

真正の学習論に依拠した中学校理科の単元 開発と学習効果

－中学校第3学年理科「水溶液とイオン」
「化学変化と電池」を事例として－

小川 博士¹・新村 和 弥²・平田 豊 誠³

要 約

現在、我が国の理科教育は、理科と実社会・実生活との関連が希薄であるなど、いくつかの問題を抱えている。本研究はこのことに鑑み、実社会・実生活との関連を志向する真正の学習論に着目して理科の単元開発を行った。そして、単元を実践したことで、中学校理科において科学的知識の理解や科学や理科学習に対する態度についての学習効果を実証した。本研究の対象者は、中学校第3学年の生徒126人である。そして、実験群（Authentic Learning：AL群）と対照群に分けて、「水溶液とイオン」、「化学変化と電池」の実践を行った。学習効果を検証するために、2つの調査を実施した。1つは科学的知識の理解に関する評価テストである。もう1つは、生徒の科学や理科学習に対する態度の質問紙を用いた調査である。これらの調査の結果、中学校理科において、実社会・実生活との関連を志向する真正の学習論に依拠した単元開発・実践によって、科学的知識の理解の促進や科学や理科学習に対する態度の向上に一定の効果が示された。

キーワード

真正の学習論、中学校理科、水溶液とイオン、化学変化と電池

1. 研究の背景と問題の所在

(1) 真正の学習論

真正の学習論（Authentic learning）は、学習者が学ぶ必然性を感じ、現実世界における知識の活用を促進する文脈の中での学習として捉えられて

¹白鷗大学教育学部 ²浜松市教育委員会 ³佛教大学教育学部
e-mail：ohiroshi@fc.hakuoh.ac.jp

いるものである (Rule, 2006 ; 熊野, 2006)。この学習論は、構成主義学習論や状況論の台頭とともに、学校で行われている授業に本質的な意味や価値が含まれていないことや、学習者が学校で習得した知識やスキルを有意味に活用できないこと等、従来の教授主義的な教育に対する問題点と対峙した形で主張されてきた (Newmann & Wehlage, 1993)。また、真正の学習論では、現実世界における知識の活用を中核としながらも、「学習問題の設定」や「教材」、「カリキュラム」等、教育実践の総体として捉えられている点にその特色が窺える (Glatthorn, 1999)。

現実世界における文脈、すなわち実社会・実生活との関連を主張するこれらの問題意識は、PISA (Programme for International Student Assessment : 生徒の学習到達度調査) やTIMSS (Trends in International Mathematics and Science Study : 国際数学・理科教育動向調査)、全国学力・学習状況調査等、近年の国内外の調査結果 (例えば、国立教育政策研究所, 2016 ; 国立教育政策研究所, 2017など) において指摘されている日本の理科教育の問題とも一致していると言えるだろう。また、Krajcik & Blumenfeld (2006) が指摘するように、実社会と乖離した知識を記憶するだけでは、その知識についての表面的な理解だけを得ることになる。そのため、真正性の高い学習によって、知識を主体的に構成し、学習内容を深く学ぶことが必要となる。

(2) 真正の学習論に着目した理科教育研究

このような背景の中で、理科教育において真正の学習論に着目した研究が展開されている。例えば、小川・松本 (2012) は、真正の学習に必要な要素や基準について指摘した論文 (Maina, 2004 ; Edelson & Reiser, 2006など) を収集・整理し、単元開発の際に必要な観点を導出している (図1)。

- ① 実社会・実生活の場面や状況を反映した課題設定をすること（以下、実社会・実生活との関連）
- ② 知識やスキルの活用等の思考を要する学習場面を設定すること（以下、知識やスキルの活用）
- ③ 教科固有の内容に準拠し、習得すること（以下、学習内容の習得）
- ④ 多様な学習材（リソース）を用意すること（以下、多様な学習材）
- ⑤ 他者との協同的な活動を取り入れること（以下、他者との協同）
- ⑥ 真正の評価を行うこと（以下、真正の評価）

図1 真正の学習論に依拠して単元開発を行う際に必要な観点¹⁾

この観点は、1 授業時間においてすべて満たすべきものではなく、単元全体の中で満たすものとして扱われている。そして、小学校第6学年理科「燃焼の仕組み」を事例に、図1の観点に依拠した単元開発及び実践を行った結果、科学的知識の理解の促進に有効であることが明らかとなっている。小川・松本（2013）は、真正の学習論に依拠した理科授業が燃焼概念形成に与える影響を「概念についての面接法（White & Gunstone, 1992）」を用いて調査している。その結果、より統合された科学的知識を児童に獲得させ、その適用範囲を拡張させることや現実世界の事柄や状況と関連をもたせることに影響を与えていたことが明らかとなった。これらの研究は、我が国において真正の学習論に依拠した小学校理科授業に着目し、学習者の科学的知識の理解や概念の獲得に対する有効性等を指摘した研究である。しかしながら、中学校理科を対象とした実証的な研究は管見の限り見受けられない。中学校理科では、小学校よりも抽象的な概念を取り扱い、より高度な思考が要求される（原田・坂本・鈴木, 2018）。そのため、中学校理科においても有効性を検証することは意義があると考えられる。

次に、学習者の動機づけや態度等、情意に関わるものについては、学年進行につれて、理科に対する意識が低下するという報告（角谷，2004；国立教育政策研究所，2015；Osborne, Simon, & Collins, 2003；Krapp & Prenzel, 2011など）がある通り、国内外の理科教育が抱える大きな問題の1つとなっている。Edelson & Reiser (2006)やMims(2003)の研究では、真正の学習のような経験が子どものモチベーションを高めることを指摘している。ただし、実証的に論究されているものではなかった。国内の理科教育においては、小川・松本・桑原・平田（2015）が、小学校第5学年理科「天気の変化」を事例として、図1に示した観点に基づいて単元を開発し実践した。科学・理科学習態度に関する質問紙調査を実施したところ、理科学習に対する興味や関心、有用感等の向上に有効であることを明らかにしている。小川・高林・池野・竹本・平田・松本（2019）は、中学校第2学年理科「電流と磁界」において、真正の学習論に依拠した単元開発を行い、授業実践した。質問紙による事前事後調査の結果、生徒の科学や理科学習に対する態度の改善に一定の効果があることが明らかとなっている。ただし、科学や理科学習に対する態度に関して、真正の学習に依拠した中学校理科の実証的研究は小川ら（2019）のみであり、さらなる知見の蓄積が必要である²⁾。

そこで、本研究では中学校理科を対象とし、真正の学習論に関わる先行研究の成果を適用して単元開発及び実践に着手する。そして、科学的知識の理解と科学や理科学習に対する態度に与える効果を検証する。

2. 研究目的及び手順

本研究では、真正の学習論に着目し、中学校理科において、図1の観点に基づいた単元開発及び実践を行い、科学的知識の理解の促進や科学や理科学習に対する態度の改善に有効であることを明らかにすることを目的とした。

上記の目的を達成するために、次の手順で研究を進めた。第一に、図1

に示した観点に依拠して、中学校第3学年理科「水溶液とイオン」、「化学変化と電池」の単元を開発し実践した。その理由は、図1の観点①を踏まえ、実践者と協議した結果、本単元の内容と実社会・実生活との関連を図りやすく、真正の学習の対象として相応しいと判断したためである。第二に、授業実践による学習効果を明らかにするために、評価テスト及び、質問紙調査を実施し分析した。第三に、第二で得られた結果から、実践の学習効果について考察した。

3. 方法

(1) 授業及び調査の対象、時期

授業及び調査は、中部圏内の公立A中学校3年生3学級の94人、公立B中学校3年生2学級の70人の計164人を対象とした。公立A中学校に対しては、図1の観点に依拠して単元を開発し実践する群（以下、AL群）とし、一方、公立B中学校に対しては、基本的に教科書通りの授業を行う群（対照群）とした³⁾。授業者は各中学校の教職経験10年程度（AL群：12年、対照群：10年）の中堅理科教師である。

授業は、2017年10月中旬～11月下旬にわたって実施した。また、両群の授業進度がある程度同じになるように確認しながら実践した。調査は、実践の前と後に実施した。事前調査は授業前の9月初旬と10月初旬に、事後調査は授業後の12月中旬～下旬に行った。

分析に際しては、全ての調査に参加し、欠損値を含まなかった生徒を対象とした。AL群70人、対照群56人の計126人であった。

(2) 単元

本研究では、検証授業として中学校第3学年理科「水溶液とイオン」「化学変化と電池」を取り上げた。AL群と対照群の簡易版単元計画は、表1の通りである。各学習活動は、1コマ50分として行われた。総時間数はどちらも全16時間であった。なお、両群の生徒は同一の教科書を用いている。

表1 各群の簡易版単元計画

単元	時間	AL群の学習内容	時間	対照群の学習内容
水溶液とイオン	1	既習の内容の確認し、単元の見通しをもつ。また、単元の終盤に電池づくりを行うことを伝え、単元を貫く課題を設定する。	1	いろいろな水溶液に電流が流れるか調べ電気伝導性を確認する。
	2	いろいろな水溶液に電流が流れるか調べ電気伝導性を確認する。	3	
	3		4	塩酸と塩化銅水溶液を電気分解したときの化学変化について調べる。
	4		5	
	5	塩酸と塩化銅水溶液を電気分解したときの化学変化について調べる。また、電解質水溶液に電流が流れるしくみをイオンモデルで考える。	6	電解質水溶液に電流が流れるしくみをイオンモデルで考える。
	6		7	
	7	原子の構造を確認する。	8	原子の構造を確認する。
	8	イオンのできる様子を確認する。	9	イオンのできる様子を確認する。
	9	電解質の電離をイオン式で表す。	10	電解質の電離をイオン式で表す。
化学変化と電池	10	電解質水溶液と2種類の金属で電流が取り出せるか調べる。また、電極で起こる変化を調べる。	11	電解質水溶液と2種類の金属で電流が取り出せるか調べる。
	11		12	
	12		13	化学電池（亜鉛版と銅板、塩酸）を作って電流を取り出すとき、電極で起こる変化を調べる。
	13	オリジナル電池の製作をする。	14	
	14		15	燃料電池のしくみを知り、利点について考える。
	15		16	これまでの学習を振り返り、まとめをする。
	16	燃料電池のしくみを知り、利点について考える。		

※AL群では上記の第12～15時の学習に、総合的な学習の時間で扱った地元企業の出前講座の内容を関連させている。

AL群では、図1の観点に基づいて単元を開発している。「水溶液とイオン」は9時間扱い、「化学変化と電池」は7時間扱いとした。第1時は、「①実社会・実生活との関連」に関わる時間である。まず、小学校第6学年「水溶液の性質」で扱った金属を溶かす水溶液や中学校第2学年「物質の成り立ち」における水の電気分解や物質が原子や分子からできていることを復習し、疑問に思っていることやこれから学習したいことを確認した。そして、身の回りの電池を紹介し、単元の終わりには、総合的な学習の時間において地元企業の出前講座で教えてもらった製品開発の過程を参考にオリジナル電池をつくること、そのために必要な知識をこれから学習していくことを生徒に伝え、単元を見通すとともに、学習の意義を明確にした。

第2時～第11時は、主に「③学習内容の習得」に関わる時間であり、オリジナル電池をつくるという課題意識をもった上で展開された。「水溶液とイオン」（第2時～9時）については、水溶液の電気伝導性や電極に

生じる物質について、基本的には教科書記載の観察、実験を通して、イオンの存在とその生成が原子の成り立ちに関係することを学習した。「化学変化と電池」(第10時と11時)では、電解質水溶液と2種類の金属を用いた実験によって、電流を取り出せることや電極の変化に着目し、電池(化学電池)が化学変化によって化学エネルギーを電気エネルギーに変換する装置であることを学習した。また、電極で電子の授受が行われ、化学変化にイオンが関係していることをイオンや電子のモデル(ラミネートした生徒用のものとマグネットで黒板に張り付く提示用のもの)を用意し、表現する学習活動を設定した。

第12時～第15時は、「①実社会・実生活との関連」と「②知識やスキルの活用」に関わる時間である。これまでの学習を活用して、電池の開発者として起電力の高いオリジナル電池をつくるという課題を確認した。電池づくりに際しては、先述の通り、総合的な学習の時間と関連させ、光関連の電子部品や電子機器を製造・販売する地元企業の方に教えてもらった製品開発の過程をものづくりに組み込むようにした(図2)。

また、生徒が図2の製作過程をベースに繰り返し実験したり改良型を考えたりすることができるように4時間配当とした。さらに、生徒が図2の基本的な製作過程を主体的に実践し、科学的知識を活用した電池づくりを促すために、作業シートを用意した。作業シートと実際の記入例は図3の通りである。この作業シートの作成に当たっては、寺田(2014)のものづくりにおける作業日誌を参考にした。左側には作業目標や作業内容、自己評価等を書く欄、右側には作成した電池の図やデータなどの作業メモ欄を用意した。授業では、図4に示した2点について指導し、この作

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">①電池の作り方を調べる。
(ノートや教科書、Webを利用する)②目標を立て、設計する。③製作する。④実験・計測する。⑤改良する。 →再び①もしくは②へ |
|---|

図2 生徒に提示したオリジナル電池づくりの基本的な製作過程⁴⁾

今日の研究 作業目標	備長炭電池の製作			起電力: 1.1 V
1 研究・作業したこと				
①負極本に備長炭を1冊つけておく。②備長炭に負極本で知られたメチンペーパーをまく。③その上からアルミニウム箔をまく。④導線をメチンペーパーの下からように備長炭にまく。⑤アルミニウム箔は、導線にそそぐ方が導線とつながる。				
2 技術的に工夫できた点				
・備長炭を負極本に1冊つけたこと。これからの工夫をしたことにより、負極本の濃度を高めたところ。より高い起電力を得ることができた。備長炭にまく導線のまき数を増やしたところ。できた。				
3 原理や法則を生かした点				
アルミニウムは、負極本に溶けてアルミニウムイオンになる。アルミニウムは、電子が流れる。この電子が導線を通って備長炭に移動すると、電流の流れた方向が回る。反応は、 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^-$				
4 新たな技術的・科学的な課題点				
・備長炭電池としては良いが炭が起電力が弱いところ。 ・ペーパーが水で濡れるところ。電池の持続時間が短いところ。				
5 次回の予定と準備する物				
備長炭にまく導線のまき数を増やす。・負極本につけておく備長炭の太さを太くする。・日記を増やす。				
今日の自分(1 非常に悪う 2 悪う 3 あまり悪くない 4 ぜんぜん悪くない)				
① やるべきことがはっきりしていた	①	2	3	4
② 原理や法則を確認できた	②	2	3	4
③ 新しい創意工夫を考えた	③	2	3	4
④ 日常の経験を生かすことができた	④	2	3	4
⑤ 仲間と協働的に取り組むことができた	⑤	2	3	4
感想・反省				
算定から作っている備長炭が電池になるかどうかとてあとどのくらい電流が流れるかを洗った方がよい。導線のまき数を増やす。負極本に1冊と太さなどの調節をしよう。よりよい電池を作ることができた。今日の電池製作の経験で思ったこと。日記の記録。記録簿に書いておきたい。				

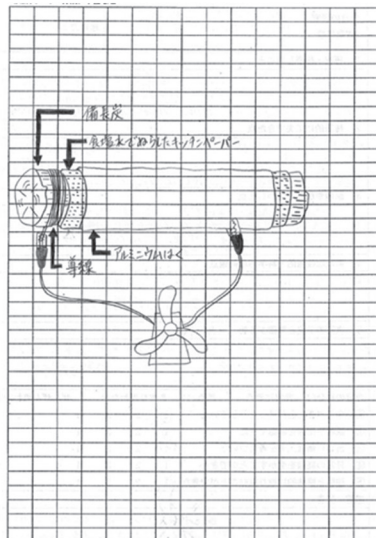


図3 作業シートと実際の記入例

- ア) 前時に記載した作業シートを、導入時にグループで確認し、本時の課題を明確にすること
- イ) 「電子」や「イオン」などの科学用語や、「移動」「受け渡し」などのキーワードを積極的に使用して記載すること

図4 作業シートを活用する際の指導の留意点

作業シートを活用した。例えば、ア)については、図3の「今日の研究の作業目標」が該当する。前時の作業シートに記載した次回の予定や反省を確認した後、本時で行うことや目指すことを記入するように指導した。また、イ)については、主に図3の1～4の欄が該当する。図3の「3 原理や法則を生かした点」を見ると「電子」や「イオン」、「移動」、イオン反応式などが記述されていることがわかる。教師は記載の有無や内容を確認し、適宜、口頭や記述による助言によってイ)について継続的に指導するようにした。

実際、第12～15時の電池づくりの時間において、生徒は備長炭電池や果物電池、野菜電池、スプーン電池、スライム電池、コイン電池、鉛筆蓄電池などを製作していた⁵⁾。また、その過程で、最適な電解質水溶液や果物を探ったり、電極の組み合わせや回路を検討したりする姿が見られた。

第16時は、「①実社会・実生活との関連」に関わる時間である。身の回りの電池を紹介するとともに、水素と酸素から電気エネルギーをとり出す燃料電池の実験を通して、環境へのメリットについて考察した。

観点の「④多様な学習材」については、主に第2～11時、16時において使用された教科書記載の観察、実験教材に加えて、第12～15時のオリジナル電池づくりのために利用した教科書やWebサイト、必要な素材（例えば、備長炭、果物）などが該当する。また、総合的な学習の時間に招聘した地元企業の出前講座も人的リソースの1つとして位置づけている。

「⑤他者との協同」については、単元を通して原則4人1グループによる観察、実験活動、話し合い活動等を取り入れた。オリジナル電池づくりでは、現実の開発場面と同様、チームで開発することを求め、「設計リーダー」や「製作リーダー」など責任を伴う役割を分担するようにした。

「⑥真正の評価」に関しては、起電力の高い電池作りを追究するという単元を貫く学習課題をパフォーマンス課題として位置づけた。また、オリジナル電池づくりでは、図3の作業シートにおける生徒の自己評価や、設計や製作、改良などについての記述に対する教師のコメントによって、フィードバック情報を提供するようにした。

一方、対照群の実践は、図1の観点を意識的には取り扱うことはせず、基本的には教科書記載の順番にイオンの概念を中心とした系統的な学習を展開した。単元の総時間数は、AL群と同じ16時間としている。協力校で採用している教科書では「水溶液とイオン」が10時間、「化学変化と電池」が5時間の計15時間の配当となっているが、16時間目にこれまでの学習を振り返り、まとめをする時間を設けた。

AL群の実践は、対照群の実践と比較すると「オリジナル電池づくり」

の時間を十分に設けているため、一部、教科書の配当時間を短縮し効率化を図った実践を行っている。これは単元全体を見通したデザインの工夫の1つとして考えている。

(3) 調査内容

1) 科学的知識の理解

事前調査では、実践による効果の検証に支障がないかを検討するために、2つの協力校が共通して受けた県の学力テスト（2017年9月初旬に実施、50点満点）の結果を採用した。中学校3年1学期の学習内容が網羅的に出題されているため、事前調査として使用しても問題がないと判断した。

事後調査では、主に化学変化と電池に焦点を当てた科学的知識の理解に関する評価テストを作成した。この評価テストは、調査協力校が採用している教科書や「水溶液とイオン」「化学変化と電池」に関する知識の理解について出題された某県の中学校学力診断調査（非公開）の出題内容を参考に、中学校理科を担当する現職教員によって作成された。実際に使用した評価テストは巻末の資料1の通りである。評価テストの内容は、化学概念の知識の理解を問う問題であり、全9問で構成されている。問題では、2つの実験場面を設定した。1つは化学電池の実験場面であり、基本的な語句やイオン式を問う問題（問題①及び④）や電流の流れる向きを選択させる問題（問題③）、気体が発生する仕組みやモーターをより速く回すための方法を説明する問題（問題②及び⑤）を配置した。もう1つは、簡易電気分解装置を用いた水の電気分解の実験場面であり、基本的な化学反応式を問う問題（問題⑥）や実社会とも関連させて基本的な語句を問う問題（問題⑧）、化学変化によりエネルギーを取り出す仕組みや燃料電池が環境への負担を軽減する理由を説明する問題（問題⑦及び⑨）とした。配点は、各1点で計9点とした。

2) 科学や理科学習に対する態度

事前・事後調査の質問紙には、PISA2006の科学に対する態度に関わる生徒質問紙（国立教育政策研究所，2007）から6つの尺度（30項目）を採用した。具体的には、生徒の科学に対する価値意識を測定する「科学に関する全般的価値」及び「科学に関する個人的価値」、生徒の自分自身の科学的能力の信頼を測定する「理科学習における自己認識」、科学への興味・関心を測定する「科学の楽しさ」、科学を学ぶことへの動機付けを測定する「理科学習に対する道具的動機づけ」及び「生徒の科学に対する将来志向的な動機づけ」の計30項目を使用した。また、各質問項目に対して、「とてもそう思う」4点～「全くそう思わない」1点の4件法で回答を求めた。

4. 結果

(1) 事前調査の結果

ここでは、科学的知識の理解及び科学や理科学習に対する態度に関わる事前調査の結果を示し、実践による効果の検証に支障がないか検討する。

1) 科学的知識の理解について

採点し各群の平均値 (M) 及び標準偏差 (SD) を示したものが表2である。対応のない検定（両側）を行ったところ、両群の平均値に有意な差は認められなかった ($t(124)=0.97, n.s., 95\%CI[-2.02, 5.92]$)。また、効果量の指標であるHedgesの g は、 $g=.17$ であった⁶⁾。Cohen (1988) によれば、効果量の目安を $g=.20$ で効果小、 $g=.50$ で効果中、 $g=.80$ で効果大としている。これに従えば、効果量はほとんどないと解釈できる。そのため、科学的知識の理解について、両群は等質と解釈し、実践による学習効果の検証に支障がないと判断した。

表2 事前：学力テストの結果（50点満点）

	AL群(N=70)	対照群(N=56)
<i>M</i>	22.13	20.18
<i>SD</i>	11.60	10.67

2) 科学や理科学習に対する態度について

2)－1 各尺度の内的整合性

事前調査において、各尺度における内的整合性を検討するためにCronbachの α 係数を算出した。結果は表3の通りである。 α 係数の範囲が、 $.767 \leq \alpha \leq .916$ であるため、いずれの尺度についても利用に十分な値と判断した。

表3 事前：各尺度のCronbachの α 係数の結果

	α
科学に関する全般的価値	.771
科学に関する個人的価値	.767
理科学習における自己認識	.916
科学の楽しさ	.886
理科学習に対する道具的な動機付け	.870
科学に対する将来志向的な動機付け	.895

2)－2 科学や理科学習に対する態度

尺度ごとに集計し、対応のない検定（両側）を実施した。結果は表4の通りである。全ての尺度において、平均値に有意な差は認められなかった。また、効果量もほとんどない、もしくは小程度であることから、実践による学習効果の検証には支障がないと判断した。

表4 事前：科学や理科学習に対する態度の結果

	AL群(N=70)		対照群(N=56)		t値	ES(g)	95%CI	
	M	SD	M	SD			下限	上限
科学に関する全般的価値	3.15	0.53	3.06	0.50	0.92	.17	-0.10	0.27
科学に関する個人的価値	2.60	0.51	2.71	0.58	-1.10	.20	-0.30	0.09
理科学習における自己認識	1.85	0.57	2.06	0.66	-1.87	.34	-0.42	0.01
科学の楽しさ	2.60	0.69	2.63	0.64	-0.24	.04	-0.27	0.21
理科学習に対する道具的な動機付け	2.38	0.69	2.44	0.65	-0.47	.01	-0.30	0.18
科学に対する将来志向的な動機付け	1.81	0.65	1.90	0.62	-0.76	.14	-0.31	0.14

** $p < .01$, * $p < .05$ 自由度はいずれも124
 ESは効果量 (Effect Size), CIは信頼区間 (Confidence interval) を指す。

(2) 事後調査の結果

1) 科学的知識の理解について

採点し各群の平均値 (M) 及び標準偏差 (SD) を示したものが表5である。科学的知識の理解に与える効果を検証するために、対応のない検定 (両側) を行った。その結果、AL群の平均値の方が対照群のそれよりも有意に高く、効果量は中程度と解釈した。($t(124) = 3.48, p < .01, g = .63, 95\% CI [0.64, 2.34]$)。

表5 事後：評価テストの結果 (9点満点)

	AL群 (N=70)	対照群 (N=56)
M	5.39	3.89
SD	2.31	2.50

また、各問題の正答数と誤答数をまとめたものが表6である。両群と正誤に関連があるかどうかを検証するために、独立性の検定を行った。その結果、正誤に有意な差が認められたのは、問題① ($\chi^2(1) = 11.30, p < .01, \phi = .30$)、問題② ($\chi^2(1) = 6.03, p < .05, \phi = .22$)、問題③ ($\chi^2(1) = 14.25, p < .01, \phi = .34$)、問題④ ($\chi^2(1) = 12.37, p < .01, \phi = .31$) であった。有意傾向が認められたのは、問題⑧ ($\chi^2(1) = 3.28, p < .10, \phi = .16$) であった。

問題⑤ ($\chi^2(1)=0.79, n.s., \phi=.08$) と問題⑥ ($\chi^2(1)=1.04, n.s., \phi=.09$)、問題⑦ ($\chi^2(1)=0.13, n.s., \phi=-.03$)、問題⑨ ($\chi^2(1)=0.68, n.s., \phi=.07$) は有意な差が認められなかった。独立性の検定の効果量の指標には ϕ 係数が使用されるが、一般的には、 $\phi=.10$ で効果小、 $\phi=.30$ で効果中、 $\phi=.50$ で効果大という基準がある (水本・竹内, 2008)。この基準を当てはめると、問題①、③、④は中程度の効果、問題②及び⑧は、小～中程度の効果と解釈できる。

表6 各問題の正答数及び誤答数の結果

問題		AL群	対照群	χ^2	$ES(\phi)$
①	正答数	57	30	11.30 **	.30
	誤答数	13	26		
②	正答数	28	11	6.03 *	.22
	誤答数	42	45		
③	正答数	52	23	14.25 **	.34
	誤答数	18	33		
④	正答数	42	16	12.37 **	.31
	誤答数	28	40		
⑤	正答数	49	35	0.79	.08
	誤答数	21	21		
⑥	正答数	45	31	1.04	.09
	誤答数	25	25		
⑦	正答数	18	16	0.13	-.03
	誤答数	52	40		
⑧	正答数	35	19	3.28 †	.16
	誤答数	35	37		
⑨	正答数	51	37	0.68	.07
	誤答数	19	19		

** $p<.01$, * $p<.05$ † $p<.10$ 自由度はいずれも1

ESは効果量(Effect Size)を指す。

2) 科学や理科学習に対する態度について

2) - 1 各尺度の内的整合性

事後調査において、各尺度における内的整合性を検討するためにCronbachの α 係数を算出した。結果は表7の通りである。 α 係数の範囲が、 $.858 \leq \alpha \leq .946$ であるため、いずれの尺度についても利用に十分な値と判断した。

表7 事後：各尺度のCronbachの α 係数の結果

	α
科学に関する全般的価値	.894
科学に関する個人的価値	.858
理科学習における自己認識	.935
科学の楽しさ	.905
理科学習に対する道具的な動機付け	.907
科学に対する将来志向的な動機付け	.946

2) - 2 科学や理科学習に対する態度

尺度ごとに集計し、対応のない t 検定（両側）を実施した。結果は表8の通りである。「科学に関する全般的価値」($t(124)=3.31, p<.01, g=.59, 95\%CI[0.14, 0.56]$)、「科学に関する個人的価値」($t(124)=3.45, p<.01, g=.62, 95\%CI[0.17, 0.63]$)、「科学の楽しさ」($t(124)=4.07, p<.01, g=.73, 95\%CI[0.25, 0.73]$)、「理科学習に対する道具的な動機付け」($t(124)=3.65, p<.01, g=.65, 95\%CI[0.20, 0.69]$)、「科学に対する将来志向的な動機付け」($t(124)=1.99, p<.05, g=.36, 95\%CI[0.00, 0.57]$)は、AL群の平均値の方が対照群のそれよりも有意に高かった。「理科学習における自己認識」は有意な差が認められなかった($t(124)=1.08, n.s., g=.19, 95\%CI[-0.12, 0.42]$)。効果量を見ると、「科学に関する全般的価値」、「科学に関する個人的価値」、「科学の楽しさ」、「理科学習に対する道具的な動機付け」については中程度の効果、「科学に対する将来志向的な動機付け」は小程度の効果と解釈できる。

表 8 事後：科学や理科学習に対する態度の結果

	AL群 (N=70)		対照群 (N=56)		t 値	ES(g)	95%CI	
	M	SD	M	SD			下限	上限
科学に関する全般的価値	3.48	0.55	3.13	0.64	3.31**	.59	0.14	0.56
科学に関する個人的価値	3.08	0.67	2.68	0.62	3.45**	.62	0.17	0.63
理科学習における自己認識	2.30	0.76	2.16	0.76	1.08	.19	-0.12	0.42
科学の楽しさ	3.09	0.66	2.60	0.69	4.07**	.73	0.25	0.73
理科学習に対する道具的な動機付け	2.88	0.69	2.44	0.67	3.65**	.65	0.20	0.69
科学に対する将来志向的な動機付け	2.32	0.85	2.03	0.74	1.99*	.36	0.00	0.57

** $p < .01$, * $p < .05$ 自由度はいずれも124

ESは効果量 (Effect Size), CIは信頼区間 (Confidence interval)を指す。

5. 考察

本研究では、真正の学習論に着目し、中学校第3学年理科「水溶液とイオン」、「化学変化と電池」において単元開発し実践するAL群と基本的には教科書通りの実践を行う対照群を設定した。そして、事前調査により効果検証に支障がないことを確認した後、それぞれの単元計画に沿って授業を実施し、科学的知識の理解の促進や科学や理科学習に対する態度の改善に有効であるかを検証した。以下、実践の効果について考察する。

(1) 科学的知識の理解に与える効果

事後において、両群に対して評価テストを実施したところ、AL群の平均値の方が対照群のそれよりも有意に高く、科学的知識の理解に中程度の効果を確認することができた。また、問題ごとの正誤数の比較結果(表6)において、効果の程度が相対的に大きかった問題は、化学電池の実験場面における基本的な語句やイオン式を問う問題(問題①及び④)、電流の流れる向きを選択させる問題(問題③)、気体が発生する仕組みを説明させる問題(問題②)であった。

Bransford, Brown & Cocking (2000) は、複数の文脈に学習内容が関係付けられると効果的であると指摘している。この指摘を踏まえると、AL群の単元構成は対照群のように科学の内容を単一の文脈だけで学ぶ計画となっていない。例えば、図1の「③学習内容の習得」に関わる時間

(2-11時)では、電池製作という課題意識をもった上で理科学習が展開されている。そして、第12-15時においては「②知識やスキルの活用」に関わる時間としてオリジナル電池製作という類似文脈の中で再度学習する単元計画となっている。また、図3の作業シートの記述からも分かるように、オリジナル電池づくりの製作過程で、「電子」や「イオン」、「移動」、イオン反応式などを用いた記述が見られ、生徒がこれまでに学習した科学的知識を繰り返し活用する学習活動となっている。このように、図1に基づいた単元開発によって、生徒は複数の文脈の中で科学の内容を学ぶことができ、科学的知識の理解が促進されたと考えられる。

以上から、中学校理科において、真正の学習論に依拠した単元開発及び実践の結果、科学的知識の理解の促進に中程度の効果を示すことができた。この成果は、先述の小学校理科を対象とした小川・松本(2012)の研究結果を支持するものであるが、分析において効果量を検討したことにより、科学的知識の理解に与える効果の程度についても指摘することができた。また、小学校理科のみならず、より抽象的な概念を取り扱う中学校理科においても科学的知識の理解に与える効果を確認できた点は、本研究の成果の1つだと考えられる。

(2) 科学や理科学習に対する態度に与える効果

事後において、科学や理科学習に対する態度に関わる質問紙調査を実施したところ、「科学に関する全般的価値」、「科学に関する個人的価値」、「科学の楽しさ」、「理科学習に対する道具的な動機付け」、「科学に対する将来志向的な動機付け」において、AL群の平均値の方が対照群のそれより有意に高く、中程度、もしくは小～中程度の効果を確認した。

このような科学や理科学習に対する態度の結果は、真正の学習論に依拠した単元構成によるところが大きいと考えられる。AL群の単元では、生徒は単元のはじめに電池の開発者として起電力の高いオリジナル電池をつくるという課題を設定し、そのために必要な知識として「水溶液とイオン」

「化学変化と電池」の学習をしている。そして、単元末には、現実の製品開発の過程（図2）を基本として科学的知識を繰り返し活用しながらオリジナル電池づくりを試みている。一方、対照群の単元は、基本的に科学の内容を系統的に学習する文脈を重視している。この違いを踏まえると、図1の観点を満たす真正の学習論に依拠したAL群では、単元の中に複数の文脈、つまり、科学の内容を学習する文脈とオリジナル電池をつくるという実社会・実生活と関連した文脈が組み込まれており、そのような単元の枠組みの中で学習を展開したことが生徒の科学や理科学習に対する態度に有効に作用したと推察される。ただし、「理科学習における自己認識」については、有意な差が認められず、効果量も小さかった。図1の観点⑥「真正の評価」と関連して、生徒が保持する科学概念や能力について自信がもてるよう、成長が実感できる自己評価や教師や仲間、保護者から肯定的なフィードバックが得られる機会（例えば、OECD, 2016）を単元に導入することも重要と考えられる。

以上から、中学校第3学年理科「水溶液とイオン」、「化学変化と電池」において、真正の学習論に依拠した単元開発及び実践の結果、生徒の科学や理科学習に対する態度の向上に一定の効果を示すことができた。中学校第2学年理科「電流と磁界」を対象とした小川ら（2019）の成果に加えて他学年、別単元においても有効性を示せた点や効果量の算出により効果の程度についても指摘できた点は本研究の成果の1つである。このことは、とりわけ中学校以降に低下する科学や理科学習に対する態度の改善に貢献するものと考えられる。

6. 研究のまとめ

本研究から、真正の学習論に依拠した中学校理科の単元開発と実践によって、科学的知識の理解の促進及び科学や理科学習に対する態度に一定の効果があることが明らかとなった。これらの知見は、今後の単元開発において科学の内容を学習する文脈と実社会・実生活と関連した文脈を組み

込むようにデザインしていくことの有用性を提示している。そのため、今後、中学校理科教育においては、図1に示した観点を基本的な視座として、単元の中に複数の文脈を取り入れた単元開発をし、知見を積み重ねていくことが望まれる。

最後に、真正の学習論と理科教育の一連の研究においては、高等学校理科における効果が明らかとなっていない。具体的な単元開発及び実践を通じた検証が今後の課題である。

謝辞

本研究論文の執筆に当たり、授業実践において、研究協力校の諸先生方、生徒諸君には大変お世話になりました。

また、本研究はJSPS科研費JP16K21478の助成を受けたものです。感謝申し上げます。

註

- 1) 図1は小川・松本(2012)より筆者が一部加筆修正したものである。該当論文では、観点の①を「現実世界との関連性」、⑥を「オーセンティック・アセスメント」としているが、本研究では、用語の統一を図るため、①を「実社会・実生活との関連性」、⑥を「真正の評価」とした。
- 2) 2000年以降の過去20年間の国内学術誌「日本教科教育学会誌」、「理科教育学研究」、「科学教育研究」において、「真正の学習（もしくは、オーセンティック・ラーニング）」、「中学校理科」をキーワードとした先行研究を概観したところ、小川ら(2019)を除いては、確認できなかった。
- 3) 図1の真正の学習論に依拠した単元開発及び実践については、当初、協力校全てのクラスにおいて取り組む計画であった。しかし、1校については、協力依頼において、質問紙等の調査には協力できるが、単元開発及び実践には同意を得ることができなかった。そのため、結果的に、公立A中学校を図1の観点に依拠して単元を開発し実践する群（AL群）とし、公立B中学校を基本的に教科書通りの授業を行う群（対照群）として設定し、効果の検証を行うこととした。
- 4) 本単元に導入した製作過程は、例えば、NGSSの「エンジニアリング・デザイン（Engineering design）」（NGSS Lead States, 2013）やNASAの「エンジニアリング・デザイン・プロセス（Engineering design process）」（NASA, 2013）とも類似しているため、実社会における製品開発過程として本実践に導入することは妥当であると判断した。

- 5) オリジナル電池づくりの内容は、基本的には生徒の意思決定に基づいて行われた。備長炭電池や果物電池などは、ボルタ電池と同様の原理であるが、実際は複雑な現象を含んでいることや安定した起電力を保つことが難しいことなど、取り扱いについては批判も多い(坪村, 1998など)。しかし、本研究では実践当時、現行版であった中学校学習指導要領解説理科編(文部科学省, 2008)の記載内容や実践者との協議を踏まえて、ボルタ型の電池製作を選択してもよいこととした。
- 6) 本研究では、*t*検定のような統計の結果を報告する際、効果量(*Effect Size*)も併せて報告する。水本・竹内(2008)によれば、*t*検定のような統計手法は、サンプルサイズによって変わるため、実質的な差が大きい小さいかについての情報を与えてくれない。そこで、近年ではサンプルサイズにあまり影響を受けない、標準化された指標である効果量を算出し報告する論文が増えている。

引用文献

- Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (Ed.). (2000). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School*, National Research Council. (森敏昭、秋田喜代美監訳 (2002)『授業を変えよう－認知心理学のさらなる挑戦』、北大路書房.)
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.)*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Edelson, D.C. & Reiser, B.J. (2006) Making Authentic Practices Accessible to Learners: Design Challenges and Strategies. In R. Keith Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of The Learning Sciences* (pp.335-354). Cambridge University Press.
- Glatthorn, A. A. (1999). *Performance standards & authentic learning*, Eye On Education.
- 原田勇希・坂本一真・鈴木誠(2018)「いつ、なぜ、中学生は理科を好きでなくなるのか? : 期待-価値理論に基づいた基礎的研究」『理科教育学研究』58 (3), 319-330.
- 国立教育政策研究所(2007)『生きるための知識と技能3 : OECD生徒の学習到達度調査(PISA) 2006年調査国際結果報告書』ぎょうせい.
- 国立教育政策研究所(2015)「平成27年度 全国学力・学習状況調査の結果について(概要)」Retrieved from <https://www.nier.go.jp/15chousakekkahoukoku/summary.pdf> (accessed 2022.09.01)
- 国立教育政策研究所(2016)『生きるための知識と技能6 : OECD生徒の学習到達度調査(PISA) 2015年調査国際結果報告書』明石書店、2016.
- 国立教育政策研究所(2017)『TIMSS2015算数・数学教育/理科教育の国際比較 : 国際数学・理科教育動向調査の2015年調査報告書』明石書店、2017.
- Krajcik, J. S. & Blumenfeld, P. C. (2006). Ch19 Project-Based learning, In R. Keith Sawyer (Eds.), *The Cambridge Handbook of Learning Science* (pp.317-333), Cambridge University Press.
- Krapp, A., & Prenzel, M. (2011). Research on Interest in Science: Theories, Methods, and Findings, *International Journal of Science Education*, 33 (1), 27-50.
- 熊野善介(2006)「オーセンティック評価」辰野千壽、石田恒好、北尾倫彦監修『教育評価事典』図書文化、111-112.
- Maina, F. W. (2004). Authentic learning: Perspectives from contemporary educators, *Journal of Authentic Learning*, 1 (1), 1-8.

- Mims, C. (2003). Authentic Learning: A practical introduction and guide for implementation. Meridian: *A Middle School Computer Technology Journal*, 6 (1), 1-3. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/228395999_Authentic_Learning_A_practical_introduction_and_guide_for_implementation (accessed 2022.09.01)
- 水本篤・竹内理(2008)「研究論文における効果量の報告のために：基本的概念と注意点」『関西英語教育学会紀要 英語教育研究』31, 57-66.
- 文部科学省 (2008)『中学校学習指導要領解説理科編』、大日本図書.
- NASA (2013). *NASA's BEST Students - Beginning Engineering, Science, and Technology: An Educator's Guide to the Engineering Design Process Grades6-8*, Create Space Independent Publishing Platform, 12-13.
- Newmann, F. M. & Wehlage, G. G. (1993). Five Standard of Authentic Instruction, *Educational Leadership*, 50 (7), 8-12.
- NGSS lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States (Volume2: Appendixes)*, The National Academies Press, 103-107.
- OECD. (2016). JAPAN – Country Note – Results from PISA2015, 5. Retrieved from <http://www.oecd.org/pisa/PISA-2015-Japan.pdf> (accessed 2022.09.01)
- 小川博士・松本伸示 (2012)「オーセンティック・ラーニングに依拠した理科授業が科学的知識の理解に与える効果－小学校第6学年理科「ものの燃え方」を事例として－」『理科教育学研究』52 (3), 43-53.
- 小川博士・松本伸示 (2013)「オーセンティック・ラーニングに依拠した理科授業が燃焼概念形成に与える影響に関する事例的研究－「概念についての面接法」の分析を通して－」『理科教育学研究』53 (3), 429-439.
- 小川博士・松本伸示・桑原不二朗・平田豊誠 (2015)「オーセンティック・ラーニングに依拠した理科授業が科学・理科学習態度に与える効果－小学校第5学年理科「天気の変化」を事例として」『教育実践学論集』16, 139-147.
- 小川博士・高林厚志・池野弘昭・竹本石樹・平田豊誠・松本伸示 (2019)「実社会・実生活との関連を志向する真正の学習論に着目した中学校理科の単元開発とその実践－生徒の科学や理科学習に対する態度に与える効果」『理科教育学研究』59 (3), 345-356.
- Osborne, J., Simon, S., & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: a review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25 (9), 1049-1079.
- Rule A. C. (2006). Editorial: The Components of Authentic Learning, *Journal of Authentic Learning*, 3, 1-10.
- 角谷詩織 (2004)「理科の好き嫌いとその理由の構造－小学5年生から中学3年生を対象に」『お茶の水女子大学人文科学紀要』57, 269-285.
- 寺田光宏 (2014)『理科教育における「ものづくり」の研究』、日本評論社.
- 坪村宏 (1998)「ボルタ電池はもうやめよう－問題の多い電気化学分野の記述」『化学と教育』46 (10), 632-635.
- White, R. & Gunstone, R. (1992). *Probing understanding*, Taylor & Francis Group Ltd.(中山迅・稲垣成哲監訳 (1995)『子どもの学びを探る－知の多様な表現を基底にした教室をめざして』東洋館出版.)

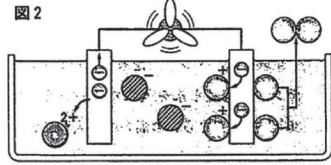
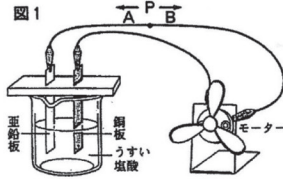
資料1 事後調査で使用した評価テスト

化学変化とエネルギーについて、実験1、2を行いました。①～⑨の各問いに答えなさい。

<実験1>

図1のように、うすい塩酸が入ったピーカーに亜鉛板と銅板をひたし、モーターにつないだところ、モーターが回った。

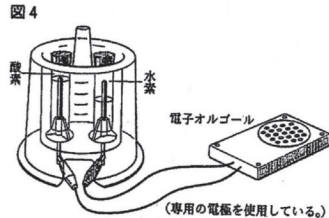
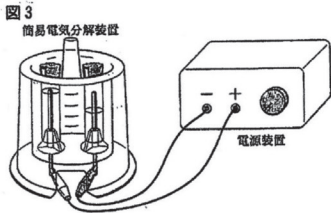
そのとき、銅板の表面から気体が発生していることと、亜鉛板の表面がとけていくことが分かった。



- ①<実験1>のように、化学変化によって電気エネルギーを取り出す装置を何といいますか。
- ②図2は、銅板と亜鉛板で起こっていることを表した模式図です。銅板の表面から気体が発生する様子を「電子」「原子」「分子」という3つの言葉を使って説明しなさい。
- ③モーターが回ったことから、電流が流れていることがわかる。図1の点Pを流れる電流は、A、Bのどちらの向きに流れているか、記号で書きなさい。
- ④<実験1>で、ピーカーの溶液中には、実験前になかったあるイオンが存在する。このイオンをイオン式で書きなさい。
- ⑤モーターと金属板はそのまま、図1の装置を使ってモーターをより速く回すためにはどうすればよいですか。

<実験2>

水に水酸化ナトリウムを加え、図3の簡易電気分解装置を使い、電気分解をした。



- ⑥水の電気分解を化学反応式で表しなさい。
- ⑦<実験2>のあと、電気分解装置をはずして、図4のように電極に電子オルゴールをつけたところ音が鳴った。それはなぜですか、簡単に説明しなさい。
- ⑧図4のしくみを電源として用いることが研究され、電気自動車の電源として実用化が進められている。このしくみの電源を何といいますか。
- ⑨⑧の電源を用いることは、環境への負担が少ないと考えられている。その理由を書きなさい。