

中学校理科「水溶液とイオン」単元における実験教材の開発と評価に関する研究

－有色イオンと高吸水性ポリマーを用いた電気泳動実験－

吉田 英男*・桐生 徹**
(令和3年8月30日受付；令和3年11月4日受理)

要 旨

イオンが帯電する粒子として存在することを確認する実験として電気泳動実験が行われてきた。中学校理科教科書に記載されている電気泳動実験を検証し、イオンの移動を明瞭に観察できる実験として有色のイオンと高吸水性ポリマーを用いた教材を開発した。その後、開発した教材を活用して授業実践を行い、その有効性を検討した。

その結果、イオンの移動を簡素な装置、簡易な操作で観察させることができ、イオンが電荷を帯びていることを体験的に実感させることができた。このことから、開発教材は、イオンの存在の理解に対して有効であることを明らかにした。

KEY WORDS

Junior high school science 中学校理科, ions イオン, colored ion 有色のイオン, super absorbent polymer 高吸水性ポリマー, electrophoresis experiment 電気泳動実験

1 はじめに

イオンの学習は、中学校で扱うには難解な内容だと指摘され、平成10年改訂学習指導要領において高等学校に移行された。移行後に国立教育政策研究所が行った平成17年度高等学校教育課程実施状況調査(2007)⁽¹⁾によると、「従前中学校で扱われ、高等学校化学Iに統合された内容を含む「原子、分子、イオン」、「酸・塩基、中和」、「酸化と還元」で、学習内容が十分身に付いていない状況がみられる。これらは、すべてイオンが関係する学習内容である」と報告された。また、イオンを学習しないことで粒子概念の系統性が失われること(菊地ら、2005)⁽²⁾や、生物など他科目にも影響が及ぶこと(青井ら、2004)⁽³⁾、さらには高校での選択科目によっては小・中・高を通して「イオン」を一度も学習せずに卒業してしまうこともありえること(村上、2004)⁽⁴⁾などが危惧された。そのため、イオンの学習時期が検討され平成20年改訂学習指導要領により再び、中学校に移行された。

中学校学習指導要領解説理科編(2008)⁽⁵⁾では塩化銅水溶液や塩酸を電気分解し、電極に物質が生成することから、イオンの存在に気付かせると示している。そこで、中学校理科教科書では5社すべてが電気分解実験を掲載し、生成物からイオンの存在を類推させている。しかし、電気分解実験からイオンの存在に気付かせるとは難しいと以前から指摘されている。菊地ら(2005)⁽⁶⁾は電気分解はイオンの学習というよりも電気化学(酸化還元反応)の学習であると述べ、析出した中性の物質を確認して荷電粒子であるイオンを証明しようとすることで誤解や混乱を生じる可能性があるとして述べている。渡辺(1996)⁽⁷⁾は、中学校や高校の教科書に記載されている電気分解のしくみに疑義を唱え、中学校ではイオンの存在の説明を電気分解以外で行ったほうがよいのではないかと提案している。檜田・森川(2003)⁽⁸⁾は中等教育で学ぶべきイオンの性質のひとつとして「電荷をもち、移動すること」を挙げているが、現行の教科書の多くがイオンの性質を電気分解から説明し、イオンの移動を直接観察させていないことを問題視している。

2 研究の目的

荷電粒子であるイオンの存在に気付かせるためには、電気分解実験だけでは不十分であり、イオンが移動していく事実を確認させることが重要だといえる。そこで、本研究ではイオンの移動を明瞭に観察できる実験教材を開発し、中学校「水溶液とイオン」の単元に導入し、イオンの存在の理解に有効であるかどうかを検証することを目的とする。そのために以下の調査を行う。

*岩手県立釜石高等学校 **学校教育学系

- 調査1 電気分解実験の実態調査
- 調査2 教材の開発
- 調査3 開発した教材を導入した授業実践

3 調査1 電気分解実験の実態調査

3.1 調査1の目的

中学校においてイオンの存在に気付かせるために導入されている電気分解実験の実態調査を行い、問題点を明らかにする。

3.2 調査対象, 調査時期

調査対象校には、40校余りの中学校から生徒が入学してくるため、中学校で行われているイオンの単元の学習について幅広く調査できる。また、中学校での学習内容が調査できるように、高校入学直後の授業で調査を行った。

- ・調査対象 岩手県公立高校1年生264名
- ・調査時期 平成26年4月

3.3 調査・分析方法

質問紙により、イオンの認知度、イオンの定義、イオンの存在の説明などを記述式で回答させた。記述された内容を分類・集計し、イオンの存在をどのように理解しているかについて分析した。

3.4 調査1の結果

【設問1：イオンの定義の理解に関する設問】

「イオンとはどのような性質をもった粒子か、説明して下さい」と質問した。その結果、「電気を帯びた粒子」などとイオンを荷電粒子として正しく捉えて記述した生徒が149名(56.4%)であった。また、「電子や陽子や中性子でできている粒子」などとイオンに非限定的な記述や、電離と混同した記述をした生徒が109名(41.3%)、無回答は6名(2.3%)であった。このことから高校入学時に約6割の生徒は定義を正しく回答できるが、約4割の生徒は正しく回答できないことがわかった。

【設問2：塩化銅水溶液の電気分解実験】

塩化銅水溶液の電気分解実験の実施状況について質問した結果を表1に示す。

表1 塩化銅水溶液の電気分解実験(N=264)

	人数(人)	割合(%)
① 自分たちで実験を行った	183	69.3
② 先生が演示実験を行い、それを見た	12	4.5
③ 実験をしていない	3	1.1
④ 実験をしたかどうか覚えていない	65	24.6
⑤ 無回答	1	0.4
合計	264	100.0

その結果、①自分たちで実験を行った生徒が183名(69.3%)、②演示実験で見た生徒が12名(4.5%)となり、約7割の生徒が中学校でこの実験を経験していることがわかった。

これら195名の生徒に対し「塩化銅水溶液の電気分解実験は、イオンが水溶液中に存在していることを確かめるために行う実験です。この実験からイオンがどうして水溶液中に存在しているといえるのか、説明してください」という質問をした。正答例を「銅や塩素が発生したということは、水溶液中で銅や塩素のもとが電荷を持ち、電圧を加えることで電極に引きつけられたから」として、「電荷+移動」の内容が含まれる記述を正答と分類した。それ以外の内容を誤答とし、カテゴリーに分類した。例えば「銅や塩素が発生したから」という記述を「生成」、「電流が流れたから」という記述を「通電現象」と分類した。「わかりません」や記入なしの記述は無回答群とし、表2に示すように合計3群11項目に分類した。この分類の妥当性を示すため、エリクソンら(1984)⁹⁾の基準で分析した。エリクソンらは2名以上の分析者の分析によって8割以上一致していればそれが正しい分析と認めることができるとしている。今回の分類について筆者と分析者3名の一致率は95%であり、分類は妥当であった。

分類の結果、正答群(A1)は22名(11.3%)のみであり、誤答群(A2)は124名(63.6%)であった。誤答群の記述を分析すると、イオンの移動についての記述が見られなかった。また、生成物しか書かない記述や通電現象など、実際に見える現象に着目している実態が明らかとなった。さらに電気分解実験とイオンの存在を関係を理解できない無回答群(A3)の生徒が49名(25.1%)いることがわかった。このことから塩化銅水溶液の電気分解実験が、イオンの存在の説明につながっていないことが示唆された。

表2 イオンの存在を説明する記述(N=195)

回答分類		回答例	人数(人)	割合(%)
正答群(A1)	電荷+移動	電流を流すことによって水溶液中のイオンが移動して気体が発生したり、炭素棒に銅が付着するから	22	11.3
	生成	銅や塩素が発生したから	49	25.1
誤答群(A2)	通電現象	電流が流れたから	23	11.8
	電気分解	電気分解をするから	5	2.6
	帯電・電解質	イオンは電気を帯びているため	3	1.5
	電離	電離したから	16	8.2
	反応・変化	どちらの極にも変化があったから	14	7.2
	説明不足・中途	電気を通して…	4	2.1
	誤った記述	塩化物イオンが電子をうけとって気体として発生	8	4.1
	その他	塩化銅水溶液の色がうすくなるから	2	1.0
無回答群(A3)	未理解・無回答	わかりません・記入無し	49	25.1
合計			195	100.0

【設問3:イオンの存在の説明と知識・理解の相関】

塩化銅水溶液の電気分解実験に関して「陽極、陰極にはどのような変化が生まれましたか」「陽極の表面に発生する気体のにおいをかぐとどのようなにおいがありましたか」など、知識・理解を測る質問を5つ出題し、各問1点で採点した。設問2で分類した正答群、誤答群、無回答群の3群に分け平均点を比較したところ、正答群(A1)は4.5点、誤答群(A2)は4.4点、無回答群(A3)は4.1点であった。各群において平均点の分散分析を行ったところ、群の効果に有意差はなく、群間には相関は得られなかった。このことから、塩化銅の電気分解実験から得られる知識・理解はどの群でも有しているにも関わらず、イオンの存在の説明につながっていないことが示唆された。

表3 イオンの存在の説明と知識・理解の相関(N=195)

	5点	4点	3点	2点	1点	0点	人数	合計点	平均点
正答群(A1)	15	4	3	0	0	0	22	100	4.5
誤答群(A2)	79	26	11	5	2	1	124	544	4.4
無回答群(A3)	22	16	4	6	1	0	49	199	4.1
合計	116	46	18	11	3	1	195	843	4.3

<分散分析>
 正答群(A1)、誤答群(A2)、無回答群(A3)の違いにより、知識・理解テストの得点に差があるかを比較した。分散分析を行った結果、3群の平均に有意差はなかった($F(2,192) = 2.43, p < .05$)。HSD法を用いた多重分析によると、正答群(A1)、誤答群(A2)、無回答群(A3)の各群間の平均点の差は有意ではなかった($MSe = 1.0192, *p < .05$)。
 A1 = A2 n.s. (HSD=0.5542)
 A1 = A3 n.s. (HSD=0.6148)
 A2 = A3 n.s. (HSD=0.4043)

3. 5 考察

中学校においてイオンの存在に気付かせるために行われている電気分解実験を理解してはいるが、イオンの存在の説明につながっていないことが明らかとなった。また、イオンの存在の説明ができない生徒は電気分解の生成反応に注目し、イオンの移動に気付いていないことが明らかとなった。よって、イオンの存在を正しく理解させるためには、イオンの移動を明瞭に観察でき、電気分解実験を補完する教材が必要であるといえる。

4 調査2 教材の開発

4.1 調査2の目的

教科書に表記されている電気泳動の実験を調査し、イオンの移動を明瞭に観察できる教材を開発する。

4.2 今まで行われてきた電気泳動実験の調査

荷電粒子であるイオンの存在を正しく理解させるためには、イオンの移動を観察させる実験が有効であり、従来から電気泳動実験が用いられてきた。沼口ら(2013)⁽¹⁰⁾は、この実験を「ろ紙法」「寒天法」「ポリマー法」の3つに分類している。そこで、この分類に従い、今まで行われてきた電気泳動実験を調査した。

4.2.1 ろ紙法

イオンを保持する担体にろ紙を用いた方法である。現行の教科書では、教育出版と啓林館の2社がイオンの存在の推定を検証するためにろ紙法による電気泳動実験を掲載している。この実験では、電解液を浸透させたろ紙上に塩化銅水溶液を滴下し、電圧を加えて銅イオンの移動を観察させている。小川ら(2011)⁽¹¹⁾は、教科書記載の実験ではイオンの移動を連続的に観察できないことを指摘し、銅イオンの移動を連続的に観察できる教材を開発した。しかし、ろ紙に浸透させる電解液の調製に手間がかかることや、イオンの移動距離が短く観察しにくいことが問題として挙げられる。

4.2.2 寒天法

イオンを保持する担体に寒天を用いた方法である。BTB溶液などの指示薬を添加した寒天溶液に酸や塩基を滴下したり、挟み込んだりし、寒天中のBTB溶液の色調変化から水素イオンや水酸化物イオンの移動を確認する方法である。電導性が低いためあらかじめ電解質を寒天に溶解させる必要がある。土田ら(2011)⁽¹²⁾はこの実験を改良し、色調変化が分かりやすいものを開発しているが、この方法ではイオンの移動を間接的にしか観察できない。加えて指示薬の変色の理解も必要となり、イオンが移動していることを直接実感させているとは言い難い。勝部ら(2014)⁽¹³⁾は寒天の代替として透明度の高いカラギナンゲルを使用し、指示薬を使わない実験を紹介しているが、寒天同様に電解質を添加した支持体をあらかじめ作成しておく必要があり、準備に時間がかかるのが難点である。

4.2.3 ポリマー法

イオンを保持する担体に高吸水性ポリマーを用いた方法である。適度な電導性を持つため、寒天法で添加が必要だった電解質が不要である。ただし、ポリマーの濃度により電気分解の影響を受けやすいことや電解質により液化することなどが知られている。三木(2007)⁽¹⁴⁾は高吸水性ポリマーを用いたマイクロスケールの実験を紹介しているが、電極付近での電気分解の影響で生徒に戸惑いが生じたと報告し、改善する必要があると述べている。

4.3 教材の開発

先行研究の調査から事前の準備が簡便であり、透明度の高い支持体を形成できるポリマー実験を本研究で用いることとした。開発に当たっては、吉田(2003)⁽¹⁵⁾を参考に、改良を行った。

4.3.1 改善点

ポリマー濃度の検討の様子を図1に示す。低濃度の場合、透明度は高いが粘度が低く電気分解の影響を受けやすい。しかし、高濃度にすれば電気分解の影響は受けにくいが見えづらくなる様子が見られた。本研究では、視認性が高く、かつ電気分解の影響を受けにくい濃度として、0.2%のものを用いた。

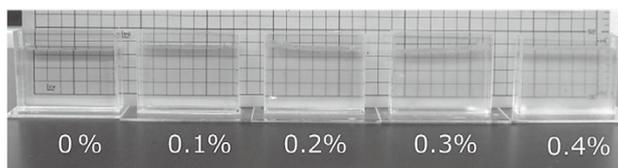


図1 ポリマー濃度の検討

また、生徒が実験しやすいように高吸水性ポリマーを反応容器内に入れて配付し、実験手順を簡素化した。このことによりポリマーの散逸を防ぐことができ、実験の再現性を高めた。

4.3.2 教材の作製

教材の作製に当たり、以下に示す機器や薬品等を用いた。

- ・アクリル反応容器（アクリル板を加工し自作） [縦1.5 cm, 横7.5 cm, 高さ6.0 cm] 1個

- ・電極指示板（発砲スチロール板を加工し自作）〔縦5.0 cm，横7.5 cm，厚さ0.5 cm〕 1枚
 ※有色イオン滴下用として，中心に約1.2 cmの穴をコルクボーラーで空ける
 ※電極挿入用として，中心から2.0 cmのところから約0.5 cmの穴を左右1カ所ずつ空ける
- ・炭素電極（30 cmの教材用炭素電極を切断）〔半径0.5 cm，長さ10 cm〕 2本
- ・高吸水性ポリマー（中村理科N100） 0.1 g
- ・006P型アルカリ乾電池（9 V） 2個
- ・積層電池用スナップ（分離型） 赤1本，黒1本
- ・リード線 赤1本，黒1本
- ・水（蒸留水または精製水） 50 mL
- ・過マンガン酸カリウム（1%） 1～2滴
- ・スポイト（有色イオン滴下用） 1本
- ・セロハンテープ（指示板固定用約5 cm） 2枚

4. 3. 3 開発した教材の概観

開発した教材の概観を図2に示す。

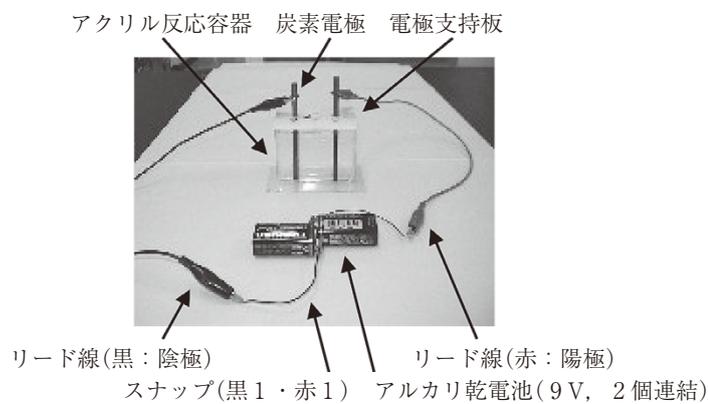


図2 開発教材の概観

4. 3. 4 実験手順

開発した教材を用いた実験手順を以下に示す。

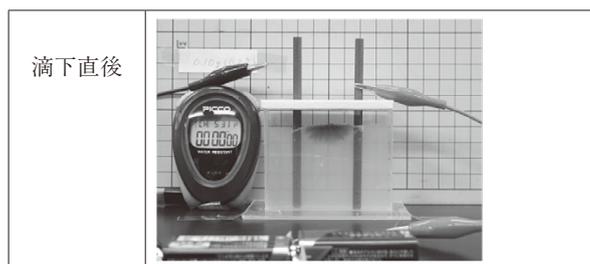
<手順>

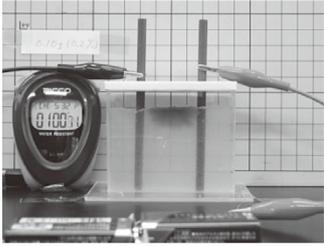
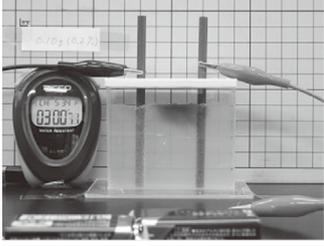
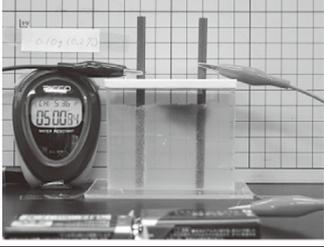
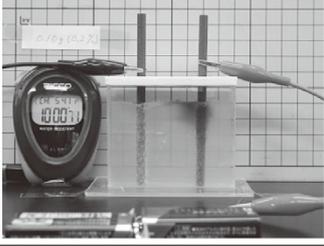
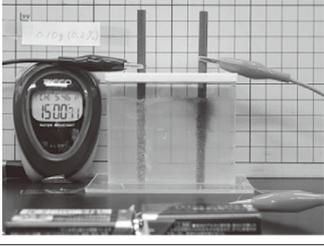
- ①高吸水性ポリマーを0.1 g入れたアクリル反応容器に，水50 mLを左右に振りながらまんべんなく入れる
- ②電極指示板をセロハンテープで固定する
- ③電極指示板に炭素電極を挿入する
- ④電極指示板中央から有色イオンを滴下する
- ⑤滴下直後の様子をプリントに記入する
- ⑥2個連結した006P型アルカリ乾電池と電極をリード線をつなぎ，電圧を加える
- ⑦計時し1分・3分・5分・10分・15分後の有色イオンの様子をプリントに記入する

4. 3. 5 開発教材を用いた実験の様子

開発教材を用いた実験の様子を表4に示す。表中の写真背景のマス目は1 cm四方である。

表4 開発教材を用いた実験の様子



1分後	
3分後	
5分後	
10分後	
15分後	

5 調査3 開発した教材を導入した授業実践

5. 1 調査3の目的

開発した教材による実験(以下ポリマー実験)を中学校「水溶液とイオン」の単元に導入し、実践を行うことでイオンの存在の理解に有効かどうか検証することを目的とする。

5. 2 授業実践の概要

- ・調査対象 新潟県公立中学校3年生37名
- ・授業者 調査対象校の理科教諭
- ・調査時期 平成26年10月～11月
- ・調査内容

分析1 実験プリントの記録からポリマー実験がイオンの移動を観察させるために有効かどうかを検証する

分析2 実験プリントの考察欄の記述を分析し、電気分解実験で塩素が陽極に発生することの説明にポリマー実験が有効かどうかを検証する

分析3 事後の質問紙調査からポリマー実験がイオンの存在の理解に有効かどうかを検証する

5. 3 単元展開

調査対象校で使用している学校図書理科3年の指導展開を基に、表5に示す単元展開案(6時間)を作成し、授業実践を行う。

第1時から第4時までは教科書に沿った授業を展開する。第4時までの電気分解実験で生徒は陽極に共通して塩素が発生することに気付いている。第5時に「塩素が陽極に発生する理由を、この実験から説明してみよう」という課題を設定し、開発したポリマー実験を導入する。実験に際しては、開発した教材を2人に1セット配付し、前章4.3.4に示した実験手順に従い実施する。

表5 開発教材を導入した単元展開

時	学習内容	実験
1	いろいろな水溶液について 電流が流れるかどうか調べる	水溶液の電導性
2	第1時の実験結果から、 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	
3	塩化銅水溶液の電気分解実験を行い、 電流が流れるときの電極に起こる変化を調べる	電気分解 (塩化銅水溶液)
4	塩化鉄水溶液・塩酸の電気分解実験を行い、 電流が流れるときの電極に起こる変化を調べる	電気分解 (塩化鉄水溶液 塩酸[演示])
5	塩化銅、塩化鉄、塩酸を電気分解すると 陽極から共通に塩素が発生することを ポリマー実験を用いて説明する	電気泳動実験 (※開発教材)
6	ポリマー実験質問紙調査 まとめ(イオンをモデルで説明)	

5. 4 結果と考察

5. 4. 1 分析1 ポリマー実験の有効性

第5時に行った開発教材を用いた実験で生徒が記載したプリントの一例を図3に示す。

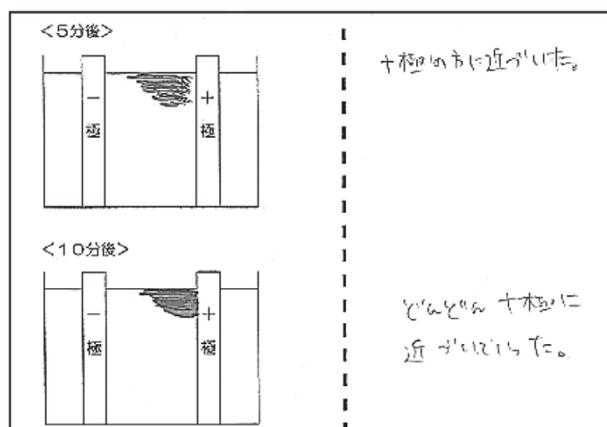


図3 実験プリント記載例

すべての生徒が図3のように実験プリントにイオンが移動していく様子を記載していた。また、実験プリントから有色イオンの移動の様子を時間ごとに分析した結果を表6に示す。有色イオンが移動している図を記録した人数は3

分後以降で有意に高くなった。このことから今回開発したポリマー実験は短時間でイオンの移動を観察できる教材であったことが明らかとなった。

表6 有色イオンの移動の様子(N=35)

	滴下直後	1分後	3分後	5分後	10分後	15分後
移動している図を記録した人数(人)	0	21	32	34	35	35
移動していない図を記録した人数(人)	35	14	3	1	0	0
直接確率計算 (両側検定)	** p=0.0000 (p<.01)	ns p=0.0000 (p<.01)	** p=0.0000 (p<.01)	** p=0.0000 (p<.01)	** p=0.0000 (p<.01)	** p=0.0000 (p<.01)

5. 4. 2 分析2 イオンの存在の説明

実験プリントで「塩素が陽極に発生する理由を、この実験から説明してみよう」と質問した。その記述内容を分析し、カテゴリーに分類した。例えば「塩素は-の電気をもっている」という記述を「電荷」,「+極にひきよせられる性質がある」という記述を「移動」,「記入なし」を「無回答」とし、合計3項目に分類した。

塩素が陽極に発生することを説明するためにはイオンが移動する様子を観察し、「塩素が水溶液中で-の電荷を持つ」ことに気付くことが重要である。そこで正答例は「塩素が-の電荷を持つこと」と定義し、正答群(B1)、誤答群(B2)に分類した。その結果を表7に示す。

表7 開発教材によるイオンの存在の説明(N=35)

回答分類		回答例	人数(人)	割合(%)
正答群 (B1)	電荷	塩素は-の電気をもっている	24	68.6
誤答群 (B2)	移動	+極に引きよせられる性質がある	6	17.1
	無回答	(記入なし)	5	14.3
合 計			35	100.0

正答群24名と誤答群11名で直接確率計算を行ったところ、その偶然確率はp=0.0410(両側検定)であり5%水準で正答群が有意に高かった。この結果から、生徒はポリマー実験を通し、塩素が陽極から発生する理由をイオンの帯電性と関連させて気付いたことが明らかとなった。

5. 4. 3 分析3 実験後の質問紙調査

表8に示す質問項目を用い、実験後に4件法による質問紙調査を行った。「とても感じた」「まあまあ感じた」、「役に立った」「まあまあ役に立った」の回答を肯定群、「あまり感じなかった」「ほとんど感じなかった」、「役に立たなかった」「ほとんど役に立たなかった」の回答を否定群とし集計した結果を表8に示す。

表8 実験後の質問紙調査(N=35)

質問内容	肯定群	否定群	直接確率計算 (両側検定)
「イオンが移動している」とどのくらい感じましたか	35	0	p=0.0000 ** (p<.01)
「塩化銅や塩酸の電気分解実験で塩素が陽極から発生する」ことを理解するための役に立ちましたか	35	0	p=0.0000 ** (p<.01)
「イオンは電気を持っている」とどのくらい感じましたか	30	5	p=0.0000 ** (p<.01)

肯定群と否定群で直接確率計算を行ったところ、すべての質問内容において5%水準で肯定群が有意に高かった。この結果から、ポリマー実験を導入することで、イオンの移動を実感したことや、塩素が共通して陽極から発生することを理解することに役立ったことがうかがえる。さらに、塩素が発生するという生成現象を正しく説明するためには移動した粒子は電荷を持つ必要があると生徒が捉え、イオンが電荷を持つことを実感したと考えることができる。

また、ポリマー実験に対する感想を質問紙に記入させたところ、「過マンガン酸カリウムはマイナスの電子をもっているから陽極に動いていったことが分かりました」「マイナスがプラスにひきよせられる性質があるのだとわかった」などイオンが電荷を帯びていることと移動を同時に捉えた記述がみられた。また、「どんどんよっていくのが見えるので分かりやすい」「いつもは見えてなかったけどこの実験でどう動いているか分かった」「色つきで、どんな風に移動するのかすごく見やすかった。高吸水性ポリマーはすごく面白かった」などの記述がみられ、今回開発した教材がイオンの移動を観察するのに適していることが示唆された。

6 まとめ

調査1より、中学校で行われているイオンの存在に気付かせる電気分解実験がイオンの存在の説明につながっているとはいえないことが明らかとなった。調査2より、先行研究を調査しイオンの存在に気付かせる教材として、有色イオンと高吸水性ポリマーを用いた電気泳動実験の教材を開発した。その開発教材を用いて中学校「水溶液とイオン」の単元に導入し調査3を行った。その結果、今回開発した教材を用いることでイオンの移動を明瞭に観察させることができた。その移動を観察し、電気分解実験で塩素が常に陽極から発生する理由を考察する過程の中で、生徒はイオンが電荷を帯びた粒子であることを正しく認識することができた。したがって本教材は荷電粒子であるイオンの存在に気付かせることに有効であることが明らかとなった。

7 今後の課題

高吸水性ポリマーの種類やイオンの種類など、開発教材の諸条件をさらに検討し、より導入しやすい教材に改良する。また、中学校「水溶液とイオン」の単元を通じた調査や、高等学校での調査を行い、イオンの学習と関連の深い酸・塩基、酸化還元分野などの理解度にどのような影響を及ぼしているのかについて明らかにしていきたいと考えている。

引用文献

- (1) 国立教育政策研究所：平成17年度高等学校教育課程実施状況調査，2007。
http://www.nier.go.jp/kaihatsu/katei_h17_h/
- (2) 菊地洋一ほか5名：イオン学習をどのように位置づけるか，理科教育学研究，46(1)，15-24，2005.
- (3) 青井千明ほか4名：生物の教育内容はイオンとどのような関係にあるか－現教育課程の高校生物におけるイオンのとり扱いと問題点－，日本理科教育学会全国大会要項，54，133，2004.
- (4) 村上祐：イオンをどこで，どのように教えるべきか，日本理科教育学会全国大会要項，54，124，2004.
- (5) 文部科学省：中学校学習指導要領解説理科編，大日本図書，2008.
- (6) 前掲書(2)
- (7) 渡辺正：電気分解：虚像と実像－電気分解(その2)，化学と教育，44(10)，656-659，1996.
- (8) 檜田豪利，森川鐵朗：電流とイオン流との間の「類推」の実験学習，化学と教育，51(9)，569-570，2003.
- (9) Ericsson, K. A and Simon, H. : Protocol analysis Verbal reports as data, MIT Press, 1984.
- (10) 沼口和彦，中山迅，中林健一：マイクロスケール化学実験による銅イオンの移動－寒天を用いる反応系の改良による有色イオンの観察－，理科教育学研究，54(1)，61-69，2013.
- (11) 小川千尋，島田雅人，南伸昌：イオンの学習における電気泳動の検討，宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要，34，57-64，2011.
- (12) 土田慎治，澤田諒太，中澤和馬：中学校理科における寒天を用いた電気分解実験の一工夫，岐阜大学教育学部教師教育研究，7，73-80，2011.
- (13) 勝部翔太郎，園山裕之，西山桂：中学校理科におけるイオン概念形成を目的とした電気泳動実験の導入とその教材開発，鳥根大学教育臨床総合研究，13，111-123，2014.
- (14) 三木康宏：マイクロスケール実験を活用した理科授業の実践－電気分解とイオンの移動を中心に－，研究集録，49(1)，57-73，大阪教育大学教育学部附属天王寺中学校，2007.
- (15) 吉田英男：高等学校理科総合Aにおいてイオンの存在の理解を深める実験教材の開発に関する研究，平成15年度長期研修生研究集録，171-180，岩手県立総合教育センター，2003.

Studies on the development and evaluation of teaching materials for science experiments using aqueous solution and ion in junior high school science:

An electrophoresis experiment using colored ion and super absorbent polymer

Hideo YOSHIDA* · Toru KIRYU**

ABSTRACT

An electrophoresis experiment was performed to show students how ions can be positively charged. We verified the experiment in the junior high school science textbook and developed new teaching material. We chose colored ions and super absorbent polymer for the experiment. We thought students could clearly observe the movement of ions during the experiment. We subsequently taught a lesson using our teaching materials and examined their efficacy.

The results revealed our success in observing the movement of ions using simple devices and operations, and the experiment made students understand that ions can be positively charged.

Thus, our teaching material proved effective for the comprehension of the existence of ions.