令 和 3 年 度

理 科

物	理	1ページ～9ページ
化	学	10ページ～19ページ
生	物	20ページ～30ページ

注意事項

1. 監督者の許可があるまでは，中を見てはいけない。
2. 問題冊子に欠けている部分や印刷が不鮮明な箇所などがあれば申し出ること。
3. 解答用紙は，物理(その1～その3)，化学(その1～その4)，生物(その1～その4)の3科目分を綴ってある。

   解答を始める前に，自分の選択する2科目に関係なく全科目の解答用紙に必ず受験番号を記入すること。なお，受験票の理科受験科目届の○で囲んだ科目以外を解答した場合は採点されないので注意すること。
4. 解答は，必ず解答用紙の所定の解答欄に記入すること。
5. 問題用紙の余白は，計算用紙として利用してもよい。

生　　物

1 次の(文1)を読み，問1から問4に答えよ。

(文1)　タンパク質は［A］種類のアミノ酸により構成されており，［B］種類の塩基をもつヌクレオチドにより構成されるmRNAがそのアミノ酸配列を指定している。アミノ酸を指定する連続した3塩基はトリプレットと呼ばれ，(1)1960年代にニーレンバーグらの研究をもとに遺伝暗号表としてまとめられた。このアミノ酸を指定するトリプレットは特にコドンと呼ばれる。真核細胞ではAUGは［C］を指定するトリプレットであるが，特に翻訳の開始となるAUGは［D］コドンと呼ばれる。また，UAA，UAG，UGAは翻訳が終了するためのトリプレットなので，［E］コドンと呼ばれる。

翻訳はリボソームで行われる。［F］によって運ばれたアミノ酸が，mRNAの配列情報に従い次々とつながれていく。［F］にはコドンに相補的に結合する3塩基が含まれ，これは［G］コドンと呼ばれる。翻訳で最初に起こるのはmRNAとリボソームの小サブユニットとの結合である。小サブユニットが［D］コドンまでくると，［C］を付けた［F］がmRNAの［D］コドンに結合する。その後，大サブユニットが結合し［H］鎖が伸長されていく。またリボソームが［E］コドンを認識すると，それらに対応する［G］コドンをもつ［F］が存在せず，翻訳が終了する。

このように細胞は翻訳のために必要な全てのしくみを備えているが，これに対して，ウイルスは自分自身のみでは翻訳を行うことができない。ウイルスには，遺伝物質として1本鎖もしくは2本鎖の核酸をもつものがあり，DNAを遺伝物質としてもつDNAウイルスと，RNAを遺伝物質としてもつRNAウイルスが存在する。(2)ウイルスは宿主となる細胞に自身のDNAまたはRNAからなる遺伝物質を侵入させ，宿主細胞のしくみを利用することで翻訳を行う。

一方で，ウイルスのゲノム複製は，修復活性のある宿主のDNAポリメラーゼを利用する場合や[注1]，修復活性のないウイルス由来の複製酵素を利用する場合などがある。多くの場合，修復活性のない複製酵素を利用するウイルスではウイルスゲノムの変異頻度が高くなる。(3)ウイルスゲノムの変異によっては，特異的抗体による免疫を逃れることや，感染性や病原性に変化が生じることがあるため，しばしば大きな問題となる。

注1）DNAが複製されるときには，まれに相補的でない塩基対ができることがある。これらの変化の多くは，DNA修復と呼ばれるしくみによってただちに修復されている。

問1 [A] ～ [H] に入る，最も適当な語を記せ。

問2 下線部(1)について，ニーレンバーグらの実験では，大腸菌をすりつぶした抽出液(リボソーム・各種の酵素・アミノ酸などのタンパク質合成に必要なものがすべて含まれている)に，塩基としてウラシル(U)だけをもつ人工的に合成したRNAを加え，UUUのトリプレットがフェニルアラニンを指定していることを示した。

そこで同様に，特定の塩基配列をもつ人工RNAを用いて以下の実験を行った[注2]。

注2）実験では大腸菌を使用しているが，遺伝暗号表は生物を問わず基本的に同じであるとする。また，この人工的な実験条件では，AUG以外からも翻訳が始まるものとする。

実験 1．GGGGGG・・・・・・(G だけからなる)の塩基配列をもつ人工 RNA からは，グリシンだけからなるポリペプチドが合成された。

実験 2．UGUGUG・・・・・・(UG の繰り返し)の塩基配列をもつ人工 RNA からは，システインとバリンが交互に配列したポリペプチドが合成された。

実験 3．UUGUUG・・・・・・(UUG の繰り返し)の塩基配列をもつ人工 RNA からは，ロイシン，システイン，バリンのいずれかだけからなる 3 種類のポリペプチドが合成された。

実験 4．GGUGGU・・・・・・(GGU の繰り返し)の塩基配列をもつ人工 RNA からは，グリシン，バリン，トリプトファンのいずれかだけからなる 3 種類のポリペプチドが合成された。

実験 1 ～ 4 の結果のみから決定できるアミノ酸とそのコドンの組み合わせを全て挙げよ。

問 3　下線部(2)について，ウイルスは限られた長さのゲノムを有効に活用する特別なしくみをもっている場合がある。例えば，あるウイルスでは，3215 塩基対のウイルスゲノムから，合計で 2290 個のアミノ酸からなる 7 種類のタンパク質を発現する。3215 の $\frac{1}{3}$ を上回る数のアミノ酸を指定することができるのは，どのようなしくみによるものか。考えられるしくみを 1 つ説明せよ。

問 4　下線部(3)について，修復活性のない複製酵素を利用するウイルスでは，複製過程で多数の変異がウイルスゲノムに生じていると考えられる。しかしながら，生じた変異のすべてがその子孫ウイルスに存在しているわけではない。どのような理由が考えられるか，1 つ挙げよ。

2 次の(文2)を読み，問1から問5に答えよ。

(文2) ヒトゲノムは約30億塩基対のDNAからなっている。個々のヒトのゲノムDNAを比較すると，塩基配列にわずかな違いが存在している。このように，同一種内において，ゲノムDNAの同じ位置に個体によって異なる複数の塩基配列が存在することを［ A ］という。なかでも，ゲノムDNAの特定部位の塩基が1塩基単位で異なっているものを［ B ］いう。［ A ］には，下に述べるフェニルケトン尿症などのように，病気の直接の原因になっているものがある一方で，個人差や人種差などにかかわっているものも数多くあると予想されている。

食物として摂取されたタンパク質は，消化によって最終的にアミノ酸にまで分解され，吸収される。フェニルアラニンとチロシンはタンパク質に含まれるアミノ酸で，ヒトでは図1のような代謝経路で二酸化炭素と水にまで分解される。この代謝経路には，フェニルアラニンをチロシンに代謝する酵素Xが働いている(酵素Xをコードする遺伝子を，遺伝子*X*と表記する)。酵素Xの性質を調べたところ，(1)活性を発揮するために，ある低分子化合物Yの助けを必要とすることがわかった。

フェニルケトン尿症はこの代謝経路に異常をもつ遺伝病である。(2)大部分の患者においては遺伝子*X*の塩基配列が変化することが原因となっている。その変化によって正常な酵素Xが作れなくなると，フェニルアラニンからチロシンへの代謝が滞ることにより，血液中にフェニルアラニンが蓄積する。蓄積したフェニルアラニンは，フェニルケトンに変化して尿中に排出されることからフェニルケトン尿症と呼ばれる。血液中にフェニルアラニンが蓄積すると，大脳の発達に影響するなどの症状を示す。(3)同じ遺伝子*X*が変化することにより発症したフェニルケトン尿症の患者でも，塩基配列の変化の仕方によって酵素Xの活性に及ぼす影響はさまざまで，そのため治療をしなかった場合の症状の重さには違いが生じる。現在では，新生児に対して行われる血液検査で血中のフェニルアラニン濃度を測定することにより早期診断が可能であることに加え，フェニルアラニンの含有量を減らした食事を摂るようにするなどの治療法が確立している。しかしながら，この治療法も，患者の“生活の質”という観点からは理想的とは言い難い。そのため，(4)新しい治療法の開発が現在も進められている。

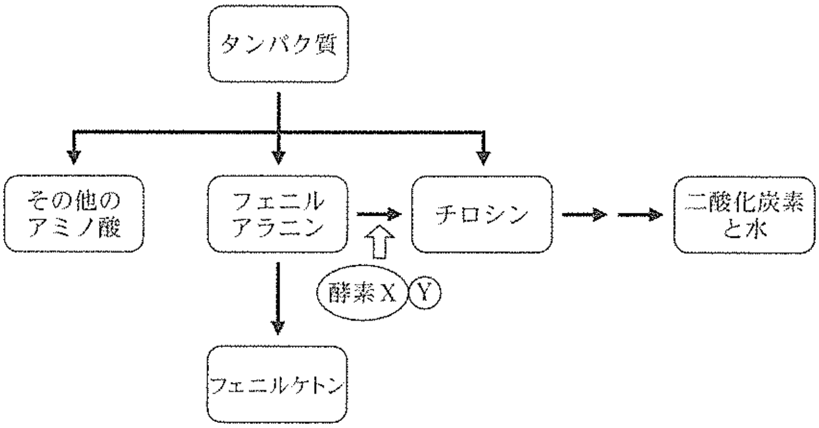

図1　フェニルアラニンとチロシンの代謝経路

問1　文中の A と B に入る，最も適当な語を記せ。

問2　下線部(1)のように，酵素が機能を発揮するのに必要な低分子化合物を一般に何と呼ぶか，記せ。

問3　下線部(2)について，遺伝子 X 以外に，下線部(1)で述べられている低分子化合物Yを合成するのに必要な酵素Zの遺伝子 Z（図2）の変化によってフェニルケトン尿症が引き起こされる例も知られている。この場合，遺伝子 X の変化を原因とするフェニルケトン尿症と共通する症状に加えてさらに別の症状を伴い，いずれの症状も，患者に低分子化合物Yを投与することで改善する。遺伝子 Z の変化によるフェニルケトン尿症が別の症状を伴う理由を説明せよ。

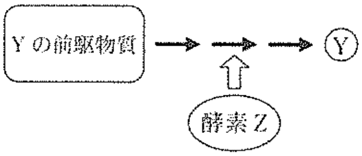

図2　低分子化合物Yの合成経路

問 4　下線部(3)について，酵素 X の活性が完全に失われてしまうのは，塩基配列がどのように変化した場合であると考えられるか。2 通り挙げて説明せよ。

問 5　下線部(4)について，現在，開発が進められている治療法の一つとして，「遺伝子組換え技術により作り出した生きた大腸菌を使って，腸内でフェニルアラニンを分解させる」というものがある。もしあなたがこの治療法を開発するとしたら，ヒトを被験者とした臨床試験に先立って，どのような手順で開発を進めるか，説明せよ。ただし，説明には次の語句を必ず用いること。

血中アミノ酸濃度の測定，病原性をもたない大腸菌，動物実験
フェニルアラニンを分解する酵素，副作用

3 次の(文3)を読み，問1から問5に答えよ。

(文3)　人をはじめとした哺乳動物は，血液が滞りなく循環し続けることで生命を維持している。血液循環は心臓から全身を巡る体循環と，肺を流れる［A］に，大きく二分することができる。肺から流れてくる血液は心臓の［ア］へ流入し，その後心臓の［イ］から送り出された血液は［B］を介して全身の臓器や組織に到達する。そこで血管は細かく枝分かれして，1層の［C］細胞によって構成される毛細血管となる。毛細血管を介して，酸素や栄養素および様々なタンパク質などが全身の細胞に送り届けられる。またこれと同時に，細胞から二酸化炭素および老廃物などを回収し，［D］を介して心臓の［ウ］へ戻ってくる。その後，心臓の［エ］から送り出された血液は肺動脈を介して肺の毛細血管へ到達し，そこで二酸化炭素と酸素を交換することで赤血球は鮮やかな赤色に変化する。(1)

心臓は収縮と弛緩を適切なリズムで繰り返す(2)ことで血液循環を調節しており，激しい運動時には，安静時と比較して血液循環量がおおよそ5倍に増加する。(3)

問1　文中の［A］～［D］に入る，最も適当な語を記せ。

問2　文中の［ア］～［エ］に入る語を下記から選択せよ。

右心室，左心室，右心房，左心房

問3　下線部(1)に関連して，体循環の毛細血管では酸素の放出が起こり，肺の毛細血管では酸素の取り込みが起こる理由を，ヘモグロビンの酸素解離曲線を図示して説明せよ。

問 4　下線部(2)について，心臓は収縮と弛緩を繰り返す。図 3 は左心室の内圧と容量の時間変動を示している。このグラフのなかで，心臓の左心室から血液がおくり出される過程に対応する箇所を図 3 の a → b，b → c，c → d および d → a の中から 1 つ選択せよ。

また，この心臓の左心室から 1 分間に送りだされる血液量(mL)を答えよ。ただし 1 分間の心拍数は 60 回とする。

注）グラフ縦軸の単位 mmHg とは圧力の単位である。（1 気圧＝ 760 mmHg）

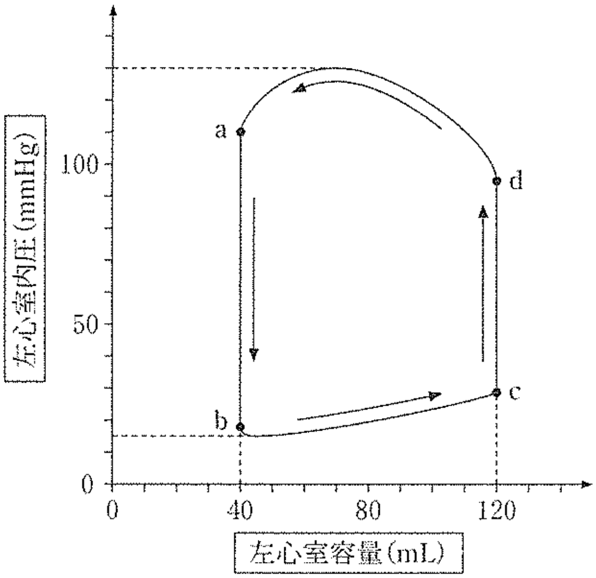

図 3　左心室の内圧と容量の時間変動

問 5　下線部(3)について，激しい運動を始めると急速に心臓の拍動が速くなる。このとき激しい運動に応じて心拍数が変動するしくみを，自律神経系の関与も含めて説明せよ。

4 次の(文4)を読み，問1から問6に答えよ。

(文4)　タンパク質は生物体の主要な構成成分の一つである。タンパク質には非常に多くの種類があり，さまざまな生命現象を支えている。

タンパク質はアミノ酸がつながってできた分子である。タンパク質のはたらきは，タンパク質の構造によって決まり，タンパク質の構造はアミノ酸がどのような配列で結合しているかによって決まる。タンパク質の立体構造をみると，部分的に特徴のある構造を形成している領域が多い。例えば，側鎖が外側を向いた状態でらせん状の構造をとった [A] 構造などがある。タンパク質によっては，アミノ酸の一種である [B] の側鎖の間につくられる S–S 結合などによって安定化されることもある。

タンパク質が正常にはたらくには，正しい立体構造をもつことが必要であるが，タンパク質の立体構造はそれほど安定していない。そのため，立体構造が変化して，タンパク質の性質や機能が正常な状態から変化することがある。これを [C] と呼ぶ。そのため細胞内には，[C] したタンパク質を認識して正しい立体構造を形成させるためにはたらく [D] というタンパク質がある。

生体内においてタンパク質は，代謝，物質の輸送(1)，情報の伝達(2)など多様な機能を担っている。代謝は，単純な物質から複雑な物質を合成する [E] と，複雑な物質が単純な物質に分解される [F] に分けられる。

タンパク質の性質を学ぶため，以下の2つの実験を行った。

実験1

1. タンパク質XとYの溶液を用意した。
2. タンパク質Xの溶液を2つに分け，一方の試料にS–S結合を切断する試薬(DTT)を加えた。タンパク質Yも同様に処理した。
3. 4つの試料を，ゲル電気泳動法を用いて分子量の大きさの違いで分離した。
4. 泳動後のゲルに染色液を与えて，タンパク質やその断片を染色した(図4)。

実験 2

1. タンパク質 X の溶液を用意した。

2. 試料を 2 つに分け，一方に DTT を加えた。

3. 各試料に，特定のアミノ酸配列を認識して切断するタンパク質分解酵素を加え，37 ℃ で 1 時間反応させた。

4. 2 つの試料を，ゲル電気泳動法を用いて分子量の大きさの違いで分離した。

5. 泳動後のゲルに染色液を与えて，タンパク質やその断片を染色した(図 5)。

注 1) DTT はタンパク質分解酵素そのものの活性には影響しないものとする。

注 2) 電気泳動では，タンパク質の分子量の目安となる，分子量が既知のマーカータンパク質(M)を並べて泳動している。マーカータンパク質の分子量は図の左側に示した。

注 3) タンパク質分解酵素は少量なので染色では検出されない。

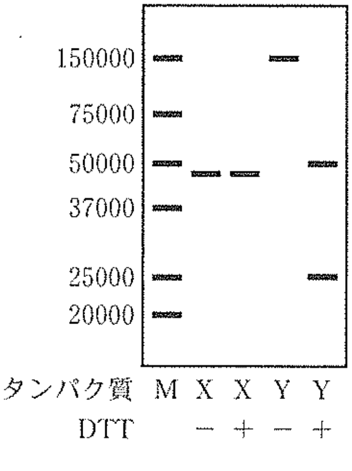

図 4　実験 1 の結果

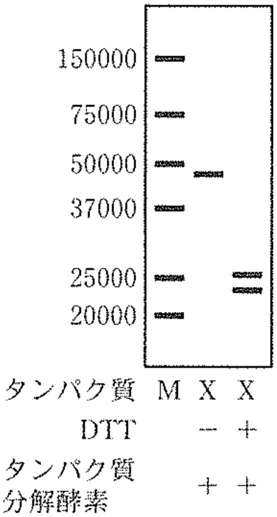

図 5　実験 2 の結果

問 1 [A] ～ [F] に当てはまる最も適当な語を記せ。

問 2 下線部(1)，(2)について，例にならって，それぞれのはたらきを担うタンパク質の例と，その具体的な機能を記入し，表を埋めよ。

	タンパク質の例	そのタンパク質の具体的な機能
(例) 代 謝	トリプシン	タンパク質の分解
(1) 物質の輸送		
(2) 情報の伝達		

問 3 実験 1 の結果から，タンパク質 X と Y についてどのようなことがいえるか，理由と合わせて述べよ。

問 4 実験 2 の結果は，DTT が存在する時だけタンパク質 X がタンパク質分解酵素で切断されたことを示している。DTT の有無でどのような違いが生じることで酵素反応の違いにつながったと考えられるか，理由と合わせて述べよ。

問 5 実験 2 では，DTT を加えた試料中のタンパク質 X のほとんどが 2 つのペプチドに分解されたと考えられる。そこで，ある条件を変更して同様の実験を行ったところ，タンパク質 X の全部は切断されず，一部はそのまま残った。このとき変更した実験条件として考えられるものはいくつかある。そのうちの 1 つを挙げよ。

問 6 問 5 の結果を受けて，試料中に含まれるタンパク質 X のちょうど半分が切断されるようにしたいと考えた。そのためには，問 5 で解答した条件を適切に設定するための実験が必要になる。どのような実験を行う必要があるか述べよ。