

マイクロスケール実験の手法を用いた理科実験教材の開発

—より多くの生徒が実験できるように—

教科研究センター 理科教育課

南拓実

理科教育において、生徒の理科で形成すべき資質・能力を育成するために、「観察・実験」や「探究活動」は重要である。今回、マイクロスケール実験の手法を用いて三つの実験教材を開発・改良した。また、開発した教材を使用して授業実践を行った。これらの教材の普及を目指して、ここでは取組みおよび研究の成果について報告する。

〈キーワード〉マイクロスケール実験 ダニエル電池 金属イオンの定性分析 ザルツマン法

I はじめに

理科教育において、資質・能力を育成するために「観察・実験」や「探究活動」は重要である。しかし、実際に授業で実験を行う場合は、事前の準備や後始末に時間がかかったり、多量の実験廃液が生じたりすることで教員の負担が大きくなることがある。また、授業時間内に実験が終わらず、考察の時間が確保できないという課題もある。

近年、マイクロスケール実験に関する研究が盛んに行われ、普及も進んでいる。数多くの論文が発表されており、「マイクロスケール実験によるダニエル電池の教材開発と探究的授業デザインの構築」や「授業実践等によるマイクロスケール実験の有用性の検討」では、マイクロスケール実験を授業にとり入れた実践が紹介されている。また、中学校学習指導要領解説理科編（平成29年告示）には「マイクロスケールの実験」、高等学校学習指導要領解説理科編理数編（平成30年告示）では「マイクロスケール実験」という記述が見られる。マイクロスケール実験のメリットとしては、「実験廃液の少量化」「試薬の節減」「安全性の向上」などが挙げられる。また、実験器具を工夫することで、「実験操作の簡略化」「実験時間の短縮」につながる。

本稿では、現場の教員の負担を減らし、より多くの生徒が実験できるように、マイクロスケール実験の手法を用いて開発した教材について紹介する。

II 研究目的

マイクロスケール実験の手法を用いた理科実験教材の開発

III 研究方法

(1) 教材開発

ダニエル電池、金属のイオンの定性分析、ザルツマン法の3つの実験について教材開発を行う。

(2) 教材を使用した授業実践

ダニエル電池の教材に関しては、研究協力校である森田中学校、丸岡南中学校にて実践を行う。金属イオンの定性分析の教材に関しては、同じく研究協力校である丸岡高校、勝山高校にて実践を行う。ザルツマン法に関しては、本研究所で行う第2回わくわく！アドバンス実験講座にて実践を行う。

IV 教材開発および実践

1 ダニエル電池の実験

ダニエル電池の実験は、今年度から中学校理科で扱われるようになった内容である。ダニエル電池は従来のボルタ電池を改良した電池として教科書の中で取り上げられている。電解質溶液として、硫酸亜鉛水溶液と硫酸銅水溶液を使用し、この2種類の水溶液を区切るためにセロハンや素焼き板を使用する。ボルタ電池の実験では亜鉛の表

面から水素が発生したり、放電した後に電圧が急激に低下したりするなど問題点があったが、ダニエル電池ではこれらの問題点が解消され、電極付近での反応について考えやすくなった。(次の反応が起こる。負極： $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$ 、正極： $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$)しかし、実際に実験を行う際には、多量の試薬が必要であり、それに伴い実験廃液も生じる。また、実験を行うときに、透析用セロハンチューブの扱い方が難しいため、実験に要する時間が長くなり、50分間の授業では考察する時間が足りない。先行研究の中には、セルプレートを用いたダニエル電池の開発や素焼き板を用いたダニエル電池の開発があるが、今回は、教科書と同じ構造で、電極の反応を観察できるようにダニエル電池の実験器具のマイクロスケール化を行った。

(1) 教材開発

① 実験方法

試薬として5%硫酸亜鉛水溶液、5%硫酸銅水溶液を使用した(「新しい科学」東京書籍出版参考)。また電極は銅板、亜鉛板(いずれも9mm×50mm)を用いた。容器は20mLサイズの透明ドレッシングパック(ニッチプラス)を用意し、図1のようにふたをカットした。また、半透膜にはトーヨーセロファン紙(トーヨー製)を用い、8cm×8cmサイズにカットした。太陽電池モーターはケニスの太陽電池モーター(H158)を使用した。セロハンテープを丸めてドレッシングパックと机の間に貼り付け、容器が倒れないようにした。その後、ドレッシングパックのふたを閉め、8cm×8cmサイズにカットしたセロファン紙を埋め込んだ。図2のように容器に硫酸亜鉛水溶液10mL程度、セロファン紙で作った空間に硫酸銅水溶液5mL程度を入れ、それぞれ亜鉛板、銅板を浸し電池とした。



図1 ドレッシングパックのふたをカット

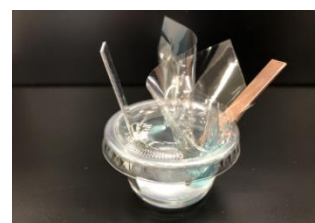


図2 マイクロ化したダニエル電池

② 結果

ア 教材の特徴について

教材の価格は電池1個あたり30円程度(ドレッシングパック25円、セロファン紙5円以下)作製時間は3分程度である。また、廃液は15mL以下であった。

電池の作製手順については、<https://youtu.be/qTKAwVsmYOI> から動画先へアクセスできる。

イ 電極の変化について

ダニエル電池を放電した時の電極の変化を図3に示す。比較として亜鉛板を塩酸に浸した時の結果を示す。ダニエル電池を放電した時、亜鉛板は最初白っぽくなり(1分)、時間がたつと黒くなることから電極の変化を明瞭に観察できた。また、亜鉛板を塩酸に浸した時でも同じ傾向が見られたため、亜鉛が溶けていることがわかる。銅板は、10分程度で少量の析出物が確認できた。

	0分	1分	5分	10分	30分
亜鉛板を塩酸に浸した時 (比較のため)					
ダニエル電池を放電した時					

図3 電極変化の実験結果

ウ 半透膜の性質について

半透膜の透過性の性能を調べるために、放電開始から30分までの間で、ダニエル電池の亜鉛電極側の水溶液に銅イオンが含まれているかを調べた。亜鉛側の水溶液を1滴取り、そこにNaOH水溶液を5滴滴下した。銅イオンが含まれている場合、青色の沈殿が見られる。また、比較として銅電極側の水溶液に同様の操作を行った。結果を図4に示す。30分で青色の沈殿がわずかに見られ、銅イオンが少量含まれていることが分かった。

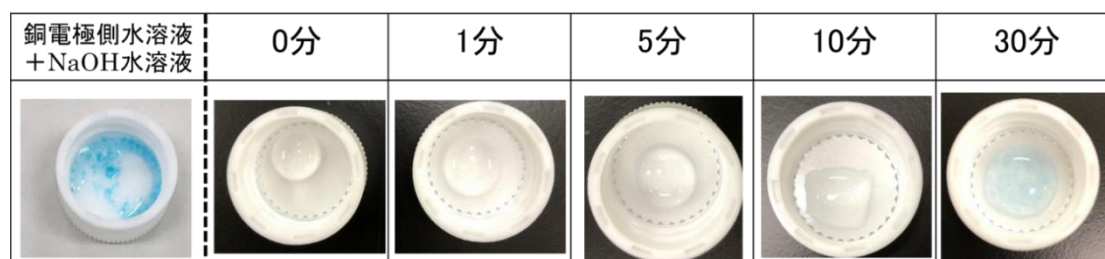


図4 半透膜の性質を確認する実験結果

エ 電池としての性能

今回作製したダニエル電池の電圧は1.03V～1.09Vを示し、電流値は25mA～50mAを示した。（電流値は電極間の距離によって変化した。）太陽電池モーターは30分以上回転した。ダニエル電池と太陽電池モーターをつないで動作確認している様子を図5に示す。



図5 ダニエル電池の動作確認

(2) 授業実践

① 対象および実践日

ダニエル電池の教材を用いて、以下の日程で授業実践を行った。

- ・日時：令和3年5月27日 場所：森田中学校 生徒数29名
- ・日時：令和3年6月1日 場所：丸岡南中学校 生徒数30名
- ・日時：令和3年6月3日 場所：森田中学校 生徒数26名
- ・日時：令和3年6月3日 場所：丸岡南中学校 生徒数27名

実践後は、以下に示すアンケートを5段階評価で行った。

【生徒アンケート】	【教員アンケート】
1. 実験の操作は単純であるか。	1. 実験時間は短縮できるか
2. 実験器具は扱いやすいか。	2. 実験の操作は単純であるか。
3. 電極の反応は見やすかったか。	3. 実験器具は扱いやすいか。
4. 実験の片付けは簡単か。	4. 来年度継続できる（実施できる）教材であるか

② 実践の結果

ア 授業の様子

5月27日の森田中学校の実践では、生徒が容器の製作から行った。自身で実験器具を製作する経験は初めての生徒が多かったが、真剣に授業に臨んでいた。すべての班でダニエル電池の実験に成功していた。6月1日の丸岡南中学校での実践ではボルタ電池とダニエル電池の実験を同時に行い、ボルタ電池の問題点に触れながらダニエル電池の有用性について考えることもできた。全ての実践において、ICT機器を使って動画を撮影したり、撮影した動画を全体で共有してダニエル電池の仕組みを考えたりする姿が見られた。また、6月3日の森田中学校での実践では、マイクロスケール実験の利点を生かして「色々な電池を作ろう」というテーマで授業が展開された。廃液が少なく、簡単に電池を作ることができるので、一人一人が、使用する電極を変化させたり、水溶液の濃度を変化させたりして、どのようにすれば良い電池が作れるか考えていた。生徒は、試行錯誤しながらも楽しそうに条件を変化させながらより良い電池を製作していた。

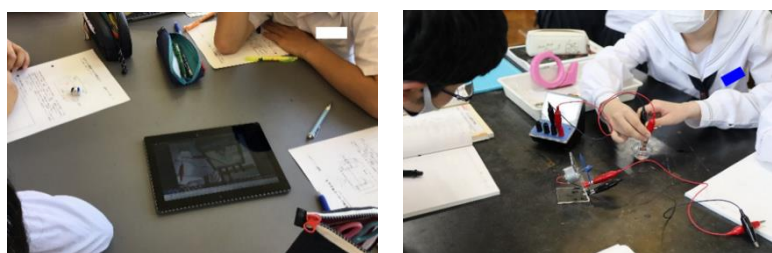


図6 ダニエル電池の実験の実践（2人1組で実験を行う）

イ アンケート結果

生徒112名に行ったアンケート結果およびコメントを図7に示す。また、教師5名に行ったアンケート結果およびコメントを図8に示す。

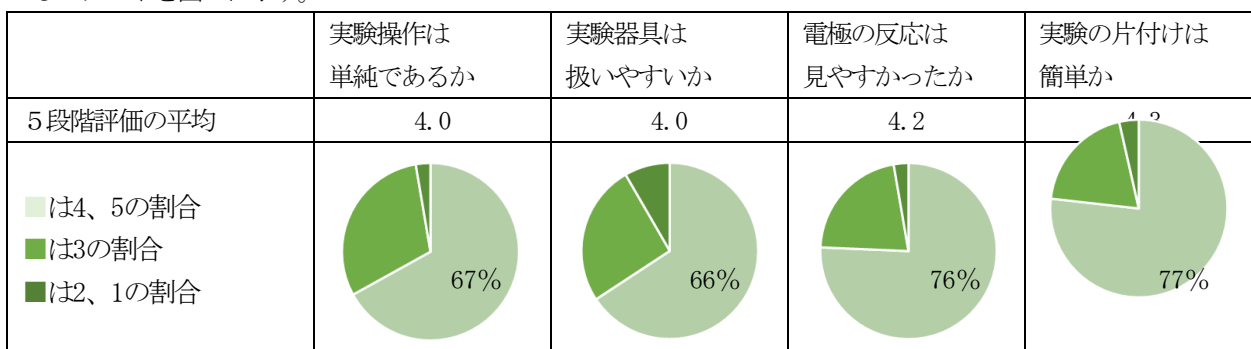


図7 生徒アンケート結果（回答者112名）

生徒から得られた主なコメントを以下に示す。

- ・自分たちで実験器具を製作することで、実験の仕方や順序について理解しやすいと思った。
- ・ダニエル電池を作ることで、仕組みを知ることができた。実験を通して、反応などを近くで観察できた。
- ・実験器具を自作するのは少し大変だった。
- ・身近な物を使って電池ができることに感動した。

	実験操作は 単純であるか	実験器具は 扱いやすいか	実験時間は 短縮できたか	継続していける 内容であるか
5段階評価の平均	4.8	4.8	4.8	4.8

図8 教師アンケート結果（回答者5名）

研究協力校で実践していただいた教員の主なコメントを以下に示す。

- ・ダニエル電池の仕組みについて、考察の時間を十分に確保することができた。
- ・この方法で実験することにより、ボルタ電池とダニエル電池を同時に行うことができた。
- ・1クラスで出る廃液が150mL～200mLであり、とても環境に優しい。
- ・2人1組で実験に取り組むことができた。また、実験に対する責任感が増し、細かい変化に気づくことができていた。

(3) 考察

教材開発を通して、安価で簡単に作製することができるダニエル電池の開発に成功した。電極の変化を調べる実験では、電極の変化を明瞭に観察することができた。半透膜の性質を調べる実験から、銅イオンの浸透は電池の性能に関係しないことが分かった。参考にした教科書と比較しても、電池の性能はほとんど変わらず、授業で使用できる教材であると考えている。授業実践においては2人1組で実験を行うことで、生徒一人あたりの実験機会を増やすことができた。アンケート結果も肯定的な意見が多く得られた。

しかし、「実験操作は単純か」「実験器具は扱いやすかったか」という項目は、他と比べてやや低い値にな

った。また、教員のコメントの中にも「実験が苦手な生徒にとっては、マイクロスケール化することで実験がさらに苦手と感じる生徒もいる」とあった。操作が苦手な生徒にとっては、細かい作業が増え、実験の負担が増加したと感じることも考えられる。解決方法として、実験の手順書を作成することや、実験廃液は増えるが、少し大きめの容器を生徒に合わせて使い分けたりするなどの方法を提案したい。

2 金属イオンの定性分析の実験

金属イオンの定性分析は、高校化学で扱われる内容であり、定番の実験である。金属イオンは、特定の陰イオンと反応して沈殿を生じたり、特定の配位子と錯イオンを形成したりする。このような特徴をいかして、溶液中に溶けている金属イオンを同定したり、分離したりすることができる。教科書のまとめには金属イオンと酸塩基の反応をまとめた表が載っており、反応を一目で確認することができる。しかし、この金属イオンの定性分析の実験を行う際には、一般的に試験管にそれぞれ溶液を入れ、そこに酸・塩基の溶液を加えていくことが多い。多くの金属イオンを扱う場合は、試験管の本数が増え、洗い物が増える。また、実験操作が複雑になり、実験時間が増える。そのため、現在はセルプレートを用いてマイクロスケール化していることが多い。今回、セルプレートよりも安価に購入できる実験器具を用いて、一度に反応が観察できるように試薬の濃度を検討した。

(1) 教材開発

器具として42マス（縦6マス×横7マス、1マスの大きさは3cm×2.5cm）の凹みがある仕切り板（山田化学、材質ポリプロピレン）を用いた（図9）。今回扱った仕切り板は一つひとつのマスが区切られており、溶液が混ざらず、長時間放置しても問題なく使用できる。また、混合する溶液の間違いを防ぐために仕切り板の下に図10で示す表を置いた。



図9 仕切り板

	Ag ⁺	Pb ²⁺	Cu ²⁺	Fe ³⁺	Ca ²⁺	Al ³⁺	Zn ²⁺
Cl ⁻							
SO ₄ ²⁻							
NaOH少量							
NaOH多量							
NH ₃ 少量							
NH ₃ 多量							

図10 仕切り板の下に置く表

実験方法として、金属イオンを含んだ水溶液をそれぞれの仕切り板のマスに3滴ずつ滴下する。その後「Cl⁻」「SO₄²⁻」「NaOH少量」「NH₃少量」のマスにそれぞれの溶液を1滴ずつ滴下し、「NaOH水溶液多量」「NH₃多量」のマスにはそれぞれの溶液を7滴滴下し反応を観察する。「少量」と「多量」の結果を観察できるようにしたのは、塩基の溶液では滴下する量によって反応が異なるためである。また、全ての反応がよく観察できる最適な濃度を追求した。結果を図11に示す。

② 結果

ア 教材の特徴について

今回用いた仕切り板は100円で購入することができ、洗浄することで何度も使用することができる。また、セルプレートよりもマス目が大きく、洗浄も容易に行うことができる。溶液を事前に調整して

塩酸	1.0 mol/L
硫酸	1.0 mol/L
水酸化ナトリウム水溶液	1.0 mol/L
アンモニア水溶液	1.0 mol/L
硝酸銀水溶液	0.1 mol/L
硝酸鉛水溶液	0.05 mol/L
硝酸銅水溶液	0.1 mol/L
硝酸鉄水溶液	0.1 mol/L
硝酸カルシウム水溶液	0.15 mol/L
硝酸アルミニウム水溶液	0.1 mol/L
硝酸亜鉛水溶液	0.1 mol/L

図11 試薬の濃度

き、点眼瓶に長期保存することが可能である。実験の廃液は10mL程度であった。

イ 実験の反応について

実験結果を図12に示す。各試薬の濃度を検討することで、金属イオンの沈殿反応ならびに錯体形成反応を明確に観察することができた。特にAgCl ($\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{AgCl}$) と PbCl_2 ($\text{Pb}^{2+} + 2\text{Cl}^- \rightarrow \text{PbCl}_2$) における沈殿反応においては結晶の違いも確認することができた。また、図12に示すとおり実験結果を一目で確認することができる。一方、横から反応を見ることができないというデメリットもある。カルシウムイオンと硫酸イオンの反応に関しては、沈殿が析出するまでに時間がかかるが、液を攪拌することで沈殿形成を確認することができた。

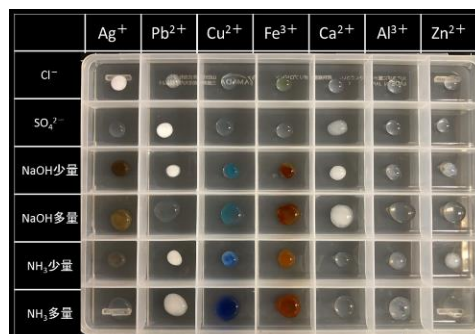


図12 実験結果

(2) 授業実践

① 対象および実践日

金属イオンの定性分析の教材を用いて、以下の日程で授業実践を行った。

- ・日時：令和3年6月18日 場所：丸岡高校 生徒数33名
- ・日時：令和3年7月28日 場所：勝山高校 生徒数21名

実践後は、以下に示すアンケートを生徒54名、教員2名に5段階評価で行った。

【生徒アンケート】

1. 実験の操作は単純であるか。
2. 実験器具は扱いやすいか。
3. 結果はわかりやすいか。
4. 実験の片付けは簡単か。

【教員アンケート】

1. 実験時間は短縮できるか。
2. 実験の操作は単純であるか。
3. 実験器具は扱いやすいか。
4. 来年度継続できる（実施できる）教材であるか。

② 実践の評価

ア 授業の様子

それぞれの教員が使いやすいように教材を活用し、授業を行った。生徒は沈殿反応や錯体形成反応が起こることについては理解しているが、目の前で現象を確認することによってより深く理解した様子だった。また、操作が簡単だったためか全員が実験に参加しており、楽しそうに実験に取り組んでいた。実験中は、ICT機器を使って動画を撮影したり、全体で共有して考えたりしている姿が見られた。また、実験自体は20分程度で終わらせることができ、その後の考察の時間を十分に確保できている様子だった。



図13 金属イオンの定性分析の実験の実践（3人1組で実験を行う）

イ アンケート結果

生徒54名に行ったアンケート結果およびコメントを図14に示す。また、教師2名に行ったアンケート結果およびコメントを図15に示す。

	実験操作は単純であるか	実験器具は扱いやすいか	結果はわかりやすかったか	実験の片付けは簡単か
5段階評価の平均	4.6	4.7	4.5	4.4
■は4、5の割合 ■は3の割合 ■は2、1の割合				

図14 生徒アンケート結果(回答者54名)

生徒から得られた主なコメントを以下に示す。

- ・楽しく実験ができた。また、プラスチックの実験器具は壊す心配がないので安心して実験ができた。
- ・いつも実験だけで終わるときがあったが、考察に集中できるのがよかった。
- ・実験手順が単純で、実験の間違いが起こらないのでよかった。

	実験操作は単純であるか	実験器具は扱いやすいか	実験時間は短縮できたか	継続していける内容か
5段階評価の平均	5	5	5	5

図15 教師アンケート結果

研究協力校で実践していただいた教員の主なコメントを以下に示す。

- ・考察の時間や発表の時間を確保することができた。
- ・金属イオンの実験をまとめて行うことができ、片付けも含めて実験の負担が減少した。
- ・1クラスで廃液が100mL程度であり、試験管を使って実験をするより、廃液が少ない。

(3) 考察

教材開発を通して、安価な教材の開発に成功した。全ての反応を明瞭に観察することができる。反応速度に関しては、低濃度で実験を行ったため、時間がかかるが、反応速度の考え方についても説明していくことが大切である。また、塩基の水溶液を滴下する際に「多量」と「少量」を分けることで錯イオンの形成についてもまとめやすくなる。生徒のアンケート結果は評価が高い値を示しており、コメントの中には「しっかり考えることができた」という意見も多く、ほとんどの生徒が実験に前向きに取り組んでいる様子だった。

一方、「片付けが簡単か」という項目においてやや値が低かった。液が少量であり、実験後すぐに洗浄すれば問題ないのだが、時間が経つと沈殿がこびりついてしまうことがある。20分程度で実験を行うことができるので実験後に ICT 機器で写真を撮ってデータを保存し、生徒がすぐに洗浄するのも良いと考える。

3 ザルツマン法の最適化の検討

高等学校の探究活動において、環境調査に関する研究が増えており、様々なイオンの分析が行われている。その研究の中で河川や地下水などの汚染物質として近年問題になっている亜硝酸イオン (NO_2^-) や硝酸イオン (NO_3^-) の分析も重要視されている。高等学校学習指導要領解説理数編の中にも探究の例として「二酸化窒素濃度等を測定する」などのように記述されている。亜硝酸イオンの分析の一つにザルツマン法がある。ザルツマン法とは、亜硝酸イオンとスルファニル酸から赤色のアゾ色素 ($-\text{N}=\text{N}-$ をもつ化合物) (546nm 付近で吸収のピーク) を合成し、分光光度計などによって定量を行う手法である (図 16)。本研究所には、亜硝酸イオンを含め、複数のイオンを同時に定量することができるイオンクロマトグラフという装置がある。しかし、一種類のイオンのみを測定する場合は、コスト面と時間面の両方で負担が多いため適していな



図 16 発色前 (左) 発色後 (右)

い。今回、学校で行える課題研究および発展的な授業で実践できるようにザルツマン法の研究を行い、教材化に取り組んだ。図17に亜硝酸イオンの発色原理を示す。

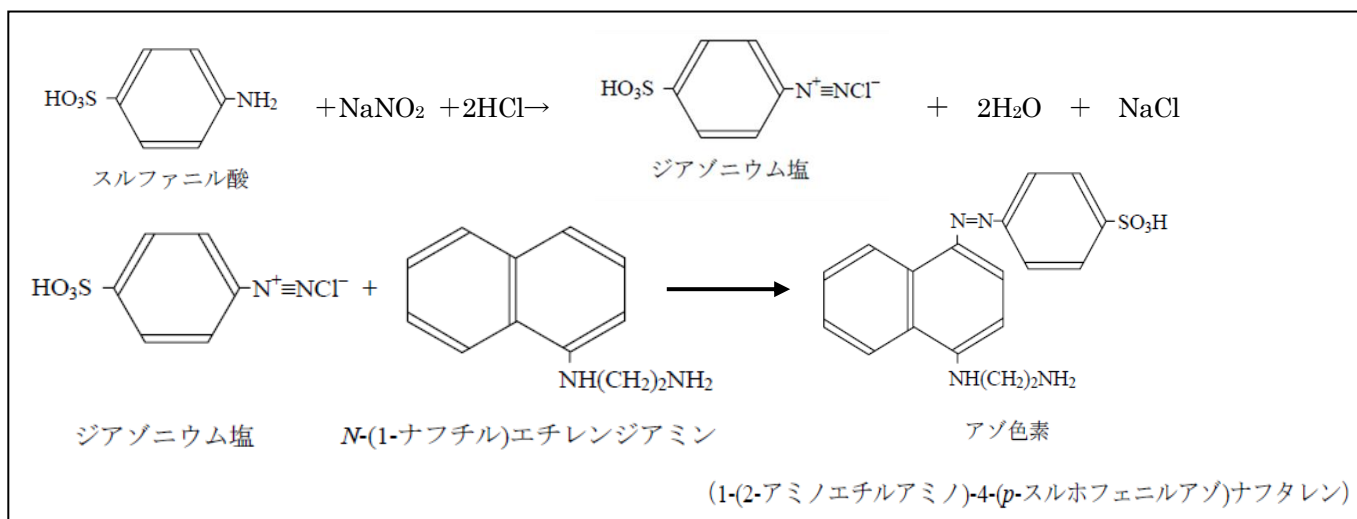


図17 亜硝酸イオンの発色原理

(1) 教材開発

① 実験方法

試薬、溶液については井上 (2010) の方法を参考にした。

試薬：スルファニル酸、N-(1-ナフチル)エチレンジアミン (以下NEDA)、塩酸、酢酸ナトリウム、亜硝酸ナトリウムは市販のものをそのまま使用した。

亜硝酸ナトリウム標準溶液：亜硝酸ナトリウム 150mg を水に溶かして 1000mL にしたものを原液として、その 10mL をさらに 100mL へ希釈したものを標準液とした。よって標準液は $2.2 \times 10^{-4} \text{mol/L}$ となる。

酢酸ナトリウム溶液：酢酸ナトリウム 15g を蒸留水に溶かして 50g とした。よって 30% の酢酸ナトリウム溶液となる。

NEDA 溶液：NEDA 2~5mg のそれぞれへ 5mL 蒸留水を加えた。よって濃度は 0.04~0.1% である。

塩酸：濃塩酸を希釈して様々な濃度の塩酸を調整した。

機器：島津紫外可視分光光度計 UV-1850 を用いた。

実験手順については、森本ら (1967) の手法を参考にして考えた。以下に手順およびフローチャートを示す (図18)。

1. 未知試料溶液 10 mL を、ホールピペットで 50 mL ビーカーに測り取る。
2. 30% 酢酸ナトリウム水溶液 5 mL をホールピペットで測りとりビーカーに加える。
3. スルファニル酸粉末 ミクロスパチュラ 2 杯 (約 0.03 g) をビーカーに加える。
4. 振り混ぜてから溶液 5 mL をホールピペットで 20 mL サンプル瓶(小) にとる。
5. 残った溶液 10mL (ビーカー) に亜鉛粉末 約 0.1 g を加える。*
6. それぞれの溶液を 5 分間振り混ぜる。
7. 残った溶液 10mL から亜鉛をろ過し、5mL をホールピペットを用いてをサンプル瓶(小) にとる。*
8. それぞれの溶液に濃塩酸 1.0 mL をホールピペットで加え 5 分間放置する。
9. それぞれの各溶液に N-(1-ナフチル)エチレンジアミン二塩酸塩水溶液マイクロチップで 0.5mL を加え、サンプル瓶にフタをして振り混ぜた後、約 20 分放置する。
10. 分光光度計で吸光度を測定する。

※硝酸イオンを還元する際に行う実験手順

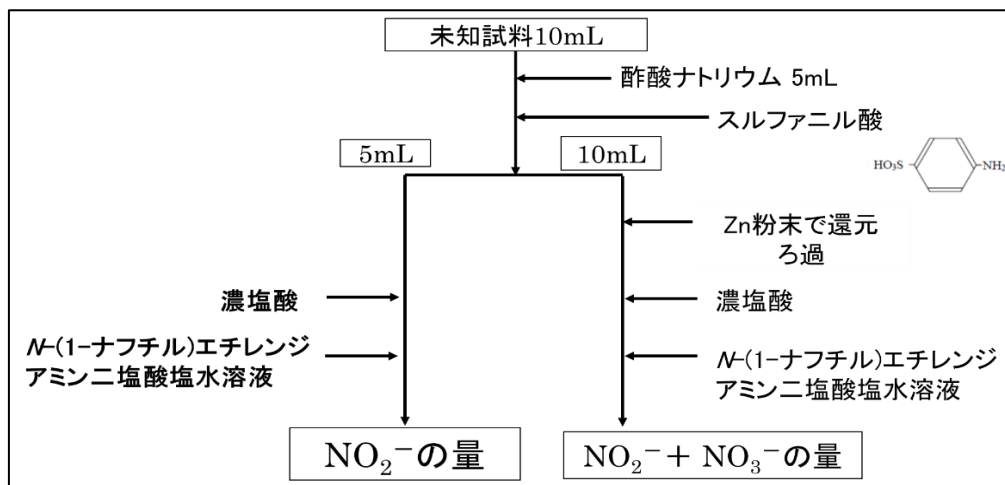


図 18 実験手順のフローチャート

今回の実験手順では、操作 9 の後、20 分程度放置し反応させる必要があり、授業等で使用するためには不十分である。そこで、塩酸の濃度および NEDA の濃度を検討し反応時間の短縮を試みた。図 19 に、得られる吸収スペクトルの例を示す。

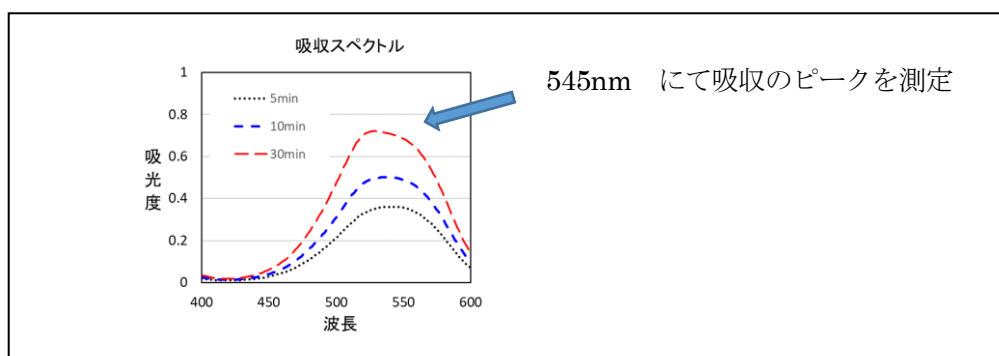


図 19 時間と吸収スペクトルの関

② 結果

ア 実験手順について

この手順で実験を行うことで、1つのサンプルから亜硝酸イオンと硝酸イオンの定量を行うことができる。また、廃液量は1実験 30mL 以下となる。

イ 塩酸の濃度と pH の関係について

今回、塩基である酢酸ナトリウム水溶液を加えているため、塩酸の濃度と pH の関係について調べた。図 20 にその結果を示す。

	濃塩酸	10mol/L	8.8mol/L	8.2mol/L	7.5mol/L	6.3mol/L
pH	0.40	0.50	0.89	1.25	3.01	3.81
濃塩酸と蒸留水の量		濃塩酸 8mL 蒸留水 2mL	濃塩酸 7mL 蒸留水 3mL	濃塩酸 6.5mL 蒸留水 2.5mL	濃塩酸 6mL 蒸留水 4mL	濃塩酸 5mL 蒸留水 5mL

図 20 塩酸と pH の関係

ウ 塩酸の濃度による吸光度の影響

図 21 に塩酸の濃度を変えたときの時間と吸光度 (545nm) の関係を示す。ここで、NEDA の濃度は 0.08% とした。

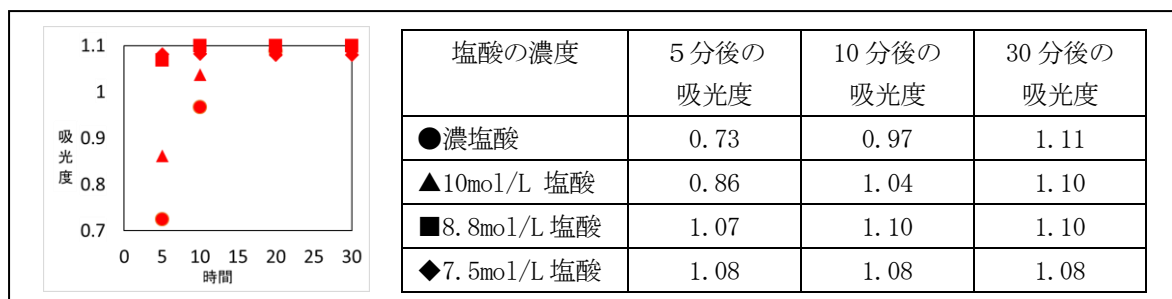


図21 時間と吸光度の関係

図21より、塩酸の濃度が小さくなると反応速度が大きくなることが分かった。そして、塩酸の濃度が8.8mol/L以下では10分程度で吸光度が最大を示した。

エ NEDAの濃度による吸光度の影響

図22にNEDAの濃度を変えたときの時間と吸光度(545nm)の関係を示す。ここで塩酸の濃度は8.8mol/Lとした。

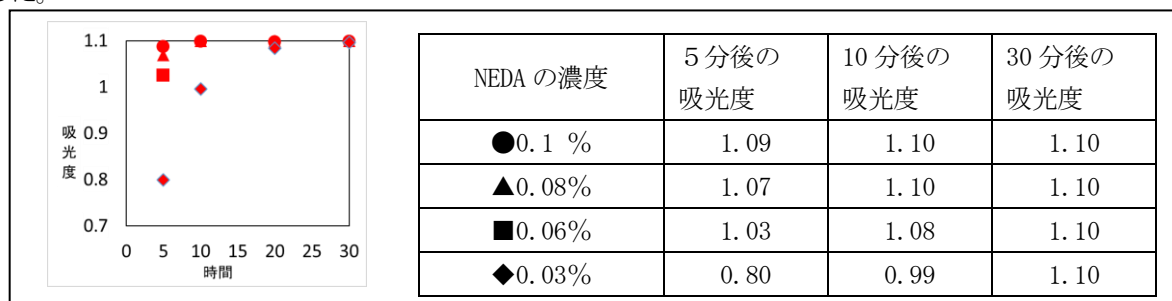


図22 時間と吸光度の関係

図22より、8.8mol/L塩酸で、NEDAの濃度が0.08%以上で、反応速度が最大になり、吸光度が10分程度で安定になることが分かった。そのため、以下の講座では塩酸の濃度を8.8mol/L、NEDAの濃度は0.08%とした。

(2) 講座での実践

① 対象および実践日

ザルツマン法による亜硝酸イオンの定量実験をサイエンスラボ主催の講座の中で実施した。また、講座修了後は以下に示すアンケートを生徒対象に実施した。

- ・日時：令和3年11月19日 場所：サイエンスラボ わくわく！アドバンス実験講座 生徒数9名
- ・日時：令和3年12月9日 場所：サイエンスラボ サイエンスラボ研修講座 生徒数9名

アンケート内容

1. 実験テーマの興味・関心はどれくらいか。
2. 実験の難易度はどの程度であるか。
3. 扱った実験器具の種類や量はどれくらいであったか。
4. 本日の満足度はどの程度であるか。

② 実践の評価

ア 授業の様子

今回の講座では、標準溶液を調整し、分光光度計を用いて検量線を作製し、未知試料（ハムのゆで汁や1ppmの亜硝酸イオンが含まれている溶液）の定量を行った。実験時間としては、溶液調整時間が1時間程度、検量線を作製する実験が1時間程度であった。しかし、亜硝酸イオンの定量実験は30分程度であった。各班で検量線を作製し、1ppmの亜硝酸イオンが含まれている溶液を調べ、検量線の精度を確認したところ、 1.00 ± 0.05 程度であり、検量線

の誤差は5%以内であった。

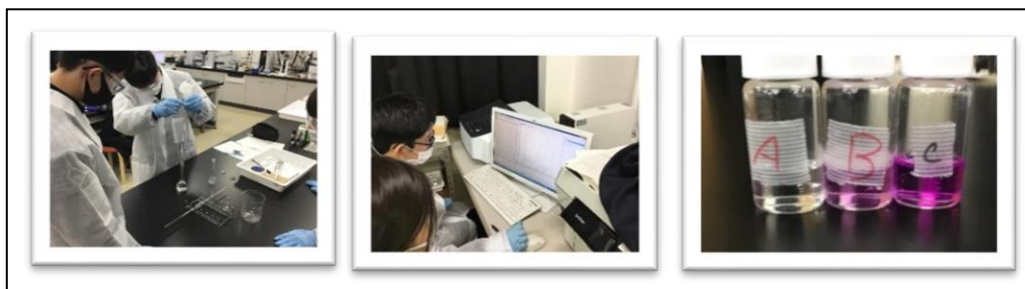


図 23 アドバンス実験講座での実践 (溶液の調整 (左) 分光光度計を使用 (中) 未知試料 (右))

イ アンケート結果

生徒18名に行ったアンケート結果およびコメントを図24に示す。

	興味関心	難易度	実験器具の種類	満足度
5段階評価の平均	4.7	4.0	4.7	4.8

図24 生徒アンケート結果 (回答者16名)

生徒から得られた主なコメントを以下に示す。

- ・実験をどんなに丁寧にやっても、誤差が生じて、正確に実験することの難しさを実感した。
- ・化学が身の回りに深く関係していると感じました
- ・学校では扱えない器具を利用しての測定は楽しかった。

(3) 考察

教材開発を通して、塩酸やNEDAの濃度を検討し、短時間で実験を行うことができる教材の開発に成功した。また、実験の再現性も高い。生徒アンケート結果からは、肯定的な評価が得られ、コメントの中には「化学が身の回りに深く関係していると感じた」という意見も多く、生徒の実験に対する意欲を高めることができたと感じている。一方、ホールピペットやマイクロチップ等の実験器具を多く扱うため誤差が大きくなる。ガラス器具等を扱う練習を何度も行い必要があり、課題研究等で継続的に取り組む内容として適していると感じた。今回使用した分光光度計は高価であるため、図25に示す分光センサ等を用いて再現性が高い実験が行えれば、より授業等でも実験がしやすくなると考えている。今後も研究を進めていきたい。

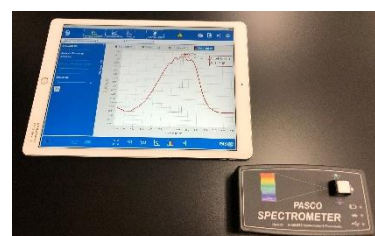


図 25 ワイヤレス分光センサ

V おわりに

今回、マイクロスケール実験の手法を用いて3つの教材を開発した。ダニエル電池の実験では、安価で簡単に作製できる電池の開発に成功し、少人数で実験を行うことができた。金属のイオンの定性分析の実験では安価な教材の開発に成功した。生徒アンケートでは「廃液量を減らすことができ、環境に優しい」「楽しく実験できた」などの感想も多く得られ、理科の実験を通して環境保全の意識を養うことができた。ザルツマン法の最適化については、塩酸の濃度を小さくすること、NEDAの濃度を大きくすることによって反応時間が変化することがわかり、反応速度を高めることにより、短時間で実験できる教材の開発に成功した。操作の簡略化に関してはこれからの課題である。

今回、マイクロスケール実験を開発するに当たり、メリットやデメリットを改めて確認することができた。メリットとしては、「少人数での実験」「実験廃液の少量化」「経費の削減」「安全性の向上」ことである。特に、少人数での実験によって、多くの生徒が実験することは、「実験に対する責任感の向上」にもつながることがわかった。一方、デメリットとしては、小型化することで「反応が見にくい」「扱づらい」ことである。個に応じて、演示実験や、大きい器具を使って実験を行う必要があると改めて感じた。また、試薬の濃度を小さくすることで、反応速度が小さくなることもわかった。

今回マイクロスケール化した実験を多くの学校で使用していただくことを目的として、様々な普及活動を行った。教員対象の講習会として、坂井地区、大野地区、丹生地区での講習会を行った。また、全国所長協議会（令和3年10月15日）、理科教育学会北陸大会（令和3年11月27日）、CST*シンポジウム（令和3年12月4日）で発表を行った。そして、ダニエル電池の実験、金属イオンの定性分析の実験に関して、参考にした教科書に載っている実験と比較してどのような点でメリットがあるかを研究協力校で実践していただいた教員や講習会に参加した教員の意見を参考に図26、27にまとめた。

※理数系教員（コア・サイエンス・ティーチャー：CST）養成拠点構築事業

	実験廃液の量	経費	ダニエル電池の性能	安全面	準備／片付け	電極の見やすさ*	扱いやすさ
ダニエル電池の実験	◎	◎	△	◎	◎	△	○

◎・・・とても良い ○・・・わずかに良い △・・・わずかに悪い ×・・・とても悪い

図26 ダニエル電池の実験

※電極の見やすさについては教科書の実験と比較するとわずかに見にくくなるが、キット数を増やすことは容易なので、一人あたりの実験器具を増やすことができると考えれば見やすくなる。

	実験廃液の量	経費	反応の見やすさ	安全面	準備／片付け	結果の分かりやすさ	扱いやすさ
金属イオンの定性分析の実験	◎	◎	△	◎	◎	◎	◎

◎・・・とても良い ○・・・わずかに良い △・・・わずかに悪い ×・・・とても悪い

図27 金属イオンの定性分析の実験

図26、27のようにマイクロスケール実験は完璧な実験ではなく、メリット・デメリットを理解した上で、使用していくことが望まれる。現在、マイクロスケール実験の研究が進み多く普及もされてきている。しかし、中学・高校の理科教員（初任者）23名にマイクロスケール実験を知っているかというアンケートを行った結果、知っているとは回答したのは4名にとどまり、マイクロスケール実験の認知度は大変低い現状がある。今後も、教材開発・改良を行い、講座や研修を通して現場の教員に普及していきたい。

参考文献

- 1) 芝原寛泰・佐藤美子、2020 マイクロスケール実験によるダニエル電池の教材開発と探究的授業デザイン、
- 2) 芝原寛泰・坂東舞・川本公二、2007 授業実践等によるマイクロスケール実験の有用性の検討
—理科教育におけるマイクロスケール実験の普及をめざして—、
- 3) 中川徹夫、2015 マイクロスケール実験による電池教材の開発・改良と授業実践、
- 4) 芝原寛泰、マイクロスケール実験による理科学習（その1～その3）、
- 5) 井上友昭、2010 亜硝酸イオンのザルツマン法による比色分析における試薬濃度と反応速度の影響、
- 6) 西村雅吉・松永勝彦、1968 硝酸イオンの定量、
- 7) 森本、平古場、石橋、1967 Japan Analyst、15、1335-1340、