

令和 5 年度

理 科

問 題 冊 子

理科問題冊子 21 ページ

生物 第1問 問4 (4)

【誤】 図2にあるリボソームの・・・

【正】 図2にある①～⑧のリボソームの・・・

# 生 物

第1問 タンパク質合成に関する以下の文章を読み、各問に答えよ。

生物の細胞におけるタンパク質合成とは、DNAの塩基配列の一部を写し取った mRNA 上の開始コドンから終止コドンまでの領域に含まれる塩基配列(ここではこれを ORF と呼ぶ)を、リボソームと tRNA を用いてアミノ酸配列に置き換えることである。ORF の塩基配列は3つの塩基が組となってコドンを形成し、ヒトを含むほとんどの生物においてアミノ酸を指定するコドンは (ア) 種類存在する。タンパク質合成の場を提供するリボソームは、リボソームタンパク質と呼ばれる一群のタンパク質と数種類の rRNA との複合体からなる微小な粒子である。リボソームの構造は細菌の細胞質基質に見られるものと真核生物の細胞質基質に見られるものとの間で若干異なる。タンパク質合成に欠かせないもうひとつの要素である tRNA はアミノ酸と結合する比較的低分子量の核酸で、リボソームにおいて mRNA の塩基配列に従ったタンパク質合成を行う際に必要なアミノ酸を供給する。

問1 文中の(ア)に入る適当な数字を答えよ。

問2 下線部(a)に関する以下の問に答えよ。

- (1) 図1はヒトのあるタンパク質の合成にかかわる mRNA の塩基配列を示したものであるが、この mRNA の ORF 末尾の終止コドンはどの塩基配列か。下線を付した①~⑤から1つ選んで番号で答えよ。ただし、この mRNA 上の5'末端に最も近い AUG が開始コドンとして使用される。
- (2) このタンパク質のアミノ酸配列中には開始コドンに対応するメチオニン以外にいくつのメチオニンが含まれているか。その数を答えよ。

1 AAACCCAGC UGUUGGGGCC AGGACACCCA GUGAGCCCAU ACUUGCUCUU UUUGUCUUCU  
 61 UCAGACUGCG CCAUGGGGCU CAGCGACGGG GAAUGGCAGU UGGUGCUGAA CGUCUGGGGG  
 121 AAGGUGGAGG CUGACAUCCC AGGCCAUGGG CAGGAAGUCC UCAUCAGGCU CUUUAAGGGU  
 181 CACCCAGAGA CUCUGGAGAA GUUUGACAAG UUCAAGCACC UGAAGUCAGA GGACGAGAUG  
 241 AAGGCGUCUG AGGACUAAAA GAAGCAUGGU GCCACCGUGC UCACCGCCCU GGGUGGCAUC  
 301 CUUAGAAGA AGGGGCAUCAUGAGGCAGAG AUUAAGCCCC UGGCACAGUC GCAUGCCACC  
 361 AAGCACAAGA UCCCCGUGAA GUACCGGAG UUCAUCUCGG AAUGCAUCAU CCAGGUUCUG  
 421 CAGAGCAAGC AUCCCCGGGA CUUUGGUGCU GAUGCCCAGG GGGCCAUGAA CAAGGCCUG  
 481 GAGCUGUUC AUGGCCUCCAAC UACAAGGAGC UGGGCUUCCA GGGCUAGGCC  
 541 CCUGCCGCUC CCACCCCAC CCAUCUGGGC CCCGGGUUCA AGAGAGAGCG GGGUCUGAUC  
 601 UCGUGUAGCC AUAUAGAGUU UGCUUCUGAG UGUCUGCUUU GUUUAGU... → 3' 末端  
 ⑤

- ・ ORF に含まれない 3' 末端側の塩基配列の一部は省略してある。
- ・ この塩基配列上にあるすべての“AUG”という配列が四角で囲んである。
- ・ 塩基配列は数を数える際の便宜上 10 個ごとにスペースを入れ、60 個ごとに改行して表示してある。
- ・ 数字は各行左端の塩基の番号を表している。

図 1

問 3 下線部(b)に関して、アミノ酸とコドンの対応を明らかにするために以下の手順で行われた実験とその結果に関する各問に答えよ。ただしこの実験が行われた時点で、3つの塩基からなるコドンが1種類のアミノ酸を指定することはすでに判明していたものとする。

[実験] 人工合成した RNA の遺伝情報をもとにタンパク質を合成する実験

- (i) 大腸菌細胞の破砕物から得たリボソームとタンパク質合成に必要な種々の tRNA や酵素など(アミノ酸以外)を含む反応液を調製する。
- (ii) この反応液にタンパク質を構成する全種類のアミノ酸を加える。この際、特定の1種類のアミノ酸のみを放射性同位元素で標識しておく。
- (iii) RNA を構成する4種類のヌクレオチドから1~3種類を用いて RNA を人工合成する。なお2種類以上のヌクレオチドを用いた場合の結合順序は順不同(ランダム)となる。
- (iv) (ii)で調製した反応液に(iii)で合成した RNA を加えてタンパク質(ペプチド)合成を進める。ここで用いる合成 RNA に ORF はないが、本来の遺伝暗号ルール(コドンとアミノ酸の対応)に従って RNA 上の不特定部位から翻訳が開始される。また、合成 RNA 上に存在し得る全てのコドンに対応するアミノ酸が、ペプチドに取り込まれるものとする。
- (v) (iv)で合成されたペプチドに由来する放射線量を測定することにより、放射性同位元素で標識したアミノ酸がペプチドに含まれているか否かを判定する。

[結果] RNA の人工合成に用いたヌクレオチドに含まれる塩基の種類と、この RNA を用いて合成したペプチドに含まれるアミノ酸の種類との関係は表1の通りであった(合成されたペプチドに含まれていると判定されたアミノ酸の欄には+の記号が、含まれていないと判定されたアミノ酸の欄には-の記号が入っている)。

	合成に用いたヌクレオチドの種類									
	C	U	A, C	A, G	A, U	C, U	A, C, G	A, C, U	C, G, U	
アルギニン	( $\alpha$ )	-	-	+	-	-	( $\gamma$ )	-	+	
フェニルアラニン	-	+	-	-	+	( $\beta$ )	-	+	+	
プロリン	+	-	+	-	-	+	+	+	+	

表1

- (1) 2種類のヌクレオチドを用いて合成したRNA上に存在する可能性のあるコドンの種類はいくつか。その数を答えよ。
- (2) この実験において、放射性同位元素で標識したアミノ酸のみならず、標識していない他の種類のアミノ酸も反応液に加える理由を次の2つの語句を用いて述べよ。  
「ヌクレオチド」「コドン」
- (3) 実験の結果を示した表1の中の(a)、(β)、(γ)にはそれぞれ+、-いずれの記号が入ると考えられるか答えよ。
- (4) 表1に示した実験結果から得られる結論として適当なものを次の①~⑭よりすべて選んで番号で答えよ。
- ① CGAはアルギニンを指定する。
  - ② アルギニンを指定するコドンには必ずGが含まれる。
  - ③ アルギニンを指定するコドンの中にUを含むものがある。
  - ④ アルギニンを指定するコドンの中にはAとUのいずれも含まないものがある。
  - ⑤ UUUはフェニルアラニンを指定する。
  - ⑥ フェニルアラニンを指定するコドンには必ずUが含まれる。
  - ⑦ フェニルアラニンを指定するコドンの中にAを含むものはない。
  - ⑧ フェニルアラニンを指定するコドンは2種類のみである。
  - ⑨ CCAとCCUはいずれもプロリンを指定する。
  - ⑩ プロリンを指定するコドンには必ずCが含まれる。
  - ⑪ プロリンを指定するコドンの中にAを含むものがある。
  - ⑫ AAAが指定するアミノ酸はアルギニン、フェニルアラニン、プロリンのいずれでもない。
  - ⑬ GGGが指定するアミノ酸はアルギニン、フェニルアラニン、プロリンのいずれでもない。
  - ⑭ UGCが指定するアミノ酸はアルギニン、フェニルアラニン、プロリンのいずれでもない。





## 第2問 細胞周期に関する以下の文章を読み、各問に答えよ。

生体において、細胞は無秩序に分裂を繰り返しているのではなく、細胞周期の進行と停止を厳密に制御することで秩序立った増殖を行っている。細胞内には、細胞周期の各段階に応じて細胞周期の進行を調節するタンパク質が存在しており、これらの制御機構が破綻すると、細胞が無秩序に増殖してがん化へとつながることが知られている。

問1 正常な細胞における細胞周期の制御機構に関する以下の実験内容を読み、各問に答えよ。

[実験1] 2つのヒト細胞を人工的に融合させると、細胞周期上の段階が異なる2つの核を持つ二核細胞を作成することができる。このような細胞では、それぞれの核が影響を与え合いながらDNA複製や染色体分離の過程を進行させる。また、細胞を放射性同位体で標識したチミジン( $^3\text{H}$ -thymidine)と共に培養すると、DNA合成を行っている核にそれが取り込まれS期を迎えた核を識別することができる。そこで、G1期もしくはG2期の細胞とS期の細胞を融合させたのちに $^3\text{H}$ -thymidine存在下で培養することで、G1期もしくはG2期にあった核が融合後にDNA複製を始めるまでに必要とした時間を計測した。また、対照実験として、G1期どうし、G2期どうしの細胞を融合した二核細胞、もしくは細胞融合を行っていないG1期、G2期の単核細胞を用いて同様な実験を行った。図3にこれらの実験結果を示す。

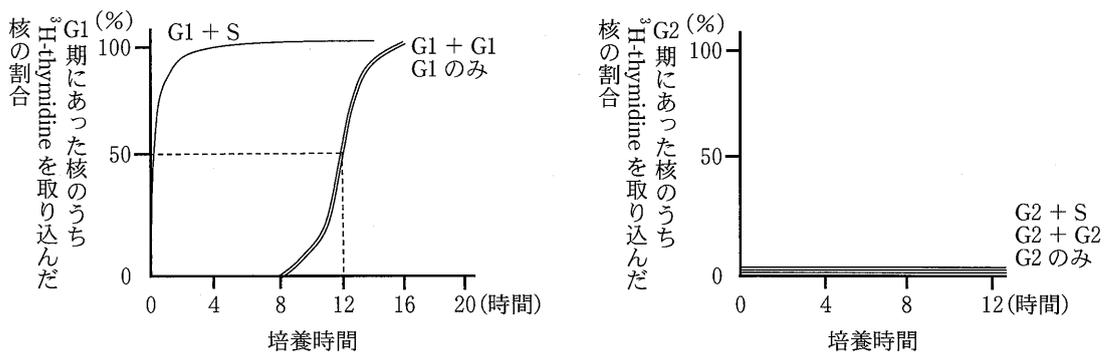


図3

(1) 以下の①～⑥から適切な文を選んで組み合わせると、実験1から導かれる結論となる。その組み合わせを番号で記せ。ただし、順序は問わない。

- ① 細胞融合という処理自体が、S期への進行を速やかに誘導する。
- ② G1期の細胞は、S期への進行を速やかに誘導するタンパク質を含んでいる。
- ③ S期の細胞は、S期への進行を速やかに誘導するタンパク質を含んでいる。
- ④ G2期の細胞は、S期への進行を速やかに誘導するタンパク質を含んでいる。
- ⑤ G1期の核は、S期への進行を誘導するタンパク質の影響を受けない。
- ⑥ G2期の核は、S期への進行を誘導するタンパク質の影響を受けない。

[実験2] M期の核では染色体が凝集しているため、形態の違いにより間期の核と区別することができる。そこで、実験1と同様にG2期の細胞をG1期もしくはS期の細胞と融合させ、その後の染色体の変化を追うことでG2期にあった核がM期へと移行するまでに必要とした時間を計測した。また、対照実験として、G1期どうし、S期どうし、G2期どうしの細胞を融合した二核細胞、もしくは細胞融合を行っていないG1期、S期、G2期の単核細胞を用いて同様な実験を行い、それぞれG1期、S期、G2期にあった核がM期へと移行するために必要とした時間を計測した。図4にその実験結果を示す。

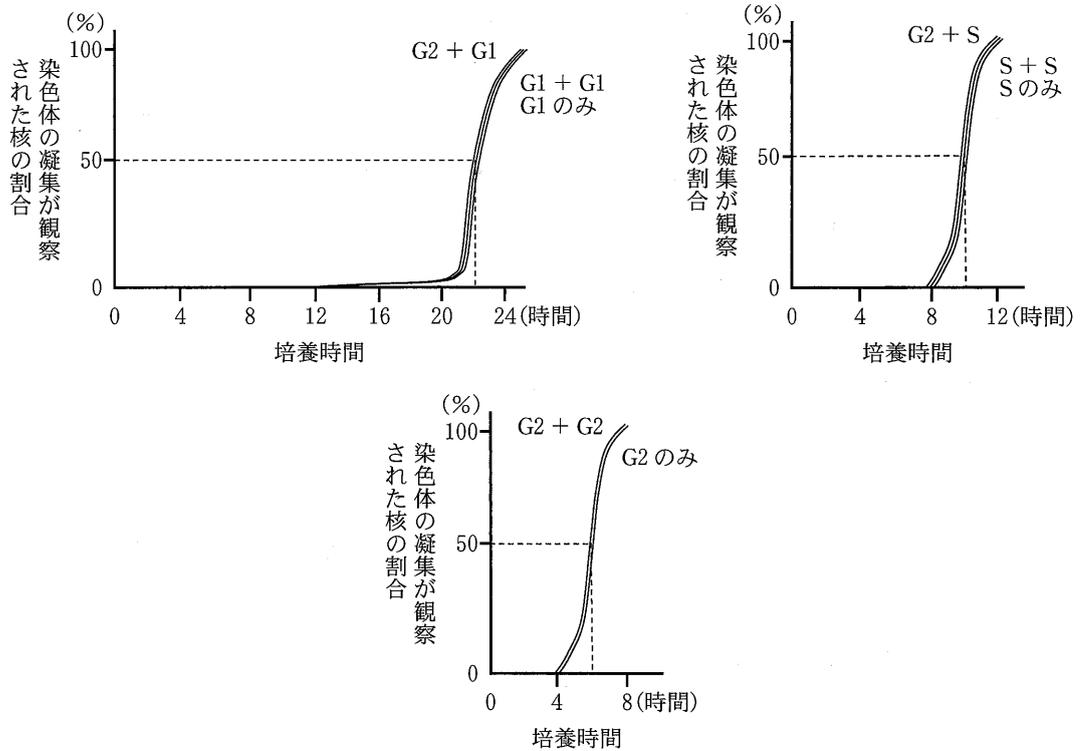


図4

(2) 文中の下線部について、M期の核は、染色体や核膜、紡錘系の形状によりさらに前期、中期、後期、終期の4つの段階に分けられる。以下に示した(ア)~(ウ)の特徴は、M期のどの時期の核で見られる特徴か答えよ。

- (ア) 核膜が消失し始める。
- (イ) 染色体が分離して両極へ移動する。
- (ウ) 染色体が細胞の赤道面に整列する。



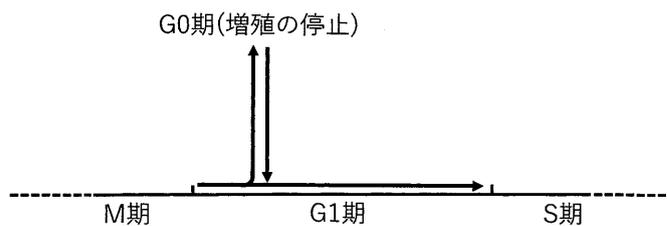


図 5

(1) 以下の(A)、(B)のような正常細胞において、cyclin D の存在量と Rb タンパク質のリン酸化状態はどのようなと考えられるか、以下の①～④から最も適当なものを選び番号で答えよ。ただし、これらの細胞では Rb、CDK 4/6 タンパク質が十分に存在するものとする。

- (A) G1 期から S 期へと進行している細胞
- (B) G0 期で増殖を停止している細胞

- ① cyclin D の発現量が低く、Rb タンパク質はリン酸化されていない。
- ② cyclin D の発現量が高く、Rb タンパク質はリン酸化されていない。
- ③ cyclin D の発現量が低く、Rb タンパク質はリン酸化されている。
- ④ cyclin D の発現量が高く、Rb タンパク質はリン酸化されている。

(2) エストロゲンにより cyclin D の存在量が上昇している乳がん細胞に CDK 4/6 阻害薬を投与したとき、乳がん細胞の増殖に対してどのような効果が期待されるか。乳がん細胞における cyclin D、CDK 4/6、Rb タンパク質の機能に言及しながら述べよ。

(3) 抗がん剤治療の問題点として、薬剤に対して抵抗性を獲得した耐性がん細胞の出現が挙げられる。CDK 4/6 阻害薬の場合も、Rb 遺伝子の欠失などにより Rb タンパク質が失われることで、乳がん細胞が薬剤耐性を獲得する例が知られている。Rb タンパク質が失われることにより CDK 4/6 阻害薬耐性が獲得される理由を述べよ。

### 第3問 染色体と遺伝に関する問1～問4に答えよ。

問1 以下の文章の空欄を埋めよ。

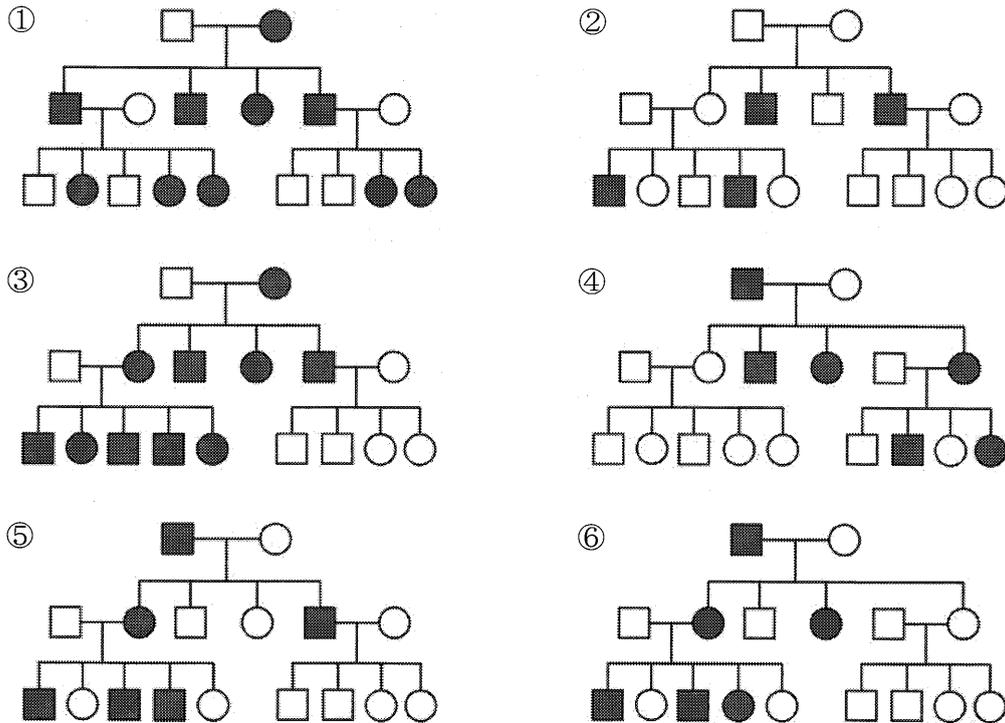
真核生物の染色体はDNAとタンパク質で構成されている。DNAは(ア)と呼ばれるタンパク質に巻き付いて、(イ)という基本単位を構成し、それらがさらに折りたたまれて(ウ)という繊維状の構造体を形成している。(ウ)は細胞分裂の際には凝集して、顕微鏡で観察できる染色体となる。

ヒトの体細胞の染色体は(エ)本の常染色体と2本の性染色体から構成される。生殖細胞が形成される時、核相を $2n$ から $n$ に半減させる(オ)が起こる。(オ)の第一分裂では相同染色体どうしが平行に並ぶ(カ)が起こり、(キ)染色体が形成される。このとき(カ)した染色体の間で部分的に遺伝情報を交換する乗換えが起こることがある。同じ染色体上にある遺伝子は(ク)しているというが、乗換えによって遺伝子の組み合わせが変化する組換えが生じることがある。

問2 伴性遺伝に関する以下の文章を読み、各問に答えよ。

ネコは、ヒトと同様にXX染色体をもつ個体がメスで、XY染色体をもつ個体がオスである。メスのX染色体は発生の初期にどちらか一方がランダムに不活化されて働かなくなる。三毛ネコは茶、黒、白のまだら模様の毛色をもち、ほとんどがメスの個体である。ネコの毛色を決定する遺伝子としてA(白色)、B(茶・黒)、D(白のまだら模様)が存在し、AとDはそれぞれ異なる常染色体上に、BはX染色体上に存在するとする。A遺伝子にはAとaの対立遺伝子があり、AAとAa遺伝子型の個体は他の遺伝子に関係なく毛色が白色になり、aa遺伝子型の個体は他の遺伝子により毛色が決まる。B遺伝子にはBとbの対立遺伝子があり、Bを発現する細胞は毛色が茶色に、bを発現する細胞は黒色になる。D遺伝子にはDとdの対立遺伝子があり、Dをもつ場合は白いまだら模様が出現する。

- (1) メスで三毛ネコとなる場合の遺伝子型をすべて示せ。
- (2) オスの白ネコとメスの三毛ネコを交配した結果、メスのさびネコ(茶色と黒色のまだら模様の毛色をもつ)が誕生した。この場合考えられる父ネコと母ネコの遺伝子型をすべて答えよ。オスの遺伝子型については、aab(Y)ddのように表記すること。
- (3) ヒトでは、性染色体であるX染色体に血液凝固因子の遺伝子が存在し、この遺伝子の変異によって生じる潜性(劣性)遺伝性疾患としてヘモフィリアがある。次の①～⑥からヘモフィリアの家系図として適当なものをすべて選んで番号で答えよ。四角は男性、丸は女性を表し、黒く塗られているのは疾患を発症したヒトを表す。



問 3 フェニルケトン尿症に関する以下の文章を読み、各問に答えよ。

ある国に住む女性 A さんの妹はフェニルケトン尿症という常染色体潜性(劣性)遺伝性疾患に罹患している。A さん自身と A さんの両親はこの疾患の患者ではないが、A さんは将来自分が結婚して子をもうけたときにその子がこの疾患を発症することがあるのだろうかと考えている。

- (1) A さんの国におけるフェニルケトン尿症の発症率は 40,000 人に 1 人である。ハーディ・ワインベルグの法則が成り立つとして、この国の一般的な国民がフェニルケトン尿症のヘテロ接合の保因者である確率をパーセントで答えよ。答えは小数点第二位を四捨五入せよ。
- (2) A さんが、血縁関係がなく、フェニルケトン尿症に罹患していない自国の男性と結婚して子をもうけた場合に、子がフェニルケトン尿症を発症する理論上の確率をパーセントで答えよ。答えは小数点第三位を四捨五入せよ。

(3) Aさんの国においてハーディ・ワインベルグの法則が成り立つためには、「フェニルケトン尿症の遺伝子座に新たな変異が生じない」、「国民の数が十分に多く、遺伝的浮動の影響を無視できる」、「自然選択が起こらない(フェニルケトン尿症の患者とヘテロ接合の保因者も原因遺伝子を持たない健常者と同様に子孫を残せる)」の他にどのような条件を満たす必要があるか。次の①～⑤より必要なものをすべて選んで番号で答えよ。

- ① 一夫一妻制である。
- ② 男女比が1：1である。
- ③ 他国との間で個体の流出・流入がない。
- ④ 子をもうけるペアは任意に形成される。
- ⑤ 世代間で出生率が変動しない。

(4) (3)の問題文の中で下線を付してある遺伝的浮動とは何か、説明せよ。

問 4 ゲノム DNA 上にある反復配列に関する以下の文章を読み、各問に答えよ。

マウスのゲノム DNA 上には数十個からなる特定の塩基配列が繰り返し連なっている領域(反復配列)があり、この反復配列の反復数には個体間で多様性がみられる。図6のように反復配列をはさむようにプライマーを設計し、PCR法によって増幅して電気泳動で分離することで、反復配列の反復数を、増幅される塩基配列の長さとして検出することができる。こういった反復配列は、染色体地図の作成のほか、がんなどで見られる染色体の異常を検出する際にも利用される。

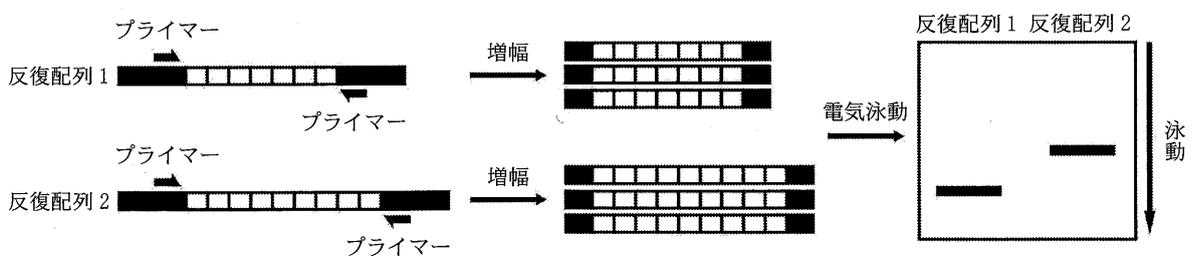


図 6

(1) PCR法では鋳型となるDNA、プライマー、DNAポリメラーゼおよび4種類のヌクレオチドを混合した反応液を調製し、95℃で加熱、60℃に冷却、72℃で加熱するというステップを繰り返すことでDNA鎖を増幅させるのであるが、下線部(a)～(c)の温度はそれぞれどのような反応を進めることを目的に設定された温度か、簡潔に説明せよ。

(2) 以下に示す実験に関する問(a)、(b)に答えよ。

変異した X 遺伝子をヘテロ接合で有するマウスは脱毛することが知られており、この X 遺伝子の染色体上の位置を特定したい。これまでの実験で X 遺伝子は 1 番染色体の反復配列 M と N の間にあることまでは分かっている。また、反復配列 M と N にはそれぞれ  $M_1$  と  $M_2$ 、 $N_1$  と  $N_2$  の 2 種類の反復数の多型が存在する。ここで、 $M_1$  と  $N_1$  をそれぞれホモ接合 ( $M_1M_1N_1N_1$ ) で有し脱毛したオスマウスと、 $M_2$  と  $N_2$  をそれぞれホモ接合 ( $M_2M_2N_2N_2$ ) で有する正常メスマウスを交配し、この交配で得られた脱毛したオスマウスをさらに  $M_2$  と  $N_2$  をそれぞれホモ接合で有する正常メスマウスと交配した。

- (a) 下線部のような目的で行われる交配を何とよぶか。
- (b) 交配の結果得られた仔マウスの表現型と個体数が表 2 のようになった時、遺伝子 X の位置はどこになると考えられるか。解答用紙にある染色体地図に書き込め。この時 X 遺伝子と M と N の距離は組換え価で表すこと。ただし組換え価はパーセントで表示し、小数点第一位を四捨五入すること。

遺伝子型	$M_1M_2N_1N_2$	$M_1M_2N_2N_2$	$M_1M_2N_2N_2$	$M_2M_2N_1N_2$	$M_2M_2N_1N_2$	$M_2M_2N_2N_2$
毛の表現型	脱毛	脱毛	正常	正常	脱毛	正常
個体数	45	3	2	1	4	45

表 2

(3) 染色体の異常を検出した例に関する次の文章を読み、末尾の問に答えよ。

マウス 2 番染色体の A、B、C の位置 (図 7) にも反復配列がある。あるマウスの正常部位の体細胞と、同じ個体に生じたがん細胞それぞれから DNA を抽出し、反復配列 A、B、C を PCR 法と電気泳動で検出したところ、図 8 のような結果が得られた。この結果から、このマウスのがん細胞では染色体レベルでどのような変化が起こっていると考えられるか答えよ。



図 7

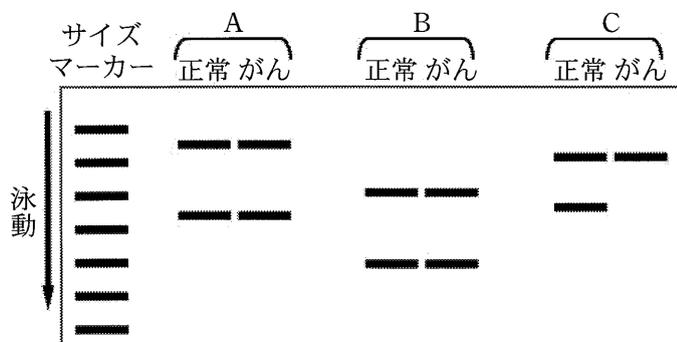


図 8