

D 3 物理 D 4 化学 D 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 19 ページまであります。
化学の問題は、20 ページより 30 ページまであります。
生物の問題は、31 ページより 52 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と氏名を記入し、さらに受験番号と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 解答用マークシート上部に記載されている解答上の注意事項を、必ず読んでから解答してください。
- (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 遺伝暗号の解読と翻訳の仕組みに関する以下の問題(1)から(4)に答えなさい。解答はそれぞれの指示に従って解答用マークシートの所定欄にマークしなさい。

(33点)

- (1) 次の文章の空欄(ア)～(キ)に入るもっとも適切な語句あるいは数値を解答群Aから選び、その番号をマークしなさい(番号の中の0という数字もかならずマークすること)。

DNA や RNA はヌクレオチドとよばれる単位構造が繰り返し連結したものである。ヌクレオチドはリン酸、、塩基から構成される。リン酸はと結合し、は塩基と結合している。リン酸とは交互に連結した鎖状の骨格構造をとる。塩基はこの鎖状骨格に対してに配置している。一つのヌクレオチドのリン酸側を5'、側を3'とよぶこととする。そうすると、この鎖状構造の両端のうち、リン酸側が5'末端となり、もう一方が3'末端となる。このように、リン酸ととの結合様式に基づいてDNA や RNA は5'から3'方向というように方向づけることができる。DNA の二つのヌクレオチド鎖は互いの方向が逆になっていて、相補的な塩基対が形成される。DNA と同様の相補的塩基対は一つのRNA 分子内や二つのRNA 分子間でも形成されることがある。

タンパク質の構成単位はアミノ酸であり、アミノ酸は一つの炭素原子にアミノ基、カルボキシル基、、が結合してできている。タンパク質に使われているアミノ酸のは種類ある。アミノ酸がすることによって、タンパク質となる。に基づいて、タンパク質も方向づけができる。一つのアミノ酸のアミノ基側をN側、カルボキシル基側をC側とよぶことにする。そうすると、ペプチド鎖の両端のうち、アミノ基側がN末端、カルボキシル基側がC末端となり、ペプチド鎖のNからC方向が定義できる。

伝令 RNA 上の塩基配列からタンパク質のアミノ酸配列との対応関係を指定するのが遺伝暗号である。塩基は4種類あり、アミノ酸は (オ) 種類あるので、少なくとも三つの塩基によって一つのアミノ酸が指定されることになる。三つの塩基で一つのアミノ酸を指定しているとする、その組み合わせは (キ) 通りになるので、一つのアミノ酸には三つの塩基で構成されるユニットが複数個対応していることになる。

解答群 A

00 酸素原子	01 窒素原子	02 水素原子	03 糖
04 酸	05 脂 質	06 アミノ酸	07 主 鎖
08 側 鎖	09 相補鎖	10 イオン結合	11 ペプチド結合
12 右 側	13 左 側	14 垂 直	15 並 行
16 3	17 4	18 5	19 20
20 30	21 32	22 60	23 64

- (2). ニーレンベルグ、オチョア、コラーナたちは人工的に合成した RNA (以下の文章では合成 RNA とする) を用いて、遺伝暗号の解読に成功した。彼らによる実験 1 から 5 を基にして、問題(a)から(e)に答えなさい。

【実験 1】

大腸菌をすりつぶした抽出液にはポリペプチドを合成する能力がある。抽出液にアミノ酸や ATP などとともに、塩基としてウラシル(U)のみを含む合成 RNA を加えると、フェニルアラニンが連結したポリペプチドが合成された。また、ウラシルをシトシン(C)に換えた合成 RNA を加えると、プロリンのみから成るポリペプチドが合成された。

【実験 2】

【実験 1】で U と C が交互につながった合成 RNA を加えたときには、セリンとロイシンが交互に連結したポリペプチドが合成された。

【実験 3】

下の図 1(i)に示すように、塩基の並び順が 5' から 3' 方向に向かって GCU の繰り返し配列となるような RNA を用いて、実験 1 と同様にポリペプチドを合成したときにはアラニンのみから成るポリペプチドおよびアラニンとは異なる単一のアミノ酸から成る 2 種類のポリペプチドの合計 3 種類が合成された。次に、図 1(ii)に示すように、3 箇所にあデニン(A)を挿入した RNA を合成して添加すると、合成されたポリペプチドの一つは N から C 方向にアラニン、アスパラギン酸、システイン、メチオニン、X、アラニンの並び順となるポリペプチドであった。ここで X はあるアミノ酸を示す。

(i) 挿入前 GCUGCUGCUGCUGCU

(ii) 挿入後 GCUGaCUGCaUGCUaGCU

図 1 挿入したアデニンを小文字の a で示した。

【実験 4】

塩基の並び順が 5' から 3' 方向に向かって UAUC の繰り返しとなるような合成 RNA を加えると、N から C 方向にチロシン、ロイシン、セリン、イソロイシンの順で繰り返したアミノ酸配列をもつポリペプチドが合成された。

【実験 5】

三つのヌクレオチドからなる合成 RNA はリボゾームと複合体をつくることができる。その複合体にどのアミノ酸を結合した転移 RNA が結合できるかを調べた。3 個のヌクレオチドからなる合成 RNA とリボゾームとの複合体に結合できる 3 種類の転移 RNA について、合成 RNA の塩基配列と転移 RNA に結合したアミノ酸を表 1 に示した。ここで、塩基配列は左側から右側の向きが 5' から 3' 方向になるように表示されている。

表1 RNA・リボゾーム複合体とアミノ酸を結合した転移RNAとの結合

合成RNAの塩基配列(左側の塩基が5'側)	転移RNAに結合したアミノ酸
AUU AUC AUA	イソロイシン
UGU UGC	システイン
UUA UUG CUU CUC CUA CUG	ロイシン

(a) 実験1から5までの実験結果をよく読んで、「3つの連続した塩基(トリプレット)によってアミノ酸の種類が指定され、隣接するトリプレット間には塩基の重なりがなく、また隙間となる塩基もない」ことを最も直接的に示す実験結果はどれか。実験結果の番号をマークしなさい。どれも当てはまらない場合には0をマークしなさい

(b) 上の実験結果からセリンを指定するトリプレットを推定して、最も適切なものを解答群Cから選びその番号をマークしなさい(番号の中の0という数字もかならずマークすること)。

解答群C

00 UUU	01 UUC	02 UCU	03 CUU	04 CUC
05 CCU	06 CCC	07 UAU	08 UUA	09 AAU
10 ACU	11 AUC	12 CUA	13 CAU	14 ACC

(c) また、チロシンを指定するトリプレットは何かを考え、解答群Cから選びその番号をマークしなさい(番号の中の0という数字もかならずマークすること)。

(d) 合成RNAが伝令RNAとして働いたとき、伝令RNA上に並んだトリプレットをコドンとよぶ。隣接する二つのコドンのうち、5'側のコドンで指定されるアミノ酸は合成されたペプチドのN側またはC側のどちら側に位置するのだろうか。また、ペプチドの細胞内での合成はC末端側にアミノ酸が付け加えられることで起こることが分かっているとすると、翻訳は5'側のコドンから3'側のコドンに向かう方向に進むのか、それとも逆方向に進むのだろうか。それらの正しい組み合わせを解答群Dから選びその番号をマークしなさい。

解答群D

	5' 側のコドン	伝令 RNA が読まれる方向
0	N 側	3' → 5'
1	N 側	5' → 3'
2	C 側	3' → 5'
3	C 側	5' → 3'
4	場合による	3' → 5'
5	場合による	5' → 3'

- (e) 実験3のアミノ酸Xは何か。もっともふさわしいと推定できるものを解答群Eから選びその番号をマークしなさい(番号の中の0という数字もかならずマークすること)。

解答群E

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

- (3) 実験3のペプチド合成において使用されたと考えられるシステインの転移RNAのアンチコドンを解答群Fから選びその番号をマークしなさい。ただし、解答群Fのコドンは左側が5'、右側が3'側となるように表示していることに注意して解答しなさい。

解答群 F

- | | | |
|-------|-------|-------|
| 0 UGC | 1 TGC | 2 CGU |
| 3 CGT | 4 ACG | 5 GCA |

- (4) 5' から 3' に向っての並び順が UGA のコドンは通常対応する転移 RNA が存在しないので終止コドンになっている。ところが、ある細菌ではこのコドン UGA はトリプトファンを指定していることが見つかった。他のコドンとアミノ酸との対応関係は通常どおりであった。この細菌にはどのような転移 RNA が特別に存在するのだろうか。次の実験 6 の結果を基にして推定しなさい。解答は解答群 G から選びその番号をマークしなさい。

【実験 6】

システインを指定するコドンと塩基対をつくることができるアンチコドンを持ったシステインの転移 RNA にシステインが結合しているとする。この転移 RNA を化学的に処理してシステインのイオウ原子を削除すると、アンチコドンには変化がないが、システインはアラニンに変換される。このアラニンを結合した転移 RNA によって、元々はシステインを指定していたコドンはアラニンに対応することが示された。

解答群 G

- 0 アンチコドンがコドン UGA と塩基対をつくり、トリプトファンを結合した転移 RNA が存在する。
- 1 アンチコドンがコドン UGA と塩基対をつくらないが、トリプトファンを結合した転移 RNA が存在する。
- 2 アンチコドンがコドン UGA と塩基対をつくり、システインを結合した転移 RNA が存在する。
- 3 アンチコドンがコドン UGA と塩基対をつくらないが、システインを結合した転移 RNA が存在する。
- 4 コドン UGA はいろいろなアミノ酸を結合した転移 RNA のアンチコドンと塩基対をつくり、ペプチドが合成された後に、そのアミノ酸はトリプトファンに変換される。

右のページは白紙です。

2

細胞や個体の構造についての設問(1)～(3)に答えなさい。解答はそれぞれの指示に従ってもっと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) 細胞の構造に関する次の文章を読み、続く問いに答えなさい。

細胞膜は細胞の内側と外側を区切る役目を持ち、通常は細胞膜を挟んで細胞質基質で満たされた空間と細胞外の空間は入り混じることはない。単純化すると、細胞は細胞膜によって「細胞質側(細胞質基質側)」と「非細胞質側(非細胞質基質側)」という不連続な空間に区分的に分かれることになる。

一方、細胞内小器官は細胞膜と同様の構造を持つ膜(以下、生体膜とよぶ)から構成されており、この膜も細胞内小器官において「細胞質側」と「その反対側」を仕切る役割を持つ。ここで1枚の生体膜により仕切られた空間を考えたとき、生体膜を挟んで「細胞質側」の反対側になる空間は「非細胞質側」ということになるので、細胞の中にあっても細胞の外部空間に相当する空間が存在すると考えることが出来る。このように考えると細胞膜を含む生体膜は細胞内を「細胞質側」と「非細胞質側」という不連続な空間に区画化する役割を持つと言える。空間が不連続であることにより、例えばイオンや小分子の濃度差の維持が可能となり、結果的に主要な細胞機能を営むことが出来る。

さて、生体膜の一つの役割として細胞内の区画化を考えた時、次の文章(a)～(f)の①、②、③に示した真核細胞における様々な空間は「細胞質側」と「非細胞質側」のいずれに相当する空間と言えるだろうか。「細胞質側」に相当する空間の場合を「内側」、「非細胞質側」に相当する空間の場合を「外側」とし、(a)～(f)のそれぞれにおいて①、②、③の順に正しくならんでいるものを解答群Aから選びなさい。同じ番号が入る場合もある。

(a) 核を構成する核膜は外膜と内膜の二重膜から構成されている。このとき外膜と内膜の間は(①)に相当する空間である。核において染色質が観察される空間は(②)に相当し、また転写が行われる空間は(③)である。

- (b) 細胞内でのタンパク質の合成や分解を考える。タンパク質の合成は(①)に相当する空間で進行し、合成されたタンパク質が細胞外に分泌されるために貯蔵される場合は(②)に相当する空間である。一方、細胞内では不要な物質が分解されることがあり、分解の働きを持つ空間は(③)に相当する。
- (c) 酸素呼吸の各過程とそれが行われる空間を考える。解糖系が進行する空間は(①)であり、クエン酸回路が働く場合は(②)である。また、電子伝達系では H^+ の移動によってATPが生じる。この過程では H^+ が(③)に相当する空間に移動する際のエネルギーを用いてATPが生じる。
- (d) 光合成反応では葉緑体のチラコイド膜を挟んだ H^+ 濃度の濃度勾配を用いてATPが合成される。ここで葉緑体のストロマは(①)に相当し、チラコイド内部は(②)に相当する空間であることから、 H^+ の移動によってATPが生じる空間は(③)に相当する。
- (e) 神経—筋接合部では神経細胞末端が筋肉に近接してシナプスを形成する。このときシナプスにおいて神経伝達物質が蓄積されている小胞内の空間は(①)になる。神経の興奮が伝達されて筋が刺激を受けると(②)の空間に蓄積されていた Ca^{2+} が放出され、(③)の空間に存在する筋原繊維が収縮する。
- (f) 鞭毛や繊毛を使って運動する細胞を考える。精子において、鞭毛を構成する細胞骨格は(①)の空間に存在する構造で、受精に必要な構造である先体は(②)に存在する構造である。単細胞生物のゾウリムシにおいて、浸透圧調節などの役割を担う収縮胞の内腔は(③)に相当する。

解答群A (①, ②, ③の順に)

- | | |
|--------------|--------------|
| 0 外側, 外側, 外側 | 1 外側, 外側, 内側 |
| 2 外側, 内側, 内側 | 3 外側, 内側, 外側 |
| 4 内側, 外側, 外側 | 5 内側, 外側, 内側 |
| 6 内側, 内側, 外側 | 7 内側, 内側, 内側 |

- (2) 個体の構造に関する次の文章と、続く(8)~(j)の文章を読み、問題(I)と(II)に答えなさい。

動物の体を単純化して考えると、細胞や組織の層(以下まとめて「細胞層」とする)により体の外部と内部が区分されているとみなすことができる。例えば体表面では、皮膚を挟んで外側と内側が区分されている。一方、消化管や気管は体の中にあるが、食物や空気の通り道である管の内側は口から連続した構造なので、外側が延長して出来た空間と見なすことが出来る。このように考えると、我々の体の中の空間(腔所)であっても、そのでき方や空間的な位置関係によって外側の延長と見なされる場合がある。

体の中にこのような「外側」と「内側」が出来る過程を、発生をさかのぼって考えてみる。発生の初期段階では、1層ないし数層の細胞層が胚の「外側」と「内側」を区切っている。ここで、初期胚の細胞層において胚の「外側」に面している側を「A側」、胚の「内側」に面している側を「B側」と呼ぶことにしよう。通常、細胞層は途切れることがないので、A側が面している空間とB側が面している空間は不連続である。胚を作る細胞層は発生の段階に応じて「膨らむ」「くぼむ」「くびれて袋状構造を形成する」などの形態的な変化が連続して起こり、結果として胚の内側に外側とは不連続な腔所が生じることがある。しかし、このような場合でも元々「外側」だった空間と「内側」だった空間は混じることとはなく、両者の位置関係は変わらずに維持される。このことは、発生初期に細胞層のA側だった面とB側だった面は腔所形成の過程で混じらないことを示している。

- (8) ウニの発生を考えた時、卵割が進行すると最初に1層の細胞層から成る袋状構造が出来る。ここで袋状構造をつくる細胞層のB側が面している空間は ア である。発生が進むと植物極側の細胞層が内側に管状にくびれ、その先端にある細胞層は動物極側の細胞層に達して開口する。この時、くびれの先端では細胞層の(①)側と反対側の細胞層の(②)側が対面し開口する。一方、くびれてできた管状構造の内側の空間は イ であり、これは細胞層の(③)側に面した空間となる。従って、(ア)と(イ)は細胞層を介して ウ 空間ということになる。

(h) 両生類胚の発生が進行すると、胚表面は外胚葉の細胞層で覆われる。この細胞層も外側と内側を仕切っていて、細胞層における「A 側」と「B 側」は維持されている。この、胚を覆う細胞層の向きをふまえて神経胚以降の発生を考えてみる。まず、神経胚初期になるとこの細胞層から神経管が形成される。ここで神経管の発生過程をふまえると、神経管の外側は細胞層の(①)側からなる。一方、イモリ胞胚の表面の一部をあらかじめ局所生体染色法により染色して発生させると、染色された細胞が神経管で観察されることがある。ここでも神経管の発生を考慮すると、染色された細胞が分布するのは神経管の(エ)側である。神経胚以降になると中胚葉由来の構造の形態も明瞭になる。この時、脊索が形成されるのは胚を覆う細胞層の(②)側に面する空間である。同じく中胚葉由来の構造の腎節からは後に輸尿管が形成される。輸尿管は膀胱につながっているため、輸尿管の内側は胚を覆う細胞層の(③)側に相当することになる。

(i) カエル神経胚の発生が進行すると、神経管の前端は膨らんで脳胞となる。脳胞の一部はさらに左右に膨らんで眼胞となり、膨らみの先端は表皮外胚葉に作用して眼が誘導される。眼の誘導過程を考慮すると、誘導された水晶体の表面の細胞層は(①)側となる。また、水晶体の形成過程では一過的にその内部に腔所が形成されるが、この腔所は細胞層の(②)側に面していることになる。このような眼の発生過程をふまえると、成体の網膜において視神経細胞の神経繊維が分布するのは、初期胚では細胞層の(③)側に面した空間ということになる。

(j) さまざまな動物の体にある腔所とその由来を考える。二胚葉性動物が持つ腔所は消化を担当する胃腔だけであり、この腔所は動物体を構成する細胞層の(①)側に面する空間である。一方、三胚葉性動物では大きな腔所として消化を担当する腸管に加えて体腔がある。体腔には発生起源の違いから原体腔と真体腔の二種類がある。体腔の起源を考慮すると、原体腔は胚を構成する細胞層の(②)側に面した腔所と言える。一方、新口生物の体を構成する真体腔は、胚の(オ)の一部が体の内側に膨らんでくびれて出来た細胞層により囲まれた空間と考えられている。したがって、真体腔は細胞層の

(③) 側に面した空間とみなすことができ、原体腔と (カ) 空間と考えられる。脊椎動物のさまざまな器官が発生過程で最初にできる空間を考えたとき、神経管は真体腔の (キ) 側に出来る構造であり、肝臓は真体腔の (ク) 側に出来る構造である。

問題(I) (ア)～(ク)に入る語句としてもっともふさわしいものを解答群Bから選びマークしなさい。同じ番号が入る場合もある。

解答群B

- | | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| 0 原 腸 | 1 原 口 | 2 胞胚腔 | 3 体 腔 |
| 4 同 じ | 5 異なる | 6 内 | 7 外 |

問題(II) (g)～(j)の文章中の①, ②, ③には「A」と「B」のいずれかが入る。

(g)～(j)それぞれにおいて, ①, ②, ③の順に正しく並んでいる組み合わせを解答群Cから選び, 記号で答えなさい。同じ番号が入る場合もある。

解答群C (①, ②, ③の順に)

- | | | |
|-----------|-----------|-----------|
| 0 A, A, A | 1 A, A, B | 2 A, B, A |
| 3 A, B, B | 4 B, A, A | 5 B, A, B |
| 6 B, B, A | 7 B, B, B | |

右のページは白紙です。

- (3) 胚膜の発生とその胚葉に関する次の説明文を読み、続く問いに答えなさい。

脊椎動物の進化において、陸上環境での繁殖に適応した手段の一つに、胚を包む胚膜の獲得がある。有羊膜類においては、発生のある時期に羊膜やしょう膜、尿のう膜などの胚膜が形成される。胚膜には、しょう膜、羊膜、尿のう膜、卵黄のう膜がある。しょう膜は卵の最外層にある膜で、羊膜は胚を包みこむ膜である。また尿のう膜は胚の中で不要になった老廃物ため込む「尿のう」の膜であり、卵黄のう膜は卵黄を包み込む「卵黄のう」の膜である(図1左)。

さて、胚膜の発生とその起源をニワトリの発生を例に検討してみよう。神経胚以降のニワトリ胚において、胚葉の並びやそれぞれの胚葉からできる器官の初期配置はカエル胚の場合とよく似ている。そのためカエル胚では腹部にある卵黄がニワトリ胚では非常に大きくなっていて、胚が卵黄の上に浮かんでいる状態と見なすことができる。神経胚期のニワトリ胚では、胚の上側(背側)から下側(腹側)に向けて大まかに外胚葉、中胚葉、内胚葉の細胞層が順に重なった状態になる。この細胞層は胚が出来る領域よりも広く前後左右にも広がっていて、胚膜は胚以外の領域に広がった細胞層から形成される(図1右)。発生に伴い、胚膜が作られる領域の中胚葉性の細胞層は上下2層に分かれる。次いで上層は外胚葉層と密着し、下層は内胚葉層と密着し、最終的に外胚葉と中胚葉から構成される層と、中胚葉と内胚葉から構成される層の上下2層に分かれる。胚膜はこの上下細胞層から発生する。

上層の発生が進行すると、胚の予定頭部よりも前方に広がる領域と予定尾部よりも後方に広がる領域の一部がヒダ状に上方に隆起し、次いで前後から胚全体を包むように伸長し、胚上方で前後の膜が接する。接した膜は互いに融合し、次いで胚に近い膜と胚から遠い膜に分かれて、結果的に胚を包む二つの膜となる。ここで胚に近い膜が羊膜であり、羊膜の外部に形成される膜がしょう膜である。しょう膜はこの後さらに広がり、最終的に卵全体を包み込む。

上層の変化と並行して、下層は胚の下方に多量に存在する卵黄を包むように下方に伸長し、そのまま卵黄を覆う。これが卵黄のうである。また下層のうち、胚の後方と卵黄のうの間に位置する一部分が卵黄を包まずに空胞のまま後

方に膨出する。これはそのまま袋状構造として卵内に広がり、これが尿のうとなる。さらに発生が進行すると尿のうは大きくなり、卵を包みこんだしょう膜と尿のう膜が面する。この面した部分は密着して、最終的に「しょう尿膜」という膜を形成する。

次の文章(k)~(m)は、それぞれの膜を構成する胚葉の向きについて述べたものである。上記の説明文を元にして文章中の①、②にふさわしい胚葉名の組み合わせを解答群Dから選び、記号で答えなさい。

- (k) 羊膜において羊水に面している細胞層は(①)由来であり、一方、しょう膜で胚の側に面した細胞層は(②)由来である。
- (l) 卵黄のう膜において卵黄の反対側に分布する細胞層は(①)由来であり、尿のうで老廃物をためる側に面する細胞層は(②)由来である。
- (m) しょう尿膜ができる時には、しょう膜の(①)由来の細胞層と、また尿のう膜の(②)由来の細胞層が面することになる。

・解答群D (①、②の順に)

- | | | |
|------------|------------|------------|
| 0 外胚葉, 外胚葉 | 1 外胚葉, 中胚葉 | 2 外胚葉, 内胚葉 |
| 3 中胚葉, 外胚葉 | 4 中胚葉, 中胚葉 | 5 中胚葉, 内胚葉 |
| 6 内胚葉, 外胚葉 | 7 内胚葉, 中胚葉 | 8 内胚葉, 内胚葉 |

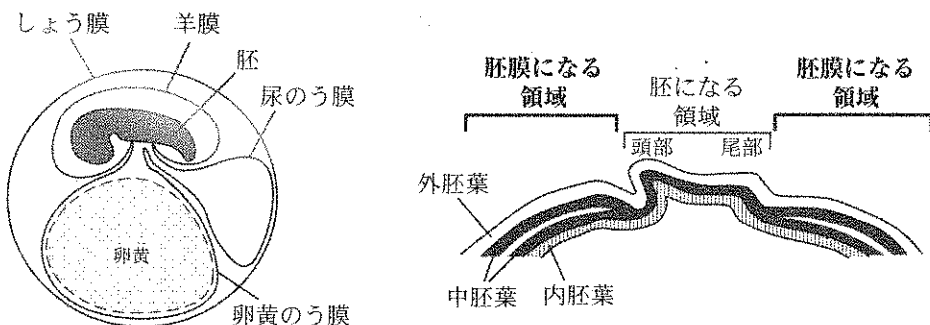


図 1

- 3 大腸菌は環境変化に対して適応的応答を示す。適応的応答の一つである走化性の分子機構に関する以下の問題(1)から(7)に答えなさい。解答はそれぞれの指示に従って解答用マークシートの所定欄にマークしなさい。(33点)

- (1) 次の文章の空欄(ア)に入るもっとも適切な数値を解答群Aから選び、その数値の番号をマークしなさい。

大腸菌は大きさ $2 \sim 3 \mu\text{m}$ の細胞で細胞表面から長さ約 $10 \mu\text{m}$ のべん毛が数本出ている。大腸菌は細胞膜に埋め込まれたモーターを使ってべん毛を回転させ溶液中を泳ぎ回る。大腸菌はガラクトースやグルコースなどの糖が溶液中にあると、そこに集まってくる。走化性とよばれるこの運動能力を使って、ガラクトースの溶液を入れた毛細管を、大腸菌が泳いでいるガラクトースを含まない溶液(懸濁液)中に挿入すると、毛細管の中に大腸菌が入ってくる。野生型大腸菌と、ガラクトースを細胞内に取り込むことができず、またガラクトースを代謝することもできない変異体を使って、それらが毛細管の中に入ってきたときの菌体数を数える実験を行った。図1には、大腸菌の野生型と変異体のそれぞれについて、毛細管中の菌体数を毛細管内のガラクトース濃度に対してプロットした結果を示した。この変異体の毛細管中への流入数を野生型のそれと比較すると、ガラクトースの濃度が (ア) 倍程度低濃度で野生型の流入数と同じになっている。この実験によって、ガラクトースを取り込むことも代謝もできない変異体でも走化性が起きることがはじめて明らかにされた。

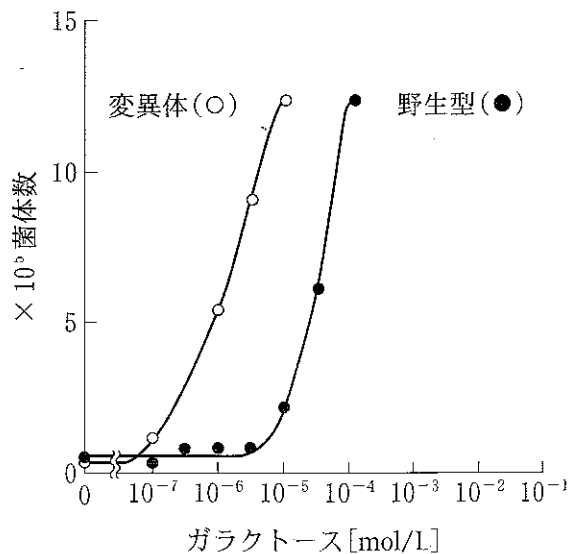


図1 毛細管中の菌体数

解答群 A

- | | | |
|------------------|----------------|--------------|
| 0 0.00001~0.0001 | 1 0.0001~0.001 | 2 0.001~0.01 |
| 3 0.01~0.1 | 4 0.1~1.0 | |

(2) 次の文章の空欄(イ)と(ウ)の組み合わせとしてもっとも適切なものを、解答群Bから選びその番号をマークしなさい。

いろいろな化学物質に対する大腸菌の応答を調べると、大腸菌はガラクトースやグルコースなどの糖やアスパラギン酸やセリンなどのアミノ酸(誘引物質とよぶ)に誘引され、ロイシンなど(忌避物質)を忌避する。上のガラクトースについての実験結果は、大腸菌が誘引されるのは、誘引物質そのものであり、それから生じる代謝産物や代謝エネルギーではないことを意味する。大腸菌が化学物質を誘引物質として認識するためには、その誘引物質に対する特異的な受容器が必要であろう。この仮説は、以下の実験によって実証できる。物質UとVがともに誘引物質であるとき、懸濁液に高濃度の (イ)、毛細管には高濃度の (ウ) を加えると、UとVが同一の受容器に結合する場合に

はVに対する走化性は失われるが、UとVが異なる受容器に結合する場合にはVに対する走化性は失われない。このような受容器の実態は、細胞膜を貫通するタンパク質(以下Mとする)である。Mは細胞膜の外側部分でアミノ酸や、糖の場合は糖を結合したタンパク質を受容し、内側部分でその情報を細胞内のある物質に伝え、その物質は細胞内を拡散によって移動し、細胞膜に埋め込まれたべん毛モーターに作用することによって、誘引や忌避運動を引き起こす。

解答群B

	(イ)	(ウ)		(イ)	(ウ)
0	U	U	4	U	UとV
1	U	V	5	V	UとV
2	V	U	6	UとV	U
3	V	V	7	UとV	V

- (3) 次の文章の空欄(a)~(d)に入るもっとも適切な数値を0から9までの整数から選びマークしなさい。

受容器で感知された情報はべん毛を回転させるモーターに伝えられ、モーターが(菌体の外側から見て)反時計回りに回転するとべん毛は束ねられ太いスクリュウとなって回転し、大腸菌はスムーズに泳ぐ(スイム)。モーターが時計回りに回転するとべん毛の束がほどけて方向転換をする(タンブリング)。このように、大腸菌の運動は、スイムとタンブリングの2つのモードに分類される。懸濁液に走化性物質の濃度勾配がある場合でも、そのスイムとタンブリングという運動パターンには変化がないが、大腸菌が誘引物質濃度の増大する方向に向かっている場合にはタンブリング頻度が減少し、濃度が減少する方向に向かっている場合には逆にタンブリング頻度が増す。また、大腸菌は方向変換するとき、「良い」方向を向くのではなく、変換後の向きはまったく「でたらめ」である。大腸菌が濃度勾配を検出する検出器の機構として次の2つが考えられる。(I)空間的濃度勾配を瞬間ごとに検出する。(II)大腸菌自身の体験する濃度の

時間的变化を検出する。(I)はありそうもないことが次の簡単な計算結果から分かる。誘引物質濃度が大腸菌の「頭」から「尾」に向かったの長さ x の関数 $C_0(1 - \frac{x}{d})$ にしたがって変化するとしよう。ただし、 C_0 は大腸菌の「頭」の位置での濃度であり、実際の実験条件から $d = 20 \text{ mm}$ とする。大腸菌の長さは $2 \mu\text{m} (= 2 \times 10^{-6} \text{ m})$ であるので、大腸菌の「頭」と「尾」での濃度差の C_0 に対する比は $\boxed{(a)} \times 10^{-\boxed{(b)}}$ となり、検出器にはこの比を検出できる精度が必要である。これに対して、「頭」と「尾」に存在する濃度検出器が3辺の長さがそれぞれ $1 \mu\text{m}$, $1 \mu\text{m}$, $0.1 \mu\text{m}$ である直方体に含まれる誘引物質を検出すると仮定すると、これらの検出器の体積に含まれる分子数は誘引物質の濃度 $1 \mu\text{mol/L}$ のとき $\boxed{(c)} \times 10^{\boxed{(d)}}$ になる。ただし、 1 mol の分子数を 6.02×10^{23} 個とした。実際には、この検出器に含まれる分子数は一定ではなく、ゆらいている。この場合のゆらぎの大きさは平均値の平方根に等しいことが分かっているので、ゆらぎの大きさは菌体の「頭」と「尾」での濃度の違いを検出するのに要求される精度よりずっと大きい。したがって、(I)の空間的濃度勾配を検出することは、実際にはありそうもない。

- (4) 次の文章の空欄(エ)と(オ)に入るもっとも適切な語句を解答群Cから選び、その番号をマークしなさい。

(II)が実際に起こっていることは、懸濁液中の走化性物質濃度をほとんど瞬間的に上昇または下降させる実験によって証明できる。図2では、大腸菌1個体の運動を観察し、タンブリングが起こった時点を垂直な棒で示している。このような実験から、誘引物質の濃度が急激に上昇すると、急速にタンブリング頻度は減少し(図2ではタンブリングは消失している)、約 $\boxed{(エ)}$ 後には誘引物質の濃度を上げる前の元の頻度に戻ることが分かった。したがって、一連のプロセスは、タンブリングの消失や頻度の減少という速いプロセスと元のタンブリング頻度に戻るといふ遅いプロセスから成り立っていると考えられる。前者を「興奮過程」、後者を「適応過程」とよぶ。一方、走化性には、メチオニンと

ATPが必要であることが知られている。メチオニン欠乏状態におかれた大腸菌に誘引物質を加えると長時間スムーズな運動を続け、完全にメチオニンを欠いた場合にはタンブリングができなくなる。しかし、メチオニン欠乏状態におかれても、タンブリングを続ける突然変異体が存在するので、メチオニンはタンブリングそのものには必要ではなく、(カ) 過程に必要であると考えられる。このことは、メチル基がタンパク質 M に取り込まれる反応(メチル化とよぶ)は分のオーダーで進行し、取り込まれたメチル基の量は誘引物質濃度の上昇にともなって増大し、忌避物質の存在下では減少することからも裏づけられる。

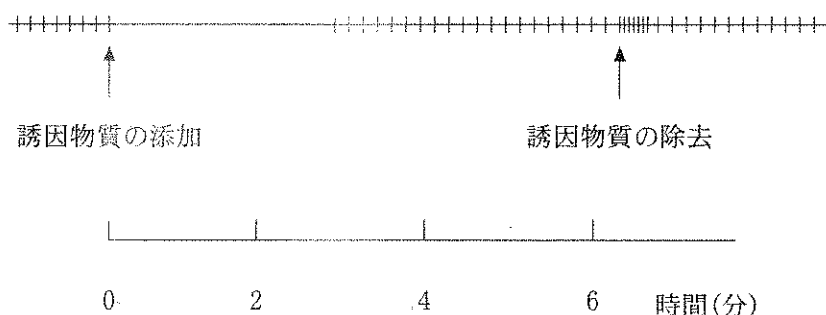


図2 誘因物質を添加やあるいは除去したときの、タンブリング頻度の時間経過

解答群C

0 1分	1 2分	2 3分	3 4分
4 5分	5 6分	6 興奮	7 適応

- (5) 次の文章の空欄(カ)と(キ)に入るもっとも適切な語句を解答群Dから選び、その番号をマークしなさい。

ATPがべん毛モーターの回転のための直接のエネルギー源ではないことは次の実験結果から分かる。ATP合成酵素を欠失した大腸菌では、嫌気的条件下のもとで発酵基質であるグルコースなどの存在下ではATPは(カ)，運

動性は失われる。また、水素イオンが細胞膜を横切って細胞への出入りをする
 ことができなくなる物質を加えると、細胞内 ATP 濃度にはほとんど変化がな
 いが、運動性は急速に失われる。さらには、べん毛の回転速度は細胞内外の
 pH 差に依存して変化することも明らかになった。これらの実験結果は、べん
 毛モーターは細胞内外の (キ) 濃度差によって駆動されることを示唆す
 る。したがって、ATP はリン酸の供給源として使われ、リン酸を結合したタ
 ンパク質が細胞内を移動し、べん毛モーターに結合することにより運動を制御
 すると考えられる。

解答群 D

- | | | |
|--------|----------|---------|
| 0 合成され | 1 合成されなく | 2 水素イオン |
| 3 酸 素 | 4 窒 素 | 5 塩素イオン |

- (6) 次の文章の空欄(ク)に入るもっとも適切なものを解答群 E から選び、その番号
 をマークしなさい。また、空欄(ケ)には 0 から 9 までの整数を入れ、その数値を
 マークしなさい。

走化性に関与すると考えられるタンパク質 A には、試験管の中でリン酸が
 取り込まれる(リン酸化とよぶ)。タンパク質 A に取り込まれたリン酸は走化
 性に関与する別のタンパク質 Y へ移動し、リン酸化された Y はリン酸を溶液
 中に放出する(脱リン酸化とよぶ)。図 3 には、同位体 ^{32}P で標識された ATP
 を加えて、このタンパク質 A から Y、Y から溶液中へのリン酸移動の時間経
 過を調べた実験結果を示した。図 3 の三角印は (ク) の ^{32}P 量を表してい
 る。タンパク質 A と Y は 10 : 1 の比率で存在しているとする、Y のリン酸
 化される部位数は A のリン酸化部位数の (ケ) 倍以上であり、リン酸は
 一時的に A から Y に移ることが分かる。これらの分子間でのリン酸の受け渡
 しは、試験管の中で起こるばかりでなく、実際の細胞の中でも 1 秒以内に起こ
 ることが確認されている。

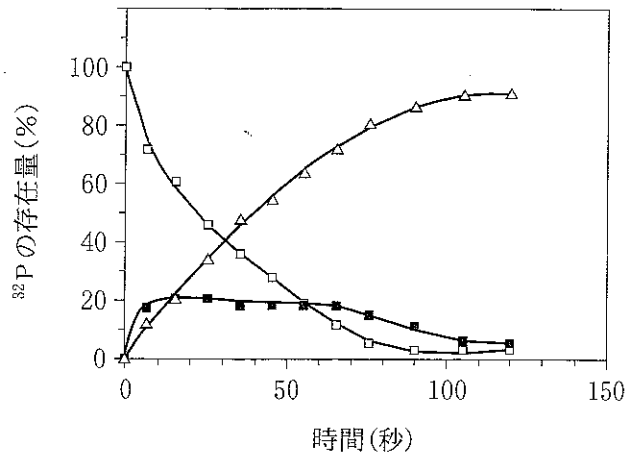


図3 リン酸移動の時間経過

解答群E

- | | | |
|-----------|---------------|-------|
| 0 タンパク質 A | 1 タンパク質 Y | 2 ATP |
| 3 糖 | 4 溶液中の遊離したリン酸 | |

(7) 次の文章の空欄(ケ)~(サ)に入るもっとも適切な語句を解答群Fから選び、その番号をマークしなさい。

以上のような実験や考察。さらには表1に示した走化性に関与すると考えられるタンパク質の性質から、大腸菌走化性の分子メカニズムは次のようにまとめることができる。忌避物質によってタンブリングが起こる場合、忌避物質のタンパク質Mへの結合はMを活性化し、タンパク質 (ケ) にリン酸が取り込まれる。リン酸化されたタンパク質 (ケ) は直ちにリン酸をタンパク質 (コ) に移す。このリン酸化されたタンパク質がべん毛モーターに結合すると、モーターは時計回りに回転しタンブリングが起こる。リン酸化されたタンパク質 (コ) はそれ自身、もしくは、タンパク質Zによって脱リン酸化する。誘引物質や忌避物質を加えることにより、タンブリング頻度の減少や増大が1秒以内に起こるが、この変化は長く続かず、数分後には元の頻度に戻ってしまう。つまり、新しい環境に適応したことになる。この適応によっ

て、大腸菌は現在と過去の環境濃度を比較でき、適切な応答が可能となる。誘引物質がタンパク質 M に結合すると、M のタンパク質 ケ をリン酸化する能力を (サ)。そして、数分のオーダーで M はメチル基を取り込み、その結果、M のタンパク質 ケ をリン酸化する能力を元に戻す。したがって、誘引物質または忌避物質の結合がなくメチル化されていない M のタンパク質 ケ をリン酸化する能力は誘引物質を結合しメチル化された M と同じである。

表1 走化性に関与するタンパク質とその生質

タンパク質	性質
M	細胞膜を貫通し、膜の外側で誘引(忌避)物質を結合する
A	タンパク質 M に結合していて、リン酸化される
Y	細胞質に存在し、リン酸化される
Z	細胞質に存在し、Y の脱リン酸化を促進する

解答群 F

- | | | | |
|---------|--------|--------|---------|
| 0 A | 1 Y | 2 Z | 3 減少させる |
| 4 増大させる | 5 元に戻す | 6 誘引物質 | 7 忌避物質 |