで、動物種間のアミノ酸の違いの数から理論的な分岐年代を推定できる。

表1 タンパク質Xを構成するアミノ酸配列の動物種間における相違数

	ヒト	動物種D	動物種C	動物種B	動物種A
動物種A	68	67	71	74	
動物種B	62	65	67		
動物種C	27	33			
動物種D	23				
ヒト					

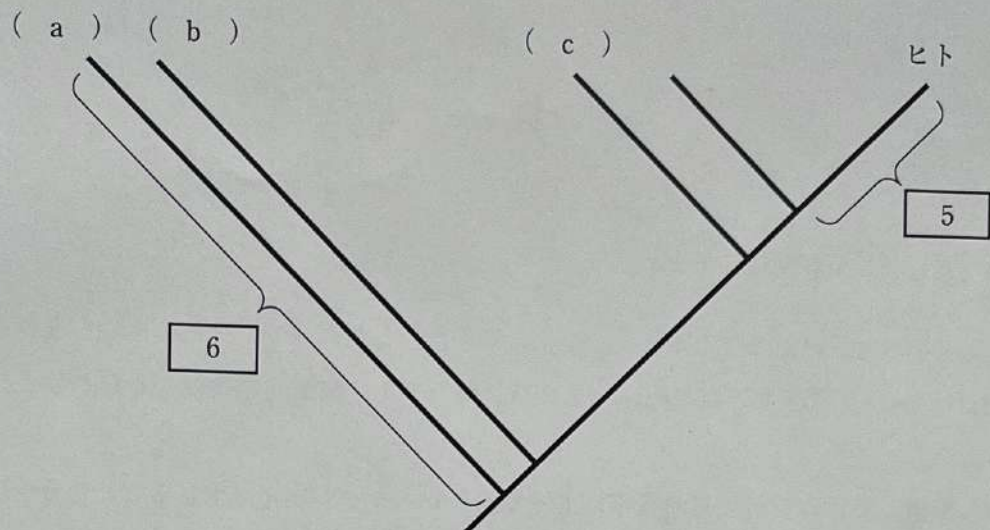


図1 タンパク質Xの分子系統樹

問1 文章中の下線部（あ）について、分子時計はなぜ遺伝子配列やアミノ酸配列の変化の割合から生物が分岐した年代を推定することが可能なのか、最も適切なものを1つ選び、マークシートの解答番号 1 の解答欄にマークせよ。

- ① 塩基配列やアミノ酸配列の変化が、時間当たり一定の確率で起こり、蓄積すると考えられるため。
- ② 分子変化の速度が、環境や生活史によって大きく変動すると考えられるため。
- ③ 種の誕生から絶滅までの期間が一定であると考えられるため。
- ④ 生物の形態変化が分子変化に比例すると考えられるため。
- ⑤ 原核生物の化石DNAを基準として比較できるため。

問2 文章中の下線部（い）の説の名称と提唱者の組み合わせとして、最も適切なものを1つ選び、マークシートの解答番号 2 の解答欄にマークせよ。

（説の名称）	（提唱者）
① 突然変異説	－ ド・フリース
② 自然選択説	－ ダーウィン
③ 地理的隔離説	－ ワグナー
④ 用不用説	－ ラマルク
⑤ 中立説	－ 木村資生

問3 表1のデータに基づいて、ヒトと動物種A～Dの計5種の間で、最も近縁となる動物種の組み合わせを1つ選び、マークシートの解答番号 3 の解答欄にマークせよ。

- ① AとB
- ② AとC
- ③ AとD
- ④ Aとヒト
- ⑤ BとC
- ⑥ BとD
- ⑦ Bとヒト
- ⑧ CとD
- ⑨ Cとヒト
- ⑩ Dとヒト

- 問 4 表1に基づいて作成した図1の(a)~(c)は、それぞれ表1の動物種 A~D のどの種に該当するか。最も適切な組み合わせを1つ選び、マークシートの解答番号 4 の解答欄にマークせよ。

	(a)	(b)	(c)
①	A	B	C
②	A	C	B
③	B	A	C
④	B	C	A
⑤	C	A	B
⑥	C	B	A

- 問 5 図1の分子系統樹において、5 および 6 はそれぞれ枝の長さ（共通祖先からその種までのアミノ酸変化量の平均値）を表している。各枝の長さとして適切なものを、それぞれ1つずつ選び、マークシートの解答番号 5 および 6 の解答欄にマークせよ。

- ① 11.5 ② 13.5 ③ 16.5 ④ 23 ⑤ 27
 ⑥ 33 ⑦ 35 ⑧ 67 ⑨ 70 ⑩ 74

- 問 6 文章中の下線部（う）にあるように、このタンパク質 X のアミノ酸の変化率は1.2であり、シトクロム c の変化率は0.3、染色体を構成しているヒストン H4 タンパク質の変化率は0.01であった。これらのことから、タンパク質 X はどのようなタンパク質であるといえるか。最も適切なものを1つ選び、マークシートの解答番号 7 の解答欄にマークせよ。

- ① 機能発現に重要なアミノ酸領域が多く、構造が厳密に維持されるタンパク質である。
 ② 機能的制約が小さく、中立的な変異が蓄積しやすいタンパク質である。
 ③ 変異がほとんど起こらない安定なタンパク質である。
 ④ 表現型に影響を及ぼしやすいタンパク質である。
 ⑤ 生命維持に直接関与しないタンパク質である。

- 問 7 系統的に古く分岐した生物群間の関係を解析する際、タンパク質 X を指標として用いた場合、ヒストン H4 を指標とした場合に比べ、どのような問題が生じやすいか。最も適切なものを1つ選び、マークシートの解答番号 8 の解答欄にマークせよ。

- ① 同じ場所でのアミノ酸の変化が重なり、実際の変化が少なく見える。
 ② アミノ酸の変化の速さが一定でないため、分子時計が成り立たない。
 ③ どちらもほぼ同じ精度で推定できるので、特に問題はない。
 ④ アミノ酸配列の保存性が高すぎて、比較ができない。
 ⑤ アミノ酸の変化が遅すぎて、違いを検出できない。

II

下記の文章を読んで各問に答えよ。

ヒトを含む陸生哺乳類の多くは、空气中を伝わる音波を効率的に捉えるため、聴覚器、すなわち ^(あ) 耳を発達させてきた。一方、^(い) 音波は、空气中だけでなく水中でも液体の振動として伝わる。同じ哺乳類でも、一生を水中で過ごすイルカのような水生哺乳類は、陸生哺乳類とは異なる聴覚器の構造を持つ。イルカの外耳道はふさがっているか、非常に細く、音を受容する働きはほとんどない。その代わりに、^(う) イルカにおいては下顎の骨がその役割を果たす。下顎骨の内部には脂肪組織（下顎脂肪体）が詰まっており、水中の音の振動を効率よく受け取って伝え、鼓室腔外側壁を構成する薄い骨板（鼓室板）を震わせる。これにより音の振動が中耳・内耳へと伝えられ、聴覚が成立する。このしくみは、^(え) 骨伝導の一種であると考えられている。

さらに、イルカは頭部にあるメロン体と呼ばれる器官を通して ^(お) 超音波（クリック音）を発し、その反響音を受容することで、濁った水中でも物体の位置や形状を認識できる。この能力は ^(か) エコーロケーション（反響定位）と呼ばれる。このように聴覚器は、同じ哺乳類でも生息環境に応じてその構造と機能が著しく異なっている。

問 1 文章中の下線部（あ）に関する下記の図の 9 ～ 13 に入る適切な語句を解答群 1 からそれぞれ 1 つ選び、マークシートの解答番号 9 ～ 13 の解答欄にマークせよ。

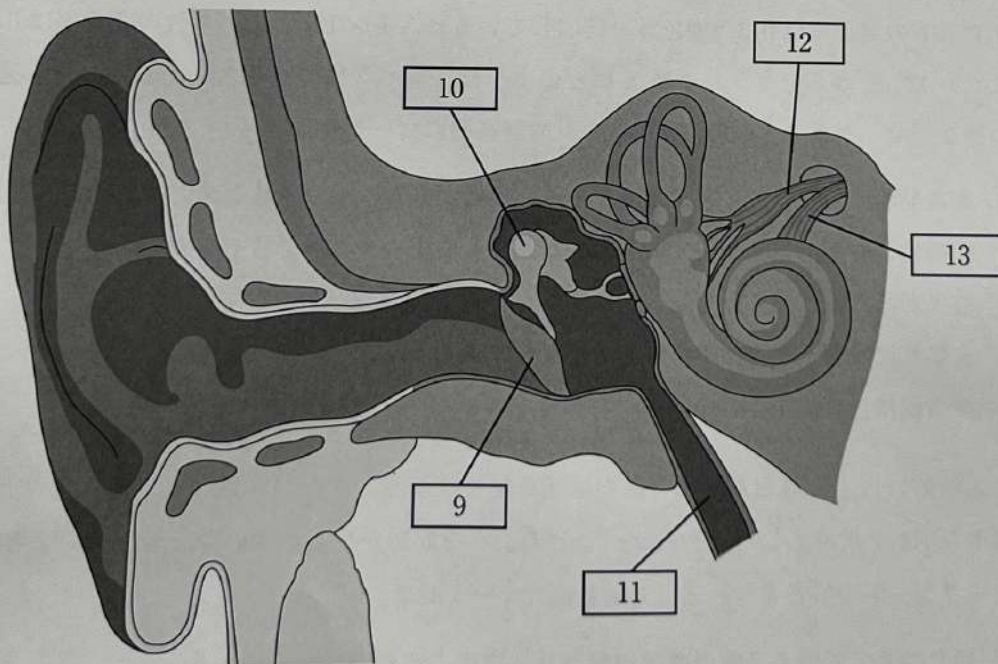


図 ヒトの耳の構造

解答群 1

- | | | | |
|--------------|-------|---------|--------|
| ① 耳管（ユースタキ管） | ② 正円窓 | ③ うずまき管 | ④ 半規管 |
| ⑤ 前庭 | ⑥ 聴神経 | ⑦ 鼓膜 | ⑧ 卵円窓 |
| | | ⑨ 耳小骨 | ⑩ 前庭神経 |

問 2 耳は、聴覚器だけでなく平衡感覚器も備えている。体の回転を感じる受容器と体の傾きを感じる受容器を解答群 1 からそれぞれ 1 つ選び、体の回転を感じる受容器をマークシートの解答番号 14、体の傾きを感じる受容器をマークシートの解答番号 15 の解答欄にマークせよ。

問 3 文章中の下線部 (い) に関して、陸生哺乳類の耳の中にも、音波が液体の振動として伝わる経路がある。ヒトの耳の構造の中で、音波が液体の振動に変換される部位はどれか。解答群 1 から最も適切なものを 1 つ選び、マークシートの解答番号 16 の解答欄にマークせよ。

問 4 文書中の下線部 (う) に関して、イルカの「下顎脂肪体と鼓室板」と、ヒトの「外耳道と鼓膜」は、どちらもそれぞれの環境で効率よく音の中耳・内耳に伝える役割を担っている。このように、起源は異なるが、同じような機能や役割を持つように進化した器官の関係を何と呼ぶか。最も適切なものを 1 つ選び、マークシートの解答番号 17 の解答欄にマークせよ。

- | | | | | |
|----------|------|------|------|-------|
| ① 異所的種分化 | ② 遷移 | ③ 相似 | ④ 痕跡 | ⑤ 連鎖 |
| ⑥ 同所的種分化 | ⑦ 相同 | ⑧ 変異 | ⑨ 重複 | ⑩ 共進化 |

問 5 文章中の下線部 (え) に関して、ヒト用に開発された骨伝導補聴器は、頭蓋骨を振動させ、その振動を内耳に直接伝えることで聴覚を生じさせる。このような骨伝導補聴器を用いても、聴覚機能が改善しないと考えられる障害をすべて選び、マークシートの解答番号 18 の解答欄にマークせよ。

- | | | | |
|------------|-----------|----------|---------|
| ① 聴神経の障害 | ② コルチ器の障害 | ③ 耳小骨の障害 | ④ 鼓膜の障害 |
| ⑤ 脳の聴覚野の障害 | ⑥ 外耳道の障害 | | |

問 6 文章中の下線部 (お) に関して、超音波とはヒトの耳で聞こえる上限を超えた振動数をもつ音波のことをいう。一般的にヒトの耳で聞こえる音波の上限とされる振動数を 1 つ選び、マークシートの解答番号 19 の解答欄にマークせよ (ヘルツは 1 秒間の振動数)。

- | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| ① 1,000 ヘルツ | ② 10,000 ヘルツ | ③ 20,000 ヘルツ | ④ 30,000 ヘルツ |
| ⑤ 50,000 ヘルツ | ⑥ 70,000 ヘルツ | | |

問 7 文章中の下線部(か)に関して、陸生哺乳類であるコウモリも、視覚がほとんど機能しない暗環境に適應するためにエコーロケーションを行うことが知られている。イルカとコウモリのように異なる系統の生物において、共通祖先がその形質を持っていなかったにもかかわらず同じような環境に適應するために似通った機能や形態を進化させることを、収れん(収束進化)という。収れんの例として適切なものを4つ選び、マークシートの解答番号 20 の解答欄にマークせよ。

- ① サメとイルカの流線型の体形
- ② チンパンジーの前肢とヒトの手
- ③ トビトカゲの翼膜(皮膜)とムササビの滑空膜
- ④ 魚類の鱗とセンザンコウの鱗
- ⑤ ネコの爪とウマの蹄
- ⑥ 爬虫類の鱗と鳥類の羽毛
- ⑦ 昆虫の翅とコウモリの翼

Ⅲ 下記の文章を読んで各問に答えよ。

同種のある生物集団がもつ遺伝子全体を(ア)といい、(ア)に含まれているそれぞれの対立遺伝子の割合を遺伝子頻度という。集団中のある個体に生じた遺伝的変異が個体の生存や繁殖に影響をおよぼす場合、集団内での遺伝的変異の遺伝子頻度は自然選択により変化する。一方、遺伝的変異が個体の生存や繁殖に影響を及ぼさない場合は、(イ)によって集団内での遺伝子頻度が変化する。集団を構成している個体数が(ウ)集団では、(イ)による遺伝子頻度の大きな変化が生じやすい。

問 1 文章中の(ア)～(ウ)に入る語句の組み合わせとして適切なものを1つ選び、マークシートの解答番号 21 の解答欄にマークせよ。

	(ア)	(イ)	(ウ)
①	遺伝子プール	遺伝的浮動	多い
②	遺伝子プール	遺伝的浮動	少ない
③	遺伝子プール	遺伝子量補正	多い
④	遺伝子プール	遺伝子量補正	少ない
⑤	遺伝子ライブラリー	遺伝的浮動	多い
⑥	遺伝子ライブラリー	遺伝的浮動	少ない
⑦	遺伝子ライブラリー	遺伝子量補正	多い
⑧	遺伝子ライブラリー	遺伝子量補正	少ない

問 2 タンパク質をコードする DNA の塩基配列に生じた変異のうち、アミノ酸配列を変化させないものを1つ選び、マークシートの解答番号 22 の解答欄にマークせよ。

- ① 挿入 ② 欠失 ③ 同義置換 ④ ナンセンス変異
⑤ ミスセンス変異 ⑥ フレームシフト変異

問 3 自由交配により繁殖している哺乳類において、ゲノム DNA の変化が遺伝的変異の原因になり得る細胞を3つ選び、マークシートの解答番号 23 の解答欄にマークせよ。

- ① 受精卵
② 神経細胞
③ 一次精母細胞
④ 子宮内膜細胞
⑤ 始原生殖細胞
⑥ 造血幹細胞

問 4 下記の文章を読んで設問に答えよ。

ニワトリは性染色体がZWの個体が雌となり、ZZの個体が雄となる雌ヘテロ接合型である。Z染色体上には羽色を決定するB遺伝子、および、その対立遺伝子であるb遺伝子が存在しており、B遺伝子をもつと羽色が縞模様の「横斑」となり、b遺伝子のみだと羽色が「黒色」になるとする。また、羽色に対する他の遺伝子の作用は無視できるものとする。

- (1) 「横斑」の雌鶏と「黒色」の雄鶏を交配させて得られたF₁個体に関して、正しい記述を解答群から2つ選び、マークシートの解答番号 24 の解答欄にマークせよ。

解答群

- ① 雌雄ともにすべての個体が「横斑」になる。
- ② 雌雄ともにすべての個体が「黒色」になる。
- ③ 雌はすべて「黒色」になる。
- ④ 雄はすべて「黒色」になる。
- ⑤ 雌はすべて「横斑」になる。
- ⑥ 雄はすべて「横斑」になる。
- ⑦ 雌で「横斑」と「黒色」が1:1で生じる。
- ⑧ 雄で「横斑」と「黒色」が1:1で生じる。

- (2) 問4(1)で作出したF₁同士を自由に交配させてF₂個体を作成した場合、F₂個体に関して、正しい記述を問4(1)の解答群から2つ選び、マークシートの解答番号 25 の解答欄にマークせよ。
- (3) 問4(2)で作出したF₂の雄集団におけるB遺伝子の遺伝子頻度の理論値を分数で表した場合は「1/26」となり、雌雄を合わせた全個体からなるF₂の集団におけるB遺伝子の遺伝子頻度の理論値を分数で表した場合は「1/27」となる。26と27に当てはまる数字をマークシートの解答番号 26と27の解答欄にそれぞれマークせよ。
- (4) 問4(2)で作出したF₂同士を自由に交配させてF₃個体を作成した。F₃の雄集団におけるB遺伝子の遺伝子頻度の理論値を分数で表した場合、「28/29」となる。28と29に当てはまる数字をマークシートの解答番号 28と29の解答欄にそれぞれ1つつマークせよ。

問 5 下記の文章を読んで設問に答えよ。

植物や動物の遺伝的形質を改良する育種では、集団を構成している個体から一部の個体を選抜して交配に用いて次世代を作出するため、自然選択の場合と同様に、ある遺伝子の遺伝子頻度は世代ごとに変化する。牛において、常染色体上に A 遺伝子とその対立遺伝子である a 遺伝子があり、AA のホモ接合体および Aa のヘテロ接合体では毛色が黒色になり、aa のホモ接合体では毛色が褐色になるとする。毛色に対する他の遺伝子の作用は無視できるものとする。

- (1) ある牛の集団における A 遺伝子の遺伝子頻度を p 、a 遺伝子の遺伝子頻度を q とし、 $p+q=1$ であるとする。この牛の集団において、褐色の牛を次世代作出のための交配に用いず、黒色の牛だけで自由に交配を行なった場合、次世代の a 遺伝子の遺伝子頻度 q' を表しているのはどれか。マークシートの解答番号 30 の解答欄にマークせよ。

- ① $pq/(1+p^2)$ ② $pq/(1-p^2)$ ③ $pq/(1+q^2)$ ④ $pq/(1-q^2)$
 ⑤ $pq/(p+q)$ ⑥ $2pq/(p+q)$ ⑦ $pq/(p+q)^2$ ⑧ $2pq/(p+q)^2$

- (2) 自由に交配が行われている牛の大きな集団において、黒色の牛が 96 %、褐色の牛が 4 % の割合で存在していたとする。この牛の集団を 0 世代とし、褐色の牛を交配に用いず、黒色の牛だけの自由な交配を繰り返して世代を更新した場合、集団中の a 遺伝子の遺伝子頻度が 0 世代の半分になるのは、0 世代から 31 世代後の世代である。31 に当てはまる数字をマークシートの解答番号 31 の解答欄にマークせよ。ただし、交配は同じ世代間でのみ行われるものとし、遺伝子頻度は各世代ごとに求めるものとする。

IV 下記の文章を読んで各問に答えよ。

生体内の多くの化学反応では酵素が触媒として働いている。生体内の物質は安定したものが多く、物質の化学反応が進行するためには物質が一時的に反応しやすい状態になる必要がある。安定した状態から反応しやすい状態になるために必要なエネルギーを(a)エネルギーといい、酵素は(a)エネルギーを小さくして、化学反応を起こりやすくする働きをもつ。このことは通常の触媒と同様であるが、酵素は主成分が(b)であることにより、生体触媒として特別な性質をもっている。

酵素の作用をうける物質を(c)といい、酵素が特定の(c)に選択的に作用する性質を(d)という。これは酵素にはそれぞれ特有の(e)があり、その構造に適した(c)だけが結合して反応がおこるためである。酵素が働くためには最適な(f)やpHがあり、(f)やpHの変化によって(e)の立体構造が変化すると酵素と(c)の結合がうまくできなくなり、反応速度に影響を与える。(あ)酵

問 1 文章中の(a)～(f)に入る最も適切な語句を記せ。

問 2 文章中の下線部(あ)の「酵素と(c)が結合したもの」を何というか、適切な語句を記せ。

問 3 一定量のスクロース(ショ糖)に一定量のスクロース分解酵素(スクラーゼ)を作用させ、時間を追って生成物を測定する実験を行った。得られた結果を図1に示した。下記の設定問に答えよ。

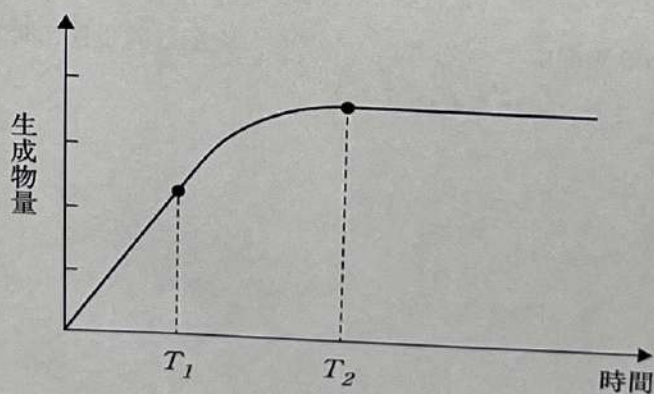


図 1 スクロースの分解反応における時間と生成物量

(1) 図1中の T_1 までの反応速度について、最も適切な記述を①～④から選び、番号で解答欄に記せ。

- ① 一定の割合で増加している。
- ② 一定の割合で低下している。
- ③ 常に一定である。
- ④ このグラフからは確認できない。

(2) 図1中の T_2 以降の時間で生成物量が増加しなくなった理由を、「スクロース」という言葉を用いて30字以内で記せ。ただし、酵素は必要十分量が存在しているとする。

問 4 文章中の(e)とは異なる部位に調節物質が結合し活性が調節される酵素の名称を記せ。また(e)以外の部分に阻害物質が結合することによる酵素反応の阻害の名称を記せ。

問 5 図2は pH と 3 種類の消化酵素の反応速度の関係を示したものである。

酵素 A～C の名称として適切なものを下記の①～③からそれぞれ 1 つ選び、番号で記せ。またそれぞれの酵素が含まれている消化液の名称を記せ。

- ① トリプシン ② ペプシン ③ アミラーゼ

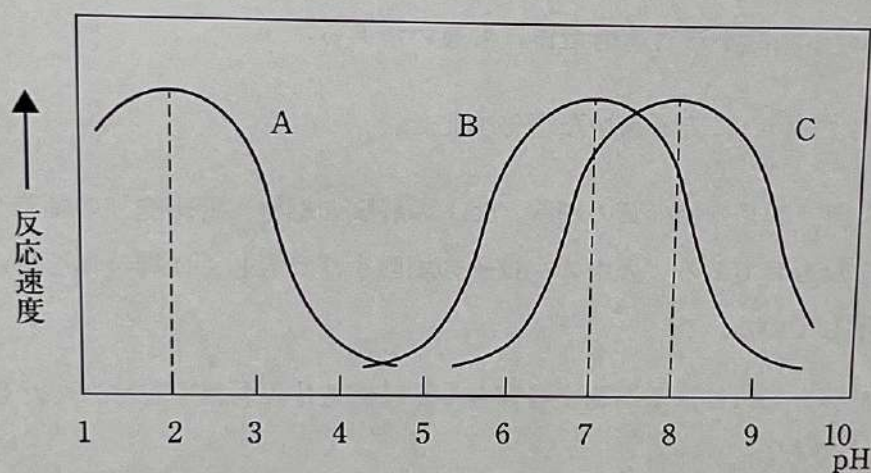


図 2 pH と消化酵素の反応速度

V 下記の文章を読んで各問に答えよ。

細胞を構成している物質のうち、生重量で最も割合が高いものは(a)であり、動物細胞、植物細胞、細菌(大腸菌)のいずれにおいても生重量の70%近く、もしくはそれ以上の割合を占めている。植物細胞では、(a)に次いで割合が高いのは(b)であり、生重量の15%以上を占めている。一方、動物細胞や細菌(大腸菌)では、(a)に次いで割合が高いのは(c)であり、動物細胞や細菌(大腸菌)において(b)が占める割合は1~5%程度である。動物細胞では、(c)に次いで割合が高いのは(d)であるのに対し、細菌(大腸菌)では(e)である。動物細胞、植物細胞、細菌(大腸菌)では、細胞を構成している物質の割合に違いがあるだけでなく、持っている細胞小器官・構造体にも違いがある。

問 1 文章中の(a)~(e)に入る適切な語句を記せ。

問 2 下表は大腸菌、アサガオの葉の細胞、ヒトの肝臓の細胞(肝細胞)の細胞小器官、もしくは構造体の有無を記したものである。表中の○はその細胞小器官もしくは構造体を持っており、×は持っていないことを示している。

(1) 表中の(f)~(h)に入る細胞小器官もしくは構造体の名称を記せ。ただし、(h)はリソソーム以外のものである。

表 各細胞が持っている細胞小器官・構造体

	大腸菌	アサガオ の葉の細胞	ヒトの 肝細胞
(f)	○	○	×
(g)	×	○	×
(h)	×	×	○
リソソーム	×	×	○

(2) 表中の(h)に入る細胞小器官もしくは構造体の機能・役割について記せ。

(3) リソソームの特徴と役割を記せ。