

受験番号				
------	--	--	--	--

自然科学

問題冊子

指 示

合図があるまでは絶対に中を開けないこと

1. この試験は、資料を読んで、あなたがその内容をどの程度理解し、分析し、また総合的に判断することができるかを調べるためのものです。
2. この冊子には、数学、物理、化学、生物の4分野の問題がこの順序で掲載されています。その中から2分野を選んで解答して下さい。
3. 配点は各分野とも40点満点で、2分野の合計で**80点満点**です。
4. 解答のための時間は、「解答はじめ」の合図があってから正味**80分**です。
5. 使用する解答欄は、問題の前に指示してあります。解答欄は、多肢選択マークセンス方式のほか、一部に記述方式が含まれます。
6. 選んだ分野と答えは、解答カードの定められたところに指示どおりに鉛筆を用いて書き入れて下さい。一度書いた答えを訂正するには、消しゴムできれいに消してから、あらためて正しい答えを書いて下さい。
7. メモにはこの冊子の余白を用い、ほかの紙は使用しないで下さい。
8. 「解答やめ」の合図があったら、ただちにやめて下さい。試験監督が問題冊子と解答カードを集め終わるまでは、退室できません。
9. この指示について質問があるときは、試験監督に聞いて下さい。
10. **解答上の注意**が、裏表紙に記載してあるので、この問題冊子を裏返して必ず読んで下さい。ただし、問題冊子を開いてはいけません。

「受験番号」を解答カードの定められたところに忘れずに書き入れること

(余 白)

目 次

数 学	2
物 理	12
化 学	26
生 物	36

数 学

PART I ~ PART III の問題がある。マークセンス方式の解答欄ア～ツを使って解答せよ。

PART I

自然数 n の正の約数の個数を $\varphi(n)$ と記すことにする。

例えば, $\varphi(1) = 1$, $\varphi(2) = 2$, $\varphi(3) = 2$, $\varphi(4) = 3$, $\varphi(5) = 2$, $\varphi(6) = 4, \dots$ である。
また, $\varphi(100) = 9$ であることは直ちに確かめられる。

$n \geq 2$ のとき, 1 と n は必ず n の約数だから, $\varphi(n) \geq 2$ である。また, $\varphi(n) = 2$ は n が素数であることを意味する。

1. $\varphi(2022) = \boxed{\text{ア}}$ である。
2. $\varphi(n) = 2$ となる 40 以下の自然数 n の個数は $\boxed{\text{イウ}}$ である。
3. 素数 p について $\varphi(p^{10}) = \boxed{\text{エオ}}$ である。
4. $\varphi(n) = 3$ となる 100 以下の自然数 n の個数は $\boxed{\text{カ}}$ である。

(このページは空白です.)

PART II

地球面上の2地点間の最短距離となる航路のことを大圏航路という。地球を完全な球だと仮定し航空機の高度を無視すれば、2地点 A, B 間の大圏航路は A, B を通る大円上の弧 \widehat{AB} である。一般に、平面と球面の交わりは円となるが、球の中心を通る平面と球面との交わりである円を大円という。ここでは、円上の2点 A, B を端点とする2つの弧のうち長さの短い方を弧 \widehat{AB} ということにする。それを踏まえて、以下の問題を考えよう。

実数 a, b, c, d について a, b, c のどれか1つは0でないとき、方程式

$$ax + by + cz + d = 0$$

を満たす (x, y, z) の全体は空間内の平面を表す。たとえば、一直線上にない3点 $(1, 0, 3)$, $(0, 1, 3)$, $(0, 0, 3)$ を通る平面 H の場合、上の方程式にこの3点の座標を代入して a, b, c, d を求めると $a = b = 0, 3c + d = 0$ を得る。 $c \neq 0$ のどの値でも同じ平面 H を表す。簡単のため $c = 1$ として平面 H の方程式 $z - 3 = 0$ を得る。これは xy 平面に平行な平面である。

空間内の原点を中心とする半径5の球面

$$x^2 + y^2 + z^2 = 25$$

を K とする。

5. 球面 K と平面 H は、半径 $\boxed{\text{キ}}$ の円 C で交わっている。

(このページは空白です.)

6. 点 $P(0, 4, 3)$, $Q(2\sqrt{3}, 2, 3)$ は円 C 上にある. 円 C 上の弧 \widehat{PQ} の長さ l_1 として正しいものを次から選び, 解答欄 に記せ.

- a. 2π
- b. $\frac{4\pi}{3}$
- c. π
- d. $\frac{2\pi}{3}$

7. 原点 O , および 2 点 P, Q を含む平面 H' は, 方程式 $\sqrt{3}x + \text{}y - \text{}z = 0$ で表すことができる.

8. ベクトル \overrightarrow{OP} とベクトル \overrightarrow{OQ} の間の角 θ が満たす式として正しいものを次から選び, 解答欄 に記せ.

- a. $\cos \theta = \frac{17}{25}$
- b. $\cos \theta = \frac{1}{2}$
- c. $\cos \theta = \frac{\sqrt{17}}{5}$
- d. $\cos \theta = \frac{\sqrt{2}}{2}$

9. 平面 H' と球面 K は半径 5 の円 C' で交わっている. 円 C' 上の弧 \widehat{PQ} の長さを l_2 とする. また, 球面 K 上で P と Q を結ぶ曲線の長さの最小値を l_3 とする. このとき, 次の関係のうちから正しいものを解答欄 に記せ.

- a. $l_1 = l_2 = l_3$
- b. $l_1 > l_2 > l_3$
- c. $l_1 > l_2 = l_3$
- d. $l_1 = l_2 > l_3$

(このページは空白です.)

PART III

2つの平面ベクトル $\mathbf{a} = (a_1, a_2)$, $\mathbf{b} = (b_1, b_2)$ の内積は $\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = |\mathbf{a}| \cdot |\mathbf{b}| \cos \theta = a_1 b_1 + a_2 b_2$ である。ここで $|\mathbf{a}| = \sqrt{a_1^2 + a_2^2}$ は \mathbf{a} の長さで、 θ は \mathbf{a} と \mathbf{b} のなす角 ($0 \leq \theta \leq \pi$) である。したがって、

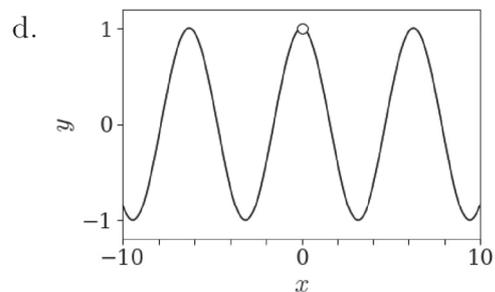
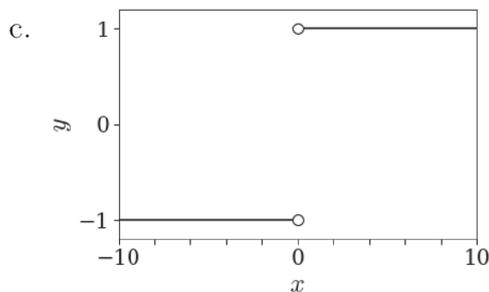
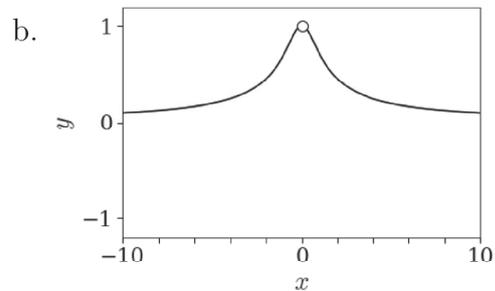
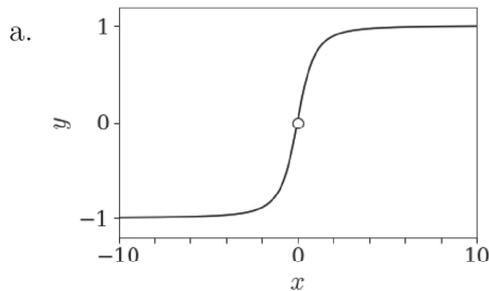
$$s(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \frac{\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}}{|\mathbf{a}| \cdot |\mathbf{b}|} = \frac{a_1 b_1 + a_2 b_2}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2} \sqrt{b_1^2 + b_2^2}}$$

とおくと $-1 \leq s(\mathbf{a}, \mathbf{b}) \leq 1$ となる。このとき以下の問に答えよ。

10. $\mathbf{a} = (1, \sqrt{3})$ で $s(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \frac{1}{2}$ のとき、 $b_2 \neq 0$ であれば $\frac{b_1}{b_2} = -\frac{\sqrt{\boxed{\text{ス}}}}{\boxed{\text{セ}}}$ である。

11. $\mathbf{a} = (1, 0)$, $\mathbf{c} = (1, x)$, $\mathbf{d} = (x, 0)$ に対して $s(\mathbf{a}, \mathbf{c})$, $s(\mathbf{a}, \mathbf{d})$ を考える。

実数 x は $-10 \leq x < 0$, $0 < x \leq 10$ の範囲を動くとして、 $s(\mathbf{a}, \mathbf{c})$ を x の関数 $y = f(x)$ と考える。このときのグラフとして適切なものを次の a ~ d から選び、解答欄 $\boxed{\text{ソ}}$ に記せ。同様に、 $s(\mathbf{a}, \mathbf{d})$ のグラフとして適切なものを解答欄 $\boxed{\text{タ}}$ に記せ。



(グラフ中の \circ は、定義域に入らない値 $x = 0$ の上にある.)

(このページは空白です.)

データの扱いにベクトルの考え方が関わることを少しだけ見てみよう。

n 個の実数値からなるデータ a_1, a_2, \dots, a_n に対して、平均と (平均からの) 偏差はそれぞれ

$$\begin{aligned}\bar{a} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i \\ \hat{a}_i &= a_i - \bar{a} \quad (i = 1, \dots, n)\end{aligned}$$

と定められる。定義より $\sum_{i=1}^n \hat{a}_i = 0$ である。

データ a_1, a_2, \dots, a_n に対して記号 $\mathbf{a} = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ および $\hat{\mathbf{a}} = (\hat{a}_1, \hat{a}_2, \dots, \hat{a}_n) = (a_1 - \bar{a}, a_2 - \bar{a}, \dots, a_n - \bar{a})$ を導入しよう。以下では \mathbf{a} をデータと同一視してデータ \mathbf{a} という言い方をする。

データ \mathbf{a} と n 個の実数値からなるもう 1 つのデータ $\mathbf{b} = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ に対して

$$s(\hat{\mathbf{a}}, \hat{\mathbf{b}}) = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{a}_i \hat{b}_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \hat{a}_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n \hat{b}_i^2}}$$

と定めると、 $s(\hat{\mathbf{a}}, \hat{\mathbf{b}})$ はデータ \mathbf{a} と \mathbf{b} の相関係数と一致する。 $n = 2$ のときの平面ベクトルとの類似性から、 \mathbf{a} や $\hat{\mathbf{a}}$ は n 次元のベクトルとよばれている。

$n = 4$ で $\mathbf{a} = (8, 8, 0, 0)$, $\mathbf{b} = (0, b_2, 8, b_4)$, かつ $\bar{b} = 4$ とするとき、次の間に答えよ。

12. 相関係数 $s(\hat{\mathbf{a}}, \hat{\mathbf{b}}) = -1$ のとき、 $b_2 = \boxed{\text{チ}}$, $b_4 = \boxed{\text{ツ}}$ である。

平面もしくは空間ベクトル \mathbf{a}, \mathbf{b} のなす角を θ としたとき、 $s(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \frac{\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}}{|\mathbf{a}| \cdot |\mathbf{b}|}$ は 2 つのベクトルの向きの一致の度合いを示すと考えられる。 $s(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = 1$ のとき、向きは完全に一致し、 $s(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = -1$ のときは向きが正反対である。一方、 n 個の値からなるデータ \mathbf{a}, \mathbf{b} に対して、 $s(\hat{\mathbf{a}}, \hat{\mathbf{b}})$ は 2 つのデータの相関係数と一致するが、これは \mathbf{a}, \mathbf{b} の偏差のベクトル $\hat{\mathbf{a}}, \hat{\mathbf{b}}$ の“向き”の一致の度合いを示していると考えることができる。なお、偏差でなくデータの値自体に対して計算した $s(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ は、コサイン類似度と呼ばれ、画像、音声、文章などのデータの分析に応用されている。

(このページは空白です.)

物 理

PART I, PART II の問題がある。マークセンス方式の解答欄ア～ス, および記述方式の解答欄 A を使って解答せよ。

PART I

あられとひょう (霰と雹)

地球の温暖化などの影響もあるのだろうか, 「ひょうが降った」というニュースを昔よりも頻繁に見かけるようになった気がする。ひょうは「積乱雲から降る直径 5 mm 以上の氷粒」と定義づけられており, 直径 5 mm 未満の氷粒はあられとよばれる。つまり空から降ってくる小さめの氷があられで, 大きめのものがひょうである。異常気象のニュースも物理的に考察すると興味深い一面が垣間見られる。ここではあられやひょうに関わる物理について考えてみよう。

あられやひょうは, 氷ではあるが空気中で作られるためか, その密度は通常の氷 (約 0.9 g/cm^3) に比べ低く, おおよそ $0.1 \sim 0.5 \text{ g/cm}^3$ である。サイズ感を得るためにもひょうの質量を計算してみよう。

1. 密度 0.3 g/cm^3 で, 直径がちょうど 5 mm の球体のひょうの質量をもとめ, 次のうちから最も近いものを選び, 解答欄 に記せ。なお, ひょうの密度は均一とする。
 - a. 0.007 g
 - b. 0.02 g
 - c. 0.2 g
 - d. 3 g

積乱雲の高度は 10 km を超えるが, その高さから落ちたあられやひょうが空気抵抗なしだとどの程度の速さになるか一度計算してみよう。

2. 空気抵抗がないと仮定し，質量 10 g のひょうが，高さ 10 km から初速 0 m/s で自由落下したときの地表での速さをもとめ，次のうちから最も近いものを選び，解答欄 に記せ．なお，重力加速度 g の値は 9.8 m/s^2 とする．
- a. 120 m/s (430 km/h)
 - b. 210 m/s (760 km/h)
 - c. 330 m/s ($1,200\text{ km/h}$)
 - d. 440 m/s ($1,600\text{ km/h}$)
3. 問2のひょうが高さ 10 km から地表に達するまでの落下時間をもとめ，次のうちから最も近いものを選び，解答欄 に記せ．
- a. 12 s
 - b. 45 s
 - c. 320 s
 - d. $2,000\text{ s}$

図1は，自由落下における落下物の速さ v の時間変化と，速さに対する空気抵抗の影響を示している．空気抵抗を無視した自由落下では，重力の影響で速度は増加しつづける．しかし，実際は空気抵抗を受けるため速度の増加はどこかで止まり，ある速度に近づいていく．この速度のことを終端速度 v_t (Terminal velocity) とよぶ．直径 10 mm のひょうは 14 m/s (50 km/h) 程度で速さが一定となり落ちてくる．大きなひょうは恐ろしい破壊力で甚大な被害をもたらすことがあるが，実は空気抵抗によってその被害は著しく軽減されているのである．

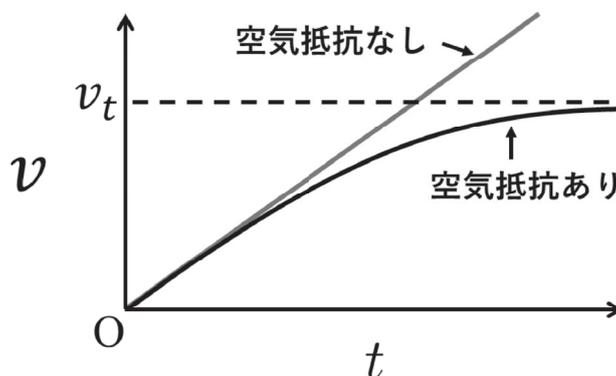


図1. 速さの時間変化と空気抵抗の影響

落下する物体にはたらく空気抵抗は、物体の大きさ・形状・速度に依存して大まかに2種類の抵抗、粘性抵抗と慣性抵抗に分類できる。

あられは小さく、速度も遅いため粘性抵抗 R_v (Viscous drag force) が主な空気抵抗となっていることが知られている。一般的に空気抵抗は物体の速度に依存するが、粘性抵抗の大きさは速さ v に比例し

$$R_v = kv$$

のようにあらわされる。このとき k は正の比例係数である。

4. 落下するあられの空気抵抗が R_v のみであらわされるとき、質量 0.6 mg のあられの終端速度をもとめ、次のうちから最も近いものを選び、解答欄 に記せ。なお、 $k = 2.0 \times 10^{-5} \text{ N}\cdot\text{s/m}$ とする。

- a. 0.15 m/s (0.54 km/h)
- b. 0.29 m/s (1.0 km/h)
- c. 0.77 m/s (2.8 km/h)
- d. 1.3 m/s (4.7 km/h)

高高度気球という言葉聞いたことがあるだろうか？ 高高度気球は水素やヘリウムで充填した気球で2013年に日本の宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が 53.7 km の高度に到達し世界記録を更新した。この気球であれば積乱雲の高度 10 km 付近まであがり実際あられやひょうを降らす実験が可能である。

高高度気球を使って、高度 10 km で静止している気球から初速 0 m/s であられを落としてみた。次に同じ高度からもう1つのあられを鉛直下方に初速 10 m/s で落としてみた。どちらのあられも地面に到達する前に終端速度に達していた。落下するあられの空気抵抗は R_v のみであらわされるとする。また、ここでは高度によらず k は一定とする。

5. 初速 0 m/s で自由落下させたあられに比べ、初速 10 m/s で鉛直下方に落としたあられの終端速度と落下時間に関する以下の①から⑨の記述のうち正しい記述の番号を選び、解答欄 に記せ。なお、2つのあられの初速度以外の条件（質量や形状など）は全て同じとする。

- ① 終端速度は変わらず、落下時間は変わらない。
- ② 終端速度は変わらず、落下時間は短くなる。
- ③ 終端速度は変わらず、落下時間は長くなる。
- ④ 終端速度は速くなり、落下時間は変わらない。
- ⑤ 終端速度は速くなり、落下時間は短くなる。
- ⑥ 終端速度は速くなり、落下時間は長くなる。
- ⑦ 終端速度は遅くなり、落下時間は変わらない。
- ⑧ 終端速度は遅くなり、落下時間は短くなる。
- ⑨ 終端速度は遅くなり、落下時間は長くなる。

6. 削除

あられに比べ大きく，落下速度も速いひょうは，速さ v の 2 乗に比例する慣性抵抗力 R_i (Inertial drag force) が主な空気抵抗力となることが知られている．この領域における空気抵抗はあまり高校では習わないが，実際の観測ではこの領域で測定されることがしばしばある．

慣性抵抗力 R_i は速度 v を用いて

$$R_i = qv^2$$

とあらわされる，このとき q は正の比例係数である．

7. 落下するひょうの空気抵抗力が R_i のみであらわされるとき，終端速度 v_t をひょうの質量 m ，重力加速度 g ，比例係数 q を用いて記述解答欄 A に記せ．

慣性抵抗力の比例係数 q は，物体の大きさや形状，また空気の状態など様々な条件により変化するため，厳密な計算は非常に難しい．しかし q は空気密度 ρ ，物体の落下方向に対する断面積 A を用いて

$$q = \frac{1}{2} \rho AC$$

で近似されることが知られている (図 2 参照)．このとき C は物体の形状や大きさなどで決まる定数である．上記 q の式を用いると，ひょうの大きさの変化による抵抗力の変化が計算できる．

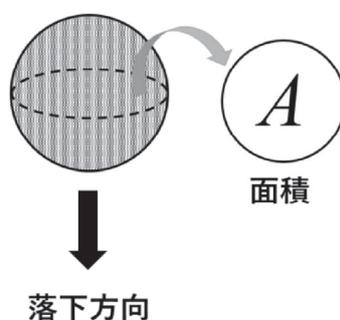
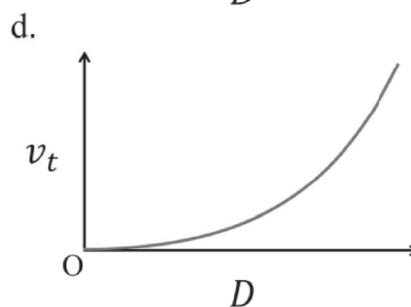
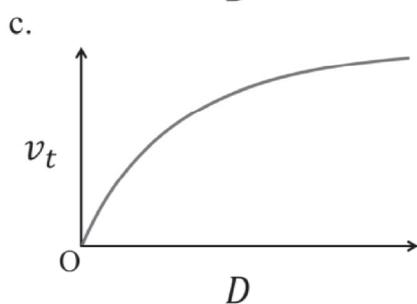
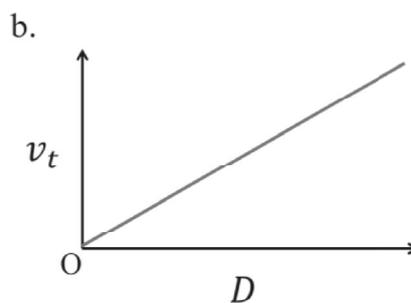
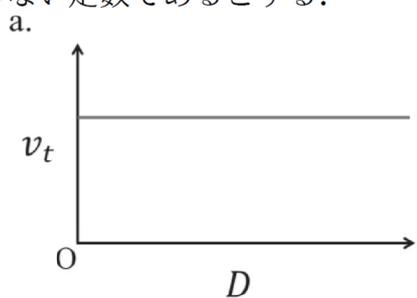


図 2. 球が落下するときの面積 A の定義

8. 落下するひょうの空気抵抗が R_1 のみであらわされるとする. 密度 ρ が一定のまま, 球形のひょうの直径 D を変化させたときの終端速度を v_t として, 最も適切なグラフを選び, 解答欄 に記せ. なお, 落下中にひょうの大きさや形は変化せず C と ρ も変化しないとする. さらに, C と ρ は直径 D によらない定数であるとする.



あられとひょうの違いで学んだ慣性抵抗力を用いて、ひとつ役に立つ計算を試みよう。これまで自由落下における鉛直方向の空気抵抗だけを考えてきたが、水平方向の運動にも空気抵抗の影響はもちろん入ってくる。高速道路で車が等速で走っているとき、運動に使われるエネルギーのほとんどが慣性抵抗力によって消費されていることが知られている（図3参照）。車が速さ v で距離 d 走ったとき、慣性抵抗力 R_i によって受ける仕事 W は

$$W = -R_i d = -\frac{1}{2} \rho A C v^2 d$$

と書きあらわされる。マイナスの符号は車からエネルギーを奪っていることを意味しているが、奪われているこのエネルギーを補いながら車を進めているのはガソリンの化学エネルギーである。ガソリンの（化学）エネルギー密度は、おおよそ 3.4×10^7 J/L であり、車はガソリンの化学エネルギーの 40% を動力エネルギーとして使えるとする。

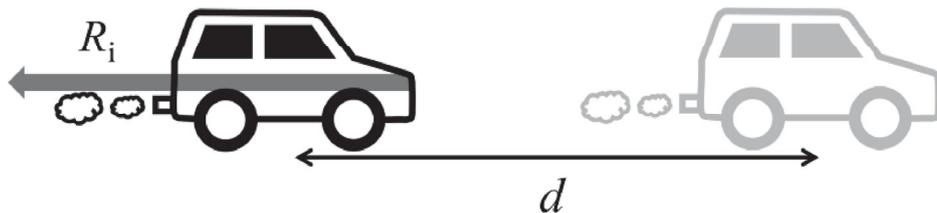


図3. ガソリン車の空気抵抗と燃費

9. $v = 28$ m/s（おおよそ 100 km/h）で走っている車の燃費（ガソリンの単位体積あたりの走行距離）をもとめ、次のうちから最も近いものを選び、解答欄 に記せ。このとき、空気の密度 $\rho = 1.3$ kg/m³、車の進行方向から見た面積 $A = 3$ m²、 $C = 0.5$ をもちいて計算せよ。
- a. 1.8 km/L
 - b. 3.6 km/L
 - c. 18 km/L
 - d. 36 km/L

10. 上記で使った燃費の計算モデルに従うと，車の空気抵抗や燃費に関する以下の記述のうち正しいものはいくつあるか，解答欄 に記せ.

- A が同じであれば， C の値が小さいデザインでは空気抵抗が下がる.
- C が同じであれば，正面から見て大きい車は燃費が悪くなる傾向がある.
- 2倍の速さで運転すると燃費は4分の1になる.
- 空気密度 ρ が下がると空気抵抗は上がる.

PART II

波の位相速度と群速度

物理では様々な現象が「波の伝搬」としてあらわれる。それは、水面における波にはじまり、光などの電磁波や最近注目を浴びている重力波などがあげられる。また量子力学では波動関数という概念を用いて、電子などの粒子を一種の「波」として扱うことで、そのふるまいを詳細に記述できることがわかっている。ここでは波の式から 2 つの速度、位相速度と群速度という概念を紹介しよう。

一直線上を正の向きに進む正弦波の時間 t 、座標 x における変位 y は

$$y = A \sin 2\pi \left(ft - \frac{x}{\lambda} \right)$$

とあらわされる。ただし、このとき A は振幅、 f は振動数、 λ は波長である。ここで A 、 f 、 λ は全て時間と場所に対して変化しない定数とする。

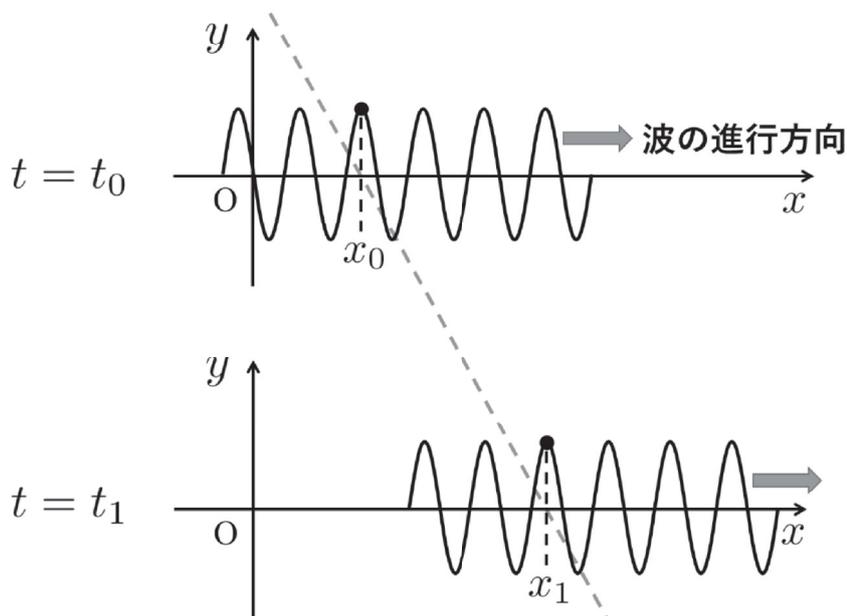


図 4. 波の伝搬

図 4 は正弦波が $+x$ 方向に伝搬している様子を 2 つの異なる時間 $t = t_0$ と $t = t_1$ ($t_0 < t_1$) でみたものである。波の伝搬の様子がわかりやすいように、波の一か所に●をつけてあるが、 $+x$ 方向に動いているのがわかる。

ここで波の“速度”を定義することができる。それは、正弦波の位相が同じ部分（例えば●のついている部分）が動いていく速さである。つまり、波の速度 v は●が移動した距離 $x_1 - x_0$ を、かかった時間 $t_1 - t_0$ で割ればもとめられる。上記で考慮した、●のついた部分の移動について成り立つ条件は となる。以上を用いると波の速度 v は振動数 f 、波長 λ を用いて となることがわかる。この速度のことを位相速度 v_p (Phase velocity)とよぶ。図中に補助線として破線を描き入れたが、この線の傾きで位相速度の大小がわかる。

11. 文章中の欄 にあてはまる式として最も適切なものを下記から選び、
解答欄 に記せ。

- a. $\frac{ft\lambda}{x} = \text{一定}$
 b. $\frac{x}{\lambda} = \text{一定}$
 c. $ft = \text{一定}$
 d. $ft - \frac{x}{\lambda} = \text{一定}$

12. 文章中の欄 にあてはまる式として最も適切なものを下記から選び、
解答欄 に記せ。

- a. $v = \frac{\lambda}{f}$
 b. $v = \lambda f$
 c. $v = \frac{\lambda}{2\pi f}$
 d. $v = \frac{\lambda f}{2\pi}$

波の性質の1つとして重なり合いがある。例えば2つの振幅が1の波、

$$y_1 = \sin 2\pi \left(f_1 t - \frac{x}{\lambda_1} \right)$$

$$y_2 = \sin 2\pi \left(f_2 t - \frac{x}{\lambda_2} \right)$$

が重なり合うと、できた合成波の変位 Y は各々の波の変位 y_1 と y_2 を用いて

$$Y = y_1 + y_2$$

のようにあらわされる。これを重ね合わせの原理という。

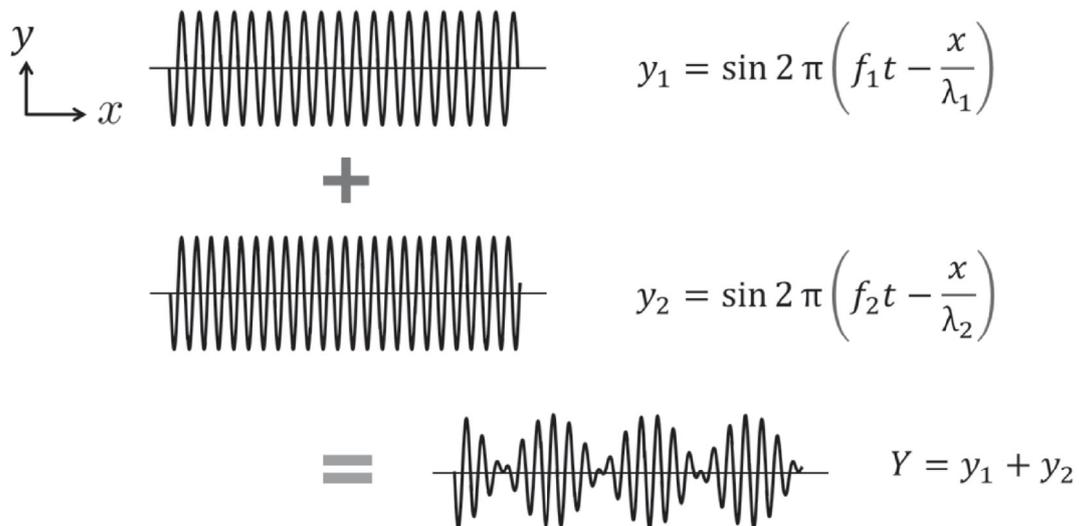


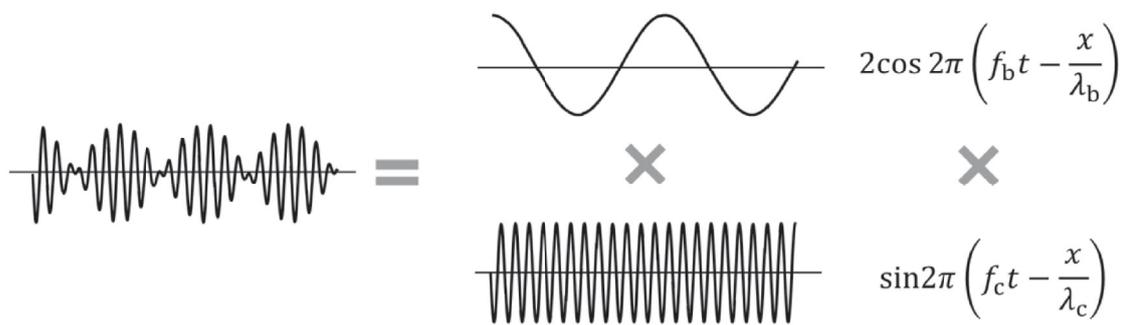
図5. 波の重ね合わせの性質

図5はある時刻 t における、振動数がわずかに異なる2つの波 (y_1 と y_2) とその合成波 Y の様子を示している。2つの波を重ね合わせた結果として波の振幅が周期的に変化しているのがわかるが、この現象を「うなり」とよぶ。音波の場合、うなりは音量の大小が周期的に変化する現象として聞きとれる。

合成波 Y は等式 $\sin \theta + \sin \phi = 2 \cos \left(\frac{\theta - \phi}{2} \right) \sin \left(\frac{\theta + \phi}{2} \right)$ を用いて

$$Y = 2 \cos 2\pi \left(f_b t - \frac{x}{\lambda_b} \right) \sin 2\pi \left(f_c t - \frac{x}{\lambda_c} \right)$$

としてあらわせる。その様子を図示したものが図6である。振動数 f_b を重ね合わせる前の波の振動数 f_1, f_2 を用いると $f_b = \frac{f_1 - f_2}{2}$ となり、2つの振動数 (f_1 と f_2) が近い場合 f_b は小さくなる。



$$Y = y_1 + y_2$$

$$Y = 2 \cos 2\pi \left(f_b t - \frac{x}{\lambda_b} \right) \sin 2\pi \left(f_c t - \frac{x}{\lambda_c} \right)$$

図 6. 波の重ね合わせの性質

13. 振動数 f_c を重ね合わせる前の波の振動数 f_1 と f_2 を用いてもとめ、最も適切なものを下記から選び、解答欄 に記せ.

a. $f_1 + f_2$

b. $2(f_1 + f_2)$

c. $\frac{f_1 + f_2}{2}$

d. $\frac{2f_1 f_2}{f_1 + f_2}$

2つ以上の波が重ね合わされたときに出現するもう1つの速度が**群速度**である。さきほどの合成波が時間 $t = t_0$ から、時間間隔 Δt で伝搬の様子を図7に示す。左図には1つの波のときと同様に、波の1カ所に●をつけてあるがうなりのせいで上下に振動しているのがわかる。また、右図にはうなりで形成された振幅の一番大きい部分には△をつけてある。この2つを比べるとわかるが、位相速度（●の動く速度）とうなりによる膨らみが動いていく速度（△の動く速度）は一般的に異なる。この膨らみが動いていく速度のことを複数の波が重ね合わさって初めて出てくるという意味も含めて**群速度** v_g (Group velocity) とよぶ。合成波の式を下記のように記述すると

$$Y = A \sin 2\pi \left(f_c t - \frac{x}{\lambda} \right)$$

群速度は振幅の項 $A = 2 \cos 2\pi \left(f_b t - \frac{x}{\lambda_b} \right)$ の速度、位相速度は搬送波（はんそうは）とよばれる $\sin 2\pi \left(f_c t - \frac{x}{\lambda} \right)$ の速度と考えることができる。

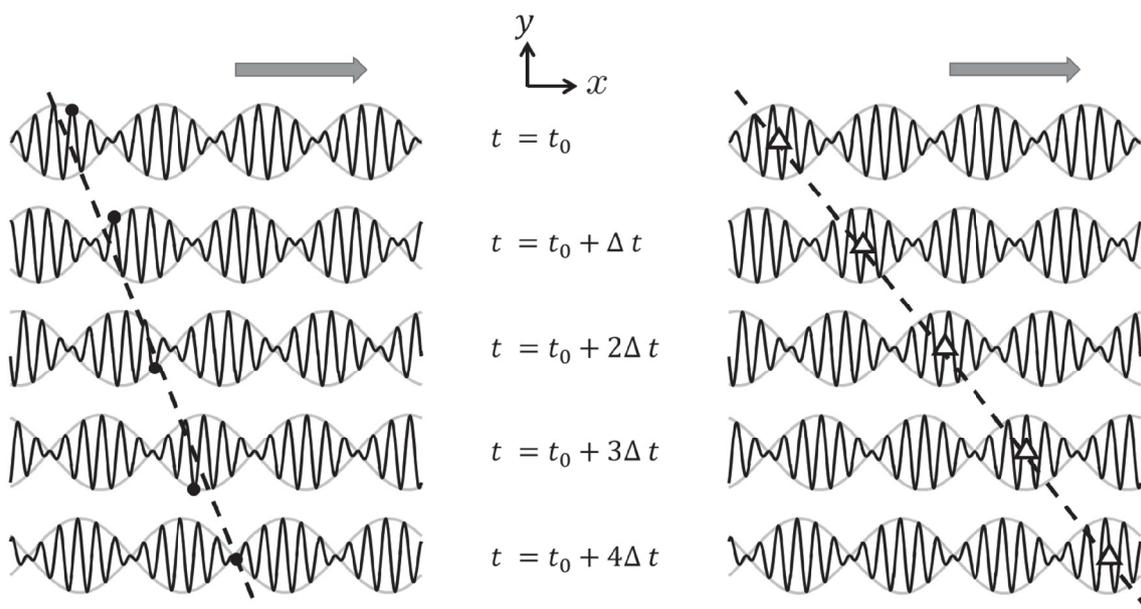


図7. 合成波の伝搬

14. 合成波 Y の群速度をもとめ、最も適切なものを下記から選び、解答欄

ス に記せ.

a. $(f_1 - f_2)(\lambda_1 - \lambda_2)$

b. $(f_1 - f_2) \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$

c. $\frac{f_1 f_2}{f_2 - f_1} (\lambda_1 - \lambda_2)$

d. $\frac{f_1 f_2}{f_2 - f_1} \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$

スピードは人類のロマンである。アインシュタインによる「光速を超えるのは不可能である」という議論を聞いたことがあると思うが、これは位相速度なのか群速度なのであろうか？最近では光速（299, 792, 458 m/s）を超えた「超光速」で進む光の研究や、逆に我々が走って追い越せるような超鈍足の「スローライト」の研究も盛んに行われている。位相速度・群速度の正しい知識はこれらの研究でも非常に重要となってくるのを覚えておいていただきたい。

化 学

PART I, PART II の問題がある。マークセンス方式の解答欄ア～シ, および記述方式の解答欄 A, B を使って解答せよ。

PART I

水溶液の性質を理解するにあたって、濃度は大切な情報の 1 つである。濃度は非常に小さい値から大きい値までとりうるので、常用対数をもちいて表記されることが多い。代表的なものとして、水素イオン濃度を表す pH (水素イオン指数) がある。

1. 以下の①～③の水溶液の pH を小さい順に並べているものを a～d の中から選び、解答欄

ア

 に記せ。

① : 0.010 mol/L の HCl 水溶液の pH

② : 0.010 mol/L の H₂SO₄ 水溶液の pH

③ : 0.010 mol/L の CH₃COOH 水溶液(電離度 0.050 とする)の pH

- a. ① < ③ < ②
b. ② < ① < ③
c. ② < ③ < ①
d. ① < ② < ③

濃度を知る方法の1つとして、滴定という定量分析法がある。滴定の代表的な方法の1つである中和滴定について考えよう。中和滴定を行う際には、中和点をあらかじめ予測し、中和点付近で色変化が起こる適切な指示薬を選択する必要がある。

2. アンモニア水を塩酸で中和滴定をおこなうとき、中和点では が成り立つ関係であることが予測できる。また、酢酸水溶液を水酸化ナトリウム水溶液で中和滴定をおこなうと、中和点では が成り立つ関係であることが予測できる。, に入れる式の組合せとして適切なものを選び、解答欄 に記せ。

- | | (あ) | (い) |
|----|-----------------|-----------------|
| a. | $\text{pH} > 7$ | $\text{pH} < 7$ |
| b. | $\text{pH} < 7$ | $\text{pH} = 7$ |
| c. | $\text{pH} < 7$ | $\text{pH} > 7$ |
| d. | $\text{pH} = 7$ | $\text{pH} > 7$ |

続いて、沈殿滴定について考えてみよう。沈殿滴定は化学反応により不溶性の沈殿が生成する場合、沈殿があらわれることを目印として滴定の終点を判断する方法である。ここでは、沈殿生成について考えてみたいと思う。

3. ある金属イオンを含む水溶液と水酸化ナトリウム水溶液を混合したところ、白色沈殿が生じた。この白色沈殿は過剰の水酸化ナトリウム水溶液を加えても溶解しなかった。最初の水溶液に含まれる金属イオンとして適切なものを以下から選び、解答欄 に記せ。

- a. Al^{3+}
- b. Fe^{3+}
- c. Zn^{2+}
- d. Mg^{2+}

図1は塩化銀の溶解度積による沈殿生成の判定を行うことができるグラフである。グラフは様々な銀イオン濃度 $[\text{Ag}^+]$ に対して、塩化銀が沈殿し始める塩化物イオンの濃度 $[\text{Cl}^-]$ をプロットしたものであり、

$$K_{\text{sp,AgCl}} = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-]$$

であらわされる曲線である。

水溶液中のイオン濃度の積がこの溶解度積の値より大きいときには沈殿が生じて、水溶液中のイオン濃度が低下する。塩化銀の溶解度積の値 $K_{\text{sp,AgCl}}$ は $1.8 \times 10^{-10} (\text{mol/L})^2$ である。

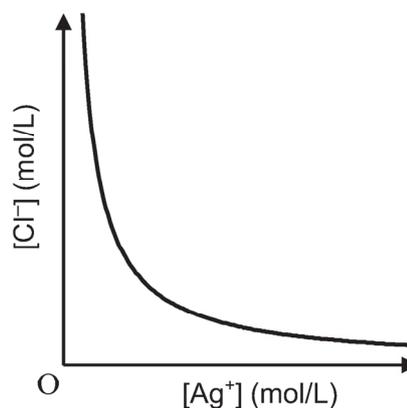
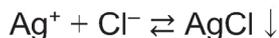


図1

4. 0.10 mol/L の硝酸銀水溶液 10 mL と 0.20 mol/L の塩化亜鉛水溶液 10 mL を混合すると、白色沈殿が生じた。沈殿生成後の溶液に含まれる塩化物イオンの濃度 $[\text{mol/L}]$ として最も近いものを以下から選び、解答欄 に記せ。

- a. 0.10
- b. 0.15
- c. 0.20
- d. 0.25

塩化銀の沈殿が生じている水溶液中では、



の溶解平衡が成り立っている。ここに、アンモニア水を加えると錯イオンが生じ、沈殿が消失することが知られている。この現象を図2のグラフをもとに考えよう。図2中の曲線は図1と同様の曲線である。まず、 $1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ の銀イオンを含む水溶液 100 mL と $1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ の塩化物イオンを含む水溶液 100 mL を混合する。沈殿が生成しないと仮定したときの混合水溶液に含まれる銀イオン

濃度と塩化物イオン濃度をプロットした点を点Aとする。この両者のイオン濃度の積は塩化銀の溶解度積より大きい値であるため、実際には沈殿が生成する。この状態に $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ の濃度のアンモニア水 200 mL を加えると、イオン濃度に変化が生じ、沈殿が消失した。このときの銀イオン濃度と塩化物イオン濃度をプロットした点を点Bとする。

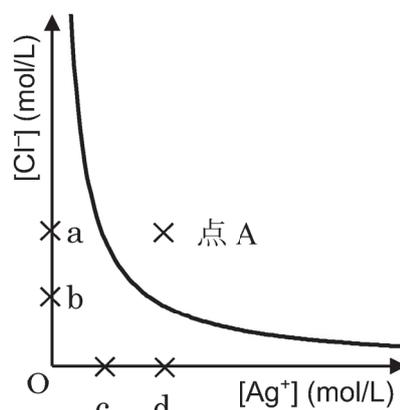


図2

5. 上記の文章中の点Bとして最も適切なものを図2のa~dの中から選び、解答欄 に記せ。

複数のイオンが存在する水溶液中で、溶解度積の差を利用して、それぞれのイオンを段階的に沈殿させ、分離することができる。そこで次のような実験をおこなった。

塩化ナトリウム、臭化ナトリウム、ヨウ化ナトリウムを等濃度 ($1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$) ずつ含む水溶液 A (50 mL) がある。水溶液 A に $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ の硝酸銀水溶液を 1 滴ずつ (1 滴の体積を 0.05 mL とする)、よくかきまぜながら滴下した。硝酸銀水溶液を 滴加えたところで、ヨウ化銀の黄色の沈殿が生成したので、この沈殿をろ別した。続いてさらに 滴加えたところで、臭化銀の淡黄色の沈殿が生成した。この沈殿をろ別したのち、さらに硝酸銀水溶液を滴下したところ、最終的に塩化銀の白色沈殿が生じた。

6. 上記文中の , に入る適切な数字を解答欄 , に記せ。塩化銀 (AgCl)、臭化銀 (AgBr)、ヨウ化銀 (AgI) の溶解度積は以下の値を用い、簡単のために硝酸銀水溶液の滴下やろ別による水溶液 A の体積変化は無視する。

$$K_{\text{sp},\text{AgCl}} = 1.8 \times 10^{-10} (\text{mol/L})^2$$

$$K_{\text{sp},\text{AgBr}} = 4.0 \times 10^{-13} (\text{mol/L})^2$$

$$K_{\text{sp},\text{AgI}} = 1.0 \times 10^{-16} (\text{mol/L})^2$$

PART II

気候変動に関する国際的な枠組み「パリ協定」が 2016 年に発効したことを受けて、各国では「脱炭素化社会」に向けた構想やビジョンを打ち出している。日本も気候変動の原因とされる温室効果ガスの排出を削減することを目標として掲げている。ここでは、温室効果ガス発生の主要な原因となっている化石燃料について考えてみたい。化石燃料とは、動植物の死がいや地中に堆積し、長い年月をかけて地圧や地熱を受けて変性されてできた物質で、石炭や石油、天然ガスなどがある。このうち石油は炭化水素の混合物であり、沸点によって分類される。ナフサ（粗製ガソリン、沸点 30～180℃）、灯油（沸点 170～250℃）、軽油（沸点 240～350℃）などがある。これらは原油を という方法で分離することでそれぞれを分けることができる。

7. 上記文中の に入る適切な語句を以下から選び、解答欄 に記せ。
- a. 分留
 - b. 昇華
 - c. 再結晶
 - d. 抽出

ガソリンは乗用車などで燃料として用いられ、私たちの身近にある化石燃料の 1 つである。ガソリンスタンドに行けば給油できるが、レギュラーとハイオクという表示が目につく。このハイオクというのは「高いオクタン価を持つガソリン」という意味で、オクタン価というのはオクタンの異性体であるイソオクタンをどれくらい含むかという値である。オクタン価が高いガソリンほどエンジンで異常燃焼を起こしにくい。

8. イソオクタンは炭素数 8 の鎖状飽和炭化水素の異性体の 1 つである。飽和炭化水素の異性体の数は、骨格を形成する炭素原子のつながり方を考えることによって数えることができる。炭素数 6 の鎖状飽和炭化水素の異性体の数を調べ、解答欄 に記せ。

カーボンリサイクルへの取組の1つとして、化石燃料の代替品の開発があげられる。バイオディーゼルの開発もその1つである。バイオディーゼルは菜種油や廃食用油などの油脂とメタノールとを反応させて、脂肪酸メチルエステルに変換することによって得られる。この脂肪酸メチルエステルをディーゼルエンジンの燃料として用いることができる。廃油として廃棄されれば、ゴミとして焼却され、エネルギーを十分に活用しないまま、二酸化炭素となるのに対し、油脂をバイオディーゼルに変換し、燃料として有効活用すれば、発生する二酸化炭素の量を、総量としてそれほど変化させることなく、その化学エネルギーを有効活用できる。

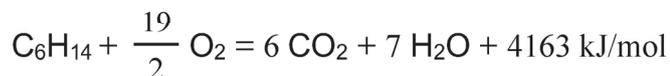
9. 油脂は脂肪酸とグリセリンが脱水縮合して得られる物質であるが、以下の高分子のうち、油脂をつくる時に形成される結合と同じ結合によって形成されるものを選び、解答欄 に記せ。

- a. ナイロン
- b. ポリエチレンテレフタレート
- c. フェノール樹脂
- d. 天然ゴム

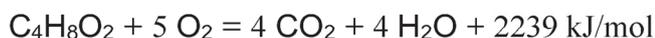
燃料のエネルギー効率に対する二酸化炭素の発生量のバランスを考えていくことも大切である。軽油やガソリンのような化石燃料は炭化水素であるが、油脂から作られたバイオディーゼルは脂肪酸のメチルエステルである。炭化水素を燃焼させたときと、エステルを燃焼させたときの比較をしてみよう。ここでは簡単のために炭化水素としてはヘキサン（分子量：86）を、メチルエステルとしてはプロピオン酸メチル（分子量：88）を考える。

それぞれの物質を燃焼させたときの熱化学方程式を示す。

ヘキサン



プロピオン酸メチル



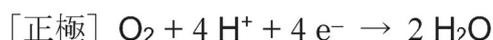
ヘキサンとプロピオン酸メチルを燃料として燃焼させるとき、どれくらい二酸化炭素を発生させながら熱量を得ることができるのかを考えよう。

10. ヘキサンとプロピオン酸メチルをそれぞれ 1 kg ずつ完全燃焼させたときの比較について、正しいものを以下の中から選び、解答欄 に記せ。

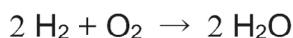
- ヘキサンの方が発生する熱量が大きく、発生する二酸化炭素の重量も大きい。
- ヘキサンの方が発生する熱量は大きいですが、発生する二酸化炭素の重量はプロピオン酸メチルの方が大きい。
- プロピオン酸メチルの方が発生する熱量が大きく、発生する二酸化炭素の重量も大きい。
- プロピオン酸メチルの方が発生する熱量は大きいですが、発生する二酸化炭素の重量はヘキサンの方が大きい。

燃やしても二酸化炭素を生成しないアンモニアは次世代エネルギー源の 1 つとして注目されている。アンモニアを燃料として用い、燃焼によって熱エネルギーとして活用する方法が研究されている一方で、燃料電池の活性物質として活用する研究もなされている。ここでは、アンモニアを燃料電池の活性物質として用いる研究について考察し、あわせて課題についても考えてみたいと思う。

水素を用いた従来の燃料電池では、負極と正極でそれぞれ以下のような反応が起こっている。

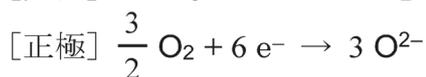
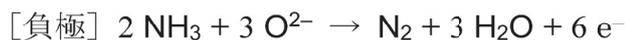


これらをあわせると全体としての反応は



となり、水素の燃焼反応と同じ化学反応式で表すことができ、燃料電池とよばれる。

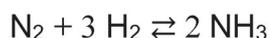
一方、アンモニアを用いた燃料電池では、負極と正極で以下のような反応が起こっている。



この2つの反応をあわせるとアンモニアの燃焼反応に相当するため、このタイプの燃料電池はアンモニア燃料電池とよばれ、現在研究開発が進められている。

11. アンモニア燃料電池の負極と正極での化学反応式から、全体の化学反応式を求め、記述解答欄 に記せ。

続いてアンモニアの供給方法について考えてみよう。アンモニアの代表的な製造方法はハーバー・ボッシュ法として知られ、以下のような化学平衡式で表される反応を高温・高圧の条件で行うものである。



12. 上記の化学平衡式において、平衡を右に移動させるのに適切な条件を以下の中から選び、解答欄 に記せ。

- a. 温度を上げ、圧力を高くする。
- b. 温度を下げ、圧力を高くする。
- c. 温度を上げ、圧力を低くする。
- d. 温度を下げ、圧力を低くする。

アンモニアは窒素と水素を原料として作られるが、窒素や水素はそれぞれどのようにして得られるのであろうか。窒素は空気を -200°C 近くまで冷却し、液体窒素として取り出す深冷分離法という方法で得られている。この方法では冷却のために電力を消費するが、その電力は主に化石燃料を消費する発電所から供給される。

水素は再生可能エネルギーを用いた水の電気分解により得ることができ、この方法で得た水素は製造過程において二酸化炭素を排出しないため、グリーン水素とよばれる。一方、実際の工業的なアンモニア製造に使われる水素は石炭や天然ガスなどの化石燃料を水蒸気と反応させて得られる（水蒸気変成法）。以下に、この方法でメタンから水素を得る化学反応式の一例を示す。



この式からわかるとおり、アンモニアを製造するための原料である水素を得るためには二酸化炭素の発生が伴うのである。

13. 上で示したハーバー・ボッシュ法の化学反応式と水蒸気変成法の化学反応式から、1.0 トンのアンモニアを製造するのに伴い、何トンの二酸化炭素が発生するかを求め、記述解答欄 **B** に記せ。アンモニアの分子量を 17、二酸化炭素の分子量を 44 として計算し、答は四捨五入して小数第 1 位まで求めよ。

アンモニアの燃焼熱は 382.5 kJ/mol であり、メタンの燃焼熱は 890 kJ/mol である。天然ガスであるメタンの燃焼によって得られるエネルギーと同等のエネルギーをアンモニアの燃焼によって得ようとした場合、必要なアンモニアの量を考えるとその製造過程において発生する二酸化炭素の総量はとても無視できないものとなる。

科学者はエネルギーの利用効率を高める方法を日夜研究しているが、私たちがどのようなエネルギー供給方法を選択するかは、全体を考えたトータルコストで判断しなければならない。その判断のためには多角的な視野が必要であり、そのような視点を身につけることが「リベラル・アーツ教育の中で科学を学ぶ」意義と言えるのではないだろうか。

生 物

PART I, PART II の問題がある。マークセンス方式の解答欄ア～ソおよび記述方式の解答欄 A～D を使って解答せよ。

PART I

植物細胞から細胞壁を酵素で分解して取り除くと、プロトプラストとよばれる単細胞が得られる。分化した植物組織由来の細胞から得られたプロトプラストを、高濃度のオーキシシンと高濃度のサイトカイニンを含む培地で培養することで、① とよばれる不定形の細胞集塊の形成を誘導することができる。

図1は、この ① とよばれる不定形の細胞集塊を様々な濃度のオーキシシンとサイトカイニンを含む新たな培地に移して培養した際の、根、葉、茎の形成に関する実験結果を示している。●は根端分裂組織が形成され、根が作られることを示している。■は茎頂分裂組織が形成され、葉や茎が作られることを示している。一方、×はこの実験条件下では、根、葉、茎は作られないことを示している。

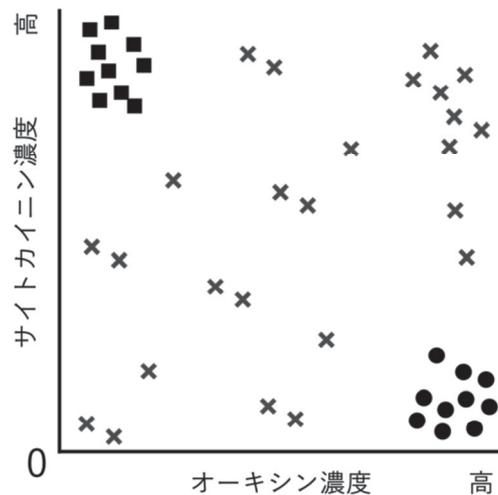
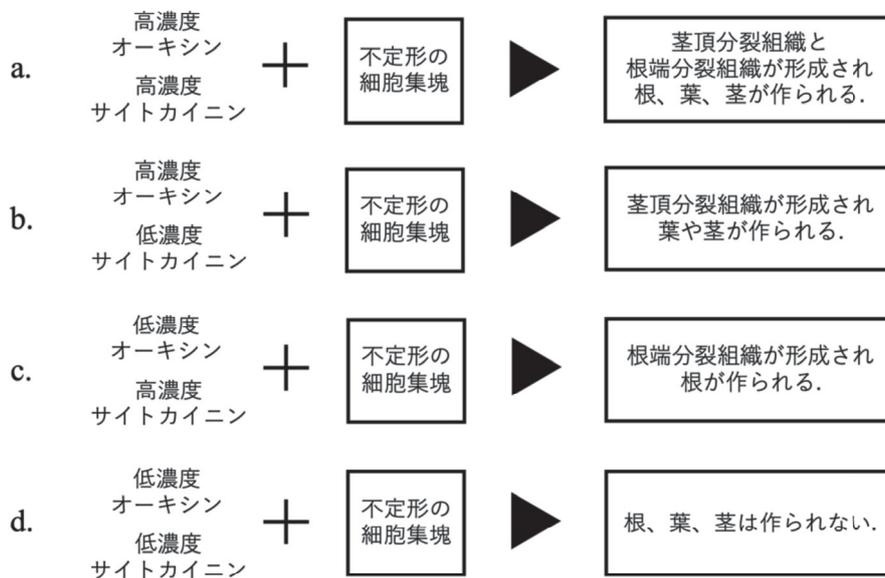
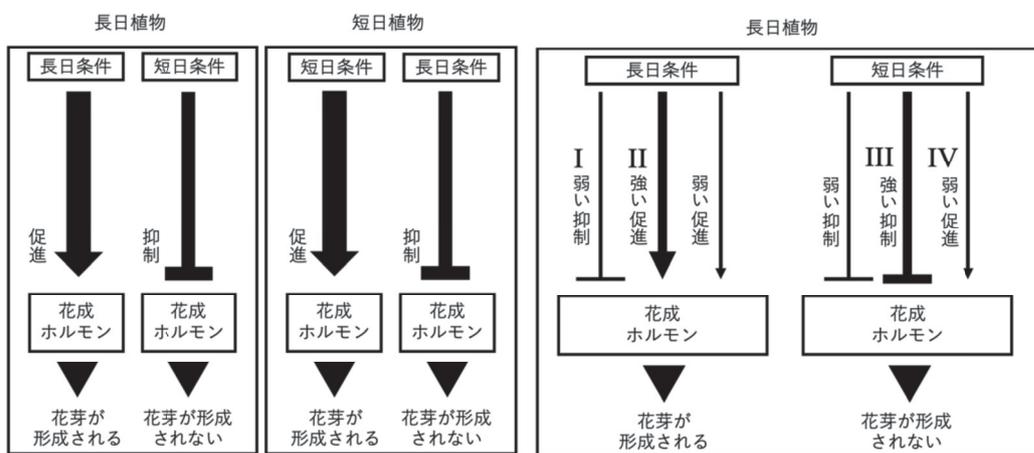


図1. オーキシシンとサイトカイニンによる器官分化誘導

1. 文章中の ① に当てはまる語句を記述解答欄 A に記せ.
2. 下記の a~d は、オーキシンとサイトカイニンの作用について図にまとめたものである。文章と図 1 から得られる情報として、最も適切なものを選び、解答欄 ア に記せ。なお、選択肢図中の + は高濃度あるいは低濃度の 2 種の植物ホルモンを培地に加えていることを示している。黒色三角は、不定形の細胞集塊をこれらの培地で培養した際に、どのような結果が得られるかを示している。



植物には、1日の夜（暗期）の長さが一定以下になると花芽を形成する長日植物と、暗期の長さが一定以上になると花芽を形成する短日植物がある。日長や暗期の長さに関係なく花芽を形成する植物を ② という。図2は長日植物と短日植物の光周期による花芽形成を示している。例えば、長日植物を長日条件下で栽培すると、花成ホルモンの産生が促進(図中の↓)され、花芽が形成される。長日植物を短日条件下で栽培すると、花成ホルモンの産生が抑制(図中の↑)され、花芽は形成されないか、花芽が形成されるまでの期間が非常に長くなる。実際にはもっと複雑で、図3にあるように、長日植物を長日条件と短日条件のそれぞれで栽培すると、複数の情報伝達経路によって、花成ホルモンの産生が様々な強さで促進(↓)、あるいは、抑制(↑)されることが明らかになった。図には示されていないが、短日植物を長日条件と短日条件のそれぞれで栽培すると、同様に複数の情報伝達経路によって、花成ホルモンの産生が制御されることが明らかになっている。図3では、線が太いものの方が、各情報伝達経路による、促進(↓)または抑制(↑)の効果が強いことを示している。図3における複数の経路による花成ホルモンの産生への影響の総和は、図2のように簡略化して示すことができると考えられる。



3. 文章の ② に当てはまる語句を記述解答欄 B に記せ。

ある短日植物を長日条件のもとで栽培し、同時に G 遺伝子の発現量を増加させると、花芽が形成された。次に、ある長日植物を短日条件のもとで栽培し、同時に H 遺伝子の発現量を減少させると、花芽が形成された。これらの実験結果から、G 遺伝子と H 遺伝子から作られるタンパク質はそれぞれ、花成ホルモン産生および花芽形成の と として機能していると考えられる。

4. 上記の文章の と に当てはまる用語の組合せとして、最も適切なものを選び、解答欄 に記せ。

- a. ③:促進因子, ④:抑制因子
- b. ③:促進因子, ④:促進因子
- c. ③:抑制因子, ④:促進因子
- d. ③:抑制因子, ④:抑制因子

5. 図 3 の長日植物について、それぞれの情報伝達経路で主要な働きをする遺伝子の発現量を調節して、情報伝達経路 I~IV の効果を増強または減少させた際に、花芽の形成にどのような影響があるか。以下の予想される結果、i~iv の組合せとして最も適切なものを選び、解答欄 に記せ。

- i. 長日条件で栽培し、II を減少させ、I を増強させると、花芽が形成されない。
- ii. 長日条件で栽培し、II を増強させ、I を減少させると、花芽が形成されない。
- iii. 短日条件で栽培し、IV を減少させ、III を増強させると、花芽が形成される。
- iv. 短日条件で栽培し、IV を増強させ、III を減少させると、花芽が形成される。

- a. i と iii
- b. i と iv
- c. ii と iii
- d. ii と iv

花芽の形成制御に関わる遺伝子から作られるタンパク質は、そのタンパク質が単独で単量体として機能する場合もあれば、2つの異なる遺伝子から作られる2つのタンパク質が複合体(二量体)として機能する場合もある。ある短日植物を短日条件のもとで栽培し、ある2つの遺伝子の発現量を同時に増加させると、花芽形成が強く抑制された。これら2つの遺伝子から作られるタンパク質は複合体(二量体)を形成し、花成ホルモンの産生を強く抑制することがわかった。

6. この短日植物の花成ホルモンの産生を、上記文章中の2遺伝子と同様の仕組みで抑制する候補遺伝子が10個ある。これらの中から異なる遺伝子を2つずつ同時に発現増加させ、花成ホルモンの産生を抑制する遺伝子の組合せ全てを見つけない。そこで、異なる遺伝子を2つずつ同時に発現増加させる実験を行うこととした。何通りの遺伝子の組合せを調べればよいか。最も適切なものを選び、解答欄 に記せ。

- a. 5
- b. 10
- c. 45
- d. 90

植物はその一生を通じて、多種多様な環境変化を感知し、それに応じて発生や成長を調節している。光、温度、湿度、重力などの環境要因が、発生や成長に影響する。環境要因のなかでも特に重要な光の感知には、波長の違いに応じていくつかの光受容体はたらく。赤色光や遠赤色光は ，青色光は と という光受容体を受容する。気孔の開口には青色光が有効であり、 という光受容体が関わっている。孔辺細胞に青色光を照射すると、浸透圧が高まり、水の流入が起こる。膨圧が上昇し、孔辺細胞が膨らみ、気孔が開く。気孔の閉口には植物ホルモンの が重要な役割を果たしている。植物が水分不足の状態になると、 が増加して孔辺細胞に作用し、浸透圧の低下、水の流出、膨圧の低下が順番に起こり、気孔が閉じる。

7. 文章中の , , に当てはまる用語をそれぞれ下の表から選び、その数字を解答欄 , , に記せ。

1	クリプトクロム
2	ロドプシン
3	フォトトロピン
4	フィトクロム
5	アクチン

8. 文章中の に当てはまる語句を記述解答欄 に記せ。

(このページは空白です.)

PART II

真核生物の遺伝子は DNA という化学物質として細胞の核に存在している。遺伝子は細胞の中で核以外にも存在しており、核の遺伝子と比べると数は少ないが、細胞内の細胞小器官であるミトコンドリアにも遺伝子が存在している。ここではミトコンドリアに存在する遺伝子をミトコンドリア遺伝子とよぶことにする。精子のミトコンドリアは受精後直ぐに分解されてしまうため、ミトコンドリア遺伝子の変異は雌経由でのみ遺伝する。

9. 植物細胞に存在し、核以外でミトコンドリアのように遺伝子を持っている細胞小器官を何というか。当てはまる用語を記述解答欄 に記せ。

ミトコンドリア遺伝子の変異が原因の様々な疾患が知られている。キイロシヨウジョウバエはヒトの遺伝性疾患モデルの作成によく用いられる。ヒトにおいて、あるミトコンドリア遺伝子の変異すると筋力の低下が生じるが、キイロシヨウジョウバエにおいても筋力が低下する変異体 S が見つかった。この変異体と野生型のハエを用いて、以下の交配を行った。なお、交配で得られた個体数は十分に多かったものとする。

- ① 変異体 S 雌と野生型雄を交配して子(F₁)を得た。
 - ② F₁ どうしを交配して F₂ を得た。
 - ③ F₁ 雄と野生型雌を交配して子(P₂)を得て、さらに P₂ どうしを交配して P₃ を得た。
 - ④ F₁ 雌と野生型雄を交配して子(M₂)を得て、さらに M₂ どうしを交配して M₃ を得た。
10. 変異は核の遺伝子ではなく、ミトコンドリア遺伝子の変異であると結論できる結果を以下から選び、解答欄 に記せ。

- a. F₁ に筋力が低下する個体は観察されなかった。
- b. F₂ に筋力が低下する個体が観察された。
- c. P₃ に筋力が低下する個体は観察されなかった。
- d. M₃ に筋力が低下する個体は観察されなかった。

J 遺伝子は、ビコイド遺伝子のように、キイロショウジョウバエ初期胚の発生に必要な母性効果遺伝子である。この遺伝子の野生型対立遺伝子を J(+), 変異した劣性の対立遺伝子を j(-) とする。この遺伝子はショウジョウバエ受精卵の前部の形成に重要である。

今, 以下のような異なる遺伝子型の個体を用いて交配(交配 1 および交配 2)を行った。

交配 1: J(+j(-)雌 と J(+j(-)雄

交配 2: j(-)j(-)雌 と J(+j(-)雄

J(+j(-)は J(+ と j(-) のヘテロ接合体を表す。

j(-)j(-)は j(-) のホモ接合体を表す。

11. それぞれの交配から生じる受精卵が, 前部形成に異常を示す確率の組合せとして適切なものを以下から選び, 解答欄 に記せ。

- a. 交配 1: 25%, 交配 2: 50%
- b. 交配 1: 0%, 交配 2: 50%
- c. 交配 1: 25%, 交配 2: 100%
- d. 交配 1: 0%, 交配 2: 100%

J 遺伝子の染色体上での位置を同定するために, 三点交雑をおこなった。J 遺伝子と同じ染色体に存在する, P 遺伝子と Q 遺伝子を用いた。P 遺伝子の優性の変異型対立遺伝子 P(-) をもつ個体は翅(はね)が背側に巻く(巻き翅)。P 遺伝子の野生型対立遺伝子は p(+) である。Q 遺伝子の劣性の変異型対立遺伝子 q(-) をホモ接合にもつ個体の剛毛は縮れる(縮れ剛毛)。Q 遺伝子の野生型対立遺伝子は Q(+) である。まず, P(-), q(-), J(+) をもつ染色体と, p(+), Q(+), j(-) をもつ染色体をヘテロ接合にもつ雌を作成した。次に, この雌を, p(+), q(-), j(-) をそれぞれホモ接合にもつ雄と交配した。この交配から得られた子(F₂)2000 匹について, 翅および剛毛を調べ, さらに F₂ 雌と野生型雄との交配から生じた受精卵を調べた。その結果を表 1 に示す。

表1. 三点交雑の結果

表現型	個体数
正常翅/正常剛毛/正常受精卵	10
正常翅/正常剛毛/前部形成異常受精卵	890
巻き翅/正常剛毛/正常受精卵	3
巻き翅/正常剛毛/前部形成異常受精卵	95
正常翅/縮れ剛毛/正常受精卵	87
正常翅/縮れ剛毛/前部形成異常受精卵	4
巻き翅/縮れ剛毛/正常受精卵	902
巻き翅/縮れ剛毛/前部形成異常受精卵	9

12. P 遺伝子と J 遺伝子間の組換え価(%)を求めよ.

に入る適切な数字を解答欄 に記せ. ただし, 計算結果の値は小数第一位を四捨五入した整数で以下のように答えよ.

18.5%の場合は %

0.7%の場合は %

0.04%の場合は %

13. この実験から 3 つの遺伝子(J 遺伝子, P 遺伝子, Q 遺伝子)の染色体上の並び方についてわかることとして適切なものを以下から選び, 解答欄 に記せ.

- P-J-Q と並んでいる.
- P-Q-J と並んでいる.
- J-P-Q と並んでいる.
- 3 つの遺伝子の並び方はわからない.

三点交雑の結果から、染色体上における J 遺伝子のおおよその位置がわかった。この染色体領域を染色体領域 R とする。

さらに J 遺伝子を特定する目的で、キイロショウジョウバエでは染色体の一部が欠失した特殊な染色体 (Df 染色体) が利用される。もし欠失した染色体領域に J 遺伝子が存在すると、この Df 染色体と j(-) をもつ染色体 (これを j(-) 染色体とよぶ) がヘテロ接合となる雌は、j(-) をホモ接合にもつ雌と同じ表現型を示すと予想される。よって、異なる染色体領域が欠失した複数の Df 染色体とヘテロ接合体を作成することで、変異遺伝子を特定することができる場合がある。図 4 は Df 染色体の例を示す。この例では、②から⑥の領域が欠失している染色体を示している。このような染色体は、欠失している染色体領域を白い四角で示し、* のように表すこととする。

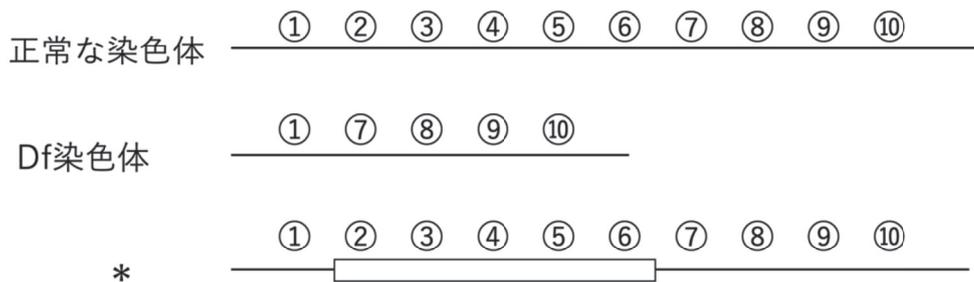


図4. Df染色体の例

図5に示すように、染色体領域RにはJ遺伝子の候補遺伝子が複数(A～E)あることがわかった。図中の黒く塗りつぶした四角はそれぞれの遺伝子から作られるタンパク質のアミノ酸配列を決定するDNA配列に対応する部分を表す。

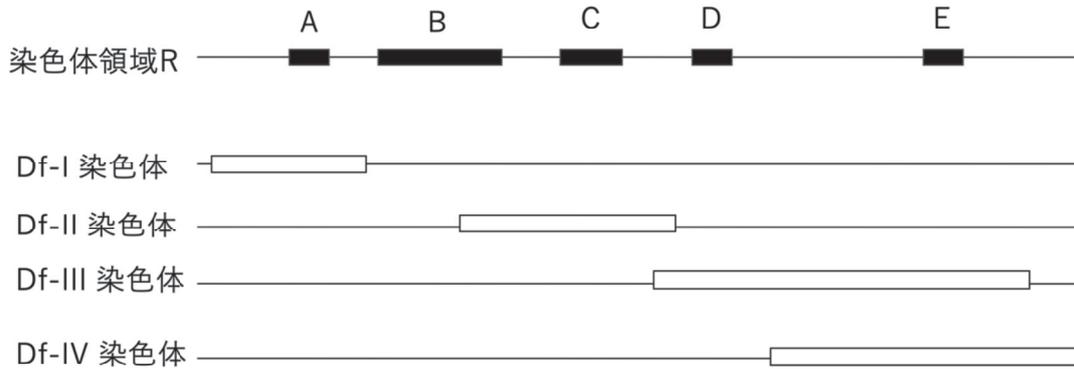


図5. J 遺伝子 が存在する染色体領域R

Df染色体(Df-I, Df-II, Df-III, Df-IV)とj(-)染色体をもつ個体から得られた受精卵を調べたところ、以下の結果を得た。

染色体の組合せ	受精卵
Df-I 染色体 / j(-)染色体	正常
Df-II 染色体 / j(-)染色体	前部形成異常
Df-III 染色体 / j(-)染色体	正常
Df-IV 染色体 / j(-)染色体	正常

14. 以上の結果から考えられるJ遺伝子に関する解釈として、最も適切なものを以下から選び、解答欄 に記せ。但し、受精卵の前部形成異常の原因となっているJ遺伝子の変異はタンパク質のアミノ酸配列を決定するDNA配列に生じているものとする。

- J遺伝子は、Aである。
- J遺伝子は、BまたはCである。
- J遺伝子は、A, B, Cのいずれかである。
- J遺伝子は、DまたはEである。

(このページは空白です.)

15. Df染色体において、欠失している領域に存在する遺伝子は完全に失われている。上の Df-II 染色体と j(-)染色体をヘテロ接合にもつ雌から得られた受精卵をよく観察すると、j(-)のホモ接合体から得られた受精卵と比べて、前部形成の異常がより顕著であった。この結果から得られる j(-)の変異に関する解釈として最も適切なものを選び、解答欄 に記せ。

- a. アミノ酸配列を変化させる変異で、J 遺伝子のタンパク質の量が半分になっている。
- b. 開始コドンの直後に終止コドンが生じる変異で、J 遺伝子のタンパク質が作られなくなっている。
- c. アミノ酸配列を変化させる変異で、J 遺伝子のタンパク質の量が 2 倍になっている。
- d. アミノ酸配列を変化させない変異で、J 遺伝子のタンパク質の量は変化しない。

さらにキイロシヨウジヨウバエでは, Df 染色体とは逆に, 染色体のある領域が別の染色体に重複されている染色体(Dp 染色体)が遺伝子同定に用いられることがある.

図 6 は Dp 染色体の例を示す. この例では, J 遺伝子が存在する染色体上の, 染色体領域 R とは異なる領域(①から⑩)の一部(②から⑥)が,異なる染色体の矢印で示された場所に重複されている. 重複されている領域を斜線が入った四角で表す.

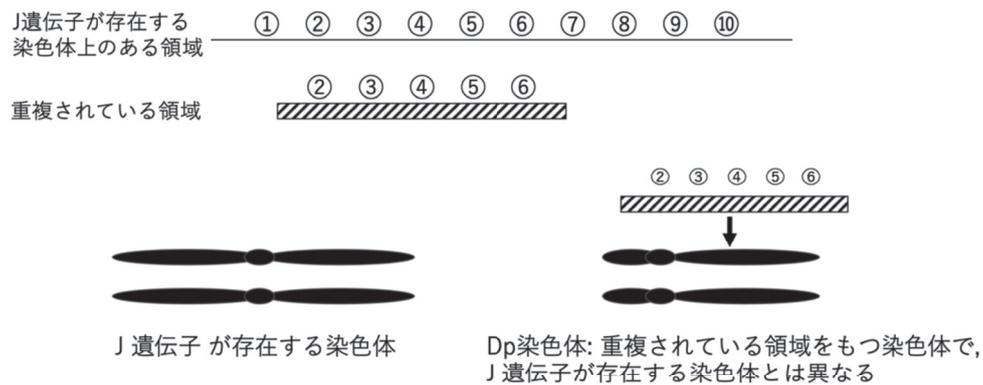


図6. Dp染色体の例

図 7 の斜線が入った四角は, 2 つの Dp 染色体, Dp-V, Dp-VI において, 染色体領域 R の中で重複された染色体領域を示している. 染色体 j(-)をホモ接合でもち,かつ, Dp 染色体(Dp-V,または Dp-VI)をホモ接合でもつ個体から得られた受精卵を調べたところ, 以下の結果を得た.

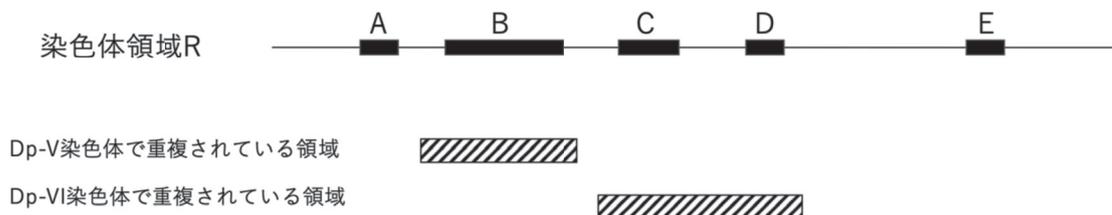


図7. J 遺伝子が存在する染色体領域Rの中で重複されている領域

染色体の組合せ	受精卵
Dp-V 染色体と染色体 j(-)どちらもホモ接合	正常
Dp-VI 染色体と染色体 j(-)どちらもホモ接合	前部形成異常

16. 問 14 の結果と合わせて,考えられる J 遺伝子に関する解釈として,最も適切なものを以下から選び,解答欄 に記せ.

- a. A 遺伝子が J 遺伝子である.
- b. B 遺伝子が J 遺伝子である.
- c. C 遺伝子が J 遺伝子である.
- d. D 遺伝子が J 遺伝子である.

(このページは空白です.)

