

令和 5 年度

前期日程

理科問題

〔注意〕

1. 問題冊子及び解答用冊子は、試験開始の合図があるまで開いてはいけない。
2. 問題冊子は、物理、化学、生物の順序で1冊にまとめてある。

問題は $\left. \begin{array}{l} \text{物理} \quad 2 \text{ ページから } 16 \text{ ページ} \\ \text{化学} \quad 17 \text{ ページから } 27 \text{ ページ} \\ \text{生物} \quad 28 \text{ ページから } 43 \text{ ページ} \end{array} \right\}$ にある。

ページの脱落があれば直ちに申し出ること。

3. 解答用紙は、物理 3 枚、化学 5 枚、生物 4 枚と一緒に折り込まれている。受験する科目の解答用紙をミシン目に従って切り離すこと。
4. 受験番号は、受験する科目の解答用紙の受験番号欄(1枚につき2か所)に1枚ずつ正確に記入すること。
5. 解答は、1ページの「理科の解答についての注意」の指示に従い、解答用紙の指定されたところに記入すること。
6. 問題冊子の余白は、適宜下書きに使用してもよい。
7. 配付した解答用紙は持ち帰ってはいけない。
8. 問題冊子は持ち帰ること。

「理科の解答についての注意」

理学部志願者

- 数学科，化学科，生物科学科生物科学コースを志望する者は，物理，化学，生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。
- 物理学科を志望する者は，物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。
- 生物科学科生命理学コースを志望する者は，物理と化学の2科目を解答すること。

医学部医学科・医学部保健学科(放射線技術科学専攻・検査技術科学専攻)・歯学部・薬学部志願者

物理，化学，生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。

医学部保健学科(看護学専攻)志願者

物理，化学，生物の3科目のうちから1科目を選んで解答すること。

工学部・基礎工学部志願者

物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。

生 物 問 題

(解答はすべて生物解答用紙に記入すること)

【注意】

字数制限のある解答においては、ひらがな、カタカナ、漢字、アルファベット、数字、句読点等の符号等、すべての文字を一つのマスに一つ記入すること。

〔1〕 以下の文章を読み、問1～問6に答えよ。

動物の有性生殖では雌でつくられる卵と雄でつくられる精子の接合によって新しい個体が生じる。精巣では体細胞分裂により増殖している 細胞の一部が減数分裂を開始して、^①複数の過程を経たのちに精子となる。精子では特徴的な構造が認められ、中心体から伸びる と、核をはさんだ反対側に が形成される。卵巣では体細胞分裂により増殖している 細胞が減数分裂に移行して、第一分裂の完了とともに二次 と第一極体が生じ、これに続く第二分裂により卵が形成される。受精の際には精子が卵の周囲にある に接着して 反応をおこす。その後、精子が卵の細胞膜に到達すると卵の細胞質内に蓄えられた が放出されて、^②他の精子の侵入を防ぐ。

卵や精子がつくられる過程でおこる減数分裂では、体細胞分裂とは異なる様々な現象が認められる。第一分裂では、相同染色体が平行に並んで対合した が形成される。対合した相同染色体間では乗換えにより染色体の一部が入れ替わる組換えという現象が認められる。同じ染色体にある複数の遺伝子が^③行動をともにすることを という。 のパターンは組換えにより変化する。様々な遺伝子の組み合わせをもつ染色体は減数分裂の第一分裂および第二分裂により配偶子に分配される。このように^④多様な遺伝子の組み合わせをもつ^⑤配偶子が生じる。

問1 文中の空欄 ～ に適切な語句を入れよ。

問2 下線部①について、減数分裂を開始してから完了するまでに生じる細胞の大きさと数について、雌雄間で異なる点を60字以内で述べよ。

問 3 下線部②について、受精の際にはほかの精子の侵入を防ぐためにおきる卵の反応を、下記の語句をすべて用いて 50 字以内で述べよ。

使用する語句：卵黄膜，受精膜

問 4 下線部③の現象を調べる目的で以下の交雑実験を行った。

交雑実験：同一の染色体上に 3 組の対立遺伝子 A と a, B と b, C と c が存在する。A と a は α , B と b は β , C と c は γ の独立した形質を制御している。A, B, C はそれぞれ a, b, c に対して優性である。いずれの形質も優性の個体 X と、いずれの形質も劣性の個体 Y を交雑した F_1 個体の形質はすべて優性であった。この F_1 個体をいずれの形質も劣性の個体と交雑して生じた 3000 個体の表現型は表 1 のようになった。

表 1

α の形質	β の形質	γ の形質	個体数
優 性	優 性	優 性	1146
優 性	優 性	劣 性	3
優 性	劣 性	優 性	258
劣 性	優 性	優 性	68
優 性	劣 性	劣 性	80
劣 性	優 性	劣 性	238
劣 性	劣 性	優 性	5
劣 性	劣 性	劣 性	1202

このときの各遺伝子間での組換え価(%)を求めよ。組換え価は小数点以下を切り捨てることとする。また、これにもとづき予想される染色体上の各遺伝子の配列順序と相対的距離を解答欄の線上に示せ。

問 5 下線部④について、精子形成過程の減数分裂における細胞一個あたりの DNA 量の推移を解答欄に示せ。

問 6 下線部⑤について、 $2n = 8$ の染色体をもち全ての遺伝子座の遺伝子がヘテロ接合体である生物の場合、相同染色体間に組換えがおこらず、正常に染色体が分配されるとすると、つくられる配偶子における染色体の組み合わせは何通りあるか、答えよ。

〔2〕 以下の文章を読み、問1～問7に答えよ。

体内環境の恒常性を維持するしくみとして、非自己の物質(異物)を認識して排除する免疫がある。

ヒトの体は、様々な防御機構によって多種多様な異物の侵入に対応している。生体内への異物の侵入は、予測できないことが多い。このため、免疫のしくみとして、不特定の異物に対してはたらく① 先天的な免疫(自然免疫)がある。しかしながら、寄生虫や微生物には自然免疫を巧妙に回避しながら侵入するものも多く、そのような異物に対しては、② 獲得免疫(適応免疫)がはたらく。また免疫は、微生物など外部から侵入した病原体の排除だけでなく、移植された組織や③ がん化した細胞の排除にも関与する。

問1 下線部①に関連する以下の文章を読み、空欄 ～ に適切な語句を入れよ。

最初にはたらく防御機構として物理的・化学的な防御機構がある。たとえば、気管内部では が常に分泌され、 が外部からの異物を捕捉し、 の運動によって喉の方向へと異物を押し出している。咳やくしゃみも異物の排除に役立っている。

このような防御機構をうまくすり抜けて生体内に侵入した微生物に対しては、血液中の好中球やマクロファージが細胞表面の化学物質の違いから識別して、それらを取り込んで消化することで取り除く。これを という。

問2 下線部②について、体液性免疫と細胞性免疫の違いを、下記の語句をすべて用いて100字以内で述べよ。

使用する語句：B細胞、T細胞、抗原、抗体、毒素、ウイルス

問 3 下線部③について、T細胞は、がん細胞の表面に発現する抗原情報を提示したタンパク質を認識して反応する。この細胞上の抗原情報を提示するタンパク質の名称を答えよ。

免疫によるがんの排除機能を利用したがん治療の1つにキメラ抗原受容体発現T細胞(CAR注-T細胞)を用いた治療がある(図1)。CARは、がん細胞の表面にある特徴的な抗原を認識する抗体の抗原結合部位とT細胞受容体の細胞内シグナル伝達部位との融合体である。CAR-T細胞はCARを発現しており、がん細胞の表面の抗原に結合すると、CARを介して活性化・増殖し、がん細胞を傷害することでがんを排除する。CAR-T細胞を患者に投与する治療法は、一時的な治療効果だけでなく、持続的な治療効果も確認されている。

注) CAR, chimeric antigen receptor

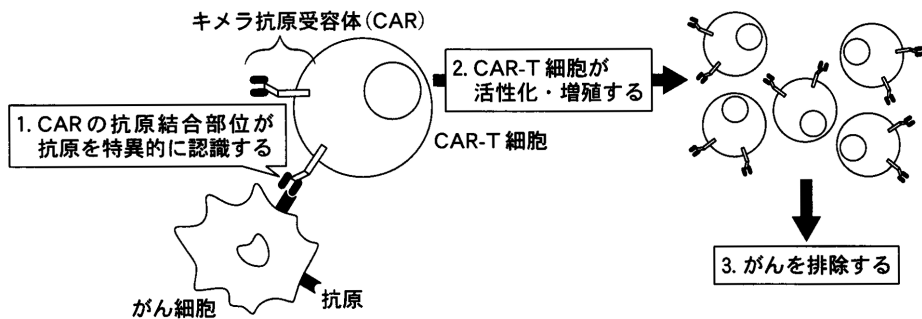


図 1

問 4 下線部④に関連する以下の文章を読み、空欄 , に適切な語句を入れよ。

抗体は、ポリペプチド4本(H鎖2本とL鎖2本)が結合し、Y字型になっている。H鎖とL鎖の先端部分は、抗体ごとにアミノ酸配列が異なっており、 部と呼ばれる。 部の立体構造の違いによって、抗体は抗原と特異的に結合する。 部以外の部分は 部と呼ばれ、どの抗体でもアミノ酸配列がほとんど同じである。CARの抗原結合部位は、H鎖とL鎖の 部から構成されている。

CAR-T 細胞によるがん細胞の傷害によりがんの大きさが小さくなる効果を確認するため、マウス由来の CAR-T 細胞を作製し、以下の実験を実施した。なお、実験に用いたマウスの系統は全て同じである。

【実験 1】

抗原 A を認識する CAR を有する CAR-T 細胞 (抗 A-CAR-T 細胞) を、抗原 A を発現するマウスのがん細胞 (抗原 A 発現がん細胞) とともに培養したところ、多くの抗原 A 発現がん細胞が傷害された。

【実験 2】

抗 A-CAR-T 細胞を、抗原 B を発現するマウスのがん細胞 (抗原 B 発現がん細胞) とともに培養したところ、抗原 B 発現がん細胞はほとんど傷害されなかった。

【実験 3】

抗原 A 発現がんを有するマウスを用意し、0 日目に抗 A-CAR-T 細胞または CAR を発現していない T 細胞を投与し、がんの大きさを測定した (図 2)。何も投与しない場合 (△印) および CAR を発現していない T 細胞を投与した場合 (◆印)、がんの大きさは徐々に大きくなった。一方、抗 A-CAR-T 細胞を投与した場合 (○印)、投与後 9 日目において、血液中に抗 A-CAR-T 細胞が多数確認され、その後がんの大きさは徐々に小さくなり、投与後 21 日目にはがんは消失した。

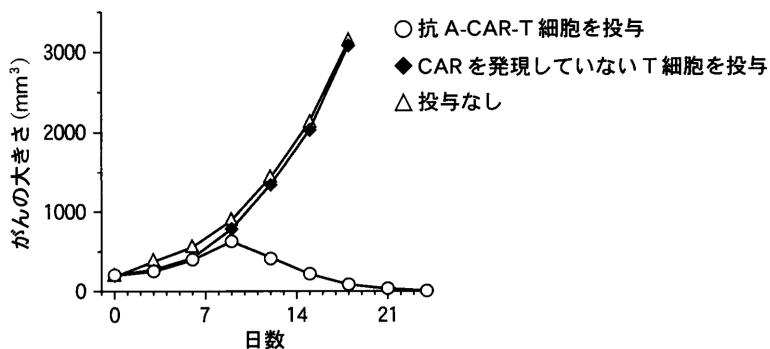


図 2

【実験 4】

実験 3 と同様に、抗原 A 発現がんを有するマウスに抗 A-CAR-T 細胞を投与し、がんの消失から半年後にマウスの血液を解析したところ、ごくわずかではあるが、抗 A-CAR-T 細胞が確認された。

問 5 実験 3 において、抗 A-CAR-T 細胞の投与後早期にはがんの大きさが小さくならず、9 日目以降にがんの大きさが小さくなったことについて、考える理由を 80 字以内で述べよ。

問 6 下線部⑤について、実験 4 の結果を踏まえ、再びがん細胞が増殖しないようにするためには抗 A-CAR-T 細胞が免疫学的にどのような細胞になることが必要か、答えよ。

問 7 実際の CAR-T 細胞を用いた治療では、治療を受ける患者自身の T 細胞を用いて CAR-T 細胞を作製する。その理由を 65 字以内で述べよ。

〔3〕 以下の文章【A】～【C】を読み、問1～問5に答えよ。

molは物質量の単位である。分子1 molは、 6.02×10^{23} 個の分子の集団のことである。mMは濃度の単位であり、 10^{-3} mol/Lである。

【A】

細胞内には様々な酵素が存在し、それぞれに特異的な化学反応を触媒している。酵素の作用を受ける物質を基質といい、酵素が特定の基質だけに作用する性質を という。酵素は基質と結合して酵素-基質複合体を形成し、触媒作用により化学反応を促進する。細胞内の物質は安定したものが多く、常温常圧の条件では変化しにくい。化学反応が進行するためには反応しやすい状態(活性化状態)になる必要がある。活性化状態になる際に必要とされるエネルギーを活性化エネルギーといい、酵素はこのエネルギーを させることで、反応を起こりやすくするはたらきがある。

基質と構造が似た物質の中には酵素の触媒部位に結合して、触媒作用を阻害するものがある。こうした阻害物質が存在すると、基質と触媒部位を奪い合うことになり、酵素反応を阻害する。こうした阻害を 阻害という。酵素の触媒部位とは異なる部位に結合して酵素の働きを妨げる物質も存在し、このような物質による阻害を 阻害という。また、酵素の触媒部位とは異なる部位に物質が結合することで立体構造が変化し、触媒活性が変化する酵素を 酵素という。

問1 文中の空欄 ～ に適切な語句を入れよ。

【B】

酵素Eの触媒部位に基質Sが結合して酵素-基質複合体ESとなり、生成物Pが生成される反応を考える。この反応を次の反応式で表すことにする。



酵素Eの濃度が一定のときに、基質濃度を変えて反応速度を計測してグラフを書くと、図1のような曲線が得られる。基質濃度が高いほど反応速度が速くなり、やがて反応速度は最大値(v_{\max})になる。この酵素が単位時間あたりに生成するPの量、すなわち酵素の反応速度(v)は次式で表せる。

$$v = \frac{v_{\max} \times [S]}{K_m + [S]} \quad (\text{式 1})$$

ここで、 $[S]$ は基質Sの濃度、 K_m はミカエリス定数と呼ばれる定数である。 v_{\max} はこの酵素の最大反応速度である。酵素は、 K_m の値が小さいほど酵素-基質複合体を形成しやすく、 v_{\max} の値が大きいほど単位時間あたりに多くの生成物を生成する。酵素の種類によって K_m や v_{\max} の値が異なるので、これらの値を実験によって決定することは、酵素のはたらきを理解するうえで重要である。式1から、 v が v_{\max} の半分になるのは、基質濃度 $[S]$ が のときである。式1を変形して、 $\alpha =$, $\beta =$ とおくと、

$$\frac{1}{v} = \alpha \frac{1}{[S]} + \beta \quad (\text{式 2})$$

と表される。式2から、反応速度の逆数 $\frac{1}{v}$ を基質濃度の逆数 $\frac{1}{[S]}$ に対してグラフを書くと、図2のように直線になる。この直線と横軸の交点は , 縦軸との交点は となるため、 K_m と v_{\max} の値を交点から決定できる。

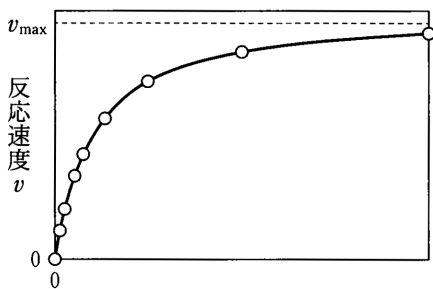


図 1

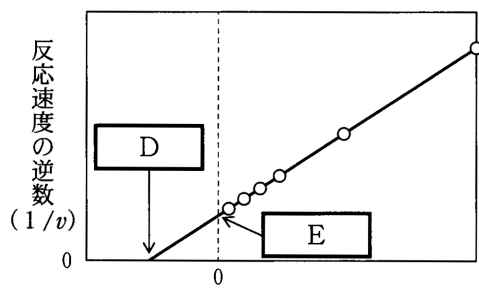


図 2

問 2 文中と図2中の ~ を K_m 、 v_{\max} のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

【C】

アスパラギン酸トランスカルバミラーゼ(ATCアーゼ)は、アスパラギン酸とカルバミルリン酸を結合する反応を触媒し、カルバミルアスパラギン酸を生成する酵素である。試験管内でアスパラギン酸濃度を変えてATCアーゼの反応速度を計測すると、図3Aに○印で示したような曲線が得られる。このとき反応液にシチジン三リン酸(CTP)が一定濃度(0.5 mM)で共存していると、△印で示したように反応速度の曲線が変化することから、ATCアーゼの酵素反応は共存するCTPにより調節を受けて **力** されることがわかる。CTPは、細胞内ではATCアーゼに続く一連の反応により生成される。このような、反応経路の下流の生成物によって上流の反応が調節される仕組みを **キ** 調節という。

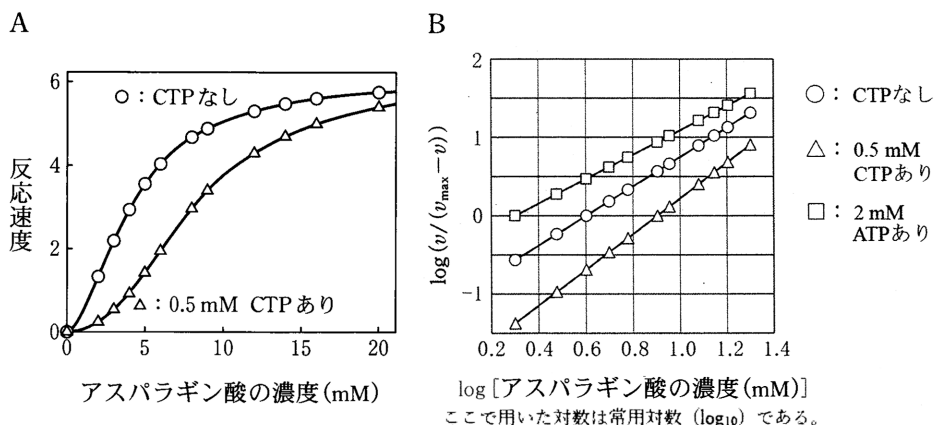


図 3

出典：中村隆雄，酵素キネティクスより一部改変

図3Aの曲線の立ち上がり(基質濃度の低濃度領域)はS字状になっている。こうしたS字状の反応は、形式的には、酵素Eに対してn個の基質分子Sが同時に結合して酵素-基質複合体 ES_n を形成し、n個の生成物Pが生成されると考えれば説明できる。反応は次のように表せる。



この場合の反応速度 v は次の式で表すことができる。

$$v = \frac{v_{\max} \times [S]^n}{K_m^n + [S]^n} \quad (\text{式 3})$$

n = 1 の時には、式 3 は式 1 と同じになる。式 3 を変形して両辺の対数をとると、

$$\log\left(\frac{v}{v_{\max} - v}\right) = n \log [S] - n \log K_m \quad (\text{式 4})$$

となる。図 3 A のデータを式 4 に従ってグラフに書くと図 3 B に示した直線になり、この直線から K_m や n の値を決定することができる。 K_m の値は、式 4 の左辺の値が になる基質の濃度である。また、n の値はこの直線の から得られる。

問 3 文中の空欄 , に適切な語句を入れよ。

問 4 下線部①で述べた、 K_m と n の値を決定する方法について , に適切な値または語句を入れよ。また、CTP がいない条件での K_m の値を図 3 B と表 1 を用いて整数で答えよ。

問 5 CTP の代わりにアデノシン三リン酸(ATP) (2 mM) を加えて ATC アーゼの酵素活性を計測すると、図 3 B に□印で示された直線が得られた。このように、ATC アーゼの酵素活性は反応液に ATP や CTP が共存することによって変化する。ATC アーゼは 酵素であり、触媒部位とは異なる部位(調節部位)に ATP や CTP が結合することで、立体構造が変化すると考えられる。

反応液に ATP が共存する場合と CTP が共存する場合とで、ATC アーゼの触媒部位と基質(アスパラギン酸)との相互作用にはどのような違いが生じるか、下記の語句をすべて用いて 50 字以内で説明せよ。

使用する語句：酵素-基質複合体, ATP, CTP

アスパラギン酸の濃度(mM)	\log [アスパラギン酸の濃度(mM)]
2	0.30
3	0.48
4	0.60
5	0.70
6	0.78
8	0.90
9	0.95
12	1.08
14	1.15
16	1.20
20	1.30

ここで用いた対数は全て常用対数 (\log_{10}) である。

表 1

〔4〕 以下の文章を読み、問1～問5に答えよ。

PCR法は、試料中のわずかなDNAを増幅して検出するのに有用である。鋳型(いがた)となるDNA、増幅させたい領域の各末端と相補的なプライマーのペア、アデニン(A)、グアニン(G)、シトシン(C)、チミン(T)を塩基として含む4種類のデオキシリボヌクレオチド(以下、4種類のヌクレオチドとする)、DNAポリメラーゼを適切なPCR用反応液とともに試験管内で混合し、2本鎖DNAを1本鎖DNAに解離させる変性過程、プライマーを1本鎖DNAに結合させるアニーリング過程、プライマーに続くヌクレオチド鎖を合成して2本鎖DNAとする伸長過程を1サイクルとした反応を繰り返すことで、目的の長さのDNA断片^(a)を大量に得ることができる。PCR法を用いて以下の実験1、実験2を行った。

【実験1】

大腸菌は約460万塩基対からなるひとつの環状2本鎖DNAをゲノムとして持つ。既知量の^(b)大腸菌ゲノムDNAを鋳型とし、1000塩基対からなる領域XをPCR法を用いて増幅させた。まず、領域Xのそれぞれの末端に相補的な各20ヌクレオチドの長さを持つプライマー①、プライマー②を図1のように設計した。次に、表1に示す量の大腸菌ゲノムDNA、プライマー①、プライマー②、4種類のヌクレオチド、および反応に十分な量のDNAポリメラーゼを適切なPCR用反応液とともに試験管内で混合し、表2に示す各過程を1サイクルとしたPCRを25サイクル行った。この時、各サイクル終了後に生じた1000塩基対の2本鎖DNA断片の量は図2のようになった。なお、反応に用いたDNAポリメラーゼは1分あたり1000ヌクレオチドを伸長させる能力を持ち、全てのサイクルが終了するまでこの活性を保っていた。また、各サイクルの反応は100%の効率で行われたものとする。各物質量の単位については、表3を参照しなさい。

molは物質量の単位である。分子1molは、 6.02×10^{23} 個の分子の集団のことである。mMは濃度の単位であり、 10^{-3} mol/Lである。

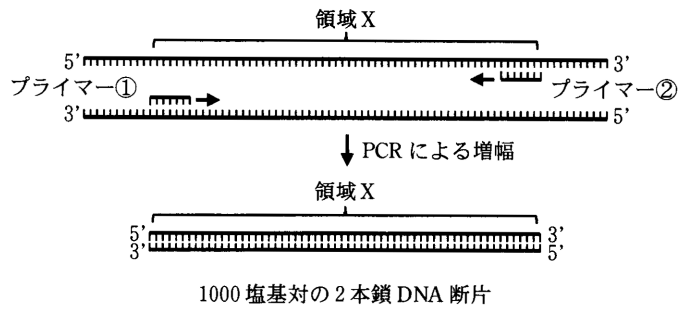


図 1

	試験管内の量
大腸菌ゲノム DNA	1 fmol
プライマー①	0.8 nmol
プライマー②	0.8 nmol
4 種類のヌクレオチド	各 1.6 μ mol

表 1

	温度	時間
変性	95 $^{\circ}$ C	30 秒
アニーリング	60 $^{\circ}$ C	30 秒
伸長	72 $^{\circ}$ C	5 分

表 2

μ mol	10^{-6} mol
nmol	10^{-9} mol
pmol	10^{-12} mol
fmol	10^{-15} mol

表 3

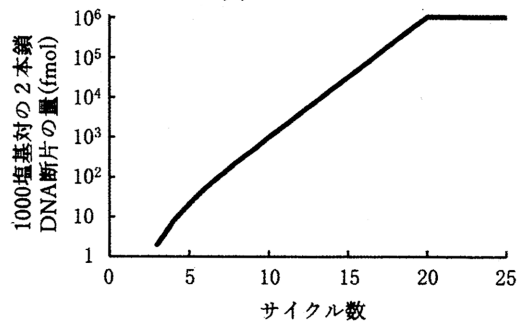


図 2

問 1 下線部(a)の伸長過程の反応は 72 $^{\circ}$ C で行うことが多い。PCR に用いる DNA ポリメラーゼの特性を考慮し、その理由を 25 字以内で述べよ。

問 2 1000 塩基対の 2 本鎖 DNA 断片は 3 サイクル目に初めて現れた。3 サイクル終了時点で、試験管内に存在する 1000 塩基対の 2 本鎖 DNA 断片は何 fmol であるか。整数で答えよ。

問 3 3 サイクル終了時点で消費された4種類のヌクレオチドの総和は何 pmol であるか。各サイクルの伸長過程が5分であることを考慮し、小数点第二位を四捨五入して答えよ。

【実験2】

実験1と同じ大腸菌による汚染が疑われる牛肉試料がある。この中に含まれる大腸菌由来のDNAをPCR法により増幅し、検出することを試みた。この牛肉試料から抽出した全てのDNAを鋳型とし、実験1で設計したプライマー①および②を用いたPCRを行うことでDNA試料(1)を得た。さらに、図3に示すように、領域X内の異なる配列に相補的な各20ヌクレオチドの長さを持つプライマー③、プライマー④を新たに設計し、プライマー①および③を用いたPCRを行うことでDNA試料(2)を、プライマー②および④を用いたPCRを行うことでDNA試料(3)を得た。PCRの反応条件は実験1と同様とした。DNA試料(1)~(3)および実験1で得たDNA試料(4)をアガロース電気泳動により分離して、観察したところ、図4の結果を得た。なお、検出されたバンドは全てDNAに由来し、バンドの太さはDNAの量に比例するものとする。また、プライマー①~④の配列は全て異なるものとする。

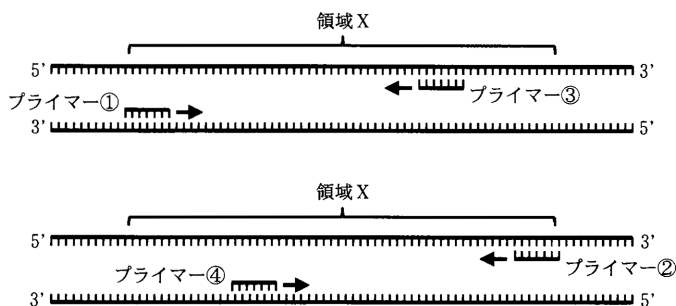
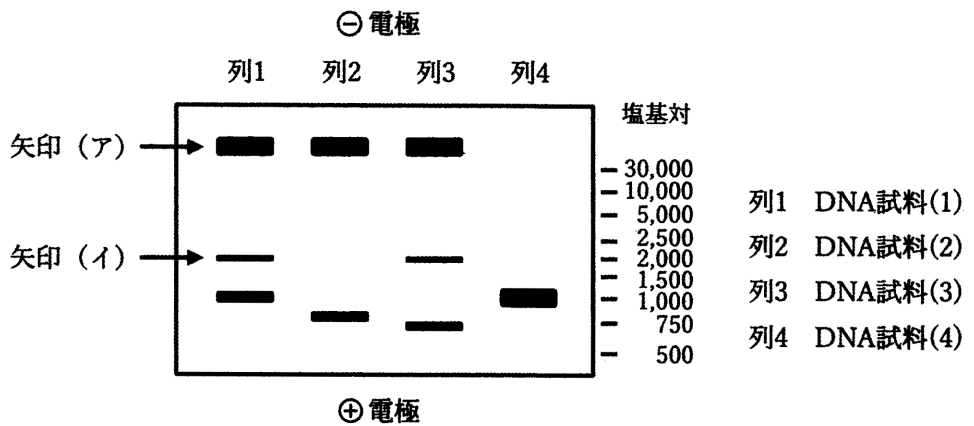


図 3



この電気泳動では30,000塩基対以上の長いDNAは分離できずに1本のバンドとなる。

図 4

問 4 図 4 の矢印(ア)の位置のバンドは何に由来すると考えられるか。15 字以内で答えよ。

問 5 DNA 試料(1), (3)で見られた矢印(イ)の位置のバンドに含まれる DNA の塩基配列を比較したところ、全く同じであった。この矢印(イ)の位置のバンドが生じた理由を 60 字以内で答えよ。

