

中学校理科「化学変化と電池」単元における「身体化」を取り入れた科学理解の促進

Promoting Scientific Understanding by Incorporating "Embodiment" in the Junior High School Science Unit "Chemical Change and Batteries"

○武田章宏*¹, 隅田 学*², 佐藤栄治*³

TAKEDA Akihiro*¹, SUMIDA Manabu*², SATO Eiji*³

*¹愛媛大学大学院教育学研究科, *²*³愛媛大学教育学部

*¹Graduate School of Education, Ehime University *²*³Faculty of Education, Ehime University

【要約】 物理分野のエネルギーや化学分野の粒子の学習は、中学校段階では生徒がモデルを使って概念的に学習する。学習指導要領理科の「粒子」を柱とする領域では、自然の事物・現象を主として質的・実体的な視点でとらえることが理科の見方とされている。GIGA スクール構想によって1人1台のICT端末が児童に支給されたことによって動画学習やモデル図の作成などが可能になり、教育の幅は広がっているが、Society5.0とも呼ばれる現在社会では、ヴァーチャル空間と同様に、フィジカル空間の重要性も述べられている。本研究は、概念学習における身体化に着目した。中学生を対象としたダニエル電池に係わる身体化活動を本研究でオリジナルに考案し、科学概念の学習に身体化の活動を導入することにより理解の促進を図った。そして生徒がダニエル電池を身体化した際の自分の役割による理解度への影響を調査した。そして、自分の理解に対する自信度についても調査を行った。結果から、ダニエル電池に関する理科学習において身体化を取り入れることにより生徒の科学概念の理解と自分の回答に対する自信度が向上した。また、身体化の役割別に理解度の分析を行った結果、自分の担当はもちろん、それ以外の要素についても内容理解が向上することがわかった。

【キーワード】 ダニエル電池 身体化 粒子 モデル図

I. はじめに

1. 研究背景と目的

物理分野のエネルギーや化学分野の粒子の学習は、中学校段階でモデル図を主なツールとして、生徒は学習している。中学校学習指導要領理科編解説(文部科学省, 2017)において「粒子」を柱とする領域では、自然の事物・現象を主として質的・実体的な視点でとらえることが理科の見方とされている。そして「化学変化と電池」の単元では、「電池の電極の変化をイオンモデルを用いて表現させることを通して、電極で生じた電子が回路に電流として流れることを理解させる」と示されている。

現在の社会で推進されている Society5.0 では、IoT 等によるヴァーチャルな空間とフィジカル空間が繋がり、様々な知識や情報が共有されることで、これまでの課題や困難を克服するとされている。本研究では、自然の事物・現象を主とした実体的な視点について、身体化を活用することで、生徒の理解が促進すると仮説をたてた。

関連する先行研究として、小学校理科における擬

人化体験学習の提案がされており、特に粒子や電流などの分野が多い(吉川ら, 2014)。自分たちで擬人化を行い理解できた経験は、理科的な見方、考え方を育てると考えられている(吉川, 2013)。

本研究ではフィジカル空間の特性を活かすために、身体化を中心として、授業を行い、授業を通して、身体化による体験学習が生徒の概念的理解を促進するか明らかにすることを目的とした。そして、身体化の前後に生徒が記述したダニエル電池に関するモデル図に対する自信度を調査し、その変化を分析した。この身体化を導入した学習を通して、生徒は自信を伴う科学理解と表現力を身に付けることも予想される。

2. 研究方法

中学校の理科で初めてイオンを学習するにあたり、目に見えないイオンや原子を電池の仕組みを用いて理解させるため、ダニエル電池に関する授業で導入可能な身体化の活動を考案した。そして、その考案した身体化を用いて授業実践を行い、生徒の理解度の変化

を調査した。

実践の対象として、松山市の中学3年生の2クラスを対象に2時間の授業実践を行い、モデル図を用いて身体化前後の理解度の変化と自信度調査を行った。1時間目は、ダニエル電池の実験を行い、化学変化とイオンの関係性を考えさせる授業を行った。2時間目は、実験からのモデル図を再度考えさせ、身体化を行った後にもう一度ダニエル電池に関するモデル図を作図させ、化学変化とイオンの関係性を考えさせた。そして、以下の評価基準を作成し、生徒のモデル図を分析した。

表 1 モデル図と記述の評価基準

評価	内容
○	記号と記述の両方が正しく示されている。
△	記号か記述のどちらかが示されており、正しく示されている。
●	記号と記述の両方が示されているが、誤りがある。
▲	記号と記述のどちらかが示されているが、誤りがある。
×	記号と記述のいずれの記載もない。

II. 授業実践の内容

1. 対象と期間

N 中学3年生 76名 2学級を対象に2023年7月14日に授業実践を行った。

2. 授業方法

A) 授業展開

学習活動(形態)	時間(分)	学習内容	指導の工夫 評価
導入	10	○実験前後の実験装置の変化を確認させる。 ○実験前後の金属の表面変化に着目させ、変化に気づかせる。 ○ダニエル電池実験での表面変化から、電流を取り出す仕組みを考えよう。	○実験前の金属をすべて統一にし、変化前後の違いを分かり易くする。 ○モデル図のワークシートを作成し、生徒の意見を分かり易くする。 ○ワークシートの記入が記述にできているか。 ○観察・実験の技能 ○モデル図を使って、自身の草図が考えられ、記入されているか。 ○表現・熟達
実験後の考察	15	○作成したダニエル電池の仕組みの導入を体験する。 ○1つの役割をばききませ、1つ1つの行動をする。 ○動画視聴では、自分以外の動きにも着目させ、変化を捉えられさせる。	○生徒一人一人の行動を制限し、上から動画を撮り、視覚的に分かるようにする。
学習内容の確認	10	○実験から分かったことから、ダニエル電池の仕組みについて振り返る。	○ダニエル電池の仕組みを整理できているか。 (知識の理解)

図 1 授業実践の指導案

授業の大まかな流れを下図1の指導案に示す。

授業の導入部分で、実験の結果から得られた情報をまとめ、実験結果からの記述やモデル図を作成させた。その際に、ボルタ電池のモデル図と記述を提示し、見本を見せた。そして、化学変化がどのようになっているかを考えさせ、イオンとの関係を意識させた。

実験の結果だけではなく、ダニエル電池に関する科学知識を共有し、化学変化と化学反応式を関連させることで、化学変化とイオンが関係していることを確認させた。その後、身体化として、イオンと電子が同様に変化や移動をしているかについて自分自身がそれぞれの役割を持って実際に移動する活動を行った。

授業の最後に、授業中に行った身体化を通して、イオンと電子に関する理解がどのような変化したかを調べるために、同様のモデル図と記述させた。

B) ワークシート

まず身体化の活動前に、生徒は、下図2のワークシート①を用いて、実験の結果を整理し、モデル図を作成し、記述で説明を加えた。



図 2 ワークシート①

下図のワークシート②は生徒に配布した 身体化の説明である。亜鉛イオン、電子、銅イオン等、各

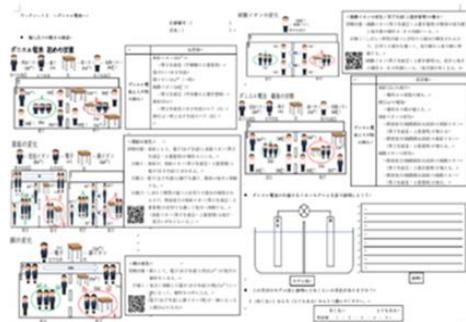


図 3 ワークシート②

担当と記号の対応をモデル図に示した。

右下には、ワークシート①と同様に、モデル図とその説明、回答への自信度を記載させた。

C) 本研究で考案したダニエル電池に関する身体化

本研究で設定した、ダニエル電池の仕組みの身体化について説明する。教室を液体の入っている容器だと仮定し、薄焼き版として机などを利用して教室を半分に分けた。亜鉛原子を電子(女子生徒)と亜鉛イオン(男子生徒①)の二人組ペアとして片方に集め、反対側に銅イオンの人を集めた。金属を液体につけるタイミングを身体化の動くタイミングとして、教員の合図で始めた。イオン化傾向の差で亜鉛がイオンになるために、二人組のペアは離れ、電子役の人は廊下(導線の役割)を通り、反対側に移る。反対側に移った電子役の生徒は、銅イオン役(机)と結びつき、陽極側で銅が生成される。

時間がたつと起電力低下を防ぐために、硫酸亜鉛水溶液中の亜鉛イオンが薄焼き版を通り、硫酸銅水溶液に移り、同様に硫酸銅水溶液中の硫酸イオンが硫酸亜鉛水溶液に移る。これについては、教員からの2度目の合図でそれぞれのイオンを移動させ、ダニエル電池の仕組みを通して行った。下記の図がそれぞれの役割、状態、そして行動を示したものである。

● ダニエル電池と人や物の例え(初期状態)

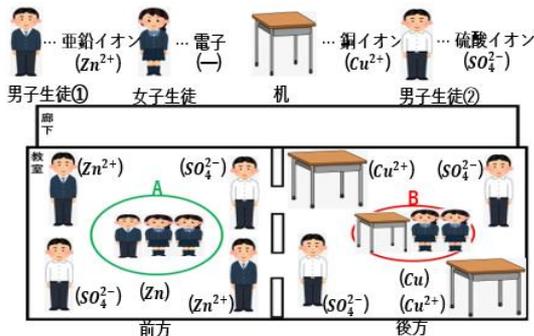
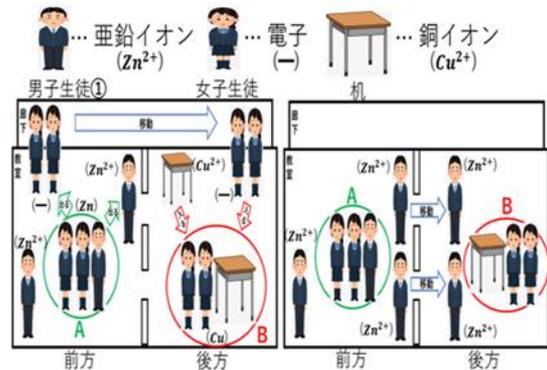


図4 ダニエル電池と人や物の例え(初期状態)

表2 身体化の人や物の例え(初期状態)

	反応前
ダニエル電池と人や物の例え	亜鉛イオン(Zn^{2+}) →男子生徒①(学制服の上着着用)
	電子(-)→女子生徒
	銅イオン(Cu^{2+})→机
	硫酸イオン(SO_4^{2-}) →男子生徒②(学生服の上着非着用)
	亜鉛(Zn) →男子生徒①と女子生徒のペア(A)
	銅(Cu)→机と女子生徒のペア(B)

● 亜鉛(Zn)の変化



亜鉛の変化を示したのが図5である。初期状態は、

図5 身体化の人や物の例え(亜鉛の変化)

亜鉛として、電子(女子生徒)と亜鉛イオン(男子生徒①:上着着用)が場所Aにいる。

反応が始まれば、亜鉛が、亜鉛イオン(男子生徒①:上着着用)と電子(女子生徒)に分かれる。その後、電子(女子生徒)は廊下を通り、教室の後方に移動する。しばらく時間が経つと仕切りの部分が解放されるので、教室前方の亜鉛イオン(男子生徒①:上着着用)が仕切りを通して後方へ移動する。(亜鉛イオン(男子生徒①:上着着用)は前方・後方いずれにもいる。)

● 銅(Cu)の変化

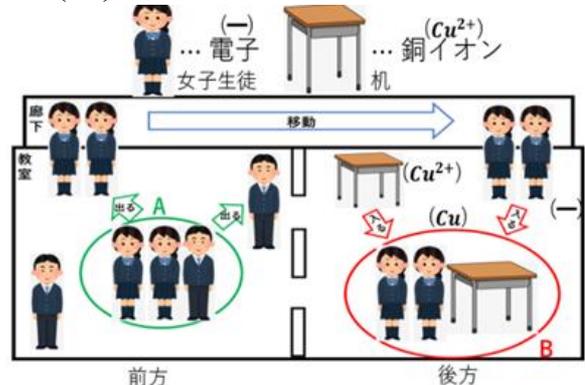


図6 身体化の人や物の例え(銅の変化)

銅の変化を示したのが、上の図6である。初期状態は、銅として、電子(女子生徒)と机(Cu^{2+})が後方の場所Bにいる。

反応が始まれば、後方に移動した電子(女子生徒)が机(Cu^{2+})と一緒にあって、場所Bの中に入る。(電子(女子生徒)と銅イオン(机)が一緒になったら銅(Cu)になる。)

● 硫酸イオン (SO_4^{2-}) の変化

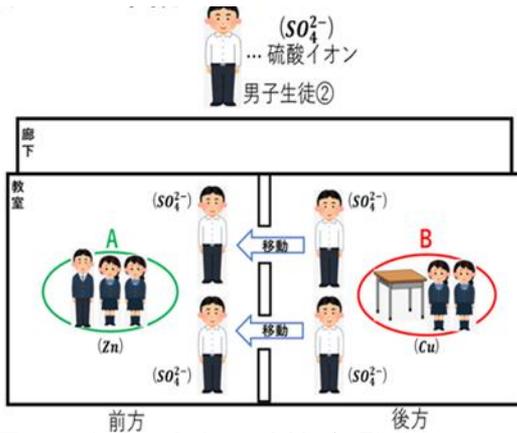


図 7 身体化の人や物の例え (硫酸イオンの変化)

硫酸イオンの変化を示したのが、上の図7である。初期状態は、硫酸イオン(男子生徒②:上着非着用)が教室の前方側と後方側の場所 A・B の外側にいる。

硫酸イオンについては、反応が始まっても、しばらくは変化に関与しないため、それぞれいる教室内を移動している。しばらく時間が経つと仕切りの部分が解放されるので、仕切りの部分を通して、後方側から前方側に移動する。(硫酸イオン(男子生徒②:上着非着用)は、前方と後方の場所 A・B の外側にいる。(前方側が多くなる。)

● ダニエル電池と人や物の例え(最終状態)

表 3 ダニエル電池と人や物の例え(最終状態)

	反応後
ダニエル電池と人や物の例え	亜鉛(Zn)の減少 →場所 A の亜鉛が減る。
	銅(Cu)の増加 →場所 B の銅が増える。
	亜鉛イオンの変化 →教室前方(硫酸亜鉛水溶液)の亜鉛イオン(男子生徒①:上着着用)が増える →教室後方(硫酸銅水溶液)の亜鉛イオン(男子生徒①:上着着用)が増える。
	硫酸イオンの変化 →教室前方(硫酸亜鉛水溶液)の硫酸イオン(男子生徒②:上着非着用)が増える。 →教室後方(硫酸銅水溶液)の硫酸イオン(男子生徒①:上着着用)が減る。

ダニエル電池の反応後は上記の表3美容になる。

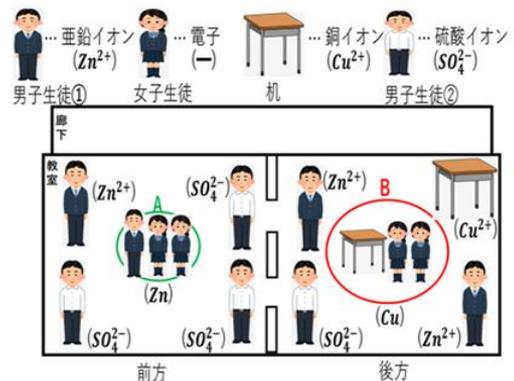


図 8 身体化の人や物の例え (最終状態)

Ⅲ. 生徒のワークシートへの記述について

身体化の活動を行った前に生徒が記述したワークシート①の例を図9に、同じ生徒が身体化後に記述したワークシート②を図10に示す。

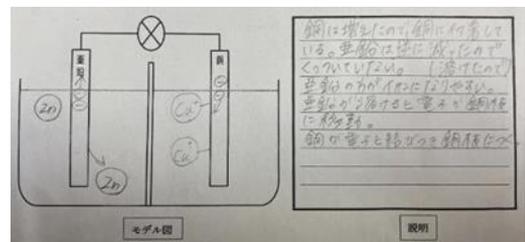


図 9 生徒が記載したワークシート①

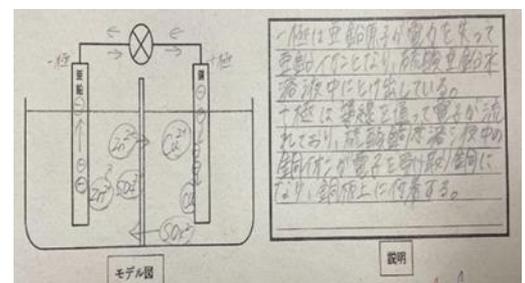


図 10 生徒が記載したワークシート②

ワークシート①をとワークシート②比較すると、この生徒は身体化前にはダニエル電池の反応における硫酸イオンの存在に気づいておらず、亜鉛の変化と銅の変化の2つだけ、モデル図と記述がされていた。身体化後に記述したワークシート②のモデル図では、動きが丁寧に記載されており、それぞれの化学式も正確に記載されるなどの理解が向上していた。

以下では、身体化の活動前後における、参加した生徒の理解を表1の観点から分類し、各元素やイオンごとに整理し、分析を行った。

A) 亜鉛の変化

亜鉛の変化に関する身体化前後における生徒のモデル図や記述を、表1の基準から分類し、整理したものが表4である。

表4 身体化前後の理解の変化（亜鉛の変化）

		身体化後					
身体化前	評価	○	△	●	▲	×	合計
	○	2	0	0	0	0	2
	△	12	8	0	0	2	22
	●	5	4	2	0	2	13
	▲	0	0	1	0	0	1
	×	1	1	1	0	0	3
	合計	20	13	4	0	4	41

表4より、身体化前は、不完全な正答（△）や、記述とモデル図の両方を記載している誤答（●）の生徒が多数を占めていたが、身体化を通して、科学的な表現を伴う正答（○）の生徒が大きく増え、記述やモデル図を記載している誤答（●）の生徒が大きく減少した。

ここで、身体化の活動において、それぞれの生徒が担った役割別に検討を行う。身体化後の回答を、身体化の担当別に整理したものが表5である。

表5 身体化の担当別にみた身体化後の理解（亜鉛）

		○	△	●	▲	×	合計
担当	亜鉛	8	2	2	0	2	14
	電子	10	6	3	0	3	22
	硫酸	2	5	0	0	1	8

表5より、亜鉛と関係が深い亜鉛イオンと電子を担当した生徒の正答率（○もしくは△）が高いことが分かる。また、客観的に観察していた硫酸イオンの担当である生徒の評価も1人を除き全てが科学的な理解を含む回答をした。

B) 銅の変化

銅の変化に関する身体化前後における生徒のモデル図や記述を表1の基準から分類し、整理したものが表6である。

表6 身体化前後の理解の変化（銅の変化）

		身体化後					
身	評価	○	△	●	▲	×	合計

身体化前	○	15	0	0	0	2	17
	△	6	3	0	0	1	10
	●	4	2	1	0	1	8
	▲	1	0	1	0	0	2
	×	1	2	1	0	0	4
	合計	27	7	3	0	4	41

表6より、銅の変化については、身体化前に記述とモデル図の両方の科学的な表現（○）の生徒が17名、部分的な科学的な表現（△）の生徒が10名いた。身体化を通して、科学的な表現を伴う正答（○）の生徒は27名まで増えた。

ダニエル電池の銅の変化について、身体化の担当ごとに整理したものが表7である。

表7 身体化の担当別にみた身体化後の理解（銅）

		○	△	●	▲	×	合計
担当	亜鉛	8	2	2	0	2	14
	電子	14	2	2	0	4	22
	硫酸	5	3	0	0	0	8

表7より、銅と関係が深い電子を担当した生徒の正答率が高いことがわかる。また、客観的に観察していた硫酸イオンの担当である生徒についても全員が科学的な理解を含む回答をした。

C) 電子の変化

電子の変化に関する身体化前後におけるモデル図や記述を、表1の基準から分類し、整理したものが表8である。

表8 身体化前後の理解の変化（電子の変化）

		身体化後					
身体化前	評価	○	△	●	▲	×	合計
	○	17	0	0	0	2	19
	△	10	1	0	0	1	12
	●	4	0	0	0	1	5
	▲	2	0	0	0	0	2
	×	2	1	0	0	0	3
	合計	35	2	0	0	4	41

表8より、身体化前は、記述とモデル図の両方による科学的な表現（○）が19名、部分的科学的な表現（△）の生徒が12名いた。記述とモデル図の両方を記載している誤答（●）、記述かモデル図は示すが誤答（▲）、記述もモデル図の記述も見ら

れない回答(×)は、それぞれ5名、2名、3名と少数であった。身体化を通して、科学的な表現を伴う正答(○)の生徒は35名へと大きく増え、記述やモデルを記載しているが誤答(●)や記述かモデル図は示すが誤答(▲)の生徒は身体化後には見られなかった。身体化後のダニエル電池の電子の変化に関する生徒の回答を、身体化の担当別に整理したものが表9である。

表9 身体化の担当別にみた身体化後の理解(電子)

		○	△	●	▲	×	合計
担当	亜鉛	12	0	0	0	2	14
	電子	17	0	1	0	4	22
	硫酸	6	2	0	0	0	8

表9より、電子と関係が深い亜鉛イオンと電子を担当した生徒はほとんどが記述とモデル図の両方による科学的な表現(○)ができていたことが分かる。また、客観的に観察していた硫酸イオンの担当である生徒においても完全な正答が多くを占め、誤答を含む回答は見られなかった。

D) 硫酸イオンの変化

硫酸イオンの変化に関する身体化前後における生徒のモデル図や記述を、表1の基準から分類し、整理したものが表10である。

表10 身体化前後の理解の変化(硫酸イオンの変化)

		身体化後					合計
評価		○	△	●	▲	×	
身体化前	○	1	0	0	0	0	1
	△	0	0	0	0	0	0
	●	0	0	0	0	0	0
	▲	0	0	0	0	0	0
	×	12	9	0	0	15	40
	合計	13	9	0	4	15	41

表10からは、身体化前は、記述もモデル図も記載されていない(×)の生徒が多数を占めていたが、身体化を通して、記述とモデル図の両方による科学的な表現(○)と部分的な表現(△)の回答が大きく増え、記述もモデル図も記載していない(×)の生徒が大きく減少した。硫酸イオンの変化に関する理解は向上したと言える。一方で、身体化を行っても硫酸イオンの変化が記述とモデル図に記載がされ

ていない生徒(×)も少なからず残った。

身体化後のダニエル電池の硫酸イオンの変化に関する回答を、身体化の担当別に整理したものが表11である。

表11 身体化の担当別にみた身体化後の理解(硫酸)

		身体化後の理解					合計
		○	△	●	▲	×	
担当	亜鉛	5	2	0	1	6	14
	電子	8	1	0	2	11	22
	硫酸	0	6	0	1	1	8

表11より、硫酸イオンと関係が深い硫酸イオンを担当した生徒において、誤答を含む回答の割合は引く一方で、記述と科学的な表現を伴う正答(○)の生徒が存在しなかった。客観的に観察していた亜鉛と電子の担当である生徒については、記述とモデル図の両方による科学的な表現をした生徒はいたが、身体化後に記述もモデル図も記載していない生徒もいた。

E) 自信度の変化

最後に、生徒が自分の記載したモデル図や記述にどれくらいの自信があるかについて分析を行った。自信度が最も高いのを5とし、最も低いのを1として整理したものが下の表12である。

表12 身体化前後の自信度の変化

		身体化後					無記入	合計	
評価		低い ← → 高い							
		1	2	3	4	5			
身体化前	低い ↑ ↓ 高い	1	1	2	1	2	0	2	8
		2	0	1	8	5	0	1	15
		3	0	0	3	5	3	1	12
		4	0	0	0	0	4	0	4
		5	0	0	0	0	0	0	0
	無記入	0	0	2	0	0	0	2	
合計		1	3	14	12	7	4	41	

表12より自信度の平均を算出すると、身体化前の自信度の平均値は2.26であり、身体化後の自信度の平均値3.02であった。よって、身体化前より身体化後がモデル図や記述に対して自信度が上昇していたことがわかった。また、特に身体化前に自信度が2

と3に集中していることから、実験を行い、実験結果や観察から得た情報のみでは、生徒は自信を伴う理解ができたとは感じていない。

そこに今回の授業において身体化の活動を行ったことによりさらなる理解の促進にも繋がると同時に、自分の理解への自信度の向上にも関係していることが確認できた。

生徒の身体化の担当別に自信度の変化を整理したものが次の表13である。

表 13 身体化の各担当の身体化後の自信度

担当	評価時期	1	2	3	4	5	無記入	平均
亜鉛	前	3	4	5	1	0	1	2.1
	後	1	1	4	4	2	2	2.9
電子	前	6	6	5	3	0	1	2.1
	後	1	1	6	6	4	4	3.0
硫酸	前	2	5	2	0	0	0	2.0
	後	0	1	4	2	1	0	3.4

表13からは、いずれの担当グループにおいて身体化の前後で自信度は大きく高まっており、特に、電子担当の生徒は、他の担当に比べて自信度の向上が大きく、それは電子がほとんどの変化に関わるが多いためであると思われる。

IV. 結論と考察

本研究では、独自に考案した身体化を活用した授業実践を行い、生徒の記述やモデル図の表現による科学理解の促進や自信を伴う科学概念の理解についての教育効果を検証した。その結果、本研究の成果と課題として、以下の点を述べることができる。

結果の評価から身体化を授業で活用することで生徒の科学理解と自分の理解への自信が向上した。身体化の担当別の分析を行ったが、直接的に自分が担当したものに関わる科学理解の向上はもちろんのこと、自分が担当していないものについても理解の向上が確認できた。その点から、身体化による理解は全体的で統合的な理解を促進する可能性がうかがえた。

一方で、今後の改善へ向けて課題がいくつか挙げられる。

まず、ダニエル電池の身体化において、全体の役

割を俯瞰するような視点を共有することである。生徒によるワークシートの記述から、自分の担当以外についても科学理解の促進は確認することができたが、生徒が全体を俯瞰できるような工夫があれば、生徒の科学理解はさらに広く推進されると思われる。その際に、ICTを活用することも可能性として考えられるであろう。ロイノートのような共有アプリケーションを活用することにより、生徒と教員はワークシートの共有なども可能であり、理解の確認、共有、波及が期待できるであろう。

今回の身体化は一人一役で一度の活動だったが、時間的な制約はあるものの、生徒が役割を入れ替えながら何度か擬人化を行うことができれば、一層の科学理解の向上があると考えられる。

本授業実践では、生徒への身体化説明に、担当ごとに分割した動画教材（下記に記したQRコード）を独自に作製して用いた（巻末資料）。こうした動画をストックし、常時的に生徒と共有することにより、生徒は複数の役割や視点からダニエル電池の現象を考えることができるであろう。

付記・謝辞

実習及び研究にご指導・ご協力をいただきました松山市N中学校の校長先生はじめ先生方、最後に、真剣に授業を受けてくれた生徒の皆さんにもお礼申し上げます。本当にありがとうございました。

文献

- 文部科学省. (2017). 中学校学習指導要領解説理科編. 学校図書.
- 内閣府. “Society5.0-科学技術政策” 内閣府 (https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/) (最終閲覧日:2024-01-15)
- 吉川直志・秋谷真衣・小林亜衣・長崎由加里・茗荷谷毬. (2016). 理科の主体的な学びに向けて擬人化体験学習の利用の検討.
- 日本科学教育学会研究会研究報告, 31(8) p 19-24.
- 吉川直志. (2013). 理科教育における擬人化による体感学習の可能性
- 名古屋女子大学紀要,59 (家・自) ,13~20. (<https://core.ac.uk/download/pdf/230438724.pdf>) (最終閲覧日:2024-01-15)
- 吉川直志・香川由夏・森石千早紀・山本莉緒. (2014).

小学校理科における擬人化体感学習の利用の検討.

名古屋女子大学紀要, 60, 1-10.

(<http://nagoya-wu.repo.nii.ac.jp>)

(最終閲覧日：2024-01-15)

試料 (本研究の授業実践で用いた、生徒への身体化の説明動画)



図 11 身体化の説明
(亜鉛の変化)



図 12 身体化の説明
(銅の変化)



図 13 身体化の説明
(硫酸イオンの変化)