

生 物

生物 問題 I

次の【A】および【B】の文章を読み、下の問に答えよ。

【A】 現代の進化説につながる考え方は（あ）によってはじめて提唱された。（あ）は①「生物集団のある個体に生じた遺伝的な変異のうち、生存や繁殖に有利な変異が選択される」とする自然選択説を 1858 年に発表した後、1859 年には「種の起源」を出版した。（い）は植物の栽培実験から 1900 年にメンデルの法則を再発見するだけでなく、1901 年には②「生物の進化は突然変異によって起こる」という突然変異説を唱えた。

遺伝子やタンパク質の分析技術の進歩に伴い、③生物集団は DNA の塩基配列やタンパク質のアミノ酸配列の変化など分子レベルで、たくさんの突然変異を抱えていることがわかってきた。様々な解析の結果、突然変異には自然選択を受けないものの方が非常に多いことや、生物種にかかわらず、特定の遺伝子やタンパク質に注目したとき、分子進化の速度はほぼ一定であることが明らかになった。このことから、（う）は 1968 年、「DNA の塩基配列やタンパク質のアミノ酸配列の変化は、自然選択に対して、有利でも不利でもない中立的なものが大部分である」という中立説を提唱し、分子レベルでの進化は中立な突然変異と遺伝的浮動によって起こっている場合がほとんどであると考えた。今日においては、生物集団の中で遺伝子の突然変異が起こり、それが自然選択や遺伝的浮動などの要因により集団内に広がることで、生物の進化が起こると考えられている。

問 1. （あ）～（う）に当てはまる人名を下記の人名群から選び、それぞれ記せ。

ダーウィン ド・フリース モーガン ラマルク リンネ 木村資生 利根川進

問 2. 下線部①について、自然選択による適応進化の例にあてはまらないものを（a）～（e）から 1 つ選び、記号を記せ。

- (a) アメリカ先住民の血液型には O 型が多い。
- (b) クジャクの雄の飾り羽根は、雌より長くなった。
- (c) ハナカマキリは、生息場所の花によく似た形態をもつ。
- (d) 工業化に伴い、ガの一種オオシモフリエダシヤクにおいて暗色型が増加した。
- (e) マラリアが多発する地域では、かま状赤血球症の原因となる遺伝子の頻度が高い。

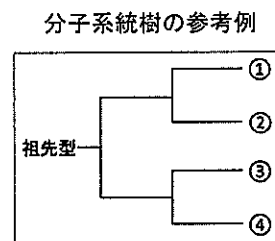
問 3. 下線部②について、DNA の塩基単位の突然変異は主に DNA の複製過程で生じるが、誤ったヌクレオチドを取り除くことができる酵素はどれか。（a）～（d）から 1 つ選び、記号を記せ。

- (a) DNA リガーゼ (b) DNA ヘリカーゼ (c) DNA ポリメラーゼ (d) RNA ポリメラーゼ

問 4. 下線部③について、ある動物群の特定領域の DNA 塩基配列を図 1 に示した。祖先型および動物①～④の塩基情報をもとに、最節約法による分子系統樹を右の参考例の様式に従い作成せよ。なお、図 1 では祖先型と異なる塩基を下線で示した。

祖先型 TGGGTCATACACTAACGCATT
動物① TGGGACATACACTAACCCATT
動物② TGGGTCATICACTAACGCITT
動物③ TGAGTCATICACTAACGCATA
動物④ TGGGTCAATCACCAACGCITT

図 1 塩基配列情報



生 物

【B】 最初の眼は、明暗だけがわかる単純な眼点であったと考えられている。その後、⑥像を結ぶことができる水晶体（レンズ）が進化した。脊椎動物の水晶体は（え）に由来し、哺乳類の水晶体は主に α -クリスタリン、 β -クリスタリン、 γ -クリスタリンという3種類のタンパク質から構成されている。哺乳類の α -クリスタリンには、遺伝子の（お）により生じた相同性が高い α A-クリスタリン、 α B-クリスタリンがある。以下に、【A】で説明した生物の進化のうち、（か）にあてはまる例を示す。

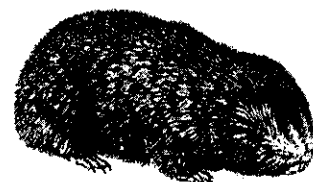


図2 シリアヒメメクラネズミ

げっ歯類メクラネズミ属のシリアヒメメクラネズミ種（図2）は、およそ4000万年前に共通祖先から分岐し、およそ2500万年前に地中で生活するようになった。このメクラネズミの眼は視覚機能を失っているが、明暗の識別や概日リズムの制御には必要とされている。メクラネズミの視覚機能の喪失が α A-クリスタリン遺伝子の分子進化に及ぼす影響を調べるために、 α A-クリスタリンのアミノ酸を指定する塩基配列について、メクラネズミを含む4種のげっ歯類の間で比較した。遺伝子に生じた塩基置換はアミノ酸配列の変化を起こすもの（非同義置換）と、起こさないもの（同義置換）に分類することができる。その結果を同義置換と非同義置換の数として表1に示す。ただし、4種の共通祖先とマウス、ラット、ハムスターとの間に非同義置換はなかった。

表1 α A-クリスタリンの同義置換と非同義置換の数

	非同義置換	同義置換	マウス	ラット	ハムスター	メクラネズミ
マウス				0	0	9
ラット	19				0	9
ハムスター	25	28				9
メクラネズミ	45	38	38			

問5. 下線部④について、ヒトの眼を例として下記の部位をすべて含む構造（断面）を、答案用紙に記載の構造の一部に加えて描き、完成せよ。また、描いた図中の水晶体を矢印で示せ。ただし、描いた図中に下記の名称を記載する必要はない。

部位： 角膜 虹彩 水晶体（レンズ） ガラス体 網膜 脈絡膜 強膜

問6. （え）～（か）に当てはまる最も適切な語句はどれか。（a）～（j）から選び、それぞれ記号を記せ。

- (a) 遺伝的浮動 (b) 眼胞 (c) 生殖的隔離 (d) 性選択 (e) 自然選択
(f) 修復 (g) 神経管 (h) 重複 (i) 表皮 (j) 誘導

問7. α A-クリスタリンのアミノ酸に遺伝的変化をもたらした遺伝子突然変異が生じた細胞として最も適切なものはどれか。（a）～（f）から1つ選び、記号を記せ。

- (a) 錐体細胞 (b) 生殖細胞 (c) 角膜の細胞 (d) 視神経細胞 (e) 水晶体の細胞 (f) 神経管の細胞

問8. メクラネズミの α A-クリスタリン遺伝子について、地中で生活するようになってからの進化を説明した説を下記に示す。（き）～（こ）に当てはまる最も適切な語句はどれか。それぞれ①～③から1つ選び、記号を記せ。

一般的な分子時計の考え方にもとづくと、メクラネズミの α A-クリスタリン遺伝子において、遺伝子突然変異の頻度は他のげっ歯類と比べて（き：①高かった、②低かった、③等しかった）が、機能的制約が（く：①多かった、②少なかった、③等しかった）ことから、遺伝子突然変異の結果は生存に（け：①有利であった、②不利であった、③有利でも不利でもなかった）。よって、 α A-クリスタリンのアミノ酸配列が変化する速度は他のげっ歯類と比べて（こ：①大きかった、②小さかった、③変わらなかった）。

問9. 今から1000万年後に、メクラネズミの α A-クリスタリン遺伝子の非同義置換数は今からさらにいくつ増えると推定されるか。また、同義置換数はいくつ増えると推定されるか。それぞれ計算過程を記載し、小数点以下1桁で答えよ。ただし、この1000万年の間に、メクラネズミの生活環境が大きく変化することや、変異をさらに誘発する要因は増えないと仮定する。

生物 問題 II

次の文章を読み、下の間に答えよ。

動物は、光、音、においなどの外界からの物理的、または化学的な刺激を、眼や耳、鼻などの（ あ ）器で感知する。受け取った刺激の情報は、中枢神経で処理された後、神経細胞を介して骨格筋や分泌腺などの（ い ）器に伝わり、その結果、刺激に応じた反応や行動が起こる。

鼻腔の奥にある（ う ）には、（ え ）とよばれる感覚細胞が存在する。（ え ）は（ う ）の表面の粘液中に、多数の（ お ）をのばしており、その細胞膜上に、におい物質と結合できる（ か ）をもっている。空気中に拡散しているにおい物質が（ か ）と結合すると、その信号が引き金となって嗅神経の興奮を引き起こす。この興奮が、嗅球を経て脳のさまざまな部位に伝えられ、情報が処理された結果、においに対する反応や行動が生じる。

においに対する反応や行動のしくみを調べるため、以下の実験のように、におい刺激に対するマウスの行動を観察した。行動観察中は、ケージ内のマウスににおい刺激を提示するため、ケージににおい物質を浸み込ませた綿棒を入れた（図1）。



図1 におい刺激の提示方法
におい物質を浸み込ませた綿棒をケージ内に入れる。

【実験1】

正常なマウス、嗅球内のある領域Yを破壊したマウス（領域Y破壊マウス）、領域Y内の小領域yを破壊したマウス（領域y破壊マウス）をそれぞれ別のケージに入れ、におい刺激を提示してから一定時間観察し、その間にマウスが綿棒を嗅ぐ行動をした合計時間を計測した（図2）。水を浸み込ませた綿棒を嗅ぐ行動をした時間を基準とすると、正常なマウスは、天敵であるキツネのにおい（天敵臭）や腐敗臭を嗅ぐ時間がごく短く、忌避反応を示した。一方、アーモンドのにおいを嗅ぐ時間が長く、誘引反応を示すことがわかった。また、正常なマウスがゴムのにおいを嗅ぐ時間は、水を浸み込ませた綿棒を嗅ぐ時間と同程度であった。領域Yまたは領域y破壊マウスは、天敵臭や腐敗臭に対して、それぞれ正常なマウスとは異なる行動を示した。

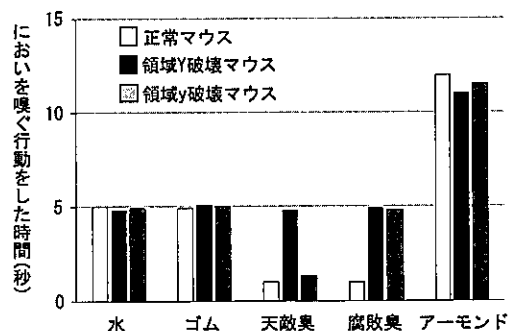


図2 嗅球内領域の破壊により生じたマウスがにおいを嗅ぐ行動をした時間の変化

【実験2】

ゴムのにおいを浸み込ませた綿棒をケージ内に入れ、正常マウスが綿棒を嗅ぐ行動をした時間を、実験1と同様に計測した。その直後に、腹部の不快感を生じさせる塩化リチウムを正常マウスの腹腔内に投与した。48時間後、同じマウスに再び綿棒にてゴムのにおいを提示したところ、1回目よりもゴムのにおいを嗅ぐ時間が短くなった（図3）。このような行動の変化は、ゴムのにおいを提示した場合にのみ観察された。また、塩化リチウムを投与しなかった場合、1回目と2回目（48時間後）で、正常マウスがゴムのにおいを嗅ぐ行動をした時間は同程度であった。

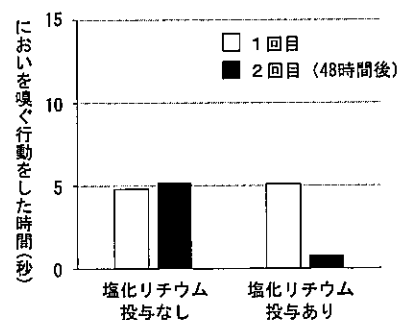


図3 塩化リチウムの投与により生じた正常マウスがゴムのにおいを嗅ぐ行動をした時間の変化

【実験3】

腐敗臭を浸み込ませた綿棒をケージ内に入れ、領域 y 破壊マウスが綿棒を嗅ぐ行動をした時間を、実験1と同様に計測した。その直後に、塩化リチウムを領域 y 破壊マウスの腹腔内に投与した。48時間後、同じマウスに再び綿棒にて腐敗臭を提示したところ、1回目よりも腐敗臭を嗅ぐ時間が短くなった（図4）。このような行動の変化は、腐敗臭を提示した場合にのみ観察された。また、塩化リチウムを投与しなかった場合、1回目と2回目（48時間後）で、領域 y 破壊マウスが腐敗臭を嗅ぐ行動をした時間は同程度であった。

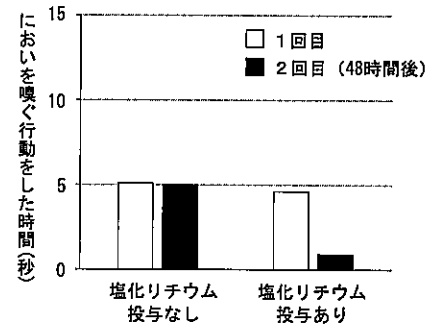


図4 塩化リチウムの投与により生じた領域y破壊マウスが腐敗臭を嗅ぐ行動をした時間の変化

問1. (あ)～(か)に当てはまる語句を記せ。

問2. 実験1のような天敵臭や腐敗臭、食物のにおいに対する行動は、生まれてから一度もそれらのにおいを嗅いだことがないマウスにおいても観察される。このような行動を何というか、記せ。

問3. 実験1で観察されたマウスの反応において、領域Yと領域yは、それぞれどのような役割をしているか。

(a)～(f)に入る適切な語句を、①「必須」、②「必須でない」から選び、記号で記せ。

領域Y; 天敵臭に対する忌避反応に (a)。腐敗臭に対する忌避反応に (b)。

アーモンドのにおいに対する誘因反応に (c)。

領域y; 天敵臭に対する忌避反応に (d)。腐敗臭に対する忌避反応に (e)。

アーモンドのにおいに対する誘因反応に (f)。

問4. 実験2で観察されたような反応をはじめ、生まれてからの経験によって変化する行動を何というか、記せ。

問5. 実験1と2の結果から、本来、マウスにとってゴムのにおいは誘引反応も忌避反応も示さない刺激であったと考えられるが、実験2において、マウスはゴムのにおいに忌避反応を示すようになった。その理由を簡潔に説明せよ。

問6. 実験3の結果に関して、次の(1)～(5)の中で誤っているものをすべて選び、数字を記せ。

- (1) 領域 y 破壊マウスは、腐敗臭を感知することができた。
- (2) 領域 y 破壊マウスは、どのような条件でも忌避反応を示さなかった。
- (3) 領域 y 破壊マウスにおいて、塩化リチウムを用いた条件づけが成立している。
- (4) 塩化リチウムの投与により生じた腹部の不快感は、条件反応を引き起こす条件刺激となっている。
- (5) 塩化リチウムの投与後に腐敗臭を嗅ぐ時間が短くなったのは、領域 y 破壊マウスが腐敗臭に対して慣れたためである。

問7. 実験1～3の結果を総合して、小領域 y は腐敗臭に対する反応において、どのようなはたらきをしていると考えられるか。「忌避反応」「感知」「条件づけ」の3語を用いて簡潔に説明せよ。

生物 問題 III

次の文章を読み、下の問に答えよ。

細胞は様々な環境変化に応答して生命活動を営んでいる。細胞は酸素を感知するしくみを備えており、それは代謝や免疫の応答に役立っている。例えば、激しい運動をしているときの筋肉では、細胞は酸素が足りないことに適応して、ピルビン酸から（あ）への変換が抑制され、（い）への変換が促進される。また、生体は低酸素状態を感知すると、①赤血球の産生を促進するなどの防御応答を示す。一方、細胞は生命活動に必要なエネルギーを細胞の呼吸によって得ているが、その過程で酸素分子に由来する反応性の高い分子群（活性酸素）が過剰に産生されることがある。このとき細胞は“酸化ストレス”にさらされる。酸化ストレスは DNA やタンパク質に損傷を与えて、それが細胞死や炎症につながることもある。しかし、細胞は酸化ストレスに応答して、生体防御のための遺伝子を発現させることによって、酸化ストレスに対応している。

酸化ストレスに応答して発現が誘導される応答遺伝子 R と、応答遺伝子 R の発現誘導に関わるタンパク質 X と Y がある。Y は X と結合することで X の機能を制御している。X は Y 以外のタンパク質による制御は受けけないものとする。そこで、X と Y による応答遺伝子 R の発現制御のしくみを調べるために実験 1～4 をおこなった。そのうち実験 1～3 では、② X または Y を発現するプラスミド（それぞれ pX, pY とする）を培養細胞に導入して、細胞内で X と Y を発現させる実験をおこなった。なお、プラスミドを導入する実験 1～3 では、培養細胞自身のゲノム DNA から発現する X と Y による影響はなく、pX と pY から発現する X と Y の作用のみを考えるものとする。実験の結果を考察して問に答えよ。

【実験 1】

培養細胞に pX と pY を導入して、応答遺伝子 R の mRNA 量の変化を調べた。pX 単独の導入で応答遺伝子 R の mRNA 量が著しく増加した。一方、pX と pY を同時に培養細胞に導入すると、応答遺伝子 R の mRNA 量の増加は見られなかった。その結果を図 1 に示す。

【実験 2】

培養細胞に pX と pY を導入して、発現した X と Y が存在する細胞内の場所を調べたところ、X または Y を単独で発現させた場合、X は核内に存在し、Y は細胞質に存在した。X と Y を同時に発現させると、X と Y はともに細胞質に存在した。次に、X と Y を同時に発現させたあとに、酸化ストレス剤（酸化ストレスを引き起こす物質）を添加すると、X は核内に存在し、Y は細胞質に存在した。それらの結果を図 2 に示す。

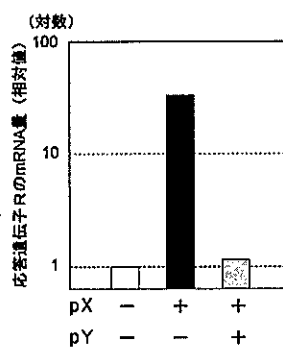


図 1 X と Y による応答遺伝子 R の発現制御

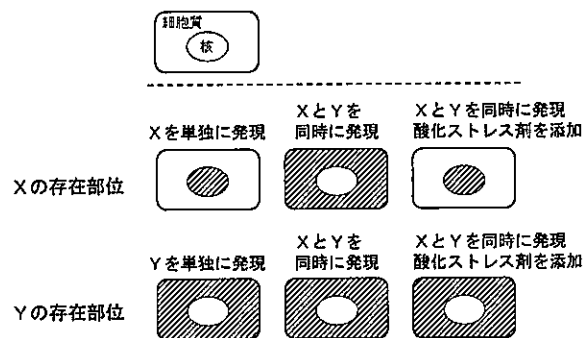


図 2 細胞内でタンパク質 X と Y が存在する場所（斜線部分）

【実験 3】

X 分子を 4 つの領域 A～D に分けて、それぞれ 1 つの領域を欠失する 4 種類の変異型 I から IV を発現するプラスミド DNA を、図 3 のように作製した。実験 1, 2 と同様に、X の正常型または変異型 I から IV をそれぞれ培養細胞に導入して、同時に Y を発現させる場合と、X と Y を同時に発現させたあとに酸化ストレス剤を添加する場合の、応答遺伝子 R の mRNA 量をそれぞれ調べた。それらの結果を図 4 に示す。なお、X の正常型、X の変異型、Y の細胞内の発現量はいずれの条件でも一定とする。

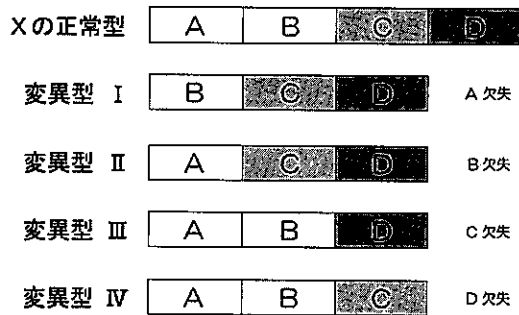


図3 X変異体の構造の模式図

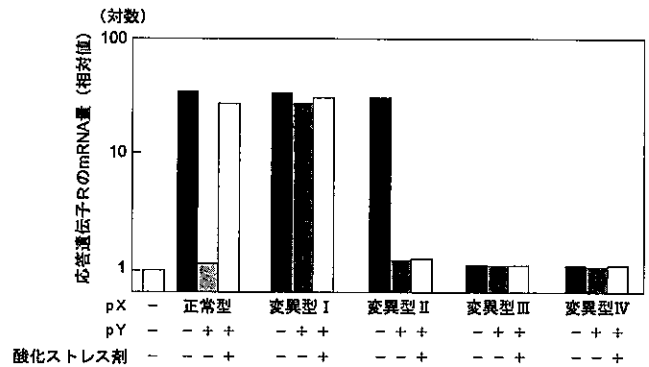


図4 X変異体の遺伝子導入による応答遺伝子RのmRNA量

【実験4】

③mRNAの一部と同じ塩基配列をもつ短い2本鎖RNAを細胞に導入すると、mRNAが分解されるなどの現象が起こり、その結果、特定の遺伝子の発現を人為的に強く抑制することができる。この手法を、もともとXとYを発現する培養細胞に適用した。酸化ストレス剤を添加しない条件では、Xの発現を抑制した細胞に細胞死は認められなかった。次に、酸化ストレス剤を添加した条件では、Xの発現を抑制すると死滅する細胞数が顕著に増加した。一方、④Yの発現を抑制した細胞では、応答遺伝子Rの発現が常に高く維持されていることがわかり、酸化ストレスを与えた条件でも細胞は死滅しなかった。

問1. 本文中の（あ）と（い）に最も当てはまる語句を記せ。

問2. 下線部①の赤血球は、ヒト正常血液1mm³中に4.5～5 × 10ⁿ (※) 個含まれている。nに当てはまる数字（整数）を記せ。

問3. 下線部②のプラスミドについて、以下の問に答えよ。

- (1) 目的の遺伝子をプラスミドに組み込むために利用されている主要な2つの酵素名を記せ。
- (2) プラスミドのような組換え遺伝子の運び手は何と呼ばれるか、名称を記せ。
- (3) プラスミドの他に、組換え遺伝子の運び手として用いられるものを1つあげて、名称を記せ。

問4. 下線部③の現象は、細胞に備わる遺伝子発現調節のしくみの1つである。このしくみは何と称されるか。

問5. 変異型IIIと変異型IVについて、実験2の条件でXの細胞内の存在場所を調べた。変異型IIIは各条件で正常型と同じ場所に、変異型IVはすべての条件で細胞質に存在した。これらの結果から推察される領域A～Dの役割として、最も適当なものを下記の（ア）～（カ）から1つずつ選び、それぞれ記号で記せ。

- | | | |
|------------------|------------------|-----------------|
| (ア) mRNAの合成を促進する | (イ) mRNAの合成を抑制する | (ウ) Xを核に移動させる |
| (エ) Yを核に移動させる | (オ) Yと結合する | (カ) 酸化ストレスに応答する |

問6. 実験結果から推察できるXとYの機能にもとづいて、下線部④が観察された理由を説明せよ。