

令和 7 年 度

理 科

問 題 冊 子

生 物

第1問 ヒトの生体内におけるグルコースの吸収に関する以下の文章を読み、各問に答えよ。

グルコースやフルクトースなどの糖を単糖と呼ぶのに対し、デンプンや(1)はグルコースが多数結合した構造をしているため(2)と呼ばれる。食事で摂取したデンプンや(1)は、まず唾液に含まれる酵素Xによりマルトースなどに部分的に分解され、最終的に単糖であるグルコースにまで分解される。グルコースは、小腸で吸収され血液中へと運ばれたのちに、主に体内のエネルギー源として使用される。血液中のグルコース濃度が低下した場合は、(3)にあるランゲルハンス島のA細胞から(4)というホルモンが分泌され、(5)の細胞内に蓄えられた(1)が分解されることで血液中のグルコース濃度を上昇させる。

問1 (1)～(5)に入る適切な語句と酵素Xの名称を答えよ。

問2 下線部(ア)に関する以下の2つの実験内容を読み、各問に答えよ。

＜実験1＞ 酵素Xの働きを調べるために、0.2%の可溶性デンプンを含む水溶液に対して、その体積の0.2%に相当する体積の唾液を加えて3分間反応させ、時間あたりに生成されるマルトースの量(反応速度)を測定した。図1はpH7の水溶液を用いて10℃～90℃で反応させたときの反応速度を、図2はpH4～pH10の水溶液を用いて37℃で反応させたときの反応速度を示している。

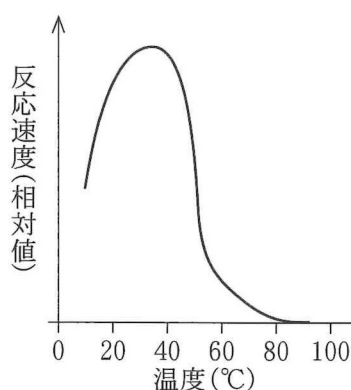


図1

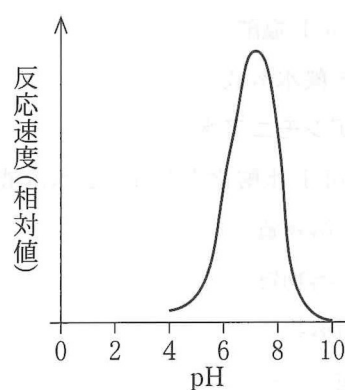


図2

- (1) 酵素の反応速度が最大になるときの温度とpHのことを何と呼ぶか答えよ。また、酵素Xの反応速度が最大になる温度とpHが図1および図2のようになることに、ヒトの体内でデンプンを消化するうえでどのような意味合いがあると考えられるか、具体的な温度とpHの数値に言及しつつ述べよ。

＜実験 2＞ 0.2 % の可溶性デンプンを含む pH 7 の水溶液に対して、その体積の 0.2 % に相当する体積の唾液を加え、30 ℃ で反応させた。このとき水溶液中のマルトース濃度を時間ごとに測定した(図 3)。さらに、同様の実験を、用いる可溶性デンプンや唾液の濃度、水溶液の pH、反応温度を、以下のⅠ～Ⅳのように変更して行った。ただし、それぞれ記載した変更点以外の反応条件は、図 3 で結果を示した実験と同じである。

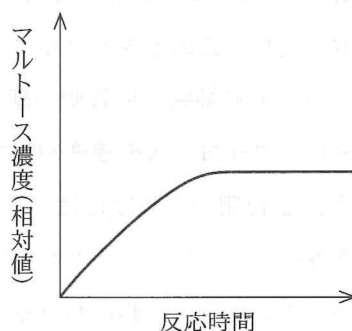
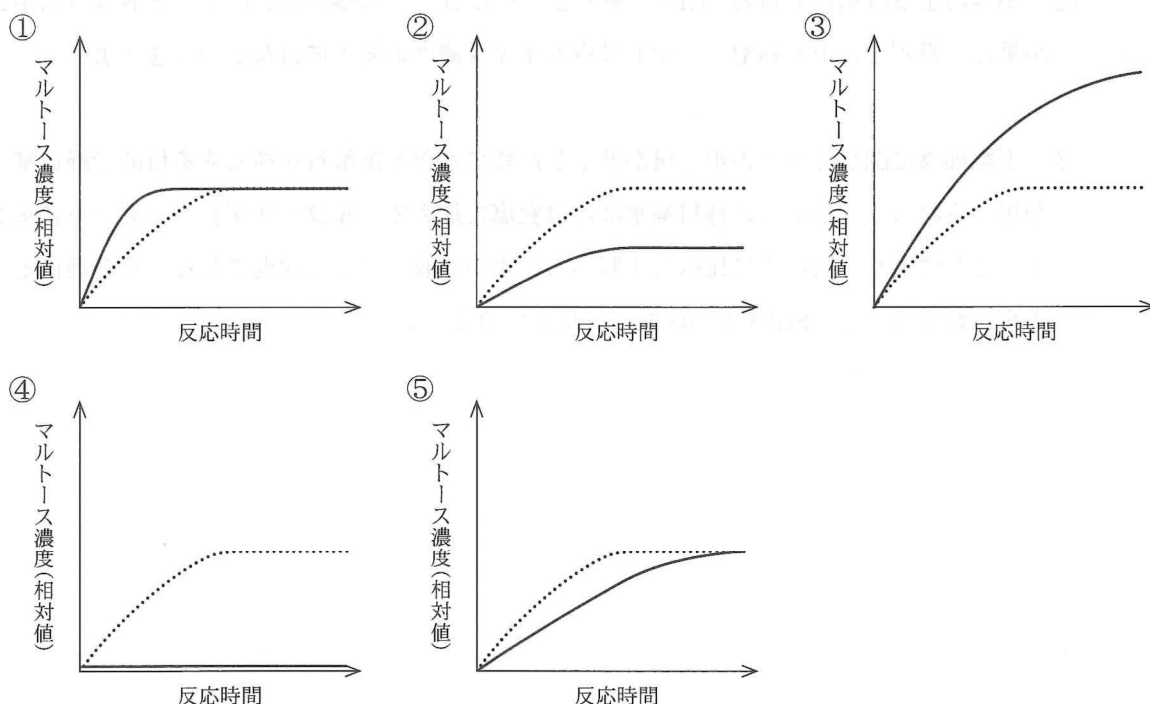


図 3

- Ⅰ — 可溶性デンプンの濃度を増加させた。
- Ⅱ — 水溶液に加える唾液の濃度を増加させた。
- Ⅲ — 水溶液の pH を pH 6 に変更した。
- Ⅳ — 反応温度を 90 ℃ に変更した。

(2) Ⅰ～Ⅳの条件下でマルトース濃度を測定したときの結果を示すグラフとして、最も適切なものを以下の①～⑤から 1 つずつ選び番号で答えよ。加えて、そのような結果となる理由を、反応速度とマルトース濃度の両者の変化に言及しつつ述べよ。ただし、同じ番号を複数回選択しても構わない。なお、点線は図 3 のグラフを示す。



問 3 下線部(イ)に関する以下の文章を読み、各問に答えよ。

小腸の内表面は、上皮細胞という一層の細胞で覆われている。食事により摂取したグルコースは、この上皮細胞の中を通過して消化管内から血管側へと輸送される。上皮細胞の消化管内側に面する細胞膜には、ナトリウム-グルコース共輸送体 1 (SGLT 1) というタンパク質が存在している。SGLT 1 は、ナトリウムイオンの濃度勾配を利用してナトリウムイオンとグルコースを同時に細胞内に取り込む。このときのグルコースの移動は、グルコース自身の濃度勾配には依存していない。一方、上皮細胞の血管側の細胞膜にはグルコース輸送体 (GLUT) というタンパク質が存在しており、グルコースの濃度勾配を利用して細胞内から細胞外へとグルコースを輸送している。また、血管側の細胞膜にはナトリウムポンプが存在しており、ATP のエネルギーを利用して細胞外へナトリウムイオンを排出するとともに、細胞内へカリウムイオンを取り込んでいる。なお、このような小腸におけるグルコースやナトリウムイオンの輸送の際には、これらの物質の移動に連動して水も消化管内から血管内へ輸送されと考えられている。
(ウ)

(1) 以下の①～④の物質輸送のうち、受動輸送であるものを全て選び、番号で答えよ。

- ① SGLT 1 によるグルコースの輸送
- ② GLUT によるグルコースの輸送
- ③ ナトリウムポンプによるナトリウムイオンの輸送
- ④ ナトリウムポンプによるカリウムイオンの輸送

(2) 小腸の上皮細胞における SGLT 1 を介したグルコースの輸送において、ナトリウムポンプが果たす役割を、上皮細胞内のナトリウムイオン濃度の変化に言及しつつ述べよ。

(3) 下線部(ウ)に関して、体の水分量が低下した時に水分と電解質を補給する目的で経口補水液が用いられることがある。経口補水液には食塩に加えてグルコースが数パーセント含まれるが、これにより、食塩水に比べて小腸からの水の吸収が著しく促進される。その理由として考えられることを、SGLT 1 の機能に言及しつつ述べよ。

問 4 以下の文章を読み、各問に答えよ。

血液中に取り込まれたグルコースの一部は、腎臓の腎小体まで運ばれる。腎小体では、グルコースに加えて血液中の様々な栄養素や老廃物、イオンなどが水とともに一度全てろ過され、原尿が作られる。原尿は、細尿管とそれに続く集合管を**通って**ぼうこうへと運ばれるが、この際に原尿に含まれる成分の多くが水とともに血液中へと再吸収され、残った物質だけが尿として体外に排出される。この再吸収の際にも、小腸と同様な仕組みで細尿管内から血管側へと上皮細胞を介したグルコースの輸送が行われる。この上皮細胞の細胞膜には、SGLT 1に加えて同様の働きを持つナトリウム-グルコース共輸送体 2 (SGLT 2) という輸送体が存在しており、腎臓におけるグルコース再吸収の約 90 % を SGLT 2 が担っている。

- (1) 下線部(エ)に関して、体内の水分量が減少したときに水の再吸収を促進するために分泌されるホルモンの名称と、そのホルモンが分泌される主要な内分泌腺の名称を答えよ。
- (2) 下線部(オ)に関して、SGLT 2 が存在しているのは、細尿管の管内側に面した細胞膜と血管側の細胞膜のどちらであると考えられるか、そのように考える理由とともに述べよ。
- (3) 糖尿病の治療薬として SGLT 2 の機能を阻害する薬が用いられることがある。この時、どのような仕組みで糖尿病が改善されと考えられるか、グルコースの再吸収に与える影響に言及しつつ述べよ。
- (4) 表 1 は、SGLT 2 阻害薬を服用したヒトの血しょう、原尿、尿に含まれるグルコースおよびイヌリンの濃度(注)を示している。1 日あたりに腎小体でろ過される原尿の体積を 180 L としたとき、1 日あたりに排出される尿の体積と、その尿に含まれるグルコースの質量は理論上いくらになると考えられるか、計算して答えのみ記せ。なお、イヌリンとは、再吸収される水の量を算出するために人為的に血液中に注射される糖類であり、体内では分解されない。また、イヌリンは腎小体で全てろ過され、再吸収されることなく尿とともに排出される。

	血しょう	原 尿	尿
グルコース	0.1 %	0.1 %	4.0 %
イヌリン	0.01 %	0.01 %	1.2 %

表 1

(注) 表中の各濃度は、血しょう、原尿、尿の質量に対するグルコースおよびイヌリンの質量をパーセントで示している。また、血しょう、原尿、尿の 1 mL あたりの質量はすべて 1 g とする。

第2問 形質転換に関する以下の文章を読み、各問に答えよ。

肺炎球菌には、病原性があり肺炎を発症させるS型菌と、病原性のないR型菌が存在する。R型菌では、肺炎の発症に必要な遺伝子が突然変異を起こしており、そのために病原性を失っている。グリフィスは、ネズミを用いた感染実験の中で、煮沸により殺したS型菌や生きたR型菌を別々に注射しても肺炎は発症しないが、煮沸により殺したS型菌と生きたR型菌を混合して注射すると肺炎を発症することに気付いた。さらに、その肺炎を発症したネズミの体内からは、生きたS型菌が検出された。このことから、ネズミの体内で一部のR型菌がS型菌へと形質転換したと推測された。エイブリーらは、S型菌を完全にすりつぶして得られた抽出物と生きたR型菌を混合することでも、同様の形質転換が引き起こされることを発見した。さらに、S型菌の抽出物に含まれる物質を精製したり、抽出物を様々な分解酵素で処理することで、抽出物に含まれる物質のうちDNAが形質転換の原因物質であることを示した。現在では、S型菌がもつ肺炎の発症に必要な遺伝子がR型菌に取り込まれ、R型菌がもつ同じ遺伝子と交換されることで形質転換が起こると考えられている。

一方、バイオテクノロジーの分野においては、目的のDNAやタンパク質を大量に得るために、大腸菌の形質転換が行われる。まず、目的の遺伝子を含むDNA断片をPCR法により増幅し、これをプラスミドと呼ばれる環状のDNAに組み込む。こうして作製したプラスミドを大腸菌に取り込ませることで、大腸菌の形質転換を行う。形質転換に用いられる一般的なプラスミドには、抗生物質(注)に対して耐性を与える遺伝子(抗生物質耐性遺伝子)が組み込まれている。そのため、形質転換を起こした大腸菌のみが抗生物質の存在下でも増殖できる。

(注) おもに微生物が産生する物質で、細菌など他の細胞の生育を阻害する。

問1 肺炎球菌は細菌であるが、細菌と菌類との間で共通する一般的な特徴として、適切なものを以下の①～⑥から全て選び番号で答えよ。

- | | |
|----------------------|--------------------|
| ① 細胞膜をもつ。 | ② DNAをもつ。 |
| ③ 核の中で転写を行う。 | ④ リボソームで翻訳を行う。 |
| ⑤ ミトコンドリアでATPの産生を行う。 | ⑥ 細胞質基質でATPの産生を行う。 |

問2 下線部(ア)に関して、グリフィスと同様な実験を、煮沸により殺したR型菌と生きたS型菌を混合して行った場合、ネズミの体内で起こるS型菌からR型菌への形質転換に気付くことは難しいと考えられる。そのように考えられる理由を述べよ。

問 3 下線部(イ)に関して、以下の①～⑥から適切な実験を2つ選び組み合わせると、形質転換の原因物質が DNA であるという結論が得られる。その組み合わせとして最も適切な1組を番号で答えよ。

- ① S型菌の抽出物をタンパク質分解酵素で処理し、生きたR型菌と混合することで、R型菌からS型菌への形質転換を観察する。
- ② S型菌の抽出物をRNA分解酵素で処理し、生きたR型菌と混合することで、R型菌からS型菌への形質転換を観察する。
- ③ S型菌の抽出物をDNA分解酵素で処理し、生きたR型菌と混合することで、R型菌からS型菌への形質転換を観察する。
- ④ S型菌からタンパク質を精製し、生きたR型菌と混合することで、R型菌からS型菌への形質転換を観察する。
- ⑤ S型菌からRNAを精製し、生きたR型菌と混合することで、R型菌からS型菌への形質転換を観察する。
- ⑥ S型菌からDNAを精製し、生きたR型菌と混合することで、R型菌からS型菌への形質転換を観察する。

問 4 肺炎球菌は、ネズミの体内でなくとも、培養液中や培養液を寒天で固めた寒天培地の上でも増殖することが可能である。寒天培地上で1個の菌が増殖して形成する集団をコロニーと呼ぶが、S型菌とR型菌のコロニーは形状の違いにより図4のように容易に区別できる。

S型菌と、その突然変異により生じたごく少量のR型菌を含む溶液Aから、R型菌を取得するために以下の実験を行った。まず、0.1 mLの溶液Aを1000倍に希釈し、この希釈液を0.1 mLずつ100枚の寒天培地上に塗り広げて培養した。その結果、図4のようにR型菌のコロニーを1個含む寒天培地が2枚得られたが、他の寒天培地ではR型菌のコロニーは形成されなかった。そこで、より効率良くR型菌を取得することを目指し、以下のⅠ～Ⅳの抗体を用いる方法を試した。これらの方法により得られる寒天培地の様子を示す図として、最も適切なものを以下の①～⑥から1つずつ選び番号で答えよ。ただし、同じ番号を複数回選択しても構わない。なお、抗S型菌抗体および抗R型菌抗体とは、それぞれS型菌およびR型菌に特異的に結合する抗体で、菌の生存および増殖には影響を与えない。また、抗体との結合により溶液中の菌が凝集し、沈殿物が生じる。

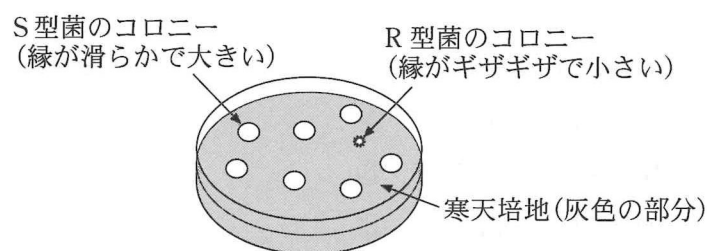
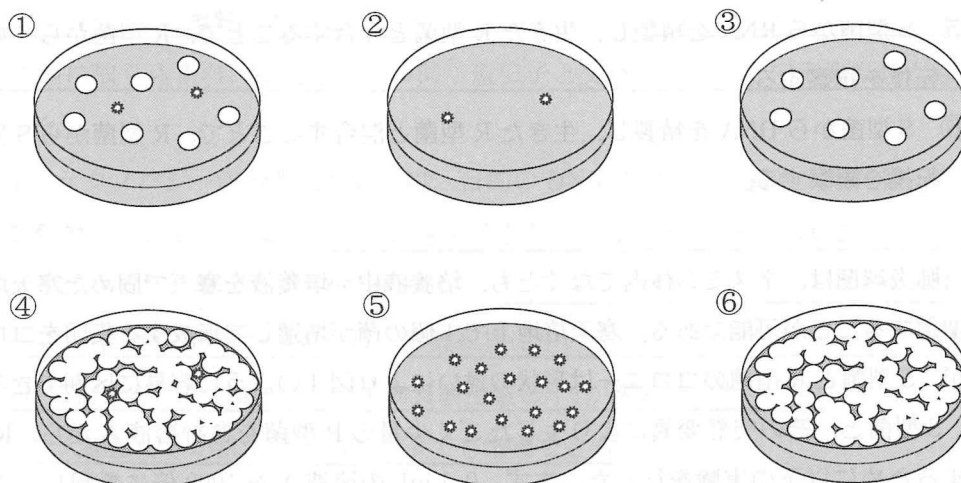


図 4

- I — 0.1 mL の溶液 A に十分な量の抗 R 型菌抗体を加えてよく反応させる。生じた沈殿物を取り除いたのち、残りの溶液を 10 等分して 10 枚の寒天培地上に塗り広げ、培養する。
- II — 0.1 mL の溶液 A に十分な量の抗 R 型菌抗体を加えてよく反応させる。生じた沈殿物を回収し、そこに肺炎球菌を含まない 0.1 mL の溶液を加えて、菌の凝集を完全に分散する処理を行う。その後、この溶液を 10 等分して 10 枚の寒天培地上に塗り広げ、培養する。
- III — 0.1 mL の溶液 A に十分な量の抗 S 型菌抗体を加えてよく反応させる。生じた沈殿物を取り除いたのち、残りの溶液を 10 等分して 10 枚の寒天培地上に塗り広げ、培養する。
- IV — 0.1 mL の溶液 A に十分な量の抗 S 型菌抗体を加えてよく反応させる。生じた沈殿物を回収し、そこに肺炎球菌を含まない 0.1 mL の溶液を加えて、菌の凝集を完全に分散する処理を行う。その後、この溶液を 10 等分して 10 枚の寒天培地上に塗り広げ、培養する。



注) ①、②、④、⑤は R 型菌のコロニーを含み、③、⑥は R 型菌のコロニーを含まない。また、④、⑥はコロニー数が多いため、隣接するコロニー同士が融合している。

問 5 下線部(ウ)に関して、このとき肺炎球菌のゲノム DNA で起こっている現象は、減数分裂において対合した相同染色体の間で起こる現象と同じである。減数分裂で起こるこの現象の名称を答えよ。

問 6 下線部(エ)に関する以下の文章を読み、各問に答えよ。

PCR 法では、目的の遺伝子を大量に増幅することが可能であるが、この方法は生物が DNA を複製する原理を応用したものである。DNA は(1)構造をとっており、多数のヌクレオチドが鎖状に結合したものが対になっている。DNA の複製は、(2)と呼ばれる部位からヌクレオチドの 2 本鎖がほどけることから始まる。1 本鎖になったヌクレオチド鎖のそれぞれを鋳型として、まずプライマーが合成され、これに続いて(3)と呼ばれる酵素が鋳型に相補的なヌクレオチドを次々とつないでいく。このように、鋳型となる 2 本のヌクレオチド鎖に対して、新しく合成されたヌクレオチド鎖が対になることで 2 組の 2 本鎖 DNA が合成される複製様式を(4)と呼ぶ。PCR 法の一般的な反応では、鋳型となる DNA に加え、DNA 合成の材料となる(5)種類のヌクレオチド、人工的に合成した 2 種類のプライマー、耐熱性の(3)を反応液に加え、温度を 3 段階に繰り返し変化させる。これにより、DNA 複製における「2 本鎖 DNA の解離」、「プライマーの結合」、「ヌクレオチド鎖の伸長」に相当する各過程が繰り返し行われることで、DNA が増幅される。

(1) (1)～(5)に入る適切な語句を答えよ。

(2) ヌクレオチドを構成する 5 種類の元素の名称を全て答えよ。

(3) 図 5 に示した 2 本鎖 DNA を鋳型として、これと同じ塩基配列からなる DNA を PCR 法により増幅したい。このときに用いる 2 種類のプライマーのうちの 1 つの塩基配列は、「5′-GACGATTACGGATGCAG-3′」である。もう一方のプライマーとして、最も適切なものを以下の①～⑧から 1 つ選び番号で答えよ。なお、5′および 3′は、ヌクレオチド鎖の 5′末端側および 3′末端側を示している。

鋳型 DNA の配列

5′-GACGATTACGGATGCAGTTTTAAAA…途中省略…AATGACCAGGCCAGTACCGACTAAG-3′
3′-CTGCTAATGCCTACGTCAAAATTTT…途中省略…TACTGGTCCGGTCATGGCTGATTC-5′

図 5

① 5′-CTGCTAATGCCTACGTC-3′

② 5′-GACGATTACGGATGCAG-3′

③ 5′-GACGTAGGCATTAGCAG-3′

④ 5′-CTGCATCCGTAATCGTC-3′

⑤ 5′-CCGGTCATGGCTGATTC-3′

⑥ 5′-GGCCAGTACCGACTAAG-3′

⑦ 5′-GAATCAGCCATGACCGG-3′

⑧ 5′-CTTAGTCGGTACTGGCC-3′

(4) (3)で行った実験において、3段階の温度変化を10回繰り返すと、鋳型DNAと同じ塩基配列をもつDNAの量は理論上何倍に増幅されるか、計算して答えのみ記せ。

(5) PCR法で一般的に使用される(3)の酵素は、耐熱性である。なぜ耐熱性の酵素を使用するのか、その理由として考えられることを述べよ。

(6) 多くの哺乳類細胞がDNA複製に用いている(3)の酵素は、耐熱性ではない。これは、PCR法の反応液には含まれないある酵素が、細胞内におけるDNA複製では機能しているからである。その酵素の名称を述べよ。

問 7 下線部(オ)に関して、抗生物質耐性遺伝子が組み込まれたプラスミドを用いて大腸菌の形質転換を行った。 1×10^9 個の大腸菌を含む0.1 mLの溶液にプラスミドを加えて形質転換を行ったのち、この溶液を1000倍に希釈した。この希釈液のうち0.1 mLを抗生物質を含む寒天培地に塗り広げて培養すると、翌日に大腸菌のコロニーが100個形成された。この結果から、理論上何パーセントの大腸菌が形質転換したと考えられるか、計算して答えのみ記せ。

問 8 下線部(カ)に関して、大腸菌の形質転換を行う際に、なぜ抗生物質耐性遺伝子が組み込まれたプラスミドを使用するのか。問7で求めた値をもとに、その理由として考えられることを述べよ。

問 9 下線部(キ)に関する以下の文章を読み、各問に答えよ。

抗生物質には多くの種類があり、それらが細菌などに作用する仕組みも様々である。大腸菌を用いる実験では、アンピシリン(Amp)やクロラムフェニコール(Cm)といった抗生物質がよく使われるが、前者は細菌の細胞壁合成を阻害し、後者はタンパク質合成を阻害する。いずれも適切な濃度のもとでは細菌をすぐには殺さないが、増殖を完全に抑制することができる。そこで、Amp耐性遺伝子もしくはCm耐性遺伝子が組み込まれたプラスミドをそれぞれ用いて大腸菌の形質転換を行った。さらに、形質転換後の大腸菌をそれぞれ2つに分け、一方はすぐに希釈して抗生物質を含む寒天培地上に塗り広げ、もう一方は抗生物質を含まない液体培地中で60分間培養したのちに同様に希釈して抗生物質を含む寒天培地上に塗り広げた(図6)。なお、Amp耐性遺伝子をもつプラスミドで形質転換された大腸菌の培養にはAmpを含む寒天培地を、Cm耐性遺伝子をもつプラスミドで形質転換された大腸菌の培養にはCmを含む寒天培地を用いている。これらの寒天培地上で大腸菌を一晩培養し、翌日に生じたコロニーの数を比較した結果を図7に示す。なお、どちらのプラスミドも等しく大腸菌に取り込まれ、各抗生物質耐性遺伝子が転写、翻訳されるまでの時間も等しいものとする。また、どちらの抗生物質耐性遺伝子も、翻訳されたタンパク質が抗生物質に対する耐性を大腸菌に与えており、充分な量のタンパク質が合成されれば、この実験で使用した濃度の抗生物質を含む寒天培地上で問題なく増殖できるものとする。

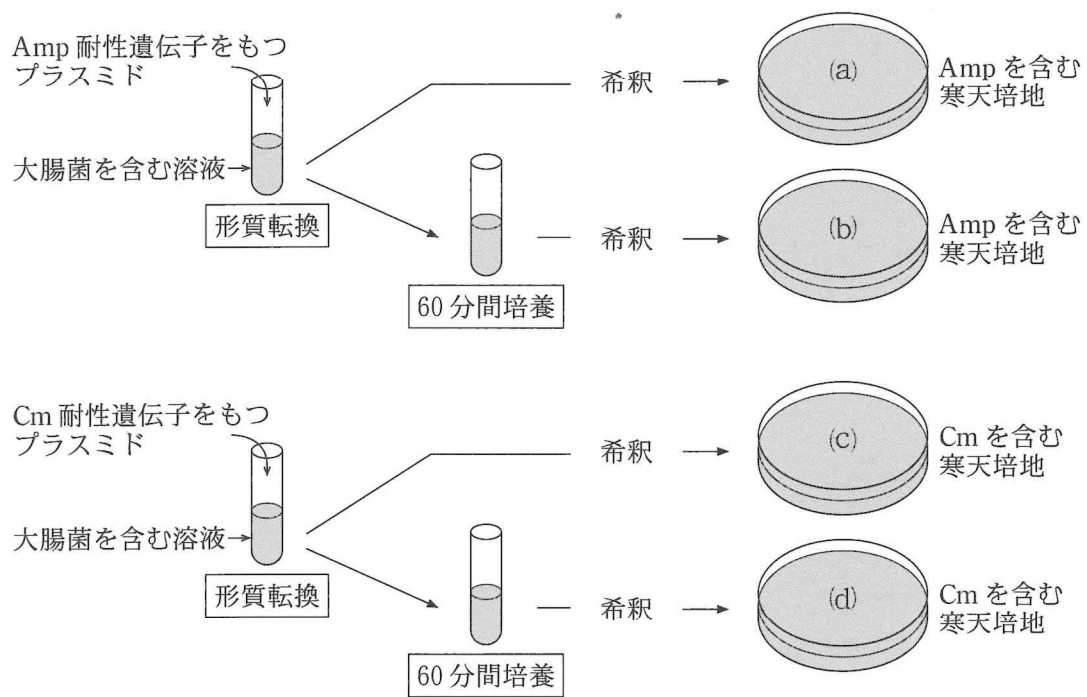


図 6

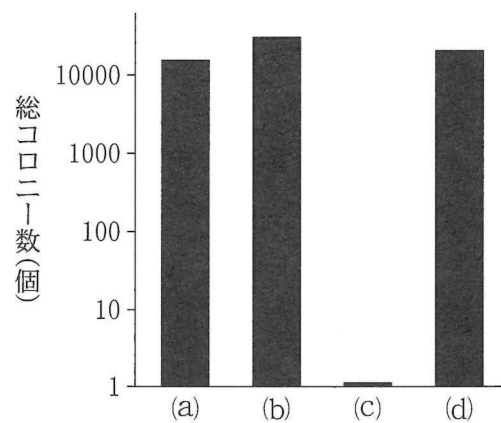


図 6 に示された寒天培地(a)~(d)

図 7

- (1) 形質転換後に行った 60 分間の培養の有無により、生じた大腸菌のコロニー数はどのように変化したか。用いたプラスミドの種類に着目しつつ述べよ。
- (2) 用いたプラスミドの種類により、(1)で答えた違いが生じる理由として考えられることを、Amp と Cm が大腸菌に作用する仕組みの違いに着目しつつ述べよ。