

令和 3 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 $\left\{ \begin{array}{l} \text{物理} \quad 2 \text{ ページから } 15 \text{ ページ} \\ \text{化学} \quad 16 \text{ ページから } 26 \text{ ページ} \\ \text{生物} \quad 27 \text{ ページから } 42 \text{ ページ} \end{array} \right\}$ 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 4 枚、生物 5 枚が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、全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5に答えよ。

ある生物の特定の遺伝子を取り出し、それを人工的に別の DNA につなぎ込む操作を **ア** という。この操作では、制限酵素と **イ** が利用される。制限酵素とは、もともと **ウ** がウイルスなどの外来の DNA を排除するためのもので、DNA の特定の塩基配列を識別して切断する。**イ** は、DNA と DNA をつなぐ、いわば「のり」として利用される。**ア** の操作では、目的の遺伝子の DNA を **エ** と呼ばれる遺伝子の運び手に組み込むことが多い。**エ** は、遺伝子を特定の細胞に運び込み、増やす役割をするが、プラスミドがよく用いられる。目的の遺伝子を組み込んだプラスミドを大腸菌に取り込ませたのち、大腸菌を増やす①ことで、目的の遺伝子を大量に増やすことや組み込んだ遺伝子がコードするタンパク質を大量に産生することができる。このように、細胞に別の種や系統の遺伝子が入ることにより、その遺伝子の形質が発現することを **オ** という。

また一般的に、目的の遺伝子がプラスミドに正しく組み込まれているかどうかは、電気泳動法によって確認する。DNA の構成単位である **カ** では、塩基、糖、リン酸のうち、**キ** が負の電荷を持っているため、電圧を加えると DNA はアガロースゲルの中を **ク** 極に向かって移動する。その際、アガロースゲルを形成している小さな網目構造に妨げられ、長い DNA ほど遅く移動する。

問1 文中の空欄 **ア** ～ **ク** に適切な語句を入れよ。

問2 下線①のような実験では、プラスミドを取り込んだ大腸菌だけが選択的に増殖できるように、抗生物質耐性の遺伝子がプラスミドに組み込まれている。それによってプラスミドを取り込んだ大腸菌だけが抗生物質を含む培地中で選択的に増殖できるようになるが、その理由を抗生物質耐性の遺伝子が発現するタンパク質の機能に着目し、80字以内で述べよ。

問 3 図 1 に示すように、ある細菌のタンパク質 X をコードする遺伝子 X を制限酵素 A を用いて切り出した。次に、切り出した遺伝子 X を、プロモーター領域のすぐ後ろを制限酵素 A で切断したプラスミド B とつなぎ合わせたのち、大腸菌に取り込ませ増殖させた。大腸菌からプラスミドを回収したところ、遺伝子 X が組み込まれたプラスミドの長さは全て同じだった。しかし、遺伝子 X が組み込まれたプラスミドを大腸菌に取り込ませても、遺伝子 X からタンパク質 X が産生されるプラスミドもあれば、産生されないプラスミドもあった。タンパク質 X が産生されなかったプラスミドでは、なぜ産生されなかったのか、その理由を 30 字以内で述べよ。ただし、用いたプラスミド B に制限酵素 A が認識する塩基配列は 1 ヶ所しかなかった。また、大腸菌内でプラスミドの塩基配列に変異は生じなかったものとする。

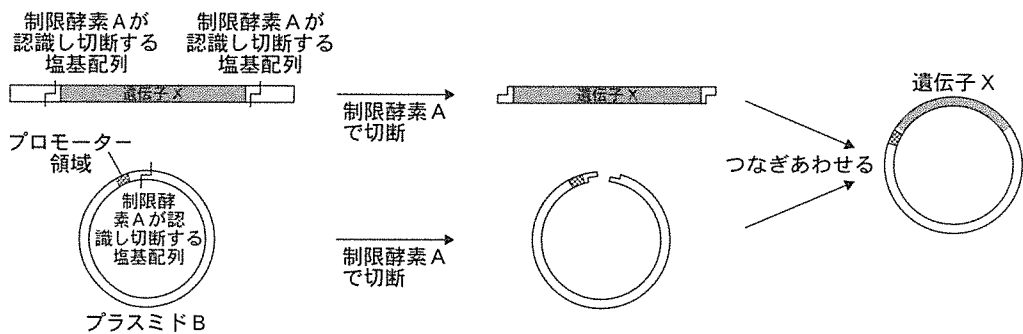
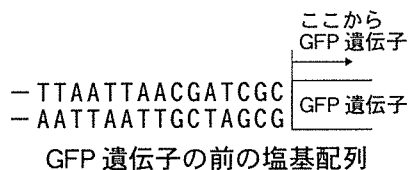


図 1

問 4 ヒトのゲノム DNA から制限酵素を用いて切り出した遺伝子をプラスミドとつなぎ合わせ、大腸菌に取り込ませた場合、遺伝子はプラスミドの適切な部位に挿入されているにもかかわらず、大腸菌内では取り込ませた遺伝子からタンパク質が産生されないことが多い。その理由を、ヒトの遺伝子と大腸菌の遺伝子の構造の違いに着目して 50 字以内で述べよ。

問 5 DNAをつなぎ込む操作を用いて、目的の遺伝子の下流に緑色蛍光タンパク質(GFP)遺伝子を組み込むことで、GFPが融合したタンパク質を産生させることができる。遺伝子Yの後にGFP遺伝子を組み込んでGFPが融合したタンパク質を産生させる場合、遺伝子Yの後およびGFP遺伝子の前をそれぞれの制限酵素を用いて切断し、つないだらよいか、適切な制限酵素を以下の制限酵素a~fの中から1つずつ選択し、記号で答えよ。遺伝子Yの後およびGFP遺伝子の前の塩基配列、制限酵素a~fが認識する塩基配列とその切り口を以下に示す。なお、遺伝子Yの終止コдонは取り除いている。また、終止コдонの塩基配列は、UAA、UGA、UAGである。



制限酵素 a	T CTAGA AGATC T	制限酵素 d	G GATCC CCTAG G
制限酵素 b	CGAT CG GC TAGC	制限酵素 e	GC GGCCGC CGCCGG CG
制限酵素 c	GAT ATC CTA TAG	制限酵素 f	TTAAT TAA AAT TAATT

〔2〕 以下の文章を読み、問1～問3に答えよ。

ヒトの体には、病原体などの異物を自己と区別して排除し体内環境を維持するしくみとして、免疫が備わっている。免疫は、自然免疫と獲得免疫(適応免疫とも呼ばれる)に大別される。

マクロファージ、樹状細胞や好中球などによる異物の食作用は、自然免疫において重要な役割を担っている。また、病原体の成分を感知するパターン認識受容体^①が自然免疫に深く関わることも、近年明らかになっている。

一方で、侵入した異物の情報をリンパ球が認識し、その情報にもとづいて特異的に異物を排除するしくみが獲得免疫である。獲得免疫はさらに、細胞性免疫^②と体液性免疫に分けられる。獲得免疫は、排除した異物の情報を記憶し、同じ異物が再び侵入した際に特異的かつ速やかに排除することが出来る。

免疫は生体防御に働き感染症などの発症を防ぐしくみであるが、遺伝的な要因や環境的な要因などによって免疫が過敏に反応し、疾患の発症を引き起こす場合^③もある。

問1 下線①に関する実験の内容および結果を以下に記す。この実験の結果から導き出される結論として適切なものを、33ページの選択肢a～hの中から2つ選び、記号で答えよ。

正常な細胞(正常型細胞)においては、ウイルスXの成分を感知するパターン認識受容体がインターフェロン α などのサイトカインの産生を促すため、ウイルスXの増殖が抑制される。この自然免疫に関わると推測される遺伝子Yおよび遺伝子Zについて、各々の遺伝子を欠損する細胞を作製した後、実験1および実験2を行った。なお、細胞が産生するインターフェロン α や人工的に作製したインターフェロン α は、インターフェロン受容体に結合することにより、ウイルスXの増殖を抑制するものとする。

【実験 1】

正常型細胞，遺伝子 Y 欠損細胞，遺伝子 Z 欠損細胞のそれぞれにウイルス X を感染させ，感染から 12 時間後までに細胞外に産生されたインターフェロン α の量を測定した。また，ウイルス X を感染させていない各細胞から 12 時間の間に細胞外に産生されたインターフェロン α の量も測定した。結果を図 1 に示す。

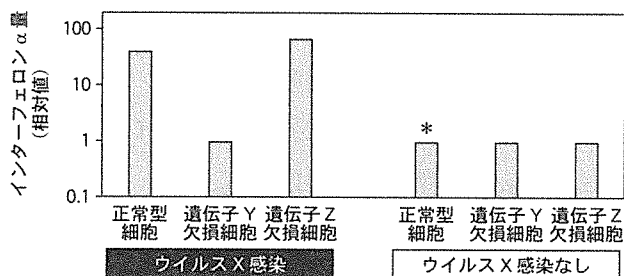


図 1 産生されたインターフェロン α の量(相対値)を示すグラフ。縦軸は対数とする。ウイルス X 感染なしの正常型細胞 (*)における値を 1 とする。

【実験 2】

ウイルス X を正常型細胞，遺伝子 Y 欠損細胞，遺伝子 Z 欠損細胞のそれぞれに感染させ，感染から 36 時間後に，細胞外に産生された感染力を有するウイルス X の数を測定した。また，ウイルス X を感染させる前に，人工的に作製したインターフェロン α を作用させ，その後にウイルス X を感染させる実験を行った。感染から 36 時間後に，細胞外に産生された感染力を有するウイルス X の数を測定した。結果を図 2 に示す。

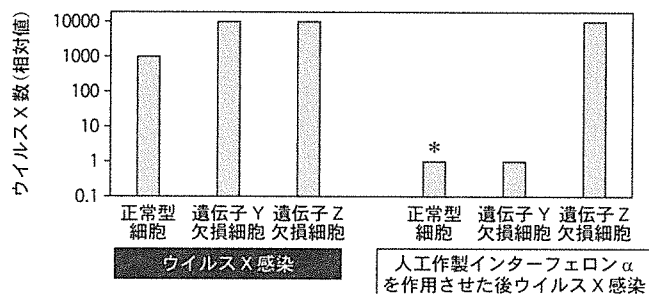


図 2 産生されたウイルス X の数(相対値)を示すグラフ。縦軸は対数とする。人工作製インターフェロン α を作用させた後にウイルス X を感染させた正常型細胞 (*)における値を 1 とする。

【選択肢】

- a. 遺伝子 Y は、ウイルス X 感染の際に起こるインターフェロン α の産生に必要である。
- b. 遺伝子 Z は、ウイルス X 感染の際に起こるインターフェロン α の産生に必要である。
- c. 遺伝子 Y および遺伝子 Z はどちらも、ウイルス X 感染の際に起こるインターフェロン α の産生に必要である。
- d. 遺伝子 Y および遺伝子 Z はどちらも、ウイルス X 感染の際に起こるインターフェロン α の産生に必要ではない。
- e. 遺伝子 Y は、インターフェロン α と結合したインターフェロン受容体によるウイルス X の増殖抑制に必要である。
- f. 遺伝子 Z は、インターフェロン α と結合したインターフェロン受容体によるウイルス X の増殖抑制に必要である。
- g. 遺伝子 Y および遺伝子 Z はどちらも、インターフェロン α と結合したインターフェロン受容体によるウイルス X の増殖抑制に必要である。
- h. 遺伝子 Y および遺伝子 Z はどちらも、インターフェロン α と結合したインターフェロン受容体によるウイルス X の増殖抑制に必要ではない。

問 2 下線②に関して、細胞性免疫が病原体を排除するしくみを、以下の語句のすべてを用いて 135 字以内で述べよ。

語句：樹状細胞、抗原提示、キラー T 細胞、感染細胞

問 3 下線③に関する以下の文章を読み、空欄 ～ に適切な語句を入れよ。

生体に不都合な免疫反応の一つとして、アレルギーが知られている。アレルギーを引き起こす抗原は、 と呼ばれる。アレルギーには、 に接触すると直ちに症状が現れる即時型アレルギーと、 に接触してから 1～2 日後に症状が現れる遅延型アレルギーがある。花粉や食物は、即時型アレルギーを引き起こすことがある。

花粉症は次のしくみで起こる。花粉が鼻や眼などの粘膜に付着すると、花粉に含まれる に対して 細胞が特定の を作り出す。この は粘膜上皮の近くに存在するマスト細胞の表面に付着する。再び花粉にさらされるなどして花粉に由来する がマスト細胞の表面上の に結合すると、ヒスタミンが放出される。ヒスタミンは上皮や毛細血管の細胞に作用して、くしゃみ、鼻水、目のかゆみなどのアレルギー症状を引き起こす。

そば、ピーナッツなどの食物を摂取すると、全身性アレルギー症状が現れて、急激な血圧低下や意識障害を引き起こすことがある。これは ショックと呼ばれる状態であり、早期の治療が必要となる。

〔3〕 以下の文章【A】と【B】を読み、問1～問4に答えよ。

【A】

両生類の卵は受精後に細胞分裂を開始する。その際、卵細胞の極体が生じる部分を **ア**，反対側を **イ** というが，**ア** 側に **ウ**，**イ** 側に **エ** が形成され，**エ** は帯域と呼ばれる赤道付近の領域を **オ** に分化させる。このように，ある領域が隣接する他の領域の分化を引き起こす働きを **カ** という。

この作用は臓器の発生中にしばしば連鎖し，例えば眼の発生では，まず脳より生じた眼杯が表皮に作用し **キ** となり，次に **キ** が表皮に作用し **ク** となる。このような **カ** の作用を持つ領域を **ケ** という。また，器官が発生する過程では，決められた時期に決められた細胞が死ぬことで最終的な形態が形作られることが多い。このような，一連の遺伝子により制御されたプログラム細胞死を **コ** と呼ぶ。^①

問1 文中の空欄 **ア** ～ **コ** に適切な語句を入れよ。

問2 下線①について，細胞で観察される形態的変化の様子を20字以内で述べよ。

【B】

生体が細胞の増殖および分化を制御する方法のひとつとして，物質の濃度勾配により形態形成を支配する方法がある。

ある両生類の胚より自己増殖および様々な細胞に分化する能力を持つ細胞(これを細胞Aと呼ぶ)^②を採取して，培養皿上で培養し，以下の実験を行った。

培養皿の中央に，ある物質Xを含み，それを放出するビーズを置いた。24時間後に培養皿を上から観察すると，物質Xの拡散にともない，細胞Aが図1のように細胞BやCに分化した様子が観察された。

なお，物質Xを含まないビーズを培養皿の中央に置いたところ，24時間後に細胞Aに分化は観察されなかった。

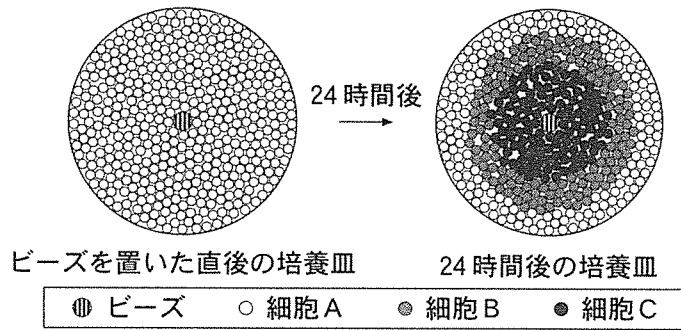


図 1

(出典：Scott F. Gilbert, *Developmental Biology* (2003) より一部改変)

問 3 下線②のような性質を持つ細胞を何というか答えよ。

問 4 図 2 は、24 時間後の培養皿上の細胞 A, B, C の分布と、ビーズからの距離と物質 X の濃度の関係を示している。物質 X の濃度が細胞 A の分化に与える影響について、以下の語句をすべて用いて 50 字以内で述べよ。

語句：濃度 P, 濃度 Q

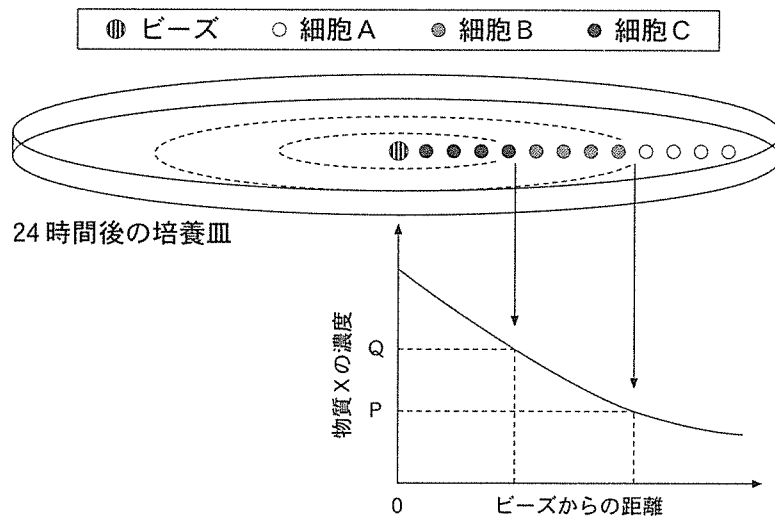
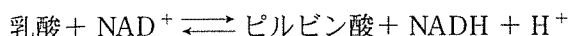


図 2

(出典：Scott F. Gilbert, *Developmental Biology* (2003) より一部改変)

〔4〕 以下の文章を読み、問1～問4に答えよ。

乳酸脱水素酵素(LDH)は、心臓、肝臓、腎臓、骨格筋、赤血球など様々な組織の細胞に存在する酵素で、以下の化学反応を触媒する。



これらの組織が損傷を受けると、細胞内のLDHが血液中に流出することが知られている。したがって、ヒトの血清中のLDH活性値は、これらの臓器や組織の障害を診断する際に用いられている。血清とは、遠心分離によって血液試料から血球とフィブリンなどの線維を取り除いた液体成分である。

光がある物質を通った時に、吸収により減衰した程度を示す尺度を吸光度という。吸光度は物質の濃度に比例する。図1は同濃度の NAD^+ あるいは NADH の溶液に様々な波長の光をあて、吸光度を調べて得られた吸収スペクトルである。点線は NAD^+ 、実線は NADH の吸収スペクトルを示す。

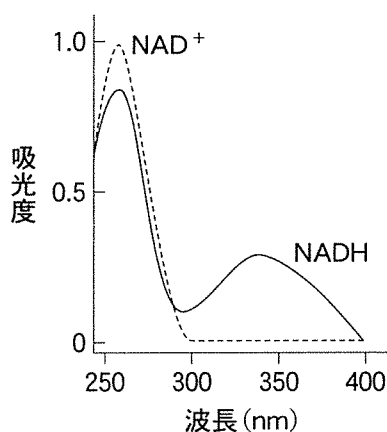


図1

(出典：Victor W. Rodwell 他，イラストレイテッド ハーパー・生化学(2003))

問1 NAD^+ や NADH のように、酵素の働きを助ける低分子の有機物のことを何と呼ぶか。

問 2 乳酸を基質として血清中の LDH 活性値を調べるため、血清に乳酸、 NAD^+ および緩衝液を加えた。血清中の LDH 活性値を測定するためには、一定時間反応させた後、反応溶液のどの値を用いるのが最も適切か。以下の a ~ d の中から 1 つ選び、記号で答えよ。また、その理由を 50 字以内で述べよ。

- a. 波長 260 nm の吸光度の増加量
- b. 波長 260 nm の吸光度の減少量
- c. 波長 340 nm の吸光度の増加量
- d. 波長 340 nm の吸光度の減少量

問 3 十分量の乳酸と NAD^+ を含む緩衝液に、精製した LDH をある一定量加えて反応させ、問 2 の値(相対値)を測定したところ、図 2 のグラフが得られた。LDH の酵素量(酵素活性)のみを 2 倍にして同様の測定を行った場合、グラフはどのようなになるか、解答用紙のグラフに記入せよ。なお、解答用紙のグラフには、参考として図 2 のグラフが示してある。

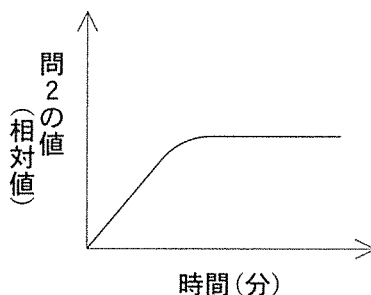
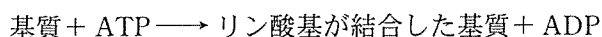


図 2

問 4 赤血球の細胞膜が破れ、中身が流出する現象を溶血という。血清を得る際に溶血が起こると、血清中 LDH 活性の測定値に影響を与える可能性がある。どのような影響があると考えられるか、10 字以内で述べよ。また、その理由を 25 字以内で述べよ。

〔5〕 以下の文章を読み、問1～問4に答えよ。

細胞が増殖するためには、細胞外にある増殖因子と呼ばれるタンパク質が、細胞膜を貫通する受容体の細胞外の部位に結合し、その受容体の細胞内にある部位に結合する分子(基質)をリン酸化(基質にリン酸基を共有結合させること)して、細胞に増殖を促すシグナルを伝達するケースが多い。基質のリン酸化は以下のような反応で生じ、受容体の中にある基質をリン酸化する部位が、リン酸化酵素としてこの反応を触媒する。



この受容体からのシグナル伝達異常は細胞の異常な増殖を促し、がんの原因になることが知られている。

ある受容体 A には、細胞外の領域に増殖因子 X が結合する部位があり、細胞内の領域に基質 B をリン酸化する部位がある。受容体 A に増殖因子 X が結合すると、受容体同士が結合し 2 分子になる。2 分子になるとリン酸化する部位が活性化し、基質 B をリン酸化することができるようになる(図 1)。基質 B がリン酸化されると細胞の増殖が促進されるため、通常は増殖因子 X の存在する場合のみ、細胞増殖が促進される。

しかし、ある種のがん細胞では、染色体の異常により、受容体 A の遺伝子の細胞外の領域と細胞膜を貫通する部位に対応する部分が他の遺伝子と入れ替わる。一方で、細胞内の基質 B をリン酸化する部位は入れ替わらない。このように、部分的に他の遺伝子と入れ替わった受容体 A を受容体 A' と呼ぶことにする(図 2)。受容体 A' の中の他の遺伝子に由来する部位の一部には互いに結合する部位があることが判明した。また受容体 A' は細胞膜を貫通する部位がないため、細胞内に存在する(図 2)。

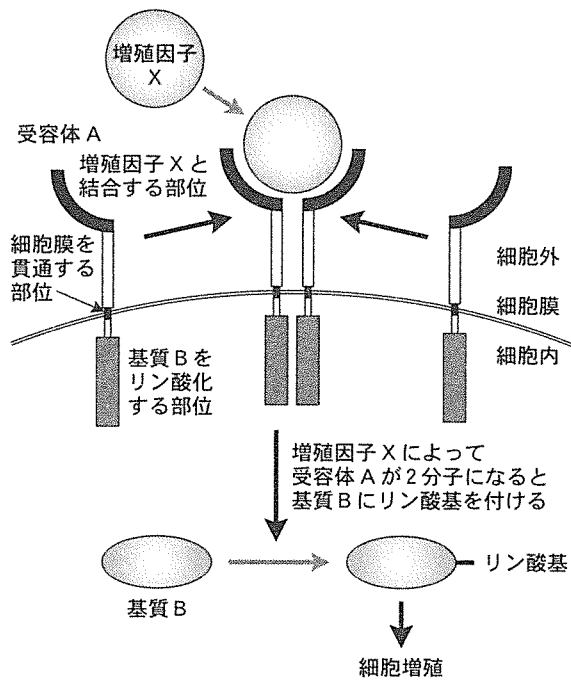


図 1

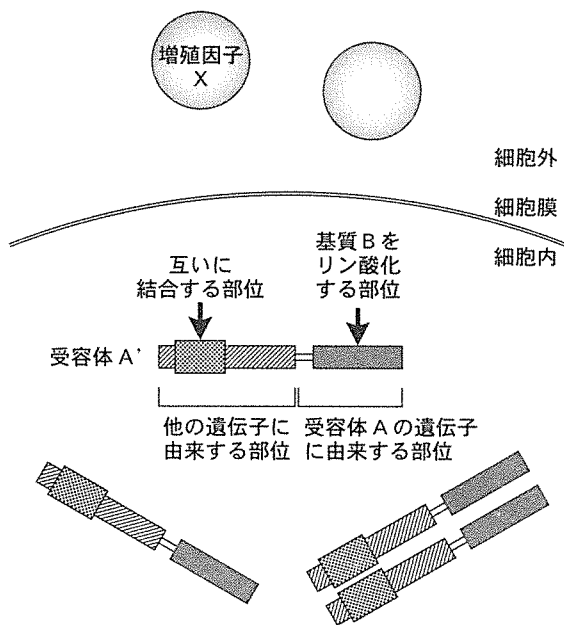


図 2

(出典 : Tri Le, David E. Gerber, Seminars in Cancer Biology (2016) より一部改変)

問 1 受容体 A が受容体 A' に変化した細胞では常に細胞増殖が促進されている。細胞内では受容体 A' によってどのようなことが起きて細胞増殖が促進されるか、以下の語句をすべて用いて 75 字以内で述べよ。

語句：増殖因子 X, 受容体 A', 基質 B

問 2 受容体 A' 内の基質 B をリン酸化する部位は、基質が結合する部位と ATP が結合する部位という各々独立の部位から構成され、受容体 A' に基質 B と ATP の両方が結合することが基質 B のリン酸化に必要である。ATP が結合する部位はくぼんでおり、ATP はそのくぼみの一部に入り込んで結合する(図 3)。このがん細胞の増殖を抑える薬物 C も ATP が入り込むくぼみに入り込んで結合する(図 3)。薬物 C はどのように機能して細胞増殖を抑えると考えられるか、以下の語句をすべて用いて 90 字以内で述べよ。

語句：ATP, リン酸化, 基質 B, 薬物 C

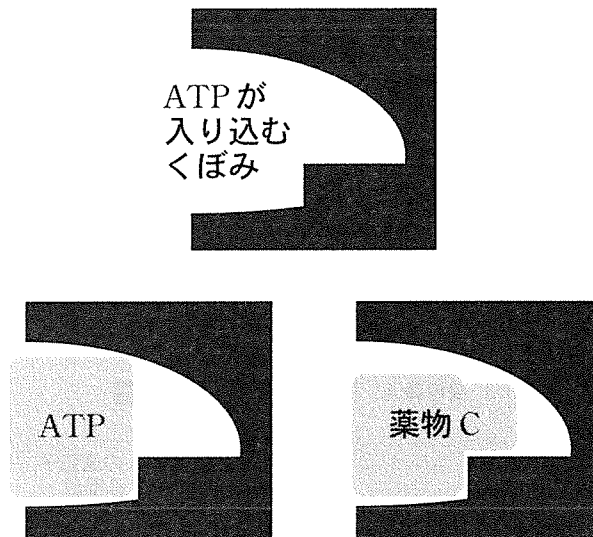


図 3 受容体 A' 内の ATP が結合する部位を拡大したところ (黒い部分)

問 3 薬物 C を患者に投与したところ、がんの増殖が抑制された。しかし、薬物 C を継続して投与したところ、投与期間中にも関わらず、がんが再度大きくなってしまった。この再度増殖しはじめたがん細胞では、受容体 A' 内の ATP が結合する部位の近くのアミノ酸 1 つが別のアミノ酸 1 つに変化したことが判明した。しかしアミノ酸が変化した受容体 A' が基質 B や ATP と結合する強さは、アミノ酸が変化する前と変わらないことも分かった。薬物 C がこの患者のがんに対して効かなくなって、がんが再度増殖しはじめた原因を、75 字以内で説明せよ。

問 4 薬物 C はある種の肺がんに対してのみ強い増殖抑制効果を持ち、正常な肺や他の組織(臓器)に対する増殖抑制効果が少ない。薬物 C が、この肺がんに対してのみ強い増殖抑制効果を持ち、正常な組織(臓器)に対する増殖抑制効果が弱い理由として可能性が最も高いものを以下の a ~ d の選択肢から 1 つ選び、記号で答えよ。

- a. 受容体 A は正常な組織(臓器)では量(分子の数)が少ない。
- b. 受容体 A 内の ATP が結合する部位の構造が変化した時のみ、薬物 C が受容体に結合できる。
- c. 受容体 A 内の基質 B が結合する部位の構造が変化した時のみ、薬物 C が受容体に結合できる。
- d. 薬物 C はこの肺がん細胞を攻撃する免疫系の細胞を不活性化する。