

N 3 物理 N 4 化学 N 5 生物

この冊子は、物理，化学 および 生物 の問題を 1 冊にまとめてあります。

物理学科は物理指定

応用生物科学科と経営工学科は、物理・化学・生物のいずれかを選択

物理の問題は、1 ページより 21 ページまであります。
化学の問題は、22 ページより 34 ページまであります。
生物の問題は、35 ページより 58 ページまであります。

〔注 意〕

- (1) 試験開始の指示があるまで、この冊子を開いてはいけません。
- (2) 監督者から受験番号等記入の指示があったら、解答用マークシートに受験番号及び氏名を記入し、さらに受験番号・志望学科をマークしてください。
- (3) 解答は所定の解答用マークシートにマークしたものが採点されます。
- (4) 解答用マークシートについて
 - ① 解答用マークシートは絶対に折り曲げてはいけません。
 - ② マークには黒鉛筆(HBまたはB)を使用してください。指定の黒鉛筆以外でマークした場合、採点できないことがあります。
 - ③ 誤ってマークした場合は消しゴムで丁寧に消し、消しくずを完全に取り除いたうえ、新たにマークしてください。
 - ④ 解答欄のマークは横 1 行について 1 箇所に限ります。2 箇所以上マークすると採点されません。あいまいなマークは無効となるので、はっきりマークしてください。
- (5) 試験開始の指示があったら、初めに問題冊子のページ数を確認してください。
ページの落丁・乱丁、印刷不鮮明等に気づいた場合は、手を挙げて監督者に知らせてください。
- (6) 問題冊子は、試験終了後、持ち帰ってください。

生 物

- 1 両生類胚の発生過程についての設問(1), (2)に答えなさい。解答はそれぞれの指示に従って最も適切なものを解答群から選び、その番号を解答用マークシートの所定欄にマークしなさい。(33点)

- (1) アフリカツメガエル卵の初期発生についての以下の文章を読み、設問(a)~(d)に答えなさい。

アフリカツメガエルの未受精卵には動物極と植物極の違いがあるだけで、それ以外の違いはない。しかし、幼生(オタマジャクシ)を観察すると背と腹の違いが明瞭である。胚の背と腹の決定には、受精時に精子が卵に入った場所(精子進入点)が重要である。まず受精後早い時間で精子進入点に対して (ア) 側に灰色三日月(環)が形成される。このあと発生が進行すると精子進入点に対して (イ) 側に原口が形成される。最終的に、精子進入点と同じ側は胚の (ウ) 側に、その反対側が (エ) 側となる。

カエルの胞胚から動物極の細胞群を切り出し、植物極の細胞群と接触させて培養すると、中胚葉性組織が分化する。2つの細胞群を接触させずに別個に培養した場合には中胚葉組織は分化しなかったため、2つの細胞群が接触することにより中胚葉が誘導されたと考えられる。動物極の細胞群をあらかじめ色素で標識しておき、植物極の細胞群と組み合わせて発生させた場合、標識された細胞は (オ) などで観察される。一方、植物極の細胞群を色素で標識してから動物極の細胞群と組み合わせて発生させた場合、標識された細胞は (カ) などで観察される。

動物極と植物極の細胞群を組み合わせた時に誘導される中胚葉性の組織の種類は、植物極の細胞群の性質に依存する。例えば、植物極の細胞群として精子進入点と同じ側にある細胞群を用いると、(キ) など (ク) 側を構成する中胚葉組織が誘導される。一方、精子進入点の反対側に位置する植物極の細胞群を用いると、(ケ) など (コ) 側を構成する中胚葉組織が誘導される。

- (a) 空欄(ア)、(イ)それぞれに入る語句として、適切な順に並んでいる組み合わせを解答群Aから選びなさい。

解答群A

- | | |
|----------|----------|
| 0 同じ, 同じ | 1 同じ, 反対 |
| 2 反対, 同じ | 3 反対, 反対 |

- (b) 空欄(ウ)、(エ)、(ク)、(コ)それぞれに入る語句として、適切な順に並んでいる組み合わせを解答群Bから選びなさい。

解答群B

- | | |
|--------------|--------------|
| 0 背, 腹, 背, 腹 | 1 背, 腹, 腹, 背 |
| 2 腹, 背, 腹, 背 | 3 腹, 背, 背, 腹 |

- (c) 空欄(カ)、(キ)に入る語句として、ふさわしいものだけが全て示されている選択肢をそれぞれ解答群Cから選びなさい。ふさわしいものが複数ある場合は、両者が含まれる選択肢を選ぶこと。

解答群C

- | | | |
|---------|--------|---------|
| 0 血 球 | 1 脳 | 2 肝 臓 |
| 3 腎 臓 | 4 血球と脳 | 5 血球と肝臓 |
| 6 血球と腎臓 | 7 脳と肝臓 | 8 脳と腎臓 |
| 9 肝臓と腎臓 | | |

- (d) 空欄(キ)、(ケ)に入る語句として、ふさわしいものだけが全て示されている選択肢をそれぞれ解答群Dから選びなさい。ふさわしいものが複数ある場合は、両者が含まれる選択肢を選ぶこと。

解答群D

- | | | |
|---------|--------|---------|
| 0 血 球 | 1 脳 | 2 腸 管 |
| 3 脊 索 | 4 血球と脳 | 5 血球と腸管 |
| 6 血球と脊索 | 7 脳と腸管 | 8 脳と脊索 |
| 9 腸管と脊索 | | |

- (2) 胚を構成する未分化の細胞群に誘導物質が作用した時に、細胞群の中の場所に応じて異なる種類の細胞が誘導されることがある。このことについて、カエル胞胚の動物極の細胞群を用いて、誘導の指標となる遺伝子の発現を調べる実験を行った。次に示す実験内容を説明する文章とそれに続く考察を読み、設問(a)、(b)に答えなさい。

【実験】 カエル胞胚の動物極の細胞群を一度単細胞に解離したのちに再集合させて、シート状の細胞の層を作った。この時、あらかじめ色素で標識した細胞と標識しない細胞とを準備しておき、それぞれから別々に細胞層を調製した。次に細胞層を重ね、さらに標識細胞層に接してアクチビンタンパク質を吸着させたビーズ(アクチビンビーズ)を置いた。最終的に「ビーズ→標識細胞層→非標識細胞層」の順に並べ、これを培養した(図1)。細胞の解離や再集合、色素による標識は細胞の性質には全く影響しないとする。また、アクチビンは動物極の細胞群に外から作用して中胚葉に誘導する活性がある。

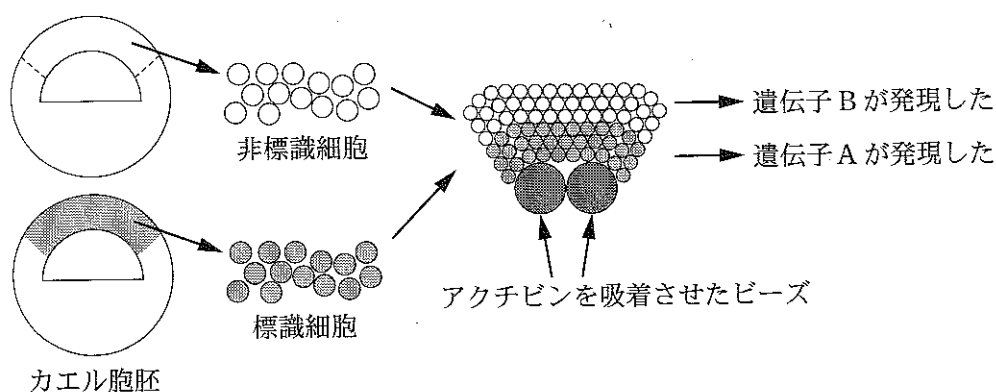


図 1

図 1 の方法によってアクチピンはビーズから遊離して細胞層の中に拡散すると考えられ、ビーズと共に培養された細胞群はいずれも中胚葉細胞に誘導された。アクチピンを含まないビーズを用いた対照実験では、細胞群はいずれも外胚葉に分化した。

次に中胚葉に分化した時に発現する遺伝子 A と遺伝子 B に注目し、アクチピンとそれぞれの細胞層での遺伝子発現の関係を調べた。対照実験ではいずれの細胞層においても A も B も発現しなかった。これに対してアクチピンビーズを用いると、標識細胞層では A は発現するが B は発現せず、一方で非標識細胞では B は発現したが、A は発現していなかった(図 1)。この結果は、細胞で発現する遺伝子は、細胞とアクチピンビーズとの距離によって異なることを示している。

[考察] アクチピンが上記のような遺伝子発現を誘導する仕組みとして、次の 2 つの仮説が考えられる。

[仮説 1] ビーズから遊離したアクチピンは二つの細胞層の中で濃度の違い(濃度勾配)を作って拡散し、高濃度アクチピンにさらされた細胞は遺伝子 A を発現し、低濃度アクチピンにさらされた細胞は B を発現すると考える説。[実験]の場合、アクチピンビーズの近くではアクチピンの濃度は高く、ビーズから離れるほど濃度が下がると考えられる。その結果、標識細胞層ではアクチピンの濃度が高いため遺伝子 A を発現すると考えられ、一方、非標識細胞ではアクチピンの濃度が低くなるため、遺伝子 B を発現すると説明できる。アクチピンにさらされない場合には遺伝子発現が起こらない。

[仮説 2] ビーズから遊離したアクチピンはビーズの近くの細胞層にとどまり、その細胞層に遺伝子 A の発現を誘導するが、遺伝子 B の発現は直接誘導せず、B の発現はアクチピンとは別のタンパク質が誘導すると考える説。[実験]の場合、アクチピンはビーズの近くにある標識細胞層にとどまり、標識細胞はアクチピンの作用により遺伝子 A を発現すると考える。次に遺伝子 A を発現した標識細胞はアクチピンとは別のタンパク質を産生・分泌し、これが非標識細胞層に拡散して作用することで、遺伝子 B の発現を誘導する。いずれのタンパク質にもさらされない場合は A も B も発現しない。ここで、遺伝子 A の発現はアクチピンの濃度には影響されないものとし、また遺伝子 A を発現している細胞では B は発現しないと考える。

- (a) アクチピンによる異なる遺伝子発現の誘導が仮説 1 または仮説 2 のいずれの仕組みによるものかを検討するため、次の①、②、③に示す実験を行い、標識細胞層と非標識細胞層での遺伝子発現を調べることを考えた。①、②、③の実験において、それぞれの細胞層での遺伝子発現の様式として予想される組み合わせ(㉠)～(㉢)を解答群 E から選びなさい。同じ選択肢を何度選んでもよい。なお、解答群 E は順に「標識細胞層で発現する遺伝子、非標識細胞層で発現する遺伝子」を示してある。また「発現なし」は遺伝子発現が観察されない場合を示している。

① アクチビンの受容体タンパク質に注目した実験

(①—1) アクチビンは細胞膜にある受容体タンパク質に結合して遺伝子発現を促す。遺伝子操作により、アクチビンの受容体タンパク質をもたないようにしたカエル胞胚を準備し、この胞胚から標識細胞を調製した。非標識細胞は正常胚から調製した。次いで細胞層を組み合わせ、アクチビンを作用させた。受容体タンパク質の有無はアクチビンの拡散や分布には影響しないとした場合、標識細胞層と非標識細胞層における各遺伝子発現の様式は、仮説1なら (サ) となり、仮説2なら (シ) となる。

(①—2) アクチビンの受容体タンパク質をもたないようにしたカエル胞胚から非標識細胞を調製し、標識細胞を正常胚から調製した。次いで細胞層を組み合わせ、アクチビンを作用させた。アクチビンの拡散や分布には変化がないとした場合、標識細胞層と非標識細胞層における各遺伝子発現の様式は、仮説1なら (ス) となり、仮説2なら (セ) となる。

② アクチビンの働きを阻害するタンパク質を用いた実験

(②—1) 遺伝子操作により、細胞外でアクチビンと結合してその拡散や働きを阻害するタンパク質を産生・分泌するカエル胞胚を準備し、この胞胚から標識細胞を調製した。非標識細胞は正常胚から調製した。このあと細胞層を組み合わせ、アクチビンを作用させた。阻害タンパク質は標識細胞層だけで働き、アクチビンの拡散や働きは完全に阻害されるとした場合、標識細胞層と非標識細胞層における各遺伝子発現の様式は、仮説1なら (ソ) となり、仮説2なら (タ) となる。

(②—2) アクチビンの拡散や働きを阻害するタンパク質を産生・分泌させるようにした胞胚から非標識細胞を調製し、標識細胞を正常胚から調製した。このあと細胞層を組み合わせ、アクチビンを作用させた。阻害タンパク質は非標識細胞層だけで働き、アクチビンの拡散や働きは完全に阻害されるとした場合、標識細胞層と非標識細胞層における各遺伝子発現の様式は、仮説1なら となり、仮説2なら となる。

③ タンパク質の合成を阻害する実験

(③—1) 標識細胞と非標識細胞と組み合わせる前に、標識細胞をタンパク質合成阻害剤で処理した。処理された細胞では翻訳の過程が阻害され、実験中はタンパク質合成がしばらく起こらないが、既に合成されている受容体は正常に働き、遺伝子の転写には影響がないものとする。このあと細胞層を組み合わせ、アクチビンを作用させた。この場合の標識細胞と非標識細胞における各遺伝子発現の様式は、仮説1なら , 仮説2なら となる。

(③—2) 標識細胞と非標識細胞と組み合わせる前に、非標識細胞をタンパク質合成阻害剤で処理した。このあと細胞層を組み合わせ、アクチビンを作用させた。この場合の標識細胞と非標識細胞における各遺伝子発現の様式は、仮説1なら となり、仮説2なら となる。

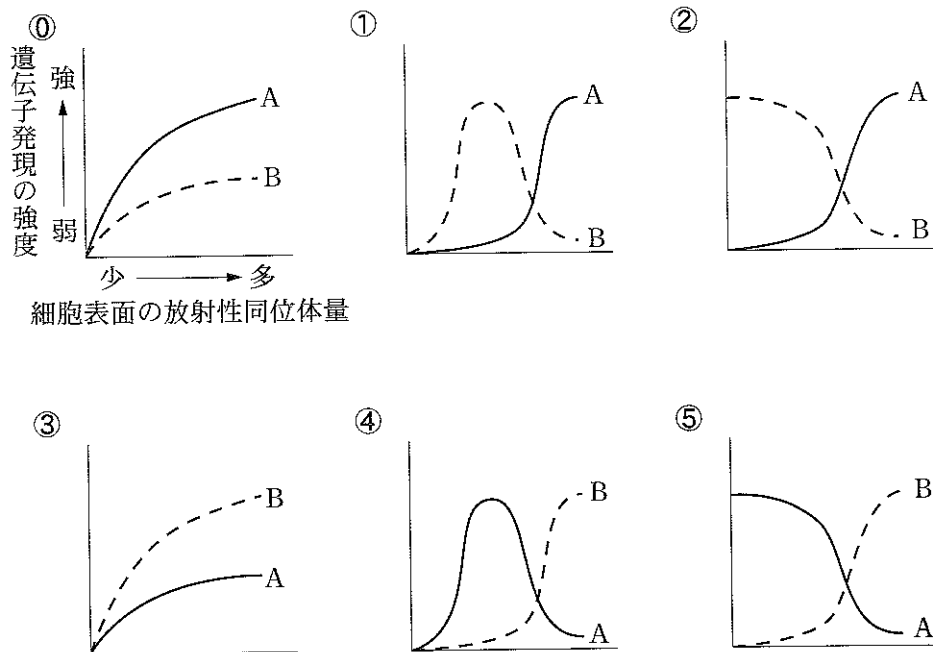
解答群E

- | | | |
|-----------|-----------|--------------|
| 0 A, A | 1 A, B | 2 A, 発現なし |
| 3 B, B | 4 B, A | 5 B, 発現なし |
| 6 発現なし, A | 7 発現なし, B | 8 発現なし, 発現なし |

(b) 設問(a)の実験から、アクチビンによる誘導は仮説1の仕組みによると判断されたとする。次にこの結果を元に、細胞に作用するアクチビン量と遺伝子発現の関係を調べる実験を行った。カエル胞胚の動物極の細胞群を単細胞に解離し、この細胞を放射性同位体で標識したアクチビンを含む溶液中で短時間処理した。細胞をよく洗った後に細胞表面に結合している放射性同位体の量を測定し、次に細胞で発現する遺伝子A、Bの発現強度を測定した。この実験をさまざまな濃度の標識アクチビンを用いて行い、細胞表面の同位体の量と遺伝子発現の強度を比較した。その結果、放射性同位体標識アクチビンの量に応じて、遺伝子AやBの発現強度が変化することがわかった。

この実験の中では、細胞表面に結合するアクチビン量は細胞周囲のアクチビン濃度に比例するとした場合、細胞表面の放射性同位体の量と遺伝子発現強度の相関関係を示すグラフはどれになるか。アクチビンによる誘導が仮説1の仕組みによることをふまえて、解答群Fから最も適切なグラフを選び、その番号をマークしなさい。なお、グラフの横軸には放射性同位体の量を、縦軸には遺伝子発現の強度を示しているが、それぞれの軸の最大値や最小値はグラフ間で変わらないものとする。

解答群F



- 2** 次の文章を読み、遺伝に関する設問(1)～(5)に答えなさい。解答はそれぞれの指示に従って最も適切なものを**解答群**から選び、その番号を**解答用マークシート**の所定欄にマークしなさい。(33 点)

メンデルの研究に端を発する古典遺伝学で遺伝子を考える際には、様々な対立形質を示す遺伝子やその産物の実態を、分子レベルで明確に理解する必要は必ずしもなかった。現在では、対立遺伝子それぞれの塩基配列決定や、酵素学的方法による遺伝子産物の機能の検定などの様々な手法により、分子レベルでどのような事が実際に起こっているのかを決定することが可能になってきている。ここで、様々な遺伝現象やその分子レベルでの背景について考えてみよう。

なお、本問題は全て二倍体の動植物を扱っているものとし、本問題における遺伝子とは、古典遺伝学における遺伝子(メンデルはこれをエレメントと呼んでいるが、メンデルの法則の再発見以降の呼び方として遺伝子を用いる)として考えなさい。また、遺伝現象の分子レベルでの説明に関しては、セントラルドグマと呼ばれる DNA 塩基配列から転写・翻訳をへてタンパク質に至る情報の流れと、そのそれぞれの過程を量的に制御する調節機構、および生合成されたタンパク質の特徴や機能によって説明可能な範囲で考えなさい。

- (1) 劣性遺伝子の分子レベルの構造や機能についての説明として適切でないものを**解答群 A**から2つ選びなさい。

解答群 A

- 0 一つの細胞の中に遺伝子があつただけでは遺伝子産物が全く機能をもつことができず、遺伝子が二つ以上存在してはじめて遺伝子産物の機能が活性化する遺伝子。
- 1 相同染色体のうち一方にある遺伝子は一切発現しておらず、そちらの相同染色体上に存在している遺伝子。
- 2 元は優性遺伝子と同じ塩基配列の遺伝子であつたものが、プロモーターの突然変異によって、転写されなくなつてしまつた遺伝子。

- 3 元は優性遺伝子と同じ塩基配列の遺伝子であったものが、タンパク質に翻訳される塩基配列中の突然変異によって、機能があるタンパク質を作ることができなくなってしまった遺伝子。
- 4 自身の遺伝子産物も機能をもってはたらいっているが、優性遺伝子の遺伝子産物の表現型が、それを覆い隠してしまうために、優性遺伝子存在下では表現型として観察できなくなるような遺伝子。
- 5 対立遺伝子座においてタンパク質に翻訳できる遺伝情報をもつ塩基配列が欠損した遺伝子。

(2) 不完全優性を示す対立遺伝子(A, Bとする)では、それぞれの遺伝子から作られる遺伝子産物がどのように機能し、どのような仕組みで中間雑種を生じることになるのか。説明として最も適切なものを解答群Bから2つ選びなさい。

解答群B

- 0 Bからできるタンパク質によって、Aがホモ接合体で存在していたときにはたらいっていた遺伝子産物の機能が阻害され、Bの与える形質のみが見られるようになる仕組み。
- 1 AとBがそれぞれの転写を抑制し、ホモ接合体のようなはっきりした形質を示すことができなくなる仕組み。
- 2 一つの細胞の中にAが一つのときと、二つあるときで、できるタンパク質の機能自体が変化する仕組み。
- 3 Aがタンパク質の量に依存する表現形質をもち、Bが機能をもつ遺伝子産物を作らない場合、ヘテロ接合体ではAの遺伝子数がホモ接合体の半分になるために、Aの遺伝子産物の発現量も半分になり、中間的な形質を示すことになる仕組み。
- 4 それぞれの遺伝子が、与える表現形質の異なるタンパク質に翻訳される塩基配列をもち、かつ、それぞれのタンパク質が同時に発現した際に、表現形質がそれらの混合したものとして観察できる性質をもつ仕組み。

(3) 補足遺伝子と条件遺伝子に関する以下の設問(a)と(b)に答えなさい。

- (a) それぞれが、ある遺伝現象を示した下の図1の①～④の4つの図のうち、補足遺伝子によって生じたと考えられるものと、条件遺伝子によって生じたと考えられるものの正しい図番号の組み合わせを解答群Cから選びなさい。解答群Cの選択肢は最初の図番号が補足遺伝子、次の図番号が条件遺伝子を示す。なお、全ての図で、両親(P世代)の遺伝子型(□で囲まれたもの)と表現型([]で囲まれたもの)の両方を示し、F₁では表現型、F₂では表現型とその分離比を示した。

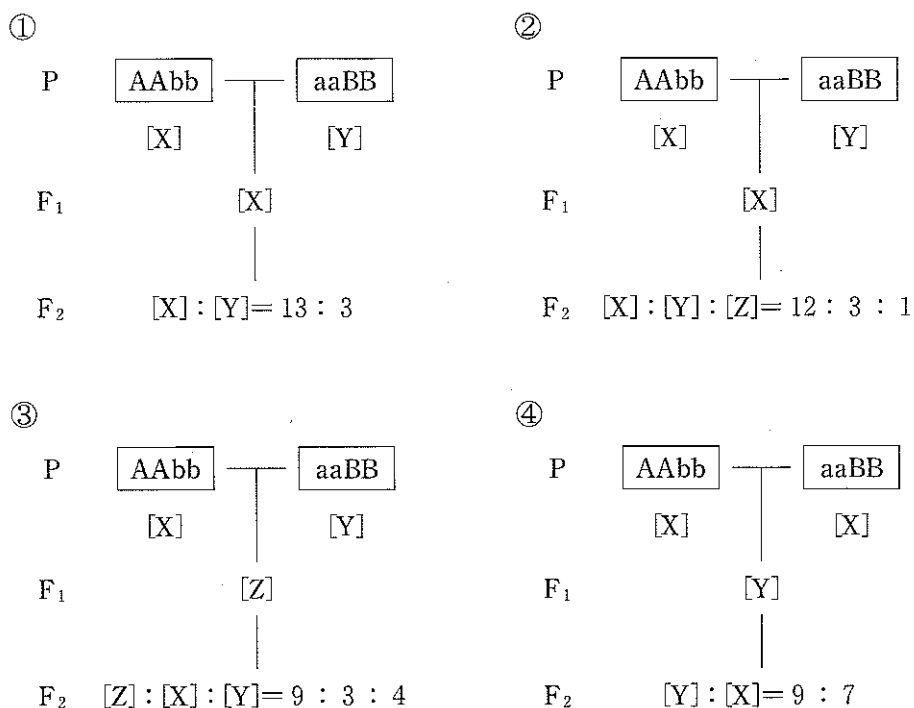


図1

解答群C

00 ①, ②	01 ①, ③	02 ①, ④	03 ②, ①
04 ②, ③	05 ②, ④	06 ③, ①	07 ③, ②
08 ③, ④	09 ④, ①	10 ④, ②	11 ④, ③

- (b) 補足遺伝子と条件遺伝子は、遺伝子産物の分子レベルでの機能や遺伝様式を考えた際に、それぞれどのような場合に見られる遺伝現象と考えられるか。解答群Dから、補足遺伝子について説明しているものを選び解答欄(i)に、条件遺伝子について説明しているものを選び解答欄(ii)に、それぞれマークしなさい。

解答群D

- 0 独立に遺伝する2対の対立遺伝子のうち、一方の優性遺伝子産物は単独で表現形質を与える物質を作ることができるが、もう一方の優性遺伝子産物は、他方の作る物質を使わなければ表現形質を与える物質を作ることができない場合。
- 1 独立に遺伝する2対の対立遺伝子のうち、一方の優性遺伝子が、他方の優性遺伝子が発現して生産される物質を分解してしまうような遺伝子産物を作る場合。
- 2 2対の対立遺伝子の少なくとも1対が性染色体上に存在しており、限性遺伝を示す性質をもっているため、 F_2 での表現型の出現比率が2遺伝子雑種の法則に従わなくなってしまう場合。
- 3 2対の対立遺伝子が連鎖しており、メンデルの独立の法則が成立しないために F_2 での表現型の出現比率がメンデルの2遺伝子雑種の法則に従わなくなってしまう場合。
- 4 独立に遺伝する2対の対立遺伝子のそれぞれの優性遺伝子産物が、表現型の発現に必要な物質を作るための一連の生合成経路の別々の反応にはたらいっている場合。
- 5 独立に遺伝する2対の対立遺伝子のそれぞれの優性遺伝子が、結果的には全く同じ表現形質を与えるような別々の機能をもっており、しかもその表現形質発現のために、遺伝子産物の量や遺伝子産物間の相互作用が関係しない場合。

- (4) あるほ乳類の変異対立遺伝子に、野生型ではまっすぐな尾が屈曲する表現型を与えるものがある。この変異対立遺伝子、または野生型遺伝子をホモまたはヘテロにもっているいくつかの個体を用いて下に示す6通りの交配実験を行った。用いた個体はこの1対の対立遺伝子以外は全て純系であるとする。実験に用いられた両親(P)とその子(F₁)の表現型は、屈曲の無い尾をもつものは[W]、屈曲した尾をもつものは[B]と示した。また、F₁で、表現型に分離が見られたときには分離比も示した。この実験に関する設問(a)、(b)に答えなさい。

[交配実験]

	P			F ₁	
	♀	♂		♀	♂
実験①	[W]	[B]	→	全て[B]	全て[W]
実験②	[B]	[W]	→	[B] 1 : [W] 1	[B] 1 : [W] 1
実験③	[B]	[W]	→	全て[B]	全て[B]
実験④	[W]	[W]	→	全て[W]	全て[W]
実験⑤	[B]	[B]	→	全て[B]	全て[B]
実験⑥	[B]	[B]	→	全て[B]	[B] 1 : [W] 1

- (a) この変異対立遺伝子は優性、劣性、不完全優性のいずれだと考えられるか。またこの変異対立遺伝子が存在しているのは常染色体か性染色体か。性染色体である場合、X、Yのどちらであるかも含め、解答群Eから最も適切なものを選びなさい。

解答群E

- | | |
|--------------|--------------|
| 0 優性で常染色体 | 1 優性でX染色体 |
| 2 優性でY染色体 | 3 劣性で常染色体 |
| 4 劣性でX染色体 | 5 劣性でY染色体 |
| 6 不完全優性で常染色体 | 7 不完全優性でX染色体 |
| 8 不完全優性でY染色体 | |

- (b) この交配実験の実験①～⑥において、両親 P および F₁ の、当該対立遺伝子の遺伝子型はどうなっているか、(ア)から(ヒ)に入る適切な遺伝子型を解答群 F から選びなさい。なおここでは、優性、劣性の遺伝子型表記上の区別は無視し、野生型対立遺伝子を W、変異型対立遺伝子を B、対立遺伝子が存在しない、あるいは存在するか否か判断できない場合を N として考えなさい。

[P および F₁ の遺伝子型]

実験① P: ♀ , ♂ ,
 F₁: ♀ , ♂

実験② P: ♀ , ♂ ,
 F₁: ♀ [B] [W] ,
 ♂ [B] [W]

実験③ P: ♀ , ♂ ,
 F₁: ♀ , ♂

実験④ P: ♀ , ♂ ,
 F₁: ♀ , ♂

実験⑤ P: ♀ , ♂ ,
 F₁: ♀ , ♂

実験⑥ P: ♀ , ♂ ,
 F₁: ♀ , ♂ [B] [W]

解答群 F

- | | | |
|------------|------------|------------|
| 0 WW | 1 WB | 2 BB |
| 3 BN | 4 WN | 5 NN |
| 6 WW 又は WB | 7 WW 又は BB | 8 WB 又は BB |

(5) 植物のある優性対立遺伝子は、野生型では、ホモ接合体、ヘテロ接合体のいずれでも同等の形質を与える。この遺伝子が、その植物の正常な形態形成に必要なタンパク質を作っている事は既に解っており、同じタンパク質の機能を全く発現させることができない劣性対立遺伝子のホモ接合体が、形態異常を示す事も知られている。この優性対立遺伝子のホモ接合体の純系植物を変異処理して、この遺伝子のみに変異が生じた変異体 M を得た。M は交配能力に関しては全く正常であったため、自家受粉によって、 F_1 植物を得たところ、劣性対立遺伝子のホモ接合体と同様の形態異常を示す個体と正常な形態を示す個体が、異常：正常＝3：1 で出現した。M と変異遺伝子に関する設問(a), (b)に答えなさい。

(a) この交配実験で親として用いた M の形態は正常であったか、異常であったか。また、この F_1 植物全てについてさらに自家受粉を行い F_2 植物を得た場合、 F_2 全体では異常な個体と正常な個体の分離比はどのようになるか。解答群 G から最も適切なものを選びなさい。

解答群 G

- 0 M の形態は正常、 F_2 は異常：正常＝3：1
- 1 M の形態は異常、 F_2 は異常：正常＝3：1
- 2 M の形態は正常、 F_2 は異常：正常＝5：3
- 3 M の形態は異常、 F_2 は異常：正常＝5：3
- 4 M の形態は正常、 F_2 は異常：正常＝9：7
- 5 M の形態は異常、 F_2 は異常：正常＝9：7
- 6 M の形態は正常、 F_2 は異常：正常＝15：1
- 7 M の形態は異常、 F_2 は異常：正常＝15：1

- (b) この優性対立遺伝子の野生型遺伝子から作られる元々のタンパク質や、ここで得られた変異遺伝子から作られるタンパク質、または、変異遺伝子自体のはたらきにどのような性質があると考えるところの遺伝現象が起こりうるか。解答群Hから適切な説明と考えられるものを2つ選びなさい。なお、説明中の分子複合体という言葉は、細胞内で複雑な機能を担うために、複数の異なったタンパク質が形成する複合体のことをさす。

解答群H

- 0 変異遺伝子は、タンパク質を作ることができなくなっている。
- 1 変異遺伝子から作られたタンパク質は、野生型のタンパク質の代わりに分子複合体の一部となり、その正常な機能を妨害する。
- 2 野生型タンパク質を含む分子複合体は、細胞あたりの量が半分以下になると正常な表現型を与える事が出来なくなる。
- 3 変異遺伝子や野生型遺伝子から作られるタンパク質は、どちらか、または両遺伝子からできるポリペプチドどうしで四次構造を形成する。
- 4 変異遺伝子は、野生型と同じタンパク質を2倍量作ってしまうように変異している。
- 5 変異遺伝子が、野生型遺伝子の構造を変化させてしまう。

- 3 タンパク質と DNA の構造に関する設問(1)～(3)に答えなさい。解答はそれぞれの指示に従って最も適切なものを解答群から選び、その番号を解答用マークシートの所定欄にマークしなさい。(34 点)

- (1) 次の文章の空欄(ア)～(エ)には解答群 A から最も近い数値を選びなさい。また、空欄(オ)と(カ)には適切な式や値を解答群 B から、空欄(キ)は解答群 C から最も適切なものを選び、それらの番号をマークしなさい。なお、半径 R の球の表面積は $4\pi R^2$ 、体積は $\frac{4}{3}\pi R^3$ である。ここで、 π は円周率である。また、必要なら図 1 のグラフ用紙を使いなさい。

タンパク質はアミノ酸がペプチド結合により多数つながったものである。タンパク質を構成するアミノ酸の側鎖は 20 種類あり、側鎖によってアミノ酸の種類と物理化学的性質が決まる。タンパク質は折り畳まれ、適切な立体構造をとることにより、その機能を発揮する。表 1 に、球状や円盤状に折り畳まれる 12 種類のタンパク質について、構成するアミノ酸数 (L)、分子量 (M)、折り畳まれずに伸びきった状態の表面積 (S) [$\text{\AA}^2$]、折り畳まれているときの表面積 (A) [$\text{\AA}^2$] の関係を示した。ただし、 $1 \text{ \AA}$ は $10^{-10}[\text{m}]$ である。表 1 から、

$$M = \boxed{\text{ア}} \times L$$

$$S = \boxed{\text{イ}} \times M$$

と近似でき、分子量や表面積はアミノ酸組成や配列には顕著に依存しないことが分かる。次に、折り畳まれているときの表面積と分子量の関係を図 2 に示した。この図から、折り畳まれているときの表面積の 10 を底とする対数(常用対数)は分子量の常用対数に比例することが分かる。図 2 に示した直線から

$$A = \boxed{\text{ウ}} \times M^{\boxed{\text{エ}}}$$

となる。もし、タンパク質の表面が滑らかで完全な球面であるときには

$$\text{球の表面積} = \boxed{\text{オ}} \times M^{\boxed{\text{カ}}}$$

となる。ただし、タンパク質の分子量あたりの体積は一定の値 v であるとした。次に、 v に実測値を代入して、(ウ)と(オ)および(エ)と(カ)について数値比較した場合に予想される結果は $\boxed{\text{キ}}$ である。

タンパク質	アミノ酸の 数 L	分子量 M	折り畳んでいない 状態の表面積 S($\text{\AA}^2$)	・折り畳んでいる 状態の表面積 A($\text{\AA}^2$)
1	54	5787	8380	3440
2	54	6108	8670	3320
3	56	6158	9440	3700
4	85	8976	13380	4600
5	124	13690	19840	6550
6	129	14814	20560	6480
7	142	15973	23800	7840
8	212	23423	33850	9210
9	245	24608	35900	10130
10	237	25578	37030	10230
11	275	27534	40090	9790
12	307	34409	49870	11260

表 1

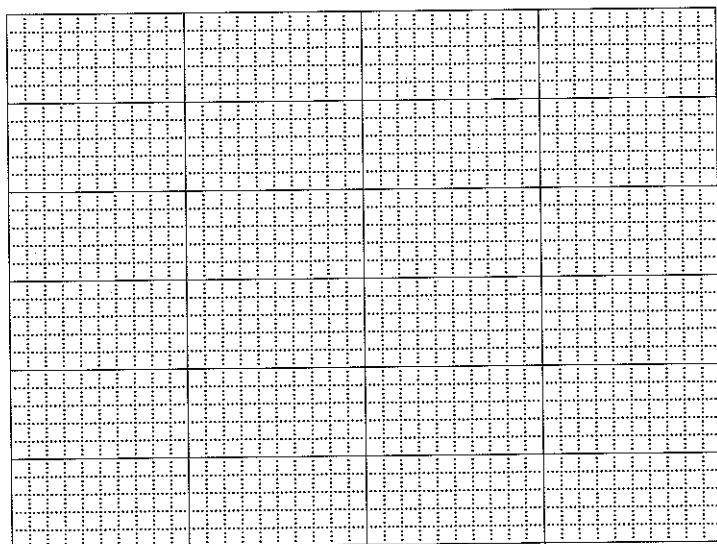


図 1

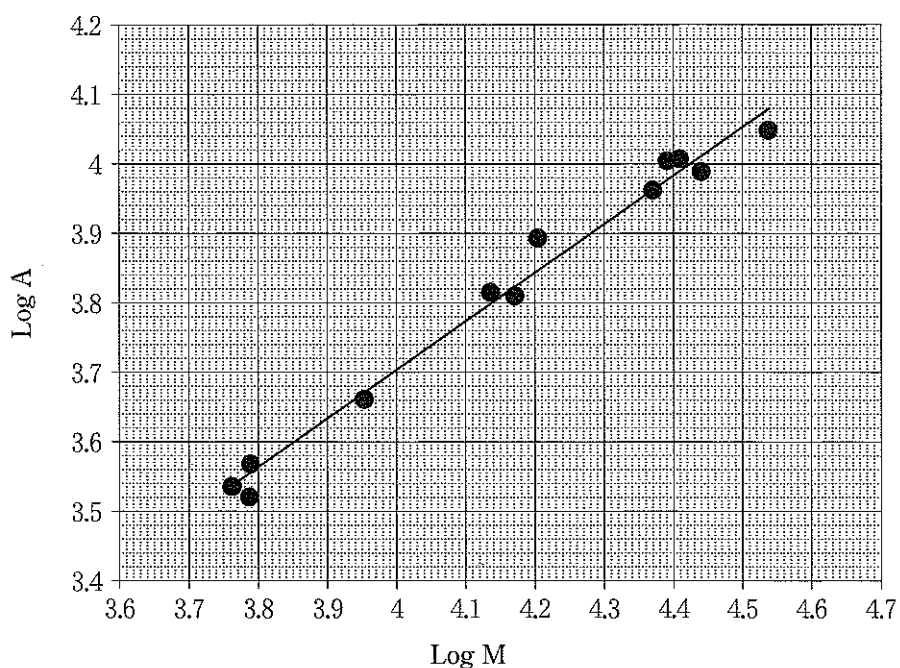


図2 分子量(M)と折り畳まれているときの表面積(A)との関係

解答群A

- | | | |
|---------|-----------|--------|
| 0 0.05 | 1 0.1 | 2 0.3 |
| 3 0.7 | 4 1.0 | 5 1.5 |
| 6 3.0 | 7 7.0 | 8 15.0 |
| 9 100.0 | 10 1000.0 | |

解答群B

- | | | |
|---|---|-----------------------------|
| 00 $\frac{1}{4}$ | 01 $\frac{1}{3}$ | 02 $\frac{1}{2}$ |
| 03 $\frac{2}{3}$ | 04 $\frac{3}{4}$ | 05 1 |
| 06 $\frac{3}{2}$ | 07 2 | 08 3 |
| 09 $4\pi v$ | 10 $(4\pi v)^{\frac{1}{3}}$ | 11 $(4\pi v)^{\frac{2}{3}}$ |
| 12 $(4\pi)^{\frac{1}{3}}(3v)^{\frac{2}{3}}$ | 13 $(4\pi)^{\frac{2}{3}}(3v)^{\frac{1}{3}}$ | |

解答群C

- 0 (ウ)は(オ)より大きく、(エ)も(カ)より大きい。
- 1 (ウ)は(オ)より大きく、(エ)は(カ)とほぼ等しい。
- 2 (ウ)は(オ)より大きく、(エ)は(カ)より小さい。
- 3 (ウ)は(オ)とほぼ等しいが、(エ)は(カ)より大きい。
- 4 (ウ)は(オ)とほぼ等しく、(エ)と(カ)もほぼ等しい。
- 5 (ウ)は(オ)とほぼ等しいが、(エ)は(カ)より小さい。
- 6 (ウ)は(オ)より小さく、(エ)は(カ)より大きい。
- 7 (ウ)は(オ)より小さく、(エ)は(カ)とほぼ等しい。
- 8 (ウ)は(オ)より小さく、(エ)も(カ)より小さい。

- (2) 次の文章の空欄(ク)～(ケ)に最も適切なものを、解答群Dから選びなさい。また、空欄(a)～(c)には数値を入れ、その値をマークしなさい。ただし、(a)～(c)は2桁の整数としてあらわし、十の位が空位の場合には0をマークしなさい。

立体構造が決定されたいろいろなタンパク質を調べると、20種類のアミノ酸は3つのクラスに分かれる。フェニルアラニン、ロイシン、イソロイシン、メチオニン、バリン(クラス1とする)の側鎖はタンパク質の内部に配置し、ヒスチジン、グルタミン、アスパラギン、リシン、アスパラギン酸、グルタミン酸、アルギニン(クラス2)は表面に配置し水と接触している。残りのアミノ酸(クラス3)は内部、外側の両方に見出される。タンパク質のアミノ酸は伝令RNAのコドンで指定され、DNAに変異が起これば、コドンが変化し、その結果アミノ酸の置換が起ることがある。コドンとアミノ酸の対応を決める遺伝暗号表(表2)を見ると、多くの場合コドンの3番目の塩基が置換しても、異なるアミノ酸への転換は起らないことが分かる。また、異なるアミノ酸への転換が起った場合でも、アミノ酸のクラスには、ほとんどの場合、変化がない。唯一の例外は と の組み合わせの場合で、コドンの3番目の塩基の置換によりクラスが変わってしまう。ただし、終止コドンについては考慮しないものとした。次にアミノ酸間の転換に必要な最少の塩基置換数を考えてみよう。クラス1のアミノ酸を指定するコドン間の変化を調べると、多くの場合コドンの1塩基の置換でクラス1内の異なるアミノ酸に転換するが、 と の場合ではコドンの2塩基の置換が必要である。これに対して、クラス1とクラス2の間でのアミノ酸転換は合計 通りあり、そのうち 通りでは少なくとも2つの塩基の置換が必要であり、また、 通りではコドンの3塩基のすべてが変らねばならない。このように、塩基置換に対して、タンパク質の立体構造への影響が少なくなるように遺伝暗号ができていることが分かる。

解答群D

00 フェニルアラニン	01 ロイシン	02 イソロイシン
03 メチオニン	04 バリン	05 セリン
06 プロリン	07 トレオニン	08 アラニン
09 チロシン	10 システイン	11 トリプトファン
12 グリシン	13 ヒスチジン	14 グルタミン
15 アスパラギン	16 リシン	17 アスパラギン酸
18 グルタミン酸	19 アルギニン	

第2番目の塩基						
		U	C	A	G	
第1番目の塩基	U	フェニルアラニン	セリン	チロシン	システイン	U
		フェニルアラニン	セリン	チロシン	システイン	C
		ロイシン	セリン	(終止)	(終止)	A
		ロイシン	セリン	(終止)	トリプトファン	G
	C	ロイシン	プロリン	ヒスチジン	アルギニン	U
		ロイシン	プロリン	ヒスチジン	アルギニン	C
		ロイシン	プロリン	グルタミン	アルギニン	A
		ロイシン	プロリン	グルタミン	アルギニン	G
	A	イソロイシン	トレオニン	アスパラギン	セリン	U
		イソロイシン	トレオニン	アスパラギン	セリン	C
		イソロイシン	トレオニン	リシン	アルギニン	A
		メチオニン	トレオニン	リシン	アルギニン	G
	G	バリン	アラニン	アスパラギン酸	グリシン	U
		バリン	アラニン	アスパラギン酸	グリシン	C
		バリン	アラニン	グルタミン酸	グリシン	A
		バリン	アラニン	グルタミン酸	グリシン	G

第3番目の塩基

表2 遺伝暗号表

上の表で、例えば1番目の塩基がU、2番目の塩基がC、3番目の塩基がAのコードンUCAはセリンというアミノ酸に対応することを示している。

- (3) 次の文章の空欄(a)～(d), (h)～(k)に 0 から 9 までの整数のうち最も近いものを入れ、その数値をマークしなさい。(e), (f), (g)は 3 ケタの整数としてあらわし、百の位、十の位が空位の場合には 0 をマークしなさい。また、円周率は 3.14 として計算しなさい。

DNA の相補的 2 本鎖は、10 塩基対ごとに 1 周する周期でらせん構造をとっている。らせん 1 回転あたりのらせん軸の長さは $34 \text{ \AA}$ 、らせんの直径は $20 \text{ \AA}$ である。ヒトの体細胞の核(直径 $10 \mu\text{m}$ の球とみなすことができ、 $10 \mu\text{m} = 10^5 \text{ \AA}$ である)には、染色体が複製される前には、約 6×10^9 の塩基対の DNA が収納されている。核 1 個あたりの DNA 全体の長さを核の直径と比較すると、その比率は $\boxed{\text{(a)}} \times 10^{\boxed{\text{(b)}}}$ となる。これに対して、DNA を直径 $20 \text{ \AA}$ の円柱とみなしたとき、DNA 全体の核に対する体積比は $\boxed{\text{(c)}} \times 10^{-\boxed{\text{(d)}}}$ となる。この体積比から核内に DNA を収納するスペースがあることが分かる。実際には、DNA は球状のヒストンと呼ばれるタンパク質に、接触長ができるだけ長くなるような巻き方で 2 回連続して巻きついた状態でくり返し構造をとっている。ヒストンを直径 7 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) の球とみなしたとき、ヒストンに巻きついていて DNA の長さは $\boxed{\text{(e)}} \text{ [nm]}$ であり、 $\boxed{\text{(f)}} \text{ 塩基対}$ になる。ただし、この計算では、DNA がヒストンに巻きついたとき、その巻き方はゆるくて塩基対間距離には変化がないものとした。ヒストンに結合した DNA をある酵素で切断し、電気泳動によって切断長を調べると 200 塩基対の整数倍であることが分かった。このことから、200 塩基対のうち、 $\boxed{\text{(g)}} \text{ 塩基対}$ の DNA はヒストンに巻きついていないことになる。また、ヒトの細胞核内では $\boxed{\text{(h)}} \times 10^{\boxed{\text{(i)}}}$ 個のヒストンが DNA に結合していると推定できる。

真核生物では、伝令 RNA 合成の開始のためには DNA に、あるタンパク質が結合していることが必要である。このタンパク質は DNA の連続した 5 塩基対から成る特定の配列を認識して結合する。このタンパク質は半径 $10 \text{ \AA}$ の円柱とみなせるものとして、分子量の最小値を推定すると

$\boxed{(j)} \times 10^{\boxed{(k)}}$ となる。なお、この推定では、分子量あたりの体積を $v = 1.2 [\text{\AA}^3]$ としなさい。

