

後

令和4年度

後期日程入学試験問題

## 総合問題B(イ)

### 注意事項

- 1 試験開始の合図があるまで、この冊子を開いてはいけません。
- 2 問題冊子(37ページ)には、物理、化学、生物の各問題があり、解答用紙(物理4枚、化学2枚、生物2枚)及び下書き用紙(1枚)が挟み込んであります。試験開始の合図があったら、直ちに中を確かめ、印刷や枚数の不備などがあった場合、監督者に申し出なさい。
- 3 物理、化学、生物から1科目を選択し、解答しなさい。
- 4 問題冊子の間に挟み込んである選択した科目の解答用紙を取り出し、選択した科目のすべての解答用紙の所定欄に受験番号を記入しなさい。
- 5 解答は、すべて解答用紙の所定欄(横書き)に記入しなさい。
- 6 句読点は、1字と数えなさい。
- 7 試験室で配付された問題冊子等は、提出する解答用紙をのぞいて退出時に持ち帰りなさい。

物理 3 ページ～11 ページ

化学 13 ページ～21 ページ

生物 23 ページ～37 ページ

物 理  
(物理基礎・物理)

物理 2

I 課題文 1, 2 を読んで、後の問いに答えなさい。なお、計算を必要とする問題では、答えを導く過程も記述しなさい。

課題文 1

船はなぜ浮いていられるのか

「ナッチャン Rera」の進水式の日。長さ 112.6 m、幅 30.5 m、高さ 22 m、重さ約 1500 t の巨大なアルミ合金製の船体が、屋内の船台の上に堂々とした姿を見せている。

やがて船台を滑り下りた船体は、静かに海上に浮かんだ。最初の材料が船台に置かれる起工式の日から約 10 ヶ月かけて、この日を迎えたのである。

こんなに重い船体が水に浮くのは、船体に浮力が働くためであることはよく知られている。この浮力については、①アルキメデスの原理が有名だ。

【図解 船の科学 超高速船・超巨大船のメカニズム】  
池田良穂著 講談社 2007 年 より一部改変

課題文 2

浮力に関する実験

船が浮いていられる仕組みを検討するために、浮力に関する実験を行った。船を模した物体（ここではわかりやすくするため四角柱とする）が浮かんでいるとする（図 1）。なお、水の密度を  $1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、重力加速度の大きさを  $9.8 \text{ m/s}^2$  とする。

表 1 船を模した物体の状態

四角柱の形状	底面積	$3.0 \text{ m}^2$
	高さ h	2.0 m
底面から水面までの高さ d		1.0 m

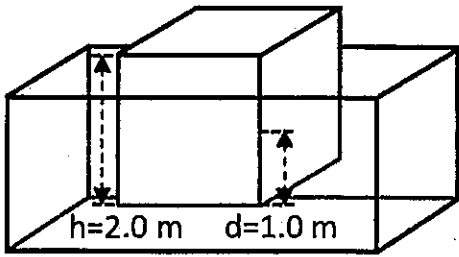


図 1 浮力に関する実験の概要

問1 課題文1にあるように、船が浮いていられるのには浮力が関係している。浮力に関する次の問いに答えなさい。

- (1) 下線部①のアルキメデスの原理について60字以内で説明しなさい。
- (2)  $\rho$ を水の密度、 $g$ を重力加速度の大きさ、 $V$ を物体の水面下に沈む部分の体積とすると、浮力の大きさ $F$ はどのように表すことができるか。

問2 課題文2の浮力に関する実験について、以下の問いに答えなさい。

- (1) 図1の船に模した物体に働く浮力の大きさ $F$  [N] を求めなさい。
- (2) この物体の密度を $0.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ とすると、図1の船に模した物体に働く重力の大きさ $W$  [N] を求めなさい。

Ⅱ 課題文 1, 2 を読んで、後の問いに答えなさい。なお、計算を必要とする問題では、答えを導く過程も記述しなさい。

### 課題文 1

LED は電気を通すことで光る半導体のことで、英語の「Light Emitting Diode」の頭文字をとって、LED と呼ばれています。発光①ダイオードとも言いますが、LED のほうがいいやすいのか、この名称が一般に使われています。

ダイオードは電気を通しやすい導体と電気を通さない絶縁体の中間的な性質を持ちます。分かりやすくいえば、金属とガラスを混ぜ合わせた様な素材です。専門的にいえば、電流を一方向にしか流さない整流作用を持つ電子素子のことです。初期には 2 極真空管がありましたが、今日ではダイオードといえば半導体ダイオードになります。

LED 素子は P 型（ア）と N 型（イ）の 2 種類の半導体が接合されたもので、素子（チップともいう）に（ウ）方向の電圧をかけると素子の中で（イ）と（ア）が移動して電流が流れます。移動の途中で（イ）と（ア）がぶつかり合って再結合した時に余分なエネルギーを放出し、それが光になるのです。

【図解入門 よくわかる最新 LED 照明の基本と仕組み】

中島龍興、福多佳子著 秀和システム 2011 年 より一部改変

### 課題文 2

#### ダイオードに関する実験

課題文 1 の下線部①のダイオードについて基礎的な実験を行った。実験に用いたダイオードは図 2 のような電流 - 電圧特性を持つ。このダイオードに、 $100 \Omega$  の抵抗と、内部抵抗の無視できる起電力  $6.0 \text{ V}$  の電池をつないで、図 3 のような回路とした。

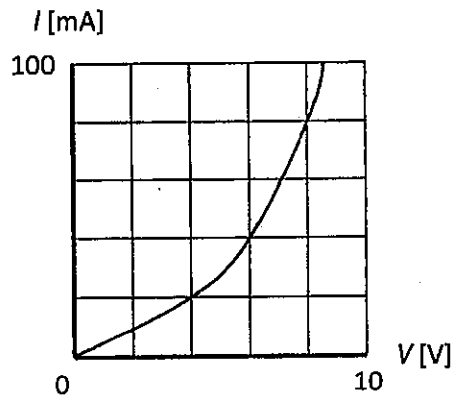


図2 ダイオードの電流 - 電圧特性

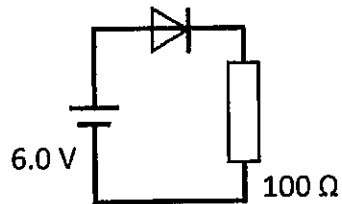


図3 実験に用いた回路

問1 課題文1の(ア)～(ウ)に入る言葉を以下の選択肢の中から選び、記号で答えなさい。

- a: 順      b: 逆      c: 正孔 (ホール)      d: 電子

問2 回路を流れる電流や電圧について、次の問いに答えなさい。

- (1) 回路を流れる電流や電圧について検討する上で重要な法則に、キルヒホッフの第一法則、第二法則がある。それぞれの法則について、60字以内で説明しなさい。
- (2) 課題文2の実験について、このダイオードの両端にかかる電圧  $V$  [V] とダイオードを流れる電流  $I$  [A] との関係を表す式を示しなさい。
- (3) (2)で得られた  $V$  と  $I$  の関係をグラフにして、解答用紙の図に示しなさい。
- (4) この回路において、ダイオードで消費される電力を求めなさい。

Ⅲ 課題文を読んで、後の問いに答えなさい。

課題文

物理学を応用したおもちゃの中で、おそらく最も有名なのは水飲み鳥（図4）であろう。鳥の頭と尾部をつないでいる管が、尾部の底近くまで入っている。尾部のこの管の端は液体につかっている。この液体より上は、尾部にも、管の残りの部分も、頭部も、この液体の蒸気で満たされているが、この場合、尾部と頭部とは液体で途中がふさがれているため連結していない。①頭部のフェルトから水が蒸発すると、頭部とその中の蒸気は冷やされ、頭部の蒸気の圧力は低下する(a)。すると尾部の蒸気の圧力のほうが頭部の蒸気の圧力よりも大きくなるので、液体は押されて頭部のほうへと管の中を上がる(b)。このため頭部が重くなって不安定になり、頭が下がって水の中へくちばしをつつ込む(c)。鳥が水平近くになったとき、頭部と尾部は連絡し、蒸気の圧力が等しくなる。圧力が等しくなると液体を管中で上へ押し上げる力はなくなるので、液体は尾部へ流れ降りて尾部が重くなり、鳥はもとの姿勢にもどる(d)。これがくり返される。

【ハテ・なぜだろうの物理学Ⅱ】

J・ウォーカー著 戸田盛和、渡辺慎介共訳 培風館 1980年より一部改変

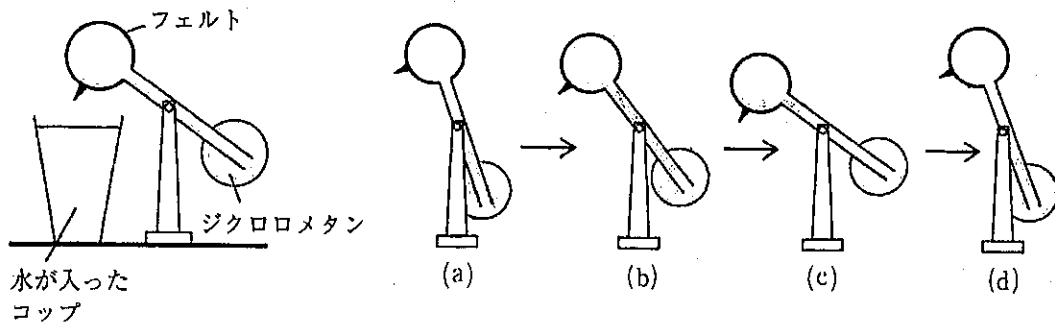


図4 水飲み鳥の運動の流れ



問 1 下線部①の現象について、理想気体の状態方程式を用いて 150 字以内で説明しなさい。

問 2 水飲み鳥の運動を速くするには、どのような方法が考えられるか。以下の選択肢から該当するものを番号ですべて選びなさい。

1. 水ではなくコップにアルコールを入れる。
2. ジクロロメタンよりも揮発しやすい液体に変える。
3. 水飲み鳥の全体の大きさを大きくする。

問 3 コップの水がない場合、水飲み鳥の運動はどうか、理由とともに 60 字以内で説明しなさい。

問 4 水飲み鳥の原理をエネルギー問題の解決に活用するとしたら、どのようなことが考えられるか。あなたの考えを 100 字以内で書きなさい。

IV 課題文を読んで、後の問いに答えなさい。なお、計算を必要とする問題では、答えを導く過程も記述しなさい。

課題文

歯車や鏡を回転させて、光源からの光を短いパルスに切り、一つのパルスがある距離を往復する時間をはかることによって、光の速さを測定することができる。往復の時間は、歯車や鏡の回転速度で定められる。ここではフィゾーによる回転歯車の方法を説明しよう。図5のように、点光源Sからの光がレンズL<sub>1</sub>を通り半透明の鏡M<sub>1</sub>で反射されて、歯車Tのところに像をつくる。その像はレンズL<sub>2</sub>L<sub>3</sub>で、遠く離れた鏡M<sub>2</sub>にふたたび像をつくり、反射されて歯車のところにもどり、今度は半透明の鏡M<sub>1</sub>を透過して目に入る。歯車を回転すると、ある瞬間に、ある一つの歯のすき間を通り抜けた光が、M<sub>2</sub>で反射してもどってくる間に隣の歯が回ってくれば、光はさえぎられて見えなくなる。フィゾーの実験では、歯の数は720枚、光が往復する距離は $2 \times l = 2 \times 8633 \text{ m}$ で、歯車の回転数が12.6回/sのときに光が見えなくなった。

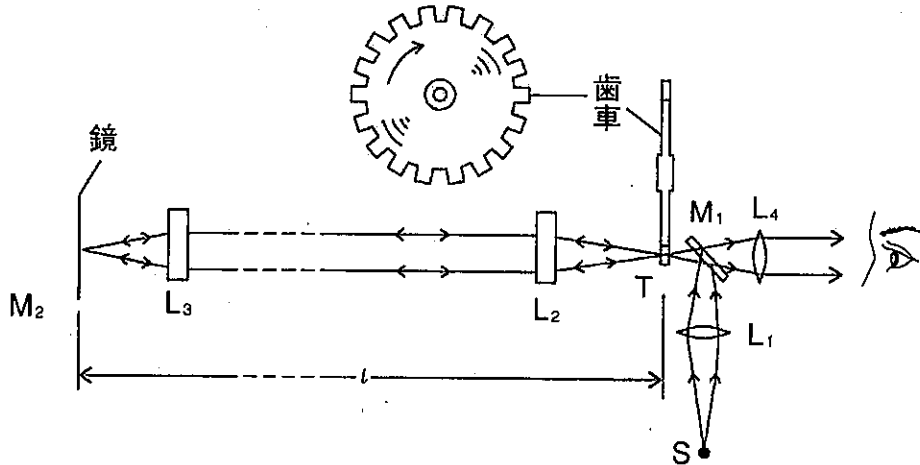


図5 フィゾーの実験の概略図

光の速さを求める最近の方法を以下にのべる。ある光の振動数を $\nu$ 、波長を $\lambda$ とすれば、光の速さは定められる。 $\nu$ と $\lambda$ は独立に測定できる。振動数は共鳴法で精度よくはかれる。共鳴法とは、たとえばラジオの選局がその一例で、いまの場合、原子や分子に選局をさせる。波長は干渉法で精度よくはかれる。干渉法は、ニュー

トン環の例に見られるように、短い長さを拡大してはかることができる。最近ではエレクトロニクスの進歩によって、メタン分子の吸収線を基準として He-Ne レーザーの光について

$$\nu = 8.8376181627 \times 10^{13} \text{ Hz}$$

$$\lambda = 3.39223140 \times 10^{-6} \text{ m}$$

という値を使って光速を定めている。

『物理の小事典』

小島昌夫, 鈴木皇著 岩波書店 2000 年 より一部改変

問1 図5にフィゾーの実験の概略図を示した。この実験では、光速は速いため、光が長い距離（約 17 km）を伝搬するのに要する時間を測定している。点光源 S から発した光は、光学系がなければ発散して光源からの距離の二乗に反比例し弱くなってしまふ。そこで、フィゾーは入射光を  $L_2$  のレンズで平行光にしている。そして、 $L_3$  のレンズで平行光を鏡  $M_2$  に集光している。鏡  $M_2$  で反射した光は、入射の光路と逆の道をたどって歯車に戻る。

図5のフィゾーの実験および光速に関する以下の問いに答えなさい。

- (1)  $L_2$  や  $L_3$  のように入射した光を平行光にしたり、平行な光線が入射したときに光軸上の一点に集める特性を持つのは、どのようなレンズか。
- (2) 歯車と  $L_2$  のレンズとの距離を 1 m として、フィゾーの実験をおこなう場合、 $L_2$  のレンズの焦点距離の最適値はいくらか求めなさい。
- (3)  $L_3$  のレンズと鏡  $M_2$  との距離を 1.5 m としたときの  $L_3$  のレンズの焦点距離の最適値はいくらか求めなさい。

問2 フィゾーの実験の結果から、光速を有効数字 3 桁で計算しなさい。

問3 He-Ne レーザーの波長と振動数から、有効数字 4 桁の精度で光速を求めなさい。

このページは白紙です。

化 学  
(化学基礎・化学)

## I 次の課題文を読んで、後の問いに答えなさい。

## 課題文

土壌の pH は、土壌 1 に対して水 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) 25 の重量割合になるように土壌に  $\text{H}_2\text{O}$  を加えて懸濁液をつくり、ガラス棒でときどきかく<sup>はん</sup>拌して 1 時間後にガラス電極をセンサとする pH メータで測定する。このセンサは特殊なガラス膜が  $\text{H}^+$  に対して特別な親和力を持ち、 $\text{H}^+$  の濃度と電位の発生が一定の関係を持つ。pH メータはこれを利用して pH を測定している。通常、土壌の pH は上記の方法で測定し、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$  と表記する。

土壌の pH の測定にはもう一つの方法がある。それは、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$  の測定に用いた  $\text{H}_2\text{O}$  の代わりに濃度 1 mol/L の塩化カリウム (KCl) 溶液を用いる方法である。この方法で測定したときは、 $\text{pH}(\text{KCl})$  と表記する。①一般に、土壌の  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$  より  $\text{pH}(\text{KCl})$  の値のほうが小さく、酸性が強くなる。つまり、測定方法によって同じ土壌でも酸性の強さに違いが生じる。これは以下に述べるように、測定している  $\text{H}^+$  に違いがあるからである。

土壌中に存在する  $\text{H}^+$  は、それ自身が陽イオンであるから、土壌の持つマイナスの電気 (負荷電) に引きつけられている。したがって  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$  は、土壌粒子の持つ負荷電による引きつけの影響を受けない、いわば土壌粒子のやや外側に存在して自由に動ける状態にある  $\text{H}^+$  の濃度を測定した結果である。これに対して、 $\text{pH}(\text{KCl})$  のほうは、KCl 溶液に溶けているカリウムイオン ( $\text{K}^+$ ) が土壌の負荷電に引きつけられている  $\text{H}^+$  とイオン交換して  $\text{H}^+$  を自由に動ける状態にする。(中略)

土壌に KCl を添加して測定した  $\text{pH}(\text{KCl})$  は、上に述べた土壌の負荷電に引きつけられていた  $\text{H}^+$  に由来する  $\text{H}^+$  だけでなく、②特に酸性土壌では土壌の負荷電に引きつけられていた交換性アルミニウム (Al) に由来する  $\text{H}^+$  にも影響を受けている。このように土壌の酸性に Al が関係していることを世界に先がけて示したのが、わが国の大工原銀太郎である。わが国が世界に誇る酸性土壌研究の始まりでもある。

大工原らは、土壌 100 g に 1 mol/L の KCl 溶液を 250 mL 加え、ときどきかく拌して 5 日間放置した後、ろ過してろ液 125 mL を取り出し、③そのろ液を少し煮沸してろ液に溶け込んでいる二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) を追い出した後に、フェノールフタレインを指示薬として濃度 0.1 mol/L の水酸化ナトリウム (苛性ソーダ,  $\text{NaOH}$ )

で中和滴定をおこなった。④この1回目に取り出したろ液の中和滴定に消費したNaOHの量 (mL) を交換酸度 (置換酸度ともいう) と定義し、 $y_1$  と表記することにした。この後、さらにKCl溶液125 mLを加え、同様の操作を数回繰り返しておこなって消費したNaOHの滴定値の合計値を求めた。この合計値は、最終的に1回目の滴定値、すなわち $y_1$ を3倍した値に近似した。そこで、 $y_1$ を3倍したものを全酸度 (S) とした。この全酸度が土壌酸性の原因物質の総量と考えた。(中略)

大工原らの発想は、土壌のpHは酸性の強さを示す $H^+$ 濃度だけでなく、土壌に潜んでいる、特にAlに由来する $H^+$ の量をこの中和滴定で定量しようとするものである。つまり、pHが現時点での酸性の強さを表わしていると考えたと (このような強さを表わす要因を強度因子という)、交換酸度 $y_1$ や全酸度Sは、土壌を将来にわたって酸性にする材料の量の大きさを表現していると考えられる (このような量を表す要因を容量因子という)。酸性土壌を適正なpHに矯正するのに必要な炭酸カルシウム ( $CaCO_3$ ) 量を決めるには、単に現在の土壌pHからだけでなく、将来酸性となる原因物質、すなわち、Alなどに由来する $H^+$ も考慮する必要がある。そこでこの全酸度を用いて酸性矯正のための炭カル必要量 (中和石灰量) を算出するようになった。

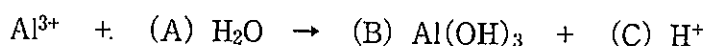
『土壌学の基礎 ー生成・機能・肥沃度・環境ー』

松中照夫著 農山漁村文化協会 2003年 より一部改変

化学 4

問1 下線部①のように、一般に  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$  より  $\text{pH}(\text{KCl})$  の値の方が小さくなる。その理由を120字以内で説明しなさい。なお、 $\text{H}^+$  や  $\text{pH}$  はそれぞれ2文字と数え、一マスに1文字ずつ入れること。

問2 下線部②のように、土壤の負荷電に引きつけられていた  $\text{Al}^{3+}$  は  $\text{K}^+$  とイオン交換することにより自由に動ける状態になる。その結果、様々な反応が生じ、土壤中に  $\text{H}^+$  が生成される。この時に生じた反応が以下の反応式で表される場合、係数 (A) ~ (C) を求めなさい。ただし、係数が1のときは「1」と答えること。



問3 下線部③のように、滴定前に二酸化炭素を取り除く必要がある。その理由を60字以内で説明しなさい。

問4 土壤の  $\text{pH}$  を改良するために炭酸カルシウムを塩基として加えることがある。炭酸カルシウムが塩基として塩酸と反応する場合の反応式を書きなさい。

問5 水酸化ナトリウムも塩基であるが、土壤の  $\text{pH}$  の改良には水酸化ナトリウムではなく炭酸カルシウムが用いられる。これは両者のある性質に大きな違いがあるからである。その違いが土壤の改良材として重要であると考えられる理由を60字以内で書きなさい。なお、化学式を用いる場合は、 $\text{CaCO}_3$  を5文字、 $\text{NaOH}$  を4文字と数え、一マスに1文字ずつ入れること。

問6 下線部④の滴定値が2.13 mLであったとする。全酸度  $S$  を求めなさい。

問7  $\text{KCl}$  溶液 125 mL に対する中和滴定で問6の滴定値を得た時、滴定に使用した水酸化ナトリウムの濃度は  $0.102 \text{ mol/L}$  であった。この  $\text{KCl}$  溶液中の  $\text{H}^+$  の濃度を有効数字3桁で求めよ。なお、煮沸しても、ろ液の体積変化は無視できるものとし、計算の過程も示しなさい。

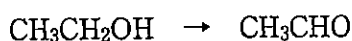


## II 次の課題文を読んで、後の問いに答えなさい。

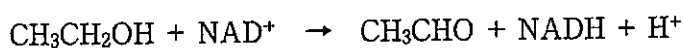
### 課題文

ビールや日本酒のアルコールはエタノールという化学物質です。エタノールは同時に食べたおつまみなどに含まれる栄養成分などと共に、小腸から吸収され血液に入ります。エタノールも人体には有害な成分ですので、肝臓はエタノールを検知するとその除去にかかります。エタノールは2段階の反応で、最終的に人体への有害性が低い「酢酸」に変化します。

① 第一段階はエタノールのアセトアルデヒドへの変化です。



上の反応式は、矢印の右と左で収支が合っていません。実際に体内で起きている反応は、通常では起きにくいこの反応を、酵素タンパク質が触媒として働き進行させます。ここに関与する酵素は、アルコール脱水素酵素という酵素タンパク質で  $\text{NAD}^+$  という分子が水素のやりとりに関わります。 $\text{NAD}^+$  と  $\text{NADH}$  は、触媒の仲間で、専門家は特に「補酵素」<sup>※1</sup> という名前呼んでいる酸化還元反応に関与する分子です。この  $\text{NAD}^+$  も反応式に書き加えると、次のようになって反応前後の収支が合います。



引き続き、アセトアルデヒドが速やかに酢酸に変化します。この2番目の反応は、アセトアルデヒドの酸化反応です。これは体の中で起きている反応です。現在はメタノールを原料に工業的に生産されている酢酸も、かつては肝臓の中で起きているこの反応と同じ方法で生産されていました。肝臓でこの反応を触媒しているのは、アルデヒド脱水素酵素というタンパク質です。ここで作られた酢酸は貴重なエネルギー源として利用されます。

アセトアルデヒドのアルデヒド基は非常に反応しやすい、つまり予期しないことを起こしやすい構造をしています。結果として、飲んだお酒を酢酸に分解し利用す

るための反応において、中間段階でできるアセトアルデヒドは、非常に毒性の強い物質だったのです。お酒に強い人はこの中間体が体にたまる前に酢酸に分解してしまします。お酒を飲んで気分が悪くなるのは、このアセトアルデヒドが体内にたまるからで、アセトアルデヒドを分解するアルデヒド脱水素酵素の能力が低い人は、お酒に弱い人ということになります。

このような反応を酵素反応ではなく、化学反応で考えるとどのようになるでしょうか？

② アルコールからアセトアルデヒドへの反応は、アルコールの酸化反応です。このとき、アルコール脱水素酵素のかわりになるのはクロム酸等です。

酵素反応の場合は、アセトアルデヒド前後の第一段階と第二段階で、異なる触媒(=酵素)が必要とされました。化学反応の場合は、(中略)酢酸まで一気に進行します。

③ 警察が飲酒運転の確認をする際にも、アルコールの酸化反応が利用されています。

(中略)

ところで、お酒はどのようにして造られるのでしょうか？

お酒は、酵母の作用によって作られますので、化学反応ではなく酵素反応です。日本酒の原料はお米です。玄米から胚芽<sup>はいが</sup>などを取り除き、さらにお米の表面に多く含まれていて雑味の原因となるタンパク質や脂肪を削り取ります(精米)。(中略)

エタノールをつくる直接の成分は糖なのですが、米にはビールやワインの原料のように最初から糖が含まれているわけではありません。糖のない米を使う日本酒の場合、麹菌<sup>こうじきん</sup><sup>注2)</sup>の作用で米の成分であるデンプンを糖へ変える必要があります。

デンプンは、化学的にいうと、多数の「グルコース (D-グルカン)」が、鎖のようにつながったものです。

デンプンは、植物の種子や、根、地下茎などの中に粒を作って含まれている物質で、分子式は  $(C_6H_{10}O_5)_n$  で示される多糖類です。この分子式の意味は  $C_6H_{10}O_5$  という基本単位が  $n$  回繰り返されているという意味です。デンプンの場合  $n$  が 100 から 10 万ですので非常に巨大な分子です。また、植物体内ではこのほかに大量の水が含まれています。

デンプンを希硫酸の中で加熱し続けると、基本単位同士の接合部分に水を付加す

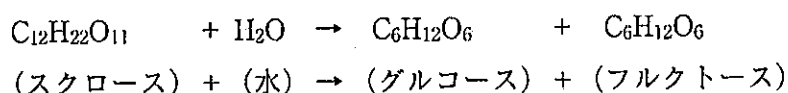
る反応が起きて結合が切断され、グルコースが  $n$  の個数分、生成します。

④ デンプンにはアミロースとアミロペクチンの2種類があります。 (中略)

お酒の原料となる「グルコース」ですが、構造的には「糖」と総称される化合物の中の一つです。糖の仲間には、グルコースの他にフルクトースやガラクトースなどがあり、砂糖やデンプンも糖が集まってできた分子です。

デンプンを加水分解してグルコースを作るのは、日本酒造りの最初のステップでした。デンプンのように、糖がたくさんつながった大きな糖のことを「多糖類」といい、多糖類は化学的に小さな糖に分解できます。砂糖も多糖類です。

砂糖を分解すると次のような式になります。



砂糖の主成分である二糖類スクロースが、加水分解によって、グルコースとフルクトースになります。式で書くと⑤ グルコースもフルクトースも区別が付きませんので、環構造で示します。

すでに紹介したとおり、デンプンからはグルコースができますが、砂糖を加水分解すると、グルコースが1個とフルクトースが1個できます。グルコースもフルクトースも炭素6個でできた分子で、それ以上細かな糖に切断できない最小単位になっています。それらの最小単位の糖のことを「単糖類」と言います。

『実はおもしろい化学反応』

中西貴之著 技術評論社 2012年より一部改変

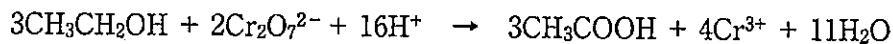
注1) 酵素作用の発現に必須の低分子有機化合物を補酵素という。

注2) 麹菌とは麴をつくるための菌の総称。麴とは、穀物を蒸して麹菌を繁殖させたもの。

問 1 アセトアルデヒドは下線部①のようにエタノールから生成する他、工業的には、塩化パラジウム (II) と塩化銅 (II) の水溶液を触媒にして、エチレンを酸化してつくられる。この化学反応式を書きなさい。

問 2 下線部②のようにエタノールを酸化するとアセトアルデヒドが生成する。一方、金属ナトリウムには還元作用があり、アルコール類に金属ナトリウムを加えると、反応してナトリウムアルコキシドになる。エタノールに金属ナトリウムを加えたときの反応を化学反応式で示しなさい。

問 3 下線部③について、運転手の息を吹き込むガラス管(アルコール検知管)には、「二クロム酸ナトリウム-硫酸」が付着したシリカゲルが封入しており、アルコール検知管内で下記のような化学反応が起こる。



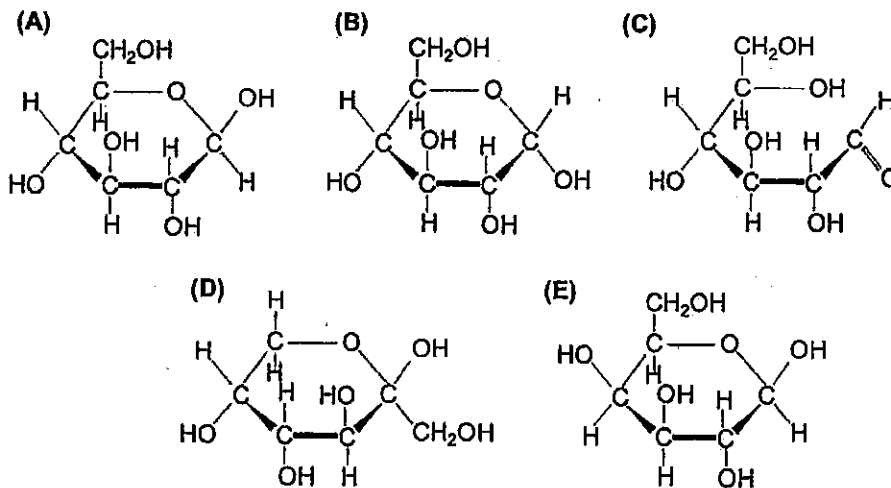
この化学反応式から検知管中でどのような仕組みでアルコール測定がおこなわれるか考え、「酸化と還元反応」及び「物質の色の変化」について焦点をあて、150 字以内で説明しなさい。なお、化学式を用いる場合は次の例に従いなさい。 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  や  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  をそれぞれ 8 文字と 7 文字と数え、一マスに 1 文字ずつ入れること。

問 4 下線部④に関する以下の問いに答えなさい。

(1) デンプンは、植物の果実、種子、莖、根などに蓄えられている。デンプンの構造について、セルロースの構造との違いに着目して、特徴を 150 字以内で説明しなさい。

(2) うるち米ともち米をすりつぶした粉に、それぞれヨウ素ヨウ化カリウム水溶液(ヨウ素液)をスポイトで滴下した。その結果、もち米は薄い赤紫色、うるち米は青紫色に染まった。その理由を 100 字以内で答えなさい。

問5 下線部⑤について、 $\alpha$ -グルコース、 $\beta$ -フルクトースの環状構造を下記から  
 選びなさい。



このページは白紙です。

生物 1

生 物  
(生物基礎・生物)

## I 課題文 1, 2 を読んで、後の問いに答えなさい。

## 課題文 1

細胞膜は何も通さないわけではない。通すものもあれば、通さないものもある。細胞膜は、表面は親水基でコーティングされているけれど、大部分は疎水基でできている。そのため、疎水性の物質は通りやすく、親水性の物質は通りにくい。

(中略)

イオンは水に溶けやすく、ほとんど細胞膜を通らない。しかし、イオンは細胞が生きていくうえで、重要な働きをしている。そのため、外界とイオンのやりとりをするときには、ドアを使うことになる。

ドアの働きをするのは膜に刺さったタンパク質で、膜タンパク質と呼ばれる。膜タンパク質には、いろいろなものがあるが、その一つにポンプがある。すべての生物は、エネルギー源としてアデノシン三リン酸 (ATP) という分子を使っている。ポンプは ATP と結合してエネルギーをもらい、そのエネルギーを使って強制的にイオンを輸送する (能動輸送という)。

たとえば①ナトリウムポンプ (ナトリウム-カリウム ATP アーゼともいう) という膜タンパク質は、ATP 1 分子のエネルギーを使って、ナトリウムイオン 3 分子を細胞内から細胞外へ輸送し、カリウムイオン 2 分子を細胞外から細胞内へ輸送する。

また、チャンネルという膜タンパク質もある。チャンネルは ATP と結合しないので、エネルギーは使わない。蓋を閉じたときはイオンを通さないが、蓋を開けたときはイオンのただの通り道になる。イオンはどちら向きにも流れることができるが、実際にはチャンネルの外側の環境によって、流れる向きが決まる。つまり、イオン濃度の高い方から低い方へと流れることになる (受動輸送という)。ナトリウムイオンを通すナトリウムチャンネルやカリウムイオンを通すカリウムチャンネルなどがある。

さらに、物質ではなく情報を運ぶ、②受容体 (レセプターともいう) と呼ばれる膜タンパク質もある。まず、受容体の細胞外に出ている部分に、物質が結合する。この受容体に結合する物質をリガンドという。リガンドが結合した受容体は、構造が変化する。その結果、受容体の細胞内に出ている部分も、構造が変化する。その構造変化がシグナルとなって、何らかの情報を細胞内に伝えるのである。



『若い読者に贈る美しい生物学講義－感動する生命のはなし』

更科巧著 ダイアモンド社 2019年より一部改変

## 課題文 2

ジギタリス<sup>注</sup>の葉に心臓病からくるむくみをとりのぞく効果を見つけたのは、イギリスの医師、ウィリアム・ウィザリングだといわれている。

ときは、ジョージ三世の1775年のことである。(中略)

ロビンフッドで有名なシュロップシャーの森には、「むくみをたちまち治す」という評判の老婆が住んでいた。当時、むくみがどうしてあらわれるのかその原因はわかっていなかったが、放っておけば致命的になることだけは経験的に知られていた。もちろん、むくみといっても原因はいろいろあるが、ここでいうのは、ポンプとしての心臓の機能が弱まるためにおこるものである。そうなると腎臓に血液がいかなくなり、濾過機能<sup>ろか</sup>がおちて水分が排出されないためにむくみが生じてくる。それは気づかぬうちに悪化し、やがて心不全となって死をまねく。いまでこそ、有効な利尿剤でむくみはおさえられるようになったが、その頃は、体液が下肢などにたまっておこるむくみにはまったくお手上げだった。だから、もしその治療法を発見したものがいれば、現代のガンの特効薬のようにたちまち富と名声を約束されるという時代だった。

ウィザリングは、よもや自分がそうした幸運児になるなどは、夢にも思わなかった。だから、シュロップシャーの森の老婆がおこなうという評判の「治療」にもまったく興味がなかったし、彼の婚約者が見学に行くよう説得しても一顧だにしなかった。18世紀、当時、もっとも進んでいた医学界の中心学派・エジンバラ派の若き青年医師だった彼にしてみれば、卑しい老婆の治療など、たとえようもないほど下品なことだった。しかし、女の第六感か、婚約者はひきさがらなかった。男に従うのが女のつとめという当時の封建社会にあって、彼女の強引さは、若いウィザリングに新鮮な驚きと映ったのか、彼は気持を動かされ、シュロップシャーへ行くことにした。

そこでは、例の老婆がむくみを訴える病人にジギタリスの葉を煎じてあたえていた。だが、ジギタリスは当時の宮廷付き植物学者であり、薬草学の権威であったジョン・パーキンソンによって、「賢明な医者なら誰もジギタリスを薬として用いない」

と、断固否定されていた植物である。(中略) それほどの大権威が否定したにもかかわらず、ウィザリングが目にしたのは、患者のむくみが快方に向かう現実だった。

エジンバラに戻った彼は、自分でもさっそく上流階級の患者に処方して、その効果をつぶさに観察することにした。結果は、彼の評判をあげるばかりだった。

そこで、彼は「ジギタリスとその医学利用に関する一考察」という論文を発表し、ジギタリスの発見者として一躍、時代の寵児<sup>ちやうじ</sup>となってしまった。シュロップシャー行きは彼の名を歴史にとどめる運命的な旅となったのだった。しかし、もちろん、恩人であるはずの老婆の存在などおくびにもださなかった。(中略)

ジギタリスはすべて万万才という薬草ではなかった。実は、③ジギタリスの効力は、ジギトキシシン、ジギタリンといった心臓に作用する成分によるもので、毒にも薬にもなるという両刃<sup>もろは</sup>の剣でもあった。よく働けば、④心筋にくっついて収縮力を高め、心臓の筋肉を強化するのだが、強くなりすぎると異常な不整脈をおこして死をまねきかねない。しかし、強くなるまであたえなければ効果が出ず、安全域が非常に狭い。治った患者もいただろうが、寿命を縮めた人もいたにちがいない。

【毒草を食べてみた】

植松黎著 文春新書 2000年より一部改変

注) ジギタリスは、オオバコ科ジギタリス属の薬用あるいは観賞用植物の総称

問1 課題文1の下線部①にあるように、ナトリウムポンプはATPを分解する酵素としての役割も持っている。この酵素の阻害剤が、課題文2の下線部③にあるジギトキシンやジギタリン（以下ジギタリスと表す）である。この阻害の程度を知るために、表1のように、緩衝液の入った試験管にウサギ脳細胞から精製したナトリウムポンプと一定量のジギタリスを加え、基質であるATPの濃度を変えてナトリウムポンプの活性を調べた。活性は、単位時間あたりにATPが消費されて発生するリン酸の量で測定した。

このジギタリスによる阻害は競争的阻害か、非競争的阻害か、表1の結果から判断し、理由とともに答えなさい。

表1. ナトリウムポンプのATP濃度と活性の関係

	ATPの濃度 (mM)	活性（時間あたりに発生する リン酸量 $\mu\text{mol}$ ）	
		ジギタリス 添加しない時	ジギタリスを 添加した時
試験管1	0	0	0
試験管2	0.1	8	7
試験管3	0.2	14	12
試験管4	0.4	24	17
試験管5	0.8	34	22
試験管6	1.2	41	25
試験管7	2.4	43	25
試験管8	5.0	39	23

問2 課題文2の下線部④にあるようにジギタリスは心筋の働きを強め、強心剤としての作用を持っている。そのしくみについて、以下の『 』内の文章のつづき(……部分)を「カルシウムイオン」という語句を用いて180字以内で補完することで説明しなさい。

『その作用は、阻害が働くと細胞内のナトリウムイオン濃度が高くなる。すると、別の輸送体であるナトリウム-カルシウム輸送体が働く。これにより、細胞内のカルシウムイオン濃度が高く保たれることになり、心筋の収縮が高まる。筋収縮はアクチンフィラメントにミオシン分子が結合し、ATPを使ってミオシン分子がアクチンフィラメント上を滑ることで起こる。……』

問3 課題文2にあげた物質の他にも自然界の生物の中には健康や医療に寄与する多様な物質が知られている。ごく微量しかないものについてはその物質を作る遺伝子を取り出し、他の生物種へ組換えて増産することも可能である。

例えば、ヒルジンは、野生のヒルの唾液に含まれる物質でヒルが吸血する時に働く。ヒルジンの作用はある酵素を阻害することで、これにより医療の現場では重要な役割を果たす。ヒルジンはヒルジン遺伝子から直接作られるため、ヒルジン遺伝子を大腸菌に遺伝子組換えして得られた組換えヒルジンが医薬品として製造されている。

このヒルジンの働きを確認するため、ブタの血液を使って次のような実験を行った。実験の結果に関する後の問いに答えなさい。

実験：ブタの血液をa～fの各試験管に3mLずつ分注し、塩化カルシウム溶液とヒルジンを含む溶液を加えて、37℃で5分間温めた。試験管c, d, fの一部の液は混ぜ合わせる前にあらかじめ65℃で5分間加熱処理をして室温に戻したものを添加した。血液が凝固したかどうかを観察したところ表2の結果となった。

表 2. 血液の凝固に関わる添加物とその結果

試験管	a	b	c	d	e	f
血液量	3 mL	3 mL	3 mL	3 mL 65°C加熱 処理	3 mL	3 mL
塩化カルシウム溶液	—	+	+ 65°C加熱 処理	+	+	+
ヒルジンを 含む溶液	—	—	—	—	+	+ 65°C加熱 処理
結果	凝固しな かった	凝固した	凝固した	凝固しな かった	凝固しな かった	X

+ : 添加した    — : 添加しなかった (代わりに水を加えた)

- (1) 試験管 a と b, 試験管 b と d の結果をふまえて, 試験管 b と e の結果から血液の凝固に関して考えられることは何か。60 字以内で答えなさい。
- (2) 試験管 f の結果の欄 X に当てはまる語句を答えなさい。また, そのような結果となる理由を 60 字以内で答えなさい。

問4 課題文1にある膜タンパク質は植物ホルモンの作用にも関わっている。マカラスムギの芽生えを図1のAのように暗黒下で地面に寝かせると、やがてBのように茎と根の先端部はオーキシンにより重力屈性を示す。さらに、Cのように茎の先端部に光をあてると同じくオーキシンにより光屈性を示す。これらの屈性には、細胞内のオーキシンの排出輸送をおこなう膜タンパク質（PINと呼ばれる）がかかわっている。これをふまえて、後の問いに答えなさい。

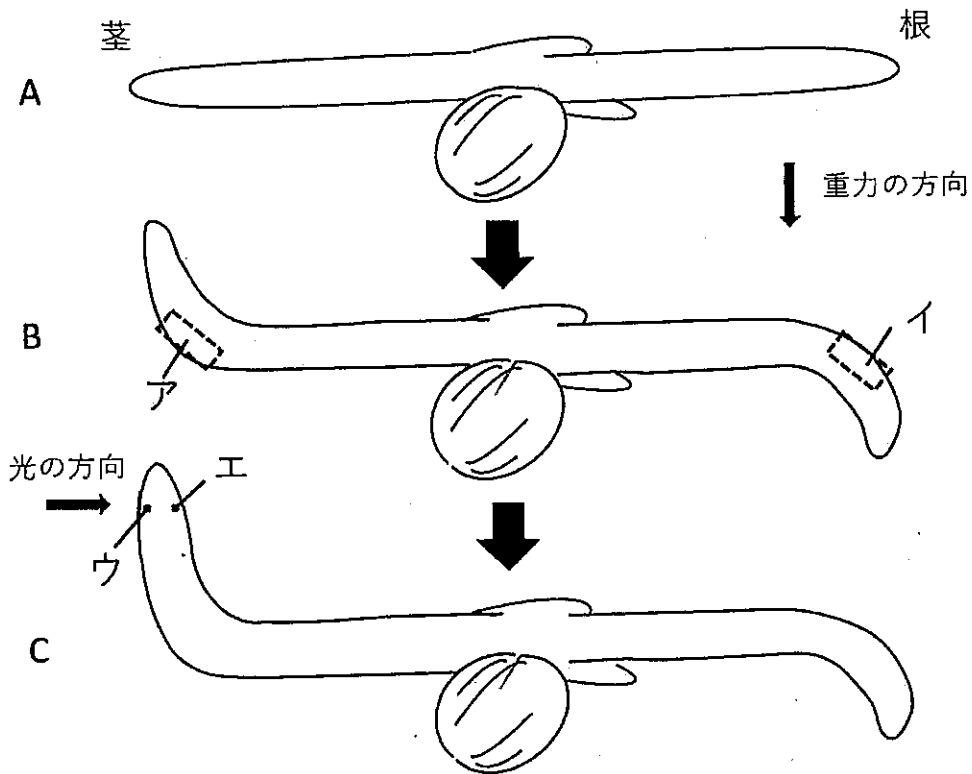
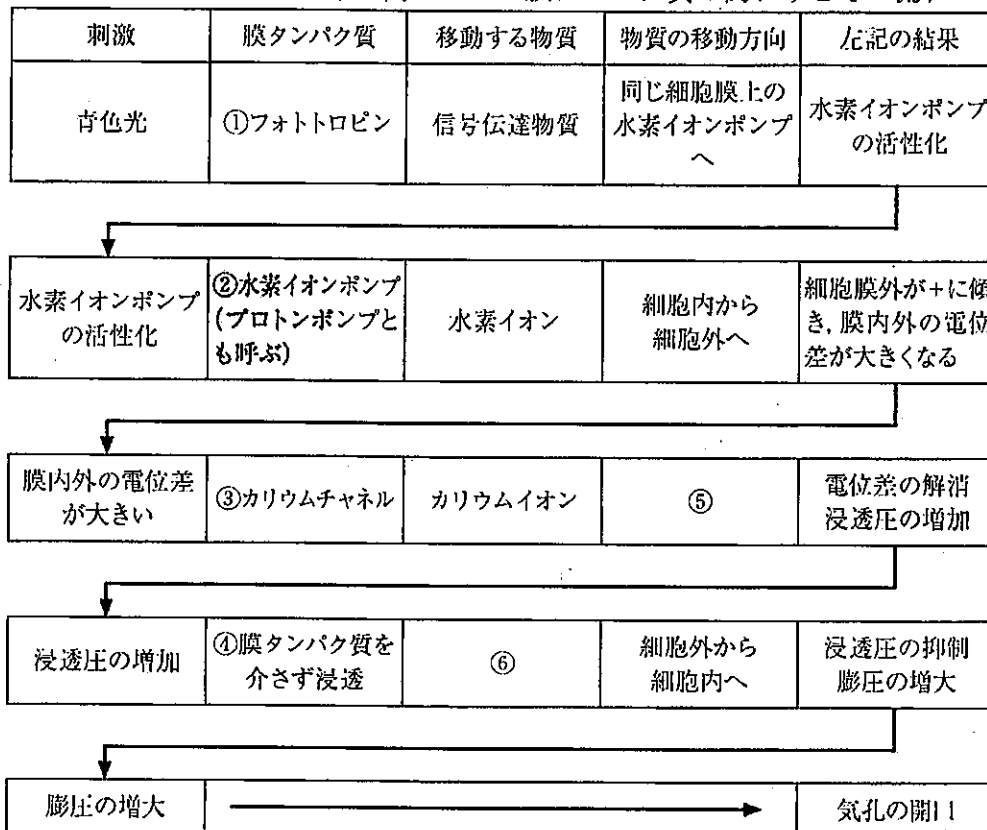


図1 マカラスムギの芽生えにおける屈性

- 図1のBのアとイの領域の細胞では同じ程度の細胞伸長が認められる。2つの領域の細胞内のオーキシン濃度は、違いがあるか、ないか。あるとすればどちらの濃度が高いか、答えなさい。
- 根冠の部分のみをあらかじめ取り除いて、図1のAと同じように地面に寝かせたとき、根端部はどのような変化を示すか、簡単に述べなさい。
- 図1のCのウとエの細胞では、オーキシンの排出輸送をおこなう膜タンパク質の配置にはどのような違いが生じるか、簡単に述べなさい。

問5 課題文1の下線部②にある受容体やその他の膜輸送タンパク質は、植物の葉の気孔が開く時にも関わっており、例えば孔辺細胞の開口のしくみの概要は、以下の表3のような流れとなっている。表3に示された孔辺細胞の開口のしくみについて次の問いに答えなさい。

表3. 孔辺細胞における開口までの膜タンパク質の関わりとその流れ



- (1) なぜ青色光が気孔の開口する方向への刺激になると考えられるか、答えなさい。
- (2) 表3と同じ応答を示す植物の葉の切片を培養液中に浸し、青色光を照射すると気孔の開口が見られた。また、赤色光を照射すると開口は見られなかった。しかし、赤色光照射時に培養液のpHを低下させると、気孔が開口した。このとき、表3の①から④のうち応答が見られたものはどれか、番号で答えなさい。
- (3) 表3の⑤、⑥の部分に相当する適切な語句を答えなさい。

## II 課題文を読んで、後の問いに答えなさい。

## 課題文

自然交尾による繁殖ではなく、なぜ人工授精で繁殖させねばならなかったか？人工授精技術を進めていく上で、研究者たちの頭の中にあったのは、自然交尾によって感染するさまざまな病気の予防であり、優秀な遺伝的形質をできるだけたくさんの牛へと伝えることにより、①急速に遺伝的改良を凶ろうとする試みであった。特に戦後の動物性タンパクが不足していた時代にあつて、牛乳をたくさん生産する牛を作り出すことは国家的なプロジェクトとなった。精液を希釈することによって、すぐれた形質を持ったオスの精子をたくさんのメスへ授精させ、それによって家畜の改良を飛躍的に加速することができるという希望が満ちあふれていた時代である。そしてそのもくろみはみごとにあつた。

(中略)

人工授精ほどのインパクトはないが、その後確実に成功を取めているのが受精卵の凍結と受精卵移植である。受精卵を取り出そうとする雌牛に②ホルモン処理を施し、通常は1個か2個しか排卵しないはずの卵子を大量に排卵させる(過排卵処理)。大量に排卵をしたこの牛に人工授精を行い、大量の受精卵を得ることができる。さらに現在では非外科的に(おなかをあけることなく)子宮内にある受精卵を洗い流すように取り出すことができる。取り出した受精卵は、液体窒素中で精液と同じように、長期にわたって凍結保存することが可能となっている。この凍結受精卵を融解し、今度は③ホルモン処理により、着床可能な状態となっている仮親(育ての親)の子宮に移植する。凍結受精卵の移植技術の開発は、人工授精と同様、すぐれた形質をもった子孫の誕生を時空を超えて可能にしたのである。

(中略)

他にも開発途上の技術はたくさんある。雌雄の産み分け技術(sexing)もその1つである。精子にはオスをつくりだす精子([A]染色体を持つ精子)とメスをつくりだす精子([B]染色体を持つ精子)がある。たとえばこの2種類の精子を分けることができれば、酪農家がいい雌牛を即座に手に入れることができるようになる。近い将来、オスになる精子、メスになる精子として売られる日が来るのかもしれない。現在もっとも有望な産み分け技術は、分割途上の受精卵の一部を



切り取ってきて、その遺伝子を簡便な方法で解析することにより、オスの受精卵かメスの受精卵かを判別する方法である。乳牛の場合ならば、メスと判定された受精卵の残りの部分を移植することにより、メスの子供を得ることができる。

1頭の動物からもっとミルクを、もっと肉を、といった具合に研究者の要求はとどまることをしらない。生理的にはわずか2,000 kgしか泌乳<sup>ひつじょう</sup>しない動物を1万 kg、ひよっとしたら2万 kgのミルクを出す動物へと変えてしまってもである。しかしながら、乳量や成長といった遺伝的形質は、実に複雑な遺伝的メカニズムにより制御されているようだ。決して1つの遺伝子を入れたり、壊したりしただけで変わるようなものではない。それならばと、ホルモンに頼ろうという考え方が生まれた。成長ホルモンという下垂体から分泌されるホルモンは、成長や乳腺の発育、ミルクの分泌などに大きな役割を持っている。成長ホルモンは人間の小人症の治療薬として、もともとは人間の死体の下垂体から抽出されていたが、遺伝子工学の発達により、④大腸菌でつくられるようになり、たいへん安価な薬となった。大腸菌でつくった牛の成長ホルモンを泌乳している牛に注射すると実際に数十%乳量が増える。

【ヒトと動物の関係学 第2巻 家畜の文化】

秋篠宮文仁、林良博編 岩波書店 2009年 より一部改変

生物 12

問1 あるウシの集団において、 $a, b$  の対立遺伝子があり、第一世代（合計 1,000 頭）は遺伝子型  $aa$  が 500 頭、遺伝子型  $ab$  が 300 頭、遺伝子型  $bb$  が 200 頭であった。また、メスとオスの比率はすべての遺伝子型で 1:1 であり、それぞれのメスは第一世代集団の中で交配して 2 頭ずつの子牛を産み、その子牛の集団を第二世代としたとき、以下の問いに答えなさい。

- (1) ハーディ・ワインベルグの法則が成立すると仮定した場合、第二世代における  $b$  遺伝子頻度を答えなさい。
- (2) 表現型  $bb$  の個体は他の表現型の個体よりも乳量が多いとする。牛乳の増産を目的としてオスのみを選抜し、その精子を使ってすべてのメスに人工授精したとき、第二世代における  $b$  遺伝子頻度（推定値）を答えなさい。ただし、突然変異は起こらず、 $a$  遺伝子と  $b$  遺伝子は等しい確率で次世代に引き継がれ、ほかの遺伝子が乳量や繁殖におよぼす影響は考慮しないものとする。
- (3) 課題文の下線部①の試みでは「ハーディ・ワインベルグの法則」が成立しない。その理由を 80 字以内で説明しなさい。

問2 課題文の [A] [B] に入る語句を答えなさい。また、ウシのオスおよびメスにおける性染色体の構成を答えなさい。

問3 ヒトの月経周期の変化とそれに関係するホルモンを示した図 2、3 および表 4 について、後の問いに答えなさい。なお、図表にある卵胞とは、卵巣内にある卵細胞とそれを取り巻く上皮細胞からなる細胞集団のことで、排卵後には黄体となる。

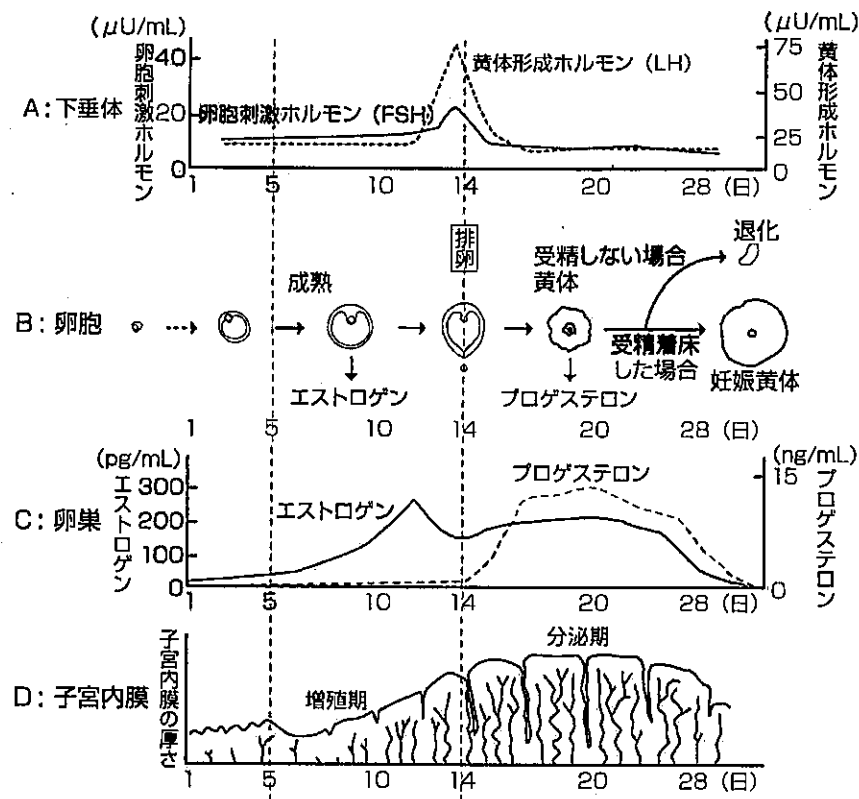


図2 月経周期の変化

$1\text{ g} = 10^6\ \mu\text{g} = 10^9\ \text{ng} = 10^{12}\ \text{pg}$

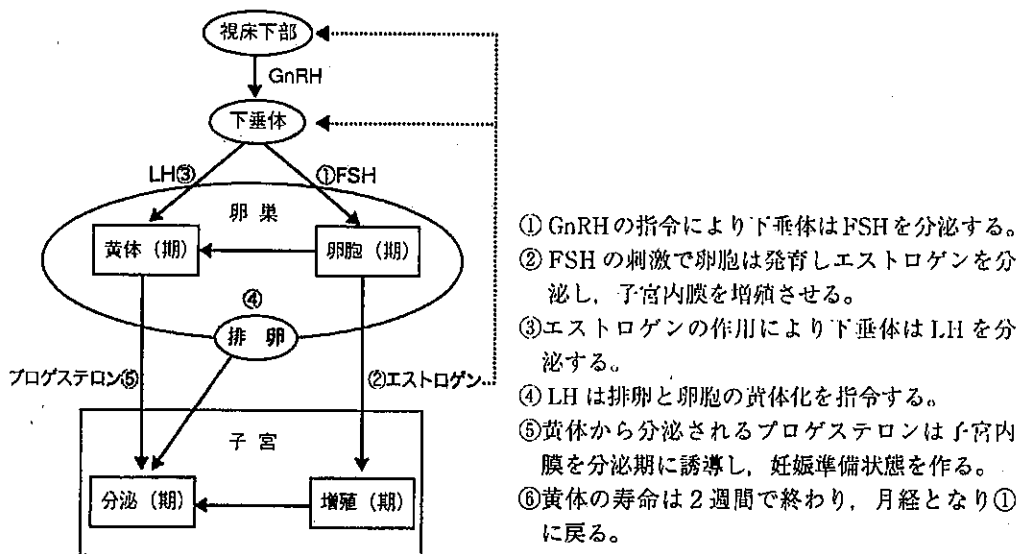


図3 ヒトの排卵機構

GnRH は性腺刺激ホルモン放出ホルモンのこと。

表4 排卵に関与するホルモンとその役割

	分泌場所	主な役割
GnRH	視床下部	下垂体に働きかけゴナドトロピン <sup>注)</sup> を分泌させる
FSH	下垂体	卵巣で卵胞を発育させる (卵胞刺激ホルモン)
LH	下垂体	卵巣で排卵や黄体の形成を促す (黄体形成ホルモン)
エストロゲン	卵 巣	子宮内膜を増殖させる。子宮以外にも多様な作用がある
プロゲステロン	卵 巣	内膜を分泌期にし、妊娠の成立、維持に重要である 基礎体温を上げる作用もある

注) FSH と LH のこと。

【生殖補助医療 (ART) 胚培養の理論と実際】

日本卵子学会編 近代出版 2017 年 より一部改変

- (1) 排卵機構におけるエストロゲンは、通常では中枢側 (視床下部, 下垂体) へ抑制的に作用するが、ピーク (200 ~ 400 pg/mL) を形成したときに促進的に作用する。この抑制的および促進的に作用するしくみの名称を答えなさい。
- (2) 課題文の下線部②および③の処理によって起こるホルモン濃度の変化と生殖現象を、それぞれ簡潔に答えなさい。

問4 以下の問いに答えなさい。

- (1) 課題文の下線部④のように、外来遺伝子を大腸菌に導入することで、ウシ成長ホルモンなど哺乳動物のタンパク質をつくることに成功しているが、そのタンパク質が活性をもつためには遺伝子からの翻訳後に様々な修飾 (糖類の結合, リン酸の結合, S-S 結合の形成など) を受けることが必要である。このように、タンパク質の機能はその構造と密接にかかわっているが、基本となるタンパク質の一次構造および二次構造, 三次構造, 四次構造を、合計 200 字以内で説明しなさい。
- (2) ヒト有用物質を生産するために動物 (家畜) を利用するシステムは、ヒトと同じ哺乳類であるためタンパク質の翻訳後修飾が十分に期待でき、利点が多い。特定の外来遺伝子が動物に導入され、導入された遺伝情報がその動物の遺伝情報に取り込まれた個体の名称を答えなさい。

(3) ヒト有用物質を生産する様々な家畜が作出されている。表5は、家畜へ遺伝子を導入し、その家畜の乳汁中に組換えタンパク質を分泌させたときの生産量と要した時間の概算値を表している。この中でヤギが有用と考えられているが、その理由を体の大きさを考慮しながら140字以内で答えなさい。

表5 遺伝子導入した動物種におけるタンパク質獲得量と要する時間の比較

	ウサギ	ブタ	ヒツジ	ヤギ	ウシ
性成熟(月)	5	6	8	8	15
妊娠期間(月)	1	4	5	5	9
遺伝子導入から最初の授乳までの時間(月)	7	16	18	18	33
産子数	8	10	1-2	1-2	1
年間乳量(リットル)	15	300	500	800	8,000
メス1匹あたりの年間組換えタンパク質(kg)	0.02	1.5	2.5	4	40

Louis-Marie Houdebine 著 Comparative Immunology Microbiology and Infectious Diseases

2009 Mar;32(2):107-121 を参考に作成