

協調学習とシミュレーションを導入した科学的概念の変容過程: 中学校「電力」での事例検討

(2022年1月5日 受理)

山田 雅之^{*1}, 出口 英二^{*2}

Transformation Process of Scientific Concepts through the Introducing Simulation and Collaborative Learning: A Case Study on "Electric Power" in Junior High School

(Received January 5, 2022)

Masayuki YAMADA, Eiji DEGUCHI

This study examines ways to use acquired knowledge for building new knowledge and deepening the learning of dialogues in a collaborative learning scene concerning “electric power” in lower secondary school science. In classes on electric power, we conducted nine lessons focusing on what “electric power and electric energy” are, based on the concepts of “current,” “voltage,” and “resistance,” which had already been studied; moreover, we sought to explain how heat is generated by electric power and electric energy using the “particle model.” In the initial analysis, written answers were classified into three categories (i.e., no answer, incorrect answer, and correct answer) to determine whether students could write down the electric power formula. The results confirmed that all students could write the response correctly. Next, students were asked to think about and explain electric power through classification of the model into “running water model” and “particle model.” In this study, we classified these models and performed an understanding-level analysis. The final test confirmed that most students provided explanations using the particle model, and in that process, the phenomenon of a temporary fall in the level of explanation was confirmed. Finally, we analyzed utterances to determine the state of concept change. Based on the findings, we could confirm that students clarified and deepened their knowledge through discussion activities and that they learned about models for electricity collaboratively, while interlinking knowledge of current, voltage, resistance, and power and forming associations among them. The results of this study suggest that designing lessons in which students acquire knowledge while forming associations among knowledge bases, through diverse activities, gives rise to activities that allow them to be autonomous and engage in dialogue.

*1 九州工業大学 教養教育院

*2 福岡県立輝翔館中等教育学校

1. はじめに

文部科学省(2014)では、学力状況調査における電流・電圧・抵抗の概念を獲得した学習者であっても、それぞれの関係性や物理的意味を理解するのは難しく、電力量に関する問いの正答率は11%程度であったことが報告されている。

1.1. 理科教育における変容的な評価

萩野・久保田・桐生(2014)では、水への熱の伝わり方(物の温まり方)の授業において小学4年生の概念変化に関する授業を事例として研究を実践している。ここでは授業実践の様子とともに子供達の理解のプロセスを詳細に記述し、概念変化の様子を示している。漆畑・吉田(2015)では理科の授業において、アニメーション教材を活用した授業を実践し、学習者の描いた描画を分析した結果から、科学的な概念の変容過程についてレベルを設定し検討している。背景には学びのプロセス自体に焦点を当て、人がどのように学ぶかについての変容的な評価が求められていることが挙げられる(SCARDAMALIA *et al.* 2012)。

1.2. 科学的概念の変容過程のモデル

概念変化に関する変容過程のモデルとしてKARMILOFF-SMITH(1992)は、概念獲得とパフォーマンスの関係を可視化し理解がU字で進んでいくプロセスを示した。具体的には、子供達が多様な種類の積み木を積むという課題が与えられ、4歳児は特に概念を持たずに積んでいった。これをパフォーマンスの基準として考えると、5歳児は「真ん中で積む」という概念をもち積み木を積もうとする。しかしながら、積み木はどれも見た目の真ん中でバランスが取れるわけではないため、4歳児よりもパフォーマンスが落ちてしまう結果が得られた。一方で6歳児は新たなモデルとして「重心」の概念を理解し、どんな積み木に対しても適応可能な状態となった。こうした概念の変化とパフォーマンスの関係は「U字曲線(図1)」と呼ばれている。

CLEMENT(2008)では、学習者に向けて知識を伝達する講義をしたとしても、講義内容がそのまま理解につながるとは限らないことを示した。両者を合わせれば、学習者の理解がいつも右肩上がりでなく、知識を補うには講義をすれば良いとは限らないことが考えられる。先の変容的な評価と合わせれば、人が概念を獲得し、それを変容させていく過程についての検討が求められていると言える。

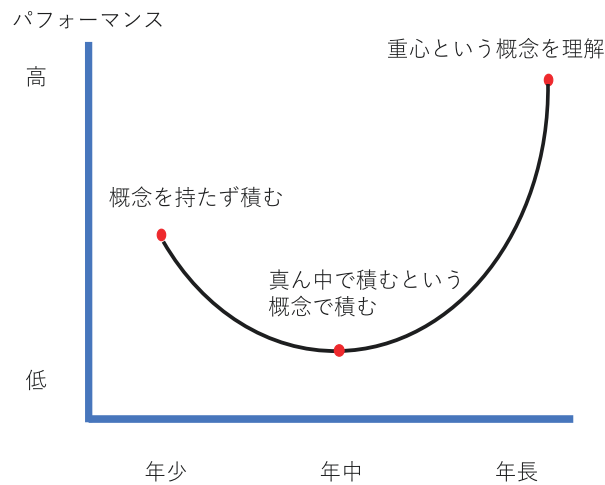


図1 幼児の概念変化とパフォーマンス (Karmiloff-Smith, 1992 より著者作成)

2. 目的

本研究では、科学的な概念の変容過程は必ずしも、右肩上がりに理解が進んでいくのではなく、KARMILOFF-SMITHのU字曲線のように理解が進むことを仮説とし、その過程について検討した。

教室での授業実践は、講義以外にも協調的な学びやICTの活用など、多様な要因が含まれ、それぞれの学習効果の測定は容易ではない。本研究ではこれらも含め可能な限り実践についての詳細を報告し、事例的に変容過程について上記モデルに沿って検討した。

3. 実践方法

3.1. 調査対象

授業は2017年度11月中旬から2月上旬に公立中学校の2年生30人のクラスで週に1度、計9回実施した。本研究に該当する内容の「電気とエネルギー」の授業時間数は指導書において4時間であったが、9時間の活動を実践した。対象人数は欠席があった生徒を除く23人(7グループ)であった。

「電気とエネルギー」の前の単元「電流と電圧・抵抗」では、教科書の内容に沿って、掲載されている実験を行い、結果をもとにまとめを行っている。その際に教科書に掲載されているイラストを用いて、電流を川の流れ、電圧を滝の高さで表現するモデルについても説明した。

3.2. 授業概要

本研究では「電力」を理解するために、教科書で扱っている実際の実験器具を用いた実験を実施するだけでなく、電子の移動のイメージをつかみやすくするために電子の流れが可視化されたシミュレーション実験も実施した。2つの実験結果をもとに「電力」と電流・電圧・抵抗との関係を探求する話し合い活動を通して、粒子モデルで説明できることを目指した。本研究では、コロラド大学が開発した PhET(Physics Education Technology)(University of Colorado, 2009)の電気回路のシミュレーション・コンテンツを活用した。

授業全体の概要を表1に示した。単元の最初(第1回)に、電気エネルギーの量を電力といい【電力[W] = 電流[A] × 電圧[V]】という「電力の式」を紹介した。この時点でテスト1(テストの詳細については後述)を実施した。その後、班で豆電球と電源(手回し発電機)を接続して電球を灯す実験を行った。また同じ内容の実験を PhET の[直回路キット]でも実施することで、電流を可視化し対話が促進することを狙った。豆電球を0個、1個、2個と並列に増やしていくとき、手回し発電機を回す時の手応え、明るさはどう変化するかを確認した。既習事項である「電流」「電圧」の水流モデルを用いてこの実験における電力を水流モデルで説明できるか、既習内容の確認をさせながら、電力のモデルについて話し合わせた。第2回、第3回の授業では発表会を実施し、テスト2を実施した。第4回、第5回の授業では教科書に掲載されている「電熱線の発熱量」を実験し、電流と発熱量が比例関係にあることを確認した。第6回の授業で、そのまとめとテスト3を実施した。ここでは、まとめの際に、水流モデルは発熱現象が起こることを水車で置き換えており、実際の抵抗とは見た目もかけ離れてイメージしづらいというモデルの限界についても確認した。第7回の授業では PhET[オームの法則]を用いて抵抗のモデルを可視化、その存在に注目させ電子が衝突したときの様子をイメージさせ、粒子モデルを用いて「電力と発熱量」についての話し合い活動を実施した。

第8回の授業では発表を実施し、生徒の発表内容を総合して、教師から粒子モデルを用いた電力の説明(抵抗が大きくなるとぶつかりやすい、ぶつかると熱を発生して熱くなる。電流が大きくなると次々と電子が抵抗にぶつかりより発熱することになること)について講義した。第9回の授業でテスト4を実施した。授業は、生徒が互いに質問し合い、既習内容を確認し正確かつ精緻なものとしながら、間違いを修正し、電力の考え方を獲得していく形式で実施した。授業における協調学習は、問いを個人→3-4人の少人数グループ→クラス全体で考え、科学的、論理的に思考し、教師も介入して話しあう過程で理由を付けて説明し合った。

表 1 授業実践

| 回数 | 授業内容 | シミュレーション | 協調学習 |
|----|-------------------------------------|----------|------|
| 1 | テスト1 手回し発電機の実験 シミュレーションを用いた実験 | ○ | ○ |
| 2 | 実験の発表に向けた話し合い 発表会 | | ○ |
| 3 | 発表会 テスト2 | | |
| 4 | 電熱線の発熱量の実験 | | ○ |
| 5 | 電熱線の発熱量のまとめ | | ○ |
| 6 | 水流モデルでは限界があることを確認 テスト3 | | ○ |
| 7 | 「電力と発熱について」話し合い シミュレーションの提示 | ○ | ○ |
| 8 | 教師から「粒子モデル」講義 | | |
| 9 | テスト4 | | |

4. 分析

授業では実験結果や自分の考えや話し合いの内容をまとめさせ、本研究の分析対象となる各テストで以下の2項目を教示した。記述時間は毎回15～20分であった。

- ・「電力の式」の記述：「電力」を求める式を書きなさい。
- ・「電力のモデル」の記述：「電力」は電流、電圧とどのような関係がありますか？ 電流、電圧のモデルをもとに説明してください。

個々の理解、グループでの理解の段階を調べるために、電力〔W〕＝電流〔A〕×電圧〔V〕という「電力の式」を書くことができるだけでなく、科学的な概念の変容を検討することを目指し、その式が持つ意味をどのように理解しているのか、モデルを使って説明することを求め分析対象とした。

4.1. 「電力の式」の記述分析

電力の式が書けるかの変容を検討するために記述内容を「無記入、間違い、正答」の3つに分類した。

間違いは単位の掛け算、割り算に誤りがあったものを分類した。電流〔A〕×電圧〔V〕

と書かれたものだけでなく、単位のみで記入したもの「 $A \times V$ 」、用語のみを記入したものの「電流×電圧」も正答とした。

4.2. 「電力のモデル」記述レベルの変容

本研究では「電力のモデル」の変容を検討するためにレベル(以下Lv)分けし、生徒全体の理解の変容を確認した。生徒が電力について考え説明したモデルは、教科書、理科資料集に記載されている「水流モデル」と「粒子モデル」に分類することができた。水流モデルは電流と電圧の関係を説明する際に使われているが、電力による発熱の説明では粒子モデルが説明に使われている。そのため本研究においては、電力についての説明を必要としているため、粒子モデルを用いた説明を上位レベルとし、Lv1:無記入、Lv2:間違い、Lv3:水流モデル、Lv4:粒子モデルの4レベルに分類した。水流モデルと粒子モデルの両方に言及している場合もLv4に分類した。具体的には、水の流れる量を電流、流れる水が落ちる滝の高さを電圧、滝の落差を利用して回転する水車の回転量を電力としたモデルを水流モデルと分類した。流れる粒子の量を電流、粒子を押し出す圧力を電圧、抵抗にある粒子と電子が摩擦し発生する熱を電力としたモデルを粒子モデルと分類した。「電力の式」「電力のモデル」のいずれも第1著者と第2著者が検討し、具体例の示す通りの明確な基準ができたため、本研究では第2著者が分類を実施した。

4.3. 発話分析

詳細な概念変化の変容を確認するため発話の分析を実施した。今後の授業デザインのために、電力の記述が粒子モデルを使った説明に到達した生徒がいる1つのグループの発話記録を分析し、対話の特徴を抽出した。対象は水流モデルから粒子モデルに変容していると考えられた7回目の授業であった。第8回目の全体発表時には、クラス全員が参加して発表、質疑応答の活動を実施したため、その直前にどのような対話が行われていたかを分析し、理解が深まる対話の特徴を抽出し、授業デザインについて検討した。

5. 結果

5.1. 「電力の式」の記述分析の結果

「電力の式」の記述分析の結果を表2に示す。テスト1やテスト3では間違いや無記入があったが、テスト2、4では全員が電力の式を記述していた。

表2 「電力の式」記述分析の結果

| テスト | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----|----|----|----|----|
| 正答 | 11 | 23 | 18 | 23 |
| 間違い | 2 | 0 | 2 | 0 |
| 無記入 | 10 | 0 | 3 | 0 |

5.2. 「電力のモデル」記述レベルの変容分析結果

各テストにおける「電力のモデル」記述レベルを分類し、それぞれのレベルの割合を図2に示す。図2より、学習する前のテスト1では、多くの生徒がレベル1か2であったが、テスト2ではレベル3の生徒が多くなり、テスト3ではクラス全体としては一旦レベルが低下し、最終のテスト4ではレベル4に到達している生徒が多く見られた。

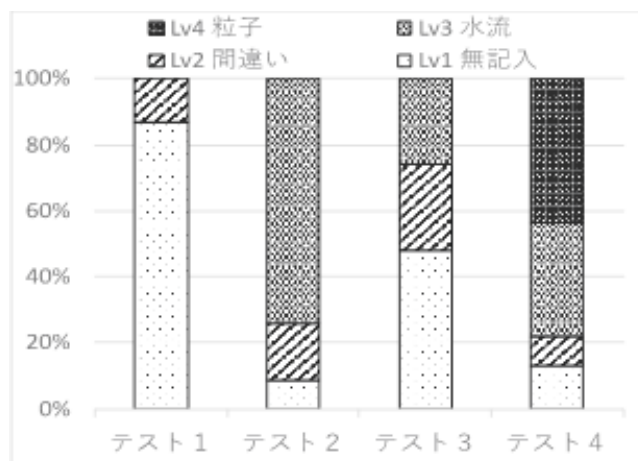


図2 「電力モデル」記述レベルの割合

5.3. 発話分析結果

発話分析の対象となる粒子モデルでの説明をした生徒が含まれた1つのグループの発話を対象として分析を実施した。対象としたグループは4名グループ(生徒A~D)であったが、話し合いの過程において他グループのZが参加している。グループの発話では、電気分野での既習内容についても言及しており、一つひとつの用語の意味を確認しながら説明し共通理解を深めていく様子が確認された(付録1)。

生徒Cが「なぜ、ここに通るだけで掛け算になるのかが、ちょっとよく分かんない。

足し算なら、まだ分かんだけど。」と発言し、自分の考えを人に伝えながら他の人からの説明を求めた後、終盤に他のグループ生徒Zからの「水車って、一応、抵抗みたいな感じでしょ」と聞かれて、今までによくわからなかった「抵抗」についての確認ができ、そして生徒Zの「抵抗で摩擦ができて熱が上がるっていう考え方が」という発言に対して生徒Aが「どういうこと」と聞く事で、さらに内容を深く理解するきっかけが生まれていた可能性が示唆された。

そこで生徒Zが「摩擦熱ってあるじゃん。摩擦熱みたいに摩擦しあって、そこで熱が発生するように、電力と抵抗が摩擦みたいな感じで」と答え、粒子モデルでの発熱が理解できるようになった。この場面は知識が相互につながり関連付けられている場面であると考えられる。

このグループは話し合い後の発表の場において「電力がヒーターに流れるたびに蓄積される。電力が生じる時に同時にエネルギーが生じてそれが熱に変換される」と発表した(図3)。その後のテスト4では、グループの中でも生徒A、生徒C(図4)は粒子モデルで説明出来ていた。

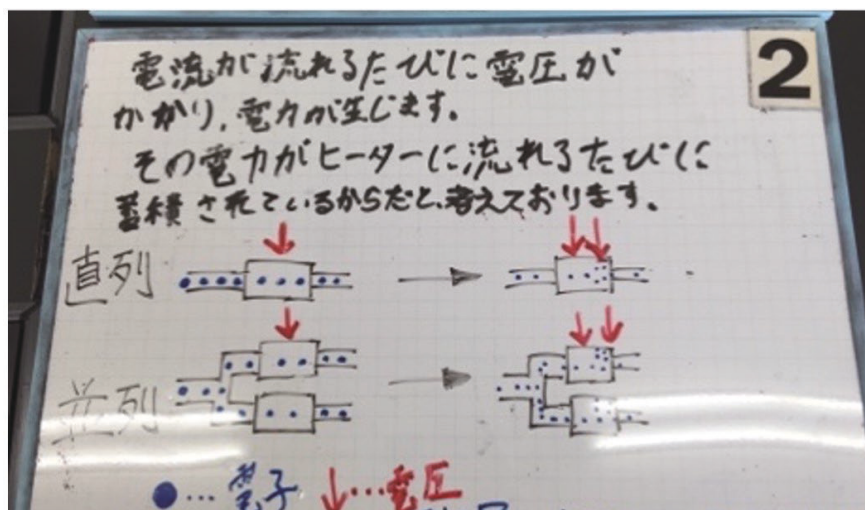


図3 グループの発表資料

授業前 ① 電力を求める式を書きなさい。
2月1日 ② 「電力」は電流、電圧、抵抗とどのような関係がありますか？
電流、電圧、抵抗のモデルをもとに説明してください。
③ 電力量を求める式を書きなさい。
④ 「電力量」を電流、電圧、抵抗、電力のモデルをもとに説明してください。

① 電流×電圧
② 比例
③ 電力×時間
④ 電圧がかかればかかるほど電流は流れ、抵抗の中の原子とこすれ合い発熱し、電力量となる。

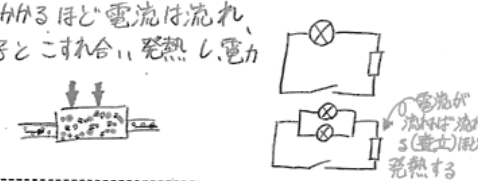


図4 生徒Cのまとめた記述

発話を分析した結果から、式を暗記して計算問題を解くことが中心な授業とは違い、話し合い活動で知識が明確化し深まり、電流・電圧・抵抗・電力の知識相互がつながり関連付けられながら電力のモデルを協動的に作っていく様子が示唆された。概念と実体が結びつきにくい問題点を解決するため「なぜ?」「どういうこと?」という発言が相手に理由の説明を求め、お互いが深く考え共通理解へと進む話し合いの場面が見られた。

本研究では、「電力」の単元で発熱の仕組みについてモデルを使って説明する話し合い活動であった。そこで生徒Zが既習事項である「抵抗」について粒子モデルを使って説明する提案を行い、水流モデルでは表現できなかった発熱の仕組みを抵抗が電子の流れを邪魔する粒子だという理解をもとにして「摩擦熱ってあるじゃん。摩擦熱みたいに摩擦しあって、そこで熱が発生するように、電力と抵抗が摩擦みたいな感じで。」と説明した。

電力のモデルを作るためには、これまでに学習した電流・電圧・抵抗の知識を使って考える必要があった。しかし、水流モデルだけでは、発熱の仕組みを説明することが難しかった。発熱する仕組みを説明するためには、水の流れだけでは例え難いが「粒子同士がこすれ合い発熱する」ことによって抵抗で発熱するという粒子モデルを導入することで電力のモデルを作ることができ、理解を深めていったと考えられた。

シミュレーション実験を行い電子の移動の様子を確認した後であっても、電気の世界を考えるうえで、生徒にとって水流モデルは使いやすい非常に便利な考え方であると思われる。「電流」「電圧」を考える上では有効であっても「抵抗」「電力と発熱」を考える

と水流モデルを使って電力や発熱を説明することが困難であるが粒子モデルに移行しようとはしない生徒が見られた。

今回発話分析の対象としたグループでは「抵抗」と水流モデルの「水車」を結びつけ、粒子(電子)の動きと抵抗との摩擦で熱が発生することを説明し、話し合いの中で理解を深めていくことが確認できた。一方で電気の基本的概念を理解出来ていなかった生徒は水流モデルから粒子モデルに移行できなかつた可能性が示唆された。

5.4 授業デザインの検討へ向けて

本研究では電流の概念を理解するために「電流を水流に、電圧を滝の高さに、電力を滝の落差で回転する水車に、抵抗を水が流れ落ちる滝の幅の狭さに例える水流モデル」で電力を説明しようとする生徒もいた。しかし、電力を考える上で水流モデルは実際の発熱現象を表現するための例えでしかない。水流モデルは発熱現象が起こることを水車で置き換えており、実際の抵抗とは見た目もかけ離れておりイメージしづらいというモデルの限界がある。

そこで水流モデルだけでなく、粒子モデルを取り入れることで、粒子同士の摩擦による発熱のイメージをつかむことを目指した。電力の学習が式を覚え、計算問題を繰り返して習得しようとする形式から脱却することを試みた。

実験の事実、シミュレーション実験による粒子モデルでの可視化を通してグループでの話し合い活動をより活性化させ、互いの考えを共有することで、対話が生まれ、深い理解へと到達していった。このことから、協調的な活動を支援するためのシミュレーション実験のような学習活動(支援)を取り入れた授業を設計していく必要がある。電力についての理解を深めるためには「電流」「電圧」「抵抗」に対する疑問をなくすことが前提である。その上で、生徒が水流モデルの適用限界を理解し、粒子モデルを使って電力を学習することでさらに理解が深まるだろうと考えられる。

グループの話し合いがうまく機能していない時には、教師が介入するだけでなく、他のグループの生徒も一緒に話し合いに参加させたりする場面を作ったり、全体発表で意見交換の時間を十分に確保することも重要であると考えられた。

本実践のように様々な活動でそれぞれの知識を互いに関連づけながら学習する授業をデザインすることで生徒が主体的になって対話できるような活動が重要である。何に対する説明や用語なのかも分からないままに覚えさせる展開の授業では「人の持つ潜在能力としての自分で答えを作り出す力(三宅, 2016)」の出現チャンスを増やせない。そのため主体的・対話的な授業を通してその状況の特徴を捉えることで学びの深まりを評価し、授業デザインについて検討する必要があることが示唆された。

6. 総合考察

表2より、電力の公式を書くのみであれば、全ての生徒が書けるようになることは可能であった。テスト3では一時的に間違いや無記入が少数見られたが、テスト4では再び全員が書けるようになっている。図2からは、第1回の授業におけるPhETシミュレーションやその後の話し合いを経て、テスト2では水流モデルという概念を獲得している様子が見られた。しかしながらその後の第4回、第5回の電熱線の発熱量の実験においては水流レベルが減少し、無記入や間違いの割合が増加し、テスト3ではレベルを落としている。第7回、第8回では再びシミュレーションを活用しつつ話し合いを進める中で、粒子モデルについての講義もあり、40%程度の生徒が粒子モデルへと到達した可能性が示唆された。

本研究では、科学的概念の変容過程が必ずしも右肩上がりに理解が進むだけではなく、KARMILOFF-SMITH (1992) のU字曲線に見られるような過程を経て獲得している可能性が示唆された。

7. 展望

電力における学習では「電流」「電圧」「抵抗」それぞれの物理的意味を理解した上で、関係性についても検討することで深い理解へとつなげていくことが予測される。その過程は必ずしも教師が思い描くようなスモールステップで右肩上がりになっていくことや、教師が教え込むことで理解が促進されるとは限らない。科学的概念変化に関わる研究は多く見られる。本実践は、教師の講義以外には協調的な学びやシミュレーションを活用しているため、その要因の同定は困難である。その上で、生徒が水流モデルの適用範囲の限界に気づき、粒子モデルを使って電力を学習することでさらに理解が深まらるだろうと考えられる。こうした複雑な概念変化のプロセスについて、本研究では仮説に基づいた過程の検証を実施した。

本研究の知見は非常に限られた範囲にとどまっている。教育実践に関わる研究は直前の授業内容の影響を受けやすく継続的な検討が必要と考えられる。また科学的概念の変容過程を記述レベルの割合で検討しているが、記述レベルは名義尺度であり、こうした理解に関わる変容過程をいかに検討可能かについて検討を続けていきたい。今後は、どのような要因によって、より適応範囲の広い概念へと変化していくのかについて検討し、授業改善へとつなげていくことが課題である。

付記

本論文は、出口・山田（2017）で発表した研究（実践の事例紹介）に分析を加え発展させ、その成果をまとめたものである。

参考文献

- CLEMENT, J. (2008) The role of explanatory models in teaching for conceptual change. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change*. Routledge: 417-452
- 出口英二, 山田雅之 (2017) 中学理科「電力」における主体的・対話的学びを目指した授業デザインの検討. *日本科学教育学会研究会研究報告*, 32(5) : 89-92
- 荻野伸也・久保田善彦・桐生徹 (2014) 小学校4年生の水への熱の伝わり方の概念形成に関する事例研究. *理科教育学研究*, 55(1):27-36
- KARMILOFF-SMITH, A. (1992) *Beyond Modularity*, The MIT Press,
- 文部科学省, 国立教育政策研究所 (2014) 平成24年度全国学力・学習状況調査【中学校】
- 三宅なほみ (2016) 「第16章 実践学としての教育工学へ」大島純・益川弘如編『教育工学選書Ⅱ第5巻 学びのデザイン:学習科学』ミネルヴァ書房, 210-218
- SCARDAMALIA, M., BRANSFORD, J., KOZMA, B., et al. (2012) *New Assessments and Environments for Knowledge Building*, Griffin, P., McGaw, B., & Care, E. (Ed.), *Assessment and Teaching of 21st Century Skills*. Springer Netherlands
- University of Colorado , PhET ,Retrieved from <https://phet.colorado.edu> (accessed 2022.1.2)
- 漆畑文哉, 吉田淳 (2015) アニメーション教材を導入した授業における粒子概念の変容的評価. *科学教育研究*, 39(3): 243-251

付録 1

| 話者 | 発言 | 電流 | 電圧 | 抵抗 | 電力 | 熱 | 換言例え |
|----|--|----|----|----|----|---|------|
| | 前略 | | | | | | |
| A | ヒーターが熱を発するために、電力を使う仕組みになってるわけだから。 | | | | ○ | ○ | |
| C | これは何回も通ってくたびに、どんどんレベルアップしてくるってこと？ このやり方は | | | | | | |
| A | そう。流れてこの摩擦で熱が <中略> | | | | | | |
| C | いいよ。Aの説明は、電流が流れる限り、電流がヒーターに蓄積されるからっていう。 | ○ | | | | | |
| T | もう一度だけ同じこと言います。電流を流すには | | | | | | |
| 教師 | 電圧をかけます。電圧をかけたら電流が流れます。電圧をかけてる電池があるから電圧があっ | ○ | ○ | | ○ | ○ | |

| | | | | | | |
|----|--|---|---|--|---|---|
| 確認 | て、電流が流れると熱が発生して、豆電球は熱くなって光ってます。 ※以下略、電力、電力量の説明。 | | | | | |
| | <中略> | | | | | |
| D | まず、なぜ電力が流れるたびに電圧がかかって電力が生じるのかが、よく分からない。だって電力の原理なんだから。 | | | | | ○ |
| A | そういうふうに。 | | | | | |
| D | 電流掛ける電圧の話に、意味分かんない。 | ○ | ○ | | | |
| C | なぜ、ここに通るだけで掛け算になるのかが <u>ちょっとよく分かんない。足し算ならまだ分かんだけど。</u> | | | | | |
| A | 抵抗が、そういう仕組みだから。 | | | | ○ | |
| D | 抵抗とか知らないもん。 | | | | ○ | |
| A | 抵抗が、そうなるように、つくられてるからでしょ。 | | | | ○ | |
| C | 抵抗が。 | | | | ○ | |
| D | 誰だよ、つくったの。 | | | | | |
| C | 抵抗さん。 | | | | ○ | |
| D | どこの人だよ。 | | | | | |
| | <中略>ボードにまとめ書き始める | | | | | |
| Z | A. 水車って、一応、抵抗みたいな感じでしょ。 | | | | ○ | |
| A | 何？ | | | | | |
| C | 普通、下を書くでしょ。 | | | | | |
| A | まじで。 | | | | | |
| Z | A君、聞いてますか。 | | | | | |
| C | 丸に。ちょっと、隣。 | | | | | |
| Z | A君、聞ってる？ <u>水車って一応、抵抗的な感じ</u> でしょ。 | | | | ○ | ○ |
| A | 何？ | | | | | |
| Z | 抵抗って水車？ | | | | ○ | ○ |
| A | セイシャ？ | | | | | |
| Z | 水車。 | | | | | |
| | <中略> | | | | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Z | A にちょっと一応、確認しよう。 | | | | | |
| A | 何？ | | | | | |
| Z | <u>電流と電圧が流れることによって、その抵抗で摩擦ができて熱が上がるって</u> いう考え方が。 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| A | <u>どうのこと？</u> ちょっと待って、よく意味が。 | | | | | |
| T | そろそろ時間になったので、ホワイトボードにまとめてください。 | | | | | |
| Z | <u>摩擦熱ってあるじゃん。摩擦熱みたいに摩擦があって、そこで熱が発生するように、電力と抵抗が摩擦みたいな感じで。</u> | | | ○ | ○ | ○ |
| A | ありだと思うよ。 | | | | | |
| Z | ありでしょ。 | | | | | |
| A | 何て書くの。 | | | | | |
| | 以下略 | | | | | |