

イオンの移動の可視化について

—イオン概念の形成に向けての一考察—

谷川直也・夏目純江

The Visibility of Ion Mobility: Looking towards the formation of ion concepts

Naoya TANIKAWA ・ Sumie NATSUME

Abstract

In 1998 junior high school curriculum guidelines reduced the study time for junior high school science study about ions. However, this reduction precipitated such a flood of criticisms that by 2008 curriculum guidelines had reinstated the study of ions. Points about particles such as the way the atom that carries the ion's electrical charge had become more difficult and it was said to be more difficult for students to comprehend. Accordingly, the author applied appropriate voltage between two points to show the composition of ion crystals that were colored positive and negative so students could actually observe ion movement and learn by experience.

Key words

Junior high school science, Ion, Colored ion, Agar gel, Electrophoresis, Microscale experiment

1. はじめに

(1) 中学校理科におけるイオンの学習

平成20年3月に新しい学習指導要領が告示された。2年間か3年間の移行期間を経て、小学校は平成23年度から、中学校・高等学校は平成24年度から、新しい教育課程が実施されている。

今回の学習指導要領の改訂において、中学校理科に平成10年の学習指導要領の改訂で削除されたイオンが復活した。イオンは、「粒子」の領域構成のなかで、中学校第3学年の「水溶液とイオン」, 「酸・アルカリとイオン」のなかで扱われている¹⁾。

中学校で本格的にイオン概念の導入が考えられるようになったのは、『中学校学習指導要領 昭和33年改訂版』に基づく教科書から後のことである。それは高校化学が物質の構成粒子として原子・分子・イオンがあることを前提にして教育が始まるようになったことに対応している²⁾。

三井³⁾はイオンの削除について、次のように述べている。

「現行(平成10年改訂)の「学習指導要領」が発表された段階で、中学校理科から「イオン」が無くなったことの批判が続出した。確かに、「イオン」が中学校から完全に無くなったのは今年度の学習指導要領からだが、それはイオン学習がだんだんと後退していった結果なのである。

昭和44年4月14日告示の「中学校学習指導要領」では、第1分野の2年で「(7)電流」を学

習し、3年の「(8) 物質と電気」では、水溶液の電導性などで「イオン」を導入したあと、「イオン反応」を中和反応だけでなく、沈殿反応も学習するようになっていたのである。

ところが、その後の昭和52年の改訂では、第1分野の2年で「(4) 電流」を学習するのは同じだが、3年の「(5) 物質とイオン」では、「電気分解とイオン」を学習したあと、イオン反応として学習するのは中和反応だけになってしまったのである。しかも、平成元年の改訂になると、3年の「(5) 化学変化とイオン」で出てくるイオン記号は、水素イオン・塩化物イオン・ナトリウムイオン・水酸化物イオンの4種類に限られ、中和反応が塩酸と水酸化ナトリウムの中和反応だけに限定されてしまうということになり、今度の改訂、つまり平成10年の改訂で、イオンが完全に無くなったというわけである。」

一色⁴⁾は、中学生にとっては、原子、分子という中性の粒子と電子という電荷を持った粒子に対するイメージは比較的容易に描くことができるようであるが、電荷という抽象的な概念と微視的粒子とを結びつけたイオンのイメージを描くことはむずかしいようであると述べている。

表1に、平成元年と平成20年の中学校学習指導要領におけるイオンの記載を示す。

表1 平成元年3月と平成20年3月の中学校学習指導要領のイオンの記載の比較

平成元年3月	平成20年3月
(5) 化学変化とイオン 化学変化についての観察、実験を通して、電気分解や中和反応について理解させるとともに、これらの事象をイオンのモデルと関連付けてみる見方や考え方を養う。 ア 電気分解とイオン (7) 水溶液に電流を流す実験を行い、水溶液には電流が流れるものと流れないものがあることを見いだすこと。 (4) 電気分解の実験を行い、電極に物質が生成することを見いだすとともに、この実験結果からイオンの存在を知ること。 (9) 電解質水溶液と2種類の金属を用いた実験を行い、電流が取り出せることを見いだすこと。 イ 酸・アルカリ・塩 (7) 酸とアルカリの性質を調べる実験を行い、酸とアルカリのそれぞれの特性が水素イオンと水酸化物イオンによることを知ること。 (4) 中和反応の実験を行い、酸とアルカリを混ぜると水と塩が生成することを見いだすこと (9) 中和反応の実験を行い、過不足なく反応する酸とアルカリの濃度と体積の間の関係を見いだすとともに、これをイオンと関連付けてとらえること。	(5) 化学変化とイオン 化学変化についての観察、実験を通して、水溶液の電気伝導性や中和反応について理解させるとともに、これらの事象・現象をイオンのモデルと関連付けてみる見方や考え方を養う。 ア 水溶液とイオン (7) 水溶液の電気伝導性 水溶液に電流を流す実験を行い、水溶液には電流が流れるものと流れないものがあることを見いだすこと。 (4) 原子の成り立ちとイオン 電気分解の実験を行い、電極に物質が生成することからイオンの存在を知ること。また、イオンの生成が原子の成り立ちに関係することを知ること。 (9) 化学変化と電池 電解質水溶液と2種類の金属などを用いた実験を行い、電流が取り出せることを見いだすとともに、化学エネルギーが電気エネルギーに変換されていることを知ること。 イ 酸・アルカリとイオン (7) 酸・アルカリ 酸とアルカリの性質を調べる実験を行い、酸とアルカリのそれぞれの特性が水素イオンと水酸化物イオンによることを知ること。 (4) 中和と塩 中和反応の実験を行い、酸とアルカリを混ぜると水と塩が生成することを理解すること。

平成元年と平成20年の学習指導要領を比較すると、イオンのモデルに関連付ける事象が電気分解、中和反応から水溶液の電気伝導性、中和反応に変更された。

水溶液の電気分解、イオンの移動、水溶液の電気伝導性は、同一の現象をそれぞれ別々の観点から記した用語である。その理由は次の通りである。

従来、水溶液の電気分解は電圧をかけると、イオンが反対符号の電極に移動し、電極で電子の授受を行うと説明されてきた。しかし、この説明は間違いであるという指摘⁵⁾が渡辺からあり、平成11年の高等学校学習指導要領の改訂により、高校化学の教科書に掲載される水溶液の電気分解の説明は改められた。

渡辺は、水溶液の電気分解は水溶液に電圧をかけると、①電子の授受の舞台となる電気二重層(H₂O分子3個分(1nm)の厚み)の形成、②電子の授受(水溶液の電気分解)、③電気分解が進んだとき、生じる電極付近のイオンの電荷のアンバランスを解消するためのイオンの移動、の3段階で進み、その結果、水溶液も含めた電流のループが閉じる(水溶液の電気伝導性)と説明

している⁶⁾。

平成元年の中学校学習指導要領の改訂で、イオンの学習は、電気分解をイオンのモデルで説明するところまで扱わないで、イオンの存在を知るところまで止め、軽減された。このことは、新学習指導要領においても継承されている。

筆者は、生徒が電荷を帯びた粒子であるイオンの存在を知るには、イオンの移動を観察するのが有効であると考ええる。

(2) イオンの移動の実験の問題点

① H^+ 、 OH^- の移動の実験の問題点

この実験の長所として、「色の変化が観察しやすい」、「短時間で移動する」という点があげられる。

短所として、「リトマス紙に塩酸 HCl や水酸化ナトリウム $NaOH$ 水溶液を滴下する際に、拡散によるにじみが生じる」、「水素イオン H^+ 、水酸化物イオン OH^- の片方のイオンの移動しか観察できない」という点があげられる。

「にじみが生じる」という点の改善策としては、ガラス管を加熱し、先端の細いガラス管を作成し、それを使って1回に滴下する薬品の量を少なくすることで対応した。すると、拡散が起こりにくくなり、イオンの移動が観察しやすくなった。

また、ろ紙を使った実験の短所は、20Vという高い電圧をかけるので短時間でろ紙がこげるといふ、危険がある。

本実験は、酸性、アルカリ性を示す正体を見つける実験として行われている。陸地の中には、多数のイオンからなる固体である岩石や土地が存在し、海洋の中には、多数のイオンが水和した状態で存在している。

はたして、酸性、アルカリ性の正体である H^+ 、 OH^- を見つける実験から、自然界の物質の構成粒子として多数存在するイオンの存在まで生徒の理解を広げることは難しいのではないかと考える。

② $CuCl_2$ 水溶液を用いた銅(II)イオン、塩化物イオンの移動の実験の問題点

この実験の長所として、「銅(II)イオン Cu^{2+} の移動を観察した後に硝酸銀 $AgNO_3$ 水溶液をかけることで塩化銀 $AgCl$ の白色固体を観察することができるため、塩化銅(II) $CuCl_2$ を構成する陽イオン Cu^{2+} と、陰イオン Cl^- がそれぞれ陰極、陽極へ移動したことが確認できる」という点があげられる。

短所として、「色が薄いため移動が観察しにくい」、「イオンの移動に時間がかかる」という点があげられる。

「色が薄い」という点に関しての改善策として、アンモニア水 NH_3aq を塩化銅(II) $CuCl_2$ 水溶液の上に霧吹きでかけ、テトラアンミン銅(II)イオン $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ にすることで深青色にし、観察しやすくした。

「イオンの移動に時間がかかる」という点に関しての改善策としては、塩化銅(II) $CuCl_2$ 水溶液を飽和水溶液にし、濃度を大きくして実験を行った。すると、5分で銅(II)イオンの青色が陰極側に2cm移動した。

③ 寒天ゲルを移動基盤とした H^+ 、 OH^- の移動の実験の問題点

この実験の長所として、寒天を利用するため、高電圧をかけても安全な点や短時間で色の変化を明確に見ることができる点があげられる。

短所として、「BTB 溶液の色の变化でイオンの移動を観察するため、リトマス紙の実験のときと同様に片方のイオンの観察しかすることができない」や、「電極部分のところで電気分解が起きた結果、色の变化が起きてしまうことがあり、生徒を混乱させる可能性がある」という点があげられる。

この実験は、寒天を移動基盤に用いたり、ストローを用いることでマイクロスケール化など長所も多いが、陽イオン、陰イオンのうち、一方のイオンの観察しかできないという点が問題である。

④ KMnO_4 を用いた MnO_4^- の移動の実験の問題点

過マンガン酸カリウム KMnO_4 を用いた過マンガン酸イオン MnO_4^- の移動実験がある。この実験では赤紫色の過マンガン酸イオン MnO_4^- の移動を生徒に見せることで実感を伴った理解をさせようというものであるが、もとの物質である過マンガン酸カリウム KMnO_4 も赤紫色であるため、過マンガン酸イオン MnO_4^- が移動したのではなく、過マンガン酸カリウム KMnO_4 が移動したとってしまう生徒がいると報告されている⁷⁾。

⑤ 寒天ゲルを移動基盤とした CuCrO_4 、 CoCrO_4 を用いたイオンの移動の実験の問題点

本実験の長所は、物質を構成する陽イオン、陰イオンの移動が共に観察できる点である。色についても、物質の色とイオンの色が異なるため、生徒はイオンが移動したことを実感を伴って理解することができる。

短所は、銅 Cu、クロム Cr、コバルト Co という重金属を用いていること、準備に時間がかかるといふ点があげられる。重金属は有害であること、廃液の処理が必要であることなどから、多量に使用することは避けたい。

①～⑤から、次の観点からイオンの移動の実験を再検討することが必要であると考えた。

(i) 物質を構成する粒子として、イオンの存在を知るにはイオン性物質を用いるのがよい。

(ii) イオン性物質の色と、それを構成する陽イオンと陰イオンの色が異なる実験系がよい。

これらの条件を満たす実験系として、寒天ゲルを移動基盤とした CuCrO_4 、 CoCrO_4 を用いたイオンの移動があげられる。

先行研究^{8) 9)}では、用いる試薬の量が多く、イオンの移動に時間がかかるという問題点がある。

そこで、実験の工夫として先行研究で用いられているプラスチック容器をストローに替えることでマイクロスケール化し、用いる試薬の量を減らすことを試みた。

以下に、マイクロスケール実験の長所について記す¹⁰⁾。

①試薬の節減、②実験廃棄物の少量化、③省資源・省エネルギー、④危険が少なく、事故が防止できる、⑤実験環境の改善、⑥実験時間の短縮、⑦経費の節減、⑧環境問題についての生徒の関心を深めることができる、⑨一人ひとりが積極的に実験に参加することができる、⑩薬品を少量しか使わないので、高価あるいは希少な試料を実験に使うことが可能、⑪小さいガラス器具は破損しにくい

(3) 目的

本研究は、イオン結晶(塩)の色とは異なる有色の陽イオンと陰イオンからなるクロム酸銅(II)やクロム酸コバルト(II)を用い、マイクロスケール化することで試薬の量も少量で済み、短時間で有色イオンの移動を観察できる教材を開発することを目的とする。

2. 実験内容・結果

(1) クロム酸銅 (II) CuCrO_4 を用いたイオンの移動

【実験内容】

1) 準備物

薬品 硫酸銅 (II) 五水和物 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 25 g, クロム酸カリウム K_2CrO_4 19.4 g
寒天 4 g, 硝酸カリウム KNO_3 2 g, 蒸留水

器具 ビーカー 2 個, ガラス棒, 電源装置, 目玉クリップ 2 個, 導線 2 本, ストロー, カッター, はさみ, ピンセット, 鉛筆 2 本 (燃やして黒鉛にする), ろ紙, 吸引ロート, ゴム栓, 吸引瓶, アスピレーター, ガスバーナー, マッチ, 三脚, 金網

2) 実験方法

- ① 1 mol/L 硫酸銅 (II) CuSO_4 水溶液 (100mL の蒸留水に硫酸銅 (II) 五水和物 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ を 25 g) と, 1 mol/L クロム酸カリウム K_2CrO_4 水溶液 (100mL の蒸留水にクロム酸カリウム K_2CrO_4 を 19.4 g) を調製し, 混合した。
- ② 吸引ろ過装置を組み立て, 褐色のクロム酸銅 (II) CuCrO_4 の沈殿を集め, 風乾させた。
- ③ 蒸留水 250mL に寒天 4 g, 硝酸カリウム KNO_3 2 g を加え加熱した。寒天がすべて溶解したら加熱をやめ, ストローをビーカーいっぱい詰めて, 固めた。
- ④ 寒天が固まったら, ストローの中央にカッターで切り込みを入れ, 風乾させたクロム酸銅 (II) CuCrO_4 を少量入れた。
- ⑤ 寒天の両端から炭素棒を差し込み電源装置につなげ, 20V の電圧を加え様子を観察した。

3) 結果

1 分後にクロム酸 (II) イオン CrO_4^{2-} の黄色の帯が陽極側に移動を開始し, 3 分後に 5 mm 移動した (図 1, 図 2)。また, 3 分後に銅 (II) イオン Cu^{2+} の青色の帯が陰極側に移動を開始し, 6 分後に 3 mm 移動した (図 1, 図 2)。

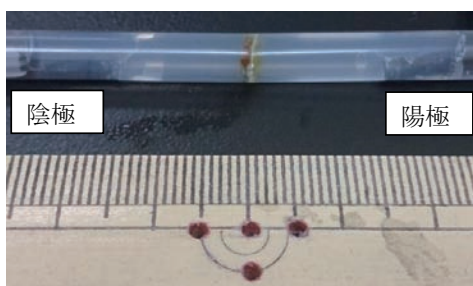


図 1 移動前

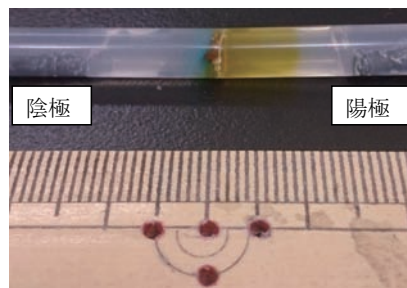


図 2 移動後

(2) クロム酸コバルト (II) CoCrO_4 を用いたイオンの移動

【実験内容】

1) 準備物

薬品 クロム酸ナトリウム Na_2CrO_4 2.3 g, 硝酸コバルト (II) 六水和物 $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 2.9 g, 炭酸ナトリウム Na_2CO_3 1 g, 寒天 4 g, 硝酸カリウム KNO_3 2 g, 蒸留水

器具 ビーカー 2 個, ガラス棒, 電源装置, 目玉クリップ 2 個, 導線 2 本, ストロー, カッター, はさみ, ピンセット, 鉛筆 2 本 (燃やして黒鉛にする), ろ紙, 吸引ロート,

ゴム栓, 吸引瓶, アスピレーター, ガスバーナー, 金網, 三脚

2) 実験方法

- ①クロム酸ナトリウム Na_2CrO_4 2.3 g を水10mL に溶かし, これに10%炭酸ナトリウム Na_2CO_3 水溶液 2 mL を加えた水溶液に硝酸コバルト (II) $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 2.9 g を水10 mL に溶かした水溶液を少しずつ加えた。
- ②吸引ろ過装置を組み立て, 暗褐色のクロム酸コバルト (II) CoCrO_4 の沈殿を集め, 風乾させた。
- ③蒸留水250mL に寒天 4 g, 硝酸カリウム KNO_3 2 g を加え加熱した。寒天がすべて溶解したら加熱をやめ, ストローをビーカーいっぱい詰めて, 固めた。
- ④寒天が固まったら, ストローの中央にカッターで切り込みを入れ, 風乾させたクロム酸コバルト (II) CoCrO_4 を少量入れた。
- ⑤寒天の両端から炭素棒を差し込み電源装置につなげ, 20V の電圧を加え様子を観察した。

3) 結果

1分後にクロム酸イオン CrO_4^{2-} の黄色の帯が陽極側に移動を開始し, 3分後に 5 mm 移動した (図3, 図4)。また, 3分後にコバルト (II) イオン Co^{2+} の青色の帯が陰極側に移動を開始し, 6分後に 4 mm 移動した (図3, 図4)。

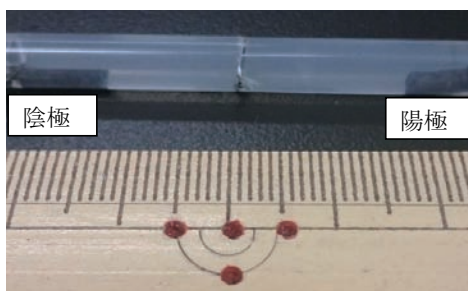


図3 移動前

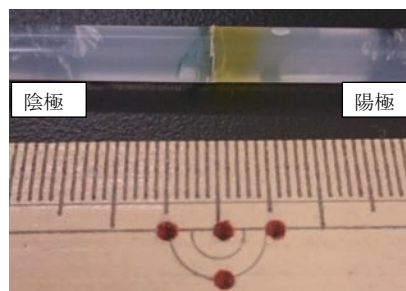


図4 移動後

3. 考察

(1) 提案したイオンの移動の実験に対する検討¹¹⁾

長所は, 物質を構成する有色の陽イオン, 有色の陰イオンの移動が共に短時間で観察できる点である。色についても, 物質の色とイオンの色が異なるため, 生徒はイオンが移動したことを実感を伴って理解することが期待できる。また, マイクロスケール化することで, 既に報告されている実験方法^{8) 9)}と比較すると試薬の量がおおよそ20分の1以下で済み, 環境問題について生徒の関心を深めることができる。

短所は, 準備に時間がかかるという点である。今後, 検討する余地はあるが, 一度に多くの寒天ゲルの移動基盤をつくるのが可能になるため, 生徒一人ひとりでできる個別実験にすることができるという長所もある。また, クロム酸銅 (II) CuCrO_4 や, クロム酸コバルト (II) CoCrO_4 は1回の実験に用いる量が少ないため, 残りは保管しておくことができる。

(2) イオンの移動速度について

本実験では, イオンの移動速度については, クロム酸イオン CrO_4^{2-} > 銅 (II) イオン Cu^{2+} ≒ コバルト (II) イオン Co^{2+} の結果が得られた。

イオンの輸率からイオンの当量伝導度が求まり, それからさらにイオンの移動度を知ることが

できる。イオンの移動度は、電場の強さが単位強さ（たとえば $1\text{ V}\cdot\text{cm}^{-1}$ ）のときのイオンの移動速度とみなすことができる¹²⁾。

表 2 に、イオンの移動度（間隔 1 cm に 1 V の電位差があるときに、イオンが動く平均速度）を示す¹³⁾。

表 2 イオンの移動度 [$\text{cm}^2\cdot\text{V}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 18°C]

陽イオン	移動度 u_0^+	陰イオン	移動度 u_0^-
H^+	32.6×10^{-4}	OH^-	17.7×10^{-4}
Li^+	3.4×10^{-4}	Cl^-	6.8×10^{-4}
Na^+	4.4×10^{-4}	NO_3^-	6.5×10^{-4}
K^+	6.6×10^{-4}	MnO_4^-	5.5×10^{-4}
Ba^{2+}	5.7×10^{-4}	SO_4^{2-}	7.1×10^{-4}
Cu^{2+}	4.7×10^{-4}	CrO_4^{2-}	7.4×10^{-4}
Co^{2+}	4.7×10^{-4}	PO_4^{3-}	4.9×10^{-4}

イオンの移動度について、喜多は次のように述べている¹⁴⁾。

「 Li^+ 、 Na^+ および K^+ の u_0^+ を比較すると、 $\text{Li}^+<\text{Na}^+<\text{K}^+$ の順序であってイオン自身の大きさから予想される順序と逆である。これはイオン自身の大きさが小さいほど、そのまわりの電場が強く、極性をもった水分子を強く配位して見かけ上大きなイオンとなって移動するからである。一般にイオンや分子が溶媒分子と相互作用を示し、溶媒分子数個と結合して1つの集団をつくる現象を溶媒和 (solvation) という。溶媒が水の場合は水和 (hydration) という。水和する水分子の数はイオンによって異なる。」

表 3 に、イオンの水和数を示す。

表 3 イオンの水和数

イオン	水和数	イオン	水和数	イオン	水和数
H^+	4	Mg^{2+}	9~13	F^-	5
Li^+	6	Ca^{2+}	8~10	Cl^-	3
Na^+	4	Ba^{2+}	6~8	Br^-	2
K^+	2.5	Zn^{2+}	11~13	I^-	0.5
Ag^+	3.5	Cu^{2+}	11~13	NO_3^-	2

喜多¹⁴⁾が述べているように、イオン半径が小さいイオンの方が水和しやすいため、見かけ上の大きさが大きくなりイオンの移動度が遅くなると考えられる。

表 2 より、銅 (II) イオン Cu^{2+} とコバルト (II) イオン Co^{2+} の移動度は、ともに 4.7×10^{-4} [$\text{cm}^2\cdot\text{V}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 18°C]、クロム酸イオン CrO_4^{2-} は 7.4×10^{-4} [$\text{cm}^2\cdot\text{V}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 18°C] であり、これは実験結果ともよく一致している。

イオン半径については、銅 (II) イオン Cu^{2+} の配位数6のイオン半径は $0.72\times 10^{-10}\text{ m}$ 、コバルト (II) イオン Co^{2+} の配位数6のイオン半径は $0.72\times 10^{-10}\text{ m}$ と同じであることがわかった¹⁵⁾。

このことより、ともに2価の陽イオンである銅 (II) イオン Cu^{2+} とコバルト (II) イオン Co^{2+} は水和イオンの大きさが同じであるため、移動度も同じであるといえる。

次に、銅 (II) イオン Cu^{2+} 、コバルト (II) イオン Co^{2+} とクロム酸イオン CrO_4^{2-} の移動度を比較してみた。

実験で用いた銅 (II) イオン Cu^{2+} のイオン式量は63.5、コバルト (II) イオン Co^{2+} のイオン式量は59、クロム酸イオン CrO_4^{2-} のイオン式量は116である。実験の結果から、銅 (II) イオン Cu^{2+} 、コバルト (II) イオン Co^{2+} よりもクロム酸イオン CrO_4^{2-} の方がイオン式量は大きく、

移動度も大きいことがわかる。この原因は、イオンの移動度はイオンの大きさに大きく関係していると仮定し、水和水を考慮したイオン半径が $\text{Cu}^{2+} = \text{Co}^{2+} > \text{CrO}_4^{2-}$ だとすると説明がつく。

しかし、クロム酸イオン CrO_4^{2-} のイオン半径は、文献では見つからなかったが、硫酸イオン SO_4^{2-} のイオン半径が $2.3 \times 10^{-10} \text{m}^{16)}$ であることから仮定しても、水和水を考慮した銅 (II) イオン Cu^{2+} 、コバルト (II) イオン Co^{2+} のイオン半径よりも大きいと予想される。つまり、イオン半径だけでは、クロム酸イオン CrO_4^{2-} の移動度が銅 (II) イオン Cu^{2+} 、コバルト (II) イオン Co^{2+} よりも大きくなることは説明できない。

イオンの移動度 μ を決める因子には、イオン半径以外にもあることが知られている。イオンの移動度 μ は次の式で表せる¹⁷⁾。

$$\mu = \frac{ze}{6\pi a\eta} \quad \begin{array}{ll} z : \text{イオンの価数,} & e : \text{プロトンの電荷 (1.60} \times 10^{-19} \text{ C)} \\ a : \text{イオン半径,} & \eta : \text{媒質の粘性係数} \end{array}$$

イオンが水溶液中を移動するときに生じる粘性抵抗¹⁸⁾ が、クロム酸イオン CrO_4^{2-} は銅 (II) イオン Cu^{2+} 、コバルト (II) イオン Co^{2+} より小さいことが考えられる。

本実験では、支持電解質として硝酸カリウム KNO_3 を用いた。硝酸カリウム KNO_3 を用いる利点は、液間電位をゼロにできるためである。液間電位は、主として陽イオンと陰イオンの移動速度が異なることから生じる¹⁹⁾。そのため、表 2 に記されているように移動度がほとんど同じ陽イオン、陰イオンから構成される硝酸カリウム KNO_3 が用いられることが多い。

4. 結論

本研究は、イオン結晶 (塩) の色とは異なる有色陽イオンと有色陰イオンからなるクロム酸銅 (II)、クロム酸コバルト (II) を用い、マイクロスケール化することで試薬の量も少量で済み、短時間で有色イオンの移動が観察することができるので、イオンの存在を知るのに有効であると考えられる。

5. おわりに

電解質水溶液中にイオンが独立に存在していることの証拠として、電気分解の現象を用いた説明には問題がある。なぜならば、電解質水溶液に電極を差し込んで電圧をかけたとき、イオンに分かれると考えてもよいからである。

このための直接の証拠としては、水溶液の沸点上昇、凝固点降下、浸透圧の現象における電解質の水溶液の異常性がある。

現在の中学校では、沸点上昇、凝固点降下、浸透圧が取り扱われていないので、水溶液の電気伝導性や電気分解の現象をイオンが独立に存在している証拠であるとしてもやむを得ないかもしれない。

鈴木²⁰⁾ は理科教育 (科学教育) におけるさまざまな科学概念の修得の場合、むりやり暗記して頭に入れた「知識」はなかなか本当の知識にはなりにくい。例えば、「イオン」という概念を身につける学習が中学で行われる。ふつうは「憶えさせられる」。電気分解などの実験で追認させることもあるが、はたして生徒はどれだけ理解できるであろうか。と述べ、そのようなとき、科学史 (化学史) を利用することを提唱している。

新学習指導要領においては、「粒子」の科学の基本的な見方や概念を柱として、小・中・高等

学校の内容の構造化が図られた。イオンの学習は小・中・高等学校の内容の系統性の中で教えていくべきであると考えられる。高橋ら²¹⁾は、「原子」「イオン」を物質の基本要素として学習することは、中学1年生という発達段階で可能であると考えたと述べている。

最後に、イオンの学習は、イオンが分かる学習ではなく、イオン概念を使って物質を学習するのだということを忘れてはならない。

謝辞

本研究を進めるにあたり、岐阜聖徳学園大学 藤澤里紗実習助手には実験を補助いただき大変お世話になりました。

本論文をまとめるにあたり、英文要旨について同大学教育学部の John Spiri 准教授にはご校閲を頂き、ここに感謝いたします。

引用文献

- 1) 中学校学習指導要領解説理科編 (平成20年9月), pp. 49-52, 文部科学省
- 2) 板倉聖宣編集代表『理科教育史資料 第5巻 理科教材史Ⅱ』, p. 582, 東京法令出版株式会社 (1987年)
- 3) 三井澄雄「中学校理科とイオン」, 『季刊・科学教育研究』第38号 (2003年7月発行)
- 4) 「新理科教育法」編集委員会編『新理科教育法』, pp. 64-65, 東京書籍 (1996年)
- 5) 渡辺 正「電気分解: 虚像と実像-電気化学(その2)」, 『化学と教育』44巻10号 (1996年)
- 6) 渡辺 正「電気化学のあやしいところ」, 『高校化学の教え方』, pp. 85-96, 丸善出版 (1997年)
- 7) 全国理科教育センター研究協議会編『身近な素材を生かした化学教材の研究』, pp. 92-95, 東洋館出版社 (1990年)
- 8) ハン ユンキュ・小嶋秀一・守口良毅「電気泳動を利用したイオンを視覚的にとらえるための教材開発」, 『福岡教育大学紀要』第43号, 第4分冊, pp. 501-507 (1994年)
- 9) 谷川直也「 CuCrO_4 を用いたイオン移動のデモ実験」, 『化学と教育』45巻10号 (1997年)
- 10) WhatisMCE <http://science.icu.ac.jp/MCE/Whatmsc.html>
- 11) 谷川直也, 夏目純江「イオンの移動の実験の工夫-イオン概念の形成をめざして-」, 一般社団法人日本理科教育学会第65回全国大会 論文集, p. 234
- 12) 杉原剛介・井上亨・秋貞英雄『改訂第3版 化学熱力学中心の基礎物理化学』, pp. 267-268, 学術図書出版社 (2011年)
- 13) 喜多英明・魚崎浩平『電気化学の基礎』, p. 22, 技報堂出版株式会社 (1995年)
- 14) 喜多英明『化学入門としての基礎物理化学』, pp. 215-216, 学術図書出版社
- 15) 福島隆・村田英昭『図解式 化学入門』, pp. 50-51, 評論社 (1974年)
- 16) <http://www.campus.ouj.ac.jp/~hamada/TextLib/kk/cha8/Text/Cs900802.html>
- 17) 杉原剛介・井上亨・秋貞英雄『改訂第3版 化学熱力学中心の基礎物理化学』, pp. 273-274, 学術図書出版社 (2011年)
- 18) 杉原剛介・井上亨・秋貞英雄『改訂第3版 化学熱力学中心の基礎物理化学』, p. 35, pp. 261-262, 学術図書出版社 (2011年)
- 19) 松原顕・瓜生正蔵・大塚隆『高校化学からの疑問に答える 化学 Study & Why?』, p. 120, 第一学習社 (1990年)
- 20) 鈴木善次『人間環境教育論』, pp. 162-163, 創元社 (1994年)
- 21) 高橋治ほか「中学校理科にイオンをどうとり入れるか-現教育課程におけるイオン学習の実践-」, 『理科教育学研究』Vol. 46 No. 3 2006. 3