

平成31年度 入学試験問題

理科問題用紙(前期)

試験時間	120分
問題用紙	物理 1～8頁
	化学 9～20頁
	生物 21～34頁

注意事項

1. 指示があるまで問題用紙は開かないこと。
2. 受験科目はあらかじめ受験票に記載された2科目とし、変更は認めない。
3. 問題用紙および解答用紙に落丁、乱丁、印刷の不鮮明な箇所があったら、手を挙げて監督者に知らせること。
4. 解答が終わっても、または試験を放棄する場合でも、試験終了までは退場できない。
5. 携帯電話等の電子機器類は電源を必ず切り、鞆の中にしまうこと。
6. 机上には、受験票と筆記用具(鉛筆、シャープペンシル、消しゴム)および時計(計時機能のみ)以外は置かないこと。(耳栓、コンパス、定規等は使用できない。)
7. 問題用紙および解答用紙に受験番号と氏名を記入すること。
8. 解答はすべて解答用紙の所定の解答欄に記入すること。欄外には何も書かないこと。
9. この問題用紙の余白は自由に用いてよい。
10. 質問、トイレ、体調不良等で用件のある場合は、無言のまま手を挙げて監督者の指示に従うこと。
11. 中途退室時は、問題用紙および解答用紙を裏返しにすること。
12. 受験中不正行為があった場合は、試験の一切を無効とし、試験終了時間まで別室で待機を命じる。
13. 試験終了後、解答用紙は裏返し、問題用紙は持ち帰ること。

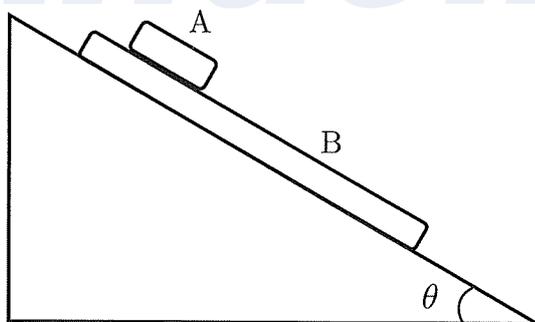
受験番号	
------	--

氏名	
----	--

物 理

[I] 図のように、角度 θ が調整できる斜面上に 2 つの直方体 A, B が置かれている。A の質量は 1.0 kg, B の質量は 2.0 kg である。また A と B の間の静摩擦係数, 動摩擦係数はそれぞれ 0.50, 0.40 であり, B と斜面の間の静摩擦係数, 動摩擦係数はそれぞれ 0.60, 0.50 である。以下の の中に適した答えを有効数字 2 桁で書け。ただし, 重力加速度を 9.8 m/s^2 とし, $\sqrt{2} = 1.41, \sqrt{3} = 1.73$ を使ってよい。なお, B や斜面は十分広いものとする。

角度 θ を 0 度からゆっくりと大きくしていくと, θ が小さいとき A, B は静止していたが, 角度 θ_1 になると A だけすべり始めた。このとき $\tan \theta_1 = \text{ア}$ である。 $\theta = \pi/6$ のときは A だけがすべっているが, このときの A の加速度の大きさは イ m/s^2 である。また, $\theta = \pi/6$ のとき, A を図の B の面に沿って左方向に初速度 10 m/s で運動させると, A は B の面に沿って ウ m 移動して静止し, 右方向にすべる。さらに角度を大きくして, θ_2 を越えると B もすべりだした。このとき $\tan \theta_2 = \text{エ}$ である。 $\theta = \pi/4$ のとき, A も B もすべっているが, B の加速度の大きさは オ m/s^2 である。



図

[II] 真空中で、図のように、紙面に垂直で手前から奥側の方向の一様な磁場（磁束密度の大きさ B ）があり、この磁束密度の方向は水平方向である。磁束密度に垂直に導体の枠 ABCD を固定し、B および C の高さをゼロとする。枠 ABCD に、質量 M 、長さ L の導体棒 XY を、なめらかに動くように接触させる。回路 XBCY に起電力 V の電池を接続して電流を流し、導体棒 XY をある高さに移動させると、導体棒はその位置で静止した。

導体 AB、導体 CD の単位長さ当たりの抵抗値は k であり、BC 間の電気抵抗、および導体棒の電気抵抗はゼロとする。また、XBCY は長方形を保つものとし、導体棒 XY と枠との接触点での摩擦および電気抵抗、導体棒 XY の運動によって発生する誘導起電力は無視できるものとする。重力加速度を g として、下記の文章の に適した答えを書け。なお、 $|x|$ (x は任意の変数) が 1 より十分小さいときは、 $(1+x)^{-1} \approx 1-x$ という近似式を利用してよい。

この回路に流れている電流の大きさは ア であり、導体棒 XY が静止している高さは イ である。また、回路に毎秒発生するジュール熱は ウ である。

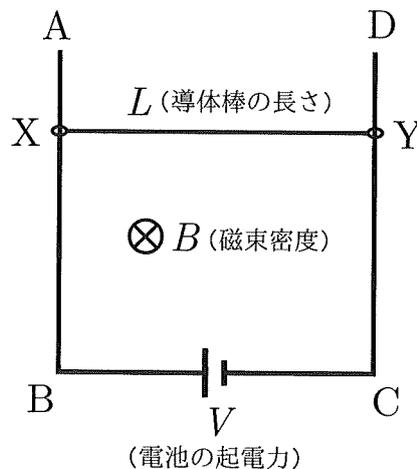
導体棒 XY を静止している位置からわずかに押し下げて、それを静かにはなすと、導体棒 XY は振動する。この振動は、静止位置からわずかな範囲の振動であるならば、単振動と考えてよい。この単振動をばねの単振動とみなすとき、ばね定数に相当する値は

$$\frac{1}{BLV} \times \text{エ} \text{$$

である。また、この振動の周期は

$$\frac{2\pi}{g} \times \text{オ} \text{$$

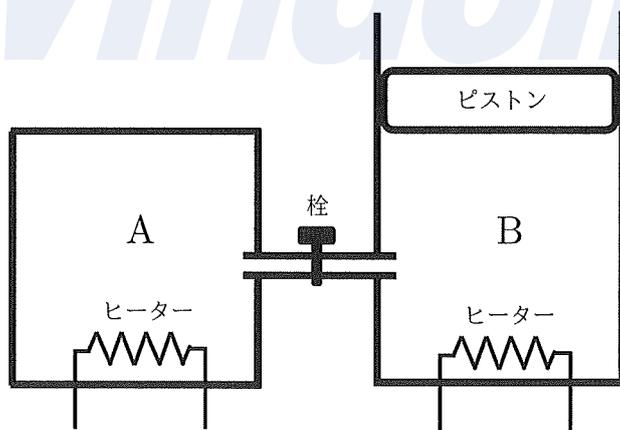
である。



図

[III] 図のように2つの断熱性の容器A, Bが栓のついた細管で連結されており、大気中に置かれている。最初、栓は閉じた状態でA, Bにそれぞれ1モルの単原子分子からなる理想気体が封入されており、圧力、体積、温度はA, Bともに P_0, V_0, T_0 である。 P_0 は大気圧と等しい。Aの体積は常に V_0 だが、Bの体積はなめらかに動く軽いピストンによって可変である。またピストンを介した熱のやりとりもないものとする。下記の(1)~(3)の文章の□に適した答えを、分母と分子がともに整数の約分した分数で書け。ただし、気体定数は R とする。

- (1) 栓を閉じた状態でヒーターからAの気体に熱量 $Q = RT_0$ を与えた。このときの気体Aの圧力は P_0 の□ア倍となる。
- (2) 次に、栓を閉じた状態で、ヒーターからBの気体に同じ熱量 $Q = RT_0$ を与えた。このとき気体Bの温度は T_0 の□イ倍となり、体積は V_0 の□ウ倍となる。
- (3) 最後に、栓を開いて気体AとBを混合させる。平衡に達した後の気体の温度は T_0 の□エ倍であり、容器Bの体積は V_0 の□オ倍である。



図

[IV] 下記の(1)および(2)の文章の に適した答えを書け。ただし、光の速さを 3.0×10^8 m/s, 電気素量を 1.6×10^{-19} C とする。なお、数値はすべて有効数字 2 桁で、例えば 1.2×10^3 のような形式で答えよ。

(1) 波長 5.0×10^{-7} m の光の振動数は Hz である。

(2) プランク定数を実験で求めるために、図 1 のような回路を用い、光電管の陰極に様々な振動数の光を当てながら、陰極に対する陽極の電位 V [V] を変化させる実験を行った。まず、ある振動数の光を光電管の陰極に当て、 V を 0 から下げていき、光電流が 0 となったときの V の値を読み取る。次に、別の振動数の光を光電管の陰極に当て、同様に光電流が 0 となったときの V の値を読み取る。この実験を様々な振動数の光で繰り返した結果、図 2 のような結果が得られた。図 2 の横軸は光電管の陰極に当てた光の振動数を示し、縦軸はその振動数の光を用いた実験で光電流が 0 となったときの V の値の絶対値を表している。

このグラフの結果を利用して考えると、振動数 7.0×10^{14} Hz の光を光電管に当てたとき、光電管の陰極から飛び出す光電子の運動エネルギーの最大値は J である。また、この実験から導き出されるプランク定数の値は J·s であり、陰極の金属の仕事関数の値は J である。

この実験装置では、陰極に対する陽極の電位 V [V] が 0 のとき、光電管に当てる光の強度をどんなに大きくしても、その光の振動数が Hz 以下の場合には光電流が発生しない。

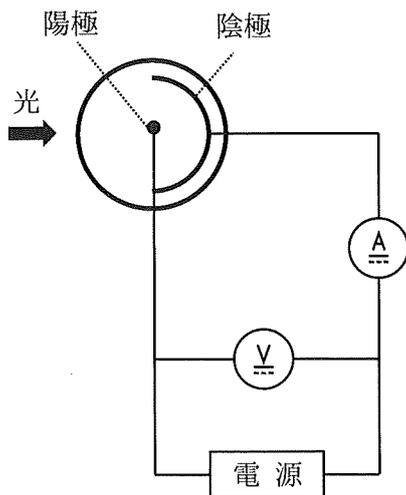


図 1

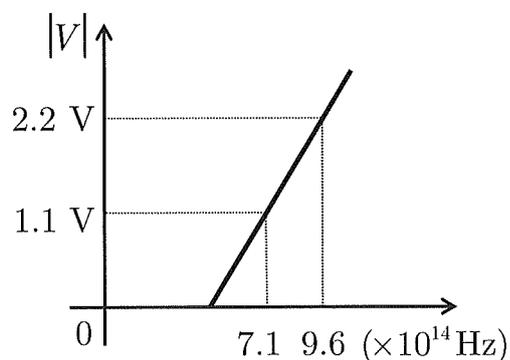


図 2

化 学

必要があれば、以下の数値を用いよ。

原子量	H: 1.00	C: 12.0	N: 14.0	O: 16.0	Na: 23.0	S: 32.0
	Cl: 35.5	K: 39.0	Cu: 63.5	I: 127		
気体定数 R	$8.30 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol})$					
ファラデー定数 F	96500 C/mol					
アボガドロ定数	$6.00 \times 10^{23}/\text{mol}$					
水のイオン積	$1.00 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$					
0 °C	273 K					

[I] [A], [B] および [C] の文章を読んで問いに答えよ。

[A] 銅 Cu の単体はおもに黄銅鉱 (主成分 [ア]) を製錬して取り出される。これによって得られた銅は粗銅とよばれ、純度 99% 程度で、不純物元素として^(a)亜鉛、金、鉄、銀、ニッケルなどを含む。粗銅を精錬するには、高純度銅の板を [イ] 極、粗銅でつくった銅板 (粗銅板) を [ウ] 極として、[エ] の希硫酸溶液の電気分解を行う。すると、粗銅板が溶解し、高純度銅板上に純度 99.99% の純銅が析出する。粗銅板に含まれる不純物元素のうち、[オ] は溶液中に溶け、[カ] が粗銅板の下に沈殿して除去される。

銅は赤味を帯びた軟らかい金属で、^(b)電気伝導性が [キ] に次いで大きいので、^(c)電線などの電気材料として用いられる。また、熱伝導性も大きいので、調理器具や熱交換器などの材料としても利用される。

銅は合金としても広く用いられている。白銅は銅と [ク] との合金である。また、黄銅は銅と亜鉛との合金であり、^{しんちゅう}真鍮ともよばれる。真鍮の物性は銅と亜鉛の割合によって変化するため、その銅含有率を知ることが重要である。

[B] 酸化還元反応を利用した滴定には、過マンガン酸カリウム KMnO_4 や二クロム酸カリウム $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ などの強い酸化剤が有効である。これらの強い酸化剤は、河川水などにおける有機物による水質汚濁の指標となる [ケ] ([コ]) の測定に用いられる。これに対してヨウ素 I_2 は温和な酸化剤である。無極性分子である I_2 は水にほとんど溶けないが、ヨウ化カリウム

KI 水溶液には、



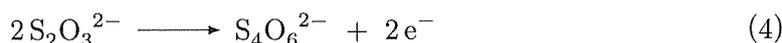
となってよく溶ける。この反応の平衡定数は十分に大きく、ヨウ化カリウム水溶液に溶けた I_2 は常にすべてが I_3^- として存在すると考えることができる。 I_3^- は(2)式のように働くので、強い還元剤であれば、 I_3^- の酸化力を利用して直接滴定することができる。



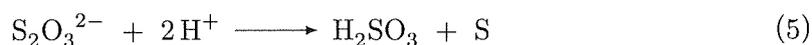
一方、 Cu^{2+} を含む水溶液に過剰のヨウ化カリウムを加えると、 I^- によって Cu^{2+} が Cu^+ に還元され、生じた Cu^+ が溶液内の I^- と結びついて CuI の難溶性白色沈殿を生じる。



したがって、反応(3)で遊離した I_3^- をチオ硫酸ナトリウム $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ で滴定すれば、 Cu^{2+} を間接的に定量できる。このとき、チオ硫酸イオン $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ は(4)式のように働く。



なお、滴定に使うチオ硫酸ナトリウム標準水溶液の正確な濃度は、(d) 適当な標準溶液を用いて滴定によって求めておく必要がある。これは、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ の試薬が分解したり結晶水量が変化したりしやすいためである。また、チオ硫酸ナトリウム溶液は、炭酸ナトリウムと一緒に溶かして pH 9~10 の弱アルカリ性としておくと安定であるが、酸性では(5)式のように徐々に分解が進む。



C 真鍮試料中の銅を滴定によって分析するため、次の実験を行った。

【実験】

試料 1.20 g をビーカーにとり、希 水溶液を加えておだやかに加熱したところ、
(e) 気泡 の発生をともなって試料が溶解した。試料が溶け終わったところで濃硫酸を加えた。
続いて、硫酸の白煙が生じるまで強く加熱して を完全に追い出した。冷却後、溶液を
 に移し、純水を加えて全容 100 mL の試料溶液とした。

試料溶液を 15.0 mL とり、水酸化ナトリウム水溶液を加えて中和した後、酢酸を加えて溶
液を弱酸性とした。さらに (f) ヨウ化カリウム 2.49 g を加えて溶解すると、白色沈殿が生じ、
溶液が褐色となった。この溶液に 0.100 mol/L チオ硫酸ナトリウム標準水溶液を滴下し、褐
色の溶液が黄色になったところで (g) デンプン水溶液を加えたら溶液が濃青色になった。さら
に続けて 0.100 mol/L チオ硫酸ナトリウム標準溶液を滴下していくと、全部で 20.0 mL 滴下
したところで溶液の青色が消えた。ここを滴定の終点とした。

問 1 ~ について、指示にしたがって答えよ。

- に入る化学式を書け。
- および に入る語を漢字で書け。
- に入る物質を化学式で書け。
- および に入る元素のすべてを、下線(a)の元素から選んで元素記号で書け。
- に入る金属元素を元素記号で書け。
- に入る元素を元素記号で書け。
- に入る略号を英字で書け。
- には の略号の意味を示す語句が入る。その語句を漢字で書け。
- に入る物質を化学式で書け。
- に最も適した器具の名称を書け。

問 2 下線(b)に関して、一般に金属の電気伝導性は温度の上昇とともに低下する。その理由を述べよ。

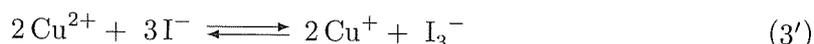
問 3 下線(c)のように加工できる銅の性質は何とよばれるか、その名称を漢字で書け。

問4 C の【実験】の結果にもとづいて、真鍮試料中の銅含有率〔%〕を有効数字3桁で求めよ。

問5 下線(d)では、固体のヨウ素を精密にはかりとってヨウ化カリウム水溶液に溶かしたヨウ素標準水溶液を用いることができる。ヨウ素標準溶液の調製には十分に精製されたヨウ素が必要であるが、ヨウ素の試薬には不純物として塩素 Cl_2 や臭素 Br_2 が含まれていることがある。 Cl_2 と Br_2 を除去して高純度ヨウ素の固体を得る方法を述べよ。その方法で塩素や臭素が分離される理由も合わせて述べること。

問6 下線(e)で生じる気体のうち、銅が反応したことによって発生する気体の分子式を1つ書け。

問7 下に示した反応(3')の平衡定数は $1.0 \times 10^{-13} (\text{mol/L})^{-2}$ である。したがって、本来 I^- による Cu^{2+} の Cu^+ への還元は起こりにくい。しかし、実際には反応(3)は十分に右に進む。これは生成した Cu^+ が I^- と CuI の難溶性沈殿をつくって溶液内の Cu^+ の濃度が低く保たれるためである。C の下線(f)において(3)の反応が平衡に達した後の溶液中の Cu^{2+} のモル濃度を求めよ。ただし、 CuI の溶解度積を $K_{\text{sp}} = [\text{Cu}^+][\text{I}^-] = 1.0 \times 10^{-12} (\text{mol/L})^2$ とする。



問8 下線(g)のヨウ素デンプン反応の呈色が青色ではなく赤味を帯びて紫色ないし赤紫色になることがある。色調の違いが生じる理由を述べよ。

問9 C において、 0.100 mol/L チオ硫酸ナトリウム標準溶液中の $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ の濃度の10.0%が反応(5)によって分解していた場合、分解が起こっていない場合と比べて、滴定終点までの滴下量に何 mL の違いを生じるか。多い場合は「+」、少ない場合は「-」をつけて小数第1位まで記せ。違いを生じないならば「0」と書け。

[II] 電気分解(電解)の実験を行うために、図のように陽イオン交換膜と陰イオン交換膜によって5つの区画に仕切られた電解槽の、区画1, 2, 3に電解液として0.200 mol/L NaCl水溶液を、区画4に0.100 mol/L CuSO₄水溶液を、区画5に0.0200 mol/L H₂SO₄水溶液を入れた。区画1, 3, 5には250 mL、区画2と4には500 mLの電解液が入っている。区画1と5の溶液にPt電極を挿入し、図のように回路を組んで0.500 Aの定電流で電解を行った。この電解について、以下の問いに答えよ。なお、陽イオン交換膜とは陽イオンのみを透過させる膜で、陰イオン交換膜とは陰イオンのみを透過させる膜であり、水はどちらの膜も透過しないものとする。また、区画内の溶液は均一であるとし、溶液の体積変化および溶液中の水の濃度変化は無視せよ。

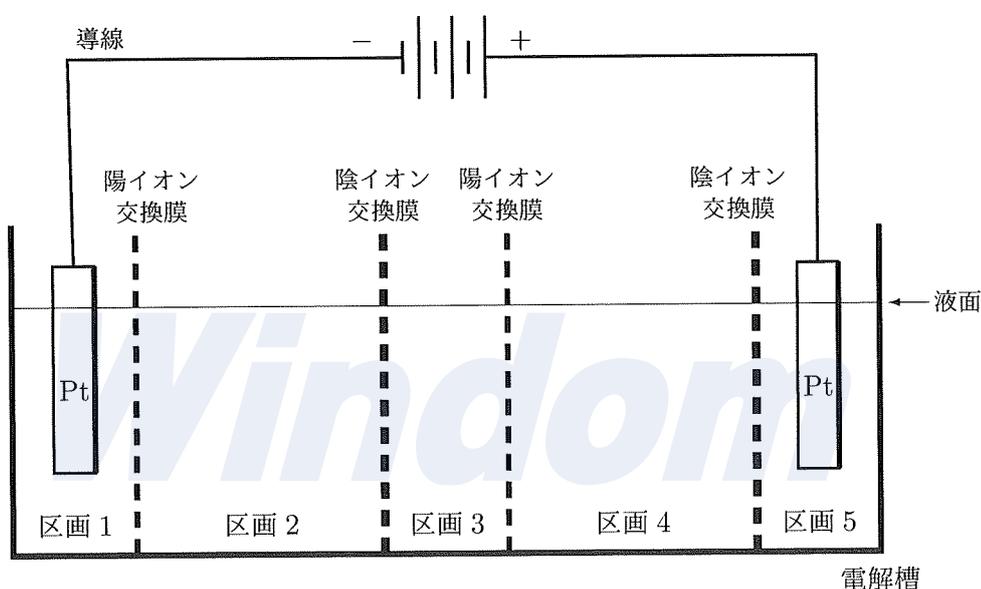


図 電気分解(電解)実験装置

- 問1 電解中、陽極と陰極で起こる反応を、それぞれ電子 e^- を含むイオン反応式で書け。
- 問2 電解中に発生した気体の総物質量は0.0450 molであった。この電解の電解時間は何分であったか。
- 問3 電解終了後の各区画の溶液は何色か。色がなければ「無色」と書け。

問 4 電解終了後の区画 4 の溶液中の CuSO_4 のモル濃度を書け。

問 5 電解終了後，区画 5 の溶液 10.0 mL を，フェノールフタレインを指示薬として区画 1 の溶液で滴定すると，滴定量は何 mL となるか，有効数字 3 桁で答えよ。

Windom

[III] 文章を読んで問いに答えよ。

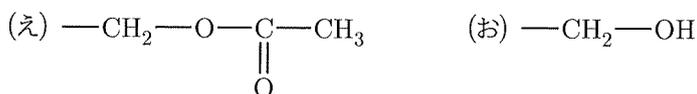
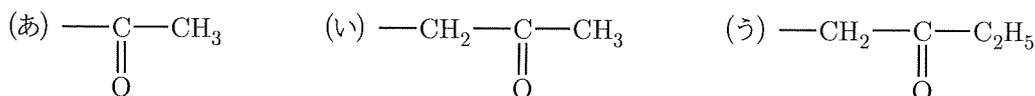
三重結合には水や水素の付加反応が起こる。例えば、硫酸水銀(II)触媒の存在下でアセチレンに水を付加すると、**ア**を経て**イ**が生成する。また、三重結合炭素に水素原子が結合していない直鎖状のアルキンに水を付加すると、二重結合炭素にOH基をもつアルコール、いわゆるエノール体とよばれる構造を経てケトン体を生じる。アセチレンを除く、三重結合炭素に水素原子が結合している直鎖状のアルキンに水を付加しても、アルデヒドは生じず、ケトン体が生じる。

一方、リンドラー触媒とよばれる特殊なパラジウム触媒を用いると、アルキン1 molに対し1 molの水素ガスの吸収後に反応を停止させて、シス体のアルケンを得ることができる。ここで、 $R^1-C\equiv C-R^2$ で示されるアルキンAの1 molに対して、リンドラー触媒下で水素を1 mol付加したところ、アルケンBが生成した(R^1 , R^2 は水素またはアルキル基を表す)。このアルケンBに酸触媒下で水を付加すると、第二級アルコールCとDの2種類が生成した。アルコールDはヨードホルム反応を示した。さらに、アルコールCを酸化すると対称ケトンEが生じ、アルコールDを酸化すると非対称ケトンFが生じた。

また、アルキンAに対し硫酸水銀(II)を触媒として水を付加させると、エノール体Gを経てケトンEと、エノール体Hを経てケトンFが生成した。

問1 **ア**と**イ**にあてはまる化合物名を書け。

問2 アルコールDに含まれる部分構造式を下記の(あ)~(き)の中から選び、記号で答えよ。



問3 エノール体G, Hの構造式を書け。

問4 ケトンE, Fのうちヨードホルム反応を示すものはどちらか。記号で答えよ。

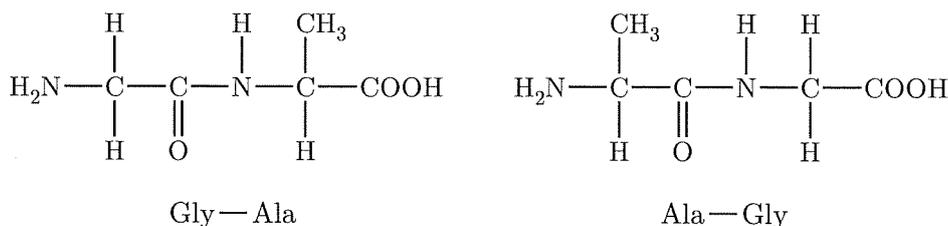
問5 アルキンAの構造式を書け。

問6 アルケンBの構造式を, シストランス異性体を区別して書け。

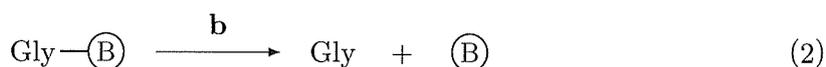
Windom

[IV] 文章を読んで問いに答えよ。

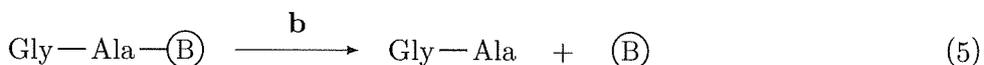
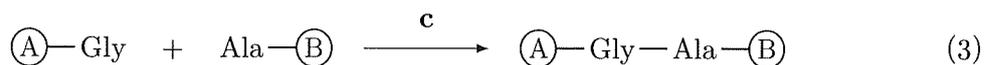
同一の炭素原子にアミノ基 ($-\text{NH}_2$) とカルボキシ基 ($-\text{COOH}$) が結合したものを α -アミノ酸という。2分子の α -アミノ酸が縮合するとジペプチドが生じる。グリシン (Gly) とアラニン (Ala) からなるジペプチドには下の2種類があるが、左端をアミノ基側 (N 末端)、右端をカルボキシ基側 (C 末端) として、Gly—Ala, Ala—Gly のように表す。



化学的にペプチドを合成する際には、保護基とよばれるものをつけたアミノ酸が用いられる。たとえば、アミノ基に(A)という保護基をつけたグリシンを(A)—Gly と表すとする。(A)—Gly は、反応条件 a で保護基がはずれる (これを模式的に表したものが(1)式) が、反応条件 b でははずれない。一方、カルボキシ基に(B)という保護基をつけたグリシンを Gly—(B) と表すとする。Gly—(B) は、反応条件 b で保護基がはずれる (これを模式的に表したものが(2)式) が、反応条件 a でははずれない。



したがって、Gly—Ala を合成したい場合には、ペプチド結合を作る反応条件を c とすると、例えば(3)~(5)式のような3段階の反応を行えばよい。



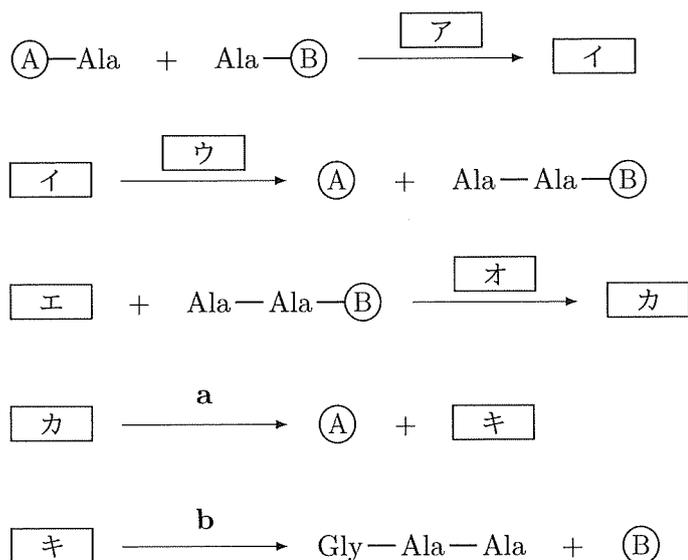
アラニン (Ala), システイン (Cys), グルタミン酸 (Glu), リシン (Lys), フェニルアラニン (Phe) 各 1 分子が結合してできた, あるペプチド P について考える。P を酵素 X で加水分解するとペプチド①とペプチド②が生じた。また, 酵素 Y で加水分解するとペプチド③とペプチド④が生じた。X はペプチド内の Phe の $-CO-$ 側のペプチド結合を選択的に加水分解する酵素であり, Y はペプチド内の Lys の $-CO-$ 側のペプチド結合を選択的に加水分解する酵素である。①~④を pH 8 の緩衝液中で電気泳動させると, ①と③は陰極側に移動し, ②と④は陽極側に移動した。また, ①~④の水溶液に濃い水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱した後, 酢酸で中和し, 酢酸鉛(II)水溶液を加えると②と④からは黒色沈殿が生じた。

問 1 グリシンが無水酢酸と反応すると何になるか。構造式を書け。

問 2 アラニンが酸性条件下でメタノールと反応すると何になるか。構造式を書け。

問 3 Ala—Gly を合成する方法を(3)~(5)式にならって書け。

問 4 下の ア ~ キ にあてはまる反応条件 a ~ c, 化合物の略号 (A—Gly など) を入れ, Gly—Ala—Ala を合成する方法を完成させよ。



問5 下線部の黒色沈殿は何か。化学式で答えよ。

問6 ①～④の水溶液を塩基性にした後、少量の硫酸銅(II)水溶液を加えると赤紫色となるものはどれか、すべて答えよ。

問7 ①～④の水溶液に濃硝酸を加えて熱した後、アンモニア水を加えて塩基性になると橙黄色になるものはどれか、すべて答えよ。

問8 ①の構造を、Gly—Alaのようにアミノ酸の略号を用いて書け。

Windom

生 物

[I] 動物の細胞接着に関する下記の文章を読み、各問いに答えよ。

多細胞動物を構成する細胞は、細胞膜を貫通するタンパク質を介して互いに接着することができる。カドヘリンは、このような細胞接着に関わる分子（細胞接着分子）の1つであり、カルシウムイオン (Ca^{2+}) の存在下でのみはたらく。カドヘリンにはE型カドヘリン、N型カドヘリンなど多くの種類があるが、同じ種類のカドヘリンどうしが結合するため、カドヘリンの種類によって細胞は選別される。この細胞接着のしくみは、動物の器官形成に重要な役割を果たしている。また、⁽¹⁾多細胞動物の祖先に最も近縁な単細胞生物が、カドヘリンに似た遺伝子をもつことが報告され、カドヘリンは多細胞動物の出現にも寄与したと考えられている。

上皮組織にはさまざまな結合が存在するが、これらの結合にはカドヘリンなどの細胞接着分子が関与している。外界近くの上皮細胞間には 結合が存在し、外界からの物質の流入や細胞外液の漏れを防いでいる。この他、小さな分子やイオンを細胞間で交換することができる 結合、固定結合である 結合やデスモソームが、細胞間には存在する。また、ヘミデスモソームは、 とよばれる膜状の細胞外基質と上皮細胞の間の結合である。

問1 文中の ~ にあてはまる語句を入れよ。

問2 カドヘリンが関与している結合をI群より2つ選び、記号で答えよ。また、その結合において、他の分子を介してカドヘリンと連結する細胞骨格をII群より1つずつ選び、それぞれ記号で答えよ。

I群：

- (あ) 結合 (い) 結合 (う) 結合
(え) デスモソーム (お) ヘミデスモソーム

II群：

- (a) 微小管 (b) アクチンフィラメント
(c) ミオシンフィラメント (d) コラーゲン
(e) 中間径フィラメント (f) インテグリン

問3 下線部(1)の単細胞生物に最もあてはまるものを、以下の(あ)～(き)より1つ選び、記号で答えよ。また、その生物は、3ドメイン説では何ドメインに、五界説では何界に属するか。それぞれ漢字で答えよ。

- (あ) 繊毛虫 (い) えり鞭毛虫 (う) ミドリムシ (え) 変形菌
(お) 海綿動物 (か) 刺胞動物 (き) ケイ藻

問4 カドヘリンによる細胞接着のしくみを調べるため、カエルを使って以下の各実験を行った。ただし、遺伝子Fと遺伝子Gは、異なる種類のカドヘリンをつくる遺伝子であり、いずれも神経胚からクローニングされた。また、タンパク質を分解する酵素Qと酵素Rは、カドヘリン以外のタンパク質には影響を与えないものとし、培養中に細胞は増えたり死んだりせず、カドヘリン以外の分子は細胞接着には関わらないものとする。

【実験1】 神経胚から表皮、神経管、神経堤の一部を摘出し、それぞれ別々のシャーレに入れ、 Ca^{2+} 非存在下で細胞をばらばらにした。表皮の細胞はE型カドヘリンのみを、神経管の細胞はN型カドヘリンのみを発現していることが知られている。培養液に Ca^{2+} を適量加えたところ、表皮および神経管の細胞は互いに接着してそれぞれ1つの細胞塊にまとまったが、神経堤の細胞はばらばらのままであった。

【実験2】 どのカドヘリンも発現しないカエル由来の培養細胞を、2つのシャーレにほぼ同数入れた。1つのシャーレの細胞には遺伝子Fを、もう1つのシャーレの細胞には遺伝子Gを導入し、すべての細胞で導入した遺伝子が発現することを確認した。

Ca^{2+} 非存在下では、遺伝子Fを導入した細胞(以下、F導入細胞とよぶ)も、遺伝子Gを導入した細胞(G導入細胞)もばらばらであったが、培養液に Ca^{2+} を適量加えたところ、互いに接着してそれぞれ1つの細胞塊にまとまった。

【実験3】 実験1の表皮、神経管、神経堤の各細胞、実験2でつくったF導入細胞、G導入細胞の5種類から2種類をさまざまな組み合わせで選び、各種類ほぼ同数の細胞を同じシャーレに入れて混合した。 Ca^{2+} 非存在下では、どのシャーレの細胞もばらばらであったが、培養液に Ca^{2+} を適量加えて培養したところ、下図のA(すべての細胞が1つの細胞塊にまとまる)、B(2種類の細胞が別々に細胞塊を形成し、一方が内側に、もう一方が外側に位置する)、C(1種類の細胞のみが細胞塊にまとまり、もう1種類の細胞はばらばらである)のいずれかのパターンが観察された。

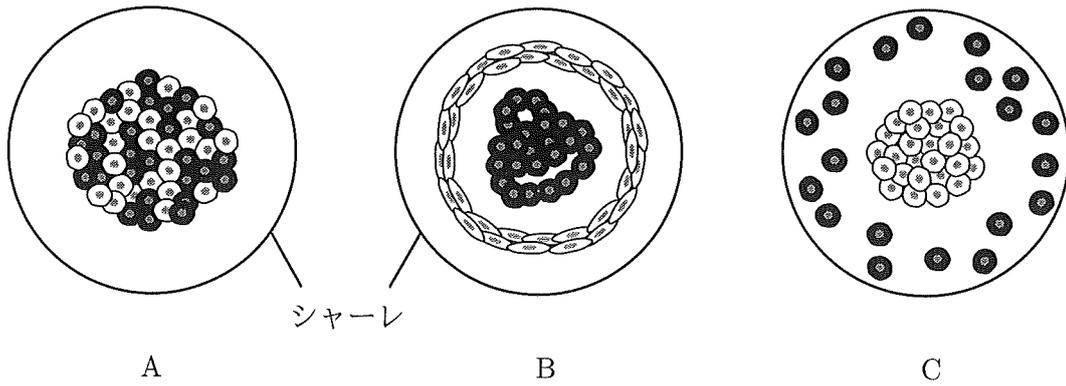


図 2種類の細胞の混合培養により観察されるパターン
異なる種類の細胞を、細胞質の色の違い (○, ●) で示す。

さまざまな組み合わせで2種類の細胞を混合して培養した結果を、下表に示す。

表 2種類の細胞を混合培養した結果

混合した2種類の細胞		培養後の結果
表皮	神経管	B (内側が神経管, 外側が表皮)
表皮	神経堤	C (細胞塊は表皮)
表皮	G 導入細胞	A
神経管	神経堤	C (細胞塊は神経管)
神経管	F 導入細胞	A
神経管	G 導入細胞	オ
神経堤	F 導入細胞	カ
F 導入細胞	G 導入細胞	キ

【実験4】 神経胚から表皮の一部を摘出し、3つのシャーレにほぼ均等に分けて入れ、 Ca^{2+} 非存在下で細胞をばらばらにした。シャーレ1の培養液に酵素Qを加え、シャーレ2とシャーレ3の培養液には酵素Qを加えないで培養したが、いずれのシャーレでも細胞はばらばらのままであった。

次に、各シャーレの培養液に Ca^{2+} を適量加えたところ、(2)シャーレ1の細胞はばらばらのままであったが、シャーレ2とシャーレ3では細胞塊が形成された。

その後、 Ca^{2+} 存在下で、シャーレ2の培養液には酵素Qを加え、シャーレ3の培養液には酵素Rを加えて培養を続けたところ、シャーレ2では細胞塊が維持されたが、(3)シャーレ3の細胞はばらばらになった。

① 表の オ ~ キ に最もあてはまる結果を以下の(あ)~(け)より1つずつ選び、それぞれ記号で答えよ。

(あ) A

(い) B (内側が神経管)

(う) B (内側が神経堤)

(え) B (内側がF導入細胞)

(お) B (内側がG導入細胞)

(か) C (細胞塊は神経管)

(き) C (細胞塊は神経堤)

(く) C (細胞塊はF導入細胞)

(け) C (細胞塊はG導入細胞)

② 表の結果から、F導入細胞、G導入細胞、神経堤の細胞は、どのようにカドヘリンを発現していると考えられるか。最もあてはまるものを以下の(あ)~(え)より1つずつ選び、記号で答えよ。

(あ) E型カドヘリンを発現している。

(い) N型カドヘリンを発現している。

(う) E型、N型以外のカドヘリンを発現している。

(え) いずれの型のカドヘリンも発現していない。

③ 下線部(2)および下線部(3)において、細胞がばらばらであったのはなぜか。最も適切な理由をI群より1つずつ選び、それぞれ記号で答えよ。また、酵素Qのはたらきについて、実験結果から導かれる結論として正しいものをII群より1つ選び、記号で答えよ。

I群：

(あ) Ca^{2+} がカドヘリンを変化させたため。

(い) 酵素Qが Ca^{2+} 存在下でカドヘリンを分解したため。

(う) 酵素Qが Ca^{2+} 非存在下でカドヘリンを分解したため。

(え) 酵素Rが Ca^{2+} 存在下でカドヘリンを分解したため。

(お) 酵素Rが Ca^{2+} 非存在下でカドヘリンを分解したため。

II群：

(a) Ca^{2+} 存在下でも Ca^{2+} 非存在下でも、カドヘリンを分解する。

(b) Ca^{2+} 存在下でも Ca^{2+} 非存在下でも、カドヘリンを分解しない。

(c) Ca^{2+} 存在下ではカドヘリンを分解するが、 Ca^{2+} 非存在下では分解しない。

(d) Ca^{2+} 非存在下ではカドヘリンを分解するが、 Ca^{2+} 存在下では分解しない。

問5 カエルの発生において、神経胚よりも早い時期の胚の名称を以下の(あ)～(き)より4つ選び、早く形成される順に左から右へと並べよ。

- | | | | |
|---------|---------|------------|---------|
| (あ) 胞胚 | (い) 幼生 | (う) 原腸胚 | (え) 胚盤胞 |
| (お) 尾芽胚 | (か) 桑実胚 | (き) 4細胞期の胚 | |

Windom

[II] 動物の恒常性に関する下記の文章を読み、各問いに答えよ。

哺乳類の内部環境の維持には、内分泌系や神経系が重要な役割を担っている。ホルモンは内分泌器官にある腺細胞から分泌され、血流によって全身をめぐる。しかし、ホルモンが直接作用する細胞は標的細胞に限定される。標的細胞にはそのホルモンの [ア] が発現しているため、ホルモンによる選択的な調節が可能となっている。例えば、脳下垂体前葉から分泌される [イ] は血流によって全身をめぐるが、 [ウ] の細胞にだけはたらきかけて、チロキシンの分泌を促進させる。チロキシンは全身の細胞を標的にしているため、分泌量が多すぎても少なすぎても全身に影響を及ぼす。血中のチロキシンの濃度が高まると、脳下垂体前葉や間脳の [エ] の分泌活動が抑制されるため、チロキシンの分泌量も低下する。このように、ホルモンの分泌量は、最終的な分泌物が、前の段階に戻って影響を及ぼすことで調節されている。ホルモンの分泌調節が正常にはたらかないと、さまざまな疾患を発症する。 [ウ] の疾患の1つであるバセドウ病では、⁽¹⁾ [イ] の [ア] に対する抗体を自分自身でつくってしまう。この抗体が [ウ] を過剰に刺激するため、チロキシンが必要以上に分泌される。

神経系による内部環境維持の例として、心臓の拍動の調節がある。 [オ] には自動的に興奮を繰り返す特殊な細胞が集まっている部分があり、これを洞房結節という。ここから心臓全体に拍動のペースを維持する信号が出ているため、⁽²⁾心臓は自発的に一定のリズムで拍動する性質をもっている。また、洞房結節は自律神経による調節も受ける。運動などによって血液中の酸素が消費されて二酸化炭素の濃度が高まると、 [カ] 神経からの信号が伝わり、拍動数が増加して血流量が増える。一方、安静時のように酸素の消費量が減少し、二酸化炭素濃度が低くなると、 [キ] 神経からの信号が伝わり、拍動数が減少して血流量も減る。

問1 文中の [ア] ~ [キ] にあてはまる語句を、以下の(あ)~(の)より1つずつ選び、それぞれ記号で答えよ。

- | | | | |
|----------------|------------|---------------|---------|
| (あ) アセチルコリン | (い) グルカゴン | (う) 甲状腺刺激ホルモン | |
| (え) 成長ホルモン | (お) セクレチン | (か) ノルアドレナリン | |
| (き) バソプレシン | (く) パラトルモン | | |
| (け) 副腎皮質刺激ホルモン | | | |
| (こ) 甲状腺 | (さ) 視床下部 | (し) 腎臓 | (す) すい臓 |
| (せ) 副腎髄質 | (そ) 副腎皮質 | (た) リガンド | (ち) 受容体 |
| (つ) 右心室 | (て) 右心房 | (と) 左心室 | (な) 左心房 |
| (に) 交感 | (ぬ) 副交感 | (ね) 感覚 | (の) 運動 |

問2 副甲状腺から分泌されるホルモンを，問1の選択肢から1つ選び，記号で答えよ。また，そのホルモンのおもなはたらきを以下の(a)～(e)より1つ選び，記号で答えよ。

- (a) 体全体の成長を促進する。
- (b) 血中の Ca^{2+} 濃度を増加させる。
- (c) 腎臓での水の再吸収を促進する。
- (d) 血中の Na^+ 濃度や K^+ 濃度を調節する。
- (e) 脳下垂体前葉ホルモンの分泌を促進する。

問3 内部環境の維持には，生体防御の機構も深くかかわっている。① 自分自身がつくる正常な物質を攻撃するリンパ球は，通常は選別されて排除されたり，そのはたらきが抑えられたりする。この結果，生体は自分自身を攻撃しない状態をつくっている。この状態を何というか答えよ。このしくみのはたらかなくなることで，② 下線部(1)のように自分自身を攻撃して起こる疾患を何疾患というか答えよ。③ 生体防御のはたらきが低下することで，健康な人では通常発症しない弱い病原体に感染して発症することを何感染症というか答えよ。

問4 下線部(2)の性質を何というか答えよ。

問5 神経から分泌されるおもな物質を，問1の選択肢から1つ選び，記号で答えよ。また， 神経がはたらくことで起こる生体の反応を，以下の(a)～(e)よりすべて選び，記号で答えよ。

- (a) 気管支が拡張する。
- (b) 排尿が促進される。
- (c) 立毛筋が弛緩する。
- (d) 皮膚の血管が収縮する。
- (e) 副腎髄質からのホルモン分泌が促進される。

[III] バクテリアが宿主に及ぼす影響について、下記の文章を読み、各問いに答えよ。

バクテリアの中には、感染を広めるために宿主の集団の性比を操作するものがある。キイロショウジョウバエに感染するバクテリア A は、メスの卵巣を介してしか感染を広めることができないため、オスを発生過程で殺してしまうことが知られている。その結果、バクテリア A が感染したメスから生まれる個体のうち、成虫になるのはメスだけであり、オスは卵からふ化する前に死滅してしまう (図 1)。

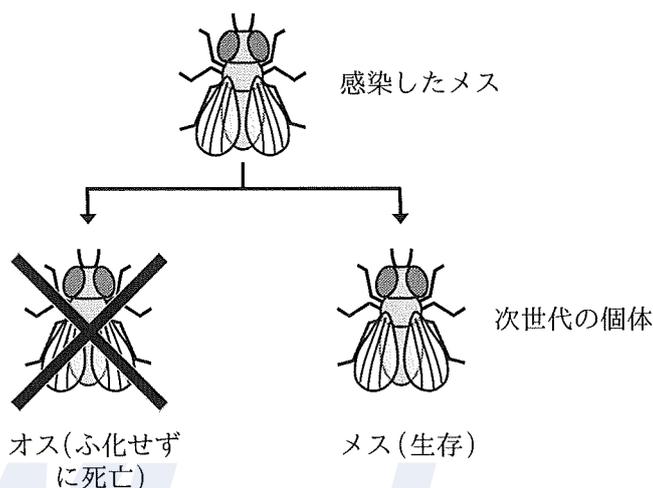


図 1 バクテリア A が感染したメスから生まれた個体の運命

バクテリア A によるオス殺しのメカニズムを調べる過程で、バクテリア A の変異体 (バクテリア A2) を偶然得ることができた。このバクテリア A2 は感染してもオスを殺すことができなかった。そこで、バクテリア A と A2 のゲノム DNA の塩基配列を比較したところ、バクテリア A2 では、遺伝子 S が欠失していることがわかった。この遺伝子 S からつくられるタンパク質 S は、宿主の細胞に侵入したバクテリア A から、宿主の細胞質基質に分泌される。

タンパク質 S がオス殺しに関与しているかを調べるため、以下の各実験を行った。なお、キイロショウジョウバエの性染色体は X と Y で、オスは X 染色体と Y 染色体を 1 本ずつ、メスは X 染色体を 2 本もつ。また、本実験では、成虫になった個体は、正常な発生過程を経たものとする。

【実験 1】 タンパク質 S がキイロショウジョウバエに及ぼす影響を調べるため、タンパク質 S と緑色蛍光タンパク質 (GFP) の融合タンパク質をつくる遺伝子を合成し、この人工遺伝子をプロモーター P に連結させた DNA-1 を作製した (図 2)。プロモーター P は連結した遺伝子を常に全身で発現させる。また、対照として GFP 遺伝子のみをプロモーター P に連結させた DNA-2 も作製した。

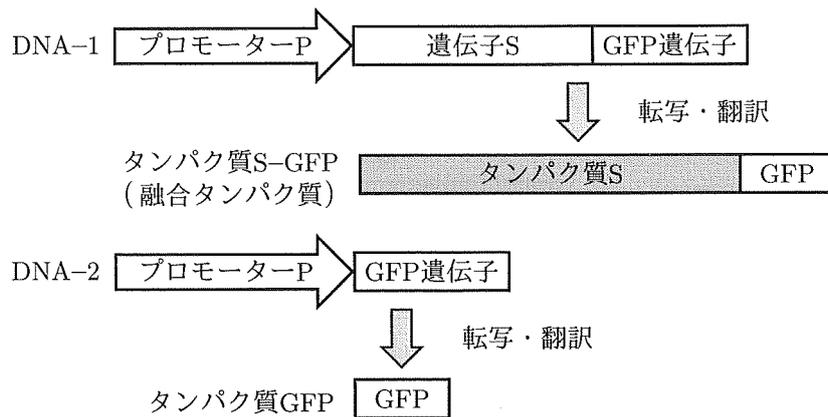


図2 人工合成した DNA と各 DNA をもとにつくられるタンパク質

DNA-1 もしくは DNA-2 のいずれかを、バクテリア A に感染していないキイロショウジョウバエの胚に導入したところ、DNA-1 を導入したオスの胚では他の感染していない胚に比べて、胚を構成する細胞の多くがアポトーシスを起こした。その後、DNA-1 を導入したオスの胚はふ化する前に死亡したが、それ以外は成虫になった。これらの結果を、バクテリア A を感染させた対照実験群とあわせて、表 1 に示す。

表 1 導入した DNA がキイロショウジョウバエに及ぼす影響

バクテリア A の感染	あり		なし		なし	
	なし		DNA-1		DNA-2	
導入した DNA	なし		DNA-1		DNA-2	
胚の性別	オス	メス	オス	メス	オス	メス
アポトーシスを起こした細胞の割合	20%	1%	20%	1%	1%	1%
発生	ふ化せず死亡	成虫になった	ふ化せず死亡	成虫になった	成虫になった	成虫になった

【実験 2】 タンパク質 S がどのようににはたらくかを調べるために、その構造を詳しく調べたところ、他のタンパク質と結合することができる領域を 2 つ (領域 1 と領域 2) みつけた (図 3)。領域 1 と領域 2 以外には、他のタンパク質と結合することができる領域は存在しなかった。そこで、いずれかの領域をコードする DNA の塩基配列を取り除いた遺伝子 S の変異体 (遺伝子 S Δ 1 と遺伝子 S Δ 2) を合成し、それぞれの人工遺伝子をプロモーター P と連結させた DNA-3 と DNA-4 を作製した (図 4)。

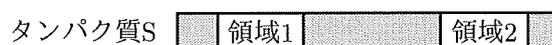


図 3 タンパク質 S の構造

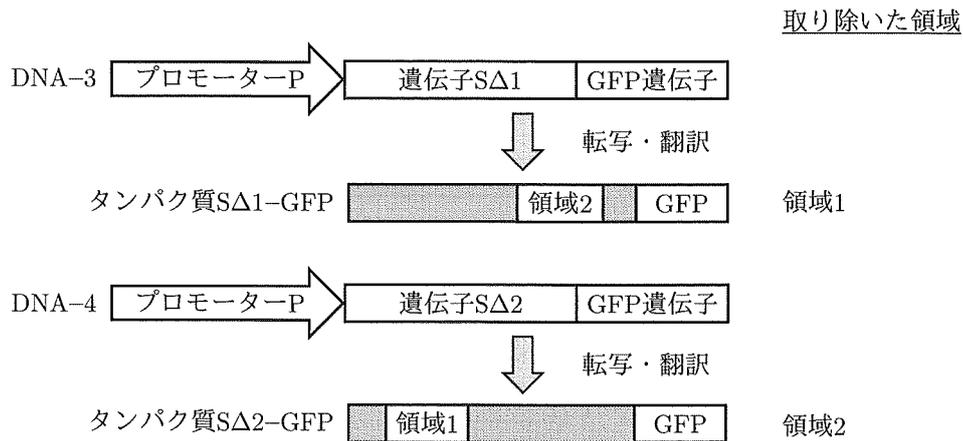


図4 人工合成した変異体 DNA と各 DNA をもとにつくられるタンパク質の構造

DNA-3 もしくは DNA-4 のいずれかを、実験 1 と同様にバクテリア A に感染していないキイロショウジョウバエの胚に導入したところ、いずれの胚も成虫になった。

【実験 3】 キイロショウジョウバエのオスは X 染色体を 1 本しかもたないため、X 染色体に存在する遺伝子の発現量が、メスの半分になってしまう。これを補正するため、オスに特異的に発現するタンパク質 M が、X 染色体に作用して X 染色体上に存在する遺伝子の発現量を 2 倍に調節することが知られている。また、バクテリア A が感染したオスでは、X 染色体上の DNA が部分的に分解されることがわかっているが、領域 1 にも領域 2 にも DNA を分解する能力はない。バクテリア A がオスのみを殺すメカニズムに、タンパク質 M が関与しているかを調べるため、以下の実験を行った。まず、バクテリア A に感染していないキイロショウジョウバエのオスの胚に DNA-1 から DNA-4 のいずれかを、メスの胚には DNA-1 のみを導入した。導入した遺伝子の発現を確認したのち、タンパク質 M と特異的に結合する赤色蛍光試薬を胚に作用させ、赤色蛍光と緑色蛍光が細胞のどの部位で検出されるかを調べた。さらに、X 染色体上の DNA が分解されたかどうかを調べた。結果を表 2 に示す。

表 2 各 DNA を導入した胚の細胞での蛍光の検出部位と X 染色体上の DNA の分解

胚の性別	オス								メス	
	DNA-1		DNA-2		DNA-3		DNA-4		DNA-1	
蛍光の色	赤	緑	赤	緑	赤	緑	赤	緑	赤	緑
細胞質基質	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-
核内	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+
DNA の分解	あり		なし		なし		なし		なし	

「-」は蛍光が検出されなかったことを、「+」は検出されたことを、それぞれ示す。「あり」は DNA が分解されたことを、「なし」は DNA が分解されなかったことを、それぞれ示す。

【実験 4】 タンパク質 S がタンパク質 M と結合するかどうかを調べるため、以下の実験を行った。まず、タンパク質 M をキイロショウジョウバエのオスの胚より精製した。続いて、DNA-1 から DNA-4 をそれぞれ試験管内で転写、翻訳させ、各 DNA がコードするタンパク質を合成した。すべての試験管にタンパク質 M を加え、各 DNA からつくられたタンパク質との結合を解析した。結果を表 3 に示す。

表 3 合成したタンパク質とタンパク質 M の結合

タンパク質合成に使用した DNA	DNA-1	DNA-2	DNA-3	DNA-4
タンパク質 M との結合	あり	なし	なし	あり

「あり」は結合したことを、「なし」は結合しなかったことを、それぞれ示す。

【実験 5】 実験 4 と同様に、試験管内で DNA-1 から DNA-4 の各 DNA からタンパク質を合成した。続いて、バクテリア A に感染していないオスの胚から細胞を採取し、細胞の一部を破壊して染色体を露出させた。合成した各タンパク質を染色体に作用させ、X 染色体上の DNA の分解を解析した。なお、この X 染色体にはタンパク質 M が結合しているものとする。結果を表 4 に示す。

表 4 合成したタンパク質による X 染色体上の DNA の分解

タンパク質合成に使用した DNA	DNA-1	DNA-2	DNA-3	DNA-4
DNA の分解	あり	なし	なし	あり

「あり」は分解されたことを、「なし」は分解されなかったことを、それぞれ示す。

【実験 6】 タンパク質 M のみを発現しないようにしたキイロショウジョウバエ (ハエ ΔM) のオスは、ふ化して幼虫になるが、成虫になる前に死亡することが知られている。バクテリア A に感染していないハエ ΔM のオスの胚に DNA-1 を導入したところ、導入しなかった場合と同じくふ化して幼虫になったが、成虫になる前に死亡した。また、これらの胚では、DNA-1 の導入による X 染色体上の DNA の分解はなかった。

問1 実験1では、メスでも胚を構成する細胞のうち1%の細胞がアポトーシスを起こしたが、これらは発生の過程であらかじめ死ぬことが決められていた細胞である。このような細胞死を何というか答えよ。

問2 タンパク質Sのはたらきについて正しく述べているものを、以下の(あ)~(き)より2つ選び、記号で答えよ。

- (あ) タンパク質Mを分解する。
- (い) 感染した細胞の核内へ移行する。
- (う) タンパク質Mを核内へ移行させる。
- (え) メスの細胞では核の外側にとどまる。
- (お) メスの細胞のアポトーシスを抑制する。
- (か) タンパク質Mと結合することで、X染色体上のDNAを分解する。
- (き) タンパク質Mを介さずにオスのX染色体と直接結合するが、メスのX染色体とは直接結合しない。

問3 タンパク質Sの領域1と領域2のはたらきについて正しく述べているものを、以下の(あ)~(お)より1つずつ選び、それぞれ記号で答えよ。

- (あ) X染色体と直接結合する。
- (い) タンパク質Mと結合する。
- (う) タンパク質Sを核内へ移行させる。
- (え) タンパク質Mを核内へ移行させる。
- (お) タンパク質MをX染色体と結合させる。

問4 実験3～5の結果から導き出される結論として、最も適切なものを以下の(あ)～(お)より1つ選び、記号で答えよ。

- (あ) タンパク質 S は、GFP との融合タンパク質になると、その活性が低下する。
- (い) タンパク質 S は、核内へ移行する能力を失うと、タンパク質 M と結合する能力も失う。
- (う) タンパク質 S は、核内へ移行する能力を失うと、X 染色体に作用する能力も失う。
- (え) タンパク質 S は、核内へ移行する能力を失っても、X 染色体に作用する能力は保持する。
- (お) タンパク質 S は、タンパク質 M と結合する能力を失っても、X 染色体に作用する能力は保持する。

問5 バクテリア A に感染していないキイロショウジョウバエのメスの胚の全細胞にタンパク質 M を強制的に発現させた場合、DNA-1 を導入するとどのような変化がおこるか。最も適切なものを以下の(あ)～(う)より1つ選び、記号で答えよ。また、その理由を説明せよ。ただし、タンパク質 M もタンパク質 S-GFP も充分量発現するものとし、X 染色体上の遺伝子の発現量がタンパク質 M により増加することによる影響はないものとする。

- (あ) 成虫になる前に死亡する。
- (い) 変化せず、メスの成虫になる。
- (う) オスの成虫になる。