

デジタル蓄電機による数値化を組み込む 豆電球とLEDの点灯時間比較実験

－理数教育の充実を目指した提案－

津田 真秀

1 はじめに

学習指導要領の改訂に伴い、小・中学校（義務教育）段階ではプログラミング教育の必修化や統計に関する学習内容が充実し、高等学校では「理数」の新設や探究的な活動が加わった。従来の教科学習に加え、教科の枠組みを越えた学習を通して、各教科の知識を組み合わせる創造的に問題解決ができる能力の育成が急務である。とりわけ、数学教育においては、主に中・高校生を対象に「数学的モデリング」に関する教材開発・教育実践の積み重ねによる知見が多数報告されてきた。数学的モデリングとは、現実世界の問題（現実事象）を数学モデルの活用により解決を考える学習プロセスを指し、分析の際には必要に応じてコンピュータや電卓をはじめとするテクノロジー機器の活用が前提となる場合も多い。柳本（2008）は、1980年代より約20年間にわたって開発・実践した数学的モデリングに関する教材開発・実践を通して得られた知見をまとめている。実践に際して、学習者が数学的モデリングのプロセスを繰り返し体験することにより、学習者自身が数学を学ぶ意義と意味を実感し、学んだ数学を現実場面に適用できる力の育成を目指している。しかしながら当時、教育現場での実施の限界と改善策について、教科書や副教材集の充実、教員の意識改革、入試等に関わる制約などが挙げられていた。加えて、西村（2011）は、教科書で扱われている問題は解が一意に定まる「数学の問題」となっている場合が大半であると指摘している。現行の算数・数学教科書やそれらを用いた指導においては、扱われる数に関しては処理が容易な数がほとんどであり、手計算で十分対応可能なものであるため、複雑な数の処理や解決方法を検討する必要性がある現実場面の課題を、日々の学習で導入しにくい要因の一つであると考えられる。

さて、学習指導要領の改訂（文部科学省2017）を受け、算数・数学の学習プロセスにおいては、「現実の世界」と「数学の世界」の二つが交互に関わり合って展開する過程が重要視されている。さらに、近年、現実に関与する社会的課題を様々な教科の知識を駆使して解決を目指すSTEM（Science, Technology, Engineering, Mathematics）教育が注目されているが、「理数」や数学的モデリングと密接に関連する部分は少な

くない。松壽（2015）はSTEM教育の教材・教育として用いられているレゴを用いた研究動向を概観し、ICT利用を前提とした数学的モデリング授業の展望について言及している。松壽は、ICTの併用でこそ実現可能な「数学化」について注意を払う必要があると指摘しつつ、「教具レゴを用いたモデリング授業は、関連諸科学の本質に触れながら、近未来型授業が展開できる」と述べている。このように、数学的モデリングをはじめとする探究的な学習においては、実際の科学研究のように、自然現象や社会一般的な問題などから数学・理科等に関わる要素を抽出し、課題を設定する段階から得られた結果を、適切に機器等をもちいながら「科学的な」手法によって分析するまでの一連のプロセスの体験が求められるということである。近年ではGIGAスクール構想の先行実施により、ICT機器を用いた先進的な教育を行う環境が整いつつある。コンピュータをはじめとする高性能なデジタル機器の活用は、現実事象の解明を目指した精度の高い計測・実験を可能なものとしている。例えば、理科の物理実験に着目すると、興治・小林（2010）は、ビデオ動画と運動分析ソフトを活用し、物体の自由落下や衝突現象をはじめとする物理実験を「ミリ秒」の世界で解明する教材の有効性について言及している。高度な物理実験に限らず、身近な事象においても「速さ」の測定や数値化を前提とすることで、教育内容の発展可能性が高まると考えられる。川上（2016）は、速さの単元を学習する小学校第6学年を対象としたグラフ電卓と距離センサを活用し、「歩く」という現実事象と「速さ」を結びつける教育実践を展開している。このように、物理実験をはじめとする理科の学習内容と算数・数学科の学習内容との相互関係を踏まえ、そこに適切な機器を導入することにより、それぞれの教科単独で実施するよりもはるかに学習効果が高い教科横断型授業の実現可能性があり、その環境が整いつつある現況である。

これまでの先行研究による知見、近年の教育環境を踏まえ、津田ら（2021）は算数科・理科の教科横断型授業の提案とその実践に着手し、小学校第6学年を対象に空気電池とテスターを用いた酸素濃度測定実験を行った。「酸素濃度」という教科書教材の学習内容を踏襲することで時間的制約を解消し、視覚化が難しい量の数値化を安価で高性能な機器の配備により可能とし、繰り返し測定を行うことで実験の精度が向上するといった成果を挙げている。一方で、予測・計画・検証といった問題解決のプロセスに対する意識の欠如や、機器を適切に運用してデータを処理・分析する技能面の不十分さも見られ、小学校段階における高度な科学教育を実現するためには、更なる実践の積み重ねが必要であると考えた。

本研究では、小学校段階における算数科と理科による教科横断型授業を新たに提案すべく、小学校第6学年を対象に、豆電球とLEDの点灯時間を比較する実験を、蓄電量を数値化できるデジタル蓄電機を用いて実施した。酸素濃度測定実験同様、理科教科書で取り扱われている「わたしたちの生活と電気」の実験を参考に、「点灯の明暗」という現実事象と「点灯時間の平均」を結びつけることにより、テクノロジーを用い

で数値化して思考・判断する実践の効果を検証する。なお、教育実践に際しては、科学的な側面からの有効性を検証するため、問題解決のプロセスを明示化するモデルと、一連の学習活動の評価項目を設定した。

2 研究の目的

本研究の目的は、以下の通りである。

- ・既存の理科学習における実験に機器によるデータ収集を組みこむことによって、既存の算数学習では扱いが困難とされるデータの適正な扱い、データの信憑性の向上を目指した活動の展開が可能であるかを検証すること
- ・上記の活動により、高度な科学実験においても要する適切な実験手順・方法、さらにはエビデンスを根拠に判断する能力の育成が小学校高学年段階においてどこまで達成できるかどうかを検証すること

繰り返し実験する中で得られる数値化された蓄電量や使用電量を基に、豆電球・LEDの点灯比較という現象の解明に学習者がどこまで科学的に踏み込むことができるかを明らかにする。学習効果の検証に際しては、教育実践における学習者の記述や実践後の認識調査を分析する。

傾向ごとに記述を分類し学習者の様相を読みとること、認識の特性を数値化すること、さらに、後述する学習活動における3つの評価項目の達成度を鑑みつつ、成果と課題を分析する。

3 問題解決のプロセスと授業設計

(1) 現実事象の解明に伴う問題解決の枠組み

図1は、現実事象の解明に伴う問題解決図を、統計的探究プロセス(PPDACサイクル)を基に作成し、情報活用能力を発揮する場面を位置づけたものである。「問題の発見(Problem)」では、学習者の素朴な疑問や既習の事象から問題場면을把握する。「課題の設定(Plan)」では、問題場面から解決の対象となる課題を抽出・設定し、データの収集計画を含めた解決の方略を考案する。「情報収集(Date)」「整理・分析(Analysis)」では、算数科・理科の既習の知識・技能、ツールを駆使し情報活用能力を発揮して結果を創出する。「まとめ・表現(Conclusion)」では、結果に基づき判断した考えを説明する活動を行う。この際、「課題の設定」と照らし合わせた妥当性の検証、「問題の発見」で想起した問題場面との対応を確認し、一連の問題解決のプロセスを通して得られた結果を通して科学的根拠を導く。

このプロセスを踏みつつ、各教科の知識を組み合わせることで教科横断的に課題解決ができる現実に介在する社会的課題を様々な教科の知識を駆使して解決を目指す。本来で

あれば、「問題の発見」の段階からプロセスを踏むことが望ましいが、「課題の設定」に移るまでの題材設定は、学習者のみでは容易ではない。そのため、初期の段階では指導者側が提示する、もしくは既習の学習内容から再設定する方が日々の学習での実現が期待できると考える。

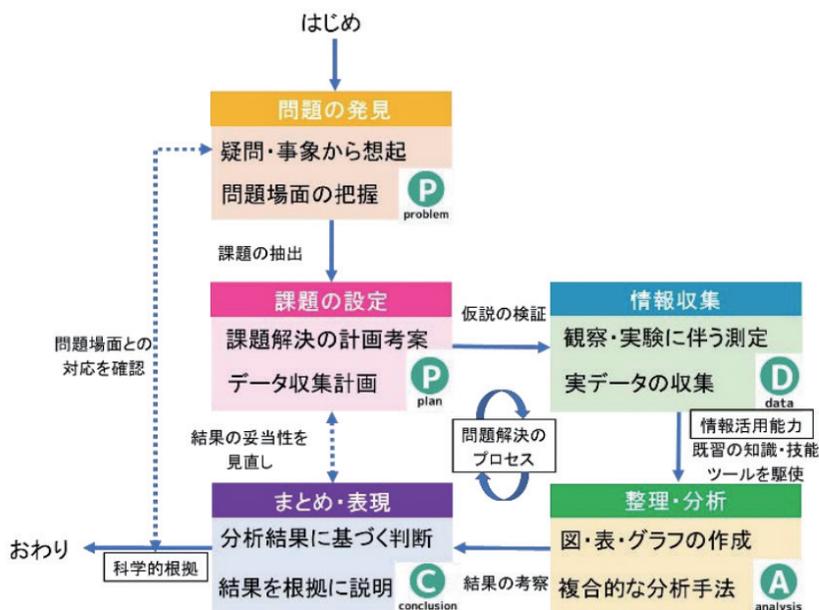


図1 PPDACサイクルに基づく問題解決の過程

(2) 枠組みを基にした授業設計

図2は、現実事象の解明に伴う問題解決の枠組みに手回し発電機による蓄電実験に関わる豆電球とLEDの点灯時間の比較を組み合わせ、問題解決プロセスの構成図を設計したものである。Problem（問題）は理科の手回し発電機実験から始まり、既習の内容である豆電球とLEDの点灯比較実験から問題場面を把握する。Plan（計画）では、従来通りの実験同様のストップウォッチによる計測に加え、デジタル蓄電機のメーターを読みとる活動が含まれることにより、複数の項目において実験で収集すべきデータが追加されることを伝える。ここで学習者は蓄電量の均一化や試行実験を繰り返すことによる実験精度の向上を確認し、実験の役割分担（機器の接続・計測・記録・観察）を決定する。Data（データ）では、数値化された蓄電量と、豆電球とLEDの消費電力と点灯時間のデータを収集し、傾向を把握する。ここに必要に応じて傾向を把握するためにグラフ化や計算したりするなどの応用・発展可能性があると考えられる。

なお、その際には数値の処理や表現に計算機やグラフ電卓、PCの表計算ソフトな

ども活用が可能である。Analysis（分析）では、算数科としての学習内容である「平均」を導入する。場合によっては他の値と乖離した数値は飛び値と判断し、除外する。Conclusion（結論）では、蓄電量の均一化や試行実験を繰り返すことによる実験精度の向上を再度確認する。均一化により実験の条件がより整理されたこと、試行実験から得られたデータは繰り返しの回数や数値処理の仕方によって信憑性が向上することを理解することが可能となる。

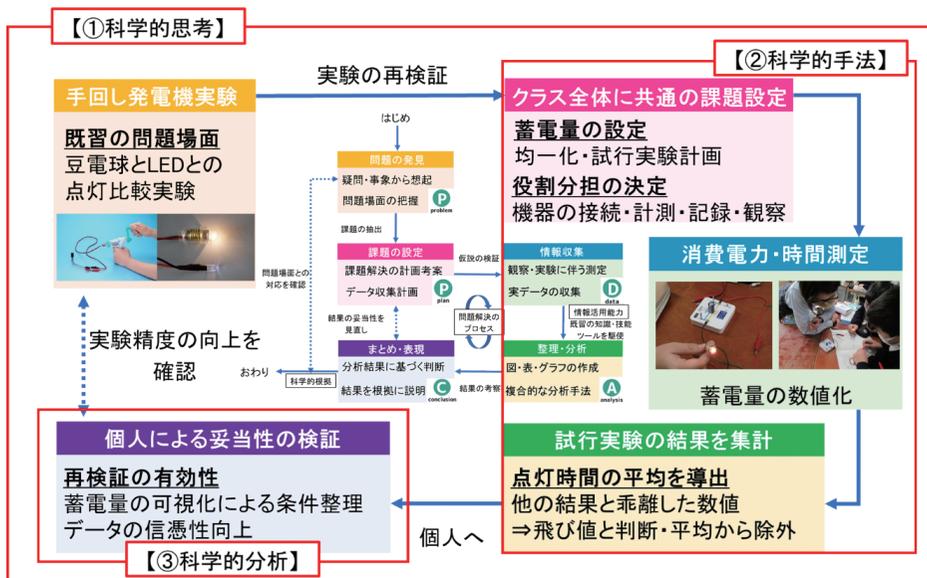


図2 手回し発電機実験における問題解決のプロセス

(3) 現行の理科実験との共通点・相違点

第6学年で学習する「わたしたちの生活と電気」では、身の回りで活用されている電気に着目し、電気の利用方法や性質を手回し発電機やコンデンサーをはじめとする実験器具を用いて再現し、実証する。例えば、身近な電化製品（エアコン・ドライヤー・テレビ・車など）から、電気が熱・音・光・運動に変換されていることを想起したり、乾電池や光電池の利用から「使う」電気のほかに「ためる」電気があることに着目したりすることで、学習者の問題設定を図る。実際に行う実験では、モーターや豆電球、電子オルゴールといった電気で作動する器具に対し、手回し発電機やコンデンサーを用いて、発電・蓄電した電気が同じ働きを示すことを確認する。

学習が進むと、ものによって電気の消費量が違うことに着目し、豆電球とLED電球の点灯を比較する実験に移る。両者の条件をそろえるために、手回し発電機を30秒間一定の速度で回してコンデンサーに電力を蓄え、ストップウォッチを用いて点灯時間を計測する。実験結果としては、豆電球の方が短い時間で消灯し、LED電球の方

が電気を効率よく利用して点灯していることを学習する。

現行の指導においても、機器上のトラブルを除けば豆電球の方がたくさん電気を消費することを確認できるが、「手回し発電機を30秒間一定の速度で回してコンデンサーに電力を蓄える」段階で、条件がそろいにくい。実際、通常の実験をする際、結果の妥当性を検証するために、30秒蓄えて点灯する実験を3回行うことになっている。本実践においては、通常コンデンサーに蓄電し、電気を貯めることは経験済みである状態から、回す速さや時間によって蓄電量にばらつきがあることを共通認識する。手回し発電機の「手ごたえ」や、モーターや豆電球、電子オルゴールといった具体物の「動作」を確認することにより得られた結果を考察する段階から、蓄電量を「数値化」することにより、数値を読み取るという新たな判断基準を得られることによって実験精度の向上、さらには学習効果の向上を目指す点に新規性がある。現行の教科書で示された条件整備に加えデジタル計器の使用を前提とした実験を組み合わせることにより、実験内容のさらなる理解と精度の高い検証を行えるのではないかと考えられる。本実践においては、デジタル蓄電機（ウチダ製）を用いて、蓄電した量をデジタルメーターで確認することができるメリットを生かした実験・考察を目指す。このデジタル蓄電機は、上部の接続部に手回し発電機をつないで蓄電すると下部のデジタルメーターに小数第1位までの百分率で蓄電量が示される。中部のソケットに豆電球などを接続すると、コンデンサーを同じ仕組みでためた電力を放出する仕組みとなっている。

（4）学習活動ごとの有効性の検証方法

前述した問題解決のプロセス、ならびに授業設計から、豆電球とLEDの点灯時間比較実験における学習活動で必要となる思考・手法・分析について、指導者側から判断した到達度と学習者側の発言を見取ることによる到達度の項目を設定し、有効性を検証する上での指標とする。問題解決のプロセスを包括した項目は以下の通りである。

【①科学的思考】

- ・仮説の設定、実験、得られた結果から仮説の検証といった問題解決のプロセスに則って方略を構築すること

【②科学的手法】

- ・高性能なデジタル機器や、データの適正な扱いや信憑性の向上を補助するソフトウェアなど、ツールを目的に応じて適切に活用する能力（情報活用能力）を駆使して結果を創出すること

【③科学的分析】

- ・①～②によって導かれたエビデンス（科学的根拠）を基に分析・判断すること
- ①～③について、指導者側・学習者側の到達度項目と判断基準は以下の通りである。

①科学的思考では、主に学習活動全体のプロセスを総合的に評価するものである。授業設計の妥当性の検証に加え、教育実践中の学習者の発言や問題解決に取り組む姿勢並びに記述から、学習者の意識も含めてその達成度を判断する。

②科学的手法では、実験計画の段階から機器を用いて結果を集計するまでのプロセスに着目する。役割分担を含めた機器の操作や得られたデータの加工方法の種別などから、実験の環境設定ならびに学習者の数値の読み取りをはじめとする技能面を中心に達成度を判断する。

③科学的分析では、①・②によって導かれたエビデンスから、学習者自身の考えをいかに表現しているかに着目する。ここでは、グループ活動で1つの結論を出すという流れではなく、あくまで個人で一連の学習活動によって得られた知見を記述でまとめることにより、科学的に達した結論の精度を教育実践の様相ならびに教育実践後の認識調査を分析することで検証する。

項目ごとの達成度について、後述する教育実践の結果と認識調査の結果を踏まえ、総合論議する。

4 教育実践

(1) 教育実践の概要

本実践を行う前に、学習者は通常の理科の学習で、手回し発電機を30秒間回してコンデンサーに蓄電し、豆電球とLEDの点灯時間の計測実験を行っている。ここでは、そのときの実験から明らかになったことと、条件が不十分であったところを実践のはじめに検証し、蓄電量を一定にする必要があることを確認する。その後、新たに今回の実験ではデジタル蓄電機を取り入れることを説明し、前時の実験を再検証する。

教育実践の概要は以下の通りである。

目的：豆電球とLEDの点灯時間の比較実験において、繰り返し実験する中で得られる、数値化された蓄電量や使用電量を基に考察し、実験結果の妥当性を学習者が科学的思考・手法・分析の手順を踏んで検討すること

対象：国立A附属小学校、小学校第6学年32名

日時：2021年2月1日（月）5・6校時（2時間）

内容：豆電球とLED点灯時間比較実験

第1時 機器導入と実験計画・比較・考察

第2時 実験結果の共有・妥当性の検討

(2) 教育実践の結果

① 第1時「機器導入と実験計画・比較・考察」

導入では、前時に行った豆電球とLEDの点灯時間を計測した実験をふりかえり、

豆電球の方が同じ蓄電量に対して点灯時間が短いこと、LED電球の方が少ない電力で光り続けることができることを確認する。前時の実験はグループごとに進めたが、その際、手回し発電機を回すスピードにより、点灯時間がグループで異なったことに対し、ためる電力を一定にすることが難しいことには触れている。そこで、今回の実験は、前回行った実験をより精度が高いものへと再検証すべく、ためた電力を確認することができる機器を導入することを説明する。

実験の流れは、まず、初めて使用する機器もあることから、接続の仕方と蓄電の体験を同時に行うために、100%蓄電した状態で豆電球とLEDの点灯時間を計測する。その後、各グループが一斉に豆電球の点灯を行い、その時間を計測する。次にもう一度100%蓄電し、LEDの点灯を一斉に行い、その時間を計測する。従来の実験であれば、この条件下で繰り返し実験を行い（3回程度）、双方の点灯時間を記録する流れとなっている。学習者はその実験はすでに体験済みであるため、今回の実験では、各グループの計測結果を後に集約し、分析することとした。

早く実験が終わったグループは2回目を行うように指示し、その際の蓄電量はグループで決めてよいこととした。（ちなみに、半数のグループが2回とも100%の蓄電を行い、残りのグループは50%にしてみたり、100%以上蓄電して計測したりしていた。）実験の際に学習者に助言する内容として、点灯した際の数値の変化をデジタルメーターで確認すること、点灯する光の強さと数値を比べること、数値の減るスピードをLEDと比べることなどが挙げられる。4人一組のグループとなり、蓄電する役割、メーターやストップウォッチの計測など分担して進めることができていた。

実験が終了したグループから、実験結果と考察をノートに記入する。機器の接続や実験の観察は複数名による役割分担が必須であることを伝えることにより、滞りなく進めることができた。

② 第2時「実験結果の共有・妥当性の検討」

ここでは、実験結果・考察を共有し、その妥当性を学習者同士で検討する。実際のどのグループも大きなトラブルなく蓄電に成功し、実験結果を得ることができた。表1は8つのグループの計測結果を学習者がノートまとめたものを表に集計したものである。

表1 点灯時間の記録と平均値の計算

分類/平均	8つのグループの計測結果（1回目）							
豆電球/49.5	49	48	1:05	47	47	42	47	51
LED/3:15	3:50	2:43	4:19	2:30	3:36	2:27	3:35	53

*単位：○秒 □分：△秒

100%の蓄電において、豆電球・LEDの点灯時間の平均は49.5秒、3分15秒であった。この平均を用いた考えは、指導者がグループごとの計測結果を黒板にまとめいている際に、学習者が「平均を出せばいいのでは」と発案したことがきっかけである。学習者に電卓を渡して計算してもらおう中で、1つのグループのLEDの点灯時間が「53秒」と他のグループより短い時間であったことから、「この数字はどうする？」と問いかけると、「外してもいい」という意見が出た。

このように、単独あるいは単一のグループのみの実験結果の検討に留まらず、学習者全体が共通の実験・経験をしている状態から分析方法を検討し合うことにより、算数科をはじめとして日常生活でも多く用いられることがある「平均」の考えと、実験時のデータを整理する際に必要となる「飛び値」「外れ値」について、必然的に検討することができた。ちなみに、大きく値が外れたグループになぜこの結果が出たと考えられるかと質問してみると、「蓄電の際につなぐ場所を間違えていたかもしれない」「最初の点灯の際に何度かつなぎ直したからかもしれない」と答えた。実際、豆電球やLEDを点灯させる際、起動（点灯）の際に多く電力を消費する。その後点灯を継続する上で必要となる電力に違いが出てくることに気づいた様子も見られたため、第2時では、全体では実験結果を共有し、個人のふりかえりの記述でさらにその妥当性について深めるよう指示し、終了とした。

5 結果と考察

（1）ふりかえり記述から見る本実践の所感

ここでは、教育実践に対する学習者の反応や実験に対する所感・考察を整理することにより、教育実践の授業構成や実施内容の改善点を見出す。

表2は、教育実践の終盤、2時間連続で学習したデジタル蓄電機による豆電球とLED点灯実験についてのふりかえり記述を、数値を用いた考察の有無や実験に対する情意面に着目し、分類したものである。なお、記述の分類方法に関しては、教育実践の様相を加味せず、授業後に指導者側が実験を行ったグループごとの単位で回収したふりかえりシートを、数値の記入や文章全体の文脈から、大きく2つの傾向に大別し、属さないものを「その他」としている。前述した平均値への着目や、測定したデジタルメーターの数値を元にした考察（～%では…）が見られたのは44.8%であった。また、蓄電する電気の量を双方の実験で揃えられることや、前回行った実験よりも精度が上がったことなど、実験機器への好感を示す記述は31.0%であった。その他の記述は、実験に対する情意面の感想（「楽しかった」「またやりたい」など）が目立ち、24.1%であった。

表2 教育実践ふりかえり記述分析（計29人）

記述の分類	反応率
実験結果の数的考察	44.8%
実験機器への好感	31.0%
その他	24.1%

それぞれに分類した記述について詳しく分析していく。まず、「実験結果の数的考察」に分類した記述について詳説する。図3は、実験結果の予想について100%蓄電と50%蓄電の違いについて述べているものである。ここで、蓄電量が半分になれば点灯時間も半分となるという予想に反したことについて記述していることがわかる。実際、豆電球・LEDともに最初の点灯時に多くの電力を消費する。各種記述の中には、そうした数値の変化の振れ幅に対する気づきも見られた。

100%から50%下は時間も半分になると思っていたが全然ちがった。今日の実験では予想したものとはちがって、いそいそについて考えることになりました。

図3 実験結果の予想と考察に関する記述

図4は、デジタル蓄電機のメーターが示す蓄電量・使用電量の変化について、さらに詳しく記述することができた学習者の考察である。ここでは豆電球・LEDの点灯実験の終盤に着目し、LED電球が残り20%付近で使用電量が少なくなったこと、15%で点灯が終了したことを述べている。

残り20%くらいになると、めっちゃおぼてた。
 スマホとかも30~20%になったら減る速度がおそくなるから、
 (バッテリーの残り) (残り)
 同じかんじかたと思ひました。スマホとかは10%になったらめっちゃおぼてくるから電気もそうかた(15%くらいで電気消えた。)

図4 残りの蓄電量を基に考察した記述

このように、蓄電量の数値から実験結果を予想し、それに対して自分たちが行った計測実験の結果を基に考察を記入している学習者が複数見られ、学習内容と実験内容を対応させた分析の記述を確認することができた。一方で、点灯時間を比較するという実験内容は同じであるため、学習者にとって目新しさに欠けてしまうという一面

もある。実験中にも数値化していることの良さより、機器が数値化できることのみに興味を示しがちな学習者も一定数見られた。これらのことから、機器の導入に際しては、それを用いることの意味や意義を継続的に学習者に伝えていくことが必要であると考えられる。

(2) 教育実践後の認識調査

認識調査の概要は以下の通りである。

目的：正答率や誤答の傾向を分析することにより、教育実践の効果と学習者の理解困難な点を明らかにする。さらに、教育実践時の記述のみでは十分に読み取ることができなかった反応や様相に関わる要素を抽出する。

方法：「手回し発電機実験」と「デジタル蓄電機実験」について基本的知識を問う項目と実験結果に対して記述を要する調査を実施する。

対象：国立A附属小学校、小学校第6学年31名

日時：2021年3月5日（15分程度）

内容：①手回し発電機に関する内容（基本）3問

②デジタル蓄電機に関する内容（応用）2問

③身の回りの事象に関する内容（応用）3問

(3) 認識調査の結果

表3は「私たちの生活と電気」に関する内容の認識調査の問題全体であり、表4はその結果を一覧にしたものである。なお、問題文中の機器とはLED、豆電球、コンデンサー、モーターを指し、イラストも挿入されている。

①(1)～①(3)は手回し発電機実験に関する基本的な内容を問うもので、ほとんどの学習者が正答することができていた。①(1)はコンデンサーに電気がたまる時、手回し発電機の回す手ごたえについて問う課題で、①(2)・①(3)は手回し発電機の回す速さを速くすると豆電球とモーターの変化と流れる電流との関係について問う内容となっている。

表3 認識調査問題全体

番号	問題文（一部省略）
①（１）	コンデンサーに電気がたまりとき、手回し発電機の回す手ごたえはどうなりますか。
①（２）	手回し発電機の回すはやさを速くすると豆電球はどうなりますか。
①（３）	①（２）から、手回し発電機を速く回すと流れる電流がどうなることがわかりますか。
②（１）	「LEDの方が豆電球よりもエコである」という仮説を実験結果から説明しましょう。
②（２）	回路につないでいないのに蓄電量が減ったことから電気の性質を説明しましょう。
③（１）	雪の多い地域ではあえて電球の信号機を用いる場合があります。理由を説明しましょう。
③（２）	鏡で光を集めたとき、光電池をどこにおけばモーターが一番速く回りますか。
③（３）	身の回りの道具で電気を運動・熱・光・音に変換しているものを2つ以上書きましょう。

表4 認識調査全体結果（計31人）

番号	項目	正答	誤答
①（１）	手回し発電機の手ごたえ	100.0%	0.0%
①（２）	回す速さと部品の関係	96.8%	3.2%
①（３）	回す速さと電流の関係	96.8%	3.2%
②（１）	豆電球とLED比較（記述）	58.1% *29.0%	3.2% *9.7%
②（２）	放電の仕組み（記述）	83.9%	*16.1%
③（１）	信号機のエネルギー変換（記述）	77.4%	*22.4%
③（２）	光の強さとエネルギーの関係	87.1%	*12.9%
③（３）	身の回りのエネルギー	90.3%	6.5% *3.2%

* 準正答率 * 無回答率

②（１）～②（２）は、デジタル蓄電機に関する実験に関する内容で、どちらも記述で解答するものである。図5のようにデジタル蓄電機を用いた点灯比較実験を3回行った実験結果を示し、この情報を基に課題に答えるものとなっている。

	1回目	2回目	3回目
豆電球	50%→8% 26秒	50%→8% 24秒	50%→8% 25秒
発光ダイオード (LED)	50%→16% 171秒	50%→16% 165秒	50%→16% 163%

図5 ②デジタル蓄電機に関する内容の実験結果（調査課題問題より抜粋）

②(1)は、教育実践と同様にデジタル蓄電機で豆電球とLEDの点灯時間を比較し、消費電量を%で示した実験結果が提示され、「LEDの方が豆電球よりもエコである」という仮説が正しいかどうかを記述するものであり、図6のように、計測時間と%の消費について双方に対する記述があるものを正答とし、その反応率は58.1%であった。準正答は計測時間と%の消費のどちらか一方について言及しているものを分類している。

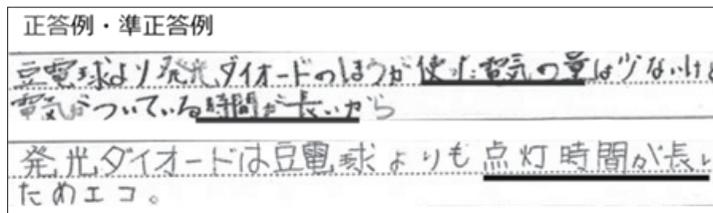


図6 ②(1)の正答例(上) 準正答例(下)

②(2)は「デジタル蓄電池にためた電気(%表示)が何もつないでいないのに減っていくのはなぜか」と放電に関する内容を問うものであり、正答率は83.9%であったが無回答率が16.1%であった。

③(1)~③(3)は、デジタル蓄電機の実践とは直接の関わりはないが、身の回りにあるエネルギーやその変換について問う問題を出題した。③(1)は、信号機に降り積もる雪がなぜ溶けるかを問う課題で正答率は77.4%であった。③(2)は鏡で集めた光で発電する際、どの部分に光電池を置くとよいかを問う課題で光が重なっている部分を選択した正答は87.1%であった。③(3)は、身の回りの電化製品が電気を熱や光、運動など何に変換しているかを選択する課題で正答率は90.3%であった。

全体の傾向として、基本的学習内容については多くの学習者が定着できていること、記述を要する課題や身の回りの事象に関する課題は無回答率が上昇する傾向にあることなどが挙げられる。また、本実践に関わる豆電球・LEDの点灯実験に関する内容は、基本内容の問題と同様、多くの学習者が豆電球とLED電球との違いについては言及できていると考えられる。

しかし、教育実践において数値の読み取りや収集・分析が必須となる実験を体験しているが、記述に数値を用いて具体的に考察することが困難であることが見受けられた。この原因として、数値の読み取りや収集判断する際に「時間」と「消費電力」のように、複数の情報を選択しつつ、複合的に判断する視点が欠如している可能性があることが考えられる。

(4) 総合論議

教育実践の結果、並びに認識調査の分析結果を踏まえ、本研究における理数教育の

充実を目指した実践の有効性を検証するべく、総合論議する。

表5は、前述した科学的な側面から設定した有効性の検証項目を指導者側・学習者側の達成度とともに一覧にしたものである。なお、表に示されている達成度「◎・○・△」については、筆者が教育実践とその結果から今後の発展可能性を見出すために明示化しているものである。

また、学習者側の達成度「◎・○・△」については、教育実践時の学習者の発言や様相、ならびに事後認識調査の結果を踏まえ、現時点での達成度について、指導者側が読み取った部分と学習側の認識特性から総合的に判断したものであり、あくまで今後の授業改善に用いることを前提とするものである。

表5 科学的側面からの検証項目とその達成度

学習活動に対する検証項目	指導者側	学習者側
【①科学的思考】		
問題解決のプロセス（枠組み）に則って方略を構築すること	△ 教育実践より	△ 教育実践より
【②科学的手法】		
ツールを目的に応じて適切に活用する能力を駆使して結果を創出すること	◎ 教育実践より	◎ 教育実践より
【③科学的分析】		
①～②によって導かれたエビデンスを基に分析・判断すること	○ 教育実践より	△ 認識調査より

①科学的思考に関しては、双方の達成度を「△：不十分な点がある」とした。モデル図を構築し、PPDACサイクルを意識した授業設計は達成できたものの、学習者自身が教育実践の際に、「今自分たちがどの段階か」「次は何に着手すべきか」といった行程を意識できていたかは定かではない。改善点として、構築したモデル図を活動の場に明示化し、プロセスを確認しながら問題解決に取り組む環境の設定が有効であると考ええる。

②科学的手法に関しては、双方「◎：十分に達成」とした。使用した機器が簡易で操作可能ということもあり、繰り返しの実験やデータの収集に戸惑うことがなかったことが要因として挙げられる。また、収集したデータから結果を創出する際、学習者にとって既習の「平均」や「飛び値」など、これまでの経験から着想に至ることができたものであった。小学校段階においては、導入する機器の操作性やデータを加工する際の算数的内容に関して、十分留意する必要があると考える。

③科学的分析に関しては、指導者側を「○：おおむね達成」、学習者側を「△：不十分な点がある」とした。一部の記述を分析することで、収集したデータや間近で体験した現象を対応させ、科学的に結論へ接近していく可能性は示唆された。しかし、本研究はあくまで一事例に過ぎず、①・②に対して③は学習経験の積み重ねのみでは

「十分に達成」と判断できないと考える。また、教育実践時のノート記述ならびに事後調査での記述を要する問題など、学習者が本来兼ねそろえている記述力や表現力に左右されてしまうことから、記述分析に加えて新たな認識の変容を追従することが今後の課題である。

6 まとめ

小学校第6学年を対象としたデジタル蓄電機による数値化を組み込む豆電球とLEDの点灯時間比較実験を実施するにあたり、得られた成果と課題は以下の通りである。

【成果】

- ・提案した問題解決のプロセスに基づき学習者自らが蓄電量や使用電量を定量的に捉え、データを収集・測定・分析・表現に関わる学習活動を展開することができたこと
- ・小学校高学年段階においても、現象の確認に留まらず、デジタル化された数値の分析に基づく分析・判断ができる可能性が示唆されたこと

【課題】

- ・一連の問題解決のプロセスをたどる中でどの段階にあるかを指導者側が把握しなければ、必要に応じてプロセスを進めたり、戻したりすることが学習者の判断のみでは困難であること
- ・定量的に表された数値の扱いを前提とする学習活動においても、機器を用いることに興味・関心が移る傾向にあり、記述への反映が困難である学習者が一定数いること

既習の題材・実験活動にデジタル蓄電機を導入することにより、学習者の科学的な思考・手法・技能面を育成することを意図した実践であった。しかし、実験内容をすでに体験済みであったことや機器の操作面の困難など、実験そのものを成立することを目指す一方、デジタル機器を導入することの意義や必然性が想定していたより学習者が感じにくい部分もあった。

今後の展望として、小学校段階における理数教育の充実を目指し、各種実験において定量化を可能にするデジタル機器の活用の在り方と数値の読み取りによる学習効果を、学習者が分析できる範囲とともに検証していきたいと考える。

付記

本稿は、「津田真秀・平島和雄・黒田恭史，小学校第6学年を対象としたデジタル蓄電機を用いた点灯実験，日本STEM教育学会2021年3月拡大研究会予稿集，pp.5-

8」の内容を大幅に加筆・修正したものである。

謝辞

京都教育大学附属京都小中学校平島和雄教諭には、教育実践の実施や調査項目の設定に際して、多くのご助言やご支援をいただきました。深く感謝いたします。

参考・引用文献

- 川上貴 (2016) 「グラフ電卓と距離センサを活用した算数科『速さ』の導入指導の留意点 - 大学公開講座の取組から -」『西九州大学子ども学部紀要』Vol.7, pp.57-66
- 興治文子・小林昭三 (2010) 「1/1000秒の世界が拓くICTを活用した理科教育」『可視化情報』Vol.30, No.117, pp.20-26
- 松寄昭雄 (2015) 「数学教育からみた教具レゴを用いたモデリング研究への期待 - モデリング課題研究の企画趣旨説明とわが国におけるSTEM教育の展開に向けて -」『日本科学教育学会第39回年会論文集』pp.31-34
- 文部科学省 (2017) 「小学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説算数編」『日本文教』
- 西村圭一 (2011) 「統計的思考力を育成する算数・数学の授業の枠組みに関する研究」『科学教育研究』Vol.35, No.2, pp.119-127
- 津田真秀・平島和雄・辻礼史・黒田恭史 (2021) 「小学校第6学年を対象とした酸素濃度の計測実験に関する教育実践 - 理数連携の教科横断型授業を目指して -」『数学教育学会春季年会予稿集』pp.32-34
- 津田真秀・平島和雄・辻礼史・黒田恭史 (2021) 「計測機器の使用を前提とした教科横断教育の可能性 - 空気電池とテスターを用いた気体濃度の実数値測定 -」『数学教育学会誌』Vol.62, No.1・2, pp.87-96
- 柳本哲 (2008) 「数学的モデリングと数学的活動 - 社会を切り開く人間教育に向かって」『数学教育学会誌』Vol.49, No.3・4, pp.9-16

Experiment to Compare the Lighting Time of Fairy Light Bulbs and LEDs Incorporating Quantification by Digital Energy Storage

—Proposals for the Enhancement of Science and Math Education—

Masahide TSUDA

In the solution of the social problem intervened in the reality, there are many scenes in which it is necessary to consider complex factors such as natural phenomena and physical phenomena. In the mathematics department, it is considered that it is necessary to positively incorporate the problem of the real world in the future from the guidance which emphasizes the systematicity based on the setting of the conventional arranged numerical value and problem scene. In that case, even if the visualization is difficult quantity, it is possible to express it as a numerical value by the development of high-performance digital equipment, and the environment in which highly credible data can be appropriately handled and processed and analyzed is being prepared in the educational field. Then, in this study, the lighting experiment of the light bulb and LED (Light Emitting Diode) using the digital storage electricity for the sixth-grade students was carried out aiming at the training of the problem-solving ability by crossing the subject with arithmetic department and science in the elementary school stage. Therefore, in this research, aiming to enhance science and mathematics education at the elementary school level, we conducted an experiment on lighting a bean light bulb and an LED for the sixth grade. In order to make it inevitable to read numerical values of experimental results in practice using digital energy storage devices, we will construct a model that can clearly indicate the process of problem solving, and verify the scientific approach of learners from remarks, descriptions, and recognition surveys.

