

J 3 物理

J 4 化学

J 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。

電子応用工学科は物理指定

材料工学科は、物理または化学のどちらかを選択

生物工学科は、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 18 ページまであります。
化学の問題は、19 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 64 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、解答用紙に志望学科と受験番号を記入してください。また、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、所定の解答用紙に記入したもの及び解答用マークシートにマークしたものだけが採点されます。
- (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(H B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 DNA 複製および細胞周期に関する以下の問いに答えなさい。(33 点)

- (1) セントラルドグマ(中心教義)に関する以下の文章中の空欄にあてはまる最も適切な語句を解答群 A から選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。

DNA の二重らせん構造はワトソンと (ア) によって発見された。DNA の二重らせん構造モデルの優れている点は、DNA 複製の基本的なしくみを示唆しているということである。実際、大腸菌を用いた実験では、DNA が複製されるときには、2 本鎖が 1 本ずつに分離し、それぞれが鋳型となって、2 組の 2 本鎖ができることが示されている。このような複製のしくみは、(イ) とよばれる。DNA 分子のそれぞれの鎖には方向性があり、この方向性は DNA の合成反応において重要な意味をもつ。DNA はヌクレオチドが結合してできており、ヌクレオチドはデオキシリボースとよばれる糖を含んでいる。糖の 5 個の炭素原子のうち、3 番目の C(3' C)が隣接するヌクレオチドの 5 番目の C(5' C)とリン酸基を介して結合することで DNA の骨格ができあがる。ヌクレオチドを結合する DNA ポリメラーゼは、(ウ) の方向にしかヌクレオチドを結合できないことが示されており、このことは「DNA 合成の方向は (ウ) である」と表現される。DNA ポリメラーゼによる DNA 合成反応が (ウ) の一方向であることと、大腸菌における DNA の複製方向が複製開始点から両方向に進むことは、大きな矛盾を生む。この矛盾を解決したのが (エ) フラグメントの発見である。

連続して合成される (オ) 鎖に対し、(カ) 鎖では多数の (キ) フラグメントが次々に合成される。

解答群A

- | | |
|-----------------|-----------------|
| ⑩ 全保存的複製 | ⑪ 分散的複製 |
| ⑫ 集中的複製 | ⑫ メセルソン |
| ⑬ スタール | ⑬ クリック |
| ⑭ プロモーター | ⑭ メンデル |
| ⑮ 半保存的複製 | ⑮ 山 崎 |
| ⑯ 岡 田 | ⑯ 藤 崎 |
| ⑰ 岡 崎 | ⑰ スプライシング |
| ⑱ リーディング | ⑱ アンテナペディア |
| ⑲ ラギング | ⑲ 5' 末端から 3' 末端 |
| ⑳ 1' 末端から 3' 末端 | ⑳ 3' 末端から 5' 末端 |

(2) 以下の文を読んで設問(A), (B), (C), (D)に答えなさい。

ほ乳類の DNA 複製反応のメカニズムを解明するために、培養細胞を用いてさまざまな実験が行われた。

マウスの乳がん由来する A 細胞を用いてさまざまな実験をおこなった。A 細胞の染色体数はマウスの正常細胞と同一であり、全ての遺伝子が父親由来のものと母親由来のものがそれぞれ一つずつ存在するものとする。この細胞の特徴としては、細胞の増殖速度が速いことと増殖できる温度の範囲が広いことがあげられる。実際、A 細胞は 33℃ でも 39℃ でもよく増殖する。A 細胞は雌のマウスに由来しているため、X 染色体は 2 本ある。一般に、雌の細胞では X 染色体が 2 本あるが、そのうちの 1 本においては遺伝子発現が恒常的に抑制されていることが知られている。この細胞を用いて 1)～4) の実験を行った。

1) A 細胞を用いて以下の実験を行った。よく増殖している細胞をスライドグラスに固定して、DNA がよく染まる色素で染色して観察してみたところ、細胞分裂を行っている分裂期の細胞は DNA が凝集しているため容易に識別できた。この細胞を 33℃ で培養した場合と 39℃ で培養した場合とで 1000 個の細胞あたりの細胞分裂をおこなっている細胞の個数を数えた結果を表 1 に示した。異なるサンプルについて 5 回の測定を行った。

表 1 分裂期の細胞数

培養温度	細胞 1000 個あたりの分裂期細胞の数
33℃	61, 64, 65, 63, 62
39℃	76, 74, 77, 78, 80

2) 細胞分裂を終えようとしている細胞は、二つの細胞が連結したような形をしているため容易に識別できる。細胞分裂を終えた細胞を継続的に観察して次の細胞分裂が始まるまでに何時間かかるかを調べてみた。観察を5個の細胞について行い、その時間を表2に示した。

表2 細胞分裂終了時から次の細胞分裂が始まるまでの時間

培養温度	細胞分裂終了から次の細胞分裂が始まるまでの時間					
33℃	15.0	14.5	15.1	15.5	14.9	(時間)
39℃	12.0	11.8	11.7	12.3	12.2	(時間)

3) ヌクレオチドは糖、リン酸基、塩基から構成される。ヌクレオチドからリン酸基が取り除かれたものはヌクレオシドとよばれる。ヌクレオチドは培地に加えても細胞内にほとんど取り込まれないが、ヌクレオシドは、細胞を培養している培地に加えると効率良く細胞に取り込まれることが知られている。塩基としてチミンを含むヌクレオシドはチミジンと呼ばれる。チミジンを構成する水素原子をトリチウムで置換した「トリチウム標識チミジン」は生物学の実験でよく用いられる。トリチウムは放射線を出す性質がある放射性同位元素であり、 ^3H と表記される。トリチウム標識チミジン(^3H -チミジン)を細胞の培地に加えると、細胞内に効率良く取り込まれ、DNA合成反応の基質になり、その結果DNAが ^3H で標識される。DNAが ^3H 標識された細胞は、細胞をスライドグラスに固定した後に、 ^3H からの放射線を特殊な装置を用いて検出することで容易に識別することができる。

チミジンを含まない培養液に ^3H -チミジンを加えてから5分後に培養液を交換した。交換した培養液には、細胞の増殖に影響を与えない濃度の非標識チミジンを加え、DNAの標識が5分間のみで行われるようにした。この5分間でDNA合成を行っている細胞のDNAは効率良く標識される。培地を交換して培養を再開した時点をも0時間とした。 ^3H -チミジンで標識された細胞内の部位を詳細に観察した。⁽¹⁾

この実験を 33℃ と 39℃ の二つの条件で行い、培養再開後 1 時間の時点で ^3H -チミジンを取り込んだ細胞の割合を上記の方法で調べて、5 回の実験結果を表 3 に示した。

表 3 細胞 1000 個あたりの ^3H -チミジンを取り込んだ細胞の個数

培養温度	^3H -チミジンを取り込んだ細胞の個数				
33℃	311	313	315	314	312
39℃	311	305	307	308	309

4) 培養再開後 1 時間の時点では ^3H -チミジンを核に取り込んだ細胞の中に細胞分裂を行っている細胞は観察されなかったが、さらに培養を続けてみたところ 33℃ では培養を再開してから 3 時間後に、39℃ でも培養を再開してから 3 時間後になると、 ^3H -チミジンを核に取り込んだ細胞の中から細胞分裂期に入る細胞が観察されるようになった。

(A) 下線部(1)について ^3H で標識されたチミジンが取り込まれる核以外の細胞小器官を選び最も適当なものを解答群 B から選び解答用マークシートにマークしなさい。

解答群 B

- | | | |
|--------|-----------|---------|
| ① ゴルジ体 | ① ミトコンドリア | ② リボソーム |
| ③ 中心体 | ④ 核 膜 | ⑤ 細胞質基質 |
| ⑥ 葉緑体 | | |

(B) 細胞分裂後から DNA 複製が始まるまでを G1 期, DNA 複製が行われる時期を S 期, DNA 複製が完了してから細胞分裂が始まるまでの時期を G2 期とよぶ。細胞分裂期を M 期とよぶ。細胞周期に関する以下の記述について正しいものには解答用マークシートの該当する欄の①を, 間違っているものには解答用マークシートの該当する欄の②をマークしなさい。どちらともいえないものについては③をマークしなさい。

(ア) DNA 合成は主として S 期に行われるが, G1 期にも染色体の中央部分の DNA 合成は行われているため, G1 期でも ^3H によって DNA は標識される。

(イ) S 期では DNA 量が倍加する。したがって, 父親由来の遺伝子と母親由来の遺伝子のどちらも二つずつ細胞内に存在することとなる。ただし, 雌由来の細胞では, X 染色体が 2 本存在するため, X 染色体は倍加しない。

(ウ) M 期では核膜が消失するとともに DNA が高度に凝縮していく。DNA が凝縮する際に重要な役割を担っているのはリボソームである。リボソームは RNA とタンパク質からできていることから, DNA とも結合しやすい性質を有している。

(エ) S 期では DNA 複製が行われるが, 真核生物のゲノムの複製開始点は染色体あたり 1 か所しかないと, 複製しなければならない DNA の量が原核生物よりも多いため, 細胞が倍加するための時間は真核生物の方が原核生物と比べて非常に長い。

(オ) 雌由来の細胞では X 染色体は 2 本存在するが, そのうち 1 本においては遺伝子発現が抑制されているものの, S 期では 2 本とも複製される。

- (C) 上記の実験の結果から以下の空欄を埋めるのに最も適した数字をマークしなさい。小数点以下については四捨五入すること。なお解答値が1桁の場合には、10の位に0をマークしなさい。

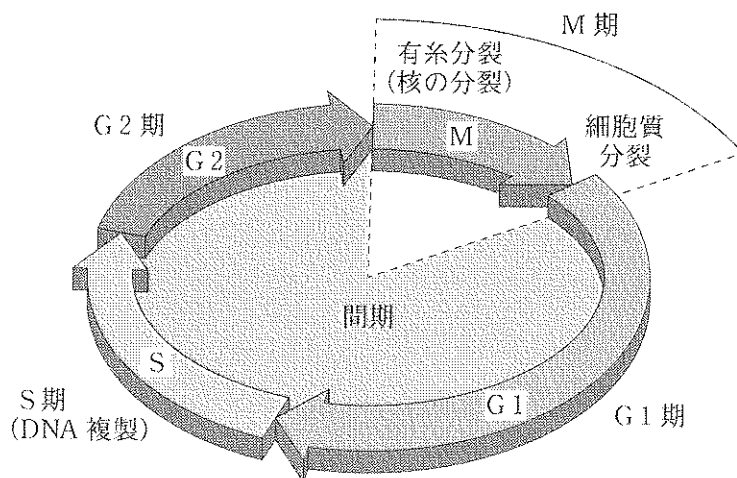


図1 細胞周期の模式図

A 細胞を 33℃ で培養した時の M 期の長さ

10 の位 1 の位
 時間

A 細胞を 39℃ で培養したときの M 期の長さ

10 の位 1 の位
 時間

A 細胞を 33 ℃ で培養したときの細胞周期の長さ

10 の位 1 の位

時間

A 細胞を 39 ℃ で培養したときの細胞周期の長さ

10 の位 1 の位

時間

A 細胞を 33 ℃ で培養したときの S 期の長さ

10 の位 1 の位

時間

A 細胞を 39 ℃ で培養したときの S 期の長さ

10 の位 1 の位

時間

次の 2 ページは白紙です。

(D) ほ乳類細胞の DNA 複製反応には、様々なタンパク質が関与している。

その中でも重要な機能をこなうものとして DNA ポリメラーゼをあげることができる。マウスでは DNA 複製に関与する DNA ポリメラーゼは 3 種類存在することが知られており、それぞれ α (アルファ)、 δ (デルタ)、 ϵ (イプシロン) と呼ばれている。

DNA 合成反応は細胞が増殖するためには必須のプロセスであるため、これらの DNA ポリメラーゼの欠失変異株を作製することは不可能である。このような場合には、ある特定の条件の時だけ機能を失うような変異株が作製される。例えば、ある種の温度感受性変異株は 33 °C では正常に増殖するものの 39 °C では増殖できない。A 細胞についても DNA ポリメラーゼ α の温度感受性変異株が作製されている。この変異株では 39 °C で培養すると DNA ポリメラーゼ α は速やかにその活性を失うが、再度、33 °C で培養を行うと、DNA ポリメラーゼ α は、その活性が速やかに回復した。この変異株を用いてさまざまな解析を行うことにより、DNA ポリメラーゼ α は、らせんが開かれていくのと同じ方向に合成される DNA 鎖と、それと逆方向に合成される DNA 鎖の両方で、DNA 合成に関与していることがわかった。らせんが開かれていくのと同じ方向に合成される DNA 鎖においては、最初に合成される部分の DNA 合成反応を行い、少し進むと他の DNA ポリメラーゼと置き換えられる。また、らせんが開かれていくのと逆の方向に合成される DNA 鎖では、もっぱら DNA ポリメラーゼ α が DNA 合成反応をおこなっていることがわかった。

DNA ポリメラーゼ α の温度感受性突然変異株を 39 °C で 16 時間培養し細胞内の DNA 量を調べたところ、図 2 ①の結果が得られた。また、33 °C で培養している温度感受性変異株に M 期の進行を阻害する薬物を加えて 16 時間培養してから同様に細胞内の DNA 量を調べてみたところ、図 2 ②のデータが得られた。M 期の進行を阻害する薬物を除いて 33 °C で 3 時間培養してから DNA 量を調べてみると図 2 ③のようになった。この細胞を 39 °C でさらに 10 時間培養すると個々の細胞の DNA 量の分布はどのようなものになるか。図 2 に示されたグラフの中から最も近いものを選び、解

答用マークシートにマークしなさい。また、図2に該当するものが存在しない場合には①にマークしなさい。なお図2④はこの変異株が33℃で増殖している時の細胞内DNA含量の分布を示している。

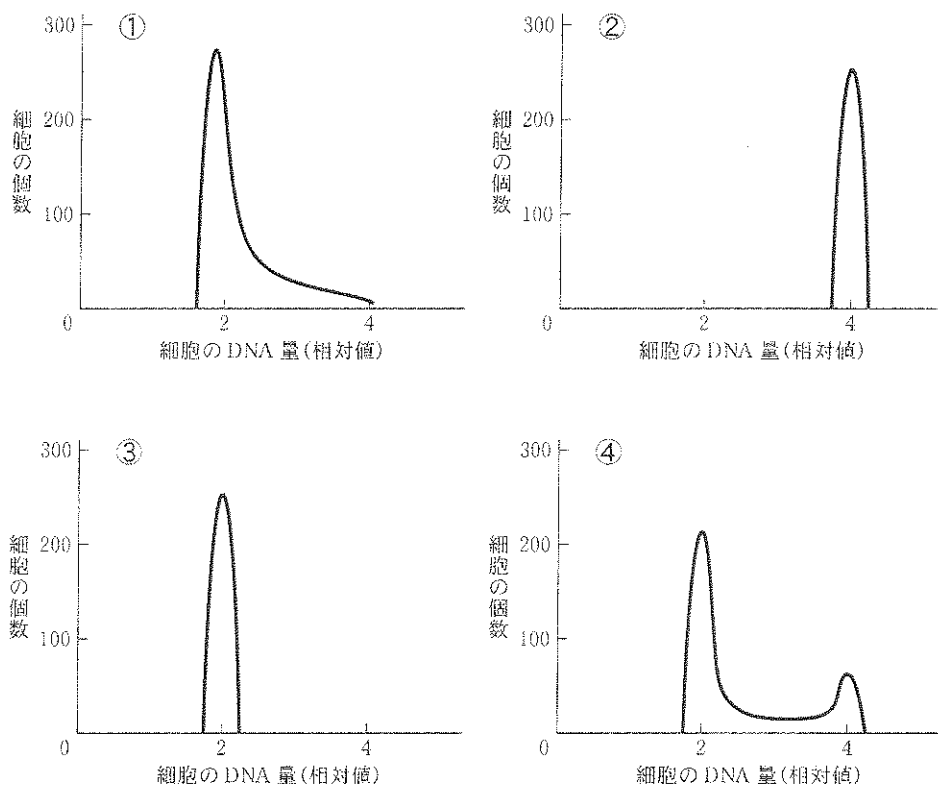


図2 細胞のDNA量の分析結果

横軸には細胞のDNA量の相対値を示した。

2

植物における物質の転流に関する以下の設問に答えなさい。

(35 点)

(1) ダイズやカキは (ア) 葉脈をもった葉が生じる。ダイズでは種子の貯蔵物質は (イ) に蓄えられる。一方、カキでは種子の貯蔵物質は (ウ) に蓄えられる。これらは発芽の際のエネルギー源として利用される。葉において光合成されて固定された炭水化物は維管束組織を介して全身に運ばれ、デンプンなどの貯蔵物質に変換される。

(a) 文中の (ア) から (ウ) に当てはまるもっとも適当な語句を解答群Aより選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。

解答群A

- | | | | |
|-------|-------|--------|--------|
| ① 胚 | ④ 子 葉 | ⑦ 葉 鞘 | ⑩ 網目状の |
| ② 平行な | ⑤ 胚 乳 | ⑧ 楕円形の | ⑪ 種 皮 |
| ③ 幼 根 | ⑥ 幼 葉 | | |

(b) ダイズの緑葉を採取し、葉の横断面の切片を作製して顕微鏡で観察したところ図1のような画像が得られた。図1に示す (エ) から (ク) の器官名としてもっとも適当なものを解答群Bより選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。なお、同じ番号を複数回選ぶことはできない。

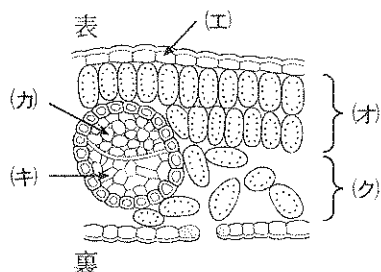


図1 緑葉の断面図

解答群 B

- | | | |
|---------|---------|--------|
| ① 液 胞 | ① 新皮質 | ② 表皮組織 |
| ③ さく状組織 | ④ 海綿状組織 | ⑤ 仮道管 |
| ⑥ 気 孔 | ⑦ 孔辺細胞 | ⑧ 胞 胚 |
| ⑨ 辺縁皮質 | ⑩ フズリナ | ⑪ 胚 軸 |
| ⑫ 紡錘組織 | ⑬ 真 皮 | ⑭ 肝小葉 |
| ⑮ 柔毛組織 | ⑯ 道 管 | ⑰ ストロボ |
| ⑱ フクシン | ⑲ 師 管 | |

(c) 道管の説明として述べられている以下の(あ)から(お)の文章に関して、正しいものは①を、正しくないものは②を、どちらともいえないものには③を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。

- (あ) 1つの維管束には複数の筒状の道管が含まれている。
- (い) 道管は、細胞小器官がなくなった死んだ細胞により構成されている。
- (う) 道管は植物体内へ無機塩類などの肥料成分を輸送する役割を担う。
- (え) 道管を流れる道管液は葉などの光合成組織から根などの非光合成組織に向けて流れる。
- (お) 根から吸い上げられた水は道管を通して葉に到達し、光合成などに使用される。

(2) 師部を構成する細胞は、一部の生理機能が残っている生細胞である。師管細胞は核を欠失しているが、リボソームを有するため必要最低限のタンパク質を作る能力を持っている。師管細胞の横には師管伴細胞(伴細胞)と呼ばれる細胞が寄り添うように存在している。師管細胞の生命活動は伴細胞との密接な関連によって維持されており、すべての師管細胞の細胞機能は伴細胞によりもたらされる。伴細胞の細胞質は、原形質連絡を介して師管細胞とつながっている。一般に、細胞間の原形質連絡は非常に狭く、無機物やアミノ酸、単糖などの低分子物質は通過できるが、ペプチドホルモンなどの一部の例外を除き、大きな分子は通り抜けることができない。一方、伴細胞と師管との間の原形質連絡は他の部位よりも太くなっており、これを経由してこれらの低分子物質に加えて低分子量のタンパク質なども移動していることがわかっている。また、伴細胞は師管細胞以外の細胞とアポプラストと呼ばれるすき間を経由して物質のやりとりをしている。伴細胞の細胞膜には物質(A)のトランスポーター(輸送担体)が多く存在する。光合成によって生じた物質(A)は、アポプラストを経由して輸送され、トランスポーターを介して伴細胞の細胞内に取り込まれる。伴細胞の細胞膜には、このほかに多数の輸送担体やチャネル、ポンプの機能を有するタンパク質が存在する。

(a) 師管に含まれる溶液(師管液)は特殊な方法を用いて採取することができる。発芽後3週間目のイネの緑葉から師管液を採取して、その成分を調べたところ、表1のような結果が得られた。物質(A)に関して、もっとも適当な物質名を解答群Cより選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。

表1 師管液の組成(主なもののみを示す)

物質名	濃度(g/L)
物質(A)	73.98
アスパラギン酸	2.58
スレオニン	0.64
セリン	1.30
グルタミン酸	2.30
グルタミン	2.77
アルギニン	0.71
カリウム	5.74

解答群C

- | | | |
|----------|---------|---------|
| ① ガラクトース | ① スクロース | ② グルコース |
| ③ フルクトース | ④ デンプン | ⑤ マンノース |
| ⑥ リボース | ⑦ マルトース | ⑧ エタノール |
| ⑨ ラクトース | | |

(b) 師管および伴細胞の説明として述べられている以下の(あ)から(か)の文章に関して、正しいものは①を、正しくないものは②を、どちらともいえないものには③を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。

(あ) 師管は、一層の細胞に囲まれる管を形成し逆流を防ぐための弁が存在する。

(い) 師管液は根から葉などの光合成組織に向けて流れる。

(う) 根から吸収した無機塩類などは主に師管を介して植物体内へ供給される。

(え) 物質(A)のアポプラストから伴細胞への取り込みは、細胞内外の物質(A)の濃度差にかかわらず、能動的に行われる。

(お) 伴細胞から師管への物質(A)の移送は主に原形質連絡を介して行われる。

(か) チャネルを介した伴細胞への無機塩類の取り込みはエネルギーを消費する能動輸送によって行われる。

- (3) イネの師管液に微量に含まれる物質について詳しい分析を行ったところ、少量ではあるが、表 1 に示す物質に加えて、ATP などのヌクレオチド、さまざまな種類のタンパク質(ペプチド)や植物ホルモン、アミノ酸や有機酸などが検出された。また、mRNA などの RNA も見つかった。師管液から見つかった mRNA の 1 つに対応する遺伝子(遺伝子 Z)は図 2 に示すような構造を持っていた。この遺伝子には 276 塩基からなるイントロンが含まれていた。また、この遺伝子は伴細胞のみで発現(転写)が起こっていた。一方、遺伝子 Z に対応する mRNA から翻訳されたタンパク質(タンパク質 Z)は植物体の葉脈から調製した細胞抽出物に含まれていた。

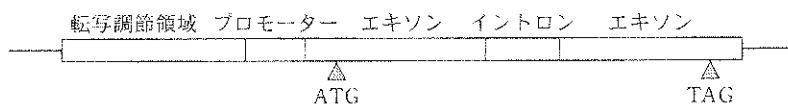


図 2 遺伝子 Z の構造

- (a) 遺伝子 Z の mRNA には開始コドン(ATG)の始まりから終止コドン(TAG)の終わりまで 1074 塩基の大きさであった。このことから、タンパク質 Z は

100 の位	10 の位	1 の位	
ア	イ	ウ	アミノ酸残基

からなるタンパク質をコードしていることになる。

上記の

ア

 から

ウ

 に当てはまるもっとも適当な数を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。なお、数値が 2 桁の場合は 100 の位に㊦を、1 桁の場合は 100 の位と 10 の位に㊦をマークしなさい。

- (b) 遺伝子 Z を取り出し、図 2 に示す TAG を TATG に取り替え、このすぐ後の連続する部位に緑色蛍光タンパク質(GFP)をコードする塩基配列を結合した。この遺伝子をイネに導入し形質転換植物を得た。この形質転換植物に紫外線を当てたときに現れる表現型に関する記述のうち、正しいと思われるものを解答群 D から選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。なお、GFP はおよそ 270 アミノ酸残基からなるタンパク質であり、緑色の蛍光を発する。

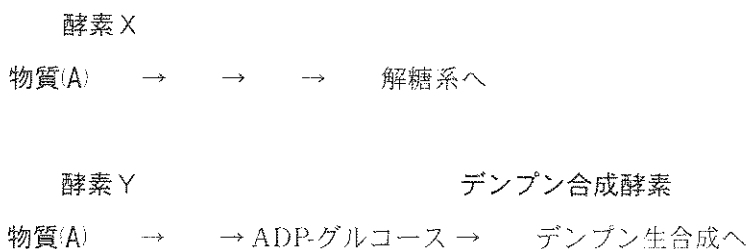
(c) 遺伝子 Z の転写調節領域とプロモーターを切り出し、この後に緑色蛍光タンパク質 (GFP) をコードする塩基配列を結合した。この遺伝子をイネに導入し形質転換植物を得た。この形質転換植物に紫外線を当てたときに現れる表現型に関する記述のうち、正しいと思われるものを解答群 D から選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。

(d) 遺伝子 Z に含まれる開始コドン ATG の近傍の塩基配列は ATGGAACGTTTA であった。この塩基配列が突然変異により ATGGAACGTTAA に変化した。この変異の結果、この突然変異体ではタンパク質 Z ができなくなった。次に、この変異型遺伝子 Z の転写調節領域とプロモーターを切り出し、この後に緑色蛍光タンパク質 (GFP) をコードする塩基配列を結合した。この遺伝子をイネに導入し形質転換植物を得た。この形質転換植物に紫外線を当てたときに現れる表現型に関する記述のうち、正しいと思われるものを解答群 D から選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。

解答群 D

- ① 植物体全体の伴細胞と師管で GFP が発する緑色の蛍光が生じる
- ② 植物体全体の師管のみで GFP が発する緑色の蛍光が生じる
- ③ 植物体全体の伴細胞のみで GFP が発する緑色の蛍光が生じる
- ④ 緑葉の伴細胞と師管のみで GFP が発する緑色の蛍光が生じる
- ⑤ 緑葉の師管のみで GFP が発する緑色の蛍光が生じる
- ⑥ 緑葉の伴細胞のみで GFP が発する緑色の蛍光が生じる
- ⑦ いずれの組織でも GFP が発する緑色の蛍光が生じない

- (4) 短日植物であるイネは多くの品種の植物体で8月下旬から9月に出穂し、花が咲く。イネは開花とほぼ同時に自家受粉し、これにより種子の発生が始まる。種子の発生開始から完熟するまでの過程を登熟(とうじゅく)過程という。登熟過程では、転流されてきた様々な物質を利用して、胚乳において種子の貯蔵物質が生合成されて蓄積される。師管液から供給された物質(A)は主に以下の2つの経路により代謝される。



酵素 X は二糖類である物質(A)を加水分解し、その結果、物質(B)とフルクトースの2種類の糖が生じる。通常、これらの物質は解糖系によりすみやかに代謝され、貯蔵デンプン生合成のためのエネルギー供給に利用される。一方、酵素 Y は物質(A)を代謝してフルクトースと物質(C)が生じる。物質(C)はすみやかに代謝されてADP-グルコースの生合成にいたる一連の酵素反応に関与する。ADP-グルコースはグルコースにADPが結合した化合物であり、デンプン合成酵素によるデンプン生合成の基質となる。ところで、酵素 Y の機能を喪失した変異体イネでは貯蔵デンプンが蓄積されず、種子は水分で満たされた袋状の形態となることがわかっている。酵素 Y の遺伝子はすでに構造がわかっており、この遺伝子は登熟過程の種子に特異的な発現をすることが明らかになっている。

- (a) 酵素Y遺伝子の塩基配列をもとに、この遺伝子から転写された mRNA に対して RNA 干渉(RNAi)をもたらす人工的な DNA を作製した。この DNA を酵素Y遺伝子の制御領域とプロモーターの後に結合し RNAi 遺伝子を作製した。これをイネに導入して形質転換植物Dを得た。この形質転換植物Dに関する記述として正しいと思われるものを解答群Eより選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。.

解答群E

- ① 貯蔵デンプンが大きく減少する(ほとんど蓄積されなくなる)
- ② 種子に限らず植物体全体に貯蔵デンプンが蓄積するようになる
- ③ 種子の貯蔵デンプンの生合成量はほとんど変化しない
- ④ 種子の貯蔵デンプンの生合成量が大きく増加する

- (b) イネの師管液に含まれる物質(A)の濃度は、植物の生育段階により大きく変化する。野生型(非形質転換体)と形質転換植物Dのイネを用いて、さまざまな生育段階で師管液を採取して分析をおこなった。その結果、図3のような結果が得られた。

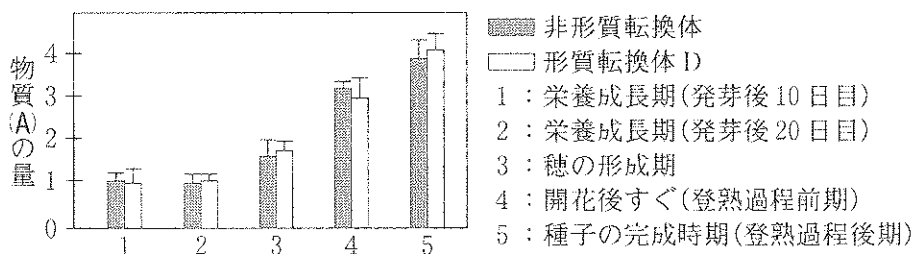


図3 イネの生育段階ごとに調べた師管液に含まれる物質(A)の濃度
物質(A)の濃度は複数回測定し、その平均値を相対的な値で示している。図中のTは測定されて得られた数値の幅を示す。

この結果からいえることは何であろうか。以下の(あ)から(か)の文章に関して、正しいものは①を、正しくないものは②を、どちらともいえないものには③を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。

- (あ) 野生型植物では、師管液に含まれている物質(A)の量は穂の形成時期から増加し、種子の登熟過程を通じて増加し続ける。
- (い) 師管液に含まれている物質(A)の量は種子の貯蔵デンプンの生合成量(蓄積量)の増加に応じて増加する。
- (う) 伴細胞から師管液に送り込まれる物質(A)の量はほぼ一定に保たれている。
- (え) 師管液の物質(A)の量はデンプン生合成が始まると増加し、終了すると減少する。
- (お) 師管液の物質(A)の量は穂の形成時期から徐々に増加するが、登熟過程の種子での物質(A)の需要量に依存しない。
- (か) 師管液の物質(A)の量を増加させるための主要因子は登熟過程の種子での需要量であり、物質(A)の量はこの量に大きく依存する。

- (c) 形質転換植物Dの種子に含まれる物質(A)、物質(B)、物質(C)、フルクトースの量に関して、非形質転換植物に対する変化として最も正しいと思われるものを解答群Fから選び、解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。

解答群F

- ① 物質(A)だけが増加する(他はほとんど変化がない)。
- ① 物質(A)だけが減少する(他はほとんど変化がない)。
- ② 物質(A)と物質(C)が減少し、物質(B)とフルクトースが増加する。
- ③ 物質(A)と物質(B)が減少し、物質(C)とフルクトースが増加する。
- ④ 物質(A)、物質(B)、フルクトースが増加し、物質(C)はほとんど変化しない。
- ⑤ 物質(B)とフルクトースが増加し、物質(A)が減少し、物質(C)はほとんど変化しない。
- ⑥ 物質(A)はほとんど変化せず、物質(B)とフルクトースが増加し、物質(C)が減少する。
- ⑦ 物質(A)、物質(B)、フルクトースにほとんど変化はなく、物質(C)が減少する。
- ⑧ 物質(A)、物質(B)にほとんど変化はなく、フルクトースと物質(C)が減少する。
- ⑨ いずれの物質もほとんど変化しない。

右のページは白紙です。

3 動物細胞と遺伝子及び免疫応答に関する以下の設問に答えなさい。(32 点)

- (1) 異なる人の血液を混ぜ合わせると、赤血球が互いに接着して小さな固まりができる場合があり、これを赤血球の凝集という。このような現象の理由として代表的なものが ABO 式血液型である。すなわち、ヒトの血液の血しょう中に凝集素と呼ばれる抗体が存在し、これが赤血球表面にある凝集原と呼ばれる抗原と反応することで起こる。凝集原は赤血球表面に発現する糖鎖であり、図 1 に示すように、A 型と B 型の糖鎖は、その末端の糖鎖構造が異なる。A 型のヒトは *N*-アセチルガラクトースアミンを付加する転移酵素のコード遺伝子(遺伝子 A)を持ち、B 型のヒトは同じ位置にガラクトースを付加する糖転移酵素のコード遺伝子(遺伝子 B)を持つ。O 型のヒトは *N*-アセチルガラクトースアミンもガラクトースも付加しない H 抗原を発現している。

ABO 式血液型では、A 型、B 型、O 型、AB 型の 4 種類が存在する。A 型の形質をもたらす遺伝子と B 型の形質をもたらす遺伝子は、相互に ア の関係にある。ABO 式血液型の場合、表現型は A 型、B 型、O 型、AB 型の 4 種類であり、ア 遺伝子は イ 種類である。ABO 式血液型遺伝子はメンデルの法則に従っており、「ウ」という関係があるため、表現型 A 型、B 型、O 型、AB 型の遺伝子型は、それぞれ エ 通り、オ 通り、カ 通り、キ 通り存在する。

A 型糖鎖を細胞表面に持たない人にとって、A 抗原は異物であるため、A 抗原に対する抗体が作られる。⁽ⁱ⁾ A 抗原に対する抗体を血液中に持つヒト(輸血を受ける人をレシピエントと呼ぶ)に A 型の赤血球を輸血すると、レシピエントの血液中にある抗 A 型抗体が輸血された A 型赤血球の A 抗原と結合し、それがきっかけとなって免疫反応が起こり、赤血球凝集や溶血、発熱などの症状が出る。従って、原則として異なる血液型の赤血球を輸血することはしない。

試験管内でも、抗 A 抗体と抗 B 抗体は、それぞれ A 抗原と B 抗原に反応し、赤血球を凝集する。この性質は血液型の判定に利用されている。なお、実際には ABO 型遺伝子には様々な一塩基多型(SNP)が存在するが、ここでは多型の影響は無視する。

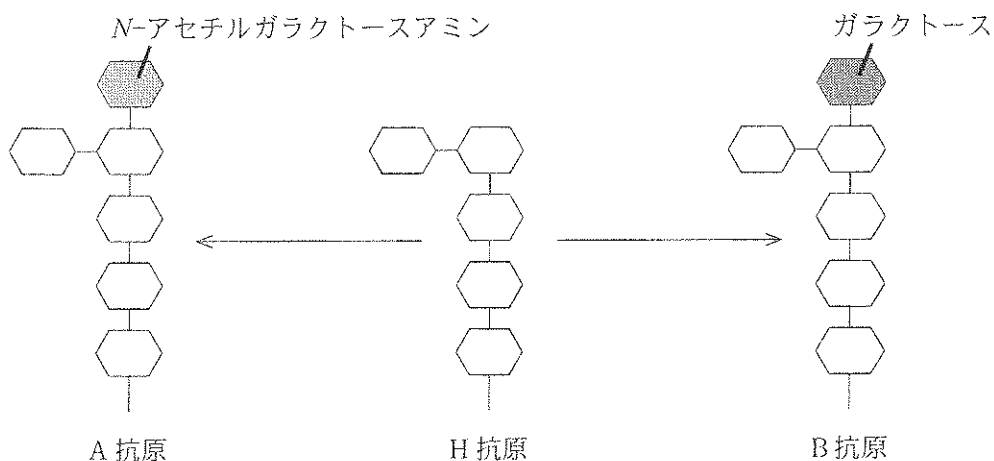


図1 糖鎖構造の模式図

- (a) 上の文章の ア の空欄を埋めるのに最も適切な語句を解答群Aより選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。

解答群A

- | | | |
|------|------|--------|
| ① 対立 | ① 抑制 | ② 連鎖 |
| ③ 劣性 | ④ 独立 | ⑤ 突然変異 |

- (b) 上の文章の イ エ オ カ キ にあてはまる最も適切な数字を解答用マークシートに指定された欄にマークしなさい。なお、解答は1桁の整数とする。

- (c) 上の文章の ウ に入る記述として正しいものを解答群Bより選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。

解答群 B

- ① A, B, O, AB の形質間に優劣関係がない。
- ① 遺伝子 A と遺伝子 B が共に優性遺伝子で、この両者に優劣関係はないが、遺伝子 O は遺伝子 A に対しても遺伝子 B に対しても劣性である。
- ② 遺伝子 A と遺伝子 B と遺伝子 O が共に優性遺伝子で、この三者に優劣関係はないが、遺伝子 AB は遺伝子 A に対しても遺伝子 B に対しても遺伝子 O に対しても劣性である。
- ③ 遺伝子 A, 遺伝子 B, 遺伝子 O の間に優劣関係がない。

(d) 下線部(i)の人の血液型として正しい組み合わせを解答群 C の中から選び、解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。

解答群 C

- | | | |
|--------------|-------------|--------------|
| ① O | ① A | ② B |
| ③ AB | ④ O と A | ⑤ O と B |
| ⑥ A と AB | ⑦ O と A と B | ⑧ O と B と AB |
| ⑨ O と A と AB | | |

(e) 遺伝子 A はタンパク質(酵素)をコードする 1065 塩基からなる領域をもち、O 型遺伝子(遺伝子 O)は遺伝子 A の 261 番目の塩基 G を欠失している。この欠損により生じる読み枠のずれのため、本来の終止コドンより上流(開始コドン寄り)に終止コドンが出現することになり翻訳されるタンパク質は酵素活性を持たない。そのため O 型のヒトは A 抗原も B 抗原も発現せず、H 抗原のみをもつ。O 型遺伝子と A 型遺伝子の塩基配列の一部とそれに相当する酵素のアミノ酸配列を以下に示す。O 型遺伝子は A 型遺伝子と似た配列であるが、G で示した 1 つの塩基が欠損している。下線部の O 型のアミノ酸配列として正しいものを解答群 D より選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。なお、コドン表(遺伝暗号表)を図 2 に示す。

A 型塩基配列

5'----GTGGT**G**ACCCCTTGGCTGGC----3'

A 型アミノ酸配列

-Val-Val-Thr-Pro-Trp-Leu-

解答群D

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| ① -Val-Val-(終止) | ② -Val-Val-Pro-Leu-Ala-Gly- |
| ③ -Val-Thr-Pro-Trp-Leu- | ④ -Val-Val-Thr-Pro-Trp-Leu- |
| ⑤ -Val-Val-Asp-Pro-Trp-Leu- | ⑥ -Trp-(終止) |
| ⑦ -Trp-Tyr-Pro-Trp-Leu- | ⑧ -Val-Val-Pro-Leu-Gly-Trp- |
| ⑨ -Trp-Tyr-Pro-Leu-Ala-Gly- | |

		コドンの2番目の塩基					
		U	C	A	G		
コドンの1番目の塩基	U	UUU フェニルアラニン (Phe)	UCU セリン (Ser)	UAU チロシン (Tyr)	UGU システイン (Cys)	U	コドンの3番目の塩基
		UUC	UCC	UAC	UGC	C	
		UUA ロイシン (Leu)	UCA	UAA 終止コドン	UGA 終止コドン	A	
		UUG	UCG	UAG	UGG トリプトファン (Trp)	G	
	C	CUU ロイシン (Leu)	CCU プロリン (Pro)	CAU ヒスチジン (His)	CGU アルギニン (Arg)	U	
		CUC	CCC	CAC	CGC	C	
		CUA	CCA	CAA グルタミン (Gln)	CGA	A	
		CUG	CCG	CAG	CGG	G	
	A	AUU イソロイシン (Ile)	ACU トレオニン (Thr)	AAU アスパラギン (Asn)	AGU セリン (Ser)	U	
		AUC	ACC	AAC	AGC	C	
		AUA	ACA	AAA リシン (リジン) (Lys)	AGA アルギニン (Arg)	A	
		AUG 開始コドン メチオニン (Met)	ACG	AAG	AGG	G	
	G	GUU バリン (Val)	GCU アラニン (Ala)	GAU アスパラギン酸 (Asp)	GGU グリシン (Gly)	U	
		GUC	GCC	GAC	GCC	C	
		GUA	GCA	GAA グルタミン酸 (Glu)	GGA	A	
		GUG	GCG	GAG	GGG	G	

図2 コドンに対応するアミノ酸および略号(アルファベット3文字)表記

(f) 緑色蛍光タンパク質(GFP)の遺伝子の後に A, B, O 型の各遺伝子を連結して、GFP との融合タンパク質として発現する発現用プラスミドベクターをそれぞれ作製した。これらのプラスミドを HeLa 細胞(ヒト子宮頸がん由来細胞株、血液型 O 型の人から樹立)に導入して発現させた。遺伝子を導入した細胞を界面活性剤などを含む溶解液を用いて溶かし、DNA の場合のように電気泳動装置を用いて細胞溶解物に含まれるタンパク質の泳動を行った。これにより、タンパク質を分子量の大きさによって分離することができた。続いて、ゲルと同じ大きさのニトロセルロース膜をゲルに重ね合わせ、特殊な装置を用いてゲル内のタンパク質を膜に吸着させた。最後に、この膜に対して、GFP だけに特異的に結合性を有する抗体(抗 GFP 抗体)を用いて GFP 融合タンパク質を検出した。その結果、図 3 にあらわしたように GFP および GFP 融合タンパク質はニトロセルロース膜上に黒いバンドとして検出された。GFP と O 型遺伝子産物を融合タンパク質として発現させた場合、予想される結果を解答用紙の図に描きなさい。

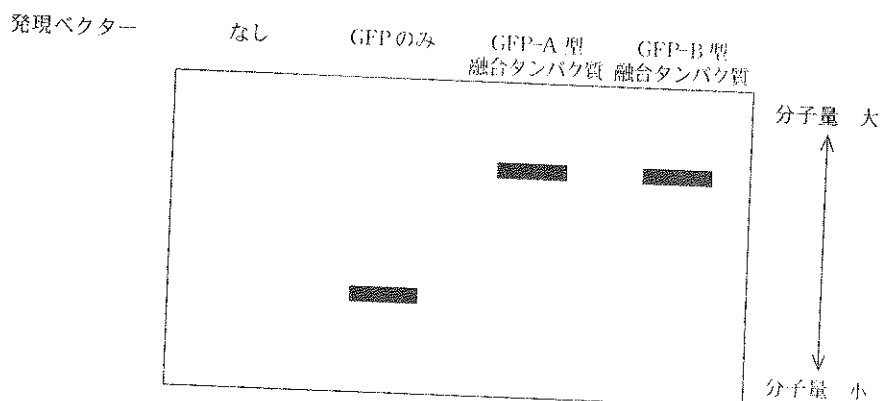


図3 抗体による検出の様子。抗体が結合する分子は黒いバンドとして検出される。

(g) 実際の医療現場では異なる血液型の血液を輸血することはしないが、抗 A 抗体、抗 B 抗体の特異性の点から輸血可能な組み合わせがある。下に示す (ア)~(ウ)の中で、凝集素による凝集反応が起こらないものには①を、凝集反応が起こるため輸血不可能なものには②を選び、解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。

- (ア) O 型のレシピエントに A 型の赤血球を輸血
- (イ) AB 型のレシピエントに O 型の赤血球を輸血
- (ウ) AB 型のレシピエントに B 型の赤血球を輸血

(h) X さん, Y さん, Z さんの 3 人の赤血球について, 抗 A 抗体, 抗 B 抗体, 抗 H 抗体を用意して血液型判定のための赤血球凝集反応の実験を行ったところ(ア)~(ウ)の結果が得られた。それぞれの結果から判定される X さん, Y さん, Z さんの血液型として正しいものを解答群 E から選び, 解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。なお, H 抗原は全ての血液型のヒトの赤血球に発現している。

(ア) X さんの結果

- 抗 A 抗体による凝集なし
- 抗 B 抗体による凝集なし
- 抗 H 抗体による凝集あり

(イ) Y さんの結果

- 抗 A 抗体による凝集あり
- 抗 B 抗体による凝集なし
- 抗 H 抗体についてデータなし

(ウ) Z さんの結果

- 抗 A 抗体による凝集あり
- 抗 B 抗体による凝集あり
- 抗 H 抗体による凝集あり

解答群 E

- ① A 型 ② B 型 ③ AB 型 ④ O 型
- ⑤ 得られた結果だけでは, いずれとも判定できない

(2) ABO 式血液型以外に、医学的に重要な血液型分類として Rh 型がある。Rh 型には Rh+ と Rh- の 2 種類の表現型があり、Rh 因子に対する抗体で凝集する赤血球が Rh+ 型、凝集反応が起こらない赤血球が Rh- 型である。日本人では、Rh- 型の形質を持つヒトの割合が極端に少ないが、ABO 式血液型と同様に抗 Rh 因子抗体が免疫応答を引き起こすので、輸血時や妊娠時に判定が必要な血液型である。Rh- 型の母親が Rh+ の第 1 子を出産した後、Rh+ の第 2 子を妊娠した場合、⁽ⁱⁱ⁾血液型不適合と呼ばれる反応によって胎児の溶血や血液凝集が起こる危険性がある。

(a) Rh の表現型は、遺伝子が Rh+/Rh+ のホモ接合体の場合と、Rh+/Rh- のヘテロ接合体の場合はいずれも Rh+ であり、Rh-/Rh- ホモ接合体の場合のみ Rh- となる。Rh- の表現型が人口の 0.49 % だった場合、Rh- の遺伝子を持ちながら Rh+ の表現型を示すヒトの割合は人口の何%であるか。解答は有効数字が 2 桁になるように計算し、最も適切な数字を解答群 F より選び、その番号を解答用マークシートに指定された欄にマークしなさい。なお、この集団において、遺伝子 Rh+ と遺伝子 Rh- はハーディー・ワインベルグの法則に従い、遺伝子平衡に達しているとみなすことができる。

解答群 F

- | | | |
|---------|---------|---------|
| ① 0.3 % | ④ 0.5 % | ⑦ 0.7 % |
| ③ 1.0 % | ⑤ 1.3 % | ⑧ 2.0 % |
| ⑥ 6.5 % | ⑦ 10 % | ⑧ 13 % |
| ⑨ 20 % | | |

右のページは白紙です。

(b) 下線部(ii)に示すように、ある抗原が初めて体内に侵入した場合と、同じ抗原が2回目に侵入した場合では、異なる免疫応答が引き起こされる。これは免疫記憶をもたらすことに由来し、ワクチン接種の際に観察される現象である。このような免疫記憶に関する以下の記述のうち、正しいものは①を、誤りを含むものは②を、どちらとも言えないものは③を選び、解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。

(ア) 抗体産生細胞は記憶細胞となるが、T細胞は記憶細胞とはならない。

(イ) 生体内に侵入した抗原を取り込んだマクロファージや樹状細胞は記憶細胞となる。

(ウ) 生まれつき胸腺を持たないマウスでは、この現象はみられない。

(エ) A系統のマウスの皮膚をB系統のマウスに移植すると移植片は一時的に生着するが、やがて脱落する。この移植を経験したB系統のマウスにもう一度A系統のマウスの皮膚を移植すると、一回目より短時間で移植片は脱落する。

(オ) 抗体産生細胞は遺伝子の再編成を経ているため、生まれもった遺伝子の一部を欠損している。

(c) 血液型不適合のように、生体内に産生された抗体が過剰な免疫応答を引き起こす現象は、アレルギー疾患においても見られる。アレルギーの場合、アレルギーの原因となる抗原(アレルゲン)に対し、形質細胞が特定のタイプの抗体(IgE抗体と呼ばれる)を産生し、この抗体に対する受容体を発現しているマスト細胞が活性化されることによってヒスタミンが放出され、かゆみやくしゃみなどをもたらすアレルギー反応が起こる。以下の実験1の結果から、この時のアレルギー反応に関する以下の記述のうち、正しいものは①を、誤りを含むものは②を、どちらとも言えない場合は③を選び、解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい。

実験 1

1921 年にドイツのブラウスニッツ(P)とキュストナー(K)がアレルギー反応に関する以下のような実験を行った。サバを食べると発疹ができる K さんの血液を遠心分離し、K さんの血清を用意した。P さんはサバを食べても発疹ができない。P さんの皮膚に、K さんから採取した血清を注射した。K さんの血清を注射した P さんの皮膚の同じ位置に、翌日サバの抽出液を注射したところアレルギー反応による発疹が現れた。K さんの血清を注射せずにサバの抽出物を P さんの皮膚に注射した場合や、P さんの皮膚に K さんの血清を注射しながらサバの抽出物を注射しなかった場合には、いずれも発疹はできなかった。

- (ア) この実験から、K さんのマスト細胞はヒスタミンを放出するが、P さんのマスト細胞はヒスタミンを放出しないことが示された。
 - (イ) この実験では、P さんのマスト細胞に K さんの IgE 抗体は結合しなかった。
 - (ウ) この実験では、K さんから採取した血清に IgE 抗体が含まれていなかった。
 - (エ) この実験では、P さんのマスト細胞に結合した K さんの IgE 抗体がサバのアレルゲンと結合した。
- (d) 実験 1 と同様に K さんの血清を用意した後、K さんの血清を煮沸してから P さんの皮膚に注射したところ、実験 1 で皮膚に発疹が見られたのと同じ条件でも、発疹が現れなかった。このことから、どのようなことが推察されるか、解答用紙に 30 字以内で説明しなさい。

