



2023 年 度

問題冊子

教 科	科 目	ページ数
理 科	生 物	16

試験開始の合図があるまで、問題冊子を開かないこと。

解答の書き方

1. 解答は、すべて別紙解答用紙の所定欄に、はっきりと記入すること。
2. 解答を訂正する場合には、きれいに消してから記入すること。
3. 解答用紙には、解答と選択した選択問題の番号、志望学部及び受験番号のほかは、いっさい記入しないこと。
4. 問題〔4〕、〔5〕は選択問題である。どちらか一方のみを解答すること。両方を解答してはいけない。選択問題〔4〕、〔5〕のうち、選択した問題の番号を解答用紙(その4)の所定の枠内に記入すること。

注 意 事 項

1. 試験開始の合図の後、すべて(5枚)の解答用紙に志望学部及び受験番号を必ず記入すること。
2. 理科の選択科目は、出願時に選択したものと異なるものについて解答してはいけない。
3. 下書き用紙は、片面だけ使用すること。
4. 試験終了時には、解答用紙を必ずページ順に重ね、机の上に置くこと。解答用紙は、解答していないものも含め、すべて(5枚)を回収する。
5. 試験終了後、問題冊子及び下書き用紙は持ち帰ること。

〔1〕 次の文章を読み、以下の問い(問1～5)に答えよ。

念願だった植物を扱う研究室に所属することができた。本格的に研究を始める前に、「植物を枯らさないように育てて生命現象を理解するように」と、指示を受けた。研究室では様々な被子植物の種子を保管しており、その中から高校時代に学んだことのあるオオムギの種子を選んだ。種子は、生育に適さない時期は休眠をして、ある程度、休眠期間を経て休眠から目覚め、^①発芽に適した条件下におかれると発芽する、という種子発芽の流れを思い出し、^②種をまいて発芽の様子を観察した。その後、成長したオオムギの花の咲く様子を観察しようとしたが、花が小さくて観察することができなかった。花の咲く様子の観察には、オオムギの花よりも大きな花を咲かせる植物を使って観察した方が良いと考え、種子の保管庫からアサガオの種子を取り出し、発芽しやすいように処理をした。短日植物であるアサガオにおいて、日長処理を行うことにより、本当に早く花芽が形成されるのかということも確かめたいと考え、日長を感受してから花芽を形成するまでの過程を勉強してから、^③アサガオの種をまいた。日長処理を行わない未処理区、日長処理を行う短日処理区を設定して実験したところ、未処理区に比べ短日処理区で早く花芽が形成され、^④栄養成長から生殖成長への切り替えに日長が深く関わっていることを理解した。花芽は発達し、開花して、受粉した後、果実を形成した。果実内の発達を経時的に観察し、種子形成過程を理解した。他の温室に入ると、色々な成長段階のイチゴの果実の他に、^⑤いびつな形をしたイチゴの果実も見つけた。先輩に質問したところ、「病虫害の防除はしていたし、受粉後に人為的な処理は一切していない」と言っていた。この現象について自分で調べた。調べながら、少しだけ『研究をする』ということがわかったような気がした。やはり、大学院へ進学しようと心に決めた。

問 1 下線部①について、種子の休眠に関わる植物ホルモンの名称を答えよ。

問 2 下線部②について、オオムギやイネなどの種子では、水や温度、酸素などの発芽に適した条件が揃うとジベレリンの含有量が高まり、発芽に至る。ジベレリンによる発芽の促進について、以下の語句をすべて用いて説明せよ。
(アミラーゼ、糊粉層、デンプン、糖、胚、胚乳)

問 3 下線部③について、多くの植物では、日長が花芽形成の開始を左右していることが知られている。以下の文章は、日長による花芽形成について説明した文章である。文中の ～ に入る適切な語句を答えよ。

チャイラヒャンが提唱した植物ホルモンのような働きをする花成誘導物質「」の実体が、シロイヌナズナやイネを用いた研究により明らかになっている。シロイヌナズナを用いた研究によって、花芽形成までの流れが次のようにまとめられている。日長を が感じ取り、 で合成された が維管束の複合組織である を通って に達し、 において と複合体を形成して花芽形成に関わる遺伝子の発現を誘導することにより、花芽形成が開始される。

問 4 下線部④について、被子植物の花の基本構造は共通しており、最も外側の領域から内側に向かって、領域 1、領域 2、領域 3、領域 4 が同心円状に配置されている。以下の問いに答えよ。

- (1) 領域 1、領域 2、領域 3、領域 4 の各花器官の名称を答えよ。
- (2) 花器官の形成は、A クラス遺伝子、B クラス遺伝子、C クラス遺伝子の働きによって制御されている。これら遺伝子がどのように働いて各領域の花器官が形成されるのか説明せよ。
- (3) 領域 1～4 の花器官の形成に関わる A クラス遺伝子、B クラス遺伝子、C クラス遺伝子の働きが全て失われた突然変異体の形態について答えよ。

問 5 下線部⑤に関連する以下の問いに答えよ。

- (1) 一般的に果実の成長には、2つの植物ホルモンが主に関わっている。果実の成長に関わる植物ホルモンの名称を2つ答えよ。
- (2) 果実は、成熟によって果実の軟化や果皮の変色などの変化を示す。成熟した果実と未成熟の果実を密閉容器に入れると、未成熟の果実が成熟することが知られている。果実の成熟に関わる植物ホルモンの名称を答えよ。また、この植物ホルモンは果実の成熟以外に、複数のはたらきを持つ。そのはたらきを2つ答えよ。

問 3 文章中の には適切な語句を, には等式を記入せよ。
なお, には問 1 と同じ語句が入る。

問 4 下線部②について, ミツバチでは, 雌は受精卵から発生し二倍体であるが, 雄は未受精卵から発生し半数体である。そのため, 同じ父親をもつ姉妹間の は母娘間の よりも高い。姉妹間で特定の対立遺伝子が母親由来で共有される確率と, 同じ父親由来で共有される確率を, それぞれ等式を用いて説明し, それらの結果から姉妹間の を算出せよ。なお, には問 3 と同じ語句が入る。

問 5 雌雄ともに二倍体である生物の場合, 親子間の と兄弟姉妹間の は共に 0.5 であるため, 遺伝子を残すという意味においては, 「自身の子を l 個体残すこと」と「両親を助けて弟妹を l 個体残すこと」は等価である。では, ミツバチのように, 雌が二倍体, 雄が半数体である生物の場合, 「ある雌個体が自身の子を m 個体残すこと」と, 「その雌個体が両親を助けて妹を n 個体残すこと」が, 遺伝子を残すという意味において等価になる場合, m と n の比を最も簡単な整数で示せ。なお, には問 3 と同じ語句が入る。

試験問題は次に続く。

〔2〕 次の文章を読み、以下の問い(問1～5)に答えよ。

ほぼ全ての植物は光合成を行い、二酸化炭素と水を材料として有機物を合成している。光合成は細胞内の葉緑体で行われており、チラコイドで起こる反応とストロマで起こる反応に大別される。

チラコイドの膜には光合成の反応にかかわる色素やタンパク質が組み込まれており、光化学系Ⅰと光化学系Ⅱ、電子伝達系、ATP合成酵素が存在している。光化学系Ⅱでは、光によって活性化された反応中心クロロフィルが電子を放出する。放出された電子は電子伝達系を通じて光化学系Ⅰへ渡され、NADPHの合成に使用される。また、ATP合成酵素は、光化学系Ⅱと電子伝達系の反応で生じた H^+ の濃度勾配を利用してATPを合成する。合成されたATPとNADPHは、ストロマでの反応に利用される。

ストロマには、多くの酵素反応が回路状になっているカルビン・ベンソン回路がある。カルビン・ベンソン回路では、最初に二酸化炭素がRubisco(ルビスコ、ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase)の働きによってリブローズ1,5ビスリン酸(RuBP)と結合してホスホグリセリン酸(PGA)となる。PGAはいくつかの反応を経てグリセルアルデヒド-3-リン酸(GAP)となる。GAPの一部はデンプンなどの有機物を合成する材料となるが、回路に残ったGAPは酵素反応を経てRuBPへ再合成される。

光合成によって作られた有機物は、呼吸によって植物体へエネルギーを供給するだけでなく、アミノ酸や脂質の合成材料としても利用されて植物を成長させていく。

問1 下線部①について、光合成では酸素も生じており、この酸素は同位体を用いた実験結果から全て同一物質由来であることが知られている。酸素の発生源となっている物質を答えよ。また、この酸素は光化学系Ⅰ、光化学系Ⅱ、電子伝達系、カルビン・ベンソン回路のいずれで発生するかについても答えよ。

Ⅱ c を考える場合、助ける個体と助けられる個体が共通祖先由来の特定の対立遺伝子をもつ確率、つまり e を考慮する必要がある。まず、親子間と兄弟姉妹間でそれぞれ e を算出してみよう。

二倍体の生物において、ある個体Aが特定の対立遺伝子をもつとする。配偶子は減数分裂によってつくられるため、個体Aのある配偶子にその対立遺伝子が含まれる確率は0.5である。従って、個体Aの特定の対立遺伝子が子に受け継がれる確率も0.5である。また、個体Aの特定の対立遺伝子が母親由来である確率も父親由来である確率も共に0.5である。従って、親子間の e は0.5である。次に、兄弟姉妹間の場合を考えよう。親子間の e は0.5であるため、個体Aの特定の対立遺伝子が、母親由来で兄弟姉妹と共有される確率は a となる。同様に、個体Aの特定の対立遺伝子が父親由来で兄弟姉妹と共有される確率も a となる。従って、兄弟姉妹間で特定の対立遺伝子が共有される確率、つまり兄弟姉妹間の e は0.5となる。

親子間の e は0.5であるため、個体Aが自身の子を生んだ場合、特定の対立遺伝子が次世代に受け継がれる確率は0.5であるが、個体Aが兄弟姉妹を助けてその兄弟姉妹が子を生んだ場合、特定の対立遺伝子が次世代に受け継がれる確率は、兄弟姉妹間の e \times 親子間の e $= 0.5 \times 0.5 = 0.25$ という等式で導かれる値となり、自身の子を生んだ場合よりも低下する。つまり、兄弟姉妹を助けることによって特定の対立遺伝子が間接的に受け継がれる確率は、自身が子を生むことによって直接的に受け継がれる確率よりも低い。従って、遺伝子を次世代に残すという意味においては、「他個体を助けることによって間接的に残した子」と「自身が直接的に残した子」は等価ではないため、間接的に残した子については、その数を単純に数えるのではなく、残した子の数に助ける個体と助けられる個体間の e を掛ける必要がある。つまり、「 c $=$ 自身が直接的に残した子の数 $+$ 他個体を助けることによって間接的に残した子の数 $\times e$ 」と表される。

ミツバチ、ハダカデバネズミなど利他行動を行う動物では、同じ巣内の個体同士は高い e を有するため、利他行動に関する対立遺伝子は間接的に次世代に伝わり集団中に広まりやすい、つまり利他行動が進化しやすいと考えられている。

〔選択問題〕

〔5〕 次の文章(I・II)を読み、以下の問い(問1～5)に答えよ。

I による進化が起きるには、1)同種個体間で形質が異なる、2)親の形質が子に伝わる、3)形質に応じて生涯に残す子の数が異なる、という3つの条件が満たされる必要がある。これら3つの条件が満たされる場合、 (生涯に残す子の数 = 生涯に作る子の数 × 生殖可能な年齢に達するまでの子の生存率)を高める遺伝的形質をもつ個体は世代を経て集団中に広まってゆく一方、 を低下させる遺伝的形質をもつ個体は、例え出現したとしても、集団中には広まらない。しかし、多くの動物種において、自身の の低下をまねくにもかかわらず、同種他個体の を高める(繁殖や生存を助ける)利他行動が観察されている。では、利他行動の進化はどの様に説明できるか^①であろうか。

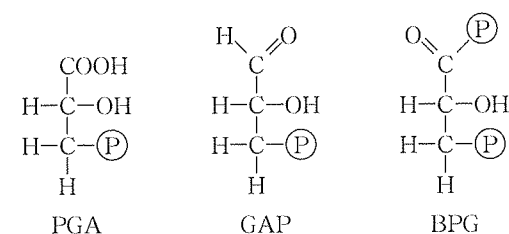
ある形質が進化する、つまり、ある遺伝的形質をもつ個体が集団中に広まるということは、その形質の発現にかかわる対立遺伝子の頻度が集団中で増加することを意味する。ある対立遺伝子が次世代に伝わる経路には、自身の子を残すという直接的な経路に加えて、同じ対立遺伝子をもつ他個体の繁殖や生存を助け、その個体を介して子を残すという間接的な経路も存在する。直接的な経路に加えて間接的な経路も考慮した生涯に残す子の数は とよばれ、ある形質の進化を考えるに当たっては、その形質の発現に関する対立遺伝子の次世代への伝わり方を、 によって評価する必要がある。利他行動を行うことによって自身の子の数が減少しても、利他行動の発現に関する同じ対立遺伝子を共有する他個体が子を残せば、その対立遺伝子は集団中に広まるため、利他行動は進化しえる。これを による進化とよぶ。

問1 文章中の ～ に適切な語句を記入せよ。

問2 下線部①について、「社会性昆虫」のミツバチや「共同繁殖」を行うハダカデバネズミでは利他行動が観察されている。では、「社会性昆虫」と「共同繁殖」とは何か、各用語を説明せよ。

問2 下線部②について、チラコイドにはクロロフィルaやクロロフィルbといった光合成色素が含まれており、これらが原因となって多くの陸生植物では葉が緑色に見える。植物の葉が緑色に見える理由を説明せよ。

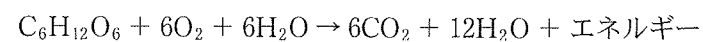
問3 下線部③について、PGAは中間物質である1, 3-ビスホスホグリセリン酸(BPG)を経てGAPとなる。その過程でNADPHが果たす役割を下に示した構造式を参考に説明せよ。



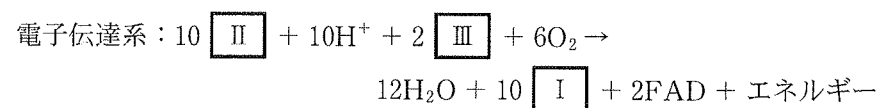
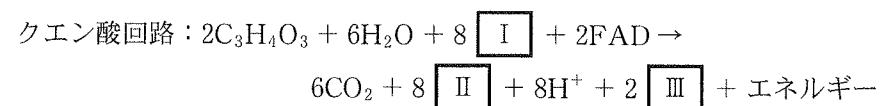
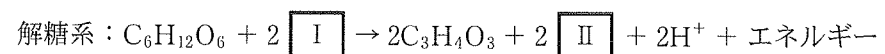
※(P)はリン酸基を示す。

問4 下線部④のように二酸化炭素をまず炭素数3の化合物として固定する植物をC3植物とよぶ。それに対してトウモロコシなどは、二酸化炭素を最初に炭素数4の化合物であるオキサロ酢酸として固定するためC4植物とよばれている。C4植物はまずオキサロ酢酸を合成することによってある環境に適した二酸化炭素固定能力を獲得している。C4植物がC3植物に比べて優れた二酸化炭素固定能力を発揮する環境はどのようなものかC3植物とC4植物の相違点と関連付けて説明せよ。

問 5 下線部⑤について、呼吸基質がグルコースの場合に呼吸は以下の化学式



で示されるが、これは解糖系とクエン酸回路、電子伝達系の反応をまとめたものである。次に示す各呼吸過程の化学式について ~ に該当する物質名を記入せよ。また、これら3つの反応系の中で発生させるエネルギーが最も大きい反応系を答えよ。



試験問題は次に続く。

(1) 真核微生物 X には糖質 A の異化に関わる遺伝子, 糖質 B の異化に関わる遺伝子, また, 代謝物 C の同化に関わる遺伝子と異化に関わる遺伝子が存在する。これらの遺伝子の転写はどのような条件において開始または抑制されるように制御されていると考えられるか, 図 1 から推察できる範囲で説明せよ。

(2) 真核微生物 X には, 糖質 B を糖質 A と同時に異化する突然変異体 Y が存在する。突然変異体 Y では, どのような遺伝子にどのような突然変異が入っていると推察されるか, 答えよ。なお, 糖質 A の異化に関わる遺伝子には突然変異は起こっておらず, また, 糖質 A の異化に関わる遺伝子の転写量は真核微生物 X とその突然変異体 Y では同程度であった。

試験問題は次に続く。

[3] 次の文章を読み、以下の問い(問 1～3)に答えよ。

ヒトのゲノムを構成する DNA には約 30 億の塩基対が含まれている。種内における①遺伝的多様性は高く、②同じ薬を投与しても効き方が違う人が一定の割合で現れるほどである。ゲノムを構成する DNA の塩基配列の違いは、こうした個人差を生み出しているとともに、③病気の直接の原因となっていることもある。

問 1 下線部①について

- (1) 遺伝的多様性の高さは、種の存続にとって一般的には有利となる。その理由を記せ。
- (2) ヒトのゲノムを個人間で比較すると、1000 塩基対に 1 個程度の割合で、塩基の違いが認められる。こうした個人間で見られる 1 塩基単位での塩基配列の違いを何と呼ぶか、記せ。

問 2 下線部②について

タンパク質はその機能を発揮するため、他の分子と結合して三次構造を変化させる場合が多い。多くの薬はこの性質を利用して、体内のタンパク質に結合して効果を発揮している。

- (1) 酵素 E は物質 S を基質としてこれを物質 T に変換する反応を触媒する酵素である(図 1)。酵素 E の遺伝子は常染色体に存在し、肝臓の細胞で転写・翻訳されて細胞外に分泌される。

- (i) 酵素 E の遺伝子から酵素 E が転写・翻訳されて細胞外に分泌されるまでの過程を、以下の語をすべて用いて説明せよ。語は複数回用いても良い。

(RNA ポリメラーゼ, 基本転写因子, ゴルジ体, 小胞, 小胞体, プロモーター)

- (ii) 産生された酵素 E は血流に乗って体内を循環する。

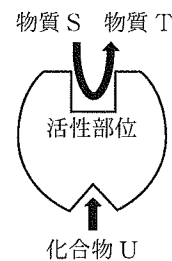


図 1

問 4 下線部③に関連して、以下の問いに答えよ。

細菌 A とその類縁の細菌 B がそれぞれ保有する遺伝子 a および遺伝子 b について調べた。遺伝子 a と遺伝子 b の塩基配列には数塩基の相違があったが、遺伝子 a と遺伝子 b から作られるタンパク質のアミノ酸配列は同一であった。なぜ異なった塩基配列の遺伝子から同一のアミノ酸配列のタンパク質が作られるのか、その理由を答えよ。

問 5 下線部④について、ラクトースオペロンはラクトースがない場合には転写が抑制され、ラクトースがある場合に転写が開始される。この転写の抑制と開始の仕組みについて説明せよ。

問 6 下線部⑤に関連して、以下の実験を行った。

糖質 A, 糖質 B, およびその他の栄養素を含む水溶液をフラスコに入れ、そこに真核微生物 X を入れて 25°C で培養*し、4 時間毎に水溶液に含まれている糖質 A (□)・糖質 B (○)・代謝物 C (△) の濃度を測定した(図 1)。

* 微生物を増殖させること

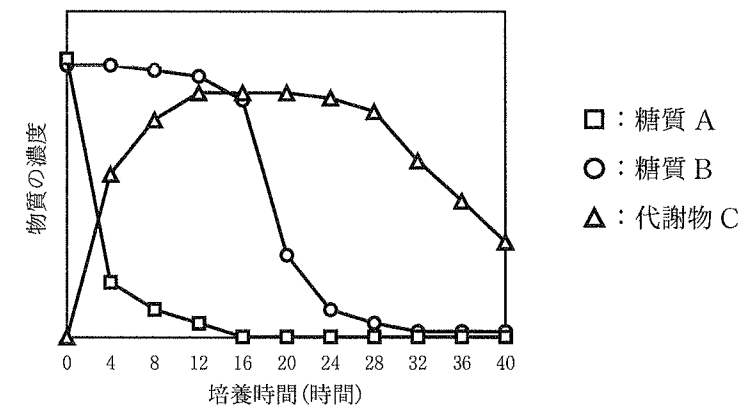


図 1 真核微生物 X の培養における糖質と代謝物の濃度の変化

〔選択問題〕

〔4〕 次の文章を読み、以下の問い(問1～6)に答えよ。

地球上には多種多様な生物が存在しており、ウーズが提唱した3ドメイン説^①では各生物の の塩基配列の比較によって生物を真核生物ドメイン、細菌ドメインおよび古細菌ドメインに分類する。

微生物は肉眼で観察することが困難な生物の総称であり、3ドメイン説のいづれのドメインにも含まれている。多くの微生物は有機物を異化することでエネルギーを獲得しており、例えば、ラクトースは酵素(ラクターゼ)によって とグルコースに分解され、これらの単糖は細胞内において解糖系などを経てATPの合成などに利用される。酵素の本体はタンパク質であり、化学反応における を減少させることで化学反応を促進する。上記の生物の分類と同様に、酵素もそのアミノ酸配列(一次構造)によって分類することができる。

微生物は遺伝子の転写を調節することで、適切な酵素を適切なタイミングで使用している。例えば、大腸菌ではラクトースオペロン^④によってラクトースの利用に関わる複数の遺伝子をまとめて調節している。

また、真核生物ドメインに属する微生物(真核微生物)においても、糖質の利用^⑤に関わる遺伝子の転写は環境に応じて適切に促進もしくは抑制されている。

問1 文章中の ～ に適切な語句を記入せよ。

問2 下線部①について、ホイタッカーらが提唱した五界説の5つの界の名称と、それぞれの界が3ドメイン説のどのドメインに対応するのかを、以下の解答例にならって答えよ。ただし、一つの界に複数のドメインが含まれる場合、含まれるすべてのドメインを答えよ。

解答例) ○○界(××ドメイン)、□□界(△△ドメイン、◇◇ドメイン)...

問3 下線部②について、大腸菌、酵母菌、メタン菌がそれぞれ3ドメイン説のどのドメインに分類されるかを答えよ。

以下の語句を、産生された酵素Eが通過する順番に並べ替えて解答欄に記せ。

(右心室, 右心房, 左心室, 左心房, 大静脈, 大動脈, 肺静脈, 肺動脈)

(2) 化合物Uは酵素Eの活性部位とは異なる部位に結合してその活性を抑制する(図1)ことにより物質Tの産生を抑えることができるため、疾患Fの治療薬として使われている。血液を採取して、これに化合物Uを添加して物質Tの産生速度を調べると、多くの人において図2の黒丸・実線のようなグラフが得られる。ところが、この薬の効きが想定より悪い人がいた。調べてみると、図2の白丸・点線のような反応を示す人が、5%程度の割合でいることがわかった。また、一部の人は、黒丸・実線と白丸・点線の間中間的な反応を示していた。なお、物質Sは物質Tや酵素Eに比して血液中に大量に存在しており、酵素Eの血中濃度や化合物Uを添加しないときの物質Tの産生速度は、すべての人で差はなかった。

(i) 図2の解析は37℃でおこなった。化合物Uを添加せずに物質Tの産生速度を25℃で調べた場合と、65℃で調べた場合、それぞれ測定される物質Tの産生速度はどのようになると考えるか、その理由と共に記せ。

(ii) 白丸・点線の反応を示す人たちの酵素Eの遺伝子を調べると、塩基の違いによって化合物Uとの結合部位のアミノ酸の一つが別のアミノ酸に置換していることがわかった。さらに解析を進めた結果、図2で見られた違いはこのアミノ酸の置換によって生じていることが明らかになった。この解析がヒト全体でもあてはまり、ヒトが「黒丸・実線のような反応を示す人」「白丸・点線のような反応を示す人」「両者の中間的な反応を示す人」の3種類に分けられる場合、ヒトのなかで「黒丸・実線のような反応を示す人」の割合はどの程度になると考えられるか、下記から選んで、理由と共に記せ。理由には「遺伝子頻度」の語を用いること。

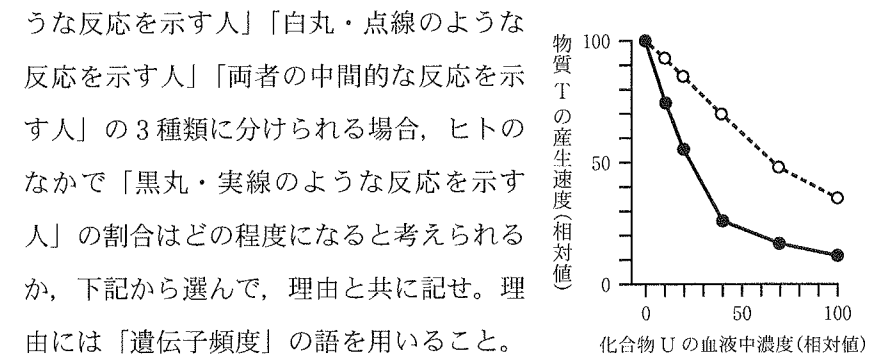


図2

(50%, 60%, 70%, 80%, 90%)

(iii) 酵素 E の性質を調べるために、遺伝子組換えによって大腸菌で酵素 E タンパク質を産生させる計画を立てた。まず、ヒトの核より抽出された DNA を用いて、酵素 E の開始コドンを含む領域と相補的に結合するプライマーと、終止コドンを含む領域と相補的に結合するプライマーにより PCR 反応をおこなった。両プライマーにはあらかじめ制限酵素によって識別・切断される塩基配列を組み込んでおいた。なお、増幅された DNA には、両プライマー部分を除いて、この制限酵素によって識別・切断される塩基配列は存在していなかった。増幅された DNA を制限酵素で切断し、同じ制限酵素で切断しておいたプラスミドと混合した後 DNA リガーゼを作用させて、PCR 増幅断片を含むプラスミドを作製した。しかしながら、作製されたプラスミドを大腸菌に取り込ませて培養しても、酵素 E タンパク質は産生されなかった。

なぜ酵素 E タンパク質は産生されなかったのか、そして、酵素 E タンパク質を産生させるためにはどのようにすればよかったか、それぞれについて、あなたの考えを記せ。

問 3 下線部③について

こうした病気の一つにフェニルケトン尿症 (PKU 症) がある。食品中のタンパク質は消化されて最終的にアミノ酸にまで分解され、吸収される。このうちフェニルアラニンは酵素 P により代謝されてチロシンに変換されるが、酵素 P の遺伝子の塩基の違いにより酵素 P が産生されなくなったり働きが悪くなったりすると、フェニルアラニンが蓄積して体内の正常な代謝が損なわれる (図 3)。また、酵素 P の働きには補助因子として補酵素 B が必要であり、補酵素 B の産生に関わる酵素 D の遺伝子の塩基の違いにより酵素 D が産生されなくなったり働きが悪くなったりすると、同様にフェニルアラニンの蓄積が生じる (図 3)。以下、酵素 P の遺伝子の塩基置換により引き起こされるフェニルケトン尿症を「P 型 PKU 症」、酵素 D の遺伝子の塩基置換により引き起こされるフェニルケトン尿症を「D 型 PKU 症」と呼ぶことにする。

- (1) D 型 PKU 症においては、P 型 PKU 症と共通する症状に加えて、さらにいくつかの別の症状が見られる。なぜ、D 型 PKU 症では P 型 PKU 症とは別の症状が現れるのか、あなたの考えを記せ。
- (2) フェニルアラニンの蓄積という同じ症状を示す D 型 PKU 症と P 型 PKU 症を見分けるために、補酵素 B を投与するという検査をおこなうことがある。補酵素 B の投与によって D 型 PKU 症の人と P 型 PKU 症の人それぞれにおいて体内のフェニルアラニンの蓄積はどのようになると推定されるか、理由と共に記せ。

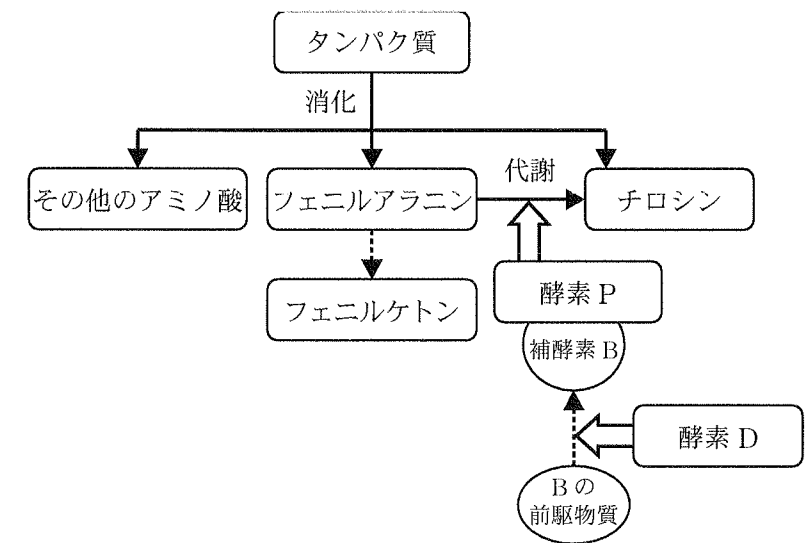


図 3