
愛媛大学教育学部附属

科学教育研究センター紀要

Bulletin of the Center for Research in Science Education Faculty of Education Ehime University

2024 年 3 月 31 日

愛媛大学教育学部附属科学教育研究センター

目次

科学教育研究センターのさらなる発展を祈念して	向平和	1
ESD の担い手を相互ネットワークで繋げる脱中心化アプローチ	富田英司・竹下浩子・藤原一弘・向平和・井上昌善	3
大西佐兵衛『雑題』の現代解について～第 10 巻全 5 問～	吉平善晴・保木隆之介・牟田口正虎・原本博史・安部利之	9
海洋の層構造と深層循環の理解を深める授業展開～水のあたたまり方・冷やされ方のモデル実験を通して～	佐藤栄治・根岸漂	17
児童生徒を対象とした国際性を兼ね備えた次世代の科学者育成教育プログラムの開発と実践－Biology in your classroom を目指して－	Aki Kato・Petra Schneider・Aidan. J. O'Donnell・Richard Culleton	23
主体的な探究活動の実現に向けた教材開発	稲垣佑・古和田丈人・野間田祐仁・中村千紗・藤原駿・矢野駿介・向平和	31
主体的な探究活動の実現に向けた自作教材を使った授業実践	稲垣佑・古和田丈人・野間田祐仁・中村千紗・藤原駿・矢野駿介・向平和	41
ジュニアドクター育成塾における WOWW アプローチ導入の試み	相模健人・池田裕亮・菊池ほの香・藤井あかり	51
小中学生の科学的探究につながる主体的・対話的で深い学びの教育方法の検討－「愛媛大学ジュニアドク ター育成塾第 2 段階受講生の研究会」の開発・実践を手がかりに－	殷爽・向平和・中本剛・加納正道・立川久美子	61
数学学習における構成的な学習と教授的な学習による学習経験の定着に関する比較研究（Ⅱ） －小学校第 5 学年「速さ」と中学校第 1 学年「最短経路の作図」に関する 1 年後調査結果について－	吉村直道	69
中学生の力学概念学習におけるコンピューターシミュレーションの活用の効果	吉村聡貴・隅田学・掛水高志・佐藤栄治	77
中学校現場での授業実践を通じた生成 AI の教育的活用に関する研究	真木大輔・三棟優子・高橋祐貴・目崎美香・向平和・大西義浩	85

本物と比較する理科学習－小学校理科第6学年「人や動物の体」の学習を通して－ ・・	水口達也・向平和	101
Using a Digital Game to Provide Experiential Learning for Improved Understanding and ESD Skills in Science. ・・	Dick MWERA・Heiwa MUKO	105
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 ・・	武田章宏・隅田学・佐藤栄治	115
2023 年度活動報告		

科学教育研究センターのさらなる発展を祈念して

愛媛大学教育学部附属科学教育研究センター長 向 平和

令和3年度に発足した愛媛大学教育学部科学教育研究センターのセンター長を拝命しました。これまでの3年間にも様々な状況の変化があり、本センターの果たす役割は大きくなっていると感じています。特に科学技術振興機構（JST）の実施しているスーパーサイエンスハイスクール（SSH）事業においては愛媛県内のSSH指定校が3校とも継続の申請が採択され、それぞれの特徴をさらに発展させています。また、グローバルサイエンスキャンパス事業およびジュニアドクター育成塾事業は次世代科学技術チャレンジプログラムに統合され、愛媛大学グローバルサイエンスキャンパス（e-GS）はその高校型に採択され、四国型次世代科学技術チャレンジプログラム（SHIN-GS）として愛媛モデルを四国モデルへと発展させています。愛媛大学ジュニアドクター育成塾は統合される前年に第2期が採択され、SHIN-GSと連携を強めながら地域の人材育成に寄与しております。

また、平成26年より実施しているえひめサイエンスリーダースキルアッププログラムは、来年度に10年目の節目を迎えます。本プログラムは、JST事業の中高生の科学研究実践活動推進プログラムに採択され3年間の助成期間終了時に最高評価をいただき、現在も愛媛県教育委員会、愛媛県総合教育センター、愛媛県高等学校教育研究会数学会・理科部会と共同で継続しています。本プログラムで課題研究の手ほど

きを受けた教員が、それぞれの学校で高校生の課題研究を指導し、たくさんの成果を出しています。また、学校単位での課題研究の推進にもつながっており、高校生の生き生きとした発表をえひめサイエンスチャレンジ（発表会）で参観することが年度末の私個人の楽しみになっています。愛媛大学教育学部の本務である教員養成にもこれらの事業を活用し、子どもたちの個別最適化した学びにもつなげることは、学生にこれまで学校現場で実践力を学ばせるというところから、さらに先を見た教員養成につながることができると考えています。

また、本センター紀要には附属学校の先生方にもご投稿いただいております。本号から活動報告を掲載することにいたしました。さらに附属学校との連携を深め、学校現場に還元していくことを目指していきたいと考えています。

愛媛大学は全学組織として、次世代科学人材育成室を令和4年度に発足しましたが、令和6年度から次世代人材育成拠点として科学人材のみならず、すべての領域を含めた地域の人材育成に焦点をあて、次世代人材育成とその育成に関わる学校教員等への支援を含めて地域人材の育成を担う全学組織へと発展して改組します。地方から次世代人材のモデルを発信し、愛媛県はもちろん、日本、世界へと本学の成果を発信していくことが教育に対する価値観など転換するきっかけになるのではないかと期待しています。

ESD の担い手を相互ネットワークで繋げる脱中心化アプローチ Decentralized Approach to Link ESD Agents with Reciprocal Networking

○富田英司, 竹下浩子, 藤原一弘, 向平和, 井上昌善

TOMIDA Eiji, TAKESHITA Hiroko, FUJIWARA Kazuhiro, MOKO Heiwa, & INOUE Masayoshi

愛媛大学教育学部

Faculty of Education, Ehime University

〔要約〕本研究は、地域に根ざしたかたちでより広く展開し、担い手同士が互いにより影響を与え合う関係を構築するためのアプローチを具体化することを目的としている。その事例として本研究は、令和5年度ユネスコ活動費補助金（SDGs 達成の担い手育成（ESD）推進事業）事業「概念型カリキュラムによる ESD 地域展開を支える4領域連携モデル」の一環として、愛媛大学が2024年2月に開催した ESD 実践交流会を事例検討した。本研究は、担い手が地域の実践的ハブを中心にネットワークを構築する従来の連携モデルではなく、これからは実践ハブ同士や担い手同士がおおよそ並列の関係で相互に結びつく脱中心化アプローチによる連携が重要であることを指摘した。

〔キーワード〕ESD、連携、交流、脱中心化

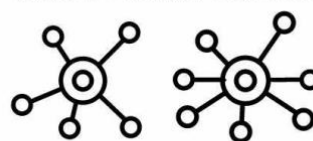
I. 問題と目的

1. ESD の現状と課題

本研究は、ESD（Education for Sustainable Development, 持続可能な開発のための教育）の担い手が地域に根ざしたかたちで広く展開し、担い手同士が互いにより影響を与え合う関係を構築するためのアプローチを具体化することを目的としている。ESD の推進においては、従来から「連携」が重視されてきた。文部科学省が発行する「持続可能な開発のための教育(ESD) 推進の手引」においても、令和3年5月改定において、カリキュラム・デザインにおける ESD の位置付けと学校内外での連携の促進に強調が置かれたことはその流れを代表するものである（文部科学省国際統括官付日本ユネスコ国内委員会, 2021）。

これまで公開されている多くの論文では、それぞれの担い手が自らの取り組みを強化し、質を高めるための連携を進めている。しかし、1つ1つの担い手は盛んに有意義な連携先を見つけて事業を展開しているが、そのような取り組みをしている担い手同士を結びつけることに関する研究報告はほとんどなされていないように筆者らには思える。つまり、それぞれの担い手をネットワークの地域のハブと捉えたときに、そこ他の関連する企業や団体や個人等とは繋がりが作られていることはそれらの取り組みでは示されているが、その一方でハブ同士の繋がりができていないという傾向があるように見受けられるのである。

従来の「連携」のかたち



いま必要な「連携」のかたち

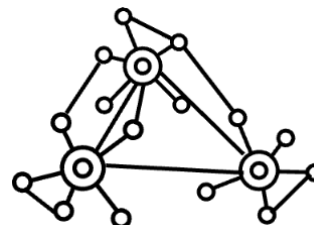


図1 2つの連携のかたちの模式図

このような状況を模式化したものが図1の上部の図である。この図では一重丸が個々の担い手を、二重丸が地域ハブを示している。従来の連携では、個々の地域ハブは様々な担い手と連携しているものの、地域ハブ同士は繋がっていない。このような従来の「連携」のかたちも、有意義な連携である。しかし、この形では、異なる地域ハブと連携する担い手同士の繋がりは起こらないため、似たような取り組みや考え方を持っても相互に刺激を与え合う可能性は低い。他方、図1下方の模式図では、地域ハブ同士が結びつくとともに個々の担い手同士も繋がっている。

上述の手引の一節「地域や大学、企業、社会教育施設等との連携づくりの手法」では、協力や連携の仲介を依頼できるアクセスポイントとして、①ESD 活動支援センター、②ESD コンソーシアム、③国連大学 RCE、④各地域の ESD 協議会や ESD サークル等、⑤博物館等の社会教育施設が挙げられている。その他、世界遺産やエコパーク、ジオパークといったユネスコ事業も連携先に含まれる。これらの重要性や有効性は強調されるべきものである。しかし、これらアクセスポイントも、それぞれの地域における個々の取り組みを相互に結びつけるというよりも、ある取り組みに有効だと思われるもう 1 つの取り組みと線で結びつけていく営みがネットワーキングの中心に置かれているため、図 1 で言えば、従来の「連携」のかたちと相当する性格が強いものと言える。

このように地域ハブがそれぞれある程度独立してそれぞれのネットワークを担い手へと広げていく構造は、並行して行われている近隣の同様のねらいや方向性を持ったプロジェクト同士を自発的には繋げていくことが難しいと考えられる。また、図 1 情報の模式図で示される連携のあり方は、「優れた取り組み」を答えとして地域ハブや国の ESD 関連機関がすでに持っており、それを各地域の担い手が取り込むという一方的な関係の構築に繋がるかもしれない。もしそうだとすれば、このような一方的な関係は各担い手の自律的な活動や潜在的な可能性を引き出していく上で障害となる可能性すら考えられる。

それに対して、今後さらに ESD が活発に展開されるためには、個々の担い手が地域もしくは国の「中心」となるハブとの接続をねらっていくのではなく、ハブ同士が繋がりあう図 1 の下部のような連携のあり方を促進するような取り組みが重要になっていくと考えられる。ハブ同士の横の繋がりに重点を置くアプローチはその特徴から「脱中心化アプローチ」と名付けることができる。

本研究はそのような地域ハブ同士が相互に繋がらうようなネットワーキングのあり方を事例から検討することを目的としている。本研究が取り上げる事例は、愛媛大学が令和 5 年度ユネスコ活動費補助金事業「概念型カリキュラムによる ESD 地域展開を支える 4 領域連携モデル」の一環として 2024 年 2 月に開催した ESD 実践交流会である。この取り組みは筆者らが企画運営したもので、かつ本研究が指摘するハブ

同士の接続が実現したとみなせるような反応が参加者から得られたことから、その準備プロセスと開催当日の状況を含め、今後必要となってくる脱中心的なネットワーキングのあり方への提案につなげて考察する。

2. 取り組みの背景

ESD は全国に広がり、関係機関の配置やユネスコスクールも順調に展開を進めている一方、もしある教師 ESD を始めようとしたとしても、周囲に人的繋がりが不足している場合、独自に教室で展開するまでに長い時間を要すると考えられる。本研究の筆者を含めた愛媛大学の ESD に関わる研究者は、そのような教師が本務校の取組に沿ったかたちで、単独でも ESD に取り組めるよう多角的にリソースを提供することを目的として本事業を令和 5 年度ユネスコ活動費補助金（SDGs 達成の担い手育成（ESD）推進事業）に申請した。

この申請書では、開発するリソースとして、次の 4 領域とした：A)多くの年代の子どもが社会の最新事情にアクセスできる「調べ学習ウェブ資料」、B)アクションに繋がる学びを自己評価する「評価ウェブツール」、C)探究的な学びの単元を教師が開発する際にフレキシブルに活用できる「指導案・教材資料」とそれに基づく人的交流、D)上記で開発する資料とツールを活用・更新し、地域に開かれた相互研修の場を提供する「放課後 SDGs 教室」。本論文で取り上げる ESD 実践交流会はこのうち、領域 C に相当する。

領域 C では、1 年間から数年間の課程表を公立学校等の一般的な時間割の枠組みに沿った形でのモデルカリキュラム（小学校及び中学校）、総合的な学びの時間と各教科を横断したモデル単元、単元内での各学習活動の展開、各学習活動で利用するワークシート等の教具を、ウェブサイト上にて公開すること等をねらいとした。カリキュラム・単元の開発は、国際バカロレア認定校を始めとして世界中の探究的な学びを実践する学校で採用されている「概念型探究（Concept-Based Inquiry）」（Marshall & French, 2018）と呼ばれる枠組みに基づいて進めることを想定した。加えて、全国の教師に向けて、独自に作成した指導案や年間指導計画、教具等を公表するリポジトリを構築し、ポータルウェブサイトを通じて、いつでも投稿し、予め設けた規準に従っていることを確認した上で、公開する

こととした。そして、ESD 実践に基づいて、学校教諭や研究者をはじめとした様々な担い手が交流する「ESD 実践交流会」を開催することを計画に盛り込んだ。本研究が検討の対象とした ESD 実践交流会はこのような位置で取り組まれた。

II. 方法

1. 実践概要

愛媛大学 ESD 実践交流会は、愛媛県を中心として県内外の ESD の取り組みを、学校教員・生徒、社会教育団体、社会福祉法人や NPO 等の各種団体、地方自治体、大学生、研究者、一般企業等が発表すると同時に、お互いの取り組みを知り、ネットワーキングを進めることをねらって企画された。そのため、発表形式はポスターとした。

発表者が参加しやすくなるよう、ポスター発表の経験に応じて、Microsoft PowerPoint の雛形を提供するなどの原稿作成支援、ポスター発表の方法に関するインストラクション、ポスター用紙 (A0 版) への印刷などを事務局が支援した。

募集については、当事業の成果を集約するために立ち上げたウェブサイト (<https://sdgs.esd-tools.site/>) にて 2024 年 1 月に募集情報を公開するとともに、筆者らが発表適任者と考えた SDGs 達成の担い手に直接連絡を取ったり、それぞれがアクセス可能な団体やコミュニティに募集の周知をおこなった。発表者は 16 件であり、その発表内容と発表者の所属は表 1 に示す通りである。

開催日時は 2024 年 2 月 23 日 (金・祝) 13:00~17:00、会場は、愛媛大学ひめテラス 1F の地域交流スクエア) であった。参加費は無料であった。発表関係者とオーディエンスとしての参加者をあわせ約 50 名が会場に足を運んだ。

2. 関連する ESD コミュニティ

筆者らの多くはそれぞれこれまでの教育実践を展開する中で、それぞれの ESD 関連コミュニティを構築している。

第 1 筆者は、教育心理学を専門とし、現在、概念型探究を活用して、子どもが主体的に地域の困りごとにかかわる ESD プログラムの開発に学生とともに取り組んできている。今回の ESD 実践交流会の企画を主に担当し、発表者を募集するにあたって、他の筆者や

本事業の外部評価委員に協力を求め、立場や世代が様々な異なる担い手がフラットな立ち位置で発表できる場作りを進めた。

第 2 筆者は、家庭科教育学を専門とし、さらに SDGs 教育にも造詣研究者である。本事業の外部評価委員として参画している社会福祉法人えりむ会や同志社大学経済学部准教授・原田禎夫氏をはじめとして様々な人脈を構築している。

第 3 筆者は ESD の教育課程や教育方法を専門としており、ユネスコスクールと連携した取り組みを進めている。また、奈良教育大学と連携して愛媛大学において開催していた「ESD ティーチャープログラム」の受講生を中心に、ESD に取り組む学校教員のネットワークを構築している。

第 4 筆者は、理科教育学を専門として、地域の理科教育の支援のみならず、様々な年代を対象とした各種科学教育プログラムや環境教育プログラムの開発と運営に取り組んでいる。

第 5 筆者は、社会科教育学を専門としており、特にシティズンシップ教育 (主権者教育) の研究を進めている。最近では、西予市と連携した防災教育に研究室の学生とともに取り組んでいる。

ESD 実践交流会の実施にあたっては、以上のような ESD 実践コミュニティへ筆者らがそれぞれ発表の呼びかけをおこなった。その結果、表 1 に示したような様々な担い手が県内外から集まることとなった。

3. アンケートの実施

この取り組みは上述のように SDGs 達成の担い手同士のネットワーク作りをねらいとして実践されたことから、その効果を評価するための資料を得るために、事後に発表者にアンケートを依頼した。

質問項目は、「今回の発表はどの程度有意義でしたでしょうか。」(評定のために設定された選択肢は「とても有意義だった」「ある程度有意義だった」「期待したほどの意義は感じなかった」「ほとんど意義はなかった」の 4 段階)、「以上のように評定された理由として主なことを教えてください。」「今回ご発表されたことについて、ご感想、ご提案、ご質問など何でもございましたらお寄せください。」というものであった。

アンケートは、ESD 実践交流会が終わった後に、発表者に E メールを用いて、Microsoft Forms の回答リンクを送り、回答を得た。

表1 第1回愛媛大学ESD実践交流会における発表タイトル一覧

タイトル	所属等
「教育」の視点から見るモザンビーク： これからの教育の在り方に迫る	愛媛大学附属高等学校 (生徒による発表)
地域教材を生かした社会に開かれた教育課程の推進： 児童のシビックプライドの醸成と行動変容を目指して	宇和島市立遊子小学校
地域活性化に向けた社会科学的手法を取り入れた教科横断的な ESD 学習 の開発	愛媛大学附属高等学校
四国西予ジオパークを活用した ESD プログラムの提案	愛媛大学教育学部 (学生発表)
持続可能なまちづくりを目指す防災学習	愛媛大学教育学部 (学生発表)
SDGs の種と子どもの心の変化	社会福祉法人エリム会
三崎高校彩せんたんプロジェクト	愛媛県立三崎高等学校 (生徒による発表)
ESD の視点における美術教育	松山市立東中学校
大人の生き方と人生を詰め込んだ仕事図鑑！	広島県立大崎海星高等学校 (生徒による発表) 大崎上島町地域おこし協力隊
人とつながり、地域とよりよくかかわりながら自己の生き方を考える子ども の育成	愛媛大学教育学部附属小学校
水性フレキシ印刷、ヒートシール紙、マイクロフルートパッケージの紹介	セキ株式会社
プラスチック削減・研究プロジェクト「Plastic Journey」の取り組み	愛媛大学 Plastic Journey (学生による発表)
小学生を対象としたプラスチックの利用をしたクラフト単元の開発	愛媛大学教育学部 (学生による発表)
概念型探究の授業実践：アップサイクル商品の製作から販売	愛媛大学教育学部
愛南町（愛媛県南宇和郡）の生物多様性の保全と取組： 愛南探検隊の取組を中心に	あいなん探検隊
教科横断的な ESD の学び	筑紫女学園大学

III. 結果

今回発表のあった 16 件の発表者に対して、アンケートへの回答を依頼したところ、全ての発表者もしくは発表代表者から回答があり、回収率は 100%であった。

「今回の発表はどの程度有意義でしたでしょうか。」という質問項目に対しては、以下のような回答結果であった：「とても有意義だった」(15 件)、「ある程度有意義だった」(1 件)、「期待したほどの意義は感じなかった」(0 件)、「ほとんど意義はなかった」(0 件)。

「以上のように評定された理由として主なことを教えてください。」という質問に対して、「とても有意義だった」と回答した者からは、次のような回答が得られた。なお、掲載にあたっては、回答者が特定できる情報は削除の上、明らかに重複した内容等を避けるために抜粋した。

- ・ 他団体との情報共有
- ・ 多世代、多領域の方々が交流されるイベントはほとんどないが、今回はそれが実現した
- ・ 世代を越えて、参加者同士が学び合うことができたから。大学教授や附属の先生の実践発表は公開研修でも教える、教えられる立場にわかれることが多いが本企画ではそれぞれの興味関心に合わせて学び合う場となっていた。
- ・ 発表者は普段関わらない企業様や団体様ばかりで、幅広い年齢層の方が発表されていた。大きな刺激を受けましたし、自身の研究の幅が広がる示唆をいただきました。人脈も広がったことも理由の一つ。
- ・ 異年齢の方々との交流は刺激的でした
- ・ 多種多様な方々との交流会はこれまで参加したことがなく、とても新鮮で有意義
- ・ 自分の個人で行なっているプロジェクトにつながる内容の活動を行っている人と出会えたり、活動に対して様々な人から意見をいただき、より活動に対してやる気などが湧いた。
- ・ 普段意見を聞かない大学生や大学の教授の方々からのフィードバックを頂けたから。
- ・ 大学教授の方や地域施設の方など様々な方から自分たちの発表に対してご意見をいただきとても勉強になった。
- ・ 意見交換の時間も長く、他の方の発表も多様で

有意義だった

- ・ ESD を美術の視点、防災学習の視点、幼児教育の視点など、様々な視点からの実践を聞くことができ、新たな発見が多かったから。
- ・ ESD の取り組みをされている色々な方の意見、発表を聞くことが出来たから
- ・ 様々な取り組みをされている方々と出会うことができたから
- ・ 高校生、学校関係者、社会人、世代や年齢を超えて繋がりを持つことが出来たから。発表内容も面白く、全員が真剣に耳を傾け声掛けをしてくれた。
- ・ 様々な方のご意見を聞くことができ、今後の自身のまなびにつながった

IV. 考察

本研究は筆者らが企画運営した ESD 実践交流会を一事例として取り上げ、脱中心的な互恵的ネットワークの構築を促進するための手立てのあり方を検討することをねらいとした。

発表者を対象としたアンケートの回答より、今回の ESD 実践交流会を通して、多くの発表者が世代、領域、立場、取り組みの多様性に触れることができたことを、参加の意義として取り上げたことがわかった。しかもそのように発表者の多様性を特徴とするような交流の場は全く、あるいはほとんどないということを指摘する発表者が散見された。

このようなことから、ポスター発表という発表者間にヒエラルキーを設けない形式で、長時間発表者同士、あるいは発表者とオーディエンスが 4 時間というまとまった時間自由に交流できる場を設けることは、脱中心化アプローチによる連携を促進する上で有効であることが示唆される。

今回、子どもや若者の発表者は、高校生や大学生に限られていた。また、さらに発表した高校生や大学生においても、筆者らもしくはその関係者からの声掛けによって今回の参加が実現した。その意味では、今回の ESD 実践交流会は非常に限られた担い手にしかアクセスできていない。今後は、広く地域の生徒を対象に、各教育委員会やその他の公的な広報手段を通じて参加募集をおこなうことで、ESD を担う若者同士の交流や他の世代との交流を促進することが可能であろう。その際、各学校のカリキュラムや指導上の支援と

なるようなリソースを同時に提供することによって、効果的なコミュニケーションが交流会の中で実現しやすくなるだろう。

また、今回の実施では、たとえば小学校から大学生までの様々な若者がそれぞれどのような刺激を相互に与えるのかということを十分に想定できていなかった。しかし、小学生が中学生の発表からどのような影響を受けるのか、あるいは反対に大学生が小学生の発表からどのような影響を受けるのか等、多様な世代と立場、領域の人々が交流会の場を通して、どのような影響を一般的に受けるのか、そしてそれらが交流会の後の実践展開にどう繋がっていくのかといったことは研究の意義があると考えられる。こういった課題については、次年度以降の ESD 実践交流会においてさらに検討していきたい。

謝辞

この研究は令和 5 年度ユネスコ活動費補助金 (SDGs 達成の担い手育成 (ESD) 推進事業) 事業「概念型カリキュラムによる ESD 地域展開を支える 4 領域連携モデル」の支援を受けて行なわれた。

引用文献

Marschall, C., & French, R. (2018) *Concept-based inquiry in action: strategies to promote transferable understanding*. Corwin Press.

文部科学省国際統括官付日本ユネスコ国内委員会 (2021) 持続可能な開発のための教育(ESD) 推進の手引き改訂版 文部科学省

大西佐兵衛『雑題』の現代解について

～第 10 巻全 5 問～

Modern solutions for problems in “Zatsudai Vol. 10” by Sahei Onishi

吉平善晴^{*1}, 保木隆之介^{*1}, 牟田口正虎^{*2}, 原本博史^{*1}, ○安部利之^{*1}

YOSHIHARA Yoshiharu^{*1}, YASUKI Ryunosuke^{*1},
MUTAGUCHI Masatora^{*2}, HARAMOTO Hiroshi^{*1}, ABE Toshiyuki^{*1}

^{*1} 愛媛大学教育学部, ^{*2} 愛媛県立今治西高等学校

^{*1} Faculty of Education, Ehime University

^{*2} Ehime Prefectural Imabari West High School

[要約] : 愛媛県のと算家大西佐兵衛の編集した『雑題』全 30 巻から, 第 10 巻の問題について解説する.

[キーワード] : 和算 (Wasan, Japanese Mathematics), 三平方の定理 (Pythagoras' Theorem), 2 次方程式 (Quadratic Equations), 相似 (Similarity), 三角比 (Trigonometric Ratios), 課題研究 (Themed Research)

1 はじめに

本稿では, (宮崎他, 2023) に引き続き, 大西佐兵衛の編集した『雑題』の問題のうち第 10 巻の現代解について紹介する. 大西佐兵衛及び雑題については, (愛媛算額, 2017), (浅山, 2019), (宮崎他, 2023) に述べているのでそちらを参照いただきたい. 今回も『雑題』(全 30 巻) の第 1 巻から第 10 巻までを現代語に翻訳した (浅山, 2019) を参考資料とした. この資料には, 雑題に挙げられている問題について, 問題文, 図, 答え及び術文についてその現代語訳が記載されている. 解義 (術文を導くための計算手順) の記載がないため, 読者が先入観なしに現代解の作成を考え, 記述について検証するにあたり最適な形式になっている. 本論文では, 愛媛和算研究会の定例会 (2023 年 7 月 31 日開催) で発表した愛媛大学教育学部の学生の考えた現代解及び未発表の問題について解説する.

和算の問題の解決には, 三平方の定理や余弦定理などの高等学校の数学までに扱う基本的な公式を用いる場合もあり, 和算の問題は応用的な教材としての側面も多い. その上, その問題解決およびそのための思考過程においては, 基本的な公式を用いるのみではなく, まずは, その解決方針の検討, そして方針が見つかった後は, よりよい解や術文 (和算解) の検証など, 1 つの問題から, 多種多様な知識と技能の定着, 数学的な考察そして表現方法の検討が実践できる. ただ, 難易度については, その解法に左右されるため, 一概に設定しづら

いが, 一見難しそうに見えても, 方針がわかればその論理の流れはそれほど難解ではないものもあるなど, 問題を教材として扱うには問題の吟味が必要不可欠である. 特に今回扱った問題の多くは, 高校生でも十分対応できる問題も多いが, 問題 10-4 に関しては, 幾つかの既知の結果を踏まえた解法となっており, 難易度は高いものとなっている.

愛媛和算研究会会長の谷本賢治先生におかれましては, 定例会において, 発表の機会を与えて頂き, 取り組んだ学生達にもあたかなコメントをくださいました. また本稿につきましても, 補足や修正箇所等ご指摘いただきました. この場を借りて御礼申し上げます.

2 現代解の解説 (第 10 巻)

この節では, (浅山, 2019) をもとに, 第 10 巻の全問について解説する. 各問題では, 問題, 答え, 術文を紹介し, その現代解及び注意点, 関連する单元について述べる.

2.1 第 10 巻第 1 問

問題 1. (問題 10-1)

(問題文) 今, 図 (図 1) のように, 5 円がある. 只云う, 黒積若干とし, 円径を得る術を問う.

(答え) 下の通り.

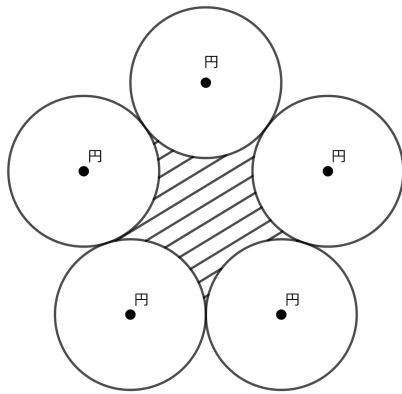


図 1. 問題 10-1 の配置

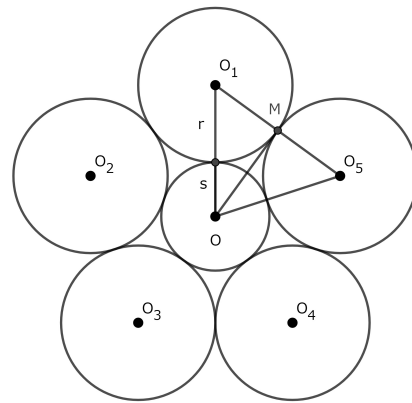


図 2. 問題 10-1, 2 の解法の配置

(術文)

$$\sqrt{\frac{4 \text{ 黒積}}{5\sqrt{\frac{2}{\sqrt{5}}} + 1 - 6 \times \frac{\pi}{4}}} = \text{円径}.$$

補足 1.1. 黒積とは、斜線部の面積のことである。円径とは円の直径のことである。

補足 1.2. (浅山, 2019) には,

$$\frac{\sqrt{4 \text{ 黒積}}}{5\sqrt{\frac{2}{\sqrt{5}}} + 1 - 6 \times \frac{\pi}{4}} = \text{円径}$$

とあるが、上記の(術文)が正しい式である。

補足 1.3. この問題及び後述の問題 2 では、正 5 角形に関する三角比を用いる。特に 36° や 54° の正弦、余弦、正接の値の計算は、少し技巧的である。ここでは証明を述べないが、以下の補題 2.1 に具体的な値を載せた。(牟田口, 2023) には初等幾何的な計算も紹介されている。

補題 2.1. (愛媛算額, 2017: 補助定理 11)

$$\begin{aligned}\cos 54^\circ &= \sin 36^\circ = \sqrt{\frac{5 - \sqrt{5}}{8}}, \\ \sin 54^\circ &= \cos 36^\circ = \frac{1 + \sqrt{5}}{4}.\end{aligned}$$

以下問題 1 の現代解を与える

(解法). 図 2 のように、5 つの円の中心を O_1, O_2, O_3, O_4, O_5 とし、その半径を r とする。また、円 O_1, O_5 の接点 M を考えると、 $\triangle OO_1M$ は、 $\angle MOO_1 = 36^\circ$ の直角三角形である。このとき正 5 角形 $O_1O_2O_3O_4O_5$

の 1 辺の長さは $2r$ であり、 OM の長さは $r \tan 54^\circ$ である。従って、正 5 角形の面積 S は

$$S = \frac{1}{2} \cdot 2r \cdot r \tan 54^\circ \times 5 = 5r^2 \tan 54^\circ$$

であることがわかる。また黒積は、正 5 角形の面積から半径 r , 中心角 108° の扇形の面積の 5 倍を引いたものである。 $108^\circ \times 5 = 540^\circ = 360^\circ \times \frac{3}{2}$ より、この 5 つの扇形の面積の和は $\frac{3\pi r^2}{2}$ である。よって、

$$\text{黒積} = \left(5 \tan 54^\circ - \frac{3\pi}{2}\right) r^2$$

となるので、これより、

$$\text{円径} = 2r = \sqrt{\frac{4 \text{ 黒積}}{5 \tan 54^\circ - 6 \times \frac{\pi}{4}}}$$

を得る。

補題 2.1 より、

$$\begin{aligned}\tan 54^\circ &= \frac{\sin 54^\circ}{\cos 54^\circ} = \frac{1 + \sqrt{5}}{4\sqrt{\frac{5 - \sqrt{5}}{8}}} = \sqrt{\frac{(1 + \sqrt{5})^2}{2\sqrt{5}(\sqrt{5} - 1)}} \\ &= \sqrt{\frac{(1 + \sqrt{5})^3}{8\sqrt{5}}} = \sqrt{\frac{16 + 8\sqrt{5}}{8\sqrt{5}}} = \sqrt{\frac{2}{\sqrt{5}} + 1}.\end{aligned}$$

よって、

$$\text{円径} = \sqrt{\frac{4 \text{ 黒積}}{5\sqrt{\frac{2}{\sqrt{5}}} + 1 - 6 \times \frac{\pi}{4}}}$$

が得られる。

□

2.2 第 10 巻第 2 問

問題 2. (問題 10-2)

(問題文) 今、図 (図 3) のように、5 等円を以てて心円を囲う。只云う、心円径は 16.13 寸。このとき、等円径はいくらか。

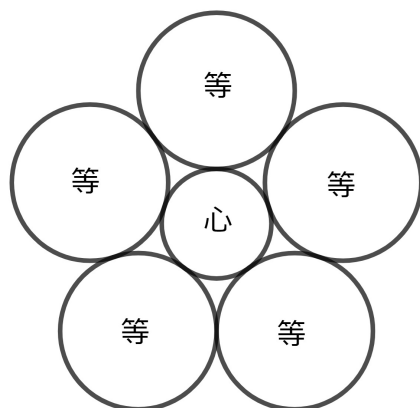


図 3. 問題 10-2 の配置

(答え) 等円径 23 寸 0000 有奇。

(術文)

$$\frac{\text{心円径}}{\sqrt{2\left(\frac{1}{\sqrt{5}}+1\right)}-1} = \text{等円径}.$$

補足 2.1. 有奇とはわずかな余りがでるということを意味する。術文の式に、心円の直径 16.13 を代入すると、23.000089570314... となる。

(解法). 図 2 において、等円 (円 $O_1, \dots, O_5$) の半径を r , 心円 (円 O) の半径を s とする。このとき、 $OO_1 = r + s$, $MO_1 = r$ である。

従って、

$$r = (r + s) \sin 36^\circ.$$

これより、

$$r = \frac{s}{\frac{1}{\sin 36^\circ} - 1} \quad (2.1)$$

であることがわかる。補題 2.1 より、

$$\frac{1}{\sin 36^\circ} = \sqrt{\frac{8}{5 - \sqrt{5}}} = \sqrt{2\left(\frac{1}{\sqrt{5}} + 1\right)}.$$

これを (2.1) に代入して術文の式を得る。□

2.3 第 10 巻第 3 問

問題 3. (問題 10-3)

(問題文) 今、図 (図 4) のように、半梯内を斜線で隔て円を容れる。只云う、大頭 9 寸、小頭 5 寸、円径 3 寸のとき、長はいくらか。

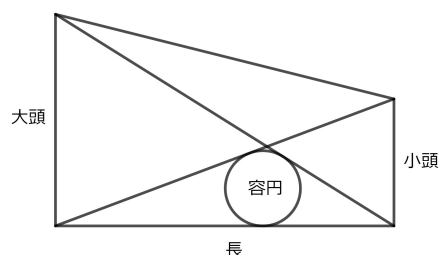


図 4. 問題 10-3 の配置

(答え) 長 12 寸。

(術文)

大頭 $\times$ 小頭 = 東, (大頭 + 小頭) $\times$ 円径 = 西,

$$\text{東} - \text{西} = \text{南}, \sqrt{\left(\frac{\text{南}}{\text{円径}}\right)^2 + \text{南}} = \text{北},$$

とし、

$$\frac{1}{2} \left(\frac{\text{東} + \text{南}}{\text{北}} \right) = \text{長}.$$

補足 3.1. 半梯とは、等脚台形の半分の図形のことである。長の辺で折り返すと、等脚台形となる。

補足 3.2. この問題では、2 次関数の平方根を含む方程式を解く必要があり、その解を求めることが最も大変である (補足 3.3). 方程式の導出においては、三平方の定理、相似、内接円の半径と面積の関係など、高等学校で学ぶ内容で可能である。

(解法). 次の図 5 のように設定する。ただし、容円の半径を r とする。このとき、 $AE = \frac{b\sqrt{x^2+a^2}}{a+b}$, $BE = \frac{a\sqrt{x^2+b^2}}{a+b}$ である。よって (愛媛算額, 2017: 補助定理 13) より、 $\triangle EAB$ の面積は

$$\frac{r(x(a+b) + b\sqrt{x^2+a^2} + a\sqrt{x^2+b^2})}{2(a+b)}$$

である。一方

$$\begin{aligned} \triangle EAB \text{ の面積} &= \frac{a}{a+b} \times (\triangle ABD \text{ の面積}) \\ &= \frac{abx}{2(a+b)}. \end{aligned} \quad (2.2)$$

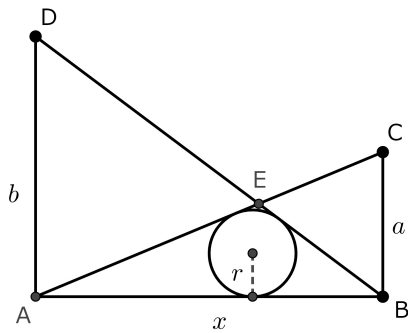


図 5. 問題 10-3 の設定

よって,

$$\frac{r(x(a+b) + b\sqrt{x^2 + a^2} + a\sqrt{x^2 + b^2})}{2(a+b)} = \frac{abx}{2(a+b)}$$

が得られる. 整理して,

$$(ab - r(a+b))x = r(b\sqrt{x^2 + a^2} + a\sqrt{x^2 + b^2}). \quad (2.3)$$

$s = a + b$, $t = ab$ とおいて, この方程式を解くと,

$$x = \frac{1}{2} \frac{t + (t - 2sr)}{\sqrt{\left(\frac{t - 2sr}{2r}\right)^2 + (t - 2sr)}} \quad (2.4)$$

が得られる. 特に, 円径 $= 2r$, 東 $= t$, 西 $= 2rs$, 南 $= t - 2rs$, 北 $= \sqrt{\left(\frac{t - 2sr}{2r}\right)^2 + (t - 2sr)}$ であることより, 術文が得られることも確認できる. $\square$

補足 3.3. ここでは方程式 (2.3) の解 x の導出について解説する. (2.2) より, E と直線 AB の距離 h は $h = \frac{ab}{a+b}$ である. よって, $2r < h = \frac{ab}{a+b}$. このことより,

$$\frac{1}{r} > 2 \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) \quad (2.5)$$

が成り立つことがわかる.

方程式 (2.3) の両辺を $abrx$ で割り, $u = \frac{1}{x}$ とおけば,

$$\sqrt{u^2 + \frac{1}{a^2}} + \sqrt{u^2 + \frac{1}{b^2}} = \frac{1}{r} - \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)$$

が得られる. $A = \frac{1}{a}$, $B = \frac{1}{b}$, $C = \frac{1}{r} - \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)$ とおけば,

$$\begin{aligned} \sqrt{u^2 + A^2} + \sqrt{u^2 + B^2} &= C, \\ \sqrt{u^2 + A^2} - \sqrt{u^2 + B^2} &= \frac{A^2 - B^2}{C} \end{aligned}$$

となるので,

$$2\sqrt{u^2 + A^2} = C + \frac{A^2 - B^2}{C}.$$

よって,

$$\begin{aligned} 4u^2 &= C^2 + \frac{(A^2 - B^2)^2}{C^2} - 2(A^2 + B^2) \\ &= \frac{C^4 - 2(A^2 + B^2)C^2 + (A^2 - B^2)^2}{C^2}. \end{aligned}$$

ここで, (2.5) より, $C > A + B$ である. よって,

$$\begin{aligned} C^4 - 2(A^2 + B^2)C^2 + (A^2 - B^2)^2 \\ &= (C + A + B)(C - A + B) \\ &\quad \times (C + A - B)(C - A - B) > 0 \end{aligned}$$

であり,

$$S = \frac{\sqrt{C^4 - 2(A^2 + B^2)C^2 + (A^2 - B^2)^2}}{2}$$

とおくと,

$$u^2 = \frac{S^2}{C^2}.$$

よって,

$$u = \frac{S}{C}.$$

最後に C , S は A, B の対称式であることから,

$$A + B = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{s}{t}, \quad AB = \frac{1}{ab} = \frac{1}{t}$$

で表すことができるが, 実際に

$$\begin{aligned} C &= \frac{1}{r} - \frac{s}{t} = \frac{t - rs}{rt}, \\ 4S^2 &= \frac{1}{r} \left(\frac{1}{r} - \frac{2s}{t} \right) \left(\frac{1}{r^2} - \frac{2s}{rt} + \frac{4}{t} \right) \\ &= \frac{(t - 2rs)(t - 2sr + 4r^2)}{r^4 t^2} \end{aligned}$$

と表される. 従って,

$$x = \frac{C}{S} = \frac{t - rs}{\sqrt{\frac{(t - 2rs)^2}{4r^2} + (t - 2rs)}}$$

となり (2.4) が得られる.

2.4 第 10 巻第 4 問

問題 4. (問題 10-4)

(問題文) 今, 図 (図 6) のように, 直角三角形内を斜で隔て, 全, 中, 小円を容れる. 只云う, 全円径若干, 股若干とし, 小円径を問う.

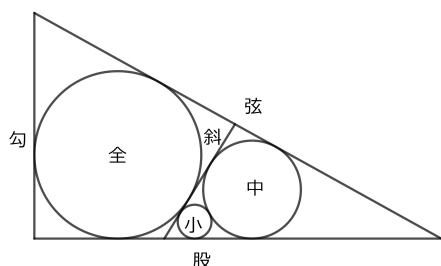


図 6. 問題 10-4 の配置

(答え) 下の通り.

(術文)

$$\begin{aligned} \left(1 - \frac{2 \text{ 斜}}{2 \text{ 股} - \text{全径}}\right) \times \text{全径} &= \text{天}, \\ 2(\sqrt{\text{斜}^2 - \text{天} \times \text{全径}} + \text{斜}) \text{ 斜} &= \text{地}, \\ \sqrt{\text{地} - (\text{全径} - \text{天}) \text{ 天}} &= \text{人} \text{ とし}, \\ \left(2 \left(\frac{\text{人}}{\text{人} + \text{天}}\right) - 1\right) \text{ 天} &= \text{小径}. \end{aligned}$$

補足 4.1. 問題の設定では, 解が一意に定まらない. しかし, 術文では斜を用いているため, 「斜若干」という条件も加えて考察した. ただし, 「斜若干」という条件を加えても, 解が一意には定まらない. そのことは, 全円に対し, 同じ長さの斜の置き方が 2 通りあることからわかる. ここでは, 図に適合した解を与えた.

補足 4.2. 術文の $\left(1 - \frac{2 \text{ 斜}}{2 \text{ 股} - \text{全径}}\right) \times \text{全径} = \text{天}$ は (浅山, 2019) 及び原典 (大西, 不明) の術文では, $\left(\frac{2 \text{ 斜}}{2 \text{ 股} - \text{全径}} - 1\right) \times \text{全径} = \text{天}$ となっていた. ただ (大西, 不明) の術解では正しく記載されている.

問題 4, 5 では, 和算においてよく知られている次の補題を用いる. 証明は省略する.

補題 2.2. (愛媛算額, 2017: 補助定理 3) $r, s > 0$ とする. 半径 r, s の 2 つの円が互いに外接しているとする. このとき共通外接線において, 接点間の長さは $2\sqrt{rs}$ である.

以下, 問題 4 の現代解を与える.

(解法). 図 7 のように, 中円の半径 r_2 および小円の半径 r_3 を, 全円の半径 r_1 , 股 $b := AC$ 及び斜 $t := DE$ で表す. まず $\triangle AO_2P_2$ と $\triangle AO_1P_1$ は相似で, $AP_1 = b - r_1$ より,

$$AP_2 = \frac{r_2(b - r_1)}{r_1}.$$

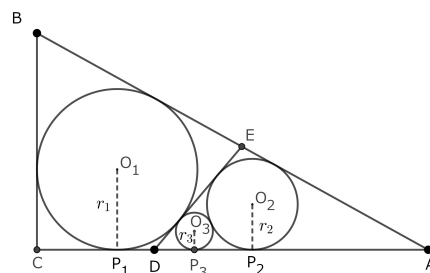


図 7. 問題 10-4 の解法の設定

一方, (算額研究, 2017: 補助定理 16) より

$$P_1P_2 = DE = t$$

となる. よって, $AP_2 = AC - CP_1 - P_1P_2 = b - r_1 - t$ であり,

$$\begin{aligned} r_2 &= \frac{r_1(b - r_1 - t)}{b - r_1} \\ &= \frac{\text{全}}{2} \left(1 - \frac{2 \text{ 斜}}{2 \text{ 股} - \text{全}}\right) = \frac{\text{天}}{2} \end{aligned}$$

であることがわかる. 特に 中円径 $= 2r_2 = \text{天}$ である.

今,

$$u := DP_1, \quad v := DP_2$$

とおく. この u, v に関し, (算額研究, 2017: 補助定理 23) より,

$$u + v = t, \quad uv = r_1r_2$$

が成り立つ. つまり, u, v は 2 次方程式

$$X^2 - tX + r_1r_2 = 0$$

の解である. 以下 (図 7 に合わせて), $u \leq v$ を仮定する. このとき,

$$v = \frac{t + \sqrt{t^2 - 4r_1r_2}}{2} = \frac{\text{斜} + \sqrt{\text{斜}^2 - \text{全} \times \text{天}}}{2}$$

である. 補題 2.2 より, $P_2P_3 = 2\sqrt{r_2r_3}$ なので,

$$DP_3 = v - 2\sqrt{r_2r_3}.$$

再び (算額研究, 2017: 補助定理 23) より, $DP_1 \cdot DP_3 = r_1r_3$. 従って,

$$u(v - 2\sqrt{r_2r_3}) = r_1r_3$$

が得られ, これを $\sqrt{r_3}$ についての 2 次方程式と考えれば, $uv = r_1r_2$ より,

$$r_1(\sqrt{r_3})^2 + 2u\sqrt{r_2}\sqrt{r_3} - r_1r_2 = 0.$$

両辺に v をかけて、 r_1 で割れば、

$$v(\sqrt{r_3})^2 + 2r_2\sqrt{r_2}\sqrt{r_3} - r_2v = 0.$$

これを解くと、 $\sqrt{r_3} > 0$ より、

$$\begin{aligned}\sqrt{r_3} &= \frac{-r_2\sqrt{r_2} + \sqrt{r_2^3 + r_2v^2}}{v} \\ &= \frac{-r_2 + \sqrt{r_2^2 + v^2}}{v}\sqrt{r_2}.\end{aligned}$$

以上より、

$$\begin{aligned}r_3 &= \left(-\frac{2r_2(\sqrt{r_2^2 + v^2} - r_2)}{v^2} + 1 \right) r_2 \\ &= \left(-\frac{2r_2}{\sqrt{r_2^2 + v^2} + r_2} + 1 \right) r_2 \\ &= \left(\frac{\sqrt{r_2^2 + v^2} - r_2}{\sqrt{r_2^2 + v^2} + r_2} \right) r_2\end{aligned}\quad (2.6)$$

を得る.

ここで、

$$\begin{aligned}4(r_2^2 + v^2) &= \text{天}^2 + \left(\text{斜} + \sqrt{\text{斜}^2 - \text{全天}} \right)^2 \\ &= \text{天}^2 + 2\text{斜}^2 + 2\text{斜}\sqrt{\text{斜}^2 - \text{全天}} - \text{全天} \\ &= \text{地} - (\text{全} - \text{天})\text{天}\end{aligned}$$

である. よって、

$$\text{人} = 2\sqrt{r_2^2 + v^2}$$

であることがわかる. また (2.6) から、

$$\text{小} = \frac{\text{人} - \text{天}}{\text{人} + \text{天}}\text{天} = \left(2\frac{\text{人}}{\text{人} + \text{天}} - 1 \right) \text{天}$$

も確認できる. $\square$

2.5 第 10 巻第 5 問

問題 5. (問題 10-5)

(問題文) 今、図のように、大、中、小円とその小円の左右に、甲、乙の 2 円を容れる. 只云う、甲円径 98.01 寸、又云う、乙円径 121 寸. 中円径はいくらか.

(答え) 中円径 729 寸

(術文) $\left(2 - \sqrt{\frac{\text{乙}}{\text{甲}}} \right)^2 = \text{法}$ とし、 $\frac{9\text{乙}}{\text{法}} = \text{中円径}$.

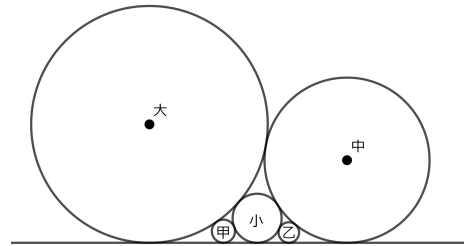


図 8. 問題 10-5 の配置

(解法). 大円, 中円, 小円, 甲円, 乙円の半径をそれぞれ r, s, t, a, b とする. このとき, 補題 2.2 より、

$$\sqrt{ra} + \sqrt{ta} = \sqrt{rt}, \quad (2.7)$$

$$\sqrt{sb} + \sqrt{tb} = \sqrt{st}, \quad (2.8)$$

$$\sqrt{rt} + \sqrt{st} = \sqrt{rs} \quad (2.9)$$

である. (2.7), (2.8) より、

$$\sqrt{r} = \frac{\sqrt{at}}{\sqrt{t} - \sqrt{a}}, \quad \sqrt{s} = \frac{\sqrt{bt}}{\sqrt{t} - \sqrt{b}}$$

が成り立ち, (2.9) より, $\sqrt{t}$ に関する方程式

$$\frac{\sqrt{at}}{\sqrt{t} - \sqrt{a}} + \frac{\sqrt{bt}}{\sqrt{t} - \sqrt{b}} = \frac{\sqrt{abt}}{(\sqrt{t} - \sqrt{a})(\sqrt{t} - \sqrt{b})}$$

が得られる. これを解いて、

$$\sqrt{t} = \frac{3\sqrt{ab}}{\sqrt{a} + \sqrt{b}}, \quad \frac{1}{\sqrt{t}} = \frac{1}{3} \left(\frac{1}{\sqrt{a}} + \frac{1}{\sqrt{b}} \right)$$

となることがわかる. よって、

$$\sqrt{\frac{s}{b}} = \frac{1}{1 - \sqrt{\frac{b}{t}}} = \frac{3}{2 - \sqrt{\frac{b}{a}}}.$$

従って、

$$s = \frac{9b}{\left(2 - \sqrt{\frac{b}{a}} \right)^2}$$

が得られる. 特に、 $\text{法} = \left(2 - \sqrt{\frac{a}{b}} \right)^2$ とおけば、 $\text{中} = \frac{9\text{乙}}{\text{法}}$ が得られる. $\square$

補足 5.1. この問題では、術文は確認できたが、実際に値を代入すると、中円径 $= \frac{9^3 11^2}{8^2}$ となり、答えの 729 と異なる値となる. 実際、この数値は上で求めた大の式から得られる値である. 図 8 の甲円と大円の関係を見

ると、甲円径が大きくなれば大円径も大きくなる。このことは、大円径 $>$ 小円径のとき、甲円径 $>$ 乙円径であることを意味している。しかし、問題文では、甲円径 $<$ 乙円径である。従って、問題文では、甲円径と乙円径の数値が逆ではないかと推察される。

3 終わりに

本論文では、2023 年 7 月 30 日に開催の第 49 回愛媛和算研究会の定例会において発表した解法を含めた形でまとめている。今回紹介した問題は、雑題の第 10 巻の全 5 問であるが、2024 年より、愛媛和算研究会では、第 11 巻～第 20 巻の読みを行っている。今後、その成果も公表する予定であるが、未発表の第 8 巻や発表を行った第 9 巻の問題についても、紹介したいと考えている。

今回取り組んだ結果、第 10 巻の多くの問題について高等学校までの知識で対応可能であると考えられる。その意味では、問題の数値や設定を変えれば、そのまま高等学校までの教材に使用することも可能であり、本論文が 1 つの教材のヒントとなることを期待したい。

参考文献

大西佐兵衛 (不明)：『雑題』，愛媛県立図書館 (所蔵)。

愛媛算額 (2017)：愛媛の算額研究～現代解法を通して～，平田浩一，谷本賢治 編，愛媛和算研究会。

浅山秀博 (2019)：『雑題』三十巻 (大西佐兵衛著) を読むにあたって (その 1)，愛媛和算研究会。

牟田口正虎 (2023)：「雑題 10 - 1」，第 48 回愛媛和算研究会発表資料。

沖本貫成，吉岡倅佑，村田幹太，吉平善晴，保木隆之介 (2023)：「雑題」7-1, 9-1, 9-3, 10-2, 10-5 の現代解，第 49 回愛媛和算研究会発表資料。

宮崎智也，吉岡倅佑，原本博史，安部利之 (2023)：大西佐兵衛『雑題』の現代解について～第 8 巻第 1 問から第 4 問～，科学教育研究センター紀要 **2**，17-22，愛媛大学教育学部附属科学教育センター。

海洋の層構造と深層循環の理解を深める授業展開
～水のあたたまり方・冷やされ方のモデル実験を通して～
Class development to deepen understanding of ocean layer structure and deep circulation
～Through model experiments on how water is heated and cooled～

○佐藤栄治^{*1}, 根岸 漂^{*2}

SATO Eiji^{*1}, NEGISHI Hyō^{*2}

^{*1}愛媛大学教育学部, ^{*2}愛媛大学附属高等学校

^{*1}Faculty of Education, Ehime University, ^{*2}Ehime University Senior High school

【要約】高校地学基礎の「大気と海洋」で扱う海洋の水温鉛直分布や海洋の熱塩循環のモデル実験を行った。今回の取組は、実験の目的を示し、予想をさせ、実験後に再度予想と同じ問いに答えてもらう形式で教師主導でのまとめを行わずに進めた。ビーカー内という深さの差がわずか 10cm 程度しか差がない空間で実験する制約もあり、全員が理想的な結果になることは困難であったが、教師の誘導がなくても多くの生徒は妥当な考え方を獲得していた。彼らの思考を助けたのは、サーモインクを用いたことで、あたためられた水や冷やされた水の動きが明確となり、視覚的に水の動きと温度変化を捉えることができたからである。しかし、水の動きが激しい場合や温度計の設置位置が不適切な場合は、妥当な結果を導くことが困難な場合もあり、まだまだ改善が必要であるが、水を上方・下方からあたためたり冷やしたりする単純な実験が生徒の実感を伴った理解に有効であった。

【キーワード】高等学校理科, 海洋の層構造, 水の対流, サーモインク

I. 問題の所在

高等学校地学基礎の海水の層構造についての記述内容は、海面から深層へ3つの層に分けられること、表層は風や波で混合されていて、季節変化や緯度のよる影響が大きいこと、深層は水温がほぼ一様な層となっていることはどの教科書でも共通に記載されているが、層構造が作られる仕組みに言及した記述は見当たらない。温度が高い部分が上に移動し、低い部分が下に移動するという概念は常識的概念であると考えられているからであろう。

佐藤・中井 (2023) は、生徒 22 名に対して、水を上方・下方からあたためたり冷やしたりするモデル実験を行い、上層と底層の温度変化を調べた後、あたためられた水や冷やされた水の動きについてワークシートと聞き取りによりどのように理解しているか調査した。その結果、水を上部からあたためた場合は、上層のみがあたたまることを全員が認識していた一方、上部に氷を置いて冷やす実験は、全員が下層から冷えることを確認していたのに、3名は「水の動きはない」、6名が「水の動きを意識していない」と考えていたことがわかった。さらに、佐藤・中井 (2023) は、高校生 445 名に対して Microsoft Forms によるオンラインのアンケートを実施した。それによると「ビーカーに入

れた水温 20℃の水を上部から温めたときどこが最初に 40℃になるか」との問いに 65%が上層と回答し、理由として、あたためられた水は水面近くに留まる (51%)、対流によりあたたかい水が上層に集まる (40%) をあげた。また、「ビーカーに入れた水温 20℃の水を上部から氷で冷やすと、どこが最初に 10℃になるか」という問いに 54%が表層と回答し、その理由として、87%が氷に近いところから冷えると回答した。また、水はどこから凍るかの問いには 83%が「表層から凍る」と正しく回答した。この結果を素直に解釈すると、水は表面から冷え、冷えた水の動きは考えていない生徒が少なくないと解釈できる。

相場・柊原 (2009) は、小学生がほとんど持っていない対流に伴う回転運動という誤概念を多くの中学生が獲得していることを問題視し、改善のためのモデル実験を提案している。そして、対流概念を正しく身に付けるにはサーモインクを利用することが有効であると述べている。

今回は、温度を測定するだけでなく、サーモインクを用いて温度変化を視覚的に捉えることで、生徒に水の動きを意識させることをねらった取組を行った。その結果、水のあたたまり方や冷え方についての概念形成に有効であったので、その実践を報告したい。

II. 研究の方法

1. 対象と期間

高校2年生地学基礎履修生で、海水の運動の単元を履修済の生徒（3クラス93名）を対象とした。

授業実践は、2時間構成で、1時間目は水を温め、2時間目は水を冷やしての水のあたたまり方、冷え方と水の動きを捉える展開とした。2時間連続して実験を行うものの、教師のまとめは行わず、モデル実験を行うことで生徒自らが概念を形成できるかみた。本実践で用いたサーモインクは、約35℃以上でピンク、約35℃以下で青色に呈色する。今回は、授業前に実験の予想をMicrosoft Formsを用いて回答させた後、授業後に同じ内容で回答させた。その後、教師による総括を行い、生徒の学びをサポートする計画で進めた。

2. 授業実践と分析方法

(1) 予習課題と振り返り課題の記述分析

授業実践前に海洋の層構造の説明を求めた。2時間の授業が終わってから、改めて同じ内容について、学んだことを踏まえて回答させ、記述内容の深まりを分析した。

(2) 1時間目の実験

ア 実験方法

図1のように1Lビーカーに電子温度計を上層(A)、中層(B)、下層(C)に設置し、サーモインクを加えた水を約30℃（青色）に調整し、端からバーナーで加熱して

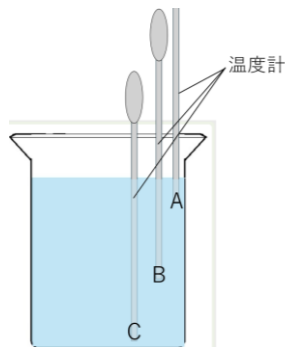


図1 温度計の位置

温度変化を調べる。同様に約30℃に調整したサーモインク入りの水を上部から白熱球で加熱して温度変化を記録しながら、色の変化と水の動きを記録した。

イ 実験の結果

（下方からバーナーで加熱）

図2は、下方端からバーナーで5分程度加熱した時の写真である。加熱を始めてしばらくすると、下層の加熱点近くでピンク色になった水が筋状に上昇し、層状にピンク色の水が広がる様子が観察できる。他方、加熱点に近い下層の一部を除くと他は青色のま



図2 5分加熱

まで、上層の温度が最も高くなる。なお、炎の勢いが強すぎると複雑で激しい流れが発生し、短時間でビーカー全体があたたまり、観察は困難となるので注意が必要である。表1に実際に生徒実験で得られた温度の測定結果を示す。

表1 下方から加熱した温度変化

時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	32.6	33.3	34.5	35.6	36.3	37.5	38.6	40.1	41.4
B	32.1	32.8	33.6	34.7	35.8	37.1	37.6	39.1	40.9
C	32.1	32.7	33.5	34.6	35.8	36.9	37.7	38.5	40.3

※ A, B, Cは図1に示す温度計の位置である。

（上方から白熱電球で加熱）

図3のように、上方から白熱球であたためた。3分程度あたためた後のビーカーの様子を図4に示す。上方からあたためた場合、水の流れは発生せず、上層のピンク色の水の層が次第に厚くなっていく様子が観察される。



図3

バーナーの加熱と異なり、水の流れがほぼないので結果は安定しており、どの班でも同じ結果が得られた。



図4

温度測定を行うと、上層の温度上昇に対して中層・下層の温度変化はほとんど無視できる範囲になっている。表2に実際に生徒実験で得られた温度変化の測定結果を示す。

表2 上方から加熱した温度変化

時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	32.7	33.8	35.0	35.8	36.9	37.7	38.5	39.3	40.0
B	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	32.3	32.3	32.3
C	30.4	30.9	30.9	30.9	30.9	30.9	30.9	30.9	30.9

(3) 2時間目の実験

ア 実験方法

1時間目の実験と同様に温度計とビーカーを用意し、サーモインクを加えた溶液を40℃程度（ピンク色）に調整し、保冷剤をクリップでビーカーの上端に固定して水温を下げ、上層(A)、中層(B)、下層(C)の温度変化と溶液の色の变化や水の動きを調べる。保冷剤はすぐに融解するので3分程度で交換する。次に、ビーカーの下部に保冷剤を置いて、おもりを輪ゴム等で固定して浮かばないようにして、サーモインクを

加えた水（ピンク色）の底に沈め、温度変化を調べて、溶液の色の変化と水の動きを観察する。

イ 実験の結果

図5は右端上部にダブルクリップで保冷剤を固定して約8分冷却したところである。上から冷やしているが下から青色になっている様子が観察できる。保冷剤が融解して、冷却能力が落ちるので、保冷剤（上方から冷却）を3分ごとに交換した。上方を冷やしているのに最も低温になるのは下層である。ただし、温度差は1℃程度であった。表3に生徒実験で得られた温度変化の測定結果を示す。保冷剤の周りにピンク色の水ができ、それが底に沈んでいく様子を観察できた班もあった。



図5

表3 上方から冷却した温度変化

時間(分)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	38.0	37.6	37.0	36.1	35.8	35.3	34.6	34.3	33.9
B	37.6	37.0	36.4	35.7	35.3	34.9	34.4	34.0	33.5
C	37.0	36.4	35.9	35.3	34.8	34.4	34.5	33.3	33.0

Ⅲ. 結果

1 あたためる実験

(1) 授業前アンケート分析

ア 下方からバーナーで加熱

図6のような問いを与え Forms で回答させた。

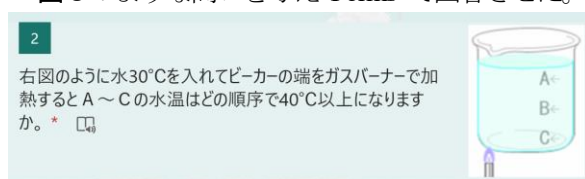


図6 下方から加熱に関する問い

図6の問いに対する結果は図7のとおりである。

図7のアンケートで

は、C→B→Aの順であたたまると予想する生徒が最も多く、そう考えた理由として「下から炎を当てているので下から順にあたたま

る」「熱源のある所から順にあたたまる」などの答えが69%を占め、これらの生徒は、水の対流を考えずに回答していたが、

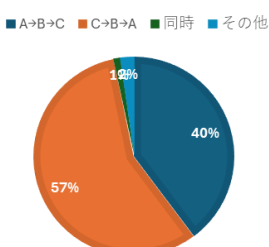


図7 授業前

下方からバーナーで加熱

C→B→Aと答えた生徒の中には、「あたたまった水が上に動く」と記述している生徒が21%含まれていた。この生徒たちは、底層で水が十分にあたためられ、その後上昇すると捉えている。実際に温度を測定すると、あたためられた水は次々に上昇するので上層に温度が高い水が溜まり、上層の水温が最も高くなるが、水の対流を順番に考えた回答であろう。

イ 上方から白熱電球で加熱

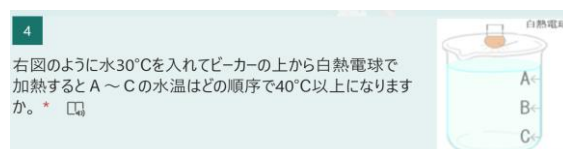


図8 上方から加熱に関する問い

図9より、ほとんどの生徒が図8の問いに対してA→B→Cの順にあたたまると予想した。あたたかい水が上層にできるので対流を無視でき、水のあたたまり方をすべて熱伝導と捉えても同じ答えになると考えられる。

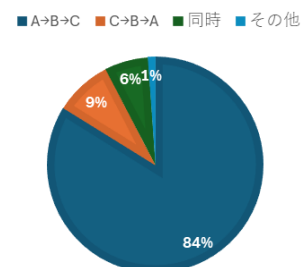


図9 授業前

上方から白熱球で加熱

ここで、C→B→Aと答えた生徒は、「光によってビーカーの底がまずあたたまり、あたたまった水が上昇する」と考えており、気温の上昇の時、まず地面があたたまり、空気があたたまっていく現象と同様にとらえている。

(2) 授業後アンケート分析

ア 下方からバーナーで加熱

まず、下方からガスバーナーで加熱した場合は、A→B→Cと考える生徒が40%（図7）から73%に増えている。また、C→B→Aと答えている生徒の56%が「下側であたためられた水が上昇する」と

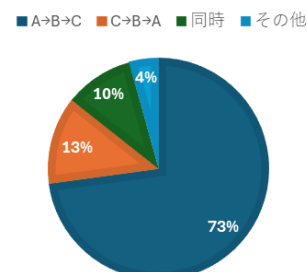


図10 授業後

下方からバーナーで加熱

答えており、これらの生徒は、水が熱源によってあたためられてから上昇すると捉えている。対流を考えずに、熱伝導としてとらえている生徒も少

数であるが見受けられた。問題は、実験結果を理由に $C \rightarrow B \rightarrow A$ と答えた生徒の存在である。温度計を熱源に近い位置に設置したため、C が最も高い温度を示す結果が得られた班もあり、回答者はその結果を根拠に回答したと考えられる。「下側であたためられた水が上昇すると考えた生徒の中にも、ピンク色の水が上昇の様子を捉えつつ、温度計の指す値はC が最も高いという結果からこの答えを導いている者もいた。

イ 上方から白熱電球で加熱

$A \rightarrow B \rightarrow C$ の順にあたたまりと答えた生徒が84%から88%に増えた。図11のその他は、「Aのみがあたたまる」と答えた生徒である。サーモインクの色は上層のみピンク色になっていて、中層・下層の色は変わらないこと、中層・下層の温度変化は上層に比べてわずかであることから、上層のみあたたまるというのも妥当な答えである。従って、ほとんどの生徒が実験結果を反映した妥当な答えに到達したと言える。これは、水の動きがほとんどないことで観察が容易であることが関係していると考えられる。

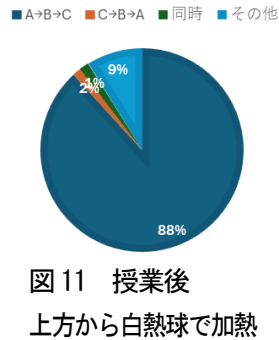


図11 授業後
上方から白熱球で加熱

2 冷やす実験

(1) 授業前アンケート分析

ア 上方から冷却

同様の方法で Forms を用いた問いに回答させた。

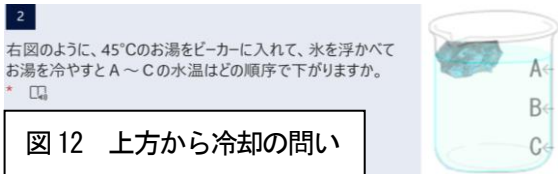


図12 上方から冷却の問い

図13のとおり、図12の答えを $A \rightarrow B \rightarrow C$ と考える生徒が最も多く(57%)、 $C \rightarrow B \rightarrow A$ と考える生徒(42%)を超える。 $A \rightarrow B \rightarrow C$ と考える生徒の、そう考えた理由をみると、「上を冷やしているから」「上から少しずつ

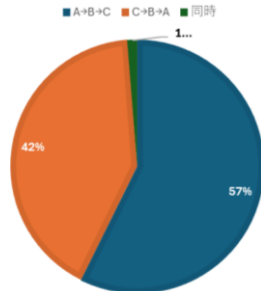


図13 授業前
上方から冷却

下に伝わる」など対流を無視した記述である。 $A \rightarrow B \rightarrow C$ と考える生徒の89%が下から冷やすと下から冷えると考えていることから、低温部が熱伝導で広がると考えている生徒も存在していた。

イ 下方から冷却

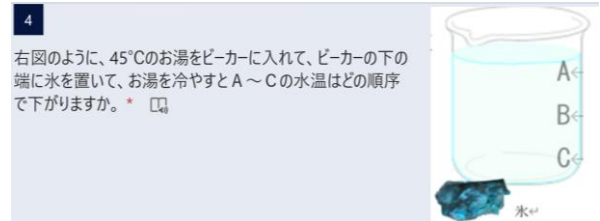


図14 下方から冷却の問い

図15のとおり、82%の生徒が $C \rightarrow B \rightarrow A$ を選んだ。 $A \rightarrow B \rightarrow C$ を選んだ生徒は「水は上から冷えると聞いた」「水面が凍るから」など彼らが獲得した何らかの知識をもとに思考しているようであった。

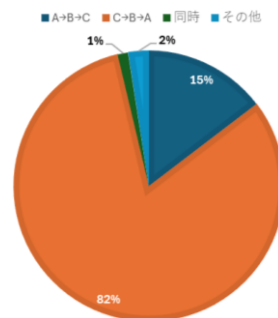


図15 授業前
下方から冷却

(2) 授業後アンケート分析 ア 上方から冷却

授業前アンケートで $C \rightarrow B \rightarrow A$ を選んだ生徒は42% (図13)、授業後は56% (図16) となり、冷たい水が底層に沈み込むことを認識した生徒は増加した。

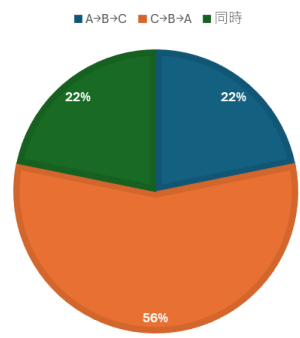


図16 授業後
上方から冷却

しかし、 $A \rightarrow B \rightarrow C$ を選んだ生徒が22%もいる。

そう考えた理由の記述内容をみると「上から冷やされているから」など対流を考慮しない回答が約半分を占める。しかし、中に「実験結果から」と書いている生徒もいた。実際、上層が早く冷えた結果になった班もあった。表3からもわかるように上層と下層の温度差がわずか1℃程度で班によってはそれ以下であったこと、保冷剤を交換するとき水が攪拌されたこと、温度計の設置位置が保冷材に極めて近く、班によっては接触していたことなどの要因が考えられる。

イ 下方から冷却

C→B→A と考える生徒が 95%、C のみ冷えると考える生徒を併せると、1 名を除いて下層から冷えることを認識している。しかし、熱伝導で考えても同じ結論になる。そう考えた理由の中に、「下に保冷剤があるから」「下から順々に冷やされる」などの記述も散見される。水の動きがほぼないのでこの記述は間違っているのではないが、図 16 と合わせて考えると、最初から対流の考え方を適用せず熱伝導の考え方で思考している可能性も否定できない。

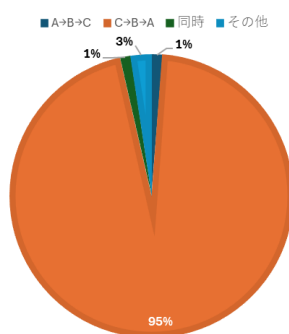
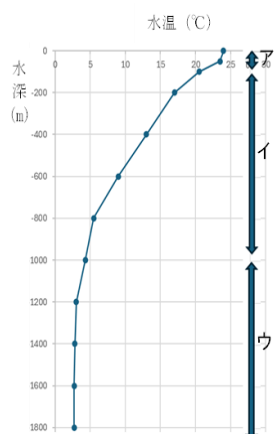


図 17 授業後
下方から冷却

(3) 予習課題【課題】から見た生徒の認識の変化

【課題】右図は低緯度地域の海洋における水深と海水温の関係を示したものです。アの海水温が高く保たれ、ウの海水温は 1～3℃で季節や緯度によらずほぼ一定です。このような温度分布になっている理由を簡単に説明してください。



本単元は履修済みの生徒であったので、上記課題を予習として回答させた。主な回答としては、「深層は日光が届かないので水温が低い」「深層は風や波の影響を受けない」という記述が多い。2時間のモデル実験を終えての記述で大きく変わったのは「あたためられた海水は密度が低くその場に留まる（上に上がる）」と言及した記述を 1/3 以上の生徒が書いていることである。今回のモデル実験が水の温度による鉛直方向の移動をテーマとしていたことは間違いないが、海水の動きが水温によって引き起こされたり引き起こされなかったりすることを意識するようになった生徒が増えたことはこの取組の成果と考えている。

IV. 考察

(1) 温度変化をサーモインクで可視化した効果

サーモインクは温度が高いか低いかを明瞭に色で表現できるので、あたためられた水、冷やされた水の挙動を観察するには絶好である。温度差がでない場合の水の動きも注意深く観察すると捉えることが可能である。生徒の感想でも、温度変化を可視化できてよかったという記述が多数確認できたことから、水の動きについて意識させる効果は高かったと考えている。

(2) 生徒の対流に対する理解の深まりの評価

今回の実験は、生徒実験を教師が見守る形で行い、アンケートで生徒の理解度を測定した。この取組の後ですべての班の結果を総括したまとめの授業を行ったが、授業者は生徒の反応の良さを実感している。現在、日常生活の中であたためられた水が上層、冷たい水が下層に偏在することを体験として知っている生徒が少なく、このような生徒の感性に訴える実験は有効であろう。

(3) 水は水面から凍るという認識について

水はどこから凍るかという問いに対して、本実験後にアンケートで尋ねたところ、水面から凍る 57%、水底から凍る 37%であった。佐藤・中井 (2023) が愛媛県の生徒 445 名に対して行った同様の問いでは、水面から凍る 73%、水底から凍る 8%と比べると明らかに誤った回答が多いことがわかる。これは、今回の授業で冷たい水が底層に動くことを多くの生徒が認識した結果ともとらえられる。佐藤・中井 (2023) では、この問いに水面から凍ると答えた生徒の回答理由の 73%が水面から順に冷えて水温が低い部分が広がっていくからと水の対流を無視した答えになっていた。この問いを実験前後で投げかけていないので、実験の影響を検証してはいないが、本取組に参加した生徒の水底から凍る理由は「実験で水は下から冷えることがわかったから」であった。科学的に物事を考える態度としてはむしろ好ましく、水の特殊性を理解するには、むしろ好都合ではないかと考える。

(4) 今後の課題

今回実施した実験で、温度差による水の動きがほとんどない、上方からの加熱、下方からの冷却は、実験結果が安定していて、すべての班で同じ結果が得られた。しかし、水の動きがある、下方からの加

熱、上方からの冷却は水の動きを十分にとらえることができていない。特に、加熱はバーナーの火力を制御して乱流が発生しないようにする必要があるし、冷却は保冷剤を取り換えるときに攪拌しないように気を付ける必要がある。加熱を電熱線にして制御しやすくする、保冷剤の交換時に攪拌しないようにする工夫が必要と考えている。

V. おわりに

このモデル実験は、生徒が海洋の鉛直構造の理解、熱塩循環の理解には有効であった。単純な実験ではあるが、深さの差が10cm程度しかない状況の中で、電子温度計で温度差を検出することは意外に難しい。それを改善するためにサーモインクの利用は温度を色で可視化できるという点で極めて有効であった。しかし、水の動きが激しい状況では、すぐに混じってしまって観察が困難となったり、インクの色が混じって紫色に見えるなど観察し辛い状況が生じるため、注意深く実験操作をする必要があった。寺田・中嶋（2013）は、示温インクを利用したビーカーでの観察方法では、観察が難しいと述べている。しかし、実験をするのが高校生であることも影響していると思われるが、半数以上の生徒がほぼ狙った結果を導き出している。

今回の実験後のアンケートの質問の答えの根拠に、実験の結果をあげる生徒が一定数いる。冷やした時に同時に冷える、あたためたときに同時にあたたまると答えた生徒の中に「実験結果がそうだった」との理由をあげる生徒もいた。確かに温度差が小さくそう捉えても仕方ないという状況もあるが、もしも差が検出できていたら妥当な答えになっていたかもしれないと考え、より確実な結果が得られる実験を開発する必要がある。

今回は、教師は実験の指導のみで結果の総括や考え方を説明するなどのサポートは行っていない。その中で、より妥当な方向に生徒の思考が変化していることは一定の評価ができると考えている。その後の授業においても、生徒の反応は良く、理解も早かったということも成果の一つと言える。

現代の生活では風呂の上下の温度差を解消するために攪拌してから湯に入ることもないし、エアコンの温度管理も高度になり、足元が異常に冷えることもあまり経験しなくなった。経験不足を補うために、あたためる冷やすといった単純な実験は有効である。水の

あたたまり方をメインに扱うのは小学校4年生である。例えば、教育出版の教科書では今回扱ったサーモインクでの加熱実験を取り上げている。その後は中学校2年生の物質・エネルギー領域で扱うものの教科書で丁寧に扱うことはない。小学校学習指導要領解説では「金属は熱せられた部分から順に温まるが、水や空気は熱せられた部分が移動して全体が温まること」を指導することになっており、冷えた水の下降流については学ぶことがない。これらのことから、生徒は対流について必ずしも理解できていないと考えるべきではないかと思う。ベテラン教師の世代が当たり前に実体験として経験していたことを現代の生徒は経験していないかもしれないというところからスタートし、当たり前があたりまえでないかもしれないという視点から授業を組み立てることも必要ではないかと感じている。

付記・謝辞

この実践研究を進めるために、愛媛大学附属高校の施設・設備を活用させていただいた。また、この取組について、愛媛大学教育学部 中本剛教授からの有益な助言をいただいた。ここに感謝の意を表する。

文献

- ・相場博明・柊原礼士（2009）：小学校4年「水のあたたまり方」における誤概念と「サーモインク」教材の有効性，理科教育研究，Vol. 49 No. 3
- ・教育出版（2014）：未来をひらく小学理科4
- ・佐藤栄治・中井芳恵（2023）：高校地学「海洋の鉛直分布と熱塩循環」の実感を伴った理解のために，愛媛大学教育学部附属科学教育センター紀要 Vol. 2.
- ・寺田光宏・中嶋健二（2013）：小学校4年生理科「水のあたたまり方」の指導の現状と改善，日本科学教育研究会報告，27 巻5号 p97-102
- ・文部科学省（2017）：小学校学習指導要領解説 理科編

児童生徒を対象とした国際性を兼ね備えた次世代の科学者育成教育プログラムの開発と実践 -Biology in your classroom を目指して-

International collaboration to inspire future Scientists: hands-on parasitology activities in the classroom.

○Aki Kato^{*1}, Petra Schneider^{*2}, Aidan. J. O'Donnell^{*2}, Richard Culleton^{*3}

^{*1}Graduate School of Science and Engineering, Ehime University, ^{*2}Institute of Ecology and Evolution School of Biological Sciences, University of Edinburgh, ^{*3}Division of Molecular Parasitology Proteo-Science Center, Ehime University

【要約】愛媛大学では小中学生を対象としたジュニアドクター育成塾（JST 事業）や高校生を対象とした四国型次世代科学技術チャレンジプログラム（SHIN-GS）（JST 事業）を実施し、愛媛県を中心とした児童生徒に対して様々な科学教育活動を支援し次世代科学人材育成事業を実施している。特に SHIN-GS においては英語による科学や理科教育に約 6 年間取組んでおり、こうした取組はグローバルな視野をもつ次世代の科学者の育成につながると考えた。中でも、愛媛大学の Richard Culleton 教授による「Parasitology（寄生虫学）」の講義は国際性を育成するだけでなく、普段学ぶことのない寄生虫学についてグローバルな観点からマラリア流行地が抱える問題や課題を考える機会となっている。そこで本研究では Culleton 教授の共同研究者が開発したスコットランドにおける児童を対象とした科学者育成教育プログラム *Biology in your classroom* を日本の児童生徒向けに改編し、松山市内の小中学校及び SHIN-GS で出前授業を実施し検証した。今後も継続して児童生徒に対して科学の世界を教室で身近に体験することのできる機会を提供し次世代の科学者を育成する。

【キーワード】国際性育成，マラリア，グローバル人材，科学者育成，次世代科学人材育成事業

I. はじめに

愛媛大学では 2018 年度～2021 年度に国立研究開発法人科学技術振興機構（以下 略称 JST）のグローバルサイエンスキャンパス事業「愛媛大学グローバルサイエンスキャンパス」を 4 年間実施した。2021 年年度に 4 年間の第 1 期を満了し 1 年間の学内後継事業を経て 2023 年度に JST 事業の「次世代科学技術チャレンジプログラム（高校型）」に採択され現在は第 2 期のプログラムを実施している。

本事業が目標とするグローバルな視野をもった次世代の科学者の育成には、科学英語は必須であるため、基本的な科学英語から専門的な科学英語までプログラムを通じて継続的に異なったレベルで国際性を付与するプログラムを第 1 期目より継続して実施している。

その一環として 2022 年度より愛媛大学プロテオサイエンスセンター寄生病原体学部門の Culleton 教授が本プログラムの選抜後に実施される講義「展開学習」の「科学英語」を担当し、SHIN-GS プログラムのコーディネータである筆者とともに受講生である高校生に対して、国際性の育成に取り組んできた。グローバルな視点をもつ次世代の科学者を育成するためには、科学者がどのような存在であるか、また自分たちを取

り巻く環境や世界で科学という存在がいかに重要であるかを、児童生徒に対し「教室」で体験してもらい、科学というものを身近に感じてもらうことが重要である。また科学には国籍はなく世界共通のものであることを理解してもらうため、国籍の異なる科学者たちが、より若い世代に対して伝えることが異文化の理解にもつながると考えた。

そこで本研究では、Culleton 教授の共同研究者であるエディンバラ大学（スコットランド, UK）の Schneider 博士と O'Donnell 博士が既に開発している児童生徒向けの科学者育成教育プログラム “*Biology in your classroom*” を日本の児童生徒向けに改編して、松山市内の小中高生計 183 名を対象に出前授業を実施しその有効性を検証した。エディンバラ大学（Institute of Ecology and Evolution）では国籍の異なる研究者たちが集まって研究を行っていることを児童生徒に伝えている。そこで日本における出前授業も、国籍は異なるが共通して寄生虫学（マラリア）を専門とするウェールズ（UK）出身の Culleton 教授、オランダ出身の Schneider 博士、ニュージーランド出身の O'Donnell 博士、日本出身の著者の計 4 名が担当した。本論文ではスコットランドの教育プログラムを日本版に改編した内容や実際の出前授業の様子を中心に報告する。

II. 授業の実践方法

1. 対象と期間

対象：愛媛県松山市内の小中学校及び SHIN-GS プログラム

期間：2023 年 11 月 1 日（水）～11 月 11 日（土）

2. 出前授業の実施校選定について

本研究では、日本の小中学校では Schneider 博士らが開発した児童を対象に開発したスコットランドの教育プログラムを採用した。高校生については、前年度実施分の Culleton 教授の講義内容に Schneider 博士らが開発したエディンバラ大学における教育プログラムを併せて実施することを検討した。

出前授業を実施する学校の選定については、SHIN-GS プログラムのコーディネータである筆者が市内の小中学校に呼びかけ、Schneider 博士らが来日する 2 週間を念頭に日程を調整した。その際には Culleton 教授や Schneider 博士らが作成したフライヤーをもとに児童にもわかりやすく伝えるために日本語版を筆者が作成し配布した(図 1, 2)。

特に小学校においては平日の授業時間内に本教育プログラムのような課外活動を取り入れることが難しい学校が多かった。また、本教育プログラムの授業が 1 時間を超えてしまうため、2 時限分確保する必要があった。児童の負担なども考慮するために、現場の教員と相談し授業の時間配分を設定した。今回寄生虫を紹介することもあり、小学校では虫を苦手とする児童に対しての配慮についても要望があった。

中学生については、授業の一環というよりも、サイエンスに興味がある生徒を対象としてほしいと要望があり、中学生については放課後の時間を使って授業スケジュールを組んだ。

以上の調整の結果、小学校 2 校、中学校 2 校、SHIN-GS（高校生 31 名、愛媛大学ジュニアドクター育成塾生 1 名）の計 5 回の授業を実施することになった(表.1)。

松山市立東雲小学校では小学校 6 年生 2 クラス全員が平日の 2 限分を使って本プログラムに参加できるよう調整した。愛媛大学附属小学校については「土曜学習」の制度を利用して参加者を募った。愛媛大学附属中学校については、愛媛大学教育学部向平和教授に調整していただき科学部を中心に参加者を募った。愛光中学については高等部に通う高校生が著者の実施し

ているプログラム SHIN-GS に参加していることもあり、SHIN-GS を担当している高校教員及び理科教員が全校生徒にフライヤーを全校メールで送付し周知し参加者を募った。

実施場所によって参加者の人数が大幅に違ったため、打ち合わせを重ねながら基本的な授業スケジュールに内容を追加、削除しながら対応することとした。エディンバラ大学で実施している教育プログラムだと、3 グループ 10 名の児童生徒計 30 名を 1 時間半程度で完結しているが、今回は初年度ということもあり各学校の児童生徒数に対応し、小人数でも大人数でも参加している児童生徒が楽しめるように企画した。

表 1. 出前授業実施スケジュール

出前授業実施日	実施場所・学校名	児童及び生徒数
2023 年 11 月 1 日	愛光中学	17 名
2023 年 11 月 3 日	SHIN-GS	32 名
2023 年 11 月 8 日	東雲小学校	71 名
2023 年 11 月 10 日	愛媛大学附属中学校	48 名
2023 年 11 月 11 日	愛媛大学附属小学校	15 名

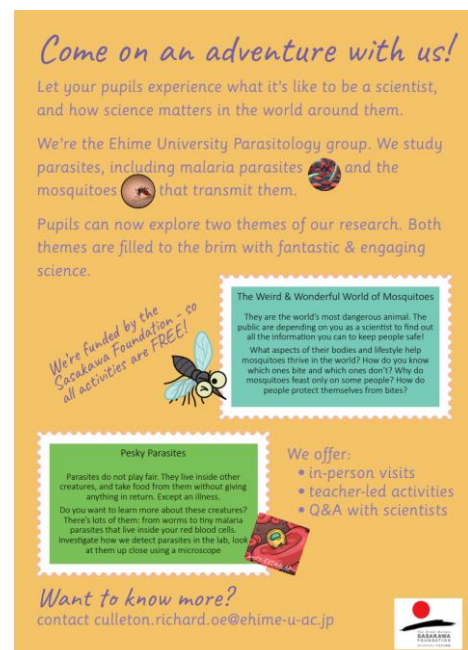


図 1. フライヤー（英語表記）



図 2. 著者が日本の児童生徒を対象に作成したフライヤー

3. 方法

a) 座学について

基本的には座学, グループワーク(Activity1~3), 質疑応答の順番で実施した。座学は Culleton 教授, 筆者, Schneider 博士, O'Donnell 博士の順に序章を構成し(図 4, 5), その後の専門領域の説明については, Culleton 教授, Schneider 博士, O'Donnell 博士が持ち回りで担当した。すべて英語での実施だったため, 必要に応じて同時通訳は筆者が担当した。質疑応答の時間については, 児童生徒からの質問は英語の使用を強制せず日本語で受け付け, 筆者が同時通訳によって Culleton 教授, Schneider 博士, O'Donnell 博士に英語で質問しその回答を日本語で共有した。

座学の内容は, 児童生徒の年齢や学年にあわせて内容を調整した。特に小学生に対しては, グループワークを重点的に実施し体験してもらうことが目的だったため, 寄生虫の種類やマラリアの問題について伝えた。逆に高校生に対しては, 寄生虫と宿主の内容にも触れ医学部の大学1年生が学習するレベルで実施した。

座学には各自の自己紹介が含まれており, 児童生徒に講師へ親しみを感じてもらえるよう工夫した。国籍も違い, 世界の色々な場所で生活し働いてきたこと, またそれぞれの趣味に加え, 講師が共通して関心のあつる物事は「サイエンス」, また「サイエンティストは世界で最もクールな仕事」であることを伝えた。

自己紹介に続いて, 講義では生物間の相互作用と,

これらの相互作用がどのように有益になるか, 場合によっては有害になるか(寄生虫学の場合など)というトピックを紹介した。その後, 講義は寄生虫学に焦点を当てて続き, 寄生虫の多様性と複雑さを示す写真やビデオを使った例を挙げた。



図 4. 愛媛大学(Culleton 教授と著者)の紹介スライド一部



図 5. エディンバラ大学(Petra 博士, O'Donnell 博士)の紹介スライド一部

b) 実践的な学びについて

1) Activity1:蚊のライフステージ(生活史)を学ぶ

目的

Activity1 の目的は, 生徒が蚊のライフサイクル全体を理解し, そのライフサイクルが他の昆虫とどのように非常に似ているかを理解する。児童生徒たちは蚊の幼虫が水生であることを知り驚く場合が多く興味深い学びの1つである。さらに, 我々は児童生徒が環境の中で成長するための各ライフステージの適応についても伝えた。

材料と方法

実験材料および実験器具: 生きた蚊の幼虫, 顕微鏡を操作するための 5~6 台のラップトップ USB 顕微鏡 15 台, 6 ウェルプレート 6 ウェルプレート(幼虫または蛹を保持できるもの) 15 枚

本グループワークでは, 生徒たちは USB 顕微鏡を使

点（最高点 100 点，最低点 60 点）だった。当日の講義は、オンデマンド教材として愛媛大学 Moodle 上で配信しており、当日の講義で理解ができなかった部分についても復習できるようにし、英語によるレポートを提出させた。

小中学生に対しては授業後にシールで満足度を表現してもらった。シールを用いることによって気軽に感想を述べてもらえるようにした。その結果、東雲小学校や愛媛大学附属中学校の生徒からは 100%満足したと回答があった(写真 7, 8)。愛光中学については各項目について回答した用紙を配布し無記名で授業後に回収した。そのすべての回答が 100%満足したという回答であった。

小中学校の教員に対しては、「Evaluation Sheet」を用いて授業後に以下の項目についてアンケートを実施した。アンケートに回答いただいた 5 名の教員から全ての項目について Yes で回答があり、次年度以降も同様の授業を実施してほしいと要望があった。

東雲小学校の教員 2 名からは、「普段の授業では学べない内容を教えていただき、子どもたちはとても興味を持って活動できました。また、機会があれば、よろしく願いいたします。」「子どもたちは、とても貴重な体験ができたと喜んでおりました。先生方はとてもユーモアがあって、楽しい雰囲気でした。」というコメントを頂いた。

1. 今日は生徒さんと参加して楽しかったですか？

☐→Yes

☐→No

2. あなたの生徒さんは、今日の経験から何か学んだと思いますか？

☐→Yes, a lot

☐→Yes, a little

☐→Not sure

☐→No

3. 今後も今日のような授業を希望されますか？

☐→Yes

☐→No

4. ご意見、ご感想、改善点があれば教えてください。



写真 1. 松山市立東雲小学校の様子



写真 2. SHIN-GS（高校生）の様子



写真 3. 愛媛大学附属中学校の様子



写真 4. 愛光中学の様子



写真 5. 愛媛大学附属小学校の様子

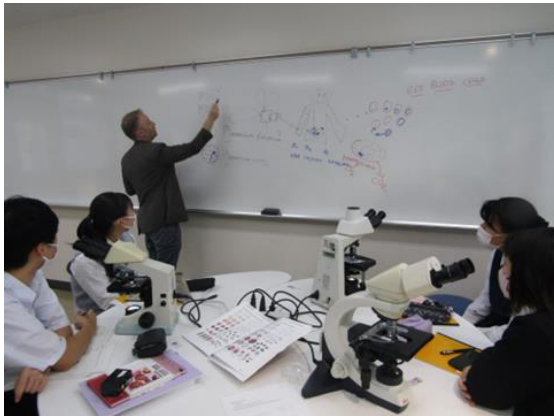


写真 6. SHIN-GS（高校生）の様子

表 3. 「Culleton Parasitology Report」の設問と受講生の解答（一部、生徒の回答は原文のまま）

Q1. What is a parasite?
• Parasites is a creature that lives in other animals. They do host animal's harm. However, their selves can gain some benefits. Many parasites are discovered around the world. • A parasite is an organism that lives on or in a host organism and gets its food at the expense of its host. Ectoparasites drink blood or feed on skin from the host's body surface. Endoparasites are active in the host's body. • A creature that lives on the body surface or inside the body as a host for other creatures and uses the host to survive. • An animal that lives as a parasite on another animal for a period or for life absorbing nutrients from that animal.
Q2. Can you name some parasites of humans?
• Fleas Flea eggs Flea larvae Flea pupae Ticks Mosquitoes Sand flies Mites Lice • There are about 200 types of human parasites in the

world and about 100 in Japan. • Caterpillars tapeworms fleas lice mites Japanese lacertine striped worms Japanese blood sucking worms and Manson's blood sucking worms • For example Anisakis Mosquito Malaria.
Q3. Can parasites control the behaviour of their hosts?
• Yes they can. Some parasites can control the behaviour of their host. • Yes they can. Cordyceps and hedgehogs etc • Yes they can. Parasites that parasitism snails can move the snails to conspicuous areas where birds can see them. Parasites that parasitism mantises also make the mantis move towards the water to get out of the mantis. • Depends on the type. For example, hedge beetles. They parasitize mantis. So, they can control them. The mantis that was controlled jump into rivers and lakes. Because hedge beetles return rivers and lakes to breed.
Q4. Are parasites important?
• Yes parasites are important. It's because parasites play an important role in ecosystem. For example, they can control increasing dominant species. Then parasites make biological diversity grow. • Yes they are. In some cases, the host and the parasite have a cooperative relationship of interest. • Yes. Important as host-parasite symbiosis can occur. • Yes they're. They can pest control. If they do not exist environment will change a lot.
Q5. Should we eliminate all parasites from the world?
• No we shouldn't eliminate all parasites. It's because they give benefits to people and biological diversity. So, I think that we should symbiosis with a variety of parasites. • No we shouldn't. Some parasites are life-threatening such as malaria while others help other creatures live comfortably. • We should not. Parasites harmful to human that we have not discovered may have some role to play in nature. Therefore, we think it is necessary to take measures such as creating vaccines to prevent infections and other diseases that are not harmful to humans. • No we should not. They have a role to pest control. In addition, they are useful for people. For example, they contributing to medical care. Furthermore, they have

become one of the endangered animals. We should protect them!

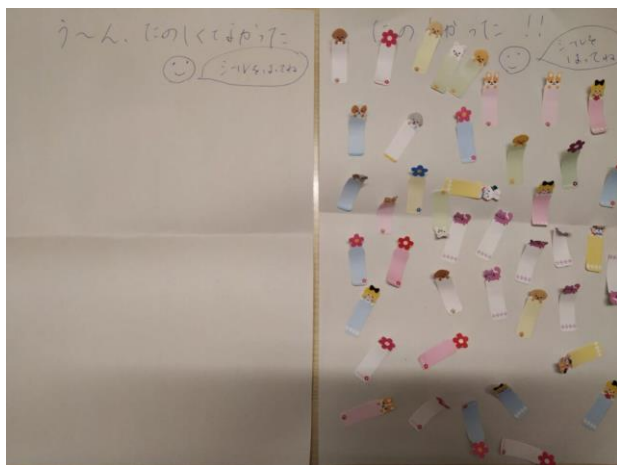


写真 7. 松山市立東雲小学校の感想

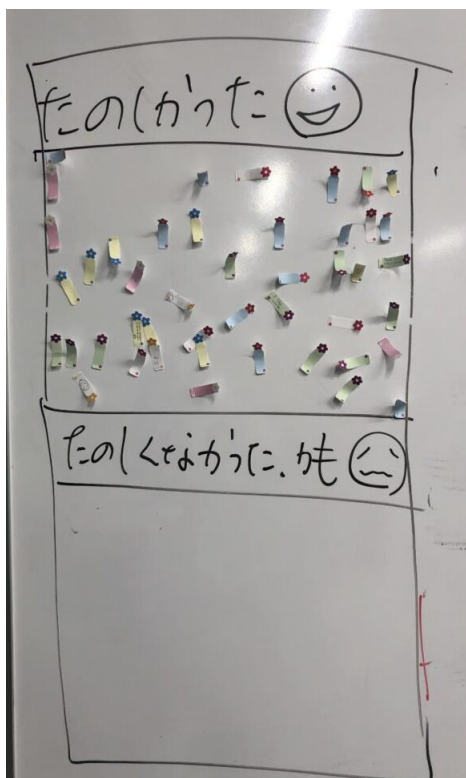


写真 8. 愛媛大学附属中学校の感想

IV. 考察

本研究の目的は十分達成出来たと感じている。本講義は高校生を対象に令和4年度より開始し、本試みは令和5年度からの実施で当初は手探りの状態ではあったが、児童生徒および教員の反応は予想を大きく上回るものであった。そのことから Schneider 博士らのスコットランドで開発した教育プログラムは日本の児

童生徒に対しても有効性が高かったことが示唆された。しかしながら、このことは完全に肯定的な反応である可能性もあれば、文化の違いの影響である可能性も考えられた。日本人はこのような調査で真の回答が得られるかどうかについても民族性なども鑑みながら検討していく必要がある。いずれにせよ、プログラムを改善するための生徒や教師からの意見は非常に貴重であるため、評価を実施する別の方法が検討される可能性がある。今後は、理科学習における観察・実験結果の考察に関する先行調査研究をもとに、本研究を推進していく。前向きな成果が得られた場合については、プログラムを松山市内に限定せず、愛媛県の各地域の児童生徒対象に実施する。高校プログラムを小学校や中学校に統合することによって卓越した能力を持つ児童にとっては、非常に有効的だと考えられる。本教育システムにおける科学体験活動の価値についての有効性を検証するためにも継続的に実施していくことが大切である。今後も本試みを通じ「科学や研究は魅力あふれるものである」ことを将来の科学者に伝えたいと考えている。

V. おわりに

本論文では、スコットランドにおける児童を対象とした科学者育成教育プログラム *Biology in your classroom* を日本の児童生徒向けに実践したことについて報告した。国際性については、近年海外に行かなくてもオンラインで育成することも可能であるが、海外からの出前授業を体験する機会は児童生徒にとって非常に有意義である。また国籍が異なる科学者・研究者から寄生虫学（マラリア）を通じてグローバルな観点で世界が直面している問題を学習し、問題解決のためには研究する力が必要であることを学ぶ機会となった。国際性の付与、グローバル人材の育成という言葉（特に英語）の習得に焦点をあてたものが多い中、専門性の高い分野を通じて早期に次世代の科学者を育成する本教育プログラムは、今後必要とされる教材であるとともに新しい試みであることは間違いない。寄生虫学を取り扱った内容は児童生徒学にとっては初めて触れる内容が多かったのではないかと考えられるが、まずは楽しむことが重要であることを再認識した。今回はそのきっかけが寄生虫学だったが、異なる他の分野でも児童生徒にとっては体験することが一番重要だと感じた。

付記・謝辞

本研究は Great Britain Sasakawa Foundation grant B147 の助成を受けて実施した。本研究の一部は JST（四国型次世代科学技術チャレンジプログラム事業）の支援を受けて実施した。愛媛大学附属小学校、愛媛大学附属中学校については愛媛大学教育学部附属科学教育研究センターと連携して開催した。

また本研究の実施においては愛媛大学教育学部大西義浩教授、向平和教授をはじめ、愛媛大学附属小学校、愛媛大学附属中学校、愛光学園、松山市立東雲小学校の先生方の多大な協力に感謝申し上げる。

文献

愛媛大学グローバルサイエンスキャンパス実行委員会（2022）：最終業務報告書

加藤晶，林秀則，向平和，高橋亮治（2023）：

高校生を対象とした次世代科学技術人材育成プログラムの開発と実践

大学教育実践ジャーナル 22:77-89(2023)

木下博義，松浦拓也，清水欽也，寺本貴啓，角屋 重樹（2012a）：

理科学習における観察・実験結果の考察に関する調査研究 ―中学生を対象とした質問紙調査をもとに―，日本教科教育学会誌，35，1. pp.1-9.

木下博義，松浦拓也，清水欽也，寺本貴啓，角屋 重樹（2012b）：理科における観察・実験結果の考察に関する子どもの学習実態と要因構造の分析 ―小学生と中学生との比較の視点から―，理科教育学研究，53，1. pp.29-38.

主体的な探究活動の実現に向けた教材開発

Development of teaching materials to realize independent inquiry activities

○稲垣 佑^{*1}, 古和田 丈人^{*1}, 野間田 祐仁^{*1}, 中村 千紗^{*1}, 藤原 駿^{*1}, 矢野 駿介^{*1}, 向 平和^{*2}
 INAGAKI Yu^{*1}, KOWADA Hiroto^{*1}, NOMADA Yoshihito^{*1}, NAKAMURA Chisa^{*1}, FUJIHARA Hayato^{*1}, YANO
 Syunsuke^{*1}, MUKO Heiwa^{*2}

^{*1}愛媛大学大学院教育学研究科, ^{*2}愛媛大学教育学部

^{*1}Graduate School of Education, Ehime University, ^{*2}Faculty of Education, Ehime University

【要約】次世代では困難な課題に立ち向かう力の育成が必要だとされた。しかし、実態として様々な事情によって教師主導の観察・実験になってしまうことがある。そうでなくても一部の子どもにとっては、他力本願な実験や有用性を感じない実験になり、達成感を味わえる時間にはなっていないこともある。また総合知を働かせながら、探究の過程を展開する点において STEAM 教育と共通点が多く、これからの教育に STEAM 教育の視点を取り入れることも望まれている。主体的に取り組める環境づくり、生活との関わりを感じられる授業の実現に向け教材開発を行った。

開発には、STEAM 教育の工学的な視点から題材を選び、「船の安定性」をテーマに授業づくりを行った。主体的に取り組める環境づくりにおいては、STEAM 教育特有の実生活との結びつきに加えて、「オリジナルの船」を浮かす活動を取り入れた。また探究的な学習を通して子どもたちの内面がどのように変容したか評価できるワークシートの作成も行った。今後の課題として、作製（作成）に留まらず、実践して子どもたちの反応や変容から教材の評価をしたいと考えている。

【キーワード】船、探究的な学習、教材開発、STEAM 教育、アーギュメント

I. 問題の所在

探究活動は、予測困難な社会・Society 5.0 が指し示す次世代で、困難な課題に立ち向かう力を養うために必要である。しかし、教育現場で探究活動を実現しようとしても、実際には教師主導になってしまうこともある。長沼・森本(2023)は主体的・対話的で深い学びへの授業改善を「子供が自ら問題を見だし、対話を通して問題解決に取り組み、自らの考えを評価・改善しながら知識の構造化を図る、自己調整的な学び方」と言い換えた。

II. 原理

教材づくりを行った。教材づくりにあたっては、以下2点を重要な内容と捉えている。

1つ目は STEAM 教育に関連付けた内容であること。
 2つ目は、子どもが自分事として捉えられる内容であること。

1. STEAM 教育との関わり

1つ目の STEAM 教育と関連付けるにあたり、工学分野の書籍を参考に題材の選定にあたった。今回の授業開発では、学習指導要領の内容項目から発展した学

習展開にするのではなく、生活に関連深い工学分野から選定することで、子どもたちにとって実感のある内容にできると考えた。

この度の授業では「船」を題材に科学分野では物理学「力学」と関連付け学習展開を考えることにした。そのため「船」の中でも、「どのようにすれば安定して浮くのか」に課題意識を向けた授業づくりを行うことにした。

船が浮く原理は複雑で、肝心な力学的原理と本実験との関連を3つ挙げる。

a. 浮力

浮力は、物体が排除した流体の重さに等しい。浮力の公式は、

$$F = \rho V g$$

$\rho[\text{kg/m}^3]$: 液体の密度

$V[\text{m}^3]$: 物体の排除した体積

$g[\text{m/s}^2]$: 重力加速度の大きさ

で示される。

質量 $m[\text{kg}]$ の物体にかかる重力 $mg[\text{N}]$ と浮力のつり合いの式は次である。

$$mg = \rho V g$$

底面積 $S[m^2]$ の直方体の物体では、沈んだ高さを $h, [m]$ と置くとつり合いの式は次のように表される。

$$mg = \rho Shg$$

底面積 S の直方体の物体では、その質量が大きくなることで、物体が流体に沈む高さ h が変化するとと言える。

例えば、水よりも密度が小さい発泡スチロール(以下、発泡 PS と表記)と水よりも密度が大きい鉄のそれぞれで船を作ること考える。どちらで作った船も十分な浮力を受けるとき、同じように作っても、同じ条件で沈み量が異なることは自明である(図 1)。

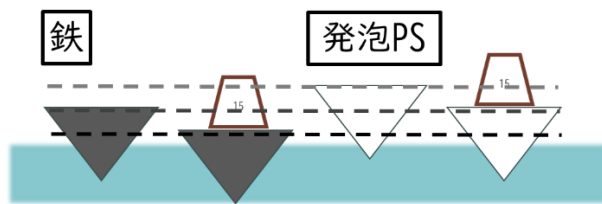


図 1 物体の密度の違いによる、水に沈む高さの違い

実際の貨物船では、荷物を載せない状態では軽すぎて安定に必要な最低限の浮力を失ってしまう。そのため船自体の重さを変化させるために、バラスト水と呼ばれる海水や水を出し入れし重さを調節している。

発泡 PS のような密度の小さい素材を使用することで、素材によって生まれる船そのものの重さでさえもコントロールできるようになる。おもりの条件に自由度が生まれることで、実際の船でいうバラスト水に当たる概念を学習することができるだろうと考えた。

b. 重心

重心は、剛体の各部分に働く重力の合力の作用点のことである。模式図は次の通りである(図 2)。

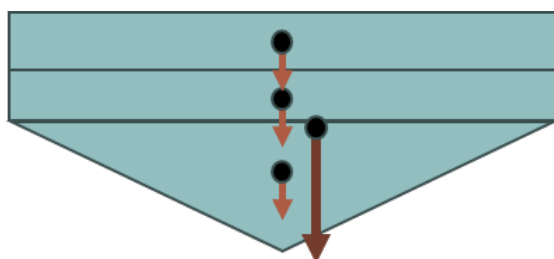


図 2 各部品が均一な重力を受けているときの、船全体の重力とその作用点

例えば船体を、船底部、艦橋 1 階部、2 階部のように 3 つの部品に分けたと考える。このとき船体全体

の重力の大きさはそれぞれの部品の重力の和である。その作用点を重心とする。作用点は、それぞれの部品の重力の作用点を、力の大きさの逆比で内分する点として決定される。

次は、艦橋の 2 階部の重力が大きくなったときを考える。船全体の重力の作用点(重心)は、それぞれの重力の作用点を、力の大きさの逆比で内分する点として決定される。そのため、それぞれ重力の大きさの比が変化すれば重心が変位することがわかる(図 3)。

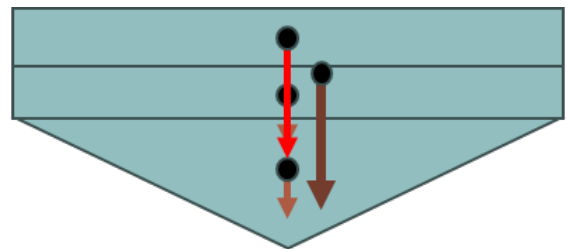


図 3 部品の一部の重力が大きいたとき、船全体の重力の作用点の変化

この性質を生かすために、船体を複数の部品で構成し高さを調整できるようにした。船の高さを変化させることで、荷物を模式的に示すおもりの位置を変化させることができる。船底は、内側をくり抜き船内におもりを仕込める仕様にした。そのようにすることで荷物の重さと船底の重さの比で、船の重心位置を高くすることや低くすることができるようになる。様々な重心を試すことで低重心の船が安定することを体験することができると想定した。

c. 力のモーメント

モーメントは剛体を任意の点の周りに回転させようとする能力の大きさを表す。任意の点の周りの力のモーメントの大きさは次のように示される。

$$M = Fl$$

$F[N]$: 力の大きさ

$l[m]$: 作用線までの距離

船の甲板の左右に重さが異なるおもりを置いたと、ある点を中心に回転運動が始まる(図 4)。

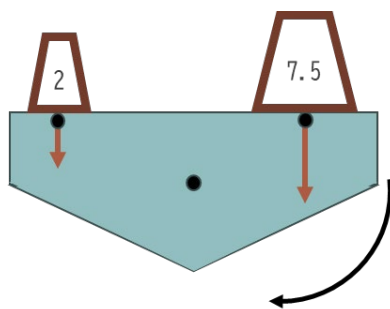


図 4 甲板に進行方向左右に不均一なおもりを置いたとき働く力のモーメント

甲板を横に広げると、左右に作用線の位置が広がる。すると力の大きさは変化せず、作用線までの距離が大きくなり、回転する能力も大きくなる(図 5)。

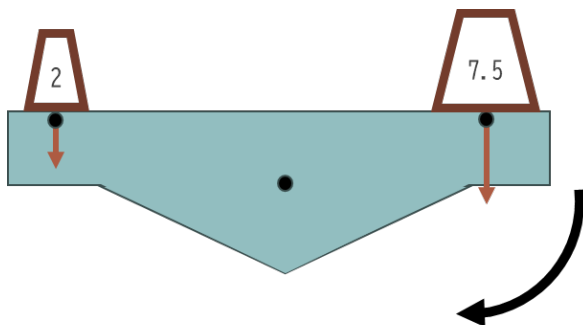


図 5 広い甲板に進行方向左右に不均一なおもりを置いたとき働く力のモーメント

この性質を生かすために、船体に横幅を与えることにした。横幅が大きくなることで、船の甲板部が広くなり、おもりを置く水平面上の選択肢を増やすことができる。子どもたちは、水平面上でおもりを移動させながら船の中心から左右同じ距離のところ安定することを体験できると想定した。

2. より自分事として捉える

STEAM 教育は、実生活での活用例と学習内容を強く結びつけ、子どもたちが自分事として捉えやすくなる効果が期待できる。

一方で、題材との出会いの場面には自分事とのギャップが存在する。子ども自身で自然現象から問題を発見することで、より強く自分事として捉えられると考えた。

問題発見の場面づくりとして、子どもが思い描く船が浮くか浮かないか曖昧な状況づくりすることにした。工夫として、「理想の船づくり」をテーマに思い描く船を作り、実際に浮かせる実験を行ってはどうだろうかと考えた。

a. 「オリジナルの船」を描くこと

描いた船を実際にモデリングさせることで、「自分の船」という感覚を与えることができる。安定する船の実現に向け、試行錯誤し奮闘する子どもの姿を想像した。また絵を描く活動は子どもの遊びにも関連付く。遊びから発展した船を浮かす活動として、実験を位置付けることもできだろうと考えている。

それだけでなく、絵には子どもが持つバランスに対する潜在的な意識が表出するだろうと考えられた。潜在的な意識とは、子どもがこれまでに経験してきたことや誰かに伝達されたことによって既に持ち合わせている感覚のことを指す。例えば、平均台を渡るとき感覚や、机の端にお皿を置いたらひっくり返ってしまった記憶など様々な過去があると想像される。

それらの感覚や記憶から、左右バランスよく体重をのせることや、お皿は机の端の大きさはみ出すと落ちてしまうことをよく理解しているだろう。

船の絵における潜在的な意識の表出として、具体的に次のようなことが考えられた。

まだまだバランスについて経験や伝達が行われていない段階の子どもであれば、かっこよく描きたい、可愛く描きたい、こうしたいと願う気持ちのまま絵を描くことだろう。すると、左右対称な視覚的なバランスはなく、直感的な最大積載重量をはるか超える船を描くのではないのだろうか。

バランスについて経験や伝達がされているが、科学的根拠に基づかない段階の子どもであれば、重量物が船の高い部分に配置してしまうのではないだろうか。

3. 本授業のねらい

そこで本授業のねらいを、船を浮かばせる活動を通してバランスについて体験的に学習し、自然の事物現象に科学的な見方・考え方を活用して、経験や知恵を科学的な根拠に裏付けられる知識に変容させることができる子どもの育成と掲げることにした。

子どもの内的変容は段階を追って行われ、その段階を到達度と言い表し、本授業の評価を行う。子どもの到達度は、体験レベル、知恵レベル、知識レベルの段階があると想定した。体験レベルは、体験はしているがそれを規則的な事象として認知できていない段階とする。知恵レベルは、規則的に起きる事象を科学的な根拠に基づかない経験や伝達された知識として捉えている段階とする。知識レベルは、再現性のある力学的な根拠を述べることができる段階とする。

本時のねらいの達成に向けて、学習課題を設定する

ことで学習に向かう方向付けを行う。学習課題は「船と載せるものの関係を解き明かし、安定して浮く船を作ろう」と定めた。

事前の調査から、船にはさまざまな形状があることがわかっていて、使用用途によって、求められる機能が変わり、船は形状を変える。例えば豪華客船であれば客室を広くとるために船屋が広く、何層にも高く作られている。他にも浮くだけならば船底は平たく、早く進むのであれば進行方向に流線形になる。そのように現実には多様な大きさや形で船は作られ、波風に煽られても容易に転覆することは無い。

子どもが創造した船も、実際の条件下、波風が立った状態でも必ず浮くには、船の形や重さをどのように工夫すればいいのか演繹的に求める実験を実施することにした。

Ⅲ. 授業の展開とワークシート

授業展開とそれに応じたワークシートを以下に示す。

1. 授業展開

授業での実施内容と、学習指導要領に示されている探究の過程との関わりを次に示す(表1)。

表 1 授業の展開と学習過程、探究の過程との関わり

探究の過程	実施内容や、子どもの思考
表現・伝達	それぞれの思い描く船の絵を描く (表出) 文章化① 「こだわりのポイントを紹介しよう」
仮説	自分の船は浮くか・浮かないか、描きながら本能的に想像 (自己内対話)
実験の実施	実験① 船を4つに分類し、当てはまる船をモデリングする
振り返り	ワークシート上で、結果が「予想通り・予想してなかった」で選択する。
自然現象に対する気付き	・船がバランスよく浮くには、載せるものに秘密があると気づく ・想像通りに船が浮かないことに気が付く

	・何気なく浮いている船に疑問を持つようになる
課題の設定	探究課題の提示「船と載せるものの関係を解き明かし、安定して浮く船を作ろう」
仮説の設定	文章化②「分析する」 これまでの経験や知恵をもとに、船が浮かなかった理由や、浮くために必要なことを考える。
検証計画の立案	船の大きさ、高さ、おもりの3つの要素を変更する 次いで、荷物のおもさも加え、4つの要素を変更する
実験の実施	実験② 立案した計画を実施する
結果の処理	実験の結果を変化させる3つの要素の組み合わせで分類し、規則性を見いだす
考察・推論	アーギュメントを使用して、理由や根拠を添えて安定する船について記述する
表現・伝達	文章化③ アーギュメントで記述したことを文章としてまとめる それぞれの思い描く船の絵を描く (表出)

授業展開の特徴として、絵を描く活動が授業の導入と終末に設けられている。前述したように、絵には子どもの潜在的な意識が段階を追って表出すると考えている。そのため、授業を通して内的変容があれば前後の絵の変化に現れるだろうと想定した。

絵を描く活動は、変容の評価のみならず、問題発見の場にもなる。問題発見の場面を授業者から提示するのではなく、子ども自身が創造した船のモデルを水に浮かべた結果を目の当たりにして自発的な問題意識が発生する場面づくりを行った。

2. ワークシート

探究の過程に沿った思考をスムーズに行えるよう配慮しながらワークシートの作成を行った(図6)。

図 6 作成したワークシートの全体

授業を通した子どもの到達度の見取りに向け、ワークシートの構造化を行っている。ワークシートには記述の場面を3か所設けた。構造化は、各学習活動の文章で子どもの変容を見とることを目的とした。

変容を見取る場面として、1回目の実験後と2回目の実験結果整理後に、「分析する」「表現する」と文章化させる場面を設定した。それぞれの文章を比較することで、子どもの内側でバランスに対する知恵・体験の自己調整が起き、科学的根拠に基づく知識へ自己調整が図られているか評価できるだろうと想定した。

活動の流れとして「分析する」の直前では、子どもが創造した船のモデルで実験する。文章化②の「分析する」では、実験結果に対して、この後の実験でどのようにアプローチするのか記述させる。例えば、モデリングした船が傾いてしまった子どもがいたとする。その子どもは恐らく、絵を描くときこの船なら浮くだろうと想像していたことだろう。その予想に反してモデリングした船は安定して浮くことができず、傾いてしまう。そこで子どもは、何が悪かったのだろうと問題意識を持ち、そこで改善案を考察する。このとき策略のもととなるのはこれまでの経験に違いないだろう。

そのため「分析する」の段階では、子どもがこれまでに得てきた経験や知恵を総動員させながら描いた文章が出来上がることが想定される。

活動は進み、その後の実験や結果の集計を通して、自分の経験や知恵を見つめなおし自己調整を起こすだろう。その自己調整の結果が、アーギュメントの主張に反映される。子どもがアーギュメントをもとに「表現する」を記述することができれば、内的変容が「表現する」に現れるだろう。

3. 文章による言語表現の困難さと評価

文章化された子どもの思考から、授業での変容を見取ることとした。一方で、子どもが科学的思考を適切に行っていたとしても、文章として表現できていなければ授業評価を適切に行うことができない。

猿田(2012)は「思考」について「人間が論理的に振る舞う上で不可欠な内的活動である」と説明した。そこで筆者らは「思考」を、目の当たりにした自然の事物・現象と科学的な見方・考え方を結びつけ合理的な捉え方を見つけ出す過程とした。合理的な捉え方を見つめることが思考ならば、自分の内的活動を他者へ何かしらの方法で伝えることが表現である。伝える方法として一般的に文章にすることが考えられる。文章を書くということは、合理的な考えを文字という記号に置き換える行為である。思考を個人内で完結する内的活動と言うならば、表現は他者へ思考を伝え理解してもらうことで完結する外的活動と言えるだろう。

そのため筆者らは子どもたちにとって、言語表現することは思考することよりも求められるレベルが高いと考えた。自然の事物・現象と科学的な見方・考え方を2項関係で捉え思考することができても、考えていることを適切な言語（記号）に置き換える活動が加わり3項関係になることで複雑さが増し困難さが生まれるのではないだろうか。

特に文章化③「表現する」では、幾つもある実験結果から規則性を発見する科学的な思考と、必要な実験結果をまとめたり、規則性を適切に文章化したりする科学的な表現が同時に行われる。

文章化③では科学的な思考を手助け、表現するための整理を行う支援が必要となった。そこでアーギュメントを使用した科学的な思考・表現の支援を行うことにした。アーギュメントとは、主張したいことの説得力を増すための構成要素から、根拠、主張、理由付けの3つの要素に単純化して示した言語形式のことを指す。

日常生活の文脈では、理由を省略することが頻繁にある。例えば水泳の授業が中止になった状況を扱ってみる。今日の水泳の授業は雨が降ったから中止という会話をするところがあるだろう。この会話を証拠と主張に分けてみると、証拠は雨が降ったこと、主張は授業が中止になったことになる。この文章により説得力を持たせるために、雨が降ると水温が下がって体調を崩しやすくなるという理由を付加することができる。

ろう。会話をする上では、現実として起きた結果や証拠と主張があれば理由無く意思疎通を図ることは容易だ。

しかし理科授業においては、得たデータと主張をつなぐ理由が無ければ説得力は得られない。文章構成の思考を手助けする手段としてアーギュメントが有効的だと考え使用した。

4. アーギュメントの導入と工夫

アーギュメントを記入するワークシートは、山本ら（2013）や田中ら（2021）の構造をもとにした。従来のワークシートに使用される「証拠、主張、理由付け」という表現は、アーギュメントを初めて使用する小学生向けには難しいと考えた。初めて使用した小学生であっても、ワークシートに何を書くべきなのかわかりやすい表現にする必要があると考え、まずは「証拠、主張、理由づけ」を言い換えることにした。

泉ら (2011) はアーギュメントの構成要素を, IDEAS 教材をもとに示した. 根拠, 主張, 理由付けの 3 つの要素を抜粋して以下に示す.

- ・主張 (Claim) : 存在するものや人々の抱いている価値について断言
- ・データ (Data) : 断言をサポートするために証拠として用いられた明言
- ・根拠 (Warrant) : データと主張との関連性を説明した明言

証拠とは多くの場合、実験の結果やデータを記述する。そのため、「証拠、主張、理由付け」を「実験の結果、私たちの答え、科学的なきまりを考える」と言い換えることにした。

作成したアーギュメントのワークシートは次の通りである（図7）。山本ら（2013）をもとに改良を加えた。

実けんのけっか	わたしたちの答え
•	
•	
•	
•	
•	

科学でできなさを考える

図 7 アーギュメント構造と、言い換えられた構成要素を使用した科学的表現を助けるワークシート

5. 絵を描くことの困難さ

船の絵を、白紙から描くことに困難さを覚える子どもがいることが考えられた。船を描き創造性を養うことは、本来の願いとは異なる。本来の願いは探究活動で実験して得た結果を解釈する思考力を身に付けてほしいというものである。そのため限られた時間の中でも創造的な船の絵を描ける環境づくりが望まれた。

そのため子どもが創造的な考えを表出する手助けとなり、船の絵を描く活動を短くする工夫が必要になった。

導入したものは次の2点である.

- ・絵を描く際には船屋部の絵のみを描くこと
- ・船に乗せるものを例示し、それらの組み合わせで船を創造すること

大学生の実践で、実際に使用したものが次の通りである (図 8).



図 8 ロイロノートで配布した台紙(上半分)と、例示した部品(下半分)

大学生への実践ではロイロノートにて絵を描くための台紙を配布した。安定する船を作製するには、船底の大きさを変更したり、部品の変更したりする必要がある。本来であれば多様なサイズの、船底と部品を用意する必要があった。しかし、ロイロノートでは部品を拡大・縮小することができるため船底の大きさを1種類のみ、部品もそれぞれ1種類のみ与えた。

部品には、大きさが異なる建造物や、おもさが感覚

的に異なる遊具や大砲を用意した。

小学生の実践で、実際に使用したものが次の通りである（図 9, 10, 11, 12, 写真 1）。



図 9 紙媒体で配布した部品



図 10 紙媒体で配布した台紙, L サイズ

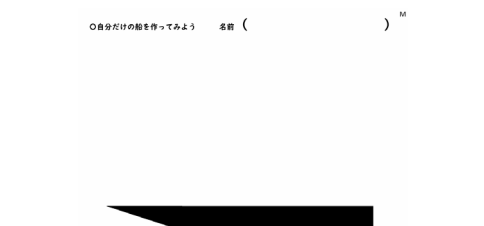


図 11 紙媒体で配布した台紙, M サイズ



図 12 紙媒体で配布した台紙, S サイズ



写真 1 子どもが実際に使用している様子
一方で、小学生への実践は台紙と部品いずれも紙で

配布した。そのため台紙は船底の大きさを S, M, L の三種類印刷し配布した。部品については、それぞれ 1 種類のみ選べるようにした。建物や部品の大きさは変えることができないので、船底の大きさを選び、船の規模感を表現できるようにした。

IV. 使用した教具

製作した船は 3 つの部品に分けられる。それぞれの部品を船底, 船屋(上・下)とした。それぞれの部品では、船の安定性に関わる「大きさ, 高さ, 重さ」の要素を変化させることができる。

1. 船底

船底は、実験において、おもりを乗せること、大きめの船屋も乗せることを目的として製作した。

船底の形状は 1 種類のみ用意した（写真 2, 図 13）。レジャーボートにおける船底の形状は、用途によって多様開発されている。速く走るためや、揺れないように走るためなどの用途によって、船底の最下点が 1 点の、平面, 円弧, V 字や、船底の最下点が 2 点以上のものが開発されている。

その中でも、発泡 PS でモデリングした際に、最大積載量が多く、安定性を確保しやすく、実験の選択肢を確保できる船底の最下点が 1 点で V 字の形状を選んだ。

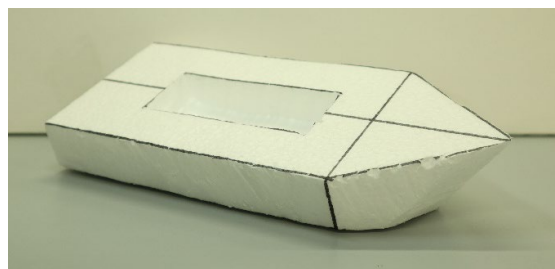


写真 2 作製した船底 (V 字)

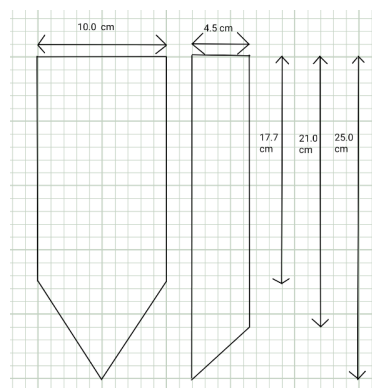


図 13 作製の寸法

船底の中央はくり抜かれており、おもりを入れるこ

とができる。

2. 船屋(上・下)

船屋は実験において大きさと高さを変えることを目的として作製した。

大きさの種類は2種類,「大」・「小」を用意した(写真3, 4)。「大」は船体の横幅の2倍とし,大きさ「小」は横幅と同じ長さにした。

高さとは船底部の最下部から甲板部までの長さによって決定される要素を示す。高さの種類も2種類あり,船屋が1段の場合を「低」,2段の場合を「高」と呼ぶことにした(写真3, 4)。



写真3 大きさ「小」高さ「高」(左), 大きさ「大」高さ「高」(右)

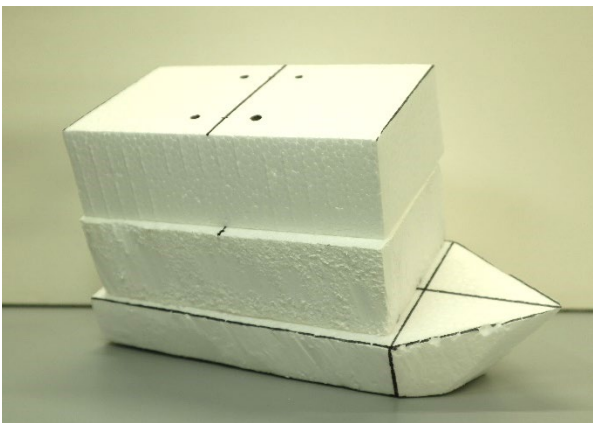


写真4 船底と組み合わせた, 大きさ「大」高さ「高」大きさ「大」の一段目は, 船を傾けた際に水面との距離が近い為, 角を斜めに切り落としている(写真3)。

3. おもり

船底に入れたり, 船屋の上にのせたりするおもりはゴム栓とナットを選んだ。

おもりの役割は, 船全体の重さを変化させること, 船全体の重心位置を変化させることがあげられる。

選定の視座は次の通りである。

- ・水に濡れても良いもの
- ・船体に収まる大きさであること
- ・船を沈ませるおもさになれること
- ・子どもが直感的に実験できること
- ・重さを計量する手間が無いこと

- ・結果を定量的に得られること
- ・手軽に準備できること

a. 大学生への実践では

大学生に向けた実践ではゴム栓をおもりとして使用した。

ゴム栓の種類は, 円の径によって名前が番号でつけられている。ゴム栓の重さと番号は比例しておらず, 子どもが重さを変えようと思ったとき, 何かの基準を持って直感的で定量的に実験することに困難が生じるだろうと想像された。そのため, それぞれのゴム栓の重さに比例する数値を与えることにした(表2, 写真5)。

表2 ギュ栓の大きさと, それぞれの重さの比をもとにした命名

ゴム栓の 大きさ	5	9	10	14	16	21
重さの比	1	2	2.5	4	7.5	15



写真5 径の大きさと重さの比による命名

b. 小学生への実践では

小学生に向けた実践ではナットをおもりとして使用した(写真6)。

ナットにする利点として次が挙げられる。

- ・ゴム栓に比べ小さく, くり抜きに均等に隙間なく並べられる
- ・ナットの径が同じであれば, 同質量なため, ナットの数と質量が比例すること
- ・ゴム栓に比べ密度大きく, 同じ重さになる体積が小さく, 低重心になる



写真6 ナットが船底のくり抜きに隙間なく入っている様子

船屋上部に乗せるおもりはフィルムキャップを切

断した台座に入れ、実験によって滑り落ちることがないようにした(写真7, 8). 切断したフィルムキャップには、短く切った爪楊枝をテープで貼り付けた. 爪楊枝を船屋に差し込むことで、台座を固定する.

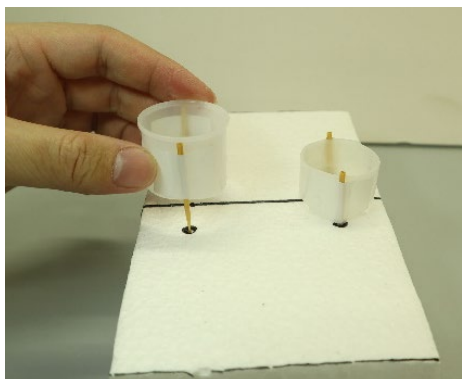


写真7 船屋上部におもりを固定する台座

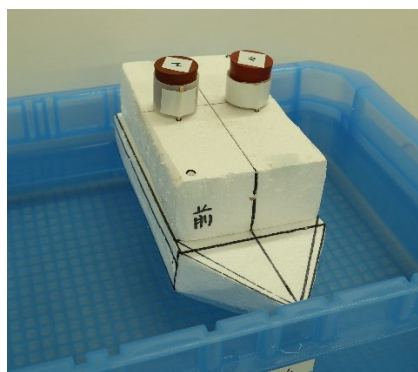


写真8 台座を使用した様子

V. おわりに

完成した教具を実際に使用してみて、実験を直感的に行える教具だと感じた。「安定して浮くか」「傾くか」と結果が非常にシンプルで、目的意識を持ち取り組みやすい。

また手順の説明が無くても、おもりの数を変えたり、船の大きさを変えたりするだけなのでスムーズ実験できる。そのため授業のねらいの科学的な見方・考え方を活かす環境づくりとしては有効的ではないかと感じた。

船という題材に関しては、安定性の根拠となる力学的原理が奥深さを醸し出し、偶発的に探究の過程を実現したり、複雑な物事を再現したりできている。例えば、船屋上部に乗せるおもりを重めに設定したとき、重くても浮かせるために船底に仕込むおもりの量を微調整しながら何度も何度も繰り返す。実験者の内面

では、結果を振り返り、どのように変更するべきか判断され、実験に向かう循環が起こる。またその探究の過程の中で、「大きい船屋では実現できない」「高くても、船底のおもりの重さを大きくすると安定しだす」といった現象が起こる。小さくて低いものが安定するのは理論的に当然のことながら、実際に実験することで、浮くか傾くか、力学的原理の微妙な境界部の結果を確かめることができる。

安定する船を作る課題意識や、曖昧な境界部を実験する好奇心によって多様な実験方法が生まれる。授業の終末では、大量の実験方法から、要素の関係性や浮いた条件の規則性を見いだす力が必要になる。

開発した教材は、課題解決や価値創造に向けたプロセスのための環境づくりとして期待される。実際に実践し効果を検証したい。

文献

- 宇都史訓, 本吉秀世, 松尾悦雄, 末松繁行, 寺田正春, 梅田祐之 (2014): 第1編 力学, 河合塾物理科, 物理教室 四訂版, 河合出版.
- 猿田裕嗣 (2012): 論理的思考に基づいた科学的表現力に関する研究-TIMMS 及び PISA 調査の分析を中心に-, 東洋館出版社.
- 自己調整学習研究会 (2012): 自己調整学習-理論と実践の新たな展開へ-, 北大路書房.
- 数研出版編集部 (2017): 第1編 力学, 改訂版 フォトサイエンス 物理図録, 数研出版.
- 田中達也, 神山真一, 山本智一, 山口悦司 (2021): 児童におけるアーギュメント自己評価能力とアーギュメント構成能力の関係性についての予備的検討: 主張-証拠-理由付けを含むアーギュメントを導入した小学校第3学年の単元「物と重さ」の事例, 理科教育研究, 62, 1, 119-131.
- 内閣府 (2021): Society5.0の実現に向けた教育・人材育成に関する政策パッケージ〈中間まとめ〉.
- 長沼武志 (2023): 自己調整学習におけるメタ認知の内実に関する事例的研究, 横浜国立大学教育学部紀要, 6, 211-223.
- 文部科学省 (2019): 中学校学習指導要領(平成29年告示)解説理科編, 学校図書.
- ヤマハ発動機 製品サイト「走行特性・船底形状」, <https://www.yamaha-motor.co.jp/marine/life/start/boat/characteristic.html>

(2024年3月15日最終確認)

山本智一, 坂本美紀, 山口悦司, 他4名 (2013) : 小学生におけるアーギュメントの教授法略: 「振り子運動」の実践を通して, 理科教育学研究, 53, 3, 471-484.

主体的な探究活動の実現に向けた自作教材を使った授業実践

Class practice using self-made teaching materials to realize independent inquiry activities

○稲垣 佑^{*1}, 古和田 丈人^{*1}, 野間田 祐仁^{*1}, 中村 千紗^{*1}, 藤原 駿^{*1}, 矢野 駿介^{*1}, 向 平和^{*2}
 INAGAKI Yu^{*1}, KOWADA Hiroto^{*1}, NOMADA Yoshihito^{*1}, NAKAMURA Chisa^{*1}, FUJIHARA Hayato^{*1}, YANO
 Syunsuke^{*1}, MUKO Heiwa^{*2}

^{*1}愛媛大学大学院教育学研究科, ^{*2}愛媛大学教育学部

^{*1}Graduate School of Education, Ehime University, ^{*2}Faculty of Education, Ehime University

〔要約〕次世代では困難な課題に立ち向かう力の育成が必要だとされた。しかし、実態として様々な事情によって教師主導の観察・実験になってしまうことがある。そうでなくても一部の子どもにとっては、他力本願な実験や有用性を感じない実験になり、達成感を味わえる時間にはなっていないこともある。また総合知を働かせながら、探究の過程を展開する点において STEAM 教育と共通点が多く、これからの教育に STEAM 教育の視点を取り入れることも望まれている。主体的に取り組める環境づくり、生活との関わりを感じられる授業の実現に向け教材開発を行った。

開発には、STEAM 教育の工学的な視点から題材を選び、「船の安定性」をテーマに授業を行った。主体的に取り組める環境づくりにおいては、STEAM 教育特有の実生活との結びつきに加えて、「オリジナルの船」を浮かす活動を取り入れた。また探究的な学習を通して子どもたちの内面がどのように変容したか評価を行った。今後の課題として、問題解決力の育成に留まらず学習指導要領と関連付けた授業改善を考えている。

〔キーワード〕船、探究的な学習、教材開発、STEAM 教育、アーギュメント

I. 授業実践

1. 実践時期と対象

授業実践は合計 2 回行った(表 1)。1 回目の対象は大学生・大学院生、2 回目の対象は小学生に行った。1 回目を終えてから、2 回目までの期間に授業内容の改善や教具の見直しを行った。

表 1 実践の 1 回目と 2 回目の対象や時期について

実践	1 回目	2 回目
対象	大学生 16 名 ・1 年生 7 名 ・2 年生 5 名 ・4 年生 3 名 ・大学院生 1 名	小学生 10 名 ・4 年生 4 名 ・5 年生 5 名 ・6 年生 1 名
時期	2023.11.20	2024.1.20
その他	対象は、学部にて開講されている理科観察実験の資質を高める授業の受講者	対象は、土曜日に科学に興味を持ち自主的に集まった児童

2. 調査方法

考案した授業・作成したワークシート(図 1)を用いて授業を行なった。その際、授業の様子をビデオカメラ

で撮影し、その場の発話記録から科学的な思考が行われているか検討することとした。また授業対象者に授業評価アンケートを実施し、教具や授業展開の考察の参考にした。

科学的な思考・表現の達成については、ワークシートの記述や、構造化されたワークシートによる裏付けで評価した。

3. 授業のねらいと展開

本授業のねらいを、船を浮かばせる活動を通してバランスについて体験的に学習し、自然の事物現象に科学的な見方・考え方を活用して、経験や知恵を科学的な根拠に裏付けられる知識に変容させることができる子どもの育成と掲げることとした。

授業の展開と、探究の過程との対応を次に示す(表 2)。

表 2 授業の展開と学習過程、探求の過程との関わり

探究の過程	実施内容や、子どもの思考
表現・伝達	それぞれの思い描く船の絵を描く(表出) 文章化① 「こだわりのポイントを紹介しよう」

仮説	自分の船は浮くか・浮かないか、描きながら本能的に想像（自己内対話）
実験の実施	実験① 船を4つに分類し、当てはまる船をモデリングする
振り返り	ワークシート上で、結果が「予想通り・予想してなかった」で選択する。
自然現象に対する気付き	- 船がバランスよく浮くには、載せるものに秘密があると気づく - 想像通りに船が浮かないことに気が付く - 何気なく浮いている船に疑問を持つようになる
課題の設定	探究課題の提示「船と載せるものの関係を解き明かし、安定して浮く船を作ろう」
仮説の設定	文章化②「分析する」 これまでの経験や知恵をもとに、船が浮かなかった理由や、浮くために必要なことを考える。
検証計画の立案	船の大きさ、高さ、おもりの3つの要素を変更する 次いで、荷物のおもさも加え、4つの要素を変更する
実験の実施	実験② 立案した計画を実施する
結果の処理	実験の結果を変化させる3つの要素の組み合わせで分類し、規則性を見いだす
考察・推論	アーギュメントを使用して、理由や根拠を添えて安定する船について記述する
表現・伝達	文章化③ アーギュメントで記述したことを文章としてまとめる それぞれの思い描く船の絵を描く（表出）

図 1 使用したワークシートの全体

実験は合計2度行う。1度目の実験は、問題発見の場面づくりとして位置づけている。また特徴的な授業展開として授業前後で船の絵を描く活動を入れている。

4. 実験の方法について

実験前に描いた船を4つタイプのどれに当てはまるか考え、モデリングする(図2)。モデリングは、オリジナルの船が大きいのか高いのか問いその組み合わせで決定される。さらに、荷物の重さについて考え、軽い、重い、とても重いのうちどれに当てはまるか選ぶ。軽い、重い、とても重いに対応する「1, 2, 2.5」で示される値は、ゴム栓の重さの比によってつけた値である。

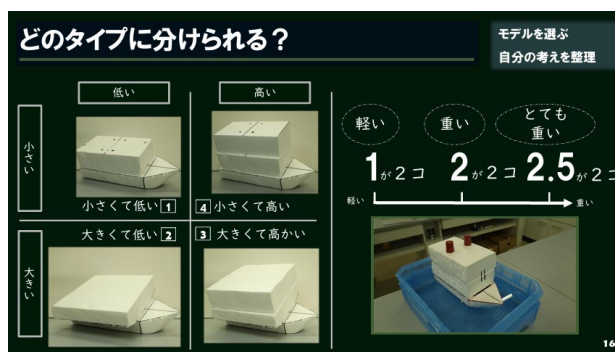


図 2 モデリングに関する授業スライド

実験では波を立て船が転覆したり傾いたりしないか確認する。実験の方法は2通り提示し、その方法で実験してもらった。2通りのうち1つの方法は、1回目と2回目の実践とで、やり方を変えた。

1回目の大学生に向けた授業では、船を人為的に傾ける方法と大型の水槽を持ち上げて下ろす反動で波を立てる方法で実験を行った。授業スライドでは前者の方法を「方法1」と呼び後者を「方法2」と名付けた

(図 3).

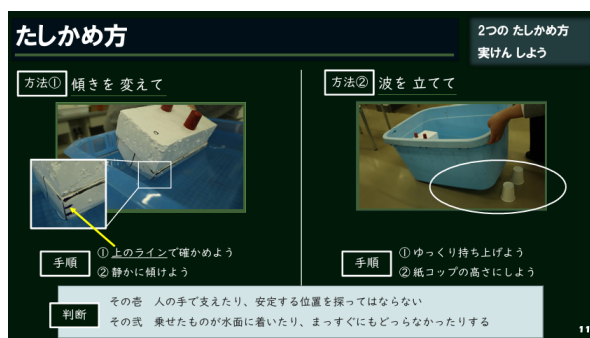


図 3 実験方法に関する授業スライド (大学生に向けた 1 回目の実践)

方法 2 における基準は紙コップの高さまで水槽を持ち上げることで、毎回同じ高さの波が立つ工夫がなされていなかった。そのため、実験者によって結果が異なり再現性を確保できなかった。

そのため 2 回目の実践に向けた授業改善では、波の高さや波の起こし方をより一層定量的に示すことが求められた。

2 回目の実践となった小学生に向けた授業では (図 4), 方法 2 を水中でプラスチック段ボールを前後に揺らす反動で波を立てる方法に変更した。さらに水槽の内側に 2 本の水平の基準線を設け、波の高さが 2 本の間になることを条件とした。

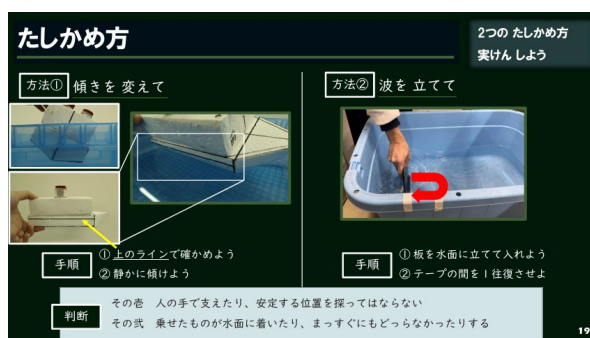


図 4 実験方法に関する授業スライド (小学生に向けた 2 回目の実践)

5. 思考ツールの使用

実験は子どもの興味に沿って行われるだろうと考えた。そのため実験の自由度にゆとりをもった実験制御とした。一方で船の安定性には大きさ、高さ、おもさの 3 つの要素が複雑に影響を及ぼし合っている。それらの組み合わせは何通りもあり、実験の計画や結果の整理に困難が生じるだろうと想定された。

これらの子どもが感じる困難さの軽減のため、シンキングツールを導入することにした。使用したシンキングツールは、Y チャート・X チャート、クラゲチャ

ートである。

a. Y チャート・X チャート

Y チャートや X チャートは、話題を多面的に捉えたり、分類したりする際に使われる。区切られた領域に、それぞれ視点を割り当て整理する。

本実践では、安定性を決定づける 3 つの要素を Y チャートや X チャートのそれぞれの視点として定めた (図 5)。

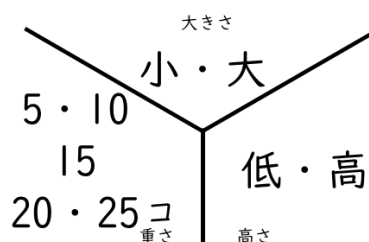


図 5 ワークシートに載せた Y チャート

本授業では、安定性に関わる 3 つの要素を多面的に捉え、適切な比較実験に向けた様々な条件の船を考えることに使用した。従来の多面的に捉える使い方に加え自由な発想を列挙させる手法としても使用した。付箋 1 枚につき 1 つの組み合わせを書き実験計画とした。具体的な使用例は次に示す (図 6)。



図 6 Y チャートの使い方を示したスライド (大学生に向けた 1 回目の実践)

小学生に向けた授業実践では、船の甲板部に乗せるおもりの条件も加わり、X チャートを使用する場面も設けた (図 7)。

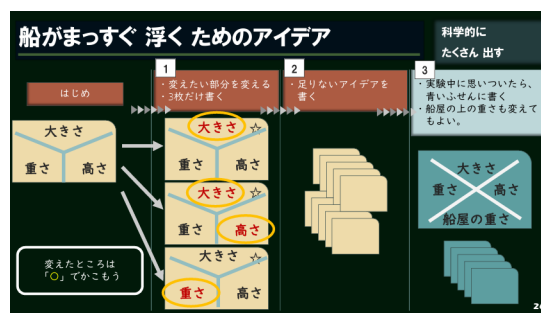


図 7 Y チャート・X チャートの使い方を示したスライド (小学生に向けた 2 回目の実践)

b. クラゲチャート

クラゲチャートは、主張を支える考えを整理する際に使用される。主張や根拠がクラゲの頭部に、その理由付けをクラゲの脚部に書き込み整理する。

今回、従来の使い方の主張に対する理由付けを書く使い方ではなく、クラゲの脚に証拠を書かせることをおこなった。そのねらいは、無数の結果から主張を支える証拠を整理することであった。そのためクラゲの頭部には「浮く」という結果を示し、浮いた証拠となる実験結果を6つの関係性に分類し、まとめられる仕様にした(図8, 9)。

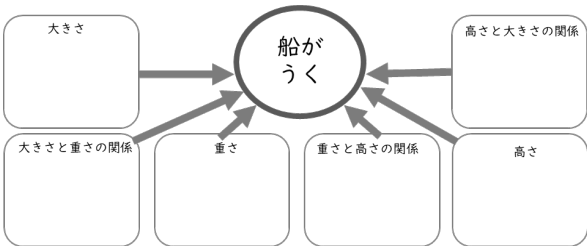


図8 ワークシートに載せたクラゲチャート



図9 6つの関係性を示すスライド

クラゲの脚に証拠を書かせることで、アーギュメントの証拠の選択がスムーズになることが期待された。事前に証拠の選択を行えているため、その後のアーギュメントを記述する活動では、理由付けを考えることに集中できると考えられた。

II. 1 回目の実践の結果と考察

1. 絵の変化

授業前のオリジナルの船をと授業後の安定するように改造した船のそれぞれを比較する。

比較の例として3名の学生の絵を挙げる。

学生Aの絵の変化である(表3)。モデリングされた自分の船が浮くと予想しており、かつ、予想に反して船が傾いてしまった学生である。

表3 学生Aの授業前後の絵の変化

授業前	授業後

授業前後の変化を見ると、左右対称なデザインはそのままに、部品が船の中央寄せになっている。また4つあった砲台が2つになり、荷物が軽量化された。一方で船自体の重量は増加しているように見える。授業前に比べ、船底部分に厚みを与えている。ここから船底部は重く、荷物は軽くしたと言える。

以下に示す3名の学生は、モデリングされた自分の船が浮かないと予想しており、かつ、予想に通り船が傾いてしまった学生である。

次に学生Bである(表4)。

表4 学生Bの授業前後の絵の変化

授業前	授業後

授業前後の変化を見ると、左右対称なデザインはそのままに、学生Aと同じように部品が船の中央寄せになっている。また高さについても大きく変化をつけ、低くしてある。

次に学生Cの絵の変化である(表5)。

表5 学生Cの授業前後の絵の変化

授業前	授業後

授業前後の変化をみると、滑り台の位置が右側に移動していることがわかる。授業前は左側にあり、視覚的な重量バランスが悪かった部分が解消されている。

2. 記述の変化

授業では記述の場面を設定し、それらの文章を比較することで変容をみとる。記述された文章は次の通りである（表6）。記述1は1度目の実験後に設けた「分析する」での文章である。記述2は2度目の実験後、アーギュメントを使用後に設けた「表現する」での文章である。

表6 学生の記述の変化

	記述1	記述2
学生A	おもりの位置を変えるとよい 荷物が水面に触れてしまう	船と荷物の重心を低い場所にし、中心に集めると安定する
学生B	おもりの重さが重すぎたため、傾いてしまったのではないかと思う	高いと傾き、おもさや大きさは関係ないと実験結果から考えられたため、大きさが小さく、高さが引く船が浮く
学生C	船の上が重くて、バランスが取れなかったから傾いた。だからバランスが取れるように重さを調節する	船の大きさが大きかったり高かったりすると浮かなかった また、船の重さはあまり関係なかった このことから、均等に重力がかかるようにすると、安定して浮くのではないかと いうことと、船と荷物の重さの関係を科学的なきまりとして考え、船の大きさに対してそれより小さなものか同じくらいの荷物を載せるとよいと考えた

文章の評価は次の観点で行った。

文章の具体性

- ・大きさ、高さ、重さの3つの要素がいくつ含まれているか

文章の正確性

- ・適切な重さが必要であると記述されている
- ・重心についての記述がある

- ・船上の荷物は小さいとよいと記述されている
- ・船上の荷物は低いとよいと記述されている

記述1の文章は抽象的で再現に困る文章だったが、記述2でアーギュメントを通すと具体性が増し科学的に表現された文章になっている。

例として学生Aの記述2の文章を見ると、「重心を低い場所にし、中心に集めると」と、性質についての記述しかない。しかしこの文章の裏付けとなるアーギュメントの記録を確認すると（図10）数的な関係性を見つけ出していると分かる。そのため、この学生が科学的な理解に基づいて文章を書いたと言える。

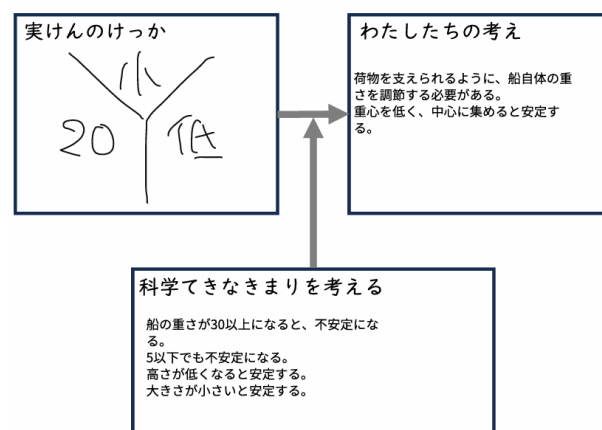


図10 学生Aのアーギュメントの記述からわかる科学的な根拠

3. 受講者アンケート

授業終了後、受講者に授業評価アンケートを実施した。アンケート項目は3つあり、「1.実験の方法の理解について」、「2.学習内容の理解について」、「3.総合評価について」を聞いた。選択肢は「5:とても理解（満足）できた」「4:およそ理解（満足）できた」「3:ある程度理解（満足）できた」「2:あまり理解（満足）できなかった」「1:理解（満足）できなかった」の中から当てはまるものを選んでもらった。

また選択式のアンケートに加え、記述式のアンケートも行った。設問は2問で、「本日の授業で教員になったとき役立つと思ったこと」、「本日の授業でもっと学ぶべきと感じたこと」を聞いた。

授業評価アンケートの結果は次の通りである（表7）。観察者による評価は除き、受講者のデータのみ抜粋している。評価の高い順に並べ、表にしている。

表 7 評価順に並べた授業評価アンケートの結果

学年	観察・ 実験方法	学習 内容	総合 評価
1	5	5	5
1	5	5	5
1	4	4	4
1	4	4	4
4	4	3	4
4	4	3	4
1	3	3	4
1	3	3	3
1	3	3	3
2	3	3	3
2	2	3	3
2	2	2	3
2	2	2	2
2	1	1	1

評価順に並べると、低評価群に学部2年生が集中していることがわかる。評価コメントでは(表8)、1年生では教師として必要な能力や技法についての記述、2年生では、授業構造や児童観についての記述が見られた。

表 8 授業評価アンケートの記述

	学年	回答
学生B	1	わかりやすく説明する力が役立つ
学生E	1	対照実験をわかりやすくする方法
学生F	2	授業のめあてと活動があっていない
学生G	2	小学生には難しい

本学部の教育カリキュラムは、2年生から教育法について学習する機会が増えていく。それにつれて教育法に関心を持ち、授業を俯瞰的に居捉える資質・能力を得たのではないだろうか。

主観的に理想の先生像を考えたり、授業の面白さを評価したりするにとどまらず、俯瞰的に考えたことで授業を通したねらいや授業の展開について考察したのではないかと考えられる。そのため本時の探究力の育成に重きを置き、答えが発散的になる授業に対して、子どもにとっての知識としての学びはあるのかと抵抗感を示したのではないだろうか。

4. 大学生に向けた授業の振り返り

実験計画の立案に時間を要した。それにより2回目の実験を実施する時間が減少してしまった。さらには、2回目の実験の最中もスムーズな実験の進行に至らなかった班が多かった。

結果として、得られるデータ数が少なく、関係性を見いだすことが出来なかつたように感じた。本来であればすべての班から、浮いた条件を板書にて集め共通性や規則性を考える機会を作りたかつた。

その要因として2点考えられた。1点は、試行できるパターンの多さである。もう1点は、班内の目的意識のズレである。

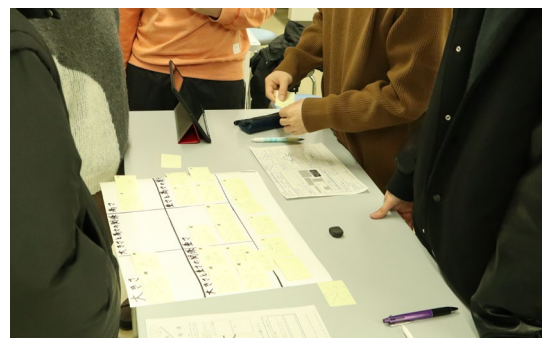


写真 1 実験計画における KJ 法のようなグループワークの様子

要因1つ目の試行できるパターンの多さは、実験計画の困難さに直結する要因である。安定性を決定づける、大きさ、高さ、重さの3つの要素の組み合わせは、120通り存在する。実験の方法は、そこへ荷物の重さが3種類加わり最大で合計360通りの組み合わせが考えられた(図11)。

行える実験の組み合わせが多過ぎたことで、適切な比較実験を行えなかつたり諦め感を感じたりしたのではないかと考えられる。

実験の方法が多いということは、得られる実験データも同じ数だけ存在する。実験データが少なければ結論の再現性を疑うことになり、一方で多ければデータの関係性や規則性を見つけ出す分析に困難さが生じてしまう。

そこで思考に諦め感を感じない多さで科学的な思考を可能にするおもりの条件を検討し、30通りから5通り削減した(図11)。

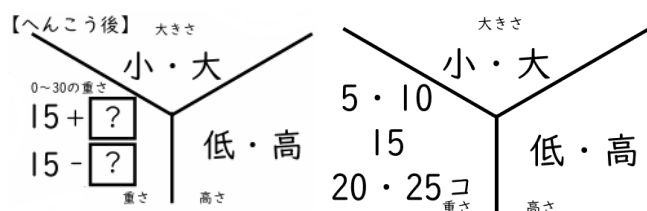


図 11 重さの条件を変更
(左：変更前，右：変更後)

もう 1 点は、班内の目的意識のズレである。大学生への実践では、学年や専攻するコースによって班分けを行った。

学年や専攻で班分けする意図は、同質な班員で構成し、バランスに関する考え方を統一するためであった。バランスに関する考え方が同じもの同士で集まることで、到達度の違いによる知識・知恵・経験の交流が起きないだろうと考えられた。それにより自己調整の形跡をより正確に読み取ることができだろうと考えた。

しかし船のタイプの違いによって、改善したいと思う項目が大きく異なる状況ができていた。そのため、どのタイプの船を使うのかや、どの比較実験を行うかなど混乱を招いていた。さらに自分の船で実験したいと思うことでより混乱していったと考察される。

改善としてモデリングが同じもの同士で班構成し、より焦点化された目的意識を共有できるのではないかと考察された。

Ⅲ. 2 回目の実践の結果と考察

1. 絵の変化

授業前のオリジナルの船をと授業後の安定するように改造した船のそれぞれを比較する。

比較の例として 3 名の児童の絵を挙げる。この 3 名はいずれも、モデリングされた自分の船が浮くと予想しており、かつ、予想に反して船が傾いてしまった児童である。

まずは児童 A の絵の変化である (表 9)。

表 9 児童 A の授業前後の絵の変化

授業前	授業後

スカイツリーやビルといった高い建物がなくなっている。大きな滑り台から小さな滑り台に変わっている。重量物の砲台をやめ、砲台よりも小さなモアイ像を置いている。

児童 A は、船が安定するには高くてはならないということを獲得したと結論づけられる。載せるものの重量については、重量物が無くなり軽量化されている。また高い位置にあった砲台が無くなり、低重心な船に変化している。

次に児童 B の絵の変化である (表 10)。

表 10 児童 B の授業前後の絵の変化

授業前	授業後

スカイツリーが無くなり、高さについて思考した形跡が見られる。また中央のビルと一軒家が入れ替わっている。またスカイツリーと滑り台が観覧車に変化しており、重量の変化が見られる。

最後に児童 C の絵の変化である (表 11)。

表 11 児童 C の授業前後の絵の変化 (表 12)

授業前	授業後

授業前後の変化を見ると、部品が船の中央寄せになっている。また高層の建物が無くなり、別の部品に変わっている。一方で船自体の重量はある程度確保しているように見える。

2. 記述の変化

1 回目の実践と同様に文章を比較することで変容をみとる。記述された文章は次の通りである (表 12)。

表 12 児童の記述の変化

	記述 1	記述 2
児童 A	大きくて低いなら いける. 2.5 で行く と思う 2.5 は重い ので 2 か 1 にする	中間の重りがいい 高いとバランスがと りにくいので沈みや すい
児童 B	低くする	高さは低い方が良く て重さは 15~25 く らい
児童 C	船の上が重くて、 バランスが取れな かったから傾い た. だから balan スが取れるように 重さを調節する	自分の船を浮くよう にするためには、高 いスカイツリーをや めて上の重さを軽く し、建物全体を低く して調整する

実験後の文章は、3 つの要素と絡めながら説明し、必要最低限そして上限の重量があることが示され、具体性が増し科学的に表現された文章になっている。

3. 小学生に向けた授業の振り返り

小学生の実践では、実験計画の立案や実験の実施は大変スムーズに進んだ。子どもたちと授業者との会話の中で「これが悪かった」「こうしたいけどどうかな？」と子どもからアイデアを口に出ることが多く、授業者が「付箋にどんどんメモしようね」と返す姿を多く見かけた。

また結果の処理では、クラゲチャートに書き込んだ浮いた条件を各班から全体へ発表し板書した。1 回目の実践ではクラゲチャートも板書しそこへ発表された内容を板書していた。今回の実践では、6 つの関係に分類することなくすべての結果を一覧にして板書した。すべての結果を列挙して一覧にしたことで、浮いた条件の共通性を発見しやすかったように感じた。

班分けは、同じ目的意識を持った同士でまとまった。その効果で、どのように条件を変えて実験するか容易に最終決定できたいように感じる。

一方で、協働活動の難しさを感じた。授業の前半は学年別で仲の良い集団が形成されていた。後半からは、同じモデリングの仲間同士が集まり集団を再形成した。

後半は同じ目的意識を持った同士で、実験計画を立案するところから活動が始まった。その際に、自分の考えやほかの班員が考えた意見を踏まえて、班としてどのような実験を実施すべきか話し合う活動に困難

さが生じた。

活動のはじめは、児童それぞれがやりたい実験をアピールする時間になっていた。授業者から、「班全員の意見を聞いてそれにな案をつけたそう」と助言されながら全員の意見を聞く時間が始まった。授業の展開として、一人一人の意見を確認し合う時間を設定しなくてはならないと感じた。

その後は、スムーズに話し合いが進み、改善を口々に発していた。

授業終盤の実験結果の処理では、板書でまとめられた各班の実験結果から規則性や法則性を見つけようとする姿も見られた。

IV. 考察

2 回目の実践ではモデリングした船に応じて班分けを行った。班分けの意図は実験の目的を班ごとで統一し、スムーズな比較実験をさせるためであった。

班分けの方法は、船のモデルごとに分けるほか、学年ごとで分けることが考えられた。

小学校では、前者の方法で班分けした。一方で大学生への実践では、学年や専攻するコースによって班分けを行った。

学年や専攻で班分けする意図は、同質な班員で構成し、バランスに関する考え方を統一するためであった。班ごとでバランスに関する考え方を統一することでリサーチクエスチョンに示した自己調整の形跡をより正確に読み取ることができると考えた。自己調整の形跡とは、実験を通して目の当たりにする自分の考えと実際の現象とのギャップを埋め合わせている記述の変容を示す。

逆に、同質な考えの者同士ではなく、知恵・知識の段階が異なる者同士で集まった場合を考えたときのメリットとデメリットは次のようなことが考えられた。

メリットとしては、ある定まった知識を与えたり導いたりする授業では、裏付けられた知識を持ち合わせる存在に導かれ、効率よくねらいに迫ることができることが挙げられる。一方でデメリットは、探究力を身につける授業において、裏付けられた知識を持ち合わせる存在は、そのほかの班員の探究心を減退させる要因となってしまうことが挙げられる。

今回考案した授業は、子どもが目の前にある混沌とした状況を打開するためにトライ＆エラーを繰り返し、その結果を俯瞰的にとらえ、自分自身の納得解を

発見することをねらいとしている。

そのため一回目の実践の場となった大学生では、わかりきった答えのもと実験させないためにも知識・知恵の段階に応じた班構成が必要で適切であったと感じる。

二回目の実践の場である小学生向け授業では、一回目で達成できなかったスムーズな実験の実現に向け班構成の改善も行った。その効果もあり考察に必要最低限な実験結果を得ることができた。

危惧していた、知識・知恵の交流によって自己調整の形跡をより正確に読み取れない可能性は大きな問題にはならなかった。おそらく、小学校4年生から6年生までの間に、バランスの理解に大きく影響を及ぼすほどの経験や知識の差が無かったためであろう。

バランスと関わる小学校理科における学習内容項目は、小学校6年生で「てこの規則性」が該当する。そこで学習することの一つに、支点から等距離に同じ重さの物を置いたり吊り下げたりすると水平が保たれることを学習する。しかしながら4・5年生であっても、等距離に同じ重さの物を置くことでバランスが保たれることは生活体験的に理解しているのではないだろうか。例えばシーソーの両端に座面が2つずつついているもので、体重が大きく異なる兄弟や友人と乗ったことはないだろうか。ほうきを水平にする遊びを掃除時間にしたことは無いだろうか。

支点から等距離に同じ重さの物を置いたり吊り下げたりすると水平が保たれることを学習する実験は、そのような経験を実際に確かめる実験ともいえるのではないだろうか。

船で扱う内容はより複雑で、これまで経験してきた内容を確かめる実験に留まるものではないと考えている。

V. おわりに

小学生からの授業評価アンケートの記述に、「実際にそういったときにどのようにすれば良いか実験でやれるのが楽しかった」と書かれていた。

探究的な学習を進めるには、生徒が教材に対して興味を持ち続けることが欠かせない。筆者らは人の興味は遊びと深く関わっていると考えており、遊びの感覚で学びに向かうことを実現しようと考え実験方法の吟味を行ってきた。

高橋ら(1996)は遊びから生まれる活動について“何

かの目的のための手段であった行為それ自体が、目的化して一つの活動になったり、あるいは、本来の目的が忘れられて、別の目的に変わったりする。”とし、遊びが発端となって別の活動が起こるメカニズムを示した。例えば、乳児期の子どもを観察していると行為の反復が見られる。行為の反復は、子ども自身が起こした行為によって生み出される現象が楽しく引き起こされる。次第に自分自身の行為の変化によって、結果や現象の変化が起こることに気が付き、行為と現象の相互作用を楽しむようになる。子どもは月日を重ね発達するとともに、自分が起こした結果をより強く気にするようになり、積み木遊びやごっこ遊びのような完成や完結といった達成感を求める。このように義務感を伴い遊ぶことで、様々なことに自発的に課題意識を持ち、ものごとへ取り組むようになっていく。

自発的な課題意識の発生は、探究の過程を生むために非常に重要である。理想的な探究の過程は、問題意識の発生を源流として子どもが主体的に課題解決に向けて取り組むことに異論はないだろう。

子どもにとって探究活動は遊びであるからこそ、興味を持ち続け取り組める。その自発的に探究に向かう環境づくりをこの授業では実現できたと、授業評価アンケートの記述から再確認できた。

一方で、大学生に向けた実践のコメントでは何を最も学ばせたいのか」という、学習内容に関する指摘があった。

本授業では目標やねらいは、教具によって知識の到達度に変化させることができることや、問題解決に向かう力の育成に焦点をあてた。力学的な原理が関係した実験ではあったが、小学生にとっては難しい内容であるからこそ体験的に留めた。

学校教育での導入を考えると、指導要領との関連を考えるとこれからの課題になるだろう。

謝辞

本研究の実践とアンケートに、愛媛大学教育学部の学生にご協力いただいた。ここに記して感謝申し上げる。

文献

- 高橋 たまき, 中沢 和子, 森上 史朗 (1996) : 遊びの発達学 展開編, 培風館.
文部科学省 (2019) : 中学校学習指導要領(平成 29 年告示)解説理科編, 学校図書.

ジュニアドクター育成塾における WOWW アプローチ導入の試み An attempt to introduce the WOWW approach at a junior doctor training academy

○相模健人^{*1}, 池田裕亮^{*2}, 菊池ほの香^{*2}, 藤井あかり^{*2}

SAGAMI Takehito^{*1}, IKEDA Yuusuke^{*1}, KIKUCHI Honoka^{*2}, FUJII Akari^{*2}

^{*1}愛媛大学教育学部, ^{*2}愛媛大学教育学研究科

^{*1}Faculty of Education, Ehime University, ^{*2}Graduate School of Education, Ehime University

【要約】本研究ではジュニアドクター育成塾において、参加児童生徒の興味、関心を一定にしたいジェネラリスト育成の観点から WOWW アプローチを導入し、効果があったと考えられる3事例を提示し、その意義と課題について考察することを目的とした。全20回の講座の内、6回において3名のコーチが実施し、全体のフィードバックと終了後に COMPLIMENT カードを配布した。参加児童生徒には講座終了後に育成したい人材像ごとにスケールリング・クエスチョンを行い、評価理由と次回目標について尋ねた。3事例の検討から参加児童生徒にスケールリング・クエスチョンの評価理由や次回目標を書いてもらうことにより、授業の振り返り、省察に繋がっていること、WOWW アプローチでコーチたちが全体、個別に COMPLIMENT していくことにより、参加児童生徒が育てたい人材像に向かって努力するサポートが行えていることが考えられた。今後の課題としてよりきめ細やかな実践が考えられる。

【キーワード】ジュニアドクター育成塾, WOWW アプローチ, スケールリング・クエスチョン, COMPLIMENT

I. はじめに

愛媛大学ではこれまでジュニアドクター育成塾を行ってきた。ジュニアドクター育成塾とは「科学技術イノベーションを牽引する傑出した人材の育成に向けて、高い意欲や突出した能力のある小中学生を発掘し、さらに能力を伸長する体系的育成プランの開発・実施を行うことを支援」(科学技術振興機構, 2015) することを目的としている。愛媛大学では毎年度ごとに小学校5年生から中学校3年生までの児童生徒を第1段階受講生として40名募集し、原則土曜日に3時間の講座を行っている。ジュニアドクター育成塾を行っていく中で、参加児童生徒の興味、関心がばらつくことがジェネラリスト育成の観点から課題とされた。なるべく参加児童生徒の興味、関心を一定にして参加してもらうための援助の一つとして、解決志向ブリーフセラピー (Solution-Focused Brief Therapy: De Jong, Berg, 2016) を元にした WOWW アプローチ (Working on What Works: うまくいっていることに取り組む、の略) を導入する試みを本研究では行った。

解決志向ブリーフセラピーは心理療法の1種であり、実現可能な目標を立て、それを実現していく際に例外を重視する (De Jong, Berg, 2016)。その際の技法として COMPLIMENT (Compliment) が行われる。COMPLI-

MENT とは「クライアントが語り、感じ、そして信じていることをカウンセラーが承認し、そしてカウンセラーとクライアントとを結び付けている多様な問題に対して彼らが示している態度を肯定し、敬意を表すプロセスである」(Berg, 1994) と定義されている。WOWW アプローチは解決志向ブリーフセラピーにおける COMPLIMENT を教育現場に活用し、「クラスの教育の質に働きかける」(Berg, Shilts, 2004) アプローチである。WOWW アプローチでは授業に教員、児童生徒に加えて、コーチが参加することが特徴である。コーチは児童生徒の授業態度を見て、COMPLIMENT を中心としたフィードバックを行う。それを元に児童生徒自らが目標を立て、それを目指してスケールリング・クエスチョン (Scaling Question, 以下 SQ) を元にした振り返りをクラスで行っていく。先行研究では WOWW アプローチの効果として教師の評価として生徒が行儀よくしていた報告 (Kelly, Kim, Franklin, 2008) や、対人信頼感、自尊感情が高くなること (関山, 神田, 久能, 2007)、学級生活に満足を感じる児童の増加 (田島, 相模, 2011) といった結果が見られ、個人の介入としても青柳, 相模 (2014) は適応指導教室において不登校生徒に導入し、再登校に至った事例を紹介している。WOWW アプローチを導入することで、ジュニアドクター

育成塾に参加する児童生徒の興味、関心や参加意欲が高まることが予想され、本研究の導入に意義があると考えた。

以上のことから本研究では前述のジュニアドクター育成事業において WOWW アプローチを試験的に導入し、効果があったと考えられる3事例を提示し、その意義と課題について考察することを目的とする。

II. ジュニアドクター育成塾について

愛媛大学ジュニアドクター育成塾では前述のように行われており、対象としたX年度は小学校5年生から中学3年生の46名の児童生徒が参加した。X年7月から3月まで20回(開校式、閉校式を除く)行われた。愛媛大学ジュニアドクター育成塾では育成したい人材像として以下を掲げている。

- ・既存の科学についてブレークスルーとなる疑問を持つ：「なぜを問う力」
- ・疑問の解決のために様々な挑戦を行う：「なぜを問う力」
- ・得られた結果について多角的にねばり強く考える：「考える力」
- ・自らの考えを突き詰めシンプルな問いに帰結する：「考える力」
- ・自らの知見を他者にわかりやすく表現する：「表現する力」
- ・得意・不得意とは関係なく、他者の知見を理解し、吸収する：「表現する力」
- ・課題に対して他者と協働して解決する：「協働する力」
- ・科学という共通言語を通して、多くの人と協働する：「協働する力」
- ・未来に繋がる科学者ネットワークを形成する：「協働する力」
- ・よりよい社会と人生を構築する基礎となる人間性：「学びに向かう力」
- ・SDGsや地域に適した社会の構築ができる人間性：「学びに向かう力」

III. 方法

1. WOWW アプローチについて

WOWW アプローチ実施については全20回の講座の内、6回において3名の大学院生によるコーチ(池田、菊池、藤井)が実施した。対象年度は第1段階の受講であっ

た。コーチたちが講座を観察し、全体でのフィードバックを行い、後日、コーチがロイロノートを通じて個別に参加児童生徒にコンプリメントを行ったコンプリメントカードを配布した。

2. SQ を用いた調査

参加児童生徒には「振り返りシート」を用いて、講座内容への関心と前述の育てたい人材像ごとにSQを行い、その評価理由と次回目標を書いてもらった。「振り返りシート」の内容は以下の通りである。

- ①今日の内容はどのくらい関心がありましたか？当てはまるなあとと思う数字に○を付けてください。1が関心がない、10がとても関心があるとすればいくつですか？
- ②今日は「なぜ？を問う力」の目標がどのくらい達成していたか質問します。1が目標が全く達成できていない時、10がだいたい目標が達成できているとすればいくつですか？
- ③今日は「考える力」の目標がどのくらい達成していたか質問します。1が目標が全く達成できていない時、10がだいたい目標が達成できているとすればいくつですか？
- ④今日は「分かって、伝える力」の目標がどのくらい達成していたか質問します。1が目標が全く達成できていない時、10がだいたい目標が達成できているとすればいくつですか？
- ⑤今日は「みんなと協力して解決する力」の目標がどのくらい達成していたか質問します。1が目標が全く達成できていない時、10がだいたい目標が達成できているとすればいくつですか？
- ⑥今日は「学びに向かう力」の目標がどのくらい達成していたか質問します。1が目標が全く達成できていない時、10がだいたい目標が達成できているとすればいくつですか？
- ⑦②-⑥は どんなことができていたからその数字になりましたか？
- ⑧②-⑥の数字があと一つ上がるためにどんなことをする必要がありますか？

3. 倫理的配慮

WOWW アプローチ実施にあたっては愛媛大学教育学部研究倫理委員会の審査を受けて行った。事例提示については本人及び保護者に論文をご確認いただき、署名を得て愛媛大学教育学部研究倫理委員会の審査(受

付番号 R5-34) を受けた。

IV. 事例提示

本研究では代表的な事例を 3 事例提示する。変化が見られる場面について振り返りシートの記述、WOWW アプローチを行った回では全体のフィードバックの事例に関係すると考える箇所(A に記載)、コンプリメントカードの記述を以下に記す。なお、紙数の都合ゆえ、15 回目までの記入を対象とした。

1. A(中学 2 年生女子)

初回(X 年 7 月)

振り返りシート:①9②10③9④9⑤8⑥8⑦②のなぜ?を問う力では、写真をとる時に常に「なぜこの動物はこんな動きをしているのか?」「なぜ檻の中にこんな物があるのか?」と考えられたので、10 番にしました。③の考える力では、皆が疑問に思ったことを発表している時に、自分も一緒に考えられたので、9 番にしました。④の分かって、伝える力では、写真をとる時に班の子と「この動物はこんな理由でこうしているのだよね。」と意見を言い合えたので 9 番にしました。⑤の皆と協力して解決する力では、特定の子としか話せなかったのが、8 番にしました。⑥の学びに向かう力では、自分で新しい問いを見つけられなかったのが、8 番にしました。⑧考える力を 10 にするために、もっと自分の中で考えようと思いました。分かって、伝える力を 10 にするために、次はもっと自分の意見を言おうと思います。皆と協力して解決する力を 9 にするために、次はいろんな子と話そうと思います。学びに向かう力を 9 にするために、次からは常にいろんな事に疑問を持ち、自分なりの問いを見つけようと思います。

2 回(X 年 8 月) WOWW アプローチ初回

振り返りシート:①10②9③10④10⑤10⑥9⑦②のなぜを問う力では、メダカの卵がナザこのような順番になるのかを考えながら並べられたので、9 番にしました。③の考える力でも、メダカの卵の順番をしっかりと考えることができたので 10 番にしました。④の分かって、伝える力では、メダカの卵成長の順番をしっかりと理解し、班の子と考えを伝え合うことができたので 10 番にしました。⑤のみんなと協力して考える力では、ゾウリムシの見方をみんなで考えて、観察する時も協力できたので 10 番にしました。⑥の学びに向かう力では、ゾウリムシがなぜ光るのか、という問いしか考え

られなかったのが 9 番にしました。⑧②のなぜ?を問う力を 10 にするために、疑問を持ったときに自分の中で仮説を立てるようにしたいです。⑥の学びに向かう力を 10 にするために、常に疑問を持って活動するようにしたいです。

全体のフィードバック:(中略)A さん他 3 名は先生の言ったことをメモしていました。(中略)A さん他 6 名は点描が丁寧にスケッチをしていて、きれいだなと思いました。(中略)B の 班のみんなは「やりましたー?」と言って確認しながら進めていて、チームで協力して話し合っていて取り組んでいるなあと思いました。A さん他 3 名は観察した絵がきれいにかけられているなあと思いました。(中略)来週中にはコンプリメントシートが届くので、また見てみてください。

コンプリメントカード:こんにち。最初先生の話のときにメモを取っていて聞く姿勢がすごいと思いました。スケッチも細かく丁寧にかけられていてしっかり見ていると思いました。今後も先生の話の聞くときや観察し、記録するときにまた続けてみてください。

3 回(X 年 8 月キャンプ初日)

振り返りシート:①10②10③10④10⑤9⑥10⑦②の「なぜを問う力」では、昆虫の講義・実習のとき、「なぜ特定のチョウがこんなにいるのか」などと考えることができたので 10 にしました。また、天体観測のときも、「なぜこの星座はこんな名前なのか」などを考えることができました。③の考える力では、1 番で思ったような疑問の答えを自分なりに考えられたのでこれも 10 にしました。④の「分かって、伝える力」では、採集した昆虫の名前を調べるとき、その虫の特徴から判断して皆に伝えることができたので 10 にしました。⑤の「みんなと協力して考える力」では、3 班の皆と協力して昆虫の名前をあてることができたので 10 にしました。⑥の「学びに向かう力」では、講座をしている先生の話を目に聞いたので 9 にしました。また、自分が知りたいことや興味があること、疑問に思ったことも考えることができました。でも、「それをどうやって調べるのか」など、その先を考えられませんでした。⑧⑥の「学びに向かう力」を 10 にするために、次からは常に疑問とそれをどう解決するかなど、自分の中でしっかり考えようと思います。

4 回(X 年 8 月キャンプ 2 日目)

振り返りシート:①10②10③10④10⑤10⑥10⑦②の「なぜを問う力」では、常に「なぜこの植物はこうい

う名前なのか？」と考えられたので10にしました。③の考える力では、「植物の特徴から、自分ならこの植物になんて名前をつけるか」などと考えられたので10にしました。④の「分かって、伝える力」では、草の名前を理解してみなに伝えたりできたので10にしました。⑤の「みんなと協力して考える力」では、みんなと協力して草花の名前を考えられたので10にしました。⑥の「学びに向かう力」では、「他の草花の名前や特徴をもっと知りたい。」などと思ったので10にしました。⑧記載なし

5回(X年8月) WOWW アプローチ2回目

振り返りシート:①10②8③10④9⑤9⑥9⑦②の「なぜを問う力」では、なぜ新聞のつくりが決まっているのか?や、なぜ記事の整理整頓が大切なのか、などを考えられたので8にしました。③の考える力では、どんな見出しにすれば面白いかな、どんな文が読みやすいかなど、いつもよりたくさんのことを考えられたので10にしました。④の「分かって、伝える力」では、自分が分かったことを進んで発表できたので9にしました。⑤の「みんなと協力して考える力」では、新聞について友達と話し合い、よりよくするための努力ができたので9にしました。⑥の「学びに向かう力」では、新聞を作っている人に対しての疑問を常に考えられたので9にしました。⑧②の「なぜを問う力」では、もっとたくさん疑問を見つけるように常に努力することです。④の「分かって、伝える力」では、自信がなくてももっと積極的に発表することです。⑤の「みんなと協力して考える力」では、もっとたくさんの人と話すことです。⑥の「学びに向かう力」では、1番と同じで常に疑問を見つけられるよう努力すること、学んだことを生かせるようにがんばることです。

全体のフィードバック:お疲れさまでした。こんにちは。(中略)今日は新聞、マスメディアの一つとして新聞を取り上げもらって、情報をどのように伝えるか、記事づくりを通して学ばれたかなというふうに思います。えっとワークや具体的な進め方の説明のときにはしっかり顔を上げて集中して進められていたなと思います。あの、1時からまもなく3時間近く経とうとしているのですが、本当に最後まで集中力とぎらせずにしっかり頑張っていたなと感じました。(中略)こちらは中学校の会場ですが、あの、本当に落ち着いた態度で臨めていたなと思います。また、段々慣れていくに連れて、こうしっかり手を上げて進んで発表

できている人が増えたことも、印象的でした。で、最初の方で特に指名された何名かの人は最初、すごく緊張したかなと思うのですが、しっかりと自分なりの答えを黙ったままではなく伝えられていたのはとても素晴らしいなと思いました。(中略)今日ベルが鳴っていましたね。時間が限られたタイトな中であの一やっていた中でひょっとしたらうまく進められなかった人もいたのじゃないかなと思うんですけど、やっぱり新聞社の方って新聞を印刷して家庭に配ることを考えるんですけど、時間が限られた中で、正確な情報を分かりやすい言葉で、というお仕事をされているわけですね。その辺の難しさというものも、今日しっかり感じ取られていたのじゃないかなあと思います。(中略)あとは各個人の良かったなと思うところは私の方でつかないのですけども書かせてもらってまた送ろうと思いますので、ぜひ読んでいただけたらと思います。

コンプリメントカード: こんにちは。授業冒頭から最後まで、しっかりとメモを取りながら説明を聞くことができていました。動物園のパンフレットを見ながら、丁寧かつ効率よく原稿づくりを進められていて、とてもすばらしかったです。

6回(X年9月)-11回(X年11月)

その後も振り返りシートの記述ではAは高い関心とSQの回答を維持し、コンプリメントカードでメモをしている態度を取り上げていた。

12回(X年11月) WOWW アプローチ4回目

振り返りシート:①8②9③9④7⑤10⑥9⑦②の「なぜ?を問う力」では、戦国時代がなぜ始まったのかなど、いろいろなことに興味を持てたので9にしました。③の「考える力」では、考えた問いの答えを考えられたので9にしました。④の「分かって、伝える力」では、班の人と話せたので7にしました。⑤の「みんなと協力して解決する力」では、班の人と意見をまとめられたので10にしました。⑥の「学びに向かう力」では、進んでメモをとれたので9にしました。⑧②の「なぜ?を問う力」を10にするために、自分の苦手な分野も進んで考えるようにしたいです。③の「考える力」を10にするために、様々な可能性を考えられるようにしたいです。④の「分かって、伝える力」を8にするために、自分から進んで他の人と話せるように頑張りたいです。⑥の「学びに向かう力」を10にするために、先生からもらった資料は忘れずに全て読むようにした

いです。

全体のフィードバック：まず個人でAさんがみんなの発表や意見をメモしていて前に書かれている以外のことも書いていたのが良かったです。(中略)発表についてかなり多くの人が手を挙げていたと思うのですが、今日発表した人手を挙げてもらってもいいですか。これだけの人が手を挙げていたのはすごいと思います。全体については先生が言ったことに対してえーとか反応していたり、話し合いも一人一人が考えたことを発言していて、全員で授業に参加している雰囲気ができているなど思いました。さっき今日手を挙げた人を聞きましたが、出てきた意見に対して否定することなく、言いやすい雰囲気だったので自分から手を挙げる人が多かったのではないかと思います。(中略)今日はたくさん資料をもらったと思うので、まだ見きれない部分は思い出しながら家で見てください。

コンプリメントカード：こんにちは。スライドの内容を、細かく丁寧にメモすることができていましたね。また、スライドの内容だけでなく、先生やみんなの意見もしっかりとメモできていてことが素晴らしかったです。よろしくお願いします。

13回(X年12月)~14回(X年12月)

変わらず振り返りシートの記述ではAは高い関心とSQの回答を示していた。

15回(X+1年1月) WOWW アプローチ5回目

振り返りシート：①⑧②⑧③⑨④⑤⑤⑤⑥⑨⑦②の「なぜを問う力」では、「発酵とはどういう仕組みなのか？」など小さな疑問を持つことができたので8にしました。③の「考える力」では、先生が出した疑問を積極的に解決しようとしたので9にしました。④の「分かって、伝える力」では、自分が持っている疑問を理解してメンターさんに聞くことができたので5にしました。⑤の「みんなと協力して解決する力」では、友達と一緒に顕微鏡の使い方について復習することができたので5にしました。⑥の「学びに向かう力」では、ヨーグルトの作り方が気になったりと色々なことに興味を持てたので9にしました。⑧②の「なぜを問う力」を9にするために、自分が苦手な分野でも積極的に疑問をもてるようになることです。③の「考える力」を10にするために、もっと復習予習をしてある程度の知識をつけるようにすることです。④の「分かって、伝える力」を6にするために、同じ班の人や周りの人と積極的に話せるようになることです。⑤の「みんなと

協力して解決する力」を6にするために、分からないことがあったら自分から聞きに行くことです。⑥の「学びに向かう力」を10にするために、小さなことにも疑問を持つ心をつくることです。

全体のフィードバック：こんにちは。今日授業を見させていただいた藤井です。

今日の授業では、顕微鏡や実験に使う道具が目の前にたくさんあったと思いますが、(中略)特に中学生のみなさんが高倍率でピントを合わせられていたり、顕微鏡でピントを合わせることができた人が他の人に教えてあげることができていたのも良かったです。実験を進める中で分からないところは、持参している教科書で確認したり、メンターさんや同じ机の子、同じ班の子に聞いたりしてきちんと確認できていました。(中略)今回は、タブレットで写真を撮ったり、メモをしたりと、タブレットを上手く使うことができていて、その上で授業の内容をまとめる力が伸びているなど感じました。これまでの授業でみなさんが学んできた力が身についてきていることが伝わってきて、とても素晴らしかったです。

コンプリメントカード：こんにちは。科学の教科書を持ってきていて、確認しながら実験を進めることができていて素晴らしかったです。先生のお話を自分なりにメモしてまとめることができていて良かったです。よろしくお願いします。

Aの考察

Aの記入の特徴としてはSQについて人材像ごとに評価理由と次回目標を詳しく書いていて、積極的姿勢が伺える。SQの評価も高いものが多く、キャンプ(3-4回)についてはほぼ満点となっている。初めてWOWWアプローチを行った第2回においてコーチが「最初先生の話のときにメモを取っていて聞く姿勢がすごいと思いました。スケッチも細かく丁寧にかけられていてしっかり見ていると思いました。今後も先生の話の聞き方や観察し、記録するときにまた続けてみてください」と全体のフィードバックと同様にコンプリメントした。この後の評価理由では『「なぜを問う力」では、昆虫の講義・実習のとき、『なぜ特定のチョウがこんなにいるのか』などと考えることができたので10にしました(3回)』『「なぜを問う力」では、なぜ新聞の作りが決められているのかや、なぜ記事の整理整頓が大切なのか、などを考えられたので8にしました。③の考

える力では、どんな見出しにすれば面白いかな、どんな文が読みやすいかなど、いつもよりたくさんのことを考えられたので10にしました」(5回)といった記述が見られるなどAに次第に考える姿勢が身につき始める記述が増えていた。また、興味は高いものの12回、15回(共に8)は若干落ちており、15回は他の回答も低いものが見受けられるが、コンプリメントカード「科学の教科書を持ってきていて、確認しながら実験を進めることができている素晴らしいかったです」や全体のフィードバックで指摘していることで、次回目標に「②の『なぜを問う力』を9にするために、自分が苦手な分野でも積極的に疑問をもてるようになることです。③の『考える力』を10にするために、もっと復習予習をしてある程度の知識をつけるようにすることです」といった学び続ける目標が見られることはWOWW アプローチのコンプリメントが生徒に効果を表していると考えられる。このように適切にコンプリメントを行うことにより、Aの関心が維持され、積極的姿勢を失わずにいると考えられる。

2. B(小学6年生女子)

初回(X年7月)欠席

2回(X年8月)の振り返りシートの記入 WOWW アプローチ初回

振り返りシート:①8②8③8④8⑤9⑥9⑦⑧いろいろな問題とかが話をよく聞いて分かったし、ゾウリムシを見るときも、協力してできたと思うから。⑧考える力や伝える力について、話を聞いて理解するところまで考えられたら一つ上がれると思う。

コンプリメントカード:こんにちは。スケッチが顕微鏡を見ながら丁寧にかけていましたね。気づいたことを1つだけではなく、たくさん書いてすごいと思いました。今後も観察して記録することがあると思うので、また続けてみてください。よろしくお願いします。

3回(X年8月キャンプ初日)

振り返りシート:①10②4③8④7⑤9⑥8⑦なぜを問う力では、疑問に思うことはあったけれど手を上げて質問することができなかったで少し低めになりました。みんなと協力して解決する力では、昆虫の名前を図鑑で探しているときに意見を聞きながら協力して解決できたので高めになりました。⑧自己評価が低めのなぜを問う力は疑問に思ったことは手を上げて

質問して学習を身につけたらよいと思います。また、手を上げて質問すると、学びに向かう力も数字が一つ上がると思うので、まずは質問ができるようにする必要があります。

4回(X年8月キャンプ2日目)欠席

5回(X年8月)WOWW アプローチ2回目

振り返りシート:①9②8③10④8⑤1⑥9⑦協力して解決するのは今日についてはあまり無かったので低くなった。考える力では、新聞作りで考えながら作ることができたので高くなった。⑧今回の新聞作りだけでなく、協力するときにも相手に分かりやすく伝えられたらいいと思う。

コンプリメントカード:こんにちは。2枚目にいくぐらい下書きがしっかり書いてすごいと思いました。取りかかりがはやく、新聞に書くのものはやかったと思います。これからも気づいたことや考えたことを書くとき、何か作業をするときに続けてみてください。よろしくお願いします。

6回(X年9月)

振り返りシート:①8②9③8④3⑤1⑥10⑦1階の展示室の自由時間に、学芸員の人に質問ができたし、スライドでもたくさんの情報を吸収できたから。⑧分かって伝える力を上げるために、やはり手を上げて発表すると良いと思う。

7回(X年9月)欠席

8回(X年10月)WOWW アプローチ3回

振り返りシート:①9②8③10④8⑤7⑥9⑦考える力では、スケッチを描くときに、書くものをよく見て紙のどこに書いたら絵が収まるだろうかということを考えながら書くことができたので、高い評価になりました。⑧私は、一人で大体のことはやるけれど、その一人で行動することが良くないことになってしまったことがあったので、団体行動のときは、みんなに合わせるようにしたいと思いました。

コンプリメントカード:こんにちは。影の中でもより暗いところと少しだけ暗いところで分けて描けていましたね。屋外でスケッチをするときに、先生が最初に言っていた大まかに描いて後から付け足していくということができていて、話を聞いて実行しているところがすごいと思いました。これからも続けてみてください。よろしくお願いします。”

9回(X年10月)欠席

10回(X年10月)

振り返りシート:①9②8③9④7⑤9⑥9⑦今回の講座では、協力する力が最も重要だと思ったのでグループの人達と協力しながら活動ができたので、協力する力を高く評価できました。⑧分かって伝える力が他の評価より低めなので、次の講座では自分で納得して他の人に伝えていくことを意識したらいいと思いました。

11回(X年11月)欠席

12回(X年11月) WOWW アプローチ 4回

振り返りシート:①8②7③9④9⑤10⑥8⑦今日は、協力したり分かって伝えたりすることが多かったから、そのことを意識して授業が取り組めたから。⑧もっと自ら発表したら伝える力が高くなるので、今度は発表したいし、考える力も次どうなるのかとか先読みをしながら授業に取り組みたい。

コンプリメントカード: こんにちは。先生の話が始まったらすぐ前を向いてしっかり聞けていましたね。甲骨文字を読むときに隣の人と協力しながら進めているのもいいなと思いました。これからは班で協力して何かに取り組むことはあると思うので、続けてみてください。よろしくお願いします。

13回(X年12月)– 15回(X+1年1月)

その後も関心は回によって前後しながらも SQ の回答は変化なく続いた、15回は欠席。

Bの考察

Bは各回により SQ の評価にばらつきがあった。評価理由や次回目標も各人材像にすべて記入するのではなく、評価理由は高いもの、次回目標は低いものと言ったものに限られることが多い。加えて欠席もあり、活動の連続性が得られにくいことも考えられる。

これに対して、初めて WOWW アプローチを行った第2回においてコーチが「スケッチが顕微鏡を見ながら丁寧に掛けていましたね。気づいたことを1つだけではなく、たくさん書いていてすごいと思いました。今後も観察して記録することがあると思うので、また続けてみてください」や「2枚目にいくぐらい下書きがしっかり書いてすごいと思いました。取りかかりがはやい、新聞に書くのものはやかったと思います。これからは気づいたことや考えたことを書くとき、何か作業をするときに続けてみてください」(5回、WOWW アプローチ 2回目)とまとめやスケッチする姿をコンプリメントすることで「学芸員の人に質問ができたし、スライドでもたくさんの情報を吸収できたから」(6回の評価

理由)、『考える力』では、スケッチを描くときに、書くものをよく見て紙のどこに書いたら絵が収まるだろうかということを考えながら書くことができたので、高い評価になりました」(8回の評価理由)といったBになぜ、どうしてと考える姿勢が身につについていったと考えられる。

加えて「班のみんなは『やりましたー?』と言って確認しながら進めていて、チームで協力して話し合っ取り組んでいるなあと思いました。」(2回、WOWW アプローチ初回の全体のフィードバック)「先生の話が始まったらすぐ前を向いてしっかり聞けていましたね。甲骨文字を読むときに隣の人と協力しながら進めているのもいいなと思いました。これからは班で協力して何かに取り組むことはあると思うので、続けてみてください。」(12回、WOWW アプローチ 4回目)といったコンプリメントを行うことで「今回の講座では、協力する力が最も重要だと思ったのでグループの人達と協力しながら活動ができたので、協力する力を高く評価できました」(10回の評価理由)や「今日は、協力したり分かって伝えたりすることが多かったから、そのことを意識して授業が取り組めたから」(12回の評価理由)といった協力する記述が増えていったと考えられる。このようにBの考え、協力する姿勢についてコーチがコンプリメントしていくことで効果的であったと考えられる。

3.C (小学6年生男子)

初回(X年7月)

振り返りシート:①8②7③7④5⑤5⑥8⑦自分の考えを持ちながらどうなるのかは考えたが伝えることや、協力することは自分的に少なかったから。⑧積極的に協力したり「なぜ?」と思う疑問を普段の生活の中からも見つけ出すこと。

2回(X年8月) WOWW アプローチ初回

振り返りシート:①8②7③8④6⑤6⑥7⑦聞いたことを父と母に口で説明できるようになった。⑧自分の課題を見つける。

コンプリメントカード: こんにちは。今日は途中からの参加で大変だったと思いますが、6班のみんなと協力しながら顕微鏡を見ていましたね。班のみんなと協力しながら何かをするのは今後もあると思いますので、次からもまた今日のようにやってみてください。また8月27日も見に来ますのでよろしくお願いします。

す。

3回(X年8月キャンプ初日)

振り返りシート:①10②8③7④7⑤7⑥9⑦⑧いろんなところに疑問をもつようにしたから。⑧みんなと協力して、考えを深めることをする必要があると思う。

4回(X年8月キャンプ2日目)

振り返りシート:①10②9③8④7⑤8⑥9⑦みんなと積極的に話し合うことができた。⑧発表がそんなにできなかったのだから次からは積極的に手を上げたい。

5回(X年8月) WOWW アプローチ2回

振り返りシート:①8②8③8④9⑤7⑥9⑦手を上げることができ、自分の意見を言うことができた。⑧自分の考えがより良くなるために考えをももう一度考え直したり他の視点から考えてみたりする。

コンプリメントカード: こんにちは。先生の話が始まったらすぐにメモをとるようにしていいなと思いました。また、記事の中のキーワードを全ての枠にかけていたところがすごいと思いました。これからは先生の話の聞くときや、書くときに続けてみてください。よろしくお願いします。

6回(X年9月)-11回(X年11月)

その後も振り返りシートの記述ではCは高い関心とSQを維持し、コンプリメントカードでは観察している態度を取り上げていた。7回は欠席。

12回(X年11月)の振り返りシートの記入 WOWW アプローチ4回

振り返りシート:①7②7③8④7⑤8⑥9⑦みんなと話すことができた。⑧自分の考えを前に出す。

コンプリメントカード: こんにちは。話し合いの時に、班の子の意見を聞いてから、自分の意見を言うことができていましたね。また、他の班がいま何をしているのかを見て、やるべきことを判断できているのが素晴らしいです。よろしくお願いします。”

13回(X年12月)-14回(X年12月)

振り返りシートの記述ではCは⑤のSQの回答が他と比べ低くなっていたが、他は高くなっていた。

15回(X+1年1月)の振り返りシートの記入 WOWW アプローチ5回

振り返りシート:①8②7③9④8⑤8⑥9⑦疑問を持ちながら、活動することができたから。⑧自分の考えを伝えたりする。

コンプリメントカード: “こんにちは。タブレットを上手に活用して実験ができていましたね。次の作業に

移る時にはタブレットをしまって切り替えができていてすごいなと思いました。メンターさんにカバーガラスや鉛筆をもらったときに、きちんとお礼を伝えていて素晴らしかったです。よろしくお願いします。

Cの考察

CはSQの評価は全般的に高く、評価理由、次回目標も具体的であった。例えば初回では評価理由が「自分の考えを持ちながらどうなるのかは考えたが伝えることや、協力することは自分的に少なかったから」、次回目標が「積極的に協力したり『なぜ?』と思う疑問を普段の生活の中からも見つけ出すこと」といった記述で簡潔ながらもC自身ができたこととこれからしたいことを明確にしていた。このようなCに対してコーチは「班のみんなと協力しながら顕微鏡を見てましたね。班のみんなと協力しながら何かをするのは今後もあると思いますので、次からもまた今日のようにやってみてください」(2回、WOWW アプローチ1回目)「話し合いの時に、班の子の意見を聞いてから、自分の意見を言うことができていましたね。また、他の班がいま何をしているのかを見て、やるべきことを判断できているのが素晴らしかったです」(12回、WOWW アプローチ4回目)といったグループ活動での協力的な姿勢をコンプリメントした。このようなコンプリメントを受けてCの次回目標の記述に「みんなと協力して、考えを深めることをする必要があると思う」(4回)や評価理由に「みんなと積極的に話し合うことができた」(4回)といったグループ活動の記述が多くなった。このように協力する姿勢を取り上げてコンプリメントすることで、「みんなと協力して解決する力」が身についたと考えられる。

V. 考察

1. スケーリング・クエスチョン

本研究ではジュニアドクター育成塾の各回の取り組みについてSQを用いて振り返ってもらった。本研究での試みでは従来のWOWWアプローチにおける自らの目標設定は行えていないため、ジュニアドクター育成塾が目指す人材像5つをそのままSQとして設定している。SQの活用について考えたい。

Aについては前述の通り、育てたい人材像ごとに評価理由を書いており、丁寧な振り返りができているものとする。次回目標も10に至っていない項目を書

き、明確に次回に意欲を持って、臨んでいけたと考えられる。それゆえにSQも高い評価のものが多く、高い水準を維持できたと考えられる。BやCはAよりは簡潔なものが多いが、SQを行うことにより、講座を振り返っている。参加児童生徒にSQの評価理由や次回目標を書いてもらうことにより、授業の振り返り、省察に繋がっていると考えられる。

しかし、評価項目が多くなっていることで児童生徒が評価理由、次回目標ごとに丁寧に振り返ることが難しくなっている。相模(2015)の大学教育におけるWOWWアプローチに関する実践では学生自ら目標を設定することの重要性が挙げられている。今後は児童生徒自らで目標を設定することでより振り返る事ができる可能性があり、検討が必要になると考えられる。

2. WOWW アプローチ

次に本研究で行ったWOWWアプローチについて検討したい。本研究では従来のWOWWアプローチと比べて、前述した目標設定やフィードバックにコーチが入る回数など簡素な形式で行っており、その効果は限定的なものであると考えられる。しかし個人をコンプリメントカードでコンプリメントすることで児童生徒が意欲を持って次回に参加できるようになっていることが考えられる。Aの事例ではコンプリメントカードでコーチがメモしていることをコンプリメントすることでAに次第に考える姿勢が身につき始める記述がSQの評価理由に増え、「考える力」に影響があったと考えられる。Bの事例ではコンプリメントカードでコーチがメモや話を聞く姿勢、グループで協力している姿にコンプリメントすると、Bになぜ、どうしてと考える姿勢や協力する記述がSQの評価理由に見られ、「なぜを問う力」に影響があったと考えられる。Cについては協力する姿勢を取り上げてコンプリメントすることで「みんなと協力して解決する力」に影響があったと考えられる。Kelly, Liscio, Bluestone-Miller, & Shits(2012)はWOWWアプローチを行うことで報告申告済み欠席数、無断欠席数、遅刻数が少なくなることに於いて有意な結果が得られたと報告しており、本研究の3事例もジュニアドクター育成事業への参加意欲や意志に影響があったと考えられる。

3事例の検討のみであるが、WOWWアプローチでコーチたちが全体、個別にコンプリメントしていくことにより、参加児童生徒が育てたい人材像に向かって努力

するサポートが行えていると考えられる。こうした試みによりジュニアドクター育成塾自体への参加意欲が上がり、そのことが児童生徒自身の関心の偏りをなくし、ゼネラリスト育成への一助につながる事が期待される。本研究の試みでは限定的な関わりであったため、今後は回数を増やして、児童生徒の変化を丁寧に見ていく関わりが求められると考えられる。

3. 今後の課題

本研究の試みではWOWWアプローチについて限定的な介入しか出来ておらず、その効果についても僅かなものと考えられる。しかし、検討する中で児童生徒の変化は確認でき、今後の発展が望まれると考える。今後、1で述べた目標を設定してのSQの実施や2.でのWOWWアプローチの介入の増加に加えて、SQの評価理由と次回目標についてコーチとの個別の振り返りも改善が必要と考えられる。

ジュニアドクター育成事業におけるWOWWアプローチの実践について、今後きめ細やかな実践が必要と考える。

引用文献

- 青柳潤子, 相模健人 (2014): 適応指導教室におけるWOWWアプローチの実践 日本ブリーフサイコセラピー学会第24回熊本大会発表論文集, 48.
- Berg, I. K. (1994): Family Based Service A Solution-Focused Approach. Norton: New York. 磯貝希久子監訳 (1997): 家族支援ハンドブック. 金剛出版. 221.
- Berg, I. K., Shilts, L. (2004): Classroom solutions, WOWW approach. Milwaukee, WI: BFTC Press. ソリューション・ワーカーズ訳 (2005): 教室での解決: うまくいっていることを見つけよう!. BFTC Press.
- De Jong, P., Berg, I. K. (2016): Interviewing for solutions, 4th Edition. Wales: Brooks /Cole, Cengage Learning. 桐田弘江, 玉真慎子, 住吉祐子訳 (2008): 解決のための面接技法 ソリューション・フォーカスト・アプローチの手引き【第4版】. 金剛出版
- 科学技術振興機構 (2015): ジュニアドクター育成塾ホームページ <https://www.jst.go.jp/cpse/fsp/> (2024年2月20日確認)
- Kelly, M. S., Kim, J. S., Franklin, C. (2008): Solution-focused brief therapy in school: A 360-degree view of research and practice. New

York: Oxford University Press.

相模健人 (2015): WOWW アプローチを受けた大学生の授業態度の改善過程 ブリーフサイコセラピー研究 24, 1, 17-25.

関山雅人, 神田恵理, 久能弘道 (2007): 解決志向アプローチの教育現場での応用 (1) - 付属学校における WOWW プログラムの導入と実践 -. 北海道心理学研究, 30, 53.

田島美穂子, 相模健人 (2011): 小学校における WOWW アプローチの効果に関する研究 - 「楽しい学校生活を送るためのアンケート・Q - U」を用いて -. 日本心理臨床学会第 30 回大会発表論文集, 378.

小中学生の科学的探究につながる主体的・対話的で深い学びの教育方法の検討
—「愛媛大学ジュニアドクター育成塾第2段階受講生の研究会」の開発・実践を手がかりに—
A study on educational methods for independent, interactive, and deep learning for elementary and junior high school students' scientific inquiry: Based on the development and implementation of the "Ehime University Junior Doctor Training School 2nd Stage Study Group"

殷爽^{*1}, 向平和^{*1}, 中本剛^{*1}, 加納正道^{*1}, 立川久美子^{*1}

SHUANG YIN^{*1}, MUKO Heiwa^{*1}, NAKAMOTO Go^{*1}, KANOU Masamichi^{*1}, TATSUKAWA Kumiko^{*1}

^{*1}愛媛大学教育学部

^{*1}Faculty of Education, Ehime University

〔要約〕本研究では、愛媛大学ジュニアドクター育成塾第2段階の受講生の研究会（「おむすび研究会」）への開発、実施に対する分析を通して、小学校、中学校の児童生徒の科学的探究における、その主体的、対話的で深い学びの実現ルート、あり方を検討した。「おむすび研究会」は、受講生が交流できる場としてまず設定し、その次にこの場でどのようなイベントを行い、どのような形式で進むことをデザインし、その最終的目標は、受講生らの科学的探究に関する能力を向上させることとなっている。結論として、主体的、対話的で深い学びの実現に対して、本研究は次の2点の建言を述べたい。まず、普段の勉強に役に立つ前提でイベント、学習活動を展開すれば、児童生徒はさらにその主体性を発揮し、対話的で深い学びのモチベーションも高くなる。また、より児童生徒の主体を発揮させ、対話的で深い学びに移行するような意識の形成には、イベントあるいは学習活動の本質的な部分で他領域との接点が見つけられ、このプロセスにおいて他分野の知識、研究の面白さを感じることで、更に主体性を発揮し、対話の頻度も高くなると述べたい。

〔キーワード〕 主体的・対話的で深い学び、愛媛大学ジュニアドクター育成塾、小中学生科学的探究、研究会

I. 問題の所在

2020年に改訂された「小学校学習指導要領」「中学校学習指導要領」では、全学科で児童生徒が持つべき資質能力について「知識及び技能」「思考力、判断力、表現力」「学びに向かう力、人間性」が強調されたことがうかがえる。その中でも、特に「思考力、判断力、表現力」の形成とは抽象的なイメージであり、児童生徒の主体的、対話的で深い学びの姿、更にこの学習の様態を実現するために、授業でどのように工夫するのか、についてよく議論されている。

教科としての理科の目標とは、中学校では「自然の事物・現象を科学的に探究する」ための、いくつかの資質能力を先に育てることである。例えば、観察、実験などに関する基本的な技能、観察、実験などを行うことによる、科学的に探究する力、科学的な姿勢の養成が必要である。小学校では、科学的に探究する能力よりも、問題解決の力と主体的に問題解決しようとする姿勢が強調された。これら、中学校教育で強調された科学的に探究する姿勢、小学校教育で強調された問題解決の姿勢の形成には、まず、どのように児童生徒

の主体的、対話的な深い学びの意識を引き出し、維持し、実現するか、を解明すべきかと考えられる。それに、授業の内外で多様な場を設定し、そこでの教育活動の展開を通じてこの姿勢を形成し、このモデルを探索、開発するプロセスが重要ではないかと考えられる。

「主体的、対話的で深い学び」の実現に関する実践について、先行研究で小野寺（2020）は小学校の理科授業において学級状態別の授業を行い、最終的に、学級状態によって3種類（「不安定型」「親和型」「かたさ型」）の展開がされ、学習内容の理解度が高くなったと解明された。ただし、「主体的、対話的で深い学び」を具体化するために、授業は段階的かつ継続的に実施することも大切である、と指摘された。野内（2019）は、生徒や学校の実態に応じ、多様な学習活動を組み合わせることで授業を組み立てていくことが重要と提唱した。以上で提出された段階的かつ継続的な授業の実施、多様な学習活動の組み合わせについて、具体的にどのような方式で展開するか、についてさらに検討する余地がある。

日本の国立研究開発法人科学技術振興機構が主催

する、ジュニアドクター育成塾というプロジェクトの目標の一つは「高い意欲や突出した能力のある小中学生」を発掘することである。「研究・論文作成における教員などの個別指導、各種機会での発表などにより、創造性・課題設定能力・専門分野の能力を伸長」するという提示により、愛媛大学ジュニアドクター育成塾は、科学および科学技術のみならず、文科系分野や研究倫理に関する内容も含んだSTEAM教育プログラムの開発を特色として実践している。また、総合大学としての機能と優位性を活用し、「学びに向かう力」「科学と社会を結ぶ科学コミュニケーション能力」の育成を目指している。愛媛大学ジュニアドクター育成塾が目指している科学コミュニケーション能力は対話的な学習能力の一つと言え、関連プロジェクトの開発には「主体的、対話的で深い学び」の教育方法に対する示唆もあると考えられる。本研究ではその第2段階の受講生の研究会の開発・実施に焦点を当てて、小中学生が科学的な探究を行う際の、「主体的、対話的で深い学び」の様態を検討することを目的とする。特に2023年度、愛媛大学ジュニアドクター育成塾の第2段階受講生に向けてこの「研究会」が新設され、その開発プロセスから整理できる成功例、反省点は多い。

II. 研究の方法

1. 対象と期間

本研究では、愛媛大学ジュニアドクター育成塾第2段階受講生を対象に開発した研究会を、主要な研究対象とする。愛媛大学ジュニアドクター育成塾には第1段階育成プログラムと第2段階育成プログラムがあり、第1段階の受講生は、毎年40名を募集し、講座を受講する形での基礎的資質・能力として「なぜを問う力」「考える力」「表現する力」「協働する力」を育成する。第2段階への応募資格者は、愛媛大学ジュニアドクター育成塾において第1段階の受講を終了したものとし、毎年10名を募集する。また受講生は、第一段階のプログラムにおける各講座の内容に基づくテーマ、もしくは自分自身で考えたテーマのいずれかを研究計画書として提案し、指導可能な教員をアレンジし、受講生と指導教員とで話し合い、テーマの修正も含めて検討したうえで決定する。

受講生は月に1回、研究活動レポートを提出し、愛媛大学で教員の指導を受け、年度末の3月に開催される閉校式では、第2段階の受講生の研究成果発表会が

ある。また、国内外の学会、カンファレンスでの発表などを通して、受講生である小中学生は研究、科学探究においてその主体性を発揮し、対話的な深い学びを実践している。

第2段階の受講生は愛媛大学の教員と1対1の研究指導が可能で、愛媛大学の研究環境、指導教員の研究室見学、実験室のメンバーからの指導、建言などは、第2段階の受講生に多くの示唆を与えていると考えられる。これは縦軸的な「組織→児童生徒の個体」と「児童生徒の個体→研究組織」の双方向作用が発揮していると同えるが、第2段階受講生は愛媛県内外のそれぞれ異なっている小中学校から採用された児童であり、横軸である第2段階受講生同士のコミュニケーション、交流はまだ気合が少ないという現実がある。これは第2段階のプログラムの改善点であり、探索点でもある。つまり、科学探究活動では、児童生徒の主体的、対話的で深い学びを形成できるあり方として、先述した縦軸の「大学組織、大学研究者→児童生徒」のモデルは実施されている、と言えるため、横軸の「児童生徒→児童生徒」の形で実現できるモデルはあり方として重要である。特に、ジュニアドクター育成塾のような大学と地域の連携、大学と小中学校の連携を前提にした科学探究に関する能力開発、人材育成のプロジェクトの場面ではその独創性があり、未来の社会、教育の制度、方式に向けて、この背景における児童生徒の主体的、対話的で深い学びへの探索、検討にも意義があると考えられる。

上記の期待から、令和5年度のプロジェクトより、本学は「愛媛大学ジュニアドクター育成塾第二段階受講生おむすび研究会」を新設し、定期的に研究会を開催している。

研究会は月1回であり、令和5年の年度末まで合計7回（2023年8月～2024年2月）を開催した。また、研究会の開発においては、理念の設定から授業の準備、受講生への宣伝、募集など全過程に筆者が参与し、担当者として前後約1年間の観察、記録を行った。

2. 分析方法

本研究では、主に研究会の開発に関する資料、7回の研究会の募集状況、募集資料、毎回の研究会の観察記録、研究会に参加した受講生の感想カードに書かれた文章、研究会の理念などへの分析に基づいて論を展開する。最終的には、科学探究における小中学校の児童生徒への教育方法の在り方を解明してみたい。特に、

児童生徒の主体的、対話的で深い学びの意識を引き出す方法を検討してみる。

Ⅲ. 考察

1. 研究会の理念：対話的な深い学びに触れる

先述したように、「おむすび研究会」の開発と設立は当初、愛媛大学ジュニアドクター育成塾の第2段階の受講生の研究、交流方式への補充という趣旨に基づいて試作したものである。第1段階のプログラムが年間15回以上の講座（講座の場は基本座学とし、グループワークなどを通して受講生同士は多様な交流ができる）を開催するのとは比べて、第2段階の受講生同士には基本的に、コミュニケーションの機会、場がない。1年間のプロジェクトに参加しても、他の受講生がどのような領域の研究、実験を行っていることも知ることができない、閉鎖的な研究活動のプログラムとなっている。対して「おむすび研究会」は、科学探究につながるかどうかを優先して考慮せずに、様々な機会、イベントを作って、受講生同士のコミュニケーションのチャンスを増やすことが最初のコンセプトであった。最終は研究会という形で展開することを決め、研究と関わる必要となっている。

一般的な研究会では、講演会、読書会、課題研究、研究発表などのセッションがよく実施される。小中学校の児童生徒に対しては、講演会、読書会などのハードルが高いセッションを避けた。また、受講生の研究テーマと領域はそれぞれ異なっていること、学校の総合的な学習時間、日常的な学級活動、サークルで体験したイベントとはすこし異なるように、最終的に「おむすび研究会」の位置づけを課題研究（実験）、研究発表の道場に定めた。「おむすび研究会」では自分の研究テーマや、興味関心の実験、観察などを口頭発表、スライドを用いてプレゼンテーションする形で、指導教員の意見だけではなく、受講生同士の意見、アドバイスも獲得できると同時に、発表のスキルアップ、知識の増加など、諸能力を向上できる研究会となっている。このことにより、大学教員、大学生との対話だけではなく、他県、他学校、他学年の生徒との対話も自然に形成し、更に学ぶチャンスが増えたと期待している。

加えて、「おむすび研究会」も毎回、分野の専門家である大学教授を招いて、受講生の発表に対して適当な、専門的な意見も提供できるように計画している。

2. 研究会のデザイン、宣伝、参加募集において生徒の主体性に触れる

研究会は月1回開催し、土曜日の午後1時から4時までの時間を設けた。図1で示したように、研究会の参加は受講生の自主申請という形で、募集期間を2週間用意している。

「おむすび研究会」への参加は、受講生の主体性を発揮するように自主的参加と設定し、初回の約1ヶ月から、宣伝・通知した。特に、7月の開校式でチラシを配布し、Slackのチャンネルでも通知を配布した。

また、各回では多様な内容で、発表の練習以外にも科学的探究意識を向上させ、科学研究の基礎知識も貯まるように、最初の1-3回目の研究会では、座学、学習タイムも設定した。これも児童生徒の主体的学習を支援するために開発したプログラムの一環である。



(略称：むす研)

愛媛大学ジュニアドクター育成塾第2段階受講生おむすび研究会

【趣旨】 本研究会はジュニアドクター育成塾の第2段階の受講生をメインの対象として開催します。その目的は研究を通じた交流と、受講生のプレゼンテーション能力を向上させることです。同時に、参加者が着実に研究を計画・実践できるよう、研究構想発表会、研究中間発表会のセッションを設定しています。また、愛媛大学教育学部のオープンラボ教室を活用し、各自の実験を行うことも可能です。参加については自由です。



【時間】 月1回、土曜日午後13時～16時
【形式】 研究発表 or 実験実施
【場所】 愛媛大学教育学部 2号館 1階・オープンラボ教室
【申し込み】 Slackの「第2段階受講生2023」のチャンネルで参加申し込みのGoogle Formを、各回の実施2週間前まで連絡しますので、そちらからお申し込みください。ご都合がございましたら、事前申し込みなし当日参加も可能です。

【スケジュール】
1回目 2023年8月26日(土)
①オリエンテーション:趣旨説明、自己紹介、注意事項など
②研究の前奏曲: テーマ1 科学論文、レポートの書き方について (担当 加納正道先生)
テーマ2 科学とは何か、問いと仮説のたて方について (担当 股爽)
2回目 2023年9月16日(土) ①研究の前奏曲第2弾:面白い発表とは? (担当 股爽)
②研究構想発表
3回目 2023年10月7日(土) 発表会 or 実験タイム
4回目 2023年11月4日(土) 中間発表会
5回目 2023年12月16日(土) 発表会 or 実験タイム
6回目 2024年1月20日(土) 発表会 or 実験タイム
7回目 2024年2月17日(土) 開校式発表会の準備
【お問い合わせ】 愛媛大学ジュニアドクター育成塾
担当者: 股 爽(インソウ) Tel: 089-927-9491 E-mail: in.so.cl@ehime-u.ac.jp

図1 宣伝段階の研究会ポスター

7月の開校式では、新設「おむすび研究会」の趣旨、参加に関する説明について、受講生と保護者からの問い合わせも受付した。「興味深い」「どのように参加申請できるか」「オンデマンド形式で参加することは可能か」「2回目以降から参加してもいいか」のような確認、相談に対応した。

児童生徒がその主体性を発揮し、対話できる場面の作成においては、その主体性を引き出すために、前述の案内、宣伝が必要だったが、児童生徒がどの程度理解できるか、イベントでどんなことが行われるか、自分は何か学べるか、という細かい部分まで、児童生徒が理解できるようにする必要があると考えられる。効果的なイベントを展開するためには、これらの宣伝、案内段階からの質の保証も必要である。

研究会の参加に関して、児童生徒が気軽に申請できるように、Google form のアドレスをバーコード化し、携帯電話で申請できるようにした。また、募集フォームの調査項目も簡易にした。「名前」「研究テーマ」だけを必須回答とし、それ以外に自由回答の項目も用意した。ここには事前連絡、例えば、「学校があるため、すこし遅刻する」「途中退室する」のような連絡事項がよく書かれた。また、「研究テーマを変更したい」「有効な研究の進め方、データの集め方について教えて欲しい。」「学校の機材や薬品を使わせてもらいたい時はどのようにしたら良いか？」のように研究、実験に関する悩み、質問が書き記されていた。このような形式は口頭よりも述べやすいようで、児童生徒にモチベーションがあれば、自己的に発問するスペースとなっていた。小中学校の児童生徒に対して、その主体性を引き出すためには、口頭での対話の前に、まず研究に関する悩み、はっきりしていない内容、課題を書けるスペースを用意するのも重要ではないかと考えられる。口頭での意見表明、質問の提出は、子どもに対して難しい面もある。多様な方式を通じて、児童生徒それぞれが最も得意な方式を選び、表現できるように準備することが主体性を引き出し、対話的で深い学びを実現するための基礎的な部分だと思われる。

また3回目以降は、自主的な発表・報告希望の項目、「発表の形式」「発表目安時間」の欄も参加調査票に追加した。

3. 実践中に考察できた主体性とその特徴

「おむすび研究会」の開発、新設は、受講生のコミュニケーション強化がその主な目的である。最終目標は研究会を通じて、科学探究に対する理解、興味関心、モチベーションを向上させ、早期に身の回りに対する思考や、自主的な探究能力を形成することを望んでいる。

以下の表1のように、初期3回の研究会では座学の

部分も設定した。講義は科学研究入門レベルの基礎知識、規範、一般的な進み方などの内容を用意した。また、研究会で求められる科学への探究心、科学研究の基礎能力の育成に対して、「科学とは何か」「問と仮説のたて方」「科学論文、レポートの書き方」「文献講読」、更に研究活動の重要な発表のスキルアップがその第一歩だと考えられ、初期の1-3回目では、座学でこのような内容を講義した。

一方、座学部分の講義内容は、日常の学校で学んだ「研究」「実験」に関する知識と異なり、小中学校の児童生徒の発達段階を少し超えて、まず学部1年生への研究入門と紹介に相当する内容を実験的に講義した。それと同時に、例えば、発表のスキル、研究の仮説検証の部分では、日常の学校の授業で行われる研究、実験でも活用できるように、受講生が理解できるレベルに工夫していた。理解しにくい研究に関する理論、分野を問わない科学研究の基礎部分を詳しく説明し、学校ではまだ取り扱わない、例えば科学の本質など、科学の特徴などの部分をクリアにできるように、座学の部分には力を入れていた。このような理念は、愛媛大学ジュニアドクター育成塾のプログラムが本来、大学と小中学校、地域の連携に貢献するために展開したプロジェクトである属性があるため、「おむすび研究会」は基本的な理念も大学と小中学校の連携を効果的に促進できるようにデザインしていた。これに基づいて、学校の勉強にとって役に立つ側面もあることが受講生のモチベーションと主体性を引き出す重要な一環であると思われる。学校の日常での学習でも、ジュニアドクター育成塾での研究の展開で効果的に子どもの探究心と意識を向上させるのが大事であると考え、研究会では座学の部分を設定していた。そして、児童生徒の主体的、対話的で深い学びを実現するための場とイベントの設定においては、特に科学的探究とつながる際、この場で学んだ知識や、スキルなどが各学科、または日常の学習、更には受験勉強にも役に立つ教育方法の開発と設定が必要である、という提案を本研究で提起したい。

研究会の座学に対する受講生の感想カードには、以下のような評価があった。

「レポートの書き方など、今までは何となくこんな感じみたい書き、段々と改良しえいくみたいな感じだった・・・今回の研究会で受けた内容があって、も

「やもやしていた部分が少しすっきりした」(受講生より)

「これまでコロナの影響で特に第2段階の人たちとの交流はなかったが、いろいろな研究について知る機会ができて、本当にありがたいと感じた」(受講生より)

「『常になぜを考える』という言葉が印象に残った。部活などの学校生活と研究の両立のためにも必要なことだと思う」（受講生より）

「今回の会でこれからの研究がとても進めやすくなったと思います。なぜなら、今回参加したメンバー達一緒に研究の悩みを言い合ったりして、互いにのことを知って、困っているのは自分だけではないだと思いい気持ちになりました。研究で大切なのは「成功すること」と「どうやって成功できたか」ということも分かりました」(受講生より)

「おむすび研究会を通して、他の人の考えていること
 と思っていることが分かりました」（受講生より）

「レポートや発表では、対象者だれにでもわかりやすく、見て聞いていて楽しくすることが大切であるとわかりました。ジュニアドクター育成塾の研究だけで

なく学校などでも今日の研究会を活かして研究発表
をしていきたいです。(受講生より)

上記の感想文より、1-3 回目の研究会の座学段階で、研究会において児童生徒の対話的で深い学びが実現できる様子も考察できた。研究会の属性と作用には、研究の悩み相談、研究成果と心配ごと、失敗の経験などを共有できる場として存在の意義があり、受講生に自信を与え、科学的探究への思考が深まり、その意識を持ち始めたことが研究会の最たる意義かと考えられる。

表1の記録のように、第3回目から発表の募集を開始し、発表の形式、内容、時間などの規則を2回目で説明したが、初回は不安ながらも4人が発表を申請してくれた。当日の参加者6人の中で、4人は自分の研究進捗、普段自分で行っている実験を報告した。一人あたり20分を与えたが、7分以内に発表が終わる児童、15-20分間をかけて研究の成果と悩みを報告する児童生徒もいた。発表の後は、受講生全員からの質疑と発表の応答など、参加教員からのコメントを含めて、さらに15分間を用意した。

表1 研究会の実施

日付と回目	テーマと内容	発表者人数/参加者人数
1 回目 2023 年 8 月 26 日	①オリエンテーション：趣旨説明，自己紹介，注意事項など ②研究の前奏曲： テーマ１ 科学論文，レポートの書き方について テーマ２ 科学とは何か	0/10
2 回目 2023 年 9 月 16 日	①研究の前奏曲第 1 弾（継続）：問いと仮説のたて方について ②研究の前奏曲第 2 弾：面白い発表とは？ ③研究構想発表の準備について説明	0/9
3 回目 2023 年 10 月 7 日	①研究の前奏曲第 3 弾：文献検索方法，基礎文献講読（英語論文，日本語論文） ②発表会	4/6
4 回目 2023 年 11 月 25 日	発表会	4/6
5 回目 2023 年 12 月 16 日	発表会	3/4
6 回目 2024 年 1 月 20 日	最終発表会のリハーサル①	3/4
7 回目 2024 年 2 月 17 日	最終発表会のリハーサル②	6/6

4回目以降、毎回の研究会では発表者が3-6人いた。また、参加だけの受講生はとても少なく、発表するために研究会に参加する児童生徒が多いと考察できる。

受講生の主体性を発揮するために、研究会には参加自由と設定し、基本的に児童生徒の自分の意思、ニーズ、興味関心により、毎回の研究会に参加するかどうかを

決めるようにした。そのうえで、合計7回の研究会すべてに参加した受講生は一人であり、それと同時に、毎回頑張って研究の進捗状況を報告した。また、6回参加した受講生もさらに一人いた。今年度の第2段階の受講生には、2年目、3年目と研究を続けた受講生もいたが、研究会に参加する受講生はほぼ第2段階のプログラムに初めて参加していた。2年目、3年目の受講生と比べて、研究とは何か、実験をどのように開始するか、などについてはまた入門段階である。そのため、研究会に参加するモチベーションが高く、科学的探究への意識が強いとみられる。

実践中、2年目、3年目の受講生は研究会への参加頻度は高くなかったが、初年度の受講生が2年目、3年目の先輩受講生との対話の機会を設けるために、学会での発表経験を持っている受講生、長期間、愛媛大学ジュニアドクター育成塾の第2段階プロジェクトに参加する受講生への発表依頼も実施した。また、初年度の受講生からは先輩のような発表、スライド、研究を実施したいという感想があった。

「先輩のお手本（発表）を見て、あんなふうにまとめたいなと思いました」（受講生より）

研究会の途中、他の受講生の発表に対して参加した受講生の意見には、発表スキル、スライドの作成術、アドバイスに関するものが多かった。研究のテーマ、問題意識、実験データの記録、研究の対象に対するアドバイスを提出した児童生徒も多い。研究会の場では、人数が少ないため、学校の授業のような緊張感があまりなく、正式な発表会のような審査など厳しさもないため、受講生は気軽に、多く発言できた。

そのため、基本的なルールだけは守って、実際の授業より少し開放的な、小人数の雰囲気を先に作っておくことで、児童生徒の主体性を更に引き出せるように考察できた。また、話しやすい時間帯、セッションを設定することも大事である。

研究会の場での受講生同士の指摘、刺激、示唆も児童生徒の研究に対するモチベーションを向上させる良いきっかけと言える。

「研究会で、皆さんがどう研究して、どうまとめているのかがわかり、とても参考になりました。また研究の途中、筋の通った研究をできるよう、今日の研究会

で学んだことを生かし、よりよいものにしていきたいです」（受講生より）

「今回は、他の人の進行を知ることができ、アドバイスもいただくことができました。自分が気づかなかった問題も見つけられました」（受講生より）

「自分のプレゼントを発表した時も、自分では気づかなかったことなどいろいろ知れて…人が少なかったので、発表しやすかったです」（受講生より）

自分の研究だけでなく、発表、プレゼンテーション術など、他の受講生の資料を参照し、自分のスライドを調整し、クリアにもできる。これは発表の能力を形成するとともに、他人にわかりやすく自分の研究を説明し、その重要性を児童生徒が意識できたことが研究会実践の効果的な部分である。このような意識の形成も、小中学生の科学的探究への意識、特に主体的、対話的で深い学びの方法の探索の成果とも言える。これは研究会を通じて、他の受講生の研究、実際には他の分野、領域の研究モデル、対象、あり方と自分の研究分野との接点を見出した影響による、自発的な行為も自然に発生した。そして、児童生徒の主体的、対話的で深い学びを促進するために、単一の科目、分野、領域の学び、検討だけでは足りなく、可能であれば他分野、他領域の知識、現象との連合的な学習、探索の機会を作るのが実現の一つの手段ではないかと考えられる。学校の中での教科科目の一つでも、他分野の観点、内容を持ちながら、本科目の学習を展開し、児童生徒の主体的学習に対する、ある程度の効果があるかもしれない。

「発表してみて、少しは早口になりすぎたり、次のスライドへ速く行きすぎたりしているなと思いました」（受講生より）

「他の人の発表も聞かせていただき、背景をつけないといけないと思いました。…また、画像も少なく、表の説明も少ないなどと思いますので、工夫してつくりたいなと思いました」（受講生より）

「他人の研究を聞いて、自分と同じ所や、使えるスライドの方法の仕方もあったので、いい機会となりました」（受講生より）

IV. おわりに

本研究では、愛媛大学ジュニアドクター育成塾第2

段階の受講生の研究会への開発、実施に対する分析を通して、小学校、中学校の児童生徒の科学的探究における、その主体的、対話的で深い学びの実現ルート、あり方を検討した。まず、本研究で扱われた分析対象である愛媛大学ジュニアドクター育成塾第2段階のプログラムは本来その特殊性を持っている。第2段階のプログラムは、まず受講生らはそれぞれ異なる学校、異なる学年から集まっている集団であり、それぞれ研究の領域、指導者の愛媛大学の教員もそれぞれ異なる領域の研究者であった。この前提で、今年度から開発、実施した「おむすび研究会」は、受講生が交流できる場としてまず設定し、その次にこの場でどのようなイベントを行い、どのような形式で進むことをデザインし、その最終的目標は、受講生らの科学的探究に関する能力を向上させることとなっている。さらに、この開発理念、実施プロセスは現在よく議論されている児童生徒の主体的、対話的で深い学びの在り方と相当している部分があり、主体的、対話的で深い学びの方式の探索に対する、ある程度の示唆がある。

結論として、主体的、対話的で深い学びの実現に対して、本研究は次の2点の建言を述べたい。

まず、教科外、学校外の学習や活動・イベントを通じて、他の科目、受験勉強、部活動、学校での自由研究活動などに対してどのようなプラスがあるのか。つまり、普段の勉強に役に立つ前提でイベント、学習活動を展開すれば、児童生徒はさらにその主体性を発揮し、対話的で深い学びのモチベーションも高くなる。

また、より児童生徒の主体を発揮させ、対話的で深い学びに移行するような意識の形成には、イベントあるいは学習活動の本質的な部分で他領域との接続点が見つけられ、このプロセスにおいて他分野の知識、研究の面白さを感じることで、更に主体性を発揮し、対話の頻度も高くなると述べたい。

ただし、今年度で開発した愛媛大学ジュニアドクター育成塾第2段階「おむすび研究会」は、その開催回数が少ない。毎回の研究会で他分野の大学教員、研究者の参与、更に内容的な意見を提出できれば、受講生の科学的探究能力、意識もさらに変えられるかと思われる。

児童生徒の主体的、対話的で深い学びへの示唆はさらに愛媛大学ジュニアドクター育成塾の場だけではなく、受講生の所属学校内で行われるイベントとの比較も展開すれば、論としての信憑性がさらに高くなる

かもしれない。これは今後の課題として検討する。

付記・謝辞

愛媛大学ジュニアドクター育成塾は JST ジュニアドクター育成塾事業の支援を受けて実施しました。

文献

小野寺正己 (2020) : 「主体的・対話的で深い学び」を目指した学級状態別の授業実践—小学校理科において—, 教育カウンセリング研究, Vol. 10 No. 1, 19-29.

野内頼一 (2019) : 主体的・対話的で深い学びの実現に向けた授業改善—科学的に探究するために必要な資質・能力の育成を目指して—, 化学と教育, 67 巻1号, 8-11.

文部科学省 (2017) : 小学校学習指導要領, 94.

文部科学省 (2017) : 中学校学習指導要領, 78.

国立研究開発法人 科学技術振興機構 (2023) : 令和5年度ジュニアドクター育成塾パンフレット, 2,10.

愛媛大学ジュニアドクター育成塾 (2023) : 愛媛大学ジュニアドクター育成塾・受講生選抜要綱

愛媛大学 (2023) : 令和5年度ジュニアドクター育成塾業務計画書, 1.

数学学習における構成的な学習と教授的な学習による学習経験の定着に関する比較研究（Ⅱ） ー 小学校第5学年「速さ」と中学校第1学年「最短経路の作図」に 関する1年後調査結果について ー

A Comparative Study on Fixation of Learning Experience through Constructive Learning and Instructional Learning in Mathematics Class (II)

○吉村 直道

YOSHIMURA Naomichi

愛媛大学教育学部

Faculty of Education, Ehime University

【要約】 本研究の目的は、学習者同士の話し合いを重視した「構成的な学習」と教師による解説を中心とした「教授的な学習」の二つについてそのそれぞれの優位性を整理することである。小学校第5学年の「速さ」と中学校第1学年の「最短経路の作図」において、令和3年度、それぞれ構成的な学習と教授的な学習で取り組んだ学習者たちに、1年後、その学習経験がどのように捉えられているかを3つの項目（授業記憶の自信度、学習内容の理解と問題解決の実効性、授業内で問題解決にいった根拠の定着）に分けて調査した。その結果より、授業内で問題解決に至った根拠の定着については、学習内容に複雑さや捉えにくさがないものであれば、構成的な学習の方が肯定的な反応が多く、学習内容に複雑さや捉えにくさがある場合は教授的な学習の方が肯定的な反応が多いことが確認できた。

【キーワード】 数学教育学、構成的な学習、教授的な学習、学習経験の定着、速さ、最短経路、パネル調査

I. 研究の概要と本稿の位置づけ

1. 研究の目的

筆者は、学習は基本的にコミュニケーションを通して展開されると考えており、学習者同士の話し合いを重視した「構成的な学習」と、教師による解説を中心とした「教授的な学習」を通常の学習単元の教育活動に取り入れ、そのときの学習内容が数年を経てどの程度記憶に留まり、そのときの学習経験がどのように変容しているかを、小・中学生に対して調査する。そうした調査を通して、学習経験の定着の観点から義務教育段階での構成的な学習と教授的な学習の効果を比較し、それぞれの優位性を整理することが、本研究全体の目的である。

2. 研究の全体計画

本研究は、ある国立大学の附属小・中学校に協力を依頼した。多くの児童が同じキャンパスの附属中学校に進学することを活かし、小5～中1の児童生徒を対象に「数と計算」「数と式」「図形」「変化と関係」「データの活用」といった多様な領域の学習内容について、特設授業として異なる方法で学習した学習者が1年から3年といった時間経過のスパンの中で、どのように

その学習経験が印象に残り定着しているかをアンケートにてパネル調査するものである。その研究計画は、次の表1の通りである。

表1：研究の全体計画

	時期	学年	題材	特設授業(クラス数)			パネル調査		
				R3	R4	R5	R4	R5	R6
1	6月	小6	分数の除法			3			1年後(中1)
					3				2年後(中2)
				3					3年後(中3)
2	11月	小5	部分平均から 全体平均			3			1年後(小6)
					3				2年後(中1)
				3					3年後(中2)
3	11月	小6	比例のグラフ			3			1年後(中1)
					3			1年後(中1)	
				3			1年後(中1)*		
4	12月	中1	最短経路の 作図			4			1年後(中2)
					4			1年後(中2)	
				4			1年後(中2)		
5	1月	中1	柱体の体積			4			1年後(中2)
					中止				中止
				4				2年後(中3)	
6	2月	小5	速さ			3			1年後(小6)
					3			1年後(小1)	
				3			1年後(小6)		

※No.4, 6の太字部分が本稿

*吉村(2023)にて発表済み

本稿ではとくに、表1中のNo.4・6に記述している令和3年に特設授業を実施し、令和4年にアンケート調査した研究結果について報告をする。

なお、表1中のNo.5に黄色で強調している部分は、特設授業の協力依頼した学校の諸事情により実施することが出来ず中止したことを表す。

3. 本稿の目的

本稿では、小学校第5学年の「速さ」と中学校第1学年の「最短経路の作図」において、令和3年度、それぞれ2つのタイプの授業、構成的な学習と教授的な学習で取り組んだ学習者たちに、1年後、その学習経験がどのように捉えられているかを明らかにする。

II. 調査方法とその結果

1. 2つの特設授業の要件

特設授業において、二つの方法、構成的な学習と教授的な学習に取り組む。その二つの方法の違いとしては主として、教師から疑問詞を用いた発問の後、考える間（ま）をとり学習者に考えさせるまでは同じであるが、その後、構成的な学習では、学習者からの回答を基本として授業を展開するのに対し、教授的な学習では、学習者からの回答の機会を特に設けず教師がそれについての考えを説明し授業を展開するところにある。ただし、構成的な学習において、すべて学習者からの回答で授業を展開すると、授業時間内に学習内容がおさまりきらなかったり、当初予定していた授業目標、学習内容に迫ることができなかったりするため、適宜、授業者は介入しクラス全体での了解、確認を取りながら授業を展開していくことを基本とした。

＜本研究での構成的な学習の要件＞

- ・発問→問→学習者からの回答
- ・教師による介入は有り

＜本研究での教授的な学習の要件＞

- ・発問→問→教師による説明

特設授業の授業者は、中高の数学科教諭として12年の経験をもつ本研究の実施者である筆者が行った。日常の学習内容を利用しての特設授業であるので、学習内容に大きく差が出て協力校の日常の教育活動に悪影響が及ぶとともに、異なる学習方法でなければ比較研究できないことから、研究協力校側からの視点と

研究側からの視点とを総合的に判断しながら常に特設授業の展開を柔軟に変化させていかねばならないため、研究の実施者が特設授業を行った。

特設授業の基本情報は、表2の通りである。

表2：特設授業の基本情報

单元名	実施年月日	学年	クラス	参加人数	学習の別
最短 経路	2021年12月13日	中1	1W	31	教授型
			1X	30	
	2021年12月14日		1Y	31	構成型
			1Z	30	
速さ	2022年2月24日	小5	5Z	30	教授型
			5X	32	
			5Y	29	構成型

2. 特設授業の実際

a. 最短経路の作図（中1）

授業展開の概略は、次の通りである。

（ねらい）対称移動を利用して、作図で折れ線の最短経路を求めることができる。

（展開）

1. 直線ℓと直線ℓ'に対して同じ側に2点A、Bがあるとき、 $AP+PB$ を最短にする点Pを直線ℓ上に見つけるとい問題場面を共有し、点Pが直線ℓ上を点A側から点B側へと動くとき、 $AP+PB$ の長さはだんだん短くなりだんだん長くなることに気づき、唯一1箇所、その値を最小にする点Pが存在することに気づく。
2. 問題を解決するために、簡単な場面から考え、最短の経路について整理する

①（直線ℓがないとき）

まずは、直線ℓ上の点Pを考えなくてもよいとき、つまり2点A、Bだけのときを考える。その場合は、直線で結ぶのが最短であることを確認する。

- ②ア（直線ℓに対して点A、Bが反対側にあるとき）
- 基本、直線で結ぶのが最短であるので、点A、Bを直線で結び、その直線と直線ℓとの交点を点Pとすればよいことを確認する。

- ②イ（直線ℓに対して点A、Bが同じ側にあるとき）
- 同じ側にあると、どうしても折れ線で結ぶようになり、対象としている長さが長くなったり短くなった

りして難しいことを実感する。

3. 解決の手がかりとして、対象としている $AP+PB$ の長さを変えないことなく、二つの点を直線 l に対して反対側にすることができれば、直線で考えることができることを共有し、「長さを変えないまま、点 B を反対側にすることはできないか？」と発問する。

4 (教授型).

考える間をとって、教師から、直線 l を対称の軸として点 B を対称移動して点 C をとると、

$BP=CP$ となる。このことから $AP+BP=AP+CP$ となり、 $AP+CP$ が最短になるとき、つまり、点 A , P , C が一直線上にあるとき、 $AP+BP$ も最短になることを確認する。

4 (構成型).

4 人の小グループにしてグループで考え、グループのアイデアをかいた A1 判シートを黒板に貼り、クラス全体で検討をした。実際には、かきかたや説明の程度(式の有無など)の差はあるものの、どのグループも点 A か B を直線 l に対して対称移動して点 P の位置を求め、最短経路を見つけ出していた。代表して一つのグループがクラス全体に向けて説明をして、その構造を理解した。

5 (教授型・構成型共通).

最短となるアイデアに基づいて、全員、コンパスと定木で正しく作図した。

6. 作図した図を対象として、最短となる説明を改めて正しく表記し、授業を終えた。

b. 速さ (小5)

授業展開の概略は、次の通りである。

(ねらい) 算数として平等に比べるための速さを求めることができる。

(展開)

1. 3 頭の動物 (カンガルー、キリン、ダチョウ) がそれぞれ 200m を 10 秒, 160m を 10 秒, 160m を 7 秒で走ったとき、どの動物がいちばん速いか考える問題場面を共有する。

2. 速さに注目したとき、何がわかるか問う。

①走った時間が同じなら、走った道のりが長い方が速いから、「キリンより、カンガルーが速い。」

②走った道のりが同じなら、走った時間が短い方が速いから、「キリンより、ダチョウが速い。」

時間と道のり、どちらかを同じにすることによって速さが比べられることを整理し、いちばん速いのはキリンかダチョウのいずれかであり、キリンがいちばん遅いことを確認する。

3. ここで授業者から「でも、キリンは自分の方が速いって言っているよ」とゆさぶり発問を投げかける。そして、それぞれの走る様子を授業者が音で表現し、走っている具体をしっかりとイメージして、なぜキリンがそのようなことを言っているのか想像するように促す。

カンガルー：びょーん、びょーん、びょーん、……

キリン：さ、さあ、さあ、さー、さあ、さあ、さ、(無音)

ダチョウ：だ、だ、だ、だ、だ、だ、だ、だ、……

4. 「3 頭の動物はどのように走っていますか?」「スタートのときに速いのは誰?」「ゴールのときに速いのは誰?」「まん中くらいで速いのは誰?」「みんなはどの時点のスピードを見て比んでいるの?」など問いかけ、3 頭の走り方のなかにいろいろなスピードがあり、どこに注目するかでも速い遅いの判断は異なる可能性があることに気づかせる。

5. 「与えられた道のりと時間の情報だけで、算数として、どのようにして平等に速さを比べたらよいか?」を授業のねらいとして共有した。そして、「刻々と異なるスピードをもっている速さをどのようにして比べればよいか?」改めて発問した。

6 (教授型).

授業者から「スタート時も、途中の時も、ゴール時もどこのスピードに注目しても変わらないと考えられる動物は誰か」考えさせ、3 頭がすべてカンガルーのように一定のスピードで走ってくれていたら、どこで比べても速い遅いの結果は変わらないことに注目させ、実際の刻々と変わるスピードは無視して、結果としての道のりと時間だけで考えることにする。

7. カンガルーは 10 秒間、キリンは 10 秒間、ダチョウは 7 秒間、等速で走ったと仮定すると、子どもたちにとって時間で等分する発想は比較的簡単で、1 秒

間あたりそれぞれ 20 m, 16 m, 22.9 m 走ることがわかり、かつ、スタートでも、途中でも、ゴールでもどこに注目していたとしてもダチョウが速いと判断することができることを理解する。

6 (構成型).

実際には児童たちから、最小公倍数の考えを利用して、時間をそろえたり、道のりをそろえたりして比べればよいというアイデアが出たが、時間や道のりを変えて果たして同じように走れるかわからないし、どこかのスピードに注目するかで前の状況と同じく速い遅いの判断は変わるので、問題解決になっていないし、「与えられた条件で比べないと平等ではないし、長くなったらスタミナのあるダチョウが有利になるかもしれない」などの意見がだされ、議論が停滞する。

7. 授業者が「どこが難しさを生み出しているのだろう?」「一つの走りの中にいろいろなスピードが考えられることが問題なんだよね。だったら、どうしたらいい?」と改めて投げかけ、「同じ速さで走ってくれればいい」と気づかせる。
8. 「カンガルーのように、同じペース、同じスピードで走るとすると、同じ速さがあると考えて、時間で等分すればいい」というアイデアをみなで共有する。

9 (教授型・構成型共通).

刻々とスピードが変わる走りに対して、算数の速さとして平等に比べるために、等速で走っていると仮定して比べるから、道のりを時間で等分して速さを求めることをまとめる。

10. 練習問題に取り組んで、授業を終える。

3. 1年後調査

a. 中2 アンケート調査 (最短経路の作図)

2021 年 12 月、中学 1 年生に対して行った特設授業「最短連結の作図」に対する、1 年後のアンケート調査を、中学 2 年生を対象に行った (表 3)。

表 3 : 中 2 アンケート調査の基本情報

単元： 最 短 経 路 の 作 図				
実施年月	クラス	回答数	計	学習の別
2022 年 12 月	旧1W	22	49	教授型
	旧1X	27		
	旧1Y	28	55	構成型
	旧1Z	27		

アンケート調査では、質問①：1 年前の授業を覚えているかと、質問②：最短経路を正しく選択できるかと、質問③：なぜその経路が最短であるかの 3 項目を質問し確かめた。下記に、その具体をそれぞれ記述する。

まず質問①の 1 年前の授業の印象の強さ、記憶の自信度についてである。実際の質問と用意した 4 つの選択肢が図 1 である。

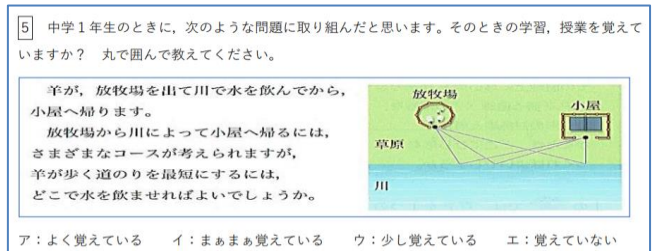


図 1 : 中 2 アンケート調査の質問①

次に、質問②である。1 年経過した後でも、最短経路を正しく選択できるかを問うたものである。

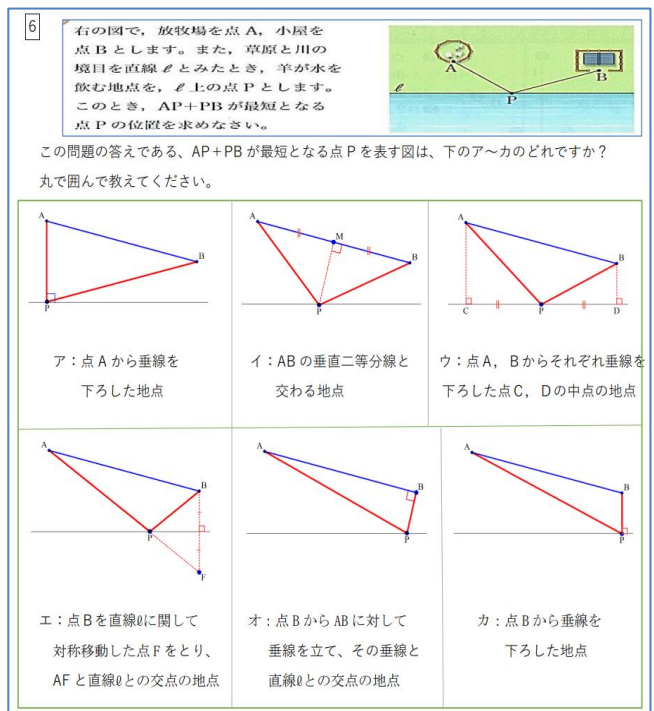


図 2 : 中 2 アンケート調査の質問②

最後に、質問③である。実際には「問 6 の答えについて、なぜそれが最短となるか、その理由を教えてください。」と問い、記述式にてその回答を求めた。

b. 小6 アンケート調査（速さ）

2022 年 2 月，小学 5 年生に対して行った特設授業「速さ」に対する，1 年後のアンケート調査を行った（表 4）。

表 4：小6 アンケート調査の基本情報

単元：		速　　さ		
実施年月	クラス	回答数	計	学習の別
2023年 1月	旧5Z	29	59	教授型
	旧5X	30		
	旧5Y	26	26	構成型

前述と同様にアンケート調査では，質問①：1 年前の授業を覚えているかと，質問②：速さを正しく理解しているかと，質問③：なぜ速さは

$(道のり) \div (時間)$ で求めることができるのかについての 3 項目を質問し確かめた。下記に，その具体をそれぞれ記述する。

まず質問①の 1 年前の授業の印象の強さ，記憶の自信度についてである。実際の質問と用意した 4 つの選択肢が図 3 である。

⑤ 5 年生のとき，「速さ」の授業の最初の授業を大学の先生が行いました。そのときの授業をどの程度，覚えていますか？ 丸で囲んで教えてください。

ア：よく覚えている イ：まあまあ覚えている ウ：少し覚えている エ：覚えていない

図 3：小6 アンケート調査の質問①

次に，質問②である。1 年経過した後でも，速さについて正しく理解しているか，そして正しく速さを求めることができるかを図 4，5 のように問うた。

⑥ 速さを求める公式（ことばの式）を書いてください。

(速さ) =

図 4：小6 アンケート調査の質問②の 1（公式）

⑧ 次の速さを求めましょう。

2400m を 2 分間で進んだ自動車の分速は？

(式)

(答え)

図 5：小6 アンケート調査の質問②の 2（問題解決）

最後に，質問③である。実際には速さを求める公式をことばの式として答えることができるか問うた質問の後，「なぜそのような公式で速さを求めることができるか，説明してください。」と問い，記述式にてその回答を求めた。そして，図 6 のように問い，1 年後の現在，「 $(道のり) \div (時間)$ で求めた速さは，どんな速さを表すものか？」を尋ねた。

⑨ 前問 8 で求めた速さは，どんな速さを表すものですか。

次のア～ヘの中から，自分の考えにあてはまるものを，すべて丸で囲んで教えてください。（複数回答可）

ア：スタートしたときの速さ イ：走っているまん中くらいのときの速さ
ウ：ゴールしたときの速さ エ：一定のスピードに落ち替いたときの速さ
オ：走っているときの速い遅いを同じ速さになるように平均した（ならした）速さ
カ：最も遅いときの速さ キ：最も速いときの速さ
ク：スタートから 1 分たったときの速さ ケ：スタートから 2 分たったときの速さ

図 6：小6 アンケート調査の質問⑨（根拠）

III. 結果と考察

2 つの特設授業「最短経路の作図」（以下，「作図」と省略）と「速さ」に対するそれぞれの 1 年後調査である中 2 アンケート調査と小 6 アンケート調査の結果をともに示しながら，本節でその考察に取り組む。

1. 授業記憶の自信度について

質問①において，特設授業の印象の強さを授業記憶の自信度として問うた結果が次の表 5，図 7 である。

表 5：1 年後の授業記憶についての自信度

自信度	教授型				構成型			
	最短	速さ	最短	速さ	最短	速さ	最短	速さ
ア	16	12	32.7%	20.3%	20	9	36.4%	34.6%
イ	26	18	53.1%	30.5%	23	11	41.8%	42.3%
ウ	4	24	8.2%	40.7%	9	3	16.4%	11.5%
エ	1	3	2.0%	5.1%	3	3	5.5%	11.5%
無回答	2	2	4.1%	3.4%	0	0	0.0%	0.0%
	49	59	100%	100%	55	26	100%	100%

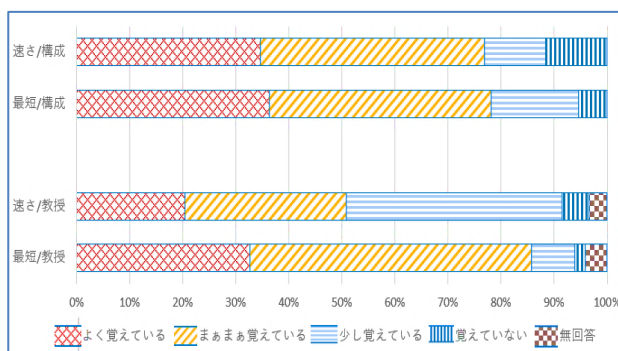


図 7：1 年後の授業記憶についての自信度

選択肢アが肯定的な回答であり、エが最も否定的な回答である。図7より、異なる単元の実践であるにもかかわらず、構成的な学習においてはほぼ変わらない傾向で自信度の強度は現れており、肯定的な反応（ア・イ）がいずれも80%弱であり好結果を得ていることが特徴である。この結果は、吉村（2023）の小学6年生を対象に行った特設授業「比例のグラフ」の1年後調査の結果（肯定的な反応77.3%）とも整合的である。

教授的な学習による授業の印象の強さについて、特設授業「作図」の肯定的な反応（ア・イ）は構成的な学習よりも多いものの、特設授業「速さ」については肯定的な反応（ア・イ）は構成的な学習のものよりも大きく少ない。そして、教授的な学習において、わずかではあるが無回答が3.4%現れていることも特徴である。

構成的な学習では、学習者たちの積極的な関与によって授業が展開されるためか、好印象かつ授業が想起しやすいと考えられ、授業の印象については肯定的な反応が安定して高いのではないかと考えられる。一方で、教授的な学習では教員の説明によって教員の理解を基盤として自分たちの理解を構成しないとイケないために、理路整然と自分にとって納得のいく学習になっていれば、その授業は好印象で想起しやすいものになっているであろうし、逆に、自分にとって腑に落ちた学習になっていなければ、その授業の印象も悪く想起できない状態になると考えることができる。

2. 正しく問題解決できるか

次に、知識・技能の評価に関わる質問②についてである。1年後でも正しく最短経路の作図を選んだり、正しく速さを求めることができたりするかについて問うた結果が、表6、図8である。

表6：問題解決の結果（知識・技能）

問題解決	教授型				構成型			
	最短	速さ	最短	速さ	最短	速さ	最短	速さ
正解	46	55	93.9%	93.2%	55	24	100.0%	92.3%
誤答	2	4	4.1%	6.8%	0	1	0.0%	3.8%
無回答	1	0	2.0%	0.0%	0	1	0.0%	3.8%
	49	59	100%	100%	55	26	100%	100%

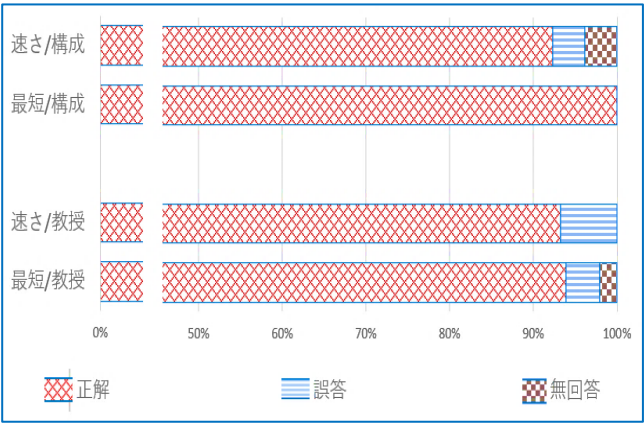


図8：問題解決の結果（知識・技能）

ただし、構成型の正解数24には、立式と計算は $2400 \div 2 = 1200$ と正しく書きながらも最後の答えを「1200分」としている1名の回答も速さについては理解していると推測され正解に含めている。誤答については、立式を $2400 \div 120$ として秒速を求めているものがほとんどである。分速を求める問題であったため、ここでは誤答と処理している。

図8を見てわかるように、最短経路の問題解決において構成的な学習の方が、1年後でも全員が正解を選択するという特徴を確認できたが、問題解決の出来については二つのタイプの学習ともにほぼ同様の傾向であり、ともに高い割合で1年後でも正解に至っていることが確認できる。

また、特設授業「速さ」だけ、「道のり÷時間」という速さを求める公式を1年後でもどれだけ正しく答えられるかを調べている。その結果が表7、図9である。

どちらも高い割合でその定着が確認されたが、公式の定着においても構成的な学習で全員が正しく反応できていることが特徴的である。

表7：速さの公式の定着

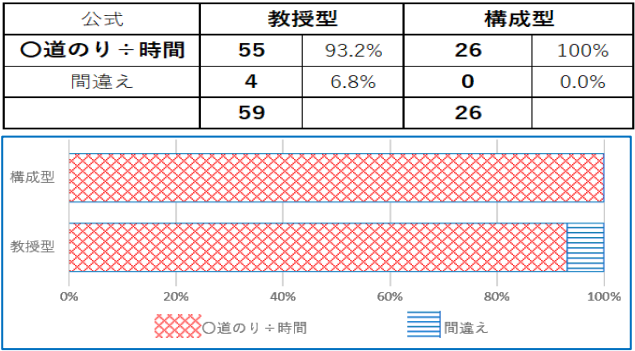


図9：速さの公式の定着

3. 問題解決にいたった根拠の定着について

質問③について、「作図」の授業で、なぜその経路が最短であるのか、「速さ」の授業で、なぜ速さは

(道のり) ÷ (時間) で求めるのかその根拠を尋ねた結果が、表 8、図 10 である。

「作図」では、授業で共有した根拠が「3 点 A, P, C が一直線になるときが最短」というものでありそれと同様の説明を記述していたものを「○」, 「BP=CP だから」と部分的には正しいものの正確な説明にはなっていないものを「△」, 「最短になることを記憶している」や「こんな作図をしたから」と最短になる直接の説明にいたっていないものを「×」とした。

「速さ」の授業では、「時間で等分した道のりで考えるから」「単位時間あたりにどれくらい進むかを求めるから」などの回答を「○」とし、単に「平均だから」は「△」, 「公式だから」などは「×」とした。

これらの結果から、「最短経路の作図」では、授業で共有した根拠（「○」に該当）は、構成型の方が高い割合で回答されており、誤った根拠や無回答の割合は教授型の方が多いことがわかる。

ところが「速さ」はその逆で、授業で共有した根拠（「○」に該当）は、教授型の方がわずかであるが 6.9% 多く、誤った根拠や無回答の割合は構成型の方がわずかであるが 4.7% 多い。

加えて、速さの 1 年後の捉えを明確にするため、選択式で回答をしてもらった結果が、表 9 である。

授業で議論していた刻々といろいろなスピードがある走りを等速と仮定して捉え、算数としての速さを考える言わば平均としての速さを、1 年後も明確に回答できているのは教授型の方が多いことが、表 9 よりわかる。

速さは加法性を有しない内包量と呼ばれる量であり、児童にとって捉えにくい量であり、その理解や学

習自体に困難さを有するものである。大差はないものの、学習内容に複雑さや捉えにくさがあるものについては、構成型よりも教授型の方が根拠の定着としてはよいのかもしれない。単元の内容や実際の授業のやりとりの展開や盛り上がり方によっても、根拠の定着は変わってくると予想される。

表 8：問題解決に至った根拠の定着

根拠の定着	教授型				構成型			
	最短	速さ	最短	速さ	最短	速さ	最短	速さ
○	39	29	79.6%	49.2%	51	11	92.7%	42.3%
△	0	1	0.0%	1.7%	2	1	3.6%	3.8%
×	2	26	4.1%	44.1%	0	12	0.0%	46.2%
無回答	8	3	16.3%	5.1%	2	2	3.6%	7.7%
	49	59	100%	100%	55	26	100%	100%

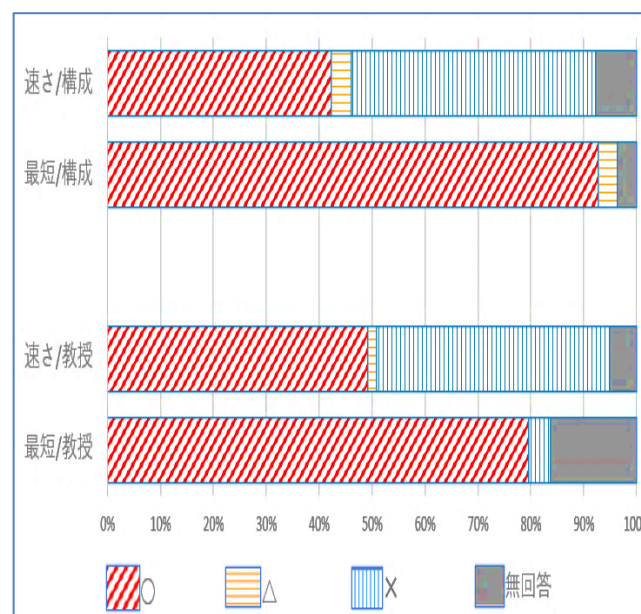


図 10：問題解決に至った根拠の定着

表 9：1 年後の速さの捉え

学習 の別	人 数	ク ラ ス	ア スタート		イ 真ん中		ウ ゴール		エ 一定		オ 平均		カ 最遅		キ 最速		ク 1分後		ケ 2分後	
教授型	59	X組	4	10.2%	7	23.7%	5	15.3%	11	35.6%	17	61.0%	1	1.7%	3	5.1%	9	30.5%	7	22.0%
		Y組	2		7		4		10		19		0		0		9		6	
構成型	26	Z組	1	3.8%	10	38.5%	3	11.5%	15	57.7%	14	53.8%	0	0.0%	1	3.8%	10	38.5%	7	26.9%

IV. まとめと課題

以上のように、「最短経路の作図」と「速さ」の授業における学習経験の定着について、1 年経過した上で授業記憶の自信度、学習内容の理解と問題解決の実効性、授業内で問題解決に至った根拠の定着の3つの側面から考察した。その結果、それぞれ2つ、1つ、1つの主張を、今回の特設授業に限定されるものではあるが導出することができた。

<授業記憶の定着>

- R1：異なる単元の実践であるにもかかわらず、構成的な学習における授業記憶の自信度は、ほぼ変わりがなく、肯定的な反応が比較的高い。
- R2：教授的な学習では、教師の説明が自分にとって納得がいくものであるか否かで、その授業が好印象で想起しやすいものとなるかそうでないかが決まると想像され、授業記憶の自信度について否定的な反応の割合も出やすいと考えられる。学習内容に難しさがあるような場合は特にその傾向は強いのではないかと考えられる。

<学習内容の理解と問題解決の実効性について>

- U1：簡単な問題解決においては、二つのタイプの学習ともにほぼ同様の傾向で問題解決できており、ともに高い割合で1年後でも正解に至っている。

<授業内で問題解決に至った根拠の定着について>

- T1：どちらも僅差ではあるが、学習内容に複雑さや捉えにくさがないもの（「作図」）については、根拠の定着は構成的な学習の方が肯定的な反応が多く、学習内容に複雑さや捉えにくさがあるもの（「速さ」）は、教授的な学習の方が肯定的な反応は多い。

学習経験の定着については、構成的な学習、教授的な学習いずれもその反応の出方に大きな違いはなく、似たような傾向の結果となることについては、吉村（2023）の結論と整合的である。今回、二つの単元の比較考察であり、学習内容に複雑さや捉えにくさがあるか否かで、わずかではあるが、二つの学習のタイプでその効果は変わる可能性があり、複雑さや捉えにくさがある場合は、教授的な学習の方が学習経験の定着においては良いのではないかとということが示唆され

た。本研究においては、他の単元についても今後、計画的に調査することになっており、それらの検証を引き続き行っていきたい。

しかしながら、特設授業の実際のやりとりや展開の盛り上がり方によっても学習経験の定着は変わると予想されるとともに、基本、対象の集団に限定される考察であることから、これらの主張はすぐに一般化できるものではない。

複数の単元、複数の集団において、丁寧にその臨床的な学習過程の報告を積み重ね、一般的な主張を導出していく努力が必要である。他の単元、他の集団で時間経過した学習経験の定着状況を確認することを通して、これらの仮説の検証をしたり、他の仮説が考えられたりすることはないか、調査を重ねていきたい。

謝辞

本研究において、特設授業の実施とアンケート調査に協力をいただきました小学校、中学校のみなさまに感謝申し上げます。

付記

本研究の一部は JSPS 科研費 JP20K02888 の助成を受けたものです。

引用・参考文献

- 岡本和夫他（2021）、『未来へひろがる 数学1』、数学705、啓林館。
- 清水静海他（2020）、『わくわく算数5』、算数508、啓林館。
- 吉村直道（2019）、「数学学習における構成的な学習と教授的な学習による理解の定着についての比較研究（4）—2ヶ月後、半年後、1年後、2年後、3年後の変容に注目して—」、全国数学教育学会第51回研究発表会発表資料、2019年12月15日。
- 吉村直道（2023）、「数学学習における構成的な学習と教授的な学習による学習経験の定着に関する比較研究（I）—小学校第6学年「比例のグラフ」に関する1年後調査結果について—」、愛媛大学教育学部、『愛媛大学教育学部紀要』、第70巻、pp.83—89。

中学生の力学概念学習におけるコンピューターシミュレーションの活用の効果 Effectiveness of Using Computer Simulation for Middle School Students' Learning of Mechanics Concept

○吉村聡貴^{*1}, 隅田学^{*1}, 掛水高志^{*1}, 佐藤栄治^{*1}

YOSHIMURA Satoki^{*1}, SUMIDA Manabu^{*1}, KAKEMIZU Takashi^{*1}, SATOU Eiji^{*1}

^{*1}愛媛大学教育学部,

^{*1}Faculty of Education, Ehime University,

【要約】本研究は中学第三学年, 仕事とエネルギーの単元学習において, 生徒が扱うことができる操作が簡単な力学シミュレーション教材を開発し, それを用いた授業の学習効果を検討することを目的とした. 中学校理科の力学概念の学習においては, 物理現象を生徒自身が制御することを通して, 科学的な視点や思考力・表現力・判断力を養うことも重要である. 日常生活で発見した課題を解決していく取り組みを学習内容として取り扱い, 急速に科学技術が発展していく社会の中で貢献していく人材の育成へとつなげる要素を授業に取り入れた. 授業実践に基づく結果と考察から, 自ら条件を整理して力学シミュレーションを制御することで, 生徒は収集したデータから根拠を示しながら, 仕事とエネルギーには密接な関係があること発見したことから, 力学シミュレーションは生徒が科学的な深い考察するための促進剤になるということが分かった. これまでコンピューターシミュレーションの多くが高等学校の理論学習で多く活用されており, 中学校理科の力学分野での実践例は少ない. 本研究の結果より, 力学シミュレーションの活用が, 科学的な資質・能力を中学生に獲得させるための一助になりえるということが分かった.

【キーワード】課題発見力, 課題解決力, 力学シミュレーション, 主体的・探究的な学び

I. はじめに：研究の目的

現在, 中学校では理科離れする生徒が全国的に増加しており, 科学に対して否定的な意識を持つ生徒が以前より多くなってきている.

令和4年度全国学力・学習状況調査 調査結果資料【全国版/中学校】(国立教育政策研究所, 2022)によると調査の対象となった国語・数学・理科の三教科において最も正答率が低かったのは理科であり, 学習領域別に正答率を分類すると, 最も得点できていなかった領域は「エネルギーを柱とする領域」であり, これは物理学にかかわる内容である. その他の領域については, 得点率の高い順に「生命を柱とする領域」, 「粒子を柱とする領域」, 「地球を柱とする領域」であった. このような結果になった理由として, 物理学の領域では光や音, 力やエネルギー, 電気など目に見えない事象を扱うことが多く, 実験を行ったとしても着眼点が分からないことや, 授業を聞くだけでは具体的にイメージするのが難しいということが挙げられる.

加えて, 同資料に記載されている生徒の理科学習に対する意識調査アンケートの結果について一部紹介する. 「理科の勉強は好きですか」や「理科の勉強は大切だと思いますか」, 「理科の授業で学習したことは,

将来, 社会に出たときに役に立つと思いますか」という三つ質問に対して“当てはまる”, “どちらかといえば当てはまる”と回答した生徒の合計は全体の60%以上であり, 肯定的な意見を持つ生徒は一定数いるということが分かった. 一方で「将来, 理科や科学技術に関係する職業に就きたいと思いますか」という質問に対しては“当てはまる”と解答した生徒の合計は全体の約20%にしか満たなかった. このことから, 生徒は理科や科学技術に対して学校教育の段階では肯定的に捉えているが, 実際に自分の将来の夢や目標など, キャリア教育の視点から考慮したときには, 科学と関わっていきたいと考える生徒は少ない.

次に, 近年のギガスクール構想における生徒のICT機器の活用状況について, 小中学校の学習指導に関する調査2021 中学校版基礎集計表(ベネッセ教育総合研究所, 2022)から, 生徒の一人一台端末活用の実施状況について知ることができた. ICT機器を活用して行っている学習内容とその頻度に関する設問で分かったことは, インターネットを用いた情報収集や実験を行うときの記録としての動画や写真の撮影, 結果と考察などの意見を整理して学級で共有することには比較的高い頻度で活用されていた, しかし, 資料・作

品を作成することやシミュレーションを用いた取り組みに対しては ICT 活用の頻度は低い結果であった。学校教育で一人一台端末が標準設備になる中、生徒自身でコンピューターを制御して科学現象を再現したり、データを収集して科学的な解析をしたりする「シミュレーション」の活用が見られていなく、そもそもそういった授業実践があまり行われていないことが分かった。「シミュレーション」を活用した学びは、より探究的な課題解決学習の一つと考え、まずはその開発に着手することにした。

以上のことから、操作が簡易で生徒が直感的に扱うことが可能な、力学的な解析を行うことができるシミュレーション教材を開発し、その学習効果について検討することを本研究の目的とする。

II. 先行研究の特質と課題

中学校理科のエネルギーを柱とする領域における、コンピューターシミュレーションを用いた授業実践に関する先行研究について調べたところ、力と運動などの単元、凸レンズによる回折などの光の単元での研究報告を見つけることができたものの、「仕事とエネルギー」の単元を取り扱い、実際に生徒に制御させる教材はほとんど見られなかった。

Processing という物理シミュレーション教材を用いた凸レンズの授業研究の論文(吉田氏ら, 2020)では、物体と凸レンズの距離、凸レンズとスクリーンの距離を自由に生徒自身が変えることができ、光路がその都度表示されるシミュレーションであり、光源から出た光の光路を求める問題を実施したところ、生徒の作図能力が大きく向上していた。学力としてのスキルとその意義を統合したシミュレーションが求められることが分かった。

「力と運動」単元として、Error-based Simulation を用いた授業実践研究(今井氏ら, 2008)では、生徒が画面上で自由に物体を生成し、どの方向から力を加えるのかを設定でき、加わっている力を表示できるシミュレーションが活用されていた。物体を重ねたり並べたり、その座標も設定できるが力の大きさなど画面上で数値化されている部分は少なく、従来の理科実験のような集めたデータから法則や規則性を見出すといった数学的・物理学的な考察の材料が少ないシミュレーションであった。このことは PhET というシミュレーション教材を活用した授業実践(國仲氏ら, 2018)でも同

様だった。しかし、定性的な科学概念の学習としては非常に高い効果が示されていた。授業前後に実施するテストと3カ月後に実施する遅延テストの三つの試験で学力を評価した結果、3カ月後も授業内容の8割以上を覚えていることが分かり、生徒に根深く内容が残るということがわかった。自らシミュレーションを制御して学習する方法は、生徒にとって印象的で頭に残りやすいということが分かる。その他、宇宙旅行シミュレーションを活用した事例研究(磯本氏ら, 2000)でも、高校生対象ではあるが人工衛星の打上げとドッキング、月や火星旅行といったシナリオの中で、ニュートン力学の応用場面を体験できるシミュレーションを使って、生徒の興味関心を最大限に引き出すことにより、長期間にわたって授業内容を忘れさせないことに成功していた。

最後に、最も本研究と内容が類似している実践論文として、物理シミュレーションでブランコの運動の軌跡を追跡することでエネルギーの変遷を考察するという実践(野崎氏ら, 1993)があった。ここでは、ブランコのひもの長さを変数として単振り子の運動方程式をコンピューターが数値的に解き、ブランコの位置を次々とディスプレイ上に描かせるようにしていた。また、そのブランコには人が乗っていることを想定し、ブランコに周期的な力が加わるように設定されており、より現実世界の挙動に近くなるように工夫されている。このシミュレーションでは、生徒はひもの長さだけに注目すればよく、操作は簡易で、遊び感覚で行えるという点を高く評価した。課題としてはエネルギー変遷のグラフや各点における高さや速さの数値が表示されず、生徒が自らデータを収集して規則性を導くといった、振動のメカニズムを理解するという観点に難点がある。

先行研究から分かったこととして、コンピューターシミュレーションは目には見えない現象のイメージ化を行うことに長けており、実際に物体を運動させ、その軌跡をたどりながら、物的なデータを収集・解析する取り組み、数値やデータをグラフや表にまとめ、そこから規則性を見出させるための教材として適切である。一方で、力学解析が可能なシミュレーションを導入しようとする、その分、操作や表示も難しくなる。このため高校での理論学習にシミュレーションが用いられている例が多かったのではないかと考えた。また、WEB 上のものは数値化や法則の発見を目的とす

る授業にはあまり適さないが、生徒の興味関心を引きだす点で非常に優れている。

Ⅲ. 研究の方法

本研究の力学シミュレーションの開発には新興出版社啓林館の「interactivePhysics」というソフトウェアを活用し、下図1のような滑らかな斜面を下り降りて摩擦のある床の上を移動してやがて運動が停止する運動を再現した。

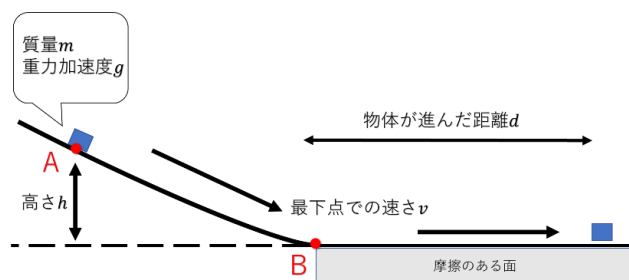


図1：取り扱う物理現象

注意事項として、物体の初期位置(高さが最大の点)を点 A、斜面の最下点(物体の速さが最大の点)を点 B とすること、斜面では摩擦は0であり、床の上のみ摩擦が働くということである。このように設定した理由は、仕事とエネルギーの関係を理解させる上で、力学的エネルギーの保存が成立する箇所とそうでない箇所を、生徒自身がシミュレーションを通して気づいてほしいという狙いがあったためである。

また、授業実践を行ったのち、このシミュレーションの効果について、知識・技能、思考力・表現力・判断力、主体的に学びに向かう態度の三つの観点からアンケートを実施し、生徒の理解度や学習意欲を調査した。表1はアンケートの質問の一覧である。

この質問に、「当てはまる」「どちらかといえば当てはまる」「どちらかといえば当てはまらない」「当てはまらない」の四つの選択肢で回答させた。問1~8は知識・技能に関する設問、問9~13は思考力・表現力・判断力に関する設問、問14~19は主体的に学びに向かう態度に関する設問である。問20と21は自由記述となっており、力学シミュレーションに対する印象や生徒の意見やアイデアを問うものとなっている。

表1：生徒用アンケートの質問内容

1.物体の質量が大きくなると物体の持つ運動エネルギーはどうなるのか理解できた。
2.物体の位置が高くなるほど物体の持つ位置エネルギーはどうなるのか理解できた。
3.運動エネルギーと位置エネルギーは移り変わっていくということが理解できた。
4.摩擦が働いていない斜面では、力学的エネルギーの保存が成り立っているということが理解できた。
5.摩擦が働くときと働かないときの運動の違い、及び摩擦力の力の方向が理解できた。
6.滑り降りる物体の持っていた力学的エネルギーは最終的に何に変換されたのか理解できた。
7.滑り降りる物体に対して摩擦力が「仕事をする」ということはどういう意味なのか理解できた。
8.科学において一般的に「仕事をする」とはどういう意味なのか理解できた。
9.力の方向や大きさ、物体の運動の様子を頭の中でイメージしやすくなった。
10.物体の持つエネルギーが移り変わっていく様子を頭の中でイメージしやすくなった。
11.力と運動、仕事とエネルギーについて自分の考えや理解したことを他者に伝えることができると思う。
12.力と運動、仕事とエネルギーの因果関係について、理由や根拠をもとに説明できるようになったと思う。
13.その他の物体の運動を分析するとき、どこに着目すればよいのか予測がつくと思う。
14.力学シミュレーションは日常生活の力学的な現象を理解するための道具として役立つと思う。
15.コンピューターシミュレーションは科学的な課題を解決するための道具として役立つと思う。
16.さらに詳細な条件を加えて力学シミュレーションを使ったらどのような運動になるのか気になった。
17.力学シミュレーションを休み時間や家庭学習などの授業以外でもっと使ってみたいと思う。
18.授業の振り返りやテスト前の復習などに力学シミュレーションを使いたい。
19.仕事とエネルギーの内容を学習するとき、力学シミュレーションを使うと全体として理解しやすかった。
20.今回使った力学シミュレーションは他にどのような現象に活用できると思いますか。
21.今回の授業で感じたことや意見を教えてください。

1. 教材化の視点

今回の力学シミュレーションの開発に活用したソフトウェアの特徴として、下の図2に示された様々な物理因子を簡単なつまみの上下操作で調整・制御できるということが挙げられる。

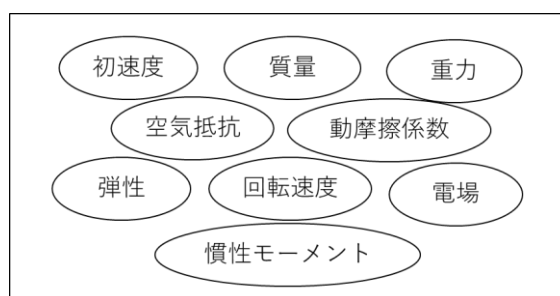


図2：つまみで制御可能な物理条件

当然、シミュレーションではこれらの物理条件が同じである場合、得られる結果は必ず同じであり、複数回の試行において誤差は完全に0になる。このシミュレーションの教材化において、仕事とエネルギーの関係について特に焦点化をするため、実際に生徒が扱うシミュレーションの画面には質量と床の荒さ(動摩擦係数)のつまみのみを表示させた(下図3)。また操作をより単純化させるために、その他の操作する箇所としてはシミュレーションの「実行ボタン」と初期位置に

物体を戻す「リセットボタン」の二つのみとし、四ヶ所のボタン操作だけでシミュレーションを制御できるようにした。

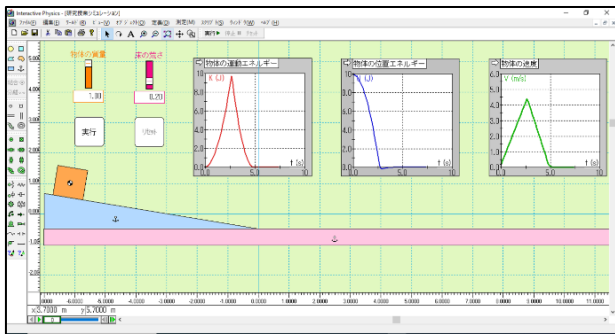


図3：デバイスに表示される
実際のシミュレーション画面

図3内の三つのグラフについて、全て横軸は時間を示す。左側の赤色グラフは縦軸を物体の運動エネルギーとし、中央の青色グラフは縦軸を物体の位置エネルギー、左側の緑色グラフは縦軸を物体の移動速度を表している。シミュレーションを実行することで、各エネルギーと速度の時間変化のグラフが自動的に描画される仕組みとなっている。

質量の調整つまみと運動する物体の色を橙色、床の荒さの調節つまみと床の色を桃色、斜面は青色、背景を緑色と色分けを工夫した。摩擦力が働く面とそうでない面の説明を行う際、便宜上の理由で斜面の色も変更した。さらに画面下部に定規を設置し、物体が床の上をどのくらいの距離を進んで停止するのか一目で分かるようにした。

2. 実践の概要

2023年12月6日に松山市内の公立中学校三年生を対象に32人学級を2クラス、合計64人の生徒に授業を行った。生徒の学習状況としては、「エネルギー」を柱とする領域は既習内容であり、中学校理科で学習する物理分野は一通り学んでいた。本実践授業の目的は、力学シミュレーションを用いたデータの収集とグラフの作成を通して、力学的エネルギーの特徴および、その保存と仕事との関係を理解することとした。学習課題を「力学的エネルギーはどこへ行ったのだろうか?」と設定し、生徒自身がこの課題を解決する糸口を発見できるような発問を行った。実践した授業の活動内容(下図4)について、本授業は3人1班

のグループ活動を基本として力学シミュレーションを扱った。

導入	1 既習内容の確認 (7分)	・力学的エネルギーの復習 (1)運動エネルギーと位置エネルギーの特性 (2)力学的エネルギーの保存の法則 (3)仕事をするとはどういうことか ・本時で取り扱う問題の提示	・既習事項や期末テストを踏まえて確認する。 ・物体の座標と各点における物理量に留意させる。
	展開	発問【力学的エネルギーはどこにいったのだろうか?】	・操作方法の説明に留意する。
展開	2 シミュレーションの実施 (20分)	「予想」持っていたエネルギーはどうなってしまうのか考える。 「実施」質量を自由な値に設定し、独立変数を床の荒さ、従属変数を進んだ距離としてシミュレーションを実施。 「結果」実験データを表に書き込み、グラフを作成させる。	・ブレーキで火花を散らす電車を例に挙げる。
	3 力学解析と考察 (15分)	・結果を解析して、根拠を基にした説明を行う。 (1)各種エネルギーが最大なとき物理量はどうなっているか。 (2)保存されているところとされていないところはどこか。 (3)抵抗力(摩擦力)が大きいほど進む距離はどうなるか。 (4)失った力学的エネルギーの行方を説明できるか。	・教科書の仕事に関する資料を示す。
結び	6 振り返り (8分)	発問【保存されない力学的エネルギーの行方は?】 ⇒摩擦力が仕事することによってエネルギーが奪われた。 ⇒他のエネルギーに変換された。	

図4：実践研究の活動内容

シミュレーション実践の流れについては、まず各班で運動物体の質量を特定範囲内($m = 0.1 \sim 1.0$ [kg])で自由に決めさせ、床の荒さが0.1, 0.2, 0.3のそれぞれの場合において、物体が床の上を進む距離 d [m]と、点Aでの位置エネルギー、点Bでの運動エネルギーと速度を調べ、収集したデータの考察を通して、仕事とエネルギーの関係を見出していく取り組みを行った(下の写真1~3)。



写真1：生徒がシミュレーションを行う様子



写真2：各グループの話し合いの様子



写真3：生徒による発表の様子

授業で扱ったワークシート左部(図5)のグラフ1とグラフ3を作成させた理由は、斜面上における物体の力学的エネルギーは床の荒さとは関係はないが、点AB間(斜面上)で力学的エネルギーが保存していることをグラフから気づかせるためである。

また、図5内のグラフ2も同様の理由に、運動エネルギーの特徴をつかむために必要であると考えたため用意した。またグラフ1〜グラフ3は各班によって直線グラフの位置が異なるが、質量が違うことによって力学的エネルギーの総和が班によって異なるということに気づかせ、グループ発表で発言させる狙いがある。最後のグラフ4は唯一、他の3つのグラフとは異なる軌跡となり、床の荒さと進む距離の関係に注目させ、本実践の学習課題を解決するための有力な材料として目立つように工夫した。

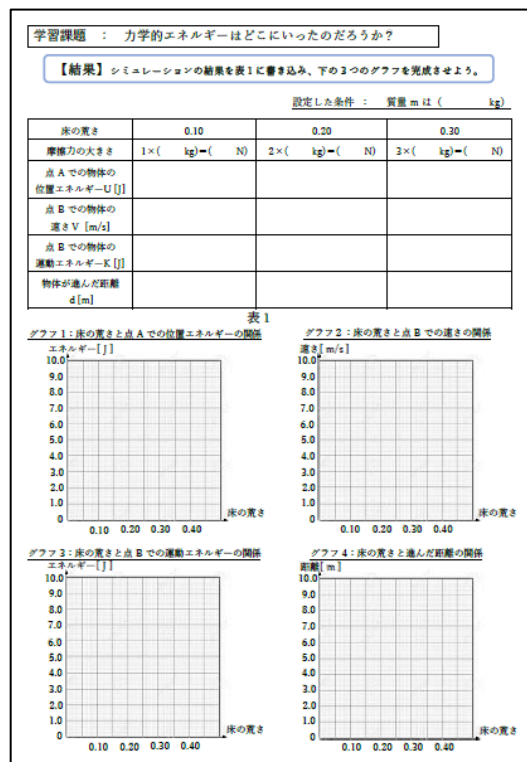


図5：ワークシート左部

ワークシート右部(下図6)に関しては、話し合い活動を通して各班で設問に解答させ、グループ発表で意見の共有を行った。これら設問への解答の様子から力学シミュレーションを活用することによって生徒の思考力・表現力・判断力にどのような効果があるのか調べた。

【結論】 結果の表やグラフを参考にして、物体の運動の解析と考察をしよう。

(1) 力学的エネルギーの保存の法則が成立している箇所とそうでない箇所を探そう。またそのように考えた理由を、根拠を示しながら説明してみよう。

(2) 運動エネルギーや位置エネルギーの特性と関係について気づいたこと・分かったことを、シミュレーション結果を踏まえて自由に書いてみよう。

(3) 床の荒さまたは摩擦力の大きさと進む距離の関係から、床と物体の仕事のやり取りについて、根拠を示しながら説明してみよう。

挑戦してみよう!!

(4) 下の写真のように、レールの上を走る電車が急ブレーキをして、車輪とレールの間でパチパチと火花を散らしながらやがて停止した。電車の持っていた力学的エネルギーは何に変換されているか、あなたの考えを書きましよう。

図6：ワークシート右部

IV. 結果と考察

本授業では授業風景の記録として動画撮影を行ったが、その中の生徒の様子として肯定的な発言と否定的な発言がそれぞれ記録されていた。肯定的なものとしては、「面白い」「楽しい」「こんなことができるんだ」「次はこの設定でやろう」といった興味関心や好奇心を表す意欲的な声であった。一方で、否定的なものとしては「何をしたいのかわからない」「注目する点がわからない」といった、シミュレーションの操作方法や手順、データの収集などの授業進行に関する声がいくつか挙がっていた。

前掲の写真3は、力学シミュレーションを活用して作成した表とグラフから力学的エネルギーの総量が、床のした仕事の大きさと一致していることに気づいた生徒がそのことを発表している様子である。このように、エネルギーと仕事という異なる単元の理解を関連付けて考察した生徒がおり、本授業の学習課題

の解決に直結する物理学的な視点を発見することができていた。

授業の進行上、シミュレーションで誤差がないことは強みの一つであると感じた。力学シミュレーションを使った後、質量の設定が同じであった二つのグループで結果が完全に一致しており、グループ発表の際に円滑な意見共有を可能とした。実験とは異なり、誤差を考慮しなくてよいことはシミュレーションの活用に関して特筆できる点である。

研究授業の後に実施したアンケートの調査結果を実施クラス別に整理して図7と8に示す、縦軸は選択肢の回答の割合、横軸は設問番号を示している。

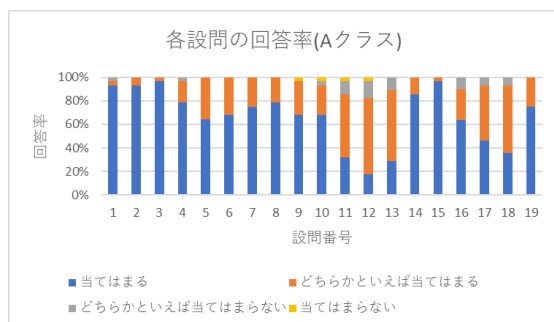


図7：アンケート調査の回答結果（Aクラス）

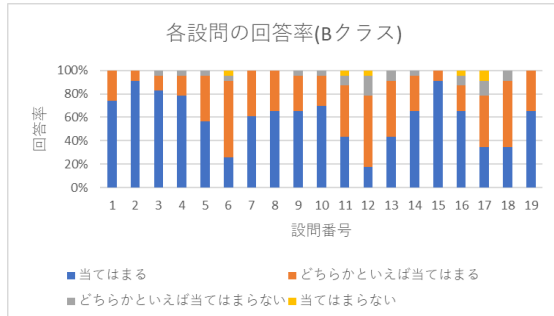


図8：アンケート調査の回答結果（Bクラス）

図7及び8の結果を三つの観点から整理したものが図9である。生徒からの回答について、“当てはまる”を4点、“どちらかといえば当てはまる”を3点、“どちらかといえば当てはまらな”を2点、“当てはまらな”を1点として、各クラスにおける各観点の平均値を算出し、レーダーチャートに整理した。図9より、いずれのクラスにおいても知識・技能に観点では平均値が3.8と高く、生徒自身が深く理解できたと自己評価していた。また、興味関心や力学シミュレーションの活用に対する設問などを含む主体的に学習に向かう態度の観点でも平均点は3.6と高く評価しており、生徒がシミュレーションに対してよい印象を

持っていることが分かる。また思考力・表現力・判断力といった科学的な資質能力などに関しても、他の二つの観点への自己評価と比べると少し低いものの、いずれのクラスでも平均点が3.2以上という高い値であった。力学分野の学習指導でシミュレーションを活用することで、調査した三つの観点全てにおいて高い学習効果があることが分かった。

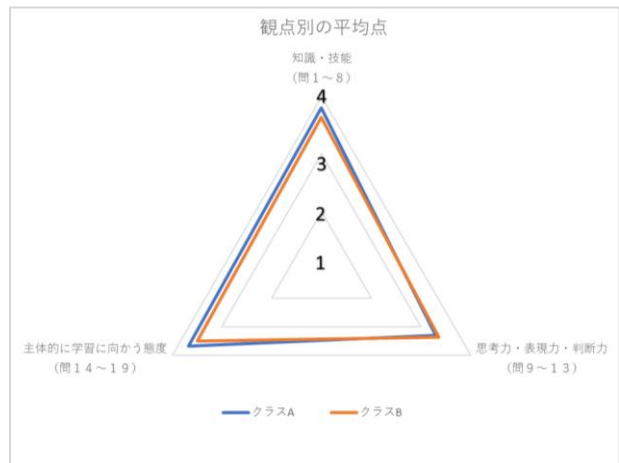


図9：レーダーチャート分析の結果

アンケートへの回答結果やレーダーチャートの分析結果から、力学シミュレーションを活用した授業では、三つ全ての観点における資質能力を伸長する効果が確認でき、特に知識・技能の習得や生徒の学習意欲や態度の向上に大きく貢献できることが分かった。さらに高い思考力・表現力・判断力を身に付けさせるためには、運動物体や床などのワールドそのものを生徒自身に設定させて探究させるといった、より主体的に生徒が自己表現できる機会を提供する授業展開が効果的ではないかと考えた。

授業実践した二つの学級は、今回はじめて理科授業で力学シミュレーションを活用したためか、操作方法や着眼点に対してサポートを有する生徒もいた。シミュレーション活用は一部の生徒には馴染まず、どれだけ操作を簡略化していても、技術的・感覚的に難しいと感じる場合もあるであろう。思考力・表現力・判断力をさらに伸ばしながら、自己評価や達成感を最大限にするためには、教材として恒常的に授業で使用し、生徒が操作に慣れていくことを目指す必要があると考えた。

アンケートの最後の設問20では、生徒に、どんな現象に力学シミュレーションを使うことができそうか

について生徒の意見を問うていた。生徒からの回答には、「自由落下する際のエネルギーの変化」や「滑車を用いた物理現象」「作用反作用の性質を調べること」など、既習内容を改めて試したいという意見が多かった。中には「ピタゴラスイッチを作ってみたい」や「コロナウイルス感染症に関する飛沫のシミュレーションを試したい」といったユニークな意見を書いていた生徒もあり、力学シミュレーションによって生徒の創造性が現れたり、物理学に関する興味関心をより一層深めたりする効果も期待できることがわかった。力学シミュレーションに対して、生徒のほとんどが肯定的な印象を持ち、家庭学習や試験前の復習などの日常生活でも使ってみたいという意見もあったことから、シミュレーションを使って物理的な事象を解析することは力学概念学習を教師からの一方的な説明ではなく、自身の興味関心として捉えさせ、意欲的に学習に向かわせる点から高い効果のある手段ということが分かった。

V. おわりに：本研究の成果と課題

力学シミュレーションは理科室の規模に捉われず、重力加速度や空気抵抗などの高度な現象も、つまみの操作で制御することで簡単に扱うことができる。そして中学校での力学概念学習を通して科学への関心を高め、高校物理への円滑な接続にも貢献できであろう。

また力学シミュレーションは、力の合成と分解、等速直線運動や等加速度直線運動などの他の物理領域の単元でも活用できる。汎用性が高く、生徒が自身で物理現象を制御する様々な機会を提供することができる教材である。今後の展望として、生徒自身が斜面や壁、床などワールドをシミュレーション内で創造できるような授業を検討していきたい。

付記

研究成果の公開に関して、実践を行った研究協力校の学校長・教頭の承諾を得ており、アンケート調査は匿名で実施され、個人情報記載は一切ありません。

謝辞

本研究の実践にあたり、ご協力いただいた松山市立

Y 中学校の先生方、生徒の皆さん、またシミュレーションの作成にあたりご協力いただいた新興出版社啓林館の担当者様、デバイスの貸出を認めてくださった愛媛大学玉井教授の皆様に心よりお礼申し上げます。

文献

- 国立教育政策研究所 (2022)：令和4年度全国学力・学習状況調査結果資料【全国版/中学校】，教科に関する調査の結果，(1)調査結果概況 全国一生徒（国・公・私立）
- 国立教育政策研究所 (2022)：令和4年度全国学力・学習状況調査報告書【中学校/理科】，教科に関する調査の結果（概要），(2) 分類・区分別集計結果，P.10
- ベネッセ教育総合研究所 (2022)：小中学校の学習指導に関する調査 2021 中学校版基礎集計表，P.4，Q18 欄
- 吉田賢二，西澤輝，三野弘文 (2022)：「Processing を用いた物理シミュレーション教材の制作と授業実践-凸レンズの働きを例にして-」，日本科学教育学会年会論文集，46 巻，1 号，381-384
- 今井功，東本崇仁，堀口知也，平嶋宗 (2008)：「中学理科における Error-based Simulation を用いた授業実践-ニュートンに挑戦プロジェクト-」，実践論文集，25 巻，2 号，194-203
- 國仲寛人，荻原彰，後藤太一郎 (2018)：「小中学校の理科の授業におけるシミュレーション教材 PhET の活用」，三重大学教育学部研究紀要，自然科学・人文科学・社会科学・教育科学・教育実践，69-313
- 磯本征雄，宮原一弘，中野宇宙 (2000)：「ニュートン力学シミュレーション教材の構成と教授方略-宇宙旅行シミュレーションによる事例研究-」，電子情報通信学会論文誌 D，J83 巻，6 号，599-609
- 野崎朝之，神志那良雄 (1993)：「ブランコのモデル実験とコンピューターシミュレーション」，日本科学教育学会研究会研究報告，7 巻，6 号，63-66

中学校現場での授業実践を通じた生成 AI の教育的活用に関する研究 A Study on the Educational Use of Generative AI through Classroom Practices in Middle Schools

○真木大輔^{*1}, 三棟優子^{*1}, 高橋祐貴^{*1}, 目崎美香^{*1}, 向平和^{*2}, 大西義浩^{*2}
MAKI Daisuke^{*1}, MITSUMUNE Yuko^{*1}, TAKAHASHI Yuki^{*1}, MESAKI Mika^{*1}, MUKO Heiwa^{*2}, OHNISHI Yoshihiro^{*2}

^{*1}愛媛大学教育学部附属中学校, ^{*2}愛媛大学教育学部

^{*1}The Junior high school of Ehime University Faculty of Education, ^{*2}Ehime University Faculty of Education

【要約】生成 AI (ChatGPT) は 2022 年 11 月 30 日に公開されたが, その教育現場への活用については, まだ実証的な研究が十分に行われていない. 本稿では, この技術が中学校教育における教育方法及び学習過程にどのように寄与できるか具体的な事例研究を通じて, 生成 AI の教育活用の可能性を検討した.

校務支援での生成 AI を活用した事例として, 生徒の学習振り返りへの返答生成, パフォーマンス課題の設計, Google Apps Script (GAS) を活用した多言語翻訳アプリの開発を行った. また, 生徒の学習支援ツールとしての活用として, 社会科でのディベートやディスカッション, 英語科での英会話練習や英文添削を行った. これらの事例を通じて, 教育現場における生成 AI の活用が教員の業務効率及び生徒の学習効果に与える影響について, その成果と課題を検討した. その結果, 生成 AI の活用は, 学習者の能力向上, 教育の質の向上, 教員の負担軽減に寄与することが明らかになった. しかし, 生成 AI 技術が学習を支援する有効なツールとなり得る可能性を示しつつも, 一部の生徒にとってはその効果が十分に発揮されていない結果が明らかになった.

【キーワード】生成 AI, ChatGPT, 中学校, 理科, 音楽科, 社会科, 英語科

I. 問題の所在

2022 年 11 月 30 日に一般公開された生成 AI, ChatGPT の教育現場での活用は, 多大な関心を集めている. しかし, 公開から現在に至るまで, 中学校教育におけるその具体的な活用法や影響に関する実証的な研究はまだ不十分である.

2023 年 7 月に発表された初等中等教育段階における生成 AI の利用に関する暫定的なガイドラインによると, 「現時点では活用が有効な場を検証しつつ, 限定的な利用から始めることが適切である. 生成 AI を取り巻く懸念やリスクに十分な対策を講じることができ一部の学校において, 個人情報保護やセキュリティ, 著作権等に十分に留意しつつ, パイロット的な取組を進め, 成果・課題を十分に検証し, 今後の更なる議論に資することが必要である.」(文部科学省, 2023) とあるように, 教育現場における生成 AI (以下 AI と表記する) の効果的な活用方法について検証する意義は大きいと考える.

本研究では, 校務支援での AI を活用した事例, 生徒の学習支援ツールとしての活用事例から, 教育現場における AI の効果的な活用方法を探究し, 教育現場における AI の活用が教員の業務効率及び生徒の学習効

果に与える影響について, その成果と課題を検討した.

II. 研究の方法

1. 対象と期間

中学生 (男子 128 名, 女子 128 名) を対象に 2023 年 7 月 7 日～2024 年 2 月 16 日に理科, 音楽科, 社会科, 英語科で 4 教科での実践を行い, 後日, 授業者に対しては聞き取り形式のアンケートと, 受講した生徒に対しては Google フォームを用いたアンケート調査を実施した.

教科	授業者	対象生徒
理科	真木大輔	中学 3 年生 (男子 16 名, 女子 16 名)
音楽科	三棟優子	中学 3 年生 (男子 16 名, 女子 16 名)
社会科	高橋祐貴	中学 1 年生 (男子 16 名, 女子 16 名)
英語科	目崎美香	中学 2 年生 (男子 16 名, 女子 16 名)

2. 研究方法

2. 1. (理科) Google Apps Script (GAS) を活用した多言語翻訳アプリの開発

理科では, 教科横断的な学習として, 理科の内容をマラウイ出身の外部講師が生物多様性の問題を英語

で教える内容言語統合型学習（CLIL）の手法で授業実践を行った。生徒は、外部講師のネイティブスピーカーの英語を翻訳するためのツールとして、Google ドキュメントの音声入力機能とスプレッドシートの翻訳機能を組み合わせた多言語翻訳アプリを利用した。このシステムの構築の際に生成 AI を使用したものである。いくつかのマウス操作が必要にはなるが、Google アカウントを持っていれば無料でリアルタイムに近い翻訳が可能になった。

2. 2. (音楽科) AI リフレクション, 授業分析

音楽科では、AI を活用して生徒のリフレクションへの返答や授業分析を実施した。生徒のリフレクションへの返答では、生徒のコメントに対して AI を用いてアドバイスや回答を提供するものである。また、リフレクションから集めたデータを基に、AI が生徒の振り返り内容を要約し、教師に授業の改善策を提案するなど、授業分析にも AI を活用できるようにした。

2. 3. (社会科) パフォーマンス課題の設計, ディベートやディスカッションパートナー

社会科では、パフォーマンス課題の設計、ディベート、そしてディスカッションパートナーの役割に AI を活用した。パフォーマンス課題の設計では、立石 (2022) によって提案された「わくわくするパフォーマンス課題作成」を参考に、AI を用いてパフォーマンス課題を設計した。また、社会的な課題について、ディベートやディスカッションのパートナーとして AI との対話を実施した。

2. 4. (英語科) AI 英会話, AI 添削

英語科では、AI 英会話, AI 添削を実施した。AI 英会話とは、生成 AI が生徒の英会話練習のパートナーとし、生徒が選んだトピックに沿って英会話を行うものである。AI はネイティブスピーカーの中学生としてロールプレイを行い、会話終了後に文法やフレーズに関するフィードバックを提供する。

AI 添削は、音声入力で入力された英語スピーチを AI が分析し、添削すべき箇所とその理由を解説するシステムである。

Ⅲ. 結果

1. (理科) Google Apps Script (GAS) を活用した多言語翻訳アプリの開発

1. 1. 多言語翻訳アプリの概要

多言語翻訳アプリの概要は次の通りである。

- ① Google ドキュメントで、音声入力
- ② GAS スクリプトでスプレッドシートへ転送
- ③ スプレッドシートの翻訳関数で翻訳
- ④ スプレッドシートをドキュメントに埋め込み

図 1 は、実際にアプリとして使用している画面である。Google ドキュメントの音声入力は、53 の言語が対応されており、英語、中国語、フランス語、ドイツ語、日本語など、世界中の主要言語に対応している。このアプリにより、いくつかのマウス操作が必要にはなるが、Google アカウントを持っていれば無料でリアルタイムに近い翻訳が可能になった。



図 1 多言語翻訳アプリの画面

1. 2. 生成 AI 活用の実際について

図2および図3のプログラム作成に際して、生成AIを使用した。使用したChatGPTのバージョンはgpt-4.0である。作成者はGAS（Google Apps Script）の作成経験がなかったものの、AIに作成したいプログラムの方向性を伝え、作成されたプログラムを実行し、発生したエラーがあるたびにAIにその都度修正を加え、プログラムを完成させた。

1. 3. 生成 AI の成果物について

```
function CopyFromDocToSheet() {
  var docId = 'XXXXXXXXXXXXX'; // Google
  Document の ID を指定 ※ここを変える。
  var sheetId = 'XXXXXXXXXX'
  var doc = DocumentApp.openById(docId);
  var selection = doc.getSelection(); //
  選択範囲を取得
  if (!selection) {
    Logger.log('No selection.');
```

```
    return;
  }
  var elements =
  selection.getRangeElements(); // 選択範囲内
  の要素を取得
  var text = '';
  for (var i = 0; i < elements.length;
  i++) {
    var element = elements[i].getElement();
    if (element.asText) {
      text += element.asText().getText();
    }
  }
  var sheet =
  SpreadsheetApp.openById(sheetId).getActiv
  eSheet();
  var lastRow = sheet.getRange("B" +
  sheet.getLastRow()).getNextDataCell(Sprea
  dsheetApp.Direction.UP).getRow() + 1; //
  B 列の最後の行を取得
  var range = sheet.getRange(lastRow, 2);
  // 新しい行を取得
  range.setValue(text);
}
```

図2 ドキュメントからスプレッドシートへの転送スクリプト

```
// Add a custom menu to the active
document, including a separator and a
sub-menu.
function onOpen(e) {
  DocumentApp.getUi()
    .createMenu('翻訳')
    .addItem('翻訳', 'CopyFromDocToSheet')
    .addToUi();
}

function myFunction() {
  // Your code here.
  // This is the function that will be
  executed when the menu item is clicked.
}
```

図3 翻訳をメニュー上で実行するスクリプト

1. 4. 授業での活用の様子



図4 ネイティブスピーカーの英語を翻訳



図5 翻訳ツールを使用し自分の考えを英語で伝える生徒

2. (音楽科) AI リフレクション, AI 授業分析

2. 1. AI リフレクション, 授業分析の概要

AI リフレクションの概要は次の通りである。

- ① 生徒から Google フォームを通じて授業の振り返りや質問を収集
- ② 収集したデータをスプレッドシートに転送し, AI (ChatGPT) と連携
- ③ AI による回答を, 生徒個人専用のスプレッドシートに転送
- ④ 生徒は, 自分専用のスプレッドシートから回答を閲覧

②のスプレッドシートと AI (ChatGPT) の連携は, ChatGPT の API を使用方法により行われ, この方法では使用量に応じて料金が発生する。使用した ChatGPT のバージョンは gpt-3.5-turbo である。また, ④については, Google Apps Script (GAS) スクリプトを用いて構築した。これらのスクリプトは, 理科の Google Apps Script (GAS) を活用した多言語翻訳アプリの開発と同様に AI との対話を通じて作成したものである。

また, AI リフレクションで収集したデータは, 教員による授業分析にも活用した。AI は, 生徒の振り返りを要約し, 改善策を提案した。

2. 2. 1. AI リフレクションの活用の実際について

生徒から Google フォームを通して提出された授業の振り返りや質問のデータに基づいて, 質問が存在する場合はプロンプト①を, 質問がない場合はプロンプト②を返すように, IF 関数を使用してスプレッドシートに組み込んだ。

①リフレクションフィードバックプロンプト

- [] これらのテキストデータは中学校音楽授業を受けた生徒の成果と課題です。
- [] 中学校音楽教師として, 日本語 200 字程度で肯定的にコメントを返してください。

②質問フィードバックプロンプト

- [] これらのテキストデータは中学校音楽授業を受けた, 歌うことについての生徒の質問です。
- [] プロの音楽家として, 中学生にわかるように, 日本語 200 字程度で回答してください。

下記の①が生徒の入力データで, 質問があるためプロンプト 2 が実行され, ②が AI によって出力されたものである。質問がなかった場合の AI の出力は③に記載した。

①生徒の入力データ

【成果】新しく知ったこと・できるようになったこと

主旋律がどこなのか, どのパートを引き立たせるべきなのかを意識して歌えるようになった。

【課題】うまくいかなかったこと・次解決したいこと

「かぜ」が「あぜ」に聴こえる。3 番の「だけど」は女声と男声の掛け合いだが, 女声が弱く聴こえる。バランスをとりたい。

【教員への一言】

歌声に深みを出すにはどうすればいいですか？

②AI 回答ログ

歌声に深みを出すためには, まず呼吸法を意識しましょう。深く胸から息を吸い, お腹に空気を満たすことが大切です。また, 声を出す際には体全体の筋肉を使い, 特に腹部や背中中の筋肉を意識してみてください。これにより, 声がより豊かな響きを持つようになります。また, 歌詞の内容や感情を理解し, 歌うことで感情を込めることも重要です。自分の心を素直に表現することで, 歌声に深みが生まれます。さらに, 定期的な練習と声のトレーニングも必要です。声帯や発声器官を鍛えることで, より力強い歌声を持つことができます。

③AI 回答ログ

成果:

新しく知ったことやできるようになったことについて, 主旋律やパートの重要性を意識して歌えるようになったとのことですね。それは素晴らしい進歩です。音楽の表現力を高める上で, それらの要素を意識することは非常に重要です。これからも, その感覚を磨いていくことで, より素晴らしい演奏や歌唱ができるようになるでしょう。

課題:

「かぜ」が「あぜ」に聴こえるという課題や, 「だけど」の女声が弱く聴こえるという点について, バランスの調整が求められているようですね。このような課題に向き合い, 音のバランスや発音の改善を目指すことは, 音楽の習得において重要な一歩です。次の練習やレッスンで, その点に焦点を

当てて取り組んでみてください。きっと良い結果が得られるでしょう。

後日、教師が個別の生徒にあわせて、下記④のように返信を行った。

④教員が AI の返答を参考に作成した回答

声の響きをパートみんなで合わせていくといいと思います。お互い声を聴き合って一つの声に聴こえるようにしましょう。次時の課題は、歌詞の語頭をはっきり発声することと、音楽の構成を理解することですね。具体的に課題を書いてくれてありがとう。

2. 2. 2. AI 授業分析の活用の実際について

AI リフレクションで収集したデータを、次の①の分析プロンプトを通じて、教員による授業分析にも活用した。②が AI によって出力されたものである。使用した ChatGPT のバージョンは gpt-4.0 である。

①分析プロンプト

- []生徒が音楽の授業について述べた感想のテキストデータがあります。このデータには、授業の成果と課題が含まれています。以下の順番でテキストマイニングを行い、データを整理してください。

- []1. 成果に関して、テキストマイニングを実施し、意見が多い順にトップ 6 を箇条書きで列挙してください。

- []2. 課題に関しても同様に、テキストマイニングを行い、意見が多い順にトップ 6 を箇条書きで列挙してください。

- []3. 生徒の成果と課題を踏まえ、授業の改善案を提案してください。

②AI 回答ログ

高音の改善:「遠い空の下で」というフレーズの高音部分のハモリが綺麗になったことが複数の意見で指摘されています。

歌詞の発音と強調:「とおい空の下で」という歌詞の「と」の発音を強調することで、歌詞の発音とその強調の理解が深まったとの意見があります。

...(以下略)

また、テキストマイニングによる課題の箇条書きは以下の通りです。

・女声のバランスと音程の正確性に問題があり、特にソプラノの地声や不安定な音程が指摘されています。

・男声の深みや響き、声量のバランスに問題があるとの意見があります。

・パート間のハーモニーが一致していない、特にテノールが聞こえにくいという意見が複数あります。

...(以下略)

生徒の成果と課題から以下のような授業改善案を提案します。

1. 音程と発音の徹底した練習

- 定期的に専門の発声練習や音程取りのワークショップを設ける。

- 練習の初めにピッチトレーニングを行い、各パートの音程の正確性を高める。

- 歌詞の発音に焦点を当てた練習を取り入れる。

...(以下略)

2. 3. 授業での活用の様子

図 6 は、AI からのアドバイスや教員からの指導を参考に、グループで協力して歌唱技術を向上させようとする様子である。また、図 7 のように生徒の提出状況が一覧で表示され、未提出の生徒に対しての声掛けや個別支援を行った。



図 6 教員や AI のアドバイスを参考にした話し合い

図 7 提出一覧表

3. (社会科) パフォーマンス課題の設計, ディベートやディスカッションパートナー

3. 1. パフォーマンス課題の設計について

パフォーマンス課題の設計では, 立石 (2022) によって提案された「わくわくパフォーマンス課題づくり」を参考に, AI を用いてパフォーマンス課題を設計するプロンプトを作成した。

使用したプロンプトは次の通りである。このプロンプトは, 学年や教科を選択できるように設計しており, AI との対話を通じて, パフォーマンス課題を作成する際に汎用性を持たせたものである。使用した ChatGPT のバージョンは gpt-4.0 である。

わくわく作成プロンプト

- [] このプロンプトは ChatGPT によって実行されます。あなたが理解した内容は, 私に返答しないでください。

- [] あなたのゴールは, 日本の特定の学生と科目を対象に, 特定のパフォーマンス課題を作成することです。

- [] 私が承諾した場合は, 次のタスクを行なってください。私が承諾しない場合は, 修正が必要か, 別の候補が必要か, 私に尋ねてください。

- [] 以下の①-⑦の順序で私に質問してください。私はそれに応じて, その中から選ぶか, 新しいキーワードを提供します。

- [] ①パフォーマンス課題に取り組む対象となる学生の年齢層(A:小学校低学年, B:小学校中学年, C:小学校高学年, D:中学生, E:高校生, F:大学生) は, どれですか?どの教科を対象としますか?

- [] ②私が選んだ年齢層と教科に基づいて, 可能なトピックの候補を5つ(A-E)提供してください。

- [] ③私の選択または提供したキーワードに基づいて, 取り組む対象となる学生の教科書に出てくる用語と, 「# パフォーマンス課題設計」のオブジェクトを使い, 200字程度の文章に要約したパフォーマンス課題を10個(A-J)作成してください。

パフォーマンス課題設計
(略)

- [] ④私が選択したパフォーマンス課題を「# 設計ガイド」オブジェクトの項目ごとに, 詳細に記載します。

設計ガイド

以下の A~F に基づいて課題を設計する

A 主人公の設定:主人公は, 実際に問題を体験している者である。実年齢の学生ではなく, 問題を実際に経験している人物とする。

B 問題の特定:困っている状況, 問題の内容, どのように困っているのか, 目指していることを明確にする。多角的な考察や多数の人々の合意が必要な問題である。

C 解決のための条件

1:必須条件

2:気づきとして持ってほしい条件

D 解決策の具体化

1:解決策の視覚化方法

2:共有ツール(「# シンキングツール」オブジェクトを使用)

E 評価者の特定:最終判断を委ねる者, 必要な同意を得るべき者。

F 期限設定:解決策を提案する期限, 問題解決の期限。

シンキングツール
(略)

- [] ⑤私が選択したパフォーマンス課題を「# 出力形式 1」オブジェクトの形式で記載してください。

出力形式 1

1.この単元のねらい, 身に付けたい力

-能力 1

-能力 2

...

2.主人公とその状況(抱える問題など)

-主人公

-主人公の状況

-抱える問題 1

-抱える問題 2

...

3.課題を解決するためにクリアする条件

-必須条件 1

-必須条件 2

...

-気づきとして持ってほしい条件 1

-気づきとして持ってほしい条件 2

...

4.何を作る, 誰とどうやって共有する, 工夫した点

-何を作る

- 誰とどうやって共有する
- 工夫した点

-[] ⑥私が選択したパフォーマンス課題を「# 出力形式 2」オブジェクトの形式で記載してください。

出力形式 2

【タイトル】

- ワクワクするようなタイトル

パフォーマンス課題

-前半は、主人公になりきり、状況設定と抱える問題を読み手がワクワクするような 400 字程度の文章で作成する。

-後半は、主人公になりきったまま、パフォーマンス課題に取り組む学生向けに、主人公が問題を解決する方法を説明してください。

-[] ⑦私が選択したパフォーマンス課題の評価基準を作成することです。A(優), B(良), C(可), D(不可)の評価基準を作成してください。

3. 2. 生成 AI の成果物について

わくバ作成プロンプトで作成した実際のパフォーマンス課題例を下記に示す。

AI が作成したパフォーマンス課題

アボカドの謎:悪魔の果実から緑の宝石へ

緑の濃淡が美しいアボカド。その滑らかなクリームのような舌触りと、やさしい味わいには多くのファンがいます。新入社員として国際アボカド貿易株式会社「アボトレード」に入社した私も、その一人。毎日の食事にアボカドを欠かさず、その健康効果や美味しさに魅了されていた。

ある日、新聞の見出しに「アボカドは悪魔の果実」という言葉が飛び込んできた。その背後には、気候変動、生産地の環境問題、そして輸送ルートの課題が絡んでいることを知る。私の愛するアボカドがこんなにも多くの問題を抱えているなんて…。私は真実を知り、そしてアボカドとその関わる人々の未来をより良くするための提案を社内で行うことを決意した。

提案事項に、次の2つの内容を入れ「アボカドの生産・流通に関する問題とその解決策をまとめたプレゼンテーション資料」を作成して下さい。

・アボカドの主要生産地の気候変動への脆弱性と、これによる生産量への影響を詳しく調査する。

・貿易ルートの地理的な特徴や生産・輸送における課題について具体的な事例を調査し、その対策を考える。

採用されれば自分自身が企画の中心になって運営することができます。大好きなアボカドで多くの人が幸せを感じられるよりよいアボカド貿易の展望について、説得力のある具体的な展望を述べてください。

実際の授業での実践においては、上記のパフォーマンス課題を基に、生徒の実態にあわせて下記のように改変して使用した。

教員が手直したパフォーマンス課題

緑の濃淡が美しいアボカド。その滑らかなクリームのような舌触りと、やさしい味わいには多くのファンがいる。新入社員として国際アボカド貿易株式会社「アボトレード」に入社した私も、その一人だ。毎日の食事にアボカドを欠かさず、その健康効果や美味しさに魅了されていた。ある日、私の目に飛び込んできた「アボカドは悪魔の果実」というニュースの見出しの言葉。その背景を調べると、生産地の深刻な環境破壊、治安の悪化などの社会問題、そして貿易をめぐる国同士のいびつな関係性など様々な事情が絡んでいることを知る。私の愛するアボカドの裏側がこんなに複雑なものだったなんて…。私は真実を知り、アボカドとその関わる人々の未来をよりよいものするための提案を社内で行うことを決意した。

提案には「プレゼン資料」の作成が必要だ。より多くの人が納得できる提案にするためにはどうすればよいだろう。…そうだな！次の二つを含んで資料を準備していこう。

①この前、同様の「課題」を抱える別の農産物を扱う会社と話をしたことを思い出した。アボカドとは異なる農産物をめぐる「課題」(品目名、関係する国など)の実態を説明に加え、「課題」の深刻さを伝えよう。

②アボカドを消費する側の日本として、生産する国との間で生じている「課題」を理解した上で今後どのような関わりが必要なのか、そして、その関わりを実現するために必要になることは何か、について考えを述べよう。

私は、アボカドは「悪魔の…」ではなく、様々な立場の人が幸せを感じられる「緑の宝石」であってほしいんだ！この思いが伝わるよう絶対にこの提案、成功させてやる！！

3. 3. ディスカッションやディベートパートナー

3. 3. 1 ディスカッションパートナー

iOS アプリ版の AI (ChatGPT) を使用することで、テキスト入力を行うことなく、音声のみを用いて AI と対話が可能である。この機能を活用して、社会的な課題に関するディベートやディスカッションのパートナーとして AI との対話を実施した。使用した ChatGPT のバージョンは gpt-4.0 である。

ディスカッションプロンプトは、田中(2023)が作成したプロンプトを基に真木が改変して使用したものである。次がディスカッションプロンプトの概要と実際に生徒が対話した(図8)ログの抜粋である。

ディスカッションプロンプトの概要

- ・あなたは、中学1年生のディスカッション相手として有識者になることが目標です。
- ・ディスカッションのテーマと自分の主張の内容を理解し、その内容に基づいてディスカッションを進めますが、理解した内容を相手には伝えません。
- ・ディスカッションでは、相手の主張の改善すべき部分に意見を述べつつ質問をし、その回答に基づいてさらに質問を重ねることで相手の考えを深掘りします。
- ・相手は長い文章を好まないため、一度に一つの主張についてののみ話し合います。
- ・最終的には、相手の回答に対して改善点をアドバイスします。

#ディスカッションテーマ

持続可能な社会の実現に向けて、アメリカ大量消費の生活様式の課題である「輸出より輸入のほうが額が大きくて、赤字になること」を解決するにはどのような取組が重要だろうか。アメリカの地域的特色(地形・気候、人口、国土面積、資源・エネルギー、産業(農業・工業)、歴史的背景(移民など))を解決策の判断の根拠として考える。

#私の主張

輸出の方を多くすること。豊富な人材を活かし、もっと産業を増やして、商品などを多くすること。

AI との対話ログの抜粋

ChatGPT

あなたの主張は、アメリカが持続可能な社会を実現するためには、輸出を増やし、豊富な人材を活かして産業を増やし、商品を多くすべきだというものです。とても興味深い考え方です。

アメリカは確かに豊富な人材と多様な産業を持っていますが、輸出を増やすためにはどのような産業に注力すべきだと思いますか？また、その産業の選定にあたって、アメリカの地域的特色をどのように考慮しますか？

User

私はアメリカの輸出を増やすためには、アメリカが得意とする産業を増やしたらいいと思います。

ChatGPT

なるほど、アメリカが得意とする産業に注力することで輸出を増やすというアプローチは、強みを活かす良い戦略ですね。アメリカはテクノロジーや農業など、さまざまな分野で強みを持っています。

それを踏まえて、具体的にどの産業を重点的に伸ばすと良いと考えていますか？そして、その産業がアメリカのどの地域的特色とマッチするかも教えてください。たとえば、テクノロジー産業ならシリコンバレーのイノベーション環境を、農業なら中西部の広大な土地と肥沃な土を活用する、といった具体例がありますが、どう思いますか？

User

私は先端技術産業を増やしたらいいと思います。その理由は、アメリカは特に先端技術産業が発展しているので、その技術を使う場面が多いと思うので、それがいいと思いました。

ChatGPT

先端技術産業に焦点を当てるのは素晴らしいアイデアですね。アメリカがこの分野で既に強みを持っていることを考慮すると、持続可能な社会への移行において大きな役割を果たすことが期待されます。(以下略)



図8 AI とディスカッションしている生徒

3. 3. 2 ディベートパートナー

プロンプトを工夫することにより、AI をディベートの相手として活用し、生徒の主張に反対する立場から対話を行うことも可能である。次が使用したディベートプロンプトと実際に生徒が対話したログの抜粋である。

ディベートプロンプト

- [] あなたの役割:私のディベート相手としての有識者
- [] あなたが理解したことを私に言わない。
- [] ディベートは、「テーマについて教えてください」と、あなたが私に聞くことから始める。
- [] 私が、テーマを答えるので、あなたは、私に「あなたの立場とその理由を教えてください」と聞く。
- [] あなたは私の反対の立場に立ち、ディベートを始める。
- [] 私は長い文章を嫌うので、主張は 100 単語以下で短く、簡潔な文で主張する。
- [] 双方が納得するまで、質問や反論を通じて議論を続ける。
- [] 私の終了宣言後、私のディベートの回答について、フィードバック(成果と課題)とアドバイスをを行う。

AI との対話ログの抜粋

ChatGPT

テーマについて教えてください。

User

ブラジルで深刻化している熱帯林の開発。開発を進める中で、近年先進国で急増する食肉需要に対応した大豆生産や輸出、再生可能なエネルギー資源として世界的に注目されているバイオ燃料用のさとうきびなどの栽培などが年々増加し、地域の経済を支える産業の一つとなっている。一方、急速な熱帯林の耕地化は、そこで暮らす動植物の生態系や人々の暮らしの多様性をうばったり、地球温暖化などの環境問題の悪化や先進国と途上国の貿易などの格差が拡大したりする可能性をはらんでいる。開発と保全のバランスについて考えたとき、さとうきびなどのバイオ燃料用の農作物の栽培をどうすればよいだろうか？

ア. バイオ燃料用の農作物をどんどんつくるべきだ。

イ. バイオ燃料用の農作物はあまり作らないほうがよい。

ChatGPT

あなたの立場とその理由を教えてください。

User

私の立場はあです。なぜかという、バイオ燃料を生産することによって解決できる環境問題がすごく重要だと思うからです。

ChatGPT

了解しました。あなたはバイオ燃料の生産を支持していることで、その背景には環境問題の解決への貢献を重視しているからという理由がありますね。

私はその反対の立場を取ります。バイオ燃料用の農作物の生産は、熱帯林の伐採を加速させ、生物多様性の損失や土地の乾燥化を引き起こすリスクがあります。さらに、食料用の農地をエネルギー作物の栽培に転用することで、地域の食料安全保障に影響を及ぼす可能性も懸念されます。バイオ燃料生産の拡大が地球温暖化の緩和に貢献する可能性はありますが、これらの環境的・社会的問題を無視できないため、より持続可能な方法でのエネルギー生産への転換を模索するべきだと考えます。

この点についてどう思われますか？

User

生態系が崩れるとおっしゃっていましたね。生態系の保護についてなんですけれども、生態系をアマゾン以外の別のところで一時的に保護していれば、バイオ燃料開発に集中できると思うのですが、その点についてどう思いますか。燃料開発に集中できると思うのですが、その点についてどう思いますか。

ChatGPT

その提案は、一時的な解決策としては興味深いものです。生態系をアマゾン以外の場所で保護することによって、バイオ燃料の生産に集中できるという考え方ですね。確かに、特定の地域を生態系保護のために確保し、他の地域ではバイオ燃料の生産を進めることで、経済発展と環境保護のバランスを取る試みは一つの方法かもしれません。

(以下略)

4. (英語科) AI 英会話, AI 添削

4. 1 AI 英会話について

AI 英会話とは、生成 AI が生徒の英会話練習のパートナーとし、生徒が選んだトピックに沿って音声のみを用いて AI と英会話を行うものである。AI はネイティブスピーカーの中学生としてロールプレイを行い、会話終了後に文法やフレーズに関するフィードバックを提供する。

使用した ChatGPT のバージョンは gpt-3.5 である。英会話プロンプトは、田中(2023)が作成したプロンプトを基に真木が改変して使用したものである。次が英会話プロンプトの概要と、中学2年生が対話したログの抜粋である。

英会話プロンプトの概要

- ・英会話練習のパートナーとして行動する。
- ・「What topic would you like to talk about?」から会話を始める。
- ・私の英語の能力に合わせて、会話風の短文を一つだけ応答する。
- ・終了宣言後、文法と話し方についてフィードバックを返す。

AI との対話ログ

ChatGPT

Thank you for the instructions. What topic would you like to talk about?

User

Hello.

ChatGPT

Hi there! How's your day going?

User

Today's topic is about World Heritage Site.

ChatGPT

That sounds interesting! Do you have a favorite World Heritage Site?

User

My favorite heritage site is Machu Picchu.

ChatGPT

Machu Picchu is amazing! What do you find most fascinating about it?

User

It is in Inka and Priyanka.

ChatGPT

Actually, Machu Picchu is located in Peru, not Inka and Priyanka. Would you like to learn more about it?

User

It was made in the 15th century.

ChatGPT

Yes, Machu Picchu was built around the 15th century. What do you think is the most impressive aspect of its construction?

User

I have a story about Machu Picchu.

ChatGPT

That's fantastic! Would you like to share your story about Machu Picchu?

User

I went to Machu Picchu four years ago. It was beautiful and amazing.

ChatGPT

That sounds like an incredible experience! What was your favorite part about visiting Machu Picchu?

User

Please feedback

ChatGPT

あなたの話はとても興味深いです。流暢な英語で表現されていて、良い印象を与えます。もしもっと練習したい部分があれば、遠慮なく教えてくださいね。

4. 2 AI 添削について

AI 添削は、AI リフレクションで構築したシステムを改変したものである。概要は次の通りである。

- ① 生徒は Google フォームから音声入力で英語スピーチを行う。(図 9)
- ② スプレッドシートに、AI (ChatGPT) を連携
- ③ 生徒個人専用のスプレッドシートに、AI 添削を転送
- ④ 生徒は、自分専用のスプレッドシートから回答を閲覧 (図 10)

次が AI 添削プロンプトとその回答ログの抜粋である。

AI 添削プロンプト

- [] このテキストデータは日本の中学生の英語スピーチのデータである。
- [] 音声入力で入力しているため、語句の不備が若干ある。
- [] 日常的に使われる表現のみを使用して、step by step で添削しなさい。
- [] あなたは、添削する箇所とその理由を日本語で解説します。
- [] 添削する箇所でピリオドやカンマについては解説しない。
- [] 解説は、日本語で回答することを必ず守りなさい。
- [] 出力形式は、以下で出力しなさい。
(添削した英作文) ※英語で表記する。
(添削箇所・理由) ※日本語で表記する。

生徒入力データ

I like table tennis.

Because When I played table tennis, I was very fun.

I have table tennis table in my house.

AI 添削ログ

I like playing table tennis. When I play table tennis, I have a lot of fun. I have a table tennis table at my house.

添削箇所・理由:

1. "When I played table tennis, I was very fun."
→ "When I play table tennis, I have a lot of fun."

- 過去形の"played"ではなく、現在形の"play"を使用すべきです。また、"I was very fun"ではなく、"I have a lot of fun"と表現することでより自然な表現になります。

2. "I like table tennis." → "I like playing table tennis."

- "table tennis"をプレイすることが好きなので、"playing table tennis"と表現すべきです。

3. "I have table tennis table in my house." → "I have a table tennis table at my house."

- "table tennis table"の前に冠詞"a"を追加する必要があります。また、"in my house"ではなく、"at my house"と表現することでより自然な表現になります。



図 9 AI 添削入力・閲覧フォーム

No.	タイムスタンプ	添削箇所	入力テキスト	添削
1	10/10/11:20	英語スピーチ (個人)	My name is Runtan. I want to Runtan. I like playing table tennis. I have a lot of fun. I have a table tennis table in my house.	My name is Runtan. I like playing table tennis. I have a lot of fun. I have a table tennis table at my house.
2	10/10/11:20	英語スピーチ (個人)	My name is Runtan. I like playing table tennis. I have a lot of fun. I have a table tennis table in my house.	My name is Runtan. I like playing table tennis. I have a lot of fun. I have a table tennis table at my house.
3	10/10/11:20	英語スピーチ (個人)	My name is Runtan. I like playing table tennis. I have a lot of fun. I have a table tennis table in my house.	My name is Runtan. I like playing table tennis. I have a lot of fun. I have a table tennis table at my house.

図 10 AI 添削個人閲覧シート

IV. 考察

1. (理科) Google Apps Script (GAS) を活用した多言語翻訳アプリの開発

翻訳ツールの活用は、学習者の英語理解を深め、言語を用いた思考と学習の能力を鍛えることに貢献し、新しい言語に対して自信を持って活用する能力の育成につながったと考えられる。これらの手法で生徒が英語で自分の考えや感情を表現する能力を高めることは、英語教育の目標であるコミュニケーション能力の育成に寄与するものである。

また、Google Apps Script (GAS) の作成経験がない

教員が AI の支援を受けてプログラムを完成させた事例は、教育現場におけるプログラミング教育の重要性を増していることを示唆している。従来、専門的な知識を持つ教員が技術的なツール開発に携わり、Excel の関数やマクロを利用して校務支援ツールを作成して使用してきた。しかし、AI 技術の進展により、専門的なプログラミング知識がない教員も基本的なプログラミングの概念を理解していれば、自ら校務支援ツールを開発できるようになった。このことは、これからのプログラミング教育の普及と重要性を強調していると考えられる。

表 1 質問項目

中学校教育 における 生成AI (ChatGPT) 活用に関する生徒アンケート	
1. あなたの学習において、AI を取り入れた学習方法は、従来の AI を用いない学習方法と比較して、学習成果の向上に役立ったと思いますか。	
5. とてもそう思う	
4. そう思う	
3. どちらともいえない	
2. あまり思わない	
1. 思わない	
2. 1. での回答について、AI を取り入れた学習がなぜ学習成果の向上に役立った（あるいは役立たなかった）と思うか、理由を教えてください。（自由記述）	
3. AI の学習への活用に関するあなたの考え（成果と課題）について、教えてください。（自由記述）	

表 2 回答結果

中学校教育 における 生成AI (ChatGPT) 活用に関する生徒アンケート				
1. あなたの学習において、AI を取り入れた学習方法は、従来の AI を用いない学習方法と比較して、学習成果の向上に役立ったと思いますか。				
	音楽科	社会科	英語科	
N	29	32	30	
5. とてもそう思う	2	13	2	
4. そう思う	14	11	4	
3. どちらともいえない	10	4	10	
2. あまり思わない	3	2	11	
1. 思わない	0	1	3	
平均	3.52	4.06	2.70	
標準偏差	0.73	0.88	1.01	

0%20%40%60%80%100%

音楽科

社会科

英語科

■ 5.とてもそう思う

■ 4.そう思う

■ 3.どちらともいえない

■ 2.あまり思わない

■ 1.思わない

2. (音楽科) AI リフレクション, AI 授業分析

2.1 生徒アンケート結果とその分析

音楽科でのAI活用について、生徒に「あなたの学習において、AIを取り入れた学習方法は、従来のAIを用いない学習方法と比較して、学習成果の向上に役立ったと思いますか。 5. 段階評定 (5. とても思う 4. そう思う 3. どちらともいえない 2. あまり思わない 1. 思わない) で尋ねた (表1)。

表2より、「5. とても思う」と「4. そう思う」の回答を合わせた肯定的な意見が全体の55%を占めており、これはAIを取り入れた学習方法が多くの子供にとって学習成果の向上に役立っていると感じられていることを示している。一方で、「3. どちらともいえない」「2. あまり思わない」「1. 思わない」と回答した割合が合計で45%あることより、AIの活用が必ずしも全ての生徒の学習成果の向上につながっているわけではないことが確認された。

2.2 生徒の自由記述回答と授業者の聞き取り分析

表3の生徒の自由記述の回答と授業者の聞き取りを基に、考察を行う。

【成果】

- AIが提供する新しい発想や具体的なアドバイスは、生徒の学習や改善に役立っている。これは、

AIが創造的思考を促す重要な役割を果たしていることを示している。

- AIによる生徒サポートが教員の負担を軽減し、より質の高い教育活動に集中できるようになった。この点は、教育の質の向上だけでなく、教員の働き方改革にも寄与するものである。
- AIが生徒一人ひとりのリフレクション内容に基づいて個別化されたフィードバックを提供することで、個別化された学習が実現可能になる。

【課題】

- AIのコメントが授業内容から外れることがあり、生徒によっては教員のコメントの方がより有益だと感じられることがある。
- AIは科学的な問題に対しては適切なアドバイスを提供できるが、音楽科のような感受的な授業内容に対してはその効果が限定的である。
- AIによるコメントの一部が生徒の意見そのままであったり、パターン化する傾向にあったりした。フィードバックコメントのバリエーション増加と生徒に合わせた教員のコメント修正の重要性を示している。

表3 音楽科 質問項目2, 3 回答: テキストマイニング (ユーザーローカル) を用いたAI文章要約

2. 1. での回答について、AIを取り入れた学習がなぜ学習成果の向上に役立った (あるいは役立たなかった) と思うか、理由を教えてください。 (自由記述)

(5. とても思う, 4. そう思う を回答した生徒)

AIを活用した音楽の授業で、iPadを使って楽譜に工夫することを共有し、好奇心を刺激されて関心が高まった。AIに質問することで時間短縮や的確なアドバイスを受けられ、先生とは異なる視点からコメントをもらえた。AIの提供する新しい発想や具体的なアドバイスは、学習や改善に役立っている。

(3. どちらともいえない, 2. あまり思わない, 1. 思わない を回答した生徒)

AIを使った授業では、AIのコメントが役立つこともあれば、先生によるコメントの方がより有益だと感じることもあるという意見がある。AIのコメントは時に授業内容から外れていることもあり、自分の説明力や情報リテラシーの向上には役立つと感じる一方で、使いにくさを感じる生徒もいる。アドバイスが繰り返しになることもあり、新しい発見が得られない場合もある。先生に質問をすることで、より具体的なアドバイスや実演を受けることができるという声もある。

3. AIの学習への活用に関するあなたの考え (成果と課題) について、教えてください。 (自由記述)

生徒たちはAIを活用して振り返りや宿題の確認を行うことに肯定的である一方、AIが時々誤ったコメントをすることが課題となっている。AIは科学的な問題に対しては適切なアドバイスを提供できるが、感覚的な授業には難しさがあると感じている。AIの活用により教師の仕事量は削減される一方、自分の意見に客観的な意見を得られる利点もある。中学生がAIを使う際には情報リテラシーや言語技術教育が必要と考えられている。AIのコメントは参考になるが、自分の悩みと合わないことがあるため、AIと教師の両方のコメントを組み合わせることが望ましいとの意見もある。

3. (社会科) パフォーマンス課題の設計、ディベートやディスカッションパートナー

3.1 生徒アンケート結果とその分析

社会科での AI 活用について、生徒に学習成果の向上に役立つか尋ねた(表 1) ところ、肯定的な意見が全体の 77%を占めており(表 2)、ディベートやディスカッションパートナーとしての使い方に、生徒たちは大きな価値を見出していることが明らかになった。このことは、新しい情報や異なる視点を迅速に提供できる AI の能力が、従来の学習方法では経験が難しかった深い議論を可能にしたと考える。

3.2 生徒の自由記述回答と授業者の聞き取り分析

表 4 の生徒の自由記述の回答と授業者の聞き取りを基に、考察を行う。

【成果】

- 「パフォーマンス課題の設計」で AI を活用することで、AI が情報収集等の単純作業の負担を軽減し、教員がより創造的な教育活動に集中できるようになった。しかし、AI が提案する内容と教員の教育的意図が合わない場合は、その調整に追加の労力が必要になることがあった。この点は、AI の提案を教育的な意図に合わせて柔軟に調整できるよう、教員の AI 利用スキルが重要であることを示唆し

ている。

- 生徒が使用した「ディベートやディスカッションパートナー」としての活用では、AI が提供する多様な視点や情報が、生徒たちの議論を豊かにし、批判的思考能力の向上に寄与していることを示唆している。

【課題】

- 生成 AI は音声入力における正確性に課題があり、機器操作に慣れていない場合、対話がスムーズにできないなどの問題が生じることもあった。音声入力での対話では音声認識制度や、AI に対する対話の促し方を考慮する必要がある。
- AI からの情報量が多すぎると、生徒がその情報を処理することに苦勞することが明らかになった。これは、AI の情報提供の仕方を工夫し、生徒の年齢や能力に合わせた情報の提示が必要であることを示唆している。
- AI の認識が生徒の求める回答と異なっていたり、間違った回答を返すことがあったりするという課題が生徒から指摘されている。AI が提供する情報の整合性を確認する必要がある、この行為は、生徒にとって情報リテラシーと批判的思考能力を養う重要な機会になりうると考える。

表 4 社会科 質問項目 2, 3 回答:テキストマイニング(ユーザーローカル)を用いた AI 文章要約

2. 1. での回答について、AI を取り入れた学習がなぜ学習成果の向上に役立った(あるいは役立たなかった)と思うか、理由を教えてください。(自由記述)

(5. とてもそう思う, 4. そう思う を回答した生徒)

AI を取り入れた学習によって、新しい考えや情報を得ることができ、自分たちの意見を広げることができると感じた。AI は正確な情報を提供し、問題点や改善点を挙げてくれるため、学習や情報整理が容易になった。また、AI との対話を通じて、新たな視点や考え方を得ることができ、自分の理解を深めることができたと感じた。

(3. どちらともいえない, 2. あまり思わない, 1. 思わない を回答した生徒)

AI を取り入れた授業では、AI が聞き間違いをして話が論点から外れたり、操作ができない場合に時間が無駄になったりすることがあり、人同士で話し合う方が効率的であることが分かった。生成 AI は音声入力において正確性に課題があり、学習方法の幅は広がるものの、慣れていないため新たな問題が生じることもある。

3. AI の学習への活用に関するあなたの考え (成果と課題) について、教えてください。(自由記述)

AI を活用することで、課題解決に向けたヒントを得ることができるが、AI の認識がずれたり、間違った回答を返したりすることがある。AI は感情を入れずに答えを出してくれるが、コミュニケーション面で課題があり、意図しない言葉に変換されたりすることがある。一方で、AI を使うことで新たな考え方や知識を身につけることができ、自分の考えを客観的に見直すことができる。

4. (英語科) AI 英会話, AI 添削

4.1 生徒アンケート結果とその分析

英語科での AI 活用について、生徒に学習成果の向上に役立つか尋ねた(表 1) ところ、表 2 より、「2. あまり思わない」「1. 思わない」の回答を合わせた否定的な意見が全体の 47%を占める一方で、肯定的な意見「5. とてもそう思う」「4. そう思う」が 20%であるという結果は、AI 活用による学習成果の向上を感じている生徒が全体の中で少数派であることを示している。

このことから、英語科での AI 活用について、AI 技術が英語学習を支援する有効なツールとなり得る可能性を示しつつも、一部の生徒にとってはそのメリットが十分に体験されていない結果が明らかになった。

4.2 生徒の自由記述回答と授業者の聞き取り分析

表 5 の生徒の自由記述の回答と授業者の聞き取りを基に、考察を行う。

【成果】

- AI を活用することで、生徒が人と英語を話すことへの苦手意識が低下し、自信を持って話す機会が増えたとの意見があった。AI という学習環境が生徒の自己表現の恐れを軽減し、学習意欲を刺激する効果があることを示している。
- AI 添削を通じて、生徒は自分の発音の問題点や文

法的誤りに気づき、それを修正する機会を得た。

このことは、AI 技術が生徒の個に応じた指導を可能にすることでより効率的かつ効果的な学習プロセスを実現につながる可能性を示している。

- 生徒からは、AI を家庭での学習にも活用したいという意向が示された。このことは、AI 技術が教室外での自主学習を促進する可能性があることを示している。

【課題】

- AI の話す英語スピードが速く、学習者が聞き取りにくい点や、AI が使用する未履修の英単語により理解が難しいという英語能力に関する課題が多くあった。このことは、AI による英語学習が学習者の現在の言語能力に適切に合わせられていないことを明らかにしており、学習者一人ひとりの能力に応じた学習体験の提供が重要であることを示唆している。
- 音声入力により、意図した単語に変換されないなど、AI が意図していない回答を行う(ハルシネーション)などの技術的な課題が挙げられた。このような技術的障壁を解決するには、学習者が遭遇するエラーに対処するための教員のサポートが必要である。

表 5 英語科 質問項目 2, 3 回答: テキストマイニング (ユーザーローカル) を用いた AI 文章要約

2. 1. での回答について、AI を取り入れた学習がなぜ学習成果の向上に役立った(あるいは役立たなかった)と思うか、理由を教えてください。(自由記述)

(5. とてもそう思う, 4. そう思う を回答した生徒)

生徒は、英語を話す機会が増えたことで自分の発音の悪さや文法の間違いに気づき、他者からのフィードバックを通じて改善できることを実感した。以前は話す力に課題を感じていたが、chatGPT を利用することで自信をつけることができた。

(3. どちらともいえない, 2. あまり思わない, 1. 思わない を回答した生徒)

AI 英会話プログラムに対する批判が述べられており、AI のバグや聞き取り能力の低さ、翻訳の誤りなどが問題とされています。学習時間の浪費やフィードバックの不十分さも指摘されています。また、AI との会話ではコミュニケーションの不足や理解の違いが生じることが示唆されています。最終的には、AI よりも人間とのコミュニケーションを重視すべきだとの意見が述べられています。

3. AI の学習への活用に関するあなたの考え (成果と課題) について、教えてください。(自由記述)

AI 添削を利用した結果、自分の発音を確認できることが良かったと感じる一方、AI との会話では上達を実感できないという意見もある。準備に時間がかかり、wi-fi 環境に左右される課題がある。AI と話すことでゆっくり話す練習ができ、発音の訂正も受けられる。リアルタイムのフィードバックは勉強になるが、AI の聞き取り力や誤解釈が課題となる。会話が成り立つことが成果であり、スムーズな進行や有益なフィードバックが課題として挙げられる。対話能力の向上や発音の確認ができたが、実践に活かすことが難しいと感じる意見もある。ネイティブの速度や発音に慣れる必要があり、AI を使う際には理解を深めることが重要であるとの意見もある。

5. 総合考察

【成果】

教育における AI の貢献として、学習支援と能力向上に点では、理科、音楽科、社会科、英語科での実践を通じて、AI が多言語翻訳、リフレクション、ディスカッションサポート、英会話練習などで学習者の理解を深め、コミュニケーション能力や批判的思考能力の向上に寄与していることが明らかになった。

特に、個別化された学習や新しい情報の迅速な提供による学習成果の向上が示された。また、教員の負担軽減と教育の質の向上の点では、AI の導入により、情報収集等の単純作業の軽減を実感し、より創造的な教育活動により集中できるようになり、教育の質の向上につながった。

【課題】

AI の活用は必ずしも全ての生徒の学習成果を向上させるわけではなく、一部の生徒においては学習効果が十分に発揮されていないことが確認された。特に、英語学習における AI の使用には、学習者の現在の言語能力に適切に対応していないという課題が存在する。さらに、AI が提供するコメントが授業内容から逸脱することや、音声入力の精度に問題があることなど、技術的な課題が学習成果に影響を与えていることが明らかになった。また、AI による情報提供の過多が学習者の情報処理能力を超えてしまうケースも課題として挙げられる。

これらの課題に対処するためには、教員の AI 利用スキルの向上が必要である。AI が提案する内容が教育的意図と合致しない場合に調整を加えるには追加の労力が必要であり、AI の提案を教育的な意図に合わせて柔軟に調整する能力は、教員にとって重要であることが示唆される。

V. おわりに

教育分野での AI の効果的な活用は、学習者の能力向上、教育の質の向上、および教員の負担軽減に貢献する可能性がある。しかし、その効果は学習者の個人差や、AI を活用する際に直面する技術的な課題の存在によって左右される。

これらの課題に対処するためには、教員向けの AI 利用研修の充実や、学習者の能力や必要性に応じた AI 学習ツールの開発が必要である。さらに、AI の利用効果を最大化するためには、学習者、教員、およびプロン

プト開発者が連携し、教育現場での AI の適切な利用方法について研究実践を続ける必要がある。

謝辞

この研究は令和 5 年度教育学部長裁量経費：附属学校園をフィールドとした研究助成「授業実践を通じた生成 AI の教育的活用に関する研究」として、支援を受けて行なわれた。

本研究の理科の実践、教材準備等において、愛媛大学学生の Dick Mwera 氏、Ijeoma Antonia Onwukeme 氏にご協力いただいた。ここに記して感謝申し上げる。

引用・参考文献

- 田中善将 (2023) : 教育向け LLM プロンプトエンジニアリング, <https://note.com/ytanaka3/m/m02f06572580f> (2024 年 2 月 18 日確認)
- 立石俊夫 (2022) : ロイロノート版 シンキングツールで授業を変える! わくわくパフォーマンス課題づくり, 明治図書出版。
- 文部科学省 (2023) : 初等中等教育段階における生成 AI の利用に関する暫定的なガイドライン : https://www.mext.go.jp/content/20230710-mxt_shuukyo_02-000030823_003.pdf (2024 年 2 月 18 日確認)

本物と比較する理科学習 —小学校理科第6学年「人や動物の体」の学習を通して—

Comparing Genuine Articles in Science

-Through the Study of “Human and Animal Bodies” in 6th Grade Elementary School Science Class-

水口 達也^{*1}・向 平和^{*2}

Tatsuya Minakuchi^{*1}・Heiwa Muko^{*2}

^{*1}愛媛大学教育学部附属小学校・^{*2}愛媛大学教育学部

^{*1}Ehime University Elementary School・^{*2}Faculty of Education, Ehime University

〔要約〕 自分の体なのにそのつくりや仕組みに関心を持ちにくく、その巧みさに気付いたり、神秘さを感じたりすることができない。それは自分の体があり、動いて、生きていることが当然のことだからであろう。だからこそ、他の生き物と比べる必要がある。比較すれば、自分の体の特徴や巧みさに気付くことができる。比較するからこそ、自分の体の素晴らしさを感じることができる。小学校4～6年生の「人」に関する学習で効果的に他の動物と比べる単元を構想し実践した。人への理解が深まるとともに、もっと広く命について、生の営みについて考えたり、関心を持ったりする姿が見られた。また、本物に出会わせることを大切にした。本物に出会ったときの子どもの反応は生き生きとしている。映像や資料だけでなく、本物に触れることで心が動くのであろう。本物以上の資料はなく、知識以上の何かを得ることができる。学習の過程で本物に出会う場面を設定していくことで、理解を深めるだけでなく、生命を尊重したり、主体的に学習したりする態度を高めることができる。他の動物と比較し、本物と出会うことで、人の理解だけでなく、「生きる」という大きな枠組みを感じ取ることができるのではないだろうか。

〔キーワード〕 他の動物との比較、本物、生の営み

I. 問題の所在

4年生では「人の体のつくりと運動」について、5年生では「人の誕生」について、6年生では「人の体のつくりと働き」について学習し、系統的に人の体について理解を深めていく。

この「人」の領域において、自分自身の体であるが問題意識を持つことができにくいと感じる。なぜ？これは何？といった疑問は出てきても、それを解決したい、こういう方法で解決できそうだという見通しを持つまで至らない。小学校学習指導要領解説には、「問題を見いだす際に、自然の事物・現象を比較し、差異点や共通点を明らかにする」とある。ならば、人と何かを比較し、その差異点や共通点から問題を見いだすことが有効であろう。

また、映像や模型などの資料では、どこか他人事のように感じてしまう。本当にあるのか、本当にそのような形をしているのか実感できないからである。本物と出会わせることで、自分のもの、または、本当の生きていた動物の物という実感を持って調べたり考えたりすることができる。本物に触れる感動を味わいな

がら学習できると考える。

II. 授業実践の目的・方法

1. 目的

動物と人を比較することで、その差異点や共通点から問題を見だし、主体的に問題解決に取り組むことで理解を深める。また、解決の過程で問題が連続してつながっていくような単元を構想したり、本物と出会う場面を設定したりすることで、学びに向かう力や生命を尊重する態度を高める。

2. 方法

a. 人と動物を比較しながら解決する単元構想

4年生「人の体のつくりと運動」、5年生「人の誕生」、6年生「人の体のつくりと働き」の単元において、人と動物の比較を効果的に組み込んだ単元を構想する。

b. 本物と出会う場面の設定

愛媛県立とべ動物園の協力のもと、動物の頭蓋骨や足の骨の標本、全骨格標本、動物の糞などの本物を用意する。また、獣医師会や妊婦さんなど本物の話や様子を聞くことができる場を設定する。

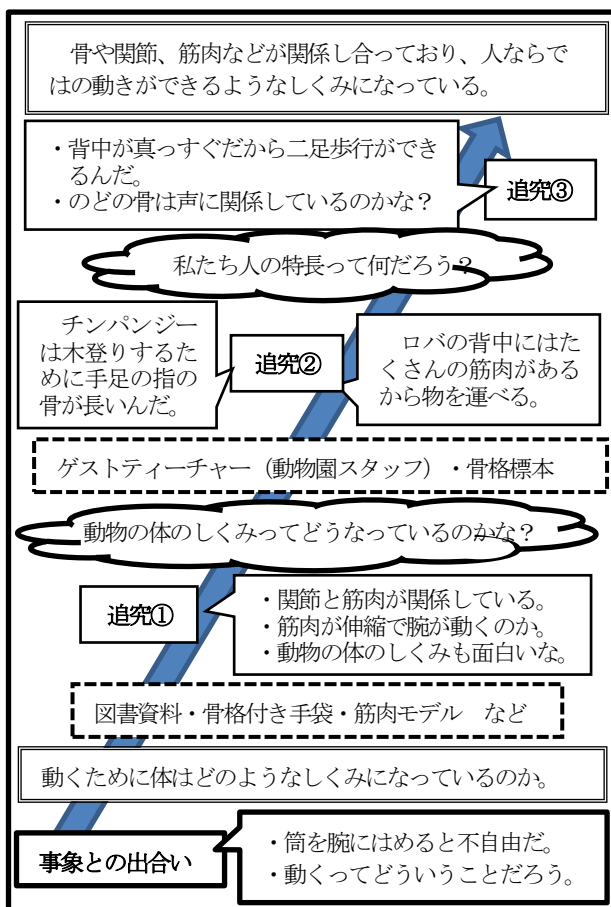
Ⅲ. 授業実践の結果

1. 人と動物を比較しながら解決する単元構想

a. 4年生「人の体のつくりと運動」

人→動物→人という順番で学習し、人の体の仕組みを習得する場面、その知識や考え方を使って動物の体の仕組みを考えていく活用場面、そしてもう一度人に戻って見詰め直す応用場面と進む単元構想を行った。

動物の骨や関節、筋肉という部分を人と同じように見てみるとその違いが際立ってくる。「どうしてチンパンジーの足の指はあれほど長いのか」「ペリカンの骨はなぜ軽いのか」など、その動物の特徴に気が付き、その理由について考えが広がっていく。そしてその考えは、動物の住んでいる環境や特性に合ったものであるということにまとまっていった。では、私たち人の特性とは何であろうか。もう一度子どもは自分自身と向き合い、体について見詰めていく。「背中が真っすぐだから二足歩行ができる」「足がしっかりしているから立つことができる」など、体の仕組みによって人らしい生活や行動が支えられていることを理解することができた。動物と比較するからこそ、人の特性や巧みに気付くことができたと考える。

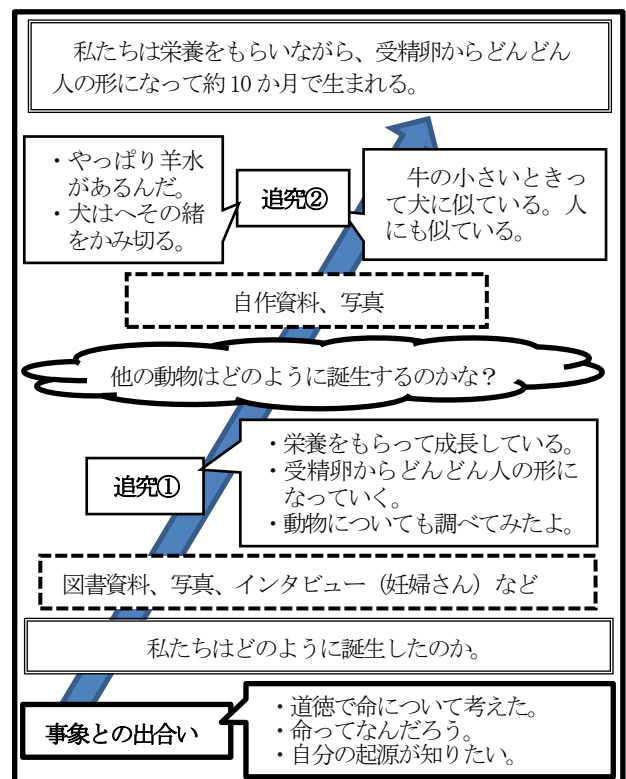


＜单元構想（8時間）＞

b. 5年生「人の誕生」

4年生の単元と同様に、人→動物→人という順番で学習が進んでいく単元を構想した。

成長過程やへその緒、羊水といった既習内容を他の動物に当てはめてみると、大きさや妊娠期間などの違いがあるが、「小さいときは人に似ている」「哺乳類の成長過程は人に似ている」など、共通点も出てくる。食べ物も住む場所も種類も違うけれど、誕生するその過程には共通点があることから、命の神秘さや尊さに気付くことができた。

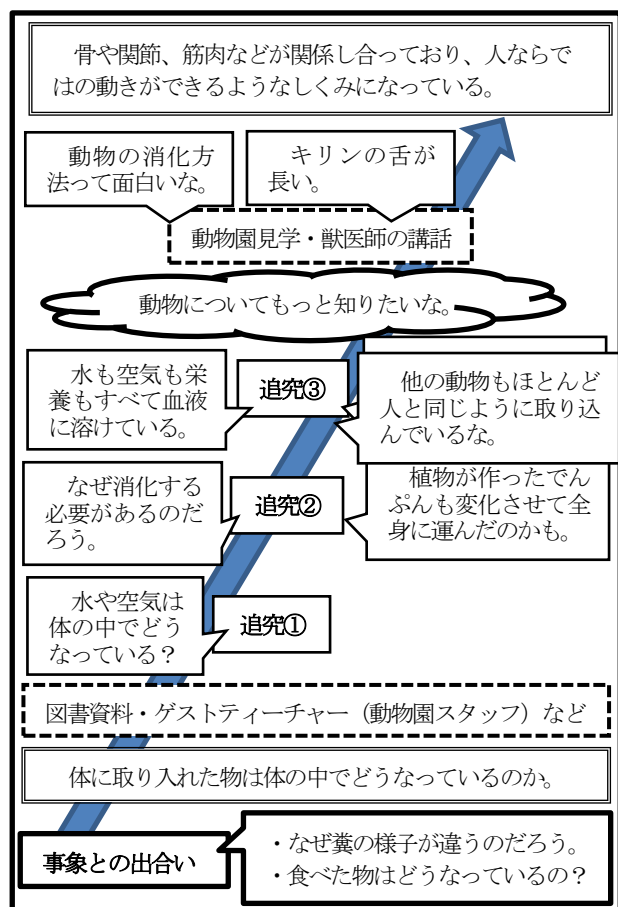


＜单元構想（10時間）＞

C. 6年生「人の体のつくりと働き」

人と動物の両方を同時に進めていく単元を構想した。4種類の動物の糞を提示し、動物を予想したりその根拠を話し合ったりする中で、「なぜ糞の様子が違うのか」という疑問から体の中へ意識をつなげ問題を設定した。そして、食べ物・水・空気の3つについて体の中でどうなっているのか追究した。その際に、人である自分自身だけでなく、自ら決めた動物についても調べ、人との違いや共通点を整理していくようにした。終末では、人は消化酵素を使って効率よく分解しているのに対し、動物は非効率であったり、消化酵素を持たなかったりと、生き物によって消化方法が違

ことに気付いた。疑問はどんどん広がっていき、とべ動物園での見学や獣医師からの説明や質疑応答といった多様な解決方法へ進んでいった。



< 単元構想 (11 時間) 動物園見学は除く。 >

2. 本物と出会う場面の設定

それぞれの単元で次のような場面を設定した。

4年生	単元名「人の体のつくりと運動」
【場面】	
追究②の動物について調べる場面で、とべ動物園に協力してもらい、チンパンジーとロバの全骨格標本とゾウやダチョウの足などの標本を用意した。	
【子どもの様子】	
ペリカンとカンガルーの同じ大きさの骨を見せ、子ども一人ひとりに持たせると、「え？軽い!」「これ本物？プラスチック?」などの声があがる。チンパンジーとロバの全骨格を見て、特徴とその理由（生活様式や行動特性）に注目した話し合いをした。	
	

5年生	単元名「人の誕生」
【場面】	
追究①の人の誕生について調べる場面で、妊婦さん2人に来ていただき、出産やお腹の様子、子どもからの質問に答えてもらった。	
【子どもの様子】	
保健室から実寸大、実物の重さの赤ちゃん人形を借りており、その抱き方などを聞く姿が見られた。「つわりとはどういうものか。」「出産の苦労は。」「妊娠中はどんな制限があるのか。」など妊婦さんにしか分からないことについて質問していた。	
	

6年生	単元名「人の体のつくりと働き」
【場面】	
- 導入場面で、キリン・ライオン・ゾウ・サイの糞に出会わせた。 - 単元末に、動物園に行き実際の動物の消化の様子や話を聞いた。	
【子どもの様子】	
誰の糞か考えながら、体の中や消化方法が違うなど、体の中に意識を向け、問題を見いだしていった。動物園では、実際の様子を見ながら話を聞いたり質問をしたりすることで消化への興味や理解を深める様子が見られた。	
	

IV. 結果・考察

人と動物を比較する単元構想を行ったことと、本物に出会わせることで、2つの効果があったと考える。

1つ目は、比較するからこそ、本物に出会うからこそ、疑問や問題が次々と湧いてくることである。「動物は分かりやすい特徴があるけど人はどうだろう?」

「なぜこんな形をしているのかな？」など、目の前に比べるものがあれば子どもは自然と差異点や共通点を見付け、問題を見いだしていく。

4年生の学習では、とべ動物園のゲストティーチャーとともに骨の標本を見ながら、「なぜチンパンジーの指はこんなに長いのかな」「ロバの背骨にある突起は何だろう」「みんな背骨が曲がっているな」など、自分たち人や他の動物を比べながらその特長を見つけて考えを深めていった。

5年生の学習では、二人の妊婦さんに対して、事前に用意していた質問はもちろんであるが、話を聞きながら考えながら出てきた疑問を尋ねる姿が見られた。

6年生の学習では、単元を通して他の動物と比べながら学習することで、「小型犬を飼っていて、確かにうちの犬は呼吸が自分より早いと思いました。同じ呼吸でも回数とかが違って面白いと思いました」「犬や猫は人間と比べて消化酵素が少なくでんぷんの消化は苦手らしい。人間との違いを見つけるのが楽しいなと感じました」など、比べることで気付くことの楽しさを感じていた。

2つ目は、体のしくみや命について実感を伴って理解したり、尊さや不思議さ、神秘さを感じたりすることができたことである。それぞれの授業後、次のような感想を持っている子どもがいた。

＜4年生 骨の標本を見た後＞

- ・動物の骨は人と違うところがたくさんあってびっくりしました。他の動物の骨なども見てみたいです。次にとべ動物園に行くときはいろいろな動物の骨を考えながら見たいです。
- ・ロバは足の指が一本ということが分かったので一本指で立ってみたら全く立てませんでした。ロバや馬のバランス感覚がうらやましく思いました。

＜5年生 妊婦さんとの交流後＞

- ・妊婦さんが二人来て、3か月くらいの差なのにお腹の大きさが全然違い、赤ちゃんはこんなに3か月で大きくなるんだなと思いました。二人いたから比べられたし、こうやって授業してくれてよかったです。
- ・妊婦さんたちは、二人とも何回も出産を体験した方たちで、質問した時、実際に経験したことを言ってもらえるのですごく信用できる感じでした。胎児の成長とか、すごく楽しみにしているような感じで話していたので、そんなに育児って楽しいのかなと思いました。

＜6年生 動物園の見学後＞

- ・キリンを見たときに、反芻するのが見えました。今度から反芻する生き物たちの食事後の喉元を観察してみたいです。キリンの食べっぷりと賢さには驚きました。
- ・今回の学習は「直接やる」ということのよさが改めて分かりました。写真や動画だけでは疑問に感じるものがどっさり出てきましたが、実際に話して見ることで、疑問に思うことを質問できるからです。
- ・自由行動のときも、どんな動物がどんな餌を食べたらどんな糞になるのかや、その動物の気性や性格も気にすることができました。
- ・微生物のおかげでカンガルーが筋肉ムキムキになって、微生物のおかげで草でも栄養がとれていてすごいと思います。たくさんの驚きと学びができて楽しかったし、また違うことでもいいので動物の学びをしていきたいです。

このように、本物に出会い、体感することで、心を動かす姿が見られた。

V. おわりに

子どもと学習しながら、私自身が自分の体の素晴らしさに感動した。小さな受精卵からこの体の巧みさや仕組みができると考えると私たち生き物は何者なのかと思う。また、普段の生活の中で、自分の体の動きを意識したり、食事中に食道や胃に食べ物を通る感覚を感じたりするなど、見るもの感じるものが変化してきた。こういった変化が子どもにもあったら素敵だなと思う。見えないものが見えてくる、感じられなかったことを感じるようになってくる。そういうことが理科の面白さの一つである。そして何より命を生きることが大切に、豊かに人生を歩んでもらいたい。

謝辞

本研究は科学研究費補助金（課題番号：21H00925）の支援で実施した。

文献

文部科学省 (2018), 小学校学習指導要領解説 理科編, 株式会社東洋館出版社。

Using a Digital Game to Provide Experiential Learning for Improved Understanding and ESD Skills in Science.

Dick MWERA ^{*1}, Heiwa MUKO^{*1}

Faculty of Education, Ehime University

Abstract.

Experiential learning has been proven to be effective in helping students gain practical and long-lasting understanding of science concepts. Recognizing this, an activity was done to assess the effectiveness of a digital game in providing experiential learning to foster students' improved understanding of environmental science concepts as well as enhanced ESD skills in science. In the activity, 9 pre-service teachers solved pollution and energy missions in a purposefully designed digital game to make a virtual city sustainable. The evaluation conducted before and after engaging with the game revealed a notable increase in mean performance, rising from 79.19% in the pre-test to 97.78% in the post-test at $t = -5.847$, with a corresponding calculated p -value of 0.0004 ($p < 0.05$). The outcome underscored the efficacy of the game in fostering noticeable improvements in the academic performance of the participants. Furthermore, participants reported an engagement level of at least 7 on a scale of 1 to 10 showing that using the game not only captured the interest of the participants but also kept them actively engaged throughout the activity. This may imply that providing experiential learning through digital games offers a platform for; immersive learning, inquiry-based learning, critical thinking, and enhanced students' environmental consciousness which is critical in achieving SDGs.

Keywords: ESD Skills, experiential learning, SDGs, prospective science teachers, student's interest, and performance.

INTRODUCTION

In the face of rampant environmental sustainability challenges, Education for Sustainable Development (ESD) promises to equip students with relevant skills that promote sustainability by helping achieve the Sustainable Development Goals (SDGs). Both educators and governments emphasize the incorporation of ESD in education curricula. However, for science teachers, the main challenge is how to provide valuable learning experiences that effectively promote scientific understanding as well as ESD skills, both of which are mostly abstract.

On the nature of science, Louca & Zacharia (2011) describe science as a complex, multifaceted activity that includes forming and justifying new knowledge to explain natural phenomena. Based on this, it is believed that students tend to learn better when they assume an active role in constructing their own knowledge through experiences and interpretation (Roschelle et al., 2001). With this

background, experiential learning is critical in fostering students' ability to gather long-lasting practical knowledge and understanding of science.

In recent years, educators have been trying to find innovative ways of providing students with experiences through which they can learn. One of these innovative ways is the use of games in educational settings. Existing literature states that games offer engaging platforms for experiential learning (Arnab, 2014).

Furthermore, Plass et al. (2020) highlighted that game-based learning helps students (1) acquire new knowledge and skills about an important subject matter, (2) practice existing knowledge and skills, (3) develop learning and innovation skills, and/or (4) prepare for future learning. From the arguments made for the use of games in education, one is compelled to theorize that using games in science can yield remarkable results considering that science seems to be better learned when experience and active learning are employed.

Even though there has been extensive research on game-based learning and gamification in science education, there is a gap in research on game-based learning for environmental education and ESD skills in science.

To emphasize the need for environmental and ESD in science education, literature reports that since the dawn of industrialization, the world population has continued to increase exponentially entailing a corresponding rapid depletion of natural resources such that scientists forecast that if measures are not taken, humanity will require an equivalent of three planets to satisfy the requirements for food, water, energy, and other natural resources by the year 2050 (Streiling et al., (2020); Goodland, (1995)).

Environmental education in science is fundamental in the attempt to address pressing global challenges, that range from, pollution, energy, diversity conservations, and many others. For instance, in describing pollution, Morelli (2011) states that humanity's inability to fit its activities in the patterns of nature, is changing planetary systems, and these changes are accompanied by life-threatening hazards from which there is no escape.

Furthermore, the reliance on non-renewable energy sources has exacerbated environmental degradation in both developing countries and more so in developed countries. To illustrate this, only 12.4 % of the 20,000,000 population of Malawi has access to electricity (JICA, 2022). With the remaining 87.6% solely depending on the environmentally damaging sources of energy.



Figure 1. Illegally produced Charcoal is commonly used as an energy source in Malawi. (Source: NYASA TIMES)

On the other hand, in Japan, despite a relatively larger percentage of the population having access to electricity, fossil fuels still account for 88% of Japan's total energy supply (IEA, 2021). It is even more alarming on the global energy stage where studies have revealed that fossils constitute 81% of all the energy produced (IEA, 2021).

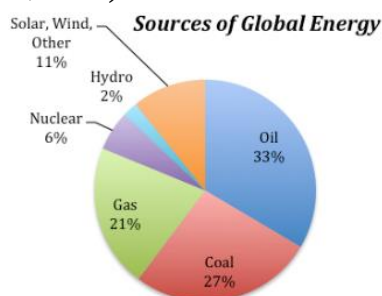


Figure 2. Percentage contribution of different sources to world energy. (Source: IEA, David Bice)

From these revelations, it is evident that environmental degradation because of pollution and unsustainable energy sources are sectors that need urgent and vigorous action. Therefore, this study was designed around fostering game-based learning for both improved scientific understanding and enhancement of ESD skills in science by focussing on pollution and energy sources. Specifically, this study sought answers to the following questions:

1. What impact will the game have on participants' understanding of pollution and energy sources?
2. Can games be effectively used to promote ESD skills in science education?
3. To what extent will the participants be engaged in the activity?
4. What impact will interacting with the game have on participants' perspectives on the use of games as a teaching tool in the future?

RESEARCH METHOD

A systematic and structured experimental approach was adopted to draw meaningful conclusions regarding the educational efficacy of using a game in environmental education science. This approach was suitable for this study based on arguments by multiple researchers who argue that when used thoughtfully in education, games may contribute to active learning due to their interactive and engaging nature. (Gee, (2008); Hamari et al., (2014)). As such, to ascertain the game's impact on students' performance and engagement, assessments were administered through Google Forms before and after the game intervention.

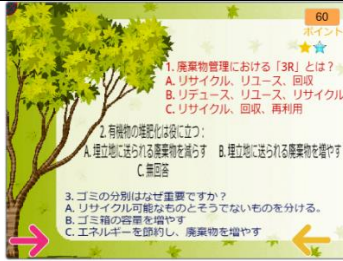
A digital environmental educational game simulating a virtual city was developed in *Scratch* which is a visual programming language developed by the MIT Media Lab. The game was designed to be platform-independent and accessible through standard web browsers without the need for additional installations on various devices including computers, smartphones, and tablets.

In the game, the task was for participants to make the city environmentally sustainable by solving pollution and energy challenges faced by the city. To successfully play the game, participants used their: (i) Understanding of science concepts, (ii) Decision-making skills, and (iii) Collaboration skills. Upon successful completion of the missions in the game, participants would obtain 3 in-game stars and win the game.

To foster learning, educational concepts were incorporated into the game scenes by integrating learning points as shown below.

Table 1. Game scenes and learning points.

MISSION	GAME SCENE	TASK	INTERACTIVE ELEMENTS	LEARNING POINT
Pollution		Identify sources of pollution.	Participants clicked on the elements they understood as sources of pollution.	Understanding of sources of various types of pollution
		Answer a quiz on pollution.	Participants clicked on the answer they deemed correct.	Understanding of effects of pollution.

Energy		Sort household garbage.	Participants chose whether to sort the garbage off or not.	Participants' decision-making skills.
		Answer a quiz on pollution.	Participants clicked on the answer they deemed correct.	Understanding of the importance of sorting garbage about recycling.
		Identify renewable energy sources.	Participants clicked on the icons representing renewable energy sources.	Understanding of renewable and non-renewable energy sources.
		Rank and regulate energy sources.	Participant ranked the energy sources based on their impact on the environment. Participants decided which and to what extent to utilize the energy sources.	Understanding of environmental impacts of different energy sources.
		Control the total energy received by the city.	Participants regulate how much total energy to be received by the city.	Decision-making skills.

Though the game's educational content focused on Junior high school science environmental education, first-year pre-service science teachers at a Japanese public university participated in the activity. This allowed for the collection of data both on the effectiveness of the game as a teaching tool as well as the pre-service science teachers' attitudes on using games when teaching science. For objectivity, participants used either numbers or letters as their identity throughout the activity. Participants were partnered by an online random-pair generator accessed at: <https://randomgenerate.io/random-pair-generator> to promote participant collaboration.

Before game-play, participants ranked energy sources from best to worst based on their environmental impact. Participants used this information to solve the energy mission in the game. During game-play, for each unsuccessful run, participants were able to reset the game multiple times until the mission was satisfactorily completed.

After the collection of pre-test and post-test responses, descriptive statistics (means and standard deviations), were used to summarize participants' performance. A Paired sample t-test was

used to assess the significance of the observed difference between the pre-test and the post-test scores. Furthermore, determinant questions on both the pre-test and the post-test were visualized using charts and analysed to determine if there was a shift in the participants' perceptions after interacting with the game. Attitude and engagement responses were also analysed to assess the game's impact on participants' attitudes toward the use of games when teaching science.

RESULTS AND DISCUSSION

A face-value comparison of the means from the pre-test and the post-test showed an increase in the knowledge of the participants in environmental-related concepts from 76.19% to 97.78%. A decrease in the standard deviation from 10.10 on the pre-test to 6.67 on the post-test was also observed. This notable enhancement in participants' performance was directly attributed to the efficacy of the game. This outcome was in line with a finding by Chen, et al., (2019) that games in education, contribute to significantly better students' performance.

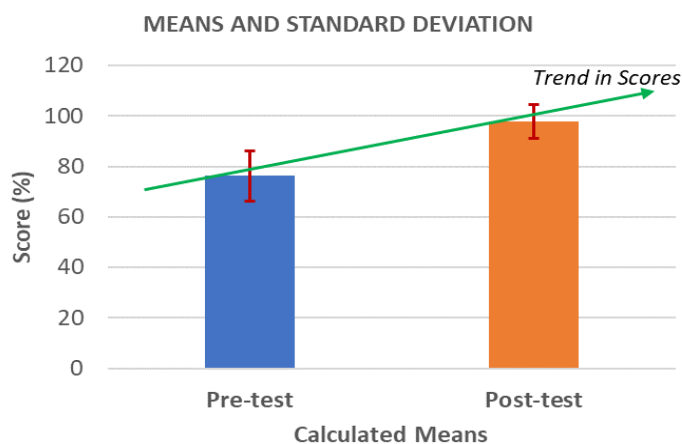


Figure 3. Pre-test and post-test mean comparison.

A paired-sample t-test attested to the statistical significance of the difference between pre-test and post-test scores at $t = -5.847$ and a calculated p -value of $(t(8) = 0.0004, p < 0.05)$, an outcome that was consistent with our prediction.

Furthermore, an assessment of determinant questions on both the pre-test and the post-test showed an increase in correct responses from 22.2% on the pre-test to 88.9% on the post-test revealing a shift in students' conceptions after interacting with the game.

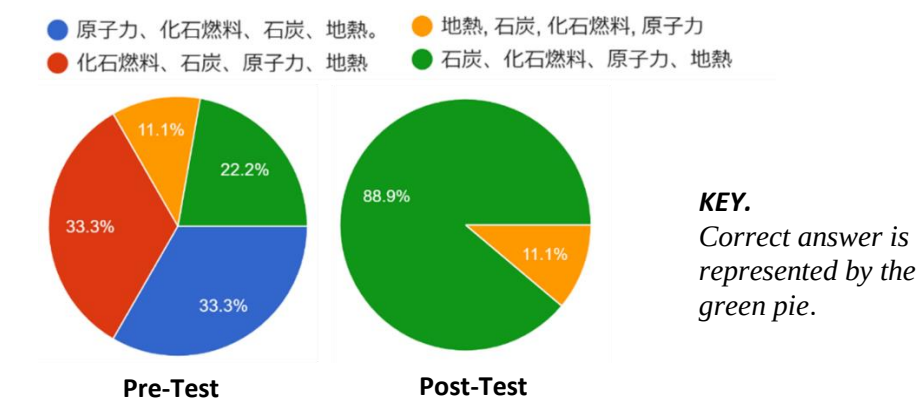


Figure 4. Scores on determinant questions on Pre-test and Post-student.

This is further supported by an observation by Wichaidit & Sumida (2023) that game-based learning fosters cognitive and intentional conceptual change, during which students extend their conceptions.

Before interacting with the game, all participants supported the use of games in teaching science while in the post-test, about 66.7% of the participants supported the use of games in teaching science.

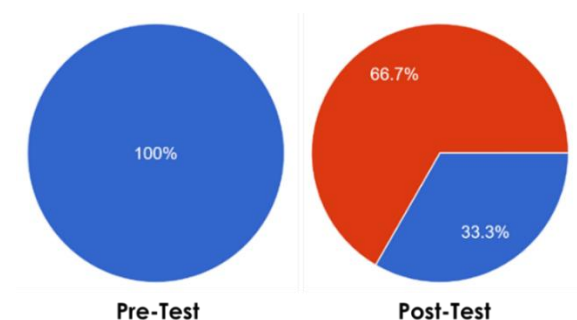


Figure 5. Pre-service Teachers' attitude towards using games in teaching.

The shift in participants' attitudes was incongruent with the predictions and several factors including participants' game preferences might have contributed to this shift. This is pointed out by Van Gaalen, (2022) who states that students' game preferences must be considered when designing game-based learning since not every game-based learning strategy fits all students.

A reported 7 on a scale of 1 to 10 level of engagement, revealed the game's ability to intrigue and capture participants' interest throughout the activity.

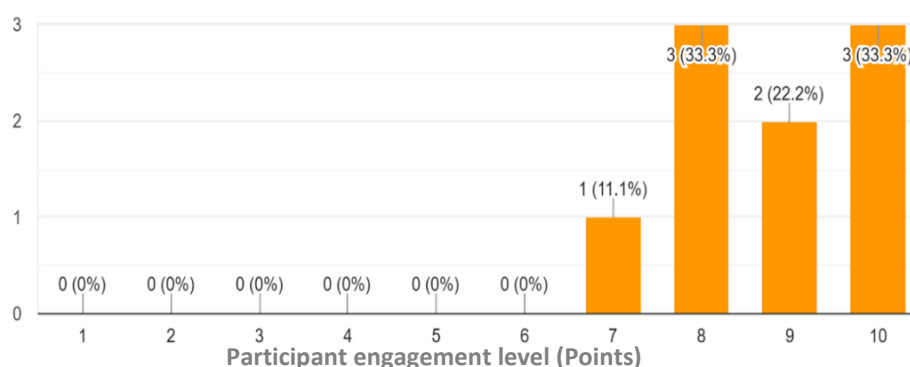


Figure 6. Students' engagement level.

This outcome is further supported by results from studies by multiple researchers who reported that using games in education keeps students engaged (Gee, 2008; Deterding et al., (2011); Hamari et al., (2014); Glover, (2013)).

Though a remarkable body of knowledge was generated by this study, it wasn't without limitations which may undermine the generalisability of its findings. Firstly, the study was conducted with a group of only 9 participants, and this may impact the generalizability of the findings to a broader population. As suggested by Hedges & Rhoads (2009), for a study to have a general inference on the population, the sample size must be a true representation of the population size. Therefore, future research could benefit from conducting a similar study but with a larger population sample. Secondly, the researcher's inability to speak Japanese might have hindered the smooth exchange. In future research, the use of a real-time translation tool may help foster smooth communication for thorough explanations of concepts about the study where necessary.

CONCLUSION

Overall results revealed that the game served as an effective tool in; capturing the interest of the students, promoting students' participation, enhancing understanding of relatively abstract concepts, actively engaging the students' skills in problem solving as well as calling students to action collaboratively work towards environmental sustainability. This may imply that using such an

innovative tool in the teaching and learning of science can promote immersive and inquiry-based learning, and critical thinking as well as promote students' environmental consciousness for SDGs achievement. Plass et al. (2020); and Prensky (2001) agree with these findings by their stance that integrating games into science education provides an interactive and dynamic approach to learning. These attributes of the game, align with the guidelines of ESD towards attaining the 17 SDG goals which are (i). To promote concrete actions through the development of interest, understanding, attitude, and ability to solve problems. (ii). To have a participatory approach that emphasizes experiences, common sensation, inquiry, and practice, and (iii). To withdraw the willing action of learners during activities (Kadoya & Goto, 2013). Therefore, teachers must explore ways to effectively incorporate games and other innovative tools into their teaching arsenal to foster students' experiential learning in science.

Acknowledgements.

I am grateful to the respondents for availing themselves during data collection.

REFERENCES.

- Arnab, S., Lim, T., Carvalho, M. B., Bellotti, F., de Freitas, S., Louchart, S., Suttie, N., Berta, R., & De Gloria, A. (2014). Mapping learning and game mechanics for serious games analysis. *British Journal of Educational Technology*, n/a – n/a. doi:10.1111/bjet.12113
- Chen, Ching-Huei & Huang, Kun & Liu, Jun-Han. (2019). Inquiry-Enhanced Digital Game-Based Learning: Effects on Secondary Students' Conceptual Understanding in Science, Game Performance, and Behavioral Patterns. *The Asia-Pacific Education Researcher*. 29. 10.1007/s40299-019-00486-w.
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. 2011. From game design elements to gamefulness: Defining "gamification". In A. Lugmayr, H., Franssila, C. Safran, & I Hammouda (Eds.), *MindTrek 2011* (pp.9-15). Doi: 10.1145/2181037.2181040"
- Gee, James, P., (2008). *Learning and Games in The Ecology of Games: Connecting You, Games, and Learning*. Katie Salen (ed.). Cambridge, MA: The MIT Press, 2008. 21-40.
- Global Energy Sources (2021) Global Energy Sources | EARTH 104: Earth and the Environment (Development). Available at: <https://www.e-education.psu.edu/earth104/node/1345> (Accessed: 23 December 2023).
- Glover, I. (2013). *Play As You Learn: Gamification as a Technique for Motivating Learners*. Ed Media 2013, 1999 – 2008
- Goodland, R. (1995). The Concept of Environmental Sustainability: *Annual Review of Ecological Systems* 26 (1995): 1-24
- Hamari, J., Koivisto, J. & Sarsa, H. 2014. Does Gamification Work? – A Literature Review of Empirical Studies on Gamification. 47th Hawaii International Conference on System Science.
- Hedges L.V. & Rhoads. C. (2009). *Statistical Power Analysis in Education Research*. Washington DC: National Center for Special Education Research (NCSE). Retrieved December 21, 2023, from <https://ies.ed.gov/ncser>
- JICA (2022) Sector position paper Malawi Office Energy Sector - Jica. Available at: <https://www.jica.go.jp/Resource/malawi/english/activities/c8h0vm00004bpzlh-att/energy.pdf> (Accessed: 11 January 2024).
- Kadoya, S. & Goto, M. (2013). The past, present, and future of ESD in Japan - 国立教育政策研究所. Available at: https://www.nier.go.jp/kankou_kiyou/kiyou142-105.pdf (Accessed: 19 September 2023)

- Louca, L & Zacharia, Z. (2011). Modeling-based learning in science education: Cognitive, metacognitive, social, material and epistemological contributions. *Educational Review*. 2011. 10.1080/00131911.2011.628748. Available at: https://www.researchgate.net/publication/233091670_Modeling-based_learning_in_science_education_Cognitive_metacognitive_social_material_and_epistemological_contributions/citation/download
- Morelli, J. (2011). "Environmental Sustainability: A Definition for Environmental Professionals," *Journal of Environmental Sustainability*: Vol. 1: Iss. 1, Article 2. DOI: 10.14448/jes.01.0002. Available at: <https://scholarworks.rit.edu/jes/vol1/iss1/2>
- Nkhulembe, L.G. (2017) Illegal charcoal production on the rise due to poverty - forestry officer, Malawi Nyasa Times - News from Malawi about Malawi. Available at: <https://www.nyasatimes.com/illegal-charcoal-production-rise-due-poverty-forestry-officer/> (Accessed: 13 January 2024).
- Plass, J. L., Homer, B. D., Mayer, R. E., & Kinzer, C. K. (2020). Theoretical foundations of gamebased learning and playful learning. In J. L. Plass, R. E. Mayer, & B. D. Homer (Eds.), *Handbook of game-based learning* (pp. 17–34). Cambridge, MA: MIT Press.
- Prensky, M. (2001). *Digital game-based learning*. St. Paul: Paragon House.
- Roschelle, J., Pea, R.D., Hoadley, C.M., Gordin, D.N., & Means, B. (2001). Changing how and what children learn in school with computer-based technologies. *The Future of Children*, 10(2), 76-101. <https://doi.org/10.2307/1602690>
- Streiling, S., Hörsch, C., & Rieß, W. (2020). Effects of Teacher Training in Systems Thinking on Biology Students—An Intervention Study. *Sustainability*, 13(14), 7631. <https://doi.org/10.3390/su13147631>
- UNESCO (2005a). World decade of education for sustainable development. Retrieved from the World Wide Web, August 10, 2023 at www.unesco.org/new/en/education/themes/leading-the-international-agenda/education-for-sustainabledevelopment/.
- Van Gaalen, A. & Schönrock-A, Johanna & Renken, Remco & Jaarsma, Debbie & Georgiadis, Janniko. (2022). Advancing Game-Based Learning (GBL): Identifying Player Types to Tailor GBL-design to Learners. *JMIR Serious Games*. 10. e30464. 10.2196/30464.
- Wichaidit, S. & Sumida, M. (2023). The Effect of Game-based Learning on Student's Conceptual Change in Bioaccumulation and Biomagnification. *Science Education International*. 34. 262-273. 10.33828/sei.v34.i4.2.

Appendix 1: Educational Game Pre-Test.

科学教育におけるゲーミフィケーション教育アプローチ：環境教育における学習者の関与と成績への影響の評価。（事前テスト）

名前やメールアドレスを入力しないでください。データ処理を容易にするために、演習の最初に与えられたコードを使用してください。

導入

ゲーミフィケーションとは、ゲームデザイン要素やゲームの原則をゲーム以外の物事に応用する散る国です。この活動は、中学校の科学の環境教育における教育ツールとしてのゲームの使用に関するデータ収集を行っています。

パート A：参加者の情報

参加者番号：

年齢： 男 女

学術専攻：_____

パート B：知識評価

- 大気汚染の主な原因は？
 - 自動車排出ガス
 - 火山噴火
 - 工業排出ガス
 - 上記すべて
- 廃棄物管理における "3R" とは何を意味するのか？
 - リサイクル、リユース、リカバー
 - リサイクル、リカバー、リバーパス
 - リデュース、リユース、リサイクル
 - リデュース、リサイクル、リカバー
- 埋立地の廃棄物を減らすための最も環境に優しい方法とは？
 - 堆肥化
 - 燃えるゴミ
 - 河川への廃棄物投棄
- 廃棄物の分別が重要だと思うのはなぜですか？_____
- 再生可能エネルギー源を 2 つ挙げよ：_____
- 化石燃料の燃焼によって生じる副産物のうち、気候変動の原因となるものはどれか？
 - 酸素
 - 窒素
 - 二酸化炭素
 - 硫化水素
- 以下の選択肢のうち、環境負荷の点で最も悪いものから最も悪いものまで、さまざまなエネルギー源を正しい順番で示したものはどれか
 - 原子力、化石燃料、石炭、地熱。
 - 化石燃料、石炭、原子力、地熱
 - 地熱、石炭、化石燃料、原子力
 - 石炭、化石燃料、原子力、地熱

パート 3：態度評価

- 環境問題について学ぶことへの関心度をお答えください。

1	2	3	4	5
興味なし				高い関心
- あなたは以前、教育現場でゲーミフィケーション学習法に取り組んだことがありますか？
 - はい
 - いいえ
- 将来の教師として、科学における環境問題を教える際にゲームを使う、あるいは使うことを薦めますか？
 - はい
 - いいえ

Appendix 2: Educational Game Post-Test.

科学教育におけるゲーミフィケーション教育アプローチ：環境教育における学習者の関与と成績への影響の評価。(事後テスト)

名前やメールアドレスを入力しないでください。データ処理を容易にするために、演習の最初に与えられたコードを使用してください。

導入

ゲーミフィケーションとは、ゲームデザイン要素やゲームの原則をゲーム以外の物事に応用する散る国です。この活動は、中学校の科学の環境教育における教育ツールとしてのゲームの使用に関するデータ収集を行っています。

パート A：参加者の情報

参加者番号: _____

パート B：知識評価

- 再生可能なエネルギー源を使用することで、非再生可能なエネルギー源と比較して環境への影響は常に低くなる
 - 真の
 - 偽
- 再生可能エネルギー源を2つ挙げてください: _____
- 以下の選択肢のうち、環境負荷の点で最も悪いものから最も悪いものまで、さまざまなエネルギー源を正しい順番で示したものはどれか。
 - 原子力、化石燃料、石炭、地熱
 - 地熱、石炭、化石燃料、原子力
 - 化石燃料、石炭、原子力、地熱
 - 石炭、化石燃料、原子力、地熱
- 炭素排出による気候変動に寄与するエネルギー源はどれか？
 - 太陽エネルギー
 - 化石燃料
 - 原子力
 - 水力エネルギー
- 大気汚染を減らすために最も効果的なのはどの行動か？
 - プラスチック包装の製品を買う
 - ビニール袋の代わりに紙袋を使う
 - 落ち葉やゴミを燃やす

パート 3：態度評価

- 環境教育ゲームをすることで、環境問題に対する見方が変わった。

1	2	3	4	5
強く同意する				強く反対
- ゲームをプレーしている間、どの程度関与していると感じましたか？

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
まったく関与していない								非常に熱心	
- 環境問題に対する意思決定の影響について理解を深める上で、ゲームの効果を1～5の5段階で評価してください。

1	2	3	4	5
効果なし				非常に効果的
- 将来の教師として、科学における環境問題を教える際にゲームを使う、あるいは使うことを薦めますか？
 - いいえ
 - はい
- 科学の授業でゲーミフィケーションを教材として使う場合のアドバイスは？

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。 ・実験前後の金属の変化に着目させ、変化に気づかせる。	○指導の工夫 ○評価 ○実験前後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。
1 資料の振り廻り			
2 学習課題の提示		・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。	
3 実験後の考察	15	○実験や実験後の変化から、モデル図を使い、化学変化がどのように起きているかを考える。 ・青銅が起きていることから、イオンと電子が結びつき、金属原子になっていることに気づかせる。 ・金属イオンがどこから得られているかを考えさせ、濃度の変化にも気づかせる。	○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正確にできているか。 《観察・実験の技能》 ○モデル図を使って、自身の意見が考えられ、記入されているか。 《表現・態度》
4 導入化の体験学習	15	○作成したダニエル電池の仕組みの導入化を体験する。 ・1つ1つの役割をばききさせ、1つ1つの行動を示す。 ・動画視聴では、自分以外の動きにも着目させ、変化を捉えさせる。	○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。
5 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理解できているか。 《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な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。

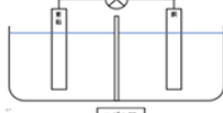
本日の目標：ダニエル電池の実験で電流の表面変化を観て、電流を取り出す仕組みを考えよう。

● 実験のダニエル電池実験結果の整理：

それぞれの現象をどのように変化させたか？（例：銅板の質量が増えるなど）

現象	変化（質量・電圧等）
銅板 (Zn)	
銅板 (Cu)	
電圧	
その他	

● ダニエル電池の仕組みをイオンと電子で説明しよう！



モデル図

説明

● 上の自分のモデル図と説明にどれくらい自分の意見が表れているか？

1. 《よくある》から 5. 《とてもある》まで 1つ選んでください。

よくある 1 2 3 4 5 とてもある

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

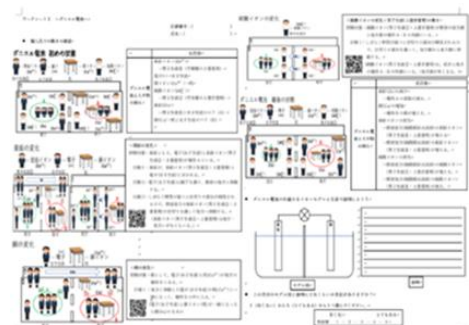


図 3 ワークシート②

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)

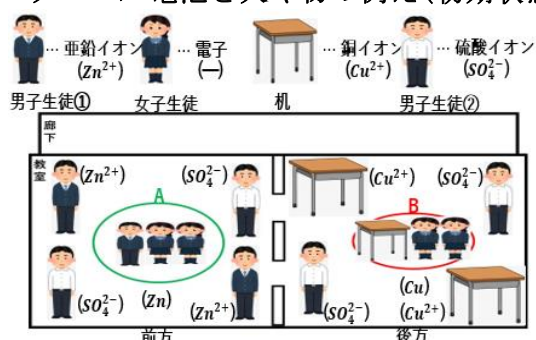
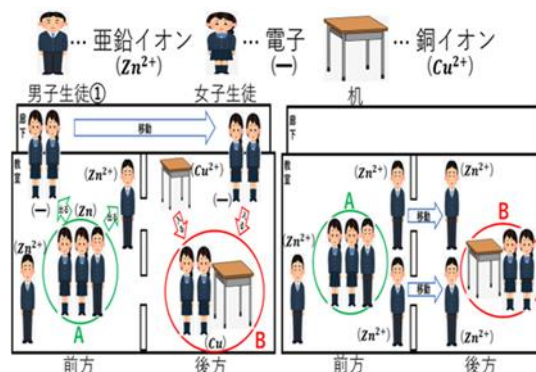


図4 ダニエル電池と人や物の例え(初期状態)

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 (e^-) →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

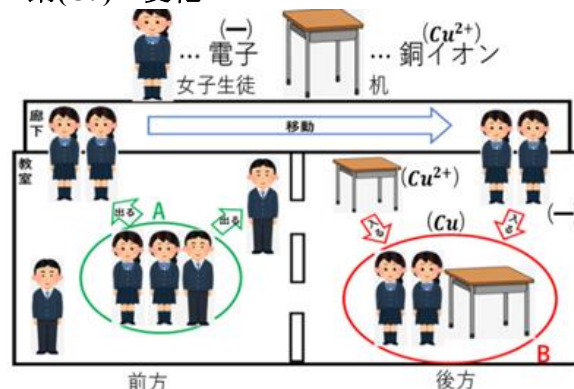


図6 身体化の人や物の例え（銅の変化）

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

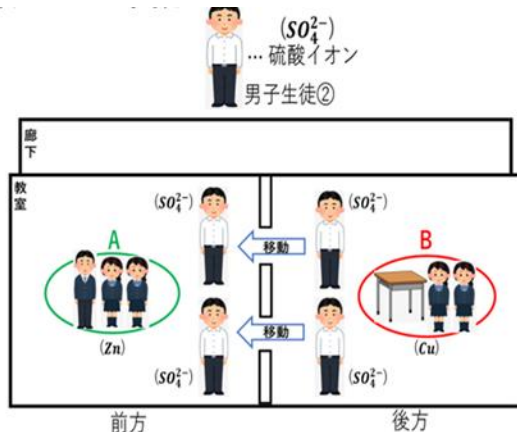


図 7 身体化の人や物の例え(硫酸イオンの変化)

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部を移動している。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。

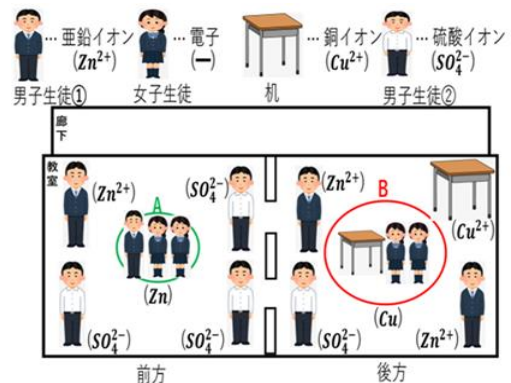


図 8 身体化の人や物の例え(最終状態)

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。

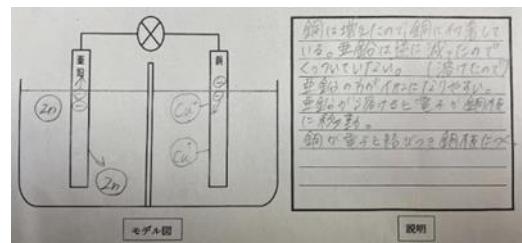


図 9 生徒が記載したワークシート①

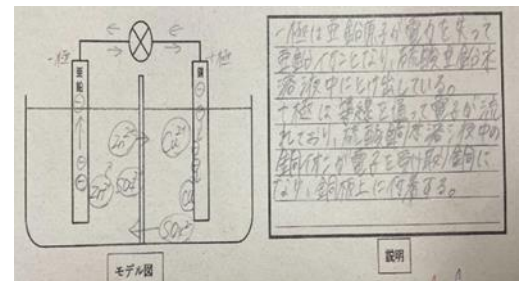


図 10 生徒が記載したワークシート②

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）

身体化前	身体化後						
	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	身体化後						
	評価	○	△	●	▲	×	合計

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 前	身体化後						
	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)

身体化前	身体化後						
	評価	○	△	●	▲	×	合計
	○	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)

担当	身体化後の理解						
		○	△	●	▲	×	合計
	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								
	評価		低い ← → 高い					無記入	合計
			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こと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。ロイロ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・森石千早妃・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)

No.	名称	実施者情報	役割	年月日情報	場所	主催	参加者情報	概要
1	研究授業のための事前協議	吉村直道	助言・指導	令和5年4月7日（金）16時～17時30分	徳島市立南部中学校（Zoom会議）	徳島市立南部中学校数学科	数学教諭2名	箱ひげ図（中2）の取扱についての助言
2	データサイエンス入門	吉村直道	出張講義	令和5年5月1日（月）14：05～16：05	愛媛大学附属高等学校	愛媛大学附属高等学校	高校1年生123名、教員9名	データサイエンス入門として、代表値、外れ値、推定・検定、回帰分析等を概説する。
3	愛媛大学放課後SDGsワークショップ	富田英司	企画運営	令和5年5月17日16時～18時	教育学部オーブンラボ	愛媛大学教育学部	中学生1名、小学生4名、学生3名	
4	理科教育研修会	中村依子	参加・支援	令和5年5月20日 8:30～12:30	血ヶ嶺	愛媛大学教育学部	元教員2名、教員1名	植物分類（約90種）
5	データサイエンス入門	吉村直道	出張講義	令和5年11月1日（水）13：50～13：40	松山市立垣生中学校	松山市立垣生中学校	中学3年生（33人）	データサイエンス入門として、代表値、外れ値、推定・検定、回帰分析等を概説する。
6	指導者としてのデータサイエンスに関わる入門講座	吉村直道	講師・講演	令和5年11月1日（水）15：00～16：00	松山市立垣生中学校	松山市立垣生中学校	中学校教員（27人）	データの取扱や分析のしかたについて解説し、協議を行う。
7	「サイエンスの世界を冒険しよう！～Biology In Your Classroom～」	加藤晶他3名	出張講義	令和5年11月11日（土）13:00～15:00	愛媛大学教育学部附属小学校	愛媛大学教育学部附属小学校土曜学習	5年生・6年生（15名）	蚊の形態観察から寄生虫について英語を含めて学ぶ講義
8	「サイエンスの世界を冒険しよう！～Biology In Your Classroom～」	加藤晶他3名	出張講義	令和5年11月10日14:30～16:30	愛媛大学教育学部附属中学校	愛媛大学教育学部附属中学校科学部	1年生・2年生・3年生（48名）	蚊の形態観察から寄生虫について英語を含めて学ぶ講義
9	愛媛の岩石標本づくり	佐野栄	講師・講演	令和5年9月30日（土）10:00～12:00	教育学部3号館2階理科共同学生実験室3	愛媛大学教育学部	小学校教員1名、中学校教員1名、高校教員1名、参加者家族1名、学生2名	愛媛は国内でも多様で珍しい岩石や鉱物を観察できる県です。それは県内を北から領家帯、三波川帯、秩父帯、四万十帯といった、日本列島を形成するほとんどすべての地質帯が帯状配列するからです。今回の研修では、それぞれの帯を構成する岩石を用いて、自分だけのオリジナル岩石標本を作製し、日本列島の生い立ちについて考えます。
10	プロジェクトワイルド一般指導者講習会	向平和	講師・講演	令和5年10月21日（土）9:00～16:00	教育学部2号館2階理科共同学生実験室1	愛媛大学教育学部	学生11名、大学院生2名	アメリカで開発された環境教育プログラム「プロジェクトワイルド」の講習会を実施した。
11	四国の次世代科学人材育成・トコロジスト育成のこれから	向平和 橋越清一 大高茂範 中本剛 加藤晶	パネラー・コメンテータ	令和6年3月9日（土）13:00～15:00	教育学部2号館2階理科共同学生実験室1	日本生物教育学会四国支部	生物教育研究者・教員（20名）	ジュニアドクター育成塾・次世代科学技術チャレンジプログラムなどの事業の紹介を含めた次世代人材育成について議論
12	データ駆動型教育への期待と展望	大西義浩他4名	パネラー・コメンテータ	令和6年3月13日（水）14:00～17:00	教育学部大講義室	愛媛大学教育学部	研究者・教員・学生・院生（30名）	児童生徒に1人1台端末を整備するGIGAスクール構想や、校務支援システム、CBT（Computer Based Testing）システムなどの普及によって、教育ビッグデータとも呼ばれる多種多様なデータが教育現場で取得できるようになっています。本リサーチユニットではこれまで教員の主観や経験によって出されていた認知や判断を、教育ビッグデータに基づいて分析する方法論の構築を行うことを目的としています。
13	第29回青少年のための科学の祭典松山大会	中本剛 佐野栄 大西義浩 玉井輝之 中村依子 向平和	講師・講演	令和5年10月28日（土）29日（日）9:30～16:00	教育学部2号館・3号館	第29回青少年のための科学の祭典松山大会実行委員会	小学生・中学生・高校生等3000名	約30のブースで科学に関する体験講座実施されました。
14	溶媒鹼化法を用いたセッケンづくりの授業実践	NSコスメ 小原孝昭	出張講義	令和5年7月5日（水）3、4限（10:45～12:25）	愛媛大学附属高等学校	愛媛大学附属高等学校	生徒20名	溶媒鹼化法を用いたセッケンづくりを実践しました。
15	溶媒鹼化法を用いたセッケンづくりの授業実践	NSコスメ 小原孝昭	出張講義	令和5年7月3日（月）5・6限（13:25～15:15）	愛媛大学教育学部附属中学校	愛媛大学教育学部附属中学校	生徒32名	溶媒鹼化法を用いたセッケンづくりを実践しました。
16	溶媒鹼化法を用いたセッケンづくりの授業実践	NSコスメ 小原孝昭	出張講義	令和5年7月14日5・6限（13:30～15:10）	愛媛大学教育学部附属特別支援学校	愛媛大学教育学部附属特別支援学校	生徒8名	溶媒鹼化法を用いたセッケンづくりを実践しました。