

## 章末問題

### 〈ベーシック薬学教科書シリーズ〉『分析科学(第3版)』：章末問題の解答

#### 1章

- $5 \times 10^7$
  - $5 \times 10^{-4}$
  - $6 \times 10^6$
  - $6 \times 10^{-3}$
  - $5 \times 10^{-15}$
- 3
  - 4
  - 3
  - 2
  - 3
- 平均：5.74  
標準偏差：0.114  
相対標準偏差：1.99 %
- 異常値 1.045 を除いた平均値：1.0213  
平均値と各測定値の平均残差：0.00339  
平均値と各測定値の平均残差の 4 倍：0.0135  
異常値と平均値の差：0.0237
  - 異常値 1.045 を除いた平均値：1.0213  
標準偏差：0.00419  
標準偏差の 3 倍：0.0126  
異常値と平均値の差：0.0237
  - $Q_0 = (1.045 - 1.027) / (1.045 - 1.015) = 0.6$   
臨界値 = 0.468  $Q_0 >$  臨界値  
いずれの方法でも，異常値 1.045 は棄却してよい。

#### 2章

- $K = \frac{[D][E]}{[A][B][C]}$ ．ただし， $[A]$ ， $[B]$ ， $[C]$ ， $[D]$ ， $[E]$  はそれぞれ，平衡状態における物質 A，B，C，D，E の濃度とする．
  - $K = \frac{[B][C]}{[A]^2}$ ．ただし， $[A]$ ， $[B]$ ， $[C]$  はそれぞれ，平衡状態における物質 A，B，

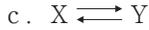
C の濃度とする.

c.  $K = \frac{[C][D]^3}{[A][B]^3}$ . ただし,  $[A]$ ,  $[B]$ ,  $[C]$ ,  $[D]$  はそれぞれ, 平衡状態における物質 A,

B, C, D の濃度とする.

2. a. 初期濃度 = 0.6 mol/L, 平衡時の濃度 = 0.4 mol/L

b. 0.2 mol/L



d.  $K = \frac{[Y]}{[X]} = \frac{0.2 \text{ mol/L}}{0.4 \text{ mol/L}} = 0.5$

3. a.  $I = \frac{1}{2} (3.0 \times 10^{-3} \times 1^2 + 3.0 \times 10^{-3} \times 1^2) = 3.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$

b.  $I = \frac{1}{2} (2 \times 2.0 \times 10^{-2} \times 1^2 + 2.0 \times 10^{-2} \times 2^2) = 6.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$

c.  $I = \frac{1}{2} (2 \times 2.0 \times 10^{-2} \times 1^2 + 2.0 \times 10^{-2} \times 2^2) = 6.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$

d.  $I = \frac{1}{2} (1.0 \times 10^{-3} \times 1^2 + 1.0 \times 10^{-3} \times 1^2) = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$

4. X が二量体を形成する平衡反応は  $2X \rightleftharpoons X-X$ . この平衡が成立しているとき,  $[X] = (\text{活量係数}) \times (\text{濃度}) = 0.50 \times 1.0 \times 10^{-1} = 0.050 \text{ mol/L}$ . また,  $X-X$  に変換された  $[X] = 0.10 - 0.050 = 0.050$  だから, 平衡時の  $[X-X] = 0.025 \text{ mol/L}$ . これらを平衡定数  $K = \frac{[X-X]}{[X]^2}$  に代入して計算すると,  $K = \frac{[0.025]}{[0.050]^2} = 10 \text{ L/mol}$  となる.

### 3章

1. a. 式(3.16)  $K_a = \frac{[H_3O^+]( [H_3O^+] - [OH^-] )}{c_0 - ([H_3O^+] - [OH^-] )}$  に近似を適用し, 計算する.

弱酸であるが  $c_0$  が十分大きいので,  $[H_3O^+] \gg [OH^-]$

$c_0$  が  $K_a$  に比べても大きいので,  $c_0 - ([H_3O^+] - [OH^-]) \doteq c_0$

よって, 式(3.16)は  $K_a = \frac{[H_3O^+]^2}{c_0}$  と近似でき,

$[H_3O^+] = \sqrt{K_a c_0}$  が誘導できる.

この式に  $K_a$  および  $c_0$  を代入すると

$$[H_3O^+] = \sqrt{6.6 \times 10^{-5} \times 1.0 \times 10^{-2}} = 8.1 \times 10^{-4}$$

$$\therefore \text{pH} = 3.1$$

b.  $c_0$  が  $K_a$  に比べて大きいので,  $c_0 - ([H_3O^+] - [OH^-]) \doteq c_0$

( $c_0$  が小さいだけでなく,  $c_0$  の値に比べて,  $K_a$  がより小さいので  $[H_3O^+] \gg [OH^-]$  の近

似は適用できない)

よって、式(3.16)は

$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2 - [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]}{c_0} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2 - K_w}{c_0} \text{ と近似でき、}$$

$[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{K_a c_0 + K_w}$  が誘導できる.

この式に  $K_a$  および  $c_0$  を代入すると

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{5.6 \times 10^{-10} \times 1.0 \times 10^{-4} + 1.0 \times 10^{-14}} = 2.6 \times 10^{-7}$$

$$\therefore \text{pH} = 6.6$$

c. 式(3.25)  $K_b = \frac{[\text{OH}^-]([\text{OH}^-] - [\text{H}_3\text{O}^+])}{c_0 - ([\text{OH}^-] - [\text{H}_3\text{O}^+])}$  に近似を適用し、計算する.

弱塩基であるが  $c_0$  が十分大きいので、 $[\text{OH}^-] \gg [\text{H}_3\text{O}^+]$

$c_0$  が  $K_b$  に比べても大きいので、 $c_0 - ([\text{OH}^-] - [\text{H}_3\text{O}^+]) \doteq c_0$

よって、式(3.25)は  $K_b = \frac{[\text{OH}^-]^2}{c_0}$  と近似でき、

$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_b c_0}$  が誘導できる.

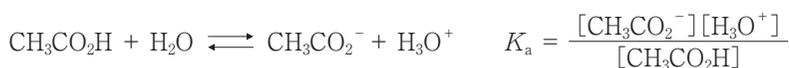
この式に  $K_b$  および  $c_0$  を代入すると

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{1.8 \times 10^{-5} \times 1.0 \times 10^{-1}} = 1.3 \times 10^{-3}$$

$$\text{p}[\text{OH}^-] = 2.9$$

$$\therefore \text{pH} = 14 - 2.9 = 11.1$$

2. 酢酸の解離平衡と平衡定数は、次式で表される.



a. 0.1 mol/L NaOH 水溶液を加える前は、

$[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}] \doteq 0.1 \text{ mol/L}$  および  $[\text{CH}_3\text{CO}_2^-] \doteq [\text{H}_3\text{O}^+]$  と近似できるから

$$K_a = 1.8 \times 10^{-5} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{0.1}$$

よって、

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{1.8 \times 10^{-5} \times 0.1} = 1.34 \times 10^{-3}$$

$$\text{pH} = 2.9$$

b. 0.1 mol/L NaOH 水溶液 10.0 mL を加えたとき、

$$[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}] = \frac{0.1 \times (25.0 - 10.0)}{35} \text{ mol/L} \text{ および } [\text{CH}_3\text{CO}_2^-] = \frac{0.1 \times 10.0}{35} \text{ mol/L}$$

となる.

平衡定数を表す式から誘導できる  $\text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{CH}_3\text{CO}_2^-]}{[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}]}$  に、

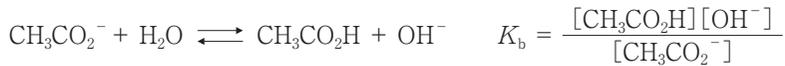
これらの値ならびに  $\text{p}K_a = 4.74$  を代入すると

$$\text{pH} = 4.74 + \log \frac{0.1 \times 10.0}{0.1 \times 15.0} = 4.6$$

- c. 0.1 mol/L NaOH 水溶液 25.0 mL を加えたとき,  
CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>Na つまり弱塩基 CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub><sup>-</sup> だけが溶液中に存在し,

$$\text{その濃度は } \frac{0.1 \times 25.0}{50.0} \text{ mol/L となる.}$$

CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub><sup>-</sup> の解離平衡と平衡定数は次のように表される.



ここで, CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub><sup>-</sup> は弱塩基であるから,

[CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>H] ≃ [OH<sup>-</sup>] と近似できる.

また,  $K_a \times K_b = 1.0 \times 10^{-14}$  である.

$$\text{したがって, } [\text{OH}^-] = \sqrt{K_b c_0} = \sqrt{\frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.8 \times 10^{-5}} \times \frac{0.1 \times 25.0}{50.0}} = 5.25 \times 10^{-6}$$

$$\text{p}[\text{OH}^-] = 5.28 \quad \therefore \text{pH} = 14 - 5.28 \doteq 8.7$$

- d. 当量点以降は滴加した NaOH つまり OH<sup>-</sup> の濃度により pH は支配される.

$$[\text{OH}^-] = \frac{0.1 \times (30.0 - 25.0)}{55.0} = 0.0091 \text{ mol/L となる.}$$

したがって,  $\text{p}[\text{OH}^-] = 2.04$

$$\therefore \text{pH} = 14 - 2.04 \doteq 12.0$$

3. 1.0 mol/L HCl 水溶液 10.0 mL を加えたとき,

$$[\text{NH}_3] = \frac{1.0 \times (25.0 - 10.0)}{35.0} \text{ mol/L および } [\text{NH}_4^+] = \frac{1.0 \times 10.0}{35} \text{ mol/L となる}$$

一方, アンモニアの解離平衡と平衡定数は次のように表される.



平衡定数の式を変形すると

$$\text{p}[\text{OH}^-] = \text{p}K_b + \log \frac{[\text{NH}_4^+]}{[\text{NH}_3]} \text{ となる.}$$

この式に,  $\text{p}K_b$ ,  $[\text{NH}_4^+]$  および  $[\text{NH}_3]$  の値を代入すると,

$$\text{p}[\text{OH}^-] = 4.74 + \log \frac{1.0 \times 10.0}{1.0 \times 15.0} = 4.56$$

$$\therefore \text{pH} = 14 - \text{p}[\text{OH}^-] = 14 - 4.56 = 9.44$$

4.  $K_{a1} = \frac{[\text{H}_3\text{N}^+\text{CH}_3\text{CO}_2^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_3\text{N}^+\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}]}$  および  $K_{a2} = \frac{[\text{H}_2\text{NCH}_3\text{CO}_2^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_3\text{N}^+\text{CH}_2\text{CO}_2^-]}$  である.

これらを辺々掛けると,

$$K_{a1} \times K_{a2} = \frac{[\text{H}_3\text{N}^+\text{CH}_2\text{CO}_2^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_3\text{N}^+\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}]} \times \frac{[\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CO}_2^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_3\text{N}^+\text{CH}_2\text{CO}_2^-]}$$

変形すると

$$K_{a1} \times K_{a2} = \frac{[\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CO}_2^-][\text{H}_3\text{O}^+]^2}{[\text{H}_3\text{N}^+\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}]}$$

いま、グリシンが電荷をもたない状態で存在する場合は、この式において  $[\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CO}_2^-] = [\text{H}_2\text{N}^+\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}]$  と仮定できる。

したがって、 $K_{a1} \times K_{a2} = [\text{H}_3\text{O}^+]^2$  となる。

この式から、 $[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{K_{a1} \times K_{a2}}$

$$\therefore \text{pH} = \frac{1}{2} (\text{p}K_{a1} + \text{p}K_{a2}) = \frac{1}{2} (2.34 + 9.60) = 5.97$$

## 4章

1. 錯生成反応および生成定数は、それぞれ次式で表される。



ただし、 $K_{f1} = 3.0 \times 10^{10} \text{ L/mol}$ ,  $K_{f2} = 1.2 \times 10^9 \text{ L/mol}$

一方、Cu(II)イオンとenのそれぞれの物質収支についての式は、

$$C_M = [\text{Cu}^{2+}] + [\text{Cu}(\text{en})^{2+}] + [\text{Cu}(\text{en})_2^{2+}] = 0.010 \text{ mol/L}$$

$$C_L = [\text{en}] + [\text{Cu}(\text{en})^{2+}] + 2[\text{Cu}(\text{en})_2^{2+}] = 0.030 \text{ mol/L}$$

となる。

いま、 $C_L$ は $C_M$ の2倍以上であるから、生成する錯体の大部分が $[\text{Cu}(\text{en})_2^{2+}]$ となるはずである。

したがって、 $\text{Cu}^{2+}$ に配位していないenの濃度は、上式より

$[\text{en}] = 0.03 - 2 \times 0.01 = 0.01 \text{ mol/L}$ である。上の生成定数の式にこれらを代入すると、

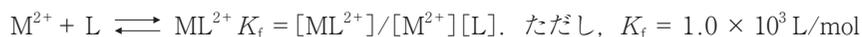
$$[\text{Cu}(\text{en})_2^{2+}] = 0.010 \text{ mol/L}$$

$$[\text{Cu}(\text{en})^{2+}] = 8.3 \times 10^{-10} \text{ mol/L}$$

$$[\text{Cu}^{2+}] = 2.8 \times 10^{-18} \text{ mol/L}$$

となる。

2. 錯生成反応と生成定数は次式となる。



それぞれの物質収支の式は、それぞれの濃度が半分になるから、

$$C_M = [\text{M}^{2+}] + [\text{ML}^{2+}] = 0.050 \text{ mol/L}$$

$$C_L = [\text{L}] + [\text{ML}^{2+}] = 0.10 \text{ mol/L}$$

である。

$$[\text{ML}^{2+}] = 0.050 - [\text{M}^{2+}], \text{ および } [\text{L}] = 0.050 + [\text{M}^{2+}] \text{ であり、} (0.050 - [\text{M}^{2+}]) / [\text{M}^{2+}] (0.050 + [\text{M}^{2+}]) = 1.0 \times 10^3$$

したがって,  $[M^{2+}] = 9.6 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$  また, このときの錯体の生成率は,  $(C_M - [M^{2+}]) / C_M \times 100 = 98.1 (\%)$

## 5章

1. a.  $\text{AgSCN} : K_{\text{sp}} = [\text{Ag}^+][\text{SCN}^-]$
- b.  $\text{HgI}_2 : K_{\text{sp}} = [\text{Hg}^{2+}][\text{I}^-]^2$
- c.  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 : K_{\text{sp}} = [\text{Mg}^{2+}][\text{NH}_4^+][\text{PO}_4^{3-}]$
- d.  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2 : K_{\text{sp}} = [\text{Ca}^{2+}]^{10}[\text{PO}_4^{3-}]^6[\text{OH}^-]^2$

2.  $\text{AgCl}$  の飽和溶液中の銀および塩化物イオンの濃度は,

$[\text{Ag}^+] = [\text{Cl}^-] = 1.3 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$  である.

したがって,  $K_{\text{sp}} = [\text{Ag}^+] \times [\text{Cl}^-] = (1.3 \times 10^{-5})^2 = 1.69 \times 10^{-10} \approx 1.7 \times 10^{-10} \text{ mol}^2/\text{L}^2$

$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  の飽和溶液中のカルシウムおよびリン酸イオンの濃度は,

$[\text{Ca}^{2+}] = 3 \times 7.1 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$ ,  $[\text{PO}_4^{3-}] = 2 \times 7.1 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$  である.

したがって,  $K_{\text{sp}} = [\text{Ca}^{2+}]^3 \times [\text{PO}_4^{3-}]^2 = (3 \times 7.1 \times 10^{-7} \text{ mol/L})^3 \times (2 \times 7.1 \times 10^{-7} \text{ mol/L})^2$   
 $= 1.949 \times 10^{-29} \approx 1.9 \times 10^{-29} \text{ mol}^5/\text{L}^5$

3.  $\text{Al}(\text{OH})_3$  の溶解度を  $S$  とすると,

$K_{\text{sp}} = [\text{Al}^{3+}][\text{OH}^-]^3 = S \times (3S)^3 = 27S^4 = 2.0 \times 10^{-32} \text{ mol}^4/\text{L}^4$  である.

したがって,  $S = \sqrt[4]{\frac{2.0 \times 10^{-32}}{27}} = \sqrt[4]{0.0741 \times 10^{-16} \times 10^{-16}} = 5.22 \times 10^{-3} \approx 5.2 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$

pH 3 では  $\text{pOH} = 11$  すなわち  $[\text{OH}^-] = 10^{-11}$  であるので, 溶解度  $S = [\text{Al}^{3+}]$  は,

$[\text{Al}^{3+}] = K_{\text{sp}} / [\text{OH}^-]^3 = 2.0 \times 10^{-32} \text{ mol}^4/\text{L}^4 / (10^{-11})^3 \text{ mol}^3/\text{L}^3 = 20 \text{ mol/L}$

pH 4 では  $\text{pOH} = 10$  すなわち  $[\text{OH}^-] = 10^{-10}$  であるので, 溶解度  $S = [\text{Al}^{3+}]$  は,

$[\text{Al}^{3+}] = K_{\text{sp}} / [\text{OH}^-]^3 = 2.0 \times 10^{-32} \text{ mol}^4/\text{L}^4 / (10^{-10})^3 \text{ mol}^3/\text{L}^3 = 2.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$

pH 5 では  $\text{pOH} = 9$  すなわち  $[\text{OH}^-] = 10^{-9}$  であるので, 溶解度  $S = [\text{Al}^{3+}]$  は,

$[\text{Al}^{3+}] = K_{\text{sp}} / [\text{OH}^-]^3 = 2.0 \times 10^{-32} \text{ mol}^4/\text{L}^4 / (10^{-9})^3 \text{ mol}^3/\text{L}^3 = 2.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$

したがって, もとの水溶液に比べ溶解度が下がる pH 5 の溶液で沈殿が生じる.

4.  $\text{NaCl}$  は完全解離するので, 溶液中の塩化物イオン濃度は  $[\text{Cl}^-] = 10^{-20} \text{ mol/L}$  である. 溶液は  $\text{AgCl}$  で飽和されているので, 溶液中の銀イオンの濃度が溶解度となる.

$[\text{Ag}^+] = K_{\text{sp}} / [\text{Cl}^-] = 1.78 \times 10^{-10} \text{ mol}^2/\text{L}^2 / 10^{-20} \text{ mol/L} \approx 1.8 \times 10^{-8} \text{ mol/L}$

5. 弱酸である  $\text{H}_2\text{S}$  を溶液に通気して飽和させると,  $0.1 \text{ mol/L}$  となり,

$\text{H}_2\text{S} \rightleftharpoons 2\text{H}^+ + \text{S}^{2-}$  のように一部解離する.  $\text{S}^{2-}$  は  $\text{Pb}^{2+}$  や  $\text{Zn}^{2+}$  と難溶性沈殿をつくる.

$\text{Pb}^{2+} + \text{S}^{2-} \rightarrow \text{PbS} : K_{\text{sp,PbS}} = 8.0 \times 10^{-28} \text{ mol}^2/\text{L}^2$

$\text{Zn}^{2+} + \text{S}^{2-} \rightarrow \text{ZnS} : K_{\text{sp,ZnS}} = 1.2 \times 10^{-23} \text{ mol}^2/\text{L}^2$

$\text{PbS}$  がほぼ完全に沈殿し,  $\text{ZnS}$  が沈殿し始めるまでに加える  $\text{H}_2\text{S}$  量を考える.

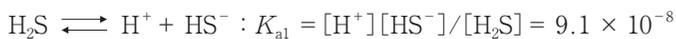
$\text{PbS}$  の溶液中の濃度が  $10^{-5} \text{ mol/L}$  になるとき完全に沈殿するので, 反応した  $\text{S}^{2-}$  の濃度を  $X \text{ mol/L}$  とすると,  $0.01 \text{ mol/L} - X \text{ mol/L} = 10^{-5} \text{ mol/L}$  より,  $X \approx 0.01 \text{ mol/L}$  となる.

このときの水素イオン濃度 $[H^+]$ は、解離式より  $2X = 0.02 \text{ mol/L}$  となる。

一方、ZnS は溶解度積を超える濃度に達したときに沈殿し始めるので、

$$[Zn^{2+}] = 0.01 \text{ mol/L}, K_{sp,ZnS} = [Zn^{2+}][S^{2-}] = 1.2 \times 10^{-23} \text{ mol}^2/\text{L}^2 \text{ より,}$$

$$[S^{2-}] = 1.2 \times 10^{-23} \text{ mol}^2/\text{L}^2 / 0.01 \text{ mol/L} = 1.2 \times 10^{-21} \text{ mol/L} \text{ 以上で沈殿する.}$$



$$K_{a1} \times K_{a2} = [H^+]^2[S^{2-}]/[H_2S] = 1.09 \times 10^{-22} \text{ mol}^2/\text{L}^2,$$

飽和水溶液中の  $H_2S$  濃度は、 $[H_2S] = 0.1 \text{ mol/L}$  より、

$$[H^+]^2 = 1.09 \times 10^{-22} \text{ mol}^2/\text{L}^2 \times 0.1 \text{ mol/L} / 1.2 \times 10^{-21} \text{ mol/L}$$

$$= 0.908 \times 10^{-2} \text{ mol}^2/\text{L}^2 \quad [H^+] = 0.095 \text{ mol/L}$$

したがって、 $0.020 \text{ mol/L} \leq [H^+] < 0.095 \text{ mol/L}$  の範囲にすればよい。

## 6章

1. a. 右に進む
- b. 左に進む
- c. 左に進む
- d. 右に進む

$$2. \text{ a. } E = E^\circ_{Ce} + \frac{0.0592}{1} \log \frac{[Ce^{4+}]}{[Ce^{3+}]} = 1.61 + 0.0592 \log \frac{1.00 \times 10^{-3}}{1.00 \times 10^{-2}} = 1.61 - 0.0592$$

$$= 1.55 \text{ V}$$

$$\text{ b. } E = E^\circ_{Ce} + \frac{0.0592}{1} \log \frac{[Ce^{4+}]}{[Ce^{3+}]} = 1.61 + 0.0592 \log \frac{1.00 \times 10^{-2}}{1.00 \times 10^{-3}} = 1.61 + 0.0592$$

$$= 1.67 \text{ V}$$

$$\text{ c. } E = E^\circ_{MnO_4} - \frac{0.0592 \times 8}{5} \text{ pH} - \frac{0.0592}{5} \log \frac{[Mn^{2+}]}{[MnO_4^-]}$$

$$= 1.51 - 0.0947 \times 1.00 - 0.0118 \log \frac{1.00 \times 10^{-2}}{2.00 \times 10^{-2}} = 1.42 \text{ V}$$

$$\text{ d. } E = E^\circ_{MnO_4} - \frac{0.0592 \times 8}{5} \text{ pH} - \frac{0.0592}{5} \log \frac{[Mn^{2+}]}{[MnO_4^-]}$$

$$= 1.51 - 0.0947 \times 5.00 - 0.0118 \log \frac{1.00 \times 10^{-2}}{2.00 \times 10^{-2}} = 1.04 \text{ V}$$

\* c, d は、 $\log 2 = 0.301$  として計算した。

$$3. \text{ a. } E_{Fe} = E^\circ_{Fe} + 0.0592 \log \frac{[Fe^{3+}]}{[Fe^{2+}]} = 0.77 + 0.0592 \log \frac{5.00}{25.00 - 5.00}$$

$$= 0.77 - (0.0592 \times 2) \log 2 = 0.73 \text{ V}$$

$$b. E_{\text{Fe}} = E_{\text{Fe}}^{\circ} + 0.0592 \log \frac{[\text{Fe}^{3+}]}{[\text{Fe}^{2+}]} = 0.77 + 0.0592 \log \frac{12.50}{25.00 - 12.50}$$

$$= 0.77 - 0.0592 \log 1 = 0.77 \text{ V}$$

$$c. E_{\text{eq}} = \frac{1}{2} (E_{\text{Fe}}^{\circ} + E_{\text{Ce}}^{\circ}) = \frac{1}{2} (0.77 + 1.61) = 1.19 \text{ V}$$

$$d. E_{\text{Ce}} = E_{\text{Ce}}^{\circ} + 0.0592 \log \frac{[\text{Ce}^{4+}]}{[\text{Ce}^{3+}]} = 1.61 + 0.0592 \log \frac{30.00 - 25.00}{25.00} = 1.61 - 0.0592 \log 5$$

$$= 1.57 \text{ V}$$

\*  $\log 2 = 0.301$ ,  $\log 5 = 0.699$  として計算した.

## 7章

- 水：テオフィリンのような中性医薬品を有機溶媒で抽出する場合，単に水を水相として用いる.
  - 1 mol/L 塩酸：バルプロ酸ナトリウムのような酸性物質の塩やバルプロ酸のような酸性医薬品を有機溶媒で抽出する場合，塩酸などの酸を水相として用いる.
  - 1 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液：パナルジン塩酸塩のような塩基性医薬品の塩やパナルジンのような塩基性医薬品を有機溶媒で抽出する場合，水酸化ナトリウム水溶液などのアルカリを水相として用いる.
- X は中性物質だから，分配比  $D$  は分配係数  $K_d$  と等しい. また，有機層の X の濃度は  $80 \text{ mg} \div 25 \text{ mL} = 3.2 \text{ mg/mL}$ ，水層の X の濃度は  $20 \text{ mg} \div 50 \text{ mL} = 0.40 \text{ mg/mL}$  である. したがって， $D = K_d = \frac{3.2 \text{ mg/mL}}{0.40 \text{ mg/mL}} = 8.0$  となる.
- 分配係数  $\log P = 1.3$  であるから， $P = \frac{[\text{X}_{\text{分子型}}]_{\text{O}}}{[\text{X}_{\text{分子型}}]_{\text{W}}} = 10^{1.3} = 10^{(1+0.3)} = 10^1 \times 10^{0.3}$ . ここで， $\log 2 = 0.3$  から誘導できる  $2 = 10^{0.3}$  を用いると， $P = 10 \times 2 = 20$  と求まる.  
一方，pH 7.3 の緩衝液において，X の分子型とイオン型の存在比はヘンダーソン・ハッセルバルヒの式  $\text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{X}_{\text{イオン型}}]_{\text{W}}}{[\text{X}_{\text{分子型}}]_{\text{W}}}$  により求まる. いま， $\text{pH} = 7.3$  および  $\text{p}K_a = 4.6$  だから， $7.3 = 4.6 + \log \frac{[\text{X}_{\text{イオン型}}]_{\text{W}}}{[\text{X}_{\text{分子型}}]_{\text{W}}}$  となる. これを変形すると， $\log \frac{[\text{X}_{\text{イオン型}}]_{\text{W}}}{[\text{X}_{\text{分子型}}]_{\text{W}}} = 2.7$  が得られる. この式から対数を外すと， $\frac{[\text{X}_{\text{イオン型}}]_{\text{W}}}{[\text{X}_{\text{分子型}}]_{\text{W}}} = 10^{2.7} = 10^{(3-0.3)} = 10^3 \times \frac{1}{10^{0.3}}$  となる.  
ここで， $\log 2 = 0.3$  から誘導できる  $2 = 10^{0.3}$  を用いると， $\frac{[\text{X}_{\text{イオン型}}]_{\text{W}}}{[\text{X}_{\text{分子型}}]_{\text{W}}} = 1000 \times \frac{1}{2} = 500$  と求まる.  
これらの結果から， $[\text{X}_{\text{分子型}}]_{\text{W}} = C$  とすると， $[\text{X}_{\text{分子型}}]_{\text{O}} = C \times 20 = 20C$  および  $[\text{X}_{\text{イオン型}}]_{\text{W}}$

= 500C と表せる. したがって, 分配比  $D = 20C \div (500C + C) = 0.040$  と求まる.

4. 分配係数  $\log P = 2.6$  であるから,  $P = \frac{[X_{\text{分子型}}]_O}{[X_{\text{分子型}}]_W} = 10^{2.6} = 10^{(2+0.3+0.3)} = 10^2 \times 10^{0.3} \times 10^{0.3}$ . ここで,  $\log 2 = 0.3$  から誘導できる  $2 = 10^{0.3}$  を用いると,  $P = 100 \times 2 \times 2 = 400$  と求まる.

一方, pH 7.45 の緩衝液において, X の分子型とイオン型の存在比はヘンダーソン・ハッセルバルヒの式  $\text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[X_{\text{分子型}}]_W}{[X_{\text{イオン型}}]_W}$  により求まる. いま,  $\text{pH} = 7.45$  および  $\text{p}K_a = 8.45$

だから,  $7.45 = 8.45 + \log \frac{[X_{\text{分子型}}]_W}{[X_{\text{イオン型}}]_W}$  となる. これを変形すると,  $\log \frac{[X_{\text{分子型}}]_W}{[X_{\text{イオン型}}]_W} = -1$

が得られる. この式から対数を外すと,  $\frac{[X_{\text{分子型}}]_W}{[X_{\text{イオン型}}]_W} = 10^{-1} = \frac{1}{10}$  となる.

これらの結果から,  $[X_{\text{分子型}}]_W = C$  とすると,  $[X_{\text{分子型}}]_O = C \times 400 = 400C$  および  $[X_{\text{イオン型}}]_W = 10C$  と表せる. したがって, 分配比  $D = 400C \div (10C + C) = 36.4$  と求まる.

5. a. 分配比  $D = 2$  つまり  $[X]_O : [X]_W = 2 : 1$ . いま, クロロホルム相に Y mol 溶けているとすると,  $[X]_O = Y \text{ mol}/50 \text{ mL}$  および  $[X]_W = (0.1 - Y) \text{ mol}/100 \text{ mL}$  となる. これらには,  $Y \text{ mol}/50 \text{ mL} : (0.1 - Y) \text{ mol}/100 \text{ mL} = 2 : 1$  が成立するから,  $Y/50 = 2 \times (0.1 - Y)/100$  が誘導できる. これを解くと,  $Y = [X]_O = 0.05 \text{ mol}$  と求まる. その結果, X の水相と有機相における物質量はどちらも 0.05 mol となる.
- b. クロロホルム相の濃度  $[X]_O = 0.05 \text{ mol}/50 \text{ mL} \times 1000 \text{ mL} = 1 \text{ mol/L}$ . 水相の濃度  $[X]_W = 0.05 \text{ mol}/100 \text{ mL} \times 1000 \text{ mL} = 0.5 \text{ mol/L}$ .
- c. 式 (7.15) に基づき, 抽出率  $E(\%) = 0.05/0.1 \times 100 = 50\%$  となる.
- d.  $n$  回抽出したときの残存率  $(\%) = (1 - E/100)^n \times 100$  だから, 3 回抽出したときの残存率  $(\%) = (1 - 50/100)^3 \times 100 = 12.5\%$  である.

## 8 章

1. a.  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^+$   
b.  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$
2.  $\text{Al}^{3+} : e$ ,  $\text{Fe}^{2+} : a$ ,  $\text{Fe}^{3+} : c$   
 $\text{Ca}^{2+} : b$ ,  $\text{Ni}^{2+} : f$ ,  $\text{K}^+ : d$
3. a. 誤  
オルト位置換体は強く呈色する. メタ位置換体の呈色は弱く, パラ位置換体ではカルボキシ基をもつ場合は呈色しない.
- b. 正  
ニンヒドリン反応はアミノ酸の検出に使う. 非常に鋭敏な反応性を示し, タンパク質中の末端  $\alpha$ -アミノ基とも反応する. 紫色の色素 (Ruhemann's purple) を生じる.

c. 正

アンチピリンを亜硝酸ナトリウムで処理するとピラゾロン環の4位におけるニトロソ化(置換反応)が起こる。芳香族ニトロソ化合物の多くは緑色を呈する。

4. a. 正

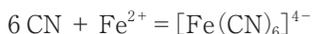
サリチルアミドが存在するときは、フェノール性OHがあるので塩化鉄(III)反応(淡紫色)を呈する。

b. 正

バリウムイオンが存在する場合は、塩酸酸性で硫酸イオンと硫酸バリウムを生成し、白色の沈殿を示す。

5. シアン化物

鉄(II)イオン、および鉄(III)イオンと組合せて青色の沈殿を生成する不純物は、合成中間体としてのシアン化物(シアンイオン, CN)である。アルカリ性でシアンイオンは鉄(II)イオンと反応してヘキサシアノ鉄(II)酸イオンを生じる。これに鉄(III)イオンを加えると、青色沈殿となる(ベルリン青)。



## 9章

1. a. 誤

酒石酸は二塩基酸である。

b. 誤

指示薬はフェノールフタレインである。

c. 正

2. a. 正

酸性プロトンは、 $-\text{SO}_2\text{NHCO}-$ 基中のHだけである。

b. 正

c. 正

d. 正

3. a. 誤

クロフィブラートと水酸化ナトリウムは1:1で反応する。

b. 誤

逆滴定に分類される。

c. 正

d. 正

4. a. 誤

乳酸と水酸化ナトリウムは1:1で反応する。

b. 正

c. 誤

無水物やラクチドとして存在する乳酸を定量できないため、定量値は小さくなる。

d. 誤

90.08 である。

5. a. 誤

炭酸リチウムと硫酸は 1 : 1 で反応する。

b. 正

c. 誤

メチルレッドである。

d. 誤

36.95 である。

6. 0.005 mol/L 硫酸 1.0 mL に対応する水酸化ナトリウムの質量 =  $0.005 \times 1/1000 \times 1/2 \times 40.00 \times 1000 = 0.1 \text{ mg}$  が、1.0 g のヨウ化ナトリウムについて許容される水酸化ナトリウム含量であるから、 $0.1/(1.0 \times 1000) \times 10^6 = 100 \text{ ppm}$  となる。

7. 金属[M]と EDTA 錯体[MY']の最終濃度は、0.05 mol/L である。解離して生成する[M]と EDTA[Y']の濃度は等しい。したがって、 $[M] = [Y'] = 0.05 \times (0.1/100) = 5 \times 10^{-5}$ 、 $[MY'] = 0.05 \times (99.9/100) \approx 5 \times 10^{-2}$   $K_{MY'} = [MY']/[M][Y']$  より、 $K_{MY'} = 5 \times 10^{-2}/(5 \times 10^{-5})^2 = 2 \times 10^7$

8. 金属指示薬とは金属イオン(M)をキレート滴定するとき、当量点付近において金属イオン濃度の逆数の対数(pM)変化により鋭敏に変色する指示薬をいう。金属指示薬はキレート試薬に属する有機色素で、指示薬自身の色と、金属キレートを生成したときの色が異なるものでなければならない。

また、キレート滴定において、EDTA などの滴定剤よりも金属イオンとのキレート生成定数が小さくなければならない。日本薬局方医薬品の定量に用いられている代表的な金属指示薬には、次のような有機キレート試薬(金属指示薬)がある。

① エリオクロムブラック T(EBT)

金属イオン：Zn<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>

至適：pH 7 ~ 10

EBT(青色)、EBT—金属イオンキレート(赤色)

② 2-オキシ-1-(2'-オキシ-4'-スルホ-1'-ナフチルアゾ)-3-ナフトエ酸(NN)

金属イオン：Ca<sup>2+</sup>

至適：pH 12 ~ 13

NN(青色)、NN—Ca<sup>2+</sup>キレート(赤色)

③ 1-(2-ピリジルアゾ)-2-ナフトール(PAN)

金属イオン：Cu<sup>2+</sup>

至適：pH 3～10

PAN(黄色)，PAN—Cu<sup>2+</sup>キレート(赤紫色)

9. アルミニウムイオン(Al<sup>3+</sup>)は，EDTA と 1：1 のキレートを生成する。

$$1.0 \text{ mol/L EDTA 液 } 1000 \text{ mL} = 26.98 \text{ g Al}^{3+}$$

$$1.0 \text{ mol/L EDTA 液 } 1 \text{ mL} = 26.98 \text{ mg Al}^{3+}$$

したがって，

$$0.05 \text{ mol/L EDTA 液 } 1 \text{ mL} = 1.349 \text{ mg Al}^{3+}$$

Al<sup>3+</sup> は EDTA との反応速度が遅く，キレート生成定数もあまり大きくない(log  $K_f = 16.1$ )。そのため，被滴定液を塩酸で pH 3 に調整し，煮沸して反応の完結を促進する必要がある。終点付近ではできるだけゆっくり滴定を行い，EDTA 液 1 滴を加え，1 分間加熱しても再びだいたい黄色にならない点を終点とする。

10.  $pAg + pI = pK_{sp} = 16.1$ ， $pAg = pI$  より， $2pI = 16.1$  であるので， $pI \approx 8.1$

11. ヨウ化物イオンと塩化物イオンの銀滴定を考えてみる。溶解度積はヨウ化銀のほうが塩化銀より小さく， $K_{sp,AgI} = 10^{-16.1}$ ， $K_{sp,AgCl} = 10^{-9.8}$  である。当量点前では，溶液中のヨウ化物イオンの全濃度  $C_I$  と塩化物イオンの全濃度  $C_{Cl}$ ，加えた銀イオンの濃度  $C_{Ag}$  とすると， $[I^-] = C_I - C_{Ag}$ ， $[Cl^-] = C_{Cl} - C_{Ag}$ ，滴定率を  $a = C_{Ag}/C_I = C_{Ag}/C_{Cl}$  とすると， $[I^-] = (1 - a) \times C_I$ ， $[Cl^-] = (1 - a)C_{Cl}$ 。したがって，被滴定液の濃度が同じ( $C_I = C_{Cl}$ )場合，両方の滴定曲線はまったく同一である。 $a$  が 1 に近づくと， $[I^-]$  および  $[Cl^-]$  はいずれも 0 に近づく。

$a > 1$  となると  $Ag^+$  が過剰になり，溶液中に残るので  $[Ag^+] = C_{Ag} - C_I = (a - 1)C_I$ ， $[Ag^+] = C_{Ag} - C_{Cl} = (a - 1)C_{Cl}$ 。  $K_{sp,AgI} = [Ag^+][I^-]$ ， $K_{sp,AgCl} = [Ag^+][Cl^-]$  より， $[I^-] = (a - 1) \times C_I/K_{sp,AgI}$ ， $[Cl^-] = (a - 1)C_{Cl}/K_{sp,AgCl}$ 。したがって， $pI = -\log [I^-] = pK_{sp,AgI} + \log(a - 1) + \log C_I$  および  $pCl = -\log [Cl^-] = pK_{sp,AgCl} + \log(a - 1) + \log C_{Cl}$  はいずれも急激に上昇する。 $C_I = C_{Cl}$  の場合， $pK_{sp,AgI} = 16.1$ ， $pK_{sp,AgCl} = 9.8$  であるので， $a > 1$  の領域では  $pI$  の曲線は  $pCl$  の曲線より， $16.1 - 9.8 = 6.3$  単位上方に移動する。したがって，当量点における  $pI$  のジャンプが大きくなるが，滴定曲線は基本的な形は変化しない。

12. この方法は，クロロブタノールと水酸化ナトリウムの反応により生成する塩化ナトリウムに一定量の硝酸銀を加えて塩化銀を沈殿させ，過量の硝酸銀を鉄イオンを指示薬としてチオシアン酸塩で逆滴定するフォルハルト法である。

[A]：滴定液はチオシアン酸アンモニウム，[B]指示薬は硫酸アンモニウム鉄(Ⅲ)



クロロブタノール 1 モルは，硝酸銀 3 モルに対応するので，

対応量は， $0.1 \times 177.46/3 = 5.915(\text{mg})$  [C]：5.915(mg)

13. 塩化物を硝酸銀で滴定するファヤンス法である。[A]：指示薬はフルオレセインナトリウムである。規格値が 0.85～0.95 w/v% の実験値の範囲は 0.84500～0.95499 w/v% と考えられる。 $NaCl + AgNO_3 \longrightarrow AgCl + NaNO_3$  で  $NaCl$  と  $AgNO_3$  は 1：1 で反応するので，対

応量は、 $0.1 \text{ mol/L AgNO}_3 1 \text{ mL} = 5.844 \text{ mg NaCl}$

$0.1 \text{ mol/L}$  硝酸銀液の消費量を  $y$  とすると、 $0.84500 \leq y \times 5.844 \times 10^{-3} \times 1.025 \times 100/20$   
 $\leq 0.95499$  すなわち、 $28.21 \leq y \leq 31.89$  [B] : 28.2 mL, [C] : 31.9 mL

14.  $\frac{0.450 - 0.320}{0.450} \times 100 = 28.89$  揮発した水分は結晶の 28.9 %

$\frac{(0.450 - 0.320)/18}{0.450/249.67} = 4.008$  揮発した水分は結晶 1 mol あたり 4.01 mol

15. a. 正  
b. 誤  
c. 誤  
d. 誤

16.  $f = (1000 \times 0.05400) / (3.567 \times 15.00) = 1.009$

17.  $f = (0.990 \times 14.90) / 15.00 = 0.983$

18. a. 正  
b. 誤

ヨウ素液中のヨウ素  $I_2$  は、続いて加えられる水酸化カリウム KOH 試液の作用により次亜ヨウ素酸カリウム KIO となってホルマリンを酸化する。

- c. 誤

逆滴定であるので、第 2 標準液である  $0.1 \text{ mol/L}$  チオ硫酸ナトリウム液は、空試験のほうが本試験より多く消費する。

- d. 誤

空試験を伴う逆滴定では、第 2 標準液 ( $0.1 \text{ mol/L}$  チオ硫酸ナトリウム液) のファクター  $f$  のみわかっていれば計算できる。

19. フェノールの質量 :  $1.569 \times (29.70 - 6.30) \times 1.000 = 36.71 \text{ (mg)}$

フェノールの含量 :  $(36.71/1000) / \{1.500 \times (25/1000)\} \times 100 = 97.9(\%)$

20. a. 誤

指示薬は用いず、電位差滴定法または電流滴定法により終点を求める。

- b. 正

- c. 誤

臭化カリウム 3 g を水に溶かして全量を 10 mL とすることを意味している。

- d. 誤

プロカイン塩酸塩は、構造式のような芳香族第一級アミンであり亜硝酸ナトリウムと 1 : 1 のモル比で反応する。したがって、(A) に入る対応量は、 $0.1 \times 272.77 \div 2 = 27.28 \text{ (mg)}$  である。

## 10章

### 1. a. 誤

赤外吸収スペクトルの誤りである。紫外・可視吸光分析法は分子を構成する電子、とくに $\pi$ 電子やn電子の遷移に伴う光の吸収を利用したもので、一般に200～800 nmの波長範囲で測定され、電子スペクトルともよばれる。電子遷移のエネルギーは分子の振動・回転エネルギーより桁違いに大きいので、振動回転スペクトルも伴い、一般に紫外・可視吸収スペクトルは幅広い吸収帯として観測される。

### b. 正

### c. 誤

縦軸は電子遷移が起こる確率で、横軸は電子遷移が起こるエネルギーの大きさを示す。

### d. 正

### 2. 正

分子が光を吸収して電子的に励起状態に遷移し、その励起エネルギーが光の形で再放射される経路である。吸収した光の波長よりも長い波長の光が放射される(ストークスの法則)。

### 3. 正

赤外吸収スペクトル測定に使われる赤外線は2.5～25 $\mu\text{m}$ の波長領域で、波数(振動数)では4000 $\text{cm}^{-1}$ ～400 $\text{cm}^{-1}$ に相当する。1 $\mu\text{m}$  =  $10^{-6}$  m。

### 4. 誤

原子スペクトル(原子が吸収、または発光する光のスペクトル)は、原子内の電子遷移によって生じる光のスペクトルで、遷移電子が原子核の束縛を受けて、ある準位から別の準位へ遷移する場合は、不連続な輝線スペクトルに、原子が電子を放出してイオンになるときや、その逆の過程の場合は電子のエネルギーが任意の値をとるから連続スペクトルになる。

### 5. a. 誤

比吸光度  $E_{1\text{cm}}^{1\%}$  はその物質の1%溶液である。すなわち、1 g/100 mLの溶液の層長1 cmあたりの吸光度である。

### b. 正

溶液の光吸収は溶液層の厚さ  $l$  (層長) と溶液の濃度  $c$  のみに支配される。吸光度と光吸収する物質の濃度と層長(光路長)に比例し(ランベルト・ベールの法則)、物質の濃度をモル濃度とした場合の比例定数をモル吸光係数という。

### 6. a. 正

### b. 正

### c. 誤

吸光度  $A$  の値は、溶媒の種類、pH、濃度、温度の影響を受けやすい。

### d. 正

### 7. 吸光度は透過度の逆数の常用対数である。

たとえば、透過率  $T = 20(\%)$  より、透過度  $t = 0.2 = 2/10$

したがって、 $A = -\log(2/10) = -(0.30 - 1) = 0.7$

8. a.  $\epsilon = E_{1\text{cm}}^{1\%} \times \frac{\text{分子量}}{10}$  より

$$\epsilon = 391 \times (344.5/10) = 13469.9 \approx 13470$$

b. 試料中に含まれている純品メテノロン酢酸エステルを  $x$  (mg) とすると、 $x$  (mg) =  $(0.385/391) \times 10000 = 9.847$

$$\frac{9.847 \times 10^{-3}}{0.0100} \times 100 (\%) = 98.5 (\%)$$

9. a. 正

b. 正

その他、ハロゲンタングステンランプ(タングステンランプの電球中にハロゲン元素を充填させたもの。寿命が長く安定した光をだせる。)も可。

10. a. 誤

蛍光強度は温度、pH、溶媒の種類などにより影響されやすい。

b. 誤

蛍光の波長は、一般に励起光の波長よりも長い(ストークスの法則)。通常は、励起させたエネルギーより少ないエネルギーの光を蛍光として発する。

c. 誤

蛍光は、わずかな量の汚染物質の共存によっても消光する。消光作用をもつ物質をクエンチャーという。

11. a. 正

b. 正

12. a. 正

b. 誤

蛍光強度は、蛍光物質の濃度、層長、励起光の強さに比例するほか、蛍光量子収率、および励起光波長における物質のモル吸光係数にも比例する。

c. 正

これは分子の衝突頻度が増加し、発光よりも熱エネルギーなどとして失われることによる。

13. a. 誤

光源には、キセノンランプ、レーザー、アルカリハライドランプが用いられる。セルには四面透明の無蛍光の石英セルが用いられる。

b. 正

ジゴキシン錠の含量均一性試験には従来より蛍光分析法を用いることができるが、日局15では液体クロマトグラフィーによる方法に変更された。

14. a. 正

b. 誤

光源にはキセノンランプ、レーザー、アルカリハライドランプを用いる。

c. 正

$F$  (蛍光強度) =  $I_0 \phi 2.303 \varepsilon c l$  ( $I_0$ : 励起光の強度,  $\phi$ : 蛍光量子収率,  $\varepsilon$ : モル吸光係数,  $c$ : 溶液の濃度,  $l$ : 層長)

15. 高分解能の回折格子を用いてできるだけ狭いスリットにしても検出器に入る光の波長幅には限界がある (200 pm). たとえ, もし線幅 2 pm の光が 100 % 吸収されたとしても, 検出器に入る光量の変化を正確に測定することはきわめて困難である. すなわち, 連続スペクトルを示す光源では高い検出感度が期待できない.

16. a. 正

ネブライザーなどを用いて吸入し霧状とする. それをフレーム (化学炎) 中で原子蒸気とする.

b. 誤

冷蒸気方式は還元気化法としておもに用いられる.

c. 誤

原子吸光分析は選択性が高く, 共存する元素の影響を受けにくい, 定量に際しては, 干渉およびバックグラウンドを考慮する.

17. a. 正

中空陰極ランプは, 陽極と中空の陰極からなり, 低圧の Ne または Ar ガスを封入している.

b. 正

大きくフレーム方式とフレームレス方式に分けられる.

c. 誤

吸光度を測定するための分光部は必要である.

d. 正

イオン化された原子や酸化物は分析できない.

18. 原子吸光分析法では, 一般に共存する物質の干渉 (妨害) をなくすことや, バックグラウンドを補正する工夫が必要である. 通例, このために検量線法, 標準添加法, 内標準法の三つが用いられる. このうち, 標準添加法と内標準法では標準物質 (Li, Be, Co などの標準元素) を含む溶液を調製して用いる.

19. (d, e)

a. 誤

測定する試料の状態により, ペースト法, 錠剤法, 液膜法, 溶液法, フィルム法や気体専用セルを用いる方法などがあり, 固体, 液体, 気体試料の測定が可能である.

b. 誤

指紋領域は  $1500 \sim 400 \text{ cm}^{-1}$  の複雑なスペクトルを示す領域で, 未知化合物の同定に

有用. 官能基や多重結合の同定に役立つ吸収帯を特性吸収帯といい,  $4000 \sim 1500 \text{ cm}^{-1}$  の範囲における比較的単純なスペクトルを示す.

c. 誤

測定波数を連続的に変化させ, そのときの吸収をプロットして得られる曲線で, 通常, 横軸に波数( $\text{cm}^{-1}$ )または波長( $\lambda$ ), 縦軸に透過率( $T$ )または吸光度( $A$ )を取ってプロットする.

d. 正

波数目盛りの校正には, ポリスチレン膜の鋭い吸収帯を利用して, いくつかの波数をチェックする.

e. 正

試料を固体状態で測定する際, 同じ物質でも結晶多形により異なったスペクトルを与えることがあるので, 本法により結晶多形を判定できる.

20. 1. (b)

アミノ基( $3600 \sim 3200 \text{ cm}^{-1}$ ), スルホンアミド基( $1200, 1400, 1600 \text{ cm}^{-1}$ ), 芳香環( $1600 \text{ cm}^{-1}$ )に由来する特性吸収帯を示すのは, (b)である.

2. (d)

官能基がないため, 特性吸収帯をもたない(d)が該当する.

3. (a)

アミン塩酸塩( $3000 \sim 2500 \text{ cm}^{-1}$ ), エステル( $1700 \text{ cm}^{-1}$  付近)に由来する特性吸収帯を示すのは, (a)である.

4. (c)

ヒドロキシ基( $3400 \text{ cm}^{-1}$  付近)以外の官能基はないので, (c)が該当する.

21. (a, e)

a. 正

溶液法では, 試料と相互作用または化学反応がなく, 窓板を侵さない溶媒(クロロホルムや四塩化炭素)に溶かし, 液体用固定セルに入れ測定する. 窓板の材料としては, NaCl や KBr などのアルカリハライドの単結晶が用いられる.

b. 誤

光源としては, グローバルランプ, ネルンストランプなどの発熱体が用いられる. キセノンランプは, 蛍光光度分析の光源である.

c. 誤

IR スペクトルは, 分子を構成する原子核間の振動状態の変化に伴い, 光を吸収する現象を利用するため, 振動スペクトルとよばれる. 原子スペクトルは, 原子が吸収する光のスペクトルのことで, 原子吸光光度法のスペクトルである.

d. 誤

赤外吸収においても, ランベルト・ベールの法則が成立する濃度範囲では, 定量分析が

可能であるが、現在ではほとんど使われていない。

e. 正

紫外可視吸収スペクトルは分子の共役系と近傍の構造を反映し、単純な吸収曲線となるが、IR スペクトルは分子を構成するすべての原子の振動エネルギーが関係するため、スペクトル形は複雑となり官能基により特徴的な吸収パターンを示すので、構造解析に優れている。

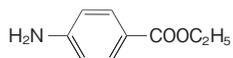
22. 波長範囲は 2.5 ~ 25.0 μm であり、

波数と波長との関係は、波数 (cm<sup>-1</sup>) = 10000 / 波長 (μm) であるので、

波数範囲は、10000 / 2.5 ~ 25.0 μm = 4000 ~ 400 cm<sup>-1</sup> である。

23. *p*-アミノ安息香酸エチルエステル

3330 cm<sup>-1</sup> (アミノ基), 1690 cm<sup>-1</sup> (カルボニル基), 1598 cm<sup>-1</sup> (芳香環), 1390 cm<sup>-1</sup> (メチル基), 1286 cm<sup>-1</sup> (エステル), 800 cm<sup>-1</sup> 付近 (*p*-位置換基) より、下記の *p*-アミノ安息香酸エチルエステルが推定される。



24. 旋光度  $\alpha = -0.72^\circ$ , 層長  $l = 100$  mm, コレステロール濃度  $c = 0.20$  g/10 mL より、

$$\text{比旋光度 } [\alpha]_D^{20} = \frac{100 a}{lc} = \frac{100 \times (-0.72)}{100 \times (0.20/10)} = -36^\circ$$

25.  $[\alpha]_D^{20} = \frac{100 a}{lc}$  より、 $\alpha = \frac{[\alpha]_D^{20} \cdot l \cdot c}{100}$

$[\alpha]_D^{20} = +115^\circ$ ,  $c = 0.20$  g/20 mL,  $l = 100$  mm より、

$$\alpha = \frac{(+115) \times 0.20 / 20 \times 100}{100} = +1.15^\circ$$

$[\alpha]_D^{20} = +120^\circ$ ,  $c = 0.20$  g/20 mL,  $l = 100$  mm より、

$$\alpha = \frac{(+120) \times 0.20 / 20 \times 100}{100} = +1.20^\circ \quad \alpha = +1.15 \sim +1.20^\circ$$

26. a. 誤

旋光度は、 $\alpha = \frac{\pi L}{\lambda} (n_l - n_d)$  で示され、左右円偏光の屈折率の差および試料の層長に

比例し、波長に反比例する。

b. 誤

偏光面を左に回転するものを左旋性、右に回転するものを右旋性とし、左旋性は  $-$  (または  $l$ )、右旋性は  $+$  (または  $d$ ) の記号をつけて示す。

c. 誤

旋光度は試料の濃度および層長に比例し、光の波長、温度、溶媒の種類に依存するが、

比旋光度は $[\alpha]_{\text{D}}^{20} = \frac{100 \alpha}{lc}$  で示すように標準条件(波長：ナトリウム D 線, 温度：20 °C, 濃度  $c$ : g/mL, 層長  $l$ : mm)に換算した旋光度である。旋光度法は、ブドウ糖注射液などの医薬品の定量に用いられている。

d. 正

局方では、ナトリウム D 線(589 nm)を用いるよう規定されている。

27. b. 2.1978

$$[\alpha]_{\text{D}}^{20} = \frac{100 \alpha_{\text{D}}}{lc} = 45.5, l = 100 \text{ mm より}, c = \frac{100 \alpha_{\text{D}}}{100 \times 45.5} = 0.021978 \times \alpha_{\text{D}} (\text{g/mL})$$

したがって、100 mL 中のイソソルビド( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_4$ )の量(g) =  $\alpha_{\text{D}} \times 2.1978$

28.  $[\alpha]_{\text{D}}^{20} = \frac{100 \alpha_{\text{D}}}{lc} = 52.7, l = 100 \text{ mm より},$

$$c = \frac{100 \alpha_{\text{D}}}{100 \times 52.7} = 0.04004 (\text{g/mL}), \text{ブドウ糖注射液 } 10 \text{ mL を } 100 \text{ mL に } 10 \text{ 倍希釈している}$$

るので、ブドウ糖注射液の濃度は、

$$0.04004 \times 10 \times 1000 = 400 \text{ mg/mL} = 40.0 (\text{w/v}) \%$$

変旋光を平衡状態にさせ、安定した旋光度を得るためにアンモニア試薬を加える。

## 11 章

1. a. 誤り。 $^1\text{H}$  NMR スペクトル測定法が汎用される理由は次のとおりである。 $^1\text{H}$  の天然存在比がほぼ 100 % である； $^1\text{H}$  核の核スピンの 1/2 である；医薬品などの有機分子が  $^1\text{H}$  を豊富に含む。
- b. 核スピンの 1/2 の  $^1\text{H}$  核を例に説明する。 $^1\text{H}$  核を外部磁場のなかに置くと、二つのエネルギー状態をとる。この二つのエネルギー状態は、いわゆる基底状態と励起状態の関係としてとらえることができる。基底状態から励起状態への遷移は、ラジオ波の吸収により起こる。この現象が核磁気共鳴である。NMR スペクトル測定法により、このラジオ波の吸収に基づく遷移過程がスペクトルとしてみえる化される。

2.  $^{13}\text{C}$  核の共鳴振動数は

$$\nu = \frac{\gamma B_0}{2\pi} = \frac{6.7272 \times 10^7 \times 11.74}{2\pi} = 126 \times 10^6 = 126 \text{ MHz}$$

$^{19}\text{F}$  核の共鳴振動数は

$$\nu = \frac{\gamma B_0}{2\pi} = \frac{25.177 \times 10^7 \times 11.74}{2\pi} = 470 \times 10^6 = 470 \text{ MHz}$$

3. この場合、1 ppm = 300 Hz であるから、

$$J \text{ 値} = 300 \times (0.978 - 0.952) = 300 \times (0.952 - 0.926) = 7.8 \text{ Hz}$$

4. フッ素, 塩素, 臭素, ヨウ素原子の電気陰性度は、フッ素 > 塩素 > 臭素 > ヨウ素の順に小さ

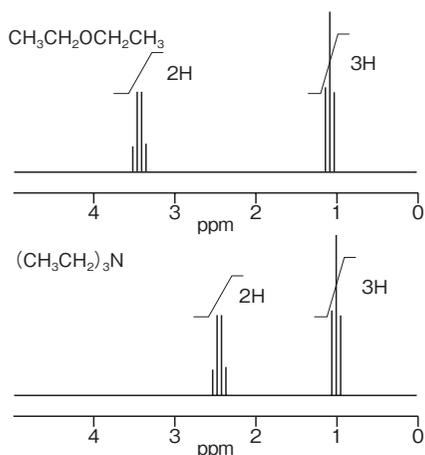
くなる。その結果、ハロゲン化エチル( $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{X}$ )におけるメチレンプロトンおよびメチルプロトンのケミカルシフトは、この電気陰性度の順に、低磁場シフトする。つまり、メチレンプロトンと比較しても、メチルプロトンと比較しても、フッ化エチルのプロトンのケミカルシフトが、より低磁場に観察される。なお、ハロゲン置換によるケミカルシフトの低磁場シフトの程度は、ハロゲン化されている炭素上のプロトン、つまり、メチレンプロトンにおいて大きく、メチルプロトンでは小さい。

5. 4-クロロニトロベンゼン  $\left( \begin{array}{c} \text{H}_b \quad \text{H}_a \\ \text{Cl} \quad \text{NO}_2 \\ \text{H}_b \quad \text{H}_a \end{array} \right)$  は、対称な分子である。したがって、ニトロ基からみて、オルト位の2個のプロトン( $\text{H}_a$ )およびメタ位の2個のプロトン( $\text{H}_b$ )は、それぞれ、磁氣的に等価である。その結果、4-クロロニトロベンゼンの $^1\text{H}$ NMRスペクトルでは、 $\text{H}_a$ と $\text{H}_b$ に対応する二つのピークが、面積比1:1で観察される。正解はbである。なお、与えられているスペクトルデータは、 $\text{H}_a$  8.13 ppm,  $\text{H}_b$  7.53 ppm と帰属できる。

6. フェニルエチルケトン  $\left( \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{C} \\ \text{f} \quad \text{e} \quad \text{d} \quad \text{c} \\ \text{g} \quad \text{e} \quad \text{e} \\ \text{CH}_2\text{CH}_3 \\ \text{b} \quad \text{a} \end{array} \right)$  は、その構造から $^{13}\text{C}$  NMRスペクトル上に7本のピークを示すと考えられる(そのうち、2本のピークは、磁氣的に等価な2炭素分に相当)。それらのピークの中で、カルボニル炭素(図中のc)のピークが特徴的である。ケトンのカルボニル炭素は、210 ppm 前後にピークを示す。このことを踏まえると、解答はbである。bのスペクトルデータは、1個のカルボニル炭素に由来するピーク1本、6個の芳香族炭素に由来するピークが4本、そして、エチル基炭素に由来するピーク2本を含み、フェニルエチルケトンの構造を支持している。

なお、aは  $\begin{array}{c} \text{OH} \\ | \\ \text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}-\text{CH}_2\text{CH}_3 \end{array}$  のスペクトルデータである。

7.



酸素に結合した炭素上のプロトンは3～4 ppm，窒素に結合した炭素上のプロトンは2～3 ppm にピークを示す．エチル基のメチルプロトンは，一般的に，1 ppm 前後である．また，エチル基のメチレンプロトンは四重線(quartet)として，メチルプロトンは三重線(triplet)として観察される．これらのことを踏まえて，スペクトルが記されていれば，正解である．なお，模範解答として上図に，それぞれのスペクトルを示す．

8. それぞれの化合物について， $^1\text{H}$  NMR スペクトルにおける特徴的なピークを用いれば，混合比が決定できる．解析に活用できるピークを，次に示す．

$\text{C}_6\text{H}_5\text{CHO}$  : 10 ppm 付近のアルデヒドプロトン．プロトン1個分に相当する．

$\text{C}_6\text{H}_5\text{COCH}_3$  : 2 ppm 付近のメチルプロトン．プロトン3個分に相当する．

混合物の $^1\text{H}$  NMR スペクトルにおいて，これらのピークの面積を比較すれば，混合比が求まる．たとえば，アルデヒドプロトンのピーク面積をA，メチルプロトンのピーク面積をB

とすると，混合比は $\frac{A}{1} : \frac{B}{3}$ となる．

9. 1.00 ppm に観察された三重線のそれぞれのケミカルシフトは，1.00 および  $1.00 \pm \frac{7}{300}$  と

なる．同様にほかの三重線についても，それぞれのピークのケミカルシフトを求めることができる．それらの値を表に示す．500 MHz で測定したとき，300 MHz の場合に比べて，分裂幅が小さくなり，ほかのピークとの分離度が高いことがわかる．なお，表中ではピーク強度を+で示している．

	1.00 ppm, $J = 7.0$ Hz, 三重線	0.98 ppm, $J = 8.0$ Hz, 三重線
300 MHz	1.023 ppm + + + + 1.000 ppm + + + + + + + + 0.977 ppm + + + + +	1.003 ppm + + + + 0.980 ppm + + + + + + + + 0.957 ppm + + + +
500 MHz	1.014 ppm + + + + 1.000 ppm + + + + + + + + 0.986 ppm + + + + +	1.001 ppm + + + + 0.980 ppm + + + + + + + + 0.950 ppm + + + +

## 12 章

### 1. a, e

#### a. 正

イオンの電荷( $z$ ), イオンの質量( $m$ ), イオンの速度( $v$ ), 磁場強度( $B$ )とすると, イオンは半径  $r = \frac{mv}{zB}$  の弧を描いて移動する. 質量電荷比( $m/z$ )が小さいほど半径も小さく, イオンの軌道は大きく曲げられる.

#### b. 誤

質量分析法は, 適当なイオン化法により, 気体, 液体, 固体試料のいずれも適用でき, 装置はイオン化部, 加速部, 質量分析部および検出部よりなる.

#### c. 誤

フラグメントイオンの生成過程における結合の開裂様式には, 単純なラジカル開裂(1個の電子の移動による開裂)およびイオン開裂(2個の電子の移動による開裂)のほかに転位(水素結合の移動と同時に起こる結合と開裂)を伴う場合がある.

#### d. 誤

電子イオン化法では, 気化した試料に熱電子流を照射すると, 分子中の電子がはじきだされて正の電荷をもった分子イオンとなる. 分光分析法ではないので, 電磁波は用いられない

#### e. 正

分解能  $R = M/\Delta M = 1000.0/(1000.1 - 1000.0) = 10000$  となる.

### 2. c, d

#### a. 誤

化学イオン化法は, イオン化した試薬ガス中に気化した試料を導入して開裂させるソフトイオン化法で, フラグメントイオンが非常に少なく分子量情報が得られやすいが, 気化させるのに熱を加えるため, タンパク質などの熱に不安定な生体高分子の測定には適さない.

#### b. 誤

高速原子衝撃法は, 固体や液体試料に用いられ, 難揮発性, 熱分解性化合物に対しても

再現性のよいスペクトルを与える.

c. 正

選択イオン検出法は, 化合物の分子イオンなど特定のイオンを選択して検出する方法で, GC-MS や LC-MS において高感度定量に用いられる.

d. 正

臭素 ( $^{79}\text{Br} : ^{81}\text{Br} = 1 : 1$ ) を 2 個含むので, 同位体のピーク強度比は,

$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$  となるので,  $M : M + 2 : M + 4 = 1 : 2 : 1$  である.

e. 誤

質量 10 のフラグメントは観測されないので,  $m/z$  114 は  $m/z$  124 の開裂によるフラグメントピークではない.

3. 同位体の存在比は,  $^{13}\text{C}$  (1.08%),  $^2\text{H}$  (0.016%),  $^{15}\text{N}$  (0.38%),  $^{17}\text{O}$  (0.04%) であり,  $\text{C}_w\text{H}_x\text{N}_y\text{O}_z$  の分子においては  $^2\text{H}$  や  $^{17}\text{O}$  の寄与が小さいので,  $M^+$  と  $M + 1$  のピーク強度比は, 近似的に  $P_{m+1}/P_m(\%) = 1.1w + 0.4y$  として求められる. したがって,  $\text{C}_4\text{H}_6\text{N}_2\text{O}$  では  $P_{m+1}/P_m(\%) = 1.1 \times 4 + 0.4 \times 2 = 5.2(\%)$ ,  $\text{C}_7\text{H}_{16}$  では  $P_{m+1}/P_m(\%) = 1.1 \times 7 = 7.7(\%)$  となり,  $\text{C}_7\text{H}_{16}$  のほうがピーク強度比は大きい.

4. 各化合物の精密質量数を表 12.2 から  $\text{C}$  (12.000),  $\text{H}$  (1.008),  $\text{N}$  (14.003),  $\text{O}$  (15.995) として求めると, a.  $\text{C}_7\text{H}_6\text{N}_2\text{O}_2 = 150.044$ , b.  $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O} = 150.081$ , c.  $\text{C}_8\text{H}_{12}\text{N}_3 = 150.105$ , d.  $\text{C}_9\text{H}_{14}\text{N}_2 = 150.118$ , e.  $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N} = 150.131$  であるので,  $m/z$  150.080 を示す化合物は b.  $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}$  である.

隣接した二つのピークの重なった部分の高さがピーク高さの 10% 以下であるとき, 両者を区別できる. d.  $\text{C}_9\text{H}_{14}\text{N}_2 = 150.118$ , e.  $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N} = 150.131$  では, 分解能  $R = M/\Delta M = 150.118/(150.131 - 150.118) = 11548$  であるので, およそ 12000 の分解能があれば両ピークを明瞭に区別できる.

## 13 章

1. a. 誤

$\beta$  線は電子により構成される粒子線である.

b. 誤

波長は, エネルギーの高い X 線のほうが紫外線より短い.

c. 正

2. a. 誤

原子核によって散乱されるのではなく, 電子の強制振動を介して散乱が起こる.

b. 正

X 線も可視光線も電磁波であるため, 真空中での伝搬速度は光速  $c$  に等しい.

c. 正

X 線は電子の強制振動を介して散乱されるため, 電子を多くもつ元素, つまり, 原子番

号の大きい元素による散乱は強くなる。

3. a. 誤

原子核ではなく、電子の強制振動。

b. 正

c. 誤

回折格子模様の強度でなく、回折格子模様自身から三次元構造を決定する。

4. a. 誤

特性 X 線を用いる。

b. 正

c. 誤

低温・低湿または高温・高湿のような特別な条件においても測定可能である。

5. 回折が起こるためには、 $0^\circ \leq 2\theta \leq 100^\circ$ 、つまり、 $0^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ の条件において、

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

を満たす必要がある。いま、 $d = 2 \times 10^{-10} \text{ m}$  および  $\lambda = 10^{-10} \text{ m}$  であるから、

$$2 \times 2 \times 10^{-10} \times \sin \theta = n \times 10^{-10}$$

これを解くと、 $\sin \theta = \frac{n}{4}$  となる。

$0^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$  であるから、 $0 \leq \sin \theta \leq 0.77$ 、つまり、 $0 \leq \frac{n}{4} \leq 0.77$

を  $n$  が満たせば、回折が起こる。

ただし、 $n$  は整数であるから、この条件を満たす  $n$  は、1, 2, 3 ( $\frac{n}{4}$  としては、0.25, 0.5, 0.75)

となる。したがって、測定範囲で、3本のピークが観察される。

## 14 章

1. a. 正

TG は、熱天秤により加熱したときの試料の質量変化を連続的に測定するものである。

b. 誤

TG は、医薬品中の付着水や結晶水の定量に用いることができる。

c. 正

DTA は、結晶などの固相 / 液相転移 (融解, 凝固) または多形転移などの相変化、熱分解または化学反応などに伴う発熱または吸熱の熱的挙動を観測する。

d. 誤

DTA は、医薬品の純度測定や結晶多形の確認に利用される。

e. 誤

DSC は、試料と基準物質との加熱あるいは冷却時における両物質間の熱量の入力差を

測定する。

2. a. 誤

有機化合物の熱分解温度を測定するには、熱質量測定法がよい。

b. 正

c. 誤

DTA は温度上昇に伴う温度差を直接測定するのに対して、DSC はこの温度差を打ち消すように補償ヒーターにより熱エネルギーを加えてその熱量を記録するものである。

d. 誤

熱分析法の熱中性体としては、 $\alpha$ -アルミナが最もよく用いられる。

e. 正

## 15章

1. 1. 分離係数

2. 分離度

3.  $\frac{t_{R2} - t_0}{t_{R1} - t_0}$

4.  $\frac{1.18(t_{R2} - t_{R1})}{W_{0.5h1} + W_{0.5h2}}$

5. 1.5

6.  $5.54 \left( \frac{t_R}{W_{0.5h}} \right)^2$

7. シンメトリー係数

8. リーディング

9. 7

10. 9

11. 5.2

12. 8900

13. 8900

14. 示差屈折

15. 紫外可視吸光

16. 蛍光(あるいは電気化学, 電気伝導度)

17. 吸着(あるいは分配)

18. 分配(あるいは吸着)

19. イオン交換

20. サイズ排除

21. イオン

22. 気体
  23. 液体(あるいは固体)
  24. 固体(あるいは液体)
  25. 熱
  26. 気化
  27. 熱伝導度
  28. 水素炎イオン化
2. 順相クロマトグラフィーでは、固定相として親水性シリカゲル、移動相としてクロロホルム、ヘキサンなどの有機溶媒が用いられる。親水性相互作用による分離であるため、極性の小さな溶質から溶出する。一方、逆相クロマトグラフィーでは、固定相として ODS 化シリカゲル、移動相として緩衝液とメタノールの混合溶媒が用いられる。疎水性相互作用による分離であるため、極性の大きな溶質から溶出する。
  3. キャピラリー電気泳動は、内径 100 $\mu\text{m}$  以下のガラスキャピラリーを用いる電気泳動である。キャピラリーゾーン電気泳動では、キャピラリー中に発生する電気浸透流を積極的に利用して、電気泳動と電気浸透流により分離を行う。また、動電クロマトグラフィーでは、電気泳動の方法論にクロマトグラフィーの分離メカニズムを組み合わせて、イオン性物質だけでなく電気的に中性な物質の分離も可能となった。また、キャピラリー電気泳動では、従来の電気泳動に比べ、高速分離が可能である。

## 16 章

1. a. 誤  
いずれも水と混じるため使用できない。
  - b. 誤  
弱酸性物質の抽出率を上げるためには、水溶液を酸性にして分子型の比率を高める。
  - c. 正
  - d. 正
  - e. 誤  
疎水結合を破壊すると考えられる。
2. a. 誤  
抗原と抗体の結合は可逆的である。
  - b. 誤  
低分子物質に対しても抗体は得られる。競合法により測定することができる。
  - c. 正  
分子量の大きなペプチドホルモンでは、抗原決定基と生理活性を発揮する部位が離れていることがある。その場合、抗原決定基をもつが活性部位を失った分解産物も分解されていないホルモンと同様に測定されてしまう。

- d. 誤  
抗体に標識する.
- e. 正
- f. 正.
3. a. 誤  
ミカエリス・メンテンの式である.
- b. 誤  
初速度が最大速度の 1/2 になるときの基質濃度である.
- c. 誤  
ミカエリス定数が小さいほど酵素の基質への親和性は大きい.
- d. 正
4. a. 正
- b. 誤  
速度分析法のほうが一試料当たりの分析時間を短縮できる.
- c. 誤  
一次反応が成立する条件下で酵素反応を行う.
- d. 誤  
20 ~ 37℃で行うことが多い.
5. a. 誤  
透過する X 線を検出する.
- b. 正
- c. 誤  
X 線 CT では、体軸に対する横断面以外の断面を直接撮影することはできない.
- d. 正
- e. 誤  
ガドリニウム Gdのキレート化合物が用いられる.
- f. 正
- g. 誤  
 $^{99m}\text{Tc}$ は $\beta^+$ 壊変を行わず、PET には用いられない.
- h. 誤  
可聴域よりも周波数の高い音波を照射する