

理 科

〈監督者の指示があるまで開いてはいけない〉

1. 出願時に選択した2科目について、解答を別紙の解答用紙に記入しなさい。
2. 選択していない科目の解答用紙は問題配布後に回収します。
3. 試験開始後、まず解答用紙に自分の受験番号と氏名を正しく記入しなさい。
4. 試験開始後、速やかに問題冊子に落丁や乱丁がないか確認しなさい。
落丁や乱丁があった場合は、手を挙げなさい。
5. 下書きや計算は問題冊子の余白を利用しなさい。
6. 問題冊子は試験終了後、持ち帰ってもよい。
ただし、試験途中には持ち出してはいけない。

問 題 目 次

物 理	1	～	5	ページ
化 学	6	～	10	ページ
生 物	11	～	24	ページ

物 理

1. 図1のように、なめらかな内面を持つ半径 R の半円筒が水平な床に固定されており、質量 m の小球が半円筒の中心軸に垂直な鉛直面内で運動する場合を考える。この鉛直面内で半円筒の中心軸の位置を O 、最下点を P とする。重力加速度の大きさを g とし、小球の大きさや空気抵抗は無視できるものとする。

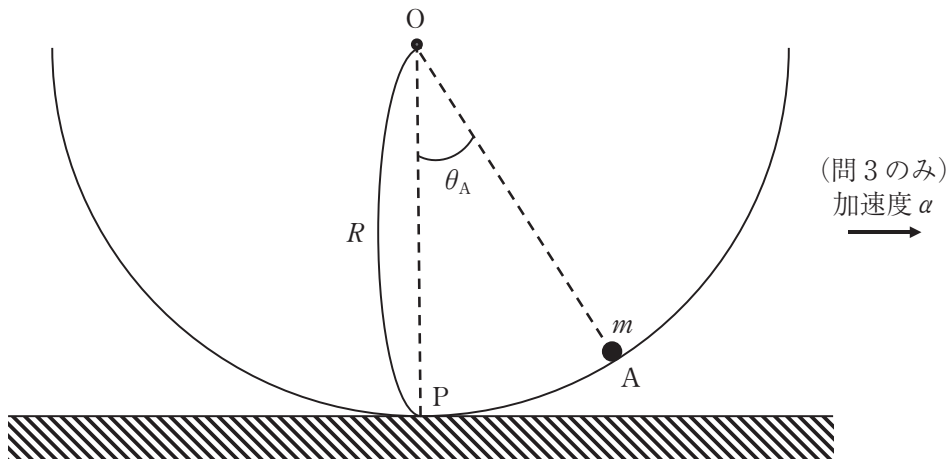


図 1

- 問 1. 図1の位置 A で小球を静かにはなす。OA と OP のなす角を θ_A とするとき、小球をはなした瞬間に小球にはたらく垂直抗力の大きさと接線方向にはたらく力の大きさを、 m 、 g 、 R 、 θ_A の中から必要なものを用いて表せ。
- 問 2. 小球を最下点 P 付近で静かにはなすと微小振動を行った。この微小振動の周期を、 m 、 g 、 R の中から必要なものを用いて表せ。角度 θ が十分に小さいとき、 $\sin \theta \doteq \theta$ と近似できることを用いてよい。導出過程も示すこと。
- 問 3. この半円筒の固定をはずし、中心軸に垂直な水平方向に一定の加速度 α で半円筒を直線運動させた。このとき小球を半円筒内面のある点で静かにはなすと微小振動を行った。この微小振動の周期を、 m 、 g 、 R 、 α の中から必要なものを用いて表せ。導出過程も示すこと。

次に、図2のように、半径 R の半円筒を再び水平な床に固定し、その右半分になめらかな内面を持つ半径 r ($< \frac{R}{2}$) の半円筒を追加して固定した。二つの半円筒の中心軸は平行で、内面は最下点 P を通る水平な直線でなめらかにつながっている。図2の点 B で質量 M の小球1を静かにはなし、最下点 P に置いた質量 m の小球2に衝突させる。この衝突の反発係数を e とし、小球1と小球2は同じ鉛直面内で運動するものとする。また、小球の運動する鉛直面における追加した半円筒の中心軸の位置を O' 、最高点を Q とする。

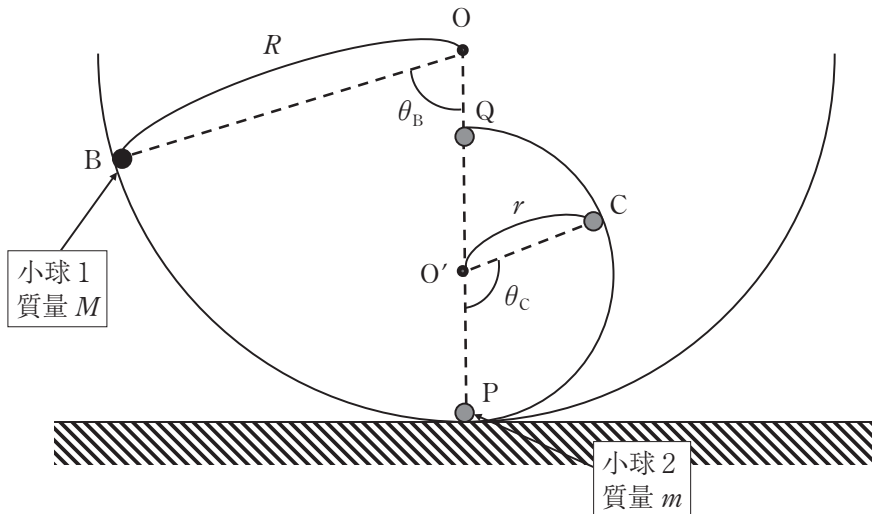


図2

- 問 4. OB と OP のなす角を θ_B とする。小球1が最下点 P で小球2に衝突する直前の速さ V_0 を、 M 、 g 、 R 、 θ_B の中から必要なものを用いて表せ。
- 問 5. 衝突直後の小球1と小球2の水平方向の速度をそれぞれ V_p 、 v_p とする。 V_p と v_p を、 M 、 m 、 e 、 V_0 を用いて表せ。ただし、図2の右向きを正の方向とする。
- 問 6. 小球1と小球2の衝突で失われた力学的エネルギーの大きさ ΔE を、 M 、 m 、 e 、 V_0 を用いて表せ。
- 問 7. 小球2は点 P での衝突後、半円筒面から離れずに図2の点 C を通過した。 $O'P$ と $O'C$ のなす角を θ_C とするとき、点 C で小球が受ける垂直抗力の大きさを、 m 、 g 、 r 、 v_p 、 θ_C を用いて表せ。導出過程も示すこと。
- 問 8. $M = 2m$ 、 $e = 0.5$ 、および $R = 3r$ の場合、小球2が半円筒面から離れずに最高点 Q まで到達するための、 $\cos \theta_B$ の範囲を答えよ。

2. 図1のように、鉛直上向きを $+z$ 方向とする直角座標系をとる。磁束密度の大きさ B の一様な磁場(磁界)が $+z$ 方向にかかっている空間内に、電気抵抗が無視できる2本の金属レールが水平面内で x 軸に平行に間隔 D で固定されている。2本のレールの $-x$ 方向の端は、電気抵抗が無視できる導線で電気容量 C のコンデンサーにつながれている。2本のレールの上には、質量 m の、電気抵抗が無視できる導体棒がレールに対し垂直にまたがって置かれている。この導体棒には軽くて伸び縮みしない糸で重さの無視できるなめらかな滑車を通して、質量 M のおもりがつながれている。導体棒はレールから外れることなくレールと平行に(x 方向に)なめらかに運動する。導体棒にはたらく力および速度の向きは $+x$ 方向を正とする。導体棒に流れる電流は $-y$ 方向を正とする。レールは十分に長く、導体棒がレールの端に到達することはない。また、導体棒の運動中に糸がゆるむことはない。レールと導体棒の接点における電気抵抗、電流がつくる磁場の影響、および空気抵抗は無視できる。重力加速度の大きさは g とする。

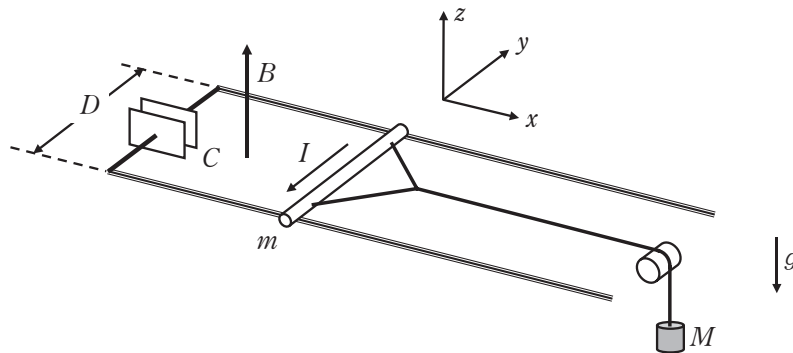


図1

最初、導体棒を手で押さえて静止させた。このとき、コンデンサーに電荷は蓄えられていなかった。導体棒から静かに手をはなすと、導体棒は運動を始め、速度が v になったときの加速度は a であった。

問 1. 導体棒の速度が v のときにコンデンサーの $-y$ 側の電極板に蓄えられている電荷 Q を、 B , D , C , v を用いて表せ。

問 2. 速度と加速度の関係、およびコンデンサーに蓄えられている電荷と電流の関係に注意して、導体棒に流れる誘導電流 I を、 B , D , C , a を用いて表せ。導出過程も示すこと。

問 3. 問2の電流により導体棒が磁場から受ける力 F を、 B , D , C , a を用いて表せ。

問 4. 導体棒の加速度 a を、 m , M , g , B , D , C を用いて表せ。導出過程も示すこと。

次に、図2のように、図1のコンデンサーを自己インダクタンス L の、電気抵抗が無視できるコイルで入れ替えた。最初、導体棒を手で押さえて静止させ、その位置を $x = 0$ とする。このとき導体棒に電流は流れていなかった。導体棒から静かに手をはなすと、導体棒は運動を始めた。

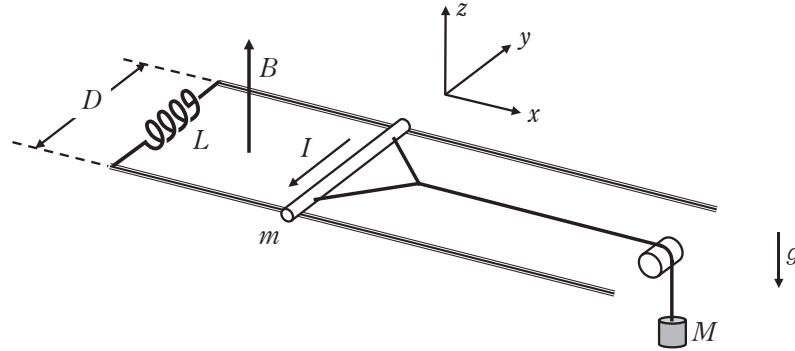


図2

- 問 5. 導体棒の速度が v のときの誘導電流の時間変化率 $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ を、 B 、 D 、 L 、 v を用いて表せ。
- 問 6. 導体棒の位置が x のときの誘導電流 I を、 B 、 D 、 L 、 x を用いて表せ。導出過程も示すこと。
- 問 7. 導体棒の位置が x のときの導体棒の加速度 a を、 m 、 M 、 g 、 B 、 D 、 L 、 x を用いて表せ。導出過程も示すこと。
- 問 8. 導体棒は単振動をした。この単振動の角振動数 ω と振幅 A を、それぞれ m 、 M 、 g 、 B 、 D 、 L の中から必要なものを用いて表せ。導出過程も示すこと。

化 学

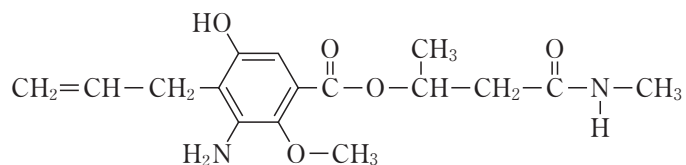
答えは、すべて解答用紙に記入せよ。複数の解答が必要な場合には、解答の順序は問わない。数値を解答する場合の有効数字の桁数は、問題文に示す条件をよく読んで適切な桁数で解答すること。特別に指示がなければ、気体はすべて理想気体とする。特別に指示がなければ、次の数値を用い、構造式は例にならって記せ。

原子量：H = 1.00, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, Si = 28.0

気体定数： $8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

ファラデー定数： $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$

構造式の例：



問 2. 下線部①について、石英を黒鉛で エ したところ、ケイ素と一酸化炭素が生じた。
石英と一酸化炭素の生成エンタルピーがそれぞれ -911 kJ/mol , -111 kJ/mol のとき、石英 1 mol からケイ素 1 mol が生じる反応の反応エンタルピーは何 kJ/mol か。

問 3. ケイ素原子の電子配置を 54 字以内で説明せよ。ただし、次の語をすべて使うこと。

ケイ素原子, 原子番号, 電子, M 殻, L 殻, K 殻

問 4. 下線部②について、次の問いに答えよ。

- (i) シランと酸素が反応して、二酸化ケイ素と水が生じる反応の化学反応式を表せ。
- (ii) シランの密度が 0°C , $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ で 1.42 g/L であるとき、シラン 1.00 mol の体積は、 0°C , $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ で何 L か。有効数字 3 桁で答えよ。ただし、シランは実在気体である。
- (iii) 実在気体では、気体の状態方程式が厳密には成り立たない。その理由を 34 字以内で説明せよ。

問 5. 式(1)について、 SiH_4 および Na_2SiO_3 中のケイ素原子の酸化数をそれぞれ求めよ。

問 6. 式(2)について、次の問いに答えよ。

- (i) 化合物 **B** の重合度を n としたとき、a および b に適する係数をそれぞれ記せ。また、考え方も示せ。ただし、係数を記す際には、必要に応じて重合度 n を用い、係数が 1 の場合は省略せずに 1 と記せ。また、水はすべて反応するものとする。
- (ii) 平均分子量 1.00×10^5 の化合物 **B** の平均重合度はいくらか。
- (iii) 9.99 g の化合物 **A** を用いて、平均分子量 1.00×10^5 の化合物 **B** を得るために理論上必要な水の質量は何 mg か。

2. 次の文を読み、下の問いに答えよ。

$X^1 \sim X^4$ は、元素の周期表で 17 族の互いに異なる元素で、第 2 周期～第 5 周期のいずれかに属する。

問 1. KX^1 の水溶液に $(X^3)_2$ の水溶液を加えたところ、 $(X^1)_2$ が生じた。また、 KX^4 の水溶液に $(X^1)_2$ の水溶液を加えたところ、 $(X^4)_2$ が生じた。 $(X^1)_2$ 、 $(X^3)_2$ 、 $(X^4)_2$ の酸化力の強さの順について当てはまるものを、次のうちから 1 つ選び、記号で答えよ。

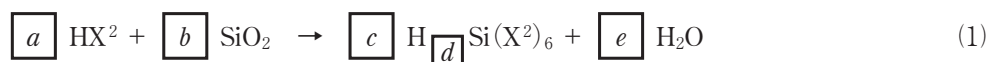
- (a) $(X^1)_2 > (X^3)_2 > (X^4)_2$
- (b) $(X^1)_2 > (X^4)_2 > (X^3)_2$
- (c) $(X^3)_2 > (X^1)_2 > (X^4)_2$
- (d) $(X^3)_2 > (X^4)_2 > (X^1)_2$
- (e) $(X^4)_2 > (X^1)_2 > (X^3)_2$
- (f) $(X^4)_2 > (X^3)_2 > (X^1)_2$

問 2. 分子式 C_5H_8 で表される化合物 **A** は、枝分かれのない環式炭化水素である。化合物 **A** と $(X^1)_2$ を反応させたところ、化合物 **B** が得られた。

- (i) 元素 X^1 には 2 つの同位体が一定の割合で存在し、水素および炭素は、それぞれ質量数 1 および 12 の原子のみからなるものとする。これらを踏まえ、化合物 **B** の分子式に含まれる原子の質量数の総和を求めると、226、228、230 の 3 つの値が整数比 1 : 2 : 1 の確率で得られる。元素 X^1 の 2 つの同位体の質量数をそれぞれ求め、これらの同位体の存在比を最も簡単な整数比で記せ。
- (ii) 化合物 **B** を亜鉛と反応させると化合物 **A** になる。この反応で生じる無機物質の化学式を、 X^1 に該当する元素の元素記号を用いて記せ。ただし、 $(X^1)_2$ の融点は -7°C 、沸点は 59°C である。
- (iii) 化合物 **A** は化合物 **C** の脱水反応により得られる。また、化合物 **C** を酸化すると、化合物 **C** の官能基が変化し、化合物 **D** になる。化合物 **D** の構造式を記せ。

問 3. HX^2 の水溶液 100 mL に、二酸化ケイ素 20.0 g を加えた。水溶液中の HX^2 の物質量が反応前の 60 % になったとき、未反応の二酸化ケイ素の質量は 9.2 g であった。

- (i) HX^2 と二酸化ケイ素の反応は、式(1)に示す化学反応式で表される。 $\boxed{a} \sim \boxed{e}$ に適する数字をそれぞれ記せ。ただし、数字が 1 の場合は省略せずに 1 と記せ。



- (ii) 反応前の HX^2 の水溶液のモル濃度は何 mol/L か。有効数字 2 桁で答えよ。

(iii) 次の記述のうち、正しいものをすべて選び、記号で答えよ。

- (a) HX^2 の水溶液は HX^1 の水溶液よりも強い酸性を示す。
- (b) HX^2 の水溶液は HX^1 の水溶液よりも弱い酸性を示す。
- (c) HX^2 と NaX^2 の混合水溶液は緩衝作用を示す。
- (d) HX^2 と NaX^2 の混合水溶液は緩衝作用を示さない。
- (e) HX^2 と Ag_2CO_3 が反応して生じる塩は水に溶けやすい。
- (f) HX^2 と Ag_2CO_3 が反応して生じる塩は水に溶けにくい。
- (g) HX^2 は $(\text{X}^2)_2$ と H_2O の反応により生じる。
- (h) HX^2 は $\text{Ca}(\text{X}^2)_2$ と H_2SO_4 の反応により生じる。
- (i) HX^2 の乾燥にはシリカゲルを用いる。
- (j) HX^2 の水溶液はポリエチレンの容器に保存する。

(iv) HX^2 は、 HX^1 、 HX^3 、 HX^4 よりも沸点が高い。その原因となる分子間力を何というか。

問 4. 分子式 C_2H_4 で表される化合物 **E** と $(\text{X}^3)_2$ を反応させると、化合物 **F** が得られる。化合物 **F** から HX^3 がとれると、分子量 62.5 の化合物 **G** が生じる。 $(\text{X}^3)_2$ は、工業的には NaX^3 水溶液の電気分解で製造される。 また、化合物 **G** は、触媒を用いて、分子式 C_2H_2 で表される化合物 **H** と HX^3 を 1 : 1 の物質質量比で反応させることでも得られる。同様に、触媒を用いて、化合物 **H** と HCN を 1 : 1 の物質質量比で反応させると、化合物 **J** が得られる。

- (i) 下線部①について、化合物 **G** を 37.5 kg 得るために理論上必要な $(\text{X}^3)_2$ の体積は、 27°C 、 $1.50 \times 10^7 \text{ Pa}$ で何 L か。
- (ii) 下線部②について、陰極と陽極で起こる反応を、電子 e^- を含むイオン反応式でそれぞれ表せ。ただし、 X^3 は、該当する元素の元素記号を用いて記せ。
- (iii) 下線部②について、 NaX^3 水溶液を $9.65 \times 10^3 \text{ A}$ の電流で電気分解して、(i)で理論上必要な $(\text{X}^3)_2$ を発生させた。電気分解していた時間は何分間か。ただし、 NaX^3 水溶液中には十分な量の NaX^3 が溶解していたものとする。
- (iv) 化合物 **G** と化合物 **J** を 1 : 1 の物質質量比で共重合させた。得られた重合体に含まれる窒素の割合は質量比で何%か。有効数字 3 桁で答えよ。ただし、重合体の末端は考慮しなくてよい。
- (v) 化合物 **G** と化合物 **J** を 1 : x の物質質量比で共重合させた。得られた重合体に含まれる X^3 の割合が質量比で 20.0 %であったとき、x の値を求め、有効数字 3 桁で答えよ。ただし、重合体の末端は考慮しなくてよい。

生 物

核酸塩基のアデニン，チミン，グアニン，シトシン，ウラシルは，それぞれ A, T, G, C, U で表す。

1. 遺伝子の発現調節に関する各問いに答えよ。

哺乳類の生命活動に必須な鉄は，トランスフェリンというタンパク質と結合して，血流で全身の細胞へと運ばれる。細胞膜にはトランスフェリン受容体が存在し，これがトランスフェリンを捕捉して細胞内に取り込み，結合していた鉄は細胞質基質に放出され遊離鉄となる。細胞内の余剰の遊離鉄は，フェリチンというタンパク質に取り込まれて貯蔵鉄となる。

過剰な遊離鉄は細胞毒性を示すため，フェリチン遺伝子やトランスフェリン受容体遺伝子の発現を調節することで，細胞内の遊離鉄の量は調整されている。フェリチン遺伝子とトランスフェリン受容体遺伝子の発現調節には，これらの mRNA の一部分で形成される鉄応答エレメント (IRE, 図 1) と，IRE に結合する鉄調節タンパク質 (IRP) が共通して関与する。IRP は鉄と結合する性質をもち，鉄と結合した状態では IRE と結合できない。すなわち，細胞内の遊離鉄濃度に応じて，IRP と IRE の結合状態は変化する (図 2)。

フェリチンの mRNA は，タンパク質に翻訳される塩基配列よりも 5' 末端側に IRE をもつ (図 2 左)。IRE に IRP が結合した状態では，リボソームは mRNA に結合できない。トランスフェリン受容体の mRNA は，タンパク質に翻訳される塩基配列よりも 3' 末端側に 5 つの IRE をもち，それらの間にある RNA 分解酵素 α で切断される塩基配列 (配列 α) とともに制御領域を形成する (図 2 右)。配列 α が切断されると，mRNA 全体は直ちに分解される。この制御領域の IRE に IRP が結合していると配列 α は切断されない。また，3' 末端側に結合する IRP は翻訳には影響を与えない。IRE だけでは，どの位置に存在しても翻訳には影響を与えない。

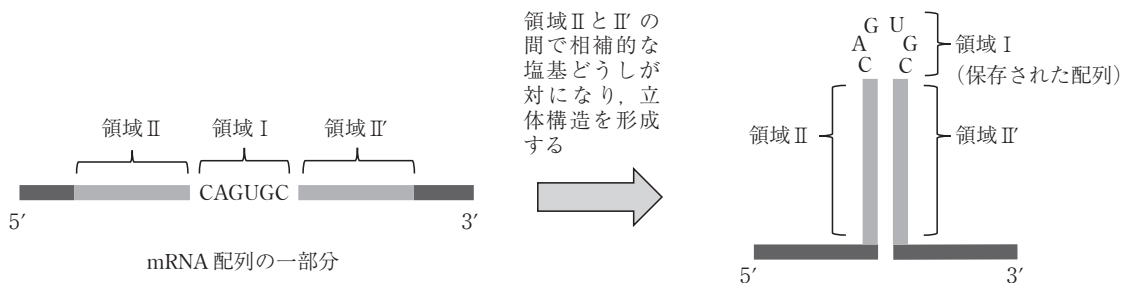


図 1

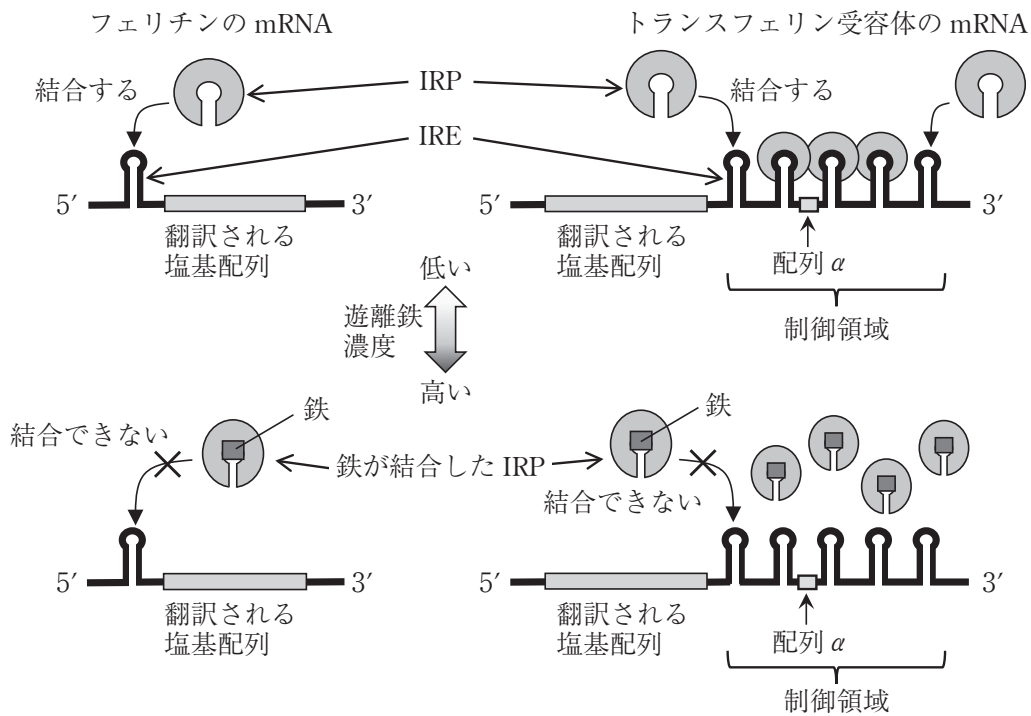


図 2

IRP と IRE による調節機構は、外来の遺伝子に対しても機能させることができる。IRP と IRE による遺伝子の発現調節を確認するために、以下の実験を行った。

<実験 1>

(実験 1 - 1)

外来のタンパク質 A の遺伝子 (遺伝子 A) が組み込まれた発現用のプラスミド (発現プラスミド, 図 3) を制限酵素 1 および 2 と反応させ、プロモーターと遺伝子 A の間の 2 カ所で切断した (図 4)。制限酵素が認識して切断する塩基配列を認識配列と呼ぶ。

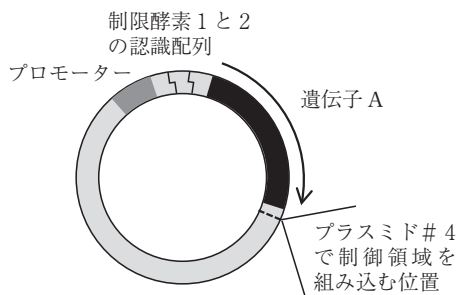


図 3



図 4

(実験 1 - 2)

以下に示す 3 種類の DNA 断片(断片 # 1, # 2, # 3)を作製した。

断片 # 1 : 両端に制限酵素 1 と 2 による切断後にあらわれる塩基配列(切断配列)をもち, 図 1 に示す IRE に転写される配列を含む DNA 断片(図 5)。

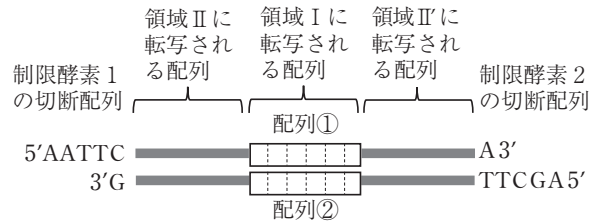


図 5

断片 # 2 : 両端に制限酵素 2 と 3 の切断配列をもち, 断片 # 1 と同じ長さで IRE として機能しない塩基配列をもつ DNA 断片(図 6)。



図 6

断片 # 3 : 両端に制限酵素 1 と 3 の切断配列をもち, 断片 # 1 と同じ長さで IRE として機能しない塩基配列をもつ DNA 断片(図 7)。



図 7

制限酵素 1 ~ 3 のそれぞれの認識配列は 5' - GAATTC - 3', 5' - AAGCTT - 3', 5' - AAATTT - 3' で, いずれも 2 本鎖の両鎖において 5' 側の 1 塩基目と 2 塩基目の間で切断される。制限酵素 1 ~ 3 の認識配列は断片 # 1 ~ # 3 の内部には存在しない。

(実験1-3)

(実験1-1)で切断したプラスミドと、(実験1-2)の3種類のDNA断片をそれぞれ混ぜた後、酵素βを加え反応させた。これにより、断片#1と断片#2はそれぞれプラスミドの切断部と両端がつながり、あらたに断片#1が発現プラスミドに挿入されたプラスミド#1、断片#2が発現プラスミドに挿入されたプラスミド#2が形成された。しかし、断片#3だけ発現プラスミドにつなぐことができなかった。なお、プラスミド#1、#2においてDNA断片が挿入された場所はIREが遺伝子Aの発現を調節できる位置である。

(実験1-4)

以下のようなプラスミド#4も作製した。

プラスミド#4：遺伝子Aの3'末端側(図3)に、トランスフェリン受容体の制御領域の塩基配列を発現調節が行えるように組み込んだもの。

問1. 図5の「配列②」に入る塩基配列を5'→3'方向で答えよ。解答欄の1マスに、核酸塩基を表すアルファベットで1文字ずつ記入すること。

問2. (実験1-3)で使用した酵素βの名称を答えよ。また、同じ名称の酵素は、多くの生物においてDNAの複製で使用されている。この酵素が複製でつなげているDNA断片の名称を答えよ。

問3. (実験1-3)で断片#3をつなぐことができなかった理由を説明せよ。

<実験2>

プラスミド#1と#2のそれぞれを鋳型DNAとし、挿入したDNA断片を含む領域を、図4の矢印で示すプライマーを用いてPCR法で増幅した。増幅してきたPCR産物をそれぞれ産物#1および産物#2とする。産物#1を制限酵素と反応させ、アガロース(寒天)ゲルで電気泳動を行い、DNAのバンドを確認した。その結果を図8のレーン2~4に示す。使用した制限酵素は図8の表(使用した場合は+、使用していない場合は-)のとおりである。図8のレーン1と5には、制限酵素と反応させていない産物#1と#2を電気泳動している。

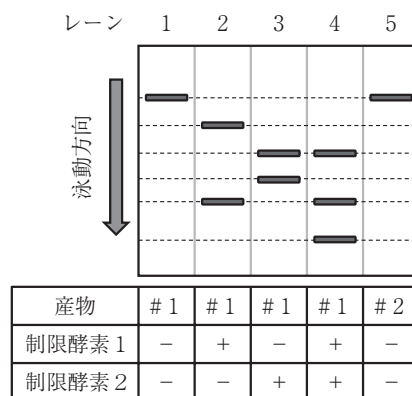


図8

問 4. 実験2と同じ条件で、産物#2を制限酵素1と2の両方と同時に反応させて電気泳動した時、どのような結果になるか、解答欄の図のレーン6にDNAのバンドを書き込め。なお、バンドの太さは考慮しなくてよい。

<実験3>

プラスミド#1, #2, #4のそれぞれを、IRPを発現している細胞に導入し、その後、鉄を含まない培養液中で培養した。十分に培養した後、薬剤を加えて転写を阻害した。この時間を0時とする。培養液に細胞毒性が生じない量の鉄を加え、細胞内のIRPに鉄が十分結合するX時まで培養し、遺伝子Aの発現量を調べた。なお、この細胞内の鉄濃度は、培養液中の鉄濃度を速やかに反映する。

問 5. 実験3において、プラスミド#2を導入した細胞で、0時とX時での遺伝子AのmRNAの存在量を比較すると、変化はなかった。プラスミド#1またはプラスミド#4を導入したそれぞれの細胞で、X時での遺伝子AのmRNAの存在量は、0時と比べてどのようになっているか、以下のa～dより選び、記号で答えよ。また、そのようになる理由を説明せよ。

- a. 減っている
- b. 変わらない
- c. 増えている
- d. 減っている場合と増えている場合がある

問 6. 実験3において、プラスミド#2を導入した細胞で、0時とX時でのタンパク質Aの合成速度を比較すると、変化はなかった。プラスミド#1またはプラスミド#4を導入したそれぞれの細胞で、X時でのタンパク質Aの合成速度は、0時と比べてどのようになっているか、以下のa～dより選び、記号で答えよ。また、そのようになる理由を説明せよ。

- a. 低下している
- b. 変わらない
- c. 増加している
- d. 低下している場合と増加している場合がある

問 7. 哺乳類の生体内において、細胞内の遊離鉄濃度が極端に低い時、フェリチンとトランスフェリン受容体のそれぞれの遺伝子がどのように発現調節を受けているかを説明し、それにより細胞内の遊離鉄不足がどのように解消されているかを述べよ。

2. 遺伝的変異と味覚受容体に関する各問いに答えよ。

I. 生物の個体間には、たとえ同じ種であっても形質に違いがある。これを変異という。変異には、遺伝する変異(遺伝的変異)と遺伝しない変異(環境変異)がある。遺伝的変異は によって生じ、ある種の環境因子は の発生率を増加させる。遺伝的変異が、長い年月をかけ自然選択を受け、生存や繁殖に有利な形質をもつ子孫が増えることで、生物は進化する。

すべての動物の生存は栄養素の摂取に依存しており、味覚は、体に必要な食物を選択し、安全に摂取する際の指標となる。摂取する食物は種によって異なるので、味覚という形質には多様性が認められる。また、同じ種であっても、生息環境が異なるなどの要因によって多様性が認められる。こうした味覚の多様性は、遺伝的変異の一例である。

さまざまな食物に含まれる化学物質を判別するには、味覚受容体の働きが重要となる。ヒトの味覚は、甘味・うま味・苦味・・の5種類に分けることができ、それぞれ異なる味細胞によって認識される。味覚を引き起こす化学物質は、味細胞にある味覚受容体に結合する。それにより、化学物質の濃度に応じた受容器電位が味細胞で発生し、その興奮が味細胞の種類ごとに異なった経路によって脳へと伝わる。

味覚のうち、苦味は、多くの種において生得的な嫌悪行動を引き起こす。苦味の受容体は、味覚受容体2型タンパク質(以下、T2Rと略す)と呼ばれる。ヒトは多種類の化学物質で苦味を感じるが、それは、それぞれの化学物質を特異的に認識する多種類のT2Rが存在していることによる。ヒトでは少なくとも25種類のT2Rの遺伝子(以下、T2R遺伝子と略す)がゲノムに存在している。それぞれのT2Rのアミノ酸配列やT2R遺伝子の塩基配列には、類似性(相同性)が認められる。T2Rの種類や数は、種によって異なっていることが知られており、これは適応進化によるものと考えられている。

問 1. ア～ウの に入る適切な語句を答えよ(イとウは順不同)。

問 2. 下線部(a)の環境因子の具体例をひとつあげよ。

問 3. 下線部(b)で述べられている多種類のT2R遺伝子は によって生じたと考えられる。どのような過程を経て生じたか考察せよ。

問 4. 下線部(c)についてどのような適応進化によって生じたと考えられるか述べよ。

II. 甘味を受容体を形成するのは、味覚受容体1型タンパク質(以下、T1Rと略す)である。T1Rには、T1R1, T1R2, T1R3の3種類があるが、このうちのT1R2とT1R3が1分子ずつ合わさった二量体が甘味受容体となる。甘味受容体は、スクロース、グルコースなどの天然糖類だけでなく人工甘味料も含め多様な甘味物質を認識する。

甘味の感じ方には個人差があることが知られている。そこで以下の実験を行い、甘味の感じ方をゲノムの変化で説明できるか検討した。

実験1：甘味感受性の解析

さまざまな濃度のスクロース溶液を300人の被験者になめてもらい、濃度の異なるスクロース溶液を識別する能力(以下、甘味感受性と呼ぶ)を調べた。その結果から被験者を、甘味感受性にしたがい8群に分けた。最も感受性が低い群が1、最も高い群が8である。各群に含まれる被験者の人数を図1に示す。

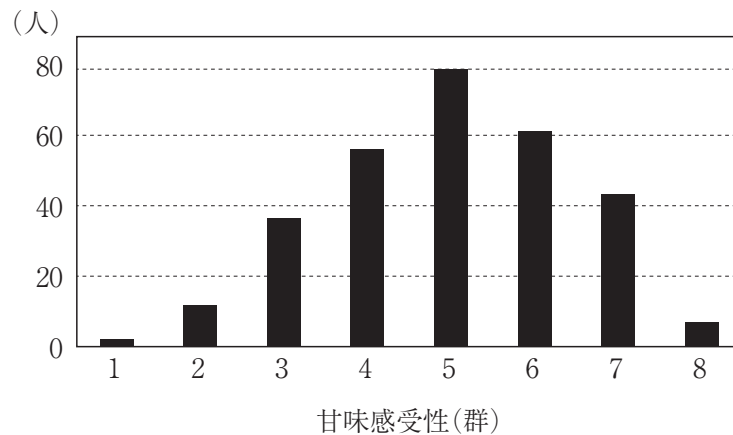


図1

実験2：被験者のDNA配列の解析

被験者の同意を得たうえで、T1R3遺伝子のエクソン、イントロン、およびプロモーターと転写調節領域(以下、プロモーター・調節領域)のDNA配列を解析した。その結果、T1R3遺伝子の開始コドンを指定しているトリプレットの最初の塩基(翻訳開始点)から5'側へ数えて1266番目(以下、-1266と記す)の塩基に多型(CまたはT、以下、-1266Cおよび-1266Tとする)を見つけた。図2はヒト1番染色体上のT1R3遺伝子周辺の領域を模式的に表したもので、多型を見つけた塩基の位置(-1266)を示す。図中のボックスはエクソンを表し、ボックスの黒い部分はT1R3のアミノ酸配列を指定している部分を表している。



図2

実験3：-1266の遺伝子型と甘味感受性の関係

実験1の被験者300人について、-1266の遺伝子型と甘味感受性の関係を調べた。その結果を表1と図3に示す。CC, CT, TTは遺伝子型を表している。

甘味感受性(群)	CC(人)	CT(人)	TT(人)
1	0	0	2
2	5	3	4
3	14	17	6
4	28	28	1
5	44	36	0
6	49	12	0
7	44	0	0
8	7	0	0

表1

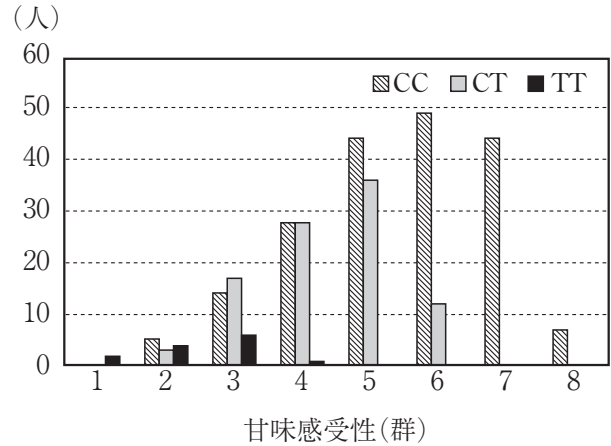


図3

実験4：-1266 C または -1266 T を含むプロモーター・調節領域の活性測定

-1266 C または -1266 T を含むプロモーター・調節領域(-2292 から -1)を、ルシフェラーゼの遺伝子の前に組み込んだプラスミドを作製した(図4)。ルシフェラーゼは、ルシフェリンという基質を酸化させ、光を放出する化学反応を触媒する酵素である。一定のルシフェリンをルシフェラーゼ溶液に添加した時の発光量を測定することで、ルシフェラーゼの相対的な量を知ることができる。T1R3 遺伝子が発現している細胞に作製したプラスミドが同じ量になるよう導入し、一定時間培養した後に細胞を回収し破碎してからルシフェリンを加え発光量を測定した(図5)。プロモーター・調節領域を組み込んでいないプラスミドを用いた時(図5, N)の発光量を1として、相対値を算出した。

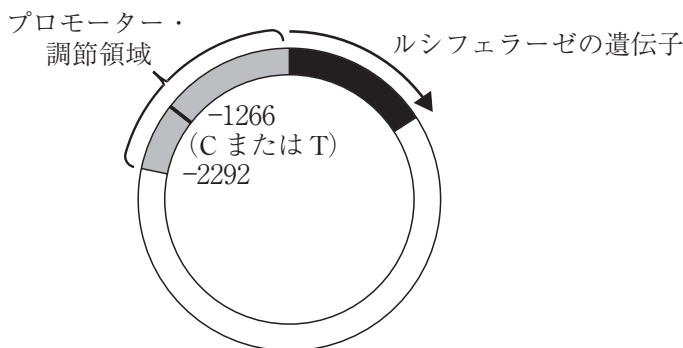


図4

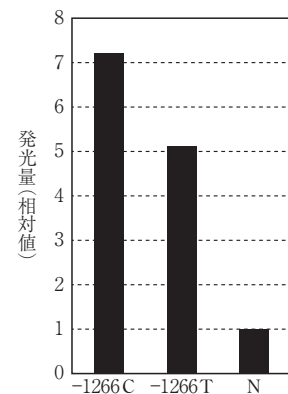


図5

実験5：好みのスクロース溶液濃度と-1266の遺伝子型との関係

実験1とは別の被験者70人(-1266の遺伝子型がCC：32人，CT：24人，TT：14人)について，被験者が最も好ましいと感じる(好みの)スクロース溶液の濃度を調べ，遺伝子型ごとにその平均値を算出した。その結果を表2に示す。

遺伝子型	好みのスクロース溶液の濃度(重量%)の平均値
CC	10.2
CT	16.2
TT	19.4

表2

問5. 実験3の結果から，被験者集団の遺伝子プールで-1266がCである割合は何%か。四捨五入して整数で答えよ。

問6. 実験4の下線部で，T1R3遺伝子を発現している細胞を用いる理由を述べよ。

問7. 実験5から-1266Tをもつ人は，-1266Cをもつ人と比べて好みのスクロース溶液の濃度が高くなる傾向があることがわかった。その理由を一連の実験結果から考察せよ。

3. 植物の生殖に関する各問いに答えよ。

I. 多くの被子植物では、おしべの葯やくの中で花粉母細胞が減数分裂を行い、花粉四分子と呼ばれる未熟な花粉の集まりを作る。その後、花粉四分子のそれぞれが体細胞分裂を行い、大きさの異なる2個の細胞ができ、成熟した花粉となっていく。めしべの胚珠内では胚のう母細胞の減数分裂によって形成された胚のう細胞が、連続した3回の 分裂を経て胚のうを形成する。花粉はめしべの柱頭につくと発芽して花粉管を胚珠に向かって伸ばす。花粉管は胚のう中の 細胞が分泌する誘引物質に導かれて胚のうに到達する。 細胞は花粉管内で分裂して2個の精細胞となり、そのうちの1個は卵細胞と受精して受精卵となり、もう1個は 細胞と融合し胚乳となる。

一方、シダ植物は減数分裂によって を作る。 は発芽して と呼ばれる配偶体となる。多くのシダ植物の は造卵器と造精器をもち、造卵器で受精が起こる。

問 1. 文章中のA～Fの に入る適切な語句を答えよ。

問 2. 被子植物とシダ植物はともに陸上植物であるが、被子植物の方がより陸上生活に適している。その理由をそれぞれの生殖のしくみから考察し、述べよ。

II. 多くの被子植物では、同じ花の中で自身の花粉がめしべにつくことにより自家受精が起こる。このしくみを自家和合性という。これに対して自己と非自己の花粉を識別し、自家受精をさけるしくみは自家不和合性と呼ばれ、自家不和合性遺伝子(S 遺伝子)が関わっている。S 遺伝子には多くの対立遺伝子があり、S1, S2, S3… Sn と表記される(図1)。花粉側の特異性を決めるS 遺伝子(花粉側のS 遺伝子)と、めしべ側の特異性を決めるS 遺伝子(めしべ側のS 遺伝子)は異なる遺伝子であるが、ともにS 遺伝子座上にあり、強く連鎖しており、組換えはほとんど起こらない。自己と非自己の識別はS 遺伝子から作られるS 因子により行われる。花粉側のS 遺伝子から作られるS 因子(花粉のS 因子)とめしべ側のS 遺伝子から作られるS 因子(めしべのS 因子)の型が同一であれば自己、異なっていれば非自己と認識される。別の個体の花でもS 因子の型が同一であれば自己と識別される。

アブラナ科の植物では、花粉のS 因子は花粉をとりまく細胞(2n)によって作られるタンパク質で、作られたタンパク質は花粉表層に移行する。一方、めしべのS 因子は柱頭の細胞膜上に存在する受容体である。例えば、花粉のS1 因子とめしべのS1 因子が結合すると花粉の発芽が抑制される。

ナス科やバラ科の植物では、花粉のS 因子は花粉自身が作る酵素で、異なる型のめしべのS 因子を分解する。一方、めしべのS 因子は花粉管内に移動して、花粉管内のRNAを分解する酵

素である。花粉とめしべのS因子が同じ型の場合、めしべのS因子は分解されないため、めしべのS因子により花粉管内のRNAが分解され、花粉管の伸長が抑制される(図2)。

同じ遺伝子座にある花粉側のS遺伝子とめしべ側のS遺伝子の型は同じであり、また、各対立遺伝子間に優劣はなく、等しくS因子を作るものとして、以下の問いに答えよ。

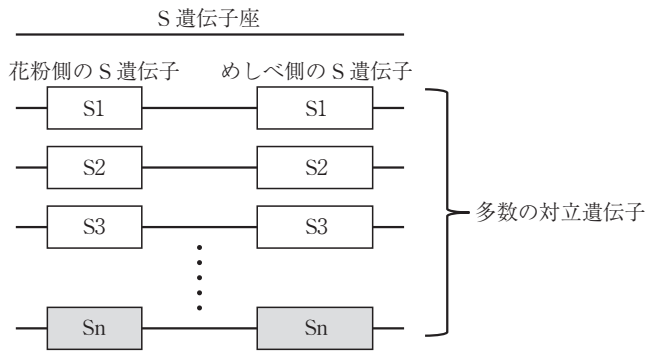
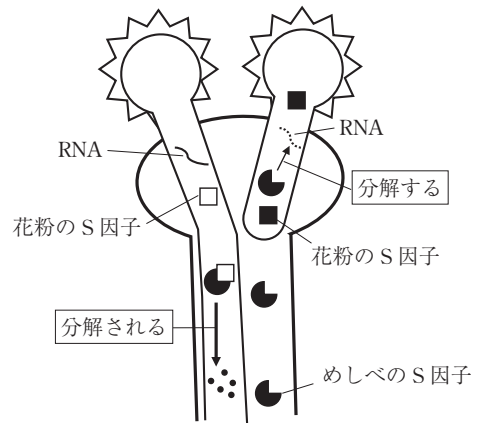


図1



異なる色で示したS因子は異なる型であることを示す

図2

問3. 表1はアブラナ科とナス科のある植物個体について、S遺伝子に関する遺伝子型(S遺伝子型)やS因子の種類についてまとめたものである。空欄①~⑥に入る適切な遺伝子型または数字をア~サより選び、記号で答えよ。同じ記号を複数回使ってもよい。

	アブラナ	ナス
めしべの細胞(2n)のS遺伝子型	S1S2	S3S4
花粉の細胞のS遺伝子型	①	②
ひとつの花粉の表面に分布する花粉のS因子の種類	③種類	/
ひとつの花粉内に存在する花粉のS因子の種類	/	
めしべに存在するめしべのS因子の種類		⑤種類

表1

- | | |
|---------|--------------|
| ア. S1 | カ. S3S4 |
| イ. S2 | キ. S1 または S2 |
| ウ. S3 | ク. S3 または S4 |
| エ. S4 | ケ. 1 |
| オ. S1S2 | コ. 2 |
| | サ. 1 または 2 |

問 4. 表 2 はリンゴ(バラ科)の品種とそれぞれの S 遺伝子型(体細胞)の関係を示している。

1)～3)の各問いに答えよ。

1)ふじから採集した花粉を異なる品種の花のめしべにつけた。その結果、結実しないと考
えられる品種を表からすべて選び、答えよ。

2)千秋と北斗の花粉を、それぞれゴールデンデリシャスの花のめしべにつけた。その結
果、千秋の花粉をつけた花は結実したが、北斗の花粉では結実しなかった。その理由を考
察せよ。

3)シナノスイートの花粉を紅玉のめしべにつけた。受精後にできる胚について、S 遺伝子
型とその比を答えよ。

S 遺伝子型	品種名	S 遺伝子型	品種名
S1S3	秋映	S2S9	はるか
S1S7S9	北斗	S3S10	シナノレッド
S1S7	千秋, シナノスイート	S5S7	さんさ
S1S9	ふじ, アルプス乙女	S7S9	紅玉
S2S3	ゴールデンデリシャス	S7S24	あかね
S2S7	王林	S9S28	スターキングデリシャス

表 2

問 5. アブラナ科に属する多くの植物は自家不和合性を示す。アブラナ科シロイヌナズナ属のシ
ロイヌナズナはすべての個体が自家和合性の性質をもつが、その祖先は自家不和合性の性質
をもっていたと考えられている。また、シロイヌナズナは種内でさらに細分化したグループ
(系統)に分けられる。

シロイヌナズナとその近縁種で自家不和合性を示すアブラナ科シロイヌナズナ属ハクサン
ハタザオの S 遺伝子の DNA 配列を比較したところ、シロイヌナズナについて次の①～③の
ことがわかった。

- ① シロイヌナズナの多くの系統では、めしべ側の S 遺伝子に自家不和合性の機能を欠損
させるさまざまなタイプの変異がある。
- ② シロイヌナズナの一部の系統ではめしべ側の S 遺伝子の DNA 配列には変異がなくハク
サンハタザオと同じ(ハクサンハタザオ型)である。
- ③ シロイヌナズナの花粉側の S 遺伝子はすべての系統で機能が欠損している。ほとんどの
場合、花粉側の S 遺伝子の一部に逆位が起こっていることが原因である。

シロイヌナズナとハクサンハタザオを用いて交配実験1～4を行った。

実験1：めしべ側のS遺伝子が機能を欠損しているシロイヌナズナの柱頭にS遺伝子型が同じハクサンハタザオの花粉をつけた。

結果1：ハクサンハタザオの花粉管は伸長した。

実験2：めしべ側のS遺伝子のDNA配列がハクサンハタザオ型であるシロイヌナズナの柱頭にS遺伝子型の異なるハクサンハタザオの花粉をつけた。

結果2：ハクサンハタザオの花粉管が伸長した。

実験3：めしべ側のS遺伝子のDNA配列がハクサンハタザオ型であるシロイヌナズナの柱頭にS遺伝子型が同じハクサンハタザオの花粉をつけた。

結果3：ハクサンハタザオの花粉管は伸長しなかった。

実験4：めしべ側のS遺伝子のDNA配列がハクサンハタザオ型であるシロイヌナズナの柱頭に、花粉側のS遺伝子の逆位型の変異を正常に戻したS遺伝子型が同じシロイヌナズナの花粉をつけた。

結果4：シロイヌナズナの花粉管は伸長しなかった。

実験1～4について、以下の1)～3)の問いに答えよ。

1)実験1で花粉管が伸長した理由を考察せよ。

2)実験2で花粉管が伸長した理由を考察せよ。

3)実験1～4の結果から導き出せる考察を以下のa～dよりすべて選び、記号で答えよ。

また、選んだ理由を述べよ。

- a. ハクサンハタザオとシロイヌナズナの雑種を作ることは不可能である。
- b. 花粉側のS遺伝子とめしべ側のS遺伝子の型が一致すれば、異種の個体間でも自家不和合性のしくみが働く。
- c. めしべ側のS遺伝子に変異したことで、シロイヌナズナは自家受精を行う種に進化した。
- d. S遺伝子に起きた遺伝子変異を変化させることで再び自家不和合性の性質をもつ個体にすることが可能である。

問題訂正

理科（生物）

訂正箇所

15 ページ <実験 3> 1 行目

(誤)

プラスミド # 1, # 2, # 4 のそれぞれを, IRP を発現している細胞に導入し, …

(正)

プラスミド # 1, # 2, # 4 のいずれかを, IRP と RNA 分解酵素 α が発現している細胞に導入し, …

以上