

平成 26 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 $\left\{ \begin{array}{l} \text{物理} \quad 2 \text{ ページから } 7 \text{ ページ} \\ \text{化学} \quad 8 \text{ ページから } 16 \text{ ページ} \\ \text{生物} \quad 17 \text{ ページから } 34 \text{ ページ} \end{array} \right\}$ 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 4 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。

なお，物理については，〔2〕問8を解答しなくてよい。

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)

〔1〕 以下の文章を読み、問1～問6に答えよ。

心臓は絶えず収縮と拡張を繰り返すことにより、全身に血液を送り出しているが、その受け皿となる血管も収縮と拡張を行うことによって、血液の循環を調節している。この血管の働きを調べるために以下のような実験を行った。

ウサギの動脈を取り出して、図1に示すようにリング状に切り取り、リングの2か所に糸をかけ、一方の端を固定し、もう一方の端を、張力を感知する検出器につないだ。最初に張った糸にたるみのない状態を「張力=0」とし、血管の収縮を張力の変化として測定した。切り取った動脈は、長い時間にわたって生きた状態で保つておくために、酸素を吹き込んだ37℃の「溶液」に浸してさまざまな薬剤の効果を検討した。

なお、実験に用いた動脈血管は、収縮・弛緩を行う血管平滑筋細胞からなる筋層と、その内側にある、それ自身は収縮・弛緩を行わない血管内皮細胞の層から構成されている(図2)。

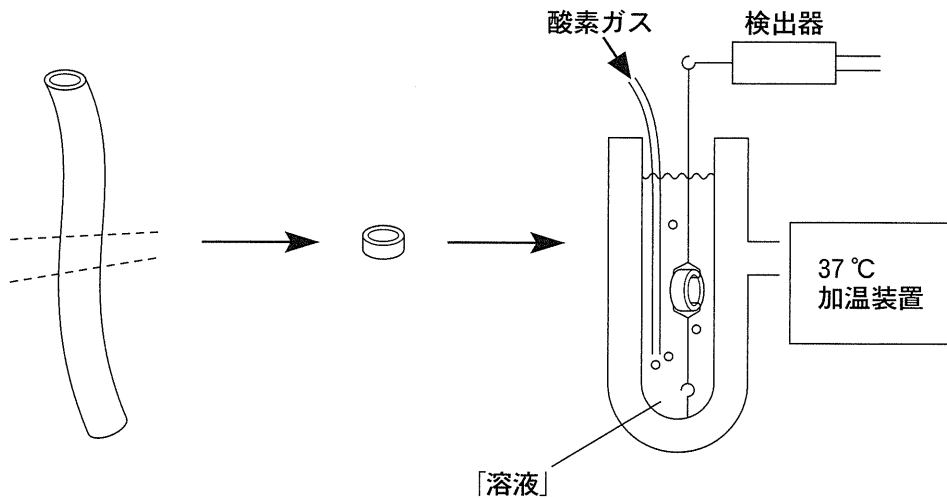


図1

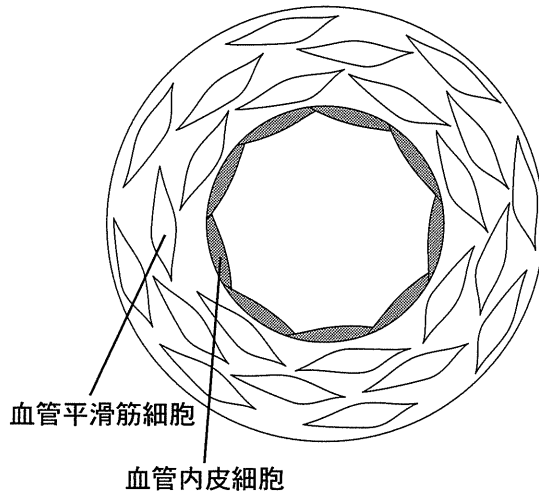


図 2

問 1 切り取った動脈を浸す「溶液」は、生理的な環境に近い以下のイオン組成のものを用いた。空欄に適切な語句を記せ。

ア	イオン	135 mM
イ	イオン	5 mM
塩素イオン		144 mM
カルシウムイオン		2 mM

問 2 実験 I (図 3) の方法について記載した以下の文章中の空欄に適切な数値を記せ。ただし、動脈標本を浸している「溶液」の全体積は 20 ml であり、有効数字 2 桁として計算せよ。

「まず、 10^{-6} M のノルアドレナリンに対する動脈標本の反応を観察するために、10 mM のノルアドレナリン溶液を ml 加えた。つぎに 10^{-6} M のアセチルコリンに対する動脈標本の反応を観察するために、10 mM のアセチルコリン溶液を ml 加えた。さらに、この状態で 10^{-5} M のアセチルコリンに対する動脈標本の反応を見るために、10 mM のアセチルコリン溶液を ml 加えた。最後に 10^{-4} M のアセチルコリンに対する反応を見た。」

問 3 実験 I の結果について、以下の空欄に適切な語句を記せ。

「血管平滑筋はノルアドレナリンによって収縮し、アセチルコリンにより弛緩することが分かった。血管平滑筋の収縮・弛緩は、自律神経によって調節されているので、ノルアドレナリンは 神経刺激により、アセチルコリンは 神経刺激によってそれぞれ放出されると考えられる。」

実験 I

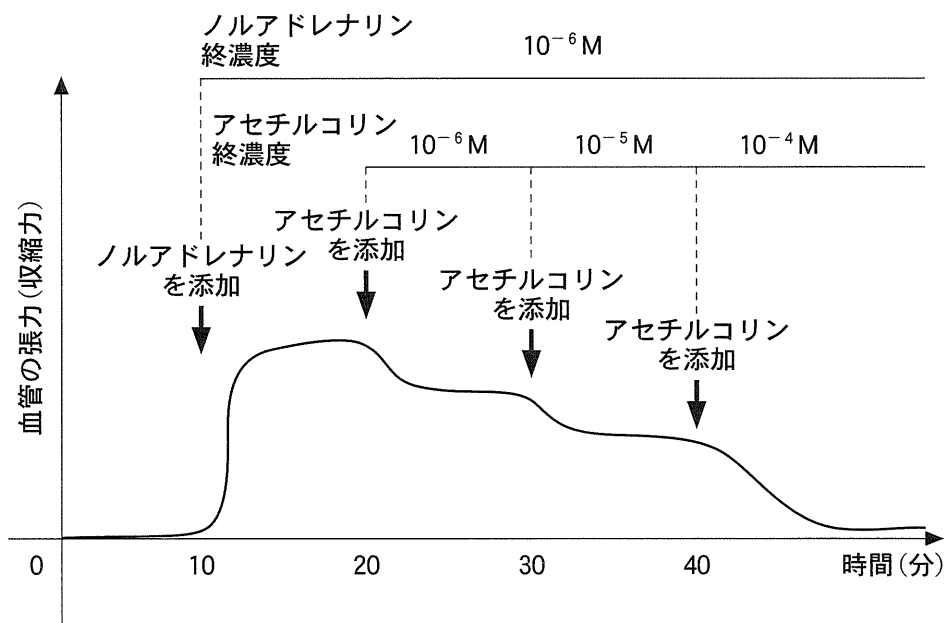


図 3

問 4 血圧は、動脈を流れている血液が血管壁に加える圧力として定義される。

自律神経の働きによって心臓の拍動と動脈血管の収縮・拡張が協調的に制御されることで、血圧は変化する。脊椎動物の循環系が閉鎖血管系であることに言及しつつ、自律神経が心臓・血管の双方にどのように作用することにより血圧上昇が起きるのか、80字以内で述べよ。

問 5 血管内皮細胞を除去した動脈標本を用いて、実験 I と同様の実験(実験 II)を行ったところ、図 4 のような結果となった。この結果より、アセチルコリンの添加時における血管内皮細胞の働きについて 75 字以内で述べよ。

実験 II

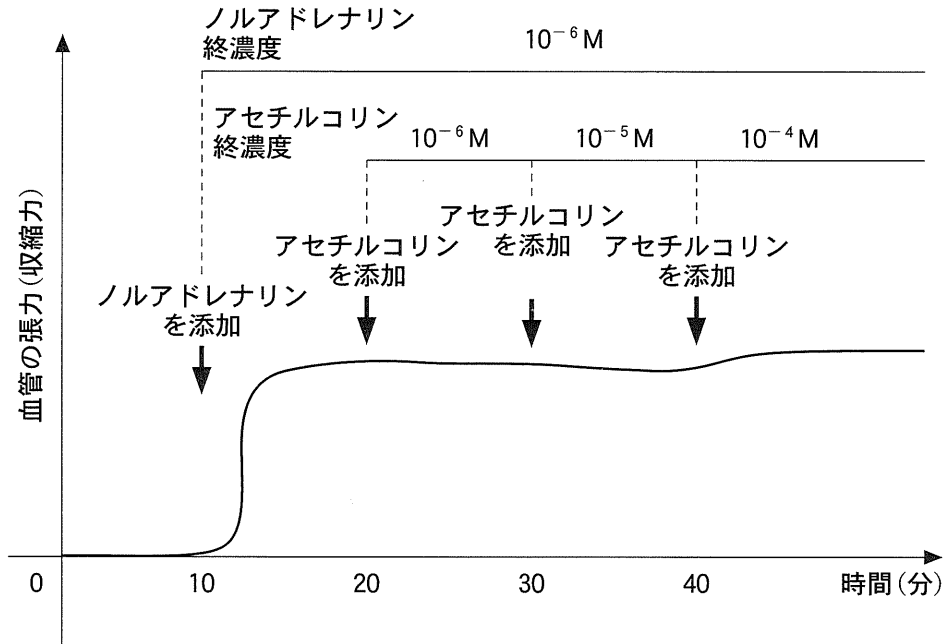


図 4

問 6 血管内皮細胞を除去した動脈標本を用いて、ノルアドレナリンを加えずにアセチルコリンのみを投与したところ(実験Ⅲ)，図5のような結果になった。なお，血管内皮細胞を除去しない動脈標本でアセチルコリンのみを投与する実験(実験Ⅳ)を行ったところ，図6のような結果となった。

- (1) 実験Ⅲにおいて高濃度のアセチルコリンを投与すると血管は収縮したが，考えられる理由について60字以内で答えよ。
- (2) 実験Ⅳにおいて血管収縮が見られない理由について75字以内で考察せよ。

実験Ⅲ

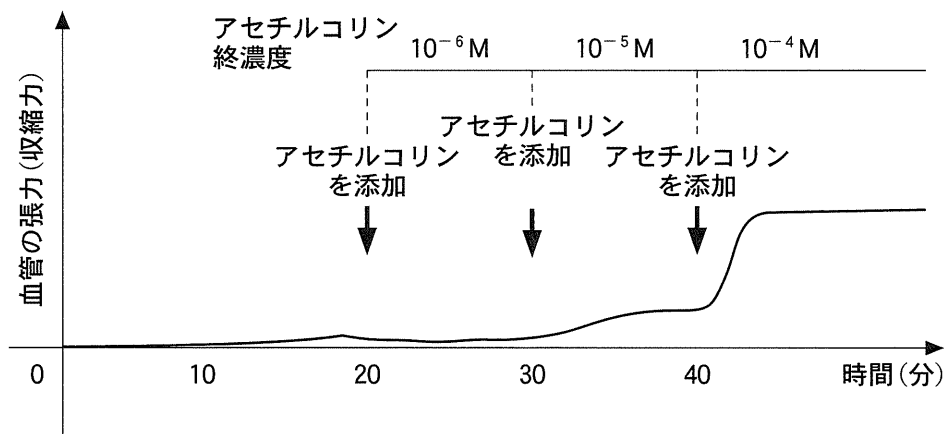


図 5

実験Ⅳ

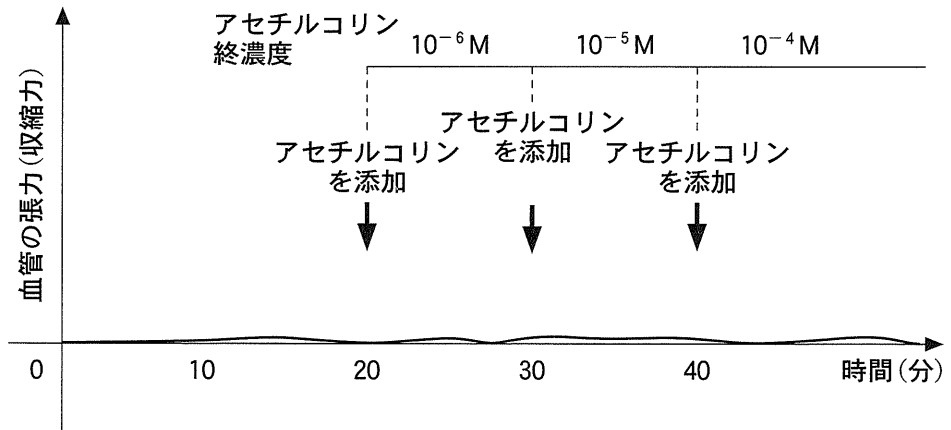


図 6

〔2〕 以下の文章を読み，問1～問5に答えよ。

植物ホルモンとは，植物体のある部分で合成され，ごくわずかな量で植物の成長や反応を調節する物質の総称である。例えば，植物の屈性に関わるオーキシン，茎の伸長成長に関わる ，気孔の開閉に関わる や ，果実の成熟を促進する などあげることができる。なかでもオーキシンは，植物の成長から老化といった植物体の一生に密接に関わっており，古くから研究されている。例えば植物の切り取った枝から芽や根が出る位置には極性があり，本来，枝の先端側であった端からは芽が，基部側からは根が出る。この過程には，オーキシンが植物体の組織の極性に従って移動することが関わっているが，その仕組みは最近になってわかってきた。以下はオーキシンの移動と器官の形成の関係を調べるために行われた実験である。

【実験1】

通常の条件でシロイヌナズナを育てた場合，ある時期になると茎の先端に花芽が次々と形成される。しかし，オーキシンの移動を阻害する薬剤Xを含んだ培地(X培地)で植物を育てたところ，花芽の形成が阻害された。この茎の先端の限られた部分にオーキシンを塗布したところ，その部分から花芽が作られた。

【実験2】

植物体でのオーキシンの極性移動に関わる膜タンパク質Aをコードする遺伝子Aの機能が失われたシロイヌナズナのa変異体では，通常の条件で育てた場合でも，野生型の植物をX培地で育てた場合と同様に花芽の形成が阻害された。タンパク質Bをコードする遺伝子Bの機能が失われたb変異体でも同様な阻害が見られた。そこで茎の先端にある細胞でのタンパク質Aの分布を通常の条件で育てた野生型とb変異体で調べたところ，図1のようであった。図は茎の先端の縦断面を示している。なお図中の破線は，茎の先端部の最外部の細胞の輪郭を，太線は，タンパク質Aの存在部位を示しており，矢じりは，花芽が形成される部分を示している。

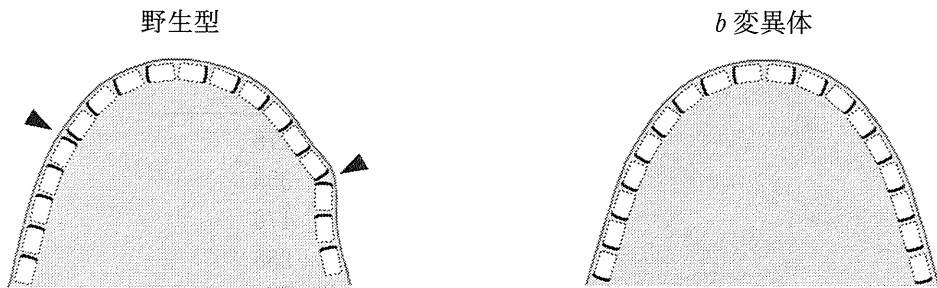


図 1

【実験 3】

植物の根でタンパク質 A は、維管束に多く存在しており、細胞の下側(根の先端側)の細胞膜に偏って存在していた。しかし、タンパク質 B を根の細胞で過剰に作らせたところ、タンパク質 A は維管束細胞の地上部側に偏って分布し、やがて根の成長は阻害された。タンパク質 C をコードする遺伝子 C の機能が低下した *c* 変異体でも根の成長が阻害されており、タンパク質 A の分布はタンパク質 B を過剰に発現させたときと同様であった。

【実験 4】

シロイヌナズナのゲノムには C と良く似た D という遺伝子があった。遺伝子 D の機能がなくなったホモ変異体 (CCdd) を単離したところ、個体の形態は正常であった。そこで、遺伝子 C と遺伝子 D の機能を調べる目的で、交配実験と遺伝子型の解析を行った。まず、両方の変異をヘテロに持つ F₁ 個体 (CcDd) を選抜し、次にこの F₁ 個体を自家受粉させ、F₂ 世代でどのような遺伝子型の植物が出現するかを調べたところ、表 1 に示すような個体が観察された。なお遺伝子 C と遺伝子 D は、異なる染色体に位置することがわかっている。

表 1

遺伝子型	個体数
① <i>CCDD</i>	178
② <i>CcDD</i>	356
③ <i>ccDD</i>	176
④ <i>CCDd</i>	358
⑤ <i>CcDd</i>	353
⑥ <i>ccDd</i>	0
⑦ <i>CCdd</i>	179
⑧ <i>Ccdd</i>	0
⑨ <i>ccdd</i>	0
合 計	1600

問 1 文中の空欄 から に適切な語句を記せ。

問 2 実験 1, 2 の結果をふまえて, タンパク質 A は花芽の形成にどのように関わっていると言えるか, 70 字以内で述べよ。

問 3 *b* 変異体で花芽が形成されない理由を推定し, 70 字以内で述べよ。

問 4 タンパク質 C が根の成長においてどのような機能を担っていると考えられるか, 100 字以内で述べよ。

問 5 実験4の結果の説明と考察として適当な語句を以下の文章の空欄
オ から コ にあてはめよ。表中の記号①～⑨を用いて解答し
ても良い。

オ の遺伝子型の カ が キ であると仮定すると、期
待される分離比は、観察されたF₂植物の分離比と良く一致する。従って、
遺伝子CとDは カ の形成または機能に重要な働きをしていると考
えられる。この仮説を検証するためには、 ク と ケ の遺伝子
型の植物を交配させて、F₁世代で コ の遺伝子型の植物が出現する
かどうかを調べれば良い。

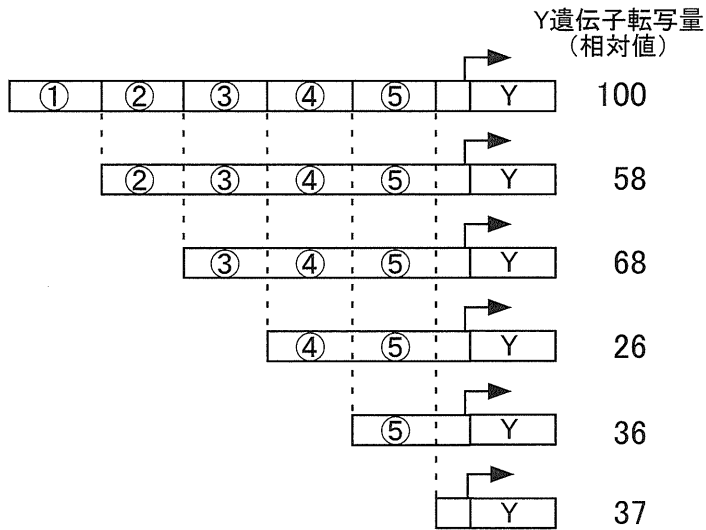
〔3〕 遺伝子の転写調節に関する以下の文章を読み、問1～問5に答えよ。

真核細胞における転写は、遺伝子の転写開始部位近くに存在する と呼ばれる DNA 配列に、DNA 鎖をほどくなどの役割を持つ基本転写因子や、 が結合することで開始される。転写の量や時期などの調節には、 とは異なる領域に存在する転写調節配列と、そこに結合する核内の転写調節タンパク質が重要な役割を担っている。これらの調節配列や調節タンパク質を見つける方法として、細胞を用いた遺伝子転写量の測定実験や、電気泳動法を用いた DNA とタンパク質の結合解析実験などがあげられる。ヒト肝臓の細胞（肝細胞）に発現する X 遺伝子の転写調節の仕組みを明らかにするために、以下の2つの実験を行った。

【実験1】

X 遺伝子の転写調節配列を見つけるために、X 遺伝子の転写調節に関わると予想される塩基配列を段階的に短くし、肝細胞には発現していない Y 遺伝子と連結させた DNA を作製した(図1)。得られた DNA を肝細胞に導入し、Y 遺伝子が転写される量を測定したところ図1のような結果となった。この結果から、①～⑤の領域のうち X 遺伝子の転写を促進する領域は であることがわかった。

図 1



【実験 2】

実験 1 で明らかになった転写促進領域にタンパク質が結合しているかを調べるため、この領域と同じ塩基配列を持つ 2 本鎖 DNA (表 1, 配列 W) の末端を放射性同位体で標識した標識配列 W と、肝細胞の核抽出液 (核に存在する複数のタンパク質を含む) を準備した。この標識配列 W のみ、もしくは標識配列 W と核抽出液の混合物を、電気泳動した。ただし、今回の電気泳動では、分子や分子複合体のサイズが小さいほど泳動方向に移動しやすくなる。泳動後、X 線フィルムを用いて放射性同位体の存在位置を調べたところ、a と b のバンドが検出された (図 2 列 1, 列 2)。このことから、核抽出液中に、転写促進領域に結合するタンパク質が存在することがわかった。⁽¹⁾

次に、転写促進領域とタンパク質との結合に必要な塩基配列を調べる実験を行った。標識配列 W と核抽出液の混合物に、標識をしていない配列 W を過剰に加えると a のバンドのみが検出され⁽²⁾ (図 2 列 3)、配列 W の一部の塩基を置換した配列を持つ標識をしていない 2 本鎖 DNA (表 1, 配列 M) を過剰に加えた場合には a, b のバンドが検出された (図 2 列 4)。

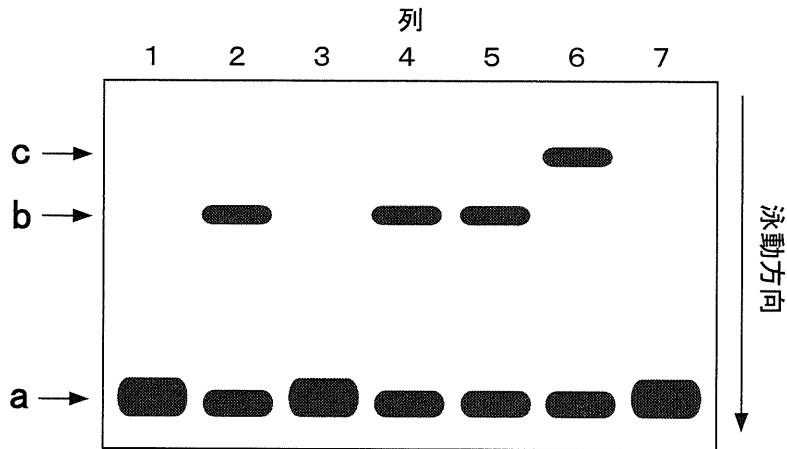
最後に、転写促進領域に結合するタンパク質が何であるかを調べる実験を行った。標識配列 W と核抽出液の混合物に、抗体 1 (核抽出液中のタンパク質と結合しない)を加えたところ a と b のバンドが検出されたが(図 2 列 5)、抗体 2 (タンパク質 Q の特定の amino 酸配列に結合)を加えた場合には a と c⁽³⁾のバンドが検出された(図 2 列 6)。また、抗体 3 (タンパク質 Q の特定の amino 酸配列に結合するが、抗体 2 とは異なる配列に結合)⁽⁴⁾を加えた場合には a のバンドのみが検出された(図 2 列 7)。これらの結果から転写促進領域にはタンパク質 Q が結合していることがわかった。

表 1

配列 W	TAG TCT CAG CTG CTG ACC TCA
配列 M	TAG TCT TGA GAC CTG ACC TCA

(DNA の片側の鎖のみ示す)

図 2



- 列 1 : 標識配列 W
- 列 2 : 標識配列 W + 核抽出液
- 列 3 : 標識配列 W + 核抽出液 + 非標識配列 W
- 列 4 : 標識配列 W + 核抽出液 + 非標識配列 M
- 列 5 : 標識配列 W + 核抽出液 + 抗体 1
- 列 6 : 標識配列 W + 核抽出液 + 抗体 2
- 列 7 : 標識配列 W + 核抽出液 + 抗体 3

問 1 文中の空欄 , に適切な語句を入れよ。また、空欄 にあてはまる数字①～⑤をすべて記入せよ。

問 2 下線部(1)の結論が導かれることに着目して、図 2 の a, b がそれぞれ何に由来するバンドかを答えよ。

問 3 下線部(2)の結果からどのような結論が得られるか。塩基配列を記載しながら 50 字以内で説明せよ。(塩基配列の記載は 1 塩基 1 文字とする。)

問 4 下線部(3)について、抗体 2 を添加した際に c のバンドが検出された理由を 40 字以内で述べよ。

問 5 下線部(4)について、抗体 3 を添加した際に a 以外のバンドがみられなくなった理由を 70 字以内で述べよ。

〔4〕 タンパク質分解に関する以下の文章を読み、問1～問5に答えよ。

生体における代謝は、単純な構成成分が複雑な高分子へ変化する同化作用と、その逆の **ア** 作用に大別される。前者の例としては、アミノ酸が **イ** 結合により多数連結されタンパク質となる合成過程がある。一方、後者の例としては、ヒトの胃液中の **ウ** や、 **エ** から分泌されるトリプシンをはじめとするさまざまなタンパク質分解酵素の働きにより食料として摂取したタンパク質の **イ** 結合が次々加水分解され、アミノ酸へと変換されるタンパク質分解がある。

細胞内には数千から数万種のタンパク質が存在し、常に合成と分解が繰り返されている。分解の速度は、ある特定の時に存在したタンパク質の総量が分解により半分となるまでの時間、半減期として定義される。タンパク質の総量は分解と合成のバランスにより決まるため、あるタンパク質の半減期を知るためには、それらを区別して調べる必要がある。その半減期は、数分間のものから数ヶ月間にわたるものまで多様であり、また環境条件などによっても変動する。タンパク質の半減期は、どの様な機構で分解されるのかが大きく影響していると考えられている。様々な細胞内タンパク質分解機構とタンパク質の半減期の関係を調べる目的で以下の実験を行った。

【実験1】 ヒト上皮細胞中に存在する2種類のタンパク質AとBの半減期を以下に述べる方法で測定した。ヒト上皮細胞が培養されているシャーレ中のX培地に、硫黄原子が放射性同位体で置き換えられたシステインとメチオニンの混合溶液を加え、10分間培養した。これらのシステインとメチオニンの一部は、この間あらたに合成されたタンパク質に取り込まれた。その培地を捨て、新たなX培地で細胞を洗浄した後、非放射性的システインとメチオニンを大量に加えたX培地で細胞を培養した。この時点から複数の時点で、一定数の細胞に含まれるタンパク質AとBを全て回収し、それらが示す放射活性を測定した。各時点での放射活性をもとにそれぞれのタンパク質の半減期を計算したところAは10分、Bは96時間となった。

【実験 2】 実験 1 と同様の実験を培地中にタンパク質分解酵素 P の阻害剤を加えて行ったところ、タンパク質 A と B の半減期はともに 96 時間となった。

【実験 3】 400 個のアミノ酸からなるタンパク質 A の翻訳開始アミノ酸〔アミノ基側〕から 50 番目までを失わせたタンパク質 C、および A の翻訳開始アミノ酸 1 番目から 50 番目までを、380 個のアミノ酸からなるタンパク質 B の翻訳開始アミノ酸の直前に連結させたタンパク質 D をコードする遺伝子を作製した(図 1)。これらの遺伝子をそれぞれ別のヒト上皮細胞に発現させ、実験 1 と同様に調べたところ、タンパク質 C と D の半減期はそれぞれ 96 時間および 10 分となった。

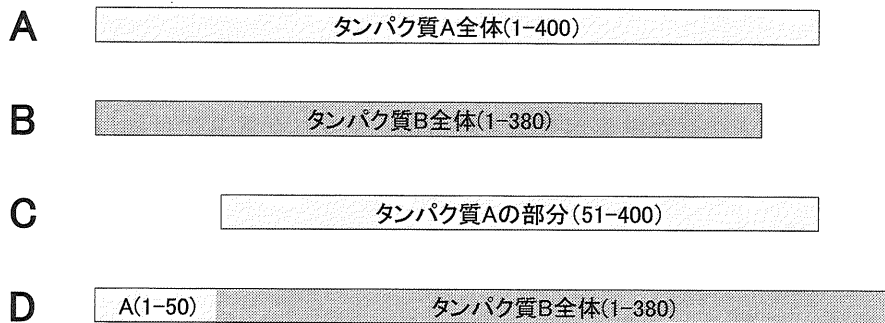


図 1

【実験 4】 実験 1 の下線部において X 培地の代わりに、X 培地から栄養源を抜いた培地を用い同様の実験を行ったところ、タンパク質 B の放射活性の値は指数関数的に減少し、その半減期は 23 時間となった。このときオートファジーと呼ばれるタンパク質分解現象が誘導され、タンパク質 B はオートファジーのみにより分解された。

問 1 空欄 ア ~ エ に適切な語句を記入せよ。

問 2 実験 1 においてタンパク質 A の放射活性の値は指数関数的に減少することから、その最初の値を A_0 、 t 分後の量を A_t とおくと、次の式が成立する。

$$\log_{10} \left(\frac{A_0}{A_t} \right) = \frac{k_A \times t}{2.3}$$

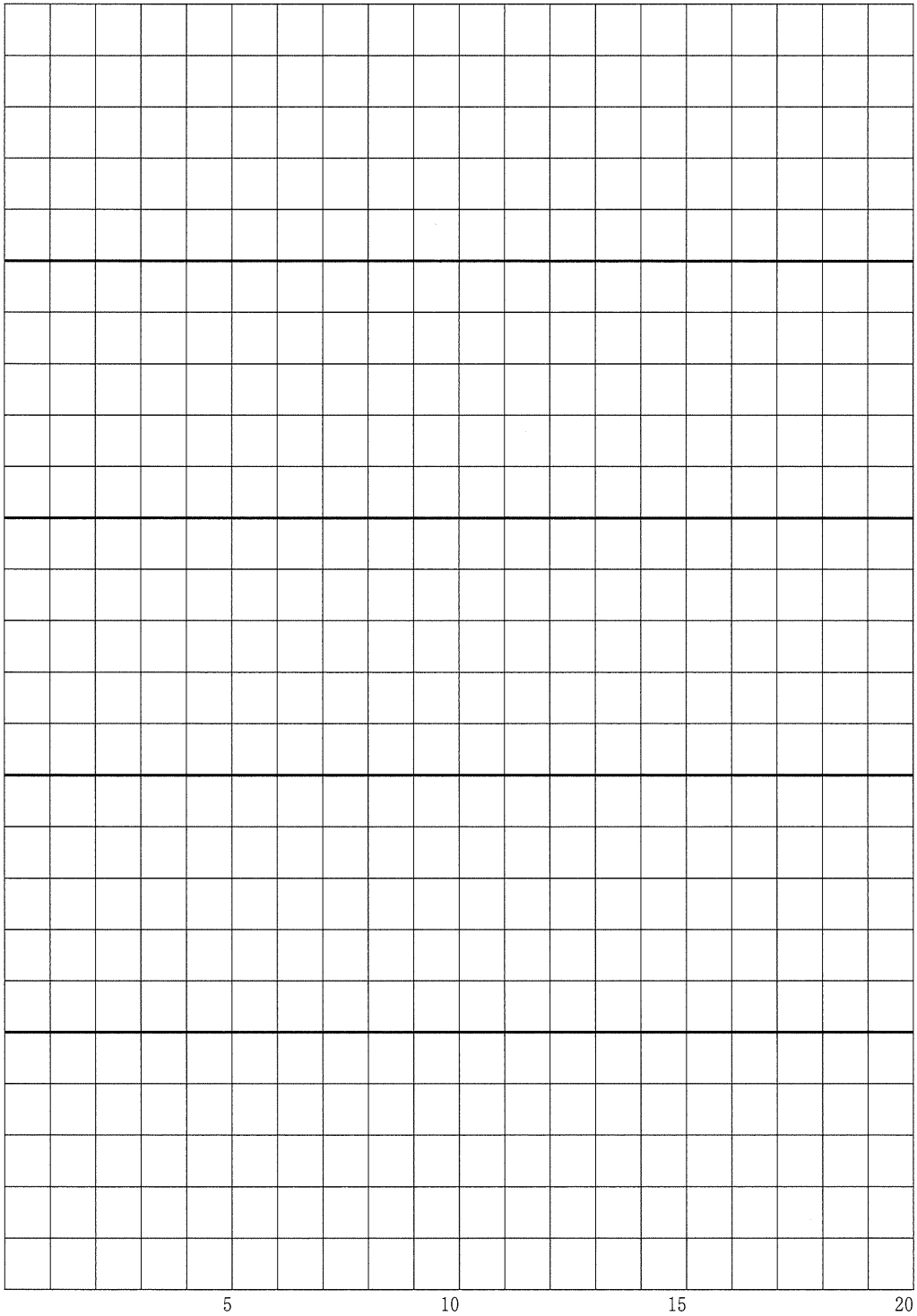
ここで k_A は A の分解のしやすさを示す定数である。このときタンパク質 A の半減期を k_A や対数を含む式の形で答えよ。解答の単位は分とする。

問 3 半減期を測定するうえで、実験 1 下線部の操作を行う理由を 100 字以内で記せ。

問 4 実験 3 で用いたタンパク質 D に対して、実験 2 と同様の実験を行った場合、どのような結果が予想されるか。タンパク質 B に付加したタンパク質 A の 50 番目までのアミノ酸の役割に言及しつつ、理由とともに 160 字以内で述べよ。

問 5 オートファジーでは細胞質基質の一部を包みこんだ膜構造体が多数作られ、それが細胞内小器官リソソームへと融合することで、その内容物がリソソームの内部へ運び込まれ、リソソームに存在するタンパク質分解酵素により分解される。この現象をモデル化するため、細胞を全体が細胞質基質で占められた半径 5.0 マイクロメートルの球体と仮定する。また、オートファジーで形成される膜構造体は半径 0.50 マイクロメートルの球体とし、 T 分間に 1 個ずつ作られ、ただちにその内容物が分解されるものとする。実験 4 で得られた結果にもとづき、 T の値を算出する計算過程と得られた答えを有効数字 2 桁で記せ。なお計算に必要なならば、 $\log_{10} 2 = 0.30$ 、 $\log_{10} 999 = 2.99956$ の値を使用せよ。

下書き用紙



5

10

15

20