

令和3年度一般選抜試験(前期)

理 科 (問 題)

注 意

- 1) 理科の問題冊子は全部で43ページあり、問題数は、物理4問、化学4問、生物4問である。白紙・余白の部分は計算・下書きに使用してよい。
- 2) 別に解答用紙が3枚ある。解答はすべてこの解答用紙の指定欄に記入すること。指定欄以外への記入はすべて無効である。
- 3) 解答用紙の所定欄に次のとおり受験番号を記入しなさい。氏名を記入してはならない。
 - ・一般選抜試験のみを志願する受験者は一般の欄に受験番号を記入する。
 - ・併用試験のみを志願する受験者は併用の欄に受験番号を記入する。
 - ・一般選抜試験と併用試験の両方を志願する受験者は一般と併用の両方の欄にそれぞれの受験番号を記入する。

なお、記入した受験番号が誤っている場合や無記入の場合は、当該科目の試験が無効となる。

また、※印の欄には何も記入してはならない。
- 4) 理科は物理・化学・生物のうち2科目を選択して解答すること。選択しない科目の解答用紙には(受験番号は忘れず記入の上)用紙全体に大きく×印をつけて、選択しなかったことがはっきりと分かるようにすること。
- 5) 3科目全部にわたって解答したもの、および解答用紙3枚のうち1枚に×印のないものは、理科の試験全部が無効となる。
- 6) 問題冊子は持ち帰ること。
- 7) 解答用紙は持ち出してはならない。
- 8) 試験終了時には、解答用紙を裏返して、下から順に物理、化学、生物の解答用紙を重ねて置くこと。解答用紙の回収後、監督者の指示に従い退出すること。

化 学 (前期)

[注意] 問題を解く際に、必要ならば、次の値を用いなさい。

原子量 H = 1.0, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, S = 32.1,

Na = 23.0, Cr = 52.0, Co = 58.9, Cu = 63.6, Ag = 107.9,

Au = 197.0

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

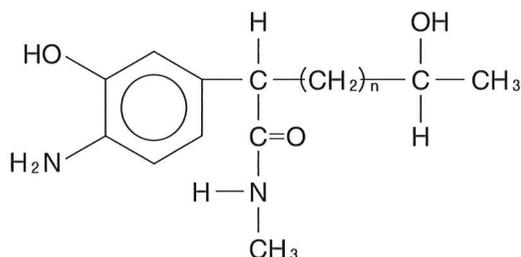
水のモル凝固点降下 $1.85 \text{ K}\cdot\text{kg}/\text{mol}$

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

$\sqrt{2} = 1.41, \sqrt{3} = 1.73, \sqrt{5} = 2.24, \log_{10} 2 = 0.301, \log_{10} 3 = 0.477$

選択肢で答える問題においては、同じ選択肢を何度使っても構わない。

また、有機化合物を構造式で解答する場合には、次の例を参考にしなさい。



I 次の文章を読み、問1～問5に答えなさい。

炭素と水素のみからなる化合物を一般に(ア)という。(ア)において、炭素間の結合に二重結合等の不飽和結合を含まない鎖式構造をしている一連の化合物を(イ)と総称している。(イ)の分子式は炭素数を n とした場合、一般式(ウ)で表すことができる。このように共通の一般式で表される化合物を(エ)体という。(イ)のうち、炭素数 n が4以下の化合物は常温・常圧(25℃, $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$)においては(オ)体として存在する。また炭素数 n が4以上の(イ)には構造異性体が存在する。

(イ)の1つにメタンがある。メタンは石油等とともにガス田で採集される他、近年、メタンハイドレートと呼ばれる状態で地球上に多く存在することが確認されている。メタンハイドレートはメタンが水分子に囲まれ、結晶のような状態で海底などの低温・高圧下で存在している。このメタンハイドレートは常温・常圧におくとメタンが気体として遊離するので、これに火をつけると炎を出して燃える。この様子から燃える氷として表現されることもある。メタンはそれ自身が燃料物質として都市ガスに利用されている他、燃料電池用の水素を発生させる材料としても利用されている。

問 1 文章中の(ア)～(オ)に入る最も適切な語句を以下から選び、その記号を解答欄(ア)～(オ)に書きなさい。

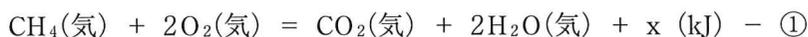
あ. アルカン	い. アルケン	う. アルキン
え. アルドン	お. アルゴン	か. 気
き. 液	く. 固	け. アモルファス
こ. 同素	さ. 同族	し. 同位
す. 炭水化物	せ. 炭化水素	そ. 炭酸
た. C_nH_n	ち. C_nH_{2n}	つ. C_nH_{2n+2}
て. C_nH_{2n-2}	と. $C_nH_{2n}O_n$	

問 2 下線部に関して、異性体には構造異性体の他に立体異性体が存在する。そして、立体異性体のうち鏡像異性体では、鏡像の関係にあるそれらの分子を重ね合わせるができない。このような鏡像異性体が存在しうる(イ)のうち、もっとも分子量の小さいものの分子量はいくらか。小数第一位まで求め、解答欄に答えなさい。

問 3 メタンハイドレートの固体 1.00 L から、メタン(気体)が温度 27.0 °C、 1.00×10^5 Pa の圧力で 162 L 得られた。その他には 8.10×10^2 g の水のみが残った。実験に用いたメタンハイドレートにおいて、含まれていたメタンに対する水の物質量の比を解答欄(i)に有効数字 3 桁で答えなさい。またこの実験に用いたメタンハイドレートの密度は固体状態では何 g/cm^3 であったか、その値を解答欄(ii)に有効数字 3 桁で答えなさい。

問 4 メタンは別のエネルギー物質である水素の製造にも利用されている。メタンの気体に水蒸気を反応させると一酸化炭素(気体)と水素(気体)が発生するが、生じた一酸化炭素はさらに水蒸気と反応して水素(気体)と二酸化炭素(気体)となる。

これら一連の反応を利用して 1 mol の水素(気体)を製造した際に発生する熱量は何 kJ か。以下の①式と②式を利用して求め、最も簡単な文字式で表しなさい。



問 5 燃料電池を用いると水素を利用して発電することができる。以下の燃料電池の概要を参考にして問に答えなさい。

「燃料電池の一方の極に燃料物質となる水素を入れ、反対側の極から酸素を通じると、電極が触媒となり水素から電子が遊離し、その電子は導線を通り反対側の極へと移動する。電子が遊離して生じた水素イオンは、電池内の電解質を通り反対側の極に移動し、導線から移動してきた電子と外部から供給された酸素分子とで化学反応が進み、結果として水が生じる。」

この燃料電池をエネルギー源としている自動車の燃料用水素ボンベ(容量 60.0 L)に、27 °C で水素を充填したところ、その圧力は 2.77×10^7 Pa であった。この状態の燃料電池から得られる電気量は最大何 C か。解答欄に有効数字 3 桁で答えなさい。

Ⅱ 以下の実験1と実験2についての文章を読み、問1～問7に答えなさい。

【実験1】

操作1：ビーカーに0.500 mol/L塩酸を2.00 L入れると、その温度は t Kであった。そこへ t Kの0.800 mol/L水酸化ナトリウム水溶液0.500 Lをよくかき混ぜながら加えた。その際の温度変化を記録したところ図1のようになった。

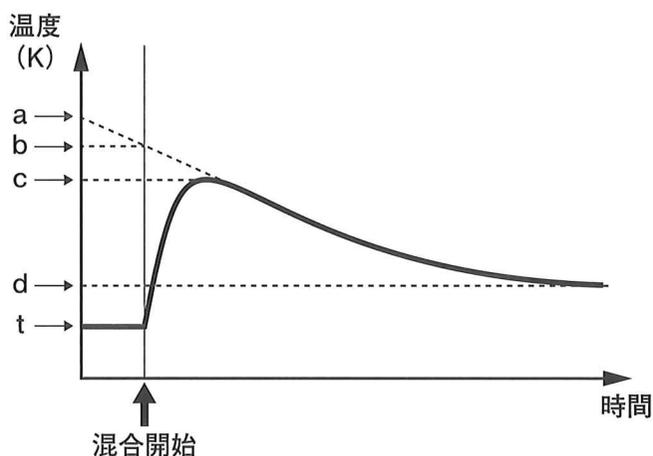


図1

操作2：操作1のあと、混合溶液の温度が再び t Kになったことを確認後、28.0 gの固体の水酸化ナトリウムを加えてよくかき混ぜたところ、溶液の温度が再び上昇した。

これらの実験において、生じた熱エネルギーは全て溶液の温度変化に利用されるものとし、溶液の混合や固体の溶解、その他の化学反応によって生じる体積の変化は無視するものとする。また、水やその他すべての溶液について、それらの溶液の密度を 1.00 g/cm^3 とし、溶液 1.00 g の液温を 1.00 K 上昇させるのに必要な熱量を 4.20 J とする。

問 1 操作 1 の結果から反応熱を見積もる際の温度変化量(ΔT)をグラフから求める場合、どの値が最も適切か。以下のア～キから 1 つ選び、解答欄に記号で答えなさい。ただし、t, a, b, c, d のそれぞれはグラフで示した各温度である。

- ア. a-t イ. b-t ウ. c-t エ. d-t
オ. a-d カ. b-d キ. c-d

問 2 操作 1 における反応に伴う温度変化量(ΔT)は 2.10 K であった。塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の中和熱は何 kJ/mol か、有効数字 3 桁で解答欄に答えなさい。

問 3 操作 2 において、溶液の温度変化の測定から Q kJ のエネルギーが発生したことが分かった。水酸化ナトリウムと塩酸の中和熱を x kJ/mol とすると、この操作で固体の水酸化ナトリウムが溶液に溶解することで生じた熱量は水酸化ナトリウム 1 mol あたり何 kJ か。最も簡単な文字式を用いて解答欄に答えなさい。ただし、文字式には小数は用いないこと。

【実験 2】

7 種類の金属イオン (Na^+ , Zn^{2+} , Ag^+ , Ba^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Fe^{3+}) を含む混合溶液を用意し、下の図 2 の手順に従い系統分析を行った。

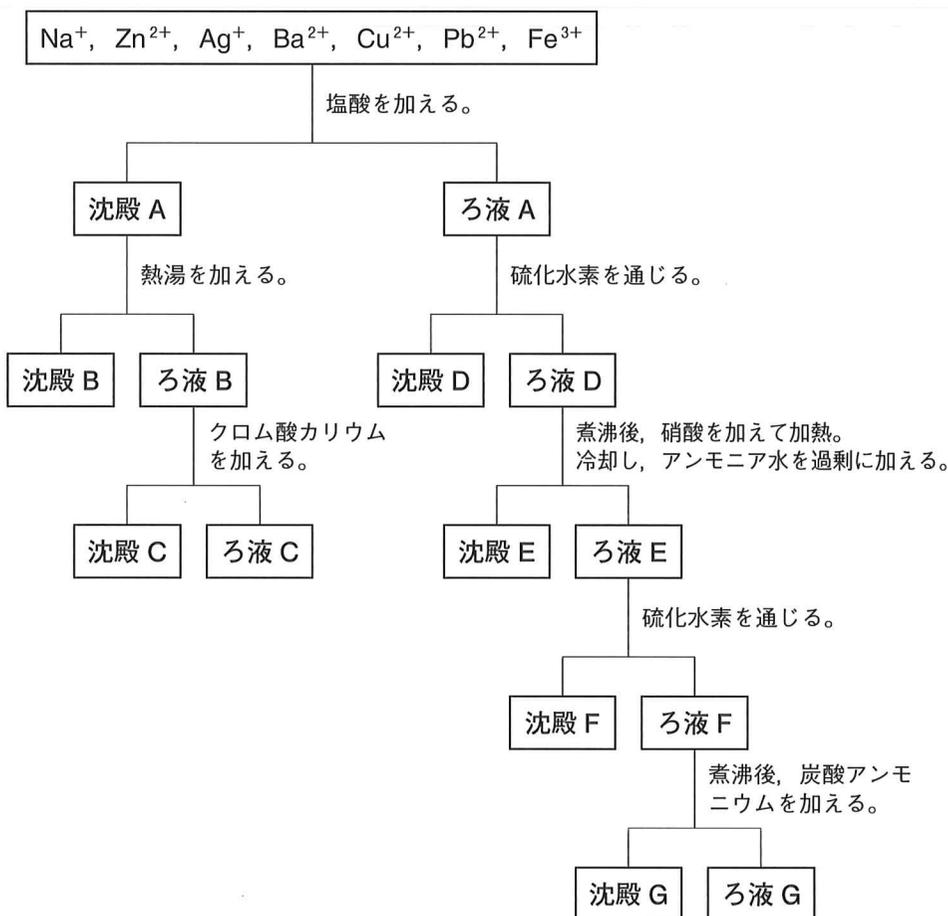


図 2

また、この系統分析で得られた沈殿や溶液を用いて、以下の 3 種類の分析を行った。

分析 1 : 沈殿 D に希硝酸を加えて加熱すると沈殿は無色の気体を発生して溶解、^①溶液には沈殿 D とは明らかに異なる淡い黄色の沈殿が生じた。

分析 2 : 分析 1 の反応後、沈殿を取り除いた溶液に水酸化ナトリウム水溶液を

加えていくと青白色の沈殿が生じた。そこへ過剰量のアンモニア水を加えてよく混ぜると、沈殿は全て溶けて溶液の色は深青色に変化した。

分析 3 : ろ液 G の少量を白金耳につけて、ガスバーナーの炎に入れたところ、発色が確認された。

問 4 沈殿 C, 沈殿 F, 沈殿 G の各化合物を化学式で表し, 解答欄(ア)~(ウ)にそれぞれ答えなさい。

問 5 下線部①を化学反応式で表し, 解答欄に答えなさい。

問 6 下線部②の溶液の色を呈する原因となっているイオンの名称を解答欄に答えなさい。

問 7 下線部③の発色は何色か。解答欄に答えなさい。

Ⅲ 天然のタンパク質を加水分解して得られたペプチドXに関する以下の実験1～7の記述を読み、問1～問6に答えなさい。

【実験1】 ペプチドXの元素分析を行ったところ、質量比でそれぞれ炭素59.4%、水素6.3%、酸素21.6%、窒素12.6%であった。(これらの分析値は、それぞれ小数点以下第2位を四捨五入している関係でそれらの合計は100%とならない。)

【実験2】 100gの水に、4.40gのペプチドXを溶解すると、凝固点が $3.70 \times 10^{-1} \text{K}$ 下がった。

【実験3】 ある機器分析により、ペプチドXは芳香族化合物であることがわかった。

【実験4】 中性の緩衝液を浸したろ紙の中央に、加水分解したペプチドXを滴下し、両端をそれぞれ直流電源の正極および負極に接続して電気泳動を行った。電気泳動の終了後、アミノ酸検出用の発色溶液を作用させたところ、中央付近にのみ発色が確認され、電源の正極側や負極側に大きく移動した成分は確認されなかった。

【実験5】 シリカゲルを充填したガラス管に、ペプチドXの加水分解物を流し込むと、シリカゲルへの吸着力などの違いで、ガラス管から出てくる時間の異なる2種類のアミノ酸が得られた。

【実験6】 【実験5】で得られた2種類のアミノ酸をアミノ酸A、アミノ酸Bとした。それぞれの溶液に偏光をあてて観察したところ、アミノ酸Aでは変化が見られなかったが、アミノ酸Bは偏光を回転させたので、アミノ酸Bには光に対する性質の異なる異性体が存在することが明らかとなった。

【実験7】 ペプチドXを H_2^{18}O を含む溶液中で加水分解したところ、 ^{18}O はアミノ酸Bにのみ確認された。

問1 【実験1】の結果から、このペプチドの組成式を答えなさい。

問2 【実験2】のデータをもとに、ペプチドXの分子量を求め、有効数字3桁で解答欄に答えなさい。

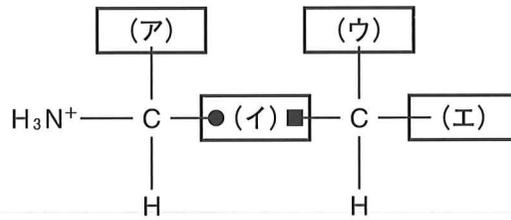
問3 【実験4】の下線部について、アミノ酸の発色に用いる溶液として最も適当なものを下表の行(i)から、それによる反応が陽性の場合には何色になるかを下表の行(ii)から、そしてその反応がペプチドのどのような構造によるものかを下表の行(iii)からそれぞれ選んで、解答欄に記号(ア)~(オ)で答えなさい。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(i)	フェーリング液	硝酸銀水溶液	ビウレット試薬	濃硝酸	ニンヒドリン溶液
(ii)	橙	黄	緑	紫	黒
(iii)	ヒドロキシ基	アミノ基	ペプチド結合	カルボキシ基	α -炭素

問4 【実験5】のような混合物の分離方法を何と言うか。

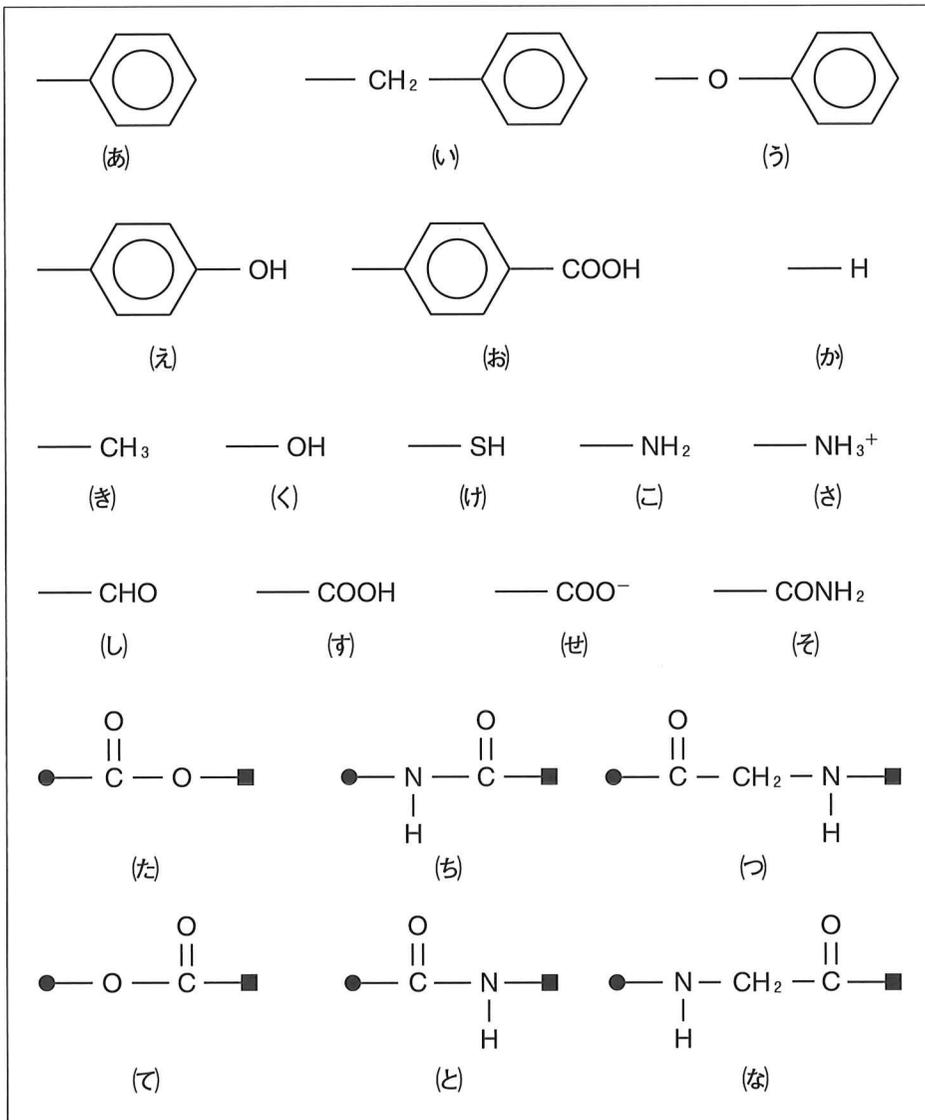
問5 【実験1】から【実験6】の結果を総合して、アミノ酸Aの名称を答えなさい。

問6 【実験1】から【実験7】の結果を総合して、ペプチドXの構造式を推定した。ペプチドXが中性の溶液中で最も多く存在する状態を表すように、次ページのペプチドXの構造式内の(ア)~(エ)にあてはまる原子や原子団を選択肢群より選び、解答欄(ア)~(エ)に書きなさい。ただし、(イ)には選択肢(た)~(な)から選ぶものとし、選択肢(た)~(な)の価標先端にある●および■は、それぞれ構造式の(イ)欄の●と■に対応しているものとする。



推定したペプチド X

■原子および原子団の選択肢■



IV 以下の実験1～実験3についての文章を読み、問1～問6に答えなさい。

【実験1】 塩化コバルト(Ⅱ)六水和物($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)を水に溶解すると、コバルトイオン(Co^{2+})は溶媒の水分子と錯体を形成し、ヘキサアクアコバルト(Ⅱ)イオン($[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$, 赤色)となる。さらに、このヘキサアクアコバルト(Ⅱ)イオンは、塩化物イオンの存在下ではテトラクロリドコバルト(Ⅱ)酸イオン($[\text{CoCl}_4]^{2-}$, 青色)の状態となる。そのため水に塩化コバルト(Ⅱ)六水和物を溶解した後、よくかき混ぜながら塩酸を加えていくと以下の式1の平衡が速やかに成立し、溶液の色が赤紫色になる。



また、エネルギー的には、この反応は以下の熱化学方程式で表される(ただし、 $Q > 0$)。

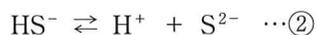
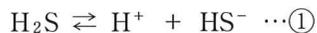


いま、式1の平衡状態にある赤紫色の溶液を試験管に取り、よく混ぜながら濃塩酸を少しずつ加えたところ、溶液の色が(A)に変化した。また、別の試験管に平衡状態の赤紫色の溶液を入れて密閉した後、 60°C の湯浴で加熱したところ、溶液の色は(B)になった。

問1 文章中の(A)と(B)に入る最も適切な溶液の色を次から選び解答欄に(ア)～(オ)の記号で答えなさい。

- | | | |
|---------|---------|--------|
| (ア) 薄桃色 | (イ) 赤紫色 | (ウ) 赤色 |
| (エ) 青色 | (オ) 黒紫色 | |

【実験2】 弱酸である硫化水素を水に溶かしたところ、次のような2段階の電離をした。



この時、第1段階の電離定数 K_1 は、

$$K_1 = \frac{[(\text{ア})][(\text{イ})]}{[(\text{ウ})]}$$

で求められる。同様にして、第2段階の電離定数 K_2 も求めることができる。

ある温度における K_1 , K_2 は、それぞれ $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$, $1.0 \times 10^{-14} \text{ mol/L}$ であるものとする。

問2 文章中の(ア)~(ウ)に入る最も適切な化学式を解答欄(ア)~(ウ)に答えなさい。

問3 0.10 mol/L の H_2S 水溶液の pH はいくらか。その値を解答欄に小数第一位まで答えなさい。

問4 Xa^{2+} , Xb^{2+} , Xc^{2+} で表される三種類の金属イオンがそれぞれ 0.10 mol/L ずつ含まれた水溶液に、pH を 2.0 に保ったまま H_2S を十分に通じた。その際に生じるすべての沈殿を化学式で解答欄に答えなさい。ただし、pH によらず水に溶解している H_2S の濃度は 0.10 mol/L で一定とし、 XaS , XbS , XcS の溶解度積は、それぞれ $2.5 \times 10^{-9} (\text{mol/L})^2$, $2.2 \times 10^{-18} (\text{mol/L})^2$, $6.5 \times 10^{-30} (\text{mol/L})^2$ とする。

【実験3】 濃度未知の塩化物イオン(Cl^-)を含む水溶液 A がある。この水溶液 A に含まれる塩化物イオンの濃度をモール法にならって測定した。まず 10.0 mL の水溶液 A をビーカーに入れ、これに 2.5×10^{-2} mol/L のクロム酸カリウム水溶液 10.0 mL を加えて、よく混合した。この混合溶液に 1.0×10^{-1} mol/L の硝酸銀水溶液を少しずつ滴下していくと、溶液は生じた塩化銀の沈殿により白濁した。さらに滴下を続けると、溶液に赤褐色のクロム酸銀が沈殿し始めたのでそこで硝酸銀水溶液の滴下をやめて終点とした。この時点までに滴下した硝酸銀水溶液は 5.0 mL であった。

これらの実験において、溶液の混合などによる温度変化はないものとする。またこの実験時の温度における塩化銀とクロム酸銀の溶解度積はそれぞれ 1.5×10^{-10} (mol/L)² と 9.0×10^{-12} (mol/L)³ とする。

問 5 モール法にならって求めた水溶液 A の塩化物イオンの濃度は何 mol/L か。

有効数字 2 桁で解答欄に答えなさい。

問 6 下線部において、赤褐色の沈殿が生じた時の溶液中の銀イオンの濃度は何 mol/L か。有効数字 2 桁で解答欄に答えなさい。

