

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

－指示薬によらない電気泳動実験をとおして－

岩手県立宮古水産高等学校 教諭 吉田英男

I 研究目的

高等学校理科総合 A 「物質と人間生活」では、身の回りの物質は原子・分子・イオンから成り立ち、それらの粒子の結び付きの変化で物質の性質が変わることを理解させることをねらいの一つとしている。その中でイオンは化学の他分野とも深くかかわる重要な概念であり、イオンの存在を視覚的に理解させる実験として電気泳動を取り上げることが多い。

しかし、従来の電気泳動実験では、移動したイオンをリトマス液などの指示薬で確認する方法を用いているため、生徒にとっては新たに酸やアルカリの理解が必要となり、イオンの移動の向きや電荷の種類を確認するのに時間を要することが多く、理解の妨げになっている。

このような現状を改善するためには、イオンの移動を直接かつ簡単に観察し、存在を確認できる教材を用いて実験を行うことが必要だと考えられる。

そこで本研究は、イオンの存在の理解を深めさせるため、指示薬によらない電気泳動実験の教材を開発し、授業実践をとおしてその効果を明らかにし、理科総合 A 「物質と人間生活」の学習指導の改善に役立てようとするものである。

II 研究仮説

高等学校理科総合 A において、指示薬を用いずにイオンの移動を直接かつ簡単に観察できる電気泳動の実験教材を開発し授業に取り入れれば、イオンの移動の向きや電荷の種類が確認でき、イオンの存在について生徒は理解を深めることができるであろう。

III 研究の内容と方法

1 研究の内容

- (1) 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基本構想の立案
- (2) 基本構想に基づく実験教材の開発
- (3) 基本構想に基づく手だての試案の作成
- (4) 授業実践及び実践結果の分析と考察
- (5) 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のまとめ

2 研究の方法

- (1) 文献法 (2) 質問紙法 (3) テスト法 (4) 授業実践

3 授業実践の対象

岩手県立宮古水産高等学校 食物科1年 (男子1名 女子40名 計41名)

IV 研究結果の分析と考察

1 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基本構想

(1) 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ことについての基本的な考え方

高等学校学習指導要領の理科総合A「物質と人間生活」では、「身の回りの物質は原子、分子、イオンから成り立ち(以下略)」とあり、イオンは物質を構成している基本的な粒子であり、身近に存在していることを示している。また、イオンの学習については「典型的な例を選んで平易に扱い、それらの基本を理解させる」とあり、イオンがどのような粒子であるか、すなわち、イオンの存在を理解させることが重要であることを示している。

イオンとは、岩波理化学辞典第3版によると「電荷をもつ原子または原子団」と定義されている。また、その生成過程については「中性の原子または原子団が1個または数個の電子を失うか、あるいは過剰に電子を得て生ずるもの(以下略)」とされている。すなわち、負の電荷をもつ電子が出入りしたために、電氣的に中性な原子や原子団が正または負の電荷を帯びたものを「イオン」という。したがって、「原子」と「イオン」の違いは「電荷を帯びていない」か「電荷を帯びているか」の違いであるといえる。そこで、イオンの存在を理解させるためには、イオンが「電荷を帯びている」ということを実感させることが必要である。

ここでいう「実感」とは、茂庭(1999)の定義によるものである。茂庭は、実感を「情緒的な実感」「体験的な実感」「思考的な実感」の三つの類型に分けて定義し、教材に系統的に組み込む必要性を指摘している。特に抽象的な概念の理解を深めさせるには、情緒的な実感や体験的な実感から出発し、思考的な実感へつなげることが重要であると示している。したがって、イオンの存在という抽象的な概念を思考的に実感させるためには、体験的な実感を得させることがその前提条件になる。

そこで、イオンが「電荷を帯びている」ということを五感を用いて確かめさせる実験を行えば、イオンが「電荷を帯びている」ことを体験的な実感としてとらえられる。その体験的な実感とイオンの定義が結びつくことで思考的な実感が得られ、イオンの存在の理解が深まっていくものと考えられる。

(2) 指示薬によらない電気泳動実験を取り入れる意義

学習指導要領の改訂により、イオンの学習は中学校から高等学校「理科総合A」「化学I」へと移行され、平成15年度から年次進行により実施されている。そのため高等学校では、従来中学校で行われてきたイオンに関する実験を参考に、新たな学習活動を展開していく必要がある。

イオンが「電荷を帯びている」ことを確かめる手段として、電気泳動実験が多く用いられている。電気泳動とは電圧によって、イオンが移動していく現象であり、次のような原理で起こる。電圧を加えるとイオンは、同符号の電極との間に反発する力が生じ遠ざかろうとする。また、異符号の電極との間には引き合う力が生じ近づこうとする。その結果、陽イオンは陰極に、陰イオンは陽極に移動する。このように電気泳動実験を行うと、イオンの移動を観察することができ、イオンが「電荷を帯びている」ことを体験的に実感することができる。

しかし、イオンは非常に小さく、粒子をそのまま観察することは難しい。そのため、電気泳動実験ではイオンの移動を視覚的にとらえることができるように工夫されている。その工夫は指示薬を用いるか、用いないかで大きく二つに分けることができる。旧課程の中学校理科第一分野の教科書では、指示薬を用いた実験として、ろ紙または寒天上の水素イオン H^+ や水酸化物イオン OH^- の移動をリトマス紙やBTB溶液などの色の变化で確認させる実験を取り上げている。この実験では、イオンの移動を間接的にしか観察することができず、イオンが電荷を帯びていることを理解するまでに多くの考察が必要である。また、酸・塩基と指示薬の色の变化の知識が不可欠であるため、イオン以外の学習の理解が必要となっている。

指示薬を用いない電気泳動実験としては、有色のイオンを用いた酒井(1983)や相原(1984)など数多くの研究がある。その中には高電圧を必要としたり、装置が複雑であったり、イオンの色が薄く移動の確認がしにくかったり、イオンの移動の観察に長い時間を要したりと生徒の理解を妨げると考えられる要因が含まれているものもある。

そこで、イオンの移動をはっきりと確認させるためには、指示薬を用いずにイオンの移動を直接観察でき、かつ、上述のような生徒の理解を妨げる要因を取り除いた電気泳動実験の新たな教材が必要である。その教材を授業に取り入れれば、イオンの移動の観察が容易となり、イオンが電荷を帯びているということを体験的に実感させられると考えられる。

- (3) イオンの存在の理解を深める指示薬によらない電気泳動実験を取り入れた指導の進め方
イオンの存在の理解を深めさせるために、次の三つの実験を中心に指導する。

実験1 電解質水溶液の電導性を確かめる実験

実験2 有色イオンの存在を確かめる実験

実験3 指示薬によらない電気泳動実験（開発教材を用いた実験）

これら、三つの実験を取り入れた学習の流れは以下のとおりである。まず、イオンの学習の最初の授業で実験1を行う。その後、イオンの定義や生成過程を学習する。ここで、実験1で示唆した「電気を運ぶ粒子」がイオンであることに気付かせる。そして実験2を行い、有色イオンの存在を認識させた上で、実験3を行い、イオンに電圧を加えた時の変化を観察、考察させる。このように系統的に指導することにより、「イオンは電荷を帯びた原子である」という定義が体験的に実感でき、思想的な実感へとつながり、イオンの存在の理解が深まっていくものと考えられる。

- (4) 基本構想図

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基本構想図を次頁【図1】に示す。

2 基本構想に基づく実験教材の開発

- (1) 教材の開発

ア 教材を開発する基本方針

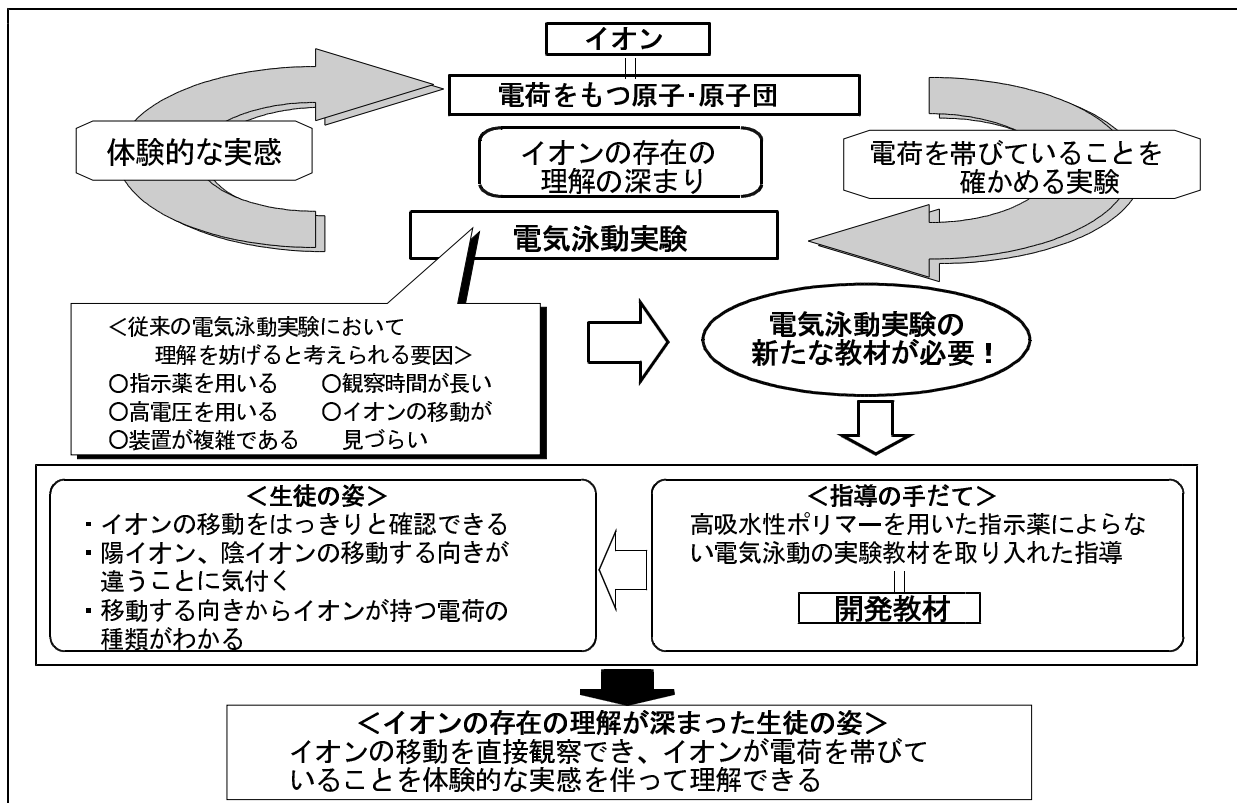
イオンの電気泳動実験の教材は黒木(1982)、廣橋(1986)などにより、使用するイオンや電圧などの様々な条件が検討され、開発されている。そこで本研究では基本構想に基づき、次頁【表1】に挙げたa～hの項目について検討し、その結果を用いて指示薬によらない電気泳動の実験教材を開発した。

イ 主な検討項目

- (ア) 使用するイオンについて（次頁【表1-a】）

① 陽イオンについて

電気泳動実験には有色の陽イオンとして青色の銅(II)イオン Cu^{2+} がよく用いられるが、そのまま



【図1】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基本構想図

は非常に色が薄く、イオンの移動の観察が困難なことが多い。そのため、銅(II)イオン Cu^{2+} にアンモニア水を加えて濃青色のテトラアンミン銅(II)イオン $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ を生成し移動を観察し易くした。

② 両イオンとも有色のイオン化合物

両イオンとも有色のイオン化合物には、谷川(1999)を参考にクロム酸銅(II) CuCrO_4 の結晶を調製し用いた。実験に用いる際には結晶を 2 mol/l の硫酸で完全に溶解し、その

後アンモニア水を加えて銅(II)イオン Cu^{2+} からテトラアンミン銅(II)イオン $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ を生成させて用いた。この操作により溶液中には濃青色のテトラアンミン銅(II)イオン $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ と黄色のクロム酸イオン CrO_4^{2-} という二つの有色イオンが混在し、見た目上は緑色の溶液になる。

(イ) イオンを保持する支持体について (【表1-c】)

有色イオンを用いた電気泳動実験の支持体としては、主にろ紙、寒天、液体などが用いられている。今回の開発教材では、有色イオン移動の確認のしやすさと泳動時間の短さを重視し、支持体には液体を用いることとし、諸条件を検討した。

【表1】開発教材で検討した項目

検討した項目	検討する際の留意点	検討した結果	備考
a 使用するイオン	○有色のイオンであること ○移動した際にイオンの色がはっきりわかること	陽イオン：テトラアンミン銅(II)イオン $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ <濃青色>	$\text{CuSO}_4 + \text{NH}_3$
		陰イオン：過マンガン酸イオン MnO_4^- <赤紫色>	KMnO_4
		両イオンとも有色のイオン化合物：クロム酸銅(II) CuCrO_4 <茶褐色>	$\text{CuSO}_4 + \text{K}_2\text{CrO}_4$
b 移動を確認する指示薬	○指示薬は用いないこと		
c イオンを保持する支持体	○泳動させるイオンと反応しないこと ○なるべく透明であること	高吸水性ポリマー(アクリル酸ナリウム重合体)	中村理科 N-100
d 電極	○形状や材質が特殊ではないこと	炭素電極	直径5mm、長さ10cm(2本)
e 電圧	○高電圧を用いず安全であること	18V	9V角形乾電池(2個)
f 電圧を加える時間	○約10~15分で移動が視認できること	0~15分間	0・1・3・5・10・15分後に観察
g 反応容器	○透明性が高く、移動が視認しやすいこと	アクリル反応容器	縦 1.5cm 横 7.5cm 高さ 6.0cm (自作)
h その他	○装置が簡単であり準備が容易であること ○安価であること ○使用するイオンについて、共通の操作で実験できること		

純粋な水を支持体とすると、電気泳動させるのに大きな電圧を必要とし、また、時間がかかる。そのため、多くの実験では水に微量の電解質を混ぜることが多い。しかし、電解質の濃度が大きいと電極付近での電気分解（金属が析出したり、気体が発生したりする）が激しくなり、有色イオンの移動が妨げられる。また、液体の流動性が高いと、有色イオンを含む試料溶液を滴下した際にすぐに拡散してしまい、電気泳動はほとんど観察できない状態になる。そのため、支持体として液体を用いる場合には適度な流動性と電気伝導性に調節する必要があることが分かった。

そこで、今回開発した教材では、流動性を調節するために「高吸水性ポリマー（アクリル酸ナトリウム重合体）」を用いた。高吸水性ポリマーは、高い吸水性、保水性を持った高分子化合物であり、液体をゲル状に固める目的で、紙おむつ、土壌保水剤などに使われている。また、水を吸収すると、分子の末端にあるカルボン酸ナトリウム基からナトリウムイオンが電離するため、適度な電気伝導性を持つ。今回の開発教材では、ポリマー濃度を検討し、固いゲル状にせず、支持体にかなりの流動性を持たせた。こうすることで、電解質を添加しなくともイオンの移動時間が短くなり、また、支持体の透明性も高いため、有色イオンの移動の観察が容易にできるようになった。

以上の検討の結果から、過マンガン酸イオン MnO_4^- の電気泳動の際には、高吸水性ポリマー0.05gに精製水50mlを加えた、0.10%高吸水性ポリマー支持体を用いた。また、テトラアンミン銅(II)イオン $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ と、クロム酸銅(II) CuCrO_4 溶液の電気泳動の際には、高吸水性ポリマー0.15gに2%アンモニア水50mlを加えた、0.30%高吸水性ポリマー支持体を用いて、テトラアンミン銅(II)イオン $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ が分解しないようにした。

(ウ) 電圧について（前頁【表1-e】）

前述のように支持体として高吸水性ポリマーを用いたことで適度な電気伝導性が生じ、低い電圧でも迅速な電気泳動が可能となった。開発教材には角形乾電池（9V）を二個連結し、18Vの電圧を用いた。また、電源装置を使わないため、装置が簡単となり、少人数での生徒実験が可能になった。

(2) 開発教材の概要

今回開発した教材の概要を次頁【図2】に示す。

(3) 開発教材を用いた実験

実験に用いた器具、試料溶液の調製、実験手順、電気泳動後の様子を次頁【表2】に示す。

3 基本構想に基づく手だての試案の作成

(1) 手だての試案の概要

ア 指導目標

開発した実験教材を授業に取り入れることにより、イオンの移動の向きや電荷の種類が確認でき、イオンの存在について理解を深めることができる。

イ 指導計画の位置付け

高等学校理科総合A「物質と人間生活」の学習の一部として行う。

(2) 指導の展開

ア 手だての試案の作成

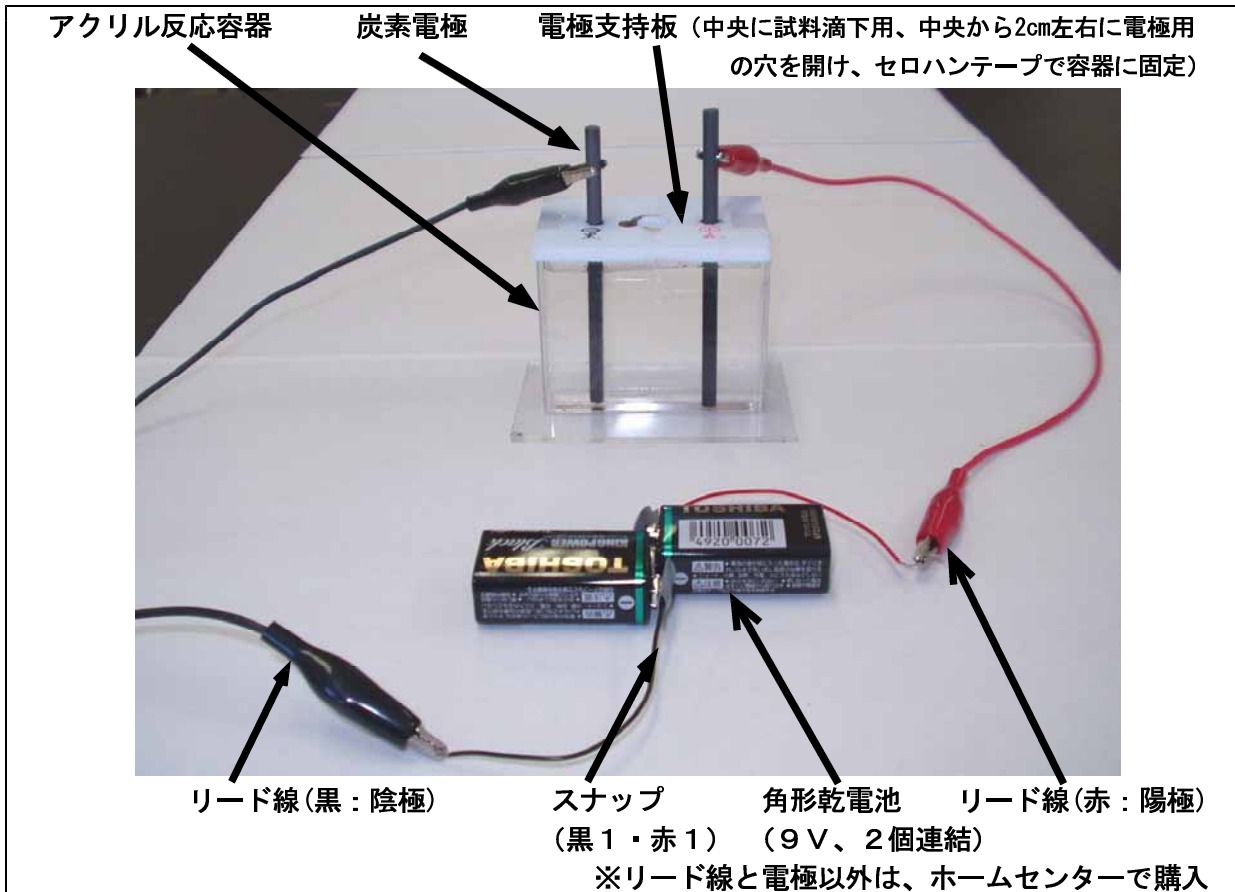
基本構想に基づく手だての試案を7頁【表3】に示す。

イ 実験資料の作成

基本構想に基づく手だての試案から、授業に用いる「実験プリント」「実験資料」を作成する。

(3) 検証計画

仮説の有効性を確かめる検証計画の概要を7頁【表4】に示す。



【図2】開発教材の概要

【表2】開発教材を用いた実験

＜実験器具＞

反応容器、炭素電極、電極支持板(発泡スチロール)、9V角形乾電池(2個)、洗浄びん、精製水、リード線(赤1、黒1)、スナップ(赤1、黒1)、高吸水性ポリマー、試料溶液(3種類)、ビーカー、2%アンモニア水

＜試料溶液の調製＞

- 陽イオン： CuSO_4 を約0.1g計り取り、精製水を少しずつ加えて溶解し飽和溶液とする。その後濃アンモニア水を少しずつ加え、濃青色の溶液となったら、さらに1ml程度加える。
- 陰イオン： KMnO_4 を約0.1g計り取り、10mlの精製水に溶解する。
- 両イオンとも有色のイオン化合物： CuCrO_4 を約0.1g計り取り、2mol/l硫酸を少しずつ

つ加え、完全に溶解する。その後、濃アンモニア水を少しずつ加え、緑色の溶液となったら、さらに1ml程度加える。

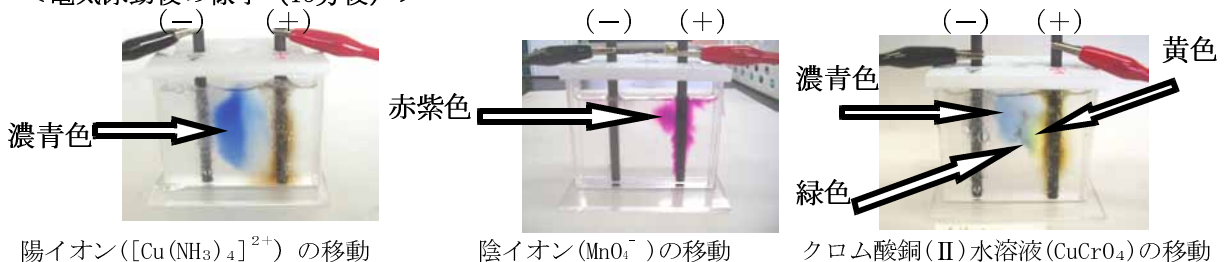
＜ CuCrO_4 の調製＞

- ①1mol/l CuSO_4 と1mol/l K_2CrO_4 を同体積混合する。
- ②生成した茶褐色の CuCrO_4 を自然乾燥させる。

＜実験手順＞

- ①高吸水性ポリマーを0.15g (MnO_4^- のときは0.05g)を計り取り、反応容器に入れる。(容器を軽く振り、ポリマーが一ヶ所に偏らないようにする)
- ②2%アンモニア水 (MnO_4^- のときは精製水)を50mlを計り取り、まんべんなく加える。(かき混ぜると気泡が入るので、かき混ぜない)
- ③電極支持板を反応容器に留める。
- ④炭素電極をセットする。
- ⑤電極にリード線をつなぐ。
- ⑥試料溶液(イオンを含む溶液)を電極支持板の中央の穴から2滴、滴下する。
- ⑦電池とスナップをつなぐ。
- ⑧電池と電極をつなぐ。
- ⑨時間を計りながら、イオンの移動を観察し、記録する。(通電前、1、3、5、10、15分後)

＜電気泳動後の様子(15分後)＞



【表3】基本構想に基づく手だての試案

時間	学習活動	指導上の留意点	主な器具・試薬
1 ・ 2	〔実験1〕 『いろいろな溶液に電気が通るか 通らないか調べよう』 ・身近にある様々な溶液の導電性を調べる	・身近な溶液に導電性があるかないかを調べさせ、電気を運ぶ粒子の存在を示唆する	身近な溶液(ジュース、食塩水など)、導電テスター(自作)、実験プリント
3	〔実験2〕 『イオンには色がある?』 ・イオン化合物を水に溶解し、その色を観察、記録する ・複数のイオン化合物を比較させ、有色イオンの存在に気付く	・電離式を提示する ・複数の水溶液の色を比較させる ・有色イオンの存在を理解させ、実験3への布石とする	イオン化合物 (NaCl、CuCl ₂ 、KMnO ₄ 、KCl、Na ₂ SO ₄ 、NiSO ₄)、薬さじ、試験管立て、試験管、実験プリント
4 ・ 5	〔実験3〕※開発教材を用いた実験 『イオンの存在を確認する実験』 ・実験装置を組立てる ・試料溶液を滴下し、移動を観察、記録する ・移動の向きから実験の考察をする	・イオンの移動を予想させる ・装置の組立て、電池との接続をとおして、+極、-極を意識させる	試料溶液、炭素電極、リード線、高吸水性ポリマー、反応容器、角形乾電池、実験プリント
6	〔実験のまとめ〕 ・実験の結果の確認をする ・イオンの持つ電荷と移動の関係について考察する	・試料溶液の色が移動したのはなぜか考えさせる ・実験と理論との関連付けを行い、イオンの存在が実感だけでなく、知識として定着することを図る	実験プリント

【表4】検証計画の概要

検証項目	検証内容	検証方法	処理・解釈の方法
イオンの存在の理解の状況	イオンが電荷を帯びていることを実験をとおして体験的に実感することができたか 開発教材を用いた実験をとおしてイオンの存在を理解することができたか	質問紙法 テスト法	実験プリント、事前・事後アンケートの記述内容を分析、考察する 事前・事後テストを行い、t検定を用いて分析、考察する
開発教材の有用感	開発した教材が、イオンが電荷を帯びていることを理解するのに役だったか	事後アンケートの感想文	事後アンケートの記述内容を分析、考察する

4 授業実践及び実践結果の分析と考察

(1) 授業実践の概要

ア 実施期間 平成15年8月25日～9月18日

イ 実施形態 実験については2人または4人の班を編成し実施した。

(2) 実践結果の分析と考察

ア イオンの存在の理解の状況

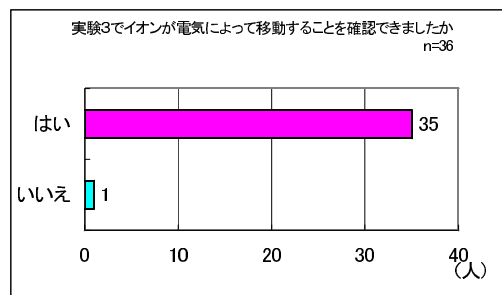
(ア) イオンの帯電性の実感

① 事後アンケートの回答

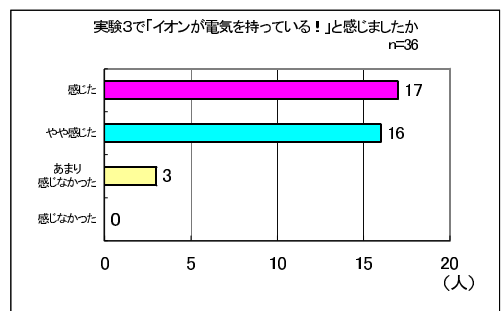
今回の開発教材でイオンが電荷を帯びていることを体験的に実感できたかどうかを事後アンケートで調査した。なお、調査対象の生徒は欠席者等の5名を除く36名である。

【図3】では、イオンの移動が確認できたかどうかを調査した。その結果35名(97.2%)の生徒が今回の開発教材を用いた実験で、イオンに電圧を加えると移動することを確認できたと答えた。

【図4】では、イオンが電荷をもっていると感じたかどうかを調査している。その結果、33名(91.7%)の



【図3】イオンの移動の確認

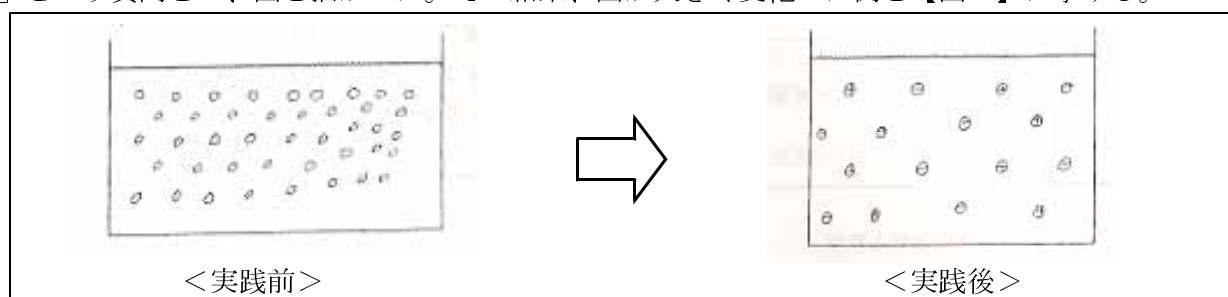


【図4】イオンの帯電性の実感

生徒が今回の教材を用いた実験で電荷を帯びていることを「感じた・やや感じた」と答えている。また、「感じなかった」と答えた生徒はいなかった。

② 事前、事後アンケートによるイメージ図の変容

今回の手だてを用いた授業実践の前後でイオンの存在のイメージがどのように変容するかを調査するため、事前、事後アンケートで、『水の中に「イオンが存在している」イメージを図に描いて下さい』という質問をし、図を描かせた。その結果、図が大きく変化した例を【図5】に挙げる。



【図5】イオンの存在のイメージの変容例

【図5】は、実践前にはイオンを「○」で表し、イオンが粒子であることを示しているものの、電荷を帯びたイメージは表されていない。それが、実践後では「○」の中に+、-の記号を書いており、イオンが電荷を帯びた粒子であることを明示している。また、+、-の記号の数も等しく、一つの溶液中では正電荷と負電荷の量が常に等しいことも正しく表されている。このことから、今回の手だてが「イオンが電荷を帯びている」ことを実感させることに効果があったと考えられる。しかし、学級全体を見ると、イオンを「○」で表す生徒が多く、+、-の記号を記した生徒は少なかった。この原因としては、設問中の「イメージ」という言葉の使い方が不適切で、設問の意図が生徒に十分伝わらなかったためではないかと考えられる。その他の原因としては、今回の手だてから得られた「イオンが電荷を帯びている」という体験的な実感を、思考的な実感へ結びつける手だてがさらに必要であったためではないかと考えられる。

以上のことから、開発教材を用いた実験がイオンが電荷を帯びていることを実感させるには効果があったが、その効果をよりの確にとらえる質問紙の工夫が必要であったと考えられる。

(イ) イオンの存在の理解の状況

イオンの存在の理解状況を調査するために、既習問題を含むテストを作成し、授業実践の前後で実施した。

【表5】は、テストの結果から得られた平均点、標準偏差、相関係数を用いてt検定で分析したものである。その際、項目ごとの理解の状況を調べるために設問を分けて分析した。また、学級内での理解の状況をより細かく調べるため、理科総合Aの第一期末考査の素点を基に、能力群を設けて分析した。なお、授業実践の過半数を欠席した生徒とテストの実施時に欠席した生徒5名は調査対象から除外している。

【表5】イオンの存在の理解状況

n=36

テスト項目		群	テスト	平均点	標準偏差	相関係数	t値	有意差
イオンの生成	全体	36人	事前	31.2	21.74	0.73	6.91	*
		事後	54.2	29.05				
	上位群	14人	事前	48.0	19.09	0.59	5.32	*
		事後	77.0	23.64				
	下位群	14人	事前	22.4	16.06	0.33	3.08	*
		事後	39.3	17.88				
イオンの電子配置	全体	36人	事前	16.2	29.14	0.13	4.46	*
		事後	52.3	42.00				
	上位群	14人	事前	32.1	40.01	0.53	3.74	*
		事後	71.4	38.36				
	下位群	14人	事前	4.8	10.19	0.13	2.81	*
		事後	35.7	39.69				
実験に関する問題	全体	36人	事前	16.2	13.98	0.41	8.68	*
		事後	48.1	23.21				
	上位群	14人	事前	22.5	16.65	0.28	5.39	*
		事後	54.4	18.71				
	下位群	14人	事前	11.0	9.40	0.42	4.84	*
		事後	43.4	26.58				

- (注) 1 事前テストは8月27日(水)、事後テストは9月17日(水)に実施した。
 2 テストは項目別に構成し、それぞれ100点満点に換算した。
 3 *印はt検定において有意水準5%で有意差があることを示している。
 4 上位、下位の群間8名と欠席者等5名は除いた。
 5 t検定に用いた公式は、次のとおりである。

$$t = \frac{\bar{X}_2 - \bar{X}_1}{\sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2 - 2rS_1S_2}{n-1}}}$$

\bar{X}_1, \bar{X}_2 : 事前、事後テストの平均点
 S_1, S_2 : 事前、事後テストの標準偏差
 r : 相関係数
 n : 人数

分析の結果、項目別、能力群別のすべてにおいて、有意水準5%による有意差が認められた。このことから、開発教材を用いた授業実践がイオンの存在の理解に有意であったと考えることができる。

イ 開発教材の有用感

開発した教材が、イオンが電荷を帯びていることを実感させるのに有用であったかどうかを調べるため、事後アンケートで実験の感想を自由記述で書かせた。調査対象者は欠席者等の5名を除く36名である。この中で特徴的なのは、36名中10名(27.8%)の生徒が『イオンは電気をもった粒子』『色のついた溶液が電気を通すと移動』『陰イオンは+の方に行くってこともわかった』など、イオンと電荷の関係について「電気」または「+」「-」という言葉を用いて記述していることである。また、22名(61.1%)の生徒が「電気」や「電荷」という言葉は記していないものの、『わかった』『理解できた』と記述している。このことは、開発教材を用いた実験で、イオンに電圧をかけると移動していくことが『わかった』『理解できた』と表現していると考えられる。さらに『自分もっていたイメージとちがうコトがわかった』『たくさんの実験をまぜてやることでイメージがはっきりしてきた』などイオンのイメージについての変化が表れた生徒もいた。また、『楽しかった』『面白かった』などの記述をしている生徒が36名中28名(77.8%)もおり、今回の開発教材を用いた実験が、生徒の興味や関心を高く引いたこともわかった。

以上のことから、今回の開発教材がイオンが電荷を帯びていることを理解させるのに有用であったと考えられる。

5 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のまとめ
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を開発し、活用した本研究での成果と課題は以下のとおりである。

(1) 成果

ア 高吸水性ポリマーを用いることにより、適度な電気伝導性を持った支持体を形成できた。このことにより、指示薬を用いずにイオンの移動が直接かつ簡単に観察できる電気泳動実験の教材を開発することができた。

イ 開発した教材を用いた実験により、電圧を加えるとイオンが移動することを直接観察させることができた。このことにより、イオンが帯電していることを体験的に実感させることができた。

ウ 開発した教材が生徒の興味や関心を高く引いた。このことにより、実験に意欲的に取り組ませることができた。

(2) 課題

ア 教材の開発において検討した項目を追加し、さらに検討し、教材を改良する。

イ 質問紙等の分析の結果から、生徒の理解が不十分であった設問について有効な手だてを検討する。

以上のことから、今回開発した高吸水性ポリマーを用いた、指示薬によらない電気泳動の実験教材は、イオンの移動を直接かつ簡単に観察させることができ、イオンが帯電していることを体験的に実感させることに有効であった。また、生徒の興味や関心を引き、実験に意欲的に取り組ませる効果があった。その結果、電気泳動実験の新たな教材を開発し授業に取り入れた本研究の手だての試案は、イオンの存在の理解を深めることに妥当であったと考えられる。

V 研究のまとめと今後の課題

1 研究のまとめ

本研究は、イオンの存在の理解を深めさせるため、指示薬によらない電気泳動実験の教材を開発し、授業実践をとおしてその効果を明らかにし、理科総合A「物質と人間生活」の学習指導の改善に役立てようとしたものである。

そのために、イオンの移動を直接かつ簡単に確認できる、高吸水性ポリマーを用いた指示薬によらない電気泳動実験の教材の開発に取り組むとともに、それを授業に生かす手だての試案を立案した。その後、開発した教材を活用して授業実践を行い、仮説の有効性を検討した。

教材の開発に際しては、特殊な装置などを用いずに、簡単な手順でイオンの移動がはっきり観察できることを大きな目標とし、なるべく市販の材料や器具を用い、どこでも、誰でも教材を作ることができるように配慮した。そのため教材に用いるイオン、反応容器、電極、電源、電圧など諸条件の検討に多くの時間を要した。しかも、条件を一つ変えると他の条件まで影響し、最適な条件を得るのに困難を極めた。様々な検討の結果、電気泳動の支持体に高吸水性ポリマーを用い、その濃度と溶媒を工夫することで、多くの問題を解決でき、今回の教材を開発することができた。しかし、教材の開発に時間がかかったことで、質問紙等の十分な検討ができなかったことは深く反省すべき点である。

開発教材を用いた授業実践では、イオンの移動を指示薬を用いずに直接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。また、その教材を用いた実験に、生徒は高い興味や関心を示した。このことから、本研究で開発した教材は理科総合A「物質と人間生活」においてイオンの存在の理解を深めさせることに有効であるという見通しを持つことができた。

2 今後の課題

開発した指示薬によらない電気泳動実験の教材の細部や実験条件に検討を加え、より活用しやすい教材へ改良していくとともに、開発した教材を効果的に活用するための授業の展開を工夫していく。

【主な参考文献等】

玉虫文一他, 「岩波理化学辞典第3版」, 岩波書店, 1971, p. 69

黒木正之, 「イオンの電気泳動について」, 秋田県教育センター研究紀要第13集, 1982

酒井邦春, 「半透膜・寒天を使ったイオンの移動実験」, 福井県教育研究所研究紀要第83号, 1983

相原茂夫, 「イオンの移動を視覚で観察する方法の研究」, 神奈川県立教育センター研究集録第2集, 1984

廣橋宗次, 「イオンの効果的な指導についての一考察」, 奈良県教育センター紀要, 1986

荻野一善, 長田義仁, 伏見隆夫, 山内愛造, 「ゲルソフトマテリアルの基礎と応用一」, 産業図書, 1991

佐々木克敬, 山内計一, 花屋馨, 「高吸水性ポリマーの教材への利用」, 化学と教育42巻第12号, 1994

茂庭隆彦, 「高等学校地学において地殻変動と郷土の生い立ちとの関係を実感させる地質教材の開発に関する研究」, 平成10年度岩手県教育研究発表会資料, 1999

谷川直也, 「寒天ゲルを用いた簡易な化学実験」, 東レ理科教育受賞作品集, 1999

渡辺正, 金村聖志, 益田秀樹, 渡辺正義, 「基礎化学コース電気化学」, 丸善, 2001

越坂直広, 「高吸水性ポリマーを利用した電気分解」, 北海道立理科教育センター研究紀要第14号, 2002

村松啓至, 「イオン電気泳動実験の再検討」, 全国理科教育センター研究発表集録, 2002